

工業科教育法における技術・エンジニアリングデザインプロセスを導入した学習指導案作成と模擬授業

山崎 貞 登*

(令和5年1月30日受付；令和5年4月24日受理)

要 旨

本研究の目的は、日本発STEM/STEAM推進の視点から、大学の教職科目「工業科教育法」において、STEM/STEAM各学術分野の連携の鍵語である「技術・エンジニアリングデザインプロセス(TEDP)」を導入した科目「課題研究」の年間指導計画と学習指導案の作成、及び模擬授業の内容と方法を提案することであった。ITEEA(国際技術・エンジニアリング教育者学会)のSTEL(技術・エンジニアリングリテラシーの標準-STEM教育における技術とエンジニアリングの役割-)のエンジニアリング概念の再規定は、AAAS(米国科学振興協会)(1990)の「すべてのアメリカ人のための科学-科学、数学、技術リテラシー目標に関するプロジェクト2061の報告書」と、NAE(全米エンジニアリングアカデミー)とNRC(全米研究協議会)の「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」の影響を受けていたことを明らかにした。工業科教育法の受講者が作成する年間単元指導計画の学習活動に埋め込むTEDPと育成する能力として、Garratt(1996)と稲葉ら(2005)の先行研究を基に、一部筆者が修正し再構成した表を提案した。

KEY WORDS

STEM/STEAM教育(STEM/STEAM education), 工業科教育法(Teaching methods for industry subject), 課題研究(Course work project), 技術・エンジニアリングデザインプロセス(Technological and engineering design process), 学習指導案(Learning guidance plan), 模擬授業(Micro teaching)

1 はじめに

本研究の目的は、日本発STEM/STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)教育⁽¹⁾連携の推進の視点から、大学の教職科目「工業科教育法」において、STEM/STEAM各学術分野の連携の鍵語⁽²⁾である「技術・エンジニアリングデザインプロセス(以下、TEDP)」を導入した科目「課題研究」の年間指導計画と学習指導案の作成及び、模擬授業の内容と方法を提案することである。本稿における「技術」はテクノロジーの意味で用いて、「テクニク(技法、技巧)」、「スキル(技能)」と峻別する。

「技術」、「エンジニアリング」、「サイエンス(科学)」、「マスマティクス(数学)」、「デザイン」、「エンジニアリングデザイン」、「デザインプロセス」の概念規定は、国際技術・エンジニアリング教育者学会(International Technology and Engineering Educators Association, 以下、ITEEA)(2020)⁽³⁾の「Standards for Technological and Engineering Literacy-The Role of Technology and Engineering in STEM Education(技術とエンジニアリングリテラシーの標準-STEM教育における技術とエンジニアリングの役割-)、以下、STEL)」における定義に従う^(2,4,5)。ITEEAのSTEL⁽³⁾での技術とエンジニアリングの概念規定を、表1に示す。STELによると、表1に示したエンジニアリング(動詞)の概念規定で用いられている「エンジニアリング思考の習慣」は、全米エンジニアリングアカデミー(National Academy of Engineering, 以下、NAE)・全米研究評議会(National Research Council, 以下、NRC)(2019)⁽⁶⁾の「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」の提案に由来する(p.69)⁽³⁾。

「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」では、STEM教育の視点から、次の3点の一般的な原理を提案している。第1は、幼稚園から12学年のエンジニアリング教育では、エンジニアリングデザインを強調するべきである(p.4)⁽⁶⁾。第2は、幼稚園から12学年のエンジニアリング教育では、学習者の心身の発達に重要な数学、科学、技術の知識とスキルの学習を導入するべきである(p.5)⁽⁶⁾。第3は、幼稚園から12学年のエンジニアリング教育では、「エンジニアリング思考の習慣」を促進するべきである(p.5)⁽⁶⁾。「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」では、「エンジニアリング思考の習慣」は、21世紀の市民に不可欠なスキルであると多くの人が信じていることと一致していると指摘している。「エンジニアリング思考の習慣」には、(1) システム思考、(2) 創造性、(3) 最適化、(4) 協

*自然・生活教育学系

表1 技術・エンジニアリングの概念規定

技術 (ITEEA, 2020: p.162)

(1) 人間が設計した製品, システム, プロセスを通じた, 必要性と欲求を満たすための自然環境の改変

(2) (1)による改変の結果をもたらす道具, 機械, またはシステムに対しての広範囲にわたる利便性とリスク評価及び管理・運用

エンジニアリング (ITEEA, 2020: p.153)

評価規準によって定義された必要条件を満たすために, 技術を開発し, 最適化するための科学的原理と数学的推論の活用。簡潔に述べると, 制約下のデザインプロセス

エンジニアリング(名詞) (ITEEA, 2020: p.153)

エンジニアのキャリアに必要な学術研究領域。時々、『ビッグE』と呼称される。ビッグEは, エンジニアリングと関連内容に関する, より専門的な学術領域

エンジニアリング(動詞) (ITEEA, 2020: p.153)

