



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	科学・技術の急速な進展のもとで、学校教育は何をなすべきか：高校段階におけるSTEAM教育の推進の提起を適正に見る
Author(s)	大竹, 政美; Otake, Masami
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 140, 179-190
Issue Date	2022-06-25
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.140.179
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/86264
Type	departmental bulletin paper
File Information	11-1882-1669-140.pdf



科学・技術の急速な進展のもとで、 学校教育は何をなすべきか

— 高校段階におけるSTEAM教育の推進の提起を適正に見る —

大竹政美*

【要旨】 本論文の目的は、科学・技術の急速な進展のもとで、日本における学校教育は何をなすべきかを模索することである。

最近日本でも推進が提起されているSTEAM教育のT（技術）もE（エンジニアリング）も、自然環境を、人間が必要なものにもっと適合するように、変形する人間的活動という広い意味で使われる。エンジニアリングは開発者の側に限定されるのに対して、技術はユーザーの側も包含する。エンジニアリングの典型的な特徴の一つは、人間的・社会的制約への十分な注意である。

現在、人類社会は人類史的設計段階にさしかかっている。多様な地球規模の課題の登場が、人類社会のグローバルで長期的な設計を要請するようになっているのである。現代の人類史的な課題に取り組む力量と意欲を子どもたちにもってもらうには、現在の日本の学校教育を「システムの・持続可能性教育」に転換すべきである。教授のカギとなるのは、「拡大する意識」である。すなわち、（実在）世界における自己の意識の拡張を促すことである。

具体的には、技術（エンジニアリングを含む）に焦点を当てて、科学が利用可能にした自然現象との関連や、社会からの必要と社会への影響を考察する学習を、高等学校教育に組み込むことを提案したい。そのような学習では、「批判的意識」の形成が決定的である。その方法は、エンジニアリング設計の歴史的なケーススタディーの使用である。

【キーワード】 科学・技術、学校教育、STEM/STEAM教育、批判的意識、エンジニアリング設計、歴史的なケーススタディー

0. 本稿の課題

中央教育審議会「『令和の日本型学校教育』の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現～（答申）」（2021年1月26日）は、「第II部 各論」の「3. 新時代に対応した高等学校教育等の在り方について」で、具体的なあり方の一つとして「STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進による資質・能力の育成」を提言している。この答申では、STEAM教育の目的を、「科学技術分野に特化した人材育成」と「STEAMを構成する各分野が複雑に関係する現代社会に生きる市民の育成」という2つの側面に区別している。

STEAM教育の推進は、教育再生実行会議「技術の進展に応じた教育の革新、新時代に対応した高等学校改革について（第十一次提言）」（2019年5月17日）に始まる。この提言において、

* 北海道大学大学院教育学研究院

STEAM 教育は「Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics 等の各教科での学習を実社会での問題発見・解決にいかしていくための教科横断的な教育」とされている。

本論文では、広田 (2019: 3-5, 10-11) のいう、「学校教育の社会的目的」のうちの「有能な市民をつくり出すための装置」の側面に注目し、リベラル派の「市民形成のための教育の重要性」を主張する立場を選択して、論述していく。著者としては、「急速な技術の進展」のもとで求められている「資質・能力の育成」のために、日本における学校教育（普通教育あるいはむしろ一般教育に限定する）は何をなすべきかを、リアルな可能性を少しでももったものとして、模索してみたい。

1. STEM教育／STEAM教育

日本におけるSTEAM教育の動向を、森山 (2021) は、次のようにまとめている (p. 168)。

第1に、本来のSTEAM教育の考え方はSTEM+Aであったものが、日本ではSTEM教育についてはほとんど議論されず、STEAM教育のみへの着目が強い（米国とは逆の現象）。第2に、Aの捉え方が幅広く人社・理工・芸・体のあらゆる分野を含むArtsの場合と、芸術を主とするArt+Designの場合とが錯綜している。第3に、文部科学省等での公式な議論では、主として高校での文理融合の視点からSTEAM教育が検討されているのに対して、民間ではむしろ幼児教育や小学校などのより低年齢層を対象とした教育として議論されている。第4に、多くの場合、Engineeringは工学と訳されたため、これを担当する教科・領域が不明確になっている。結果として、STEM/STEAM教育においてT&Eを担当する技術教育の位置づけや役割、充実の方策等については十分な議論がされているとはいえないのが、現状である。

