

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

山崎 貞 登*・岡 島 佑 介*・大 森 康 正*・磯 部 征 尊**

(令和2年8月17日受付；令和2年12月7日受理)

要 旨

本研究目的は、国際技術・エンジニアリング教育者学会 (ITEEA) が2020年7月に公表した前幼稚園 (PreK) から第12学年を対象とした技術・エンジニアングリテラシー標準 (STEL) の改定版を研究対象とし、「技術・エンジニアングの中核となる学術領域 (Core Disciplinary Standards, コア)」のスコープ(範囲)と、Pre-2学年、3-5学年、6-8学年、9-12学年のベンチマーク (学習到達目標) の構成要因について調べて、本邦発STEM/STEAM教育推進に向けて、参考となる知見の収集と検討を行うことであった。コアは、主に四つの重要な構成要素が基盤となっていた。第1は、システム、プロセス、制御、統合を中心とした技術・エンジニアングの本質概念であり、STEL-1, 2, 3が相当した。第2は、技術が社会、環境、経済、歴史などに与える影響で、STEL-4, 5, 6であった。第3は、技術・エンジニアングのデザイン (設計) 概念と計算論的思考を含むデザイン思考と問題解決方略で、STEL-7であった。第4は、技術イノベーションと技術ガバナンス概念であり、STEL-8であった。

KEY WORDS

日本発STEAM教育 (Japan-oriented STEAM education), エンジニアング (engineering), デザイン (design), 持続可能な開発目標 (SDGs), 創造的思考 (creative thinking), コンピューティング (computing), 計算論的思考 (computational thinking)

1 はじめに

本研究目的は、日本発STEM/STEAM教育(山崎, 2020)⁽¹⁾のカリキュラム構成原理の構築に資する比較教育研究の情報収集のために、ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association, 国際技術・エンジニアング教育者学会) が2020年7月に公表した前幼稚園 (PreK) から第12学年を対象とした「Standards for Technological and Engineering Literacy -The Role of Technology and Engineering in STEM Education (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・エンジニアングの役割, 以下STEL)」⁽²⁾の改定版を研究対象とし、「技術・エンジニアングの中核となる学術領域 (Core Disciplinary Standards, 以下コア)」のスコープ (範囲) と、Pre-2学年、3-5学年、6-8学年、9-12学年のベンチマーク (学習到達目標) の構成要因を検討することである。本稿では、技術はテクノロジーを意味し、テクニクやスキルと峻別している。

我が国では、エンジニアングを工学と邦訳する事例が多いが、工学教育の対象は高専はじめ大学等の高等教育機関であるという見解が一般的である。高校専門学科、同総合学科では、工学教育の名称は用いず、工業教育を実施している。本邦では、初等中等教育段階で工学教育を導入することについては未だコンセンサスが得られていない。一方、STEM/STEAM教育による発想とデザイン (設計) 思考を働かせた創造力育成の視点から、本研究対象のSTELをはじめ海外では、1990年代以後、初等から高等教育まで一貫したエンジニアング教育を実施している国・地域等が急増している。本稿では、工学と邦訳せずに、エンジニアングとカナ表記で用いる。詳細は、山崎ら(2021)⁽³⁾を参照されたい。STEM/STEAM教育では、エンジニアングとデザイン思考 [Computational Thinking (CT, 計算論的思考) を含む] が、科学、技術、アーツ (本研究ではランゲージ、リベラル、ファイン・ビジュアル、ミュージカル、ドラマ、フィジカル、マニュアル、家政術等のアーツを包括)、数学を架橋・往還する連携軸になっている⁽⁴⁾。2010年、全米エンジニアングアカデミー (NAE)⁽⁴⁾は、米国Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) をはじめとしたSTEM教育の専門家と、幼稚園から第12学年までのエンジニアング教育内容標準作成について委員会で議論した結果、既存の各教科の内容標準に、エンジニアング教育の内容を新たに盛り込む工夫とともに、エンジニアング教育の各教科の重大な観念⁽⁵⁾への包括を提案した。重大な観念とは、カリキュラム、指導、評価の焦点

*自然・生活教育学系 **愛知教育大学

として役立つような、核となる概念，原理，理論及びプロセスをいう [ウィギンズ・マクタイ(著)(2006)，西岡(訳)(2012)：p.396]⁽⁵⁾。

山崎ら(2021)⁽³⁾は、STEL⁽²⁾では、「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, 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 (図1)。

