
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3年次（最終年次）研究成果報告書

平成 28 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、「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」である。本第3年次（最終年次）報告書は、下記 URL からのリンクが可能である。

<http://kaken15.tech.juen.ac.jp/>

第1年次の報告書は、下記 URL からのリンクが可能である。

<http://kaken13.tech.juen.ac.jp/>

第2年次の報告書は、下記 URL からのリンクが可能である。

<http://kaken14.tech.juen.ac.jp/>

本研究の着眼点と題目の設定は、以下の二つの学習論・教育課程論が根底にある。

一つは、「社会的構成主義からの学習論」である。社会的構成主義からの学習論とは、【学習を、学習者個人の知識獲得としてではなく、むしろ、社会や文化、歴史といった文脈に埋め込まれて成立しており、個人が周囲の人々との関係性のなかで、さまざまな道具（言葉）を媒介として成し遂げる活動としてとらえる立場（松嶋秀明（2006）「社会的構成主義からの学習論」、p.105、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】からの学習論をいう。2015年8月、中央教育審議会（以下、「中教審」）教育課程企画特別部会は、論点整理を公表し、『グローバル化や情報化が進展する社会の中では、多様な主体が速いスピードで相互に影響し合い、一つの出来事が広範囲かつ複雑に伝播し、先を見通すことがますます難しくなっている。子供たちが将来就くことになる職業の在り方についても、技術革新等の影響により大きく変化することになると予測されている（p.1）』と指摘している。「防災・エネルギー・リスク評価リテラシー」を育成するには、従来の個別的知識・スキルの教え込みだけでは不十分であり、マニュアル思考だけでは、太刀打ちができない。地域等の多種多様な実態や状況に柔軟に対応し、主体的・協働的に情報収集し、統合・解釈、熟考・評価、意思決定・行動する力と共に、重大なリスクが差し迫った時に、リスクを予知し、自ら考え、主体的かつ俊敏に行動し、自他の安全を確保する力が必要不可欠である。

二つは、中教審教育課程企画特別部会論点整理（p.15）が指摘した、「各教科等で育まれた力を、当該教科における文脈以外の、実社会の様々な場面で活用できる汎用的な能力に育てていくためには、総体的観点からの教育課程の構造上の工夫」である。イギリスでは、「ホール・カリキュラム（whole curriculum）」と呼ぶ。

2008年版中学校学習指導要領技術分野の目標は、未来の社会の主権者に、テクノロジーアセスメント（技術がもたらす影響に関する事前評価）と共に、「技術イノベーション」と「技術ガバナンス」に必要な能力育成を重視するための目標と内容を可視化した、国際的にも先進的な教育課程の国家基準といえる。

本研究の第1年次報告書では、文部科学省国立教育政策研究所（2011）『評価規準の作成、評価方法等の工夫・改善のための参考資料【中学校 技術・家庭】』教育出版【http://www.nier.go.jp/kaihatsu/hyouka/chuu/07_chu_gizyutu_katei.pdf（2016年1月4日閲覧）】で示された評価規準の設定例に基づき、技術分野3年間のストーリー性のある指導計画及び学習指導案事例を主たる内容構成とした。ストーリーとは、文部科学省初等中等教育局義務教育課（当時）（2008）の解説に基づき、「題材の連続性や題材配列の系統性を持たせるよう、段階的に組み立てる（積み上げる）こと」をいう。技術分野の目標を、「技術イノベーション」と「技術ガバナンス」育成に必要な骨太に捉えて、「防災・エネルギー・リスク評価リテラシー」は、ストーリーを展開するための3年間の共通学習課題とした。各学校における「評価規準の設定例」の運用については、鈴木秀幸氏（2013）『スタンダード準拠評価 「思考力・判断力」の発達に基づく評価基準』、図書文化が論点を丁寧にまとめている。本科研の2年次（2014年度）報告書第6部で、本研究代表者は、以前、国立教育政策研究所「全国的かつ総合的な学力調査の実施に係わる研究指定校事業の調査研究協力委員」等に従事させていただいた経験を踏まえながら、課題点と改善方策について提案した。1998年告示学習指導要領から、国が評価規準（1998年版では学習活動の具体的評価規準、2008年版では評価規準の設定例）を示したことは、我が国の学習システムの画期的な前進といえる。各学校は、学習指導要領を教育課程の基準（スタンダード）として、学習者や学校等の実態に応じて、単元（題材）を構成し、学校基盤型カリキュラム開発（School Based Curriculum Development : SBCE）の創意工夫と、カリキュラムマネジメントをPDCA（Plan-Do-Check-Action）により実施する。各学校は、自らのSBCEの質の評価について、国が定めた学習評価観点と学習到達水準の程度を示す基準（スタンダード）により、公教育としてのアカンタビリティと水準保証を果たしていく。一方、国が示した評価規準の設定例を適切に活用しないと、国の学習評価規準の設定例と、各学校が作成した学習評価スタンダードとが、いわゆる「ダブルスタンダード化」したり、各学校が作成した学習評価のキジュンだけでカリキュラム評価をしたりすると、信頼性・妥当性のある評価スタンダードに基づく結果説明責任とは云いがたい。そして、思考力・判断力・表現力、問題・課題解決力などが強調される近年の教育目標に、学習評価システムが対応する必

要がある。そこで、本研究の1年次成果報告書は、Web サイトだけではなく、冊子体報告書の配付要望の多かった全国国立大学法人附属中学校技術分野担当教員、都道府県政令指定都市等の教育センター、全日本中学校技術・家庭科研究会関係者等を最優先して郵送配付した。

本研究の第2年次報告書の第1部は、研究分担者の人見久城氏（宇都宮大学教育学部理科）、大谷 忠氏（東京学芸大学教育学部技術科）、二宮裕之氏（埼玉大学教育学部数学科）の執筆により、国際技術・エンジニアリング教育者学会（ITEEA）の概要と、第76回 ITEEA 年次大会（2014年3月27～29日に開催）の調査報告、STEM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics）教育に視点を当てた報告である。STEM教育とは、『万人の科学・技術・エンジニアリング・数学に関連する科学・技術の理解増進、21世紀の壮大な挑戦を担う全ての市民に必要な科学・技術リテラシーの普及・向上と共に、特に大学等の高等教育以前からの初等・中等・高等教育段階を一貫した継続的・系統的な教育で、豊かなテクニックと個人的スキルを有する卓越した科学・技術専門職の担い手を育成し、STEM 専門職の社会的意義と役割を万人に啓発・普及していくための教育及び教育運動である（Bybee, R., “What Is STEM Education?”, Science, vol.329, Issue.5995, 2010, p.996）』。オバマ米大統領は、一般教書演説等で、STEM 教育分野における新教員10万人の準備の取組み等を提案し、教員養成モデルのグレードアップと、優秀な STEM 専攻卒業生が教職の道を選択するための支援を行っている。

欧米の「エンジニアリング」概念は、専門職業人としてのエンジニアに求められる社会的役割と責任、ミッション、社会安全と技術倫理、法令遵守等を含む職能発達のための構造化された知識体系を意味する。エンジニアリングは、人類の利益のために、自然の素材やエネルギーを利用したり、情報を処理したりする方法を開発するための判断と創造性を得る際に、数学、自然科学、アーツ、社会科学等の知識を活用する。加えて、海外では、1990年代から、エンジニアリングによる社会安全の向上と法令遵守の徹底には、全ての国民が協働参画し、参加型テクノロジーアセスメントと、リスクガバナンスによる意思決定の必要性が叫ばれている。卓越したエンジニア育成やイノベーションによる新たな価値の創出のためには、国民全体の技術ガバナンス能力の底上げが必要である。そこで、欧米では、初等教育段階から、STEM 系教科分野が相互連携した教育により、イノベーションによる新たな価値の創造への興味・関心を高め、イノベーションを適切に舵取りできる国民全体のガバナンス能力の育成を図るエンジニアリング教育プログラムが導入・実践されつつある。

一方、我が国では、「エンジニアリング」を、普通（一般）教育ではなく、専門教育として位置づけ、「工学」と邦訳する場合が多い。そのため、「エンジニアリング」は、「テクノロジー」と共に、国民にとっては、わかりにくい語彙や概念となっている。エンジニアリングの本質は、私たちの生存を支え、持続的発展が可能な社会を支える。しかし、我が国では、特に初等中等教育段階におけるエンジニアリング教育の重要性について、理解が進んでいるとは言い難い状況である。そこで、本研究では、1年次報告書から、中学校技術分野とSTEM 系教科等の関連を図りながら、テクノロジーやエンジニアリングに関わる概念を積極的に活用したり、課題解決活動の場面で活用したりすることで、「転移可能な概念（Wiggins and MacTighe, 2005: p.352; 西岡, 2012: p.404）,（Wiggins, G. and MacTighe, J.: Understanding by Design Expanded 2nd Edition, Person Education Inc. (2005) ISBN 0-13-195084-3, 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））に導き、言語活動を通して体験と実感を伴いながら理解する実践事例を紹介してきた。本来、概念構成は、文脈依存性が強いが、ある教科領域等で学習した知識スキルを、その教科領域等とは異なる教科領域等で活用できる「転移可能な概念」構成は、生涯学習に繋がる「本質的な問い」や「永続的理解」の根幹をなす資質・能力である。

2015年8月の中教審教育課程企画特別部会論点整理では、次期学習指導要領改訂に向けて、学習する子供の視点に立ち、育成すべき資質・能力を、「個別の知識・技能」、「思考力・判断力・表現力等」、「学びに向かう力、人間性等」の「三つの柱」で整理することと、各教科等の文脈の中で身に付けていく力と、教科横断的に身に付けていく力とを相互に関連付けながら育成していく必要性が提案された。

本研究3年次（最終年次）報告書の第1章では、日本産業技術教育学会（2012）が提案する幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育における、技術教育固有の知識・技能を中心とした「教育目標1：技術教育固有の対象」と、技術教育固有の思考力・判断力・表現力等である技術創造・工夫のプロセスに必要な「教育目標2：技術的課題解決力」について論じた。なお、「三つの柱」の「学びに向かう力、人間性等」は、汎用的資質・能力をも含み、前述の教育目標1と2の双方と深く関わり、相乗的に機能すると筆者らは考えている。また、技術的課題解決の遂行には、技術教育の文脈で特有に発揮する技術的創造・工夫能力と共に、汎用的（generic）な問題解決力、「科学的問題解決力」、「数学的問題解決力」が相乗的・往還的に発揮すると筆者らは考えている。第1章では、「技術的課題解決力（技術デザインプロセス）」、「科学的プロセス」、「数学的プロセス」、「汎用的な問題解決プロセス」の特徴点について、海外の先行研究を紹介しながら論説した。

第2章は、研究分担者の人見久城氏（宇都宮大学大学院）の「科学教育と、テクノロジー・エンジニアリング教育の概念と学習プロセスからの連携」の論稿である。氏は、STEM教育が拡充する米国に注目し、科学教育におけるエンジニアリングの取扱いについて、その特徴と、エンジニアリング・デザインに沿った学習過程について精緻かつ丁寧に論じている。特に、留意していただきたいのは、NAE(National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies) (2009)と、Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, National Research Council（以下、「フレームワーク」）(2011)とのエンジニアリングとテクノロジーの用語の定義の関係である。NAEでは、テクノロジーを「人工的世界における製作物(artifacts)」と、事物概念重視で定義している。他方、「フレームワーク」では、テクノロジーを、「人間が開発した全種類のシステムやプロセス」と、テクノロジーの機能概念や技術行為の形態・システム概念を重視して定義している。ITEA (International Technology Education Association) [現 ITEA (International Technology and Engineering Educators Association) (2000)] では、テクノロジーを、「(1) 問題解決と人間の可能性を拡大するシステムを発展させる知識とプロセスの生成を含む、人間の活動によるイノベーション。(2) 認識された人間のニーズと欲求を満たすための、自然環境に対するイノベーション、改変、修正。」と、人間の創造イノベーション活動の形態と機能を重視して、テクノロジーの定義をしている。また、防災、エネルギー、リスク評価リテラシーのテーマで、科学教育と技術・エンジニアリング教育の連携について、(1) テーマと学習内容の連携、(2) テーマと学習方法の連携の可能性について論述している。

第3章は、研究分担者の二宮裕之氏（埼玉大学教育学部）による「数学教育と、テクノロジー・エンジニアリング教育の概念と学習プロセスからの連携」の論稿である。氏は、全米数学教師協議会 (National Council of Teachers of Mathematics: NCTM) (1989) の『学校数学におけるカリキュラムと評価のスタンダード (Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics)』の「内容スタンダード」と「プロセス・スタンダード」を紹介している。特に、NCTM スタンダードでは、『思考』を単に「思考すること」のみに留めず、それを「表現すること」まで含めている点で、極めて特徴であることを指摘している。さらに、高等学校「数学基礎」や「数学活用」の教科書にある事例を数学的活動（事象を数学的に考察し表現すること）の視点から紹介している。その上で、二宮・國宗(2007)のテクノロジー・エンジニアリング教育と数学教育との接点についての論稿を紹介している。その論稿では、「技術的素養の育成」を目指した授業を対象にして、そこでの問題解決プロセスを算数・数学教育の視点から分析し、科学、技術、数学の総合カリキュラム開発に資することを目的とした。具体的には、2004（平成16）年度～2006（平成18）年度文部科学省研究開発学校の東京都大田区立矢口小学校(2007)「ものづくり科 (Technology Education) 教科書」において提案されている「ソーラークッカーをつくろう(3年生)」と「ザリガニロボットをつくろう(4年生)」の授業について、算数・数学教育の立場から分析した。その結果、同実践では、算数・数学との内容的関連性が見いだされるとともに、技術科における「活動」に伴う算数科の非意図的(インフォーマル)な学習が、学習(活動)を通して獲得される(算数の)理解・能力の素地となり得ることを明らかにしたと述べている。また、現状のSTEM教育において、テクノロジー・エンジニアリング教育や科学教育の内容を「数学的な方法」を用いる際に、「数学的な内容」を全く伴わない形で「数学的な方法」が位置づけられることに、大きな懸念を表面している。技術科教育においても、プロジェクト法だけでは、技術概念の本質についての永続的理解、生涯における本質的な問いの体系のサイクルを身に付けることはできないことが幾多の先行研究で指摘されている。各教科等教育では、教科等の文脈に応じた内容概念と方法概念の両輪で、知識・スキル、思考力・判断力・表現力等の能力、情意・態度を育むことが重要と考えられる。

第4章は、研究分担者の大谷 忠氏（東京学芸大学）による「防災・エネルギー・リスク評価リテラシー育成の視座から見た技術に関わるガバナンス教育の現状と課題」の論稿である。氏は、技術教育の観点から、「技術に関わるガバナンス教育」に焦点を当て、平成23年度～26年度に実施された科学研究費プロジェクト(基盤研究(B))「中学生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・検証」研究代表者上野耕史氏（国立教育政策研究所教育課程研究センター）の内容を紹介している。日本産業技術教育学会が提唱する『21世紀の技術教育(改訂)』における技術教育固有の対象と内容構成と、技術に関わるガバナンス教育の実践の留意点について、論述している。前述した上野氏らのプロジェクトで規定したガバナンス能力に関する要素（【選択】【管理運用】【評価】【設計】）を、技術教育固有の対象である4つの内容構成に対応させるように配置し、さらに技術教育固有の方法である「技術的課題解決」のプロセスで、繰り返し各要素を配置していく方法が考えられると指摘している。また、このような能力育成は、幼稚園・小・中・高校の発達段階に応じて育成される必要があり、順次育成に伴う能力を拡大させて行けるように、カリキュラムを構成することが重要になると述べている。

第5章は、研究協力者の大森康正氏（上越教育大学大学院）、研究分担者の磯部征尊氏、研究代表者の共著で、2016年3月に上越教育大学研究紀要第35巻に掲載決定した（印刷中）、「STEM教育とComputational Thinking重視の小・中・高等学校を一貫した情報技術教育の基準に関する日イギリス米比較研究」の論稿である。我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM教育とCT（Computational Thinking）を重視した情報技術教育課程の基準を検討するために、イギリスのNC（National Curriculum）教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsの特にSTEM教育とCTに着眼し、磯部・山崎（2013）の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準の、特に「デジタル作品の設計と制作」、「計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」を再検討した。久野ら（2015）の情報教育の新3観点の特に、(1)実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知の付加に着目し、磯部・山崎（2013）の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」、「エ 計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」の内容を修正し、再提案した。また、「材料と加工」、「エネルギー変換」、「生物育成」に関する技術のデザインプロセスと、CTを基盤とした「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」のデザインプロセスとは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスが含まれ、類似性が高く、互いの連携が有効であると指摘している。

第6章は、研究代表者と、研究分担者の磯部征尊氏の共著で、「技術イノベーションと技術ガバナンス」の論稿である。なお、第6章の原稿は、山崎貞登（2016刊行予定）「第7章 技術イノベーションと技術ガバナンス」、森山 潤・菊地 章・山崎貞登（編著）『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望（所収）』、第1分冊、ジ アース 教育新社を、一部加筆修正し、再構成した論稿である。本報告書掲載を認めてくださった、兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科森山 潤教授に謝意を表する。

第7章は、研究代表者、研究分担者の磯部征尊氏、研究協力者の市村尚史氏の共著で、「アメリカのITEEA（国際技術・エンジニア教育者学会）I³教材」の論稿である。第7章の原稿は、山崎貞登（2016刊行予定）「第4章4節 I³教材」、森山 潤・菊地 章・山崎貞登（編著）『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望（所収）』、第1分冊、ジ アース 教育新社を、一部加筆修正し、再構成した論稿である。

本書の先行研究は、日本産業技術教育学会の支援を受けて、同学会小学校委員会が、2005年度～2007年度の3年間にわたり実施された科学研究費補助金基盤研究(C)「技術的素養の育成を重視した初・中・高等学校教育一貫の技術教育課程開発（研究代表者：山崎貞登）（課題番号 17500578）」である。続いて、同学会の支援と、2008年度～2010年度科学研究費補助金（基盤研究C）の補助を受け、研究課題「技術リテラシーとPISA型学力の相乗的育成を目的とした技術教育課程開発」が先行研究である。6年間の一貫した先行研究は、下記のURLにて現在も公開中である。

2005年度（第1年次）～2007年度（第3年次）報告書は、下記URLからのリンクが可能である。

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report06.pdf>

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report07.pdf>

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report08.pdf>

2008年度（第1年次）報告書～2010年度（第3年次）報告書は、下記URLからのリンクが可能である。

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report09.pdf>

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report10.pdf>

<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/etc/ps-tech/report11.pdf>

2008年版中学校学習指導要領技術・家庭科技術分野の最終目標と内容の構成原理等に関連して、日本産業技術教育学会Webサイトでは、「21世紀の技術教育（改訂）」、「21世紀の技術教育（改訂）－各発達段階における普通教育としての技術教育内容の例示－」、「技術教育の理解と推進のために」「今、世界の技術教育は？」等を紹介している。

<http://www.jste.jp/growth/index.html>

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

2016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	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 上越教育大学大学院 山崎 貞登，愛知教育大学 磯部 征尊 東京学芸大学 大谷 忠	5
第2章	科学教育とテクノロジー・エンジニアリング教育の 概念と学習プロセスからの連携 宇都宮大学大学院 人見 久城	29
第3章	数学教育と，テクノロジー・エンジニアリング教育の 概念と学習プロセスからの連携 埼玉大学教育学部 二宮 裕之	39
第4章	防災・エネルギー・リスク評価リテラシー育成の視座から見た 技術に関わるガバナンス教育の現状と課題 東京学芸大学 大谷 忠	53
第5章	STEM 教育と Computational Thinking 重視の小・中・高等学校 を一貫した情報技術教育の基準に関する日イギリス米比較研究 上越教育大学大学院 大森康正，愛知教育大学 磯部征尊， 上越教育大学大学院 山崎 貞登	64
第6章	技術イノベーションと技術ガバナンス 上越教育大学大学院 山崎 貞登，愛知教育大学 磯部 征尊	79
第7章	アメリカの ITEEA（国際技術・エンジニアリング教育者学会）I ³ 教材 上越教育大学大学院 山崎 貞登，愛知教育大学 磯部 征尊 新潟県柏崎市立第一中学校 市村 尚史	85

I 研究題目

基盤研究(C) 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

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（技術教育学）
（総括）

研究分担者・所属（専門分野）（役割分担）

人見 久城 宇都宮大学大学院・教育学研究科・教授（理科教育学）
（理科教育からの科学・技術連携カリキュラムの調査・分析・開発）
二宮 裕之 埼玉大学・教育学部・教授（数学科教育学）
（数学科教育からの科学・技術連携カリキュラムの調査・分析・開発）
大谷 忠 東京学芸大学・教育学部・准教授（木材加工学・技術教育学）
（技術科教育からの科学・技術連携カリキュラムの調査・分析・開発）
磯部 征尊 愛知教育大学・教育学部・准教授（技術教育学）
（技術科教育からの科学・技術連携カリキュラムの調査・分析・開発）

研究協力者等・所属（専門分野）

大森 康正 上越教育大学大学院・学校教育研究科・准教授（情報工学）
市村 尚史 新潟県柏崎市立第一中学校・教諭（技術教育学）
（中学校段階における科学・技術連携カリキュラムのデザイン）
水野頌之助 上越教育大学大学院修士課程院生（新潟県現職派遣教諭, 上越市立城北中学校在籍）
（技術教育学）（中学校段階における科学・技術連携カリキュラムのデザイン）
堂坂 英隆 上越教育大学大学院修士課程院生（技術教育学）
（中学校段階における科学・技術連携カリキュラムのデザイン）
尾崎 裕介 上越教育大学大学院修士課程院生（技術教育学）
（中学校段階における科学・技術連携カリキュラムのデザイン）

III 研究経費

平成25年度 1,800 千円 平成26年度 1,000 千円 平成27年度 1,000 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）

森山 潤・菊地 章・山崎貞登（編著）：『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望』, ジェー
ス 教育新社（印刷中）（2013~2016 年度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「システムの思考に基づいたイノベーション力の育成を図る技術・情報教育体系に関する
研究」（チームリーダー：森山 潤兵庫教育大学大学院教授）

森山 潤・菊地 章・山崎貞登（編著）：『子どもが小さなエンジニアになる教室ーイノベーション

力を育成する技術・情報教育の授業デザイン』, ジ アース 教育新社 (印刷中) (2013~2016 年度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「システムの思考に基づいたイノベーション力の育成を図る技術・情報教育体系に関する研究」(チームリーダー: 森山 潤兵庫教育大学大学院教授))

二宮裕之 (分担執筆)「学習指導法と評価」『算数・数学科教育』, 一藝社, 2015 年 10 月

山崎貞登 (分担執筆):「第Ⅲ部 18 STEM 教育」, 日本学校教育学会 30 周年記念誌編集委員会 (編著):『時代を読む学校教育—社会変動の中で研究する教師のために— (所収)』(2016 年 3 月刊行予定)

山崎貞登・磯部征尊 (分担執筆):「第 1 章 ものづくりの意義」, pp.1-18, 安東茂樹先生御定年御退職記念事業誌刊行会 (編著):『社会人のためのものづくりのわかる教科書~中学校 技術・家庭科を振り返って~ (所収)』, 竹谷出版 (印刷中)

(2) 学会誌等 (関連研究を含む)

<学会誌等 (査読有)>

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)

松本菜苗・二宮裕之: 算数・数学教育における「日常の文脈に即した問題」に関する研究—数学的シチュエーションとの関連に着目して—, 全国数学教育学会誌, 第 21 巻, 第 2 号, pp.187-201 (2015)

大谷忠・渡津光司: 科学技術リテラシーを育成するための教育課程編成に関わる課題—技術科と理科における指導内容の比較を通して—, 科学教育研究, 第 39 巻, 第 2 号, pp.186-194 (2015)

<紀要等 (査読無)>

人見久城: 高等学校学習指導要領実施上の課題とその改善 (理科), 中等教育資料 (文部科学省教育課程課), No.951, pp.10-15 (2015).

磯部征尊: 小学校段階における設計力と工夫・改善力を育成するための基礎的研究, 愛知教育大学教育創造開発機構紀要, 第 5 号 (学術論文), pp.29-34 (2015)

宮川秀俊・磯部征尊・増田恵梨奈: ユネスコスクールにおける ESD 活動の現状と展望, 評価について—愛知県の場合—, 技術科教育の研究, 第 20 巻, pp.55-65 (2015)

二宮裕之: アクティブな「アクティブ・ラーニング」のための素地指導の充実, 日本数学教育学会第 3 回春期研究大会論文集, pp.185-190 (2015)

二宮裕之:「知識・技能を獲得した自分(たち)」を認識した上で、自分の考えを発表すること, 算数授業研究 Vol.99, pp.32-35 (2015)

大森康正・磯部征尊・山崎貞登: STEM 教育と Computational thinking 重視の小・中・高等学校を一貫した情報技術教育の基準に関する日イングランド米比較研究, 上越教育大学研究紀要, 第 35 巻, (印刷中, 2016 年 3 月発行予定)

山崎貞登: 生物育成に関する技術の教科専門科目と技術科教育を架橋する教科内容学の構成原理, 上越教育大学研究紀要, 第 35 巻, (印刷中, 2016 年 3 月発行予定)

(3) 口頭発表(関連研究を含む)

堂坂英隆・山崎貞登:STEM教育からの中学校技術科の菜類3品種のLED照射栽培と小学校家庭科, 同社会科, 小・中・高校理科学習との連携, 日本産業技術教育学会第27回北陸支部大会講演論文集(期日:2015年11月7日, 会場:福井大学教育地域科学部), p.17 (2015)

服部洋平・河村敏文・磯部征尊:生活の技能の観点を高めるルーブリックの活用と効果に関する基礎的研究, 日本産業技術教育学会大33回東海支部大会(岐阜)講演論文集,(期日:2015年12月5日, 会場:岐阜大学教育学部), pp.1-2 (2015)

人見久城:全米学力調査における「技術とエンジニアリング」の評価の枠組み, 日本科学教育学会第39回年会論文集(期日:2015年8月22-23日, 会場:山形大学), pp.282-283 (2015) .

人見久城:アメリカの科学教育におけるエンジニアリング・デザインの特徴—NGSSとオレゴン州科学スタンダードを事例として—, 日本理科教育学会第54回関東支部大会研究発表要旨集(期日:2015年12月5日, 茨城大学教育学部), p.54 (2015) .

保坂恵・水野頌之助・磯部征尊:工夫・創造の能力と技能に対応した学習評価の効果に関する研究—協働型学習を重視した実践事例—, 日本産業技術教育学会第58回全国大会(愛媛)講演要旨集(期日:2015年8月23日, 会場:愛媛大学教育学部), p.134 (2015)

磯部征尊・小原光博:反転授業を重視した木材加工に関するカリキュラムのデザイン, 日本産業技術教育学会大33回東海支部大会(岐阜)講演論文集,(期日:2015年12月5日, 会場:岐阜大学教育学部), pp.65-66 (2015)

磯部征尊・増田恵梨奈・宮川秀俊:技術科教育におけるESD活動の展開と効果に関する研究—ユネスコスクール全国調査の結果より, 特に安全衛生教育について—, 日本産業技術教育学会第58回全国大会(愛媛)講演要旨集(期日:2015年8月23日, 会場:愛媛大学教育学部), p.99 (2015)

伊藤寛幸・青山陽介・北村一浩・磯部征尊:形状記憶合金を用いたガイダンスカリキュラムの実践と評価, 日本産業技術教育学会大33回東海支部大会(岐阜)講演論文集,(期日:2015年12月5日, 会場:岐阜大学教育学部), pp.37-38 (2015)

金宗大貴・大谷忠:技術科と理科教科書における指導方法の比較, 日本産業技術教育学会第58回全国大会(愛媛)講演要旨集(期日:2015年8月23日, 会場:愛媛大学教育学部), p.137 (2015)

金宗大貴・大谷忠:理科と技術科における指導方法の比較・分析, 日本産業技術教育学会第26回関東支部大会(神奈川)講演要旨集(期日:2014年12月14日, 会場:横浜国立大学教育人間科学部), pp.137-138 (2014)

小山和哉・磯部征尊・谷田親彦・大谷忠:小学校図画工作科における動きを伝達する仕組みに着目した題材の実践と評価, 日本産業技術教育学会大33回東海支部大会(岐阜)講演論文集,(期日:2015年12月5日, 会場:岐阜大学教育学部), pp.61-62 (2015)

水野頌之助・長田有弘・山崎貞登:LED照射によるコマツナ類栽培の生育試験とSTEM教材化の可能性, 日本産業技術教育学会第27回北陸支部大会講演論文集(期日:2015年11月7日, 会場:福井大学教育地域科学部), p.16 (2015)

大森康正・中村浩士・伊藤寛幸・磯部征尊・水野頌之助・山崎貞登:技術分野の3年間一貫したカリキュラムデザイン支援ソフトの試用と評価, 日本産業技術教育学会第58回全国大会(愛媛)講演要旨集(期日:2015年8月23日, 会場:愛媛大学教育学部), p.96 (2015)

尾崎裕介・大森康正・磯部征尊・山崎貞登:イングランド「コンピューティング」の教育課程基準の

構成原理と学校教員の継続的な専門職能発達, 日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (愛媛) 講演要旨集 (期日: 2015 年 8 月 23 日, 会場: 愛媛大学教育学部), p.95 (2015)

尾崎裕介・大森康正・磯部征尊・山崎貞登: イングランドの教科コンピューティングの Computational thinking 概念, 日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会講演論文集 (期日: 2015 年 11 月 7 日, 会場: 福井大学教育地域科学部), p.9 (2015)

上野朝大・古市博之・磯部征尊・山崎貞登: 小・中・高校を一貫したプログラミング教育の導入を目指してー小学校 5 学年における実践事例報告ー, 日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (愛媛) 講演要旨集 (期日: 2015 年 8 月 23 日, 会場: 愛媛大学教育学部), p.97 (2015)

横井成美・磯部征尊・宮川秀俊: 科学・ものづくり教育における安全衛生プログラムとコンテンツの開発ー小学校の理科・図画工作における安全衛生教育についてー, 日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (愛媛) 講演要旨集 (期日: 2015 年 8 月 23 日, 会場: 愛媛大学教育学部), p.98 (2015)

第1章 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

上越教育大学 山崎 貞登, 愛知教育大学 磯部 征尊, 東京学芸大学 大谷 忠

1. 1 はじめに

第1章2節では、最初に、防災・エネルギーに関わる諸課題の「リスク」と「リスク評価」の定義について述べる。

第1章3節では、海外のテクノロジー（以下、「技術」）科教育の文脈における、技術的課題解決遂行プロセスとして提案されている「技術デザインプロセス」と、サイエンス（以下、「科学」）教科固有のプロセス、「一般的問題解決プロセス」との関係性について紹介する。

第1章4節では、PISA2012年調査の数学的リテラシーの数学的プロセスについて述べる。

第1章5節では、International Technology and Engineering Educators Association: ITEEA (国際技術エンジニアリング教育者学会) による、STEM教育の諸概念の英語の定義について紹介する。次に、「サイエンス」、「テクノロジー」、「エンジニアリング」の関係性に関する、欧米と日本の差異性について、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) 作業部会報告における、上野晴樹 (2006: p.5) の指摘を紹介する。

第1章6節では、我が国における技術（テクノロジー）、技法・技巧（テクニク）、技能（スキル）をはじめ、科学（サイエンス）概念と技術（テクノロジー）概念との関係性の理解と、言語活動を通じた科学・技術概念の理解が、我が国の小学校教育の喫緊の課題になっていることについて論じる。STEM系の「転移可能な概念」を、初等中等教育で喫緊に導入する必要性があることについては、従来から筆者らが提案していることである。転移可能な概念とは、当初学習したのとは異なる場面で活用することができるような概念を意味している (Wiggins and McTighe, 2005)。

第1章7節では、2015年8月の中教審教育課程企画特別部会論点整理で提案された育成すべき資質・能力の「三つの柱」と、日本産業技術教育学会「21世紀の技術教育（改訂）」との関係について論じる。

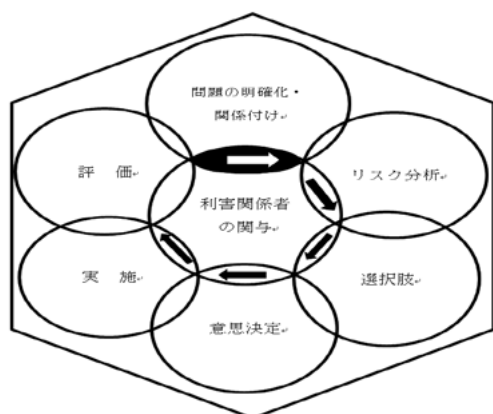
第1章8節では、技術・情報教育におけるプログラミング学習を通して育む資質・能力について解説している。イングランドのナショナルカリキュラムでは、2014年9月から、5歳～16歳までを一貫した必修教科「コンピューティング」で、プログラミング学習を重視している。エストニアをはじめ、世界各国・地域では、初等教育段階からのプログラミング学習を導入する実践が近年急増している。プログラミング学習では、「Computational thinking (コンピュータを活用した技術創造デザイン思考)」といった、技術的課題解決力を重視している。一方、我が国における小学校段階のプログラミング学習については賛否両論がある。我が国では、民間企業やNPO法人等が学習塾などのノンフォーマル教育として、プログラミング学習を推進したり、学校と協働して教科等のフォーマル教育のプログラミング学習を支援したりする試みも増えてきている。

第1章9節では、本研究で残された課題と提案をまとめる。国際技術教育学会: ITEA (現国際技術エンジニア教育者学会: ITEEA) (2003) が刊行したような、STEM系教科の相互連携と相乗効果に基づく、「学習評価(student assessment)スタンダード」、「専門職能 (professional Development) スタンダード」、「学校教員のためのプログラム (program) スタンダード」を、「日本産業技術教育学会等の技術・情報教育系学術組織」、「日本教育大学協会全国技術教育部門」、「全日本中学校技術・家庭科研究会等の教員専門職能発達組織」が連携して作成する必要があることを指摘する。第1の留意点として、思考力・判断力・表現力等、技術科の文脈で特に育成が期待される「技術的課題解決力」など、高次の学力を育み測定するための「スタンダード準拠学習評価」への対応の充実である。第2の留意点は、中学校技術科と、小・中学校理科のものづくりで育む資質・能力と学習評価法を明確にした上で、図画工作科との連携と、小学校教科におけるプログラミング学習の導入である。第3の留意点は、小学校段階における「ものづくり」や「プログラミング」に関わる教育目標、育む資質能力、教科内容を、「テクノロジー」を学習する教科として学習指導要領に盛り込むことである。我が国における技術（テクノロジー）、技法・技巧（テクニク）、技能（スキル）をはじめ、科学（サイエンス）概念と技術（テクノロジー）概念との関係性の理解と、言語活動を通じた科学・技術概念の理解が、我が国の小学校教育の喫緊の課題になっている点である。STEM系の転移可能な概念を初等中等教育で学習することについては、従来から筆者らが提案していることである。

1. 2 防災・エネルギー・リスク評価リテラシー

防災・エネルギー教育では、学んだことが「主体的に行動する態度」につながるよう、課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び（アクティブ・ラーニング）の視点から、学習・指導方法の改善を図る必要がある[中央教育審議会（以下、「中教審」と表記）教育課程部会平成 27 年 11 月 2 日総則・評価特別部会資料 8, 2015: p.28]。さらに、道徳を含めた各教科等における指導が、共助・公助の観点から育成したい資質・能力に結びつくよう、指導の充実を図ることが求められる。

主体的に危険を回避する判断力を育成するには、「リスク評価」リテラシーの育成が重要である。本稿の「リスク」概念は、リスクマネジメントを標準化した ISO31000 に基づき、「目的に対する不確かさの影響」と定義する（宇於崎・掛札, 2012: p. 27）。防災・エネルギーに関わる諸課題のリスク評価とリスク管理では、個人の価値判断規準と共に、社会レベルでの意思決定プロセスが必要になる。健康・安全・環境リスク問題への社会的対応は、分析的熟考(Analytic-deliberative)プロセスをベースとしたリスクマネジメントが潮流である（谷口, 2008: p.78）。リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領／議会諮問委員会編（1998: pp.8-10）の事例を、図 1－1 に示す。



- ・問題の本質を明らかにし、問題の前後の関係を把握する（問題の明確化・関係付け）
 - ・文脈から問題に関係するリスクを分析する（リスク分析）
 - ・リスクに取り組む選択肢を検討する（選択肢）
 - ・どの選択肢を実施するか決定する（意思決定）
 - ・決定したことを実施に移す（実施）
 - ・実施の結果について評価する（評価）
- このリスク管理は、利害関係者と協力して、もし、リスク管理に対する要求や管理の性格を変える新しい情報が得られれば、更新のために繰り返し用いる。

図 1－1 リスクマネジメントの枠組み 出典：リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領／議会諮問委員会編・佐藤雄也・山崎邦彦訳：環境リスク管理の新たな手法, p.9 (1998)

図 1－1 に示したように、様々な立場や利害関係を有する人達が協働で参画し、防災・エネルギー・環境に関わるリスク管理において、問題を明確化して、解決に向けて主体的・協働的に遂行する能力が重要となる。

1. 3 技術科固有の技術デザインプロセス（技術的課題解決）力と汎用的思考力との関係

我が国の教育においても、いわゆる思考力・判断力・表現力を伴う問題解決能力の育成が、喫緊の課題となっている。文部科学省は、次期学習指導要領の改訂の基本方針として、2015 年 8 月 26 日に、「中教審教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）」を公表した。同 p.10 では、学習する子供の視点に立ち、育成すべき資質・能力を以下のような三つの柱（以下「三つの柱」という。）で整理することを提案している。

i) 「何を知っているか、何ができるか（個別の知識・技能）」

各教科等に関する個別の知識や技能などであり、身体的技能や芸術表現のための技能等も含む。基礎的・基本的な知識・技能を着実に獲得しながら、既存の知識・技能と関連付けたり組み合わせたりしていくことにより、知識・技能の定着を図るとともに、社会の様々な場面で活用できる知識・技能として体系化しながら身に付けていくことが重要である。

ii) 「知っていること・できることをどう使うか（思考力・判断力・表現力等）」

問題を発見し、その問題を定義し解決の方向性を決定し、解決方法を探して計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていくこと（問題発見・解決）や、情報を他者と共有しながら、対話や議論を通じて互いの多様な考え方の共通点や相違点を理解し、相手の考えに共感したり多様な考えを統合したりして、協力しながら問題を解決していくこと（協働的問題解決）のために必要な思考力・判断力・表現力等である。

iii)「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか(学びに向かう力、人間性等)」

上記の i) 及び ii) の資質・能力を、どのような方向性で働かせていくかを決定付ける重要な要素であり、以下のような情意や態度等に関わるものが含まれる。

- ・主体的に学習に取り組む態度も含めた学びに向かう力や、自己の感情や行動を統制する能力、自らの思考のプロセス等を客観的に捉える力など、いわゆる「メタ認知」に関するもの。
- ・多様性を尊重する態度と互いのよさを生かして協働する力、持続可能な社会づくりに向けた態度、リーダーシップやチームワーク、感性、優しさや思いやりなど、人間性等に関するもの。

「三つの柱」の二つ目として取り上げられた「思考力」は、数学において事象を数学的に捉えて問題を設定し、解決の構想を立てて考察していく過程、理科において自然の事象を目的意識を持って観察・実験し、科学的に探究する過程、技術・家庭科において生活の課題を見だし、最適な解決策を迫及する過程をはじめ、国語、外国語、社会科、音楽、図画工作、美術、保健体育の各教科と、道徳における過程などを通じて育まれていく(同 p.15)と指摘している。さらに、これらの思考力を基盤に判断力や表現力等も同様に、各教科等の中でその内容に応じ育まれる(同 p.15)と、記述している。そして、各教科等で育まれた力を、当該教科における文脈以外の、実社会の様々な場面で活用できる汎用的な能力に更に育てていくためには、総体的観点からの教育課程の構造上の工夫が必要(同 p.15)と指摘している。

諸外国における技術科教育では、技術的課題解決プロセスと遂行の体系を、「技術デザインプロセス」と呼称する場合が多い。1957年、旧ソ連の人工衛星打ち上げによるスプートニク・ショックの影響を受けたイギリスの木材加工、金属加工を中心とした教科「クラフト」では、従来の手技から、時代に不易な技術デザインプロセス思考活動重視へと、技術科内容構成の革新的かつ大幅な改革が行われた(Penfold,1988; Banks and Barlex,2014)。イギリスは、米国と同様に、社会を支える科学者とエンジニアの人材育成と、国民全体の科学と技術の学力向上の両輪が、国家の国際競争力を高めると考えた。無限の可能性を有する児童生徒の創造的発見力とイノベーション力育成と共に、時代の不易性と流行・最新性の双方に対応するため、技術の本質概念とプロセスを重視し、大胆な教育改革に取り組むことになる(Penfold, 1988: pp.181-182)。ここに、国策として、1960年代初頭には、創造性の育成を中核とした「クラフトとデザイン」教科が誕生した(Penfold, 1988: pp.181-182)。教科「クラフトとデザイン」は、技術教科固有の本質的で時代に不易な技術の学習プロセス能力を、技術デザインプロセス能力と考え、サイエンス(以下、科学)の探究プロセスや、一般的な問題解決プロセスに必要な能力等との類似性、差異性と、教科を横断する汎用的要素の解明を、教育実践研究により探究することになる。

ここで、「デザイン」概念規定について確認する。教科「クラフトとデザイン」の「デザイン」概念は、1950年代後半にドイツ・ウルム造形大学から誕生し、60年代にかけてイギリスやアメリカで発展したデザイン運動で提案された。この経緯については、吉田(1996)が詳しい。吉田によると、デザイン運動とは、経験と勘に頼っていた従来の設計・デザイン活動を、システムとして捉え、構造化した課題解決としてのアルゴリズム(機能的かつ合理的な処理手順の方法)の体系化を試みる運動であった。デザインとは、装飾・意匠等といった事物概念だけに限定せず、テクノロジーとエンジニアリング等の分野における、全ての人工物の構想・考案・企画、設計・モデリング(モデルを作り活用すること)・試験、製作、評価・改善等の各プロセスと手順の体系を含むシステム概念を意味する。デザイン概念は、事物概念と機能概念の両方を含意する。イギリスのデザイン教育では、1960年代から、名詞的用法の「デザイン」と区別し、動詞的用法を「デザインング」と表記する(吉田, 1996: p.5)。さらに、イギリスの教科「クラフトとデザイン」は、1980年代初頭に「デザインとテクノロジー(DT)」の教科名に変更になり、初等中等教育段階を一貫して必修で学習する基礎教科として位置づけられた(山崎・磯部, 印刷中 a)。DT教科内容構成として、教科固有の本質的な思考手順の体系である「創造の動機—構想設計—製作—成果の評価」という、一連の構造化された課題解決体系としての「技術デザインプロセス」が確立された。1960年代から90年代に、イギリス内外で活躍した Layton (1993) が示した、「技術デザインプロセス」、「科学プロセス」、「一般的な問題解決プロセス」の類似性と差異性を、表1-1に示す。

表1-1に示したように、技術デザインプロセスの「必要性の決定」、「必要性の記述」、「複数のアイディアの生成」、「最終アイディアの決定」では、先ず目的、機能と制約条件等を考慮し、複数

のアイデアを生成する。次に、各アイデアを、価値判断のための社会的、環境的、経済的等側面からの技術評価規準に基づき、比較考量（トレードオフ）し、採択する最終アイデアを決定する。最終アイデアは、唯一解ではなく、各種制約条件と価値判断に基づき、最も適切と考えられる解である。したがって、唯一解ではない価値判断規準を伴う技術デザインプロセスと、数学の唯一解や科学の仮説検証・反証を求める思考・判断・表現プロセスとの差異性は、明らかである。

表 1－1. 科学と技術の問題解決プロセスの違い（出典：Layton (1993) p. 46 の Table 5.1 を基に、筆者が再構成）

一般的な問題解決プロセス	科学プロセス	技術デザインプロセス
問題の理解	自然現象の思索	必要性の決定
問題の記述	問題の記述	必要性の記述
複数の解決案の思索	複数の仮説の提案	複数のアイデアの生成
解決案の最終選定	仮説の最終選定	最終アイデアの決定
問題解決活動の実施	実験	製作・制作・育成
解決結果の評価	実験結果による仮説の検証または反証	製作（制作・育成）品の評価

技術デザインプロセスと、汎用的（ジェネリック）な問題解決能力とが共進的・相乗的に働き、課題発見・解決に向けた主体的・協働的な学びであるアクティブ・ラーニングが展開される。また、技術デザインプロセスは、一定の型にはめたり、紋切型に拘泥したりするプロセスではなく、技術的課題を合理的・機能的に解決するために見通しと手順を持たせる能力である。すなわち、技術教育固有プロセスと思考・判断・表現力を伴う技術的課題解決の遂行力である。学習者や学校等の実態、学習題材等に応じて、各プロセスが行き交ったり、各プロセスを辿る順序等も多様であったりする。

1. 4 PISA2012 年調査の数学的リテラシーの数学的过程

PISA2012 年調査（国立教育政策研究所編，2013）では、「数学的リテラシー」を「様々な文脈の中で定式化し、数学を適用し、解釈する個人の能力であり、数学的に推論し、数学的な概念・手順・ツールを使って事象を記述し、説明し、予測する力を含む。これは、個人が世界において数学が果たす役割を認識し、建設的で積極的、思慮深い市民に確固たる基礎に基づく判断と決定を下す助けとなるものである」と定義している（p.86）。そして、数学的リテラシーの枠組みは、「数学的过程」、「数学的な内容」、「数学が用いられる状況」の3つの側面によって特徴付けられる（図1－2）。

図1－2に示したように、PISA2012 年調査の数学的过程では、思考と推論、論証、コミュニケーション、モデル化、問題設定と問題解決、表現、記号による式や公式を用い演算を行うこと、テクノロジーを含むツールを用いることの計8つの能力を構成概念とし、8能力を含む認知的活動は、以下の3プロセスで説明している。

「**定式化**」：数学を応用し、使う機会を特定することも含めて、提示された問題や課題を数学によって理解し、解決することができること。与えられた状況を理解し、それを数学的に処理しやすい形に変えることもその1つである。さらに数学的に構築し、表現し、変数を特定し、簡単な仮説を立てて問題を解決したり、課題に対応したりすることも含まれる。

「**適用**」：数学的に理論化し、数学的概念・手順・事実・ツールを使って数学的に問題を解決すること。これには計算をすることや、代数式や方程式、その他の数学モデルを操作することが含まれる。数学的な図表やグラフから得た情報を数学的に分析することや、数学的な表現や説明する力を発達させること、数学的なツールを使って問題を解くことなども含まれる。

「**解釈**」：数学的な解答や結果を検討し、問題の文脈の中でそれらを解釈すること。数学的な解答に判断を下し、問題の文脈に即して推論し、結果が理にかなっていて、状況の中で意味を成すかどうかを決定すること。

現実世界における問題

数学的な内容による分類: 変化と関係, 空間と形, 量, 不確実性とデータ
 数学が用いられる状況による分類: 私的, 職業的, 社会的, 科学的

数学的思考と活動

数学的概念, 知識, 技能

数学的基礎能力: 思考と推論, 論証, コミュニケーション, モデル化, 問題設定と問題解決, 表現, 記号による式や公式を用い演算を行うこと, テクノロジーを含むツールを用いること

数学的プロセス

ある状況の中での
問題

定式化

数学的な問題

評価

適用

ある状況の中での
結論

解釈

数学的な結論

図 1-2 PISA2012 年調査における数学的リテラシーの枠組みの主な特徴

(出典: 国立教育政策研究所: 生きるための知識と技能 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2012 年調査国際結果報告書, 明石書店 (2013) の p. 88 の図 2. 1. 1)

1. 5 STEM 教育の諸概念の定義

山崎 (2015) の, 昨年度の本科研報告書第 6 部, 国際技術教育学会 ITEA (現国際技術エンジニアリング教育者学会 ITEEA) (2000) のテクノロジー, エンジニアリング, 数学, 科学等の用語概念を以下に再掲する。

Technology (技術) (ITEA, 2000: p.242)

1. Human innovation in action that involves the generation of knowledge and processes to develop systems that solve problems and extend capabilities. 2. The innovation, change, or modification of the natural environment to satisfy perceived human needs and wants. (p.242).