技術システムと技術製(制作)品の開発における, デザインと『エンジニアリング思考の習慣(The Habit of Mind)』の活用であり, 『リトルe』エンジニアリングと呼称する

注: 文献(4)表1の和訳を一部修正した

働, (5) コミュニケーション, (6) 倫理的配慮を含むと説明していた(p.5)⁽⁶⁾。

なお, 「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」では, 「エンジニアリング思考の習慣」は米国科学振興協会 (American Association for the Advancement of science, 以下, AAAS)の「すべてのアメリカ人のための科学-科学, 数学, 技術リテラシー目標に関するプロジェクト2061の報告書(Science for all Americans – A project 2061 on literacy goals in science, mathematics and technology-)」(1990) (p.5)⁽⁷⁾の第12章「思考の習慣」に依拠していることが明記されていた(p.5)⁽⁶⁾。AAASの報告書⁽⁷⁾では, STEM教育の語彙は使用されていないが, STEM教育の文脈が極めて強い。同報告書⁽⁷⁾では, 科学教育(数学, 科学, 技術教育を含む)の価値観, 態度, スキルを思考の習慣と定義した。同書では, 「科学, 数学, 技術に内在する価値観」, 「科学と技術の社会的価値」, 「一般的な社会的価値の強化」, 「科学や数学の理解に対する人々の能力と態度」, 基礎的な数学, 批判的思考, コミュニケーションに重点を置いたスキルに関する6側面に焦点を当てて解説していた。同書「第3章 技術の本質」⁽⁷⁾では, 技術は科学に依存し, かつ科学に貢献することが述べられている。科学研究と数学的モデルに最も密接に関係する技術の構成要素は, エンジニアリングであり, エンジニアリングの本質は, 制約下でのデザインとしている。

同時期に, 「思考の習慣」は, 「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」のみならず, 公教育, インフォーマル教育, ノンフォーマル教育において注目される。米国サクラメントのカリフォルニア州立大学教育学部のCosta (1991)⁽⁸⁾が提案した「答えが分からない時に賢明に行動するために役立つ16の思考の習慣」を, 表2に示す。

Costaは, 表2の(10)において, 「私たちは, 精神機能の改善に対する芸術と音楽の影響について, より多くのことを学んでいる。数学とエンジニアリングでは, 心のイメージを形成することが重要である。クラシック音楽を聴くと, 空間的推論能力が向上するようである。」と, 数学, エンジニアリングと思考の習慣との関係について言及していた。Costaは, STEM/STEAM教育の語彙は用いていないが, STEM/STEAM教育の重要性を意識して説明したと推察する。

表2 Costa(1991)⁽⁸⁾が提案した「答えが分からない時に賢明に行動するために役立つ16の思考の習慣」

- (1) 粘り強く取り組む。(2) 行動する前によく考える。(3) 理解と共感を持って, 相手の話すことに耳を傾ける。
- (4) 柔軟に考える。(5) メタ認知を働かせる。(6) 正確さと精度を追求する。
- (7) 疑問を持ち, 問題を提起する。(8) 過去に学んだことを新たな状況で生かす。
- (9) 明確に考え, 伝える。自分の考えの影響力を知る。(10) 全ての感覚を動員してデータを集める。
- (11) 新しい考えを生み出すために, 創造力, 想像力, 革新力を働かせる。(12) 世界の驚きと神秘を発見する。
- (13) リスクを冒す。(14) ユーモアを忘れない。(15) 一緒に考えて活動する。(16) 常に学び続ける。

2 「技術・エンジニアリングデザインプロセス」の概念規定

ITEEAのSTEL⁽³⁾での技術とエンジニアリングの概念規定を、表3に示す。

表3で留意したいのは、エンジニアリングデザイン(以下、ED)教育は、別府(2011:p.72)⁽⁹⁾が指摘するように「オープンエンドなプロセス」などではない。エンジニアリングが生み出した技術システムや技術製品を購入・使用するクライアントのニーズをかなえるための最適な設計解を生み出すプロセスである。そのため、ED教育の学習形態は、通常Problem Based Learning(以下、PBL)はなく、Project Based Learning(PjBL)である。

別府⁽⁹⁾は、EDは静的な技法や手法ではなく、動的なプロセスであり、エンジニアリングデザインプロセス(以下、EDP)と呼称した方が望ましいと述べ、筆者は同意見である。また、EDPは、反復的な(イテラティブ)プロセスである。本邦のED教育では、デザイン学習体験ありきで、EDPの各段階における思考習慣(方略)や手続き、テクニックや方法知が扱われないことがあるので留意が必要である。さらに、別府⁽⁹⁾は、「創成教育」とED教育との類似性と差異を深く論究しているが、本稿では紙幅の制約等があるために、今後、別稿で言及する予定である。創成教育については、日本工学教育協会(2005)⁽¹⁰⁾が創成教育特集号を刊行している。

