

アメリカ合衆国の普通教育としての技術教育教科書の研究(その3)

——『設計・技術・工学の探求』におけるデザイン・設計分野の部分を中心に——

A Study on Textbook of General Technology Education in the United States (3): Focusing on the Contents Relating to Design in *Exploring Design, Technology, & Engineering*.

横尾恒隆¹、柴田隼人²、上里正男³

¹横浜国立大学教育学部、²横浜国立大学学生、³山梨大学名誉教授

¹Yokohama National University School of Education,

²Student, Yokohama National University,

³Professor emeritus, University of Yamanashi

はじめに

2017年に出された中学校新学習指導要領では、中学校技術科に関して「問題解決」が強調されている。その方針について、「製作」よりも「設計」を重視するものとなったと指摘されている。それは、一つには生徒たちが身に付けるべき「能力・資質」に関して、「知識、技能」のみならず、「思考力・判断力・表現力」、「主体性・多様性・協働性」育成を重視するという同指導要領の全体的な方針を反映していると考えられる。こうした設計重視の方針に対して、知識、技能の軽視につながるものとの批判が出されている。しかしその一方で教育現場において、設計の要素を重視する実践例もあることは無視できない。

また普通教育としての技術教育をめぐる世界的動向を見ても、1980年代以降「設計プロセス」を重視する傾向が出てきたことが、指摘されている¹⁾。その傾向は、2000年以降に顕著になっている。アメリカ合衆国（以下アメリカ）の場合、それは『技術リテラシーに関するスタンダード』²⁾ (*Standards for Technological Literacy, 2000*、以下『スタンダード』)で顕著にみられる。先行研究でも、①欧米諸国の普通教育としての技術教育において設計に関する内容の重視、②アメリカにおける先述の『スタンダード』における設計重視の傾向のあることは、すでに指摘されている³⁾。しかしこれらの研究においては、欧米諸国における設計に関する教育の具体的な内容についてほとんど解明されていないように思われる。

本稿では、アメリカに焦点を絞り、『スタンダード』に加え、その影響を受けた教科書の1つである『設計・技術・工学の探求』⁴⁾ (*Exploring Design, Technology, & Engineering, 2012*、以下『探求』)の設計に関する部分を分析し、その内容上の特徴を解明する。同時に、それ以前から使用されている教科書、さらには最近の教科書でありながら『探求』と異なる特徴を示している『工学への門戸』⁵⁾ (*Gateway to Engineering, 2010*)と比較し、当該部分に関する同書の特徴を明らかにする。

1. 学習指導要領における設計の位置づけと教育現場における設計を重視した実践の出現

日本の中学校技術科では、発足以来、「考案・設計」を重視する「プロジェクト法」的な教育方法が採用され、知識・技能の習得が軽視されているとの批判を受けてきた⁶⁾。ただし2008年に出された現行学習指導要領⁷⁾では、指導項目が、「・・・について知ること」、「できること」、「・・・について考えること」というような形で、技術の科学、技能、技術観に対応する形で整理され⁸⁾、学習指導要領の上では、「プロジェクト法」的な教育方法を採用することは明確ではなくなった（ただし国内で採択率の高いK社、T社の検定教科書では、「製作品の構想」などの形で、生徒自身が製作品についての考案・設計をする「プロジェクト法」的な教育方法を取ることが前提とされている⁹⁾）。

一方、2017年に出された新学習指導要領では、「問題解決」を重視するという形で、「プロジェクト法」的な教育方法を前面に出している。同指導要領では、先述のような「主体的・対話的で深い学び」という全体的な方針に対応して、「材料と加工の技術」、「生物育成の技術」、「エネルギー変換の技術」、「情報に関する技術」の各単元において、①「・・・調べる活動」、②「・・・解決する活動」、③「・・・考える活動」という形で、生徒の活動を中心に学習を進めることにしている¹⁰⁾。

これらのうち②の「・・・解決する活動」では、設計に関する活動を重視している。上記の4単元のうち、「材料と加工の技術」と「エネルギー変換の技術」では、②について、「生活や社会における問題を〇〇の技術によって解決する活動」として、「問題を見いだして課題を設定し、・・・を構想して設計を具体化する」こと、さらには製作の過程や結果の評価、改善及び修正について考えることを挙げている¹¹⁾。

こうした「問題解決」や設計を重視する方針については、「技能習得」よりも「設計」を重視したものだとは指摘されている¹²⁾。坂口謙一は、これらの方針が、安倍政権による「成長戦略のカギ」となる「イノベーション」を担うことのできる人材、すなわち「新たな価値を生み出していく」ことができるその育成を目指すものだとは指摘している¹³⁾。

しかし上記のように生徒の活動を重視する指導方針に対しては、知識・技能の習得を軽視したものだとの批判が出されている。こうした批判は、基本的には妥当なものだと考えられる。他方で、これまで学習指導要領に捉われず教育実践を進めてきた現場教師たちのなかに、最近設計に関する指導を重視する動きが出始めたことも事実である。その背景には、3Dプリンタやレーザー加工機などコンピュータ制御で作動する工作機械の利用が容易になったことによる「デジタル・ファブ리케이션」出現が指摘されている。またそれによって、これまで大量生産に依存してきたものづくりが、個人レベルで手軽できるようになる環境が生まれつつあるという議論もある¹⁴⁾。（こうした議論については、今後一層の検討の必要性があるが）。