1. 問題解決と人間の可能性を拡大するシステムを発展させる知識とプロセスの生成を含む, 人間の活動によるイノベーション。2. 認識された人間のニーズと欲求を満たすための, 自然環境に対するイノベーション, 改変, 修正。

Technological Literacy (技術リテラシー) (ITEA, 2000: p.242)

The ability to use, manage, understand, and assess technology.

技術を使用, 管理, 理解, 評価する能力。

Science (科学) (ITEA, 2000: p.241)

The study of the natural world through observation, identification, description, experimental investigation, and theoretical explanations.

観察, 問題の明確化, 記述, 実験に基づく調査, 理論的説明を通じた自然界の研究。

Mathematics (数学) (ITEA, 2000: p.239)

The science of patterns and order and the study of measurement, properties, and the relationships of quantities; using numbers and symbols.

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・関係についての研究」。

Engineer (エンジニア) (ITEA, 2000: p.238)

A person who is trained in and uses technological and scientific knowledge to solve practical problems.

実際の問題を解決するために, テクノロジーとサイエンスの知識を活用し, 専門職として研鑽

する人（下線は筆者挿入）。

Engineering（エンジニアリング）（ITEA, 2000: ITEA, 2000: p.238）

The profession of or work performed by an engineer. Engineering involves the knowledge of the mathematical and natural sciences (biological and physical) gained with judgment and creativity to develop ways to utilize the materials and forces of nature for the benefit of mankind.

エンジニアが従事する専門職または仕事（下線は筆者挿入）。エンジニアリングは、人類の利益のために、自然の素材と力を利用するための方法を開発するための判断と創造性を得る際に、数学と自然科学（生物的、物理的）の知識を活用する。

Engineering design（エンジニアリングデザイン）（ITEA, 2000: p.238）

The systematic and creative application of scientific and mathematical principles to practical ends such as the design, manufacture, and operation of efficient and economical structures, machines, processes, and systems.

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（practical ends）のための、科学及び数学原理の体系的で創造的な活用。

Design（デザイン）（ITEA, 2000: p.237）

An iterative decision-making process that produces plans by which resources are converted into products or systems that meet human needs and wants or solve problems.

人間のニーズと欲求あるいは問題解決を目的とし、資源を製品やシステムに換える際の計画を生み出すための反復的な意思決定プロセス。

Design process（デザインプロセス）（ITEA, 2000: p.237）

A systematic problem-solving strategy, which criteria and constraints, used to develop many possible solutions to solve a problem or satisfy human needs and wants and to winnow (narrow) down the possible solutions to a final choice

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（クライテリア）と制約条件を明確化しながら、対処し得る選択可能な解決アイデア策を複数生み出し、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。

前述のように、「エンジニアリング」は、人類の利益のために、自然の素材と力を利用するための方法を開発するための判断と創造性を得る際に、数学と自然科学（生物的、物理的）の知識を活用する。「エンジニアリング」は、「数学」、「自然科学」のみならず、リベラルアーツ、人文社会科学、医学、農学をはじめ、科学研究費の分科・細目の諸科学と、広範囲に関連している。

「サイエンス」、「テクノロジー」、「エンジニアリング」の関係性に関する欧米と日本の差異性については、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）作業部会報告で、上野晴樹（2006: p. 5）が指摘している（図1－3）。我が国と欧米では、異なる解釈がされている事例が多いことに十分留意する必要がある。

欧米では、「Research—Development—Design—Production—Usage & Maintenance」の軸上では、「サイエンス—テクノロジー—エンジニアリング—テクニク」で位置づけられている場合が多い。欧米では、科学、技術、エンジニアリングの関係を、以下のように解釈する場合が多い。人間は、科学研究と技術開発を活用し、専門職（エンジニアリング）に従事するエンジニアが、現実社会や日常生活で人々に利用される装置、システム、情報等をデザイン（設計・製造・処理等を含む）して、人々に利活用されて、装置・システム等がメンテナンスされる。エンジニアは、テクノロジーの光と影、リスクの程度を見極め、社会安全に対する重責を担い、高い倫理観を持ちながら社会的役割を担う。

一方、我が国では、サイエンスとテクノロジーとの中間に位置するのが、エンジニアリングである。エンジニアリングは、数学と自然科学（生物学、物理学等）の知識を活用する「学問体系」であるという解釈が多い。日本では、「基礎から応用へ」、「学問から実践へ」と位置付ける解釈が多く、「サイエンス（サイエンティスト）—エンジニアリング（エンジニア）—テクノロジー（日本では「テクノロジスト」の名称は、ほとんど用いられない）／テクニク（技能者、テクニシャン）」

という解釈が多い。また、大橋（2006）の指摘に留意したい。我が国の「工学」は、engineering に関わる学問体系に対応すると解釈されることが多い。対して、欧米の engineering は、エンジニアが従事する専門職（求められる社会的意義・役割と、専門職能も含意）、仕事そのものを指す場合が多い。

このため、欧米の STEM や STEAM 概念について、我が国で解釈や運用する際には、十分な留意が必要である。

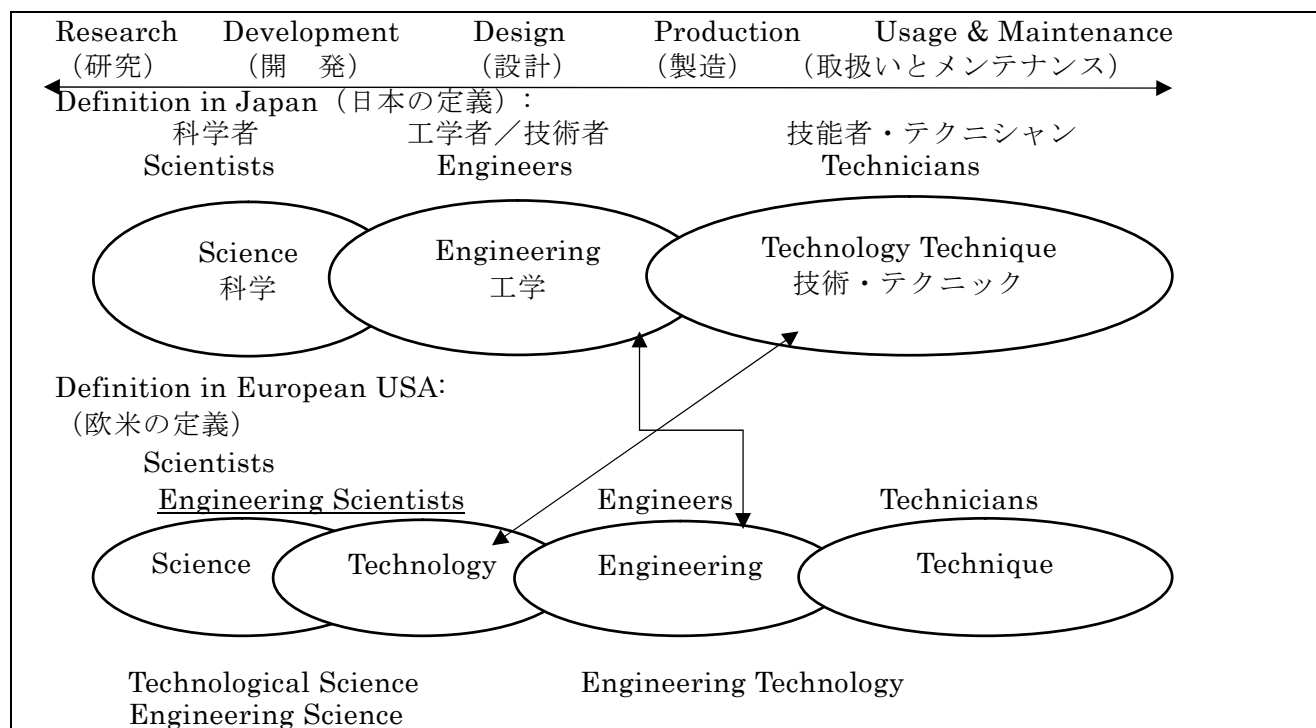


図1-3 欧米と日本の「サイエンス」「テクノロジー」「エンジニアリング」の関係の比較図[出典：上野晴樹，2006：p.5 を基に作成（ ）の和訳は筆者が挿入]

1. 6 小学校段階からの「技術」「科学」概念を用いた言語活動の充実の必要性

原田（2012）は、『技術科（筆者ら注：ここでは中学校技術分野）は、「ものづくりをする教科」という印象が強すぎることは、反面、課題である。生活に役立つ教科及び製作する楽しさに固執し、技術科は、ものづくり等を行う体験型の実習を伴う教科としての存在ばかりが際立ち、教科本来の役割や意義がわかりにくくなっている。そのため、生徒にとって楽しい教材ではあるが、中学校の普通教育で指導する意義や役割の薄い、容易なイメージの教科として評価される一面が映し出されている（p.16）。』と指摘する。

技術科の役割や意義がわかりにくい原因の1つは、教科名である「技術」がテクノロジー、テクニク、スキルの何れの意味なのか、国民全体にわかりにくい現状があるためである。「技術」の言葉の由来については、本科研の第2年次報告書（山崎，2015）に掲載したように、飯田（1995）『一語の辞典 技術』で解り易く解説がされている。同書によると、「技術」は、古くから『史記』や『和漢三才図会』など、中国や日本の古典に登場している。しかし、日本の近代以前の時代に用いられた「技術」は、「藝術」と同義語であって、むしろ後者の意味が多く用いられてきた（p.11）。「學術（Science and Art）」「技術（Mechanical Art）」「科学（Science）」の邦訳をしたのは、近代日本の夜明けに西洋文化を紹介した、哲学者の西周（1829～97）の『百学連環（1870年稿）』といわれている。飯田（1995）は、西周が「技術」を「藝術」と区別して論じ、両者とも「術（art）」であり、「学（science）」と区別した理由について、『百学連環』の以下の文章を引用している。

学と術を区別して一ツのものに譬(たと)へむには、彼処(かしこ)に一人の病人あり、軍中にて足を銃丸にて打たれしと言ふ。故に今医者を招きて療治するに、医者の人体の筋骨皮肉五臓六腑の組立を知るは学なり。さて其銃丸に打たれし足を治せんに、元より筋骨の組立はよく知る所なれば、其の銃丸を如何にして抜き取り得へきを工夫し得て、是を療治す是即ち術なり（pp.95-96）。

ドイツで活躍した、ゲッティンゲン大学教授ベックマン（Johann Beckmann, 1739～1811）が提唱した技術学（Technologie）、および technology という用語は、長く「芸学、術学、諸芸学」、ついで「工芸学」であって、1930年代から戸坂潤や三枝（さいぐさ）博音（ひろと）が先駆的に「技術学」を用いたが、戦後の1950年代からようやく一般的に「技術学」ないし「技術」とよばれるようになった。…（中略）…テクノロジーが「技術」ないし「科学技術」として定着・普及するまでには、かなり長い時代の流れを要したのである（pp.20-22）。

文部科学省 Web page で公開中の、2008年告示小学校学習指導要領英訳版では、図画工作の教科名は、Art and Handicraft である。同英訳版では、図画工作の目標と内容等に、technology の表記は見られないようである。

日本人は、日常生活において、スポーツ技術、ピアノの演奏技術、小刀で鉛筆を削る技術、リンゴの皮をむく技術、書字指導技術といった具合に、テクニクやスキルの意味で技術を用いることが多い。言語活動を重視する英語圏では、小学校の早い段階で、「技術（テクノロジー）」、「学習する知識やスキルを活用し、目的とするパフォーマンスの習得や習熟技法（テクニク）」、「課題遂行パフォーマンス（スキル）」の各用語の意味の違いを理解させた上で、各用語を適切に活用した学習活動を重視している。言語は、思考力・判断力・表現力等の知的活動の基盤のためである。

技術（テクノロジー）、技法・技巧（テクニク）、技能（スキル）をはじめ、科学（サイエンス）概念と技術（テクノロジー）概念との関係性の理解と、言語活動を通じた科学・技術概念の理解が、我が国の小学校教育の喫緊の課題になっている。文部科学省（2011：p.10）が指摘するように、科学用語や概念と共に、技術用語や概念を用いた言語活動の充実を小学校から図る必要がある。科学と技術概念は、STEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）、STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics）系教科等のみならず、教育課程全体を横断する重要概念である。したがって、学習指導要領総則等に、前述の概念の定義を明確かつ解り易く規定することを提案する。

1.7 2015年8月中教審教育課程企画特別部会論点整理で提案された育成すべき資質・能力の「三つの柱」と日本産業技術教育学会「21世紀の技術教育（改訂）」との関係

我が国の技術教育に関する最大組織である日本産業技術教育学会は、技術科で育成すべき資質・能力と共に、幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育（小学校と高校では普通教育としての技術教科が設置されていないために、「技術教育」と表記）の理念と社会的役割について、同学会内での合意形成を図るため、1992年に課題研究委員会（以下、「課題研」と表記）を発足した。課題研は、1999年に「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1-2）。

表1-2の内容構成として、日本産業技術教育学会（2013）は、「イノベーション」を、「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、経済的・社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」と解説している。また、「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」と解説している。本稿では、「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、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」と規定する。

同学会では、「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」が、外環状の各プロセスでの評価と修正を繰り返す、「技術的課題解決力」とした（図1-4、表1-3）。

図1-4、表1-3は、技術的課題解決力を育成するための方法とプロセスを示している。学習活動の展開にあたっては、発達段階に適した技術的課題達成を目的に、創造の動機から始まり設計・計画、製作・制作・育成、成果の評価の4プロセスを欠落することなく辿らせる必要がある。幼児児童生徒は、創造の動機を実現するために、目的物（情報）の機能と構造を思案し、評価と修正を繰り返しながら、社会的・環境的・経済的等の側面から必要条件と制約条件を考慮し、合理的で最適な解を導く。この方法を園児児童生徒の心身の発達水準に応じて、適時的・系統的に体験することにより、技術的課題解決力を高めていく。そして、学習した内容を実際の生活で意識的に適用す

る能力と態度を身に付ける。変化が激しく、予測が難しい未来の高度技術・情報化社会を生き抜くために、求められる「最適な解」の探究方法を獲得するようになる。

中教審家庭、技術・家庭ワーキンググループ（第1回）「配付資料8家庭、技術・家庭ワーキンググループにおける検討事項」では、「2. アクティブ・ラーニングの三つの視点（※）を踏まえた、資質・能力の育成のために重視すべき家庭、技術・家庭科の指導等の改善充実の在り方について」が掲げられている。

※ア）習得・活用・探究という学習プロセスの中で、問題発見・解決を念頭に置いた深い学びの過程が実現できているかどうか。

イ）他者との協働や外界との相互作用を通じて、自らの考えを広げ深める、対話的な学びの過程が実現できているかどうか。

ウ）子供たちが見通しを持って粘り強く取り組み、自らの学習活動を振り返って次につなげる、主体的な学びの過程が実現できているかどうか。

技術科教育では、日本産業技術教育学会（2012）の教育目標1「技術教育固有の対象と内容構成（内容知）」を本質的かつ深く理解する文脈において、技術科固有の技術的課題解決力（産技的教育目標2）と、汎用的（ジェネリック）な問題解決能力とが共に相乗的に働き、課題発見・解決に向けた主体的・協働的な学びであるアクティブ・ラーニングが展開される。また、教育目標2の技術的課題解決力は、一定の型にはめたり、紋切型に拘泥したりする指導法ではなく、課題を合理的・機能的に解決するために見通しと手順を持たせる能力であり、技術教育固有プロセスと思考・判断・表現力を伴う技術的課題解決の遂行力である。学習者や学校等の実態、学習題材等に応じて、各プロセスが行き交ったり、各プロセスを辿る順序等も多様であったりする。

技術的課題（technological project/task）解決力は、「創造の動機」、「設計・計画」、「製作・制作・育成」、「成果の評価」、「各過程の評価と修正」のプロセスで発揮されると共に、一般的・汎用的な問題（problem）解決能力が共進的・相乗的に相互作用しながら機能する。一方、一般的・汎用的な問題（problem）解決プロセスでは、技術的課題解決プロセスの前述した4過程全てを辿るのではなく、課題の文脈に依存しながら、状況に応じた問題解決のプロセスを辿る。

ところで、安東（2014）は、技術科教育の目標を、以下のように示している。（ ）の和訳は、筆者らによる加筆である。

『ものをつくる過程を通して、エネルギー資源の在り方や資源の有効利用など、科学の応用としての技術の重要性とその意義を学ぶ教育です。そして、身近な技術を適切に評価したり判断したりできる能力の育成を通して、コントロール（制御）やアセスメント（事前影響評価）、及びトレードオフ（比較考量）などを身に付けさせるテクノロジー教育の基礎と明確化した確固たる技術科教育の位置付けです（p.40）。』

トレードオフ（比較考量）とは、目的とする技術的課題を解決するために、使用目的や使用条件に即した機能と構造を考える際に、必要・制約条件と共に、社会的・環境的・経済的側面等からの課題解決の根拠となる価値判断規準を設定し、望ましさを他への影響を比較・判断することである。価値観を伴うので、価値判断規準の重みづけにより、正解が1つとは限らない。

日本産業技術教育学会（1999）は、「21世紀の技術教育」の提案理念に基づく教育実践研究を展開するために、文部科学省の技術教科調査官等（当時）の指導と、全日本中学校技術・家庭科研究会等の協力を受けて、2004～2006年度東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校と、2007～2009年度新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校で、文部科学省研究開発学校の指定を受け、小・中学校を一貫した技術教育課程開発と学習評価の研究を実施した。特に、鈴木（2013）らが指摘しているように、各教科等の重大な概念に対する本質的な問い、永続的な理解、思考力・判断力・表現力、問題（課題）解決力を育成するには、「スタンダード準拠評価」が必要である。2005年以来、一連の科研報告書において、スタンダード準拠評価は毎年のように紹介してきたが、極めて重要な評価法であるために、鈴木（2006: pp.88-89）を再掲する。クライテリオン準拠評価には、「ドメイン準拠評価」と「スタンダード準拠評価」がある。ドメイン準拠評価とは、小学校3年生で学習する漢字というように、評価対象とするドメイン（学習の範囲）を明確に定義し、「正解、誤り」といった明瞭な採点が可能なテスト問題を多数出題し、これに対する個人の解答の状況（正解数という数値）をもとに評価する方法をいう。一方、スタンダード準拠評価法では、思考力・判断力・表現力、問題（課題）解決力等を、「正解・誤り」のような方法で採点できない高次の学力と解釈し、学習者のパフォーマンスの洗練の程度を、一定の判断基準に照らして評価する方法を用いる。このスタンダードの意味は、例えばイングランドのナショナル・カリキュラム（NC）のように、5歳から16歳までの長期間における初歩的なものから高度に洗練されたものま

表 1－2 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^{（12）}）

対 象	内 容 構 成	イノベーション 発明・知的財産と 技術ガバナンス 社会安全と	
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		
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		

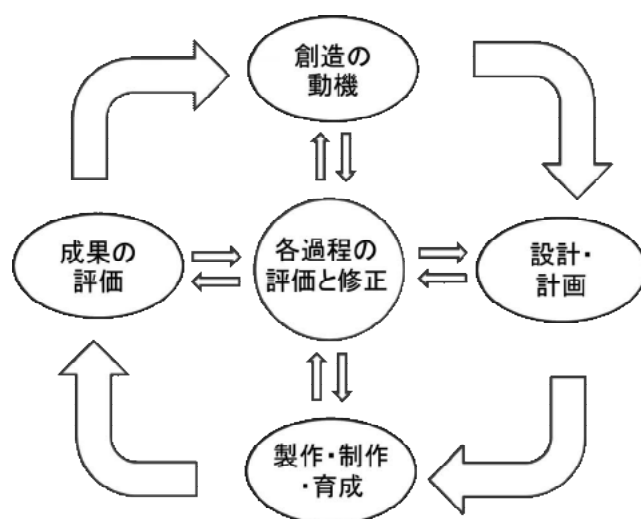


図 1－4 教育目標 2：「技術的課題解決力（スパイラル構造で次第に高度なものへ）」（出典：日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育（改訂），日本産業技術教育学会誌，Vol. 54, No. 4（別冊），p. 6 の図 2）

表 1－3 「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）

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

で、スペクトルの区分（同 NC では 8 段階の学習到達水準）である。スタンダード準拠評価では、個人の学習のレベルを、各レベルに相当する実際の学習事例（事例集、アンカー）を組み合わせた評価の判定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、ワークシート、レポート、作品等が用いられる。そこで、前述の小・中学校を一貫した技術教育課程開発と学習評価の研究では、教科の目標と内容、育成すべき学力を規定する教育課程基準の中に、スタンダード準拠法により、小学校低・中・高、中・高校の各教育段階を区分としたパフォーマンス評価で作成した。

前述の教育実践研究成果に基づき、日本産業技術教育学会、同小学校委員会の研究支援と協力を受け、磯部・山崎（2013）と大森ら（印刷中）は、日本産業技術教育学会（1999）の提案した教育目標 1 と 2 に関する、幼稚園から高等学校までを一貫した技術科のパフォーマンス学習評価規準表を取りまとめた（表 1－4～9）。また、本稿では、公教育で制度上、教科として位置づけられている中学校技術科を「技術科」と表記する。一方、普通教科として位置づけられていない小学校や高等学校の教育課程基準の現状を鑑み、幼稚園から高等学校までの園児児童生徒の心身の発達水準に沿った学習の系統性・適時性を論議する際は、「技術教育」と表記する。なお、日本産業技術教育学会 Web page で公開しているように、諸外国の多くは、小・中・高等学校を一貫した技術（テクノロジー）科教育を確立し、世界各地で教育実践が展開されている。一方、我が国の技術科教育は、中学校のわずか 3 年間のみの実践であり、世界的に異例な実施形態といえる。

1. 8 「ものづくり」と「プログラミング」で育成すべき資質能力の明確化

私たちは、日常生活で、マスメディアを通して「ものづくり」の言葉をよく聞く。ところが、小・中・高等学校教育における「ものづくり」を通じた教育（以下、「ものづくり教育」と表記）の社会的役割や意義についての理解が進んでいないのは、なぜか。一方、我が国の学校教育では、「生きる力」、「確かな学力」といった大きなテーマが強調されている。しかし、技術科に限らず、各教科等で育む資質・能力が何で、どのような役割を果たし、学校教育全体で育成しようとする資質・能力とどのような構造関係であるのかが、明確になっていないことが 1 つの原因である（山崎・磯部、印刷中 b）。そこで、現在、中央教育審議会（以下「中教審」）の次期学習指導要領改訂に向けて、生きる力や確かな学力と各教科の学力の明確化・構造化についての熱心な論議が進んでいる。

技術教育における「ものづくり」の意味について、日本産業技術教育学会（2013）は、以下のよう

に解説している。

社会の利便性向上を目的とし、人間生活、自然環境への影響に配慮して、もの（有形と無形の対象も含む）を発想・設計（制作・育成を含む）・利用・廃棄・回収・再利用する一連の過程と活動

近年、幼稚園、小学生、中学生等へのコンピュータによるプログラミングスクールが盛んになりつつある。イギリスの小学校では、2014 年から 5 歳からプログラミング教育を必修で位置づけて、子どもの心身の発達水準に沿って、16 歳までの義務教育期間全体を通して適時的・系統的に学習させている。

2011 年、アメリカのデューク大学研究者キャシー・デビットソンが語った「今の子どもたちの 65% は大学卒業時には、現在存在しない仕事に就くだろう」を紹介している。次期の学習指導要領改訂基本方針に向けての中教審論点整理（2015）では、同氏の発言と、イギリス・オックスフォード大学のマイケル・オズボーンが発言した「今後 10 年～20 年程度で、半数近くの仕事が自動化される可能性が高い」を紹介している。さらに、2045 年は人工知能が人類を超える「シンギュラリティ」に到達するといった指摘を紹介している。

プログラミングは、正解が 1 つとは限らず、自分や他者が願う課題解決のためのアイディアを複数考案し、状況に柔軟に対応し、比較・判断し、試行錯誤の中で解決策を見いだしていく。モノとモノがインターネットでつながる（Internet of Things）時代に、将来の可能性を広げるために、プログラミング教育が脚光を浴びている。

イングランドのナショナルカリキュラムでは、2014 年 9 月から、5 歳～16 歳までを一貫した必修教科「コンピューティング」で、プログラミング学習を重視している。エストニアをはじめ、世界各国・地域では、初等教育段階からのプログラミング学習を導入する実践が近年急増している。プログラミング学習では、「Computational thinking（コンピュータを活用した技術創造デザイン思考）」といった、技術的課題解決力を重視している。一方、我が国における小学校段階のプログラミング学習については賛否両論がある。我が国では、民間企業や NPO 法人等が学習塾などのノンフォーマル教育として、プログラミング学習を推進したり、学校と協働して教科等のフォーマル教育のプログラミング学習を支援したりする試みも増えてきている。

表 1－4. 教育目標 1「材料と加工技術」教育課程基準表（出典：磯部・山崎，2013）

		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ることができる。	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。
	学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	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。	・身近にある製作品に触れ、自分の作りたいものを考案すること。	・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。	・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。	・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。	・構造の強度や安全性、経済面等を考慮し、他分野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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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）に基づく必要条件を考慮して、計画・修正・更新すること。
		ウ（設計） ・自分のアイディアを簡単な絵で描き表すこと。	・自分のアイディ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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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、製作すること。	・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。	・材料や加工目的に適した工具を選択し、計画に基づいて日常生活で活用できる製品を製作すること。	・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、製作品の部品加工や仕上げを行うこと。	・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。

表 1-5. 教育目標 1「エネルギー変換技術」教育課程基準表（出典：磯部・山崎，2013）

		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・製作活動を通して、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。
	学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	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。	・おもちゃが動く仕組みについて、興味や関心を持つこと。	・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。	・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変換技術の仕組みを知り、循環型社会に向けた改善策を選択すること。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。	・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。

表 1－6. 教育目標 1「生物育成技術」教育課程基準表（出典：磯部・山崎，2013）

		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
生物育成技術	目 標	身近な動植物に親しみをもち接し、生命の尊さに気付き、いたわり、大切にすることができる。	自分の思いや願いを込めた栽培や飼育の目的をもちながら、簡単な栽培・飼育計画を立てて実践し、収穫や鑑賞などを通して、育成生物を生活で利用することができる。	仲間や集団とともに栽培や飼育の目的をもちながら、栽培や飼育計画を立て、作物や動物の生育管理作業を行い、育成した生物を生活で利用することができる。	栽培や飼育の目的を社会生活に広げ、栽培植物や飼育動物の種類に応じて育成計画を作成し、生物育成に関する技術を適切に活用することができる。	持続可能な社会を支える視点から、栽培や飼育計画の工夫・創造と、安全と環境に配慮し、工夫・創造しながら実践し、生物育成に関する技術を適切に活用することができる。	持続可能な社会を支える視点から、生物の育成に関する技術と、バイオテクノロジーが、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、生物育成に関する技術を適切に活用することができる。
	学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	ア（生物育種技術） ・園児の身近な野菜や草花などを取り上げて、生物の育成を楽しむこと。	ア（生物育種技術） ・例えば、「食べる」「遊ぶなどの生活に使うこと」「草花を楽しむこと」など、目標をもって栽培すること。	ア（生物育種技術） ・栽培植物には、目的に応じていろいろな種類があり、野生植物と、人が育て管理する栽培植物との違いを知ること。	ア（生物育種技術） ・目的に応じて、作物の種類や品種を選ぶこと。	ア（生物育種技術） ・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を適切に選択すること。	ア（生物育種技術） ・地域品種、雑種強勢品種、胚培養品種、遺伝子を扱った育種技術の原理と有用性について理解し、社会的、環境的及び経済的側面などを考慮して、栽培する作物の種類や品種を適切に選択すること。
		イ（生物育成計画） ・生物育成の活動を、絵日記などにして、先生、友だち、保護者等に伝え合う喜びを味わうこと。	イ（生物育成計画） ・簡単な栽培計画を立てて、栽培日記を作成しながら栽培すること。	イ（生物育成計画） ・栽培ごよみにあわせて栽培計画を立て、観察や仕事したことを栽培日記に記録すること。	イ（生物育成計画） ・これまでの経験を活かしながら栽培計画の作成を工夫し、栽培日記などに工夫したことなどを記録すること。	イ（生物育成計画） ・持続可能な社会を支えるという視点から、栽培作物の性質や環境条件に配慮した栽培計画を立てて、栽培すること。	イ（生物育成計画） ・生物育成計画に関わる技術が社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、栽培作物の性質や環境条件に配慮して栽培計画を立て、工夫・創造しながら合目的に栽培すること。
		ウ（土壌肥料技術） ・土にふれて、活動の喜びを味わうこと。	ウ（土壌肥料技術） ・肥料を与えること。	ウ（土壌肥料技術） ・生ゴミや落ち葉などから、たい肥をつくること。	ウ（土壌肥料技術） ・栽培する作物の種類に応じて、適切な土づくりをすること。肥料を適切に与えること。	ウ（土壌肥料技術） ・環境保全や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づくりができること。肥料の性質を理解し、安全と環境に配慮しながら肥料を適切に与えること。	ウ（土壌肥料技術） ・土壌肥料や土壌根圏有用微生物利用に関する技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、生物の育成に適切な土壌環境を作ること。
		エ（生物育成管理技術） ・先生や保護者などといったしよに、苗を植えたり、野菜を収穫したりして、活動の楽しさを味わうこと。	エ（生物育成管理技術） ・必要な道具を活用しながら、種まき、植え付け、水やり、草取り、支柱立てなどの簡単な管理作業をすること。	エ（生物育成管理技術） ・必要な道具を活用しながら、種まき、植え付け、水やり、草取り、支柱立てなどの仕事をすること。簡単な道具の手入れをすること。	エ（生物育成管理技術） ・摘芽・摘芯や株分け・挿し木などの栽培技術を活用すること。	エ（生物育成管理技術） ・環境保全に配慮しながら、栽培技術を適切に活用し、栽培に必要な管理作業をすること。	エ（生物育成管理技術） ・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、生物の育成管理を行うこと。
		オ（育成生物保護技術） ・観察を通して、作物の葉や茎などの虫を見つけ、身近な環境に親しむこと。	オ（育成生物保護技術） ・観察を通して、虫の食害などで穴が開いた葉や、傷んだ葉などを見つけること。	オ（育成生物保護技術） ・栽培する植物が、病気に罹ったか、虫に食べられないように、簡単な予防や防除をすること。	オ（育成生物保護技術） ・病虫害防除技術を適切に活用しながら、病虫害の予防や防除をすること。	オ（育成生物保護技術） ・安全と環境に配慮しながら、病虫害の防除をすること。	オ（育成生物保護技術） ・農薬使用による病虫害防除等の育成生物保護技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、生物の育成管理を行うこと。

表 1-7. 教育目標 1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表（出典：磯部・山崎，2013）※

		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
情報・システム・制御技術	目 標	コンピュータの基本的な操作を通じて、コンピュータの面白さに気付くことができる。	コンピュータに興味を持ち、親しみながらコンピュータを操作できる。	調べたい事柄について、コンピュータを使って情報を収集し、自分の学習に役立てようとするすることができる。	調べたい事柄について、コンピュータを使い、モラルを守りながら情報の収集・整理・発信し、自分の学習に役立てることができる。	コンピュータを快適に使用するために、情報が社会や生活に及ぼす影響を与えながら、情報を収集・整理・発信し、情報を工夫・創造しながら利用することで自分の生活の向上に役立て、それらの技術を評価することができる。	持続可能な社会の中で、情報システム・制御に関する技術が果たしている役割や、社会・環境・経済等に及ぼしている影響を理解し、情報モラルの必要性や情報に対する責任について考え、情報システム・制御に関する技術を適切に活用することができる。
	学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	ア（コンピュータとシステムの扱い） ・コンピュータを起動・終了すること。	・デジタルカメラを使って、目的に合った写真を撮影したり、画像を収集したりすること（例：人物を中心に置いて撮影したり、ピントを合わせて撮影したりすること）。	・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をコンピュータに取り込み、印刷したり、データを保存したりすること。	・スキャナやデジタルカメラ、プリンタなどの周辺機器の役割を説明すると共に、デジタルカメラやスキャナからの画像をコンピュータに取り込み、他のソフトで利用すること。	・ハードウェア、ソフトウェアの種類とシステムを説明すること。 ・デジタル化された情報が統合的に扱えることを知ること。 ・静止画や動画をコンピュータに取り込み、加工・編集すること。	・情報のデジタル化の優位性を説明できること。 ・コンピュータを利用して、二つの画像を合成したり、動画の編集をしたりすること。
					・コンピュータの基本的な構成と役割を知ること。	・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、それぞれの役割を知ること。	・コンピュータ内での情報処理の仕組みを説明すること。
		イ（ネットワーク利用） ・先生と一緒に、デジタルデータ集やインターネット図鑑などを見ること。	・先生と一緒にインターネットを使って、情報を調べること。	・先生が準備したリンク集や、児童用の検索エンジンなどを用いて、情報を収集すること。 ・ネットワーク上のルールやエチケットを理解しながら、電子メールを送受信すること。	・児童用の検索エンジンで、情報を検索したり、集めた情報の信頼性を確かめるために複数の web ページを参照したりすること。 ・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 ページにより、情報発信・収集ができること。	・複数の検索エンジンを用いて、キーワードを自分で考えて、検索すること。 ・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、必要な情報を取捨選択して収集すること。	・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情報セキュリティを確保すること。 ・Web ページで得た情報を、信頼性・信頼性の観点から評価すること。 ・著作権などの知的財産権の保護、発信した情報に対する責任及び、情報モラルに配慮した情報通信ネットワークを活用すること。

表 1-7 (続き). 教育目標 1 「情報・システム・制御技術」教育課程基準表 (出典: 磯部・山崎, 2013) ※

情報・システム・制御技術	学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マウスの操作に慣れること (例: 自分の顔を描く, 動きのある様子を描く)。 ・見付けたことや思ったことなどを絵に表すこと。 	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マウスを用いて, 文字の入力や簡単な作図をすること。 ・絵や短い文章で, 簡単なデジタル作品を制作し, 発表すること。 	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マウスを用いた作図や, キーボードからの文字入力で, 簡単なデジタル作品を構想・制作すること。 ・制作した作品を使って, 相手に分かりやすく伝達すること。 	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メディアの素材の特徴と利用方法や, 適切なソフトウェアを選択し, 多様なメディアを複合した発表作品を構想・設計・制作して, 相手に分かりやすく伝達すること。 	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デジタル作品の使用目的や使用条件を明確にし, 社会的, 環境的及び経済的側面などからメディアの素材の特徴と利用方法などを比較・検討した上でデジタル作品の設計と制作ができること。 ・多様なメディアを複合して設計・制作した作品を他者に発信し, 効果を自己評価・相互評価すること。 	<p>ウ (デジタル作品の設計と制作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・著作権などの知的財産権の保護, 発信した情報に対する責任, 及び情報モラルに配慮し, デジタル作品を設計・制作, 情報の表現・伝達をして, 作品の効果を自己評価・相互評価すること。
		<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遊具用ロボット (ブロックおもちゃなど) を使って, 先生と一緒に組み立てたり, 動かしたりしたりして遊ぶこと。 	<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分の思いや願いを込めた動作の実現を学習課題として, 教材用ロボットを組み立てて, モータの回転の時間や速さなどを変える易しいプログラムの作成で, ロボットの動きを変えられること。 	<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータを活用し, 課題解決するために, 処理手順を考える必要性に気付くこと。 ・教材用ロボットを組み立てて, 目的とする動作を実現する課題を達成するために, タイル型のプログラムを作成するために, 順次・条件分岐・反復の情報処理の手順を活用すること。 	<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・教材用ロボットを使って, 課題の目的を児童が主体的に設定し, 4, 5 人の班を構成して, 仲間と協力し簡単なロボットの構想・設計・製作と, 制御プログラムの作成・工夫で, 課題を解決すること。 ・プログラムを効率良く記述し, 誤りを最小限にとどめる設計方法論として, 構造化プログラミングがあり, 処理手順は, 順次・条件分岐・反復の組み合わせの記述を知ること。 ・処理手順を視覚的に明確化するために, 簡単なフローチャートを作成できること。 	<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータを用いた計測・制御システムの構成と働きを知り, 目的とする技術課題を解決するために, 情報処理の手順を考えた, 計測・制御プログラムを作成すること。 ・プログラミング言語 (少なくとも, 一つはテキスト言語) を用いて, コンピュータを活用して, 問題解決すること。 ・計測・制御の目的や条件を明確にし, 社会的, 環境的及び経済的側面などから情報処理の手順を変更した場合の効果を比較・検討したプログラムの作成ができること。 	<p>エ (計測・制御とシステム構成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テキスト型プログラミング言語を用いて, 問題をシステムとしてとらえ, 構造化して問題解決すること。 ・分類や検索など, 主たるアルゴリズム (処理手順) が複数あることを理解し, それらのアルゴリズムを比較・検討・評価すること。 ・問題解決の処理を自動化するアルゴリズムを構想し, 計算量や計算可能性の概念を理解しつつ, アルゴリズムの実用性を判断できること。 ・モデル化とシミュレーションの概念を理解し, 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・評価を行うこと。

※下線は, 磯部・山崎 (2013) の教育目標 1 「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」を修正し再構成した部分である (出典: 大森ら, 印刷中)

表 1－8 磯部・山崎（2013：p.340）の教育目標 2－1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」
教育課程基準表を一部修正し再構成した表※

	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
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に表わし、製作・制作・育成を楽しむことができる。	発想に基づく作品を簡単な絵図に表し、必要な材料や手順を考え、技術のものづくり（製作・制作・育成を含む）に取り組むことができる。	発想や発明に関心を持ち、目的の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・育成過程や活動に生かすことができる。	技術創造に関心を持ち、様々な必要条件を考慮し、設計から製作（制作・育成）までの手順や方法を考え、製作（制作・育成）後、自らの活動を評価することができる。	技術創造を目的とし、様々な必要条件を考慮し、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）し、その評価・改善を行うことができる。	技術創造や工夫を重視し、様々な必要条件と制約条件を考慮した比較考量と技術評価から、持続可能な社会を支えるために必要な製品を設計、工夫、提案、製作、評価、改善し、学習過程を生涯学習能力として活用することができる。
学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価	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。	ア（課題の設定） ・製作・制作・育成したい理由を述べること。	ア（課題の設定） ・製作・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。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を意識して、取り組むこと。	ア（課題の設定） ・製作・制作・育成する目的・動機を、便利さ、リスク、生活への影響などを考えて、明確にすること。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、簡単な図表で表現すること。	ア（課題の設定） ・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明確にし、課題に取り組むこと。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表で表現すること。	ア（課題の設定） ・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、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明確にし、課題に取り組むこと。 ・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・他者評価により、手順や工程を改善すること。
	イ（設計・計画） ・自分の作りたい作品の完成図を、簡単な絵で表現すること。	イ（設計・計画） ・作品の見本から、使われている材料や使用した道具について考えること。 ・自分の製作・制作・育成したい作品の発想・アイディアを、簡単な絵日記等で描けること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイディアを、簡単な構想図と部品図、絵図などで表現すること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイディアを、簡単な構想図と部品図、絵図、育成計画表などで表現し、使用する材料や道具、工夫点などを表現すること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイディアを、構想図、第三角法による正投影図、フローチャート、育成計画表等で表現すること。 ・自ら提案する作品について、実物または見本製作でモデリングし、具体的な工夫点を示すこと。 ・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すること。	イ（設計・計画） ・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。 ・機能や構造などを要素・要因に分解し、要素間の構造を明確にする。模型や試作などのモデリングにより、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。
	ウ（製作・制作・育成） ・先生や仲間と一緒に、各活動内容と手順を確認しながら進めること。	ウ（製作・制作・育成） ・課題を達成するために必要な、一つひとつの活動内容を知り、順番に製作（制作・育成）をすすめていくこと。 ・班やグループを通して、協力して製作・制作・育成活動すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品を完成させるために、どのような順番で各活動を行えばよいか、見通しをもつこと。 ・友達と相談しながら製作・制作・育成すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品づくりの経験を基に、自ら各活動手順や工程について見通しをもち、計画をたてること。 ・作品を説明し、工夫点について意見を聞き、互いの情報を共有すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品づくりの経験に基づき、創造・工夫を取り入れた手順・工程を立てること。 ・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。	ウ（製作・制作・育成） ・持続的発展が可能な社会を支えるという視点から、技術を創造・活用するための実践・評価・改善を行うこと。 ・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、設計図や手順・工程を変更したり、新たな方策を導入したりすること。
	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。	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。	エ（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。	エ（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。	エ（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。

