

STEAM教育と連携したCOVID-19ワクチン開発の 技術ガバナンスレビュー学習

山 崎 恭 平*・山 崎 貞 登**

(令和3年1月19日受付；令和3年4月8日受理)

要 旨

本研究の目的は、中学校技術・家庭科技術分野(以下、技術科)において、初等中等教育段階における日本発STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)関連教科を連携させて、海外のCOVID-19のワクチン技術開発をテーマにした技術ガバナンスレビュー学習の教材化を検討することであった。既にワクチン接種などの医療技術を技術教育内容として提案している、ITEA(2000)の幼稚園から第12学年を対象とした技術リテラシーの内容標準(STL)の中で、「STL-14医療技術」のベンチマーク(学習到達目標)を検討した。ワクチン技術開発は、幼稚園から2学年の段階でベンチマークとして設定されていた。ワクチンや薬のデザイン(設計)は、デザイン(設計)プロセスと、どのように関連しているか、ワクチンと薬は、技術ツールやシステムと、どのように関係づけられているかについての理解を深める学習が行われていた。COVID-19ワクチン技術開発のモダリティ(様式)の優位性(利便性)とリスクに着目して、日本発STEAM教育の観点から、技術科におけるワクチン技術開発やワクチン接種を教材とした技術ガバナンスレビュー学習の導入を提案した。

KEY WORDS

STEAM教育(STEAM education), COVID-19, ワクチン開発(Vaccine development), 技術ガバナンスレビュー学習(Technological governance review study), 技術教育(Technology education)

1 はじめに

本研究の目的は、中学校技術・家庭科技術分野(以下、技術科)において、初等中等教育段階における日本発STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)関連教科を連携させて、海外のCOVID-19のワクチン技術開発をテーマにした技術ガバナンスレビュー学習の教材化について検討することである。本稿の技術は、テクノロジーを意味し、「技法・技量・技巧等(テクニク)」、「技能(スキル)」と区別する。

日本発STEAM教育⁽¹⁾とは、各教科等の相互の関係性やSDGsに必要な通教科的・汎用的能力、「ティンカリング(試行錯誤)」⁽²⁾といった五感を駆使する「デザイン(設計)プロセス(思考)」などの発想・創造、論理的思考能力を働かせながら、身近な生活と実社会で生じている問題を課題化して解決することで学びの必然性を実感し、「人間力」を基盤とし、「学(サイエンス)」のあるものの探究と、「術(アーツ)」のあるべきものの探求との融合を図る最適解を追求し、学校内外の学びの場の空間軸と、生涯にわたる学びとキャリア発達の時間軸を基軸としながら、学び続ける教育をいう。design(ITEEA, 2020: 152)⁽³⁾は、「デザイン(設計)」と邦訳する。本稿における「デザイン(設計)」、「デザイン(設計)プロセス」の概念は、ITEEA(2020)⁽³⁾のSTELの用語集に従う(表1)。日本語のデザインの意味と、異なっていることに留意したい⁽⁴⁾。

アーツとは、技術やリベラルアーツと共に、美術、音楽芸術、身体芸術、ランゲージアーツ等を含む。デザイン(設計)プロセスとは、問題または必要性に対する可能な解決策を開発するために、可能な解決策の一つの最終的な選択肢に絞り込むために定義された価値規準と制約の使用に依存するための、体系的な問題解決方略である(同: 152)⁽³⁾。

技術ガバナンスレビュー学習とは、谷田ら⁽⁵⁾と川路ら⁽⁶⁾を援用し、既に普及している既存の技術が開発・創造された過去に遡り、技術が評価、選択等される「技術ガバナンス」から、新たな技術を構想・創造する「技術イノベーション」へと至る経緯を検討する学習をいう。

表1 STELの「デザイン(設計)」、「デザイン(設計)プロセス」、「エンジニアリングデザイン(設計)」の概念規定
[出典: ITEEA (2020) ⁽³⁾]

デザイン(設計) (ITEEA, 2020: 152)

人間の必要性, 欲求を満たしたり, 問題解決したりするために, 資源を製品またはシステムに変換する計画を作成する, 反復的な意思決定プロセス

デザイン(設計)プロセス (ITEEA, 2020: 152)

問題または必要性に対する可能な解決策を開発するために, 可能な解決策の一つの最終的な選択肢に絞り込むために定義された価値基準と制約の使用に依存するための, 体系的な問題解決方略

エンジニアリングデザイン(設計) (ITEEA, 2020: 153)

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(設計), 製造, 運用などの実用的な目的への, 科学的及び数学的原理の体系的かつ創造的な活用

技術デザイン(設計) (ITEEA, 2020: 161)

製品やプロセスを開発したり, 問題を解決したりするためのデザイン(設計)プロセス, 特にエンジニアリングデザイン(設計)の活用。技術デザイン(設計)は, エンジニアリングデザイン(設計)を含む広い用語であるが, 工業デザイン(設計), グラフィックデザイン(設計), ユーザーエクスペリエンスデザイン(設計, ユーザー中心の設計), 建築デザイン(設計)及び, その他のデザイン(設計)分野を包含する場合がある

本稿では, 研究の目的を達成するために, 三つの研究課題(リサーチクエスション)を設定する。

研究課題1は, 既にワクチン接種などの医療技術を技術教育内容として提案している, International Technology Education Association(国際技術教育学会, 以下, ITEA) (2000) ⁽⁷⁾の幼稚園から第12学年のための技術リテラシーの内容標準(Standards for Technological Literacy, 以下, STL)の「STL-14医療技術」の「幼稚園から第2学年」, 「第3学年から第5学年」, 「第6学年から第8学年」, 「第9学年から第12学年」のベンチマーク(学習到達目標)を検討し, なぜワクチン技術開発やワクチン接種をSTLに導入しているのか, 目標や内容の具体について考究することである。

