

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

——『工学への門戸』の材料加工・製造技術の部分を中心に——

菅原 恵彦・横尾 恒隆・上里 正男

**A Study on Textbook of General Technology  
Education in the United States**

**: Focusing on the Contents of Material Processing and Manufacturing in  
*Gateway to Engineering.***

Shigehiko SUGAWARA, Tsunetaka YOKOO, Masao UESATO

横浜国立大学教育人間科学部紀要 I （教育科学）No.17 別冊

Reprinted from  
THE EDUCATIONAL SCIENCES  
Journal of the College of Education and Human Sciences  
Yokohama National University  
No.17, FEBRUARY, 2015

# 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 ——『工学への門戸』の材料加工・製造技術の部分を中心に——

A Study on Textbook of General Technology Education in the United States : Focusing on the Contents of Material Processing and Manufacturing in *Gateway to Engineering*.

菅原恵彦<sup>1</sup>、横尾恒隆<sup>2</sup>、上里正男<sup>3</sup>

Shigehiko Sugawara<sup>1</sup>, Tsunetaka Yokoo<sup>2</sup>, Masao Uesato<sup>3</sup>

<sup>1</sup>一関市立東山中学校、<sup>2</sup>横浜国立大学教育人間科学部、<sup>3</sup>山梨大学教育人間科学部

<sup>1</sup> Higashiyama Junior High School, <sup>2</sup> Yokohama National University, School of Education and Human Sciences, <sup>3</sup> Yamanashi University, School of Education and Human Sciences

## はじめに

今日普通教育としての技術教育の必要性は、国際的に確認されている。国連教育文化機関（ユネスコ）の「技術・職業教育に関する改正勧告」（1974年）では、「技術および労働の世界への手ほどきは、これがなければ、普通教育が不完全になるような普通教育の本質的な構成要素になるべきである」とする原則を国際的に確認した<sup>1)</sup>。また現在では実際にも、多くの国々で、普通教育としての技術教育が初等教育から開始され中等教育（学年の点では第11学年が平均的）まで、教科指導として行われていると指摘されている<sup>2)</sup>。

その教育内容をみると、1980年代以降世界各国で、「製図」、「加工」、「機械」、「電気」といった伝統的なものから、①「生産」ないし「製造」、②「エネルギー／動力」、③「建設／建築」、④「情報と通信」などの内容から構成されるものへと変化してきた<sup>3)</sup>。近年では、アメリカやフランスなどで、さらなる教育内容の再編の動きが見られる<sup>4)</sup>。

これに対し日本の場合、普通教育としての技術教育は、教育課程上の位置づけや教育内容という点で、世界的な動向に遅れてきたといつてよいであろう。まず教育課程上での位置づけで見ると、①事実上中学校の技術科でしか行われておらず、しかも②技術科は、「技術・家庭科」として、目的や性格が本来異なる家庭科と括られているという問題点が指摘されている<sup>5)</sup>。また授業時間数は諸外国と比べても非常に少なく、しかも学習指導要領改定のたびに減少してきた。

また教育内容上の問題についてみると、まず1998年版学習指導要領<sup>6)</sup>では、「技術とものづくり」、「情報とコンピュータ」の2つの分野から構成されることになった。その結果同教科においてすべての生徒が学習すべき内容は、①木材加工を中心とする材料加工、②コン

ピュータ（とりわけアプリケーション・ソフト）やインターネットの活用などに限られることになった。この点については、機械、電気に関する内容をすべての生徒（ただし男子のみ）に履修させるという、技術科発足当初の理念からの著しい後退であるとの批判<sup>7)</sup>が出された。

一方 2008 年版学習指導要領では、「材料と加工に関する技術」、「エネルギー変換に関する技術」、「生物育成に関する技術」、「情報に関する技術」から構成されることになった<sup>8)</sup>。この構成自体は、上記の世界各国の動向に合致したものであり、一定程度評価することができる。しかしながら、先述のようにアメリカやフランスで技術教育の変革に関する議論が展開されている現在、今後一層内容構成に関する検討が求められるであろう。他方で、①4つの分野を教授するための授業時間数が十分に確保することができない、②これらの内容を教授するための施設・設備が不十分であることは否定できない<sup>9)</sup>。

こうした動向に鑑み本稿では、中学校段階の教科書を中心に、アメリカにおける普通教育としての技術教育の動向を明らかにすることを意図する。

現在アメリカにおいては、普通教育としての技術教育に関する教科を「技術科」(technology)から「工学」(engineering)あるいは「技術・工学」(technology and engineering)への変更が議論されている。しかし先行研究では、具体的な教育内容に踏み込んだ研究は、ほとんどなされていないように思われる。

田中喜美は、2000 年代以降の普通教育としての技術教育をめぐる議論として、①技術教育関係の専門職団体のひとつである国際技術教育協会 (International Technology Education Association、略称 ITEA) が 2000 年に出版した『技術リテラシーのためのスタンダード』<sup>10)</sup> (*Standards for Technological Literacy*、以下『スタンダード』) にみられるように、従来の工業技術に関する内容に加えて、農業技術や医療技術などの内容を加える議論、②工学予備教育 (pre-engineering education) に関するプロジェクトのひとつである Project Lead the Way (以下 PLTW) のように、工業技術中心の技術教育を推進する動きの 2 つがあることを指摘している<sup>11)</sup>。しかし田中は、それらについて、教育内容に関する具体的な議論は検討していない。