※磯部・山崎（2013）に基づき、下線部の内容を加除修正した。

表 1－9. 磯部・山崎（2013：p.340）の教育目標 2－2「技術の適切な評価・活用能力のスタンダード」教育課程基準表

		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ものづくり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ものづくり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ものづくり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する生涯学習能力を育むことができる。
	学習 範 囲 と 各 教 育 段 階 の パ フ ォ ー マ ン ス 評 価	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を楽しむこと。 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。	ア（技術の意義、必要性） ・創造と工夫を活かした技術のものづくりの楽しさを知ること。 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、クラスの仲間とふりかえり、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。	ア（技術の意義、必要性） ・ものづくりに技術が必要な理由について、技術の製作・制作・育成活動を通して考えること。 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。	ア（技術の意義、必要性） ・自らのものづくりで行う技術創造・工夫について、他者に説明すること。 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。 ・技術の評価基準（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で話し合い、次の活動	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。 イ（技術評価） ・技術課題には、価格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、トレード・オフが伴うことを理解すること。 ・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。	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。 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（共治）に基づく持続可能な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

				学習範囲と各教育段階のパフォーマンス評価に生かすこと。		定すること。
	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） ・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た判断・処理すること。	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） ・地域の技術のものを、技術の調べる、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。

日本産業技術教育学会（2012）「21世紀の技術教育（改訂）」の教育目標1「情報・システム・制御技術」に基づく技術教育の学習目標、学習範囲とパフォーマンス評価表の「ウ（デジタル作品の設計と制作）」と、「エ（計測・制御とシステム構成）」は、表1-7に示した。「情報に関する技術」の「デジタル作品の設計と制作」では、「構想－設計・計画－素材の準備・加工－素材の統合－制作品の評価・修正－制作品の表現・発信」を辿る。「情報処理の手順を用いたプログラムの作成」では、「計測・制御のためのプログラムの仕様決定－プログラム設計－プログラムのコーディング－プログラムのデバック－プログラムの実行－成果の評価－計測・制御のためのプログラムの活用」のプロセスを辿る。

一方、脳科学者の茂木（2015）は、「プログラミング教育の前に立ちほだかる受験の壁」を指摘している。受験の壁に関しては、国民の多数が課題として受け止めていると思われる。中教審では、高大接続の充実を図るために、高等学校基礎学力テスト（仮称）と大学入学希望者学力評価テスト（仮称）の検討を進めている。大学入学希望者学力評価テスト（仮称）では、特に、自ら問題を発見し、答えのない問題に答えを見いだしていくために必要な諸能力等、「思考力・判断力・表現力」を評価する作問をすることが検討されている。こうした作問の意図は、ものづくりやデジタルなものづくりを通じた技術的課題解決の工夫・創造力や、思考力・判断力・表現力育成に通じるものがある。

1. 9 おわりに 本研究で残された課題と提案

本研究で残された課題は、多岐に渡り、山積状況である。課題点は何かを凝縮して表現すると、国際技術教育学会：ITEA（現国際技術エンジニア教育者学会：ITEEA）（2003）が刊行したような、STEM系教科の相互連携と相乗効果に基づく、「学習評価(student assessment)スタンダード」、「専門職能（professional Development）スタンダード」、「学校教員のためのプログラム（program）スタンダード」を、「日本産業技術教育学会等の技術・情報教育学術組織」、「日本教育大学協会全国技術教育部門」、「全日本中学校技術・家庭科研究会等の教員専門職能発達組織」が連携して、喫緊に作成し共有化する必要があることにまとめられる。ITEA（2003）の3つのスタンダードの意義と解説については、山崎ら（2011）らの先行研究がある。先行研究で述べたように、「学習評価スタンダード」は、正誤評価を中心とした「ドメイン準拠学習評価法」ではなく、初等中等教育段階を渡るスペクトル状の高次学力（教科の文脈で育む思考力・判断力・表現力等）測定は、「スタンダード準拠学習評価（鈴木，2013）」を主として採用している。なお、イギリス・オーストラリア・ニュージーランド等では、「スタンダード準拠評価」と呼称する。他方、アメリカでは、スタンダード準拠評価のような評価法は、「ベンチマーク」、「ルーブリック」と称することが多い。さらに、アメリカで用いられる「ルーブリック」は、初等中等教育期間全体というよりも、特定の課題遂行に焦点化した複数段階の尺度とパフォーマンス評価記述語を伴う評価場面で用いられることが多く、留意が必要である。「専門職能スタンダード」は、現行の学習指導要領だけに対応した専門職能発達ではなく、現在我が国が検討中の、教員養成系・教育系大学、国地方教育団体等の教育行政組織、全日本中学校技術・家庭科研究会のような学校教員専門職能発達組織が連携し、共有軸として活用するスタンダードである。「学校教員のためのプログラム（program）スタンダード」とは、学校教員がSTEM系教科等他教科等及び異校種間の連携強化を図るカリキュラム・マネジメントの指針となるスタンダードである。

前述の課題を、下位課題に大別すると、大きく3つに集約できる。

第1の下位課題は、思考力・判断力・表現力等、技術科の文脈で特に育成が期待される「技術的課題解決力」など、高次の学力を育み測定するための「スタンダード準拠学習評価」への対応である。これは、2015年から急ピッチで進行している「高大接続システム改革会議」の論議と、強く関連している課題である。中教審では、高大接続の充実を図るために、高等学校基礎学力テスト（仮称）と大学入学希望者学力評価テスト（仮称）の検討を進めている。ものづくりやプログラミング等で求められる「技術的課題解決力」や、論理的思考力・判断力・表現力のように、自ら問題を発見・課題化し、制約条件と価値判断規準を考慮した最適解を見出していくのに必要な学習能力が作問される。技術的課題解決力の重要な評価観点として、中学校技術科では、「工夫・創造力」、高校教科情報では、「思考・判断・表現力」等がある。こうした高次の学習能力に関して、発達水準に沿った各校種・学年段階を踏まえた学習到達目標と評価規準、評価方法、学習到達度の公開と説明責任システムの確立が喫緊の課題となっている。高次の学習能力は、従来のように各学年内で教える知識・スキルを、短期間に○×で評価するだけでは育成は難しい。幼稚園から高等学校までを一貫した長期的な期間で、個人差や個性を考慮した評価システムを構築する必要がある。この先行研究は、前述したように、2004年度～2006年度文部科学省研究開発学校の指定を受けた東京都大田区立矢口小学校・同安方中学校・同蒲田中学校、2007年度～2009年度同指定を受けた新潟県三条市立長長沢小学校・同荒沢小学校・同下田中学校の小・中学校を一貫した新教科「技術」教育課程開発と実践研究による提案がある。前述校は、日本産業技術教育学会「21世紀の技術教育」を教育課程基準として採用している。さらに、前述の教育実践研究の成果をエビデンスとする、磯部・山崎（2013）の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育のパフォーマンス評価規準表の提案がある。

第1の下位課題の実践研究による推進策として、全日本中学校技術・家庭科研究会の「創造ものづくり教育フェア」と、全日中全国／各ブロックの年次研究大会等との協働により、学習成果物の評価だけでなく、技術的課題解決遂行のプロセスについて評価するシステムの提案が有効であろう。技術科教員の実践的指導力と学習指導評価力に関する専門職能の継続的発達に繋がる。技術科教員は、保護者や社会全体に対し、前述の評価データに基づき、技術科の学習到達状況、技術教育の社会的役割と意義について、説明責任を伴って伝えることができる専門職能発達を一層充実できる。さらに、全日中の全国技術・家庭科教育課程実施状況調査システムの活用等で、特に技術的課題解決力や工夫・創造能力の評価規準と判定基準のスタンダード化と、学習状況の説明責任の確立、数値化しにくい学習者の成績情報を、高校や大学等の進学先に提供するシステムの実践的研究が求められている（全日本中学校技術・家庭科研究会，2013；同，2014；同，2015）。

第2の下位課題は、中学校技術科と、小・中学校理科のものづくりで育む資質・能力と学習評価法を明確にした上で、図画工作科との連携と、小学校教科におけるプログラミング学習の導入であ

る。文部科学省（2008a）小学校学習指導要領理科では、3学年で3種類以上、4～6学年の各学年で2種類以上のものづくりを行うことが定められた（表1－10）。文部科学省（2008）中学校学習指導要領理科では、指導計画の作成と内容の取扱いの「ものづくりの推進」として、第1分野(1)、(3)、(4)の3単元で、ものづくり活動が例示された（表1－10）。

表1－10. 2008年告示小・中学校学習指導要領解説理科編のものづくりの例示

校種学年	単元番号と学習内容	ものづくりの例示
小3 3種類以上	(1)物と重さの関係の活用	てんびんばかり
	(2)風やゴムの働きの活用	風やゴムの力で動く自動車や風車
	(4)磁石の性質の活用	極の働きや性質を使って動く自動車や船
小4 2種類以上	(1)空気や水の性質の活用	空気でっぽう、水でっぽう
	(2)物の温まり方の活用	ソーラーバルーン、体積変化を使用した温度計
	(3)電気の働きの活用	乾電池や光電池などを用いた自動車やメリーゴーランド
小5 2種類以上	(2)振り子の運動の規則性の活用	振り子の周期を変える観点から、簡易メトロノーム
	(3)電流の働きの利用	電磁石の強さを変えるという観点から、モーター、クレーン
小6 2種類以上	(3)てこの規則性の活用	てこやてんびんを利用したばかり
	(4)電気の働きの活用	風力発電や蓄電器を利用した自動車
中学校	(1)身近な物理現象	簡単なカメラ、楽器
	(3)電流とその利用	簡単なモーター
	(4)科学変化と原子・分子	カイロ

（出典：文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編（2008a）同：中学校学習指導要領理科編（2008b））

理科では、『ものづくりは、科学的な原理や法則について実感を伴った理解を促すものとして効果的であり、学習内容と日常生活や社会との関連を図る上でも有効である（文部科学省，2008b: p.99）』と明記されている。筆者らは、現行学習指導要領理科でのものづくり活動の実施状況調査に関する報告書や研究論文等について、理科教育学を専門とする研究者と協同で検索中である。ところが、公表された報告等を管見の限り検索できておらず、本研究の残された課題となった。関係分野の研究者との私信による記述で恐縮であるが、小学校では、理科担当教員のものづくり教育の経験不足、中学校では、ものづくり活動時間よりも、高校受験に出題されやすい学習事項に時間を重点化する実態があるという。また、小学校では、理科において本章図1－4と表1－3で示した「技術的課題解決力」を育成していると指摘する教育研究者・関係者がいる。しかし、20年前以上の報告になるが、1992年のイギリスのスコットランド教育省が実施した、我が国の小学校理科の授業参観報告書を以下に紹介したい。同書では、我が国の小学校の授業研究力と実践的指導力の高さを絶賛した上で、実践上の課題点として、「日本の小学校では、イングランドやスコットランドの技術教科で重視されている『技術的課題解決力』の学習指導は、ほとんどないようである。（Although the work gave little scope for teaching the processes of design as in the English or Scottish technology curriculum）と意識」（Department for Education, 1992: p.13）と指摘している。

第3の下位課題は、小学校段階における「ものづくり」や「プログラミング」に関わる教育目標、育む資質能力、教科内容を、「テクノロジー」を学習する教科として学習指導要領に盛り込むことである。我が国における技術（テクノロジー）、技法・技巧（テクニク）、技能（スキル）をはじめ、科学（サイエンス）概念と技術（テクノロジー）概念との関係性の理解と、言語活動を通した科学・技術概念の理解が、我が国の小学校教育の喫緊の課題になっていることについて論じる。STEM系の「転移可能な概念（Wiggins and MacTighe, 2005: p.352; 西岡, 2012: p.404等）」を初等中等教育で学習することについては、従来から筆者らが提案していることである。

本章のはしがきで述べたように、文部省（当時）や日本学術会議等で、1970年代からの学校教科の再編・統合等を含めた将来の教科等の構成の在り方についての議論の際に、小学校図画工作の工作分野を理科に盛り込んだり、中学校理科と技術科を統合し新教科を設置したりする案などが話題になった。我が国の小学1年生は、1955年度では約250万人であったが、2015年度は約108万人と、1955年度の約40%まで減少した（総務省統計局 URL）。年少人口（0～14歳）は、2010年の1,684万人に対して30年後の2040年には、1,073万人と約2/3まで減少し、50年後の2060年には半分以上になると予測されている（国立社会保障・人口問題研究所 URL）。屋敷（2014）らが指摘するように、今後、年少人口減少がさらに進むために、施設一体型の小・中学校が一層増加す

ることが予想される。

一方、我が国の学校では、国の教員定数法に基づくために、現在、小・中学校で教科授業時数の少ない音楽科、図画工作科・美術科、技術科、家庭科の専科教員の不足は、極めて深刻である。免許外教員や複数校兼務で前述の教科を指導している事例も多い。前述教科の教員専門職能発達に重要な役割と機能を果たしてきた各地区・各都道府県単位の研究会組織の運営等の維持が、近年困難な状況になってきている。さらに、前述教科の新規採用教員数もゼロないしは、1、2名程度の県等も多い。今後、小・中学校統廃合が進む中で、特に小・中学校一貫していない技術科や、小学校低・中学年で教科がない家庭科をはじめ、音楽、図画工作・美術の教育課程の充実と時数増加が求められる。

各教科等における「総合的学習」の推進と、課題探究活動の一層の充実の重要性は、いうまでもない。しかし、「総合的な学習の時間」については、育成すべき能力目標、内容、学習評価規準の国家基準が具体的に定められておらず、各学校に委ねられているために、当初の趣旨・理念が必ずしも十分に達成されていない状況も見られる（文部科学省、2008c）。そこで、音楽科、図画工作科・美術科、技術科、家庭科の授業時数を回復すると共に、各教科における「総合的学習」の機能充実を図り、学校教育課程全体のカリキュラム・マネジメントを向上する方策も考えられる。

第1著者は、イギリス・スコットランドでの在外研究経験を有するが、現地の教育課程編成では、「各教科の時数と内容のバランス（MacClelland, 1992: p.3）」が鍵語である。イギリスの中等学校では、教科担任制が原則である。教科「Design and Technology (DT)」では、各学校3～5人程度のDT専科教員が配置されている事例が一般的である。各教科の責任者として、教科主任（head of department）が置かれる（Design and Technology Education Association, 2007）。DTとコンピューティングでは、テクニシャン（technician）を通常配置する。1996年度及び2002年度イングランド中等教育課程及び教職員調査結果によると、教科DTの第7～11学年における授業時数の回答校平均は、日本の中学校技術・家庭科技術分野の約2～3倍の授業時数であった（Department for Education and Skills, 2003）。

イギリスの教育課程に限らず、各国では、専門職としての学校教員の勤務校内外の職能発達研修の条件整備を念頭に、各教科の内容と時数のバランスを重視していることを指摘し、本章の結びとしたい。

謝 辞

第1章5節（1.5）の「STEM教育の鍵概念の規定」で、数学科教育に関連する訳語は、埼玉大学教育学部二宮裕之教授（数学科教育学）から、科学教育に関連する訳語は、宇都宮大学教育学部人見久城教授（理科教育学）から、有益な助言と校閲をいただいた。inquiry概念（詳細は第7章で論述）と、科学教育と技術教育の各教科固有性と架橋課題については、宮崎大学教育文化学部中山迅教授（理科教育学）から、貴重な情報交換等の機会をいただいた。3氏に深厚なる謝意を表する。

2004～2006年度東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校と、2007～2009年度新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校は、文部科学省研究開発学校の指定を受け、同省の指導の下で、日本産業技術教育学会、同学会小学校委員会、全日本中学校技術・家庭科研究会の研究支援を受けて行われた際に、前述校は、磯部・山崎（2013）を教育課程基準の参照基準として活用・実践した。磯部・山崎（2013）と大森ら（印刷中）は、前述校の実践成果を基に論文作成された。実践データを提供してくださった前述の関係する国・地方教育行政機関と前述校関係各位と共に、研究へのご理解とご協力いただいた関係各位（何れも当時）に深厚なる謝意を表する。

引用文献

※本章におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2015年12月26日

- (1) 安東茂樹：『技術科教育はなぜ必要かー人を育て文化を築く「ものづくり」ー』、竹谷ブックレット（2014）
- (2) Banks, F. and Barlex, D.: Teaching STEM in the Secondary School, Routledge (2014) ISBN 978-0-415-67531-4
- (3) 中央教育審議会家庭、技術・家庭ワーキンググループ（第1回）「配付資料8家庭、技術・家庭ワーキンググループにおける検討事項」2015年11月30日
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/065/siryo/attach/1364918.htm

- (4) 中央教育審議会教育課程部会平成 27 年 11 月 2 日総則・評価特別部会資料 8 : p.28, (2015)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/061/siryo/1363091.htm
- (5) 中央教育審議会教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）（2015 年 8 月 26 日）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm
- (6) Department for Education: Teaching and learning in Japanese elementary schools, HMSO (1992) ISBN 0-11-270802-1
- (7) Department for Education and Skills : Secondary Schools Curriculum and Staffing Survey: November 2002 (Provisional) (2003)
<http://www.dfes.gov.uk/rsgateway/DB/SFR/s000413/sfr25-2003.pdf>
- (8) Design and Technology Education Association: Survey of provision for Design and Technology in Schools in England and Wales (1996-2006), 2007.
- (9) 原田信一：「第 I 章技術科教育がめざすもの」, pp.13-27, 安東茂樹【監修】原田信一・藤川聡【著】『技術科教材論（所収）』, 竹谷出版（2012）
- (10) 飯田賢一：『一語の辞典 技術』, 三省堂（1995）
- (11) 磯部征尊・山崎貞登（2013）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, Vol.32, pp.331-344
- (12) ITEA(Internal Technology Education Association): Standards for Technological Literacy -Content for the Study of Technology-, ITEA: Reston, VA, USA, 248p. (2000) ISBN: 1-887101-02-0, 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 技術教育からの改革』, 教育開発研究所, 302p. (2002)
- (13) ITEA: Advancing Excellence in Technological Literacy: Student Assessment, Professional Development, and Program Standards, ITEA: Reston, VA, USA, 146p. (2003) ISBN: 1-887101-03-9, 国際技術教育学会[著]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 技術的素養の育成を目指して, 日本産業技術教育学会国際関係委員会（2011）
- (14) 国立教育政策研究所編：生きるための知識と技能 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2012 年調査国際結果報告書, 明石書店（2013）
- (15) 国立社会保障・人口問題研究所 URL,
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/con2h.html>
- (16) Layton, D. : Technology's Challenge to Science Education, Open University Press (1993) ISBN0-335-09959-9
- (17) MacClelland, E. S.: SCOTTISH EDUCATION 5-14 a parents' guide, HMSO (1992) ISBN 0-11-495156-X
- (18) 茂木健一郎：「プログラミングリテラシーを身につけた人が活躍する時代がこうとしています」, pp.6-10, 風穴 江・神谷加代・塩野禎隆・合同会社デジタルポケット・技術評論編集部：『ママとパパのための]こどもプログラミング読本ー「未来をつくる力」を育てる』, 技術評論社（2015）
- (19) 文部科学省：小学校学習指導要領理科編（平成 20 年 8 月）, 大日本図書（2008a）
- (20) 文部科学省：中学校学習指導要領理科編（平成 20 年 9 月）, 大日本図書（2008b）
- (21) 文部科学省：小学校学習指導要領総合的な学習の時間編(平成 20 年 8 月), 東洋館出版社(2008c)
- (22) 文部科学省：言語活動の充実に関する指導事例集【小学校版】 , 教育出版（2011）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/gengo/1301088.htm
- (23) 文部科学省：2008 年告示小学校学習指導要領英訳版（仮訳） .
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/eiyaku/1261037.htm
- (24) 日本産業技術教育学会： 21 世紀の技術教育ー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ー, 日本産業技術教育学会誌, Vol.41, No.3（別冊）, pp.1-10. (1999) <http://www.jste.jp/main/data/21te.pdf>
- (25) 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）, pp.1-8. (2012) <http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
- (26) 日本産業技術教育学会：「新たな価値と未来を創造する技術教育の理解と推進」リーフレット（2013） <http://www.jste.jp/main/data/leaflet.pdf>
- (27) 日本産業技術教育学会：「今、世界の技術教育は？（新版）」
<http://www.jste.jp/main/data/sheet4.pdf>
- (28) 大橋秀雄：「工学と Engineering」 pp.6-12, 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)
http://www.eaj.or.jp/whatseaj/engineering_shakai.pdf
- (29) 大森康正・磯部征尊・山崎貞登: STEM 教育と Computational thinking 重視の小・中・高等学校を一貫した情報技術教育の基準に関する日イギリス米比較研究, 上越教育大学研究紀要, 第 35 巻 (印刷中)
- (30) Penfold, J.: Craft, Design and Technology -Past, Present and Future-, Trentham, 1988, 織田芳人訳:『クラフトデザインテクノロジー』, 玉川大学出版部 (1993)
- (31) リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領/議会諮問委員会編・佐藤雄也・山崎邦彦訳: 環境リスク管理の新たな手法, 化学工業日報社 (1998)
- (32) 総務省統計局: <http://www.stat.go.jp/data/chouki/zuhyou/25-12.xls>
- (33) 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 (監修):『教育評価事典 (所収)』, 図書文化 (2006)
- (34) 鈴木秀幸:『スタンダード準拠評価』, 図書文化 (2013)
- (35) 谷口武俊:『リスク決定論』, 大阪大学出版会, p.108 (2008)
- (36) Wiggins, G. and MacTighe, J.: Understanding by Design Expanded 2nd Edition, Person Education Inc. (2005) ISBN 0-13-195084-3, 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)
- (37) 上野晴樹:「まえがき」, pp.4-5, 社団法人日本エンジニアリングアカデミー 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)
http://www.eaj.or.jp/whatseaj/engineering_shakai.pdf
- (38) 宇於崎裕美・掛札逸美: 人と組織の心理から読み解くリスク・コミュニケーション 対話で進めるリスクマネジメント, 日本規格協会 (2012)
- (39) 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://kaken14.tech.juen.ac.jp/>
- (40) 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)』, 上越教育大学発行 (2011)
<http://www.juen.ac.jp/050about/050approach/030relation/sendou/sendou01.html>
- (41) 山崎貞登・磯部征尊:「第 4 章 イギリスにおける技術・情報教育の動向」, pp.75-110, 森山 潤・菊地 章・山崎貞登 (編著):『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望 (所収)』, ジアース 教育新社 (印刷中 a) (2013~2016 年度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「システムの思考に基づいたイノベーション力の育成を図る技術・情報教育体系に関する研究」 (チームリーダー: 森山 潤兵庫教育大学大学院教授))
- (42) 山崎貞登・磯部征尊 (分担執筆):「第 1 章 ものづくりの意義」, pp.1-18, 安東茂樹先生御定年御退職記念事業誌刊行会 (編著):『社会人のためのものづくりのわかる教科書~中学校 技術・家庭科を振り返って~ (所収)』, 竹谷出版 (印刷中 b)
- (43) 屋敷和佳: 小・中学校統廃合の進行と学校規模, 国立教育政策研究所紀要, 第 141 集, pp.19-41 (2012)
- (44) 吉田武夫:『デザイン方法論の試み』, 東海大学出版会 (1996)
- (45) 全日本中学校技術・家庭科研究会平成 24 年度全国アンケート調査結果・考察 (2013)
http://ajgika.ne.jp/doc/2013enquete_g.pdf
- (46) 全日本中学校技術・家庭科研究会平成 25 年度全国アンケート調査結果・考察 (2014)
<http://ajgika.ne.jp/doc/2014enquete.pdf>
- (47) 全日本中学校技術・家庭科研究会平成 26 年度全国アンケート調査結果・考察 (2015)
<http://ajgika.ne.jp/doc/2015enquete.pdf>

第2章 科学教育と、テクノロジー・エンジニアリング教育の

概念と学習プロセスからの連携

宇都宮大学大学院 人見 久城

2.1 はじめに

本章では、科学教育とテクノロジー、エンジニアリングの関連について考察する。テクノロジーやエンジニアリングは、日本の科学教育（理科教育）では学習内容として直接的には取り上げられず、応用的なトピックの解説や、理科における「ものづくり」の学習でふれられているに過ぎない。日本の理科では、テクノロジーやエンジニアリングにかかわる応用的な学習内容は、少ないのが現状である。

一方、STEM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics）教育の世界的な隆盛の流れを見ると、エンジニアリングと科学教育（理科教育）との関係は密になっていることがわかる。そこで、本章では、STEM 教育が拡充する国の例として米国に注目し、科学教育におけるエンジニアリングの扱いについて、その特徴を考察することにする。そして、エンジニアリング・デザインに沿った学習過程について留意点などを考察する。

2.2 米国の『次世代科学スタンダード』の公表前後におけるエンジニアリングの扱い

米国では、全米研究評議会（National Research Council）内のフレームワーク検討委員会が、幼稚園から高等学校第3学年（K-12 学年）の『科学教育スタンダード策定のためのフレームワーク（A Framework for K-12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas）』（以下、『フレームワーク』と略記）を、2011 年に公表した。『フレームワーク』では、科学の適用の側面が色濃く表れている（人見、2011）。この『フレームワーク』を指針として作成された『次世代科学スタンダード（Next Generation Science Standards）』（以下、『NGSS』と略記）（2013）でも、科学教育における科学技術やテクノロジーに関連した学習内容の扱いが重視されている（内ノ倉ら、2013）。

NGSS の公表は、現在の米国の科学教育の方向性に大きな影響を与えている。それでは、NGSS 公表の前後で、科学教育におけるエンジニアリングの扱いがどのようなになっているのであろうか。そこで、NGSS 公表前の動向を把握する文献として、Carr. et al. (2012) を取り上げる。また、NGSS 公表後については、NGSS においてエンジニアリングがどのように扱われているかを考察する。

2.2.1 米国の『次世代科学スタンダード』公表前のエンジニアリング関連スタンダードの特徴

Carr, et al. (2012)は、2010 年 12 月現在の情報をもとにして、全米の科学、数学、エンジニアリング、職業のスタンダードにおいて、エンジニアリング関連の内容がどの程度扱われているかを分析した。それによると、41 州のスタンダードにおいて、エンジニアリング関連の記述が見られた（表 2.1 及び図 2.1）。

表 2.1 州のスタンダードでエンジニアリングはどのように扱われているか【出典】 Carr, et al. (2012).

州	扱い
11 州 ; CA(HS), CN(K-12), GA(HS), IN(K-12), MA(K-12), MN(K-12), MS(HS), NY(MS, HS), OR(K-12), TN(K-12), TX(HS)	エンジニアリング・スタンダードを明示的に記述している。
15 州 ; AL(HS), CO(HS), DL(MS, HS), HI(K-12), ID((K-12), IL(K-12), KS(K-12), ML(K-12), MO(K-12), NH(K-12), NJ(HS), NC(HS), OH(K-12), PA(HS), RI(MS, HS)	ITEEA のエンジニアリングスタンダードから明示的に引用している。
4 州 ; FL(MS, HS), IW(MS, HS), ND(MS, HS), UT(MS, HS)	Project Lead the Way を活用して記述している。
6 州 ; MA(K-12), NB(K-12), SD(K-5, MS), VT(K-12), WA(K-12), WI(K-12)	テクノロジー・デザインの文脈で記述している。
3 州 ; AS(MS, HS), AR(K-12), SC(HS)	テクノロジー・デザインの要素を含んでいる（しかし弱い）。
2 州 ; MI(HS), WV(MS)	エンジニアリングの要素を含んでいる（しかし弱い）。
9 州 ; KY, LS, ME, MT, NM, NV, OK, WY, VA	エンジニアリングは含まれていない。

41 州のうち 36 州のスタンダードは、エンジニアリングについて積極的に記述をしていた。11 州で、明示的な記述があり、6 州はテクノロジー・デザインの文脈で記述されていた。以上の事例のうち、15 州のエンジニアリングのスタンダードは、ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association) の Standards for Technological Literacy からの引用や修正であり、4 州は、Project Lead the Way の活用であった。5 州のスタンダードは、エンジニアリングやテクノロジーについて消極的記述であった。9 州では、スタンダードにおいてエンジニアリングの扱いは見られなかった。学年段階ごとの分布は、表 2.2 のとおりである。また、エンジニアリングの扱いを教科領域で分類すると、表 2.3 のようになる。

以上の結果をもとに、Carr, et al. (2012)は、「エンジニアリング関連のスタンダードは、現に（註；2010 年 12 月現在で）存在しているが、それらは統一的または系統的ではなく、あまり普及しているとも言い難い。本研究の結果から、全米レベルでのエンジニアリング・スタンダードを構築する時期に来ている」と述べている。



図 2.1 エンジニアリングの扱い（表 2.1 を図示したもの）【出典】 Carr, et al. (2012).

表 2.2 学年段階での扱い（数字は州の数を表す）【出典】 Carr, et al. (2012).

扱い	K-5	MS	HS	K-12
エンジニアリング・スタンダードを明示的に記述している。	6	7	11	6
ITEEA から明示的に引用している。	9	10	15	9
Project Lead the Way を活用して記述している。	0	4	4	0
テクノロジー・デザインの文脈で記述している。	6	6	5	5
テクノロジー・デザインの要素を含んでいる（しかし弱い）。	1	2	3	1
エンジニアリングの要素を含んでいる（しかし弱い）。	0	1	1	0

表2.3 どの教科領域でエンジニアリングが扱われているか【出典】 Carr, et al. (2012).

科学 (12州)	IL,IN,KS,MA,MA,MN,NB,NY,OR,TN,VT,WA
テクノロジー (8州)	AL,CN,ID,ML,NJ,ND,SD,WI
エンジニアリングとテクノロジー (5州)	DL,MO,NH,RI,UT
STEM (2州)	CO,PA
キャリア, 職業 (8州)	CA,FL,GA,HI,IW,NC,OH,TX
数学 (1州)	MS

2.2.2 米国の『次世代科学スタンダード』(NGSS)におけるエンジニアリングの扱い

(1)NGSS におけるエンジニアリング・デザインのとらえ方

NGSS (2013) では、エンジニアリング・デザインについて次のような解説をしている。すなわち、「幼稚園から 12 学年のどの学校段階においても、自然科学の内容が学習される際、科学的探究を用いられるが、それと同じレベルにまで、エンジニアリング・デザインの活用が科学教育の実践の中に含まれるようになるため、次世代科学スタンダードが関与する」とする。そして、エンジニアリング・デザインを、「科学的知識の活用とエンジニアリングの実践の往還的なサイクル」と説明する (NGSS, Vol.2,p.103)。

問題解決の過程にエンジニアリングを適用させる行為と、適用された事例がテクノロジーである。この考え方との整合性を保つために、エンジニアリング・デザインという用語は、かつてのテクノロジカル・デザインに置き換わるものであるとする。

(2) NGSS におけるエンジニアリング・デザインの特徴

NGSS では、エンジニアリング・デザインは次の 3 つの要素によって構成されると説明している。その要素とは、表 2.4 のとおりである (NGSS, Vol.2,p.104)。表 2.4 から、エンジニアリング・デザインは、実際の問題に対する解答や解決策を得るために、科学的知識を適用させたりすることを指向した学習活動であるといえる。また、3 つの要素と各学年段階での指導の特徴は、表 2.5 のように示されている。問題の特定、解決策の提案、最適化という、エンジニアリング・デザインを構成する 3 つの要素について、学年が上がるについて、ねらいがより洗練されていることがわかる。

表 2.4 エンジニアリング・デザインを構成する要素 【出典】 NGSS, Vol.2, p.104.

A. エンジニアリングに関する問題を定義することは、解決、制約、限界などの観点から、問題をできるだけ解けるような状況でとらえることである。
B. エンジニアリングに関する問題に対する解答を予想することは、可能と思われる異なる解答をいくつも考え出したり、そのなかのどの解答が最も問題の解決に適しているかを評価したりすることである。
C. 解答を最適化させることは、系統的に検証したり、洗練したりすることで、最終的な解答を決めることは、いくつもの解答の中からトレードオフによって選び出すことである。

表 2.5 NGSS におけるエンジニアリング・デザインの 3 つの要素と各学年段階での特徴
要素の A,B,C は、表 2.4 と対応する。 【出典】 NGSS, Vol.2, pp.104-107.

要素	K-2 学年	3-5 学年	6-8 学年	9-12 学年
A. 問題を特定する (Defining the problem)	人が何かを変えたい状況を、「エンジニアリングを通して解決できる問題」として特定する。	単純な問題の解決のために、満たさなければならない基準や克服すべき制約を特定する。	満たすべき基準や克服すべき制約の正確さ、解決策の限界などを考慮する。	満たすべき基準や克服すべき制約に関する広範囲な社会的、環境的な影響を考慮する。
B. 可能な解決策を提案する (Developing possible solutions)	視覚的または物理的な表現を通して、可能な解決策を伝える。	複数の可能な解決策を調べる。	新しい解決策を考え出すために、異なる解決策を部分的に組み合わせる。	大きな問題を、解決可能な小さい問題に分割する。
C. デザインを最適化する (Optimizing designs)	解決策を比較し、試験し、評価する。	失敗した結果も考慮しながら、簡単な試験の結果に基づいて、解決策を最適化する。	反復的に試験を行う体系的な方法を用いたり、解決策を改善したりする。	複雑な問題の解決のために、満たすべき基準の順位付け、トレードオフ、環境への影響などを考慮する。

(3) NGSS におけるエンジニアリング・デザインの到達目標

エンジニアリング・デザインは、学習の方法（形態）を示すものである。その一方で、エンジニアリング・

デザインそのものを理解することも重要である。NGSS では、エンジニアリング・デザインを学習のトピックとしても位置付けている。そこでは、表 2.6 のように各学年段階における到達目標も示している。

到達目標を見ると、キーワード（キープレーズ）として、

{ 問題を特定すること、設計、複数の解決策、試作、モデル、反復、修正、最適、満たすべき基準、克服すべき制約、環境への影響、トレードオフ、モデル、シミュレーション }

などが頻出していることがわかる。つまり、これらの用語を学習者が理解することが、エンジニアリング・デザインをトピックとして学習することと解釈することができる。また、その理解に基づき、エンジニアリング・デザインを学習の方法（形態）として具体化していくことも、等しく重要であると考えられる。

表 2.6 NGSS におけるトピックとしての「エンジニアリング・デザイン」の到達目標

ETS は、Engineering and Technology, and applications of Science を表す。

【出典】NGSS, Vol.1, p.23,53, 86, 129.

K-2 学年	3-5 学年	6-8 学年	9-12 学年
<p>K-2-ETS1-1. 児童は、新しい道具や改良された道具を用いることで解決できる簡単な問題を特定するために、質問したり、観察したり、情報を集めたりすることができる。</p> <p>K-2-ETS1-2. 児童は、与えられた問題を解決するうえで、必要に応じて、物の形とはたらきがどのようになっているかを説明するために、簡単なスケッチや図を描いたり、模型を作ったりすることができる。</p> <p>K-2-ETS1-3. 児童は、同じ問題を解決するために作られた 2 つの物に関して、それぞれの長所と短所を比較する実験から、結果を分析することができる。</p>	<p>3-5-ETS1-1. 児童は、解決策や克服すべき制約、材料、時間、予算についての条件を考慮しながら、設計に関する単純な問題を定義することができる。</p> <p>3-5-ETS1-2. 児童は、問題に対して設定された条件や克服すべき制約を考慮しながら、複数の解決策を考え出し、それらを比較することができる。</p> <p>3-5-ETS1-3. 児童は、変数が統一され、失敗を予想し、モデルまたは試作品の改良も考慮して、公平な試験を計画し、実施することができる。</p>	<p>MS-ETS1-1. 生徒は、成功させる解決策を得るために十分な精度をもった問題解決の設計を行う上で、関係する科学的原理や人や環境への影響も考慮しながら、満たすべき基準や克服すべき制約を特定することができる。</p> <p>MS-ETS1-2. 生徒は、基準および問題の制約に適切に対応した体系的なプロセスを活用し、設計された解決策を比較評価することができる。</p> <p>MS-ETS1-3. 生徒は、いくつかの解決策における類似点と相違点を特定するために、試験のデータを分析することができる。それらの組合せにより、より良い解決策をまとめることができる。</p> <p>MS-ETS1-4. 生徒は、提案されている製作物、道具、過程についての反復試験や修正を行うため、データを得るためのモデルを開発することができる。それにより、最適な設計に到達することができる。</p>	<p>HS-ETS1-1. 生徒は、実社会における要求や必要性に起因した大きな問題に関して、解決策についての定性的および定量的な基準や克服すべき制約を特定し、分析することができる。</p> <p>HS-ETS1-2. 生徒は、エンジニアリングを通じて解決し、より小さいレベルの問題に分解することを通して、複雑な現実世界の問題に対する解決策を設計することができる。</p> <p>HS-ETS1-3. 生徒は、予算、安全性、信頼性、美的センス、さらには、社会、文化、環境への影響などの諸条件、および克服すべき制約などを考慮して、優先順位付けやトレードオフを検討し、解決策を評価することができる。</p> <p>HS-ETS1-4. 生徒は、問題に関連するシステム間の相互作用に関する多くの基準と克服すべき制約を検討する上で、複雑な実世界の問題に対して提案された解決策の影響をモデル化するためにコンピュータシミュレーションを使うことができる。</p>

2.3 米国の科学教育においてエンジニアリグン・デザインが取り上げられる理由

エンジニアリング・デザインは学習の方法（形態）であり、エンジニアリングの考え方に立って学習を進めようとすることを意味する。それでは、エンジニアリングが科学教育で取り上げられる理由は何であろうか。これに対する答えも NGSS において述べられている。そこでは、おもに3つの理由が説明されている（NGSS, Vol.2, pp.27-29）。

第一の理由は、エンジニアリングの導入は、科学に対する認識や科学史の視点によるというものである。自然科学は西洋科学が発展してきたが、他の文化の貢献も視野に入れられなくてはならない。このことを生徒が学習する上で、エンジニアリングを導入することは有益であるという見方である。第二の理由は、教育的な視点からである。理解が進まず、理科の授業についていけない生徒がいるが、そのような生徒を理科授業に惹き付ける可能性をエンジニアリングは持っているとする。つまり、エンジニアリングを学習することで、科学と日常生活や社会が結びついていることを理解することが可能になるという考え方である。第三の理由は、キャリア教育を意識したグローバルな視点である。エンジニアリングは、発明や創造性を育む機会を提供するという考え方である。また、エンジニアリングにかかわる職業や仕事についての学習の機会を提供することは、職業選択だけでなく、科学、テクノロジー、エンジニアリング、数学に対する興味を高める上でも意味があるとする。

Bybee & DeBoer (1994)は、科学教育に関する見方として、

- ① 自然科学に基づく科学教育（ディシプリナリー・サイエンス）
- ②（アカデミックではない）実社会からのニーズに対応した応用的な科学教育

という2つを提示している。そして、これら2つの科学教育は、時代によってどちらも勢いをもったり減退したりしてきたと指摘する。エンジニアリング・デザインは、②の見方に立った学習活動の具体化ととらえることができる。

2.4 用語の整理

エンジニアリングに関係するいくつかの用語の定義を整理しておく。National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies（2009）の『Engineering in K-12 Education』（Carr, et al. 2009 から再引用）によると、表 2.7 のように定義されている。また、『フレームワーク』（2011）では、表 2.8 のように定義している。

表 2.7 用語の定義（NAE, 2009）

○エンジニアリング（Engineering）；	人間がものを製作する過程、これまで存在していない物を人工的に作り出す過程。
○エンジニアリング・デザインの過程（Engineering Design Process）；	人工の世界の製作と操作をおこなう反復的な過程。社会的なニーズに対する適用のために、様々な分野の知識とスキルを結合させる過程。 あるいは人間の欲求を満たすための過程。
デザインには、系統的分析、制約、モデリング、最適化、システムのうちから2つが含まれている必要がある。	
○テクノロジー（Technology）；	人工的世界における製作物。
○最適化（Optimization）；	問題に対して、要因間のバランスや制約などを考慮して、最適解を決定すること。

表 2.8 用語の定義（フレームワーク, 2011）

○エンジニアリング（Engineering）；	人間が、問題の解決のために体系的に適用させる方法
○テクノロジー（Technology）；	人間が開発した全種類のシステムやプロセス

2.5 エンジニアリング関連の鍵概念

Sneider & Rosen（2009, Carr, et al. 2009 から再引用）は、エンジニアリングのスタンダードにおける鍵概念を、表 2.9 のように説明している。既に見てきたように、エンジニアリング・デザインは学習の方法（形態）を示すものであるが、そこに鍵概念として、知識、スキル、思考の習慣が含まれるという、重要な点が示唆されている。

表 2.9 エンジニアリングのスタンダードにおける鍵概念 (Sneider & Rosen, 2009)

知識

- *エンジニアリング・デザインは、問題解決や目標達成のための方法である。
- *テクノロジーは、人間が創り上げる文化への基本的属性である。
- *科学とエンジニアリングは、目標、過程、成果に関して、区別される（異なる）。

スキル

- *制約の中でデザインを進める。
- *道具や材料を使う。
- *数学的推論

思考の習慣

- *系統的思考
- *賞賛、チームワークの効果的な運用
- *テクノロジーの社会や環境への影響を考慮すること

2.6 学習指導要領における科学概念の明確化、理科の学習内容の構造化

わが国の学習指導要領は各教科の目標や学習内容をおもに示し、指導方法については教員の創意工夫に委ねるものとされている。このような考え方にたち、学習指導要領における学習内容は、指導学年に沿って解説がなされてきた。理科の学習内容は、これまでの小・中・高等学校学習指導要領において、学年や領域ごとに解説されてきた。これが前進して、平成 20 年版小・中学校学習指導要領、平成 21 年版高等学校学習指導要領では、理科の学習内容の構造化が図られた。これは、理科における基礎的・基本的な知識・技能の定着のため、自然科学の基本的な見方や概念を柱に、小・中・高等学校を通じた理科の学習内容の一貫性の重視と、国際的な通用性、内容の系統性の確保等の観点から、指導内容の関係性が明確になったものである。

表 2.10 は、物理領域の学習内容の構造化を表している。物理領域については、鍵概念として「エネルギー」が選定され、その下位概念として、「エネルギーの見方」、「エネルギーの変換と保存」、「エネルギー資源の有効利用」が設定されている。そして、下位概念と小・中・高等学校へと続く各学年との関係の中で、物理領域の学習内容が系統的に位置付けられている。

平成 20, 21 年版の各学習指導要領では、「エネルギー」のほかにも、「粒子」、「生命」、「地球」概念が明示されている。それぞれ、化学、生物、地球・宇宙科学の各領域の学習内容に対応する鍵概念とされ、それらの下位概念は表 2.11 のように設定されている。文部科学省（2009）：高等学校学習指導要領解説理科編，pp.9-11 に、表 2.10 と同様に他の 3 つの表が掲載されているが、本稿では省略する。

自然科学の基本的な見方や概念の重要性は、理科教育において常に指摘されてきたが、学習指導要領においてこのような表が掲載されたことはかつてなかった。科学概念とそれに基づく学習内容の構造化が明確に示されたことは、平成 20,21 年版学習指導要領における画期的な功績といえよう。

理科の基礎的・基本的な知識・技能の定着のため、系統性・一貫性に沿った学習指導が一層重視されている。そのためには、まず、表 2.10 に示されたような学習内容の構造を理解することが重要である。個々の学習内容の学年間でのつながりを教員が適切に理解することである。

学習指導要領で示された学習内容の構造から、下位概念と個々の学習内容の対応を読み取ることは可能である。しかし、個々の学習内容がどのようにつながっていくかの詳細な情報は含まれていない。例えば、ある学習内容が同一の下位概念内において上学年の学習内容につながっていくことは読み取れるが、他の下位概念内に位置付けられた学習内容との関係まで読み取るには、情報が不足している。このような課題を研究者と教員間で共有し、それに応える研究資料を充実させていく必要がある。

理科の学習内容の構造化や他教科の学習内容との関連なども視野に入れながら、次世代で求められる資質・能力に見合った学習内容を構想しようとする時期が近づいている。平成 20,21 年版学習指導要領に示された学習内容の構造化をもとに、それをさらに精緻化させることが求められている。

表 2.10 「エネルギー」概念に基づいた理科の学習内容の構造化

【出典】文部科学省（2009）：高等学校学習指導要領解説理科編，p.8.

