工学教育の未来に向けての変化

Changes of Engineering Education Towards the Future

篠田 庄司 Shoji SHINODA

1. まえがき

数か月前、Fundamentals Review誌の編集長から記事の執筆を依頼された。本稿では、それを受け、世界的に話題になっている「工学教育の未来に向けての変化」について、知識整理を行い、我が国の工学教育の誕生からJABEEの誕生前夜まで、工学とエンジニアリングの意味、ABET⁽¹⁾での工学教育、JABEE⁽²⁾の誕生と技術者教育認定、欧州での工学教育の改革、並びに、JABEE認定プログラムで改革が求められているデザイン教育について述べる。なお、2007年10月の本学会誌の「情報ネット いま、学会では」のページで執筆した部分⁽³⁾と重複する部分もあるが、新しい情報を加え、論点を変えて、述べる。

卒業時点で身に付け、就業初期段階から利用できる水準の「① 能力、② 知識（記憶された情報で、引き出すことができるもの）、③ 理解（概念を創造的に利用できる知的能力）、④ 教養」を記述したものを、そのプログラムの学習達成目標とかアウトカムズという。その学習達成目標の能力等を実際に身に付けているかどうかをアセスメントし、評価することは、工学教育や技術者教育の質保証のかなめとなる。ここに、アセスメントとは、「学習達成目標の能力等を身に付けていることを同定するために、根拠となるデータや資料を収集・整理・分析するプロセス」で、評価とは、「そのアセスメントによって集積されたデータや資料に解釈を与えるプロセスで、学習達成目標がどの程度に達成されているかの度合いを決定すること」を意味する。

最近、教育結果の信頼できる評価（すなわち、科目ごとの成績評価、学習達成目標の能力等の水準を含めた達成度評価、並びに、それらを基にした総合的成績評価）のためのアセスメントを行う方法として、学生の学習行動（performance）に基づく採点基準（criteria）を作って、学習行動で、実際に身に付けた能力等の度合いを1～4の点数（4段階）や1～5の点数（5段階）等で数値化し、測る方法が、ABETのGloria Rogers（ABETのProfessional Servicesの部局のAssociate Executive Director）によって、ABETの審査員研修会で、注意喚起されている。本稿でその動向について

も述べる。なお、ABET並びにJABEEとは何かについては後述する。

これらの情報は、工学教育や技術者教育での学士力が問われている高等教育機関やその教職員にとって、何らかの役に立つものと期待している。また、企業（会社）や社会の人々にも、大学等での最近の工学教育の改革への動きに、注意を喚起してもらい、その改革への理解と認識を深めてもらうことを期待している。

執筆に先立ち、工学と関連する技術について知識共有する。技術とは、広辞苑では、「①（史記貨殖伝）物事をたくみに行うわざ。技巧。技芸。②（technique）科学を実地に用いて自然の事物を改変・加工し、人間生活に役立てるわざ」と説明されている。これはスキルやテクニクの意味である。実際には、技術はこれとは別にテクノロジーの意味でも使われる。ここに、スキルとは、skillのことで、英英辞書では「経験・訓練を通して、学習し、身に付け、事物を巧みに行う能力」とか「経験・訓練を通して、学習し、身に付け、ほぼ自動的に適用できる技能的能力」を意味すると説明されている。スキルは、伝承という観点では教室で教えられまでに知識化されていない部分を多く含み、現場で「見よう見まねによって体得」をしなければならず、かなりの訓練や経験を積んでも、個人の才能、資質や適性に依存することが大きく、俗にプロといわれる水準までに身に付けることはなかなか難しいものである。スキルは、技能、腕前とか技量ともいう。特別な分野でスキルを一定水準以上で身に付けた人はその分野の技能者、技術者、専門技術者とか専門家といわれ、その特別な分野で卓越したスキルを持つ人はその分野の名工、名匠とか達人といわれている。また、テクニクとは、techniqueのことで、テクニクともいわれ、英英辞書では、「身に付けた特別なスキルで事物を行う特別な方法や、実際に特別な分野の事物を行うことができる特別なスキル」を意味すると説明されている。

テクノロジーとは、technologyのことで、英英辞書では、「実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど（ハードウェアやソフトウェアを含む）に用いられる科学的知識、または科学的知識の応用の結果としての実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど（ハードウェアやソフトウェアを含む）」を意味すると説明されている。英和辞書では、

篠田庄司 名誉員：フェロー 中央大学
Shoji SHINODA, Fellow, Honorary Member (Chuo University, Tokyo, 112-8551 Japan).
Fundamentals Review Vol.2 No.3 pp. 04-18 2009年1月

technologyの訳が科学技術、テクノロジー、科学的方法、技術などと説明されている。science and technology の訳は**科学・技術**とか**科学技術**とされてきた。また、最近まであった科学技術庁の「科学技術」の英語は science and technologyとなっていた。technologyの訳を「科学技術」とするのは、多分、technologyの英英辞書の説明の後半部分の「**科学的知識の応用の結果としての実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど(ハードウェアやソフトウェアを含む)**」(科学の応用結果の技術)の意味を採用したと思われる。また、長岡技術科学大学と豊橋技術科学大学のそれぞれの英語名称は Nagaoka University of Technology と Toyohashi University of Technologyとなっており、technologyの訳として**技術科学**が用いられているが、それは、technologyの英英辞書の説明の前半部分の「**実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど(ハードウェアやソフトウェアを含む)に用いられる科学的知識**」(技術の基礎となる科学)の意味を採用したと思われる。また、渡部和は、文献⁽⁴⁾において、科学技術を science and technology の意味でなく、科学(science)と技術(technology)の境界層に属する新しい概念であると述べ、英語では the border of technology and scienceと書かれている。本稿では、science and technologyの訳を科学・技術の意味で**科学技術**といい、technologyの訳を**テクノロジー**とか**テクノロジーの意味での技術**ということにし、以下に、記述する。

2. 我が国の工学教育の誕生から JABEE の誕生前夜まで

ウィリアム・トムソン(William Thomson)は、1845年にケンブリッジ大学を卒業後、熱の研究でフランスに留学し、1846年の22歳のときに故郷スコットランドのグラスゴー大学の自然哲学の教授になった。彼は、1854年に、「種類の金属線の一端の温度を高く、他端の温度を低くなるように温度差を作り、温度の高い方の端から低い方の端へ直流電流を流すと、ジュール熱(抵抗器の電流の2乗に比例し、抵抗に比例する熱；1840年にジェイムス・ジュール(James Prescott Joule)によって発見)とは違う熱が銅やアンチモンなどの金属で発生し、または鉄、ニッケルや白金などの金属で吸収されるという現象を発見した。その現象をトムソン効果といい、その熱をトムソン熱という。トムソンは、1866年にナイトの称号が与えられ、後に爵位を受け、ケルヴィン卿(Lord Kelvin、またはケルビン卿という)となった。トムソンが絶対温度のスケールを導入したことにちなんで、ケルビンの名は絶対温度の単位として使われている。そのトムソンは、テクノロジーの意味の技術と自然科学の両面において貢献し、多くの技術創造で特許を取得した。特に、1855年に単位長当りの直列インダクタンスと並列コンダクタンスのない分布定数線路の方程式{なお、一般の分布定数線路の方程式はヘヴィサイド(Oliver Heaviside)によって1881年に導入される}を考察し、大西洋を横断する海底電

信ケーブルの敷設と関連して、幾つかの有用なテクノロジーの意味での技術を創造した。スコットランドはジェイムス・ワット(James Watt)の蒸気機関の発明が契機となって産業革命の発祥の地となり、その地のグラスゴー大学に、エンジニアリングのための学問(後で説明するが、我が国では工学という用語を対応させた)の重要性を認識していたトムソン教授が勤務していたこともあって、同大学は、欧州では珍しくカリキュラムの中にその学問をある程度織り込んだ先進的な教育を行っていた。

ところで、山尾庸三は1863年(文久3年)に伊藤博文、井上馨、井上勝、遠藤勤助とともにひそかに横浜港から英国船で欧州に渡り、ロンドン大学で学び、その後1866年から1868年まで、スコットランドのグラスゴーにある造船所で職工見習として働きながら、夜学のアンダーソン・カレッジで造船技術や鉱山学などを勉強していた。明治新政府の誕生の情報を聞き、急きょ帰国し、中央政府で働くことになった。山尾は、1870年(明治3年)に設けられた工部省を拠点とし、そこで働く技術者の養成を目的とした工学系の高等教育機関として**工学寮**(Imperial College of Engineering)を1873年に造った。その工学寮は電信、機械、鉱山などの6工学系学科で構成された。工学寮の名称は1877年に**工部大学校**と改称されたが、英語名称はそのままにされた。工部大学校は、1886年(明治19年)の省の見直しによる工部省の廃止で、文部省の所轄となり、帝国大学の一つの学部として工学部となって編入された。それは、現在の東京大学工学部として継続されている。なお、工学寮の設立に当たり、engineering に**工学**という訳語が当てられ、engineering education は**工学教育**という訳語が当てられた。Cambridge Learner's Dictionary で、engineering を引くと、「エンジニア(engineer)の**仕事**(work)、またはその仕事の**学問**(study)」と説明され、engineer を引くと、「機械、エンジン、道路、橋などの設計、製造、または修理の仕事をする人」と説明されている。また、Oxford Advanced Learner's Dictionaryで、engineering を引くと、「科学的知識を、機械、道路、橋、電気機器や装置等の設計、製造、制御へ応用する**活動**(activity)」、または、「その活動を行うための**学問**(study)」と記述されている。ここに、学問とは勉強することで、その対象が「**専門分野によって体系化された知識**」という形態になっているものであるから、私見であるが、明治初期、engineering について、機械、道路、橋、電気機器や装置等の役に立つものの設計・製造に用いられる「**工夫のための知識体系**」という意味で、**工学**という造語が作られたと思われる。