研究課題2は, 我が国の教育課程の基準である, 小学校学習指導要領(平成29年告示), 中学校学習指導要領(平成29年告示), 高等学校学習指導要領(平成30年告示)における各教科(高校は共通教科)と「総合的な学習(高校は探究)の時間」で, ヒト病原性ウイルスワクチン技術開発の評価, 選択, 管理, 運用と, 新たな発想に基づく技術イノベーションに関して, どのように扱われているのかを調査し, STLの取り扱いとを比較考察し, 両者の類似性と差異性を検討することである。

研究課題3は, 日本発STEAM教育の観点から, 我が国の中学校技術科において, COVID-19のワクチン技術開発を事例とし, ワクチン技術開発やワクチン接種を教材として, 技術ガバナンスレビュー学習の導入の可能性を検討することである。世界中の人たちが, 英知と技術開発により, COVID-19との闘いに打ち克つことを願っている一方で, ウイルスや細菌などの病原微生物, 感染性タンパク粒子などによる感染症は, 広く生物界で存在しており, 人類は, 誕生以来, 感染症と闘いながら歴史を刻んできた。人類と感染症との闘いは, これからも続くことは, 論を俟たない。病原ハザード(危険原因)について概念的知識の科学的な理解を深めると共に, デザイン(設計)プロセス ⁽⁷⁾に基づく技術開発による感染症対策は, すべての万人に求められる共通素養(リテラシー)である。

2 ITEA(2000)の「STL-14医療技術」のベンチマーク

ITEAの前身は, 1939年に創立されたAmerican Industrial Arts Association(米国インダストリアルアーツ学会)である ⁽⁸⁾。第一次STEM教育(山崎, 2020a ⁽⁹⁾; 山崎, 2020b ⁽¹⁰⁾)によるカリキュラム改革の影響を受けて, 1984年にInternational Technology Education Associationと組織改名し, ITEAは, 2010年3月から, ITEEAに組織名称を変更した。変更した理由は, STEM教育の一層の充実には, 技術・エンジニアリング教育としての相互連携が必要であるためである ⁽¹⁾。以上の理由に基づき, STLは, 2020年7月に公表した「技術・エンジニアングリテラシーのための標準—STEM教育の技術・エンジニアリングの役割(Standards for Technological and Engineering Literacy, 以下STEL)」 ⁽³⁾の名称となった。

山崎ら ⁽¹¹⁾は, STELの基本構造として, 「技術・エンジニアリングの中核となる学術領域(Core Disciplinary Standards, 以下, コア)」, 「技術・エンジニアリングのプラクティシズ(Technology and Engineering Practices, 以下, プラクティシズ)」, 「技術・エンジニアリングのコンテクスト[Technology and Engineering Contexts (TEC), 以下, コンテクスト]」の三つが構成主体(オーガナイザー)であることを明らかにした。

ITEA(2000) ⁽⁷⁾のSTLでは, 計20のストランド(内容標準のスコープ)と, 計288のベンチマークを示し, ストランド

の14番目に「STL-14医療技術」が含まれていた。一方、STELでは、TEC-7として、「医療技術」が示された。しかし、STELのベンチマークは、計144と大幅に厳選されて、コアの8スコープしか示さず、プラクティシズとコンテクストでは、ベンチマークは示さなかった(p.iv)⁽³⁾。これは、技術・エンジニアリングの専門家や、STEMコミュニティの他のメンバーからの意見と、「パワー」標準と呼ばれる可能性のあるもの、すなわち、コア標準が適用される技術的およびエンジニアリング的なコンテクスト(文脈)を重視し、再考された永続的な観念と能力を定義する標準とベンチマークに焦点を当てたいという願望を反映している(p.iv)⁽³⁾。これは、技術及びエンジニアリング活動の極めて広い範囲を網羅しようとするアプローチを超えて、学習者がコア内容とプラクティシズを吸収して活用するのを支援しながら、地域の実態に応じた多様性を強調し、より現実的に可能にするアプローチに移行したいという願望を反映している(p.iv)⁽³⁾。以上から、本研究では、ITEA(2000)⁽⁷⁾の「STL-14医療技術」を検討することにした。

ITEEAの学会本部は、米国バージニア州レストンである。例年3月ないし4月に年次大会が開催され、米国内の会員等を中心に、国外から多数の会員等が参加する。ITEEAは、2000年代初頭に「国際STEMセンター」を設立し、米国のみならず、海外に計22の国・地域(2020年7月23日現在)に連携拠点を有し、世界最大の国際技術・エンジニアリング教育分野の学会である。STLの翻訳のために、少なくとも11か国以上から著作権許諾請求があったようで、名実共に世界各国の技術教育に極めて大きな影響を与えた。

「STL-14医療技術」のベンチマークを、表2に示す。STL-14の全体目標は、「学習者は、医療技術の理解を深め、それを選択し、利用できるようになるであろう」であった。本稿では、特に研究課題1と研究課題2の解明の観点から、特にワクチン技術開発に焦点化した考察を行う。

「幼稚園から第2学年」のベンチマークは、A.がワクチン接種である。同ベンチマークは、学習者が現実接種体験を通して、ある特定の病気の発症を防ぐことを学習するものであった。

