

工学系高等教育に関する一考察

寺内喜男

目次

はじめに

1. 技術、科学、工学の意味
 2. 科学技術の進歩と工学系高等教育
 - 2.1 工学系高等教育機関の変遷と社会的背景
 - 2.2 科学技術の進歩と教育内容
 - (1) 科学技術の進歩の実態
 - (2) 量と質の反省
 - (3) 工学の専門分野の分類と教育内容
 - 2.3 一般教育と専門教育
 - 2.4 大学院教育の充実
 3. 産学協同と学問の自由
- むすび

工学系高等教育に関する一考察

寺内喜男*

はじめに

科学技術の進歩は、第二次世界大戦後目ざましいものがある。科学技術の進歩には量的な拡大と、質的な変革があるが、今日の傾向をみると量的にも質的にも急激な速度で変わりつつある。

わが国の特許庁への出願数が、特許、実用新案を合わせて1984年には28万件に達した。これに続く二位の米国の出願数は11万件、日本より米国への出願数1万8000件、米国より日本へは1万件で日本は世界第一の発明王国ということになる。世界全体の発明件数も年々増加の道をたどっていることは明らかであり、このように科学技術の進歩は量的な拡大をみせているのである。また一方では質的な変革が著しいのも特徴である。コンピュータの出現によって計算、制御、自動化などが以前の系と根本的に変わった。この基礎技術としてはICの開発などの真空管時代とは全く異なる要素の出現があげられる。また解析から総合へと複雑なシステムとしての開発が大きな特徴の一つであろう。

このように日進月歩する科学技術に対して高等教育機関における教育はいかにあるべきか。教育体制も含めて多くの解決すべき問題を抱えている。

技術、科学と工学という用語は我々日常的に使っているが、案外明確でない所がある。したがってこれらの用語の意味をもう少し明確にして、さらに工学の高等教育のたどってきた歴史をふりかえることも意義があろう。また温故知新というか、そのようにすることが工学の将来を展望するために必要なことである。

それから大学では最近産学協同が盛んになりつつある。従来は企業から資金を受けとって行なり受託研究や、もっと簡単な手続きで出来る研究奨学金などが主なものであったが、最近は共同研究や寄付講座などの導入が可能になった。企業のニーズが大学の研究に影響を与えることは創造性の開発や研究の進展にとって結構なことであるが、反面研究の自由、学問の自由といった面から考えておくことが必要である。

1. 技術、科学、工学の意味

われわれはよく学術、あるいは科学技術などという言葉を通俗的に使用するのであるが、技術、科学、工学という言葉が如何なる範ちゅうで使用されているかということになると、多分にあいまいであるように思う。

カントの判断力批判¹⁾では、機械的技術は勉強と習得との技術であり、美的技術（芸術）は天才の

* 広島大学工学部教授（大学教育研究センター研究員）

技術であって、両者の間には甚しい懸隔があるが、およそ技術においては何かある目的が考えられねばならない。さもないと技術的な所産をその技術に帰することは出来ないのであり、それは偶然の所産ということになる。また技術を自然、学、手工から区別している。(1)技術は自然から区別される。すなわち理性を行為の根底におくような意志による産出だけが、技術と呼ばれるもので、自然(動物的な本性)の作用による成果とは区別される。(2)人間の技能と見做された技術は、学からも区別される。それは測量術が幾何学から区別されるように。しかもコロンブスの卵のような問題、つまりどうすればよいかということを知れば、直ちに成就できるようなものは技術ではない。(3)技術は手工からも区別される。この場合の技術は自由な技術であり、手工は報酬のための技術である。前者はそれ自身が快適であるのに対して、後者は報酬のみが目的で煩わしい仕事と見做される。しかしここでいう自由とは精神が自由であるということで、ある目的を実現するためには一定の法則に則ることが必要である。

日本語としての「技術」という言葉は西周の百学連環(1870年)に記載されたのが最初だといわれる。²⁾そこでは「術に二つの区別あり。Mechanical Art and Liberal Artで、原語に従うときは、即ち器機の術、又上品の術という意なれど、今かくの如く訳するも適当ならざるべし。故に技術、芸術と訳して可るべし」とある。

岩波哲学小辞典³⁾によると技術(Technique)とは形式的には人間がその目的を実現する為に所与のものに働きかける為の有効な手段、方法を意味する。したがって技法、技巧等をも含むが、根源的には物質的生産技術であり、精神的生産技術や肉体的技能の如きは之に準じて類比的に技術の名を与えられる。生産技術に関する自然科学乃至その技芸習得の組織物は技術学或いは工芸学(Technology)と呼ばれるが、往々これが単に技術と呼ばれることもある。

一方科学は広義には哲学以外のすべての学を指し、狭義には自然科学と同義である。⁴⁾自然科学は経験をその事実の含む価値より抽象し、唯その間にある一般的関係を法則に定立する目的を有する経験科学の一大部門。一般的法則は経験的事物の個性、価値関係を抽象して始めてえられるが故に、ここにまた自然科学の限界がある⁵⁾と説明されている。

これで技術と科学の言葉の意味する内容がかなり明確になった。したがって技術にはそれぞれ目的があるのであって、採鉱技術では天然資源から有用な原料や燃料を採取することであり、また冶金技術では原料から材料を生産することであり、機械技術ではその材料から機械や装置を生産することなどがその目的である。したがって技術では、その目的達成のため理にかなった、自然の法則にしたがった有効な手段、方法がとられるのである。法則性を追求し、その流れのなかに統一性を求めて自然界の体質を合理的な論理によって体系づけていくものである。

しかし自然科学と技術とはお互いに関連があるのであって、その発展の歴史をたどるとお互いにあとさきを繰り返しているのである。すなわち自然科学としての法則性が定立される以前に経験的に技術があり、また法則性が定立され、その理論が体系づけられてくると、それをもとにさらにより高度の目的、すなわちより高度の技術を達成することが容易になる。このように技術→自然科学→技術→と繰り返されて発展していくのである。たとえば、18世紀後半より19世紀前半にかけて蒸気機関や、火力を利用した船舶、機関車などが、新しい技術として世に出て来たのであるが、こ

の技術の一般法則が研究され、N. カルノが1824年に「熱動力とその力を発生させるのに適した機械についての考察」(Réflexions sur La puissance motrice du feu et les machines propres à développer cette puissance) を発表した。これはカルノの原理と呼ばれ、熱力学第二法則を形成する理論が体系づけられた。これはその後の技術進展に大いに役立つことになる。