このような指摘を受けて、本節をSTEM教育に関する議論から始めることにする。

1.1 STEM教育とは何か

山崎 (2018) のいうSTEM教育の「第1期」(1957年の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」がもたらした教育改革運動期)はSTEM教育の前史と見なすことにして、「第2期」(1980年代後半から1990年代初頭に、アメリカ・イギリスを中心として始まる)のみを取り上げる。

STEM教育のSTEMは、科学 (Science)・技術 (Technology)・エンジニアリング (Engineering)・数学 (Mathematics) の頭文字語である。STEM教育の目的には、初等教育段階から高等教育段階までの一貫した・系統的な、国民素養としてのSTEMリテラシーの育成と、STEM系の専門職や卓越した人材の育成の両方がある。STEM教育は、1980年代後半から1990年代初頭にかけて、情報通信や運輸技術の急速な発達と普及によるグローバル化・情報化の進行に伴い、国際競争や産業競争が激化したことに起因している。各国が、経済成長のためには革新的な技術を核としたイノベーションが重要と考え、国家主導の技術政策が産業競争力を決するカギと認識した結果、教育政策競争が激化した。イノベーションによる新たな価値の創造とともに、イノベーションの舵取りのための国民全体の科学・技術リテラシー、テクノロジーアセスメン

ト（技術が及ぼす影響に関する事前評価）などのガバナンス能力の底上げが叫ばれた（山崎 2018: 34-35）。

STEM という頭文字語は不明瞭な用語であって、多くの相異なる解釈を持っている。一方の極端が「S+T+E+M」という解釈であって、いくつかの既存の教科が属する上位の用語にすぎないとするものである。もう一方の極端が「統合されたSTEM」であって、4つの教科すべてが溶け込んで一体となるという全体論的な解釈である（de Vries 2018: 11）。

本論文では、STEM 教育を「統合されたSTEM」の意味で理解することにする。

次に、STEM教育のカギとなる概念の規定を、磯部(2016: 134)にならって、ITEA (International Technology Education Association) [現在は、ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association) に名称変更している] の文書 *Standards for technological literacy: Content for the study of technology* (2000年版) の「用語解説」(pp. 236-242) で確認しよう。

「科学」(science) は「観察・観測、同定、記述、実験的追究、理論的説明を通じた自然界の研究」であり、「数学」(mathematics) は「数と記号を用いる、パターンと秩序の科学および量の測定・特性・関係の研究」である。

「技術」(technology) は、第1に「問題を解決し人間の可能性を広げるシステムを開発する知識とプロセスの生成を必然的に伴う、人間による行動のイノベーション」、第2に「知覚された、人間が必要なものと欲しいものを満たすための自然環境のイノベーション・改変・変様」である。「技術リテラシー」(technological literacy) は「技術を使用・管理・理解・評価する能力」である。

「イノベーション」(innovation) は、「現存する技術的な、産物・システム、何かをする方法の改善」である。

「エンジニア」(engineer) は「実際の問題を解決するための技術的・[数学と自然科学の]科学的な知識の訓練を受けていて、そのような知識を用いる人」であり、「エンジニアリング」(engineering) は「エンジニアという専門職、またはエンジニアによって遂行される仕事」である。「エンジニアリング設計」(engineering design) は「効率的・経済的な構造・機械・プロセス・システムの設計・製造・操作のような実践的な目的への科学的・数学的な原理の体系的・創造的な適用」である。

ここで、「エンジニアリング」と「工学」の区別を明確にしておきたい。

欧米の「エンジニアリング」は、日本の「工学」(=数学と自然科学の知識を活用する「学問体系」)とは異なり、エンジニアという専門職、エンジニアによる仕事を意味する(磯部 2016: 133, 135)。エンジニアリングとは、何よりもまず、「エンジニア」と呼ばれる専門職が行う人間的活動(de Vries 2016²: 9)なのである。

「エンジニアリング」と「技術」の同一性と区別にも注意されたい。

「技術」も「エンジニアリング」も、「自然環境を、人間が必要なものにもっと適合するように、変形する人間的活動」という広い意味で使われる。両者の違いとしては、第1に、エンジニアリングが開発者の側に限定されるのに対して、技術はユーザーの側も包含する。第2に、エンジニアリングが専門職の側を表すのに対して、技術は素人の側も表す(de Vries 2016²: 9, 94)。