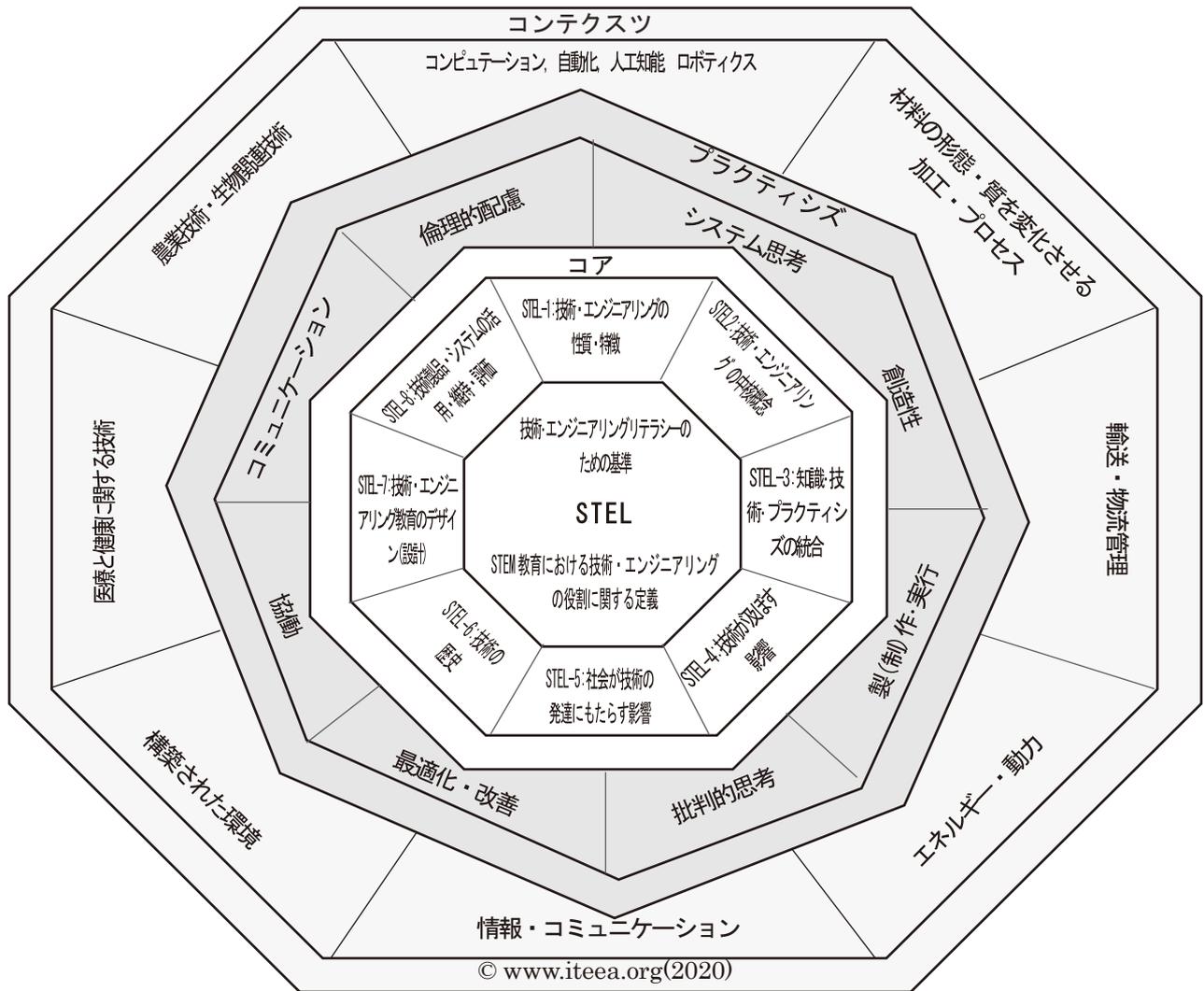


図1 技術・エンジニアリングリテラシーの標準の基本構造 [出典 ITEEA (2020 : p.11のFigure2.1)⁽²⁾]

「コア」は、すべての文脈領域に共通の情報、「重大な観念」⁽⁵⁾、プロセスを表している (ITEEA, 2020 : p.12)⁽²⁾。「プラクティシズ」とは、技術とエンジニアリングを知り、思考し、実行するという三つの側面に従事するときに使用される活動である (p.12)⁽²⁾。「コンテクスト」とは、中核内容の知識を実践に活用するために、特定の焦点を提供する技術活動の領域をいう。コンテクストは、技術とエンジニアリング活動が生じるような具体的な設定が提供できる (p.151)⁽²⁾。

ITEEAの本部は、米国バージニア州レストンにある。世界最大の初等から高等教育段階における技術・エンジニアリング教育の学会組織である。STELは、米国の研究者・教育者を中心に、イギリス、フィンランド、オランダ、ドイツ、オーストラリア、中国、韓国、プエルトリコの研究者・教育者の協働により作成された (pp.142-146)⁽²⁾。

海外の技術・エンジニアリング教育では、社会構成主義学習論に基づくウィギンズ・マクタイ(著)，西岡(訳)⁽⁶⁾のカリキュラム構成論やSTEM/STEAM教育の隆盛により、教科固有の本質概念，教科固有の見方・考え方と教科を

横断する見方・考え方, コンテクスト重視のカリキュラム標準や内容標準が近年, 続々と発表されている。一方, 我が国の技術・エンジニアリング教育は, カリキュラム構成理論やSTEM/STEAM教育実践研究が大幅に遅れている状況がある。本研究課題は, STELの特に教科固有の本質概念(コア)に着目し, その構成要因を解明し, 本邦の初等から大学まで一貫した技術・エンジニアリング教育カリキュラムの構成原理論の参考に資する知見を得ることである。

2 ITEEA (2020) のSTELの八つのコアとベンチマーク

2.1 ITEEA (2000) のSTLとITEEA (2020) のSTELの基本構造の比較

ITEEAの前身は, 1939年に創立されたAmerican Industrial Arts Association (AIAA, 米国インダストリアルアーツ学会)である。本邦先行研究の多くは, インダストリアルアーツを産業技術科と邦訳した。AIAAは, イギリスやユネスコから生じたインダストリアルアーツから技術教育改革運動の影響を受けて, 1984年にInternational Technology Education Association (ITEA, 国際技術教育学会)に名称変更になった。ITEAは, 2000年に「Standards for Technological Literacy – Content for the Study of Technology (技術リテラシーのための標準 – 技術学習の内容, 以下STL)」を刊行した⁽⁶⁾。ITEAは, 2011年に, ITEEAと名称変更をした(山崎ら, 2021)⁽³⁾。山崎ら(2021)⁽³⁾が示したSTLの基本構造を, 表1に再掲する。