設計の位置づけを重視した教育実践の一例としては、川俣 純（つくば市立竹園東中学校）のものを挙げるができる。川俣は、①中学校1年生の木材加工の授業で、上級生の作品

を参考にしながら、生徒たちに自分自身の工夫を加えた形で設計をさせる実践、②3年生最後の授業で、生徒たちに身近な製品の改善策をグループごとに検討させ、発表させるというそれを行っている¹⁵⁾。一方沼田和也は、テーブルタップを実習で製作した後、生徒たちに「次世代のテーブルタップについて考案」等の活動に取り組ませている¹⁶⁾。

一方先述のようにアメリカをはじめとする欧米諸国では、普通教育としての技術教育において設計に関する指導を重視する動きが顕著になっている。今後日本の技術科教育においてどのように設計を指導するかについて検討する際に、これらの諸国の動向を無視することはできないであろう。本稿では、アメリカに焦点を絞り、同国の技術教育における設計に関する部分の取扱いについて検討する。

2. アメリカの普通教育としての技術教育における設計に関する内容の変遷

2-1. アメリカにおける普通教育としての技術教育の目的・性格や教育内容の変遷

まずこの国における普通教育としての技術教育の目的・性格や教育内容編成の変化について述べる。すでに指摘されているように、1980年前後に同国の技術教育は大きく変化を遂げ、「製図」、「木材加工」、「金属加工」などの領域から構成され、実習室での作業を通じた道具、機械の使用技能の習得が重視された「産業科」(industrial arts)から、「通信技術」、「建築技術」、「製造技術」、「エネルギー／動力／輸送技術」といった内容から構成され、「産業科」よりも、①自然科学や数学との相関を図り、②科学的概念の形成を重視した「技術科」(technology)に移行した¹⁷⁾。

こうした方向性は、2000年以降になると一層顕著になっている。その例としては、①先に触れた『スタンダード』に加え、②「プロジェクトが途を先導する」(Project Lead the Way、以下 PLTW)を挙げることができる。まず前者は、ITEA (International Technology Education Association、国際技術教育協会。現在の国際技術・工学教育者協会、International Technology and Engineering Educators Association (略称 ITEEA))より出されたもので、後述するように、デザイン・設計を重視する特徴に加え、従来からの内容に、「医療技術」、「バイオテクノロジー技術」などの内容を加え、技術教育の内容の範囲拡大を志向している¹⁸⁾。一方後者の下で編集されたミドル・スクール用の教科書『工学への門戸』(*Gateway to Engineering*, 2010)は、デザイン・設計→エネルギー→電気・電子→生産システムという内容構成になっており、全体的に製造技術に関する内容を重視している¹⁹⁾。

2-2. アメリカにおける普通教育としての技術教育における設計に関する内容の変遷

つぎに設計に関する内容の歴史の変遷についてみることにする。まず「産業科」時代の特徴を示す教科書の1つである『一般産業教育』(*General Industrial Education*, 1988)は、木材加工での板材の切断やカンナがけなど道具等の使用に関する技能習得を重視しているけれども、「製図」(drafting)の領域でも、①三角定規、製図板、コンパス、T定規のような製図用具の使用法、②図面に使用する文字や数字の表記法、③断面図、斜投影図、等角投

影図、透視図の作成法等、図面の作成法に関する知識やそれに関する用具の使用法に関する技能の習得を重視している。また木材加工の領域では、製作物等の「プロジェクト」の選定、その製作物に関する製作図の作成等の説明がなされている²⁰⁾。しかし同書では、基本的には図面作成の技能習得が重視され、設計の観点が重視されているとはいえない。

一方「技術科」時代の特徴を示す『技術：今日と未来』(*Technology: Today and Tomorrow*, 1988) は、光ファイバー、コンピュータや半導体など、先端的な技術に関する説明も重視している一方、製図に関する内容は、「通信」領域の一部として位置付けられている。そこでは、等角投影図、斜投影図、透視図、正投影図といった図法の説明等が含まれている。しかし先述の『一般産業教育』と比べ、それぞれの図法についての説明は原理が中心で、実際の作成法には重視されていない(ただし同書に掲載された実習に関するページでは、図面の作成方法が重視されている)。また「通信」の分野に含まれていることにもみられるように、図面については情報伝達の側面のみが強調され、設計の観点は重視されていない²¹⁾。

以上のように「産業科」時代でも、また「技術科」になってからも、製図に関する内容が位置付けられてけれども、設計の観点は重視されていなかったと考えられる。設計が重視されるようになるのは、『スタンダード』提出以降のことである。以下では、『スタンダード』、及びその影響を受けた『探求』における設計に関する部分を検討する。

なお上記の2者では、設計に関する用語として“design”が使用されている。この用語は、「デザイン」と「設計」の双方の意味を含むものとして使われており、本稿では、それに対して「デザイン・設計」という訳語を使用する。一方“engineering design”という用語は、製品等の設計等、工学に関する設計の意味で使用されているので、それには「工学設計」の訳語を使用することにする。

3. 『スタンダード』²²⁾における「デザイン・設計」に関する内容の分析

『スタンダード』では、「設計・デザイン」が重視され、それに関する内容には、全8章中1章、到達目標として示された20の「スタンダード」のうち3つ、頁数で見ると本文220頁中23頁(約10.5%)が充てられ、一定の比重を占めている。本稿では、『スタンダード』の第5章「デザイン・設計」(65~112頁)のうち、デザイン・設計に直接関わる「スタンダード8」(デザイン・設計の特徴)、「スタンダード9」(工学設計)を主たる分析対象とする。

まず第5章の最初の部分では、デザイン・設計に関する基本的な考え方を示している。それは、デザイン・設計が、技術的な開発における問題解決の中心的な過程であり、その意味で技術の基本をなすことである。この部分では、デザイン・設計の過程の学習、さらには各々の過程における手順、方法に関する知識の習得を意図している(90頁)。