つぎに工学の言葉の起源について調べ、またその内容について出来るだけ明確にしたい。

東京大学工学部の発祥の基になる工部省工学寮は1873年に設置され、のちに工部大学校になった。その創設には英国のグラスゴー大学のランキンの弟子のヘンリー・ダイア (Henry Dyer) が伊藤博文工部郷からの委嘱を受けて当った。彼はこの大学を Imperial College of Engineering と呼んでいる。このあたりからエンジニアリングを意味する新しい言葉として工学という用語が生まれたのであろう。因みにエンジニアリングは1702年に生まれた用語であり、1575年に現れた Engineer (考案者、生産者の意) に -ing (所属、類似、構成を示す名詞語尾) を付して、機械設計や土木技術の専門家の仕事を意味するようになり、⁷⁾これが広く解釈されて、現在使用されている工学の言葉となったのであろう。

工学という用語にどの程度の「学」としての厳密さがあるかというのには、多分のあいまいさがある。明治初頭の大学の誕生期において、実用の知識体系に工学、農学などの「学」の名をつけたのは学問としての権威をつける当時の為政者の感覚であろうと科学史家の中山茂は指摘している。⁸⁾1879年(明治12年)にはわが国の工学関係の最初の学会として工学会が結成され、1881年に機関誌「工学叢誌」第1輯を発刊している。そこに掲載された工部大学校教頭ダイアの緒言の一節に「英国工業学士会院免許状中にテルフォールド氏曰く其目的は機械學術の一般進歩を期し就中工学家(工学とは兵事に関するものの外諸般の工業を総称す)の職業を組織する所の学識の得達を進歩するに在り抑も工学は天地自然にある所の力の大源を將て人世の有用便益に転用するの術にして之を内外の貿易を進める為めの殖産運輸の方法に用ゐる之を内地の商買交易の為め道路、橋梁、水道、溝渠、河運、船渠の築造に用ゐる之を港、ハーボール、モールス、ブレッキワートル、燈台等の築造に用い之を通商の為め人造力に因て航海術に用ゐる之を機械の製作及び其適用に用ゐる之を市井の要水樋に用ゆるものとす。

今やテルフォールド氏の時代に比すれば工学の区域非常に拡張し実に氏が掲目記載せざる所の新分野陸続として相起れり故に此の如く較や際限を立る所の英国工業学士会院の定めに従らず一層之を拡充して其築造に窮理学を実用する諸般の大業は総て之を工学部内と定むるを基た宜を得たるものとす(中野宗宏訳)」とある。⁹⁾

同じ頃「理学協会雑誌」第1巻が1883年に発刊された。ここで理学は今日用いられている理学より広義であって、天文、数学、物理、博物、地質、地理などだけでなく、採鉱、化学、工学、農業、医学など全般を含んでいた。また東京大学理学部の明治18年卒業生までの名簿をみると、応用化学科、機械工学科、土木工学科、採鉱冶金学科があり、一方工部大学校卒業生名簿にも同じ学科があり、これらが1886年に合併して工科大学をつくることになる。このように理学部、工学部の境界は設立当時は全く明確には分かれていなかった歴史をもっている。今日でも分野によっては、とくに研究面では理学と工学を明確に分けることが出来ない場合もあり、工学部においてより基礎的な研

究が行われ、理学部においてより応用的な研究が行われている場合がある。

このように工学の用語は発生時からあいまいな所があって、人によってその定義が異なることは止むをえない点がある。たとえば「最も単純に言えば、工学とは自然界の動力の大資源を利用して、人間にとって便宜がえられるようにする技術を研究することである。近代的な形態の工学に、人間、資金、材料、機械およびエネルギーが含まれる。工学は、科学者が発見して受入れられる理論として公式化した自然現象を、有用かつ経済的な目的にどのようにして適用するかということと密接に関係しており、この点で工学と科学とは異なっている¹⁰⁾」と定義されているものと、「物質の性質や動力源を建造物、機械、製品として人間に役立たせるようにする科学¹¹⁾」と定義されているものがある。また「労働の手段が無生命体である技術、すなわち工業技術を対象とする科学のうち、これを自然科学的に扱うのが工学である。自然科学の対象が自然そのものであるのに反して、工学は人為的・人工的な自然を研究の対象とする。自然科学は純粋な自然法則の認識を目的とするが、工学は同じく自然の法則を探求しながらも、生産的実践の規則にしばられる¹²⁾」との定義もある。

さらに工学を技術、あるいは科学のどちらかに所属させないで、関連をもたせた定義もある。すなわち自然科学と技術を結ぶのが工学であり、どちらの分野に近いかといえば、工学はむしろ自然科学の分野に入れた方がよい。なお社会科学に属するところの法学や経済学や心理学も技術と結ばれており、こういった科学の発展が、急激に人間の知識の蓄積を増加させており、その情報が整理され、新しい知見が加わった形で技術として結晶化する例が増加してきている。また一方においてかつてそうであったように技術的な成果が現在でも自然科学の発展を刺激しているという考え¹³⁾方である。

筆者は工学というものは、その内に自然科学と技術を一緒にもっていると考えている。科学と技術を結ぶ橋渡しの存在ではなく、工学自身の内部に自然科学としての性格と技術の性格が共存しているように思う。したがって工学は技術より、科学へと転化していくのに独自の方法論を形成してきたのである。すなわち工学は単に技術の知識の羅列や整理をするのではなく、技術そのものを学問の対象として、その技術から、いわば蓋然的な性質は判っているが、未だ因果の必然的関係を示し得ぬ状態にある経験的法則から自然法則を追求し、その流れの中に統一性を求めて、技術の本質を合理的な論理によって体系づけていく学問という一面をもっている。またその反面では工学は社会的に必要な技術の開発に寄与しなければならない。ただ技術の水準から見ると、大学が必ずしも世の中で最も高いレベルを維持しているとは限らない。今日のように技術開発に巨額の資金が必要な分野もあり、企業の現場の方が技術の進んでいる場合もかなりある。したがって工学者は常に技術の現場に関心をもつことが必要であって、そこから得られる知識を自らの技術体系に加えておくことが重要である。したがって工学とはその専門に必要な分野の技術をそのうちに内蔵する面をもっている。