したがって、技術教育の中でエンジニアリング教育も行われるということになる。

1.2 エンジニアリングの特徴

STEM教育におけるエンジニアリングの位置に関わることだが、エンジニアリングの典型的な特徴は、「モデル化の大いなる使用」・「測定と定量化の重要な役割」・「システム・最適化・トレードオフ等の抽象的概念の使用」, 「人間的・社会的制約への十分な注意」である。技術的装置がいかにかに作動するかどうかだけでなく、いかに人間や社会に影響するかも理解することが必要なのである (de Vries 2018: 16)。

直江 (2018) は、「市民形成」という視点から、「教養教育」を「大学教育の全般において専門分野の枠を超えて共通に求められる教育」・「社会の構築に参加していくための能力の育成」として高校までの教育との連続性において捉えなおす中で、技術者倫理を取り上げて、次のように述べている。技術は経済的な利害関係、政治的・社会的な関係のなかで一定の意味を担っている。技術者 [というよりはエンジニア] は、人々が技術にどのように関与し、技術が人々の生活形式に何を課すのかといった、技術に関わる実践的・公共的な問題に目を向けることが肝要である。「技術者 [というよりはエンジニア] であること」の基礎・中核に「市民として形成されていること」が置かれているのである (直江 2018: 39-42)。

中央教育審議会答申「『令和の日本型学校教育』の構築を目指して」でのSTEAM教育の目的の区別を用いれば、「科学技術分野に特化した人材育成」の側面には、「STEAM を構成する各分野が複雑に関係する現代社会に生きる市民の育成」の側面が浸透していると言える。

1.3 STEAMにおけるAの捉え方

STEAM教育は、STEM教育に、人間の個性や価値観を重視する「芸術」(Art)を加えた教育運動とされる。芸術には、美術・音楽・ダンス・演劇が含まれる。これは、新しいイノベーションでは、個人の価値観やセンスが設計の重要な要素となることに対応したものである (角 2018: 218)。

「違和感を起点に新しい設計を展開する」ことが重要なのである。「違和感」とは、「アレッ、おかしいな」というように、自分の知識体系の外から発信されて答えがわからないものである。その設計解が見つかり、社会が目新しいと感じる新商品が開発できる。欧米の大学では、工学部と芸術学部を融合させて設計の講義を始めているほどである (中尾 2016: 104-105)。

このような事情を背景として、STEAM教育のAが、中央教育審議会答申「『令和の日本型学校教育』の構築を目指して」でいう「デザインや感性など」という狭い範囲で捉えられることがある。

しかし、この答申では、結局は、Aを「芸術、文化、生活、経済、法律、政治、倫理等を含めた広い範囲」(Liberal Arts)で捉える立場を採っている。

後者の捉え方では、Aが、STEMがおおっている理系の諸教科に対する文系の諸教科を意味することになる。このように統合されたSTEAM教育に関しては、次のように述べておきたい。上の1.2で見たように、エンジニアリングの特徴の一つが「人間的・社会的制約への十分な注意」であることから、本論文では、STEAM教育を、文系の諸教科へと必然的に越境することによって拡充されたSTEM教育と理解することにする。

1.4 エンジニアリング教育・技術教育の一貫性の欠如

山崎 (2018) は、日本におけるエンジニアリング教育について、次のように指摘する (p. 35)。

日本では、初等中等教育における技術教育・エンジニアリング教育の意義や役割が十分に理解されていない。エンジニアリング教育は、大学段階では「工学教育」、専門高校段階では「工業教育」と呼ばれる。基本的に、大学段階で専門教育として実施するものと解釈されている。初等中等教育における技術とエンジニアリングの教育の一貫性が保たれていないのである。

次に、「普通教育としての技術・職業教育」が、「職業準備・職業向上のための専門的な技術・職業教育」および「労働の世界にかかわる人権教育としての職業指導」とともに「三位一体のもの」として保障されることが不可欠であるとしている「技術教育研究会」(坂口 2014: 21)の、日本における技術教育に関する指摘を見ておこう。