3-1. 「スタンダード8」(デザイン・設計の特徴)(93~98頁)の内容の分析

つぎに「スタンダード8」の学習内容についてみることにする。ここでは、幼稚園から日本の高校3年生に相当する第12学年の各学年を、現在アメリカの学校制度で主流になって

いる5-3-4制に合わせて、「幼稚園から第2学年」、「第3～5学年」、「第6～8学年」、「第9～12学年」の4つの学年段階に分け、それぞれの到達目標を示している。これらの学年段階のうち第8学年までの各段階では、「デザイン・設計とは何か」、すなわちそれが「製品やシステム（の開発）を導く創造的な計画の過程」であること（第6～8学年）、その必要条件が、「基準と制約によって構成される」（同左）こと等についての理解を重視している。

一方第9～12学年については、デザイン・設計に関する留意事項を理解させることも重視されている。その例としては、①一度決定したデザイン・設計に関するアイデアが最終的なものではなく、再検討し、改良する必要があること、②基準や制約、効率性といったデザイン・設計に対する要求条件が、相互に対立する要素になる場合もある等の事項などが挙げられている。

さらにこの段階では、デザイン・設計の過程及び各過程の手順と方法についての理解を重視している。それについては、①問題の定義、②ブレインストーミング、③調査アイデアの創出、④基準の識別と制約の明確化、⑤可能性の探求、⑥アプローチの選択、⑦計画書の作成、⑧モデルあるいはプロトタイプを作成、⑨デザイン・設計のテストと評価、⑩デザイン・設計の改善、⑪創作や製作、そして⑫過程と結果の伝達などを、挙げている。

この「スタンダード8」に関する授業例としては、「感謝の贈り物のデザイン・設計」に関するもの（第6～8学年対象）が挙げられている。この授業例は、生徒たちが教師への贈り物を製作する際に、ブレインストーミング、材料の研究、アイデアスケッチ、模型の製作などデザイン・設計の過程を利用することを想定したものである。

3-2. 「スタンダード9」（工学設計）（100～105頁）の内容分析

次に「スタンダード9」（工学設計）について述べる。この部分では、デザイン・設計に関する一般論を扱った「スタンダード8」と比べ、技術的製品等のデザイン・設計を意図する「工学設計」に焦点を絞り、その過程及び各過程で使用する手段についての理解が重視されている。まず前者については、①問題の定義、②アイデアの創出、③解決策の選択、④解決策のテスト等の過程が含まれること等についての理解が重視されている。一方後者については、デザイン・設計に関して確立された原理が、既存のデザイン・設計の評価、データの収集、デザイン・設計の過程の指針として機能すること（第9～12学年）等の理解の必要性を提起している。このほか、デザイン・設計の過程におけるモデルの役割（例えば「デザイン・設計上のアイデアと過程を伝達し、かつテストするために使用される」こと（第3～5学年））についての理解も意図されている。

この「スタンダード9」の授業例として、「あなたたちは、マイク・ミリガンを助けることができるか？」（幼稚園から第2学年対象）が挙げられている。これは、物語「マイク・ミリガンと蒸気シャベル」の主人公マイク・ミリガンが、穴の中から出られなくなった蒸気シャベルを、そこから引き揚げるための方法を、子どもたちに考えさせるものである。この授業では、子どもたちは、ブレインストーミング等の形で自分たちのアイデアをまとめ、糸、

ストロー、クリップ、粘土などの材料を用いて、蒸気シャベルを、穴から救い出す方法を工夫することが課題とされている

以上のように『スタンダード』は、「スタンダード8」「同9」で、デザイン・設計に関する教育を行うことを構想している。このうち「スタンダード8」では、技術的製品等のデザイン・設計に限らず、デザイン・設計の一般論（「デザイン・設計とは何か」等）に関する理解が重視されている。これに対し「スタンダード9」では、「工学設計」、すなわち技術的製品等のデザイン・設計に焦点を絞り、工学設計の過程、及び各過程で必要される手段、方法に関する理解が意図されている、

上記のことから『スタンダード』では、デザイン・設計に関する具体的な技法（例えば図法や図面の作成）よりは、①デザイン・設計とは何か、②その過程や各過程で必要とされる手段や方法に関する理解が重視されているということが出来る。こうした方針は、それに準拠した教科書の1つであると考えられる『探求』にも大きな影響を与えている。以下では、この『探求』について検討する。

4. 『探求』²¹⁾におけるデザイン・設計の内容分析（1）——第10章（「デザイン・設計の過程」）（224～245頁）の内容分析

『探求』では、デザイン・設計に関する内容に、全27章中9章、頁数で全670頁中208頁（約42.0%）が充てられ、全体的にこの分野の内容が重視されており、その点でも『スタンダード』の影響を見出すことができる。本書でのデザイン・設計に関する内容構成は、以下の通りである。

- | | |
|------|------------|
| 第10章 | デザイン・設計の過程 |
| 第11章 | 問題の識別 |
| 第12章 | 問題の分析 |
| 第13章 | 解決策の創造 |
| 第14章 | 解決策の選択・洗練 |
| 第15章 | 解決策のモデル化 |
| 第16章 | 解決策のテスト |
| 第17章 | 解決策の伝達 |
| 第18章 | 解決策の改善 |

最初に第10章（「デザイン・設計の過程」）について検討する。この章では、デザイン・設計の各過程が示されている。この章の内容は、①デザイン・設計とは何か、②デザイン・設計の種類、③デザイン・設計といった内容から構成されている。

4-1. デザイン・設計とは何か (224~225 頁)