このように工学は一面から見れば技術体系であり、一面から見れば経験法則から自然法則を追求していく自然科学であると考えている。このような工学の技術よりの一面のためヨーロッパとくにドイツでは大学より疎外されることになる。

2. 科学技術の進歩と工学の高等教育

2.1 工学の高等教育機関の変遷と社会的背景

工学の高等教育機関が出現したのは歴史的にみて、そんなに古いことではない。そもそも大学が欧州社会に現われてきたのは12, 13世紀であって、その頃同じ職業に従事するものが相集ってギルドを形成して、団体の力によって統治力の薄弱な国家内において自らの安全を保っていたが、パリ、ボロニヤの二大学に代表される大学も一種のギルドと見なされるべきものであった。

その組織は magister と神学（とくにパリ大学が典型）、法学（とくにボロニヤ大学が典型）、医学の三学部よりなり、magister（自由学）は他の三学部に対して、わが国の旧制の高等学校と大学のような関係にあった。その頃の学生達は団体としての力を強めて、国王や諸侯から特権を得ていた。後には大学の特権になるのである。

ドイツでは14世紀の半ばに至ってプラークの創立にはじまり、ウィーン、ハイデルベルクと続き、1506年のフランクフルトに至るまで15の大学が創設された。その当時のドイツの面積は現在のドイツより広いとはいえ、当時としては多数の大学が創設されたものである。神学部が大学の頂点であり、法学部がその次の力をもっていた。そして神、法、医のいわゆる上級学部に対して予科的な役割を果たす教養学部が下級学部として位置づけられていた。¹⁴これに対してカントは「学部の争い」で、中世的な意味の上、下ではないにしても、政府が国民の上に影響を与える程度によって下級学部としたところの哲学部は決して下級ではない。むしろ大学の全機能は哲学部の活動にこそ依存しているのである。哲学部は理性に立脚し、その理性は自由である。そしてカントは哲学部を中核とする大学の自由を要求している。¹⁵ドイツの大学は1694年のハレ大学の創立に始まって、1809年のベルリン大学の創立に至る期間にフンボルト、シュライエルマッヘルやフィヒテなどの豊かな理念によって旧来の宗派主義、領邦主義から大学は脱皮し、新しい自由の精神が目覚めた。フンボルトの大学理念は国家と大学、換言すれば強制と自由の互いに背反するものを自由の立場で解決しようとするもので、本質的には啓蒙主義的フランス的な専門学校と職業教育の理念に対して、ドイツ大学の伝統的形態すなわち中世的自治団体としての形成を依然として持ちつづけており、むしろこれが新しい自由の精神のための温床となっている。このようなことより、ここでは技術が大学へ入ることは許されなかった。そのためドイツでは科学技術教育はT. H. で行われるようになった。

一方フランスでは、フランス革命によって科学の学問内容の面でも科学制度の面でも重要な変革をもたらすのである。1789年の革命勃発以前のフランス科学は王立科学アカデミーによって支えられていた。そして17世紀、18世紀にはフランスが工学のリーダーの役目を果し、また工学教育のパイオニアになった。1778年に後に国立鉱山高等学校（École Nationale Supérieure des Mines）が、1794年に公共工作学校（École des Travaux Publics）が設立された。これは理工科学学校（École Polytechnique）になり、1805年に現在の場所に移転した。また、1778年に工芸学校（École d'Arts et Métiers）が設立され、また復古王政は1829年に中央製造技術学校（École Centrale des Arts et Manufactures）を創設した。

ドイツでは前述のように総合大学（Universitäten）には技術関係諸学科の課程をもっていなか

ったが、フランスのエコール・ポリテクニクを範として高等技術教育を行う地位と資格を認められたテクニカル・ホッホシューレ（Technische Hochschulen）が設立された。その歴史の最も古いのはカールスルーエのT. H.（Fridericiana Technische Hochschule Karlsruhe）で、1807年 Johann Gottfried Tulla によって建てられた。¹⁷その後西ドイツの7つのT. H. が、また現在東独になっている Dresden のT. H. が建てられた。¹⁸西ドイツでは第二次世界大戦後もT. H. の教育制度はそのまま続けており、高等技術教育に対する自信を維持しているのは、わが国の大学制度が米国式に変わったのと対照をなすものである。

一方イギリスは大学のカリキュラムに技術が取り入れられて、ヨーロッパの大学のカリキュラムではそれが除外されているのと対照的である。イギリスの産業の進歩は、18世紀においては極めて急速であり、多くの工場が誕生し、人口は著しく増大し、とくに人口密度の重心を南東部から北部および中部に移行させたのである。これはジョージ三世の即位の1760年から1830年に至る短い年月の間の変化で、産業革命という言葉がフランスのアルジャンソン侯によって作り出された。¹⁹農業、炭坑業、製鉄業、繊維産業などでは、生産の発展は新式動力や新式機械や技術から得られた知識と結びついている。たとえばジェイムズ・ワットの蒸気機関の改良も大きな役割を果たした。余談になるが、ワットは最初はポンプ駆動用の蒸気機関を作ったのであるが、一般工業用動力源として、往復運動ではなく直接回転軸を駆動する、独立した蒸気機関を作ることに力を注いだ。蒸気機関にクランクシャフトをつければ簡単にできるわけであるが、すでに他の人が特許をとっていたので、彼は止むなくこれを避ける研究をして遊星歯車装置を利用した新しい機構を発明し、英国特許をとっている。因みに特許制度は1624年に英国で設けられたのが世界最初である。

また18世紀に起った新しい産業で重要なものに土木事業がある。運河の建設と鉄道の開通である。馬力による軌道輸送が機関車にかわるのである。しかし本格的な鉄道輸送は炭坑機関工のジョージ・スティーヴンソンの機関車の効率向上の発明が完成した1820年頃に始まる。産業革命で重要な役割を果たすソハウ鑄鉄工場はボウルトンとワットが協力して新しい技術をもとに発展していったものであるが、その後ブラマ（錠前などの発明者）、モーズレー（工業用旋盤などの発明者）らによってロンドンに多数の機械製造工場が設立された。