校種	学年	エネルギー		
		エネルギーの見方	エネルギーの変換と保存	エネルギー資源の有効活用
小学校	3	<div>風やゴムの働き ・風の働き ・ゴムの働き</div> <div>光の性質 ・光の反射・集光 ・光の当て方と明るさや暖かさ</div> <div>磁石の性質 ・磁石に引きつけられる物 ・異極と同極</div> <div>電気の通り道 ・電気を通すつなぎ方 ・電気を通す物</div>		
	4		<div>電気の働き ・乾電池の数とつなぎ方 ・光電池の働き</div>	
	5	<div>振り子の運動 ・振り子の運動</div>	<div>電池の働き ・鉄心の磁化、極の変化 ・電磁石の強さ</div>	
	6	<div>てこの規則性 ・てこのつり合いと重さ ・てこのつり合いの規則性 ・てこの利用</div>	<div>電気の利用 ・発電・蓄電 ・電気による発熱</div> <div>電気の変換（光、音、熱などへの変換） ・電気の利用</div>	
中学校	1	<div>力と圧力 ・力の働き（力とばねの伸び、重さと質量の違いを含む） ・圧力（水圧を含む）</div> <div>光と音 ・光の反射・屈折 ・凸レンズの働き ・音の性質</div>		
	2	<div>電流 ・回路と電流・電圧 ・電気とエネルギー（電力量、熱量を含む） ・静電気と電流</div> <div>電流と磁界 ・電流がつくる磁界 ・磁界中の電流が受ける力 ・電磁誘導と発電（交流を含む）</div>		
	3	<div>運動の規則性 ・力のつり合い ・力の向き ・力と運動</div> <div>力学的エネルギー ・仕事とエネルギー（衝突、仕事率を含む） ・力学的エネルギーの保存</div>	<div>エネルギー ・様々なエネルギーとその変換（熱の伝わり方、エネルギー変換の効率を含む） ・放射線を含む</div>	<div>科学技術の発展</div> <div>自然環境の保全と科学技術</div>
高等学校		物理基礎		
		<div>運動の表し方 ・運動量の測定と扱い方 ・運動の表し方 ・直線運動と加速度</div> <div>様々な力とその働き ・様々な力 ・力のつり合い ・運動の法則 ・物体の落下運動</div> <div>力学的エネルギー ・運動エネルギーと位置エネルギー ・力学的エネルギーの保存</div>	<div>熱 ・熱と温度 ・熱の法則</div> <div>波 ・波の性質 ・音と振動</div> <div>電気 ・物質と電気抵抗 ・電気の利用</div>	<div>エネルギーとその利用 ・エネルギーとその利用（放射線及び原子力の利用とその安全性）</div> <div>物理学が拓く世界</div>

表 2.11 「粒子」、「生命」、「地球」概念における下位概念

「粒子」:	粒子の存在, 粒子の結合, 粒子の保存性, 粒子のもつエネルギー
「生命」:	生命の構造と機能, 生物の多様性と共通性, 生命の連続性, 生物と環境のかかわり
「地球」:	地球の内部, 地球の表面, 地球の周辺

2.7 科学的探究とエンジニアリング・デザインにおける学習過程の比較

エンジニアリング・デザインに基づいた授業事例とは、どのようなものになるのであろうか。Crismond (2013) は、エンジニアリング・デザインの流れを科学的探究の流れと比較し、類似点が多くあることを指摘している (表 2.12)。Crismond (2013) は、表 2.12 に示されたエンジニアリング・デザインにおける各過程に対して、学習者 (初学者) が陥りやすい習慣について述べている。特に、科学的探究とエンジニアリング・デザインで共通するモデルの活用について引用すると、次のようになる。

「モデルの構築は、科学的探究やエンジニアリング・デザインにおいて、中心となるものである。モデル構築のゴールは、科学とテクノロジーの両方において類似している。つまり、既存の装置やシステムに類似した装置やシステムを作ることに似ている。生徒は、より複雑な系についての洞察を得るため、モデルを調べる。… (中略) … 科学でもテクノロジーでも、モデルは、研究対象やシステムの理解に有益であるが、不完全な表現である。」

エンジニアリング・デザインの授業を設計する上で、モデルが中心的役割を果たすことが読み取れる。

一方、Froschaur (2015) は、モデルの使用について注意を促している。従来、モデルとは、自然界の構造を理解するために用いられるものであった。しかし、STEM 教育では、モデルには、スケッチ、図、数学的な関係、メタファー、シミュレーション、さらには、予測、解釈、観察、説明などの一連の過程も含まれるとする。Froschaur (2015) は、モデルという用語の解釈が拡張することを認めつつ、その使い方に注意すべきと論じる。

Crismond (2013) が指摘していない点として、表 2.12 からわかる重要なことは、科学的探究が「問い」から始めるのに対して、エンジニアリング・デザインは「問題」から始まることである。つまり、科学的探究は自然界の説明を指向するが、エンジニアリング・デザインは目の前の問題の解決に主眼が置かれている点が、大きく異なっている。科学的探究によって得られる解答はひとつに収束されるであろうが、エンジニアリング・デザインによる解答 (解決策) は複数存在する。つまり、いろいろな解決策の比較や検討が、学習過程で重要になってくる。

表 2.12 科学的探究とエンジニアリング・デザインの過程の比較 (Crismond, 2013)

科学的探究	エンジニアリング・デザイン
・観察する, 問う	・問題を把握し, 枠組みを決める
・調べる	・調べる
・仮説を設定する	・アイディアを提案する
・モデルを使い, 予測する	・モデル (試作) を作る, 実験をする
・データを分析し, 反復する	・問題点を解消し, 反復する
・コミュニケーションする	・コミュニケーションする

エンジニアリング・デザインと日本の理科教育で基底となっている科学的探究の過程とを比較すると、重複する点もあるが、冒頭と結末で大きく異なることが特質といえる。そこで、エンジニアリング・デザインに基づく学習を構想するときの、留意点を列記しておく。これまで見た文献で頻出したキーワード (キーフレーズ) を再掲するもので、順序が学習過程に沿ってはいない可能性もある。

- ・問題を特定する。
- ・満たすべき基準, 克服すべき制約, 問題を特定する。
- ・問題解決において製作物と過程を考える。
- ・デザインと解決策の根拠を記述する。
- ・モデル, プロトタイプ, スケッチを作る。

- ・製作物やシステムを設計する。
- ・適切な材料，最適解，効果的な方法を選択する。
- ・解決策と要素を説明する。
- ・計画，レイアウト，デザイン，解決策，過程を考案する。
- ・解決策，プロトタイプ，図を描く。
- ・問題，デザイン，解決策について話し合う。
- ・解決策とデザインを提案する。
- ・解決策，デザイン，デザインに関する問い，計画について，ブレインストーミングする。
- ・デザイン，プロトタイプ，モデルを構築する。
- ・基準，制約，数学的なモデルを適用する。
- ・解決策やモデルを改良する。
- ・フローチャート（流れ図），計画，解決策のデザイン，青写真，製作の過程を検討する。
- ・製作物やモデルを評価し，再設計し，修正する。
- ・解決策の効果を評価する。

2.8 おわりに

本科研のテーマは，防災，エネルギー，リスク評価リテラシーである。これらのテーマについて，本章の内容をもとに，科学教育（理科教育）の立場から，連携の可能性について，2点述べる。

(1) テーマと学習内容の連携

日本の理科では，科学技術，環境，エネルギーに関する学習は，中学校第3学年に位置付けられてはいるが，他の学年の学習内容を見ると，ごくわずかである。先に，エネルギー概念に基づく理科の学習内容の構造化（表2.10）を見たが，学習内容として，環境，科学技術の扱いは少ない。これについては，学習内容として消極的であるとの見方も成り立つが，筆者はそうにとらえてはいない。つまり，環境や科学技術，あるいは防災のようなテーマは，いわば裾野の広いテーマということができる。自然事象についての基礎的・基本的な理解の上に立たなければ，広いテーマの理解は可能にならないと考えられる。日本の理科の中に，防災，エネルギー，リスク評価に関する学習内容を追加する際，従来の学習内容をやせ細らせず，バランスの取れたカリキュラム編成が望まれるところである。これには，構造化された現在の理科の学習内容をさらに精緻化する作業も大きく寄与することと考えられる。

防災，エネルギー，リスク評価を学習として取り上げようとするとき，これらのテーマに対する解答はいくつ想定されるかを考えることは，大きな手がかりとなる。つまり，理科では，自然科学を基盤とした学習内容が設定されていることから，解答がひとつに収束する授業スタイルが一般的である。これに対して，防災，エネルギー，リスク評価は，解答はひとつとは限らず，むしろ，立場や状況に応じて，解答は複数存在する（多数存在すると言ってもよいかも知れない）。このような収束のしかたとなる学習では，複数の解答からの選択，価値判断，トレードオフなどの考え方の理解とその遂行が求められる。このような学習には，事象に対して複数の解答が存在することをまず理解しなければならない。理科学習を通して，自然の事物・現象について正確に理解を得ていくことが，ひいては，防災，エネルギー，リスク評価というテーマについて，適切な判断力を備えることにつながるものと考ええる。

(2) テーマと学習方法の連携

表2.9において，エンジニアリングのスタンダードにおける鍵概念を確認した。そこには，「知識」，「スキル」，「思考の習慣」という3つの鍵概念が示され，それぞれの特徴（留意点）が述べられていた。さらに，表2.12で見たように，エンジニアリング・デザインの学習過程の特徴も明らかになった。

エンジニアリング・デザインは，問題解決を指向した（問題解決のための）学習である。このことは，防災，エネルギー，リスク評価に関する学習と親和性が高い。つまり，これらのテーマの学習を構想するとき，学習方法に関して，エンジニアリング・デザインから示唆が得られると考えられる。

[引用文献]

- 1) Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008): Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387. (Carr, et al. 2009 から再引用)
- 2) Bybee, R., DeBoer, G. E. (1994): Research on goals for the science curriculum, In D. W. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Macmillan, pp.357-387.
- 3) Carr, R.L., Bennett, L.D., Strobel, J. (2012): Engineering in the K-12 STEM Standards of the 50 U.S. States: An Analysis of Presence and Extent, *Journal of Engineering Education*, 101(3), 539-564.
- 4) Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, National Research Council (2011): *A Framework for K-12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*.
- 5) Crismond, D. (2013): Design Practices and Misconceptions: Helping Beginners in Engineering design, *Science Teacher*, 80(1), 50-54.
- 6) Froschaur, L. (2015): Editor's Note, *Science and Children*, 53(1), 5.
- 7) 人見久城 (2011) : 全米研究評議会による科学教育フレームワークの策定, 日本理科教育学会第 50 回関東支部大会研究発表要旨集, 88.
- 8) Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K.A., Stohlmann, M.S. (2014): A framework for quality K-12 engineering education: Research and development, *Journal of Precollege Engineering Education Research*, 4(1), 1-13.
- 9) National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies. (2009): *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. Washington, DC: National Academies Press. (Carr, et al. 2009 から再引用)
- 10) NGSS Lead States (2013) : *Next Generation Science Standards For States, By States*, National Academy Press. (<http://www.nextgenscience.org/>)
- 11) Sneider, C., & Rosen, L. (2009): Towards a vision for engineering education in science and mathematics standards. In *Standards for K-12 engineering education?* Washington, DC: National Academies Press. (Carr, et al. 2009 から再引用)
- 12) 内ノ倉真吾, 出口 憲, 伊藤伸也, 熊野善介, 長洲南海男 (2013) : 米国の STEM 教育の最新の動向(2) ~“Next Generation Science Standards”の基本的な内容構成に着目して~, 日本理科教育学会第 63 回全国大会論文集, 373.

第3章 数学教育と、テクノロジー・エンジニアリング教育の

概念と学習プロセスからの連携

埼玉大学 二宮裕之

3.1 数学教育における「内容」と「方法」

数学教育とテクノロジー・エンジニアリング教育や科学教育との接点の一つに、「数学を『方法』として用いる」といった関連がある。数学は「用具教科」などと呼ばれ、他教科を学習するうえでの基礎または用具となる教科、といった捉えられ方をする場合がある。このような捉えられ方について、数学教育関係者の多くは「数学の内容を学習すること自体に価値がある」と捉えようとしているが、一方で数学学習における「方法」の重要性についても近年注目が集まっている。そして、数学教育における「内容と方法」の議論は、数学教育における主要な課題の一つにもなっている。本節では、数学教育におけるこれまでの議論を総括した上で、数学のもつ「方法」としての側面の位置づけについて考察する。

3.1.1 アメリカ NCTM スタンダードに見る「内容」と「方法」

全米数学教師協議会 (National Council of Teachers of Mathematics : NCTM) は 1989 年に『学校数学におけるカリキュラムと評価のスタンダード (Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics)』を刊行した。本書 (以下、1989 年版) では学年を、幼稚園から第 4 学年、第 5 学年から第 8 学年、第 9 学年から第 12 学年、の 3 つに区分している。それぞれの学年区分でスタンダードの内容は異なるものの、最初の四つのスタンダードは全ての学年区分において以下のように共通している。

スタンダード 1 : 問題解決としての数学

スタンダード 2 : コミュニケーションとしての数学

スタンダード 3 : 推論としての数学

スタンダード 4 : 数学的つながり

これら四つのスタンダードは「プロセス・スタンダード」と呼ばれ、主として『学習の方法』について言及されるものである。1989 年版では全ての学年区分において、学習の内容よりも先にその方法である「プロセス・スタンダード」が明記されている点でも、非常に斬新な提言がなされたとされている。

その後、NCTM は、2000 年に『学校数学のための原則とスタンダード (Principles and Standards for School Mathematics)』 (以下、2000 年版) を刊行している。2000 年版では、全ての学年帯を通じて、以下にあげる 10 個のスタンダードが共通して設けられている。

スタンダード 1 : 数と演算

スタンダード 2 : 代数

スタンダード 3 : 幾何

スタンダード 4 : 測定

スタンダード 5 : データ解析と確率

スタンダード 6 : 問題解決

スタンダード 7 : 推論と証明

スタンダード 8 : コミュニケーション

スタンダード 9 : つながり

スタンダード 10 : 表現

これら 10 個のスタンダードのうち、始めの 5 つは「内容スタンダード」、後の 5 つは「プロセス・スタンダード」と呼ばれる。そして後者の 5 つのプロセス・スタンダードについては、最初の 4 つのうち「推論として数学」が「推論と証明」と変わった外は 1989 年版とほとんど変わらないものの、最後にスタンダード「表現」が 2000 年版において新たに加えられている。1989 年版ではプロセス・スタンダードが前面にだされ非常に強調されていたが、2000 年版では内容と方法とのバランスに配慮したものとなっている。

3.1.2 NCTM スタンダードにおける「思考」と「表現」

学習の「方法」の獲得について、今日の日本の学校教育では「思考力・判断力・表現力の育成」がキーワードとなっている。これまでの数学教育において、「判断力」は思考の一部になるとの捉え方が一般的であり、その上で『思考』と『表現』との関連について様々に議論されてきている。特に近年、「考えたことを表現すること」と「表現を用いて考えること」の双方が、数学教育における表現として論じられている。本小節では、NCTM スタンダードにおける「思考」と「表現」の位置づけについて触れておきたい。

NCTM スタンダードの中で、特に「思考」と密接に関連すると考えられるのが『推論としての数学』及び『推論と証明』である。ここでは算数・数学学習における「思考」に関わる数多くの説明がなされている。例えば 1989 年版では、『推論としての数学』に関して以下のような説明がなされている。

幼稚園から第 4 学年

- ・推論を大切にする教室では、コミュニケーションと問題解決が大切にされる。
- ・子どもたちは、自分の思考を説明し正当化することは大切であり、いかに問題を解決したかはその答えと同等に大切であることを知る必要がある。
- ・子どもたちは、彼らの解法・思考過程・推測を様々な方法で正当化するように励まされるべきである。(NCTM,1989,p.29)

第 5 学年から第 8 学年

- ・生徒が、問題設定の中で妥当な議論をしたり、他人の主張を評価する能力を伸ばすためには多くの時間と経験が必要である。
- ・論理的推論の発達には、生徒の知的言語的発達と結びついている。
- ・論理的思考の萌芽は、生徒が事象や過程を正確に記述し、それらの性質・類似点・相違点・関係を詳述することを学ぶときに認められる。生徒は、自分自身の言葉で、自分の推論を説明することを奨励されるべきである。仲間や教師が他の方略を記述するのに注意を傾けることにより、生徒は自分の思考を表現するために使う思考や言語を洗練していく。(NCTM,1989,pp.81-82)

第 9 学年から第 12 学年

- ・すべての生徒は、どうして正しいのかを正当化する妥当な議論をすることができなければならない。
- ・またそれは、生徒自身の言葉として、口頭ないし書いて表現されるであろう。
- ・最終的には、生徒たちは、文章(paragraph)形式で書くことを期待されるべきである。(NCTM,1989,pp.144-145)

1989 年版にはスタンダードとして「推論としての数学」とあるが、その内実は単なる『推論(=考え方)』に留まっていない点に注目したい。即ち、「自分の思考を説明し正当化すること」「生徒の知的言語的発達」「自分自身の言葉で自分の推論を説明すること」「どうして正しいのかを正当化する妥当な議論」などが『推論としての数学』において指摘されているのである。このことは、1989 年版のスタンダード「推論としての数学」が、単に「推論」だけを目標として据えるのではなく、「推論の結果を表現すること」までも視野に入れた活動を指向していることの現れであると捉えることができる。つまり、1989 年版における「思考」に関する記述は、「考え方」のみに留まらず、その考えを「表現すること」までを含んでいるということが言える。

一方、2000 年版では、「推論としての数学」から「推論と証明」というスタンダードに名称が変わった。名称そのものが単なる「推論」だけでなく、その記述／表現である「証明」までも含むようになっている点に注目したい。更に「表現」のスタンダードでも、以下のような指摘がなされている。(NCTM,2000,pp.67-68)

学校数学のスタンダード：幼稚園入園前から第 12 学年まで 表現

- ・その用語は外的に観察可能であるとともに、数学をしている人の心の中に「内的に」現れる。
- ・生徒は、数学的なアイデアを表現することが、数学を学び、数学をすることの必須な部分であることを理解すべきである。
- ・表現は、生徒が自分の思考を整理・組織するのに役立つ。生徒の表現の使用は、数学的アイデアをいっそう具体化したり、反省に利用できるようにしたりするのに助けることができる。

- ・異なる表現は、しばしば複雑な概念や関係の異なる局面を明らかにする。

2000 年版では新たに「表現」というスタンダードが付け加えられたことは、1989 年版のスタンダードに加えて更に「表現」の重要性が認識されていることの表れと捉えることができる。特に「数学的なアイデアを表現することが、数学を学び、数学をすることの必須な部分である」「表現は、生徒が自分の思考を整理・組織するのに役立つ」などの指摘は、数学学習においてその思考を「表現すること」が学習の本質の一部であることを示している。

このように、1989 年版のスタンダード「推論としての数学」では「考え方」のみに留まらずその考えを「表現すること」の重要性に言及されており、更に 2000 年版では「表現」を数学学習の本質として位置づけていることが分かる。つまり、NCTM スタンダードでは、『思考』を単に「思考すること」のみに留めず、それを「表現すること」まで含めている点で非常に特徴的である。

3.1.3 日本の数学教育における「数学的な考え方」

文部科学省により示されている算数・数学科における評価の 4 観点のうち、『数学的な考え方』は次のように示されている。

小学校算数（平成 23 年 11 月）

日常の事象を数理的に捉え、見通しをもち筋道立てて考え表現したり、そのことから考えを深めたりするなど、数学的な考え方の基礎を身に付けている。

中学校数学（平成 23 年 11 月）

事象を数学的に捉えて論理的に考察し表現したり、その過程を振り返って考えを深めたりするなど、数学的な見方や考え方を身に付けている。

高校数学（平成 24 年 7 月）

事象を数学的に考察し表現したり、思考の過程を振り返り多面的・発展的に考えたりすることなどを通して、数学的な見方や考え方を身に付けている。

文部科学省は従来から「数学的な考え方」を算数・数学教育の大きな柱としている。しかし、現行の学習指導要領以前は、「数学的な考え方」の中に『表現』は含まれず、数学的な表現は「技能」として別の観点に位置づいていた。平成 18 年の言語力育成協力者会議での検討を経て、「考えたことを表現する」ことに加えて「表現を用いて考える」という視点から、数学的な考え方を解釈するようになった。

「数学的な考え方」という概念についての著名な先行研究として、中島(1981)や片桐(1988)がある。中島(1981)は「数学的な考え方」を、算数・数学にふさわしい創造的な活動ができることであり、『創造的』とは何かしら『新しいものをつくりだすこと』であるとしている。このような内包的規定に対して、片桐(1988)は「数学的な考え方」を大きく『方法に関わる数学的な考え方』と『内容に関わる数学的な考え方』に区分し、その具体的項目を次のように示している。

1 方法に関わる数学的な考え方

- ① 帰納的な考え
- ② 類推的な考え
- ③ 演繹的な考え
- ④ 統合的な考え
- ⑤ 発展的な考え
- ⑥ 抽象的な考え（抽象化・具体化・理想化・明確化）
- ⑦ 単純化の考え
- ⑧ 一般化の考え
- ⑨ 特殊化の考え
- ⑩ 記号化の考え（記号化・数量化・図形化）

2 内容に関わる数学的な考え方

- ① 構成要素の大きさや関係に着目する【単位の考え方】
- ② 表現の基本原則に基づいて考えようとする【表現の考え方】
- ③ ものや操作の意味を明らかにし、それに基づいて考えようとする【操作の考え方】
- ④ 操作の仕方を形式化しようとする【アルゴリズムの考え方】
- ⑤ ものや操作の方法を大づかみにとらえ結果を用いようとする【総括的把握の考え方】
- ⑥ 基本的法則や性質に着目する【基本的性質の考え方】
- ⑦ 何を決めれば何が決まるかということに着目したり、変数間の対応のルールを見つかったり、用いたりしようとする【関数的な考え方】

⑧ 事柄や関係を式に表したり、式を読もうとする【式についての考え】

このように日本の数学教育では、学習の内容と並行して「方法」についても議論が進められてきていた。しかしそれは、NCTM スタンドードのように、「内容」と「方法」をきちんと区分したものではなく、それらを融合した形で示されるものであった。

3.1.4 「思考」と「表現」の相互構成性 (Reflexivity)

平成20年1月の中央教育協議会答申では、新しい学習指導要領改訂の基本的な考え方の一つに「思考力・判断力・表現力等の育成」を位置づけている。数学の指導においては、数学が実社会や実生活の様々な場面で活用されていることを理解させることや論理的な思考力・表現力を養うことを重視した改善が必要であるとされた。そして平成21年に告示された新しい学習指導要領では、思考力・表現力の育成が一つの柱になっている。従来、数学における表現は、「表現・処理」としてまとめて捉えられていたものであるが、平成21年告示の学習指導要領から「思考力・表現力」というまとまりで捉えられるようになった。

ここで、数学における思考と表現との関係について考えておきたい。これらの関係については、大きく2通りの捉え方がある。一つは「思考の結果を表現する」という捉え方である。これまで「数学的な考え方」が数学教育において大変重視されてきた。数学とは「思考すること」であり、数学の学習において「思考」が最も重要な役割を果たすとされている。そして、「思考」の結果を外化させることが「表現」である。これまで「表現・処理」としてまとめられていたところの「表現」は、思考の結果の表現であった。

それに対して、「思考の過程を表現する」という新たな捉え方が指摘されるようになった。例えば、複雑な因数分解の問題を解く際に、確たる見通しを見いだせない状態において、とりあえず可能な式変形を試みることがある。そのようなことを何度か試みの中で、偶然にも共通な因数を見つけることができ、最終的にはその因数分解が解けた、といった経験を持つ人も多いであろう。この場合とりあえず行った「可能な式変形」が、既に数学的な表現の一つなのである。もちろんそれは思考の結果でもあるが、しかし注目したいのは、この「表現」を拠り所としながら更に思考(問題解決)を進めていったことである。つまり、表現を使って更に思考を進めていったものと解釈ができるのである。

我々は、思考の結果を表現するが、しかし表現を使いながら思考を進めることも並行して行っている。つまり、思考と表現とは表裏一体の関係にあるものであり、お互いがお互いの前提となるような「相互構成的な本性」を持ち合わせるものであると捉えることができる。そしてこのような捉え方をもとに、平成21年告示の学習指導要領から思考と表現は「思考力・表現力」というまとまりで捉えられるようになった。ここでの思考と表現とは、相互構成的な関係としてのものであり、思考の結果を表現するとともに表現を用いて思考を進めるものである。ここでの表現は、思考の所産も表現するが、同時に「思考の過程」を表現するものになっている。

3.1.5 数学教育における「内容」に対する「方法」の位置づけ

数学学習における「思考」と「表現」は、アメリカ NCTM スタンドードにおいても、日本の「数学的な考え方」においても、表裏一体としての相互構成的なものとして捉えられている。ここで、『思考』には「方法的側面」とともに、思考の対象としての「内容」の議論が必ず付随することに留意したい。日本の算数・数学教育は従来から「数学的な考え方」を重要な柱として位置づけている。「数学的な考え方」は「思考」と「表現」の両面に渡る『学習の方法』として捉えられている一方で、その詳細については片桐(1988)が示すように、『方法に関わる数学的な考え方』と『内容に関わる数学的な考え方』に区分される。このことは、NCTM が示す「プロセススタンダード」と明らかに異なる。

1989 年版 NCTM スタンドードが示した4つのプロセススタンダード(問題解決としての数学・コミュニケーションとしての数学・推論としての数学・数学的つながり)は、世界の数学教育に大きな影響を与えるものであった。それまでの数学教育において暗黙のうちに位置づいていた「数学の方法」が、このような形で明示され、強く意識づけられることとなった。このことは一方で、「数学戦争」と呼ばれる論争を巻き起こし、如何にして数学の「内容」と「方法」とのバランスを取るべきか、といった新たな課題を提起した。2000 年版スタンダードでは、算数・数学における「方法」の協調は若干トーンダウンしているが、「プロセススタンダード」という用語とともに、算数・数学における方法的側面の重要性について明確に示している。このことは日本の数学教育にも大きな影響を与え、算数・数学教育における「方法的側面」への注目が集まった。

現行の学習指導要領では、「方法的側面」を『算数的活動』『数学的活動』として位置付け、次のように述べている。

小学校算数

内容の「A 数と計算」、「B 量と測定」、「C 図形」及び「D 数量関係」に示す事項については、例えば、次のような算数的活動を通して指導するものとする。

第1学年

- ア 具体物をまとめて数えたり等分したりし、それを整理して表す活動
- イ 計算の意味や計算の仕方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして表す活動
- ウ 身の回りにあるものの長さ、面積、体積を直接比べたり、他のものを用いて比べたりする活動
- エ 身の回りから、いろいろな形を見付けたり、具体物を用いて形を作ったり分解したりする活動
- オ 数量についての具体的な場面を式に表したり、式を具体的な場面に結び付けたりする活動

第2学年

- ア 身の回りから、整数が使われている場面を見付ける活動
- イ 乗法九九の表を構成したり観察したりして、計算の性質やきまりを見付ける活動
- ウ 身の回りにあるものの長さや体積について、およその見当を付けたり、単位を用いて測定したりする活動
- エ 正方形、長方形、直角三角形をかいたり、作ったり、それらで平面を敷き詰めたりする活動
- オ 加法と減法の相互関係を図や式に表し、説明する活動

第3学年

- ア 整数、小数及び分数についての計算の意味や計算の仕方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして考え、説明する活動
- イ 小数や分数を具体物、図、数直線を用いて表し、大きさを比べる活動
- ウ 長さ、体積、重さのそれぞれについて単位の間隔を調べる活動
- エ 二等辺三角形や正三角形を定規とコンパスを用いて作図する活動
- オ 日時や場所などの観点から資料を分類整理し、表を用いて表す活動

第4学年

- ア 目的に応じて計算の結果の見積りをし、計算の仕方や結果について適切に判断する活動
- イ 長方形を組み合わせた図形の面積の求め方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして考え、説明する活動
- ウ 身の回りにあるものの面積を実際に測定する活動
- エ 平行四辺形、ひし形、台形で平面を敷き詰めて、図形の性質を調べる活動
- オ 身の回りから、伴って変わる二つの数量を見付け、数量の関係を表やグラフを用いて表し、調べる活動

第5学年

- ア 小数についての計算の意味や計算の仕方を、言葉、数、式、図、数直線を用いて考え、説明する活動
- イ 三角形、平行四辺形、ひし形及び台形の面積の求め方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして考え、説明する活動
- ウ 合同な図形をかいたり、作ったりする活動
- エ 三角形の三つの角の大きさの和が 180 度になることを帰納的に考え、説明する活動。四角形の四つの角の大きさの和が 360 度になることを演繹的に考え、説明する活動
- オ 目的に応じて表やグラフを選び、活用する活動

第6学年

- ア 分数についての計算の意味や計算の仕方を、言葉、数、式、図、数直線を用いて考え、説明する活動
- イ 身の回りで使われている量の単位を見付けたり、それがこれまでに学習した単位とどのような関係にあるかを調べたりする活動
- ウ 身の回りから、縮図や拡大図、対称な図形を見付ける活動
- エ 身の回りから、比例の関係にある二つの数量を見付けたり、比例の関係をj用いて問題を解決したりする活動

中学校数学

数学的活動とは、生徒が目的意識をもって主体的に取り組む数学にかかわりのある様々な営みである。ここで、「数学にかかわりのある様々な営み」として中学校数学科において重視しているのは、数や図形の性質などを見いだす活動、数学を利用する活動及び数学的な表現を用いて説明し伝え合う活動である。もちろん、これらの数学的活動は基本的に問題解決の形

で行われ、その過程では、試行錯誤をしたり、操作したり、資料を収集整理したり、実験したり、観察したりするなど数学にかかわりのある様々な営みが行われるが、〔数学的活動〕では上述した三つの数学的活動を示している。

数学的活動については、生徒が自立的、主体的に取り組む機会を意図的、計画的に設けることとしている。その際、生徒の発達の段階や学習する数学の内容に配慮し、次の表のように、第1学年と第2、3学年の二つに分けて示している。

	第1学年	第2、3学年
ア 数や図形の性質などを見いだす活動	既習の数学を基にして、数や図形の性質などを見いだす活動	既習の数学を基にして、数や図形の性質などを見だし、発展させる活動
イ 数学を利用する活動	日常生活で、数学を利用する活動	日常生活や社会で、数学を利用する活動
ウ 数学的に説明し伝え合う活動	数学的な表現を用いて、自分なりに説明し伝え合う活動	数学的な表現を用いて、根拠を明らかにし筋道立てて説明し伝え合う活動

小学校算数における「算数的活動」の例示は、各学年において推奨される具体的な活動を例示する形であるのに対して、中学校数学では概括的にその概要を示す形になっている。いずれも、算数・数学の『内容』に対して、それを学習する『方法』を示すものであるが、NCTMが示す「プロセススタンダード」のように、内容と方法とを明確に区分した形で示されていないところが特徴的である。

NCTMスタンダードでは、学習の内容である「内容スタンダード」と学習の方法である「プロセススタンダード」が、学習の『縦軸』と『横軸』を成すことが非常に分かりやすく示されている。一方、日本の学習指導要領は、「数学的な考え方」という従来からの概念が「内容」と「方法」とを包含する形で示されてきていることもあり、学習の内容の標記と学習の方法である「算数的活動／数学的活動」の例示が並列であり、学習の『縦軸』と『横軸』を成すことが明示的ではない。

学習の内容と方法はそれぞれが相互構成的な位置づけであり、そもそも切り離して議論することはできない。便宜的に『方法』を独立させて議論することで、学習の方法的側面を強調することはあるが、『方法』だけを学習することは不可能であり、また『方法』だけを習得させることも不可能である。その点において、日本の学習指導要領における算数・数学は「内容」と「方法」とを融合的に位置づけ論じているが、融合的に位置づけていることが「方法的側面」を見えづらくさせているようにも思える。

3. 2 数学教育における「教育課程企画特別部会 論点整理」『3つの柱』の位置づけ

文部科学省は次期学習指導要領の改訂の基本方針として、2015年8月に「中教審教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）」を公表した。ここでは、育成すべき資質・能力を以下に示す三つの柱で整理している。

i) 「何を知っているか、何ができるか（個別の知識・技能）」

各教科等に関する個別の知識や技能などであり、身体的技能や芸術表現のための技能等も含む。基礎的・基本的な知識・技能を着実に獲得しながら、既存の知識・技能と関連付けたり組み合わせたりしていくことにより、知識・技能の定着を図るとともに、社会の様々な場面で活用できる知識・技能として体系化しながら身に付けていくことが重要である。

ii) 「知っていること・できることをどう使うか（思考力・判断力・表現力等）」

問題を発見し、その問題を定義し解決の方向性を決定し、解決方法を探して計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていくこと（問題発見・解決）や、情報を他者と共有しながら、対話や議論を通じて互いの多様な考え方の共通点や相違点を理解し、相手の考えに共感したり多様な考えを統合したりして、協力しながら問題を解決していくこと（協働的問題解決）のために必要な思考力・判断力・表現力等である。

iii) 「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか（学びに向かう力、人間性等）」

上記のi)及びii)の資質・能力を、どのような方向性で働かせていくかを決定付ける重要な要素であり、以下のような情意や態度等に関わるものが含まれる。

- ・主体的に学習に取り組む態度も含めた学びに向かう力や、自己の感情や行動を統制する能力、自らの思考のプロセス等を客観的に捉える力など、いわゆる「メタ認知」に関するもの。
- ・多様性を尊重する態度と互いのよさを生かして協働する力、持続可能な社会づくりに向けた態度、リーダーシップやチームワーク、感性、優しさや思いやりなど、人間性等に関するもの。

これら三つの柱のうち、i)「何を知っているか、何ができるか(個別の知識・技能)」は『内容』に関する議論であり、ii)「知っていること・できることをどう使うか(思考力・判断力・表現力等)」は『方法』に関する議論と捉えることができる。一方、iii)「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか(学びに向かう力、人間性等)」に関連する内容として、数学教育の先行研究に二宮(2006)の「学習の成果」についての論考がある。

二宮(2006)は、「学習のふり返りやまとめ」は、学習活動の終末においてのみ行われるものではないとした。学習活動を進める際に、実は常にそこには不断の評価活動が、意識的に／無意識的に必ず介在していると捉えるべきとしている。それは例えばメタ認知のように、自分自身の学習活動をモニター・コントロールする働きである。つまり我々は、「学習のふり返りやまとめ」を、学習の進展に合わせて絶えず行っていると言える。そして学習活動をこのように捉えることで、学習の成果を『**不断の自己評価活動の集成**』として捉えることが適当であるとの帰結を得た。このような観点に立ったとき、学習の成果はもはや「知識や技能を獲得すること、或いは獲得された知識・技能そのもの」といった形で単純に捉えることはできなくなる。知識や技能の獲得(=学習活動)は、自己評価活動と常に相互構成的になされている。そしてその自己評価の結果は、学習活動の成果として更なる学習のための礎となる。さらにその成果はメタ的に捉えられることで、更なる自己評価の対象とされる。このようにメタ的に再評価された自己評価(=学習活動)は、学習者に客観的に捉えられた学習の成果であり、このような評価結果は学習活動と相互構成的に生成されている。このような意味において学習の成果とは、主観的に獲得された知識・技能に自己評価活動を介させて客観的に捉え直したものと考えるべきである。そこで二宮(2006)では、本当の意味での学習の成果を、『**知識・技能を獲得した自分を認識していること**』とした。

学習の成果をこのように捉えることで、「考えを分かりやすく説明する」「考えを表現し伝え合う」などの表現活動が、算数的活動／数学的活動としてとても重要な意味を持つことになる。仮に「知識や技能を獲得すること、或いは獲得された知識・技能そのもの」を学習の成果にするのであれば、知識・技能が獲得された時点で学習の目標は達成される。この場合、その後さらに知識技能の活用・考えを説明する・表現し伝え合う、などの活動を敢えて行う必要はない。一方で、内田(1986)や二宮(2005)などにおいて、「思想を書きあらわす過程で子どもたちはたえず自己内対話を行っている」「書くことによって認識が深まる」などの知見が示され、書くことを含めた表現活動が学習者により深い理解を促すことが示唆された。つまり、「考えを分かりやすく説明する」「考えを表現し伝え合う」などの活動が今日の算数・数学の学習において強調されている背景には、そのような表現力そのものを育成するという実質的な目標もさることながら、表現活動を通して学習者により深い理解を促すことがその目標として位置づいていると捉えることができるのである。

二宮(2006)が示した『本当の意味での学習の成果』(知識・技能を獲得した自分を認識していること)は、「三つの柱」で述べられる「i) 及び ii) の資質・能力を、どのような方向性で働かせていくかを決定付ける重要な要素」の一つと捉えることができよう。このことは、前述の「内容」と「方法」の議論を包括したものとして、数学教育のみならず、テクノロジー・エンジニアリング教育や理科教育においても留意すべき事柄である。

3. 3 数学教育とテクノロジー・エンジニアリング教育／理科教育との接点

現行の学習指導要領では、算数・数学と『日常の事象』との関連が強調されている。例えば、各学校段階における教科の目標は次のようになっている。(下線筆者)

小学校

算数的活動を通して、数量や図形についての基礎的・基本的な知識及び技能を身に付け、日常の事象について見通しをもち筋道を立てて考え、表現する能力を育てるとともに、算数的活動の楽しさや数理的な処理のよさに気付き、進んで生活や学習に活用しようとする態度を育てる。

中学校

数学的活動を通して、数量や図形などに関する基礎的な概念や原理・法則についての理解を

深め、数学的な表現や処理の仕方を習得し、事象を数理的に考察し表現する能力を高めるとともに、数学的活動の楽しさや数学のよさを実感し、それらを活用して考えたり判断したりしようとする態度を育てる。

高等学校

数学的活動を通して、数学における基本的な概念や原理・法則の体系的な理解を深め、事象を数学的に考察し表現する能力を高め、創造性の基礎を培うとともに、数学のよさを認識し、それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てる。

このように「現実的な事象」を考察の対象とする学習の事例に、高等学校における科目「数学基礎(高等学校学習指導要領：平成11年)」「数学活用(高等学校学習指導要領：平成21年)」がある。これらの科目の目標は次のように定められている。

数学基礎

数学と人間とのかかわりや、社会生活において数学が果たしている役割について理解させ、数学に対する興味・関心を高めるとともに、数学的な見方や考え方のよさを認識し数学を活用する態度を育てる。

数学活用

数学と人間とのかかわりや数学の社会的有用性についての認識を深めるとともに、事象を数理的に考察する能力を養い、数学を積極的に活用する態度を育てる。

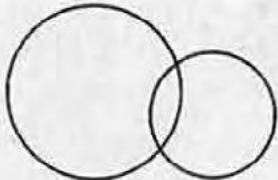
数学基礎や数学活用の学習課題として、教科書にある事例を以下に示す。

2 GPS

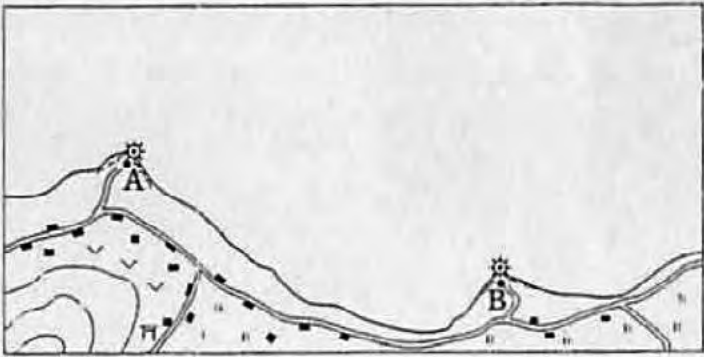
2つの円

沖合に1隻の船が停泊している。この船に乗っている人が船の位置を知るには、どのようにしたらよいだろうか。

いま、船から灯台Aまでの距離が2kmと測定できたとしよう。すると船は、中心A、半径2kmの円周上にあることになる。さらに、船からもう1つの灯台Bまでの距離が1.5kmと測定できたとすれば、船は、中心B、半径1.5kmの円周上にもあることになる。したがって、これら2つの円が交わってできる2つの交点のいずれかに船は位置していることがわかる。



交わる2つの円

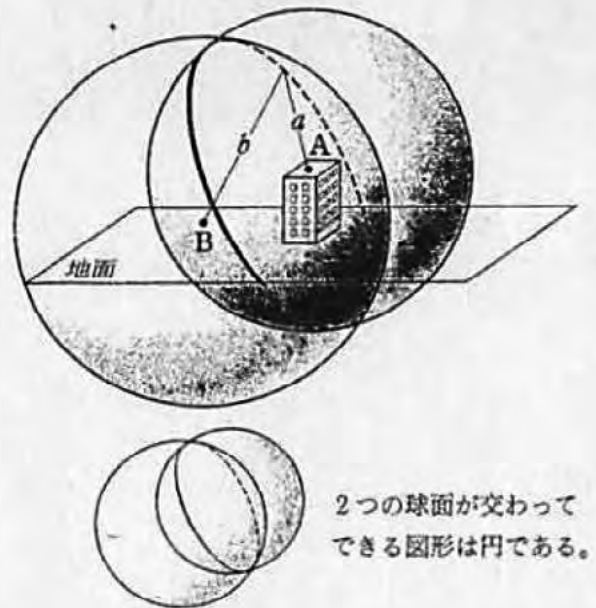


● やってみよう ●

上の図は、縮尺5万分の1の地図である。この地図上に、A、Bを中心とする、半径がそれぞれ2km、1.5kmの円をコンパスで描いて、船の位置を求めてみよう。

● 2つの球面 ●

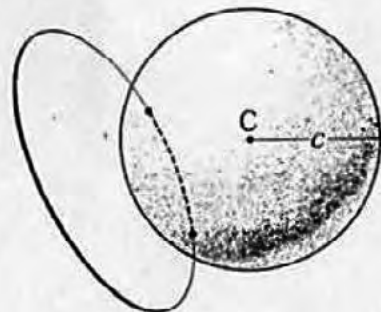
こんどは、空中に静止している1機のヘリコプターを考えよう。ヘリコプターからビルの屋上の点Aまでの距離 a 、別の点Bまでの距離 b がわかれば、ヘリコプターは、中心A、半径 a の球面上にも、また、中心B、半径 b の球面上にもあることになる。したがって、これら2つの球面が交わってできる円周上のどこかにヘリコプターは位置している。



● 3つの球面 ●

このヘリコプターから、さらに別の点Cまでの距離 c がわかれば、中心C、半径 c の球面と先の円周との2つの交点のいずれかにヘリコプターは位置していることがわかる。

このように、3つの球面の交点によって位置を知るという方法は、地球規模で位置を測定するシステムGPSでも用いられている。

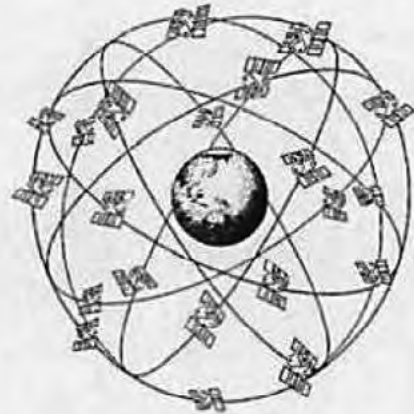


● 全地球測位システム GPS ●

GPS(Global Positioning System)とは、複数の人工衛星から発射される信号電波を利用して、自己の位置を正確に測定するシステムのことである。人工衛星は、地球の周囲を回る半径約26500kmの円軌道に乗せられていて、約12時間で地球を1周している。

GPSの利用者は、専用の受信機を持つだけで、地球上のいかなる場所でも、自分の今いる正確な位置を即座に知ることができる。その位置測定の原理は、3つの球面の交点によって位置を特定するというもので、ヘリコプターの位置を求めた方法と同じである。ただし、球面の中心は人工衛星であり、半径は衛星から受信機までの距離となる。

3つの球面の交点は一般に2つある。しかし、衛星はつねに地球に向けて電波を発射しているので、2つの交点の一方は衛星からの電波が受信できない場所になる。そのため、3つの球面によって1つの位置に確定できるのである。



