

日本の中等技術教育の課題

－「工学」と技術教育との関連問題－

Problem on Secondary Technology Education in Japan:
Issue on Relation between Engineering and Technology Education

林 丈 晴¹ 上 里 正 男²
HAYASHI Takeharu UESATO Masao

要約：「技術（アール（Art）」の概念は、歴史的に、学問・芸術・工芸などの「自由な技術」と「機械的技術（Mechanical Art）」に分化した。それは、自然科学と密に関係して「科学化」され「工学」が誕生した。このような「科学化」は、学校における技術教育を可能にした。この「工学」と技術教育との関連問題から、日本の中等教育段階における技術教育の概念や、その「設計」教育と「工学設計」の関係を分析し、①普通教育では、戦前は「自由な技術」の工芸の影響を受け、戦後、技術の科学そのものを学ぶのではなく、技術の科学を援用する体験的活動へと転換され、「技術に関する科学や技能」が教育内容にはならないこと、②職業教育では、科学の理解に裏付けられない公式を扱うため「工学」の「科学」との関連に問題を残すこと、③諸外国でも戦前の技術教育は工芸の影響を受けたが、現在では、「技術の科学」である「工学」志向の教育へと転化されつつあることを明らかにした。

キーワード：中等技術教育、工学、科学、技術科教育、工業科教育

I はじめに

「技術」は、中世では職人層によって担われていた。それは、当時、言語や図では表されておらず、知識化されていない「暗黙知」であり、その伝承は親方の作業を弟子が真似をするといった経験的な方法によって行われていた。この暗黙知は、『百科全書』（1751-1772）において、作業の類似性として分析され科学化されることにより技術が知識化され、その「技術」における「技能」に関する教育は、後に手工教育における「要素作業」として現れた。さらに「技術」は、フランス革命期に「（製造）ものづくりの自然科学的基礎」として「テクノロジー」概念が誕生し、自然科学化された。また、同時進行で、エコールポリテクニクにおいて、生産技術に関する科学として数学や物理と密に関係した「工学」が誕生し、「技術」は「工学化」された。このように「技術」は科学化され、「誰にでも分かち伝える」ものとなり、19世紀後半に学校において技術教育が成立する背景となった⁽¹⁾。これら「誰にでも分かち伝える」ところの「技術」の「科学化」が、「学校における技術教育」を可能にしたことを考えると、学校における技術教育では、「技術」が「科学化」された「テクノロジー」・「工学」と「技能」を背景として教育されなければならない。現在、「工学」は、専門教育としての技術教育として主に大学工学部で担われている。

また、職業教育としての技術教育は、技術に関係する職業生活に入るための準備としての教育であり、戦前では、乙種工業学校が「技能」訓練を中心とした工員養成を目的に存在し、「技術教育の

¹ 科学教育講座 ² 山梨大学名誉教授

科学化」を志向した甲種工業学校が、「設計」教育を含めた中堅技術者養成を目的に存在した。今日、職業教育としての技術教育は、甲種工業学校の後継である工業高校が担っており、中堅技術者養成として専門教育の側面をもつはずである。しかし、中等教育における工業高校の専門科目は、大学の専門教育における工学に関係する専門科目の縮図のような編成となっており、「工学」に関する教育内容が希薄化されている。特に、1960年代前半に進学率が上昇した影響で、中卒労働者が枯渇し、工業高校生が技能工・生産工程作業員へ流れ、中堅技術者・技術員の養成との関係を乖離させた。さらに、1960年後半以降では、大学進学に有利な高校普通科志向により、工業高校生の学力が低下した⁽²⁾。この結果、工業高校では、実地の知識や即戦力のみが重視されるようになり、決められた作業手順を教育する傾向があった。総じて、職業教育では、工員養成のための技能訓練を行う傾向にある⁽³⁾。

技術教育は、すべての国民が、社会生活の基礎であり社会の発展を規定している技術の基礎を理解し、社会的諸関係を見通せることが不可欠であるから、普通教育にも関連する⁽⁴⁾。この普通教育としての技術教育においても、徒弟的伝承による「暗黙知」ではなく、「誰にでも分かち伝える」技術の科学として、「工学」や「テクノロジー」、その基礎となる「科学化された技能」を背景として教育されなければならない。これは、大学の専門教育としての「工学」の「基礎」にもつながる。日本の中等教育における普通教育としての技術教育を担うものとして、理科や数学が考えられるが、これらは技術教育固有の教育内容ではない。また、技術科は、高校段階にはなく中学校段階にしかない。そして、その技術科教育の成立には、後述する背景によって「工学」に関する教育へと接続しないばかりではなく、「技能」や「テクノロジー」の意味が、『百科全書』由来による「テクノロジー」と異なる独特の歴史的問題を教育内容に残すと指摘されている⁽⁵⁾。