すべての子ども・青年のための普通教育としての技術教育は、グローバル・スタンダードでは、「技術・職業教育」(technical and vocational education)あるいは「技術・職業教育・訓練」(technical [and] vocational education and training)の一環として位置づけられている。ユネスコ(国際連合教育科学文化機関)は、ILO(国際労働機関)等と連携しながら、「技術・職業教育(・訓練)」の普通教育の部分を、「技術および労働の世界への手ほどき」(an initiation to technology and to the world of work)として行うことを求めてきた。日本では、いわゆる技術科、すなわち、中学校の教科「技術・家庭」の「技術分野」の教育がこれに当たる(坂口 2014: 10-11)。

世界的にみると、日本の技術科は特殊である。まず、技術科は、制度上、単独の教科ではなく、教科「技術・家庭」の一部である。しかも、教科「技術・家庭」は、中学校のみに設置された教科である(坂口 2014: 13)。

本節の冒頭に示した森山(2021)の指摘の第3は、教科(に準ずるもの)としての技術の教育が中学校段階にしか設置されていないことに部分的には起因すると考えられる。

2. 学校教育のあり方をどうするのか

森山(2021)は、日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会「新しい学術の体系—社会のための学術と文理の融合—」(2003年6月)を参照したうえで、「技術的問題解決をコアとしたSTEM/STEAM教育」を提案している(pp. 169-173)。

本節では、「新しい学術体系」委員会の委員長である吉田民人の「プログラム科学論」にまでさかのぼって、学校教育のあり方をどうすればよいかを考察する。

2.1 現代の学問に対する転換の要請への応答の試み

「設計」や「選択」をキーワードとする科学論として、吉田民人が提唱した「プログラム科学論」に注目する。

「プログラム科学論」は、ビッグバンから人間の世界へと進化する全自然の構成要素が「物質・エネルギー」と「記号情報」の二つであり、物質・エネルギー現象の科学である物理科学の秩序原理が「法則」であり、記号情報現象の科学である生物科学・人文社会科学の秩序原理が「プログラム」であると措定する。「近代科学」とは差異化された「現代科学」の新しい基本枠組みである、とされる。「記号情報とプログラム」は、さらに、生物的世界のDNA記号に代表される「シグナル記号情報とシグナル記号性プログラム」と人間的世界の言語記号に代表

される「シンボル記号情報とシンボル記号性プログラム」とに分かれる（吉田 2013a: 104）。

この科学論は、次のような要請に応えようとするものであった。現代科学は、二つの大きな転換を迫られている。一つは、「科学のための科学」から「人間と社会のための科学」へという動きであり、もう一つは、「自然科学と人文社会科学の接合と統合」あるいは「科学の総合化」である（吉田 2013a: 99）。

「人間と社会のための科学」へという第一の転換について言えば、「対象のありのままの姿を記述・説明・予測する」伝統的な科学を「認識科学」と再規定し、「対象のありたい姿やあるべき姿を計画・説明・評価する」科学（理系の工学や文系の政策科学・規範科学）を「設計科学」という科学の新形態として認知すべきだと主張している（吉田 2013a: 100-101）。

「科学の総合化」という第二の転換について言えば、「ディシプリン科学」（専門的学問 [= 個別科学]）に対して、社会的問題設定に対応して自由に構成される「自由領域科学」を提唱している。「inter/multi/trans-disciplinary な研究」は、失敗すれば、諸ディシプリンの寄木細工に終わり、成功すれば、「自由領域科学」となる、という。あらゆる社会問題を科学の内部に取り込む「自由領域科学」は、一般的な自由領域科学（女性学、地球環境科学、スポーツ科学、安全科学など）から一回的で個別的な自由領域科学（当面の一つひとつの具体的課題の解決など）まで、さまざまな規模のものを含みうる。認識科学的視点は欠かすことができないが、その前提にある科学外生的な社会問題設定からして、最終的には設計科学であることが要請されている（吉田 2013b: 110-112）。