工学寮の初代校長としては、英国で上述のような先進的な教育を行っていたグラスゴー大学で工学を学び、理学の学位を得た25歳の若者のヘンリー・ダイヤー(Henry Dyer)が招かれた。ダイヤーは、八人の英国人の教師とともに1873年6月に来日した。ダイヤーは、その著書⁽⁵⁾の中で、山尾とは、夜学のアンダーソン・カレッジで互いに知り合った仲ではな

かったが、教室で同席していたことを記憶していたと書いている。ダイヤーは伊藤博文と山尾庸三から工学寮での教育（工学教育）についてほぼ全権を委任された。ダイヤーは、当時、グラスゴー大学以外の英国の大学での工学教育は理論を離れて、技能的技術を身に付ける実地の徒弟的訓練に偏りすぎていたことを知っており、また、欧州大陸のフランスやドイツなどの大学では、テクノロジーの意味での技術の学問的側面と関連基礎理論だけを授ける教育が行われていたことを知っていたことから、両者を融合させ、工学教育の基本方針として、学問と実地訓練のバランスを十分に考慮し、1) 最初の2年間は予備的基礎教育、2) 次の2年間は専門教育としての講義と多少の実地的応用、3) 最後の2年間は実地訓練という概ね6年間の教育とした。そして、3)の後、もう一度、勉学で身に付けた知識との関連付けをした上で、試験に合格すれば、技術者としての免許を与え、工部省に奉職させるものとした。また、工学寮の諸規則では、例えば、教育に対する校長と教員の役割を明確にし、教員には、行き届いたシラバスの作成を義務化し、2週間ごとに学生に小試験を行い（あるいは、より頻繁に行うことも考えて）、学生の理解度と学習進捗状況を丹念にチェックし、その結果を校長へ報告しなければならないなどを定め、学生は朝から夜までひたすら学習させられていたとのことである。そこには、「学生によって何が学習されたか」という観点があれば、「教員が何を教えているか」という観点が意味を持たなくなるという考えが徹底されていた。その工学教育に関する記事が、1877年5月17日号のネイチャー（Nature）のpp.44-45に「日本における工学教育（Engineering Education in Japan）」という題で掲載された。

以上に関する文献としては、(4)～(7)などを参照されたい。特に、村上の著書⁽⁴⁾は、電気電子工学科、電子情報通信工学科、情報工学科、機械工学科や土木工学関連学科での共通教養科目として「技術者倫理ならびに工学と技術の歴史」等の科目を開講し、テキストとして使用されるとよいと思われるものの一つである。

第2次世界大戦後、旧制大学から新制大学へと移行し、その後、現在までの間に、数多くの大学が設置認可され、大学教育が大衆化された。どの大学の工学部や理工学部における同じ名称の工学系学科では、ほぼ同じような講義、演習、実験等やそれらの組み合わせたカリキュラムで、工学教育が実施されてきた。1995年ごろには、4年制大学の工学部や理工学部での電気電子工学科、電子情報通信工学科、情報工学科、機械工学科などの工学系学科では、ダイヤーの基本方針は忘れ去られていたが、**工学教育は、理念的には、「幅広く深い教養及び総合的判断力を培い、豊かな人間性を涵養するとともに、特に、専門分野の基礎となる数学と自然科学の深い知識を身に付け、それを応用し、人類のために役に立つものを適切な判断のもとと創造的に開発する活動に必要な能力等（すなわち、能力、知識、理解、教養）を身に付かせる教育」**

となって、基本方針の1)と2)の内容が実質的に現代化されていた。ここに、人類のために役に立つものの「もの」とは、古くは、エンジン、機械、電気機器や、橋や道路などであったが、現在では、方法、デバイス、プロセス、システム、構造物や環境など（ハードウェアやソフトウェアを含む）だけでなく、サービスも含まれる。「もの」を「モノ」に置き換える場合もある。なお、ダイヤーの基本方針の3)の内容は、卒業後に会社に入ってから社内教育や、現場でのOJT（On-the-Job Training）や、実務で実践的に体験させられることになっていた。

3. 工学とエンジニアリングの意味

1995年ごろには、15年後に、大学の数の増加と長期にわたる少子化傾向から、「どここの大学でもよいとなると、どこかの大学に必ず入れる時代」という意味での大学全入時代が到来し、大学によっては学生を定員まで集められないところ生まれ、大学の生存競争が激化し、学部学科の改組や大学の統廃合が起きると予想された。1996年から主要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」が開始された。また、1997年3月18、19日に東京大学で開催されたシンポジウムで、それまでにほとんど忘れ去られたダイヤーの基本方針が思い起こされた。そして、1998年に、上記の「工学における教育プログラムに関する検討委員会」での検討の結果、**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」**を意味すると定義された。

また、大学や教育課程の新設・改組等の規制が緩和された半面、どのような能力等を身に付けた学生が実際に育成されているか、あいまいになる傾向が生まれ、大学は、その社会に対する倫理上の役割、自律、責任及び期待される機能として、受け入れた学生の基礎学力レベルの傾向を十分に把握し、大学設置基準を満たす独自のカリキュラムを適切に設計し、教育を実施し、当然のことであるが、学士レベルとして社会の要請する水準以上の能力等を身に付けた学生のみを卒業させることに注意を喚起することが求められるようになった。それと前後する形で、産業界、学協会や政府関係の間では、長期に及ぶ経済の低迷と停滞で社内教育の余裕がなくなった状況を把握し、工学教育の内容を見直し、教育システムの抜本的な改革・改善を大学に促すことの必要性が認識され出した。そこには、大学全入時代の到来で、大学ではない教育機関が学生を集められなくなり、その機関からの技能系の優秀な人材が集められなくなるかもしれないという危機感が生まれ、大学での工学教育を受けた人材の中からその補完（ある程度の技能を含む技術も身に付けた人材）を期待せざるを得ない意向も含まれていたと思われる。

米国のABET（Accreditation Board of Engineering and Technology）は1932年に学協会が集まって設立された

認定機関(民間組織)⁽¹¹⁾で、1985年の年次報告において、**エンジニアリング(engineering)**とは「**人類のために、資源と自然力を経済的に活用する方法を開発するために、勉学、経験並びに実践を通して身に付けた数理学と自然科学の知識を適切な判断のもとに应用する職業(profession、知的専門職、専門職)**」と定義された⁽⁸⁾。

欧州のEurEta(The European Higher Engineering and Technical Professionals Association)では、エンジニアリングとは、「**数学、科学並びにテクノロジーに基礎を置き、ふさわしいビジネス並びにマネジメントのスキルと結び付けられた知識体(a defined body of knowledge)の応用を使命とする職業(知的専門職、専門職)**」と定義されている⁽⁹⁾。

また、英国のEngineering Council(EC-UK)では、エンジニアリングとは、EurEtaにおけるものとちょっと表現が違って、「**数学、科学並びにテクノロジーに基礎を置き、ビジネス並びにマネジメントと結び付けられた特有の知識体(a distinctive body of knowledge)の巧みな応用を使命とする職業(知的専門職、専門職)で、その知識体は教育と特定の工学分野における職業能力形成で身に付ける**」と定義されている⁽¹⁰⁾。

EurEtaとEC-UKでのテクノロジーとは、数学と自然科学を基礎として創造的に組み立てられた「実際に役に立つ方法等に用いられる科学的知識またはその応用の結果としての実際に役に立つ方法等」であるから、両方とも、ABETの1985年の年次報告において定義されたエンジニアリングと実質的に同じ内容となっている。

我が国で、工学の意味は、1998年になされた定義から、「**数学と自然科学の知識を基礎とし、時には人文社会科学の知見を用い、公衆の健康と安全、社会や環境に対する予見をしながら、資源や自然力を経済的に活用し、人類のために役に立つものを適切な判断のもとに開発することを目的とする学問で、物質・エネルギー・情報・環境などにかかわる広い範囲のものを含む。**」と変化してきている。それを考慮すると、上記のABET、EurEta並びにEC-UKにおけるエンジニアリングの定義は、

1) 工学とその応用力を能力等の中核とする職業(知的専門職とか専門職という)

と実質的に等価であるということができる。ところで、2008年6月にシンガポールで開かれたInternational Engineering Meetings(IEM2008)でGraduate Attributes and Professional Competencies(GA/PC)についてのドラフト(Ver2の案)が検討されている。そのドラフトは、今後、それに対する意見を基に修正され、来年の京都での会合IEM Kyoto 2009で最終版が決められる予定である。そこでエンジニアリングの意味について説明されているが、それは、上記のABET、EurEta並びにEC-UKにおけるエンジニアリングの定義文における「職業