表1 ITEEA (2000) のSTLの基本構造 [出典 ITEA (著) (2000)・宮川ら (編訳) (2002)⁽⁶⁾]

[技術の本質]
STL-1: 技術の性格と範囲, STL-2: 技術の中核的な概念(システム, 資源, 必要条件, 最適化とトレードオフ, プロセス, 制御), STL-3: 技術相互間の関連性と, 技術と他教科の関係
[技術と社会]
STL-4: 技術の文化的, 社会的, 経済的, 政治的な影響, STL-5: 環境に対する技術の影響, STL-6: 技術の開発と利用における社会の役割, STL-7: 歴史に対する技術の影響力
[デザイン(設計)]
STL-8: デザイン(設計)の特徴, STL-9: エンジニアリングデザイン(設計), STL-10: 問題解決における課題の発見, 研究開発と発明改良, 及び実験の役割
[技術が発展する社会に必要な能力]
STL-11: デザインプロセスの応用, STL-12: 技術製品とシステムの使用と保守管理, STL-13: 製品やシステムの影響評価
[デザインされた世界]
STL-14: 医療技術, STL-15: 農業及び関連するバイオテクノロジー, STL-16: エネルギーと動力技術, STL-17: 情報通信技術, STL-18: 輸送技術, STL-19: 製造技術, STL-20: 建設技術

表1のSTLでは, []の五つのカテゴリーに分類されて, STL-1から20の計20の標準で構成されていた。一方, ITEEA (2020) のSTELでは, 図1に示したように, コア (STEL-1から8), プラクティシズ, コンテクストに分類されて, コアはすべての文脈領域に共通の情報, 重大な観念, プロセスを示しているとされた。

ITEEA (2020) のSTEM教育用語の定義を表2に示す。

2.2 ITEEA (2020) のコアSTEL-1からSTEL-8の構成原理と各構成要因

2.2.1 「コアSTEL-1: 技術・エンジニアリングの性質・特徴」と「コアSTEL-2: 技術・エンジニアリングの中核概念」

山崎ら(投稿中)⁽³⁾で述べたように, 図1「コアSTEL-1: 技術・エンジニアリングの性質・特徴」は, STLの技術だけでなく, エンジニアリングの性質・特徴が盛り込まれた。コアSTEL-1のうち, 技術の性質・特徴については, 表1のSTL-1, STL-3を中心に構成されたベンチマークであった。

「コアSTEL-2: 技術・エンジニアリングの中核概念」は, 表1のSTL-1とSTL-3を中心に再構成されたベンチマークであった。

表2 2020年改定STELのSTEM教育関連用語の定義

技術 (Technology) (ITEEA, 2020 : 8)
人間が設計した製品, システム, プロセスを通じて自然環境を改変し, 必要性和欲求を満たすこと
エンジニアリング (Engineering) (ITEEA, 2020 : 8)
科学原理と数学の推論を使用して, 制約条件における規準によって定義された必要性を満たすために, 技術を最適化すること
技術・エンジニアリングリテラシー (ITEEA, 2020 : 8)
技術・エンジニアリング活動の産物である人間がデザイン (設計) した環境を理解, 使用, 創造, 評価する能力
科学 (Science) (ITEEA, 2020 : 159)
観察, 識別, 説明, 実験・調査, 理論的説明による自然界の研究
数学 (Mathematics) (ITEEA, 2020 : 157)
「パターンと規則」の科学, 「数と記号を使った量の測定・性質・関係」についての研究
STEM (ITEEA, 2020 : 157)
科学, 技術, エンジニアリング, 数学の学術分野とそれらの関連内容, 実践, 活用を, 相互連携化するために使用される用語
STEMリテラシー (ITEEA, 2020 : 157)
科学, 技術, エンジニアリング, 数学の各学術分野を連携し, 相乗効果をもたらす素養. STEMリテラシーは, 個々の分野では提供できない, 分野全体の概念, プロセス, 考え方を統合し, 強化された結果を達成するために適用する方略の, より包括的な理解
デザインプロセス (ITEEA, 2020 : 152)
定義された規準と制約の使用に依存する体系的な問題解決方略. 問題または必要性に対する可能な解決策を開発し, 可能な解決策を1つの最終的な選択肢に絞り込むために使用

2. 2. 2 「コアSTEL-3: 技術・エンジニアリングの性質・特徴」

「コアSTEL-3: 知識, 技術, プラクティシズの統合」のベンチマークを, 表3に示す。

表3 「コアSTEL-3: 知識, 技術, プラクティシズの統合」のベンチマーク [出典: ITEEA, (2020)]⁽²⁾

PreK - 2 学年	3 - 5 学年	6 - 8 学年	9 - 12 学年
STEL-3A: 複数の内容領域にまたがる概念とスキルを強化する技術・エンジニアリング活動の概念とスキルの適用	STEL-3C: 単純な技術を組み合わせて, より複雑なシステムを形成する方法の提示 STEL-3D: 技術とエンジニアリング, その他の内容領域の間に, 様々な関係がどのように存在するかの説明	STEL-3E: 様々な技術システムは, 経済, 環境, 社会システムとどのように相互作用するか分析 STEL-3F: ある設定用に開発された製品, システム, またはプロセスの, 別の設定への適用 STEL-3G: 他のコンテンツ領域から得られた知識が, 技術製品およびシステムの開発にどのように影響するかを説明	STEL-3H: ユーザーは, ある機能のために開発された既存のイノベーションを, 別の目的に適用したときに, 技術移転がどのように発生するか分析 STEL-3I: 技術がグローバルイノベーションを通じて, 新製品やサービスの機会をどのように高めるかの評価 STEL-3J: 技術の進歩を他の知識分野の進歩に結びつけ, 逆もまた同様の結びつけること

