工学教育と工学研究について

On Engineering Education and Engineering Research

仙石 正和^{※1}

Masakazu SENGOKU

The research activity of engineering area in Japan shows a downward trend in recent years. Under the present circumstances, engineering education becomes more important. Graduate attributes form a set of individually assessable outcomes that are the components indicative of the graduate's potential to acquire competence to practise at the appropriate level. Graduate attributes of the Washington Accord (WA) include the importance of research. A new trend of engineering education with engineering design, interdisciplinarity and teamworking is introduced. The sense of research in engineering area is essential in engineering design education.

Keywords : Engineering Education, Engineering Research, Engineering Design, Design Education

キーワード : 工学教育, 工学研究, エンジニアリングデザイン, デザイン教育

1. はじめに

近年、工学の様々な専門分野の境界が曖昧になり、例えばものづくりの技術者とデザイナーの役割もその境界が曖昧になってきている。このような状況の中で、最近の日本の工学の研究が、世界の中で、必ずしも大きな勢いが感じられないとの指摘があり、専門分野の融合に研究者が追従できていないのか、研究者の意識の問題なのかそれとも研究環境の問題のかなど様々な議論がある。これと呼応して、人材育成、特に工学教育の重要性が一層高まっていることは確かである。WA（ワシントンアコード）における、「卒業生として身に付けるべき知識・能力」の中に「研究」の重視が盛り込まれていることにも触れ、最近の工学教育でのデザイン教育の重要性とそこでの研究センスの必要性について述べる。

2. 工学教育の変遷

2.1 工学教育の変遷の概略

以下に、工学教育の変遷の概略を箇条書きにする。

- (1) 1873年、ヘンリー ダイヤー (Henry Dyer)、工部大学校（東大工学部前身）実質的校長に赴任、日本の工学教育の基礎を築く。
- (2) 途中省略
- (3) 1999年日本技術者教育認定機構（Japan Accreditation Board for Engineering Education, 略称JABEE）設立
- (4) 2005年に、JABEEは日本を代表する技術者教育認

定団体としてワシントン協定(Washington Accord: WA) に加盟。

- (5) 2009, 2013 IEA (International Engineering Alliance) は工学教育の「卒業生としての知識・能力」のエクザンプラの設定へ。

なお、International Engineering Alliance (IEA) はエンジニアリング教育認定の3協定 (Washington Accord: WA, Sydney Accord: SA, Dublin Accord: DA) と専門職資格認定の3枠組 (APEC Engineer, EMF, ETMF) のアンブレラであり、高等教育機関における教育の質保証・国際的同等性の確保と、専門職資格の質の確保・国際流動化、共通課題について議論を行っている。Graduate Attributes (GA) and Professional Competency Profiles (PC) の第2版が、2009年の京都総会で採択された。その結果、ワシントン協定の各加盟団体は、2019年までにこのGAを模範にして認定基準の改定を行うことが義務付けられ、Outcomes Based Learningの審査という明確な方向が示された。IEA Graduate Attributes and Professional Competenciesとは「卒業生として身に付けるべき知識・能力と専門職としての知識・能力」（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、IEA GA & PC翻訳ワーキンググループ）の意味である。Washington Accord: WA, Sydney Accord: SA, Dublin Accord: DAのAttributesの比較を図1に示す。

2.2 1990年代の工学教育の変遷（米国）

- (1) 1994年、NSFやABETに関わる産業界などは、工学教育の変革が必要との議論を開始。
- (2) 1996年、ABETは、数学、自然科学の知識の他に

2013年9月27日受付

※1 新潟大学

図1 IEAのワシントンアコード (WA), シドニアアコード (SA), ダブリンアコード (DA), 参考文献10)

- －効果的にコミュニケーションできる能力,
- －効果的に仕事ができるチームワーク力,
- －グループによる問題解決スキル,
- －技術者倫理の自覚,
- －人文社会科学の知見等

を身に付かせることにも力を入れる方向にシフト。卒業時点で身に付けるべき共通の知識・能力等（アウトカムズという）の項目の他に、プログラム運営組織側で独自にどのようなアウトカムズの項目を設定しようとも、すべての項目を、卒業時点で学生が実際に身に付いているかどうかを根拠となる資料で整理・分析し、評価し、教育目標を達成した学生のみを卒業させるとともに、継続的な教育改善を促すものとした。これが、ABETのEC2000になった。

- (3) 1997年, (1), (2)の検討結果を基本理念に, Franklin W. Olin財団が, オーリン工科大学の設立。授業開始は2002年^{†1}。