GPSは、自動車のカー・ナビゲーション・システムをはじめとして、船舶・航空機の運行や、登山などでも利用されている。また、地殻変動の観測にも利用され、地震予知の研究や火山噴火予知の手段としても、なくてはならないものになっている。

● やってみよう ●

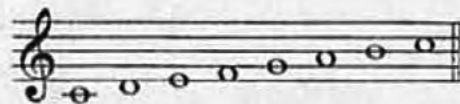
GPSは、ほかにどんなところで利用されているだろうか。調べてみよう。

東京書籍『数学基礎』（平成14年版）

4 音階のしくみ

音階がつくられているしくみについて調べてみよう。

▶ 12 個の音で 1 オクターブ——ドレミファソラシドの 1 オクターブには 8 個の音が並んでいるが、ピアノでは、右の図のように、^{はっけん}白鍵がこれらに対応している。この 1 オクターブの中に 5 個の^{こっけん}黒鍵があり、これらのどの鍵の音も、すぐ左にある音より半音高い音を出す。



したがって、低いほうの「ド」から右に向かって白鍵、黒鍵を順に弾いていくと、半音ずつ高くなりながら 12 個の音が出て、13 番目に高いほうの「ド」に達する。

▶ 振動数で決まる音程——音程の異なる音の違いは振動数の違いによるもので、音程が高くなるほど振動数が多くなる。

1 オクターブの音の間隔では、振動数はちょうど 2 倍になっており、低いほうの「ド」の振動数を n とすると、高いほうの「ド」の振動数は $2n$ となる。半音ずつ音を高くしていくとき、振動数が一定の倍率 r で増えていくとすると、1 オクターブの 12 音では

$$n \times \underbrace{r \times r \times \cdots \times r}_{12 \text{ 個}} = 2n$$

よって、 $r^{12} = 2$

すなわち、半音ごとに増える振動数の倍率 r は 12 乗すると 2 になる数で、およそ $r = 1.06$ である。



←両辺を n で割る。

練習 1 $r = 1.06$ について、 r^{12} がおよそ 2 となることを確かめなさい。

←電卓を利用しよう。

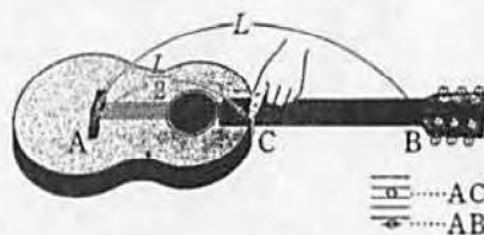
▶ **ギターの弦の長さ**——ギターは、弦の長さを決めるフレットとよばれる装置で半音ずつ異なる音が出るようになっている。

弦の長さが短くなるほど振動数が多くなり、音程は高くなっていく。弦の長さが半分になると振動数は2倍になり、ちょうど1オクターブ高い音が出る。

いま、弦の長さを L として、A から各フレットまでの間隔が順に一定の倍率 t で変わっていくとすると

$$L \times \underbrace{t \times t \times \cdots \times t}_{12 \text{ 個}} = \frac{1}{2}L$$

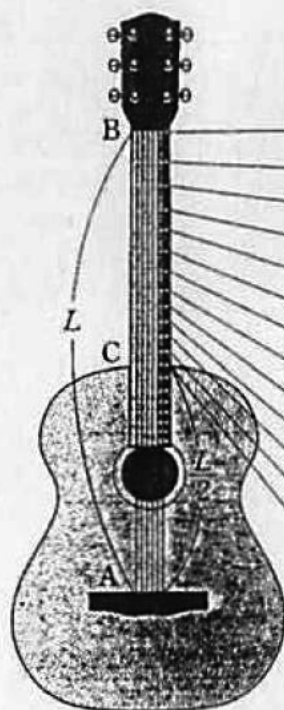
よって、 $t^{12} = 0.5$ であり、 t の値はおよそ 0.94 である。



練習 2 $t = 0.94$ について、 t^{12} がおよそ 0.5 となることを確かめなさい。

←電卓を利用しよう。

15



フレット	音	長さ(cm)	長さの比
0	ド	63.0	
1	#ド	59.5	0.94
2	レ	56.2	0.94
3	#レ	53.1	0.94
4	ミ	50.1	0.94
5	ファ	47.3	0.94
6	#ファ	44.6	0.94
7	ソ	42.1	0.94
8	#ソ	39.7	0.94
9	ラ	37.5	0.94
10	#ラ	35.4	0.94
11	シ	33.4	0.94
12	ド	31.5	0.94

ここでは弦を押さえないで弾いた開放弦での音をドとして考えることにする。

これらの事例は、数学的活動（事象を数学的に考察し表現すること）を通して、数学のよさを認識し、それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てることを目的とするものである。「数学と人間とのかかわりや、社会生活において数学が果たしている役割について理解させ、数学に対する興味・関心を高めるとともに、数学的な見方や考え方のよさを認識し数学を活用する態度を育てる」ことや、「数学と人間とのかかわりや数学の社会的有用性についての認識を深めるとともに、事象を数理的に考察する能力を養い、数学を積極的に活用する態度を育てる」ことを目指すものとして位置づけられている。具体的な場面としては、テクノロジーやエンジニアリング、或いは科学の俎上にあると判断できるものであるが、そのアプローチは数学のそれである。

中央教育審議会教育課程部会「高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の在り方に関する特別チーム」は、より高度な思考力・判断力・表現力等を育成するための新たな科目として『数理探究(仮称)』を提案している。この科目は、従来の数学と理科の各教科で求められていた資質・能力を統合した科学的な探究能力の育成を図るとともに、課題に徹底的に向き合い考え抜いて行動する力の育成を図るものとされる。従来の「数学活用」と「理科課題研究」とを融合する形で示される新しい科目が今後どのように位置づけられていくかは、数学教育とテクノロジー・エンジニアリング教育／理科教育との接点を探るための一つの視点となると考えられる。

3. 4 STEM の”M”はどこにあるのか

筆者は本プロジェクトの一員として、平成 26 年 3 月にアメリカ・フロリダ州オーランドで行われた ITEEA 年次総会（International Technology and Engineering Educators Association ITEEA's 76th Annual Conference）に参加した。ここで見聞したことの大半は、テクノロジー・エンジニアリング教育や理科教育に関するもので、数学教育を全面に打ち出した発表や報告、或いは展示などは皆無であった。

テクノロジー・エンジニアリング教育と数学教育との接点についての報告に、例えば二宮・國宗(2007)がある。ここでは、「技術的素養の育成」を目指した授業を対象にして、そこでの問題解決プロセスを算数・数学教育の視点から分析し、科学、技術、数学の総合カリキュラム開発に資することを目的とした。具体的には、2004（平成 16）年度～2006（平成 18）年度文部科学省研究開発学校の東京都大田区立矢口小学校(2007)「ものづくり科（Technology Education）教科書」において提案されている「ソーラークッカーをつくろう（3 年生）」と「ザリガニロボットをつくろう（4 年生）」の授業について、算数・数学教育の立場から分析した結果（二宮ら、2010）、そこには算数・数学との内容的関連性が見いだされるとともに、技術科における「活動」に伴う算数科の非意図的(インフォーマル)な学習が、学習(活動)を通して獲得される(算数の)理解・能力の素地となり得ることが明らかになった。技術科における活動と並行してなされる算数・数学的活動は、技術科の活動の中に確実に位置づいてはいるものの、技術科の活動に内在し、顕在化していない。

数学教育において、数学学習を「内容」と「方法」とに区分する視点がある。そして、方法的側面である「プロセススタンダード」は、文部科学省の言う「汎用的能力」の一部として位置づけることができるという点において、数学の学習のみならず、テクノロジー・エンジニアリング教育や科学教育にも広く適用される。更に言えば、汎用的能力は特定の教科において育成されるべきものではなく、様々な教科における活動を通して、包括的に培われるものとして捉えるべきであろう。

STEM 教育において、数学がその「方法」として位置づいていることは間違いない。しかし数学の「内容」が STEM 教育に位置づいているかについては、非常に疑わしい。一方で、学習の「方法」はそれ単独で学ばれるべきものではなく、必ず適切な「内容」を伴って学ばれるべきものである。数学教育における内容と方法の議論は、それらを相互構成的なものとして位置づけた上で、数学的な内容の学習を通して数学的な方法を習得するとともに、数学的な方法を用いて数学的な内容を学習することを示している。現状の STEM 教育において、テクノロジー・エンジニアリング教育や科学教育の内容を「数学的な方法」を用いて学習することに異存は無いが、一方で、「数学的な内容」を全く伴わない形で「数学的な方法」が位置づけられることが望ましいことであるのかについては、疑問が残る。STEM の”M”の位置づけについては、今後の実践・研究において深く検討していくべき事柄であると考えられる。

引用文献

※本章におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2015 年 12 月 31 日

- (1) 中央教育審議会(2008)『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について（答申）』

- http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1216828.htm
- (2) 中央教育審議会(2015)『教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）』
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm
- (3) 片桐重男(1988)『数学的な考え方の具体化』明治図書
- (4) 実教出版(2012)『数学活用』
- (5) 文部科学省(1999)『高等学校学習指導要領解説 数学編理数編』
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320144.htm
- (6) 文部科学省(2008)『小学校学習指導要領解説 算数編』東洋館出版社
- (7) 文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説 数学編』教育出版
- (8) 文部科学省(2009)『高等学校学習指導要領解説 数学編理数編』実教出版
- (9) 文部科学省(2011)『評価規準の作成，評価方法等の工夫改善のための参考資料』
<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/shidousiryoku.html>
- (10) 文部科学省(2015)『数理探究（仮称）に関する資料』
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/070/siryo/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1363093_10_1.pdf
- (11) 中島健三(1981)『算数・数学教育と数学的な考え方—その進展のための考察』金子書房
- (12) NCTM(1989), Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics（邦訳：能田・清水・吉川監修『21世紀への学校数学の創造』，筑波出版会, 1997）
- (13) NCTM(2000), Principles and Standards for School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics（邦訳：筑波大学数学教育学研究室「新世紀をひらく学校数学」，2001）
- (14) 二宮裕之(2005)『数学教育における内省的記述表現活動に関する研究』風間書房
- (15) 二宮裕之(2006)「算数・数学学習における評価とその成果に関する一考察—レポート形式の評価の事例を手がかりとして—」『日本数学教育学会誌』第 88 巻第 10 号, pp.12-21
- (16) 二宮裕之・國宗進(2007)「技術的問題解決プロセスに算数・数学を位置づける」『日本科学教育学会第 31 回年会論文集』 pp.167-170
- (17) 二宮裕之・日野圭子・國宗 進(2010)「第 4 章 理科・技術科・数学科の統合カリキュラム開発 第 1 節 算数・数学教育の立場から」, pp.44-67, 小林辰至（研究代表者）「PISA 型学力としてのコンピテンシー育成を目的とした統合カリキュラムの理論的研究（課題番号 19330199）」，平成 19 年～21 年度科学研究費補助金（基盤研究 B）研究成果報告書
- (18) 東京都大田区立矢口小学校(2007)『ものづくり科(Technology Education)教科書』平成 16・17・18 年度文部科学省研究開発学校
- (19) 東京書籍(2002)『数学基礎』
- (20) 内田伸子(1986)「作文の心理学 - 作文の教授理論への示唆 - 」『教育心理学年報』第 25 集, pp.162-177

第4章 防災・エネルギー・リスク評価リテラシー育成の視座から見た技術に関わる

ガバナンス教育の現状と課題

大谷忠（東京学芸大学）

4.1 はじめに

本章は防災・エネルギー・リスク評価・リテラシー育成の視座から、近年、科学技術に関わる教育において重視されている「ガバナンス教育」を取り上げる。ここでの「ガバナンス教育」は、科学技術の高度化・専門化に伴い、国民が科学技術の専門的な内容の理解に希薄化した現代において、いかに、一人一人が科学技術社会に主体的に参画し、身近な科学技術に関わる問題に取り組みながら、互いの合意形成を図るかというガバナンスの考え方をどのように育成するかという内容を含んでいる。

本章では、特に技術教育の視点から、「技術に関わるガバナンス教育」に焦点を当て、平成23年度～26年度に実施された科学研究費プロジェクト(基盤研究(B))「中学生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・検証」研究代表者上野耕史(国立教育政策研究所教育課程研究センター)の内容を取り上げる¹⁾。

著者は本プロジェクトに研究分担者として加わった立場から、本章では上記のプロジェクトの結果を適宜引用しながら、技術に関わるガバナンス教育の現状と課題について述べる。

4.2 普通教育としての技術教育における現状

本章で取り上げる「ガバナンス教育」は、前述したように、国民が社会にある問題に主体的に取り組み、互いの合意形成を図るという、一人一人が社会の一員として持ち合わせている素養を含んでいる。このような素養は、リテラシー育成(各自が持ち合わせている社会の一員として必要な活用力と本章では位置付ける)の本質に当たるものである。

また、前述したリテラシー育成は、国民を対象として行われるものであり、小学校・中学校における義務教育を含む、普通教育で取り扱うべき重要な内容である。本章で取り上げる「技術に関わるガバナンス教育」を普通教育において取り扱う上で、主な対象となる教科は現在のところ、中学校における技術・家庭科技術分野となる。ここでは、技術分野におけるリテラシー育成の現状について確認してみる。

現在の技術分野における教育目標を規定している平成20年改訂中学校学習指導要領には、技術・家庭技術分野の目標として「ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、材料と加工、エネルギー変換、生物育成及び情報に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに、技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め、技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる。」と記載されている²⁾。

上記の目標には「技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる」とあり、本章で規定したリテラシー育成の内容と「活用する」という点において共通している。すなわち、現状の教育課程における内容には、技術に関わるリテラシー育成の考え方は既に取り入れられており、現状の技術教育では技術を評価し、活用するというリテラシー育成が重視されていることが確認できる。

したがって、本章で取り上げる「技術に関わるガバナンス教育」は、既に普通教育としての技術教育に取り入れられている「技術を適切に評価し活用する」というリテラシー育成の延長線上に立ち、どのように新たな「ガバナンス教育」の内容を取り入れていくかという点に注目することができる。

4.3 技術に関わるリテラシー育成について

上記に挙げた「技術に関わるガバナンス教育」の内容を新たに取り入れていくためには、既に技術教育に取り入れられているリテラシー育成の現状を振り返り、その中から上記の課題を乗り越えるための糸口を見つけることができる。

本章の冒頭でも述べたように、我が国を取り巻く先進国を中心とした社会では、科学技術の高度化・専門化に伴い、国民が科学技術の専門的な内容の理解に希薄化した現状が広がっている。一方では、スマートフォンや高度化した家電製品には、従来の機械的な要素に加え、情報を処理するシステムが導入され、それらを活用して生活を便利にしていく状況に一人一人が否応なしにさらされることになる。

以上のような状況を乗り切るためにリテラシー育成が必要であり、我が国においても、このようなリテラシー育成の重要性に鑑み、150人以上の科学者と教育学者が参加し、科学技術の智報告書³⁾が2008年にまと

められた。

本報告書では、科学技術に関わる国民のリテラシー育成の重要性を指摘しており、その科学技術の智に関わる学問領域として、数理科学や生命科学、物質科学、情報学、人間科学・社会学、技術の領域を取り上げている。本章で取り上げる「技術に関わるガバナンス教育」は、このような学問領域における考え方を参考にできる。

特に、科学技術という言葉が国民が耳にした時、既に小学生や中学生の段階から、科学技術は「科学的だ」と考える傾向にあることが、「科学」と「技術」の内容に関する認識調査の結果から明らかにされている⁴⁾。このような偏向した国民の科学技術観において、技術に関わるリテラシー育成を図ることは重要であり、そのリテラシー育成のための基本的な考え方として、本報告書に記載されている技術の本質の内容は参考にできる。

本報告書では、技術の本質として、「技術を作り出す際には、デザイン（設計）が重要になる。現代社会では偶然に技術が生み出されることは少ない。偶然の発明であるとしても、そのまま技術となることはない。デザインの過程で、一定の制約条件（既存の技術体系、安全性など）の下で目的を達成するために、様々な可能性の中から実現可能な方法が採用される。その際に重要になるのが評価である。評価基準の間ではトレードオフが生じる。性能を上げるにはコストがかかる。安全性を上げるにもコストがかかる。そのようなトレードオフの中から、最善の選択肢を選んでデザインが決まる。技術は生み出され、社会へ投入されれば終わりというわけではない。技術の使用に際しては、技術のコントロール（制御）やマネジメント（運用）が必要である。その結果、技術の使用を中止する場合もある。新技術の導入にあたっては、既存の技術システム、社会システム、環境に対して様々な影響を及ぼす可能性がある。そうした影響を評価するテクノロジーアセスメント（技術の事前評価）が必要である。」と記載されている⁵⁾。

本章において「技術に関わるガバナンス教育」の内容を取り扱う上で、上記の技術の本質の中で述べられている、技術が生み出されるプロセスへの理解は必須になる。特に、プロセスに含まれる以下の4つの行為は、技術に関わるガバナンス教育を実施する上で、重要な教育的要素として参考になる。

- (1) 技術を作り出す際のデザイン（設計）
- (2) 技術のコントロール（制御）
- (3) 技術のマネジメント（運用）
- (4) テクノロジーアセスメント（技術の事前評価）

以上の(1)～(4)の要素は、ガバナンス教育を実施するのみならず、技術に関わるリテラシー育成を図る上で重要な教育内容であり、本内容を技術教育に取り入れる上で、「技術に関わるガバナンス教育」のための内容論（ここでの内容論は技術教育に含まれる本質的な教育内容の在り方を意味する）として位置付けることができる。

4.4 技術に関わるリテラシー育成とガバナンス教育との関係について

前述したように、科学技術の高度化・専門化に伴い、国民が科学技術の専門的な内容の理解に希薄化した現状が広がっている。そのため、科学技術の陰の部分に関わるような問題に直面したとき、その問題に対して、一人一人がどのように取り組むかが、近年問題視されている。

例えば、東日本大震災における福島原子力発電所の問題は、我々に今もなお大きな課題を残している。原子力発電の賛否に関しては、個人の見解によるものと推察するが、本章で取り上げる問題は原子力発電のような技術が生み出されるプロセスに関して理解し、一人一人がどのようにその技術を活用すべきかということを考えている国民は何人いるかという点にある。

図4.4.1は平成16年に刊行された科学技術白書において、科学技術政策に関して、国民参加の必要性について調査した結果を示す⁶⁾。本調査では「科学技術に関する政策形成には、研究者や行政官といった専門家だけでなく、国民自身の参画がより一層必要となってくる」という意見について、どう思うかという質問に対して、「そう思う」「どちらかと言うとそう思う」と回答した割合は、全体の約7割を占めている。すなわち、上記の原子力発電技術の賛否の問題に当てはめれば、国民は研究者や行政官のような専門家だけに、原子力発電のような大きな科学技術政策を任せておくのではなく、自分たちもその発電技術を利用するかどうか等について、合意形成に参画することが必要だと思っている人が多いと読み替えることができる。

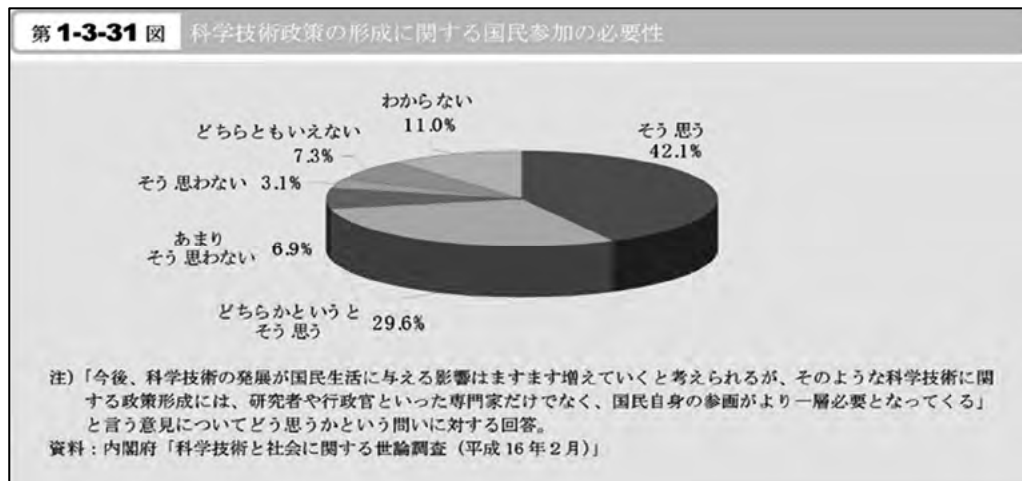


図 4.4.1 科学技術政策における国民参加の必要性に関する調査（平成16年科学技術白書）

以上のような、原子力発電の賛否に関する合意形成については、発電によって生み出される放射性物質の危険性について教育的に取り上げることも重要であるが、原子力発電という技術を理解し、今後活用していくかどうかを一人一人が評価していくことも教育的に重要である。

このような身近な社会における電力の供給という長所と、発電に伴う放射性物質の危険性という短所を互いに照らし合わせながら、一人一人が社会におけるその技術の必要性について評価し、利用するかどうかを互いにどう合意形成するかが、技術に関わるガバナンスの考え方である。

また、以上のような技術に関わるガバナンスの考え方を一人一人が身に付ける上で、その考え方を理解し、社会参画していく中で、自らがその考え方を活用していけるようになることが重要になる。すなわち、科学技術に関わるリテラシー育成が重視される中で、原子力発電のような技術が生み出されるプロセスへの理解は重要であり、さらにその技術を理解した上で、互いに合意形成に至ることができるようなガバナンス教育が重要になることを意味している。

4.5 技術教育におけるガバナンス能力を育成するための課題

上記の例で示したような、原子力発電技術の問題は、我が国のような資源の少ない国にとって大きな問題であり、科学技術の問題を取り上げる上での社会の大きな問題の一つである。このような社会にとって、大きな技術に対する評価は、多様な側面から技術の評価がなされるべきであり、そのためには一人一人の技術の評価に対するガバナンス能力の育成が重要になる。

前述したように、既存の教育課程における普通教育としての技術教育（ここでは国民になるべき対象としての多くの人が受けるべき技術教育を意味する）は、中学校段階に限られている。上記の原子力発電技術のような社会の大きな技術に対する評価は、3年間のみの普通教育で形成できるものではなく、長い年月を経て段階を追って形成されるべきものである。その点において、現状の教育システムに課題が残る。

また、現在中学校で実施されている技術教育では、平成20年に改訂された学習指導要領の目標にあるように、「技術を適切に評価し活用する」というリテラシー育成に関する目標は掲げられている。この目標に沿って、原子力発電技術のような問題を取り上げ、技術分野の授業の中で、その技術の評価を行っていくことは可能であるが、技術を評価する能力が備わっていない段階で、中学生に原子力発電技術のような大きな技術の問題について唐突に考えさせることには無理がある。

以上のことから、現行の教育課程における内容を踏まえ、技術教育におけるガバナンス能力を育成するための課題を挙げると以下ようになる。

- (1) リテラシー育成の中で捉える技術に関わるガバナンス教育の考え方を規定する
- (2) 現行の教育課程の現状を踏まえ、中学生の段階に絞った技術に関わるガバナンス教育の在り方を考える
- (3) 規定したガバナンス教育の考え方に基いて、中学生におけるガバナンス能力の現状を把握する
- (4) 把握したガバナンス能力を踏まえ、中学生に対して行うべきガバナンス教育を実践してみる
- (5) 実践結果を踏まえ、技術教育における今後のガバナンス教育の課題を考える

4.6 技術に関わるガバナンス能力調査

4.6.1 技術に関わるガバナンス教育の考え方の規定

上記で原子力発電技術の問題を取り上げたが、このような技術に関わるガバナンス教育の必要性から、本教育を実施していくためには、普通教育で取り扱うガバナンス教育の考え方を規定する必要がある。

前述したように、本章で取り扱う「ガバナンス教育」は、国民が科学技術の専門的な内容の理解に希薄化した現代において、いかに一人一人が科学技術社会に主体的に参画し、身近な科学技術に関わる問題に取り組みながら、互いの合意形成を図るかという内容を含んでいる。

したがって、平成23年度～26年度に実施された上野らによる科学研究費プロジェクトでは、技術に関わるガバナンス教育を通して中学生に育成すべき能力として、「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」が規定された。

さらに、本プロジェクトでは、前述したような科学技術の智プロジェクト報告書に記載されている技術の本質的な考え方に基付いて、ガバナンス能力を構成する要素として、以下の4つの能力を規定した。

- (1) 【選択】：生み出された技術に対して、その技術を利用することが考えられる場面において、目的と条件を踏まえ、技術を適切に導入できる能力
- (2) 【管理運用】：技術が生み出された後、その技術を利用する上で、効果とリスクを踏まえ、技術を適切に管理運用できる能力
- (3) 【評価】：新しい技術を生み出す場面において、既存のシステムや環境に対して、技術の効果やリスクを判断できる能力
- (4) 【設計】：ある「条件」下で「目的」を達成するための設計（計画）が行われ、その状況の中で「目的」や「条件」が大きく変化した場合、目的と条件を踏まえて、新たな技術を生み出せる（設計できる）能力

特に上記で取り上げた技術に関わるガバナンス能力を構成する要素の中で、【選択】【管理運用】の要素に関しては、科学技術の智報告書で記載されている(2) 技術のコントロール（制御）と(3) 技術のマネジメント（運用）の内容と対応しているが、ガバナンス能力を構成する要素は異なる名称になっている。

これらの要素については、技術のコントロール（制御）とマネジメント（運用）のイメージが中学生には理解しにくいことを考慮し、コントロールを【選択】、マネジメントを【管理運用】と呼び、上記に示した能力によって規定した。

4.6.2 技術に関わるガバナンス能力調査の概要

前述したような、技術に関わるガバナンス能力を構成する要素に従って、それらの要素について中学生におけるガバナンス能力の現状を把握することが重要になる。

そこで、平成23年度～26年度に実施された科学研究費プロジェクト「中学生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・検証」において、中学生の技術に関わるガバナンス能力の調査が実施された。本調査では、中学校技術・家庭科技術分野における各内容を対象として、アチーブメントテストを作成し実施した。調査は無作為に抽出した全国の中学校38校の生徒1235名を対象とし、平成24年6～7月の期間に調査を実施した。

表4.6.1は中学生に対する技術に関わるガバナンス調査内容の概要を示す。本調査では、技術分野における4つの内容を対象として、各内容において、前述した技術に関わるガバナンス能力を構成する要素（【選択】【管理運用】【評価】【設計】）に関する能力を調査する問題を出題した。

これらの調査に関して、【選択】の問題では鉄パイプの加工方法の選択や照明器具における電球の選択等、技術で学習する内容を考慮し、材料やエネルギー変換、栽培方法、情報手段に関する選択式の問題を出題した。また、【管理運用】については橋の保守管理や自転車の整備、害虫の対処、データの管理運用等の方法に関する選択式の問題を出題した。【評価】の問題では、森林資源・木材の伐採や利用、原子力発電所の発電方法、遺伝子組み換え作物の利用、Twitterの利用等について生徒各自の興味・関心、利用等の意志について立場を聞いた上で、なぜそのように評価したのかに関する基準を選択させる問題を出題した。【設計】の問題では、形状記憶合金や圧電素子を利用した新しい製品の設計、新しく開発された作物栽培の利用、ICタグの

機能を利用した新しい製品の設計等について、(1) アイディア、(2) 場面と問題、(3) 機能や特徴について記述させる問題を出題した。

以上の【選択】や【管理運用】の問題に関しては、技術に関わるガバナンス能力の視点から、身の回りに利用されている技術の方法に関して選択できる能力や適切に管理運用できる能力について調査している点において新規性がある。また、【評価】の問題に関しては、身のまわりにある既存の技術の問題に視点を当て、その技術への興味・関心に加え、技術の利用に関する本人の意志を調査している。さらに、その調査を踏まえた上で、なぜそのように評価したのかに関する視点を調査している点に、初めて中学生におけるテクノロジーアセスメント（技術の事前評価）の特徴を見出す総合的な調査を実施している。【設計】に関しては、設計作業における生徒の思考を詳細に抽出するため、記述式の問題に取り組んでいる点に新規性がある。

表 4.6.1 中学生に対する技術に関わるガバナンス調査内容の概要

内 容	【選択】問題	【管理運用】問題	【評価】問題	【設計】問題
材料と加工に関する技術	自転車部品における鉄パイプの加工方法の選択	橋を長く安全に使うための保守管理の方法	森林資源・木材の伐採や利用の評価	形状記憶合金を使って新しい製品を設計
エネルギー変換に関する技術	電球型の照明器具における電球の選択	自転車の正しい整備方法	原子力発電所の発電方法の評価	音を電気信号に変換する圧電素子を使って新しい製品を設計
生物育成に関する技術	畑で作物を栽培する上での生育途中の追肥の選択	化学農薬を散布する上での害虫の対処方法	遺伝子組み換え作物の利用	作物の各部位の形や大きさを自由に設計できる技術の利用
情報に関する技術	情報の共有と公開の仕組みについて、情報手段の選択	組織内の様々なデータの管理運用の方法	Twitter の特徴を例示し、その効果や危険性の評価	IC タグ部品の機能を利用した設計

4.6.3 技術に関わるガバナンス能力調査の結果の概要

4.6.3.1 【選択】に関する結果の概要

以下では、技術に関わるガバナンス能力の調査を実施した結果について、その出題内容も含めて、結果の概要を取り上げる。

図 4.6.2 は技術に関わるガバナンス能力の調査における生物育成に関する技術の【選択】問題を示す。図 4.6.2 に示すように、畑で作物を栽培する上での生育途中の追肥の選択を行う問題においては、中学生の 86.0%が③の正答を回答した。

電球の選択では 58%の正答率であり、情報に関する技術では、野球チームの活動における情報発信の内容と手段の組み合わせとして正しいものを選択する問題では 55.8%の正答率であった。

以上の【選択】問題では、生物育成に関する技術の内容がその他の内容に比べて正答率が高く、選択の傾

- 畑で作物を栽培する際、最初に元肥（基肥）を与えるとともに、肥料が欠乏しないように、生育途中にも追肥を与えることが一般的です。この肥料の与え方について、技術的に正しい説明がなされていると考えられる説明文を次の選択肢から一つ選び、その番号を解答用紙の中に書きなさい。
- ① 肥料が多いほど作物の生育は促進されるため、なるべく多くの肥料を毎日追肥する
 - ② 追肥を行うと、水質や大気汚染など環境に悪影響を及ぼすため、葉色がうすくなり、肥料が欠乏しても追肥は行わない
 - ③ 必要な肥料の量を計算して、過剰とならないような適量を追肥する（正答）
 - ④ 肥料が流れないように、作物の根の直下を深く掘り返して肥料を埋める

図 4.6.2 技術に関わるガバナンス調査における生物育成に関する技術の【選択】問題

向としては、4割以上の生徒が多様な【選択】の問題に関しても正答を選択していた。このことから、今回のガバナンス調査のように、身のまわりにある技術を取り上げ、その技術の有効性に気付き、最適な選択ができるかを問う新しい方式の調査に関しては、今後に課題が残るものの、最適な選択ができる生徒は4割以上いることがわかった。

4.6.3.2 【管理運用】に関する結果の概要

図4.6.3は技術に関わるガバナンス能力の調査における材料と加工に関する技術の【管理運用】問題を示す。図4.6.3に示すように、橋を長く安全に使うための保守管理の方法について選択する問題に関しては、中学生の65.0%が①の正答を回答した。

【管理運用】の問題に関しては、その他のエネルギー変換に関する技術では、自転車の正しい整備方法の中で不適切なものを選択する問題では32%の正答率であり、生物育成に関する技術において化学農薬を散布する上での害虫の対処方法について不適切なものを選択する問題で52.5%の正答率、情報に関する技術において会社の中でLANを使ったファイルデータの管理運用を行うための方法として不適切なものを選択する問題では60.5%の正答率であった。

以上の【管理運用】問題では、材料と加工に関する技術の内容がその他の内容に比べて正答率は最も高く、選択の傾向としては、エネルギー変換に関する技術の問題で正答率が低かったが、その他は5割以上の生徒が多様な【管理運用】の方法として不適切なものを選択していた。上記の【選択】の要素と同様、身のまわりにある技術を取り上げ、その技術の不適切な管理の仕方や運用の仕方について選択ができるかを問う新しい方式の調査に関しては、調査の出題内容に今後の課題が残るものの、【管理運用】の問題では6割の正答率に達している内容もあることがわかった。

Hくんが通学に使う電車は、海から離れた山間部の川を渡るためにいくつかの橋を渡ります。その橋は、金属（鉄鋼）が主な材料として用いられており、長く安全に使うために保守管理の手入れがされています。橋を長く安全に使うための保守管理の方法として間違っているものを次の選択肢から一つ選び、その番号を解答用紙の中に書きなさい。

- ① できるだけこまめに水で洗浄する（正答）
- ② 金属の箇所・部品がさびないように塗装する
- ③ ねじで接合している箇所を定期的に点検する
- ④ 周りの障害物などを除去して風通しを良くする
- ⑤ 金属の箇所・部品に大きなキズが付いていないか定期的に点検する

図4.6.3 技術に関わるガバナンス調査における材料と加工に関する技術の【管理運用】問題

4.6.3.3 【評価】に関する結果の概要

図4.6.4は技術に関わるガバナンス能力の調査におけるエネルギー変換に関する技術の【評価】問題を示す。【評価】に関する問題では、技術分野の学習で取り扱っている原子力発電の方法に関する問題を出題した。本問題では、まず原子力発電に対して、（1）どの程度興味があるかについて5段階による評価を行い、（2）今後の発電方法に関して、自分の考えに近い内容を選択する問題を出題した。

以上の関心および各自の考えを聞いた上で、（3）なぜそのような回答を選択したのかに関する理由を選択肢の中から3つ選択する問題を出題した。その結果、（1）の興味に関しては、とてもあるとどちらかといえればあるを含めると、全体の約6割の生徒は興味があると回答している。さらに、（2）の5年後の原子力発電の割合について選択肢から一つ選ぶ問題では、できるだけ発電する割合を少なくすると回答した生徒は全体の約半数に上った。

そこで、（3）において、（2）の回答を選んだ理由について3つ選択する問題では、安心して利用できるか（54%）や電力を安定的に供給できるか（16%）等の社会的な要因を選択する割合が多く、その他の自然環境に対する影響は少ないか（15%）等の環境的要因や電気代は安い（5%）等の経済的要因を選択する生徒はいるものの、一部の要因に偏って理由を選択する傾向にあった。すなわち、技術分野で取り扱っている原子力発電の方法に関して、中学生にその技術の評価に関する能力を調査した結果、特定の側面からしか現状の発電方法を評価していない傾向が明らかとなった。

以上のような、特定の側面から技術を評価する傾向は、その他の内容では、材料と加工に関する技術の内

私たちは豊かな生活を送るために多くのエネルギーを消費していますが、日本のエネルギーの自給率は4%です。特に、私たちに一番身近なエネルギーである電気について、福島第一原子力発電所の事故をきっかけとして原子力発電の賛否が問われるようになり、震災前（平成22年）と震災後（平成23年9月）では、下の表のように発電方法の割合が変化しました。この表を参考にこれから（今後5年以内）の発電方法について、あとの問いに答えなさい。

発電方法	発電率※1（目安）		特徴
	震災前	平成23年9月	
水力	8	11	発電量は安定しているが、ダムなどの建設が必要で、流域に配慮がいる。発電時にCO ₂ を排出しない。発電単価※2が比較的高い
火力	60	78	燃料は海外から輸入。発電時にCO ₂ を排出する。電力消費量に応じた発電ができる。発電単価が比較的安い。
原子力	31	10	ほとんどの燃料は海外から輸入。発電時にCO ₂ を排出しないが、放射性物質・廃棄物を発生する。発電単価が比較的安い。
太陽光等	0.3 未満	0.3 強	エネルギー源が自然由来のため不安定である。発電時にCO ₂ を排出しない。発電単価が高いが、売電できる。

※1 資源エネルギー庁電力調査統計・統計表一覧H22年度及びH23.9データから作成

※2 発電単価：建設費、運転費、廃棄物処理費の合計を1kWh当たりで計算したもの。

（1）あなたは原子力発電に対して、どれくらい興味・関心がありますか。次の選択肢から一つ選び、その番号を解答用紙の中に書きなさい。

- ① とてもある（16%）
- ② どちらかといえばある（46%）
- ③ どちらかといえばない（28%）
- ④ 全くない（10%）

（2）5年後の原子力発電の割合について、自分の考えに最も近いものを次の選択肢から一つ選び、その番号を解答用紙の中に書きなさい。また、そのように考えた理由を解答用紙の口の中に簡単に書きなさい。

- ① 震災前の割合程度で発電する（18%）
- ② 平成23年9月頃の割合程度で発電する（15%）
- ③ できるだけ発電する割合を少なくする（49%）
- ④ すべて廃止する（17%）

（3）あなたが上記の問で「自分の考え」を書く時、どのような視点に着目して考えましたか。特に重要だと考えた視点を次の選択肢から三つ選び、その番号を重要だと思う順番に解答用紙の口の中に書きなさい。なお、その他を選択した場合はその内容を解答用紙の中に簡潔に書きなさい。

- ① 安心して利用できるか（54%）
- ② 外国で利用されているか（3%）
- ③ 周りに反対している人はいないか（5%）
- ⑤ 電気代は安い（5%）
- ⑥ 電力を安定的に供給できるか（16%）
- ⑦ 発電所を建設するために必要な時間や経費は少ないか（2%）
- ⑧ 発電所を建設することでの自然環境に対する影響はないか（2%）
- ⑨ CO₂や放射性物質・廃棄物など、発電により発生する物質等の自然環境（15%）に対する影響はないか（15%）

図 4.6.4 技術に関わるガバナンス調査におけるエネルギー変換に関する技術の【評価】問題

容において、森林資源・木材の伐採や利用の評価について調査した問題では、主に環境的要因に基付いて評価する傾向があった。また、生物育成に関する技術の遺伝仕組み換えの問題および情報に関する技術の Twitter の特徴を例示し、その効果や危険性を評価する問題では、ともに社会的要因に基付いて評価する傾向があった。

以上のことから、いずれの内容においても、現状の中学生は社会に存在している既存の技術を特定の側面からしか評価していない傾向にあり、技術分野で学んだ技術の知識や見方・考え方を活かして、身のまわりにある技術の評価することに課題があることを示している。

4.6.3.4 【設計】に関する結果の概要

図 4.6.5 は技術に関わるガバナンス能力の調査における情報に関する技術の【設計】問題を示す。【設計】に関する問題では、生徒に IC タグ部品の機能を利用したアイデアを一つ考えさせ、図や文字で説明するとともに、どのような問題の解決につながるか、機能や特徴を記述する問題を出題した。

得られた結果に関して、第一段階による評価を行い、まず（１）未回答、（２）問題の趣旨と異なる、（３）回答に整合性なし、（４）調査対象となる回答の４段階に分類した。その結果、IC タグ部品の機能を利用した設計問題では、（１）28.7%、（２）35.1%、（３）18.9%、（４）17.2%であった。これらの結果から、調査対象となる回答が得られた結果は、全体の２割にも達しておらず、未回答の生徒が全体の約３割に達していた。

そこで、（４）調査対象となる回答結果に基づいて、その設計能力を調査するため、その設計の趣旨が個人のために設計されたものか（個人）、または社会のために設計されたものか（社会）について分類し、さらに、その設計内容が使用者の立場から設計されたものか（使用者）、生産者の立場になって設計されたものか

下の図は、IC タグと呼ばれる部品です。電波を受けて働く小型の電子装置で、次のような機能があります。

機能1：様々な情報を IC タグ本体に記録できる。
記録は、最初だけでなく、途中で別の情報を追加することもできる。

機能2：記録した情報は専用の受信機（IC リーダー）を使って読み取り、データをコンピュータで処理したり、インターネットで通信したりすることができる。

機能3：IC タグは安価で、小型なため、様々なものに数多く取り付けることができる。

この IC タグには様々な用途が考えられます。例えば、商品に IC タグをつけておくことで、生産者や流通経路を記録することができ、物流管理などに利用することができます（お店でお肉を買う時に、そのお肉を誰が生産し、どのような経路を通過して、いつスーパーの棚に並べられたかを、消費者が知ることができる）。

上述した IC タグの機能を利用するアイデアを一つ考え、あとの問いに答えなさい。ただし、上記に例示した「食品の管理」以外の例を考えなさい。また、IC タグに情報を記録する装置や受信機は家にあるものとします。

（１）考えたアイデアを、解答用紙の中に文章や図で簡単に書きなさい。

（２）考えたアイデアは、どのような場面で利用できるか。また、このアイデアを利用することで、どのような問題が解決できると考えられるか、解答用紙の中に文章で書きなさい。

（３）考えたアイデアは、どのような機能や特徴を持っているか。解答用紙の中に文章で書きなさい。



図 4.6.5 技術に関わるガバナンス調査における情報の技術に関する【設計】問題

(生産者)について、図および文字から分析した。その結果、個人・使用者の立場や社会・使用者の立場から設計された回答が多く、さらに社会、環境および経済のいずれの側面から設計された内容かについて分析した結果、主に社会的側面から設計された内容が多かった。

以上の結果から、【設計】の内容に関しては、現状の中学生において設計できる生徒が少なく、技術分野に関わる内容に基付いて、新しいものを生み出そうとする土壌基盤ができていないことがわかる。さらに、調査対象となる回答ができた生徒に関しても、生産者の立場になって、多様な側面から新しいものを生み出そうとする革新的な技術を生み出す視点がなく、社会における消費者や個人の立場から必要となるものを生み出そうとする傾向があることがわかった。

4.7 技術に関わるガバナンス能力育成のためのカリキュラム開発

4.7.1 カリキュラム開発のための現状

技術に関わるガバナンス教育を考える上で、平成 23 年度～26 年度に実施された上野らによる科学研究費プロジェクトでは、現状の中学生におけるガバナンス能力調査が実施された。その結果においては、以下のような課題が明らかとなった。

- (1) ガバナンス能力の【選択】【管理運用】の要素に関しては、調査の出題内容に今後の課題が残るものの、最適選択ができるかに関しては一定の正答率があった
- (2) ガバナンス能力の【評価】の要素に関しては、技術分野で学んだ技術の知識や見方・考え方を活かして、身のまわりにある技術を評価することに偏りがあり、特定の側面からしか技術を評価していないことに課題が認められた
- (3) ガバナンス能力の【設計】の要素に関しては、現状の中学生には新しいものを生み出そうとする土壌基盤ができておらず、自らが生産者の立場になって、多様な側面から新しいものを生み出そうとする革新的な技術の視点がなく、特定の側面からしか技術を評価していないことに課題が認められた。

以上の課題に基付いて、技術に関わるガバナンス教育を中学生に対して実施するためには、課題を克服するためのカリキュラム開発の必要性がある。そこで、上野らによる科学研究費プロジェクトでは、上記の課題を踏まえた、授業実践を試みた。授業実践に関しては、主に平成 25 年度および 26 年度に実施され、その実践報告がなされている¹⁾。実践の詳細については、その実践報告を参照して頂きたいが、本報告では技術に関わるガバナンス教育を実施していく上での考え方とその考え方に基付いて、カリキュラムを開発していく上での課題について述べることにする。

4.7.2 カリキュラム開発の考え方

既存の中学生に実施されている技術教育において、ガバナンス教育を実施していくためには、上記のプロジェクトで規定したガバナンス能力の要素(【選択】【管理運用】【評価】【設計】)をどのように学習の中で取り上げ、それらの要素を育成するようにカリキュラムを構成するかが重要なポイントとなる。

図 4.7.1 は我が国の技術教育に関する中核的な学術団体である日本産業技術教育学会が提唱した、21 世紀の技術教育(改訂)における技術教育固有の方法を示す⁷⁾。技術教育の方法論に関しては、中学校に本格的な技術教育が実施された昭和 33 年(技術・家庭科の発足)から一貫して、プロジェクト法(計画、実行、評価の流れをもつ教育方法論)による学習を採用している。図 4.7.1 に取り上げられている技術教育固有の方法もプロジェクト法による考え方を技術教育の方法論として発展させ、創造の動機から始まり、成果の評価に終わる流れによって構成されている。