(profession)」のところが「活動(activity)」に置き換えたものになっている。それは、

2) 工学とその応用力を能力等の中核とする活動

と実質的に等価であるということができる。活動は便利な言葉である。逆に、**工学**とは、「**職業(知的専門職とか専門職)の意味のエンジニアリング**」や「**活動の意味のエンジニアリング**」のための**学問(知識体系)**ということになる。本稿の以下では、以上の議論を踏まえ、展開する。

上記の1)の職業や2)の活動に携わる者を欧米では**engineer**という。我が国での技術者という用語は、技能を能力等の中核とする職業や活動に携わる技能者も、テクノロジーの科学的知識と方法を能力等の中核とする職業や活動に携わるテクノロジストも含むことから、そのような技術者と区別するために、工学とその応用を能力等の中核とする活動や職業に携わる者を、**工学者**といい、engineerの対応訳語とされ、英和辞書でも使われているが、なかなか定着されていない。また、技術者との違いを込め、engineerのカタカナ呼びのエンジニアをもって、engineerの対応訳語とされたが、一般社会では、新聞、放送や雑誌においても、技術者とエンジニアの使い方があいまいになっている。JABEEでは、技術者を定義し直し、JABEEの定義の意味での技術者は、技能者ではない技術者としたが、テクノロジストの扱いが明確にされていない。本稿では、記述の都合上、以下では、engineerの標準訳語を、**工学者**といい、**工学者の意味でのエンジニア**とか**工学者の意味での技術者**ともいい、JABEEの定義の意味での技術者と区別することにする。

なお、欧米でも、ホテルに泊まったとき、バスルームの水道故障で、ホテルの受付などにクレームを言うと、「すぐengineerを送る」と返事が返ってくるように、engineerも、我が国の一般社会と同じように、工学者(工学とその応用を能力等の中核とする活動や職業に携わる者)とは違う意味でも使われている。

4. ABETでの工学教育の改革

ABETのEAC(Engineering Accreditation Commission)という委員会では、1996年以前から、**工学教育(engineering education)**について「何を教えるか」というteachingの観点から「何が学習されたか」というlearningの観点への改革の必要性が認識され、1996年には、4年制大学の学士教育課程の**工学教育のプログラム**(履修要綱等に記載されているもので、カリキュラムだけでなく、修了資格の評価・判定を含めた入学から卒業までのすべての教育プロセスと教育環境を含む学科の総称)の認定基準が、**工学基準2000**(略して、**EC2000**)という新しい認定基準に改正され、新しい認定審査システム(認定制度)が導入され、同年から一部のプログラムに対し、2000年からすべて

のプログラムに対し、認定審査が実施された。認定されたプログラムの修了生を**工学修了者** (engineering graduates) という。この呼び方は、欧州におけるボローニャプロセス (Bologna process) にある高等教育機関での工学教育でも同様である。

その際、EC2000では、工学修了者が、卒業時点で身に付けているべき「就業初期段階で必要とされる能力等 (すなわち、能力、知識、理解、教養)」を**アウトカムズ** (outcomes ; 学習達成目標) といい、どのプログラムにも、共通のアウトカムズとして、

- a) 数学、自然科学並びに工学の知識を応用する能力
- b) 実験を計画し、行うだけでなく、データを解析し、解釈する能力
- c) 経済、環境、社会、政治、倫理、健康と安全、製造可能性、並びに持続可能性などの現実的制約のもと、システム、コンポーネントまたはプロセスをニーズに合うようにデザインする能力
- d) 幾つかの専門分野を結集したチームで働くことができる能力
- e) 工学とその応用の問題を把握し、定式化し、解くことができる能力
- f) 職業的かつ倫理的な責任に対する理解
- g) 効果的に意思疎通できる能力
- h) 工学とその応用によるソリューションの地球的かつ社会的な意味合いにおいてインパクトを理解するのに必要な幅広い教養
- i) 生涯学習に対する必要性に対する理解とそれを行う能力
- j) 今日の課題についての知識
- k) 工学とその応用を能力等の中核とする活動や職業の実践に必要なテクノロジー、スキル並びに現代的工学ツールを利用する能力

(これは最新版の内容で、初版から一部修正されている) が挙げられている。また、それらのほかに、プログラムで独自に設定する「身に付けるべき能力等」も、アウトカムズとして加え、すべてのアウトカムズが実際に教育成果として身に付いたとき、「プログラムの教育目的」が達成されるようになることを求めている。その際、プログラム提供側で異なる用語を用いることがあるかもしれないが、必ず、能力等のすべての項目について実際に身に付けている度合いを根拠となる資料でアセスメントし、その度合いが実際に評価されるものでなければならないとしている。なお、「プログラムの教育目的」とは工学修了者が就業後数年後に身に付ける専門職的活動の素養を広めに述べたもので、達成評価はプログラム側の外にあることから、ABETの審査では、記述にアウトカムズ達成との不整合があるとき以外、形式的チェックで終わっているようである。

また、ABETの最新版での認定基準 EC2000の中で求めるアウトカムズを身に付けるためのカリキュラムについて、

- (a) 専門分野にふさわしい学部レベルの数学 (線形代数、微積分、微分方程式、確率・統計、離散数学、数値解析、数理計画、など) と自然科学 (物理、化学、生物科学などで、実験的経験を持つものを含む) を組み合わせたものについて1年分の授業
- (b) 専門分野にふさわしい基礎工学 (演習、実験を含む) と工学デザインからなる工学的トピックス (実験や実習を含む) について1年半分の授業
- (c) 上記の (a) と (b) の授業内容を補完し、プログラムと教育機関の両方の目的に適合する一般教養的要素 {技術者倫理、コミュニケーション能力 (効果的に報告書が書け、説明書をデザインでき、プレゼンテーションできる能力等)、情報リテラシー、ビジネスとマネージメントのスキル (コスト解析力を含む)、知的財産と法、などを含む} の授業

が含まなければならないとしている。なお、**基礎工学**とは、engineering sciencesのことで、「数学と自然科学を創造的に応用する知識体とか知識体系」で、例えば電気電子工学系でいえば、数学的・数値解析の技術、モデリングとシミュレーション、実験法と利用、材質、材料力学、機械力学 (静・動力学)、熱力学、流体力学、電磁気学、電気回路、電子回路、制御システム、エレクトロニクス、信号処理、情報理論、情報通信、ディジタル回路、ディジタルシステム、データ構造とアルゴリズム、プログラミング言語、コンピュータ、コンピュータシステム、電力などを意味する。これを**エンジニアリングサイエンス**ともいう。また、**工学デザイン**とは、engineering designのことで、**エンジニアリングデザイン**ともいい、数学、自然科学、基礎工学及び人文社会科学等の学習成果を統合し、経済的、環境的、社会的、倫理的、健康と安全、製造可能性、持続可能性などの現実的な条件の範囲内で、ニーズに合った方法、デバイス、システムなどを開発する創造的で、たびたび反復的で、オープンエンドなプロセスである。そのプロセスを達成させる統合的能力を**工学デザイン能力** (工学デザイン力とか**エンジニアリングデザイン能力**) といい、プログラムにおいて工学デザインの授業体験や産業界での実務経験で身に付けていくもので、個人の才能、資質や適性にも依存し、その能力獲得には自主的な継続的実務経験が不可欠である。そのためにも、プログラムでは、最終年度に、それまでに学習で身に付けた能力等 (知識、理解、教養を含む) を統合する工学デザインを、授業体験しておくことが不可欠となっている。

1989年に、米国、英国、カナダ、アイルランド、オーストラリア、ニュージーランドの認定団体の間で、「ABETでの工学教育プログラムの認定審査システムと実質的に同等である認定審査システムを持つ」という相互承認が**ワシントン協定** (Washington Accord; WA) という名のもと締結されていたので、1996年からのABETでの認定審査システムの改革は、その協定加盟の認定団体にも、改革をもたらした。

5. JABEEの誕生と活動

我が国では、ABETの動きに対応するように、1997年7月に設立された「国際的に通用するエンジニア教育検討委員会」の検討を経て、世界水準による技術者教育の質の保証と向上を目指し、我が国における技術者の概念、教育、資格、責任等のパラダイム・シフトを促すものとして、1999年11月19日に**日本技術者教育認定機構** (Japan Accreditation Board for Engineering Education; 略して、**JABEE**) が設立された。そこでは、4年制大学等(工業・技術系高等専門学校(高専)及び短期大学の教育に2年制の専攻科を加えた教育を含む)の高等教育機関の学部教育として、卒業後、就業初期段階の(研究者を含む広い意味での)技術者として必要な能力等を身に付けさせる教育の**プログラム**(ABETのものよりも自由度を持ち、学科やコースなどの総称)に対して、JABEEの定める一定の認定基準(ABETのEC2000に実質的の同等な基準)に基づいて、

- P: 学習・教育目標(卒業時点までに身に付けるべき能力等(水準を含む)で、ABETでのアウトカムズに相当するもの)が具体的に設定されているか、
 - D: 設定された目標を達成させるため、適切な教育環境と教育方法で、教育が実施されているか、
 - C: プログラム修了生の全員が、設定された目標を達成しているか
 - A: 教育の継続的改善システムが機能しているか
- という観点を重視し、
- ✓ 自己点検書(プログラムが認定基準を満たしていることを示す根拠資料やデータをアセスメントし、自己評価し、その結果を審査チームに分かりやすく記述した書類)
 - ✓ 訪問して行う実地調査(自己点検書で確認できなかった事項や提示が困難な事項等に関する調査と検証)