「第3学年から第5学年」では、D.でワクチンは、病気が発症し広まるのを予防するためにデザイン(設計)されることを掲げていた。内容の取扱いとして、ワクチンや薬のデザイン(設計)が、デザイン(設計)プロセスにどのように関連しているかということや、ワクチンと薬が技術ツールとどのように関係づけられているかの理解を深めるために、地元薬局への訪問調査の利用を解説していた。学習者が教室に戻った後、授業者は、学習者に、種々のワクチンや薬の開発で使われた技術ツールを見付けることから始めて、ワクチンや薬の開発についてさらに探究するように指導することが解説されていた。インターネットや医療技術に関する書籍を参照した学習者は、情報を取り出し、情報を学習者同士で共有化する機会を与えるように解説されていた。人々に対して、多くのワクチンの効果を発揮させるためには、体内でどのような抗体がどのように働けばよいか、その働きを命令する物質を体内に送り込めばよいのか報告するように指導・支援する必要性を解説していた。研究課題2に関連して、社会調査を通したソーシャル・アーツ(社会)との連携を重視しているといえる。多くの学習者は、ワクチンのデザイン(設計)及び使用が、製品またはシステムのデザイン(設計)及び使用と酷似していることについて、言語活動を通して言及する重要性を解説してい

表2 ITEA(2000)の「STL-14医療技術」のベンチマーク[出典ITEA(2000): Standards for Technological Literacy -Content for the Study of Technology, Authors, 宮川英俊, 桜井宏(編著)(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]

幼稚園から第2学年	第3学年から第5学年	第6学年から第8学年	第9学年から第12学年
<p>A. ワクチン接種は、人々のある特定の病気の発症を防ぐ</p> <p>B. 薬は、病気の人々の回復を助ける</p> <p>C. 人々が自分自身の健康管理ができるように特別に作られた多くの製品がある</p>	<p>D. ワクチンは、病気の発症と拡大を予防のためにデザイン(設計)されて、薬は、症状の緩和と病気の進行を阻止するためにデザイン(設計)される</p> <p>E. 技術的な進歩は、新装置の創造、体の特定部分の治療や人工物の取り替え、移動のための提供を可能にした</p> <p>F. 多くの道具と装置は、健康に関する手がかりの提供に役立ち、安全な環境の提供のためにデザイン(設計)されてきた</p>	<p>G. 医療技術での進歩と改良は、医療を改善するために使われている</p> <p>H. 医療製品の処分で使われる消毒のプロセスは、病原体や病気から人々を守り、医学的安全性の倫理を形づくるのに役に立つ</p> <p>I. 免疫接種のために開発されたワクチンの利用には、十分な量のワクチンが製造される環境を支援する専門的技術が必要である</p> <p>J. 遺伝子工学には、新規な遺伝的性質を作り出すために、DNAの構造を組換えることも含む</p>	<p>K. 医療技術は、予防とリハビリテーション、ワクチンと薬、内科的処置と外科的処置、遺伝子工学、そして健康を守り維持するためのシステムを含んでいる</p> <p>L. 遠隔医療には、医学、遠距離通信、仮想的存在、コンピュータ工学、情報学、人工知能、ロボット工学、材料科学、そして知覚心理学を含む多くの分野における技術的進歩が反映されている</p> <p>M. 生化学と分子生物学の科学は、生物に見出された遺伝子情報を操作することを可能にした</p>

た。研究課題2に関連して、STEAM教育のイングリッシュ・ランゲージ・アーツ(言語)を重視していた。

3 COVID-19のワクチン開発

2020年12月末時点における、COVID-19ワクチン技術開発のモダリティ(様式)を、表3に示す。不活性化ウイルスは、インフルエンザワクチンに代表されるワクチン技術開発の様式である。組換えウイルス様粒子の様式で開発された子宮頸がんワクチンなどがある。表3の(g)mRNAや(h)DNA様式などは、実用化されて幅広く用いられている様式ではない。各ウイルスの様式により、社会の要求、安全性、経済性等の観点からの利便性とリスクがあり、比較考量(トレードオフ)が必要である。技術イノベーションと共に、技術ガバナンスレビュー学習の教材性は高いと考えられる。

表3 開発中のCOVID-19(a)ウイルスの(b)ワクチン技術開発のモダリティ(様式)

ワクチンの様式	特 徴
不活性化	ホルマリン、加熱処理などで感染性や病原性を消失した従来型(b)ワクチン。弱毒化(b)ワクチンに比べ副反応が少ないと考えられている一方で、(c)免疫が維持される期間は比較的短く、期間を空けて複数回接種しなければならない場合もある。(a)ウイルスそのものを使うため、弱毒化(b)ワクチンと同様に、限られた施設でないと扱えない点が開発の課題
(d)組換え(a)ウイルス (e)ベクター	無害な(a)ウイルス(アデノ(a)ウイルスやセンダイ(a)ウイルス)を新型コロナ(a)ウイルスの(e)遺伝子を運ぶ「運び屋(e)ベクター」として利用する手法。(a)ウイルスとともに体内に運ばれた(e)遺伝子からコロナ(a)ウイルスの(f)タンパク質が作られ、(c)免疫が獲得されることになる。実際の(a)ウイルス感染に近い状態を再現するので、効果は高いと期待されている。ただし、運び屋である(a)ウイルス自体が(c)免疫によって排除される懸念がある
(d)組換え	(a)ウイルスの構造の一部[(f)タンパク質]を培養細胞や酵母を使って生産し、その(f)タンパク質を注入する方法。弱毒化・不活化(b)ワクチンと比べて、(a)ウイルスそのものを投与しない分、副反応(b)ワクチンの接種に伴う、(c)免疫の付与以外の反応が起こりにくい。課題は、投与したときに(c)免疫がうまく機能する(f)タンパク質を見つけることができるかという点と、(b)ワクチンの効果を高める「アジュバント(増強剤)」という成分が必要になることがあるという点。投与する(f)タンパク質の種類によっては、(c)免疫システムがうまく働かない場合も考えられる
(d)組換え(a)ウイルス様粒子	酵母などに(a)ウイルスの「殻」となる(f)タンパク質だけを作らせ、(e)遺伝子をもたない(a)ウイルスを投与する手法。作り方や特徴は、(d)組換え(f)タンパク質(b)ワクチンに近い。実用化事例として、HPV(b)ワクチン(いわゆる子宮頸がん(b)ワクチン)などがある
(g) mRNA	(a)ウイルスの(g)mRNAを人に投与し、人体に(a)ウイルスの抗原ができる。ヒトの細胞内に入ると翻訳のステップに進むので発現効率は良いが、(h)RNAなので壊れやすいという欠点があり、移送や保管が大きな課題
(i) DNA	新型コロナ(a)ウイルスの(e)遺伝子を含む(i)DNAを直接投与し、体内で新型コロナ(a)ウイルスの(f)タンパク質を作らせることで免疫システムを活性化させる手法。(i)DNAを合成すること自体は比較的簡単なので、開発スピードやコスト面で極めて優れている。その反面、ヒトの体内で適量な(f)タンパク質を作れるか、また体内に(i)DNAが残存する影響が不安視されている。これまで各国で、数多くの(i)DNA(b)ワクチンの臨床試験が行われたが、承認されたものはない。その背景に、(c)免疫原性[(c)免疫応答を誘発させる能力]の低さの指摘がある。これを克服するために、(c)免疫効果を強化する「アジュバント(増強剤)」を添加して、(c)免疫効力を上げる手法が取り入れられている