表3は, STLには含まれなかった学習項目のベンチマークである。技術とエンジニアリングに関する個別の事実に知識, スキルの習得だけでなく, 社会における様々な場面で活用できる概念の理解を目指していることがうかがえる。また, 現代社会に活用されている多くの技術がシステム化されているために, システム概念を重視している。9 - 12学年では, 技術イノベーションがもたらす効果と影響に関するベンチマークが設定されていた。以上から, STEL-1, 2, 3は, システム, プロセス, 制御, 統合を中心とした技術・エンジニアリングの本質概念である。

2. 2. 3 「コアSTEL-4: 技術が及ぼす影響」

「コアSTEL-4: 技術が及ぼす影響」を, 表4に示す。STL-4とSTL-5に相当し, 文言に大きな変更はされていない。

2. 2. 4 「コアSTEL-5: 社会が技術の発達にもたらす影響」

「コアSTEL-5: 社会が技術の発達にもたらす影響」を, 表5に示す。「STL-6: 技術の開発と利用における社会の役割」を基に作成されている。STL6では, K - 2 学年のベンチマークは1項目のみであったが, コアSTEL-5では計3項目に増加した。

2. 2. 5 「コアSTEL-6：技術の歴史」

「コアSTEL-6：技術の歴史」を表6に示す。表1のSTL-7に相当し、大きな変更はなかった。
 以上から、STEL-4, 5, 6は、技術の社会、環境、経済、歴史などに与える影響に関するコアである。

2. 2. 6 「コアSTEL-7：技術・エンジニアリング教育のデザイン（設計）」

「コアSTEL-7：技術・エンジニアリング教育のデザイン（設計）」のベンチマークを、表7に示す。STL-8：デザイン（設計）の特徴、STL-9：エンジニアリングデザイン（設計）、STL-11：デザイン（設計）プロセスの応用に相当する。以上から、STEL-7は、デザイン（設計）概念と計算論的思考を含むデザイン思考のコアである。

表4 コアSTEL-4：技術が及ぼす影響 [出典：ITEEA, (2020)⁽²⁾]

PreK-2 学年	3-5 学年	6-8 学年	9-12 学年
STEL-4A：技術が日常行うことや仕事に役立つ方法を説明	STEL-4F：技術の便益と有害な影響についての説明	STEL-4K：技術がプラスとマイナスの両方の効果を同時にもたらす可能性がある方法の調査	STEL-4P：技術が個人、社会、環境に影響を与える方法の評価
STEL-4B：技術の有益で有害な影響の説明	STEL-4G：特定の課題を完了したり、必要性を満たすための使用を最適なものを決定したりするための技術の判断	STEL-4L：技術の創造と使用は、再生可能と再生不可能資源とをどのように消費し、廃棄物を生み出すかの分析	STEL-4Q：既存の技術と、提案された技術は、持続可能な方法の資源として使用しているかどうかの批評
STEL-4C：技術の影響を評価するための、二つ以上の簡単な技術の比較	STEL-4H：技術の創造に使用する資源を、再生可能または非再生可能による分類	STEL-4M：技術の創造と使用から生じる廃棄物削減、再利用、リサイクルするための方略の考案	STEL-4R：目標を達成するために、資源の使用とその結果生じる無駄を最小限に抑える技術の評価
STEL-4D：日常生活で資源を削減、再利用、リサイクルする方法の選択	STEL-4I：資源の持続可能な管理には、責任ある技術の使用が必要な理由の説明	STEL-4N：人々の考え方、相互作用、コミュニケーションの方法を変えた技術事例の分析	STEL-4S：環境と社会への悪影響が最も少ない技術的問題の解決策の開発
STEL-4E：技術の便益と有害な影響についての説明	STEL-4J：特定の技術がなければ、日常生活の特定の側面がどのように異なるかの予測	STEL-4O：別の技術的解決策が選択された場合、どのような代替結果（個人、文化、及び/または環境）が生じたのかの仮定	STEL-4T：技術が人間の健康と能力をどのように変えるかの評価

表5 コアSTEL-5：社会が技術の発達にもたらす影響 [出典：ITEEA, (2020)⁽²⁾]

PreK-2 学年	3-5 学年	6-8 学年	9-12 学年
STEL-5A：個人と社会の必要性と欲求の説明	STEL-5D：社会の技術システムやインフラの変化に影響を与える要因の特定	STEL-5F：発明またはイノベーションは、その歴史的な文脈によってどのように影響を受けたかの分析	STEL-5H：特定の社会の固有の必要性または欲求から生じた技術イノベーションの評価
STEL-5B：個人と社会の必要性と欲求を満たすために、技術がどのように開発されているかの探究	STEL-5E：個人または社会の必要性と変化が必要なときに、技術がどのように開発または適応されるかの説明	STEL-5G：競合する要素間の慎重な妥協の必要性を認識する決定プロセスの一部として、さまざまな視点に基づいたトレードオフの評価	STEL-5I：社会の抵抗に遭遇し、その開発に影響を与えた技術のイノベーションの評価
STEL-5C：家庭や地域での技術の使用の調査			STEL-5J：異文化における使用に適した技術のデザイン（設計）