ここではデザイン・設計の定義等について述べている。まずデザイン・設計の定義について、人類が様々な課題を解決するために利用する創造的な計画に関する行為だと規定している。その観点から『探求』の第10章では、“design”（「デザイン・設計」）という用語を、①工業関係のデザイン・設計を行う技術者等の活動のみならず、②芸術家・科学者・教師のように自分自身の職務内容を計画・立案して遂行するそれも含む広い意味で使用している。

4-2. デザイン・設計の種類 (226~228 頁)

つぎにデザイン・設計の種類について本書は、①芸術的な設計・デザイン(artistic design)と、②工学設計 (engineering design)の2つに区分している。それによれば前者は、絵画、彫刻、音楽のように芸術家が使用する種類のものである。一方後者は、建物、道路、道具、機械に関する設計を行うものとされている。

4-3. デザイン・設計の過程 (228~238 頁)

第3にデザイン・設計の過程が取り上げられている。ここではそれが、①問題の識別、②問題の分析、③解決策の創造、④解決策の選択・洗練、⑤解決策のモデル化、⑥解決策のテスト、⑦解決策の伝達、⑧解決策の改善の8段階からなっていると説明している。同時に、設計・デザインについて、①手順を踏むことの必要性に加え、②ある段階で新たな問題が発生した際に前段階に戻ることの重要性も強調している。

4-4. 生徒の「活動」の内容 (241~243 頁)

『探求』では、各章末にそれぞれの章の内容に関する生徒の実験・実習、課題追求等とそれに関する発表等、実際の生徒の活動の例を示している。第10章では、「宇宙ステーションの設計・デザイン」がテーマとされている。この活動は、生徒たちがグループごとに、宇宙ステーションの基本構造や、その中における基本的な施設を検討し、缶、厚紙等を使用して、その模型を製作するというものである。

5. 『設計・技術・工学の探求』のデザイン・設計に関する内容分析(2) ——デザイン・設計の各過程に関する内容(第11章から第18章)の検討

続いて『探求』の第11章から第18章の内容について検討する。これらの章では、先述の第10章で示された8つの過程について詳しく説明されている。

5-1. 第11章(「問題の識別」)(246~259 頁)

第11章(「問題の識別」)では、工学設計の過程が問題を識別することから始まることを理解させることが学習課題とされている。

この章では、まず、デザイン・設計の最初には問題を明確に認識することが必要であり、それがデザイナー・設計者の役割だと指摘されている。そのうえでこの章では、問題の識別に関して、①要求(needs)と欲求(wants)、②問題(problems)と機会(opportunities)、③問題の種類、④問題の認識、⑤問題記述(problem statements)、⑥基準(criteria)と制約(constraints)、⑦設計概要(design brief)作成、の7点について説明している。

(1) 要求と欲求 (247～248 頁)

ここではまず、新しいデザイン・設計で考慮する必要がある事項として、人々の「要求」や「欲求」を挙げている。これらのうち前者は、住居、衣類、食料等、人々の生存に不可欠なものである。一方後者は、新しい製品など生存には必ずしも必要ないが、生活の改善等のために必要とされるものである。

(2) 問題と機会 (248～249 頁)

この部分では、新しい製品やシステムのデザイン・設計のきっかけが、先述の「要求」、「欲求」のみならず、それらの製品等を使用する「機会」にもあることを指摘している。後者の例としては、効率のよい栽培方法を求める機会の存在によって、機械を利用した大規模農業が行われるようになったそれを挙げている。

(3) 問題の種類、問題の認識 (249～252 頁)

ここでは、デザイン・設計が取り組むべき問題の種類や問題の認識について述べている。まず前者に関して、人間生活上の問題が、①社会的問題、②個人的問題、③技術的問題の3つに分類されると指摘し、③の技術的問題の例としては、新しい建造物への要求、住居や工場などに電力を供給するための電気への要求を挙げている。

一方後者については、問題を認識する(例:野球のピッチャーの投げたボールが、バッターの頭に当たる危険性についての認識)ことなしに、デザイン・設計による解決策(例:バッティングの際にバッターが被るヘルメットの発明)はあり得ないことを指摘している。

(4) 問題記述 (252 頁)

第4は問題記述である。それは問題の明確な定義を意味する。その一例は、「壁に塗る塗料を均一に広げる装置を設計する」という問題である。一方「回転式のペイントローラーを設計する」等の記述は、問題に対する解決策だとされる。

(5) 基準と制約 (252～256 頁)

ここではデザイン・設計に当たり、「基準」と「制約」を考慮しなければならないことが指摘されている。これらのうち前者は、①使用者、使用の場所、使用の仕方、②製品の目的、③そのデザイン・設計がうまくいく見込み、④その信頼性、⑤安全性といったものである。一方後者については、①技術的、②財務上、③法的、④時間的、⑤生産的といった5項目を挙げている。

(6) 設計概要 (256～257 頁)

最後に「設計概要」について説明されている。これは、「問題の識別」の最後の段階で、問題の記述、基準、制約を1つの文書の形でまとめたものである。それは、問題理解の助け

となると同時に、問題が明題確化されているか、また解決策に不足な点がないか等についての、再検討の判断材料としても機能する。

以上のように第11章では「問題の識別」について説明している。この点について、まずデザイン・設計に当たり問題を明確化することの必要性を強調している。それと同時にこの過程では、「要求」、「欲求」の検討から、問題記述、「基準」や「制約」の検討、デザイン・設計の基準に至る過程を経ると述べている。最後に設定された問題が「設計概要」として文書化されることにも言及している。