本邦の大学工学部や高専等では、1990年代から日本技術者教育認定制度(Japan Accreditation Board for Engineering Education, 以下、JABEE)の受審が活発になり、ED教育は認定基準の一つであるために、ED教育を導入する大学や高専等が増加した。JABEEは、2005年にエンジニアリング系の高等教育プログラムを国際的に相互認証するワシントンアコード加盟の際に、ED教育の脆弱さと改善の余地があることを指摘されている。また、本邦では、1996年から8大学工学部長会議(Jeep)を中心として、ED教育の理念の検討がなされ、「ED教育」、「創成教育」、「工学設計教育」等と様々な名称で、本邦高等教育機関に導入されてきた⁽¹¹⁾。高等専門学校(高専)におけるED教育の実施状況は、角野⁽¹²⁾などがある。

ところで、EDは、表3に示したように、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設計プロセスの適用であるテクノロジカルデザインの一つである。米国と同様に、イングランドなどのイギリスは、1990年代までは義務教育段階における「デザインと技術科」では、エンジニアリング教育は高等教育段階で扱い、義務教育段階では、教科名を含むナショナルカリキュラムや指導資料、14歳~16歳生徒対象の教科書の語彙・文脈は、主として技術(テクノロジー)であり、エンジニアリングの語彙や文脈はあまり見られなかった^(13~14)。しかし、AAASの報告書⁽⁷⁾、NAE・NRC(2009)⁽⁶⁾の「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」やSTEM/STEAM教育の隆盛により、米国と同様にイギリスの「デザインと技術科」教科書において、エンジニアリングの語彙や文脈が見られるようになった⁽¹⁵⁾。本邦最大の技術教育の学術組織である日本産業技術教育学会(2021)⁽¹⁶⁾は、「次世代の学びを創造する新しい技術教育の枠組み」の中で、「技術的な問題発見・解決プロセスのトリプルループモデル(エンジニアリングデザインプロセス)」を提案した。AAASの報告書⁽⁷⁾の「第3章技術の本質」で詳述されたように、技術、エンジニアリン

表3 ITEEA(2020)⁽³⁾のSTELにおける「デザイン」、「デザインプロセス」、「エンジニアリングデザイン」の概念規定

デザイン(ITEEA, 2020: p.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(制作)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

デザインプロセス(ITEEA, 2020: p.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規準と制約条件を考慮したデザインの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(ITEEA, 2020: p.153)

効率的で経済的な構造、機械、プロセス、システムの設計、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

テクノロジカルデザイン(ITEEA, 2020: p.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設計プロセスの適用。最も顕著なのはエンジニアリングデザイン。技術デザイン、エンジニアリングを含む広い用語であるが、工業デザイン、グラフィックデザイン、ユーザー・エクスペリエンス・デザイン、建築デザイン、及びその他のデザインの下位専門分野も含まれる場合がある

プロブレム・ベースド・ラーニング(以下、PBL)(ITEEA, 2020: p.158)

生徒がオープンエンドの問題を解決する経験を通じて教科を学習する、生徒中心の教育アプローチ

プロジェクト・ベースド・ラーニング(以下、PjBL)(ITEEA, 2020: p.158)

生徒に現実世界の問題に焦点を当てさせ、実用的な解決策を考案させて、典型的には実践的な学習活動を含む教育的アプローチ

グ、科学、数学は相互不可分であり、技術の洗練度が深まれば、科学、エンジニアリング、数学との関連性がさらに強化される。そこで、本稿では、「技術デザインプロセス」と「エンジニアリングデザインプロセス」を分けて表記せずに、「技術・エンジニアリングデザインプロセス(以下、TEDP)」と表記することとする。

3 先行研究

CiNiiとGoogle Scholar等を用いた検索で、高校工業科「課題研究」の先行研究は、亀山ら⁽¹⁷⁾、井町・城⁽¹⁸⁾、長谷川⁽¹⁹⁾、日高^(20,21)、伊藤・木村⁽²²⁾などがあつた。しかし、同課題研究における「技術デザインプロセス」や「エンジニアリングデザインプロセス」に関する先行研究は、管見の限りなかつた。