一方横尾恒隆、西 美江は、①ITEA の『スタンダード』、②PLTW に関する諸資料、③その他の「工学」、「技術・工学」教育に関する議論などを分析し、教科「技術科」から「工学」、「技術・工学」への変更に関する議論動向を検討している<sup>12)</sup>。しかしこの研究においても、教育内容については、PLTW の教育課程編成の枠組みに触れているのに過ぎない。

さらに秋田悠里は、PLTW の教育課程、教科書、さらにはいくつかの学校での実践例に関する資料を分析し、同プロジェクトの教育内容の特徴を解明している<sup>13)</sup>。しかし秋田の分析は、「設計」に関する内容に限定され、その他の分野の内容に関する言及はほとんどなされていない。

以上の先行研究の動向に鑑み本稿では、日本の中学校に相当するミドル・スクール対象

の教科書『工学への門戸』<sup>14)</sup> (*Gateway to Engineering*) を分析し、その全体的な内容構成上の特徴を解明する。つぎに普通教育としての技術教育において伝統的に重要な位置を占めてきた材料加工・製造技術に関する内容の特徴を解明することを意図する。

## 1. アメリカにおける普通教育としての技術教育の動向

### (1) 教科名の「技術科」から「工学」、「技術・工学」への変更に関する議論

1980年代までアメリカの普通教育としての技術教育の教科は、「産業科」(インダストリアル・アーツ、*industrial arts*)と呼ばれていた。その内容は、製図、木工、金工などの内容から構成されるものであり、実習室の作業を通じた道具・機械の使用技能や材料、工程の理解などが重視されていた。しかし1980年代に産業科は、「技術科」に移行していった。後者は、「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」などの内容から構成され、前者で重視されていた工具等の使用技能や材料や工程等の理解に加えて、①自然科学や数学との相関が図られ、②科学的概念の形成が強調されるようになっている等の特徴が指摘されている<sup>15)</sup>。

さらに1990年代から2000年代にかけて、技術教育の内容を一層高度化する動きが顕著になってきた。アメリカの技術教育関係専門職団体である先述の ITEA は、1994年に開始された「すべてのアメリカ人のための技術」プロジェクト (*Technology for All Americans Project*) の成果として、2000年には、21世紀の技術教育として扱うべき内容を示した『スタンダード』<sup>16)</sup> を出版した。

その内容は、「技術と本質」、「技術と社会」、「設計」、「技術社会で必要な能力」、「設計された世界」(医療技術、農業及び関連するテクノロジー、エネルギーと動力技術、情報通信技術、輸送技術、製造技術、建設技術)から構成されている。

この『スタンダード』は、製作実習よりも設計を重視しており、工場労働者の職務内容よりも技師(エンジニア)のそれを基盤としたものとなっている。これは、現代のハイテク社会の到来による技術の高度化を、それまでの技術教育よりも意識したものであるといえよう。

2000年代以降、この『スタンダード』が提起した技術教育高度化の路線が、一層進められ、先述のように教科の名称を「技術科」から「工学」あるいは「技術・工学」へと変更することも議論されている。これには、①技術教育へのイメージアップ、②(学力向上が議論になっている)数学や科学の教育との関係を強化するといった側面のほかに、技術が益々高度化し、それを担う人材が多く必要とされるにもかかわらず、実際には技術に関心を持つ成人や子どもたちが少なく、将来技術者が不足する可能性が高くなっていることへの危機感があると指摘されている<sup>17)</sup>。

すでに初等学校、ミドル・スクールやハイ・スクールにおける「工学」教育への取り組みも始まりつつある。全米工学アカデミー (*National Academy of Engineering*) 等による報告書『幼稚園から第12学年における工学』 (*Engineering in K-12 Education*) は、そのよ

うな試みに関する約 20 の試行プロジェクトを列挙している<sup>18)</sup>。本稿が対象とする『工学への門戸』を出版した工学教育プロジェクトである PLTW も、こうした試行プロジェクトのひとつである。後述するように同プロジェクトは、主としてハイ・スクールの生徒を対象に、4 年制大学工学系学部進学準備を中心とした工学教育プロジェクトである。

技術科を「工学」教育化することに対しては、関係者の中に異論も存在する。それは、「工学」教育が、従来技術教育に関する科目を好んで履修してきた子ども、青年（とりわけ黒人やヒスパニック系などの少数民族や低学力者など）に対応できないというものである<sup>19)</sup>。

しかしこのような議論が存在するにもかかわらず、先述の『スタンダード』を出版した ITEA が国際技術・工学教育者協会（International Technology and Engineering Educators Association、略称 ITEEA）へと改称された<sup>20)</sup> ことにもみられるように、技術科教育を「工学」あるいは「技術・工学」教育へと転換させる議論は、かなり進んできている。こうした議論は、全米的な技術教育団体の一つである「ミシシッピヴァリ技術教師教育会議」（Mississippi Valley Technology Teacher Education Conference）でも活発に展開されている。

## （２）PLTW の教育課程の枠組みと『工学への門戸』の位置づけ

こうした状況に鑑み本稿では、ミドル・スクールの生徒を対象とする教科書『工学への門戸』を分析対象とする。

まず同教科書の分析に入る前に、同書を教科書のひとつとする工学教育プロジェクトである PLTW について述べる。先述のように PLTW は、4 年制大学工学系学部進学準備をすることを基本的な目的としており、数学、科学に関する高度な教育とともに、工学に関する基礎教育を行うことが意図されている<sup>21)</sup>（なおこのプロジェクトには、生物医療科学（Biomedical science）に関するプログラムも存在するが、今回その内容は割愛する）。