5-2. 第12章（「問題の研究」）（260～275頁）の内容分析

第12章（「問題の研究」）では、前段階で明確化された問題の研究について述べられている。これは、デザイナー・設計のために、問題に関する多くの情報をできるだけ多く収集する必要性が存在するからである。最初に、「問題の研究」について述べている。そこでは「問題の研究」について、①研究の種類、②研究の過程の2つについて説明している。そのうち研究の種類として、(ア)文献研究、(イ)調査研究、(ウ)実験的研究を挙げている。また調査研究の例として、人口統計データ（年齢、性別、所得、雇用、婚姻状況）に基づいた市場調査を挙げている。さらに実験的研究については、①テストや実験を利用すること、②事前に、仮説を立てる必要性があること、③仮説が誤っていた時、さらに研究を進め、誤りの原因を究明することの必要性を強調している（262～267頁）。

つぎに研究の過程を取り上げている。この種の研究には、一定の「科学的手順」に従うことが必要であることに加え、その過程については、①問題の列挙、②データの収集、③データの分析、④結論を出すという、4段階があることにも言及している（267～273頁）。

以上のように第12章では、まずデザイン・設計のために、問題に関する情報収集が必要なことを指摘している。同時に、研究の種類、研究の過程についての理解も意図している。

5-3. 第13章（「解決策の創造」）（276～299頁）の内容分析

第13章では、「解決策の創造」を取り上げている。これは前段階で、関連する情報を収集した解決策について、スケッチ等の形でより具体化していく過程に関するものである。この章では、「解決策の創造」に関し、①観念化(ideation)、②スケッチの作成の2つについて、説明している。

(1) 観念化 (277～282頁)

まず観念化についての説明がある。これは、デザイナー・設計者が、様々なアイデアについて検討することである。その方法としては、①ブレインストーミング、②グラフィック・オーガナイザー(graphic organizer)、③質問の3つを挙げている。

まずブレインストーミングは、参加者が様々な意見を出し合い、新しいアイデアを生み出

す活動である。一方グラフィック・オーガナイザーは、1枚の紙を用意し、その中心部に問題の内容を書き、それに接続する何本もの線を描き、関連する事項を付け加え、新製品などのデザイン・設計に関する考えを整理するものである。

最後の「質問」は、既存の製品等の仕組みが「なぜ」そうなっているのかという「疑問」から、新しい製品等に関するアイデアを産み出す方法である。なおここでは、上記の3つの方法に関して、アイデアを出す際に、どれも否定してはいけないことを強調している。

(2) スケッチの知識・技能 (283～296 頁)

つぎに「観念化」で出されたアイデアを具体化する際に利用されるスケッチの役割や作成方法について説明をしている。まずその役割として、デザイン・設計に関するアイデアの具体化に加え、アイデアを他者に伝える手段となることを挙げている。

そのつぎに、スケッチの種類や技法について説明されている。そこでは、ラフスケッチと詳細スケッチを取り上げている。それによれば前者は、アイデアを大雑把な形で示したものである。それに対し詳細スケッチは、それまで作成されたラフスケッチで示したアイデアの中から最良のものを選択し、その詳細なイメージを表したものである。

5-4. 第14章（「解決策の選択・洗練」）(310～317 頁) の内容分析

第14章（「解決策の選択・洗練」）では、前段階の「解決策の創造」で形成されてきた解決策のなかから、最適なものを選択し、洗練する過程について説明している。この章では、その過程を、①解決策の選択、②解決策の洗練の2つに分けて説明している。

(1) 解決策の選択 (302～310 頁)

ここではまず解決策の選択について、外部による選択と内部における選択があることを指摘している。これらのうち前者は、顧客や企業の経営陣など、デザイン・設計の過程に関わっていない人々が解決策を選択する方法である。一方後者は、デザイナー・設計者、あるいはその集団自身が解決策を選択するものである。

しかし同時に上記のいずれでも、一連の基準を用いた設計の再検討の必要性があることにも、本書は言及している。その際の基準としては、①外観、②機能、③人間工学、④安全性、⑤環境への影響、⑥費用が挙げられる。これらのうち人間工学の基準は、製品の使用者を念頭に置き、最も使いやすい解決策を選択することを意味する。

複数の解決策の中から最適なものを選択するのに利用される手段の1つが、評価グリッドである。これは、上記の様々な基準に即してなされた新製品のデザイン・設計への評価を、表の形式で示したものであり、そのうちのどれが最良の解決策であるかを、判断する手段として使用するものである。

(2) 解決策の洗練 (310～315 頁)

つぎに解決策の洗練について述べている。その際には、解決策の外観も重視される。この段階で重視されるのは、デザインの要素（線、外形、色、質感）とデザインの原則（バランス、対比、統一性、リズム）であり、両者とも新製品等の外観と深く関わっている。

以上第 14 章では、解決策の選択・洗練について説明している。まず解決策の選択について、顧客や経営陣などの外部による選択と、デザイナー・設計者やその集団自身による選択（内部での選択）の 2 つの方法があることを指摘している。またその際の基準として、機能、人間工学、安全性、環境への影響、費用等があることも触れている。さらに解決策の洗練においては、解決策の外観も重視されることにも触れている。

5-5. 第 15 章（「解決策のモデル化」）（310～315 頁）の内容分析

この章では、解決策のモデル化について説明している。本章では、様々な種類のモデルに関する知識の習得、モデル製作の過程に関する知識等を習得することが意図されている。その具体的な内容として、①モデル化の意味、②モデル利用の理由、③モックアップ(mock-up)とプロトタイプ(prototype)、④モデル化の過程等を、取り上げている。

(1) モデル化の意味 (320 頁、322～326 頁)