を用いて、主要工学系学会の協力を得て、确实、公平かつ公正に審査し、認定基準を満たしているプログラムであれば、学部等を問わず、**技術者教育**(技術者のための基礎教育)を行っているプログラムであると認定し、そのプログラムを教育システムとして質保証することになった。JABEEの認定基準は、EC2000のよりも幾分抽象的となり、身に付けるべき能力等の項目が少なくなっているが、EC2000で求める能力等を実質的に分散されている「地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養」を、独立な能力等の項目として挙げている点で、特徴的となっている。

ところで、ABETのEACでは、工学者(その意味でのエンジニア)に必要とされる能力等を身に付けさせる、学士レベルまたは修士レベルの工学教育のプログラムで、naval architecture programを例外として、英語でのプログラム名の最後にengineeringが付くプログラムの認定審査を行っ

ている。ABETではほかに、

CAC (Computing Accreditation Commission),
TAC (Technology Accreditation Commission),
ASAC (Applied Science Accreditation Commission)

という三つの認定委員会がある。TACは学士レベルまたは准学士レベルのテクノロジーの意味の技術の教育プログラムや工学技術(エンジニアリングテクノロジー)の教育プログラムなど、英語でのプログラム名の最後にtechnologyが付く教育プログラムの認定審査を行っている。CACは学士レベルのコンピュータ科学教育のプログラム、情報システム教育のプログラム、IT教育のプログラム、並びに関連した教育プログラムの認定審査を行っている。ただし、学士レベルのコンピュータ工学教育のプログラムやソフトウェア工学教育のプログラムはCACでなく、EACの認定対象となっていることに注意。また、ASACは学士レベル、准学士レベル、または修士レベルの応用科学教育のプログラム並びに関連した教育プログラムで、工学教育や技術教育(テクノロジー教育)とみなされないプログラムの認定審査を行っている。応用科学プログラムに必要なとされる数学、自然科学並びに人文社会科学の学士レベルの知識は、工学教育や技術教育のプログラムに類似している。

しかし、ABETの学士レベルのEACによる認定プログラムには、工学デザイン教育を義務付け、プログラム名の最後に“engineering”を付けることを義務付け、ABETの残りのCAC、TAC、ASACの認定プログラムとの差別化を図っている。この義務付けはワシントン協定加盟のどの認定機関の工学教育の認定プログラムにも、徹底されている。ABETの残りのCAC、TAC、ASACの認定プログラムはワシントン協定の対象外となっている。

そのこともあって、ABETのCACの認定対象の学士レベルの教育プログラムについては、ワシントン協定とは別に、韓国の認定機関のABEEK (Accreditation Board for Engineering Education of Korea) がかなめになって、ABETやJABEEなどの認定機関や、関係エコノミー(国または地域)のコンピュータサイエンス関係の学会などが検討に加わり、**ソウル協定**(Seoul Accord)という新しい協定を結ぶべく、学生が身に付ける能力等に関するSeoul Accord Graduate Attributesなどが現在模索されつつある。

JABEEの技術者教育は、認定基準を満たしているプログラムであれば、学部等を問わず、すべて認定対象としている点で、従来の工学部や理工学部の工学系学科における工学教育に限るものでなく、範囲が広い。また、JABEEでは技術者を別途定義し、スキルやテクニックの技能を中核とする技能者(engineering technician)とは区別しているが、テクノロジーの意味の技術「実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど(ハードウェアやソフトウェアを含む)に用いられる科学的知識、または科学的知識の応用の結果と

しての実際に役に立つ方法、システム、デバイスなど（ハードウェアやソフトウェアを含む）」を中核とするテクノロジストの扱いや、コンピュータ工学やソフトウェア工学などの「工学」が付く工学分野の技術者ではない、コンピュータ科学、情報システム、ITの知識等を能力の中核とする情報処理プロフェッショナルの扱いなどがあいまいとなっているなか、現状では、「デザイン教育が行われ、プログラムの英語名称の最後にengineeringが付けられ、認定基準を満たしているプログラム」であれば、技術者教育のプログラムであるとして認定されている。ここで懸念されることは、(1)工学デザインの前提条件ともいえる基礎工学の教育と実質的に同等な内容(水準を含む)のものがなされ、(2)デザイン教育の内容がワシントン協定加盟の認定団体の工学デザイン教育(engineering design education)と実質的に同等な内容(水準を含む)のものとなっているか、ABETのEACの認定対象のプログラムの範囲との関係で、ワシントン協定の加盟団体との間で、JABEEは何らかの調整が求められるかもしれないことである。これはJABEEの技術者教育の広さから生まれる問題で、JABEEでは現在、ABETのCACの認定対象のプログラムの範囲であるコンピュータサイエンス、情報システム、ITなどの分野については検討されている。これは、現在模索されているソウル協定に関係する。

今後、従来の工学教育の枠をはみ出している新生分野(Emerging Disciplines)や既存分野との境界があいまいな分野(Blurring of Boundaries among Disciplines)に関係するプログラムについては、JABEEの技術者教育認定対象でも、ワシントン協定での工学教育認定の許容される範囲のものであるか、JABEEとしても調査・把握し、対応・検討しておくことが、プログラム運営組織側にも、プログラム修了生のためにも、誤解が生まれないようする意味で、重要である。

2000年度からのプログラムの認定審査活動を開始し、年度ごとに認定プログラム数が増え、JABEEはワシントン協定の審査を受け、2005年6月15日にその協定に正式加盟が認められ、JABEEの認定審査システムはABETと実質的に同等な認定審査システムであることが証明された。特に、その協定では加盟団体は一つのエコノミー（国または地域）で一つしか認められないことから、JABEEがその協定への我が国を代表する認定団体となった。また、その協定に新しく加盟が認められるにはすべての既加盟団体の満場一致の承認が必要となっていることから、JABEEの国際的認知度が向上し、国際的存在感が増すこととなった。現在、米国、英国、カナダ、アイルランド、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ、香港、日本、シンガポール、韓国、台湾のそれぞれの認定団体が同協定に正式加盟しており、ドイツ、マレーシア、ロシア、インド、スリランカの認定団体が暫定加盟している。ワシントン協定の加盟認定団体数が拡大傾向にある。

2005年に、ユネスコ(UNESCO:国連教育科学文化機関) / OECD(経済協力開発機構)において、国境を越えて提供さ

れる高等教育の質保証に関するガイドラインが策定された。そこでは、

- ① 高等教育の受入国・提供国の協力等による国境を越えた高等教育の質保証体制の整備
- ② 学位資格の認証の過程の円滑化及び公正さの確保
- ③ 国内外での関係者同士あるいは関係者間のネットワーク構築、協力・連携の強化
- ④ 国境を越えて提供される高等教育の質等に関する正確で分かりやすい情報提供者の強化

などの高等教育機関や質保証・適格認定機関が取り組むべき事項が詳しく述べられている。これは法的拘束力を有しないが、質の低い教育や不当な教育提供者から学生等の関係者を保護すると同時に、高等教育の国際化の恩恵を最大限に高めるという意図がある。この意味で、我が国の工学教育や技術者教育についても、国際的に通用する質保証によって魅力向上させることが、求められる。この意味では、JABEEの活動は重要である。

JABEE認定を受け、その認定を維持するメリットとは何かという質問がよくなされる。米国では、ABET認定を受け、その認定を維持するメリットは、

- 1) 大学に、認定プログラムの教育目的の妥当性を改善し、工学者(その意味でのエンジニア)としての就業初期レベルで必要とされる能力等(プログラムのアウトカムズ)を卒業時点で獲得しているかをアセスメント・評価するメカニズムを改善する機会を与え、
- 2) 産業界の企業や雇用者に、アウトカムズを学士レベルで獲得している良い修了生を選択できる機会を与え、
- 3) 登録や免許の付与機関に、登録や免許を希望する者を選別する機会を与え、
- 4) 高校生に、質の良いプログラムの選択の機会を与える

と述べられている。JABEEでは、3)の代わりに、「技術士の一次試験が免除される」がメリットとなるが、残りの1)、2)並びに4)は、ABETと同様、メリットとなる。この免除については、プログラム修了生のうち、何人が技術士の二次試験を受け、何人が合格し、技術士となるか、技術士会側にとっても、JABEE側にとっても、プログラム運営組織側にとっても、関心の的となっている。

もう一つのメリットは、「ワシントン協定ではその加盟のどの認定団体も、その認定プログラムの修了生と同じ権利や特典を他の認定団体の認定プログラムの修了生に与えることを推奨することに同意している」ことである。しかし、ABETでは、その推奨同意は、米国のPEのライセンス付与機関を拘束するものでないと述べている。我が国では、技術士になるには、国籍や学歴は関係なく、一次試験は自由に受けられる。その一次試験に合格後、1)修習技術者となり、実務修習プログラム(4年)を経るか、2)技術士補として登録し、指導技術士の下での実務経験(4年)を経るか、3)単な