2. 2. 7 「コアSTEL-8：技術製品とシステムの活用、維持、評価」

「コアSTEL-8：技術製品とシステムの活用、維持、評価」のベンチマークを、表8に示す。STL-12：技術製品とシステムの使用と保守管理、STL-13：製品やシステムの影響評価に相当する。
 以上から、STEL-8は、技術イノベーションと技術ガバナンス概念のコアである。

表6 コアSTEL-6：技術の歴史 [出典：ITEEA, (2020)⁽²⁾]

PreK - 2 学年	3 - 5 学年	6 - 8 学年	9 - 12 学年
STEL-6A：技術の恩恵で、人々の生活と仕事のやり方が歴史の中でどのように変化したかについての話し合い	STEL-6B：人々が作ったツール、彼らがどのようにして作物を栽培し、衣服を作り、そして身を守るために避難所を建てたかの表現の創造	STEL-6C：さまざまな技術と、それらが人間の進歩にどのように貢献しているかの比較 STEL-6D：研究開発プロセスに参加し、体系的な試験と改良を通じて、発明とイノベーションがどのように進化したかのシミュレーション	STEL-6E：機能の特殊化が多く技術的改善の中心にあることの確認 STEL-6F：技術開発がどのように進化したか、多くの場合、基本的な発明または技術知識に対する一連の改良結果の関連付け STEL-6G：文明の進化は、ツール、材料、およびプロセスの開発と使用に直接影響を与え、影響を受けたことの確認 STEL-6H：歴史を通じて、社会的、文化的、政治的、経済的景観を再形成する上で、技術は、どのように強力な力となってきたかの評価 STEL-6I：産業革命は、大量生産、洗練された輸送および通信システム、高度な建設慣行、教育と余暇の改善に、どのように貢献したかの分析 STEL-6J：情報の処理とやりとりに重点を置いた、情報化時代に起因する広範囲にわたる変更の調査

表7 コアSTEL-7：技術・エンジニアリング教育のデザイン（設計） [出典：ITEEA, (2020)⁽²⁾]

PreK - 2 学年	3 - 5 学年	6 - 8 学年	9 - 12 学年
STEL-7A：遊びと探求を通じた、デザイン（設計）概念、原則、プロセスの適用 STEL-7B：デザイン（設計）に要件があることの提示 STEL-7C：デザイン（設計）は、欲求と必要性への対応であることの説明 STEL-7D：すべてのデザイン（設計）には、説明可能な異なる特性があることの話合い STEL-7E：デザイン（設計）には、さまざまな解決策があり、完璧なものはないことの説明 STEL-7F：技術とエンジニアリングデザイン（設計）プロセスの本質的なスキルの区別 STEL-7G：デザイン（設計）に必要なスキルの適用	STEL-7H：デザイン（設計）には、複数のアプローチがあることの説明 STEL-7I：技術とエンジニアリングデザイン（設計）プロセスの適用 STEL-7J：規準、制約、標準に基づいて、デザイン（設計）の評価 STEL-7K：優れたデザインは、人間の状態をどのように改善するかを解釈 STEL-7L：普遍的な原則とデザインの要素の活用 STEL-7M：独自の解決策を含む既存のデザイン（設計）解決策の長所と短所の評価 STEL-7N：成功するデザイン（設計）スキルの練習 STEL-7O：デザイン（設計）プロセスの一部として、ツール、テクニク、材料の安全な方法による活用	STEL-7P：デザイン（設計）プロセスへのさまざまなアプローチに関連する利点と機会の説明 STEL-7Q：技術とエンジニアリングデザイン（設計）プロセスの適用 STEL-7R：デザイン（設計）における人的要因を特定して活用することにより、問題のデザイン（設計）解決策の改善 STEL-7S：デザイン（設計）における人的要因を特定して活用することにより、問題の解決策の創造 STEL-7T：確立された原則とデザイン（設計）要素に基づいて、デザイン（設計）の品質の評価 STEL-7U：さまざまなデザイン（設計）解決策の長所と短所の評価 STEL-7V：デザイン（設計）を成功させるために必要な必須スキルの向上	STEL-7W：デザイン（設計）の目的を評価して、最適なアプローチの決定 STEL-7X：技術とエンジニアリングデザイン（設計）プロセスのトレードオフを文書化して、最適なデザイン（設計）の作成 STEL-7Y：規準と制約の範囲内で目的の品質に対処することにより、デザイン（設計）の最適化 STEL-7Z：人間中心デザイン（設計）の原則の活用 STEL-7AA：デザイン（設計）の原則、要素、および要因の説明 STEL-7BB：デザイン（設計）に可能な限り最高の解決策の実装 STEL-7CC：デザイン（設計）プロセスに幅広いデザイン（設計）スキルの適用 STEL-7DD：幅広い制作スキルをより優れたデザイン（設計）プロセスへの適用