まずモデル化の意味については、製品やシステム、アイデアを様々な形で表現することだと説明している。またその例として、自動車模型のような物理的なモデルに加えて、数学の公式や化学式、さらにはコンピュータ上で表現されるもの等も挙げている。

(2) モデル利用の理由 (320～322 頁)

つぎにモデルが利用される理由として、①伝達、②実験、③組織化の 3 つを挙げている。これらのうち伝達について、モデルの使用により、解決策の理解が容易になり、新製品等に対して顧客が望む変更が、デザイン・設計の段階で行うことが可能になると説明している。

つぎに実験との関係については、モデルの使用により、製品の動作、機能、さらにはその大きさや形状についてテストできると述べている。さらに組織化については、新しいシステム(例えば新しい製造ライン)を作る際に、モデルが使用されるということに言及している。

(3) モックアップとプロトタイプ (326～329 頁)

第 3 にモックアップとプロトタイプについて説明している。前者は、実物大で製作され、色や形等の最終的な製品等のイメージを示したもので、製品の外観の好ましさを判断するために使用される。一方後者は、通常実物大で、最終的な製品と同じ材料で作られ、それと同様に機能する物理的モデルである。プロトタイプは、最終的な製品と同様に機能し、設計の機能、操作、および安全性をテストするために利用される。

(4) モデル化の過程 (340～342 頁)

最後にモデル化の過程について触れている。その過程は、モデルの種類、大きさに関わらず、①モデルと材料の決定、②形状の決定、③モデルの組み立て、④モデルの完成等の段階からなると指摘している。

第 15 章では、解決策のモデル化について説明されている。そこでは、①モデル化の意味、②それが利用される理由、③モデル化の過程等について説明している。それに加え、モデル

の使用によって、新製品等の動作、機能、大きさ、経常等についてテストできることにも言及している。

5-6. 第16章（「解決策のテスト」）（346～365頁）の内容分析

第16章（「解決策のテスト」）（346～365頁）では、解決策をテストする意義やテストの種類や手順についての理解を意図している。その具体的な内容としては、テストを通して、デザイン・設計に関する考えを調べ、解決策を洗練することの必要性、すなわちテストによって、問題点の発見や、機能や安全性の確認ができること等を説明している。

（1）テストと評価（347～348頁）

最初にテストと評価について述べている。まず両者の違いを説明している。前者は、ある問題の特徴に関する実験や試験である。これに対し評価は、テスト結果の検討の結果なされる判断のことである。またテストには様々な手法があり、それらの手法を利用して、結論を導き出すためのデータを収集することだと述べている。

（2）テストの種類（349～355頁）

つぎにテストの種類として、①機能に関するもの、②人間工学に関するもの、③経済学的なもの、④安全性に関するものを挙げている。これらのうち①の機能に関するテストは、自動車のタイヤの場合のように、開発中の新製品等の機能についてテストするものである。次に②の人間工学に関するテストは、実際に製品を使用し、その製品の使いやすさ、使いにくさを検討するものである。最後に③の経済学的テストは、統計等の手段を利用して、製品に対する需要の有無、その販売による利益の見通し等を見極めるものである。

（3）テストの手順（358～360頁）

最後にテストの手順について述べている。ここでは、テストは、一連の手順に従って行うことが重要であることに加え、またそれが、①目的の決定、②テストの選択、③材料、設備の準備、④テストの実行、データの収集、⑤データの分析、⑥結果の評価だと述べている。

第16章では、テストについて、①テストと評価、②テストの種類、③テストの手順について説明している。それと同時にテストが、新製品の問題点の発見や、機能のテスト、さらには安全性の確保のために利用されることにも触れている。

5-7. 第17章（「解決策の伝達」）（366～393頁）の内容分析

第17章（「解決策の伝達」）では、解決策の伝達に関する様々な方法や、伝達する際に利用される様々な図面についての理解が意図されている。その内容として、①伝達用の文書、②図面の種類等、③図面の作成、④プレゼンテーションの4つを挙げている。

（1）伝達用の文書（370～371頁）

伝達用の文書（communication documents）については、①部品表、②図面、③仕様書（specification sheets）といった3つの文書があることに加え、それらが顧客や経営陣に

対し、新しい製品についての情報を伝える際に、使用すると説明している。同時に仕様書が、その製品の利用者に対して伝える必要のあること（製品の使用方法や安全上の注意書き、故障した際の連絡先など）を文書化したものであることにも言及している。

（2）図法の種類等（371～382 頁）

ここでは図法の種類として、正投影図、等角投影図、斜投影図、透視図の4種類を挙げている。このほか、①図面には、工学図面と建築図面の2種類があること、②図面の作成法に、手描きで描く方法とCADを利用して作成する方法があることにも触れている。

（3）図面の作成（386～387 頁）

ここでは、図面の作成について説明している。その手順としては、①およその作図線を描く、②それに沿った形で製品の外形を描く、③必要のない線を消して、実際に見える線と見えない線を、線の種類で区別する、④寸法を記入する等のことを挙げている。

（5）最終的な解決策の文書化と提示（387 頁）

最後に最終的な解決策の文書化と提示について述べている。それについては、顧客や経営陣に対して、デザイン・設計されている製品に関する情報を伝えるものだと説明している。

第17章（「解決策の伝達」）では、図面の種類や作成法について説明している。これらの内容は、「産業科」以来の伝統を引き継いだものである。しかし全体的には、この章においても、部品表、仕様書等についての理解も重視しており、その点では、他の章が重視している点と類似していると考えられる。