【次のWeb pageを基に作成、https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/vaccine_00184.html;
<https://bio.nikkeibp.co.jp/atcl/report/16/082400016/072000119/>; <https://www.businessinsider.jp/post-223800> ;
<https://www.vispot.co.jp/新型コロナウイルスワクチンの進捗状況>
https://blog.goo.ne.jp/imssr_media_2015/e/9873c1e499243e3b6b4ef9786082d99d (2021年1月12日最終閲覧)】

表3の(a)から(i)は、表3を理解するための鍵語と考えている。そこで、小学校学習指導要領(平成29年告示)、中学校学習指導要領(平成29年告示)、高等学校学習指導要領(平成30年告示)の各教科(高校は共通教科)と、「総合的な学習(高校は探究)の時間」で、(a)から(i)の取り扱いの有無について調査した。さらに、(a)から(h)の各鍵語に対して、ITEA(2000)⁽⁷⁾のSTLは、どの教育段階で扱われているかを付記した。

「(a)ウイルス」と「(c)免疫」は、中学校学習指導要領解説保健体育編保健分野の内容「(7)健康の成り立ちと疾病の発生要因」の中で、「健康は、主体と環境を良好な状態に保つことにより成り立っていること、また、健康が阻害された状態の一つが疾病であることを理解できるようにする。また、疾病は、主体の要因と環境の要因とが相互に関わりながら発生することを理解できるようにする。その際、主体の要因には、年齢、性、免疫(下線は筆者付記、以下同様)、遺伝などの素因と、生後に獲得された運動、食事、休養及び睡眠を含む生活上の様々な習慣や行動などがあることを理解できるようにする。環境の要因には、温度、湿度や有害化学物質などの物理的・化学的環境、ウイルスや細菌などの生物学的環境及び人間関係や保健・医療機関などの社会的環境などがあることを理解できるようにする(p.210)。」で見られた⁽¹²⁾。しかし、ここでの扱いは、保健科学からの疾病要因であり、ワクチン技術開発や医療技術をはじめとした技術の文脈は、見出せなかった。また、「(f)感染症の予防⑦感染症の予防と④エイズ及び性感染症の予防(p.213)」⁽¹²⁾で、「免疫」の表記が2か所出現した⁽¹²⁾が、技術の文脈は、見出せなかった。他教科等では、何れの校種の教科等においても、出現しなかった。

一方、STLでは、「(a)ウイルス」は、「幼稚園から第2学年」から扱っていた(pp.182-183)⁽⁷⁾。「下線部(c)免疫」は、「第6学年から第8学年」で扱っていた(pp.188-189)⁽⁷⁾。

「下線部(b)ワクチン」は、高校教科理科目「科学と人間生活」「(2)人間生活の中の科学」の「(ウ)生命の科学⑦ヒトの生命現象 ヒトの生命現象に関する観察、実験などを行い、ヒトの生命現象を人間生活と関連付けて理解すること」で出現していた。「免疫については、抗体による生体防御の概要を理解させる。例えばワクチンによる免疫の仕組みについて、文献や情報通信ネットワークなどを活用して、科学的に考察させ、発表させることなどが考えられる(p.38)。」⁽¹³⁾と記述されていた。他の教科等では、何れの校種においても、出現しなかった。

一方、STLでは、「(b)ウイルス」は、「幼稚園から第2学年」から扱っていた(pp.182-183)⁽⁷⁾。

「(d)組換え」は、高等学校教科理科目「生物」「(イ)遺伝子の変化と進化の仕組み④遺伝子の組合せの変化」で、連鎖と組換えを扱うこと(p.131)の他、p.132、p.140、p.189で出現した⁽¹³⁾。「(e)(ベクター)」と共に、「⑦遺伝子を扱う技術について ここでは、遺伝子を扱う技術について、その原理と有用性を理解させることがねらいである。遺伝子を扱う技術については、例えば、制限酵素やベクターを用いた遺伝子組換え技術による医薬品の製造や、増殖技術であるPCR法を用いたDNA解析などについての資料を示し、その原理と有用性を理解させることなどが考えられる(p.140)。」⁽¹³⁾で見られた。

一方、STLでは、「(d)組換え」は、「第6学年から第8学年」で扱っていた(pp.188-189)⁽⁷⁾。

「(e)遺伝子」と、「(i)DNA」は、中学校理科第2分野内容「(5)生命の連続性(イ)遺伝の規則性と遺伝子⑦遺伝の規則性と遺伝子」において、「遺伝子の本体がDNAであること(p.102)」⁽¹⁴⁾で取り扱われていた。中学校の他教科等では、「(e)遺伝子」と、「(i)DNA」は、見出せなかった。