筆者⁽²³⁾は、大学の教職科目「工業科教育法」の模擬授業に関する先行研究をレビューした。小出⁽²⁴⁾は、2017年度に、大学教職科目「工業科教育法Ⅱ」と「情報科教育法Ⅱ」を履修中の学生21人(各々14人、7人)を対象に、模擬授業実践プログラムで得られたデータの質的分析を実施した。小出は、シュルマン⁽²⁵⁾のContent Knowledge(以下、CK)、Pedagogical Content Knowledge(以下、PCK)、Pedagogical Knowledge(以下、PK)を援用し、CKを高めることを通してPCKを高め、それによってPKも高まるという仮説モデルに基づき、分析した。模擬授業実践プログラムは、①授業準備段階、②模擬授業段階、③協議会段階、④省察段階の4段階で行つた。小出は、南部⁽²⁶⁾の先行研究を援用し、学習指導案を分析した。一連の模擬授業実践プログラムで得られた学習指導案と自己評価票などのデータを、小出が分析した。学習指導案は、Gagnierら⁽²⁷⁾の9教授事象(学習者の脳内で情報が処理され、長期記憶として保持されて、知識として活用されていく過程に沿つた教授方略)と、Keller⁽²⁸⁾と稲垣・鈴木⁽²⁹⁾のARCSモデル[学習者の動機付けの向上と維持のために、享受者が取る行動を、注意喚起(Attention)、関連性(Relevance)、自信(Confidence)、満足感(Satisfaction)の4側面で捉えて提示する学習意欲向上のためのモデル]を基にした「授業パッケージの完成度」を援用して確認評価した。さらに、得られたデータを、CK、PCK、PKの視点から整理・分析・検討した。そして、授業実践力を高めるための学生の課題、指導教員の学生に対する課題、指導教員の授業内容に対する課題をまとめた。さらに、教職実践演習の質保証に向けた模擬授業の意義及び、大学と実習校の果たす役割について言及した。

斉藤・後藤⁽³⁰⁾は、これまでの社会科教育法関連科目の模擬授業研究の論文の特徴を整理、考察し、模擬授業を行う意図、位置付けによって4類型に整理した。しかし、社会科の目的や授業の理論との関連が希薄であつたり、理論から実践への有機的な繋がりを説明できていなかったり、何れも模擬授業の効果や意義を研究として検証できていない課題を明らかにした。この課題は、教員養成課程における模擬授業が、社会科教育研究の学問的な知見と、実際に授業ができることに関わる経験的・感覚的な知見との葛藤を表出する場であることを示唆していると、斉藤・後藤⁽³⁰⁾は指摘している。

4 「技術・エンジニアリングデザインプロセス」を導入した工業科科目「課題研究」の年間単元指導計画と学習指導案の作成及び、模擬授業

4.1 研究対象

本稿の研究対象となる授業科目は、筆者が2007年度から非常勤講師として担当している国立大学法人N大学及び、非常勤講師として2014年度よりN私立大学で担当している工業科教育法Ⅱ(講義2単位)である。同科目は、「教職課程コアカリキュラム」⁽³¹⁾に基づき、文部科学省の教職課程認定審査を受けている。同科目の2022年度シラバスを、表4に示す。既報⁽²³⁾で、筆者が担当している「工業科教育法Ⅰ」のシラバスを掲載した。工業科教育法Ⅱの中で、本研究では、解説⁽³²⁾の原則履修科目「課題研究」の年間単元指導計画と学習指導案の作成及び、模擬授業に焦点を当てる。

表4 2022年度N大学学部開設科目「工業科教育法Ⅱ（講義2単位）」の学習到達目標と学習内容〔 〕内は教職課程コアカリキュラム案の到達目標の項目番号

【学習到達目標】

- (1) 高等学校の教育課程全体の意義や編成の原則に留意し、工業科の原則履修科目「課題研究」における、Society5.0の実現を支えるSTEAM教育のプロジェクト・ベースド学習とエンジニアリングデザインプロセスの意義と重要性について理解し、説明できる [(1)-1), 2), 3), 4), 5)]
- (2) 世界の工業技術教育の現状を踏まえ、我が国の高等学校教育課程編成における工業技術教育の特徴と課題について理解し、説明できる [(1)-1), 2), 3), 4), 5), (2)-1), 2), 3), 4), 5)]
- (3) 工業科の科目「課題研究」の授業設計方略を理解し、単元指導計画及び学習指導案を作成できる。同「課題研究」の模擬授業と授業検討会を実施し、その振り返りを通して、授業改善の視点を身に付けている [(1)-1), 2), 3), 4), 5), (2)-1), 2), 3), 4)]

【学習内容】

- ①高等学校の教育課程編成における教科工業の原則履修科目「課題研究」と各科目のカリキュラム・マネジメント
- ②工業科「課題研究」とSTEAM教育、エンジニアリングデザインプロセス、EdTechによる学びの個別化・最適化
- ③工業科の特性に応じた情報通信技術の効果的な活用方法と、生徒の認識・思考、学力に配慮した授業設計への活用方法
- ④イギリスの工業技術教育と学習指導・授業設計論（エンジニアリング・デザイン思考）
- ⑤イギリスの工業技術教育と学習指導・授業設計論（中等教育修了資格試験16歳時試験と18歳時試験の課題）
- ⑥アメリカの工業技術教育と学習指導・授業設計論（プロジェクト・ベースド学習）、情報機器及び教材の効果的な利活用と、生徒の認識・思考、学力に配慮した授業設計法
- ⑦アメリカの工業技術教育と、科学、数学、ランゲージアーツ、リベラルアーツ、ファインアーツ教育との連携（STEM, STEAM: Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics）
- ⑧ドイツの工業技術教育と、数学、情報学、自然科学、技術との連携（MINT: Mathematics, Informatics, Natural sciences and Technology）
- ⑨シンガポールの工業技術教育 – デザイン思考、イノベーションの重視 –
- ⑩世界の工業技術教育の現状と、我が国の工業技術教育の特徴と課題
- ⑪教科「工業」の原則履修科目「課題研究」学習指導案作成の構成原理
- ⑫工業科「課題研究」学習指導案作成事例、情報機器及び教材の効果的な利活用と、生徒の認識・思考、学力に配慮した授業設計法
- ⑬工業科「課題研究」学習指導案の発表とワークショップ型授業検討会
- ⑭工業科「課題研究」模擬授業とワークショップ型授業検討会
- ⑮工業科教員専門職能発達論（学習指導・学習形態論、比較工業科教育論）