3 STEM/STEAM教育からのITEEA (2020) のコアSTEL-1から8の特徴

社会構成主義学習論とSTEM教育の台頭、ウィギンズ・マクタイのカリキュラム構成原理への着目から、世界ではコンテンツ・ベースからコンピテンシー・ベースの内容標準や教育課程基準を提案する国・地域が1990年代から増加している。授業におけるコンテクスト生成、教科の見方・考え方を働かせ、教科の重大な観念の本質的理解を図る学習の重要性が指摘されている（奈須, 2016）⁽⁷⁾。このため、STELの「コア」-「プラクティズ」-「コンテクスト」の関係性において、エンジニアリングとデザインは、技術・エンジニアリング各分野間の統合とともに、STEM/STEAM各教科等同志の連携軸の役割を果たす。

表8 コアSTEL-8：技術製品とシステムの活用，維持，評価 [出典：ITEEA, (2020)⁽²⁾]

PreK - 2 学年	3 - 5 学年	6 - 8 学年	9 - 12 学年
STEL-8A：物事の仕組みを分析	STEL-8D：技術課題を達成するための指示に従うこと	STEL-8H：さまざまな出所からの情報を研究して，技術製品またはシステムの使用と保守	STEL-8N：プロセスの伝達と，技術製品とシステムの評価をするための様々なアプローチの使用
STEL-8B：日常の記号を特定して使用	STEL-8E：適切な記号，数字，単語を使用して，技術製品やシステムに関する重要なアイデアを伝えること	STEL-8I：ツール，材料，機械を使用して，システムの安全な診断，調整，修復	STEL-8O：市場向けのデバイスまたはシステムの開発
STEL-8C：日常製品の品質の説明	STEL-8F：製品またはシステムが正しく機能していない理由の特定	STEL-8J：技術システムの制御のための装置の使用	STEL-8P：適切な方法を適用してシステムを診断，調整，および修復し，正確で安全かつ適切な方法の活用
	STEL-8G：製品またはシステムの使用のトレードオフを評価するための情報の探索	STEL-8K：技術システムについてのデータ収集のための設計(デザイン)	STEL-8Q：技術製品，システム，またはプロセスに関する意思決定のために，データの合成と傾向分析
		STEL-8L：収集した情報の正確度の解釈	STEL-8R：政策形成を導きだすための技術アセスメント結果の解釈
		STEL-8M：日常製品の性能に関するデータを収集するための機器の使用	

バスケスら(2013)⁽⁸⁾は，STEM関連各学術分野における「プラクティシズ（見方・考え方を働かせた実践活動）」の関係性を示した（表9）。表3は，フロリダ州タンパのミドルスクールにおいて，科学，技術，数学，社会，美術等の各教科担任間のカリキュラム・マネジメントと，各教科で専科担任が指導した実践研究成果に基づいて作成されたことに留意する必要がある。

表9 STEM関連各学術分野における「プラクティシズ（見方・考え方を働かせた実践活動）」の関係性
 (出典 バスケスら, 2013 : p.53 Fig.5.2⁽⁸⁾を基に，筆者が加筆し再構成)

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

表9の技術とエンジニアリングと，STELのコアとは，密接な関係性があることは，明らかである。

コア「STEL-1：技術・エンジニアリングの性質・特徴」では，自然界と人工世界の比較，技術，エンジニアリング，科学，数学の関係性と連携の必要性，エンジニアリングデザインの性質と特徴に関するベンチマークであった。

コア「STEL-2：技術・エンジニアリングの中核概念」では，システム，資源，必要条件，最適化とトレードオフ，プロセス，制御」に関するベンチマークであった。

コア「STEL-3：知識，技術，プラクティシズの統合」では，技術とエンジニアリングに関する個別の事実に知識，スキルの習得だけではなく，社会における様々な場面で活用できる概念の理解を目指していた。また，システム概念を重視していた。9 - 12学年では，技術イノベーションがもたらす効果と影響に関するベンチマークが設定されていた。

コア「STEL-4：技術が及ぼす影響」，コア「STEL-5：技術の発達が社会にもたらす影響」，コア「STEL-6：技術の歴史」は，ITEA (2000)⁽⁶⁾のSTLのカテゴリー「技術と社会」に帰属する標準とベンチマークであった。

コア「STEL-7：技術・エンジニアリング教育のデザイン（設計）」は，ITEA (2000)⁽⁶⁾のSTL-8：デザイン（設計）の特徴，STL-9：エンジニアリングデザイン（設計），STL-11：デザイン（設計）プロセスの応用に相当した。

コア「STEL-8：技術製品・システムの活用・維持・評価」は、ITEA（2000）⁽⁶⁾のSTL-12：技術製品とシステムの使用と保守管理、STL-13：製品やシステムの影響評価に相当した。

コアSTEL-1から8の概念理解には、表2に示したSTEM教育の用語理解が必要である。しかし、本邦では、スポーツ技術、伴奏技術、書写技術、陶芸技術等といったように、技術の用語は、テクノロジーの意味ではなく、テクニクやスキルの意味で日常的に用いられることが多く、言語活動を通じた技術概念の理解を阻む原因となっている。児童の心身の発達段階で重要な小学校期に、技術概念を扱う教科等がない状況にある。表2に示した、技術は、人間が設計した製品、システム、プロセスを通じて自然環境を改変し、人間の必要性と欲求を満たすことや、技術イノベーションによる新たな価値の創造である。成果物としての技術の事物概念にとどまらず、機能概念、行為の形態概念、人、自然、社会に対する動的な相互作用といった概念を包含する知識と思考方略の体系である。