このような中等教育段階の技術教育の現状において、その教育内容を再検討する動きが見られる。例えば、高校教育において、「工学」教育の必要性が指摘されているため、高校普通科への「工学」の基礎となる「テクノロジー」教科の導入の構想がある。また、大学工学部への接続を視野に入れた科学技術高校や「工科高校」などが設立されている。しかし、これらは、工業高校を改組する形で設立されたので、発想が旧来の職業教育であり、「工学」や「テクノロジー」が教育内容となっていない。そもそも中等技術教育における「工学」や「テクノロジー」の教育内容は明らかになっていない。専門教育における「工学」の教育において、その起源は、エコールポリテクニクの創始者であるモンジュ（1746-1818）の画法幾何学⁽⁶⁾に遡る。モンジュの画法幾何学は、機械要素の形状寸法を正確に表現することを可能にした。「長さ」が正確に表現されたことにより、機械は力を伝達するのではなくエネルギーを伝達するものとして捉えることが可能となり、その効率の観点から力学をベースに機械の形状決定（＝工学設計）がされるようになった。従って、工学の源流である機械工学では、形状寸法と力の関係におけるエネルギーの観点からの力学的分析に基づいた機械の「設計の科学」が重要である。

このように、技術教育の固有の教育内容である「工学」では、「設計」の科学が中心であるから、この「設計」の捉え方から、技術教育の教育内容を分析することが重要となる。しかし、日本における「工学」と専門教育との接続問題を検討した研究⁽⁷⁾はあるが、中等教育段階の技術教育との関連問題を、「設計」教育に焦点化して分析した先行研究は今のところ見当たらない。以上より、本研究では、「工学」と技術教育との関連問題から、日本の中等教育における技術教育の概念（以下の2章）を分析し、「設計」教育に焦点化した視点での、日本の中等教育段階（普通教育（2章）と職業教育（3章））における「設計」が大学の専門教育としての「工学設計」に接続しているかを検討する。次に、それら日本の技術教育の国際的位置づけを明確にするために諸外国における「設計」教育を分析する（4章）。また、これらとの関係より、高校への技術科の導入を中学校技術科の延長と

して構想している日本の技術科教育研究者が考える「設計」教育を、「工学設計」における高大接続の観点から分析する（5章）。

Ⅱ 日本の普通教育の技術教育の概念の分析

「技術」の概念では、ヨーロッパの科学技術史上、ものを表現する「アール（Art）」は、工場などでその「形状」と「寸法」を正確に表現する「Mechanical Art」と、芸術や手工芸としての美術的な構想・思想の表現する「Art」の意味がある。前者は技術教育の対象の対象となり、後者は美術工芸教育の対象となる。しかし、日本の明治初期では、「Art」と「Mechanical Art」は明確に区別されておらず、いわゆる「工芸」は、「工学的技術」である「Technology」との区別が不明確であった⁽⁸⁾。以下では、「Technology」を、多少のニュアンスの違いがあるが、日本語の「テクノロジー」の表記とする。産業革命以降には、この「Mechanical Art」は、「力学と強度」の関係から「形状」と「寸法」が決定（＝設計）されるようになった。よって、「Mechanical Art」を目的とする技術教育における技能教育では、機械に関する「形状」と「寸法」が正確に「設計」されるので、機械を製作するには正確な「要素作業」が基本となった。一方、「Art」を目的とする工芸品では、美術思想の表現として感性により、「形状」と「寸法」が自由に「構想」されるので、そこでは経験的に技能を習得する伝統的な方法、すなわち親方の仕事を見習いながら、目的とする物品の作り方を学ぶ「物品法」が基本となった。このように「Mechanical Art」と「Art」では、製作物の目的論が異なるため、その技能教育も異なる。そこで、「設計」教育への焦点化に先立ち、「工学」と技術教育との関連問題より、以下において、日本の普通教育としての技術教育の概念を「Mechanical Art」と「Art」との区別から分析する。

1 戦前の技術教育

日本では、19世紀後半、機械工業が未発達で道具の手作業である手工業が中心であった。そのような状況の1886(明治19)年に、手工科が誕生した。当時の手工科は、フランスの手工教育の影響を受けた「Mechanical Art」における製図と要素作業が中心であった。しかし、手工科は当時の観念的な「普通教育」概念のもとで、職業教育的な側面とされる科学技術教育的な「テクノロジー」や「工学設計」へ接続する「Mechanical Art」の側面よりも、次第に、フレーベル教育学の影響を受けた子どもの教育的な「創造性」等を重視するスウェーデンの工芸教育・美術教育の側面が強調されるようになり、「Art」の側面が強くなった。1941(昭和16)年に、「Art」の傾向のある手工科の後継の一つとして、国民学校初等科・高等科に「芸能科工作」が創設され、この傾向はますます強くなる。そして、この「Art」における「構想」の側面は、工芸教育的な戦後の図画工作科における「工作」として引き継がれた。

