

# 技術者教育の国際的動向と日本の課題

大中逸雄(大阪大学名誉教授)

Global Trends of Engineering Education and Challenges in JAPAN

Itsuo Ohnaka (Osaka University, Prof. Emeritus)

## 1. まえがき

日本では、一般的に「専門家」および「専門家教育」の認識が不足している。技術の分野においても、「専門家」としての「技術者」およびその教育も曖昧で、専門家育成と職業訓練を混同し、専門家教育を軽視する傾向がある。さらに問題なのは、国は「研究者育成」が「技術者育成」より重要と誤解されるような政策を取っており、研究重視の伝統的大学は研究者育成、その他の大学が技術者を育成するというような色分けがなされていることである。

このような状況が継続するならば、日本は科学技術立国どころではなく、安全・安心も確保されない科学オタク赤字破産国になりかねない。

本講では、このような危機意識から、専門家教育の重要性について考察した後、世界のエンジニア教育の動向を概観し、今後の大学教育でなすべきことについて述べる。

## 2. 専門家としての技術者(エンジニア)

### 2.1 専門家の国際通念

日本のような高度工業化社会は、高度な専門知識や専門技能を駆使して活動する種々の職業人の努力で成り立っている。しかし、日本では、NHKのプロフェッショナル番組で代表されるように、これらを「プロフェッショナル」として、全て一緒くたにして扱っている。このような扱いは、いずれの職業も重要であるという意味では妥当であるが、特に教育・訓練では問題である。なぜなら、違いを認識しなければより優れた人材の育成は困難だからである。

「Professional(以後「専門家」)の概念は、欧米では確立している。すなわち、最初は(中世)、神のお告げを伝える牧師等から始まり、医師、法律家など種々の専門家制度が確立されてきた。「技術者」も「専門家」として認められている。

専門家制度が確立するには、以下の条件が必要であることがほぼ世界標準になっている：

- 1) 専門家の仕事には、公共性があり、高度な知識・スキル(肉体的スキルではない)が必要であるという社会の認識
- 2) 専門家としての、自律性(自立性を含む)、責任意識、専門知識・スキル、倫理・規範など専門家に相応しい属性(プロフェッショナルイズム-professionalism)

### 3) 資格制度

### 4) 相互研鑽等のための学協会組織

また、専門家としての資格を得て維持するには、以下が要求される：

- a) 認定された高等教育修了者(修士課程以上が多)
- b) 2~4年程度の実務経験
- c) 自律性と判断力、専門知識・スキル、倫理・規範などの Professional Competency(PC-職務能力)を有していることの審査
- d) 継続的研鑽(CPD-Continuing Professional Development)

日本では、医師や法律家、薬剤師などの資格制度には、上記のようなことがかなり反映されている。ただし、専門家として重要な倫理・規範の重要性が一般に認識されたのは、比較的最近のことである。また、上記PCの評価が十分でない場合やCPDの義務化がなされていない場合が多く、国際的整合性に欠けている面がある。

### 2.2 技術者

専門家としての「技術者」(エンジニア)は、「技術(Engineering)」に従事する専門家であり、「エンジニアリング」とは、数理科学、自然科学および人工科学等の知識を駆使し、社会や環境に対する影響を予見しながら資源と自然力を経済的に活用し、人類の利益と安全に貢献するハードウェア、ソフトウェア、システムなどを研究・開発・製造・運用・維持するプロセスあるいは専門職業である。

しかし、日本では、単に「技術者」と言った場合、単なる職業訓練で育成される人達も含むことが多い。上記の「エンジニア」に相当するのは、国家資格である「技術士(英訳は Professional Engineer)」や「建築士」である。ただし、IEA(International Engineering Alliance)では、Engineer(エンジニア)の他 Technologist と Technician という資格を定めている。Engineer は 12 年間の初等中等教育後に 4 年以上、Technologist は 3 年程度、Technician は 2 年程度の教育を受け、専門家資格審査に合格した人達に与えられる資格である。これらの専門家に要求される職務能力も定められている[1]。