つぎにその工学カリキュラムの基本的な構成についてみることにする<sup>22)</sup>。その内容は、①基礎科目（工学の原理、デジタル電子工学、工学設計入門）、②専門分化した科目（コンピュータ援用製造、土木工学及び建築術、航空宇宙工学、バイオ技術工学から 1 つ選択）、③頂点科目（卒業研究に相当するもの）より構成されている。

以上のように PLTW は、4 年制大学工学系学部への進学準備教育をめざしたプロジェクトである。しかし同プロジェクトは、現在では、ハイ・スクール段階のみならずミドル・スクール段階のプログラムも開発され、実際にそれに参加するミドル・スクールも出てきている。

これは、PLTW 実施の過程で、ミドル・スクールでも同様な教育を行った方が、ハイ・スクールでのプログラム参加者が増加するとの議論が出たためであるといわれている。しかしミドル・スクールの場合、将来の 4 年制大学工学系学部進学者の増加を意図しているものの、その対象をこの種の教育機関の志望者のみを対象としているのではなく、その学校の多くの生徒を対象としており、その意味で先述の普通教育としての技術教育の「工学」教育への転換の動きの一翼を担っているといえる<sup>23)</sup>。



本稿で対象とする『工学への門戸』は、PLTW のミドル・スクール段階のカリキュラム開発の成果として、2010 年に出版されたものである。以下では、同書の内容を分析し、その内容的な特徴を明らかにする。

## 2. 『工学への門戸』の構成と全体像

最初に『工学への門戸』の構成と全体像を示すこととする。同書は、第 1 部から第 6 部で構成されている（表参照）。それぞれに章と節があり目次など含めると 430 頁になり、日本の中学校技術科で使用される技術科の教科書に比べると頁数が約 1.7 倍となっている。

表にも示されているように同書は、「工学入門」、「工学的なアイデアの伝達」、「工学設計のモデル化」、「工学におけるエネルギー利用」、「電気と電子」、「生産システム」といった項目から構成されているけれども、その中心となっているのは、後述するように第 6 部「生産システム」であると考えられる。まず第 1 部は、ガイダンスとしての役割を持ち、生徒に「技術とは何か」等について考えさせることを意図している。第 2 部からは具体的な内容に入ることとなっている。その内容は「工学設計の過程」（第 2 部）、「工学設計のモデル化」（第 3 部）、「エネルギー」（第 4 部）、「電気・電子」（第 5 部）、「生産システム」（第 6 部）となっている。

以下では、『工学への門戸』の各部、章、節ごとの概要をみることとする。

### ① 第 1 部「工学入門」(Introduction to Engineering) <sup>24)</sup>

第 1 部は、「工学と技術」(Engineering and Technology)、「技術の資源とシステム」(Technological Resources and Systems) の 2 つの章に分かれている。ここでは、ガイダンス的な内容が多く、生徒に「工学や技術とは何であるか」などの内容を考えさせることが意図されている。同部のうち第 2 章「技術の資源とシステム」では、技術は必ずしも利点だけではなく、大気汚染や酸性雨にも見られるように環境や社会に悪影響を及ぼすこともあるということを学習するように配慮されている。

### ② 第 2 部「工学的アイデアの伝達」(Communicating Engineering Ideas) <sup>25)</sup>

第 2 部は、「工学設計の過程」(Engineering Design Process)、「フリーハンドによる技術的なスケッチ」(Freehand Technical Sketching)、「見取り図」(Pictorial Sketching)、「リバースエンジニアリング」(Reverse Engineering) の 4 つの章に分かれている。ここでは、「工学設計の過程」など設計の過程に関する諸概念を理解させると同時に、製図など設計に関する知識や技能の習得が重視されている。

### ③ 第 3 部「工学設計のモデル化」(Modeling Engineering Designs) <sup>26)</sup>

第 3 部「工学設計のモデル化」は、「係数モデル」(Parametric Modeling)、「試作品の製作」(Prototyping) の 2 つの章に分かれている。この箇所は、第 2 部の設計に関する内容を