一方、STLでは、「(e)遺伝子」は、「第6学年から第8学年」で扱っていた(pp.188-189)⁽⁷⁾。STLでは、「(i)DNA」は、「第6学年から第8学年」で扱っていた(pp.188-189)⁽⁷⁾。

「(f)タンパク質」は、小学校家庭科内容「(3)栄養を考えた食事ア(7)体に必要な栄養素の種類と主な働き」で、五大栄養素の一つとして、たんぱく(カタカナ表記ではなく、ひらがな表記)質を扱っていた(p.44)⁽¹⁵⁾。高校教科理科目「生物基礎」では、「(1)ア(イ)④遺伝情報とタンパク(ひらがな表記ではなく、カタカナ表記)質の合成」で、扱われていた(pp.119-120)⁽¹³⁾。

一方、STLでは、「(f)たんぱく質」は、「第3学年から第5学年」で扱っていた(pp.183-185)⁽⁷⁾。

「(g)mRNA」、「(h)RNA」、「(i)DNA」は、高校教科理科目「生物基礎」内容「(1)生物の特徴(イ)遺伝子とその働き④遺伝情報とタンパク質の合成について」で、「転写と翻訳の概要については、DNAの塩基配列からmRNAの塩基配列へ転写され、mRNAの塩基配列からtRNAを介してアミノ酸配列へと翻訳されるという情報の流れを扱う(p.119)」⁽¹³⁾と明記されていた。STL⁽⁷⁾では、「(g)mRNA」、「(h)RNA」の用語は見当たらなかった。

4 技術ガバナンスレビュー学習の教材化の検討

本項では、STEAM関連教科が連携した中学校技術科における海外におけるCOVID-19のワクチン技術開発をテーマにした技術ガバナンスレビュー学習の教材化について検討する。海外におけるCOVID-19のワクチン技術開発の主

な状況(2020年12月24日現在)を、表4に示す。各製薬会社が、表3に示したワクチン技術開発の何れの様式の属性を使用しているかを理解することが極めて重要である。現在、日本産業技術教育学会では、幼稚園から高校までを一貫した技術リテラシー教育における技術概念の内容知と方法知の基準について検討作業を実施中である⁽⁴⁾。本稿では、2021年1月初旬段階の技術イノベーションと、技術ガバナンスの基準案を、表5と表6に示す。

本稿の2項で述べたように、STLの「第3学年から第5学年」では、D.でワクチンは、病気が発症し広まるのを予防するためにデザイン(設計)されることを掲げていた。内容の取扱いとして、ワクチンや薬のデザイン(設計)が、デザイン(設計)プロセスにどのように関連しているかということを学習していた。表1に示したように、デザイン

表4 海外におけるCOVID-19のワクチン技術開発の主な状況(2020年12月24日現在)

[出典 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/vaccine_00184.html (2020年12月24日閲覧)]

		海外の状況	生産・供給見通し	日本国内の状況
A	ファイザー社 (米) ※ mRNA ワクチン	2020年7月から米などで第Ⅲ相試験(4.4万人規模)を実施中 2020年12月に英米などで緊急使用許可の下、接種開始	2020年中に最大5,000万回分、2021年末までに最大13億回分のワクチン生産を見込む	ワクチン開発に成功した場合、日本に2021年6月末までに1.2億回分を供給する基本合意。国内治験を2020年10月から実施中。国内で承認申請(2020/12/18)
B	アストラゼネカ社 オックスフォード大 (英) ※ ウイルスベクターワクチン	2020年5月から英で第Ⅱ/Ⅲ相試験の実施中 2020年6月からブラジルで第Ⅲ相試験(1万人規模)を実施中 2020年8月から米で第Ⅲ相試験(4万人規模)を実施中	全世界に20億人分を計画、米に3億人分、英に1億人分、欧州に4億人分、新興国に10億人分を供給予定としている	ワクチン開発に成功した場合、日本に1.2億回分、うち3000万回分は2021年3月までに供給する基本合意。海外からの原薬供給のほか、国内での原薬製造をJCRファーマーと提携。充填等を国内4社と提携。厚生労働省が国内での原薬製造及び製剤化等の体制整備に162.3億円を補助(生産体制等緊急整備事業)。国内治験を2020年8月下旬から実施中
C	モデルナ社 (米) ※ mRNA ワクチン	2020年7月から米で第Ⅲ相試験(3万人規模)を実施中 米で緊急使用許可(2020/12/18)後、接種開始	全世界に5～10億回分／年の供給を計画。 2020年12月中に米国内に2,000万回分の供給を計画	武田薬品工業株式会社による国内での流通のもと2021年上半期に4,000万回分、2021年第3四半期に1,000万回分の供給を受けることについて契約を締結。AMED(国立研究開発法人日本医療研究開発機構)研究費(R2年度二次公募)で武田薬品工業を採択。国内治験実施の準備中
D	ジョンソン&ジョンソン社 (ヤンセン社) (米) ※ ウイルスベクターワクチン	2020年9月から米などで第Ⅲ相試験(6万人規模)を実施中。2020年11月から英などで第Ⅲ相試験(3万人規模)を実施中	2021年から大量供給(順次、世界で年10億人規模)を目指す	国内治験を2020年9月から実施中
E	サノフィ社 (仏) ※ 組換えタンパクワクチン、mRNAワクチン	組換えタンパクワクチンでは、2020年9月から米で第Ⅰ/Ⅱ相試験開始を目指す。2021年2月に第Ⅱb相試験開始を目指す。mRNAワクチンでは、2021年第1四半期に第Ⅰ/Ⅱ相試験開始を目指す	組換えタンパクワクチンに関して、上手くいけば2021年第4四半期に実用化の見込みと発表	
F	ノババックス社 (米) ※ 組換えタンパクワクチン	2020年9月から英で第Ⅲ相試験(1.5万人規模)を実施中	2020年遅くに1億回分／年の生産が目標	武田薬品工業が原薬から製造し販売予定で、1年間で2.5億回分を超える生産能力を構築すると発表。生産体制に厚生労働省が武田薬品工業に301.4億円を補助(生産体制等緊急整備事業)。AMED研究費(R2年度二次公募)で武田薬品工業を採択。国内治験実施の準備中