一方、1926(大正16)年に必修となった職業教育的な実業科工業では、明治期以来の手工科における「Mechanical Art」の軽視を補おうとし、要素作業が教育内容とされ「Mechanical Art」が重視されていた。そこでは、「力学」との関連における「設計」教育として、「工学」を教育内容にすることが目指されたが、初等後教育では高度な教育内容とされたために、「技能訓練」が教育内容の中心であった。この実業科工業の後継として戦後に中学校職業科が誕生したが、高度経済成長期における科学技術社会への対応のために、職業科と図画工作科の生産的部分を再編成する形で、技術科が創設されることになった。

2 技術科教育の成立

戦後の1947（昭和22）年には、実業科工業を引き継ぎ職業科が成立した。その職業科の学習指導要領の草案を作成していたのが、文部省教科書局実業科工業担当図書監修官である長谷川淳（1912年生、東京帝国大学工学部機械工学科卒）であった。その長谷川は、新制中学校職業科において「工学」を教育内容としようとした⁽⁹⁾。しかし、戦後当初の日本は、アメリカのGHQの教育政策指導の影響を受けざるを得なかった。そのアメリカの当時の技術教育は、ものづくりを通じてその技能や知識よりも、手を動かすことによる形態と美の感覚を発達させようとする北欧のスロイド教育⁽¹⁰⁾や、美術工芸運動の影響から、自主的表現やデザインを強調したマニュアル・アーツ（工芸）として広がっていた⁽¹¹⁾。このため、アメリカの技術教育は、日本の芸能科工作と共通項があった教科であったので、結果的に新制中学校職業科において「工学」を教育内容とすることができなかった。

その後、長谷川は、1953（昭和28）年に建議された「中学校職業・家庭科の改善について」（中産審第一次建議）の作成に関わった。それは、当時の職業科の教育では科学技術社会への対応ができないことから、近代的生産技術を対象とした「国民経済に全体像の技術的側面からの一般的理解」や「技術にひそむ原理や理解」を技術の教育によって与えようとするものであった。しかし、それは中産審第一次建議（1953（昭和28）年3月9日）には発表されなかった。その後、職業・家庭科の名称や内容の再編をめぐる審議である1958（昭和33）年1月8日職業教育課「中学校職業・家庭科改訂（案）」及び1958（昭和33）年3月15日教育課程審議会答申「小学校・中学校教育課程の改善について」では、「技術科」の設置が規定された。そこでの教育課程構想では、「近代技術」の理解など職業科工業の学習指導要領草案及び中産審第一次建議の基本を継承し踏襲するものであり、長谷川の構想がある程度反映されているものであった。しかし、「科学的原理の理解」（職業科工業学習指導要領草案）ないし「技術にひそむ原理や法則の理解」（中産審第一次建議）の弱点、すなわち、十分に技術の科学を教育内容としているものではなく、長谷川の論点であった「工学」が教育内容であるとは言い難いものであった⁽¹²⁾。

その職業・家庭科後の技術科の創設には、教育学者の細谷俊夫と長谷川の後任となった文部省職業教育課教科調査官である鈴木寿雄が中心に関わった。細谷は、20世紀前半のアメリカのデューイの教育学の影響を受けていた。デューイは、問題解決の過程において思考が働き、知識や技能が習得される生徒の生活や要求と無関係な知識を習得させることを批判した。このデューイの教授論を基礎に、現実の生活から取り出された活動を教育内容とする方法（＝プロジェクト法）が、キルバトリックにより提起された。細谷は、その影響を受け、経験や体験を重視し、技術科は「科学的知識を効果的に活用する合理的な態度を育成する教科」であるとして、プロジェクト法を採用した⁽¹³⁾。しかし、ここでの「科学的知識」は、プラグマティズムの「道具主義」によって、「科学」そのものよりも「科学の援用」による子どもの「活動」を優先した教育学的な問題解決型の経験的「活動」が重視された。また、細谷は、教科には、系統的知識を扱う理科のような内容教科と実用的製作活動を行う技能教科があり、図画や工作は実用的製作活動を主とする教科であるので、これらを内容教科ではなく技能教科として捉え、工作を引き継いだ技術科も「技能教科」であるとした。その「技能」の対象は、当時の「技術革新」を伴う科学技術社会への対応のため、技術科において伝統的な木工・金工の領域以上に機械・電気が重視されたことによって、「科学」と関連がある「技術の科学」よりも「作業能力」を重視した旧来の「技能」の傾向から、「科学を活用する能力」へと転換された。しかし、このような技術教育では、「Mechanical Art」の「技能の科学」との関係が希薄になるだけでなく、「科学を活用する能力」における「科学」そのものが教育内容にはならないので、「体験・経験」のみがプラグマティズム的教育の特徴として残り、「科学」の系統性のみならず、それ