第 1 部「工学入門」(INTRODUCTION TO ENGINEERING) 2~47 頁

第 1 章「工学と技術」(Engineering and Technology) 2~27 頁

第 2 章「技術の資源とシステム」(Technological Resources and Systems) 28~47 頁

第 2 部「工学的アイデアの伝達」(COMMUNICATING ENGINEERING IDEAS) 48~139 頁

第 3 章「工学設計の過程」(The Engineering Design Process) 48~65 頁

第 4 章「フリーハンドによる技術的なスケッチ」(Freehand Technical Sketching) 66~93 頁

第 5 章「見取り図」(Pictorial Sketching) 94~121 頁

第 6 章「リバースエンジニアリング」(Reverse Engineering) 122~139 頁

第 3 部「工学設計のモデル化」(MODELING ENGINEERING DESIGNS) 139~179 頁

第 7 章「係数モデル」(Parametric Modeling) 140~159 頁

第 8 章「試作品の製作」(Prototyping) 160~179 頁

第 4 部「工学におけるエネルギーの利用」(THE USE OF ENERGY IN ENGINEERING) 180~249 頁

第 9 章「エネルギー」(Energy) 180~197 頁

第 10 章「エネルギーの転送」(Transfer of Energy) 198~213 頁

第 11 章「流体動力」(Fluid Power) 214~231 頁

第 12 章「航空と宇宙」(Flight and Space) 232~249 頁

第 5 部「電気・電子」(ELECTRICITY AND ELECTRONICS) 249~299 頁

第 13 章「電気の理論」(Electrical Theory)	250~267 頁
第 14 章「電気回路」(Electrical Circuits)	268~281 頁
第 15 章「電子工学」(Electronics)	282~299 頁
第 6 部「生産システム」(PRODUCTION SYSTEM)	299~393 頁
第 16 章「製造」(Manufacturing)	300~323 頁
第 17 章「ロボット工学」(Robotics)	324~343 頁
第 18 章「オートメーション」(Automation)	344~359 頁
第 19 章「土木工学と建築術」(Civil Engineering and Architecture)	360~377 頁
第 20 章「新興の技術」(Emerging Technology)	378~393 頁

表 『工学への門戸』の内容構成

(G. Rogers, M. Wright, B. Yates, *Gateway to Engineering*, pp.iii-iv より作成)。

受け、①部品の動作に関するコンピュータ・シミュレーション、②試作品製作のために必要な材料や工具について学ぶ部分となっている。

#### ④ 第4部「工学におけるエネルギーの利用」(The Use of Energy in Engineering)<sup>27)</sup>

第4部は、「エネルギー」(Energy)、「エネルギーの転送」(Transfer of Energy)、「流体動力」(Fluid Power)、「飛行と宇宙」(Flight and Space)の4つの章に分かれている。ここでは、エネルギーを生み出す方法やその転送方法などについて学習することになっている。この箇所では、最初にエネルギーの定義について述べた上で、①さまざまな発電方法(風力、太陽光、地熱、原子力など)、②単純機械(ネジ、テコ、輪軸)や歯車機構といった伝達機構について教授することになっている。

またこの第4部では、圧力や水力など流体の力についても学習するほか、第12章「飛行と宇宙」では、翼など航空機の飛行を制御する機構、さらにはジェット・エンジンを含む内燃機関の仕組みやロケット工学などの内容も取り上げられている。



## ⑤ 第5部「電気・電子」(Electricity and Electronics) <sup>28)</sup>

第5部「電気・電子」は、「電気の理論」(Electrical Theory)、「電気回路」(Electrical Circuits)、「電子工学」(Electronics)の3つの章に分かれている。この箇所は、原子の構造なども踏まえて、電気や電子工学について学習する部分となっている。なお発電機については、関係する法則をもとにその学習をすることになっている。また電子工学と関連して、トランジスタやダイオード、さらには、2進法の計算や論理ゲートなど現代の電子工学技術に関連する知識についても取り上げている。

## ⑥ 第6部「生産システム」(Production System) <sup>29)</sup>

第6部「生産システム」は、「製造」(Manufacturing)、「ロボット工学」(Robotics)、「オートメーション」(Automation)、「土木工学と建築術」(Civil Engineering and Architecture)、「新興の技術」(Emerging Technology)の5つの章に分かれている。ここでは、成形、鍛造、鋳造などの製造技術を学習するだけでなく、現代の製造技術に必要な不可欠な「ロボット工学」や「オートメーション」について学習することになっている。また後半では、土木技術や新興の技術(バイオテクノロジー、ナノテクノロジーなど)について触れている。

以上のように本書の内容は、多岐にわたっている。しかし本書の場合、第2部「工学的アイデアの伝達」と第3部「工学設計のモデル化」は、双方とも設計に関する内容なので、その基本的な内容構成は、「設計」→「エネルギー」→「電気・電子」→「生産システム」という流れになっており、それぞれの部分の内容は第6部「生産システム」に焦点化されるような構成となっている。

まず「設計」は、製品の製造に先立って最初に行われる作業である。つぎに「エネルギー」は、発電のほか、生産に使用される機械に使用される動力の伝達機構等、製造に必要な機械に関する内容を含んでいる。さらに「電気・電子」は、今日の工場での生産活動に使用される機械や装置の作動に不可欠なものである。このように考えると『工学への門戸』の内容は、製造に関する技術を中心に構成されていると考えられる。

こうした同書の内容編成は、①1980年代以降、「産業科」から変わって普通教育としての技術教育の主流となった「技術科」、②ITEA『スタンダード』とは、内容的にかなり異なる特徴を持つように思われる。

まず①の「技術科」についてであるが、同教科の代表的な教科書のひとつである『技術：今日と未来』(*Technology: Today and Tomorrow*) <sup>30)</sup>の内容は、「コミュニケーション」、「製造」、「運輸」、「建設」といったように産業別に構成されている。したがってその内容構成は、工業技術に関するものとはいえ、製造に関する技術を中心とするものとはいえない。つぎに②の「スタンダード」の内容構成をみると、工業技術に関する内容以外に、医療技術、農業技術に関するそれも加えられており、ますます製造技術を中心とした内容とはいえない。

いものになっている。それらと比較すると『工学への門戸』の内容編成は、製造技術を中心に編成されたものと見ることができ、この点に注目する田中喜美<sup>3 1)</sup>、秋田悠里の指摘<sup>3 2)</sup>は、妥当なものだと見ることができる。