(オーリン工科大学は, 5.を参照)

2.3 1990年代の工学教育の変遷 (日本)

- (1) 1996年, 主要8国立大学工学部が組織した『工学における教育プログラムに関する検討委員会』で検討を開始。
- (2) 1998年, 同委員会で, 工学とは, 『数学と自然科学を基礎とし, 時には人文社会科学の知見を用い, 公共の安全, 健康, 福祉のため有用な事物や, 快適な環境を構築することを目的とする学問』と定義。

^{†1} 米国のように, ABET, JABEEの思想を組み込んだ, 日本版オーリン工科大学のような大学が成功を収めると面白い。

- (3) 1997年, 「国際的に通用するエンジニア教育検討委員会」設立。
- (4) 1999年, 同委員会の検討を経て, JABEE設立。4年制大学等の高等教育機関の学部教育 (高専専攻科教育を含む)におけるプログラムに対して, 米国の認定機関のABETと実質的に同等な認定基準を設け, 申請ベースで, 自己点検書と実地訪問により厳正, 公平, 公正に審査し, その基準を満たすものであれば, 学部を問わずすべて, 工学教育ではなく, 技術者教育を行っているプログラムであると認定し, 公表し, そのプログラムのシステムとしての質保証をするJABEE認定審査作業が2000年度から開始された。JABEEは, ワシントン協定 (Washington Accord: WA) に2005年に加盟が認められた。

3. 工学教育の中の「研究」の役割

WA (ワシントンアコード) のGraduate Attributes (「卒業生として身に付けるべき知識・能力」)¹²⁾は12項目 (Attribute 1～Attribute 12) あるが, その中で「研究」(research)が係わっている項目はAttribute 4である。

Attribute 4) Conduct investigations of complex problems using research-based knowledge and research methods including design of experiments, analysis and interpretation of data, and synthesis of information to provide valid conclusions.

日本語に訳すと,

能力4): 複合的な問題について有効な結果を得るために, 研究ベースの知識ならびに, 実験計画, データの分析と解釈, 情報の取りまとめを含む研究手法を用い, 調査を行う。

となる。この内容から, 工学教育の国際標準では, 「研究」の役割は重要であることを意味している。

4. 工学研究の勢い

最近の文部科学省科学技術政策研究所のレポート (トムソンロイターのデータベースを用いている)¹⁾によると, 我が国の工学分野の10年前と後での学術論文総数は増加しているが, 企業からの学術論文数は減少し, 大学では増加しているが増加率は大きくない。また, アジアの中でも日本の工学分野の衰退が学術分野でも起こっていることが指摘されている。このレポートの中で, 論文の量 (論文数) と質 (引用数) によって, 第1層 (質量共に高い), 第2層 (第1層に次ぐ質量をもつ), 第3層 (第2層の厚みを増加させるポテンシャルをもつ) に分野ごとに大学を分類している。第1層は, 日本の研究活動の牽引役となる組織ということになっている。

4.1 工学分野の研究の量と質

工学分野の研究の量と質についての傾向の概略を列

挙する。

- (1) このレポートでは、分野を化学、材料科学、物理学、計算機・数学、工学、環境&地球科学、臨床医学、基礎生命科学の8分野に分類して分析している。例えば、物理の分野では、第1層には8大学が入っているが、工学分野では、第1層にはどの大学も入っていない。第1層に属する大学が無いのは、工学と計算機・数学のみである。何故だろうか。
- (2) 工学分野の10年前と後での総論文数は、3,929と4,259であり、増加(9%増)している。この中で、大学からの論文数は増加しているが、企業からの論文数は減少(13%減)している。計算機・数学分野の10年前と後での総論文数は、1,676と2,117であり、増加(26%増)している。この中で、大学からの論文数は増加しているが、企業からの論文数は大幅減少(34%減)している。

4.2 論文数、引用数による研究評価

学問分野の融合が起こっている状況の中で、既存の学問領域を用いたトムソンロイターのデータベースでの分析が妥当であるかどうか、また特に変化の激しい工学分野で論文数や被引用数のみで、判断することの是非は大いに議論(異論)があるところである。一方で、このデータベースが様々な分野の研究の評価指標の一つとして使用されつつあることも事実であり、工学分野での良い研究とは何か、良い人材育成とはどうあるべきかとの議論が必要となってきた。

論文数、引用数を増やせば全てハッピーかというところ、その論文を読んで、世の中に活用してくれる人数も増やさないと、学協会の会員数も増えないことになる。会員数が増えなければ、引用数も増えない。その意味では引用数と世の中での活用数も大切であろう。