5-8. 第18章（「解決策の改善」）（394～409 頁）の内容分析

最後に、解決策の改善（第18章）について検討する。この章では、新製品などの解決策に関する改善が必要な理由について、理解させることが意図されている。その具体的内容としては、①機能、②利益、③安全性、④政府機関が挙げられている。

まず①の機能については、新製品等がうまく機能しない場合、改善が必要だと指摘している（399 頁）。②の利益については、（ア）製品の製造には、費用や人件費が必要なこと、（イ）そのため製品を販売する際には利益を出すことが必要なことに言及した上で、予想した利益が出ない場合、製品の価格や販売する製品の数量等について、再検討が必要になると指摘している（397 頁）。

③の安全性については、製造者の責任によって製品の安全性に関する問題が生じた場合、早急に問題を解決しなければならないと強調している。また欠陥のあることが判明した場合に行うリコールもその一例であり、それを防止するために製品の安全性に細心の注意が必要なことにも言及している（399 頁）。

④の政府機関については、安全基準や人々を健康上のリスクから守るための法的措置に関するものだと説明している。その例としては建築家が、建築物の設計の際、その地域の設計基準を満たしているかどうかを考慮することを挙げている（399～400 頁）。

5-9. 第11～18章の生徒の「活動」の内容

最後に第11章から第18章までの各省の章末に掲載されている、生徒の「活動」について検討する。これらの活動では、①様々な人々の要求、欲求や自分の家庭、学校、近隣の地域の問題の調査、②身の回りの製品等のデザイン・設計に関する検討、③デザイン・設計に関する企業及びその関係者の活動に関する調査、④それらを踏まえた上での、解決策の立案やモデルの作成、図面の作成等の活動が想定されている。これらの内容は、図面作成等の技能の習得より、デザイン・設計の過程の理解が重視されていると考えられる。

以上『探求』の第11～18章の内容を分析してきた。これらの章のなかには、例えば第17章（「解決策の伝達」）のように実際の図面の作成法を取り上げた章も存在する。しかしこれらの章の多くの部分では、デザイン・設計の過程やそれらの過程で必要とされる手段、方法に関する理解が重視されている。この点は、図面の作成法などを重視する『工学への門戸』とは異なる特徴を示すものといえる。以下では『工学への門戸』のデザイン・設計に関する内容について検討する。

6. 『工学への門戸』²⁷⁾ との比較・検討

『工学への門戸』は、近年出版された技術教育教科書の中で、最近の議論動向を最も反映したもの1つであると考えられるけれども、一方で『探求』とは異なる特徴を示している。

同書の内容は主として、①「工学入門」、②「工学的アイデアの伝達」、③「工学設計のモデル化」、④「工学におけるエネルギーの利用」、⑤「電気・電子」、⑥「生産システム」の6つの内容から主として構成されている。この内容編成は、先述のように、製造技術を中心としたものであるということが出来る。この点で「医療技術」、「バイオテクノロジー技術」等の内容も重視している『探求』とは異なる特徴を示している。

『工学への門戸』で、デザイン・設計に関する内容を取り上げているのは、上記の②（「工学的アイデアの伝達」）に含まれる、第3章「工学設計の過程」、第4章「フリーハンドによる技術的スケッチ」、第5章「立体図」、第6章「リバーズエンジニアリング」、及び③（「工学設計のモデル化」）に含まれる第7章「係数モデル」、第8章「試作品」の合計6つの章である（48～179頁）。本書で、デザイン・設計に関する内容の頁数が、全体に占める割合は、本文393頁中151頁（38.0%）で、その割合は『設計・技術・工学の探求』におけるものと大きな違いはない。

また、デザイン・設計に関して同書が取り上げている項目のうち、内容的に、『探求』にも含まれている項目も多い。しかし第6章「リバーズエンジニアリング」（122～139頁）や第7章「係数モデル」は、『探求』では取り上げられていない。前者は、既存の製品を分解して、その製品の図面を再度作成する過程を通して、製品の製造方法や動作原理などを検討するものである。一方後者は、それ以前の図面では、2次元でしか表現できなかった設計中

の製品の大きさや形状を、3D-CAD ソフトウェアを使用して 3次元で示すものである（140～157 頁）。

それ以外に『工学への門戸』におけるデザイン・設計に関する部分に関して指摘されることは、図面の描き方等、スケッチや図面作成の技法習得が重視されていることである。この部分に関して『探求』では、計 18 頁分しか充てていないのに対して、『工学への門戸』では 56 頁分を充てている（66～121 頁）。このほか図面の作成に使用される線の種類についても、『工学の門戸』の方が、『探求』よりも取り上げている種類が多く、説明も詳細である。これに対し、『探求』の場合には、『工学の門戸』ほどには、図面の作成に関する技法に重点を置かず、むしろデザイン・設計の過程や各々の過程において利用される方法や手段についての理解に重点が置かれている。以上のことから『工学の門戸』におけるデザイン・設計に関する内容は、製造技術において、実際に活用される技法に関する説明が重視されているといえることができる。

まとめ

本稿では、『スタンダード』及び『探求』のデザイン・設計に関する内容を分析し、アメリカの普通教育としての技術教育における、この分野の取り扱いの動向を解明することを意図した。

『スタンダード』提出以前に出版された教科書については、「産業科」時代のもの、「技術科」移行後のものを含めて、図面の種類や作成に関する内容は重視されているけれども、デザイン・設計の過程等を理解させるという観点はなかったと考えられる。

これに対し『スタンダード』、『探求』は、図面の作成法等を重視せず、設計の過程、及び各過程で必要とされる手段、方法に関する理解を重視している。一方最近出された教科書のうち『工学への門戸』では、図面の作成法、さらには「係数モデル」を利用した CAD による図面作成も取り上げている。こうして現代アメリカの技術教育においては、デザイン・設計の指導で重視すべき点について、異なる意見が存在するとみることができる。