山崎ら(2016)⁽⁹⁾は、2008年告示小学校学習指導要領に準拠した文部科学省検定済み国語科、社会科、理科の教科書を検討対象として、テクノロジーとしての技術概念の取扱いについて調査を行った。その結果、研究対象とした教科書全てで、テクノロジーとしての技術概念を扱っていないことが明らかになった。筆者らは、2017年告示小学校学習指導要領に準拠した文部科学省検定済み教科書を対象として現在研究中であるが、テクノロジーとしての技術概念で取り扱った教科書や、科学用語や概念とともに（文部科学省、2011：p.10）⁽¹⁰⁾、技術概念の説明や解説のある教科書は今日まで見いだしていない。このため、既存教科や「総合的な学習の時間」等で、テクノロジーの意味としての技術を含むSTEM/STEAM教育の用語や概念を用いた言語能力育成が必要である。

我が国の「総合的な学習の時間」では、通常、学級担任が単独実施したり、同一学年主任・学級担任・副担任等がチームを編成し、授業を担当したりしている。一方、米国の初等中等教育段階でのSTEM/STEAM教育の多くは、原則として各教科担任による授業実践である。パスケス(2013)⁽⁸⁾やリアオ(2019)⁽¹¹⁾が指摘するように、IoTやAI等の技術の進展の著しいために、STEM/STEAM教育の特に技術・エンジニアリング教育に関わる専門的知識やスキルを学級担任が全て担うのは、過負担であり、我が国の働き方改革の推進の観点から問題があるといえる。川原田ら(2020)⁽¹²⁾は、小学校段階において、STEAM/STREAM教育を導入するために、特に、生活科、図画工作科、家庭科、「総合的な学習の時間」の目標・内容・方法と授業時数の見直しや、小・中・高校の技術・情報教育の教科化と一貫化を含め、デジタル革命とコンピューティングによる新しい学習環境の創造を牽引するために、教科等構成と学習の在り方の再検討が必要であると報告した。山崎ら(2020)⁽¹³⁾は、つくば市において、小・中一貫・連携教育と小学校高学年における教科担任制による実践が行われ、コンピュータサイエンス、情報技術、デジタルリテラシーの教科内容が含まれるSTEAM/STREAM教育の試行が行われていることを報告した。

4 STEM/STEAM教育からのNGSS (2013) のクロスカッティング概念とITEEA (2020) のコアとの関係性

2. 3. 1「コアSTEL-1：技術・エンジニアリングの性質・特徴」と「コアSTEL-2：技術・エンジニアリングの中核概念」で述べたように、システムは技術・エンジニアリングの重要な概念である。Next Generation Science Standards (NGSS) (2013)⁽¹⁴⁾のクロスカッティング概念：システムとシステムモデルを、表10に示す。

表10では、エンジニアリングからのシステム概念を包含しているために、「コアSTEL-2：技術・エンジニアリングの中核概念」と重なる部分が多い。このように、エンジニアリングは、STEM教科間の連携軸の機能を担う。山崎(2020)⁽¹⁾が指摘したように、1980年代までの米国のエンジニアリング教育は、主として高等教育が対象であったが、1990年代からの社会構成主義学習論の台頭とSTEM教育の隆盛の影響で、初等教育から一貫して、エンジニアリング教育を導入している事例が急増している。

以上から、エンジニアリングとデザイン思考概念が、STEM/STEAM教科間の連携軸の機能を担うことを確認した。本邦の初等段階では、技術・エンジニアリング（コンピューティングを含む）に関するコア概念、プラクティシズ、コンテクストは、何れの教科等にも導入されていない。ITEEA(2020)のSTELを参考とし、本邦の生活科と「総合的な学習の時間」を中心に、技術・エンジニアリングのコア概念、プラクティシズ、コンテクストの導入を検討した方が望ましいと考えている。

表10 NGSSのクロスカッティング概念：システムとシステムモデル [出典 NGSS (2013 : p.85)⁽¹⁴⁾]

年齢段階の進歩	NGSSからの期待されるパフォーマンス
K-2年生は、対象や組織をそれらの構成要素で表現することができ、自然や人工世界のシステムで、互いに連携して働く要素があることの理解	K-ESS3-1. 多様な植物または動物（人間を含む）の必要性と、生息する場所との関係を表現するためのモデルの使用
3年生から5年生は、全体を構成し、個々の要素では機能できない、関連する要素の集団としてのシステムの理解。また、構成要素とその相互作用の観点からのシステムの説明	3-LS4-4. 環境が変化したときに発生する問題の解決策の利点と、そこに生息する動植物の種類が変わる可能性があることの主張
6年生から8年生では、システムが他のシステムと相互に作用し、サブシステムを持ち、大規模で複雑なシステムの一部であることの理解。モデルを使用して、システムとその相互作用（入力、プロセス、出力など）や、システム内のエネルギー、物質、情報の流れの表現。また、モデルは、研究対象のシステムの特定の側面のみを表すという点で制限されていることの学習	MS-PS2-4. 引力と重力の存在や、相互作用する物体の質量に依存しているという主張を裏付けるエビデンスに基づくアーギュメントの展開と表現
9～12年生では、システムの境界と初期条件、その入力と出力を定義することにより、システムを調査または分析。モデル（物理的、数学的、コンピュータモデルなど）を使用して、エネルギーの流れ、物質、システム内及びシステム間の相互作用を、異なる尺度でのシミュレート。また、モデルとシミュレーションを使用して、予測を行うと、モデルに固有の仮定と近似により、精度と信頼性が制限されること。また、特定の課題を実行するシステムのデザイン（設計）	HS-LS2-5. 生物圏、大気圏、地球圏における光合成と細胞呼吸の役割を示すモデルの開発