と関係のある「技術の科学」である「テクノロジー」や「工学」には接続しなかった。また、細谷は、技術科が普通教育的になるために、実業科工業の伝統である徒弟訓練・職業教育的「技能訓練」を教育内容としなかったため、「要素作業」は一部しか取り入れられなかった。こうして、職業科にとって代わって1958（昭和33）年に創設された「技術科」と同時に、「Art」を重視する中学校美術科が創出された。技術教育の成立の歴史より、「Mechanical Art」に関連する「技術に関する科学」と「要素作業」を教育内容とする意義は明らかであったが、高度経済成長期における科学技術社会への対応では、その意義はますます強くなっていた。しかし、細谷のプロジェクト法では、「技術教育の目標は技能の習得だけでなく、産業等を合理的に処理する態度や習慣を養うことへと変化したから、技術習得のための練習を主とするべきでない⁽¹⁴⁾と断じたので、「Mechanical Art」の「要素作業」を教育内容にできなかった。この結果、現在の技術科における「技能」では、図画工作科の「Art」と職業科の「Mechanical Art」の区別が曖昧になった。

このように技術科は、十分に現代的な「工学」や「テクノロジー」に接続する「Mechanical Art」を重視する教育内容ではなかった。科学技術社会への対応のためには、その教育内容は技術の「科学」である「工学」や「テクノロジー」となるべきであったが、この技術科は、技術の「科学」を系統立てて教育する大学教育の「工学」や「テクノロジー」とは異なるものとなり、子どもは「技術の科学」を十分に理解できないこととなっていく。

先述の通り、1958年の学習指導要領では、「工学」が教育内容になったとは言い難いものの、長谷川の職業科工業学習指導要領草案および中産審第一次建議の基本を継承し踏襲するものであり、その構想がある程度反映されているものであった。しかし、1969（昭和44）年の学習指導要領では、1958（昭和33）年版にあった「近代技術」といった部分的に残されていた長谷川の影響による用語が消えて、細谷のプロジェクト法の影響が強まり、「技術科」では題材論が導入され、経験主義が温存された⁽¹⁵⁾。さらに、その題材の対象は家庭科との関連から、「家庭生活」に関連したものであることが重視され、産業機械などは対象から外れてしまい、この意味でも当初の科学技術社会への対応という目的から離れてしまった。

3 現在の「技術科」の学習指導要領

現行の中学校学習指導要領⁽¹⁶⁾でもプロジェクト法の影響を受けており、「実践的・体験的な活動を通して」や「課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通じて具体化し、」とされ、ものづくりの活動を教育内容としている。また、「題材など・・・生活や社会の中から問題を見いだして解決策を構想し、実践を評価・改善して、新たな課題の解決に向かう過程を重視した学習の充実を図ること」とされ、「題材論」の影響もみられる。このように、技術の「科学」ではなく「題材を中心とした活動」が「教育内容」とされている。

4 技術教育の「設計」

このように日本の普通教育としての技術教育は、「Mechanical Art」や「工学」との関係が希薄であったが、そこでの「工学」と技術教育との関連問題を詳細に明らかにするために、「工学」の特徴である「設計」に焦点化し、普通教育としての技術教育における「設計」がどのように捉えられているかを分析する。それでは、「Mechanical Art」と「Art」との関係から、技術教育と美術教育では、「設計」はどのように位置づけられたのであろうか。

(1) 美術科における「構想」

現行の美術科では、「構想」という用語が、「手工科」や「芸能科工作」の「Art」の側面を引き継

いでいる。中学校学習指導要領の美術では、その教育内容として「伝える、使うなどの目的や機能を考え、デザインや工芸などに表現する活動を通じて、発想や構想に関する・・・ができるよう指導する」とされている。また、「発想力や構想力」を育むために、「目的や機能」に基づいて「もの」を製作するとしている。ここでは美術思想の表現として感性により「形状」と「寸法」が自由に「構想」される「Art」の側面がみられる。ここにおいて、「手工科」や「芸能科工作」の「Mechanical Art」の側面における「設計」の捉え方と、「美術科」の「Art」の側面における「構想」の捉え方とは、分化した。それでは、技術科の創設では、「構想」と「設計」のどちらの捉え方がなされたのであろうか。