吉田民人は、現在、人類社会が次のような「人類史的設計段階」にさしかかっていると主張している。第一に、多様な地球規模の課題の登場が、部分的に、人類社会のグローバルで長期的な設計を要請するようになったこと、第二に、そのグローバルな長期的設計に際して、ヒトを含む「生物一般の〈自然選択〉」の対極にある「人類固有の〈事前主体選択〉」が、その十全な機能の発揮を期待されるようになったこと、を特質とするような設計段階である。この種のグローバルで長期的な設計（例. 地球環境問題やエネルギー問題をめぐるシナリオ）には、「事後評価による経験科学的性の保証」という発想は、全面的には適用しがたい。こうして、合理的討議（再生産不可能な資源についての物理科学的知見、人類社会の機能的要件についての社会科学知見、人間の幸福についての人文科学的知見、等々）に基づく、「仮説的事実前提」（仮説的な認知情報と指令情報）および「仮設的価値前提」（仮設的な評価情報）についての事前の「問主観的〈決断〉」が要求される。事前の、自由で徹底した合理的討議の社会的機能が決定的に重要な時代に入ったのである。自然選択に始まる「設計の選択様式」が、ここまで進化してきたということである（吉田 2013b: 109-110）。

2.2 現在の学校教育のあり方をどう転換するのか

現代が直面している人類史的に大きな課題に大人の世代が取り組むのは当然として、これから大人になっていく子どもたちには、現代世界が抱える問題を「改善しようとする衝動と才能」をもってもらいたいという思い（広田 2009: 128）を、本論文の著者も共有する。

そのためには、現在の学校教育のあり方をどう転換すればいいのだろうか。さしあたり、Davis et al. (2015) の枠組みが参考になりそうである。

Davis et al. (2015) は、西洋のフォーマルな教育に次の4つの「契機」(moment) を認め、後続する契機は、先行する契機を引き継ぎながら、精巧なものにしていると認める (pp. 228,

235)。

契機1 標準化された教育：1600年代に始まる；事実・技能を教える

契機2 真正の教育：1900年代はじめに始まる；概念的理解を形成する

契機3 民主的・市民性教育：1960年代に始まる；意識化された参加を可能にする

契機4 システム的・持続可能性教育：1990年代に始まる；システムの意識を持てるようにする

第4の「システムの・持続可能性教育」を、日本の学校教育がめざすべきあり方と考えたい。

教授 (teaching) に関して、「システムの・持続可能性教育」は、個人・社会集団・文化・種・生物圏の健全さを志向している。教授のカギとなるのは、「拡大する意識」(enlarging consciousness)，すなわち、(実在) 世界における自己の意識の拡張を促すことである (Davis et al. 2015: 169)。

実は、学校教育のあり方に関するこのような提言は、環境科学教育に限定してではあるが、すでに高村・丸山 (1996) によってなされている。

高村・丸山 (1996) は、次のように主張する (p. 14)。

激動する社会情勢のなかで、ひとりひとりの人間が、深刻化しつつある地球環境問題を解決し、自然・人間・社会の総体としての持続的発展可能な未来の人類社会を正しく見通すことのできる科学的な認識能力を身につけ、人類の一員としての自覚を高めつつ、自分のはたすべき役割を的確に判断して主体的に行動できる人間を教育することが、環境科学教育の課題である [。]

この引用部分の「地球環境問題」は「人類史的に大きな課題」に、「環境科学教育」は「現代の学校教育」に一般化して追求すべきものと考えたい。

2.3 STEAM教育の推進の提起を受けて

上の1. と本節でこれまで考察したことから、STEAM教育の推進の提起をどう受けとめればよいだろうか。

本論文では、科学・技術 (エンジニアリングを含む)・社会の三者の間に強い結びつきがあると見て、技術 (エンジニアリングを含む) に焦点を当てて、科学が利用可能にした自然現象との関連や、社会からの必要と社会への影響を考察する学習を、高等学校段階で組織することを提案したい。そのような学習では、「批判的意識」の形成が決定的であると予想する。

技術リテラシーの定義に関わって、Dakers (2014) は次のように言う (pp. 2-3)。

技術教育の現状では、人工物と人工物を創り出すプロセスに関係する知識の発展に焦点が当たりすぎていて、技術に媒介された世界とそういう世界での生活を対象とした「批判的意識」(critical awareness) を子どもたちに発展させることが犠牲になっている。子どもたちの思考を、技術に媒介された世界で生活するとはどういうことなのかを対象とした批判的意識の発展に向けて導くことがぜひとも必要だというのである。