### 3. 『工学への門戸』における材料加工・製造技術の分野の内容の特徴

#### ——「生産システム」の部分を中心に

つぎに『工学への門戸』の第6節「生産システム」の内容について検討する。この節は、「製造」、「ロボット工学」、「オートメーション」、「土木工学と建築術」、「新興の技術」の内容で構成されている。しかし先述のように、「設計」→「エネルギー」→「電気・電子」→「生産システム」という形で本書の内容が、製造技術に焦点化されていると捉えるならば、本書の「生産システム」で、重視されているのは、「製造」、「ロボット工学」、「オートメーション」の3つであると考えられる。したがってここでは、これら3者の内容について検討する。

#### (1) 製造<sup>3 3)</sup>

ここでは最初に、第16章「製造」の内容から見ることにする。この「製造」の内容は、鍛造、鋳造、プラスチック成形など、現代の工場などで利用されている加工法を中心に扱っている。一方後述するように手工具を使用した木材や金属などの加工は、第3部「工学設計のモデル化」の中にある「試作品の設計」で取り上げられている。

まず第1節「製造の重要性」では、製造の重要性とともに、その歴史的発展過程が述べられている。そこでは1800年前後の時期を境にして、製造が個々の職人の手作業によるものから、互換性部品を用いた大量生産へと変化していったことが述べられている、

つぎに第2節「製造工程」は、工場などにおける製造工程に関する説明に充てられている。そこでは、製造工程における主要な加工法として「成形」、「鋳造とプラスチック成形」、「分離」、「接合」、「調整」を挙げた上で、それぞれの加工法について説明している。

まず成形については、材料を切らずに形や大きさを変える過程だと規定している。その方法としては、熱間成形と冷間成形が挙げられている。そのうえで前者は、プラスチックの大部分の加工に使用される一方、一部の材料は、後者によって製造されることを説明している。

また熱間成形の例として、「押し出し成形」や「鍛造」を挙げ、後者については、熱と力を使って金属を成形する方法であると説明している。また鍛造には、大きな熱や力を必要とするので大きな工業用のプレス機械を用いることにも言及している。

つぎに鋳造とプラスチック成形を取り上げている。これらのうち鋳造については、予め液体にした材料を鋳型に注ぎ、それを凝固させた後、鋳型を取り外して製品を製造する方法だと説明している。

またここでは、プラスチック成形についても触れている。それと関連してプラスチックは金属に比べ非常に早く成形できることにもふれている。またプラスチック成形の代表的な

例として「射出成形」、「真空成形」、「ブロー成形」について紹介している。そのうち真空成形については、板状のプラスチックを型の上に敷いた上で、前者を溶けない程度に加熱し、柔らかくなったプラスチック板とそれが敷かれている型の間の空気を抜いて真空状態にし、それによって材料を型に密着させ成形する方法だと説明している。

このほか「製造」については、材料の切断などの「分離」、材料の接合などの「結合」、熱処理などの「調整」にも触れている。

## （２）ロボット工学<sup>34)</sup>

第17章は、「ロボット工学」についての学習に充てられている。まずこの章では、ロボットにはさまざまな種類があり、個人用、補助用、医療用、軍事用、防犯用、船外作業用などのものに加えて産業用のものもあることに触れている。また PLTW という工学教育プロジェクトとの関係で編集された教科書という性格から、『工学への門戸』の「ロボット工学」部分については、ロボットそのものに焦点を当て、ロボットの歴史や種類、さらには動作の仕組みなどの学習内容で構成されている点に特色があるといえることができる。

## （３）オートメーション<sup>35)</sup>

つぎの第18章では、「オートメーション」について説明している。まず第1節「あなた方の世界のオートメーション」では、現代社会の日常生活で利用されている「オートメーション」について触れ、現代の便利な生活がオートメーションに支えられていることを紹介している。

またこの章では、オートメーションとは、センサーに信号が入力され、それに応じて仕事が自動的に行われることにも触れている。さらにオートメーションが使われている例として、冷暖房用の自動温度調節装置などを挙げている。

つぎに取り上げられているのは、製造工場の中で用いられるオートメーションである。ここでは、オートメーション化によって得られた製造の利点についても触れている。その内容は、消費者が低コストで製品を手に入れることができることや、品質の良い製品を製造することが可能になったことである。

以下では、自動化された製造工程として同書が挙げている、「コンピュータ援用設計」(CAD)、「コンピュータ援用製造」(CAM)、「コンピュータ統括製造」(CIM)、「プログラマブルロジックコントローラ」(PLC)、「作業セル」(work cell)、「柔軟製造システム」(FMS)の部分の記述についてみることにする。

### ① コンピュータ援用設計 (CAD)<sup>36)</sup>

まず「コンピュータ援用設計 (Computer-aided design)」(以下「CAD」)についての説明がある。本書では、「CAD」とは、コンピュータ画面の中で三次元モデルの製品の設計図を描くことができるシステムであると説明している。

## ② コンピュータ援用製造 (CAM) <sup>37)</sup>

つぎに扱われているのは、「コンピュータ援用製造 (Computer-aided-manufacturing)」(以下「CAM」)である。「CAM」とは、コンピュータで制御された機械を製造工程において使用することであり、「コンピュータ数値制御 (computer-numerical-control)」(以下「CNC」)と呼ばれるコードを読み込むことによって、そこで使用される機械が作動すると説明している。また「CNC」とは、プログラム言語であり、工作機械に対してどのような作業を行うのか正確に伝えることができるとも述べている。