(2) 技術科の「設計」

鈴木の考案した題材論では、「題材」を通じた「計画・製作・整備」などの活動が想定された⁽¹⁷⁾が、この「計画」は、「Art」の「構想」の伝統を受け継いでいる。『学習指導要領（平成29年告示）』の分野の「1目標」には、技術分野の目標には、「課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通じて具体化し、」とある。この部分は、その教科の最も重要な目標の個所であるが、ここでも「設計」という用語がでてこないが、「構想」という用語が出てくる。同書の「2内容」では、「A材料と加工の技術（2）材料と加工の技術による問題の解決」では、「イ問題の発見と課題の設定、成形の方法などの構想と設計の具体化、製作の過程や結果の評価、改善及び修正」と書かれており、「設計」という用語も出てくる。しかし、例えば、技術科の木材加工における「本棚の製作」では、「設計」という用語がしばしば用いられるが、「形状」と「寸法」が正確に表されない等角図やキャビネット図によって製作物が主として「構想」されるため、寸法と形状を自由に決めることができる「Art」の側面があり、その製作は美術思想の表現として感性により寸法と形状を自由に決めることができる「Art」の伝統にすぎず、力学的強度や機能を考慮して寸法と形状が決められる「Mechanical Art」とは異なる。よって、日本の中等教育における普通教育としての技術教育の「設計」は、大学の専門教育としての力学的な分析に基づいた「工学設計」とは接続しない。このように「技能教科」とされる技術科では、「構想」と「設計」という用語が混在しており、「設計」では、「寸法・形状」における「力学」との関連が弱く、実質的には技術科の「木材加工」では図画工作教育の伝統である「構想」の側面が強かった。このため、技術科を設立した目的である科学技術教育ができなかった。

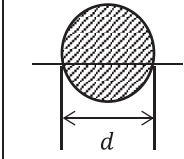
Ⅲ 職業教育における「設計」の捉え方

本章では、普通教育における「設計」と「工学設計」との関連より重要である職業教育を比較対象にして、日本の中等教育段階の職業教育の「設計」と大学の専門教育としての「工学設計」との接続関係を分析する。この分析のため、工学の源流である機械工学との関連から、工業高校機械科における「設計」に焦点化する。

工業高校機械科における設計演習は、座学には「原動機」があるが、エネルギーの種類の変化の伴う機械の設計は行われず、手巻きウインチ、減速歯車装置や豆ジャッキなどの動力伝達部の設計が行われる。このように動力伝達における機械要素設計が中心であり、機械全体の設計ではない点で、大学工学部における「設計」とは異なる。一方で、動力伝達部のエネルギー効率の観点からの力学的な分析に基づいた設計が行われる。さらにそこでは、加工を考慮した部品形状を決定することが求められるので、科学化された生産の技能を教育内容とする「機械工作」の知識も求められる。このように科学的な分析に基づいて、設計が行われる点では「工学設計」といえる。

しかし、その科学的分析に関して、現在の工業高校では、次に述べる分析⁽¹⁸⁾で示された通り、「与えられた公式に数値を代入して計算するだけの学習」⁽¹⁹⁾となってしまう側面がある。強度設計で重要な「はり」における応力 σ と曲げモーメント M との関係式に $M = \frac{\sigma}{y}I$ というのがある。 y は、はりの中立面からの距離であり、 I は、断面二次モーメントである。工業高校機械科の教科書⁽²⁰⁾では、 I については、科学的な説明がないまま、「 $\sum y^2 \Delta a$ を I で表せば・・・」と記述されているだけであり、例えば円形断面では表1のように示されている。

表1 工業高校の教科書における円形断面の面積 A ，断面二次モーメント I ，断面係数 Z の表示

	A [mm ²]	I [mm ⁴]	Z [mm ³]
	$\frac{\pi}{4}d^2$	$\frac{\pi}{64}d^4$	$\frac{\pi}{32}d^3$