「技術士」や「建築士」の場合、前述の専門家の条件をかなり満足している。このため、国際的に相互承認されている APEC Engineer や IEA International Professional Engineer

の資格もいくつかの付加的条件を満足すれば取得できる。

しかし、日本では資格を得るための学歴要件はなく、Technologist や Technician の資格もない。また、上記の職務能力 (PC) も明確とは言えないし、その評価も筆記試験による知識評価が中心で十分とは言えない (現在、APEC Engineer や IEA International Professional Engineer の審査に関連して、IEA の PC との整合性が要求されている)。

さらに、産業界で技術士を尊重する企業は多いとは言えず、「技術士」育成に関心を持っている大学は多くない。特に、研究重視大学には少ない。ただし、「建築士」の場合は、ある規模以上の建築物の設計・工事監理の「業務独占権」が与えられているため、大学でも人気がある (この資格にも学歴要件はない)。「技術士」の場合、業務独占権はなく、土木、建築など一部の分野を除き、実務において、「技術士資格」を要求されることはほとんどない。

これらの結果として、日本の「技術士」登録者数は現在 78000 人程度で、英国、カナダ等の 20 万人程度と比較すると、人口比にして非常に少ない。

企業での評価が必ずしも高くなく、大学での関心が少ない原因としては、以下が考えられる：

- 1) 企業活動上必要性を感じないし、技術士以上に優秀な人も実際に多い。
- 2) 試験や学校の成績が優秀でも実際に優秀とは限らないという経験から、多くの企業は実績がない人をあまり信用しない。しかし、技術士資格審査が筆記試験による知識審査に重点が置かれており、実務実績の評価が少ない。
- 3) Technologist の概念や学歴要件がなく、「技術士」には、Technologist 的な人材も含まれていると低くみなされる。
- 4) 大学は学問を教える場であり、技術士育成などという職業訓練的な場ではないという大学の認識がある。
- 5) 「研究者育成」の方が、研究重視の伝統的大学には有利である (後述 2.4 参照)。

「技術士」数を増やす努力が、10 年以上続けられている。しかし、その増加率は予想よりかなり低く「建築士」のように「業務独占権」を与えるべきだという意見も多い。しかし、多くの国で、Professional Engineer (PE) には業務独占権ではなく、「名称独占権」が与えられているだけである。また、適切な資格審査でなければ、「業務独占権」は、むしろ社会の弊害に成りかねない。

では、このような状況が続いても、「研究者」が増えれば問題ないのであろうか。

### 2.3 「研究者」は「専門家」か？

「研究者」は、上記のような「専門家」であろうか。まず、第一に研究者の仕事は、公共性が明確ではない。「技術」は人々に実際に利用されるものであるが、「研究」だけでは、実際に利用されるとは限らず、また、「研究」に失敗しても、それ自体で公共の安全性を損なうことはない。

第二に、「研究」で経済的な自立性を保つことは容易ではない。少なくとも、研究だけのビジネスを展開し、自立することは容易ではない。これは、研究だけで経済効果を発揮することは少ないからである。大学教員も研究のほとんどは国からの資金で実施しており、給与は、教育による国費や学生の授業料で賄われている。研究費で雇用されている人がいてもその数はエンジニアに比較して圧倒的に少ない。経済的に自立できないということは、精神的な自立、自律にも影響する。

第三に、「研究能力」はどの専門家にとっても必要な能力である。従って、「研究能力」があるだけで、「研究者」を前述のような「専門家」とするには、無理がある。なお、医学関係の研究者は、「医師」資格を持った人が多い。

第四に、研究者としての知識・能力、倫理・規範などの確立は容易でなく、資格審査もあいまいである。「博士論文」審査が、一種の資格審査に事実上なっているが、各大学の独自の審査が多く、透明性に欠けている。