このような産業の飛躍的な発達に対して大学の寄与は少なかったのである。これはイギリス社会の階層的構造によって技術教育は上流階級のものに無視されていたためである。その後勤労階級に技術教育が次第に開かれるようになり、1840年にグラスゴー大学に工学の講座が置かれた。ロンドンのユニバーシティ・カレッジに1840年工学講座が、またケンブリッジ大学では1875年まで工学講座が開かれなかった。²⁰このように産業革命の優位で安心していたイギリスも大陸諸国での高等技術教育の充実の追い上げられ、産業技術の進歩において遅れをとることとなった。そこで新たに高等教育のためのカレッジ（ニューカッスル、リーズ、ブリストル、シェフィールド、バーミンガム、リヴァプール、ノッチングム）が1871年から1881年の間に設立された。²¹また王立鉱山学校、王立科学カレッジ、シティ・アンド・ギルズ中央技術カレッジが1907年に合併し、帝国科学技術カレッジ（Imperial College of Science and Technology）が設立された。²²

わが国では工学の高等教育の最初に工部大学校があげられる。工部大学校が開設された頃は、ち

ようどイギリスでは大陸の高等技術教育に刺激されて、7つのカレッジが建てられつつあった。ダイアはチューリッヒにその前にできたポリテクニクム、後のE. T. H. (Eidgenössische Technische Hochschule) をまねて組織づくりをしたのである。それがヨーロッパにおけるような抵抗もなく、大学のなかに合併させられて東京大学工学部となることはすでに述べたが、明治政府の創設の大学であり、当初の卒業生は官僚になるものが多かった。当時の教育内容についてはここでは詳しくふれないが、東京大学の工学教育は甚だ理論的であったので、実際的な職工養成を目的として東京職工学校設立の議が持上った²³ということである。このようにして東京職工学校は創設され、その後東京工業学校、東京高等工業学校、東京工業大学へと発展していく。

帝国大学工学部と単科大学では創立の時点よりその教育目標には相異点があったが、何れも日本の産業発展のために寄与する所が大であった。そして科学技術の発展は日を追って進んでいくが、不幸な戦争によって社会情勢は一変し、戦後日本の高等教育制度に大きな変革があった。新制大学の誕生と教育制度が従来の専門教育だけの工学部から、教養課程を伴った大学教育になった。この改革に際して旧来の教育方針と新しい教育方針の切りかえが十分に教員側に徹底したかと問い直すと問題が残る。専門教育だけは重視されたが、一般教育を邪魔もの扱いにする風潮が見られる向きがあり問題となっている。

2.2 科学技術の進歩と教育内容

(1) 科学技術進歩の実態

産業革命後、19世紀末からガソリン機関やディーゼル機関などの内燃機関が急速に発達して、自動車普及したほか、20世紀初頭には航空機が誕生して、現在ではジェット推進が普通になり、また新幹線鉄道による高速輸送なども加わって交通システムを一変した。この際、内燃機関や車輛そのものの技術は進歩したのは当然であるが、設計工学など周辺工学の進歩も著しい。たとえば航空機の設計や、新幹線車輛の設計になると信頼性設計の知識が必要であり、また新材料などの開発や知識が必要になる。また自動車産業に関連して人間工学的知識や、振動、騒音対策などの周辺技術の進歩も著しい。

工作機械も規格化、標準化を進めて互換性のある部品を生み出して来たが、最近では自動工作機械が普通になり、素材の取付け、取外し、加工、測定などすべてコンピュータ制御でやり、トランスファマシンの素材、製品の運搬まで行なうオートメーション化が進んだ。とくに少種多量生産形態は多種中少量生産形態へと移行するようになり、これを経済的かつ能率的に行うためには、生産システムは柔軟であること、信頼性のあることなどが要求され、また当然自動化、無人化が必要とされる。これがフレキシブルオートメーション方式をもった生産システムである。これを実現するためには工作機械がシステムに適合するような機械でなければならないし、種々の搬送機器、産業用ロボット(マニピュレータ、数値制御ロボット、知能ロボット)などの機器の知識や開発が必要である。

オートメーションは制御の自動化をその系の内に組み込んだ点では高く評価される。従来の技術では、動力は原動機で得られるのであるが、制御は主として人力によって行っていた。この制御を自動的に行うのには情報の伝達が必要である。情報はもともと人間が具象していた頃は文字によ

るか、または図面によっていたので、それを伝達するということになる手紙とか図面の送付によると決まっていた。産業革命以来、伝達速度の増大が要求され、まず有線電信システムが開拓され、次に有線電話システム、無線電信システム、無線電話システムと開発されて即時の通信が可能になった。電話における送話器をマイクロホン、受話器をスピーカーにおきかえればラジオ放送になる。また当然の社会的ニーズから映像情報の高速伝送システムが開発され写真電送、テレビジョン放送が可能になった。つぎに電子計算機による情報処理は、通信に関する技術ではないが、前述の工作機械の制御情報、生産システムにおける情報処理などのシステム管理のために重要な仕事である。

また現在高度情報化時代に入ったといわれているが、前述の新聞、ラジオ、テレビ、電話、手紙などのメディアでは、24時間以内に10人から1万人までの人々に情報を伝えるというような情報伝達を考えるとギャップになってしまう。いわばメディアギャップができるわけであって、この部分を補うものとしてニューメディアが登場する。CATV（有線テレビ）、ビデオテックス、テレビ会議、電子新聞などであり、双方向から伝達できるものが多い。

戦後アナログ・コンピュータが微分方程式の処理などに使用され、筆者もこれで非線形の振動方程式を解いた経験²⁰などを有するが、現在は自動制御系の設計や、各種装置の制御など特殊な用途に使用されるだけで一般的でない。一般にはデジタルコンピュータが使用される。汎用コンピュータも超大型化し、日進月歩で計算速度が上り、スーパーコンピュータが、宇宙開発、電子力関係、気象解析、有限要素解析など大規模科学技術計算を目的として使われている。現在はわが国では日本電気のSX-2が1300MFLOPS^{*}、日立のS-810/20が630MFLOPS、富士通のVP-200が500MFLOPSで、アメリカではクレイ社のX-MP/4が800MFLOPS、CDCのCyber205-4pが400MFLOPSのピーク性能をもち、大学・国立研究所などを中心に設置されている。昨年より民間企業にも急速に設置されつつある。

一方パーソナルコンピュータも8ビットCPUの時代には解析できなかった規模の問題も、16ビットCPUの時代となった現在ではかなりの計算が行えるようになった。また、グラフィック機能を活用して種々の科学技術の解析に使用されている。しかし今日わが国で使用されている汎用プログラムは、その殆どがアメリカ製であり、わが国のソフトウェア開発体制は貧弱である。したがってソフトウェア技術の開発体制が早急に望まれている状態である。