このように、 $\sum y^2 \Delta a = \frac{\pi}{64}d^4$ となる説明が省略されているため、応力の計算に用いられる断面二次モーメントが、なぜこのように計算できるかということについての理解が重視されていないといえる。しかし、これらを理解させようとする高度な数学や自然科学の科学的知識を駆使しなければいけない。このように、工業高校では、「科学的知識に基づく技術的知識を理解できなくても使えばよし」とされる傾向があるため、中堅技術者としての十分な力が身につかないし、そのような科学的知識では、「科学」を基礎とする大学の「工学」へは接続できない。総じて、工業高校機械科の「設計」では、力学による分析を伴う「工学設計」でなければならないが、「科学」との関連問題を残す。大学の工学を学ぶ際に必要となる高校段階の科学的知識に基づく「技術的知識」が獲得されるには、高大接続の高校段階における大学の工学を対象とする「科学的概念」の「基礎」とは何かを、高校段階の理科・数学の「科学」の教科との関連から明らかにし、それに基づく工業高校における「技術的知識」独自の「科学的概念」の「基礎」との関連とは何かを明らかにする必要がある。それは、日本における新しい科学技術教育における高校段階の「技術の科学」の教育内容の開発にとっても重要である。

IV 諸外国の普通教育としての技術教育における「設計」の捉え方

本章では、日本の技術教育における設計の国際的位置づけを明確にするために、諸外国における現在の「設計」の捉え方を分析する。

イギリスでは、美術工芸運動が起き、現在の普通教育における技術教育においても、その影響が見られる。イギリスにおいて、日本の技術科に相当するDT(Design and technology)の教育内容⁽²¹⁾は、小学校段階では紙や布などを素材とする簡単な工作・工芸や粘土細工で、高校段階では、木材加工を主流としている。そして、技能や知識以上に設計・製作・評価の過程や方法を習得されることを重視している。また、問題解決学習における解決方法の「立案」の中に、「設計図の作成」が含まれているため、「設計」は、科学的な分析の伴わない芸術的デザインの「構想」に基づき行われるものと捉えられている。

アメリカでも、現在、普通教育としての技術教育は、美術工芸運動等の影響が残されているが、他方では、科学技術教育へと方向転換を図ろうとしている。アメリカの普通教育としての技術教育

は、手工科→工芸（マニュアル・アーツ）科→産業（インダストリ・アーツ）科という段階を経たが、1960年代になると、教育の現代化運動の一環として、産業構造の変化への対応から科学を重視するため、技術教育に「テクノロジー」教育を取り入れるべきという論調による教育課程開発が、これまでになく活発に実施された。その結果、「木材加工」「金属加工」「製図」などの伝統的な領域編成から、「コミュニケーション技術」「建築技術」「製造技術」「エネルギー/動力/輸送技術」という4領域に変化した。これにより、自然科学や数学との相関がはかられ、科学的概念の形成がより一層強調された⁽²²⁾。さらに、アメリカの「全米工学アカデミー」の将来展望的研究では、このような技術の科学を取り入れた「工学設計」を中等教育の技術教育に取り入れることを提唱している。一方で、同じアメリカのITEEA（国際技術・工学教育学会）では、設計・製作・評価の過程や方法を習得されることを重視している。ITEEAでは、技術の「設計」は、制約条件に基づき製品の形状などを「構想」することと捉えている。その上で、芸術の設計との区別を心象やアイデアの表現される点や制約条件が無い点とした⁽²³⁾。しかし、このITEEAの技術における「設計」の捉え方は、エネルギー伝達効率の観点による「寸法と力」の関連からの力学的分析に基づいて、形状決定をする「工学設計」とは異なり、形状や寸法を自由に決めることができる点で芸術における「構想」と同じである。

フランスのリセ（高校）の技術教育課程では、「技術バカロレア・工業科学・技術コース（STI）」があったが、このコースは、2010年にリセ技術教育課程の改革によって改訂されSTI2Dとなった。そこでは、高等教育進学を推進するためのよりよき準備という目的に沿って、共通科目のテクノロジー教育とオプションの特定専門科目に再編成された。共通科目のテクノロジー教育では、システムの構造及び機能を理解し説明することを目的とし、物理・化学および数学の授業と連携の上、実際に発生した技術的な問題の解決にモデルや分析法をどう活用するかを考えさせる。高等教育進学の準備として、技術の物理的・化学的・数学的基礎を重視している。そして、「設計」に関しては、これらをベースにしながらかモデルとシミュレーションという「システム工学」を重視する特徴がみられる。また、この「システム工学」は、大学専門教育への進学を主目的とするリセの普通教育課程「科学系バカロレア・エンジニア科学」科でも見られ、2010年に「エンジニア科学」は、応用科学の教育にとって代わり、「システム工学」が重視されるようになった⁽²⁴⁾。フランスの技術教育では、技術の科学が中等教育の教育内容として独自に位置づけられ既に教育実践されている。

アメリカのITEEAやイギリスのDTでは、技術教育が「Art」の側面を有する日本同様の問題がある。従って、科学技術社会に対応する技術教育の教育内容を開発するために参考となるのは、これらアメリカのITEEAやイギリスのDTではなく、中等教育に「工学設計」を取り入れようとするアメリカの「全米工学アカデミー」の研究や、技術の科学を中等教育の教育内容として取り入れているフランスの技術教育である。