そのためには、技術 (エンジニアリングを含む) の何を上げればよいのかを考えなければならない。

Moore et al.(2020) の文献レビューによれば、STEM統合で最もよく見られるのは、ある

一つの技術を創造するのに科学・数学の諸概念の適用を必要とするようなエンジニアリング設計の難題を中心にSTEM統合の單元または授業を組み立てて、エンジニアリングをSTEMの構成要素をつなぎ合わせる接着剤とする、というものである (p. 8)。

de Vries (2016²) も次のように言う (p. 94-95)。

STEM教育に、「単一の活動にすべての要素が必須である」という意味で「本当の統合」をもたらす活動となりうるのは、「設計」というカテゴリーに属するものであるが、その中で、諸要素を「作為的」でなく「自然」に連結するのは、「改良され最適化されたデザイン」と「自然現象についての新たな知識」を結果としてもたらす「研究・開発」(Research and Development) モデルである。これは、「新たな人工物の開発」と「その人工物を作動させる(自然)現象の探究」を統合するものである。

さらに、de Vries (2016²) は、「歴史的なケーススタディーの使用」と「現代的なケーススタディーの使用」を提案している (p. 95-100)。

本論文では、前者の「歴史的なケーススタディーの使用」¹⁾ を採ることとする。この採択は、菅野 (2009) の、科学・技術の社会的意義を歴史教育で教えるべきだとする提起に部分的に応えるものであって、歴史学の目的が読者を思索に誘うことにあり、その効用が人間の社会的自己認識を深めることにあるとする見解 (遅塚 2010: 93-95) に拠っている。

3. 高等学校教育に「エンジニアリング設計」の歴史的なケーススタディーを組み込む

本論文の提案は高等学校段階の教育に関わるものであり、利用可能な制度的な枠としては、「理科」や「地理歴史」のいずれかの科目もありうるだろうが、「総合的な探究の時間」が最も無理がないと考えられる。「理科」と「地理歴史」の教師が協働して指導にあたることになる。

エンジニアリング設計の何らかの歴史的なケースを取り上げて、批判的に検討する際の基本的な指針は、次のようなものとなるであろう。

吉田民人の「プログラム科学論」によれば、設計は何らかの価値選択抜きには成立しないから、設計科学は価値問題を正面に据えることになる。しかし、設計科学を支えるいかなる価値命題も、究極的な妥当性や適合性を保証することはできない。そこで、設計科学は、価値命題の妥当性や適合性を状況相対的なものと捉えて、「価値選択の状況相対的な合理的根拠」を追究することになる。価値選択過程で道しるべとなるような「各種の」合理的根拠を求めるわけである。それぞれに合理的根拠をもった複数の相異なる価値選択の可能性を提示するということである (吉田 2013a: 104-105)。

当該のエンジニアリング設計に即して、価値選択の点から、当時の状況でどのようなリアルな可能性があったのかを生徒が出しあうような学習を組織することになる。

Keirl (2009) に従って、「意図」「設計」「実現」「使用」「帰結」の5つの局面に分けて、当時の時代背景に照らして検討するのがよいと考える。とりわけ、「意図」と「帰結」の間の乖離が問題になるだろう。

ここで重要なのは、実際に設計することを課すわけではないのだが、生徒を素人・ユーザーの立場だけではなく、専門職・開発者の立場にも立たせるということである。森山 (2016) の次の指摘 (p. 23) は、重く受けとめる必要がある。

何事もやってみなければわからない。社会を支える技術を批判的に論じても、自らが技術を生み出す工夫・創造の体験を持っていなければ、その批判は空虚であったり、ステレオタイプのであったり、実現可能性の低いものであったりする。まずは子どもに「エンジニアによる技術開発のプロセス」を教室の中で疑似的に体験させ、新しい製品やシステムを生み出すことの尊さと難しさ、大切さと面白さを実感させる。そして、同じ開発者の目線から社会を支える技術を見ることができるようになった時、本当の意味で技術を適切に評価、選択、活用、管理・運用することができるようになるのではないだろうか。

最後に、エンジニアリング設計の歴史的なケースを、「ハーバー・ボッシュ法」²⁾で例示しておく（これは、あくまでも例示にすぎない）。

ダートネル（2018）は、次のように説明する（pp. 323-326）。

20世紀で最も意味のある技術的進歩は、日々、じかに影響を及ぼす人間の数という観点からすれば、アンモニアを合成する手段であった。アンモニアと同族の窒素化合物である硝酸塩は、肥料と爆発物のどちらの製造にも欠かせない。19世紀末期の世界ではこれが不足していた。欧米各国は自国軍の武器弾薬を確保すること以上に、自国民が生き延びられるだけの十分な食糧を供給できるかどうかを憂慮していた。