このように、「研究者」を専門家として定義し、制度化するのは容易なことではない。ただし、環境や安全問題など公共性のある課題の科学的研究に従事する人材育成は重要である。この場合、特に、倫理感のある信頼できる専門家が必要であり、適切な制度の確立が望まれる。しかし、その職場は国立研究所など極めて限られており、エンジニアほどの人数は不要であることを認識すべきである。

### 2.4 「研究者育成主義」の弊害

社会の役に立つ研究や将来役に立つかも知れない面白い「研究」は重要である。しかし、「研究」が重要だから、「研究者」を育成するというのは短絡的過ぎる。

実は、上記のように専門職としてあいまいな「研究者」を育成することは、研究重視の伝統的大学には、下記のように都合の良いことである：

- ・ 専門家に必要な、上記の PC (職務能力) が不明なので、「研究に従事させること」が「研究者育成」と単純に考え勝ちである。そして、より多くの博士課程学生を集め、研究させれば、研究業績が上がり、国際会議への参加費、昇進や学会賞など榮譽を得ることができ、さらにより多くの研究費を得ることができる。
- ・ 研究成果を挙げた者は、社会で活躍できるはずで、できないのは本人の責任であると、教員の責任を回避できる。
- ・ 研究に必要な知識は、講義で与えられると思いついで、教育に関係する時間が節約でき、研究により時間を割くことができる。

しかし、以下のような問題が発生しやすい：

- ・ 既に決まっている研究課題が与えられるため、課題発見能力の育成が困難
- ・ 学部および修士教育の軽視
- ・ 社会から期待されている倫理・社会への責任意識、様々

な問題に活用できる専門応用能力や複数専門分野を融合できる知識、チームワーク力、デザイン力、マネジメント力などの教育軽視

- ・学生の低賃金労働者化
- ・「エンジニア」より「研究者」の方が上との誤解を学生に与えることによる人材の技術者離れ
- ・実践から遊離した研究者の増大による研究と社会（技術）の乖離。これは産業界での動きと逆行している。

これらの結果として、工学博士の学位を得ても産業界であまり歓迎されていない人が多く（様々な問題に活用できる専門応用能力や複数専門分野を融合できる知識、研究等のマネジメント力不足などが主な理由となっている[2]）、ポストドク問題（学位取得者の内約40%が不安定な雇用）などが生じるのは当然の結果であろう。さらに、このような教育を受けてしまった人達には誠に気の毒なことである。また、これは、少子化の中での人材の浪費でもある。さらに、実際には役に立たない研究も増える。

しかし、このような状況は大学側だけの責任ではない。研究費助成の在り方など、国も根本的に見直すべきである。

## 2.5 専門家教育の重要性

高度工業化社会あるいはポストモダン社会には、制御困難な多くのブラックボックスが存在するだけでなく、相互関係する複雑なシステムとなっており、不安定、不確実、不確定であり、価値観の葛藤がある正解のない社会である。このような複雑な社会では、ほとんどの問題は単なる理論的知識だけでは解決できない。科学・技術知識をいくら持っている人でも、解決できる問題は少ないのである[3]。このことは、福島原発事故以外にも種々の事故等で如実に示されている。まして、狭い研究分野における研究実績だけの「研究者」をいくら養成しても、対応することはできない。

また、今後、経済のグローバル化や生産の国際分業化はますます進み、急速な市場・技術変化が頻繁に生じ、生涯雇用・社内教育はますます困難になる（10年後の日本の製造業就業者は7%程度と予想される）。

このような社会では、単に研究能力がある「研究者」ではなく、信頼できる「専門家」が、倫理観と責任を持って、専門知識や経験を創造的に活用し、絶えず謙虚に省察[3]し、他の専門家や市民と協力して活動しなければ、安全・安心な社会は構築できない。特に、技術活動は安全・安心、経済に深く関係しており、活動の過程で生じる種々の問題を解決する人材の優劣が、社会の安全、安心、経済性に大きく影響する。また、多くのエンジニアが必要である。従って、専門家、特に、エンジニアを育成することは多くの大学にとって極めて重要な役割である。