なお本書では、先述の「CAD」が工作機械に対して切削の命令をすることも可能であり、そのために「CAD」用の端末が「CAM」用の機械に直接的に接続された工程を、「CAD/CAM」と呼ぶことにも触れている。

## ③ コンピュータ統括製造 (CIM) <sup>38)</sup>

「CAD」、「CAM」に引続いて取り上げられているのが、「コンピュータ統括製造 (Computer-integrated-manufacturing)」(以下「CIM」)である。「CIM」は、「CAD/CAM」に加え、工程の管理、材料の発注、製品の出荷などを含む製造工程全体を、コンピュータを通して調整するシステムであると説明している。

## ④ プログラマブルロジックコントローラ (PLC) <sup>39)</sup>

つぎに本書では、「プログラマブルロジックコントローラ (programmable logic controller)」(シーケンサ。以下「PLC」)について述べている。このPLCについては、プログラミングが可能な小型コンピュータで、特定の限定された命令を機械や装置に伝達するものであり、またセンサに接続されて使用されることが多いことにも言及している。

## ⑤ 作業セル (work cell) <sup>40)</sup>

つぎに本書では、「作業セル (work cell)」について学習することになっている。この「作業セル」について本書は、同一の部品に対して、一度に数種類の加工を行うことを意図した、一連のロボットや機械を備えた作業編成の単位であると規定している。また「作業セル」が無駄を省くことを目的としている「リーン生産方式」に重要な役目を果たしていることにも触れておりまた、完全に自動化されていない「作業セル」の場合、1人の人間が1つの部品を製造するために、何種類もの工具や機械を一度に使用しなければならないため、多面的な能力を持った人材の集団が必要となることにも言及している。

## ⑥ 柔軟製造システム (FMS) <sup>41)</sup>

本書では、「柔軟製造システム (Flexible Manufacturing System)」(以下「FMS」)についても学習することになっている。まず「FMS」の特徴として、プログラムの変更によって、新しい設計や部品の仕様に対応できること、また市場の重要な変化にもすぐ対応できる

ことを挙げている。またその利点として、①生産性の向上と品質の向上により大量生産が可能になったこと、②新しい生産ラインを設定するための準備期間が減ったこと、③労働コストを低下させることなども挙げられている。

こうして本書の「生産システム」の部分では、①鍛造、鋳造、プラスチック成形などの金属・プラスチック加工法、②ロボット工学、③オートメーション (CAD、CAM、CIM、FMS) など、現代の工場生産に使用されている材料加工法や製造技術に関する説明が中心となっている。

なおこのような特徴を持つ同書の「生産システム」に関する内容は、1980年代以降、「技術」における「製造技術」に関する内容を発展させたものと見ることができる。事実この教科の教科書の代表的なもののひとつである、先述の『技術：今日と未来』では、「製造」の部分において、工場生産で生産計画や実際の生産活動について、コンピュータ技術が活用されていることに触れている<sup>42)</sup>。しかし同書の場合、CAD、CAM など、それぞれの技術の内容に関する説明がそれほど詳しいとはいえない。これに比べて『工学への門戸』の場合、①鋳造、鍛造、プラスチック成形などの金属・プラスチック加工法、②ロボット工学、③CAD、CAM、FMS など生産現場におけるコンピュータ制御技術の利用など、個々の技術の内容に関する説明が詳細になっていることも指摘される。

以上のように『工学への門戸』の「生産システム」の部分については、ロボット工学やCAM、FMS などコンピュータ制御技術等の内容に重点が置かれているといえることができる。

### 3. 『工学への門戸』における手工具等による材料加工・製造技術の取り扱い<sup>43)</sup>

つぎに『工学への門戸』において手工具等による材料加工がどのように扱われているかについて検討する。同書では、コンピュータ制御技術など現代の工場で行われている製造工程に関する内容が重視されていることは、これまでみてきた通りである。

しかし一方日本のみならずアメリカにおいても、普通教育としての技術教育では、手工具等による材料加工が重視されてきた。先述のようにアメリカにおける普通教育としての技術教育の教科は、1980年代以降、手工具等を使用した木材加工・金属加工が大きな比重を占めていた「産業科」から、現代技術に関する内容の教授を重視した「技術科」へと変更された。また後者の「製造技術」では、コンピュータ制御など現代の工場生産で利用されている技術に関する説明などの比重が大きくなってきた。しかし実習例を検討すると、伝統的な手工具を利用した材料加工の内容が重視されていると考えられる<sup>44)</sup>。こうしたことを念頭に置くならば、本書において、それに類似した内容がどのように取り扱われているかは、普通教育としての技術教育について論じるうえで見落とすことのできない点であると考えられる。



『工学への門戸』の場合、手工具等を使用した材料加工に関する内容は、頁数が 430 頁中僅か 16 頁（約 3.7%）と極めて少ないものの、第 3 部「工学設計」のうち第 8 章「試作品の製作」の一環として扱われている。

まず「試作品の製作」の部分に入る前に、それを含む本書の設計に関する部分、すなわち第 2 部「工学的なアイデアの伝達」<sup>45)</sup>、第 3 部「工学設計のモデル化」<sup>46)</sup>の部分について、再度触れておくこととする。まず前者では、スケッチの有用性やそのための技法、さらには必要とされる工具や「等角図」、「第三角法」などの図法について学習することになっている。