地球の大気には窒素ガスが豊富にあるが、窒素ガスは知られているなかで最も反応しにくい二原子物質である。窒素を手の届く形状に変えて、「固定」するのは非常にむずかしい。

「ハーバー・ボッシュ法」では、地球の大気で最もありふれた気体である窒素と、宇宙全体で最も豊富にある元素の水素だけが原材料で、反応器のなかで1対3の割合で混ぜ合わせ、アンモニアを生成する。窒素に変化を促すには、二つの原子の結合を断ち切らねばならず、触媒が必要となる。さらに、窒素と水素の混合物をアンモニアに変換するには、反応器内の条件を高温（450°C前後）かつ高圧（200気圧前後）に保つことが必要である。反応器と配管のこうした極端な状態が、実施を厄介なものにしている。窒素固定の実践は熟練した工学技術のわざなのである。

今日、ハーバー・ボッシュ法によって生成された合成アンモニアから製造される肥料が世界の人口の1/3を支えている（ダートネル 2018: 327-328）。

他方、ハーバー・ボッシュ法によるアンモニア合成は火薬の生産や毒ガスの開発に転用され、また毒ガスの技術が農薬の生産に結び付いている（藤原 2022: 69）。

注

1) de Vries (2016³⁾)はその3章で、航空機の設計に関する歴史的ケーススタディーに基づいて、エンジニアリングの知識の諸々のタイプを記述しているVincenti (1990)を取り上げている。さらに、空気力学の歴史を飛行機の発展史と重ね合わせつつ追究した研究である橋本 (2012)も参照されたい。

2) 基本的な文献は、ハイガー (2010)である。

参考文献

- 磯部征尊. (2016). 「³教材」,
- 森山 潤ほか (編)『イノベーション力を育成する技術・情報教育の展望』, ジアース教育新社, pp. 132-145.
- 教育再生実行会議. (2019). 「技術の進展に応じた教育の革新, 新時代に対応した高等学校改革について (第十一次提言)」,
- https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaisei/pdf/dai11_teigen_1.pdf
- 坂口謙一. (2014). 「「技術および労働の世界への手ほどき」としての技術科教育を」,
- 坂口謙一 (編著)『技術科教育』, 一藝社, pp. 10-22.
- 菅野礼司. (2009). 「歴史家と科学史家が協力して歴史教科書をつくろうー科学・技術の社会的意義を歴史教育に」,
- 『日本の科学者』44巻2号, pp. 46-47.
- 角 和博. (2018). 「第5部 比較教育編」 「第1章 アメリカ」,
- 日本産業技術教育学会・技術教育分科会 (編)『技術科教育概論』, 九州大学出版会, pp. 215-220.
- ルイス・ダートネル. (2018). 『この世界が消えたあとの科学文明のつくりかた』, 東郷えりか (訳), 河出書房新社.
- 高村泰雄・丸山 博. (1996). 「地球環境問題と人間の未来」,
- 高村泰雄・丸山 博『環境科学教授法の研究』, 北海道大学図書刊行会, pp. 3-15.
- 遅塚忠躬. (2010). 『史学概論』, 東京大学出版会.
- 中央教育審議会初等中等教育分科会. (2020). 「新しい時代の初等中等教育の在り方 論点取りまとめ」,
- https://www.mext.go.jp/content/20200106-mext_syoto02-000003701_2.pdf
- 中央教育審議会. (2021). 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～ (答申)」,
- https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/079/sonota/1412985_00002.htm
- 直江清隆. (2018). 「教養教育と市民形成」,
- 山脇直司 (編)『教養教育と統合知』, 東京大学出版会, pp. 39-54.
- 中尾政之. (2016). 『続々・失敗百選 「違和感」を拾えば重大事故は防げるー原発事故と“まさか”の失敗学』, 森北出版.
- 日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会. (2003). 「新しい学術の体系ー社会のための学術と文理の融合ー」,
- <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18pdf/1829.pdf>
- 橋本毅彦. (2012). 『飛行機の誕生と空気力学の形成 国家的研究開発の起源をもとめて』, 東京大学出版会.
- 広田照幸. (2009). 『ヒューマニティーズ 教育学』, 岩波書店.
- 広田照幸. (2019). 『教育改革のやめ方ー考える教師, 頼れる行政のための視点』, 岩波書店.
- 藤原辰史. (2022). 「戦争と農業」,
- 塚原東吾ほか (編著)『よくわかる現代科学技術史・STS』, ミネルヴァ書房, pp. 68-69.
- トーマス・ヘイガー. (2010). 『大気を変える錬金術ーハーバー、ボッシュと化学の世紀』, 度会圭子 (訳), みすず書房.
- 森山 潤. (2016). 「技術リテラシーと技術・情報教育」,
- 森山 潤ほか (編)『イノベーション力育成を図る中学校技術科の授業デザインー子どもが小さなエンジニアになる教室ー』, ジアース教育新社, pp. 16-23.