なお、エンジニアの場合、「医師」の場合と同様に、多くの場合、技術の実践家であるが、研究者、マネージャ、協

働者、アントレプレナーなどで働く場所や時期でその主たる役割は変化する。しかし、その根底には、倫理感を持って専門力を生かし社会に貢献するというエンジニアとしての使命感（professionalism）をもっていなければならない。単なる「研究者」ではないのである。

## 3. エンジニア教育の国際的動向

1990年頃から、米国やヨーロッパにおけるエンジニアリング教育改革が推進され、2000年頃から経済の一層のグローバル化や認定制度の普及などと共にアジアへも広がっている。これらの改革の根底にあるのは、大学は単に学問を教授する場ではなく、種々の文化的背景や価値観の異なる人が集い、対話し、学び合う場であること、およびエンジニア教育が国の安心・安全・経済を維持・発展させるのに極めて重要で、従来の教育では実現困難であるという認識があるからである。ちなみに、米国の代表的研究型大学であるMITでは、" The MIT School of Engineering's mission is to educate the next generation of engineering leaders, to create new knowledge, and to serve society."とエンジニアが明瞭に認識されている。Stanford大学でも、エンジニア育成を使命としている。さらに、MITの授業は全て公開されており、講義はMITの教育の一部にしか過ぎないと認識されている。

この教育改革の傾向をまとめると以下の通りである：

- 1) 知識偏重教育から人間教育へ
- 2) 教員中心の教育から学習者中心の「学び」と質の保証へ
- 3) 積み上げ方式から知識と応用の同時教育へ
- 4) 実物、社会、自然等実体に触れることのできる教育へ
- 5) エンジニアリング・デザイン、チームワーク力、アントレプレナーシップ教育（社会での必要性・価値を察知し、新たな価値を生み出す能力育成）などの重視へ

エンジニアリング・デザイン（以後「デザイン」）とは、従来の単なる設計ではなく、種々のエンジニアリング的問題解決策の立案を含む広い意味を持っている。科学がいかに発展しようと、科学を適切に利用して種々の問題を解決するエンジニアリング・デザイン力が劣っている国は衰退せざるを得ない。このような認識が各国にあるため、ワシントン協定等国際的教育的相互承認の修了生アウトカムズ（後述）要件として入っている他、以下のような取組がなされている：

- ・製図中心の教育からデザイン全体とエンジニアリング教育への転換
  - ・problem-based learning (PBL) の導入
  - ・低学年から実施する新たなカリキュラムの採用
  - ・国際プロジェクトおよび共同プロジェクトへの企業支援（グローバル化エンジニアリング）
- 6) 細分化された講義主体の授業からモジュール化された授業へ。講義、演習、実験、実習、討議、PBL等を適切に組み合わせた「体験⇒省察⇒抽象化⇒体験⇒・・・」

の経験的学習サイクルを実現

7) 講義は少なくして、個人学習からグループ学習あるいは協調的学習へ

8) アウトカムズ(Outcomes, JABEE では学習・教育到達目標)を重視した教育、評価、認定へ

Outcomes とは、教育プログラムや科目の終了時まで、身に付けておくべき知識・能力のことである。エンジニア教育の場合は、前述の PC に対応して Graduate Attribute(GA)として、国際標準的なものが定められている[1]。

大学がアウトカムズを明示し、学生、社会とも共有して、評価し、教育の改善に生かすと共に、JABEE のような第三者がアウトカムズを重視した基準に適合している教育プログラムを認定して公知させるのが、現在の国際標準になっている。

#### 4. 日本の現状

不況による就職難、文科省の現代 GP や CAP 制、JABEE の認定制度、海外における教育改革など種々の社会からの圧力、要求、情報等により、日本の工学教育も変化しつつある。具体的には、1 週間に開講する講義数の減少、PBL の導入、製図中心ではないデザイン教育の導入などである。また、「アウトカムズ」の概念が理解されてきている。これらの状況は、日本工学教育協会の年次大会や協会誌「工学教育」からも伺える。