5 おわりに

本研究目的は、ITEEAが2020年7月に公表した、前幼稚園 (PreK) から第12学年を対象としたSTEL⁽²⁾の改定版を研究対象とし、「技術・エンジニアリングの中核となる学術領域 (Core Disciplinary Standards, コア)」のスコープ (範囲) と、Pre-2 学年, 3-5 学年, 6-8 学年, 9-12 学年のベンチマーク (学習到達目標) の構成要因について調べて、本邦発STEM/STEAM教育推進に向けて、参考となる知見を収集し、検討することであった。コアは、主に四つの重要な構成要素が基盤となっていた。第1は、システム、プロセス、制御、統合を中心とした技術・エンジニアリングの本質概念であり、STEL1, 2, 3が相当した。第2は、技術が社会、環境、経済、歴史などに与える影響で、STEL-4, 5, 6であった。第3は、技術・エンジニアリングデザイン (設計) 概念と計算論的思考を含むデザイン思考で、STEL-7であった。第4は、技術イノベーションと技術ガバナンス概念であり、STEL-8であった。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費 (基盤研究C代表: 山崎貞登, 課題番号17K01023) の助成を受けた。

引用文献

- (1) 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)
- (2) ITEEA: Standards for Technological and Engineering Literacy -The Role of Technology and Engineering in STEM Education, Authors. (2020)
- (3) 山崎貞登・磯部征尊・大森康正・岡島佑介: STEM/STEAM教育からの国際技術・エンジニアリング教育者学会 (ITEEA) の前幼稚園 (PreK) から第12学年を対象とした技術・エンジニアングリテラシーのための内容標準の改定, 科学教育研究, 第45巻, 第2号 (2021) (印刷中)
- (4) National Academy of Engineering (NAE): Standards for K-12 Engineering Education?, The National Academy Press (2010)
- (5) Wiggins, Grant & McTighe, Jay: Understanding by Design Expand 2nd Edition, Pearson (2006), 西岡加名恵 (訳): 『理解をもたらすカリキュラム設計-逆向き設計の理論と方法』, 日本標準 (2012)

- (6) 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.
- (7) 奈須正裕: コンピテンシー, コンテンツ, コンテキスト, 指導と評価, 第62巻, 第6号, pp.51-53 (2016)
- (8) Vasquez, J. Anne, Sneider Cary and Comer Michael: STEM Lesson Essentials, Grade 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics, Heinemann (2013)
- (9) 山崎貞登・大森康正・磯部征尊: イノベーション方学習能力を育むSTEM/STEAM教育からの小学校国語・社会・理科教科書の教材解釈, 上越教育大学研究紀要, 第36巻, 第1号, pp.203-215 (2016)
- (10) 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)
- (11) Liao, Christine: Chapter 3 Creating a STEAM Map: A Content Analysis of Visual Art Practices in STEAM Education, pp.37-55, In Khine, Swe Myint and Areepattamannil Shaljan (Eds.), STEAM Education – Theory and Practice (Receipt), Springer (2019)
- (12) 川原田康文・松田孝・磯部征尊・上野朝大・大森康正・山崎貞登: Society5.0に必要な資質・能力を育成する小学校段階におけるSTEAM/STREAM教科の教育課程の参照基準, 上越教育大学研究紀要, 第39巻, 第2号, pp.539-553 (2020)
- (13) 山崎貞登・松田孝・二宮裕之・久保田善彦・磯部征尊・川原田康文・大森康正・上野朝大: Society5.0を支えるSTEAM/STREAM教育の推進に向けた小学校教育課程の教科等構成の在り方と学習指導形態, 上越教育大学研究紀要, 第39巻, 第2号, pp.525-538 (2020)
- (14) NGSS Lead States: NEXT GENERATION Science STANDARDS For States, By States, Volume 2: Appendixes, The National Academies Press (2013)

A Study on Core Disciplinary Benchmarks in the Standards for Technological and Engineering Literacy for Pre-K to Grade 12: Suggested Revisions for 2020

Sadato YAMAZAKI*, Yusuke OKAJIMA*, Yasumasa OOMORI* and Masataka ISOBE**

ABSTRACT

This article intended to examine the Standards for Technological and Engineering Literacy (STEL) for Pre-K to Grade 12 announced by ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association) in July 2020, particularly the scope of “Disciplinary Standards (Core),” which refers to foundations of technology and engineering, as well as benchmarks (learning attainment targets) for Pre-K to Grade 2, Grades 3-5, Grades 6-8, and Grades 9-12 from a Japan-oriented STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) / STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) education standpoint. This study also collected and analyzed the reference knowledge for promoting STEM/STEAM education originating in Japan. The core was mainly based on four important components: (1) the essential concept centered on system, process, control, and integration (STEL-1, 2, and 3); (2) the impact on society, environment, economy, history, and others (STEL-4, 5, and 6); (3) design thinking, which includes design concepts and computational thinking (STEL-7); and the concept of innovation and governance (STEL-8).