4. 2 学習指導案の書式

既報⁽²³⁾で報告した、筆者が担当している「工業科教育法Ⅰ」と同様に、「工業科教育法Ⅱ」で受講者が作成する学習指導案の様式は、2013年10月8日(火)第5・6校時に、熊本県立球磨工業高等学校機械科3年A組選択者(男子7名)の学習者に対して、篠崎ら⁽³³⁾が作成した科目「課題研究」の単元名「精密コマの制作」の学習指導案(細案)を参考にした。篠崎らの学習指導案の様式は、「1 単元名」、「2 単元について (1)単元観、(2)系統観、(3)生徒観、(4)指導観」、「3 目標と評価規準」、「4 単元指導計画」、「5 本時の学習 (1)目標、(2)展開」から構成される。筆者が担当する「工業科教育法Ⅰ」は、篠崎らの学習指導案の様式を用いている。「2 単元について (1)単元観、(2)系統観、(3)生徒観、(4)指導観」は、篠崎らとともに、過去の受講者の学習指導案と、インターネットで公開中の学習指導案を参考にするように指示した。指導観の次には、山崎⁽²³⁾の「表2 日本発STEAM教育からの教科等横断的指導の3視点」を加えた。「3 目標と評価規準」のうち、単元の目標は、1年間1単元構成であるために、解説の科目「課題研究」の表記に合わせた。「4 単元指導計画」の学習活動欄には、TEDPと「育成する能力」を明記するように、受講者に指示した。受講者に提示したTEDPと「育成する能力」を表5に示す。受講者には表5はあくまでも一事例であり、受講者自身による加除修正等が可能である旨の指示を徹底した。

表5のTEDPは、イギリスの14歳から16歳の生徒が使用する「デザインと技術科」教科書(Garratt, 1996)⁽¹⁵⁾を基に、筆者が一部修正し再構成した。表5の「育成する能力」は、稲葉ら(2005)⁽³⁴⁾を基に、筆者が一部修正し再構成した。

4. 3 評価規準、A基準・B基準の判別基準、ワークシートとアンカー事例の作成

解説の科目「課題研究」の目標を、文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター(2021:p.33)『「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 高等学校専門教科工業(以下、参考資料)』⁽³⁵⁾の観点ごとのポイントを踏まえて、評価規準を作成した(表6)。3観点の中で「知識・技術」については、TEDPの①-1から④の各プロセスで必要となる知識・技術に対応した評価規準を作成した。「思考・判断・表現」と「主体的に学習に取り組む態度」は、表6に示した評価規準を適用して、単元全体で見取ることとした。

表5 「技術・エンジニアリングデザインプロセス(TEDP)」と「育成する能力」

	技術・エンジニアリング デザインプロセス(TEDP)	育成する能力
①問題の発見と課題設定	①-1 状況【クライアントが、社会や生活の中でどのような問題を抱えているのかを発見し、クライアントの要求を把握する】	(1)調査・検索能力【特許検索・論文調査・社会ニーズの市場調査等ができ、社会の要求するテーマあるいはレベルを設定することができる】
	①-2 状況の分析【問題の解決に着手するに先立って、状況を分析し、問題が何かを正確に整理する】	(1)調査・検索能力 (2)問題抽出・検討能力【課題や構想を実現する過程で発生する問題(製作手法、製作材料、耐久性、経済性、安全性、倫理性、環境問題等)を予想・抽出し、実現可能なものかどうかを検討・判断できる】
	①-3 摘要の記述【問題が完全に理解できたら、デザインの摘要を記述する。摘要は、短い文章で、解決すべき問題の全般的な輪郭を提示するもの】	(3)企画・創案能力【調査・検索等に基づき、創造性溢れるテーマや企画などを提案できる】
	①-4 調査の実施	(1)調査・検索能力
②構想・設計	②-1 仕様の記述【問題を調査すると、必須の事柄(必要条件)に関してより深い理解が得られ、最終的に実現され得ることと関係するデザインの制約事項について理解が得られる】	(2)問題抽出・検討能力 (3)企画・創案能力
	②-2 可能ないくつかの解決法を実際に想定【いくつかのアイデアを実際に描き出す。思いついた独自のアイデアと調査で得られた情報を結びつけ、各アイデアをトレードオフすることで、よりよい解決法を見いだす】	(2)問題抽出・検討能力 (3)企画・創案能力
	②-3 望ましい解決法の提案	(2)問題抽出・検討能力 (3)企画・創案能力
	②-4 施工図と工程計画の準備	(4)設計・計画能力
	②-5 プロトタイプ製作 ②-6 デザインの試験と評価【プロトタイプを試験して、仕様で描いた必要条件と、クライアントの要求に対する最適解を導いているかを評価し、動作の信頼性、耐久性、安全性等を確認する】	(5)知識・技能取得能力 (6)協調・管理統率能力【プロジェクトの班員とクライアント等とのコミュニケーションを通じて、協調・管理統率ができる】 (7)実践能力 (8)継続的改善能力【継続して点検を欠かさず、計画を尊重しつつ創造性を発揮し、スパイラルアップを目指すことができる】
	③製(制)作	(5)知識・技能取得能力 (6)協調・管理統率能力 (7)実践能力 (8)継続的改善能力
④省察	(9)報告書作成・プレゼン能力 (10)省察能力	