る実務経験(7年)を経るかのいずれかの道を通り、二次試験の受験が認められ、その二次試験に合格すればよい。試験が日本語で行われるという点を除けば、我が国の技術士になる窓は常に世界に開かれている。JABEE 認定プログラムの修了生には技術士の一次試験が免除されるという特典が設けられているが、その免除を行うのは、文科省の管轄事項となっている。上記の推奨同意は、登録や免許の付与機関の関係する事項では、相互互恵の原則のもと、認定団体と直接的関係を持つか、持たないかで、結果に違いを生んでいる。

6. 欧州での工学教育の改革

ここでの記述は、ここ4、5年間、欧州の大学、認定団体、企業等を訪問し、工学教育事情について調査した結果の情報に基づく。欧州では、1998年にフランス、ドイツ、英国、イタリアの4か国がソルボンヌに集まり、①欧州の文化面の発展における大学の役割の強調並びに②市民の移動性と全面的な経済の発展の推進がソルボンヌ宣言として出され、翌1999年には、29か国の教育関係の大臣がボローニアに集まり、ボローニア宣言(Bologna Declaration)が出された。その内容は、

- 1) 容易に理解、比較できる学位体系の導入
- 2) 3年間以上の学士教育と、それに続く修士教育を基本とする2段階学位体系の導入
- 3) 欧州単位互換制度(ECTS)の導入
- 4) 欧州圏での学生、教員、研究者の移動の容易化
- 5) 質の保証の連携推進
- 6) 高等教育における教育方法の開発

の項目で、国ごとの自主性と多様性を尊重しながら、2010年を目途に、この宣言内容を達成すべく、2年ごとに閣僚級会議を開催し、現在EU27か国に周辺諸国を加えた46か国が参加し、欧州高等教育圏での教育改革(学位名称の統一、単位互換性の確立や高等教育のフレームワークの共通化、工学教育プログラムの認定制度など)が推進されつつある。この移行過程を**ボローニアプロセス**という。2005年の閣僚級会議の結果、博士号を追加した3段階学位体系(FC: Bachelor; SC: Master; TC: Doctorate)が検討されることになった。そして、2006年には欧州高等教育圏の工学教育の認定のための組織であるENAE (European Network for Accreditation of Engineering Education) が作られ、その第1回の会議が2006年3月30日に開かれ、第2回の会議が2006年11月17日に開かれ、学士と修士の学位プログラムの認定のためのEUR-ACEフレームワーク基準(EUR-ACE Framework Standards; EUR-ACE (FC) とEUR-ACE (SC) に分けた学士と修士の認定基準)が、英国のEC-UKのUK-SPEC (United Kingdom Standard for Professional Engineering Competence) を参考に、作られた。そして、EUR-ACEフレームワーク基準に合致する

認定基準によるengineering education programsのプログラム認定システムを持つドイツ(ASIIN)、フランス(CTI)、アイルランド(EIE)、英国(UC-UK)、ロシア(RAEE)、ポルトガル(OE)の認定機関がENAEによって認証され、それぞれの認定機関によって認定された学士と修士のプログラムに、質保証としてのEUR-ACEラベル:

が付けられる。2008年度中にEUR-ACEラベルが付けられる予想プログラム数は、ドイツが100、フランスとアイルランドがともに75、英国とロシアがともに20、ポルトガルが5となっている。博士号(TC: Doctorate)については、今後、対応が明らかとなると思われる。

英国(EC-UK)は、英国の大学の学士教育が3年制であるため、修士教育を加えた工学教育のプログラム認定でもって、米国4年制大学工学部系での工学教育のプログラムの認定機関のABETと実質的に同等な認定システムを持つ認定機関間のワシントン協定に加盟している。ボローニアプロセスでは、工学教育について、学士教育と修士教育を合わせて5年で、学士教育を3年以上求める工学教育システムへの教育改革がなされている。しかし、その学士教育が4年以上の工学教育でないと、現状ではその教育プログラムの認定団体はワシントン協定には正式加盟ができない状況にあり、ワシントン協定へ既に加盟しているEC-UK(英国)とEIE(アイルランド)の認定団体の今後の対応がどうなるか、英国とアイルランド以外のボローニアプロセスにある国々にとって、注目されている。ドイツやロシアの認定団体がワシントン協定に暫定加盟し、正式加盟を目指しているが、現在の英国のように学士教育に修士教育を加えた工学教育プログラムの認定でもってワシントン協定への正式加盟することになるのか、対応によっては、ヨーロッパアコードというものが作られることになるかもしれない。ENAE認証の認定団体の認定の工学教育プログラムとワシントン協定加盟団体の認定の工学教育プログラムが今後の大学教育(修士号教育を含む)の質保証との関係で、修士の技術者教育を開始したJABEEにとって、目が離せない。

ドイツでは、州単位のエデュケーション行政から欧州全体のボローニアプロセスに移行する。2007年12月ドイツの全州のエデュケーション文化大臣が集める大臣会議で、2008年から、ドイツの高等教育機関のエデュケーションについては、プログラム認定ではなく、**システム認定**が実施されることになった。背景には、義務化された高等教育機関の学科レベルの認可と評価の費用削減がある。なお、システム認定とは、「教育機関自身が教育目標を設定し、

それを継続的に改善していくシステムを持ち、報告やドキュメンテーションがきちんとされ、それが開示されているなど教育の質保証マネジメントシステムが確立されていることを自己点検し、それを定期的に外部のシステム認定機関が審査・認定するもの」で我が国における機関認証に相当する。その認定には Accreditation Council が認証した認定機関があたり、審査チームや認定委員会の構成もプログラム認定の場合よりも幅広い構成になる。システム認定の基準はドイツの全州共通となるが、各州の特徴を持たせた基準を加味することもある。システム認定の実施そのものは今後 1、2 年の準備期間を要するといわれている。また、ドイツの TU9 というトップ 9 の工科大学では同レベルの国外の大学と世界規模の学士号と修士号の相互承認協定が結ばれつつある。我が国としても欧州の諸国の今後 2、3 年の動きに目が離せない。

7. JABEE 認定プログラムで改革が求められているデザイン教育

2000 年度から JABEE が技術者教育の認定制度を開始したが、デザイン能力については、技術者教育の中核部分をなすものと認識し、基準 1 の (1) (e) で「種々の科学・技術・情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力」を要求し、また、「認定・審査の手順と方法」では、「デザイン能力とは、単なる設計図面制作の能力ではなく、構想力、種々の学問・技術を統合して必ずしも正解のない問題に取り組む、実現可能な解を見つけ出していく能力」と述べているが、我が国では、大学等の高等教育機関の工学教育に携わっている教員側も、JABEE 側の認定審査に携わっている学協会を通しての大学等の高等教育機関の教員や産業界の技術者も、ワシントン協定の加盟認定団体が求める工学デザイン（エンジニアリングデザイン）に対する理解と認識が弱かったこともあって、技術者教育で求められるデザイン能力の多くの要素は演習、実験、電気機械設計製図、電子回路設計や卒研で身に付けられると判断され、解釈論で実質的同等性が保たれると考えられていた。ところが、2004 年度に JABEE がワシントン協定への加盟審査を受けたとき、ワシントン協定側の審査チームから、「日本は工学デザイン（エンジニアリングデザイン）の教育が弱いのではないか」との指摘を受けた。

そこで、2004 年 12 月 4、5 日に、エンジニアリングデザインに関する JABEE 国際シンポジウムを開いて、そのデザインについて議論した結果、「実際のデザインにおいては、構想力/課題設定力/種々の学問、技術の総合応用力/創造力/公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等の観点から問題点を認識する能力、及びこれらの問題点等から生じる制約条件下で解を見いだす能力/構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力/コミュニケーション能力/チームワーク力/継続的に計画し実施する能力などを総合的に発揮すること（総合力とか統合力）が要求され、そのようなデザインの能力（デザイン能力）は内容・程度の範囲が広く、デザイン教育は技術者教育や工学教育を特徴付ける最も重要な要素

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。」との意見集約がなされた。しかし、そのようなデザイン能力は、広さと深さの観点で、学士課程以上の教育を受け、技術者になって多くの経験と実践を踏んでも、身に付いたかといわれれば、これで十分といわれることがないもので、学士課程の教育では、行える範囲に、限界があるとなった。

それで、JABEE では、「分野別要件や社会の要求などを考慮し、学部教育として適切な学習・教育目標を具体的に設定することをプログラム運営組織側に求めることとし、その水準と実施方法はそれぞれ独自に国際的動向を調査し、実施する」ことを求め、デザイン対象課題は、現状からの改善移行を考え、当面、「分野によっては研究計画や実験装置の設計等も含めてよい。」とした。そのような緊急の対応もあって、**JABEE はワシントン協定に正式加盟することができた**。しかし、JABEE がワシントン協定加盟維持審査を受けるとき（2010 年?）には、デザイン教育についてどのような改善がなされているか審査されることになった。