また第 3 部「工学設計のモデル化」のうち、第 7 章「係数モデル」<sup>47)</sup>においては、部品の作業に関するコンピュータ・シミュレーションなどの内容が扱われ、それに引き続いて第 8 章「試作品の製作」<sup>48)</sup>で、これから触れる試作品製作のための手工具を用いた材料加工が取り上げられている。

この「試作品の製作」は、第 1 節から第 3 節で構成されている。そのうち第 2 節「材料」では、まず材料の分類についての説明があり、材料が大きく「天然材料」と「合成材料」の 2 種類に分類することができると説明している。そのうえで天然材料の例として、木材、金属が、また合成材料の例としては、プラスチックが挙げられている。つぎに言及されているのは材料の性質であり、そこでは、様々な材料の特性の一つとして「機械的特性」が取り上げられている。その内容としては、「硬さ」、「粘り強さ」、「弾性」、「可塑性」、「脆さ」、「延性」、「強度」が列挙されている。さらにこれらの特性については、長年にわたり研究が重ねられていることへの言及もみられる。

さらに第 3 節「工具」では、工具の定義と種類について学習することになっている。まず工具の定義（「工具とはどのようなものであるか」）については、それを人々の仕事を助けるものと規定している。つぎにこの箇所では、工具の範囲にも触れ、それには、ハンマーのように仕組みが簡単なものから、フライス盤などのようにコンピュータ制御された複雑なものまで、様々なものを含むと述べている。

同書では、これらの工具のうち「手工具」に比較的大きな頁数を割き、その箇所では「けがき工具」（各種の定規など）や「分離用工具」（のこぎり、カンナ、ノミなど）、「接合工具」（ねじ回し、レンチ、ハンマー等）を中心に触れている。それと同時に若干ではあるが、糸のこ盤やボール盤のような電動機器も取り上げている。

こうして本書では、手工具による材料加工も若干は取り上げられているものの、それは、あくまでも「試作品の製作」の一環という扱いであり、また頁数も極めて少なくなっていることを指摘しておく必要があろう。

## まとめ

本稿では、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ひとつである『工学への門戸』を分析し、①その全体的な構成から見られる内容的特徴、②「生産システム」の



部分の分析により、材料加工や製造に関する技術にみられる同書の内容の特徴を説明することを意図した。

まず本書の全体的な構成に見られる内容上の特徴について、みることにする。同書の内容は、ロボット工学、オートメーション（CAD、CAM、FMS など）等、いわゆるハイテク技術に関する内容をかなり含んでおり、その点で 1980 年代以降の「技術科」や ITEA『スタンダード』と同様の志向を持つものであることは否定できない。しかし『工学への門戸』の場合、①「コミュニケーション技術」、「製造技術」、「エネルギー／動力／輸送技術」、「建築技術」という 4 つの内容が並列的に配置されている、「技術科」の内容構成、②工業技術のみならず農業技術、医療技術などの内容を含む「スタンダード」とかなり様相を異にしており、「設計」→「エネルギー」→「電気・電子」→「生産システム」という形で、すべての内容が、最終的には製造技術に焦点化される形で編成されていることは、注目される。

第 2 に「生産システム」の内容についてみることにする。この部分では、①鍛造、鋳造、プラスチック成形などの金属・プラスチック加工法、②ロボット工学、③オートメーション（CAD、CAM、FMS など）のように、現代の工場生産で使用されている製造技術に関する記述が重視されている。

こうした内容も、「技術科」における「製造技術」に関する内容を発展させたものと見ることも可能である。事実同教科の代表的な教科書のひとつである『技術：今日と未来』では、「製造」の部分において、工場生産におけるコンピュータ制御システムの利用などについてかなり詳しく触れている。しかし『工学への門戸』の場合、前者と比べて、①金属・プラスチック加工法（鋳造、鍛造、プラスチック成形など）、②ロボット工学、③生産現場におけるコンピュータ技術の利用（CAD、CAM、FMS など）等について、個々の技術の内容に関する説明が詳細になっていることも指摘される。

本書を出した PLTW においては、最初に高校に相当するハイ・スクールの教育課程が設定され、それをもとにしてミドル・スクール段階の教育課程が策定された経緯があるので、その教育課程開発過程に対しては「下構型」のものだとの指摘<sup>49)</sup>もある。しかし同書の内容は、今後の日本の技術教育のあり方を考える上で参考になると考えられる。先述のように日本の中学校技術科の内容構成は、2008 年版学習指導要領では、国際的な動向に沿ったものになった。しかし実際の教科書の「材料と加工の技術」の内容を、相変わらず木材加工など手工具を中心とした実習に多くの頁数を割いている<sup>50)</sup>。

これに対し『工学への門戸』の「生産システム」の部分の内容は、ロボット工学やコンピュータ制御技術の内容を重視している点は、今後の日本の技術教育のあり方にも示唆を与えられられる。またアメリカにおける「技術科」から「工学」、「技術・工学」への以降が議論されるなかで、教育内容についてさまざまな議論が展開されるもとで、本書が製造技術に関する内容を重視している点も注目される点のひとつであるといえよう。

(注)