TEDPの出典 文献(15) Garratt, J: Design and Technology Second edition, Cambridge University Press (1996), 高坂文雄(訳)・榮久庵憲司: デザインとテクノロジー, コスモス(2004)を基に, 筆者が一部修正し再構成

「育成する能力」の出典 文献(34) 稲葉成基他5名: 岐阜工業高等専門学校電気情報工学科におけるデザイン能力養成のための教育システム, 工学教育, 第53巻, 第1号, pp.89-93(2005)を基に, 筆者が一部修正し再構成

表6 科目「課題研究」の3観点の評価規準

知識・技術	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
工業の各分野について体系的・系統的に理解しているとともに、相互に関連付けられた技術を身に付けている	工業に関する課題を見いだすとともに、工業に携わる者として独創的に解決策を探究し、科学的な根拠に基づき解決策を検証し改善している	課題を解決する力の向上を目指して自ら学び、工業の発展に主体的かつ協働的に取り組もうとしている

A基準, B基準の判別基準, ワークシートとアンカー事例の作成は, 既報⁽²³⁾の工業科教育法Iと同様の方法で作成させた。

模擬授業と模擬授業検討会(カンファレンス)は, 既報⁽²³⁾の工業科教育法Iと同様の方法で実施させた。

5 おわりに

本研究の目的は、日本発STEM/STEAM教育連携の推進の視点から、大学の教職科目「工業科教育法Ⅱ」において、STEM/STEAM各学術分野の連携の鍵語であるTEDPを導入した科目「課題研究」の学習指導案作成と模擬授業の内容と方法を提案することであった。

本稿で考究した事項を5点に集約する。

- (1)1980年代までは、米国のエンジニアリング教育の学習対象は高等教育機関が中心であった。しかし、AAAS(1990)⁽⁷⁾の「すべてのアメリカ人のための科学-科学、数学、技術リテラシー目標に関するプロジェクト2061の報告書」により、幼稚園から第12学年まで一貫した科学、数学、技術リテラシー教育の重要性が指摘された。さらに、科学、数学、技術の連携軸となるエンジニアリング教育が注目されるようになった。
- (2)1990年代からのSTEM教育の隆盛を受けて、NAE and NRC(2009)⁽⁶⁾は「幼稚園から12学年のエンジニアリング教育」を提案した。同提案では、「エンジニアリング思考の習慣」が鍵語になり、EDPが一層注目されるようになった。
- (3)AAAS(1990)、NAE and NRC(2009)の提案を受けて、ITEEA(2020)⁽³⁾は、エンジニアリング概念の再定義を行い、従来の高等教育を中心としたエンジニアリング概念を、初等中等高等教育段階で一貫した概念に適用するために、ビッグE(名詞)、リトルe(動詞)の新概念を提案した。この理由として、初等中等教育段階を一貫したSTEM教育の一層の推進と、EDPが科学・技術・アーツ・数学教育の連携軸の役割を果たすことを表明したい意図がうかがえる。
- (4)1960年代からイギリスの初等中等「デザインと技術」教科では、TDPによるPjBL学習によるポートフォリオ作成が重視されていた。AAAS(1990)とSTEM/STEAM教育の隆盛を受けて、1990年代中盤からEDPが初等中等デザインと技術教科で扱われるようになった。日本産業技術教育学会(2021)⁽¹⁶⁾は、「技術的な問題発見・解決プロセスのトリプルループモデル(EDP)」を提唱した。内外の一連の動向を踏まえながら、本稿では、TEDP概念を提案した。
- (5)高校工業科「課題研究」におけるTEDPによるPjBL学習推進のために、学習指導案の単元指導計画の学習活動の文脈に埋め込むTEDPと育成する能力として、Garratt(1996)⁽¹⁵⁾と稲葉(2005)⁽³⁴⁾の先行研究を基に、一部修正し再構成した表を提案した。