また最近ではエキスパートシステム、人工頭脳の研究も盛んで、技術的進歩も著しい。前者は専門家の知識と判断をコンピュータに収録されたデータを使用して行おうとするシステムで、工学的には機械の設計や、故障診断などに使用される。また後者はコンピュータの機能を人間の頭脳に極力近づけて人間の頭脳の代行をさせ、さらには人間の頭脳を越すものを作り出そうという研究が行われている。

超電導技術は先端技術で現在非常に注目されているが、機械工学では従来超電導磁気浮上車の研究で出発したものである。地上コイル上を車上の磁石が通過すると地上コイルに誘導電流が生じ、この電流と車上の磁石の磁界によって反発力が生じ車両を浮上させるのであるが、この磁石に超電

* 毎秒当たりの浮動小数点演算の回数（100万単位）（Million floating point instructions per second）

導磁石を使うのである。通常は磁石を4 K (−269.15℃)位の極低温に維持しなければならないので液体ヘリウムを使用する。これが液体窒素77K位が使用できるようになると使用が容易になり、応用範囲が広がる。最近はNb (ニオブ)合金などを中心に研究され、イットリウム系の物質、酸化物超電導体の出現で常温付近で超電導を示す材料が発表され話題になっている。

また遺伝子組換え技術も研究成果が上がりつつある。遺伝子本体を形成するDNAは二重らせんの高分子構造で長いくさり状になっている。このくさを切り離して別の遺伝子にくっつけるのが遺伝子組換えである。危険性も予測されるので実験範囲が規制されている。

このほかファインセラミックスはじめアモルファス金属、水素貯蔵合金、エンジニアリングプラスチック、炭素繊維などの新材料の開発や、宇宙ロケットの設計、海底探査などの高圧容器の設計など広い範囲の技術開発が研究され、すでにかかなりの知識が集積されている。

(2) 量と質の反省

戦後の科学技術の進歩は上述のように非常に激しく目を見張るものがあった。1956年の経済白書には技術革新(イノベーション)という言葉が使われ、原子力の平和利用とオートメーションによって代表される科学技術の進歩であった。また1971年の科学技術白書には、テクノロジー・アセスメント(技術の事前評価、再点検)が叫ばれ、多くの技術の可能性のなかで、どの可能性をのびし、どの可能性を抑制するのが人間にとって好ましいか、価値判断をしつつ技術を進める方法が各国でとられるようになった。

はじめに述べた特許に関連して、わが国の研究開発の重点は従来基礎的研究よりも応用開発研究に偏しており、発明にも一般的にいて基本的、原理的特許が極めて乏しく、実用や改良を目指したものが多い。さらに使用しない防衛的な特許もかなりある。したがって数量上の優位を無条件で喜んでいられない。量の増加を質の変化に転換すること、すなわち創造的な発想を得ることが必要である。

一方科学技術の進歩は人類社会にとって有益な筈であって、はかり知れない利益をもたらすが、一方では思わぬ害をもたらす場合がある。たとえば自動車は今日の文明社会では無くてはならぬ交通機関になっているが、その数が多くなるにつれて事故が増え、排気、騒音などの公害問題も発生し、全て解決されたとはいいがたい。発明者自身は、これは社会の為によいものを発明したと思っ
ていても、案外思わぬ落とし穴があるかも知れない。ギリシャ詩人アンティパトロスは、穀物を挽くための水車の発明を、女奴隷の解放者としてこの機械装置を詩をもって讃えた²⁵⁾。しかし結果は領主の水車使用権によって農民は迫害され、農民一揆の原因となる。

ヤスパースは1946年のハイデルベルク大学での講演「大学の生きた精神」で次のように述べてい
る²⁶⁾。工学部は、技術的可能性と人間的生活秩序との緊張のなかに生きる。工学部は、価値からの中立性をもっており、破壊のためにも建設のためにも利用される。人間的生活秩序も考えて、建設的に利用せねばならない筈である。

(3) 工学の専門分野の分類と教育内容

科学技術の進歩は上述のように目覚ましく、工学の専門分野はどのように分類されるのがよいのだろうか。われわれの学生時代は機械工学、電気工学、土木工学、………といえはすぐに頭の中に

イメージが浮かぶ専門分野であった。また世界のどの大学でもその専門分野のカリキュラムも本質的に似たりよったりであった。

しかし現在では、たとえば機械工学をとっても、取り扱う手法も、また取り扱う対象もかなり幅広いひろがりを見せ、多様化しているのである。したがって多様化した工学範囲を教育するわが国の大学工学部の学科編成をみても雑多であり、専門分野を大分類した大学もあれば、小分類した大学もある。もし出来るだけ忠実に工学の手法や対象にしたがって教育組織や研究組織を対応させようとしたら極めて小さな分類にせざるをえないことになり、専門分野も無数に出来ることになる。これは教員の数や設備の関係で無理である。結果として大きな単位に分けて専門分野を少なくする方法か、または小さな単位に分けるが全てを開設するのではなく、ある考えのもとに選択的に開設する方法をとる以外に方法がない。これは各大学で画一的に行う必要は毛頭なく多様性でよいわけで特徴を明確に出せばよい。

わが国では形の上では主流は後者のように小分類になっているが明確な方針をもって選択されているわけでない。最近では前者もまた増加して来た。大きな単位に分けられた専門においては、学生の受講科目の選択の可能性が増える。本質的には学習の自由がより具体的になる。一方大学の教育を担当する教員からみれば、どのようなカリキュラムで誰が何を担当するかは教員団組織の会議で決定すればよい。専門科目、基礎科目で受講者数も異なるであろうし、多人数教育を避けるために教育分担者の数も異なるであろう。科目によっては多少多人数教育になっても教育効果の上がるものは単一講義で行えばよいし、少人数教育の方が能率の上がるものは併列講義を実施すべきである。どちらを採用するかは教員団の意志決定によって行われるべきである。

講義内容については、いわゆる教授の自由が保証されなければならないが、工学の講義内容について大学の外から統制や干渉を受ける事例は少なく問題にならないが、むしろ教員自身の教育に対する勉強不足が問題になる場合が多い。兎角業績評価に際しても、研究業績の評価が主になって教育業績が軽く評価されがちである。これは教育業績の評価基準が明瞭でなく、かつ評価が難しい理由によるものであろうが、しかるべき工夫を必要とする。