表5 技術イノベーションのプロセス

幼稚園～小学校2年	小学校3～6年	中学校	高校
<p>【価値の発見】自分の欲求を満たすために、製作・育成・制作に対する自分の思いや願いを持つこと</p> <p>【価値創出の枠組みづくり（フレーミング）】自分の欲求を実現させるために、計画・設計の大切さに気付くこと</p> <p>【価値の実証】言葉や絵などを使った表現と振り返りを通して、自分の欲求を満たしたかを評価し、価値を表現すること</p>	<p>【価値の発見】ユーザー視点や他者視点から生活や社会における問題を発見し、ものづくりや情報技術を活用した制作による新たな価値の創造を目的とした課題を設定すること</p> <p>【価値創出の枠組みづくり（フレーミング）】ブレインストーミング法などの思考法により、ユーザー視点からのものづくりや情報技術を活用した制作の計画・設計ができること</p> <p>【価値の実証】ポートフォリオなどの制作・発表を通して、ユーザー視点からの価値の創造ができたかを振り返ること</p>	<p>【価値の発見】SDGsを支えるSociety5.0を実現するための新たな価値の創造の視点から、課題を設定すること</p> <p>【価値創出の枠組みづくり（フレーミング）】ブレインストーミング、トレードオフ、デザインプロセスなどの思考法を活用しながら、計画・設計でできること</p> <p>【価値の実証】企業・研究開発機関、ユーザー、流通・販売業者、行政などの多様な立場から、新たな価値の創造プロセスを評価すること</p>	<p>【価値の発見】AIやIoTをはじめとした技術と、多様な異分野との複合化・融合化により生まれる、新たな価値の創造を生み出すための課題を設定できること</p> <p>【価値創出の枠組みづくり（フレーミング）】ウォーターフォール法（要件定義－計画・設計－実装－テスト－運用といった各工程を分割進行させるプロジェクト）やアジャイル開発法（各機能単位で、企画－設計－実装－テスト－運用を絶え間なく反復させるプロセスを導入したプロジェクト）の各々の特徴を生かしながら、各種デザインプロセス思考法を導入し、新たな価値創造のフレーミングをすること</p> <p>【価値の実証】イノベーションを牽引する技術者、市民、行政の役割と責任、知財創造活用等を意識し、価値の発見、価値創出のフレーミング、価値実証の価値創造プロセスでの活動の成果を俯瞰的に振り返ること</p>

表6 技術ガバナンスのプロセス

幼稚園～小学校2年	小学校3～6年	中学校	高校
<p>【既存技術の理解と課題の設定】技術活動でのケガや事故の危険予知と防止対策ができること</p> <p>【技術評価の枠組みづくり（フレーミング）】危険や事故を防ぐために、様々な工夫された技術を比較検討すること</p> <p>【技術評価の実施と意思決定】事故防止意識と適切な素材や道具等を選択し活用すること</p> <p>【技術マネジメント】危険や迷惑行為の有無の振り返りと、次の活動への安全意識を向上させること</p>	<p>【既存技術の理解と課題の設定】社会実装された既存技術の利便性とリスクについて調査し、ガバナンスの課題を設定すること</p> <p>【技術評価の枠組みづくり（フレーミング）】技術による複数の解決アイデアの利便性とリスクについて、比較検討すること</p> <p>【技術評価の実施と意思決定】複数の技術アイデアから最適解を導くための根拠に基づく意思決定ができること</p> <p>【技術マネジメント】自分が選択した最適解の利点と問題点を説明し、意見交換による、自己アイデアの相互練り上げができること</p>	<p>【既存技術の理解と課題の設定】既存の技術と、社会、環境との相互に影響しあう関係と、技術の利便性とリスクについて調査し、ガバナンスの課題を設定すること</p> <p>【技術評価の枠組みづくり（フレーミング）】社会からの要求、安全性、環境負荷、経済性等の観点を設定し、価値規準に基づき、トレードオフ（比較考量）すること</p> <p>【技術評価の実施と意思決定】技術の見方・考え方を働かせ、社会実装の便益・リスクと主権者の「主体性」を尊重した、技術の最適解の意思決定ができること</p> <p>【技術マネジメント】技術に対して公正かつ真摯に向き合える技術倫理を身に付けること</p>	<p>【既存技術の理解と課題の設定】技術開発機関・企業・生産者、行政機関、市民、流通業者等の各々の立場と利害関係や、社会的使命・役割・責任と技術倫理を考慮に入れながら、ガバナンスの課題を設定すること</p> <p>【技術評価の枠組みづくり（フレーミング）】SDGsへの対応、社会や産業の発展、社会実装上の利便性とリスクの比較考量ができること</p> <p>【技術評価の実施と意思決定】STEAMの見方・考え方を働かせながら、社会実装上の利便性やリスクについて、SDGsを支えるSociety5.0を牽引する主権者としての「主体性」を尊重した意思決定ができること</p> <p>【技術マネジメント】複数の利害関係者の役割演技と、模擬コンセンサス会議ができること</p>