最後に今後の課題を3点指摘したい。

第1点として、本稿では、紙幅の制約から、受講者が作成した学習指導案、ワークシート(アンカー事例付き)、カンファレンスで作成したジャムボードの付箋が紹介できなかった。別稿で分析結果を示し、考察について論じる予定である。

第2点として、別府(2011)⁽⁹⁾が指摘した高等教育段階における創成教育、工学デザイン教育等におけるオープンエンドの教育と、ED教育のゴールであるクライアントの要求と価値に向かって収束する最適な設計解との関係である。また、別府は、ものづくり教育とデザイン教育の観点の問題点を丁寧に論じている。今後の課題としたい。

第3点は、東京都をはじめとした全国の工業高校改革と、TEDPとSTEM/STEAM教育との関連である。東京都では、入学者数の低迷等の対策として、2023年度、全15校の工業高校の名称が全て「工科高校」に変わる(朝日新聞, 2023)⁽³⁶⁾。同記事では愛知県の工業高校改革についても紹介されている。周知のように、工業高校改革は、全都道府県の課題になっている。本小論で述べてきたように、欧米の教育改革がEDPとSTEM/STEAM教育重視に変化してきている。工業高校の今後の在り方については、学校教育に対する新たな社会的要請、学校教育のみならず、産業界・経済界等をはじめとした学校教育を取り巻く環境の変化、教育に関する最新の理論と実践を往還した研究成果等を勘案し、不断の見直していく必要がある。大学工学部や教員養成学部等の教職課程、工業科教員の継続的な専門職能発達等の種々の条件整備を考慮した総合的な検討を要する喫緊課題である。さらには、幅広い各界の人々や保護者等広く国民の意見を反映する必要がある。

謝辞

松江高等専門学校の別府俊幸教授には、ご多忙にもかかわらず兵庫教育大学神戸サテライトキャンパスにお越しいただき、エンジニアリングデザイン教育についての懇切丁寧なご指導をいただき、たいへん有益な意見交換を行いましたので、深厚なる謝意を申し上げます。

引用文献

- (1)山崎恭平・山崎貞登：STEAM教育と連携した「生物育成の技術」から「生物技術」に再編する教育課程基準の構成原理，上越教育大学研究紀要，第41巻，第2号，pp.473-482 (2022)
- (2)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)
- (3)ITEEA: Standards for Technological and Engineering Literacy - The Role of Technology and Engineering in STEM Education (2020)
- (4)山崎貞登・磯部征尊・大森康正・岡島佑介：国際技術・エンジニアリング教育者学会の前幼稚園から第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改定におけるSTEM教育連携強化の影響，科学教育研究，第45巻，第2巻，pp.128-141 (2021)
- (5)山崎貞登・岡島佑介・大森康正・山崎貞登：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.641-651 (2021)
- (6)National Academy of Engineering and National Research Council : Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects, The National Academies Press (2009)
- (7)American Association for the Advancement of science: Science for all Americans - A project 2061 on literacy goals in science, mathematics and technology Oxford University Press (1990)
- (8)Costa, L. A.: The Search For Intelligent Life, In COSTA, L. A. (Ed.) Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking: pp.100-106, Association for Supervision and Curriculum Development (1991)
- (9)別府俊幸：工学教育におけるエンジニアリング・デザイン教育，工学教育，第59巻，第4号，pp.72-79 (2011)
- (10)日本工学教育協会：創成教育特集号，第53巻，第1号，pp.1-117 (2005)
- (11)木村定雄・鷺見浩一：土木工学分野におけるエンジニアリングデザイン教育プログラムの開発と実践，土木学会論文集Ⅱ(教育)，第1巻，pp.123-134 (2009)
- (12)角野晴彦・黒田大介・堀内匡・藤田直幸・小林淳哉・市坪誠：高等専門学校(高専)におけるエンジニアリングデザイン(ED)教育の実施状況，工学教育，第59巻，第6号，pp.65-71 (2011)
- (13)山崎貞登・磯部征尊：イギリスにおける技術・情報教育の動向，pp.79-114, 森山潤・菊池章・山崎貞登(編著)・兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科共同研究プロジェクト(P)研究グループ：イノベーション力を育成する技術・情報教育の展望(所収)，ジアース教育新社 (2016)
- (14)Breckon, A. (Ed.), Fowler, P. and Horsley, M., Written in association with Lincolnshire County Council: COLLINS GCSE D&T, Collins Educational (1988) ISBN 0 00 322036 2
- (15)Garratt, J: Design and Technology Second edition, Cambridge University Press (1996), 高坂文雄(約)・榮久庵憲司：デザインとテクノロジー，コスモス (2004)
- (16)一般社団法人日本産業技術教育学会：次世代の学びを創造する新しい技術教育の枠組み21世紀の技術教育(改訂版)，日本産業技術教育学会誌，第63巻，第4号別刷，pp.1-23 (2021) https://www.jste.jp/main/data/New_Fw2021.pdf (2022年8月26日最終閲覧)
- (17)亀山謙治・深作貞男・大平典男・茂木好和・金城幸廣・工藤雄司・田原和彦：工業科における「課題研究」の実践的研究 - 実践内容・開発教材・生徒の反応を中心として -，筑波大学学校教育部紀要，pp.117-135 (1992)
- (18)井町豊志・城仁士：工業科「課題研究」に関する研究，神戸大学発達科学部研究紀要，第2巻，第2号，pp.239-254 (1995)
- (19)長谷川雅康：高等学校工業科の実験・実習内容の変遷に関する一考察：機械科・電気科の事例，鹿児島大学教育学部研究紀要，教育科学編，第56巻，pp.43-61 (2005)
- (20)日高義浩：工業科「課題研究」における学習成果に関する一考察～形態素解析による生徒の感想文を中心として～，教育情報研究，第25巻，第2号，pp.51-55 (2010)
- (21)日高義浩：工業科「課題研究」における学習成果に関する実践研究 - ITバリアフリーに焦点を当てた家電制御システムの開発，教育情報研究，第25巻，第4号，pp.29-36 (2010)
- (22)伊藤大輔・木村達也：高等学校工業科「課題研究」における生徒の学び - 京都府田辺高等学校の事例を手がかりとして -，活動理論学会『活動理論研究』，第4号，pp.51-60 (2019)
- (23)山崎貞登：STEAM教育からの工業科教育法の学習指導案作成と模擬授業の改善，上越教育大学教職大学院研究紀要，第10巻，p.269-279 (2023)
- (24)小出禎子：「教職実践演習」の質保証に向けた模擬授業の意義と課題：高等学校の教育実習前の「教科教育法」を中心に，愛知工業大学研究報告，第54号，pp.62-70 (2019)
- (25)Shulman, L.: Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform, Harvard Educational Review, 57(1), pp.1-22 (1987)
- (26)南部昌敏：教員養成大学における小学校教師としての授業設計能力を育成するための授業プログラムの開発と試行(1)，教職実践研究，第5巻，pp.67-73 (2015)