- 森山 潤. (2021). 「技術教育の視点から見た教科架橋型教科教育実践学」,
菊地 章 (編) 『学びを広げる教科の架け橋－教科架橋型教科教育実践学の構築－』, 九州大学出版会,
pp. 149-175.
- 山崎貞登. (2018). 「第1部 目的・目標編」「第3章 これからの科学技術政策」「3. 他教科などとの関連」,
日本産業技術教育学会・技術教育分科会 (編) 『技術科教育概論』, 九州大学出版会, pp. 31-36.
- 吉田民人. (2013a). 「コミュニケーション学研究科はすごい！－その三つの理論的・実践的意義」,
吉田民人論集編集委員会 (編) 『社会情報学とその展開』, 勁草書房, pp. 71-106.
- 吉田民人. (2013b). 「大文字の第二次科学革命－二一世紀の科学と社会」,
吉田民人論集編集委員会 (編) 『近代科学の情報論的転回 プログラム科学論』, 勁草書房, pp. 69-118.
- Dakers, J. R. (2014). Defining technological literacy. In J. R. Dakers (ed.), *Defining technological literacy: Towards an epistemological framework* (pp. 1-7). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Davis, B. et al. (2015). *Engaging minds: Cultures of education and practices of teaching*. New York: Routledge.
- de Vries, M. J. (2016²). *Teaching about technology: An introduction to the philosophy of technology for non-philosophers*. Dordrecht: Springer.
- de Vries, M. J. (2018). The T and E in STEM: From promise to practice. In M. J. de Vries et al. (eds.), *Research in technology education: International approaches* (pp. 11-19). Münster: Waxman.
- International Technology Education Association. (2000). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston: ITEA.
- Keirl, S. (2009). Seeing technology through five phases: A theoretical framing to articulate holism, ethics and critique in, and for, technological literacy. *Design and Technology Education: An International Journal*, 14 (3), 37-46.
- Moore, T. J. et al. (2020). STEM integration: A synthesis of conceptual frameworks and definitions. In C. C. Johnson et al. (eds.), *Handbook of research on STEM education* (pp. 3-16). New York: Routledge.
- Vincenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it*. Baltimore: The John Hopkins University Press.

**What schooling should do under the rapid progress of
science and technology:
Taking a proper view of the proposed promotion of
STEAM education in high school education**

OTAKE Masami

Key Words

science and technology, schooling, STEM/STEAM education, critical awareness, engineering design, historical case study

Abstract

This paper aims to explore what schooling in Japan should do under the rapid progress of science and technology.

In the recently proposed promotion of STEAM education, the terms “technology” and “engineering” are used in the broad sense of the human activity that transforms the natural environment to make it fit better with human needs. The latter is confined to the development side, while the former also encompasses the user side. One of the typical characteristics of engineering is ample attention to human and social constraints.

Currently, human society is approaching the stage of human historical design. The emergence of various global challenges demands global, long-term designs of human society. In order for children to have the ability and motivation to tackle the contemporary human historical issues, schooling in Japan should be transformed into "Systemic Sustainable Education". A key element of teaching is "enlarging consciousness" - that is, prompting expansive awareness of oneself-in-the-world.

Specifically, I propose incorporating into high school education learning to critique technology (including engineering) in relation to the natural phenomena made available by science and the needs of and impacts on society. In such learning, the development of a critical awareness is decisive. The method is the use of historical case studies of engineering design.