図 4.7.1 に取り上げる各過程の途中段階において、プロジェクトの評価と修正を行いながら、プロジェクトを振り返ったり、修正を加えたりするものの、現行の技術分野の内容において取り上げられている材料と加工に関する技術やエネルギー変換に関する技術、生物育成に関する技術、情報に関する技術のいずれの内容においても、同様の方法により学習を進めることができる。したがって、カリキュラム開発の考え方の基本として、技術教育の方法の中に、段階を追って、技術に関わるガバナンス能力を育成するための要素を導入していく方法が考えられる。

図 4.7.2 は以上の考え方に従って、技術に関わるガバナンス能力育成のための方法論を示したものである。創造の動機に始まり、設計と計画、製作・制作・育成の過程では、【選択】や【管理運用】に関する能力育成

が主となり、最後の成果の評価の段階では【評価】【設計】の要素に関する育成として、新たな技術の視点や創造的な発信ができることが、ガバナンス教育に必要な内容として抽出できる。

さらに、図 4. 7. 3 は日本産業技術教育学会が提唱する 21 世紀の技術教育（改訂）における技術教育固有の対象と内容構成を示す⁸⁾。本内容構成においては、技術教育固有の対象である材料と加工技術等の 4 つの内容を貫く形で、発明・知的財産とイノベーションに関する内容や社会安全と技術ガバナンスに関する内容が示されている。

したがって、技術に関わるガバナンス教育を実践していく上では、上野らのプロジェクトで規定したガバナンス能力に関する要素（【選択】【管理運用】【評価】【設計】）を技術教育固有の対象である 4 つの内容構成に対応させるように配置し、さらに技術教育固有の方法論に従って、繰り返し各要素を配置していく方法が考えられる。また、このような能力育成は発達段階に応じて育成される必要があり、図 4. 7. 4 に示すように、順次育成に伴う能力を拡大させて行けるように、カリキュラムを構成することが重要になる。

そのためには、既存の中学生に対して実施されている技術教育を何らかの形で発達段階に沿って実施できるようにカリキュラムの開発を工夫する必要がある。このような考え方は、カリキュラム開発における一つの方法論として紹介できるが、図 4. 7. 4 に示すような、発達段階に沿ったガバナンス教育が実施されることが今後の課題となる。このような課題を乗り越えることによって、前述したように、原子力発電技術が生み出されるプロセスに関して、国民一人一人が確かな理解をもち、どのようにその技術を活用すべきかという

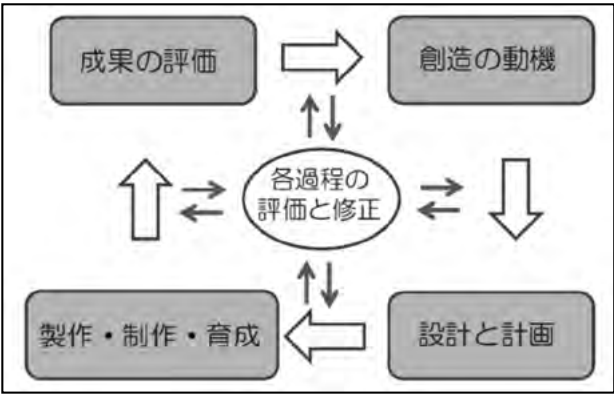


図 4. 7. 1 21 世紀の技術教育（改訂）における技術教育固有の方法

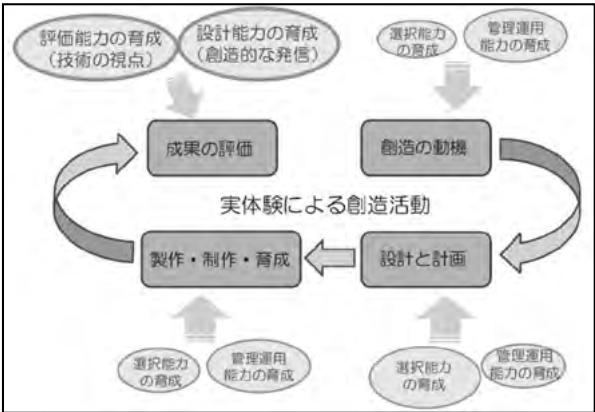


図 4. 7. 2 技術に関わるガバナンス能力育成のための方法論

技術教育固有の対象と内容構成		
材料と加工技術	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
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		

図 4. 7. 3 21 世紀の技術教育（改訂）における技術教育固有の対象と内容構成

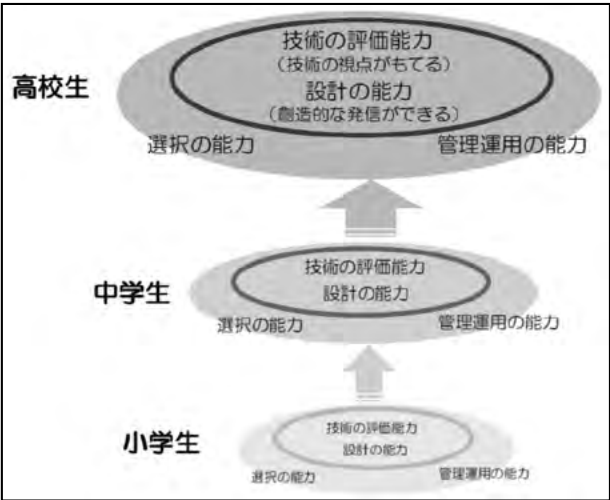


図 4. 7. 4 技術に関わるガバナンス能力育成のための方法論

ことを考えている社会基盤を形成することが今後の我が国に求められている防災・エネルギー・リスク評価・リテラシー育成になるものとする。

【文献】

- 1) 研究代表者上野耕史:平成 23 年度～26 年度科学研究費補助金(基盤研究(B))最終年次研究成果報告書「中学生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・検証」(課題番号: 23300294), pp. 1-266 (2015)
- 2) 文部科学省:平成 20 年改訂中学校学習指導要領解説技術・家庭編, 教育図書, pp. 11-15 (2008)
- 3) 科学技術の智プロジェクト:科学技術の智プロジェクト総合報告書, 科学技術振興機構, pp. 1-11, (2008)
- 4) 谷田親彦, 安藤明伸, 大谷忠, 竹野英敏, 上野耕史:児童・生徒に対する「科学」と「技術」の認識調査, 科学教育研究, **39**(2), pp. 124-133 (2015)
- 5) 前掲 3), p. 17
- 6) 文部科学省:科学技術白書(平成 16 年版), 国立印刷局 (2004)
- 7) 日本産業技術教育学会:21 世紀の技術教育(改訂), 別冊, p. 6 (2012)
- 8) 前掲 7), p. 4

第5章

STEM教育とComputational Thinking重視の小・中・高等学校を一貫した情報技術教育の基準に関する日イギリス米比較研究

大森 康正*・磯部 征尊**・山崎 貞登*

(平成27年8月26日受付；平成27年10月28日受理)

要 旨

我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育とCT (Computational Thinking) を重視した情報技術教育課程の基準を検討するために、イギリスのNC (National Curriculum) 教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsの特にSTEM教育とCTに着眼し、磯部・山崎 (2013) の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準の、特に「デジタル作品の設計と制作」、「計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」を再検討した。久野ら (2015) の情報教育の新3観点の特に、(1)実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知の付加に着目し、磯部・山崎 (2013) の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」、「エ 計測・制御とシステム構成」、「技術教育固有のスタンダード」の内容を修正し、再提案した。また、「材料と加工」、「エネルギー変換」、「生物育成」に関する技術のデザインプロセスと、CTを基盤とした「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」のデザインプロセスとは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスが含まれ、類似性が高く、互いの連携が有効であると考えられる。

KEY WORDS

STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育, コンピュータショナル思考 (Computational Thinking), イギリス・ナショナルカリキュラム「コンピューティング」(Computing in the National Curriculum in England), CSTA K-12コンピュータ・サイエンス基準 (CSTA K-12 Computer Science Standards), デザインプロセス (Design Process)

1 問題の所在と研究目的

本小論の目的は、国内外で現在大きく注目されているSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育とComputational Thinking (以下、CT) を重視した情報技術教育基準の中で、とりわけ「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」の学習到達目標、学習活動内容・方法を提案することである。本稿では、CTを重視した、「グレートブリテン及び北アイルランド連合王国 (以下、イギリス)」のイギリスのナショナルカリキュラム (以下、NC) 教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsを検討した。国際比較研究を通して、我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM教育とCTを重視した情報技術教育課程基準を提案する。

本稿におけるSTEM教育は、Bybee (2010)⁽¹⁾にほぼ準じて、「万人のサイエンス (以下、科学)、テクノロジー (以下、技術)、エンジニアリング、数学に関連する科学・技術の理解増進、21世紀の壮大な挑戦を担う全市民の科学・技術リテラシーの普及・向上と共に、特に初等教育段階から中等・高等教育段階の継続的・系統的な教育により、豊かなテクニックとスキルを個々が有する科学・技術関連の職業人と高度専門職業人育成のための教育及び教育運動」と解釈する。本稿では、Wing (2006)⁽²⁾ [邦訳：中島 (2015)⁽³⁾] のCTに着目する。Wing (2006)⁽²⁾ は、CTを、「問題解決のために、コンピューティングの基礎概念を活用した、システムのデザインと人間の振る舞いの理解に関するアプローチ」と解説した。さらに、CTの重要性として、(1)CTは概念化であり、プログラミングがすべてではない、(2)CTはコンピュータ科学者だけではなく、万人に必要な問題解決の手順を掌る思考法であり、(3)CTは人間の創造性、知性、潜在の可能性を拡張すると指摘した。

本稿では、CTの問題解決プロセスの思考と、Layton (1993)⁽⁴⁾ の「技術デザインプロセス (Technological Design

*自然・生活教育学系 **愛知教育大学

Process) の思考との類似性に着眼して小論を展開する。Layton (1993)⁽⁴⁾は、「技術デザインプロセス」を、「必要性の決定」、「必要性の記述」、「複数のアイディアの形成」、「最終アイディアの決定」、「作品の製作」、「作品の試験」の各過程を行き交う一連の思考様式と定義した。「一般的な問題解決プロセス」、「科学のプロセス」、「技術デザインプロセス」の類似点と差異点を、表で示した (Layton, 1993: p.46)⁽⁴⁾。氏は、「技術デザインプロセス」を学習活動プロセスと位置づけている。技術デザインプロセス活動は、教科等を横断する汎用的な能力と、教科固有の知識やスキルの活用とが不可分の関係で機能し、学習が展開される。CTと「技術デザインプロセス」の詳細な検討については、大森ら (2014)⁽⁵⁾と山崎・磯部 (2015年刊行予定)⁽⁶⁾の先行研究がある。「技術デザインプロセス」は、例えば、イングランド、シンガポール等の教科名「Design and Technology」に代表されるように、世界の多くの国々が、技術教科固有の思考・判断・表現を伴う学習プロセスとして重視する。

久野ら (2015)⁽⁷⁾は、近年の国内外の初等中等教育における情報教育の潮流について、米国、イギリス (イングランド)、イスラエル、ニュージーランド、ロシア、フランス、スウェーデン、エストニアを対象国として、文献調査等に基づき紹介した。調査対象国では、2013年頃から、従来のコンピュータの使い方を習得する教育から初等中等教育におけるプログラミングを通したCT育成やコンピュータ・サイエンス (以下、CS) 教育が注目されていると指摘した。さらに、英国やエストニアなどでは、ナショナルカリキュラムの改訂により、小学校段階から全学習者を対象としたプログラミング教育やCS教育を導入していることを報告した。

以上の先行知見から、本稿では、STEM教育とCTを重視しているイングランドと米国を調査対象国・地域とする。イングランドの2014年から実施のNC教科「コンピューティング」改訂に対するSTEM教育運動の影響は、大森ら (2014)⁽⁵⁾が報告した。大森らは、イギリス国家が主導した政策的なSTEM方略グループであるロイヤル・エンジニアリング・アカデミーが、コンピュータの操作法とアプリケーションソフトの使い方の習得に偏重し、多数の学習者が退屈で知的関心を持っていないと指摘した、2013年まで実施のNC教科「ICT」の目標と内容の大改革を提言した文書 (The Royal Academy of Engineering, 2012a)⁽⁸⁾と、教育省大臣 (当時) が主導したICT教科改革が、NC教科「コンピューティング」設置に、極めて大きな影響を与えたことを報告した。NC教科「ICT」から「コンピューティング」に改革された経緯に関する国内先行研究として、大森ら (2014)⁽⁵⁾と中條 (2014)⁽⁹⁾がある。2014年から実施のイングランドNC教科「コンピューティング」の教科目的・目標・内容の全邦訳は、磯部ら (2014)⁽¹⁰⁾と中條 (2014)⁽⁹⁾が報告した。大森ら (2014)⁽⁵⁾、中條 (2014)⁽⁹⁾、久野ら (2015)⁽⁷⁾は、教育課程基準の基本構造と内容について検討した。

2 STEM教育としてのイングランドのナショナルカリキュラム教科「コンピューティング」の Computational Thinking (CT)

2. 1 鍵プロセスとしてのComputational Thinking (CT)

Computing At School Working Group (2012)⁽¹¹⁾は、The Royal Academy of Engineering (2012a)⁽⁸⁾の勧告を受けて、イングランドNCのICT教科でCS教育を一層充実させるために、Computer Science: A curriculum for schoolsをまとめた。同構成は、「1: 学校におけるCSの重要性」、「2: CSで反復学習する鍵概念 (Key Concepts)」、「3: 学習者が遂行しなければならない鍵プロセス (Key Processes)」、「4: 学習者が知らなければならない範囲と内容」、「5: CSの到達レベルの記述」であった。本論文は、題目で示すように、STEM教育とCTの2つが鍵語であり、この2つの鍵語を詳細に記述した「1: 学校におけるCSの重要性」と「3: 学習者が遂行しなければならない鍵プロセス」について解説する。

「1: 学校におけるCSの重要性」の「1.2 STEM教科としてのCS」では、CSはエンジニアリング、数学、科学、技術の属性を共有する典型的なSTEM教科であることが述べられていた (p. 4)。さらに、CT、コンピューティング原理のセット、問題解決へのコンピュータ処理を組み合わせたアプローチは、人類に偉大な能力を与えると述べていた。実際の問題解決において、この組み合わせを活用する能力は、21世紀の科学、エンジニアリング、ビジネス、商業の成功をもたらす中心となる、との記述が見られた。

さらに、「1.3 CSとITは相互依存적であるが、それらは同じではない」の節では、CSとITの定義の記述が見られた (p. 5)。CSは、「コンピューテーション (computation)」の用語で、私たちを取り巻く自然と人工世界を理解し、探究をする学問分野である。しかし、CSは、コンピュータシステムの研究、デザイン、実行のみに特に関係しているのではなく、これらのデザインの根底にある原理の理解である。ITは、ビジネスニーズ、ハードウェアとソフトウェアの仕様とインストール、ユーザビリティの評価の理解を含む、実世界の問題を解決するために、コンピュータシステムの目的活用を扱う。ITは、テクノロジーの生産的、創造的、探究的な使用であると定義していた。なお、

The Royal Academy of Engineering (2012a, 2012b)^{(8),(12)} では、CSとITの相互依存性と差異性について、ほぼ同様の記述がなされていた。

「3：学習者が遂行しなければならない鍵プロセス」において、CSにおける鍵プロセスは、CTに焦点を当てるとする。CTは、私たちを取り巻く自然と人工の両方の世界のシステムとプロセスに関する、コンピューテーションの認識プロセスを理解し、推論するためのコンピューティングに由来するツールとテクニックの活用である (p.9) と説明していた。

2. 2 Computational Thinking (CT) 枠組みと、イギリスNC教科「コンピューティング」のカリキュラム・マップ

Computing At School Working Group (2014a)⁽¹³⁾ は、「Developing computational thinking in the classroom: a framework」で、「ステージ1：CTの定義事項」、「2：概念」、「3：授業テクニック（以下、授業技法）」、「4：アセスメント」を解説した。「1：CTの定義事項」では、Wing (2006)⁽²⁾ のCTの定義を解説した。「2：概念」では、Selby and Woollard (2013)⁽¹⁴⁾ に基づき、「アルゴリズム思考」、「評価 (evaluation)」、「分解」、「抽象化」、「一般化」の鍵概念を解説した (Computing At School Working Group, 2014a: pp. 3-4)⁽¹³⁾。

アルゴリズムの思考とは、偶然ではなく、確実な手順の定義付けに基づいて、解決策を発見する一連の方法である。

評価とは、アルゴリズム解法が目的に合致した良い解法であることを保障する過程のことである。

分解とは、問題、アルゴリズム、人工物、プロセス、システムの各部分に関する思考方法を意味する。

抽象化とは、問題やシステムを一層簡単に思考し、問題解決する際の、一つの方法である。

一般化とは、私たちが解決した以前の問題に基づき、新しい問題を速やかに解決する方法である。

Computing At School Working Group (2014b)⁽¹⁵⁾ は、2014年から実施のイギリスNC教科「コンピューティング」5～16歳の学習プログラムにおけるカリキュラム・マップを示した (表1)。カリキュラム・マップとは、教科の育成すべき学習能力と「学習範囲 (scope)」を明確にした上で、各学習範囲において、ある一定の学習期間をかけて進捗する学習到達水準の系統性を明確にした二次元表である。カリキュラム・マップは、教育課程基準の基本骨格となるものである。

表1に示したように、イギリスでは、5歳からCT育成のために、アルゴリズムに基づくプログラミングと、ネットワーク通信の原理の理解、デジタル作成の設計・制作、プログラムを用いた計測・制御が重視されている。なお、大森ら (2014)⁽⁵⁾ と中條 (2014)⁽⁹⁾ が指摘したように、イギリスの2014年から実施のNC教科コンピューティングは、ハイレベルのSTEM方略グループによるICT教科の大改革提言を受けて、教育省主導による速いペースによる大幅な改革提案があり、教員組合等からの反対意見や批判も強く出された。

イギリスのコンピューティングの教育課程基準や表1は、我が国の情報教育に多くの有益な示唆を提供している。一方、我が国では、久野ら (2015)⁽⁷⁾ 等の指摘のように、小学校段階におけるCT育成のための教科が未設置、中学校技術・家庭科技術分野 (以下、技術分野) の著しい時数不足、高等学校普通教科情報の「情報の科学」履修率が、わずか16.5%程度という実態がある。我が国が、イギリスと同レベルのCT育成を小学校から導入するには、CT育成のための新教科あるいは教科構成の見直しをはじめ、現行学習指導要領の大幅な改革が前提となる。

表1. コンピューティング進行経路 (出典：Computing At School Working Group, 2014b)^{(15)*}

進捗	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL (Digital Literacy)
1	<p>アルゴリズムが何であるかを理解し、簡単な直線型 (非分岐性) アルゴリズムを記号的に表す。コンピュータは、正確な命令を必要とすることを理解する。エラーを避ける留意事項と正確さが必要であることを説明する (AL)。</p> <p>ユーザーが、独自のプログラムを開発すると共に、テキストなどに依存しない環境 (例：プログラミング可能なロボット) で単純なプログラムを創り出し、それを実際に動かし説明することができることを知る。プログラムを実行・確認・訂正する。プログラムは、正確な指示によって実行することを理解する (AL)。</p> <p>コンピュータが知能を有していないことや、コンピュータはプログラムが実行されなければ、何も実行しないことを理解する (AL)。</p> <p>デジタル装置上で実行される全ソフトウェアが、プログラムされていることを認識する (AL) (AB) (GE)。</p>	<p>デジタルコンテンツが多くの形態での表現が可能であることを認識する (AB) (GE)。これらの形態の区別をしたり、伝達する情報に応じて方法が異なることを説明したりすることができる (AB)。</p> <p>ウェブブラウザを用いてワールドワイドウェブからの内容を獲得する (AL)。</p> <p>教師の指示に基づき、ソフトウェアを活用したり、適切なファイルやフォルダ名を用いてデジタルコンテンツを開発・保存・出力したりする (AB) (GE) (DE)。人間がコンピュータで交流することを理解する。実習活動について話し合い、実習活動を変更する (EV)。</p>	<p>安全かつ責任を持ってオンラインで通信することへの重要性和、個人情報保護の必要性を理解する (EV)。内容への関心を示したり、オンラインへの接続の際、すべき事柄を知っておいたりする (AL)。</p> <p>教室外の情報技術に関する共通の活用を知る (GE)。学校内における技術の活用を共有する。</p>

*表中の AB, DE, AL, EV, GE は、Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

表 1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing At School Working Group, 2014b) ^{(15) *}

進度	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL (Digital Literacy)
2	<p>アルゴリズムが、プログラムとしてのデジタル装置上で実装されることを理解する。簡単なアルゴリズムは反復と選択(if文)によってデザインする。結果を予測するために、論理的推論を用いる。アルゴリズム中にあるエラーの削除・訂正(デバック作業)を行う(AL)。</p> <p>プログラム内でループ、if文及び算術演算子を用いる。プログラムの動作を予測するために、論理的推論を用いる。プログラム上の簡単な論理のエラーなどの検出・訂正(デバック作業)を行う(AL)。</p> <p>デジタル装置はコンピュータと考えることができる(AB)(GE)。一連の入力・出力装置を認識し活用することができる。プログラムは、汎用コンピュータの機能をどのように指定しているのかを認識する(AB)。</p>	<p>テキストや数などの異なるデータタイプを認識する(AB)(GE)。プログラムが、異なるデータタイプを扱うことの良さがわかる(GE)。役に立つデータは、表中に構築されることを知る(AB)(DE)。一連のデジタル装置がコンピュータに関連があることを知る(AB)(GE)。一連の入力・出力の装置を認識・活用する。</p> <p>ウェブにより、簡単なウェブサーチを実行し、デジタルコンテンツを収集することができる(AL)(EV)。</p> <p>デジタルコンテンツに対して、目的意識を持って構成するために、独自性を持って技術を活用する(AB)。</p> <p>様々なソフトウェアでデジタルコンテンツ(データや情報)を操作・発表する(AL)。学校内や教室外の技術経験を共有する(GE)(EV)。実習内容を話し合い、フィードバックに基づいて解決策を修正する(EV)。</p>	<p>オンライン中のアクセスできない内容を報告する方法を知った上で、コンピュータの活用を安全かつ責任を持って実行する。</p> <p>収集されたデジタルコンテンツの品質への意識を示す(EV)。</p>
3	<p>「if」「then」「else」などの二者択一や反復などを用いて、(アルゴリズムの)解決策をデザインする(AL)。解決策を表現するために、ダイアグラムを使用する(AB)。論理的推論を用いて、入力についての認識を示しつつ、出力を予測する(AL)。</p> <p>提示された目標を達成するためのアルゴリズムを実行するプログラムを作成する(AL)。変数を宣言し、割り当てる(AB)。プログラムの中に、例えば「until」などの後判定ループと、「if」「then」「else」などの命令を含む(AL)。</p> <p>コンピュータは、センサを含む多様な入力デバイスや応用ソフトウェアからデータを収集することを知っている(AB)。ハードウェアとアプリケーションソフトウェアの違いや、それらのコンピュータシステム内での役割を理解している(AB)。</p> <p>インターネットとWWWのようなインターネットサービスの両者の違いを理解する(AB)。</p>	<p>データと情報の違いを理解する(AB)。フラットファイル内のデータの並び変えが、情報のために検索を改善する理由を知る(EV)。フィルターの使用や、情報のための簡単なサーチ標準を実行する(AL)。</p> <p>VOIPのようなインターネットサービスの存在に気づき、活用する。</p> <p>デジタルコンテンツのデータや情報を収集・整理・提案する(AB)。ブログのような広範囲な対象との通信用として、ソフトウェアのパッケージとインターネットサービスとを組み合わせ、提示された目標を達成するデジタルコンテンツを開発する(AL)。フィードバックに基づき、解決策に関する修正を適切に行い、解決策の成功する点をコメントできる(EV)。</p>	<p>技術とオンラインサービスを使う際、容認行動とそうでない行動とを認識する。</p>
4	<p>人間または、コンピュータによって達成された最適な問題解決活動への意識を示す(EV)。問題を分解することによって、解決策をデザインしたり、(分解による)各要素の部分的な解決策を開発したりする(DE)(AL)(AB)。同一問題であっても、異なる解決策があることを認識する(AL)(AB)。</p> <p>「if」「if」「then」「else」の違いを理解すると共に、適切に活用する(AL)。ループの終了を判断するために、変数と関係演算子を活用する(AL)(GE)。</p> <p>手続きを用いたモジュラープログラムのデザイン・記述・デバックができること(AL)(DE)(AB)(GE)。</p> <p>手続きは、サブ解決策によって詳細を隠すために使われることを知る(手続きの抽象化)。(AL)(DE)(AB)(GE)。</p> <p>コンピュータがどうして、いつ使われているのかを理解する(EV)。オペレーティングシステムの主たる機能を理解する(DE)(AB)。</p> <p>サーチエンジンの効果的な使い方の理解と、サーチ結果がどのようにして選択されるのかを知る(サーチエンジンが「web crawler programs」を使用することを含む)(AB)(GE)(EV)。</p>	<p>ブール演算子や関係演算子などを用いて、複雑な情報サーチを実行する(AL)(GE)(EV)。データや情報を分析・評価し、信頼性のない結果や不正確な結論を誘導する質の低いデータを把握する(AL)(EV)。</p> <p>物理的かつ、ワイヤレス、モバイルネットワーク間の違いを知る(AB)。</p> <p>デジタルコンテンツをデザイン・開発する際、その対象ユーザーを認識する(EV)。解決策の質を評価するための標準を活用し、解決策や次の解決策に関する幾つかの改良点を含む改善点を確認することができる(EV)。</p>	<p>指定された対象者のために、評価したり、再目的を持ったりするために、デジタルコンテンツを判断する(EV)(GE)。</p> <p>技術とオンラインサービスの責任のある活用を実行し、概念事項を報告する方法を知る。</p> <p>インターネットサービスを選択・組み合わせ・活用する(EV)。</p> <p>コンピュータがネットワークに接続された際、協働のための情報技術の可能性を理解する(GE)。</p>

※表中の AB, DE, AL, EV, GE は、Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

表1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing At School Working Group, 2014b)^{(15) *}

進捗	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL (Digital Literacy)
5	<p>反復とは、ループのようなプロセスの繰り返しであることを理解する (AL)。様々なアルゴリズムが同一問題に存在することを認識する (AL) (GE)。構造表記法を用いて解決策を表現する (AL) (AB)。状況に応じて、類似点・相違点の確認ができ、それらを用いて問題解決できる (パターン認識) (GE)。</p> <p>プログラミングが、アルゴリズム的な解決とコンピュータとの間の差を埋めることを理解する (AB)。ハイレベルなテキスト言語の実践経験を持つ (プログラミングにおける標準ライブラリの使用を含む) (AB) (AL)。ブール演算のような一連の式や演算子を用いたり、それらをプログラム制御の条件に適用したりする (AL)。適切なデータタイプを選択する (AL) (AB)。</p> <p>実数や論理値など、データタイプを定義する (AB)。デジタルコンピュータが全データを示すために2進法にそったビット列を用いていることを知る (AB)。どのようにして、ビットパターンが数や画像を示しているのかを理解する (AB)。コンピュータがデータを2進法に沿ったビット列に変換していることを知る (AB)。2進法にそったビット列とファイルサイズ (非圧縮) との関係を理解する (AB)。</p> <p>基本的なコンピュータアーキテクチャのメイン内部部品の機能を認識・理解する (AB)。フェッチ実行サイクルにおけるコンセプトを理解する (AB) (AL)。</p> <p>サーチエンジンが、検索結果をどのようにランク付けしているのかを理解する (AL)。HTMLやCSSを用いて静的なウェブページを構築する方法を理解する (AL) (AB)。ネットワーク (インターネット、すなわちIPアドレスやパケット交換含む) を介したデジタルコンピュータ間のデータ送信を理解する (AL) (AB)。</p>	<p>典型的なクエリー言語を用いて一つのテーブル内のデータを問い合わせる (AB)。</p> <p>同一のハードウェアにおいて、一連のオペレーティングシステムとアプリケーションソフトウェアがあることを知る (AB)。</p> <p>提示された目標を達成するために、デジタル装置とインターネットサービス、アプリケーションソフトウェアの妥当性を評価する (EV)。解決策の質を批判的に評価して基準をデザインし、改善点を確認するための評価基準を用いて、解決策のための適切な改良版を制作することができる (EV)。</p>	<p>学校外における情報技術のアプリケーションの環境における倫理面を認識する。</p>
6	<p>問題の再帰的解決法は、問題の小さな実体に対して同じ解決策を繰り返し適用する方法として理解する (AL) (AG)。同一問題は、同じ特徴を共有しており、両方の問題を解決するために同一アルゴリズムを用いること (汎化) を理解する (AL) (AG)。アルゴリズムの性能に対する概念を理解し、幾つかのアルゴリズムが同一タスクに対し、異なる性能を有している特徴を正しく評価する (AL) (EV)。</p> <p>入れ子になった選択文を用いる (AL)。パラメータの活用を含む、カスタム関数の必要性を正しく評価・記述する (AL) (AB)。手続きと関数の違いを知っており適切に用いる (AL)。1次元のデータ構造を活用・操作する (AB)。構文エラーを発見・修正する (AL)。</p> <p>数・画像・音・文字セットが同一ビットパターン内でどのようにして活用されるのかを理解する。2進加算のようなビットパターンを用いた簡単な操作を実行する (AB) (GE)。ファイルサイズの結果を含む解像度と色深度との関係を理解する (AB)。簡単なプログラムによるデータ (変数) とそのデータのための格納構造とを区別する (AB)。</p> <p>データがいかにしてメモリに保存されるのかを含む、フェッチ実行サイクルに関連するフォン・ノイマン・アーキテクチャを理解する (AB) (GE)。アドレス可能なメモリの記憶場所に関する基礎的な機能と操作を理解する (AB)。</p>	<p>ハブ・ルーター・スイッチのようなハードウェアの名称や、ネットワークコンピュータシステムに関連したプロトコル (例: SMTP, IMAP, POP, FTP, TCP/IP) の名称を知る (AB)。</p> <p>提示された目標を達成するために、多機能性のあるデジタル装置やインターネットサービス、アプリケーションソフトウェアを個々に組み合わせたり、選択したりして正当化する (EV)。</p> <p>デジタルコンテンツの信用性を評価したり、ビジュアルデザインの有用性を考慮に入れたりして、よく知る相手のためにデジタル製品をデザイン・開発する (EV)。解決策の質を評価するためにユーザーのための基準をデザインし、ユーザーからのフィードバックを用いて改善を確認しつつ、解決策に関する適切な改良版を制作する (EV)。</p>	<p>技術やオンラインサービスセキュリティを用いて、不適切な行為に関する確認・報告方法を知る (AL)。</p> <p>技術の活用が社会にどのようなインパクトを与えるのかを確認・説明する。</p>

※表中のAB, DE, AL, EV, GEは、Computational Thinking 概念のAB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また、進行度は、出典に基づき、数字で示した。

表 1 (続き). コンピューティング進行経路 (Computing At School Working Group, 2014b) ^{(15) ※}

進度	CS (Computer Science)	IT (Information Technology)	DL (Digital Literacy)
7	<p>アルゴリズムのデザインが, プログラミング言語 (利用可能なプログラミング構築による) の表現と異なることを認識する (AL) (AB)。アルゴリズムの効果と同様の問題のモデルを評価する (AL) (AB) (GE)。問題解決策 (抽象的概念) を一般化する際, 情報がどこで周知されるのかを認識する (AL) (AB) (GE)。アルゴリズムがどのように機能するのかを説明するために論理的推論を用いる (AL) (AB) (DE)。構造化言語でアルゴリズムを表現する (AL) (DE) (AB)。</p> <p>ローカル変数が他の関数からアクセスできないという事例のような変数の有効範囲に関する効果を評価する (AB) (AL)。パラメーターの受け渡しを理解・応用する (AB) (GE) (DE)。「while」のような前判定と, 「until」ループのような後判定の違いを理解し, 活用する (AL)。エラーの検出・訂正に関するモジュラーアプローチを適用する (AB) (DE) (GE)。</p> <p>データ表現とデータの品質と関係を知る (AB)。ブール論理を含む 2 進法にそったビット列と電気回路間の関係を理解する (AB)。プログラム内の操作の際, データ数値が多言語でいかにして入力されるのかを知る (AB)。</p> <p>プロセッサが, 命令セットを有していることと, これらのプロセッサがコンピュータによって実行される低いレベルの命令と関係していることを知る (AB) (AL) (GE)。</p> <p>動的なウェブページは, サーバーサイドスクリプト記述, ウェブサーバープロセスとユーザー入力したデータの保存を含むクライアント・サーバーモデルであることを理解する (AL) (AB) (DE)。</p>	<p>ハードウェアと, ネットワーキングコンピュータシステムに関連したプロトコルの目的を知る (AB) (AL)。よく知られるユーザーグループのニーズに応じるために, データを収集・分析・評価する創造的なプロジェクトに着手する (AL) (DE) (EV)。広範囲な対象者または, 遠方の対象者用のデジタル製品を効率的にデザイン・開発する (AL) (DE)。メディアをデジタル製品に導入する際, それぞれの特性を考慮する (AB)。解決策をつくるためのユーザーフィードバックや修正版, 改良版を記録する (AB)。</p>	<p>オンライン上の独自性やプライバシーの保護が十分に求められているインターネット上にデータが残ってしまうことを認識しておく。</p> <p>技術の活用が, 社会的・経済的・政治的・法的・倫理的・道徳的な側面に基づき, 一般社会にどの程度のインパクトを与えるのかという正当性を説明する (EV)。</p>
8	<p>同一問題 (再帰) の小さな実体に依存する問題の解決策をデザインする (AL) (DE) (AB) (GE)。幾つかの問題がコンピュータ上で解決できないことを理解する (AB) (GE)。</p> <p>可能な範囲内で, 再利用性のあるサブルーティンを利用した入れ子になったモジュラープログラムを設計し, 書くことができる (AL) (AB) (GE) (DE)。ループカウンターを用いて「while」ループと「For」ループ間との違いを理解する (AL) (AB) (DE)。2 次元データ構造を理解・活用する (AB) (DE)。</p> <p>2 進法と 16 進法間の変換と, 2 進減算のようなビットパターンを用いて演算を実行する (AB) (AL) (GE)。データ圧縮の必要性を理解・説明し, 簡単な圧縮方法を実行する (AL) (AB)。</p> <p>(仮説に基づく) 低いレベルのプログラミング言語に関する実践的な経験を有する (AB) (AL) (DE) (GE)。ムーアの法則を理解・説明する (GE)。コンピュータによるマルチタスクを理解・説明する (AB) (AL) (DE)。</p>	<p>リレーショナルデータベースが何かを知り, 複数のテーブルにデータを保存していることの利点を理解する (AB) (GE) (DE)。</p> <p>WAN や LAN を含むネットワークコンピュータシステムに関連のあるハードウェアや, それらの目的や MAC アドレスを含めそれらがどのように動作するかを理解する (AB) (AL) (DE) (GE)。</p>	<p>情報技術のアプリケーション環境の倫理面, 及びデータ保護法・コンピュータ乱用に関する法律・著作権などの政府関係の法的な枠組みの存在を理解する (EV)。</p>

※表中の AB, DE, AL, EV, GE は, Computational Thinking 概念の AB = 抽象的概念, DE = 分解, AL = アルゴリズム的思考, EV = 評価, GE = 一般化を示す。また, 進行度は, 出典に基づき, 数字で示した。

3 米国CSTAのK-12 Computer Science Standards (CSS) のComputational Thinking (CT)

3. 1 STEM教育の影響によるCSTA (Computer Science Teachers Association) の改訂

米国のCSTA (Computer Science Teachers Association) (2011a) ⁽¹⁶⁾ の「K (幼稚園) - 12 (学年) Computer Science Standards (以下, CSS)」の概要については, 横山・松原 (2014) ⁽¹⁷⁾, 久野ら (2015) ⁽⁷⁾, 中條 (2015) ⁽¹⁸⁾ の先行研究と, 松原 (2014) ⁽¹⁹⁾ の詳細な先行研究がある。2011年改定のCSSの諸言では, 経営情報システム, 情報技術, 数学,

諸科学のSTEM教育からの連携の視点から、CS教育の改革の必要性を提起した（CSTA, 2011a : p. 1）⁽¹⁶⁾。さらに、「幼稚園から第12学年までのCSコースの広範囲な責任を伴う綿密な実行により、CSは、国民への理解が広まるであろうし、国際的に通用する労働力に対する一層のニーズに対応する役目を担うであろう。小・中学校では、このニーズに応じる特別な機会と責任感を有している（p. 1）。」の記述があった。また、CSSでは、最終的に以下の4点を目指していた（CSTA, 2011a : p. 1; 中條, 2015 : p. 6）^{(16), (18)}。

1. 初等学校の入学段階におけるすべての児童生徒に、CSの基礎的な概念を学習させること
2. 中等学校段階での必修科目として、CS、数学、科学のいずれかとして、卒業要件を満たす教科として設置すること
3. 中等教育に、先進的なCSコースの導入を奨励すると共に、興味を示す生徒には、CSの内容を一層深く学ぶために、CSを活用する職業への就職や、大学入学への準備を認めること
4. 全ての生徒、卓越した生徒の双方に、CSの履修を促進すること

CSは、アルゴリズム的な問題解決や計算手法・手段に関する学習も重視すると共に、その特徴が主に5点述べられていた。「CSは、知的活動として重要である」、「CSは、多重なキャリアパスに導く」、「CSは、問題解決法を教える」、「CSは、他の諸科学と連携・応用できる」、「CSは、全ての児童生徒を魅了する」であった。

3. 2 CSTAのK-12学年の学習到達水準

CSSによると、学習到達水準は、幼稚園から第12学年まで3つの水準で構成されていた（図1）。

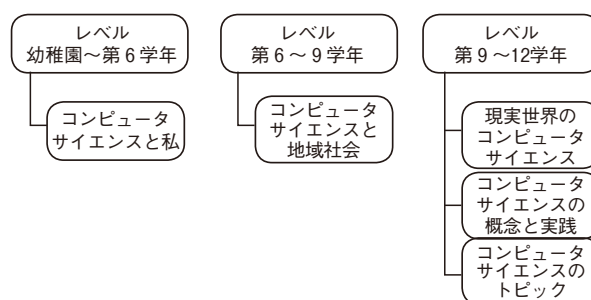


図1. コンピュータ・サイエンス基準のための組織構造（出典：CSTA, 2011a : p. 8 のFig.1）⁽¹⁶⁾

図1に示すように、レベル1は幼稚園から第6学年を対象とし、レベル2は第6～9学年、レベル3は第9～12学年を対象としていた。レベル1では、CTに関する簡単なアイデアを伴う技術の基礎スキルを統合することにより、CSの基本的概念を入門的に学習する（p. 8）。レベル2では、問題解決の手段として、CTを活用し始める。学習者は、自分自身だけでなく、学習者を取り巻く現実世界に所在する解決策が唯一ではない問題を、CT法で解決する経験の学習を開始する（p. 8）。レベル3は、「概念の応用と現実世界における解決の創造（Applying concepts and creating real-world solutions）」と総称していた。同レベルに示された3コースは、推奨学年を設定していた。レベル3Aの「現実世界におけるCS」コースは、第9または10学年が推奨されていた。同コースは、全学習者を対象として、学習者のCSの基礎と実践に関する確かな理解の基盤を固め、個々が志す職種に関わらず、計算ツールや計算方法を適切に選択・活用できることを目的としていた。レベル3Bの「CSの概念と実践」コースは、第10または11学年が推奨されていた。同コースは、CS学習に関する一層深い学びと、CSと他分野との関係、重要な情報処理の手順を利用した問題解決と関連する活動を含んでいた。レベル3Cの「CSにおけるトピック」コースは、第11～12学年が推奨されていた。同コースは、コンピューティングの特有な分野について、深い学びを提供する選択科目コースであった。

3. 3 CSTAの学習内容構成

CSSは、3.2で述べた3レベルのスタンダードを通じて、相互に補完し合い本質的な学習内容の構成となる柱（five complementary and essential strands）を5つ提言している（CSTA, 2011a : pp. 9-12）⁽¹⁶⁾。5つのストランドとは、「CT」、「協働（Collaboration）」、「コンピューティングの実践とプログラミング（Computing Practice & Programming）」、「コンピュータとコミュニケーション装置（Computers and Communications Devices）」、「地域、グローバル、倫理的な影響（Community, Global, and Ethical Impacts）」であった。

3. 4 CSTAのCTに関する指導資料

CSTA刊行のCTに関する指導資料（teacher resources）における、CT 育成のための評価規準（観点クライテリオン）と基準（スタンダード）別の評価語表、すなわちルーブリック（Vocabulary and Progression Chart）を、表2に示す（CSTA, 2011b）⁽²⁰⁾。

米国では、各州が大綱的な教育課程の基準を定め、各地方学区が所管の公立学校に適用される教育課程の基準を定めている。久野ら（2015）⁽⁷⁾等が指摘するように、米国のCS教育は、各州・各地方学区等により極めて多様な実践が展開されている。しかし、CSを正規の学校教科として設置し、複数校種段階で系統的に学習させている学校は少ないようである。イングランドの2014年から実施のNC教科コンピューティングと米国CSTAに基づく表2「CTの各重要概念の定義と各教育階梯別の到達目標」を比較すると、CSTAの学習内容は、社会、数学、科学等をはじめ、通常設置される各教科内容に基づいてCS教育での到達目標が示されている。一方、イングランドNCでは、教科コンピューティングを設置し、CSの学習内容を学習する点で、米国とは異なる特徴を有している。換言すると、米国CSTAでは、国語、数学、科学等の各教科において、CTを育成することが重視されていた、一方、イングランドでは、教科コンピューティングでの学習により、5～16歳の義務教育段階における教科としての目標・内容の一貫性・系統性が明確になっていた。イングランドの中等教育学校は、原則として教科担任制である。コンピューティング専科教員が指導する利点を有する。イングランドの初等教育学校は、学級担任制が一般的である。各初等教育学校で原則配置されている専科コーディネータ（教科主任）やテクニシャンが、学級担任の指導を支援することが多い。このため、イングランドでは、特に、初等教育学校教員の教科コンピューティングの継続的専門職能発達（Continuing Professional Development: CPD）の支援体制が大きな課題となっている（大森ら、2014）⁽⁵⁾。

久野ら（2015）⁽⁷⁾、中條（2015）⁽¹⁸⁾等の指摘のように、米国では、CT学習、プログラミング学習を、正規の学校教科活動ではなく、課外／学外活動を始め、多種多様な形態で実施されている。そのため、学習の質や水準が学校・地域間で大きなばらつきがあるようである。そのため、CT学習やプログラミング学習が単発的であったり、初等中等教育段階を通じた各校種間の一貫性・系統性の確立が図りにくかったりする等、大きな課題が生じているようである。

表2. CTの各重要概念の定義と各教育階梯別の到達目標（出典：CSTA, 2011b：pp. 8-9）⁽²⁰⁾

	定義	PK～第2学年	第3～5学年	第6～8学年	第9～12学年
データ 収集	適切な情報収集のプロセス	おもちゃの車が傾斜を下り、図上のゴールラインを通り抜けた車を順番に記録し、一番速い車を見付ける実験を行うこと	随筆を記述する方略を確認するために、記述例を参考にする	聞き取りにより、適切な情報を集めるための質問調査をデザインすること（例：学校を過去に欠席した友人に、インフルエンザにかかっていたかを尋ねること）	学習者は、調査用紙を作成し、聞き取りによる量的かつ質的なデータを集めること、「地球温暖化により、日常生活に変化が起きていますか？」
データ 分析	データの意味の理解とパターンの発見、結論の記述	車量に焦点を置き、おもちゃの車レースのゴールする順番の一般化を図ること、結果を変えるために、重量を増やし、結論を検討すること	ルーブリックを開発するために、ルーブリックの記述例の長所と欠点を分類すること	デジタル調査で収集したデータに基づき、図を制作・評価し、図に表現されている傾向やパターン、種類、外れ値を説明したりすること	以下の仮説の検証に最善な試験をするため、適切な統計法を用いること。仮説：「地球温暖化は、生活の質に変化を起しているか？」
データ 表現	適切なグラフ、図、単語、イメージに関するデータ表現と構成	おもちゃの車の重量を変えた時、その車のスピードの変化の様子を示す図や線を作成すること	ルーブリックの各評価尺度に最も相当する評価語例とルーブリックの図表を作成すること	異なる図のフォーマットを用いてデータをプロットし、最も効果的な視覚表現例の図表を選択すること	複数グループの学習者は、以下の質問に関連して同一データを用いるが、異なる方法で解答を導く「地球温暖化で、生活の質に変化が起きているか？」
問題 分解	問題解決をやすくするための、問題の要素化と明確化	学校への道順を要素化し、わかりやすい道順図を作成すること。各要素の道順図を統合して、全体道順図として表現すること	学校緑化計画を立てる際、リサイクルペーパーや空き缶、電気使用量の減少、生ゴミの堆肥化などの作戦とは切り離すこと	毎月発行されるニュースレターの計画として、プロジェクトを遂行する必要な役割・義務・予定表・資料を確認すること	「ロックスターになるには、何が必要か？」という、大規模問題をスモールステップに分けること、学習者が統制できる要素と、外部要因によって決定される要素は何かを議論すること