しかしながら、諸外国のエンジニアリング教育と比較して、日本の教育が自慢できるような状況とはとても言えない。むしろ遅れている大学や学科が多い。また、国際標準となっている認定も多くの伝統的大学のプログラムが認定されていないという異常な状況となっている。

これらの現状は、エンジニア教育とは何か、何をすべきかという本質的な理解に欠け、さらに従来通り 4 年次の卒業研究までは基礎知識を教授することが必須であると思いついでいる教員が多いことに起因すると思われる。

このままでは、教育の国際競争に後れをとり、取り返しのつかない事になりかねない。改革を加速する必要がある。

#### 5. おわりにー 何をすべきか

改革を加速するには、以下が重要だと筆者は考えている：

1) 単なる研究者育成ではなく、専門家としてのエンジニア育成の重要性を認識する(特に、研究重視大学)。また、国は「研究者育成」と「専門家育成」で大学を色分けするような政策は直ちに止め、研究費配分制度を見直す。なお、科学者を育成する大学も必要であるが、数多くは不要であり、その修了者の就職先は極めて限定されることを社会に伝えておくべきである。また、「科学者」の専門性を明確にすべきである。

2) 教員が自分の分野で必須と考える知識を講義する一斉授業は極力へらし、学習者が自ら「学ぶ」環境・授業を教員が教員団として協力し、社会とも連携して実現すること

が教員の義務であることを認識する。

3) 上記の「学び」には、師との対話、仲間との対話、自分自身との対話(省察)が必要であることを認識する[5]。

4) アウトカムズを認識して、教育プログラムの修了者が、将来活躍する可能性のある分野で必須となる原理・原則を厳選する。そして、初年度から実際に遭遇するような問題の発見・解決に利用する機会や創造性を発揮する機会を多く与え、その原理・原則をたたき込む。同時に知識を自分で獲得する手法や問題発見・解決、創造性、チームワーク力、アントレプレナーシップ力、省察の習慣などを身につけさせる。このため、デザイン課題を対象とした PBL(協調的学習[6]も組み込むのが望ましい)などを採用する。

6) 上記のような教育には、1 科目週 2 時間程度の授業では困難であり、半日あるいは 1 日かけるようなカリキュラム改革が望ましい。このような改革には、学部全体で数年後の実施を目指して、障害となる点を取り除きながら、過渡的対応を取る必要がある。

いづれにしても、教員および大学のデザイン力・創造性が問われている。また、国は、研究者育成とエンジニア育成の違いを認識すべきである。そして、現在の技術士資格審査法を改革し(Engineer と Technologist の区別も含む)、産業界でもより活用でき、真に国際的に通用する Professional Engineer 制度を確立し、伝統的大学でもその育成を使命とするような環境を整えるべきである。

#### 文 献

(1) 文部科学省先導的大学改革推進委託事業「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」

・<http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080>

・[http://www.jabee.org/public\\_doc/download/?docid=241](http://www.jabee.org/public_doc/download/?docid=241)

(2) 産学官連携を担う専門人材の育成に関する参考資料

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu8/011/gijyoku/\\_icsFiles/afieldfile/2010/07/01/1294601\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu8/011/gijyoku/_icsFiles/afieldfile/2010/07/01/1294601_1.pdf)

(3) D.A.Schön, The reflective practitioner, Basic Books (1983),

省察的实践とは何か、柳沢昌一、三輪建二訳、鳳書房(2013)

専門家の知恵、佐藤学、秋田喜代美訳、ゆみる出版(2012)

(4) JABEE-日工教共催「国際的に通用する技術者教育ワークショップシリーズ 第1 回」<http://www.jabee.org/activity/symposium/>

(5) 佐藤学、学校改革の哲学、東京大学出版会、(2012)

(6) JABEE-日工教共催「国際的に通用する技術者教育ワークショップシリーズ 第2 回」[https://www.jsee.or.jp/taikai/workshop/?action=common\\_download\\_main&upload\\_id=1304](https://www.jsee.or.jp/taikai/workshop/?action=common_download_main&upload_id=1304)