各学協会への協力要請とその結果の各高等教育機関での努力の結果、現状では、ある程度改善がなされて来ている面もあるが、「研究計画や実験装置の設計等も含めてよい」としたためか、また「卒業研究や卒論（以下、卒研という）は知識獲得、調査研究能力、課題発見能力、課題解決能力の育成の意義を持つ優れた伝統的な科目である」という我が国特有の意識もあって、デザイン能力の多くの要素を卒研で行うプログラム設計がなされているところが多い。大学院進学を目指している学生にとっては、大学院進学後の科学研究を視野に入れ、そのための予備調査研究を卒研で行うものも少なくなく、また、卒研担当教員の専門分野の多様性とそれに関係する卒研テーマの多様性もあり、「上記のシンポジウムで意見集約されたデザイン能力（の要素）が実質的に卒研のどの部分で身に付いたか」の根拠説明が求められたとき、個別学生の卒研の論文（実地審査で開示要求される資料の一つ）によっては、デザイン教育としては、他の科目等での補足部分があるとしても、一部が弱いとか抜けているとワシントン協定側から再度指摘される恐れが残っている。その意味で一層の改善や充実が求められる状況にある。

「社会が必要としている問題点を抽出し、取り得る解決策を、コスト等を含めて、検討・選択し、時に創り出し、実施の上、評価し、成果を発表するという一連の流れについてきちんと教育がなされているか（教員の以心伝心でなく、カリキュラムとして成立しているか）」という米国でのほぼ共通のとらえ方から見ると、我が国のデザイン教育は、プログラムによって多様になっており、デザイン能力の要素がいくつかの科目の一部に含まれ、全体として学生は必要とされる要素を学習したことになるからといっても、「そのデザインが一つのオープンエンドなプロセスである」ことを確認する経験学習部分が欠けている場合は、「要素を知ったからといって、

そのデザイン能力という統合力(総合力)とは何かを知ったことにならない」という意味で「デザイン教育としては弱い」とワシントン協定側から再度指摘される恐れが強く残っている。

また、4年次でなく、1, 2, 3年次での教育だけで、工学デザイン(エンジニアリングデザイン)教育を済ませるとするのは、ワシントン協定加盟のカナダの認定団体CEAB (Canadian Engineering Accreditation Board)の認定基準と認定審査手順で「The engineering curriculum must culminate in a significant design experience which is based on the knowledge and skills acquired in earlier course work and which preferably gives students an exposure to the concepts of team work and project management.」と記述されていることから明らかなように、「工学デザイン教育としては弱いのでないか」とワシントン協定側から再度指摘される恐れが残っている。

筆者はイリノイ大学のシカゴ分校の工学部に長年の親友の教授がおり、訪問するたびに、電気情報系の学科の状況をモニタリングしてきた。筆者の勤める大学の情報工学科の牧野光則教授が4年ほど前同工学部に在外研究で1年間滞在したときにも詳しく調べてもらった。イリノイ大学シカゴ分校の工学部の「電気工学及計算機工学の学科」は現在ABETの6年(最長)の工学認定を受けている。その学科では、内容的に、1年次で「エンジニアリングとは何か」という内容の科目が設けられ、1年次～3年次に専門に関係する数学、基礎科学(自然科学)並びに工学基礎(エンジニアリングサイエンス)の一連の科目が設けられ、**履修条件として、必須科目、並びに既単位履修科目との関係が指定され**、それに加え、当然のこととして、人間力養成の意味で上記の科目等を補完する人文社会科学や語学などの科目が設けられ、技術者倫理、コミュニケーション能力(効果的に報告書が書け、説明書をデザインでき、プレゼンテーションできる能力等)、情報リテラシー、ビジネスとマネジメントのスキル(コスト解析力を含む)なども学習させられ、4年次になって、**趣旨が異なる卒研とは別に**、工学デザイン(エンジニアリングデザイン)とはどのようなものかの知識取得と工学デザインを経験学習する科目が、**必須科目として**、モジュール(科目群)の形で設けられ、学習させられている。その授業の特に経験学習科目の方では、学生を4, 5人のチームに分け、チームごとに教員側のテクニカルアドバイザーが付き、社会的ニーズに合った方法、デバイス、システムなど(ハードウェアやソフトウェアを含む)の開発・実現が求められる複合的な課題(complex problems: 多くの異なる部分からなり、そのため、理解することがしばしば困難である問題で、複雑な問題ともいう)について、チームワーク(チームのリーダーまたはメンバーとして役割を効果的に果たす能力)で、定められた期間内に、

- ✓ 複数の解決策を創造的に考え出し、
- ✓ それらの解決策をコスト、公衆の健康・安全、文化、経

済、環境、倫理等の観点からも検討・評価し、

✓ 妥当な解決策を選択し、具体的に解決し、目標とするものを開発・実現するオープンエンドなプロセスを経験学習させている。その際、その授業の締めくくりとして、例えば、

- 1 Introduction
- 2 Problem Statement and Solution (Introduction, Problem Statement, Possible Solutions, Our Design)
- 3 Technical Analysis (Introduction, Component Analysis)
- 4 Our Design's Results
- 5 Conclusion
- 6 Cost Analysis (including Hourly Budget)
- 7 References

のような内容の報告書を作成させ、全体の成果発表会を設け、同窓会等の協力を得て、グループごとに成果を発表させると同時に、他のグループの成果を聞かせ、工学デザインに対する理解を深めさせる場としている。成果発表会での工学デザインのプレゼンテーションでは、プログラムのアウトカムズに挙げられている能力、知識、理解、教養(ABETの基準で求めているもの)について身に付けたものを、必要に応じて、はっきり示せることを学生に求め、プレゼンテーションの評価観点を、

1. コミュニケーション力(効果的に報告書が書け、説明書をデザインし、プレゼンテーションし、明確な指示を出したり、受け取ったりできる能力を含む)?
2. 参考資料は十分か?
3. チームは適切に組織化されているか?
4. チームワーク力?
5. プログラム・ブックレットにおけるプロジェクトとの記載?
6. ビジュアル・エイドの質、効果、利用は?

などとし、成果発表会での工学デザイン自体に対する評価観点を

1. エンジニアリングデザインのプロジェクトの目標が明確にとらえられているか?
2. 選択したデザインに対して、代替案を含め、現実的な制約(経済、環境、社会、倫理など)を考慮して、評価されているか?
3. デザインに影響を与えるコスト、製造可能性、持続可能性等について適切に考慮されているか?
4. 目標はどのように達成されているか?
5. プロジェクトはいかに目新しいか?
6. プロジェクトは現代の工学やテクノロジーのレベルと実

践から見ていかに実用的か？

などとし、評価委員の総合的評価結果を成果発表会の最後に発表している。これは参考になる実践例であると思われる。

英国では、工学デザイン教育がどのように行われているかの授業現場を見ていないが、基準では工学デザイン能力として「美的要素の重要性について理解する」が要求されている。市場での商品や製品は、売れるためには、それらを支えるテクノロジーも重要なファクターであるが、それらの意匠（デザイン）の美しさも重要なファクターであることから、上記のことが要求されていると思われる。研究でも、良い成果は美しいという。今後、ワシントン協定加盟の認定団体のエコノミー（国や地域）でも、「美的要素の重要性について理解する」が工学デザインの要素の一つとなるかもしれない。

JABEEとしては、我が国の技術者教育の国際的に通用する発展のために、また、JABEEのワシントン協定加盟継続のためにも、認定プログラム運営組織側に、JABEEでのデザイン教育とは工学デザイン（エンジニアリング・デザイン）教育の意味であることを強く認識してもらい、その教育として、それぞれの独自性と創意工夫の中で、米国におけるように、4年次に、**通常の卒研**（一般的にデザイン教育とは趣旨が異なる）**とは別に**、モジュール形式（科目群）で授業編成し、デザイン経験学習科目部分では、学生を3～5人のチームに分け、チームワークで経験学習させる実践例が実施されるようになることが望まれている。なお、**JABEEの技術者教育は工学教育より意味する範囲が広いことから**、従来の分野にない新生分野（Emerging Disciplines）や既存分野との境界があいまいな分野（Blurring of Boundaries among Disciplines）を含む可能性が高く、そのような分野での技術者教育プログラムの中には、ワシントン協定側に参考例がなく、JABEE自体の協定加盟継続審査のときに、ワシントン協定側からそれらのJABEE認定に対し何らかの指摘を受けるかもしれない。また、従来の分野でも、技術者教育プログラムの中には、ABETで求める工学教育プログラムとしては、数学教育と工学デザイン教育についての内容とレベルで、ワシントン協定側からそれらに対し何らかの指摘を受けるものがあるかもしれない。というのは、ABETには既に述べたようにTAC,CAC並びにASACの認定もあり、EACの認定では、「**工学デザインが教育されているか**」という観点で、他の認定と**差別化されている**。また、JABEEでの認定プログラムは、JABEE認定基準を満たすならば学部等を問わないとしているため、工学部や理工学部の工学系のプログラムに比べ、内容の深さと広さにおいて、数学や自然科学の教育は十分かということもある。

ところで、ワシントン協定レベルで扱う**複合的な問題**（complex problems）についてであるが、その内容について明確な説明がなされていない。先に触れたIEM2008での

Graduate Attributes and Professional Competencies (GA/PC) についてのドラフト (Ver2の案) では、複合的な問題とは、当該の専門職的活動のための能力等がなくては解けない課題で、次のすべてまたは幾つの特徴を含むと説明されている：