また学生の受講科目選択に当っては、ある単位数は専門分野の開設科目からの受講を義務づけるが、それ以外は学部間や学科（類または群）間をわたっての受講を自由にすべきである。これに対して自由な受講を許すと受講者が多人数になって困るという意見も聞くが、万が一そのような事態になれば多くの受講生を出している学部または学科の方で責任をもってその授業を開講すべきである。なお聴講届は厳格に提出させて、同一時間に2つ以上の聴講届を受付けないし、受講は学生の権利と同時に義務であることも自覚させるべきである。

2.3 一般教育と専門教育

一般教育の論議になると、それが必要であることは認めるのであるが、その反面継子扱いにしがちであり、また時間的にも圧縮されているのが現状であろう。ベーコンの言葉を借りるまでもなく、学生の人間形成のためにも、また知性の基礎を堅固にするためにも一般教育は必要であるが、現実をみると必ずしもそのような体制になっていない。

今まで述べてきたように教えるべき専門科目が増加したために一般教育を時間的に圧縮しようと

する考え方と、いま一つは高等教育機関の変遷の所でも述べたように旧制度の教育体制から新制度の教育体制に切りかわったにも拘らず、旧体制の時の専門教育重視の考え方が改まっていなかったことが原因となったのであろう。

つぎに一般教育ににとり入れるべきカリキュラムについても再検討が必要である。たとえば数学は工学にとっては一般教育ではなく基礎教育、または専門基礎教育（あるいは工学部の専門に拘らず共通の基礎という意味では共通基礎教育と呼ぶべきか）であると一概に断定されるかも知れないが、そうでない数学もあるのではなからうか。また科学史、技術史なども一般教育のカリキュラムに位置づけたいものである。

このように考えると教養課程（一般教育、基礎教育、語学教育などを含む）には二ヶ年の教育期間が必要である。つぎに専門教育に移ると如何に工夫しても教育に必要な時間が足りない。共通基礎科目、専門基礎科目の授業と卒業研究で二年間は一杯になり、専門科目ははみ出してしまう。したがって大部分の工学部では教養課程を一年半に短縮し、専門科目もかなり割愛しているのが現状である。

工業教育協会などで技術の現場の人々や、経営者と希望される工業教育の内容について話し合いをすると、専門教育にあまり期待をかけていない様子である。これは専門教育が大学では不十分にしか行われていない為ではないかと反省させられる。むしろ学力に関しては入学試験で淘汰されたということで学生を採用しているようであり、せいぜい専門基礎教育を十分にやって欲しいとの希望をきいて、専門教育を担当している教員の一人として腹立たしいやら恥ずかしいやらの思いをす。結局現在の学部の専門教育は中途半端な状態で終わっていることであり、本質的に見直して、より高度なカリキュラムを建て直すべきである。

また大学を卒業した新入社員に対しては、各企業内で時間と経費をかけて専門技術の再教育を実施しているのが現状である。しかし将来を考えるに、科学技術が益々高度化し、その手法、対象も幅広くなると企業内の再教育は容易でなくなり、大学における専門教育の充実がより一層望まれる日が来るものと考えられる。また積極的に専門教育充実のための体制整備をするのが大学教員の責務でもある。

このために現在の修士課程と学部課程を一貫したような教育体制をとることを提案したい。医学部が既に戦後採用しているような教養課程を二年間、専門課程を四年間で行う体制である。新制度発足当時、京都大学工学部で修士課程一年までを義務づけようとしたが、結局義務づけには至らず、修士課程を定員以上に入学させて当初の目的に近づけた経緯がある。したがって法制上困難な点も多いが、わが国の工学教育の将来を考えて敢て踏み切る必要があると考える。

最近では教育に関係した制度が十分な検討をすることもなく、簡単に変えられる傾向が見受けられ憂慮に耐えない。教育というのは、受ける学生や教育する大学はもとより社会や国家にとっても極めて重大な問題であり、その影響は現時点のみならず遠い将来に亘って及ぶことはすでに述べた工学の高等教育の歴史を見ても歴然としている。したがって改革に当っては方便的な改革は避けるべきであり、教育本来の使命や進路を過たないように慎重に行わねばならないが、敢て専門教育四年間の一貫教育体制の重要性を強調したい。

2.4 大学院教育の充実

旧制大学の大学院制度は研究だけを考えた制度であり、学生の自主的な学習は可能であったが、教員による授業は皆無に等しかった。新制大学が発足する迄は特別研究生（前期3年，後期2年）制度などがあり、戦時中の研究制度の名残であったが、各学部を通じて戦中戦後幾多の人材が養成されたのは、教育システムとして評価される。しかし一般には大学院生には在学年限もなく、資格取得のための制度に留っていた感がある。

新制大学の発足と共に大学院修士課程，博士課程が逐次開設され，また新制大学にも昭和30年後半から整った大学より，漸次に工学研究科修士課程が，昭和50年代に入って博士課程が開設された。しかし大学院固有の施設や設備というものは特になく，教員定数の増加もなかった。しかも学部と修士課程の間には卒業，入学試験，入学ということで一貫教育はとられていない。一般には修士論文のための研究指導が教授の大きな仕事になり，学生に対する講義は教員の専門に応じた特論的な講義が多くて，同一専攻内を考えて系統性に欠けていて羅列的である上，学部カリキュラムとの繋がりも少なく問題であった。

したがって前述したように学部と修士課程を通じて一貫した教育体制をとって，専門教育を充実したい。もちろん所定単位数を満足し，論文審査に合格したものは修士の学位をもつことになる。現在独立大学院をもっている大学では修士課程進学率が50%以上になっている事実より，この構想はあながち夢物語でもなさそうである。

博士課程においては現在は研究指導のために関連の学問を指導教授が行う講義が一つまたは数個カリキュラムとして組まれている。博士課程終了後の進路は，大学の教員や国立研究所などが従来多かったが，今後は民間企業へ進む人が増加するであろう。この際，博士課程においても最新の工学研究成果の吸収や専門技術者としての高度の技術的知識の習得のため程度の高い，しかも専攻名にふさわしい教育を行う事が必要である。