V 日本の技術科教育研究者による「設計」の捉え方

本章では、日本の技術科教育研究者によって検討されている中学校技術科を延長して高校に技術科を導入しようとする構想において、その「設計」が大学の「工学設計」へ接続するかを分析する。

日本の技術科教育研究者の多くは、「エンジニアリング」について独特の捉え方をしている。例えば、大谷らは、平成8年9月東北大学、東京大学などの8大学（東北大学、東京大学など）工学部長懇談会による「工学における教育プログラムに関する検討委員会」の報告書の中の「工学とは数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問である」を引用して、ここでの工学

の目的である「快適な環境を構築する」という経験的「活動」が、プロジェクト法の影響を受けた学習指導要領の内容に合致するため、この経験的「活動」を教育内容とするべきであると考えた⁽²⁵⁾。また、アメリカのITEEAやイギリスのDTの例に、エンジニアリングを「活動」と捉え⁽²⁶⁾、「プロジェクト」による「設計」を推進している。

これらアメリカのITEEAやイギリスのDTを参考に、日本の技術科教育研究者によって検討されている中学校技術科を延長して高校に技術科を導入しようとする構想では、「工学」との関連からの技術の「科学」が教育内容となっていないため、科学技術社会への対応から育むべき能力である系統的な科学技術知識を習得することもできないし、大学専門教育でなされている技術教育には接続できない。

VI むすびにかえて

日本の中等技術教育の課題は以下である。

(1) 学校における技術教育では、「暗黙知」の徒弟的伝承ではなく、「誰にでも分かち伝える」技術の科学として、「技術」が「科学化」された「テクノロジー」、「工学」および「技能」を背景として教育されなければならない。現在、「工学」教育は、主に工学部が担っている。職業教育では、訓練的な技能教育の傾向があり、中学校の普通教育としての技術科教育は、歴史上「テクノロジー」教育と異質であると指摘されている。

(2) 「技術」の概念では、ヨーロッパの科学技術史上、ものを表現する「アール (Art)」は、工場などでその「形状」と「寸法」を正確に表現する「Mechanical Art」と、芸術や手工芸としての美術的な構想・思想の表現する「Art」の意味があった。「Mechanical Art」と「Art」では、製作物の目的論が異なり、「Mechanical Art」では、大学の専門教育としての「工学」に接続する基礎科学としての力学が伴うため、その技能教育にしても「科学的」か「芸術的」かで異なる。設立時の技術科は「技能教科」とされ、その「技能」の対象は「科学的知識を効果的に活用する合理的な態度を育成する」とされ、旧来の技術教育から「科学を活用する能力」重視へと転換された。しかし、そこでは「科学」そのものが教育内容とはならず、「科学」そのものよりも科学による子どもの「活動」を優先した教育学的な問題解決型の経験的「活動」が重視された。科学技術社会への対応のため技術科では、その設立時、「Mechanical Art」に関連する「科学」を基礎とする「技術に関する科学」と「要素作業」を教育内容とする意義は強くなっていたが、現在の技術科では、「科学を活用する能力」の「科学」そのものが教育内容にはならなかった。このため、「体験・経験」のみが残り、「Mechanical Art」に関連する「科学」を基礎とする「技術に関する科学」は軽視され、「要素作業」も教育内容にできなかった。

(3) 中等教育(普通教育と職業教育)と高等教育における「工学」の専門教育との接続問題構造を、「設計」教育に焦点化して分析した結果、美術科は「設計」に関して、美術思想の表現として感性により「形状」と「寸法」が自由に「構想」される「Art」の側面がみられ、「手工科」や「芸能科工作」の「Mechanical Art」の側面における「設計」の捉え方と、「美術科」の「Art」の側面における「構想」の捉え方とは、分化している。技術科の「設計」では、寸法と形状を自由に決めることができる「Art」の側面があり、その製作は美術思想の表現として感性により寸法と形状を自由に決めることができる「Art」の伝統にすぎず、力学的強度や機能を考慮して寸法と形状が決められる「Mechanical Art」とは異なる。よって、日本の中等教育における普通教育としての技術教育の「設計」は、大学の専門教育としての力学的な分析に基づいた「工学設計」とは接続しない。工業高校