ちなみに日本では、新学習指導要領で製作よりも設計を重視する傾向がみられるほか、教育現場において設計を位置付けようとする実践も見られるようになっている。これらのことは、アメリカをはじめとする欧米諸国の技術教育の動向を反映した面もあるように思われる。ただしアメリカの事例にもみられるように、デザイン・設計の指導で何を重視するかについては、意見の違いが存在する。日本でも新学習指導要領で「問題解決」や「設計」の移動を重視するという方針はみられるが、そのなかで何を、どう指導するかは、必ずしも明確ではないように思われる。今後中学校技術科教育における設計の指導について、議論を深めていく必要があるだろう。

(注)

- 1) 『国民教育におけるテクノロジー・リテラシー育成の教育課程開発に関する総合的比較研究』平成6年度～平成8年度科学研究費補助金（基盤研究A）（研究代表者：田中喜美）（2007年）、8頁。
- 2) *Standards for Technological Literacy*, International Technology Education Association, Reston, VA, (2000);邦訳 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』教育開発研究所（2002年）。
- 3) 『国民教育におけるテクノロジー・リテラシー育成の教育課程開発に関する総合的比較研究』、前掲報告書。横尾恒隆、富澤健太、上里正男「現代アメリカにおける普通教育としての技術教育教科書の研究（その2）——『設計・技術・工学の探求』のエネルギー変換技術に関する内容を中心に——」『横浜国立大学教育人間科学部紀要 I 教育科学』No. 19、（2017年2月）、202頁。
- 4) R. T. Wright, R. A. Brown, *Exploring Design, Technology, & Engineering*, The Good-Heart Wilcox, Inc., Trinity Park, IL, (2012). なお同書については、横尾恒隆、富澤健太、上里正男「現代アメリカにおける普通教育としての技術教育教科書の研究（その2）」前掲論文、202～203頁に詳しい。
- 5) G. Rogers, M. Wright, B. Yates, *Gateway to Engineering*, Delmar, Cengage Learning, Clifton Park, NY, (2010).
- 6) 佐々木 享、近藤義美、田中喜美編著『改訂版 技術科教育法』学文社、（1992年）、35～36頁。
- 7) 文部科学省『中学校学習指導要領 平成20年3月告示』東山書房（2008年）、98～100頁。
- 8) 河野義顕、大谷良光、田中喜美『改訂版 技術科の授業を創る』学文社（2011年）、17～18頁。
- 9) 安東茂樹他『技術・家庭 [技術分野]』開隆堂、（2016年）、田口浩継他『新しい技術・家庭 技術分野』東京書籍、2016年、坂口謙一「“絶対的正しさ”の強要に直面する技術・職業教育」『技術教育研究』第76号（2017年7月）、5頁。
- 10)、11) 文部科学省『中学校学習指導要領（平成29年告示）』東山書房（2017年）。
- 12) 平舘義明「次期学習指導要領における中学校技術科の改定内容の検討」『技術教育研究』第76号、前掲誌、20～21頁。
- 13) 坂口謙一、前掲論文、1～4頁。
- 14) 技術教育研究会編『ものづくりの魅力——中学生が育つ技術の学び』一藝社（2017年）、67～68頁。
- 15) 同上書、55～70頁、川俣 純「新しい何かをそこに付け加えることの意味～中学校技術科における真の「主体的・対話的で深い学び」の表現を目指して」『技術教育研究』第77号（2018年7月）、20～27頁。
- 16) 『ものづくりの魅力——中学生が育つ技術の学び』前掲書、39～54頁。

- 17) 田中喜美、岩崎薫「米国の中高等学校用教科書にみる技術教育の本質」『日本産業教育学会研究紀要』第23号(1993年8月)、71～82頁。
- 18) *Standards for Technological Literacy, op.cit.*
- 19) *Gateway to Engineering, op.cit.* 同書については、菅原恵彦、横尾恒隆、上里正男「現代アメリカにおける普通教育としての技術教育教科書の研究」『横浜国立大学教育人間科学部紀要 I 教育科学』No.17、(2015年2月)、161～177頁に詳しい。また PLTW については、G. E. Rogers, "The Effectiveness of Project Lead the Way Curricula in Developing Pre-engineering Competencies as Perceived by Indiana Teachers", *Journal of Technology Education*, vol.18, no. 1, (Fall 2006), pp.66-78; 横尾恒隆、西 美江「アメリカにおける職業教育」、堀内達夫、佐々木英一他編著『日本と世界の職業教育』法律文化社(2013年)所収、89～100頁、秋田悠里「アメリカ合衆国の普通教育としての技術教育の教育課程開発における工学準備教育に関する研究」『技術教育研究』第73号(2014年7月)26～31頁を参照されたい。
- 20) Los Angeles Unified School District, *General Industrial Education*, Glencoe Publishing Company, CA, (1988).
- 21) J. F. Fales, V. F. Kuetsmeyer, S. A. Brusica, *Technology: Today and Tomorrow*, Glencoe, Peoria, IL, (1988), pp.84-85, pp.102-105.
- 22) *Standards for Technological Literacy, op.cit.* 以下では、『スタンダード』の当該部分については、その頁を()内に示すことにする。
- 23) *Exploring Design, Technology, & Engineering, op.cit.* 以下では、本書の当該部分については、その頁を()内に示すことにする。
- 24) *Gateway to Engineering, op.cit.* 以下では、本書の当該部分については、その頁を()内に示すことにする。