最近高エネルギー物理学研究所，分子科学研究所など国立大学共同利用機関が中心になって総合研究大学院をもち，学位授与権をもつことも予定されているが，大学院組織が多様性をもっている現今においては評価される計画と考えている。しかし俗にいうわが子可愛さのため大学院教育にのみ重点が置かれて共同利用としての性格が制約されることを懸念する。

大学教員の研究活動については，ここではできるだけ割愛することにしたい。何故ならば工学の高等教育について焦点を当てているので，議論を発散させたくないからである。しかし教員の研究活動とその教育活動の間には深い関係があり，また大学院学生の研究指導とも直接の関連がある点を考えて，若干の私見を述べるにとどめる。

工学における大学教員の研究分野と，その教員が教育を分担する分野とが完全に一致することは望ましいが，何時も求められるとは限らない。教員の研究は，本質的に各個人の自由が尊重され，他よりの干渉を受けないのが原則であり，研究の自由が守られている。したがって教育分担の範囲を調整することが必要であり，カリキュラム構成の全体を見渡した上で，その調整を教育担当教員団で自主的に行うべきである。

つぎに研究活動の必要なことは既に教員は十分に理解している。その成果は学会への発表論文に

よって公表され、評価を受けるわけである。これによって同分野の研究者達から批判を受けると同時に、技術現場側の技術者からも批判を受ける。その際、もし大学院学生が共同研究者であれば、評価が高ければ学生の自信につながり、評価がそれ程でなければどの点に問題があったのか反省の材料になる。これも研究室におけるコロキウム的重要な話題となるのである。このようにして研究室の雰囲気や学生が身をもって体得し、また教員と指導される学生との学問的な切磋琢磨によって、それぞれの研究室の「型」（規範となる方式）が自然に生まれるのである。人文関係の論文と違って科学技術論文にはこのような「型」が本来影響がないと考えていたが、現実には影響があるようで、同一研究室より発表される論文にはテーマや手法が変わっても脈絡とした一貫性のある「型」をみることができる。もちろん内容は斬新であり、手法も洗練されているのであるが、「型」が感ぜられるのである。これは教授が変わっても歴史的に伝統的に受けつがれている。

したがって最近先端技術関連の講座が10年単位、或いはそれ以下の期間だけ開設されて、あと泡沫のように消え去る方式は、効率的かも知れないが、「型」の継承がなされない研究室方式であり、このような研究室で本当に学問ができるのだろうかという疑問をもつ。

3. 産学協同と学問の自由

大学が社会に果たすべき役割として、学生の教育、創造性ある研究の展開のほか大学の社会開放、地域社会との交流、国際交流などがある。また工学関係では産学協同の問題が大きな比率を占める。とくに先端技術の開発には産業界も積極的であるし、大学側にも研究を進展させるのに必要な莫大な研究費の調達のために、とくに研究の自由を束縛されない限り企業に協力しようという動きが活発になっている。大学と企業の共同研究は昭和61年度は約270件、それに対して企業が大学に資金を出して研究を依頼する受託研究は約1700件で年々増加している。

このような受託研究や共同研究が直接研究の自由を束縛するというようなことは実際には起りにくい。同じ研究組織（学問研究共同体）に属している研究員間に研究費のアンバランスが起る。国立大学の場合、最近国より大学に交付される校費は実質的には年々減少し、そのかわりに科学研究費が年々増加しているのである。しかも大規模な研究経費は特別研究、特定研究へと移りつつある。ところが、研究分野によっては特別研究等の対象にも全く上らないことが起る。さらに産学協同の場合も産業界からの発意による研究資金が特定の研究者に渡り、大学全体の調和ある研究体制を歪める働きをする。その結果、実用的な研究が偏重されたり、地道な基礎科学がなおざりにされる傾向のあるのは歪めない。これは大学が学問研究共同体として、学問研究を主体的に、自律的に進めていくことを困難にしている。法学者高柳信一²⁹はこれを打開する手段として、共同体内部に真に自由な自治的な体制を確立するほかない。そして真に自由な民主的な討論を重ねて、共通の理解と合意を形成する努力を必要とすることを述べている。

また最近、学外からの寄付により開講される寄付講座が認められた³⁰。従来からの産学協同にかなりの質的变化があったわけである。しかも講座は2年以上5年以下の存続期間となっている。講座の性格、教官人事の審査、任期後の教官の処遇など、学生の教育に関連する事柄をも含めて今後検討されねばならない問題が極めて多い。

むすび

現在の科学技術の進歩は、どこまで変革していくのか予想し難いものがある。これに対応して大学における工学教育で問題になる点を指摘し、どのように対処すべきかを考えた。また高等教育はその時代、時代の社会的背景と多少にかかわらずかわりあいを持ち、その影響を受けているものであり、歴史的な変遷についても考察した。

ここでは工学教育の問題に絞ったために、工学研究問題や国際協力の問題など多くの重要な問題を割愛する結果となった。国際協力といえばISO-T C 60（国際標準化機構歯車専門委員会）の委員として国際規格の会議に出席したことがあるが、国際的に同意を得るということは大変な仕事だと痛感したことがある。われわれは現在発展途上国との技術協力あるいは技術移転などの問題、さらには留学生問題を抱えている。これらの問題については、また別の機会に考えてみたいと思っている。

最後に研究室の「型」について私見を述べたが、この点は筆者自身の今後の検討課題としたい。

注

- 1) カント, 篠田英雄訳『判断力批判』岩波文庫上巻, 岩波書店, 1979年, 248頁。
- 2) 飯田賢一『近代日本の技術と思想』東洋経済新報社, 1974年, 237頁。
- 3) 伊藤吉之助編輯『岩波哲学小辞典(増訂版)』岩波書店, 1938年, 1062頁。
- 4) 同上 300頁。
- 5) 同上 749頁。
- 6) 中山茂『帝国大学の誕生』中公新書, 中央公論社, 1978年, 79頁。
- 7) 人見勝人「機械技術者の経営・経済認識と工場管理運動」『日本機械学会誌』90巻819号, 1987年2月, 219頁。
- 8) 前出6) 78頁。
- 9) 日本科学史学会『日本科学技術史大系1-通史1』第一法規出版, 1964年, 166頁。
- 10) 『世界科学大事典5』講談社, 1977年, 333頁。
- 11) マグローヒル『科学技術用語大辞典』第2版, 日刊工業新聞社, 1985年, 485頁。
- 12) 『世界大百科事典10』平凡社, 1972年, 57頁。
- 13) 石坂誠一「わが国工業の将来と使命」日本工学会編『未来への工学(1)』コロナ社, 8頁。
- 14) 島田雄次郎『ヨーロッパ大学史研究』未来社, 1967年, 8頁。
- 15) E. カツシラ, 門脇, 高橋, 浜田監修『カントの生涯と学説』みすず書店, 1986年, 424頁。
- 16) 筆者がスイスのベルンの古書店で入手した École Centrale des Arts et Manufactures の1856~1857年の教科書, A. Taure 教授, 運動学または幾何学的機構の講義(Leçons de Cinématique ou Mécanique géométrique)によると, 機構学, 機械力学の講義として部分的には現在でも十分通ずる内容であり, 当時の講義のレベルを推察することができる。
- 17) Die Zeit Büche, Hochschul-führer, Nannen-Verlag, Hamburg, 1965, s.163.
- 18) 現在はベルリン, ドレスデン, ミュンヘンなどでは, Technische Universität と称している。