(設計)問題または必要性に対する可能な解決策を開発するために、可能な解決策を一つの最終的な選択肢に絞り込むために定義された価値規準と制約の使用に依存するための、体系的な問題解決方略である一連のデザイン(設計)プロセスと、表5の【価値の発見】から【価値の実証】の三つのプロセスとが相互に行き交う学習指導過程が重要である。なお、本稿1項で述べたように、谷田ら⁽⁵⁾と川路ら⁽⁶⁾は、技術ガバナンスレビュー学習を、既に普及している既

存の技術が開発・創造された過去に遡り、技術が評価、選択等される「技術ガバナンス」から、新たな技術を構想・創造する「技術イノベーション」へと至る経緯を検討する学習と規定している。本稿では、表4のワクチン技術開発が我が国で実用化、普及化していないために、開発途上の技術ガバナンスレビュー学習を実施することになる。

技術イノベーションと、技術ガバナンスプロセスの関係性であるが、技術ガバナンスプロセス【価値の発見】、【価値創出の枠組みづくり(フレーミング)】、【価値の実証】の一連の各過程と、技術イノベーションプロセスの【既存技術の理解と課題の設定】、【技術評価の枠組み作り(フレーミング)】、【技術評価の実施と意思決定】、【技術マネジメント】とは相互に行き交う関係と考えられ、一方向ではなく、双方向のプロセスを辿るモデルである。

5 おわりに

本研究の目的は、中学校技術科において、初等中等教育段階における日本発STEAM関連教科を連携させて、海外のCOVID-19のワクチン技術開発をテーマにした技術ガバナンスレビュー学習の教材化について検討することであった。研究の目的を達成するために、3点の研究課題を設定した。本研究では、開発中のCOVID-19ワクチン技術開発のモダリティ(様式)の理解に注目した。

研究課題1では、ITEA(2000)⁽⁷⁾のSTLの「STL-14医療技術」の「幼稚園から第2学年」、「第3学年から第5学年」、「第6学年から第8学年」、「第9学年から第12学年」のベンチマーク(学習到達目標)を検討し、なぜワクチン技術開発やワクチン接種をSTLに導入しているのか、目標や内容の具体について考究した。STLでは、ウイルスについて「幼稚園から第2学年」から学習していた。免疫は、「第6学年から第8学年」から扱っていた。(遺伝子)組換えは、「第6学年から第8学年」から学習していた。遺伝子は、「第6学年から第8学年」から扱っていた。DNAは、「第6学年から第8学年」から学習していた。「第3学年から第5学年」では、ワクチンは、病気が発症し広まるのを予防するためにデザイン(設計)されることを掲げ、ワクチンや薬のデザイン(設計)が、デザイン(設計)プロセスにどのように関連しているかということについて、インターネット等の調べ学習や、地元薬局への訪問調査の利用を解説していた。

研究課題2では、我が国の教育課程の基準である、小学校学習指導要領(平成29年告示)、中学校学習指導要領(平成29年告示)、高等学校学習指導要領(平成30年告示)における各教科(高校は共通教科)と「総合的な学習(高校は探究)の時間」で、ヒト病原性ウイルスワクチン技術開発の評価、選択、管理、運用と、新たな発想に基づく技術イノベーションに関して、どのように扱われているのかを調査した。「ウイルス」は、中学校保健体育で学習内容として扱われていたが、技術の文脈表現は、見られなかった。「遺伝子」と「DNA」は、中学校理科第2分野内容「(5)生命の連続性(イ)遺伝の規則性と遺伝子⑦遺伝の規則性と遺伝子」において、「遺伝子の本体がDNAであること(p.95)」⁽¹⁴⁾で取り扱われていた。中学校の他教科等では、遺伝子と、DNAは、見出せなかった。ワクチンは、高校理科学科科目「科学と人間生活」で扱われていたが、技術の文脈表現は、見られなかった。(遺伝子)組換えとベクターは、高校理科学科科目生物において、遺伝子を扱う技術について、その原理と有用性の科学的理解と共に、「例えば、制限酵素やベクターを用いた遺伝子組換え技術による医薬品の製造や、増殖技術であるPCR法を用いたDNA解析などについての資料を示し、その原理と有用性を理解させることなどが考えられる(p.140)。」⁽¹³⁾と示され、技術の文脈が明確に盛り込まれていた。「たんぱく質」は、小学校家庭科内容「(3)栄養を考えた食事ア(7)体に必要な栄養素の種類と主な働き」で、五大栄養素の一つとしてたんぱく質を扱っていた(p.44)⁽¹⁵⁾。遺伝情報とたんぱく質(高校理科ではタンパク質と表記)の合成については、高校理科「生物基礎」で扱われていた⁽¹³⁾が、技術の文脈は見られなかった。mRNAとRNAは、高校理科生物基礎で扱われていたが、技術の文脈は盛り込まれていなかった。

研究課題3は、日本発STEAM教育の観点から、我が国の中学校技術科において、COVID-19のワクチン技術開発を事例とし、ワクチン技術開発やワクチン接種を教材として、技術ガバナンスレビュー学習の導入の可能性を検討することであった。現在、日本産業技術教育学会が検討中の、幼稚園から高校までを一貫した技術リテラシー教育における技術概念の内容知と方法知の基準の中で、「技術イノベーションのプロセス」と、「技術ガバナンスのプロセス」に基づいた技術ガバナンスレビュー学習の教材化について論じた。

今後の課題として、次の2点を述べる。

第1点は、カリキュラム・マネジメントである。既に述べたように、ウイルスと免疫は、中学校保健体育科保健分野、遺伝子とDNAは、中学校理科第2分野第3学年履修単元「(5)生命の連続性」で学習するが、保健分野と理科共に、技術の文脈では学習しない。今後、各教科等で、技術を含むSTEAMの文脈を意識した学習指導過程が望まれる。本稿の教材化提案は、中学校1年あるいは2年で学習することの多い、内容B「生物育成の技術」で扱うのが最も学習しやすいと考える。また、ワクチン、ベクター、組換え、RNA、mRNAは、高校理科の学習事項である。日