表2 (続き). CTの各重要概念の定義と各教育階梯の到達目標 (出典: CSTA, 2011b: pp. 8-9)⁽²⁰⁾

	定義	PK～第2学年	第3～5学年	第6～8学年	第9～12学年
抽象的概念	観念（アイディア）の本質を定義する複雑さの軽減	多様な大きさや色を持ち、同一直線上にない3点と、それらを結ぶ3つの線分からなる多角形を、三角形と呼ぶこと	物語を聞き、本質となる用語を反映させ、適切な物語のタイトルを決定すること	ある時代の歴史を勉強した後、その時代を最も代表する象徴・テーマ・行事・重要な人物・価値観を確認すること（例：紋章）	今日の本質的特徴を分析するために、ある時代の政治を選択すること
アルゴリズムと手順	問題解決または、幾つかの目的を満たすために必要な一連の手順	学校から近所の主要な歴史的建造物に行くまでの一連の道順図を作成すること	ボードゲームをデザインし、ゲームの説明書を書くこと、ゲームをしようとするペアに、説明書を試行すること。ゲームを行ったペアの振り返りを基に、説明書を見直すこと	ある迷路が与えられた際、その迷路の脱出方法を見付け、特定の時間内に無事に脱出するロボットの動作プログラムを作成すること	大学を選ぶ意思決定プロセスを議論し、プロセスを説明する手順を作成すること、その手順は、友人の存在の有無、学資援助の利用、可否のような、未知の変数を扱うことができること
自動化	コンピュータや機械を用いて、繰り返しや単調な課題をさせること	手紙の代わりに、インターネットをベースとしたツールを用いて、別の州または外国の学級と対話し、お互いの文化を学ぶこと	バーコード、自動預払機、図書用バーコードのような、現実世界にある自動化の事例を調査すること	汚染データを集めるセンサー（試験用タイマーのセット）をプログラムし、コンピュータプログラムを用いて、二酸化炭素レベルの最大値から最小値までを分類すること	自動化に伴い、今日必要とされていないスキルと情報を学ぶメリットを討論すること、これらのスキルには、平方根を含む長い割り算、スペルチェック、統計の公式、または、歴史的なデータの記憶など、大きな分類を含むこと
シミュレーション	プロセスの表現またはモデル。シミュレーションは、モデルを用いた実行中の実験も含むこと	一連の道順図を作成した後、自分たちが正しいと考える道順を実行すること	プロセスの理解を実演するために、アニメーションを制作すること	簡単なエコシステムのモデルを用いて実験を行い、手順の数パーセントが機能しなかった場合、エコシステムに生じる事態を明らかにすること、ユーザーは、そのパーセント以外の範囲で操作すること	「誕生問題（少なくとも2人が同じ誕生日である確率が50%であるためには、その部屋に何人の人が必要なのか）」をシミュレーションするために集計表を創造すること、同じ誕生日の3名のために、質問に答える同一モデルを用いること
並列化	共通の目標に到達させるための課題の実行と同時に、リソースを準備・構成すること	一連の規準に基づき、学級を2つのグループに分けること、あるグループには大きな声で読ませ、もう一方のグループは、バックミュージックのハミングを提供すること。目標は到達されるが、個人の離別行動よりも全体が良くなること	教師は、計画中のチームプロジェクトの予定表・役割・仕事内容を調整し、各々を完成させるために一緒に働くこと（私たちは、どのようにして活動を中断するか、何れの活動を連続して行い、それと同時に、他の何れの活動を締め切りに間に合わせるのか）	生徒で構成されるチームは、ビデオ（ビデオをプロデュースする際の台本・小道具・チームでの役割を含む）の制作を計画すること、そして、同時に実行する活動の確認と、生徒と一緒にチェック・計画し、各活動を組み合わせる指標を確認すること	ワートルローの戦いを導く各軍隊の一連の活動を述べる（例：一団を採用すること）、理知的な活動（例：一団の配置を選定すること）の両方を含むこと

4 我が国のComputational Thinking (CT) を重視した小・中・高校を一貫した技術・情報教育の基準

4.1 久野ら (2015)、日本産業技術教育学会 (1999, 2012)、磯部・山崎 (2013) の小・中・高等学校を一貫した技術・情報教育の基準

現行の2009年告示高等学校学習指導要領では、普通教科「技術」はなく、普通教科「情報」が設置されている。そこで、本節の現行の高校の普通教科「情報」を対象とした文脈では、「技術・情報教育」と表記する。久野ら (2015)⁽⁷⁾は、文部省 (1997)⁽²¹⁾の情報教育の3観点を見直し、新3観点として、(1)従来の「情報の科学的理解」を、実際にも

のを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」の新たな設定、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知を付加、(3)「情報社会に参画する態度」にコンピューティングに対する責任の追加を提案した。さらに、望ましい情報教育の体系として、次の3点を提案した(久野ら、2015: pp.55-56)⁽⁷⁾。

- (1) 小学校では算数科・国語科・生活科・社会科などの教科中に情報教育の単元を埋め込み、確実に学習することで、中学校情報科の学習を一定の水準から開始できるようにする。
- (2) 中学校に情報科を設置し、全員が現在の高等学校の情報科程度の内容・水準で学べるようにする。
- (3) 高等学校の情報科では、中学校での到達水準を前提として、新3観点の完成までを全員が学べるようにする。さらに、興味・関心を持つ生徒が進んだ内容を学べる機会も提供する。

新3観点「コンピューティングの理解と活用能力」は算数科、「情報活用の実践力」は国語、「情報社会に参画する態度」は低学年では生活科、中・高学年では国語科と社会科での取り扱いを提案した。しかし、特に国語、算数は、現行学習指導要領の時数と内容は現在でも多い。久野ら(2015)⁽⁷⁾の提案する学習内容を国語と算数の現行の時数で取り扱うのは、各教科の教育目標・内容の検討と整理が必要である。特に、新3観点「コンピューティングの理解と活用能力」を現行の算数の指導内容と指導時数に加えることには困難が予想される。代替策として、小学校段階の「総合的な学習の時間」において、情報活用能力の新3観点の内容(久野ら、2015)⁽⁷⁾の必修化や、現行の図画工作科における造形(クラフト)内容に加えて、技術(テクノロジー)・情報技術(IT)教育内容を重視させて、ロボット工作等を通じた課題解決的なデジタルものづくりを通じた、情報活用能力育成を図る内容の新設等が必要のように思われる。

日本産業技術教育学会(1999)⁽²²⁾、同(2012)⁽²³⁾は、「21世紀の技術教育」の幼稚園から高等学校までを一貫した技術・情報教育として、「教育目標1:技術教育固有の対象と内容構成(内容知)」、「教育目標2:技術教育固有の方法(方法知)」を提案した。同(2012)⁽²³⁾では、教育目標1は、「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」であった。教育目標2は、「創造の動機」、「設計・計画」、「製作・制作・育成」、「成果の評価」、「各過程の評価と修正(メタ認知)」の各過程から構成された、「技術的課題解決力」であった。同(2014)⁽²⁴⁾は、「21世紀の技術教育(改訂)ー各発達段階における普通教育としての技術教育内容の例示ー」を提案した。

磯部・山崎(2013)⁽²⁵⁾は、2004~2006年度文部科学省研究開発学校であった東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校(2007)⁽²⁶⁾「2006年度小中一貫したTechnology Education教育課程の開発ーよりよい社会を創造し、支えていく技術的素養の育成ー」と、2007~2009年度文部科学省研究開発学校新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校(2009)⁽²⁷⁾「豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習ー地域の『ひと・もの・こと』とかかわる学習を通してー」を、日本産業技術教育学会(1999)⁽²²⁾の技術教育課程基準に依拠した実践研究成果をまとめ、幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準として報告した。磯部・山崎(2013)⁽²⁵⁾では、日本産業技術教育学会(1999)⁽²²⁾と同様に、教育目標1は、「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」でまとめた。磯部・山崎(2013)⁽²⁵⁾の教育目標2は、「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」、「教育目標2-2:技術の適切な評価・活用能力のスタンダード」としてまとめた。

4. 2 Computational Thinking (CT) を重視した小・中・高校を一貫した情報技術教育課程基準

本小論4.1で記述したように、久野ら(2015)⁽⁷⁾は、文部省(1997)⁽²¹⁾の情報教育の3観点を見直し、新3観点として、(1)従来の「情報の科学的理解」を、実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」の新たな設定、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知を付加、(3)「情報社会に参画する態度」にコンピューティングに対する責任の追加を提案した。STEM教育とCT重視の技術・情報教育課程基準には、久野ら(2015)⁽⁷⁾の新3観点は、重要な構成原理となる。さらに、1960年代前半における米国UCLA(カリフォルニア大学ロサンゼルス校)のアシモウが提唱したデザインプロセス等のエンジニアリング・デザインを考慮したLayton(1993)⁽⁴⁾の技術デザインプロセスの思考法は、技術課題の不易な解決思考法であり、課題解決に必要な情報を構造化するプロセスを重視する。21世紀中葉の成熟化社会では、新たな職種が多数創出することが予想される。社会の変化に主体的・協働的に対応し、社会を持続発展可能にさせるための技術イノベーションとグローバル人材の育成が求められている。Layton(1993)⁽⁴⁾の技術デザインプロセスの過程は、材料と加工に関する技術、エネルギー変換に関する技術では、製作品の「創造の動機ー構想設計ー製作ー評価ー修正ー製作品の活用」、生物育成に関する技術では、「動機ー構想計画ー育成ー成果の評価ー育成生物の活用」、デジタル作品では、「構想ー

設計－素材の準備・加工－素材の統合－制作品の評価・修正－制作品の表現・発信」が考えられる。CTを伴うプログラムの作成のデザインプロセスでは、「プログラムの仕様決定－プログラム設計－プログラムのコーディング－プログラムのデバック－プログラムの実行－成果の評価－プログラムの活用」が考えられ、技術デザインプロセスの思考手順が基盤となる。したがって、技術デザインプロセスの思考手順と、CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスの思考手順とは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスであり、類似性が見られ、お互いの連携が有効であると考えられる。

そこで、久野ら（2015）⁽⁷⁾の新3観点を考慮し、磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」と「エ 計測・制御とシステム構成」の内容に加除修正した（表3）。加えて、磯部・山崎（2013：p.340）⁽²⁵⁾の教育目標2－1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」教育課程基準表を、本稿で修正した表3に対応させるために一部加筆修正し、表4に示す。

表3. 磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「デジタル作品の設計と制作」と「計測・制御とシステム構成」を修正し再構成した表*

	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
情報に関する技術	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・マウスの操作に慣れること（例：自分の顔を描く、動きのある様子を描く）。 ・見付けたことや思ったことなどを絵に表すこと。	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・マウスを用いて、文字の入力や簡単な作図をすること。 ・絵や短い文章で、簡単なデジタル作品を制作し、発表すること。	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・マウスを用いた作図や、キーボードからの文字入力、簡単なデジタル作品を構想・制作すること。 ・制作した作品を使って、相手に分かりやすく伝達すること。	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・メディアの素材の特徴と利用方法や、適切なソフトウェアを選択し、多様なメディアを複合した発表作品を構想・設計・制作して、相手に分かりやすく伝達すること。	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・デジタル作品の使用目的や使用条件を明確にし、社会的、環境的及び経済的側面などから、メディアの素材の特徴と利用方法などを比較・検討した上で、デジタル作品の設計と制作ができること。 ・多様なメディアを複合して設計・制作した作品を他者に発信し、効果を自己評価・相互評価すること。	ウ（デジタル作品の設計と制作） ・著作権などの知的財産権の保護、発信した情報に対する責任、及び情報モラルに配慮し、デジタル作品を設計・制作、情報の表現・伝達をして、作品の効果を自己評価・相互評価すること。
	エ（計測・制御とシステム構成） ・遊具用・教材用ロボット（ブロックおもちゃなど）を使って、先生と一緒に組み立てたり、動かしたりして遊ぶこと。	エ（計測・制御とシステム構成） ・自分の思いや願いを込めた動作の実現を学習課題として、教材用ロボットを組み立てて、モータの回転の時間や速さなどを変えられること。	エ（計測・制御とシステム構成） ・コンピュータを活用し、課題解決するために、処理手順を考える必要性に気付くこと。 ・教材用ロボットを組み立てて、目的とする動作を実現する課題を達成するために、タイル型のプログラムを作成するために、順次・条件分岐・反復の情報処理の手順を活用すること。	エ（計測・制御とシステム構成） ・教材用ロボットを使って、課題の目的を児童が主体的に設定し、4, 5人の班を構成して、仲間と協力し簡単なロボットの構想・設計・製作と、制御プログラムの作成・工夫で、課題を解決すること。 ・プログラムを効率良く記述し、誤りを最小限にとどめる設計方法論として、構造化プログラミングがあり、処理手順は、順次・条件分岐・反復の組み合わせの記述を知ること。 ・処理手順を視覚的に明確化するために、簡単なフローチャートを作成できること。	エ（計測・制御とシステム構成） ・コンピュータを用いた計測・制御システムの構成と働きを知り、目的とする技術課題を解決するために、情報処理の手順を考えた、計測・制御プログラムを作成すること。 ・プログラミング言語（少なくとも、一つはテキスト言語）を用いて、コンピュータを活用して、問題解決すること。 ・計測・制御の目的や条件を明確にし、社会的、環境的及び経済的側面などから情報処理の手順を変更した場合の効果を比較・検討したプログラムの作成ができること。	エ（計測・制御とシステム構成） ・テキスト型プログラミング言語を用いて、問題をシステムとしてとらえ、構造化して問題解決すること。 ・分類や検索など、主たるアルゴリズム（処理手順）が複数あることを理解し、それらのアルゴリズムを比較・検討・評価すること。 ・問題解決の処理を自動化するアルゴリズムを構想し、計算量や計算可能性の概念を理解しつつ、アルゴリズムの実用性を判断できること。 ・モデル化とシミュレーションの概念を理解し、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・評価を行うこと。

※磯部・山崎（2013）⁽²⁵⁾に基づき、下線部の内容を付加した。紙幅の関係上、ア（コンピュータとシステムの扱い）とイ（ネットワーク利用）は、省略した。

表 4. 磯部・山崎 (2013 : p.340) ⁽²⁵⁾ の教育目標 2-1 「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」
教育課程基準表を一部修正し再構成した表*

	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
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に表わし、製作・制作・育成を楽しむことができる。	発想に基づく作品を簡単な絵図に表し、必要な材料や手順を考え、技術のもののづくり（製作・制作・育成を含む）に取り組むことができる。	発想や発明に関心を持ち、目的の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・育成過程や活動に生かすことができる。	技術創造に関心を持ち、様々な必要条件を考慮し、設計から製作（制作・育成）までの手順や方法を考え、製作（制作・育成）後、自らの活動を評価することができる。	技術創造を目的とし、様々な必要条件を考慮し、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）し、その評価・改善を行うことができる。	技術創造や工夫を重視し、様々な必要条件と制約条件を考慮した比較考量と技術評価から、持続可能な社会を支えるために必要な製品を設計、工夫、提案、製作、評価、改善し、学習過程を生涯学習能力として活用することができる。
学習範囲と各段階の学習到達水準	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。	ア（課題の設定） ・製作・制作・育成したい理由を述べること。	ア（課題の設定） ・製作・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。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を意識して、取り組むこと。	ア（課題の設定） ・製作・制作・育成する目的・動機を、便利さ、リスク、生活への影響などを考えて、明確にすること。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、簡単な図表で表現すること。	ア（課題の設定） ・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明確にし、課題に取り組むこと。 ・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表で表現すること。	ア（課題の設定） ・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、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明確にし、課題に取り組むこと。 ・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・他者評価により、手順や工程を改善すること。
	イ（設計・計画） ・自分の作りたい作品の完成図を、簡単な絵で表現すること。	イ（設計・計画） ・作品の見本から、使われている材料や使用した道具について考えること。 ・自分の製作・制作・育成したい作品の発想・アイデアを、簡単な絵日記等で描けること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、簡単な構想図と部品図、絵図などで表現すること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、簡単な構想図と部品図絵図、育成計画表などで表現し、使用する材料や道具、工夫点などを表現すること。	イ（設計・計画） ・自分が作りたい作品の発想・アイデアを、構想図、第三角法による正投影図、フローチャート、育成計画表等で表現すること。 ・自ら提案する作品について、実物または見本製作でモデリングし、具体的な工夫点を示すこと。 ・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すること。	イ（設計・計画） ・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。 ・機能や構造などを要素・要因に分解し、要素間の構造を明確にすること。 ・模型や試作などのモデリングにより、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。
	ウ（製作・制作・育成） ・先生や仲間と一緒に、各活動内容と手順を確認しながら進めること。	ウ（製作・制作・育成） ・課題を達成するために必要な、一つひとつの活動内容を知り、順番に製作（制作・育成）をすすめていくこと。 ・班やグループを通して、協力して製作・制作・育成活動すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品を完成させるために、どのような順番で各活動を行えばよいか、見通しをもつこと。 ・友達と相談して、工夫を意識しながら製作・制作・育成すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品づくりの経験を基に、自ら各活動手順や工程について見通しをもち、計画をたてること。 ・作品を説明し、工夫点について意見を聞き、互いの情報を共有すること。	ウ（製作・制作・育成） ・作品づくりの経験を基に、創造・工夫を取り入れた手順・工程を立てること。 ・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。	ウ（製作・制作・育成） ・持続的発展が可能な社会を支えるという視点から、技術を創造・活用するための実践・評価・改善を行うこと。 ・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、設計図や手順・工程を変更したり、新たな方策を導入したりすること。
	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。	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。	エ（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。	エ（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、今後の技術のもののづくり活動に生かすこと。	エ（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。

※磯部・山崎 (2013) (25) に基づき、下線部の内容を加除修正した。

5 まとめ

本小論は、我が国の小学校から高等学校までを一貫したSTEM教育とCT（Computational Thinking）を重視した情報技術教育課程の基準を検討するために、イギリスのNC教科「コンピューティング」と、米国CSTAのK-12 Computer Science Standardsの特にSTEM教育とCTに着眼し、磯部・山崎（2013）⁽²⁶⁾の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準の、特に「デジタル作品の設計と制作」、「計測・制御とシステム構成」を再検討した。本研究のまとめは、以下2点に集約される。

- 1) 久野ら（2015）の情報教育の新3観点の特に、(1)実際にものを作って動かしたり問題解決したりする「コンピューティングの理解と活用能力」、(2)「情報活用の実践力」に従来の科学的理解に含まれていた評価とメタ認知の付加に着目し、磯部・山崎（2013）の教育目標1「情報・システム・制御技術」教育課程基準表の「ウ デジタル作品の設計と制作」と「エ 計測・制御とシステム構成」、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」教育課程基準表の内容の一部を加除修正し、再提案した。
- 2) Layton（1993）の技術デザインプロセスの過程は、材料と加工に関する技術、エネルギー変換に関する技術では、製作品の「創造の動機-構想設計-製作-評価-修正-製作品の活用」、生物育成に関する技術では、「動機-構想計画-育成-成果の評価-育成生物の活用」、デジタル作品では、「構想-設計-素材の準備・加工-素材の統合-制作品の評価-修正-制作品の表現・発信」が考えられる。CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスでは、「プログラムの仕様決定-プログラム設計-プログラムのコーディング-プログラムのデバック-プログラムの実行-成果の評価-プログラムの活用」が考えられ、技術デザインプロセス思考が基盤となる。したがって、技術デザインプロセスと、CTを伴うプログラム開発のデザインプロセスとは、情報の収集、各要素間の明確化と構造化のプロセスが含まれ、類似性が見られる。ものづくりの技術と情報の技術デザインプロセスとして、お互いの連携が有効であると考えられる。

謝 辞

本研究は、2013~2016年度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「システムの思考に基づいたイノベーション力の育成を図る技術・情報教育体系に関する研究」（チームリーダー：森山 潤兵庫教育大学教授）と、2013~2015年度JSPS科研費25350240の助成を受けている。文献(26)と(27)の2004~2006年度東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校と、2007~2009年度新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校の研究は、文部科学省研究開発学校の指定を受け、文部科学省の指導の下で、日本産業技術教育学会、同学会小学校委員会、全日本中学校技術・家庭科研究会の研究支援を受けて行われた。実践データを提供して下さった関係教育行政機関・学校関係者各位（当時、以下同じ）、前述学会・研究会の会長はじめ関係者各位、研究にご協力いただいた関係者各位に謝意を表する。

引用及び参考文献

- (1) Bybee, R. (2010) "What Is STEM Education?", Science, vol.329, Issue.5995, p.996
- (2) Wing, M. J. (2006) Computational Thinking, Communications of the ACM, Vol. 49, No.3, pp.33-35.
- (3) 中島秀之（2015）計算論的思考，情報処理，Vol.56, No.6, pp.584-587.
- (4) Layton, D. (1993) Technology's challenge to science education, Open University Press, U.K.
- (5) 大森康正・磯部征尊・寒川達也・山崎貞登（2014）2014年実施のイギリスのナショナルカリキュラム「Design and Technology」と「Computing」の改訂に対するSTEM教育運動の影響，日本産業技術教育学会誌，Vol.56, No.4, pp.239-250.
- (6) 山崎貞登・磯部征尊（2016刊行予定）「第1部4章 イギリスにおける技術教育の動向」，森山 潤・菊地 章・山崎貞登（編著）『イノベーション力を育む技術・情報教育の展望（所収）』，第1分冊，ジ アース 教育新社
- (7) 久野 靖・和田 勉・中山泰一（2015）初等中等段階を通じた情報教育の必要性和カリキュラム体系の提案，情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ，Vol.1, No.3, 48-61.
- (8) The Royal Academy of Engineering (2012a) Shut down or restart? The way for computing in UK schools <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>
- (9) 中條道雄（2014）イギリスにおける情報科教育再生の最新動向，情報教育資料，No.39, pp.5-8. <http://www.jikkyo.co.jp/download/detail/61/9992656682>

- (10) 磯部征尊・大森康正・山崎貞登 (2014) 2014年9月実施版イングランドナショナルカリキュラム「デザインと技術」と「コンピューティング」の学習プログラム, pp.149-155, 山崎貞登 (研究代表者): 平成25~27年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「防災・エネルギー・リスク評価リテラシーの科学・技術連携カリキュラムの開発」第1年次成果報告書 (所収)
<http://kaken13.techjuen.ac.jp/>
- (11) A Computing at School Working Group (2012) Computer Science: A curriculum for schools
<http://www.computingschool.org.uk/data/uploads/ComputingCurric.pdf>
- (12) The Royal Academy of Engineering (2012b) Computing Programme of Study
<http://academy.bcs.org/content/computing-programme-study>
- (13) Computing At School Working Group (2014a) Developing computational thinking in the classroom: a framework
<http://www.community.computingschool.org.uk/files/3517/original.pdf>
- (14) Selby, C. & Woollard, J. (2013). Computational Thinking: The Developing Definition. Available:
<http://eprints.soton.ac.uk/356481>
- (15) Computing At School Working Group (2014b) Computing Progression Pathways – Mapped to Computer Science, Information Technology and Digital Literacy strands of the National Curriculum Programme of Study
<http://www.quickstartcomputing.org/secondary/Resources/section2/Progression%20Pathways%20-%20strands.pdf>
- (16) CSTA (Computer Science Teachers Association) Standards Task Force (2011a) CSTA K-12 Computer Science Standards, CSTA
<http://csta.acm.org/Curriculum/sub/K12Standards.html>
- (17) 横山成彦・松原伸一 (2014) 米国におけるCSTA K-12 Computer Science Standardsと我が国の技術教育の考察, 日本産業技術教育学会第29回情報分科会 (大阪) 研究発表会講演論文集, pp.43-46.
- (18) 中條道雄 (2015) アメリカにおける情報科教育カリキュラム標準化の動向 – ACM/CSTAの「K-12 Computing Standard」を中心に –, 情報教育資料, No.40, pp.5-8.
- (19) 松原伸一 (2014) 米国のCSTA K-12 Computer Science Standardsと情報学教育のコア・フレームワーク, 情報学教育研究, 2014, pp.5-14
- (20) CSTA (2011b) COMPUTATIONAL THINKING teacher resources second edition,
http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/472.11CTTeacherResources_2ed-SP-vF.pdf
- (21) 文部省 (1997) 体系的な情報教育の実施に向けて, 情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議第1次報告
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/002/toushin/980801.htm
- (22) 日本産業技術教育学会 (1999) 21世紀の技術教育, 日本産業技術教育学会誌, 第41巻3号別冊, pp.1-10.
<http://www.jste.jp/main/data/21te.pdf>
- (23) 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, 第54巻4号別冊, pp.1-7.
<http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
- (24) 日本産業技術教育学会 (2014) 21世紀の技術教育 (改訂) – 各発達段階における普通教育としての技術教育内容の例示 –
<http://www.jste.jp/main/data/21te-nex.pdf>
- (25) 磯部征尊・山崎貞登 (2013) 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
- (26) 東京都大田区立矢口小学校・同区立安方中学校・同区立蒲田中学校 (2007) 「2006年度小中一貫したTechnology Education教育課程の開発 ～よりよい社会を創造し, 支えていく技術的素養の育成～」, 文部科学省研究開発学校 (2004~2006年度) 最終年次研究紀要, 200p.
- (27) 新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校 (2009) 「豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習 ～地域の『ひと・もの・こと』とかかわる学習を通して～」, 文部科学省研究開発学校 (2007~2009年度) 最終年次研究紀要, 110p.

※本小論におけるインターネット情報の最終アクセス日は, 2015年8月3日

A Comparative Study between Japan, England and the USA of Curriculum Standards in Information and Communication Technology Education fostered Science, Technology, Engineering and Mathematics Education and Computational Thinking from Elementary to Upper Secondary School

Yasumasa OMORI*, Masataka ISOBE** and Sadato YAMAZAKI*

ABSTRACT

This study was re-examined to develop curriculum standards in technological education from kindergarten to upper secondary school by Isobe and Yamazaki (2013). In other words, “designing and digitization,” “measuring, controlling and system structure” and “learning processes in technology education” based on technological design process to conduct information and communication technologies education fostered Science, Technology, Engineering and Mathematics Education and Computational Thinking (CT) and focus on “Computing” in the National Curriculum in England and CSTA K-12 Computer Science Standards in the USA. The results are summarized as follows:

- (1) The study utilizes “designing and digitization” and “measuring, controlling and system structure” of a curriculum standard for “Information, System and Controlling Technology” by Isobe and Yamazaki (2013) according to three new viewpoints for information and communication technologies education established by Kuno, et al. (2015).
- (2) The concept of the technological design process for three learning areas: that is, materials and their processing, as well as the energy convention and nurturing of living things have many similarities when compared with one of “designing and digitalization” and “measuring, controlling and system structure”. This is based on CT and the notion that it is effective and essential to utilize these design processes.

* Natural and Living Science ** Aichi University of Education

第6章 技術イノベーションと技術ガバナンス

上越教育大学 山崎 貞登, 愛知教育大学 磯部 征尊

6.1 技術ガバナンスと技術ガバナンス能力とは

日本産業技術教育学会（2013）は、「イノベーション」を、「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、経済的・社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」と用語解説をしている。そこで、本稿における「技術イノベーション」の概念は、「技術の発明等による新たな知的・文化的価値を創造すること、それらの知識を発展させて、経済的・社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」と定義する。

一方、「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。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: vi）。多様なアクター（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，同義ではない。「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）。企業等では，トップダウン型の組織形態のあり方や，権限と責任の所在の明確化が常に問われる。

技術教育に密接に関連する文脈と意味内容で用いられたガバナンスの提起は，文部科学省（2004: p.44）の科学技術白書における以下の記述である。

科学技術と社会との調和のためには，政府，科学者コミュニティー，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（2013）は，「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」と用語解説している。本稿では，「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，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」と定義する。

上野ら（2015: p.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。

6.2 技術イノベーションと技術ガバナンスの関係と，参加型テクノロジーアセスメント

技術は，光と影のリスクを伴う。技術イノベーションを増進するには，社会から真に求められる技術を適切に評価・活用するための技術ガバナンスへの主体的な参画と，相互コミュニケーションが不可欠である。影の技術の暴走を防ぎ，光の技術のイノベーションを推進するには，技術ガバナンスにより，国民が協働した舵取りが必要である。したがって，技術イノベーションと技術ガバナンスは，相互不可分であり，共に進化する関係といえる。

本稿の「リスク」概念は，リスクマネジメントを標準化した ISO31000 に基づき，「目的に対する不確かさの影響」と定義する（宇於崎・掛札，2012: p. 27）。技術は，科学や社会に影響し，社会を変えるだけではなく，社会が科学・技術に影響し，科学・技術を変えていると指摘している（平川，2010）。このため，国内外では，「技術ガバナンス」といった技術単独ではなく，「リスクガバナンス」として，科学・技術・社会の相互関係で論じられた事例が多数であった経緯がある。

EU の支援を受けて 1997 年から 2003 年にかけて活動した研究者グループ TRUSTNET は，「リスクガバナンス」を，「危険な活動の運営を可能にする政治的，社会的，法的，倫理的，科学的，技術的な要素の集まり」と定義した（TRUSTNET, 1999）。TRUSTNET は，電磁界問題，原子力立地問題，食品安全・遺伝子組換え食物問題，医薬品リスク規制などの事例研究と，リスクを伴う技術ガバナンスのあり方についての議論を行った（谷口，2008）。平川（2011: p.1）は，リスクガバナンスを，リスクの削減あるいは分配，調整をめぐる個人と組織との相互作用と解説している。また，リスクガバナンスでは，リスクに関する情報収集，分析，コミュニケーション，管

理決定に関するアクター（個人や組織）、規則、慣習の総体で、リスクに関する意思決定と行動のすべてを含んでいると指摘する。

技術に関わるリスクガバナンスで、特に重視されるのが、「参加型テクノロジーアセスメント」である。欧米では、1980年代から、「統治からガバナンス」への変化と、リスクコミュニケーションの潮流と共に、「参加型テクノロジーアセスメント」の画期的な取り組みが始まった。平川（2010: p.56）は、「テクノロジーアセスメント」を、新しいテクノロジーが社会や自然環境に与える影響を、その技術の実用化に先立って予見・評価し、技術の実用化の是非や、実用化するにあたっての規制のあり方に関する意思決定の評価と解説している。参加型テクノロジーアセスメントの特徴は、「非専門家」である市民や、利害関係者（問題の当事者）が評価を行うことで、多角的な問題構造の可視化と、相互学習、相互理解をねらいとしている。高度技術社会では、万人に必要な共通素養としての参加型テクノロジーアセスメントを重視した技術ガバナンス能力育成が要請されているといえる。

6.3 技術ガバナンスの意思決定プロセス

技術ガバナンスでは、社会レベルでの意思決定プロセスが極めて重要である。健康・安全・環境リスク問題への社会的対応は、分析的熟考(Analytic-deliberative)プロセスをベースとしたリスクマネジメントが潮流である（谷口，2008: p.78）。このリスクマネジメントの枠組みを、図 6.1 に示す（リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領／議会諮問委員会編，1998: pp.8-10）。

立川（2013: p.24）は、食品安全管理に関するリスクマネジメントの一般的な枠組みとして、「フレーミング（技術的・制度的条件を踏まえて評価手続きを策定する）」、「アセスメント（管理の決定に必要な各種の情報の収集・総合・検討を行うもので、課題の性質によりリスク評価だけでなく、社会経済的懸念の評価も実施）」、「エバリュエーション（評価の成果に対して、受忍可能性や受容可能性に関する価値判断を行う）」、「マネジメント（安全管理に関する意思決定・実施・監視を行う）」プロセスを紹介している。平川（2010: p.143）は、「フレーミング」を「問題の立て方・捉え方」と解説している。

技術のリスクの程度は、技術評価と適切な活用依存する。特定技術の放棄は、必ずしも社会のリスクを減少させることを保証せず、新たな対抗リスクや潜在的なリスクを顕在化させる可能性がある。リスクとリスクを比較考量（トレードオフ）するには、客観的な情報と個人的な判断、専門的な分析と倫理的評価の両方が必要である（谷口，2008: p.99）。

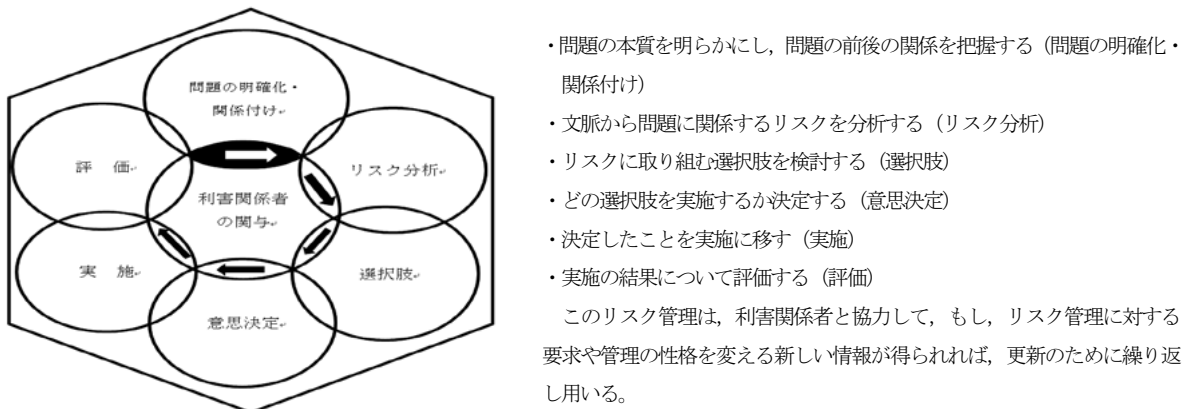


図 6.1 リスクマネジメントの枠組み 出典：リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領／議会諮問委員会編・佐藤雄也・山崎邦彦訳：環境リスク管理の新たな手法, p.9 (1998)

6.4 技術教育における技術ガバナンス能力

上野ら（2015: pp.5-6）によると、技術教育における「技術ガバナンス能力」を構成する要素は、技術の導入をコントロール（取捨選択）したり、マネジメント（管理・運用）したり、これらを念頭に置き、デザイン（設計）する能力や、危険性等の影響についてアセスメント（評価）できる能力からなるものとした。上野ら（2015: p.6）の研究では、それらの要素を総合的に捉えて、技術ガバナンス能力とした。一方、技術教育関係者等から、生物育成に関する技術ガバナンス能力に、上野ら（2015: pp.5-6）の提案が適合するのといった意見がある。生物育成に関する技術ガバナンスでは、食品安全管理に関するリスクガバナンスの先行研究の理論と実践知見が数多く蓄積されている。上野ら（2015: p.6）の各要素と、食品安全管理に関するリスクガバナンス能力の構成要素をまとめた、立川（2013: p.24）の枠組みを比較すると、ほぼ対応していると筆者は考えている（表 6.1）。

表 6.1 技術ガバナンス能力と食品安全管理に関するリスクガバナンス能力の構成要素の比較

上野ら (2015: p.6) の技術ガバナンス能力の構成要素	立川 (2013: p.24) の食品安全管理に関するリスクガバナンス能力の構成要素
1) 【選択】: 生み出された技術に対して, その技術を利用することが考えられる場面において, 目的と条件を踏まえ, 技術を適切に導入できる能力	【エバリュエーション】: 評価の結果に対して, 受忍可能性や受容可能性に関する価値判断を行う
2) 【管理運用】: 技術が生み出された後, その技術を利用する上で, 効果とリスクを踏まえ, 技術を適切に管理運用できる能力	【マネジメント】: 食品安全管理に関する意思決定・実施・監視を行う
3) 【(事前影響) 評価】: 新しい技術を生み出す場面において, 既存のシステムや環境に対して, 技術の効果やリスクを判断できる能力	【アセスメント】: 管理の決定に必要な各種の情報の収集・総合・検討を行うもので, 課題の性質によりリスク評価だけでなく, 社会経済的懸念の評価も実施
4) 【設計】: ある「条件」下で, 「目的」を達成するための設計(計画)が行われ, その状況の中で「目的」や「条件」が大きく変化した場合, 目的と条件を踏まえて, 新たな技術を生み出せる(設計できる)能力	【フレーミング】: 技術的・制度的条件を踏まえて評価手続きを策定する

出典: 上野耕史・大谷忠・谷田親彦・藤木卓・藤本登・藤井道彦・森山潤・川島芳昭・古川稔: 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助成事業シンポジウム要項集 (所収) (2015)と, 立川雅司: 萌芽的科学技術のガバナンスとその課題ーフードナノテクを事例としてー, p.24, 立川雅司・三上直之: 萌芽的科学技術と市民ーフードナノテクからの問いー (所収), 日本経済評論社 (2013)を基に, 筆者らが一部加筆し再構成

上野ら (2015: p.8) の技術ガバナンス能力育成のための学習プロセスを基に, 筆者らが技術ガバナンスの構成要素を一部加筆し再構成したものを, 図 6.2 に示す。

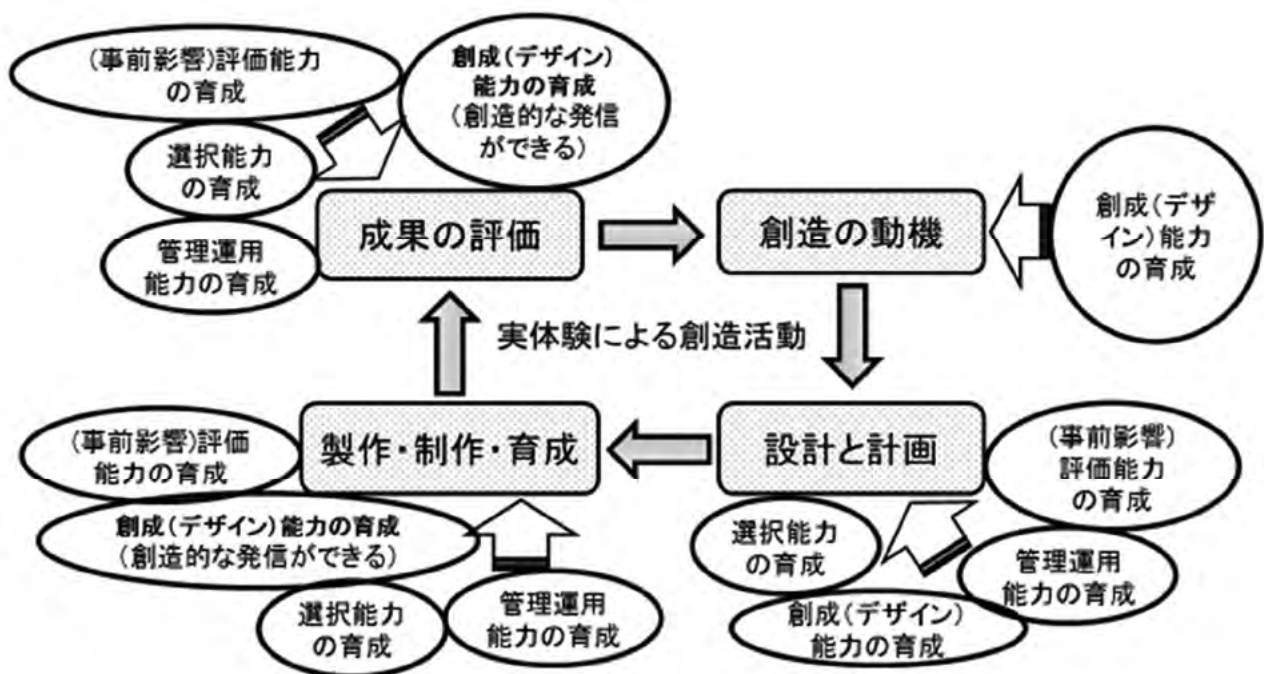


図 6.2 技術ガバナンス能力育成のための学習プロセス 出典: 上野ら (2015: p.8) を基に, 山崎が一部加筆
上野耕史・大谷忠・谷田親彦・藤木卓・藤本登・藤井道彦・森山潤・川島芳昭・古川稔: 技術ガバナンス能力調査とカリキュラムの検討, pp. 5-17, 上野耕史 (代表): 「中学校の技術に関わるガバナンス能力の調査とそれに基づいたカリキュラムの開発・検討」国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム要項集 (所収) (2015)

図 6.2 の「創造の動機」、「設計と計画」、「製作・制作・育成」、「成果の評価」の 4 プロセスから構成される一連のプロセス系は、技術教育固有の学習方法と学習プロセス系である（日本産業技術教育学会, 2012）。図 6.2 の重要点は、「設計と計画」プロセスで、立川（2013: p.24）の「フレーミング」、「アセスメント」、「マネジメント」と相互不可分に連携し、複合して機能する。「製作・制作・育成」プロセスでは、「アセスメント」、「マネジメント」と連携機能する。「成果の評価」プロセスでは、「振り返り・反省（エバリュエーション）」と、次の学習にスパイラルアップするための改善をすべく、次の技術的・制度的条件を踏まえて評価手続きを策定するフレーミングが複合的に機能し合う。

技術に関する社会的・環境的・経済的側面等からの判断を行う際には、リスクと便益に関する判断に加えて、価値問題に配慮する必要がある（城山, 2007: p.53）。個人の生活の範囲だけで価値規準を設定するのではなく、持続可能な民主主義社会を構成する主体者としての価値判断が求められる。価値規準をどこに置くのか、その重みづけによって、技術評価が大きく変わる。

中学校技術分野担当の学校教員から、立川（2013: p.24）の「アセスメント（目的・機能・種々の制約条件を考慮し、安全・社会・環境負荷・経済性等といった評価規準に基づき、エビデンスと説明責任を意識した評価）」と「エバリュエーション（振り返り・反省）」の差異性と関係性について、よく質問を受ける。2008 年告示中学校学習指導要領技術・家庭科技術分野では、A～D の各内容で、各技術の適切な評価・活用についての項目が導入された。本稿では、紙幅の制約で、文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター（2011）が示した C(1)イの評価規準の設定例のみを、表 6.2 に示し、A, B, D の掲載は割愛する。

児童生徒は、消費者の立場だけで価値規準を設定するのではなく、生産者の視点で技術評価をすることが不可欠である。生産地の人たちが長い年月をかけて改良・工夫された伝統的な技術は、地域固有の資源や環境に大きな負荷をかけないように有効活用されている場合が多い。生産者・流通業者不在の視点で技術評価が進むと、各アクターの現場で不都合が生じる。収穫物だけで技術評価・活用学習をするのではなく、学習者自身が「図 6.2 技術ガバナンス能力育成のための学習プロセス」を辿りながら、生物育成の実践的体験的学習をすることが重要である。

生物育成に関する技術の学習プロセスで、表 6.2 で示した C(1)イ「生物育成に関する技術の適切な評価・活用について考えること」の学習を、題材終末の 1 時間で実施する事例がある。図 6.2 で示したように、技術イノベーションと技術ガバナンス教育では、生物育成の構想計画プロセス段階から、「フレーミング」、「アセスメント」、「マネジメント」の思考活動、実践活動が必要である。

表 6.2 C(1)イ「生物育成に関する技術の適切な評価・活用について考えること」の評価規準の設定例 出典：文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター（2011: p. 27）

「生活や技術への関心・意欲・態度」
・生物育成に関する技術の課題を進んで見付け、社会的、環境的及び経済的側面などから比較・検討しようとするとともに、適切な解決策を示そうとしている。
「生活を工夫し創造する能力」
・生物育成に関する技術の課題を明確にし、社会的、環境的及び経済的側面などから比較・検討するとともに、適切な解決策をみいだしている。
「生活や技術についての知識・理解」
・生物育成に関する技術が社会や環境に果たしている役割と影響について理解している。