4.3 工学研究の勢いが減速した理由

何故、工学研究の勢いが減速したのだろうか¹⁾⁻²⁾。以下に個人的な感想を含めて列挙する。

- (1) 何故、企業からの論文数が減ったのか。日本企業の研究開発・事業の方針転換が主な理由なのだろうか。
- (2) 大学院重点化、競争的資金、大学の法人化が重なり、短期的に成果に結びつく研究に重点が置かれて、論文誌への投稿より、国際会議への投稿が増加。その結果、優れた(引用数の高い)学術論文誌への論文数が減少しているのだろうか。
- (3) 大学の法人化により評価作業に追われ、本来ならばできやすい大学の改組など、新しい方向への試みが、不十分で、世界の流れに追従していないのではないだろうか。その証拠として、従来型の基礎研究には論文が出ているが、システム化、応用、デザインには弱い。サイエンス色の強いIFの高い学術誌に、目が向き過ぎていないか。
- (4) 企業から研究者が大学に異動、その研究者が古い

体質の大学に新風を吹き込んでいることは確かである。一方で、企業からの研究者は、多くは中高年のため、その研究分野が伝統的で、より保守的な傾向になっていないか。大学の若手の教員、大学院生の内向き傾向も課題かもしれない。

5. 工学教育でのデザイン教育

5.1 グループによるエンジニアリング・デザイン教育

JABEEが2005年のワシントン協定加盟を目指して、外国の審査員から、JABEE審査状況が審査を受けることになった。日本から被審査校として3校の一つに、新潟大学が選ばれた。2003年11月に、カナダ、アメリカ、ニュージーランドの審査員が本学の審査状況を見にきた。後で伺ったことであるが、3校共に、エンジニアリング・デザイン教育が十分でないとの指摘を受けた。その当時、私自身もエンジニアリング・デザイン教育は卒業研究で十分行われているはずとの認識であったが、外国の審査員からは、卒業研究で学生は教員の研究のお手伝いをしていると受け取られたようである。ご存知のように、JABEEではデザインとはエンジニアリング・デザイン(engineering design)を指し、単なる設計図面制作ではなく、「必ずしも解が一つでない課題に対して、種々の学問・技術を利用して、実現可能な解を見つけ出ししていく」能力で、デザイン教育は技術者教育を特徴づける最も重要なものであり、対象とする課題はハードウェアでもソフトウェア(システムを含む)でも構わない、となっている。幸い、2005年のワシントン協定加盟を果たした。その後、日本の多くの大学は、卒業研究の他に、エンジニアリング・デザイン対応の科目を新設して、数名の学生のグループによるPBLを行っている。

5.2 チームによるエンジニアリング・デザイン教育

2012年に、再度外国からJABEEの状況の審査が行われて、外国の審査員から、「同じ分野の学生グループによるエンジニアリング・デザイン教育はよいが、専門分野が異なる複数の学生からなるチームによるデザイン教育が弱い」との指摘を受けた。

このことは、同一の学科の学生が複数集まったものではなく、専門、性別などが異なる、多様性のあるチームでの活動が必要との指摘である。

この、チームによる、デザイン教育が注目されているが、2013年、1月と3月にスタンフォード大学、オーリン工科大学を調査する機会(篠田庄司先生(早稲田大学招聘研究員、中央大名誉教授)とご一緒)を得たので、簡単に紹介をさせて頂く。

(1) スタンフォード大学デザイン・スクール(d.school)

スタンフォード大学では、図2のようなT型人間人材養成を目指しており、Tの垂直部分は従来の専門教育、水平部分の一部にデザイン教育(大学院)を導入している³⁾⁻⁴⁾。このデザイン教育を学部、学科横断型

図2 スタンフォード大学の目指すT型人間

図3 スタンフォード大学のデザイン教育

図4 スタンフォード大学デザイン・スクール (d.school), (2013年1月, 人物は筆者)

で行う組織がデザイン・スクールと呼ばれる。単位の認定は行っていない。デザイン教育のコンセプトは、図3のように、テクノロジー、ビジネス、ヒューマンバリューの共通部分ととらえている。デザイン教育を実行する上での姿勢は、