- 1) UNESCO, Revised Recommendation concerning Technical and Vocational Education adopted by the General Conference of UNESCO at 18<sup>th</sup> session, Paris, 19 November 1974. なおこの改正勧告については、2001年に「最新版」(Updated Version)が公表されているけれども、当該箇所についてはその精神が引き継がれ、「技術および労働の世界への手ほどきは、普通教育の本質的な構成要素となるべきである」と述べられている(UNESCO, Revised Recommendation concerning Technical and Vocational Education, 2 November, 2001)。なおこの「最新版」の本文は、下記のサイトでみることができる。  
([http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL\\_ID=13145&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=13145&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html))。
- 2) 田中喜美「現代における普通教育としての技術教育の同時代像」、『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)研究成果報告、7頁。
- 3) 同上論文、8頁。
- 4) 横尾恒隆、西 美江「アメリカ中等教育・職業教育のカリキュラム開発」、『中等教育・職業教育における新カリキュラム開発の動向に関する国際比較研究』(科学研究費補助金研究成果報告書(研究代表者、堀内達夫)、2011年、115～119頁。
- 5) 河野義顕、大谷良光、田中喜美編著『改訂版 技術科の授業を創る』学文社、2011年、306頁。
- 6) 『中学校学習指導要領(平成10年12月)』大蔵省印刷局、1998年。
- 7) 鈴木寿雄『技術科教育史』開隆堂、2009年、241頁。
- 8) 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。
- 9) 河野義顕、大谷良光、田中喜美編著、前掲書、20～22頁。
- 10) *Standards for Technological Literacy*, International Technology Education Association, Reston, VA, (2000); 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)。
- 11) 田中喜美「アメリカ」、日本産業教育学会『産業教育・職業教育学ハンドブック』、大学教育出版、2013年、225～226頁。
- 12) 横尾恒隆、西 美江、前掲論文、116～119頁、121～130頁。
- 13) 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3月、26～31頁。
- 14) G. Rogers, M. Wright, B. Yates, *Gateway to Engineering*, Delmar, Cengage Learning, Clifton Park, NY, (2010)。

- 15) 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。
- 16) *Standards for Technological Literacy*, op.cit.
- 17) R. D. Custer, T. L. Erikson, "Conceptual Foundations: Engineering and Technology Education", *Engineering Technology Education*, 57th Yearbook, Council on Technology Teacher Education, Glencoe, Woodland Hills, CA, (2008), pp.1-12.
- 18) L. Katehi, G. Pearson, M. Feder ed., *Engineering in K-12 Education*, The National Academy Press, Washington, D. C., (2009), pp.189-207.
- 19) J. V. Ernst, "Engineering or Not?", Unpublished Paper Presented at the 96th Mississippi Valley Technology Teacher Education Conference, October, 2009.
- 20) ITEEA については、以下のウェブ・ページを参照されたい。(http://www.iteaconnect.org/)
- 21) 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、前掲論文、121～130 頁、秋田悠里、前掲論文を参照されたい。
- 22) このカリキュラムの枠組みについては、2011 年 3 月時点では、下記のウェブ・ページで公表されたけれども、2014 年 9 月 21 日時点では、その内容は確認できなくなっている (http://www.pltw.org/our-programs/engineering-curriculum)。
- 23) 東ミシガン大学教授、P・カードン (P. Cardon) 氏に対する聞き取り調査 (2010 年 11 月 3 日、同年 11 月 23 日) による。
- 24) *Gateway to Engineering*, op.cit., pp. 2-47.
- 25) *Ibid.*, pp.48-139.
- 26) *Ibid.*, pp.140-179.
- 27) *Ibid.*, pp.180-249.
- 28) *Ibid.*, pp.250-299.
- 29) *Ibid.*, pp.300-393.
- 30) J. F. Fales, V. F. Kuetsmeyer, S. A. Brusic, *Technology: Today and Tomorrow*, Glencoe, Peoria, IL, (1988), pp.124-215.
- 31) 田中喜美「アメリカ」、前掲論文。
- 32) 秋田悠里、前掲論文。
- 33) *Gateway to Engineering*, op.cit., pp.300-323.
- 34) *Ibid.*, pp.324-343.
- 35) *Ibid.*, pp.344-359.
- 36) *Ibid.*, pp.353-354.
- 37) *Ibid.*, p.354.
- 38) *Ibid.*, pp.354-355.

- 39) *Ibid.*, p.355.
- 40) *Ibid.*, pp.355-356.
- 41) *Ibid.*, p.356.
- 42) *Technology: Today and Tomorrow*, *op.cit.*, pp. 124-197.
- 43) *Gateway to Engineering*, *op.cit.*, pp.160-177.
- 44) *Technology: Today and Tomorrow*, *op.cit.*, pp.200-215.
- 45) *Gateway to Engineering*, *op.cit.*, pp.48-139.
- 46) *Ibid.*, pp.140-177.
- 47) *Ibid.*, pp.142-159.
- 48) *Ibid.*, pp.160-177.
- 49) 秋田悠里、前傾論文、30～31 頁。
- 50) 現在の中学校技術科用検定教科書における「材料と加工に関する技術」の部分の記述については、間田泰弘ほか『技術・家庭 [技術分野]』開隆堂、2012 年、20～89 頁、加藤幸一、永野和男ほか『新しい技術・家庭 技術分野』東京書籍、2012 年、23～94 頁などを参照されたい。