6.5 技術イノベーションと技術ガバナンス能力育成の教育課程と学習評価

技術イノベーションと技術ガバナンス能力育成には、初等中等教育を一貫した技術教育課程を編成し、児童生徒の心身の発達に応じて、各年齢段階や学年段階での到達目標レベルを設定する必要がある。技術イノベーションと技術ガバナンス能力は、○×の正誤判定を基本とする「ドメイン準拠評価法」ではなく、初等中等教育期間全体に渡って、能力発達のスペクトル区分の進捗状況を、複数段階の評価尺度を用いて判定する「スタンダード準拠評価法」の適用が不可欠である（鈴木, 2013）。各教科等の重大な概念に対する本質的な問い、永続的な理解、思考力・判断力・表現力、問題（課題）解決力を育成するには、「スタンダード準拠評価」が必要である。鈴木（2013）らが指摘するように、思考力・判断力・表現力、問題（課題）解決力等といった高次の学力の評価法は、ドメイン準拠評価ではなく、スタンダード準拠評価によるパフォーマンス評価を、児童生徒指導要録の学習評価法として導入した方が望ましい。さらに、次期学習指導要領の各教科等解説編には、初等中等教育段階を複数の学習到達水準に区分したパフォーマンス評価規準表を掲載することを提案したい。また、通教科的・汎用的（generic）

な問題解決能力、PISA のキーコンピテンシー、STEM、STEAM の重要概念（サイエンス、テクノロジー、エンジニアリング、アーツ、シティズンシップ、数学等）を、学習指導要領の総則編に掲載することで、特にサイエンス・テクノロジー・社会・アーツの相互関係性の視点から、各概念の本質とは何かについて、永続的理解を図る言語活動の一層の充実が求められる。また、第1章で論述したように、我が国の日常生活における「技術」の語彙は、テクノロジーの文脈ではなく、テクニク、スキルを含意して用いられ、エンジニアリングを「工学」と翻訳した経緯があったりする等、日本語と英語をはじめとする外来語の意味に、ずれが生じている事例が多い。グローバル化が一層進む中で、外来語と邦訳の意味に大きな違いが生じている場合は、カタカナ表記を用いることを提案したい。

各日本産業技術教育学会（2012）は、就学前教育から高等学校までを一貫した技術教育課程の枠組みとして、「教育目標2：技術教育固有の方法とプロセス」を提案している。同先行研究を基に、磯部・山崎（2013）は、教育目標2の内、「創造の動機－設計・計画－製作・制作・育成－成果の評価」を機軸とした各教育階梯段階の到達目標を、教育目標2－1として再構成した（本報告書第5章の表4）。さらに、技術イノベーションと技術ガバナンス能力育成のための学習プロセスを包含した「教育目標2－2 技術の適切な評価・活用能力」を機軸とした各教育階梯段階の到達目標を提案した（表6.3）。技術イノベーションと技術ガバナンス能力は、本質的な問いを再構成しながら、技術科教育の文脈におけるSTEM、STEAMの重要概念の永続的理解と、複雑なプロセスを伴う高次の学力であり、知のサイクルを育む生涯学習能力に繋がる。初等中等教育段階を通した長期スパンで、コンピテンシーのような汎用的能力と共に、協働的・主体的なアクティブ・ラーニングを通して育成していくことが重要である。

【文献】URL(最終アクセス 2015 年 12 月 31 日)

- 1) 平川秀幸：『科学は誰のものか 社会の側から問い直す』、日本放送出版協会（2010）
- 2) 平川秀幸：「リスクガバナンスの考え方 リスクコミュニケーションを中心に」、pp.1-57, 平川秀幸・土田昭司・土屋智子著・『環境リスク管理のための人材養成』プログラム編：リスクコミュニケーション論（所収）、大阪大学出版会（2011）
- 3) 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、上越教育大学紀要、第32巻、pp.331-344（2013）
- 4) 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、第54巻第4号別冊、pp.1-8（2012）<http://www.jste.jp/main/announce.html>
- 5) 文部科学省：『科学技術白書』、財務省印刷局（2004）
- 6) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編（平成20年9月）、教育図書（2008）
- 7) 文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター：評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料、教育出版（2011）
- 8) 日本産業技術教育学会：新たな価値と未来を創造する技術教育の理解と推進リーフレット（2013）<http://www.jste.jp/main/data/leaflet.pdf>
- 9) リスク評価及びリスク管理に関する米国大統領／議会諮問委員会編・佐藤雄也・山崎邦彦訳：『環境リスク管理の新たな手法』、p.9、化学工業日報社（1998）
- 10) 城山英明：『科学技術ガバナンス』、東信堂、p.vi（2007）
- 11) 城山英明：「科学技術ガバナンスの機能と組織」、pp.39-72、同編：科学技術ガバナンス（所収）、東信堂（2007）
- 12) 鈴木秀幸：『スタンダード準拠評価』、図書文化（2013）
- 13) 立川雅司：「萌芽的科学技術のガバナンスとその課題－フードナノテクを事例として－」、p.24、立川雅司・三上直之：『萌芽的科学技術と市民－フードナノテクからの問い－（所収）』、日本経済評論社（2013）
- 14) 谷口武俊：『リスク決定論』、大阪大学出版会、p.108（2008）
- 15) TRUSTNET：The TRUSTNET Framework: A New Perspective on Risk Governance（1999）http://www.trustnetinaction.com/IMG/pdf/Framework_TRUSTNET_ENG.pdf
- 16) 上野耕史・大谷忠・谷田親彦・藤木卓・藤本登・藤井道彦・森山潤・川島芳昭・古川稔：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助成事業シンポジウム要項集（所収）（2015）
- 17) 宇於崎裕美・掛札逸美：『人と組織の心理から読み解くリスク・コミュニケーション 対話で進めるリスクマネジメント』、日本規格協会（2012）

表 6.3 教育目標 2-2 「技術の適切な評価・活用能力のスタンダード」幼稚園から高等学校までを一貫したパフォーマー・パフォーマンス評価標準表 出典：磯部・山崎(2013)の p.341 の表 9

目標		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		
各教育段階におけるパフォーマンス評価標準	技術の適切な評価・活用能力のスタンダード	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ものづくりを、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	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ものづくり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	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ものづくり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		
		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を楽しむこと。	ア（技術の意義、必要性） ・創造と工夫を活かした技術のものづくりを楽しむこと。	ア（技術の意義、必要性） ・ものづくりに技術が必要ない理由について、技術の製作・制作・育成活動を通して考えること。	ア（技術の意義、必要性） ・自らのものづくりに技術の創造・工夫について、他者に説明すること。	ア（技術の意義、必要性） ・持続可能な社会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。	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。	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。	
		イ（技術評価） ・身近な遊具・道具・技術製品等を使う学習活動や、栽培飼育活動の際に、事故等の留意点から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、知ることに。	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、事故等の留意点について、主体的に情報収集し、知ることに。	イ（技術評価） ・身近な技術（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。	イ（技術評価） ・技術課題には、価格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、トレード・オフが伴うことを理解すること。	イ（技術評価） ・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。	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（共治）に基づく持続可能な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。	イ（技術評価） ・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。	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（共治）に基づく持続可能な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。
		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・工夫に関心をもち、自分の情報と他人の情報を適切にし、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。	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、ものづくりに関す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。	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、ものづくりに関す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。	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、ものづくりに関す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。	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、ものづくりに関す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。
		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、技術のものを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・育成している人々たちの様子を見て、関心を持つこと。	エ（技術と勤労観・職業観） ・技術のものをづくりを、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に関する技術の重要性を知り、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） ・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、理解すること。

第7章 アメリカの ITEEA (国際技術・エンジニアリング教育者学会) I³教材

上越教育大学大学院 山崎 貞登, 愛知教育大学 磯部 征尊
新潟県柏崎市立第一中学校 市村 尚史

7.1 はじめに

本小論では、全米科学財団 (National Science Foundation) による一部財政支援を受け、第5～6学年児童に対して、「技術リテラシー」育成と STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育推進のために、「国際テクノロジー (以下、技術) とエンジニアリング教育者学会 (International Technology and Engineering Educators Association) [2010年3月に ITEA (International Technology Education Association) から ITEEA に組織名称変更]」と、カリフォルニア・ペンシルベニア大学 (California University of Pennsylvania) が共同で開発し、2006年から ITEA (現 ITEEA) サイト¹⁾等で公開中の I³ (アイキューブ) 学習教材について検討する。特に、I³教材開発に至る社会的要請、「鍵概念」と「鍵プロセス」に着眼し、教材構成、教材の役割と意義を中心に、日米比較教育研究の視座から検討することを目的とする。I³の命名は、「Inquiry」、「発明 (Invention)」及び「技術イノベーション (Innovation)」の各々の頭文字に由来する¹⁾。

なお、Inquiry は、従来から特に国内外の科学教育において、鍵となる学習方法あるいは鍵プロセスとして学習指導研究が進み、理論化と教育実践が展開されてきた。他教科教育においても、鍵となる学習方法、鍵プロセスとして教育実践で注目されることが多い。我が国の理科教育では、Inquiry を「探究」と邦訳することが多かった。しかし、理科教育学の研究者である中山迅氏 (宮崎大学) らとの私信によると、特に理科教科固有の文脈性の強い状況で用いられる Inquiry の邦訳については、現在論争中という。加えて、第2章において、人見が論究しているように、アメリカ「次世代の科学スタンダード (Next Generation Science Standards)」^{2),3)}では、従来の科学教育の学習方法や学習プロセスの鍵語となっていた Inquiry から、Science と Engineering が架橋した計8の Practices (p. 48)³⁾のプロセスが鍵語として用いられている。特に、Practices の第1のプロセスでは、「asking questions for science」、「defining problems for engineering」、Practices の第2のプロセスでは、「constructing explanations for science」、「designing solutions for engineering」と、科学教育とエンジニアリング教育の各々の領域固有性・文脈性を明確に提案している (p. 48)³⁾。本小論では、以上の現況を鑑み、Inquiry は、原語表記とする。

7.2 STEM 教育推進を目的とした I³教材

ITEA (現 ITEEA) は、1998年に「The STEM±Center for Teaching and Learning™ (以下、STEM センター)」を設置し、「技術リテラシー」の指導者育成のために、特に学校教員専門職能発達を重点的に支援する活動を継続して行っている。同センターでは、STEM の中核概念を、「Engineering by Design™ (デザインに基づくエンジニアリング)」と位置付ける⁴⁾。「Engineering by Design™」は、次世代のテクノロジスト、イノベーター、デザイナー、エンジニアに導くために、子どもたちの無限の可能性を秘めた才能を引き出しながら、適切な動機付けをもたらすという理念に基づいている⁴⁾。

本モデルプログラムは、幼稚園から大学までを一貫している。同プログラムは、「社会的構成主義学習論」に依拠し、生活や社会の現実状況に根ざしたオーセンティックな「問題/プロジェクト基盤型学習 (Problem/Project Based Learning)」に基づいている。プログラムは、「全米学校数学教員のためのカOUNSEL (The National Council of Teachers of Mathematics) の学校数学のための原理とスタンダード」⁵⁾、「アメリカ科学振興協会 (American Association for the Advancement of Science; AAAS) のプロジェクト 2061 科学リテラシーのためのベンチマーク」⁶⁾、「次世代の科学スタンダード (Next Generation Science Standards)」^{2),3)}、「ITEA (現 ITEEA) の技術リテラシーのためのスタンダード」⁷⁾、ナショナル・エンジニアリング・アカデミーの「エンジニアリングのための壮麗な挑戦—幼稚園から第12学年のためのプログラム (the Program K-12 has been mapped to the National Academy of Engineering's Grand Challenges for Engineering)」⁸⁾との連携化を図っている。「プロジェクト 2061」は、科学教育改革のための知的な最良のツールを作ることを目的にしている。プロジェクト 2061 は、1985年に始まり、1989年に「すべてのアメリカ人のための科学」を発行した⁶⁾。同書の「科学リテラシー」は、科学、数学、技術に関するリテラシーを包含している。ITEEA は、Engineering by Design™ カリキュラムの啓発普及活動のイニシアティブを担い、幼稚園～12学年における技術・エンジニアリング教育の促進を図ることを表明している。

7.3 I³学習ユニットと目次構成

I³学習ユニットは、計 10 の学習ユニットから構成されている⁹⁾。ユニット開発と評価プロセスは、ITEEA のサイトに PDF 文書¹⁰⁾として公開中である。同文書で明記されているように、I³学習ユニットの構成原理は、2000 年代初頭から米英をはじめ、世界各国・地域の教育課程研究に大きな影響を与え、2007 年版のイングランドのナショナルカリキュラム構成原理として採用された、Wiggins and MacTighe の『Understanding by Design』¹¹⁾の「重大な観念 (big idea)」と、「鍵プロセス (I³ではエンジニアリング・デザインプロセス)」を基盤に開発している。重大な観念とプロセスでは、ITEEA の技術内容スタンダード⁷⁾の特に 1～3「技術の本質」、4～7「技術と社会」、8～10「デザイン」、11～13「技術社会で必要な能力」といった、技術科教育の本質的な概念とプロセスを重視する。これは、技術の個別的な知識やスキルの枠内に留まらず、生涯学習社会において、俯瞰的かつ本質的な問いと永続的な理解を絶えず考究し、大きな技術概念、原理やプロセスといった「技術智のサイクル」を学習対象としていることを意味する。中央教育審議会（中教審、2014ab）^{12),13)}『育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会』が示した「教科等の教育目標・内容の構造的な整理の視点」では、Wiggins and MacTighe の『Understanding by Design』¹¹⁾の構成原理が引用されている。

中核の学習ユニットは、「Inquiry」「発明 (Invention)」及び「技術イノベーション(Innovation)」である。

I³の計 10 の学習ユニット¹⁰⁾を、表 7.1 に示す。また、「Inquiry」「発明」「技術イノベーション」の各ユニットで使用するテキストの目次構成を、表 7.2 に示す。表 7.1 及び 7.2 の鍵プロセスである「エンジニアリング・デザインプロセス」とは、技術イノベーションのプロセスと定義する。同プロセスの第 1 段階は「挑戦課題の明確化と理解」、第 2 段階は「アイディア調査」、第 3 段階「計画立案と練り上げ」、第 4 段階「試験と評価」、第 5 段階「解決法の提案」で、一方向のリニアの不可逆プロセスではなく、相互反復する連鎖プロセスである。

表 7.2 に示すように、テキストは、3 ユニット共に、ほぼ同じ目次構成となっている。

表 7.1 I³の計 10 学習ユニット名（主題及び副題）と学習内容の概略
 [文献 9) <http://www.iteea.org/EbD/Resources/GrandChallengesMatrix.pdf> を基に筆者らが作成]

1) 発明 ^{a)} ：発明改革運動 ^{b)} 児童は、幼少期の子どもの家事活動を支援する装置の、実用模型かプロトタイプ（原型）のデザイン及び構成により、発明に対するアイディアを明確に理解する
2) 技術イノベーション ^{a)} ：インチ、フィート&手 ^{b)} 児童は、人間の手によって使用される改良品のデザインを練り上げるために、「エンジニアリング・デザインプロセス」の学習プロセスを使用し、理解する
3) コミュニケーション ^{a)} ：校訓の通信 ^{b)} 児童は、校訓を促進する異なるタイプの商用プロジェクトをデザインし、開発して、実際に使用することにより、コミュニケーション・プロセスとメディアを検討する
4) 輸送 ^{a)} ：アメリカ横断 ^{b)} 児童は、輸送、及び輸送システムが、どのようにアメリカの現代生活の発達と利便性に貢献したかを学習する。その後、彼らは、運搬用車両についてエンジニアリング・デザインプロセスを用いて学習する。
5) Inquiry ^{a)} ：究極のスクールバック ^{b)} 児童は、通学カバンのデザインを変更し、かつ「究極の通学カバン」のモデルを、「Inquiry スキル」を使って構成する
6) 生産 ^{a)} ：Fudgeville（洋飴製造の町）危機 ^{b)} 児童は、ファッジ・フェスティバルのためのパッケージ「ファッジ」の会社による大量生産と、食品保存について調査する
7) 構造 ^{a)} ：梁の強度（Beaming Support） ^{b)} 児童は、梁のデザインと構造に従事するエンジニアの役割を担い、評価し、彼らの梁強度のデザインを変更して、少なくとも 2 つのラミネート紙により、梁試験を行う
8) 力とエネルギー ^{a)} ：再生可能エネルギーとしての風力 ^{b)} 児童は、風力エネルギーを捕らえて、風力を電気に変換する装置を構成するとともに、風力エネルギーについての理解を得る
9) デザイン ^{a)} ：技術で遊ぶ ^{b)} 児童は、与えられた問題を解決するおもちゃをデザインし、開発して、構成することにより、2次元(2D)・3次元(3D)の視覚化プロセスとメディアを調査する
10) 技術システム ^{a)} ：機械的仕組みを持つおもちゃの製作 ^{b)} 児童は、2 つの機械装置（流体と四節リンク機構）を調査し、運動するために、両方の機構を使用するおもちゃをデザインする

註：a) 主題 b) 副題

セクション 1 は、ユニットを学習する上で、教師が授業実施する際に必要な前提知識、スキル等、学習到達目標で構成されている。セクション 2 は、具体的な指導計画が示されているほか、保護者への理解と協力をもとめた文書なども掲載されている。セクション 3 は、児童の理解力向上を図るために、学習シートやトランスペアレ

ンスシートなどが掲載されている。

この他、各学習ユニットには、「プレ・ポストテスト」と「オーセンティックテスト」の2つのテストも用意されている。3つの学習ユニット間の出題形式や問題数は、ほぼ同一となっている。プレ・ポストテストは、全15問から構成されている。解答は、4つの選択肢から正答を選ぶ形式である。オーセンティックテストは、身近な日常生活に関わるテーマが与えられ、そのテーマの文脈に沿ったパフォーマンス課題がいくつか用意されている。いずれの設問も記述式となっており、最後の設問は、デザインを方眼紙に描くという共通した設問となっている。I3学習ユニットでは、「発明者や技術ジャーナル」、「エンジニアリング・デザインプロセスカード」などを用いて、オーセンティック評価の1手法である、「ジャーナリング」を重視する。熊野¹⁷⁾によれば、ジャーナリングとは、学習者が、自らの言葉によって身の回りの現象や技術製品等に対する、疑問と思考を書き示したものである。一定時間ごとに反復し、1つの考えがどのように変化したか、1つのカードに複数示される。継続して集めたジャーナルカードを、一定の期間ごとにまとめ直すことができる。同一や別の学習ユニットの途中においても、ジャーナルカードに立ち戻り、より学習者の思考プロセスに密着した学習に繋がる。

表 7.2 Inquiry, 発明 (Invention), 技術イノベーション (Innovation) の目次構成

	Inquiry	Invention	Innovation
セクション1： 学習ユニットの導入	(1)授業者に必要な前提知識・技能、学習到達目標等 (2)技術・科学のスタンダード及びベンチマーク (3)数学、言語アーツとの内容接続 (4)鍵語 (5)学習資源	(1)授業者に必要な前提知識・技能、学習到達目標等 (2)技術・科学のスタンダード及びベンチマーク (3)数学、言語アーツとの内容接続 (4)鍵語 (5)学習資源	(1)授業者に必要な前提知識・技能、学習到達目標等 (2)技術・科学のスタンダード及びベンチマーク (3)数学、言語アーツとの内容接続 (4)鍵語 (5)学習資源
セクション2： 学習ユニットの実践	(1)準備 (2)道具及び材料 (3)学習ユニットの実践 (4)学習ユニットの拡張 (5)学習ユニットの評価 (6)保護者へのメッセージ (7)Inquiry の事例 (8)トランスペアレンシー・マスター (TP)・マスター	(1)準備 (2)道具及び材料 (3)学習ユニットの実践 (4)学習ユニットの拡張 (5)学習ユニットの評価 (6)トランスペアレンシー・マスター (7)保護者へのメッセージ (8)発明者のジャーナル・ガイドライン	(1)準備 (2)道具及び材料 (3)学習ユニットの実践 (4)学習ユニットの拡張 (5)学習ユニットの評価 (6)保護者へのメッセージ (7)技術イノベーションの実例 (8)エンジニアリング・デザインプロセス・カード (9)トランスペアレンシー・マスター
セクション3： 児童の教材	(1)技術ジャーナル (2)技術アセスメント (3)通学カバンの評価 (4)究極の通学カバン (児童デザインの概要) (5)児童ワークシート (エンジニアリング・デザインプロセス) ・挑戦課題の明確化と理解 ・アイディアの探索 ・計画立案と練り上げ ・試験と評価 ・解決法の提案	(1)家庭の発明 (2)発明者のスポットライト (3)発明改革運動ニュース (児童デザインの概要) (4)児童ワークシート (エンジニアリング・デザインプロセス) ・挑戦課題の明確化と理解 ・アイディアの探索 ・計画立案と練り上げ ・試験と評価 ・解決法の提案	(1)技術イノベーションとは (2)過去からの技術イノベーション (3)エンジニアリング・デザインプロセスノート (4)学習ユニットへの記入 (5)人体測定法の操作 どれくらい大きいと思いますか？ (6)人体測定法要約 (7)人体測定法 (児童デザインの概要) (8)児童ワークシート (エンジニアリング・デザインプロセス) ・挑戦課題の明確化と理解 ・アイディア調査 ・計画立案と練り上げ ・試験と評価 ・解決法の提案

7.4 Inquiry 学習ユニットと目次構成

Inquiry 学習ユニットの指導計画は、4つのトピックから構成されている。Inquiry 学習ユニットの指導計画を、表 7.3 に示す。

表 7.3 に示すように、トピック 1 は、校内外散策の授業となっており、グループで散策し、技術に該当する製品 (技術機器等) を探してくるという授業である。

トピック 2 は、何れが技術で、何れが技術でないかについて、考える授業である。トピック 2 は、授業時間の確保が可能な場合に行うという位置付けとなっている。

トピック 3 は、通学カバンをデザインするための技術評価を行う。トピック 3 は、技術評価のプロセスに沿う

形で授業が構成されており、更に細かく4つのステップに分かれて授業が構成されている。

表 7.3 Inquiry 学習ユニットの指導計画

トピック	時数	児童の学習活動		教師の支援及び指導上の留意点
学校内外の散策による 技術の探索	1～2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 児童は、「技術とは何か」を考え、発表する。 2. 学校周辺の技術の探索のための散策について、注意点を聞く。 ○2～3人を1グループとする ○記録者を決める。 ○技術の例を、4～5つ探す。 3. 技術の探索のために散策に行く。 4. 技術の探索のための散策後、探し出した技術について、なぜそれが技術と思ったのかを含め、発表する。 5. グループごとに、探してきた技術を黒板に貼られた模造紙2枚に書くことを3回尋ねる。 6. 模造紙にまとめられた技術から1つを選び、なぜそれが開発されたのかをまとめる。 		<ul style="list-style-type: none"> ・質問が難しい様子であれば、助言をする。 ・事前に学校周辺、学校内の下調べを丁寧に行っておく。 ・児童の実態で「何が技術か」が難しい状況の場合は、具体例を出し、理解を促す。 ・ペンや時計などの日用品に目を向けさせ、重要性を理解させる。
技術機器の調査 ^{a)}	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 教卓に置かれた物の中から、どれが技術で、どれが技術でないか考える。 2. 考えた理由を発表する。 3. 技術が、自分たちの生活をどのように支えているかを考え、発表する。 4. 毎日使用している技術について3つ取り上げ、35ページのワークシートに記入する。 5. 「私たちの周囲の技術」掲示板に、技術機器名を記入する。 		<ul style="list-style-type: none"> ・教育環境等の実態に応じて、教室や家庭にある実物を用意する。その際、あえて疑わしい物を混ぜ、電子機器やコンピュータのみが技術ではなく、身の回りにあるすべてのものが技術であることに気付かせる。 ・選んだ技術について、利点と欠点も書かせる。
技術評価のプロセス	7～8	通学カバン の目的や 意図の明確な理解	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本やペン、お弁当などを運ぶ際の技術について考え、発表する。 2. 通学カバンやリュックサックの使用目的を考え、発表する。 3. 通学カバンやリュックサックの中には、事故防止を意識した工夫がされていることを知る。 4. 37ページの通学カバン評価シートを記入する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレインストーミングさせる。 ・カバンがない場合に起こる、自分たちの体への負担を考えさせる。 ・具体的な機能を例示する。
		通学カバン の機能と制約条件を考慮に 入れた技術評価規準の作成	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製品をデザインする場合に、考慮しなければならない事項についてまとめられた、「技術評価規準」の役割の説明を聞く。 2. 自分が通学カバンを買う時に、何を考慮して買ったかを発表する。 ○児童が答えた内容を板書する。 ○児童の回答から、カバンの機能に関わる重要な技術評価規準と、重要でない判断基準を明確にする。 3. 自分の通学カバンを調査し、どの特性が自分の使用する通学カバンにとって重要であるかを確認する。 4. 38ページ「通学カバン評価シート、ステップ2」（通学カバンで持ち運びしたいもののリスト作成と、安全性と事故防止策の特徴）を書く。 5. クラスで話し合っ、技術評価規準に入れるべき項目について、黒板にまとめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・児童と教師が求める必要性は、異なることを助言し、学習者自身が使用する視点で考えさせる。加えて、現在持っているカバンは、必ずしも技術評価規準を全て適合していないこともあることを伝える。
		質問リスト の作成と回答	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術評価規準に基づく、技術評価の重要性について、説明を聞く。 2. 新しい自転車を買う時に何を考慮して買うか、また、どんなトレード・オフが行われたかを考え、発表する。 3. 作成した技術評価規準を使って、通学カバンを評価するための判断基準を作成する。 4. 以前に作成の判断基準項目が並んだ模造紙を見て、質問を考える。 5. ワークシートの「通学カバン評価シート」で、優先の上位5位までの技術評価規準と判断基準の質問項目と回答の各々について、記入する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・39ページ「通学カバン評価シート」を参照させる。
		結論の評価と 報告書作成	<ol style="list-style-type: none"> 1. トレード・オフ及び製品選択決定について、論議する。 2. 自分自身の通学カバンを調査して、5つ以上の評価規準と判断基準を考える。 	

註：a) 授業時間の確保が可能な場合の小題材

表7.3 (続き) Inquiry学習ユニットの指導計画

技術評価のプロセス	7～8	結論の評価と報告書作成	3. 自分自身の通学カバンについて、保護者が別のカバンを買った可能性について、考える。 4. トレード・オフが、自分自身の通学カバン選びにどう影響したかを理解する。 5. 40ページ「通学カバン評価シート、ステップ4」(色、品質のトレード・オフ)を記入する。	・児童の学習実態に応じて、活動を促進するために、他の児童のカバンと比較しながら、考えさせる。 ・具体的な例を示す。
究極の通学カバン	—		1. エンジニアリング・デザインプロセスについて、確認する。 2. 2～3人のグループをつくる。 3. 42ページの「究極の通学カバン」の範読を、テキストを見ながら聞く。 4. 究極の通学カバン作成に関わる技術評価基準と、判断基準を再度確認する。 5. 児童自身の通学カバンの評価に反映する、究極の通学カバンをデザインする。 6. 各グループにおいて、通学カバンに必要な条件に適合するデザインを再度考え、その中から1つを選ぶ。	・9ページ「エンジニアリング・デザインプロセス・レビューシート」の資料を使う。

7.5 Invention 学習ユニットの指導計画

Invention 学習ユニットの指導計画は、5つのトピックから構成されている。Invention 学習ユニットの指導計画を、表7.4に示す。

表7.4 Invention学習ユニットの指導計画

トピック	時数	児童の学習内容		教師の支援及び指導の留意点
ジャンク・ボックス発明	1	1. 1つのグループに、2～4つの児童用机を用意する。 2. 各グループ内で、好きではない家事の手伝い、または、難しい家事の手伝いを5つ挙げる。 3. ジャンク(紙タオルロール、糸巻、糸、ねじ、ナット、ボルト等)が入った箱を、先生からもらう。 4. ジャンクの内容を確認したのち、先ほどのリストを確認し、ジャンク品から思いつく仕事をリストに書き足す。 5. ジャンク箱の中のものを使い、30分間で選んだ仕事が楽しくなったり、簡単になったりする発明を1つ考え作る。 6. グループの発明をプレゼンテーションする。 ○発明品の機能を説明する。 ○商品化された場合のことも含めて、説明する。		・完成度が高い製作品は、後日の学習で製作することを伝える。 ・発明品は、アイディアを描いたものでもよい。
発明の歴史	2	発明歴史年表の作成	1. 「フェーム(名誉)の壁の発明者:過去と現在」の掲示板の「現在」側に、発明した品物の写真を貼る。 2. 資料から学習する内容は、「過去」側に貼ることを理解する。 3. 与えられた発明品の歴史リストを活用し、個別に分担して、画用紙に発明項目を作成する。 4. 最後に、画用紙へ発明の日付を入れる。 5. リストに挙げた発明品が、私たちの生活にもたらした技術の光の影響と、技術の影の影響について、話し合う。 6. 他に、自分たち自身でインターネットや百科事典を調べ、リストを追加する。	・「フェーム(名誉)の壁」とは、発明者の名前をスタジオの壁面に掲示して称えることに由来する(筆者注釈)。
		発明者の研究	1. 発明者のリストから、1人選ぶ。 2. 本や百科事典、インターネットを利用し、34ページにある「発明者スポットライト」のワークシートをまとめる。 3. ワークシートをまとめた後、発明者の特性や発明者として必要な人格についてまとめ、理解する。 4. ワークシートを1枚の模造紙にまとめる。	・I ³ のウェブサイトを紹介する。

教室発明博物館	1		<ol style="list-style-type: none"> 33ページにある家庭の発明品リストから1つ選ぶ。 選んだものについてまとめる。 ○なぜ発明されたか。 ○発明された時、どのような影響を与えたか。 ○発明品の機能。 ○十分な機能を発揮しているか。 グループ内で、調べたことを発表する。 クラス全体に発表する。 「なぜ私たちは、ものを発明するのか」を考える。 「なぜ私たちは、ものを発明するのか」の掲示板に、この学習で学んだことを書く。 	<ul style="list-style-type: none"> 技術の光と影の影響について、十分に話し合い、記録するように伝える。 発明の重要性について、児童の理解を促す。 授業参観等で来訪者に展示することは、有効である。
発明プロセス	1		<ol style="list-style-type: none"> ジャンク品から発明した時の工程を振り返る。 35ページの資料「発明改革運動ニュース・パンフレット」を読む。 課題達成のためのステップについて確認する。 28ページのエンジニアリング・デザインプロセスを見ながら、アイデアを発明に練り上げる方法を確認する。 29ページを見ながら、6つの項目は、発明者のどのような特性かを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 児童の回答を板書する。 TPを使いながら説明する。 TPを使いながら説明する。
装置の発明	1	挑戦課題の明確化と理解	<ol style="list-style-type: none"> 「仮想の散歩」によって、自分のまわりの世界を調査する。 <ol style="list-style-type: none"> 目をつぶり、5～6年前に戻ったつもりで、家の前に立った情景を思い浮かべる。 家の玄関に立って、ドアを簡単に開けられるか思い出す。 頭の中でキッチンやバスルーム、寝室などを通ってみる。 5～6年前に戻った時、困難なことは何で、どうすれば簡単に出来たかを考える。 頭の中で思い描いた、5～6年前の自分が行うのに難しかった家事を、6～8つ書く。 書いた内容を、グループ内で共有する。 各自が書いた中から、幼い子どもを支援するための装置を、グループの中で4つ選ぶ。 選んだ4つが、本当に幼い子供にとって必要性のあるものかを議論する。 	
		アイデアの探究	<ol style="list-style-type: none"> 発明に対して、何を考慮しなければならないかを考える 重量や高さ、コストなど、発明全体にわたって必要と思うことを、3つ記述する。 議論するアイデアのうち2つを選び、解決法を記述させる 最終的に1つに絞る 	<ul style="list-style-type: none"> 装置や材料、大きさなどについて議論させる。 滑車、てこなどの試験をし、アイデアの支援をする。
		計画立案と練り上げ	<ol style="list-style-type: none"> 発明者ジャーナルの中で、児童自身の発明の必要条件（機能・構造）と制約条件を書く デザインが必要条件に適合するか確認させ、必要に応じて修正する アイデアを描く 材料のリストを作成する 製品作成のステップを作成する グループ・デザイン・ポートフォリオの必要条件を調査し、グループ内の役割を決める 	
		試験と評価	<ol style="list-style-type: none"> 「試験し、評価して、修正する」という概念について、確認する。 試験の全過程におけるすべての事象について、ノートに書き留める。 試験結果によって、デザインに修正を加える。 	<ul style="list-style-type: none"> 発明において、最良の選択をする支援となることを強調する。 児童にいくつか質問し、デザインについての理解度を確認する。

		解決法の提案	1. 「The Kid's Better Living Show.」について記述させる。 2. ショーの準備として、以下のことをする。 ・体育館での行動を、子どもたちの家に見立てる ・玄関やキッチン、バスルームなどをテープで仕切り、見立てる ・机などで、発明品を使用できる場所をつくる ・ガジェット（道具）からアイディア製品に変化させた過程を全て文書化し、説明できるようにする ・チラシを作成し、保護者や地域の人に配付する ・地方の新聞社をショーに招待する ・低学年の児童をショーに招待する ・ポートフォリオに記載された技術評価の観点を、エンジニアリング・デザインプロセスに基づき、文書化する ・発明を説明する説明役の役割を決める	・ジャーナル及び発明品を準備し、どのようにプレゼンテーションするか明確にさせておく。
--	--	--------	---	--

トピック1は、家事を簡単にする発明を、家にある材料で考える授業である。トピック2は、発明の年表作成を行う授業である。トピック3は、家庭で発明された製品を持ち寄り、私たち人間は、なぜ、「もの」を発明するのかについて、話し合う授業である。トピック4は、エンジニアリング・デザインプロセスを基に、製品が発明される手順を学ぶ。トピック5は、エンジニアリング・デザインプロセスに従って、発明品を作成する。このトピック5が、Invention 学習ユニットの中核となるため、エンジニアリング・デザインプロセスに従って、さらに細かく5つのステップで学習が構成されている。なお、トピック5は、テキスト上1時間扱いの授業となっていた。しかし、内容を検討すると、数時間を要すると考えられる。

7.6 Innovation 学習ユニットの指導計画

Innovation 学習ユニットの指導計画は、5つのトピックから構成されている。Innovation 学習ユニットの指導計画を、表7.5に示す。

表7.5 Innovation 学習ユニットの指導計画

トピック	時数	児童の学習内容	教師の支援及び指導の留意点
技術イノベーションの理解	2～3	1. 「技術イノベーション」とは 1) 教科書31～32ページを読み、自分なりに、「発見」「偶然による発見（セレンディピティ）」「発明」「技術イノベーション」の言葉の意味を考える。 2) クラス全体で、33ページ「技術イノベーションとは何？」ワークシートに取り組み、発表する。 3) クラス全体で、各単語が示す事柄が、社会に与える影響を考える。 2. 「技術イノベーション」が何かをシートにまとめる。 3. 技術イノベーションの歴史 1) 技術イノベーションの変遷例を見る。 2) 技術イノベーションに関する35ページの学習シートをまとめる。	・26～27ページのTPを資料として提示する。 ・13ページのウェブサイトを資料として提示する。
人体計測の技術イノベーションデザイン	2	1. 人体測定法について、用語を学習する 2. 技術イノベーション及びエンジニアリング・デザインプロセスに関する補足説明を聞き、6ページを参考にしながら36ページを記入する。 3. 42～49ページの学習シートについて調査活動を行う。 ・2～3人の児童からなるグループを作り、全グループが同じ得点の持ち点を受け取る。 ・デザインパッケージは、一度に1ページずつ完成させる。 ・どのデザインパッケージであっても、同じスコアが与えられる。 4. 41ページの「人体測定の技術イノベーション採点基準法」を記入する。	・28ページを資料として提示する。 ・25ページを資料として提示する。 ※調査活動が複数の日程で行われる場合であっても、忘れ物を防ぐために学習シートを家に持ち帰らせない。 ※児童の経験に基づき、方眼紙を与えて、自分なりのエンジニアリング・ジャーナルをデザインさせてもよい。

人体計測学による測定	1～2	1. 人体測定学(anthropometry)に関連する用語を確認する。 2. 38ページにある人体測定学ワークシートを、2人組になって完成させる。 3. 評価の概念についての説明を聞き、「評価者」となって39ページと40ページに示された活動を行い、発表する。 4. 自分の頭、鼻、腕、脚、足など、身体各部のサイズを測定し、人によってサイズがことなることを実感する。また、各部について、クラス平均サイズをグラフ化する。	・26ページのTPを資料として提示する。
測定及び評価	1～2	1. 長さ、重量、高さ、距離など、日常生活における測定概念の重要性について考える。 2. 分数を用いて、測定方法の実証を行う。 3. 37ページの学習シートを記入する。	※「測定及び評価」「手工プロダクト」については、人体測定学のデザイン packets を通して、児童にプレゼンテーションをさせる。
手工プロダクト	3～5	1. 児童にエンジニアリング・デザインプロセスに従って、新しい「手工プロダクト」を考える。 2. 「人体測定の技術イノベーション採点基準法」を使用し、手工製品を評価する。	

トピック1は、用語の概念の理解を中心に、技術イノベーションの変遷例など技術イノベーションの概念を学ぶ授業である。トピック2は、人体測定法による技術イノベーションのデザインを学習するため、エンジニアリング・デザインプロセスに沿う形で作成された8枚の学習シートを使用し、調査活動を行っている。トピック3は、実際に児童の身体各部のサイズを測定し、正確な測定の重要性を学習している。トピック4は、学習シートを活用しながら、分数を用いて、測定の実証を行い、正確に測定する重要性について学習する。トピック5は、エンジニアリング・デザインプロセスに従って、新しい手工品の開発と評価をする。

トピック3に見られるように、測定概念の学習では、分数が用いられ、正確な測定を求めるなど、小学校算数科との関連を図った内容である。

7.7 おわりに

本稿では、ITEEA とカリフォルニア・ペンシルベニア大学が全米科学財団の一部資金提供を受けて共同開発し、2006年にITEEAが公開した第5、6学年児童の技術リテラシー育成とSTEM教育推進のためのI³学習ユニットのうち、特に、「Inquiry」、「発明(Invention)」、「技術イノベーション(Innovation)」の構成原理、学習の鍵概念と鍵プロセスを検討した。検討の結果、I³学習ユニットの構成原理は、Wiggins and MacTighe の『Understanding by Design』¹¹⁾の「重大な観念(big idea)」と、「鍵プロセス(I³ではエンジニアリング・デザインプロセス)」を基盤に開発していることを確認した。前述の3つの学習ユニットの重大な観念と鍵プロセスでは、ITEEAの技術内容スタンダード⁸⁾の特に1～3「技術の本質」、4～7「技術と社会」、8～10「デザイン」、11～13「技術社会で必要な能力」の第3～第5学年のベンチマーク(学習到達目標基準表)の鍵概念と鍵プロセスを中核としていることを明らかにした。

さらに、3つの学習ユニットの導入では、ITEEAによる技術内容スタンダードと共に、科学のスタンダード及びベンチマーク、内容接続では、技術と、数学、言語アーツとの教科間の連携を明記し、STEMとSTEAM教育推進を図っていた。

I³学習ユニットの「Inquiry」は、科学(サイエンス)教科固有性の強い「Inquiry」と共に、実社会で活用できる汎用的(generic)な思考力・判断力・表現力を伴う問題発見・解決能力を包含していると考えられる。技術教科固有の文脈に依拠して、技術の本質的で重大な概念(big idea)と、「エンジニアリング・デザインプロセス」による主体的・協働的な深い学びであるアクティブラーニングとの両輪が相乗的に働き、I³学習ユニットの教育実践が展開される。

一方、我が国では、児童が言語を基に対象に関する概念を構成していくために、体験したことを内省しながら整理し、言葉で表現する言語活動の一層の充実が最重要課題の1つとなっている。特に、小学校中学年から高学年にかけての、体験と理論の往還による概念や方法・プロセスの獲得、プラクティスやアーギュメント等の活動の重視と、指導上の工夫が有効とされている¹⁶⁾。STEM関連の科学と技術用語や概念、科学と技術プロセスを用いた言語活動が重要である。しかし、我が国の小学校段階では、「技術とは？」の本質的な問いと永続的な理解に迫るテクノロジー概念やテクノロジープロセスの学習は、学習指導要領に明確に位置付けられていない。

現代社会は、他者と協働しながら、「正解のない問題」に対応する力、技術イノベーションによる新たな価値の創造と、技術ガバナンスによるイノベーションの舵取りが求められている。日本産業技術教育学会の「21世紀の技術教育（改訂）」¹⁷⁾、同学会提案と、文部科学省研究開発学校の実践成果に基づく、磯部・山崎¹⁸⁾の技術概念と技術学習プロセスにより、小学校段階から長期的に指導し、オーセンティックな日常生活に繋がった学習場面とパフォーマンス評価をすることを、現代社会は要請している。

我が国では、協働によるクリティカルシンキングと、社会を支える主権者として万人に必要なリサーチリテラシー力の育成を一層充実させる必要性が叫ばれている。児童の技術（テクノロジー）用語や技術概念を用いた言語活動による、「技術イノベーション」と「技術ガバナンス」力の育成が喫緊の課題である。諸外国では、近年、小・中・高校を一貫した技術・情報教科課程の導入が進む中、我が国の技術・情報教科の今日の実施形態は、極めて異例といえる。本小論が、日本の小・中・高校を一貫した技術・情報教科課程の構築の一助になることを期待し、本稿の結びとする。

【文献】（URLは全て2015年12月31日に最終確認）

- 1) International Technology and Engineering Educators Association: I³ Project: Invention-Innovation-Inquiry Units for Technological Literacy, Grades 5–6, <http://www.iteea.org/i3/index.htm>
- 2) NGSS Lead States : Next Generation Science Standards For States, By States, Volume 1, The Standards, the National Academies Press (2013a)
- 3) NGSS Lead States : Next Generation Science Standards For States, By States, Volume 2, Appendixes, the National Academies Press (2013b)
- 4) <http://www.iteea.org/EbD/CATTS/catts.htm>
- 5) The National Council of Teachers of Mathematics : Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics, Reston, VA, Author (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)
- 6) American Association for the Advancement of Science (AAAS) : A Project 2061 Report on Literacy Goals in Science, Mathematics and Technology, USA: Oxford University Press (1989)
- 7) ITEA (International Technology Education Association) : Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology, Author (2000), 国際技術教育学会著・宮川秀俊・桜井 宏・都築千絵編訳(2002) 『国際競争力を高めるアメリカの教育戦略 技術教育からの改革』, 教育開発研究所, 302p.
- 8) <http://www.iteea.org/EbD/ebd.htm>
- 9) <http://www.iteea.org/EbD/Resources/GrandChallengesMatrix.pdf>
- 10) <http://www.iteea.org/i3/files/Unit%20Development%20and%20Evaluation%20Process.pdf>
- 11) Wiggins G. and McTighe J. : Understanding by Design, Pearson Education, Inc., (2006), 西岡加名恵訳 : 『理解をもたらすカリキュラム設計ー「逆向き設計」の理論と方法』, 日本標準 (2012)
- 12) 中央教育審議会 : 育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会ー論点整理ー【主なポイント】(平成26年3月31日取りまとめ) (2014a) http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2014/06/03/1346335_01_1.pdf
- 13) 中央教育審議会 : 育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会ー論点整理ー(平成26年3月31日) (2014b) http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2014/07/22/1346335_02.pdf
- 14) <http://www.iteea.org/i3/files/Unit%20Descriptions.pdf>
- 15) 熊野善介 : オーセンティック評価, pp.111-112, 辰野千壽・石田恒好・北尾倫彦 (監修) : 『教育評価事典』, 図書文化 (2006)
- 16) 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 (2011)
- 17) 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, 第54巻第4号別冊, pp.1-9 (2012) <http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
- 18) 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://repository.lib.juen.ac.jp/dspace/bitstream/10513/2129/1/kiyo32-31.pdf>

(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 3 年次（最終年次）研究成果報告書

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
2016(平成 28)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 永田印刷株式会社