- ✓ 広い範囲に及ぶか、あるいは対立する技術的で、工学的で、他の課題を含む。
- ✓ 明らかな解を持たず、適切なモデルを定式化するための解析において抽象的思考や独創性を必要とする。
- ✓ 基本を基に、原理を第一とする解析方法を可能にする深い知識を必要とする。
- ✓ めったに出くわさない課題を含む。
- ✓ 当該専門的職業活動基準や実践規範の課題の外にある。
- ✓ 広く、変化するニーズを持つステークホルダーの多様なグループを含む。
- ✓ 広い範囲において重要な結果をもたらす。
- ✓ 多くのコンポーネント部分や部分課題を含むことがあるレベルの高い課題である。

このような説明は、あくまでも参考的意味合いのもので、エコノミー（国または地域）の自主性と多様性が尊重され、認定団体での工学教育の認定基準や認定審査手順の改訂やアウトカムズ・アセスメントの方法作りや、大学教育（大学院修士教育を含む）での教育プログラムの設計に参考となると考えられている。

JABEEの認定を受けていなくとも、大学教育（大学院修士教育を含む）での工学教育で、学士課程卒業や修士課程修了時点で学生が身に付けた能力等（すなわち、能力、知識、理解、教養）に加え、実社会に工学者（その意味でのエンジニア）として入って数年の実経験を経てその能力等を磨き上げ、専門職的活動能力の広さと深さを高めることを視野に入れ、プログラム設計とプログラムの目指すアウトカムズ（学習・教育目標）の能力等ごとに信頼できるアセスメントを行い、それによって成績評価を行い、学生やエンジニアの国際的移動の助けとなる「**信用できる比較可能な学位証書添付資料**（科目ごとの秀・優・良・可・不可の成績証明書だけでなく、アウトカムズの達成状況の成績も含む）」を発行できるようになることが、世界の工学教育の目指す方向である。欧州では、その資料に近いものをDiploma Supplement（デプロマ・サプリメント）といい、その形式は欧州委員会（European Commission）、欧州会議（Council of Europe）、ユネスコのワーキング・パーティによって作られている。また、2005年にユネスコ／OECDにおいて策定された「国境を越えて提供される高等教育の質保証に関するガイドライン」の意味で、発効する学位証書添付資料に信用を持たせる意味で、**分野別プログラム認定を受ける必要性が生じる**。とはいっても、我が国では、**機関認証機関は複数あるが、工学教育や技術者教育のプログラム認定を行っている機関は現在のところ**

JABEE だけである。

我が国には、アウトカムズ(学習・教育目標)の達成評価として、全国統一試験を行うという考えが根強くある。それに対して、卒業時点で身に付けている知識、理解、教養を、広さと深さで、この程度のものでできないと「だめ」であるというチェックはできても、学習行動(performance)で身に付けられる種々の能力を、どのようにチェックするか、難しいという考えも根強くある。全国統一試験がどうなるか、今後の問題であるが、それよりも、分野別プログラム認定で、アウトカムズ(学習・教育目標)の達成評価をアセスメントし、評価し、成績を採点する「信頼できる測定方法やツールやインストルメント(のテンプレート)」が開発され、その使い方の多様性の理解と普及が重要である。

8. アセスメントツールの採点根拠表

教育現場では、採点権は教師にあるというが、どのように成績評価がなされているかに対して、自分の学習努力を別にして、学生の不安と不満がある。特に、同一科目を複数のクラスに分け、異なる教師によって教育がなされている場合に、その不満が特に多い。最近注目されつつあるものに、複数の達成目標の達成度をアセスメントし、評価するのに役に

立つツール(インストルメント)として、達成目標の達成度を点数化した尺度と、それぞれの尺度にふさわしい記述語からなる**ルーブリック(rubric)**とか**採点ルーブリック(scoring rubric)**というものがある。それは、教育の場合、学習達成目標として身に付けるべき種々の能力等(能力、知識、理解、教養)の項目ごとに、それが達成されるためには、「学生のどのような学習行動(performance)を見て判断すればよいか」という立場から、複数の観点(performance criteria, 学習行動評価基準)を記述語(分担する、集める、整理する、分析する、定式化する、解析する、応用する、明らかにする、示す、できる、報告する、などの動詞が最後に付く表現)で設定し、それらの観点を「表」の行項目とし、列項目として、例えば、達成度を「行動が不十分である」、「行動が発現している」、「行動が十分である」、「行動が典型的・模範的である」の4段階で測る場合、それぞれに1, 2, 3, 4の点数を割り当て、更に、その「表」の要素(その表を行列と考えたときの、何行何列の要素に対応)に、観点ごとにどのような点数(1~4のどの点数)を付ければ妥当かの判断のための記述語が入れられた「**採点根拠表**」を意味する。

表1 採点根拠表の例

チーム(共通の目的を有する集団)において有効に行動しているか (達成目標: チームにおいて有効に行動する)					
学習 行動 評価基準	水準 行動が不十分である	行動が発現している	行動が十分である	行動が典型的・模範的である	
	1	2	3	4	採点結果
必要な情報を調査収集する	課題に関する情報を全く収集しない	わずかしき情報収集せず、課題に係るは少しである	複数の基本的な情報を収集し、そのほとんどは課題に関係している	大量の情報を収集し、その全てが課題に関係している	
チーム内での役割として課せられた義務を果たす	全く義務を果たさない	わずかしき義務を果たさない	ほぼすべての義務を果たす	すべての義務を果たす	
公平に仕事を分担する	他者に注意されないと、割り当てられた仕事をしない	割り当てられた仕事をほとんど自らこなすことはせず、よく注意される	通常は割り当てられた仕事を自らこなし、注意されることはまれである	注意されることなく、割り当てられた仕事を常に自らこなす	
同僚の発言を聞く	いつも自分だけが話し、他者が話すのを認めない	ほとんど自分だけが話し、他者の話を聞くのはまれである	他者の話を聞くが、時には自分の話が多くなる	適切な量を話し、かつ、他者の話を聞く	

この表1は、2008年2月9日フロリダ州タンパのMarriot Tampa Westshoreで行われたABETのFaculty Workshop on Assessing Program Outcomesで講師を務めたGloria Rogersが用いた資料の一つを意識したものである。「チーム(共通の目的を有する集団)内で有効に行動する」を達成目標としたとき、その能力は「必要な情報を調査収集する」、「チーム内での役割として課せられた義務を果たす」、「公平に仕事を分担する」、「同僚の発言を聞く」の四つの学習行動で測るとした立場から作られた採点根拠表の例である。このような採点根拠表は、授業で、教師にとっては、どのような根拠で採点するかを示すものであり、同時に学生にとっては、シラバス、**ポートフォリオ**(portfolio; **自己学習点検簿**)とともに参考にし、どのような点を考慮して学習すれば、アウトカムズとして求められる能力等を良い成績で身に付けることができ、特に試験の成績を自己点検できるという意味で、注目されている。実際、それを、科目の学習達成目標やプログラムの学習達成目標のそれぞれのアセスメントに利用し、総合的成績評価を導くのに利用される。

JABEEでは、現在、認定委員会のもとでのWGで、工学デザイン(エンジニアリングデザイン)の意味のデザイン教育の改善のための方策を検討している。また、平成20年度の文科省委託事業を受けたJABEEでは、その事業の工学デザイン/技術系複合WGで、工学デザイン教育の評価指標・評価方法等の調査研究で、国内外から参考となる事例を集積し、評価基準・評価指標を提案するために活動中である。米国では既に幾つかの大学で、工学教育での学習達成目標のアセスメントや教育評価への利用が試みられている。Gloria Rogersによれば、中でも、ワシントン州立大学のDenny C. Davis教授はthe NSF-funded Engineering Education Research Centerのthe co-directorでもあり、彼を中心とするチームが、工学教育の採点根拠表を用いたアセスメントのツール開発をしており、彼から有用な情報が得られるとの推薦を受けた。彼からの今回のe-mailによれば、彼のチームでは、工学教育での学習達成目標として身に付けるべき種々の能力等(能力、知識、理解、教養)の項目ごとに、それが達成されたかをアセスメントするためのツールが開発されている。特に、キャップストーン工学デザイン科目でデザイン能力(学習達成目標)が達成されたかどうかを学生の学習行動を測る採点根拠表の組が、次の項目に分けて、作られているとのことである。

1. Individual student **professional development** (ability to define and achieve growth goals)
2. **Teamwork** (individual contributions, team processes)
3. **Design processes** (activities, understanding, improvements at three phases of the design process)
4. **Design products** (solution responsiveness to

user, **financial**, technical, societal needs)

JABEEでは、米国の状況を調査するとともに、2009年3月前半に、同教授または彼のチームのメンバーを一人講師として迎え、「開発したscoring rubrics(採点根拠表)とその利用」(これは仮題で、詳細はまだ決まってない)に関するkeynote speechをしてもらい、その後で、我が国における工学デザイン教育の参考となる事例と評価指標等に関するシンポジウムを企画する。筆者もそのシンポジウムに関与していることもあり、その機会に、シンポジウムに参加され、討論されるとともに、技術者教育における工学デザイン教育の設計や改善に向けた何らかの刺激を受けられ、それぞれの高等教育機関で、デザイン教育の改善に向けた努力をされることを望むと同時に、産業界の方々には、このような努力が教育界で行われていることを理解され、積極的な支援をされることを望む。