- (27) Gagne, M. R., Wager, W. W., Goals, C. K., Keller, M. J. (Eds.), 鈴木克明・岩崎信(監訳)：インストラクショナルデザインの原理，北大路書房(2007)
- (28) Keller, M. J., 鈴木克明(監訳)：学習意欲をデザインする ARCSモデルによるインストラクショナルデザイン，北大路書房(2010)
- (29) 稲垣忠・鈴木克明：授業設計マニュアルVer.2：教師のためのインストラクショナルデザイン，北大路書房(2015)
- (30) 齊藤仁一朗・後藤賢次郎：社会科教育研究としての模擬授業研究の展開と特質，日本教科教育学会誌，第45巻，第3号，pp.37-50(2022)
- (31) 中央教育審議会教員養成部会；「教職課程コアカリキュラム(令和3年8月4日 教員養成部会決定)」(2021)
https://www.mext.go.jp/content/20210810-mxt_kyoikujinzai02-000017343_3.pdf (2022年8月26日閲覧)
- (32) 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 工業編，実教出版(2019)
- (33) 篠崎毅・佐々木勇・児玉豊：高等学校第3学年(課題研究)学習指導案(2013)
- (34) 稲葉成基・北川恵一・羽淵仁恵・福岡大輔・西田鶴代・三代邦彦：岐阜工業高等専門学校電気情報工学科におけるデザイン能力養成のための教育システム，工学教育，第53巻，第1号，pp.89-93(2005)
- (35) 文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター：「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 高等学校専門教科工業 令和3年8月(2021) https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/hyouka/r030820_hig_kougyou.pdf (2023年1月29日最終閲覧)
- (36) 朝日新聞：工業高校刷新 名前も学びも(2023年1月9日朝刊教育面)

Creation of Lesson Plans and Micro-teaching that Introduces “Technology and Engineering Design Processes” in “Teaching Methods for Industrial Education”

Sadato YAMAZAKI*

ABSTRACT

To promote Japan’s science, technology, engineering, and math (STEM)/ science, technology, engineering, arts, and math (STEAM) education focus, this study examined the development of annual teaching and learning guidance plans for micro-teaching for industrial education in a professional teacher training university upper secondary focused course work project that introduces the ‘technological and engineering design process (TEDP).’ This study also investigated why the International Technology and Engineering Educators Association (ITEEA) redefined the engineering concept in the Standards for Technological and Engineering Literacy (STEL). It was found that this change was influenced by the 1990 American Association for the Advancement of Science (AAAS) report ‘Science for All Americans - The Project 2061 Report on Science, Mathematics, and Technology Literacy Goals’ and the ‘Engineering Education for Kindergarten through Grade 12’ report published by National Academy of Engineering (NAE) and National Research Council (NRC). To ensure progress in Japan’s STEM/STEAM education upper secondary school coursework project, it is recommended that a modified TEDP, which was first mooted in the design process introduced by Garratt (1996), and a proposed modified ability to develop a TEDP (Inaba et al., 2005) be developed.

* Natural and Living Science