の設計は、力学による分析を伴うため「工学設計」でなければならないが、「工学」の「基礎」と高校の科学との高大接続における関連問題を残す。

(4) アメリカのITEEAやイギリスのDTでは、技術教育は美術工芸運動等の影響から工芸的であった。一方、現代アメリカの「全米工学アカデミー」の将来展望的研究では、中高教育に「工学設計」を取り入れようとしている。フランスの技術教育では、技術の科学が中等教育の教育内容として独自に位置づけられ既に教育実践されている。将来の科学技術社会に対応する技術教育の教育内容を開発するために参考となるのは、これらアメリカのITEEAやイギリスのDTではなく、「全米工学アカデミー」研究やフランスの技術教育である。

(5) 現在の日本の技術科教育研究者は、高校段階の技術科を現在の中学校技術科の延長で構想しているが、その「設計」の捉え方は、アメリカITEEAやイギリスのDTと同じ傾向であり、大学の「工学設計」に接続しない。

普通教育としての中等技術教育は、芸術や手工芸としての美術的な構想・思想の表現する「Art」の側面から、「形状」と「寸法」の決定が「力学」との関連で重視されない「技能」教育となってしまった歴史的問題があった。そして、この「技能」教育は、戦後、「科学を活用する能力」を育むための体験的活動へと転換された。このような技術教育では、「Mechanical Art」の「技能の科学」ばかりでなく「技術の科学」との関係が希薄になるといった問題があった。それだけでなく、「科学を活用する能力」における「科学」そのものが教育内容にはならないので体験・経験のみが残り、「技術の科学」であるテクノロジーや工学には接続しなかった。現在、普通教育としての中等技術教育は、国際的に旧来の技術教育の捉え方が、大学の専門教育としての「工学」に接続する基礎科学すなわち「力学」との関連から、「Mechanical Art」の発展である「テクノロジー」教育や「工学」教育へと転換されつつある。日本の中等教育における技術教育は、この国際的な動向に遅れをとらないことが求められる。

註

- (1) 村上陽一郎『工学の歴史と技術の倫理』、2008年、pp. 21-51.
- (2) 斉藤武雄、田中喜美、依田有弘『工業高校の挑戦－高校教育再生への道－（第1版）』、学文社、2005年、p. 211.
- (3) 林丈晴、上里正男「工業高校における専門教育の分析－STEAM教育の高大接続教育内容の視点より－」『教育実践学研究（山梨大学センター紀要）』、第27号、2022年、pp. 195-210.
- (4) 佐々木享、近藤義美、田中喜美『技術科教育法』、1990年、p. 4.
- (5) 小川正賢「これからの科学技術リテラシー」『社会技術概論（第1刷）』、2012年、pp. 100-111.
- (6) 三枝博音『技術の哲学（第17刷）』、1973年、p. 107-109.
- (7) 前掲書（3）、pp. 195-210.
- (8) 前掲書（6）、pp. 109-113.
- (9) 丸山剛史「長谷川淳と普通教育としての技術教育の教育課程」『機械学会関東支部第6期総会講演会講演論文集』、2000年、pp. 99-100.
- (10) 横山悦生「教育的スロイド」の成立をめぐる『技術と教育（2）』、技術教育研究会、2004年、pp. 11-13.
- (11) 前掲書（4）、p. 53.
- (12) 前掲書（9）、pp. 99-100.

- (13) 細谷俊夫『教育方法（第4版）』、1991年、岩波新書、pp. 32-40、p. 105、pp. 214-225.
- (14) 同上書、pp. 214-225.
- (15) 佐藤史人、田中喜美、川村侔「中学校技術科学学習指導要領・指導書における題材概念について」『東京学芸大学紀要 6部門』、43、1991年、pp. 85-99.
- (16) 『中学校学習指導要領（平成29年告示）』、文部科学省、pp. 132-136.
- (17) 前掲書（15）、pp. 85-99.
- (18) 前掲書（3）、pp. 195-210.
- (19) 前掲書（2）、p. 276.
- (20) 林洋次、文部科学省2012年検定済教科書7実教（工業319）『機械設計1』、実教出版、2021年、pp. 122-127.
- (21) 前掲書（4）、pp. 59-60.
- (22) 同上書、p. 56.
- (23) 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』、国際技術教育学会、2002年、p. 110.
- (24) 上里正男「フランスにおける技術・職業教育と高等教育との接続問題－数学教育、エンジニア科学教育、リセ技術教育課程改革をめぐって」『現代フランスの教育改革』、フランス教育学会、2018年、p. 248-270.
- (25) 大谷忠、磯部征尊、谷田親彦「技術教育の視点から見たエンジニアリングの取り扱い」『科学教育学会年間論文集』、vol. 41、2017年、pp. 205-206.
- (26) 林丈晴、上里正男「STEM教育における技術教育と工学教育」『教育実践学研究（山梨大学センター紀要）』、第26号、2021年、pp. 81-94.