- －現実のプロジェクト
- －様々な領域の人々からなるチーム
- －最初にニーズありき
- －早い段階での失敗、失敗から学ぶ

である。図5はデザイン思考のプロセスを示している。デザイン思考は、共感 (Empathy)・定義 (Define)・

デザイン思考

- ①共感
- ②定義
- ③創造
- ④試作
- ⑤検証

図5 デザイン思考のプロセス

図6 オーリン工科大の3角形

創造 (Ideate)・試作 (Prototype)・検証 (Test) の繰り返しである。

(2) オーリン工科大学

ボストン郊外にある新しい、小規模大学である。以下は概略である^{5) - 6)}。

- －創立 (授業開始) : 2002年秋
- －ランキング : US Newsベスト工学部プログラムランキング6位
- －学生数 : 346名 (内、女子学生45%)
- －教員数 : 72名 (内、外部講師30名)
- －職員数 : 31名
- －ミッション : 「よりよい社会を築くため、人や社会のニーズを知り、その解決策を構想し、創造的ビジネスにつなげられる革新的な人材を育成する」

図6は教育の基本理念を表している。オーリン三角形 (Olin Triangle) と呼ばれ、必要な教育の3要素を示し、「工学」、「芸術・人文社会学」、「ビジネスや起業家精神」からなっている。「工学」部分は、オーリン工科大学が担当し、「芸術・人文社会学」部分は主にウェルズリー大学、「ビジネスや起業家精神」は主にバブソン大学が担当している。付近の2大学と協力して教育を行っている。

図7 オーリン工科大学 (2013年3月, 人物は篠田庄司先生)

スタンフォード大学とコンセプトは類似 (オーリン工科大学が先行例かもしれない). 多様性のあるチームによるプロジェクトベースの教育は1年生から開始, 4年生は“Senior Consulting Program for Engineering (SCOPE)”に参加. 創立間もない大学にもかかわらず, 著名大学の仲間に入っている高水準を保っている. 米国工学アカデミー (NAE) のバーナード・ゴードン賞が学長の Richard K. Miller 氏ら3名に授与され, 多くの視察者が訪れているようである.

2013年3月28日に篠田庄司先生 (図7参照) とオーリン工科大学を訪問, Initiative for Innovation in Engineering EducationのLynn Andres Stein所長とSharon Breitbart 副所長にお会いして, また, 3名の学生 Asa Eckert-Erdheim (3年生) さん, Sharon Grimshaw (2年生) さん, Sebastian Dziallas (3年生) さんから, プロジェクトの様子など詳細を聞くことができた. また, 講義と実習が連携した授業にも参加できた. (図8参照)

プロジェクトの実際について, 様々な質問をして理解に努めたが, 完全に理解したというところまで至っていない. 学生からの聞いたプロジェクトの雰囲気は以下の通り.

- (1) プロジェクトの成果より, プロセスを重視.
- (2) プロジェクトは現実の課題を対象.
- (3) 6~7人のチーム構成で, 数チームに, 2名の教員が常時ついていて, 週2回 (各3時間) (外での活動, 自宅学習など含めると各6時間) のプロジェクトを行い, 途中で, 何回かプレゼンを行う. それらを教員が見て評価. 評価の基準はあらかじめルーブリックスのようなもので, 公表されているようだ.
- (4) チーム編成は学生の希望を優先, 多様性が偏るときに教員がアドバイスする.
- (5) 基本的には, 少人数教育で, 教員が学生の中に真に溶け込んで, 信頼を勝ち得ていて, 成績評価に不満はないとのことであった.

オーリン工科大学

授業風景

図8 オーリン工科大学

図9 分野によるデザインの重要度, 参考文献¹¹⁾

- (6) 他の大学からの参加学生も, Olin の担当教員が評価.
- (7) 1~2年生のプロジェクトは, 近所のボランティアの人や他大学の学生も加わる.
- (8) 4年生になると主にOlinの学生のみで, たまに, 他大学の学生も入る. 4年生のSCOPEには, 企業の技術者が入る.

6. 分野とデザイン教育

デザイン教育は工学の全ての分野に必要なのだろうか. デザイン教育は分野によって内容, 重要度が異なると考えられる.

図9は, 東京大学の森川教授¹¹⁾ によるデザインのセンスが必要と思われる分野の分類である. 横軸は分野, 縦軸はデザイン教育の必要度を表していると考えられる. 横軸右端において, スマートシティ, スマートグリッドなど, 最先端の社会デザインの領域は特にデザインのセンスが必要であろう. デザイン教育の教育手法, 評価手法は試行の途中であり, 工学部が, もっと社会に受け入れられるための試金石かもしれない.

7. おわりに

要素技術がよくわかるだけの専門家よりも, 実際に特定の現場で最適な技術のアレンジを構想するデザイナー (アーキテクト) のほうが社会的な価値が高いかもしれない. 一方で, 伝統的な専門分野に深く精通した人材もやっぱり必要である. 昔ながらのモノづくりとともにそれを超えて, 社会をもデザインし直す能力をもつ人材を工学部は養成すべきではないだろうか.