- 19) T. S. アシュトン, 中川敬一郎訳『産業革命』岩波文庫, 岩波書店, 1973年, 3頁。
- 20) J.F.Baker, Engineering Education at Cambridge, Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 171, 1957, p.991.
- 21) E. アシュビ, 島田雄次郎訳『科学革命と大学』中公文庫, 中央公論社, 1977年, 84頁。
- 22) ゴードン・ロデリック, ミカエル・ステフェンス『英国都市大学における科学研究と科学者養成: 1870年~1914年』大学研究ノート, 第51号, 1982年1月, 34頁。
- 23) 三好信浩『明治のエンジニア教育』中公新書, 中央公論社, 1983年, 146頁。
- 24) Y.Terauchi and T.Hidaka, Eine Studie zur dynamischen Zusatzkraft geradzahnter Stirnräder (Der Einfluß des Einflankenwalzfehlers auf der Zusatzkraft), Bulletin of JSME, Vol.10, No.42, 1967, p.1048.
- 25) エンゲルス編, 向坂逸郎訳『カールマルクス資本論』岩波文庫(三), 岩波書店, 1950年, 169頁。
- 26) ヤスパース, 森昭訳『大学の理念』理想社, 1955年, 164頁。
- 27) ベーコン, 服部・多田訳『学問の進歩』岩波文庫, 岩波書店, 1974年, 117頁。
- 28) 数学は工学においては, 大きな武器となる。工学は技術と科学の交流を基礎として体系化され, 進展していくのであるが, この時に大きな役目を果たしているのが数学である。ベーコン^{a)}は技術の歴史, 学問の歴史を語り, 数学と工学のかかわりあいをあげている。レオナルド・ダ・ヴィンチ^{b)}は, 工学は数学的科学的の楽園である。何となればここでは数学の果実が実るからと手記で述べている。実際に学生に数学の教育をするとき, 実際の技術問題に適用させながら教育する方が学生の関心を惹き効果が上がるようである。しかしここでいう数学は, たとえば幾何学などを考えている。最近幾何学の教育を受けた学生は少なくなっている。ヴィーコ^{c)}が学問の方法(1709年)で述べているように幾何学は創造力を訓育するものであって, 記号(解析)によってでなく, 図形(幾何学)によって教育されることが直観力を養う素養になり, 計算機で数値解を機械的に求める時代には一般教育として必要であろう。
 - a) ベーコン, 服部・多田訳『学問の進歩』岩波文庫, 岩波書店, 1974年, 173頁。
 - b) 杉浦明平訳『レオナルド・ダ・ヴィンチの手記』岩波文庫下巻, 岩波書店, 1958年, 24頁。
 - c) ヴィーコ, 上村・佐々木訳『学問の方法』岩波文庫, 岩波書店, 1987年, 45頁。
- 29) 高柳信一『学問の自由』岩波書店, 1983年, 116頁。
- 30) 昭和62年5月16日文科省令第13号, 第14号, および同5月21日文科大臣裁定。

Problems in the Higher Education of Engineering

Yoshio TERAUCHI*

The progress of science and technology after World War II has been remarkable. Especially, in the past few years, the methods used in engineering have improved, the objects of scientific research have increased and new fields in advanced technology have developed with rapidity.

In these progressive times, it is very significant that teaching systems in the higher education of engineering should be examined thoroughly.

In the first place, the basis of technology, natural science and engineering were investigated. The author considered that engineering consists of technology and natural science, and that it has set down the basic methodology for the transformation from natural science to technology. Namely, engineering does not only make the arrangement and regulation of technological data, but is a science which systematizes the essential qualities of techniques by means of rational logic. In this time, engineering grasps technology itself as a scientific object and introduces natural laws from empirical laws under conditions that can not yet point out the law of causality.

Next, historical changes of higher education in Europe, which affected the engineering higher education of Japan, were considered with the social background. France played the role of pioneer in technological higher education about the time of French Revolution. In those times, the German universities had not admitted the incorporation of engineering faculty. Then technical colleges (T.H.) were established under the model of *École Polytechnique*. In Great Britain, engineering was admitted as a university faculty after the Industrial Revolution.

Then, an outline of technological progress was described, especially in the new fields of advanced technology,

—reliable designs, flexible automation systems, info-com technologies, expert systems, artificial intelligences, gener-recombinations as new technical methods,

—new materials, transfer machines, industrial robots (manipulators, numerically controlled robots, intelligent robots), new medias, super computers, super conductive magnets as new objects of study.

Then, the mental attitude in the development of new technology is described.

In the presented paper, the author considered the problems of preference in general

* Professor, Faculty of Engineering, Hiroshima University (Research Associate, R.I.H.E.)

education and professional education. Viewed from many angles, the following conclusions were made. General education is necessary for the formation of student's character and the consolidation of their intellectual foundation. It is also necessary that the professional teaching is perfected in accordance with the progress of technology. Therefore, the author proposes a course of six years which couples the master course to the undergraduate course.

Next, the problem for the co-operation of university and industry is considered from a standpoint of academic freedom. The evils of too much practical research or the contempt of basic science by a charm of financial support may appear. It is therefore necessary in order to avoid these matters that a system of self-government and freedom is established in the academic community, where community-members make repeatedly free and democratic discussions as well as efforts for common appreciation and consensus.

Lastly, the author indicates that the "form" (process as norm) naturally comes into existence and affects academic work.