9. あとがき

本稿では、我が国の工学教育の誕生からJABEEの誕生前夜まで、工学とエンジニアリングの意味、ABETでの工学教育、JABEEの誕生と技術者教育認定、欧州での工学教育の改革、並びに、JABEE認定プログラムで改革が求められているデザイン教育について米国との比較での改善点について述べた。

本稿の前半で述べたが、1995年ごろには、ダイヤーの基本方針は忘れ去られていたが、我が国の工学教育は、理念的に、「幅広く深い教養及び総合的判断力を培い、豊かな人間性を涵養するとともに、特に、専門分野の基礎となる数学と自然科学の深い知識を身に付け、それを応用し、人類のために役に立つものを適切な判断のもとと創造的に開発する活動に必要な能力等(すなわち、能力、知識、理解、教養)を身に付かせる教育」となっていた。米国では、ABETで、工学教育について、「何を教えるか」というteachingの観点から「何が学習されたか」というlearningの観点への改革の必要性から、1996年に、4年制大学の学士教育課程の工学教育のプログラムの認定基準がEC2000に改正され、新しい認定審査システム(認定制度)が作られ、旧システムで認定審査が実施されている中、同年から一部のプログラムに対し、新しいシステムで認定審査が実施された。そして、2000年からすべてのプログラムに対し、新しいシステムで認定審査が実施された。また、新しい認定審査システムはワシントン協定の加盟認定団体の存在するエコノミー(国または地域)に拡大した。我が国では、1999年11月19日に、JABEEが設立され、EC2000と実質的に同等な認定基準が導入され、その基準を満たす学士レベルのプログラムがその認定基準を満たすならば、学部等は問わず、工学教育ではなく、技術者教育のプログラムであると認定する認定審査システム(認定制度)が導入され、2000年度から認定審査が実施された。そして、現在に至っている。技術者教育は、工学教育よりも、

対象プログラム範囲が広い。

このような工学教育の改革は、内容的に

- 1) 卒業時点まで身に付けるべき複数の能力等の学習達成目標 (program outcomes) の設定、公開、達成
- 2) 達成度評価のアセスメントと評価
- 3) engineering designの意味のデザイン教育の必要性
- 4) engineering ethicsの意味の技術者倫理
- 5) コミュニケーション能力
- 6) チームワーク
- 7) 国際的通用性とJABEEのワシントン協定加盟

などの特徴として現れている。3)は戦後の教育改革でダイヤの工学教育の基本方針の3)が卒業後会社等で行われるようになったときに、消えてしまったもので、4年間の教育の中で取り込む形での復活の一つといえる。また、2)の達成度評価のアセスメントと評価は、最も重要な視点の一つで、方法については、教員の個人差が出る問題となっていたが、今後は、種々の目標ごとの採点根拠表が開発され、試用され、教員側と学生側からのコメントで効果を分析・評価され、結果が学会等で発表され、討論を経て、場合によっては改善され、実質的に同じ能力等ごとに、アセスメントのためのモデルとなる採点根拠表やテンプレートが作られていくと思われる。それが結果として、工学教育や技術者教育の質を向上させるだけでなく、JABEEのプログラム認定のような専門別プログラム認定の質も向上させることにつながると期待される。しかし、普及までには、教員側から文化摩擦的反発がでるかもしれない。そこに、統一試験の導入とのトレードオフが関係すると思われる。

ところで、我が国の長年にわたる少子化のすう勢にもかかわらず、大学、学部や学科の数が増加し、大学全入時代が近づき、大学、学部や学科によっては一定水準以上の基礎学力を持つ学生を集められないところも現れ、定員まで学生を集められていないという生存競争の激しさが増している。また、社会現象として理工系離れが起き、工学系学部や学科の入学時の学生の基礎学力のばらつきが、授業推進で問題視され出している。しかし、どの大学の工学系学部や学科も、社会に対する倫理上の役割、自律、責任及び期待される機能として、JABEEやABETの認定プログラムで求められているように、プログラムの受け入れた学生にふさわしい独自の教育環境と教育方法を設計し、それに従って教育を実施し、学生の学習行動を通してアセスメント・評価し、設定した学習達成目標(アウトカムズ)に対して実際に目標を達成した学生のみを卒業させることが求められている。それを果たすには、ダイヤの工学教育の基本方針を思い起こし、どの専門分野の工学教育のプログラム運営組織側も、組織的な対応をより強化し、単位制度の実質化を図り、授業での講義、演習、実験、プロジェクト実験、工学デザイン(エンジニアリングデザイン)、卒研等のそれぞれの位置付けや、科目間の有機的な組合せの導入

を促進させ、授業科目にもよるが、特に、数学、自然科学並びにそれらに基礎を置く工学基礎(エンジニアリングサイエンス)の中の必須科目については

- 1) 自学習可能な特色ある独自のテキスト{我が国の現在の教科書や参考書は、厚さが薄く、内容的に説明不足で(行間が空き過ぎで)、自学習に不向き}、補助教材や資料の作成など、授業とその準備のために教員に負担増が生じて、
- 2) 宿題等を含め予習や復習で学生に負荷増が生じて、
- 3) 今日の測定機器や実験装置や設備の導入で教育機関に財政負担増が生じて、

行わなければならない段階に来ている。科学技術創造立国や情報科学技術創造立国を目指して久しい我が国であるが、この技術はテクノロジーの意味であり、我が国の持続的経済発展には、工学とその応用の能力等を駆使して主体的に行動し、新しい現象、性質、原理を発見したり、テクノロジーの意味の技術を創造したりする「未来の社会を託すことができる研究心、工夫心、人間味が豊かな人材」の活動に頼らざるを得ない。そのような人材を工学者とか、工学者の意味のエンジニアとか、工学者の意味の技術者とか、またはJABEEの「研究者を含む技術者」という。研究に携わっている場合、研究工学者、研究エンジニア、研究技術者または単に研究者という。科学者は研究者ともいうが、研究者は研究を行っている者という意味で、科学者に限らないことに注意。

謝 辞

ここ数か月、工学デザイン能力の学習達成目標のアセスメントツールの採点根拠表(scoring rubrics)について調査研究の機会を作って頂いているJABEEの現副会長兼理事で、認定委員会委員長兼同委員会検討WG委員長の大中逸雄大阪大学名誉教授に感謝申し上げます。また、2008年3月に、ドイツ、英国、オランダに同行させて頂き、工学デザイン教育の調査をさせて頂いたJABEEの専務理事の福崎弘氏に感謝申し上げます。また、日ごろ、工学教育や技術者教育の認定関係の国際的情報収集に協力いただいている牧野光則中央大学教授並びに仙石正和新潟大学教授に感謝申し上げます。

文 献

- (1) <http://www.abet.org/>
- (2) <http://www.jabee.org/>
- (3) 篠田庄司, “ABETの認定制度との比較で、JABEEの認定制度の理解を深める,” 信学誌, vol. 90, no.10, pp.908-922, Oct, 2007.
- (4) 村上陽一郎, 工学の歴史と技術の倫理, 岩波書店, 2006.
- (5) H. ダイヤー, 大日本, 平野勇夫(訳), 実業之日本社, 1999年.
- (6) 三好信浩, 明治のエンジニア教育 — 日本と英国の違い, 中公新書, 1983.
- (7) 渡部 和, “技術と科学と境界と—基礎・境界ソサイエティの若い研究技術者に期待する —, Fundamentals Review,

- vol.1, no.2, pp.4-12, Oct, 2007.
- (8) P. H. Wright, Introduction to Engineering, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
 - (9) EurEta – the common platform for the engineering profession,
<http://www.eureta.org/html/pages/pdf/engprof.pdf>
 - (10) <http://www.engc.org.uk/UKSPEC/SARTOR/Sartorpdfs/Section213.pdf>
 以下は、重要関連情報が含まれているという意味での参考文献:
 - (11) 篠田庄司, “未来の社会を託すことができる「工学とその応用に携わる人材」の育成,” 信学誌, vol. 90, no.9, Sept. pp.718-720, Sept. 2007.
 - (12) 篠田庄司, “JABEEにおける最近の動き - いま何が問題となっているか? -, ” 信学誌, vol. 87, no.12, pp.1077-1094, Dec. 2004.

(平成20年7月8日受付 平成20年11月25日最終受付)

篠田庄司 (名誉員：フェロー)

1973中大大学院理工学研究科博士課程了。工博。現在、中大教授(理工)。本学会の回路とシステム研究専門委員会委員長、基礎・境界グループ運営委員会委員長、評議員、編集長(理事)、並びに日本シミュレーション学会会長などを歴任。現在、本学会のAPC (Accreditation Policy Council) の委員長並びにJABEEの理事と運営委員会委員など。受賞歴はRCA David Sarnoff Scholarship (1962,1963)、中央大学総長賞(1964)、本学会の論文賞(1992, 1997, 1998)、基礎・境界ソサイエティ特別功労賞(2004)、業績賞(2005)、功績賞(2007)、並びにIEEEの1995ICSPNN最優秀論文賞(1996)、第三千年記賞(2000)。IEEE Fellow, 日本シミュレーション学会, IEEE各会員。