分野によって、デザイン教育の内容、重要度が異なることに注意をすべきだろう。

2013年1月にスタンフォード大学と同時にカリフォルニア大学のバークレイを訪問した。そこでも、デザイン教育が行われており、女性向けのデザイン教育も用意されていた。このことは、高等学校から女子学生を工学部に入学してもらおうとの意図が伺われた。日本でも見習うべきかもしれない。

工学のノーベル賞と言われる、エリザベス女王工学賞が創設され、第一回受賞者（2013年が第一回）に、インターネット開発者（Louis Pouzin氏、Robert Kahn氏、Vint Cerf氏、Tim Berners-Lee氏、Marc Andreessen氏の5名）が選ばれた。インターネットはご存知のように階層構造になっており、第1層（物理層）から第7層（アプリケーション層）まであり、物理層の伝統的なモノづくりの部分から、自然科学とは異なる学問に土台をおく分野も含んでいる。さらに、インターネットの活用範囲は、社会構造デザインにまで関わるものを含んでいる^{7) - 10)}。

米国のデザイン教育の調査を行いながら、この教育に携わる教員は研究においても優れた能力がないと対応できないのではないかということも痛切に感じた。現実の困難な課題に対して創造的な解決策を考えることは研究そのものと変わらないからだ。その意味では、教育と研究の一体性、これらが大学での両輪であるという、私が若い頃に先輩から教わった本来の大学の理念は全く変わっていないことを感じて帰国した。

最後に、調査で、様々なご助言、ご指導を頂いた篠田庄司先生（早稲田大学招聘研究員、中央大名誉教授）に深く感謝する次第です。

文 献

- 1) 阪 彩香, 桑原輝隆: 研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング2011, 文部科学省 科学技術政策研究所, 2012
- 2) 研究開発戦略センター: 電子情報通信分野の現状調査と研究開発ファンディング戦略の予備的検討, 独立行政法人科学技術振興機構, 2010
- 3) Jim Plummer, Dean Stanford School of Engineer.: Educating Engineers and Scientists for the 21st Century, JUNBA 2013, 2013
- 4) 篠田庄司: 工学教育におけるデザイン教育の課題

とスタンフォード大学のデザイン・スクールの挑戦, JABEE国際シンポジウム「海外の技術者教育認定の実例」, 2013

- 5) Olin College, Webページ: <http://www.olin.edu/>.
- 6) 小林信一, 他: アメリカの工学教育改革を牽引するオーリン・カレッジ, 工学教育, 60-5, pp.18-23, 2012
- 7) 辻 篤子: 工学教育のこれからとJABEEへの期待, JABEE総会, 2013
- 8) 日本学術会議公開シンポジウム, ICT(情報通信技術)の将来展望と課題解決に向けて - 期待される人材とその育成方策 -, 2013
- 9) 仙石正和: 情報通信分野における研究と人材育成について, 電子情報通信学会, 特別招待講演, 2013
- 10) Shoji Shinoda: New Waves of Engineering Education and IEA's Graduate Attributes, 2013 ITC-CSCC, IEICE, IEEK etc., 2013
- 11) 森川博之: ストーリーとしてのICT未来構築 - 社会基盤としてのICT -, NPO法人新潟情報通信研究所講演会, 2013
- 12) IEA: Graduate Attributes and Professional Competencies, International Engineering Alliance, Webページ: <http://www.ieagreements.org>, 参照日: 2013-6-21

著 者 紹 介

仙石 正和

1967年, 新潟大・工卒, 1972年, 北大・博士修了(工博), 北大助手, 1978年, 新潟大学助教授, その後, 教授, 工学部長を経て, 現在, 新潟大学理事(研究担当)・副学長, 電子情報通信学会, 基礎・境界ソサイエティ会長(理事), 通信ソサイエティ副会長, 英文論文誌A編集委員長, 日本学術会議連携会員など。電子情報通信学会の論文賞(1992, 1996, 1997, 1998年), 業績賞(2004年), 功績賞(2008年), IEEE ICNNSP'95 Best Paper Award, "Wireless Networks"(ACM, URSI)のEditor, The JOURNAL OF COMMUNICATIONS AND NETWORKSのEditor, Journal of Circuits, Systems, and Computers(JCSC)のRegional Editorなど歴任。IEEE Life Fellow, 電子情報通信学会フェロー, 名誉員