本発STEAM教育を推進していく上で、校種間と共に、校種内の円滑なカリキュラム・マネジメントの具体的方略の構築が、喫緊の課題である。

第2点は、技術科内容B「生物育成の技術」の目標と内容の概念拡張の必要性である。平成29年告示中学校学習指導要領(平成29年告示)技術科では、内容Bの学習範囲は、作物の栽培、動物の飼育、水産生物の栽培(増殖・養殖)に限定している。しかし、日本産業技術教育学会等からは、森林資源生産を学習範囲に含めた方が望ましいという意見が多い。さらに、山崎ら⁽¹⁶⁾は、「生物育成の技術」から、「生物技術」への概念拡張と、ITEEA⁽³⁾のSTELのように、「医療・健康関連技術」と「農業・バイオテクノロジー」を含む学習範囲にして、医療・健康を包含した生物技術ガバナンスレビュー学習の充実を提案している。今後の課題としたい。

引用文献

- (1)川原田康文・松田孝・磯部征尊・上野朝大・大森康正・山崎貞登：Society5.0に必要な資質・能力を育成する小学校段階におけるSTEAM／STREAM教科的教育課程の参照基準，上越教育大学研究紀要，第39巻，第2号，pp.539-553（2020）
- (2)Wilkinson, K. and Petrich, M.（著），金井哲夫（訳）：『ティンカリングをはじめよう アート，サイエンス，テクノロジーの交差点で作って遊ぶ』，オライリー・ジャパン（2015）
- (3)ITEEA: Standards for Technological and Engineering Literacy -The Role of Technology and Engineering in STEM Education, Author（2020）
- (4)山崎貞登・市原靖士・中原久志・渡津光司・森山潤：幼稚園から高校までを一貫した技術リテラシー教育における技術概念の内容知と方法知の基準，上越教育大学研究紀要，第41巻，第1号，pp.225-234（2021）
- (5)谷田親彦・森山潤・上野耕史：技術科における「技術ガバナンスレビュー学習」の提案－数学科，理科，社会科の見方・考え方を教科横断的に働かせて－，pp.5-16，『国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム 今後の日本を支える技術教育の在り方－教科横断的な視点からの検討－第1回技術ガバナンス教育の新たな視点』要項集(所収)，pp.5-16（2019）
- (6)川路智治・谷田親彦・森山潤・上野耕史：技術科における「技術ガバナンスレビュー学習」の授業開発と実践評価，科学教育研究，第44巻，第1号，pp.1-13（2020）
- (7)ITEA: Standards for Technological Literacy -Content for the Study of Technology, Author（2000），宮川英俊，桜井宏（編著）：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（2002）
- (8)<https://www.iteea.org/>（2021年1月12日最終閲覧）
- (9)山崎貞登：小・中・高校を一貫した「デザインと技術」と「情報技術」教育からのSociety5.0の実現に必要な資質・能力の育成と形成的及び総括的アセスメント，科学教育研究，第44巻，第2号，pp.55-67（2020a）
- (10)山崎貞登：STEM, STEAM, エンジニアリング教育概念の比較教育からの論点整理，日本産業技術教育学会誌，第62巻，第3号，pp.197-207（2020）
- (11)山崎貞登・岡島佑介・大森康正・磯部征尊：国際技術・エンジニアリング教育者学会(ITEEA)のPreKから第12学年のための2020年改定リテラシー標準(STEL)のベンチマーク，上越教育大学研究紀要，第40巻，第2号，pp.313-323（2021）
- (12)文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示)学習指導要領解説 保健体育編，東山書房（2017a）
- (13)文部科学省：高等学校学習指導要領(平成30年告示)学習指導要領解説 理科編 理数編，実教出版（2018）
- (14)文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示)学習指導要領解説 理科編，学校図書（2017b）
- (15)文部科学省：小学校学習指導要領(平成29年告示)学習指導要領解説 家庭編，東洋館出版社（2017c）
- (16)山崎貞登・水野頌之助・市村尚史・岡島佑介・大森康正・磯部征尊：STEAM教育からの病原リスクリテラシーと生物技術ガバナンスレビュー学習の概念的知識と学習方略，日本産業技術教育学会第63回全国大会(千葉大学)（オンライン開催）講演要旨集，p.86（2020）

Technological Governance Review Learning on COVID-19 Vaccine Development in Collaboration with STEAM Education

Kyohei YAMAZAKI*, Sadato YAMAZAKI**

ABSTRACT

This study is a collaboration with Japan-oriented science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) subjects in elementary and secondary education that aims to examine some topics on overseas COVID-19 vaccine technological development in technology and home economics during lower-secondary school. This research uses teaching materials on technological governance review learning on vaccine technological development. The technological literacy benchmark “STL-14 medical technology” from kindergarten to 12th grade of ITEA (2000) proposes that medical technology such as vaccination be classified under technology education content. In this study, the students' attainment targets were examined. Vaccine development technology was set as a benchmark from kindergarten to second grade. Students' attainments were shown to deepen their understanding of how vaccine and drug design is associated with the design process and how vaccines and drugs are related to technological tools and systems. The superiority and risk of the modality (style) of COVID-19 vaccine development technology, from the perspective of Japan-oriented STEAM education, was taken as an example of a subject matter for technology classes in lower-secondary school. This paper also proposed the introduction of technological governance review learning using STEAM fields and COVID-19 vaccination as teaching materials.

* Karuizawa Kazakoshi School ** Natural and Living Science