

目標学習成果がどの程度まで身に付けられているかの アセスメント・評価法の必要性と設計

Necessity and Design of Assessment and Evaluation Tools for Documenting and Demonstrating the Degree to which the Student Outcomes are Acquired

篠田庄司

Abstract

2009年6月に京都で開催された国際エンジニアリング連盟の総会で承認された合意文書の内容に調和する形で、ワシントン協定加盟の認定団体のそれぞれの工学教育プログラムの認定基準が改正されたか、されつつある。その改正によって、それぞれの認定団体の属するエコノミー（国または地域）での工学教育プログラムとその認定システムが、エコノミーを超えて実質的に同等な範囲で、より比較可能で、より分かりやすくなりつつある。また、認定による「教育プログラムの質保証」が意義あるものとなるためには、その核となる「教育プログラムで卒業時点までに身に付けることが期待される知識・能力等を述べた目標学習成果が、実際にどの程度まで個々の学生によって身に付けられているかをアセスメントし、評価する信頼できる方法」の設計と利用が急務となっている。本稿では、上記の合意文書の内容の概略と影響について述べ、信頼できるアセスメント・評価法の一つとして、効果が認められつつある「ルーブリック」という特別な表概念を用いた「総合的ツール」の最新の開発状況について紹介する。

キーワード：工学教育，デザイン教育，目標学習成果，アセスメント，評価

1. ま え が き

2009年6月に、京都で開催された国際エンジニアリング連盟（International Engineering Alliance）の総会（IEM2009 Kyoto）で、“Graduate Attributes and Professional Competencies”という文書（GA/PCと略記する。http://www.ieagreemements.org）が合意された。

その文書では、engineeringとは何かについて、エンジニアリング活動に専門職的に携わるエンジニア、テクノロジスト、並びにテクニシャンの人材育成を視野に入れ、統一的に整理された。それぞれの扱う問題解決の範囲とレベル、それぞれのエンジニアリング活動の範囲とレベルについて、比較対照表の形で、整理された。また、それぞれの人材育成のための教育プログラムの認定

団体の加盟組織であるワシントン協定（Washington Accord, 工学教育プログラムの認定に関係）、シドニー協定（Sydney Accord, テクノロジー教育プログラムの認定に関係）、並びにダブリン協定（Dublin Accord, テクニシャン教育プログラムの認定に関係）のそれぞれで目指す教育内容として、それぞれに必要とされる知識（体）の範囲とレベル、それぞれの目標学習成果（学生が教育機関での学習によって卒業時点までに身に付けることが期待される種々の能力等）の範囲とレベルが、比較対照表の形で整理された。また、卒業または修了後、職場でのエンジニアリング活動におけるエンジニア、テクノロジスト、並びにテクニシャンとして活躍するために必要とされるそれぞれの専門職的業務力についても、範囲とレベルが、比較対照表の形で整理された。

ワシントン協定加盟団体の中では、工学教育の改善に向け、GA/PCを参考に、認定基準の改正に既に動いたところ、現在動いているところがあって、GA/PCが重要指標としての役割を演じつつある。

本稿では、最初に、基本的な用語について述べた後、GA/PCの内容の概略を述べる。次いで、ワシントン協

篠田庄司 名誉員：フェロー 中央大学理工学部電気電子情報通信工学科
E-mail shinoda@m.ieice.org
Shoji SHINODA, Fellow, Honorary Member (Department of Electrical, Electronic and Communication Engineering, Chuo University, Tokyo, 112-8551 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.94 No.2 pp.114-129 2011年2月
©電子情報通信学会 2011

定加盟団体の中で、GA/PCと調和する修正案が検討・作成され、Webページに、その案と現行の対応表（修正部分の指摘）を掲載している米国の認定団体のABET（Accreditation Board of Engineering and Technology）の認定基準（Engineering Criteria 2000、略してEC2000）について、注目すべき主要な部分を紹介する。次いで、その認定基準で求められる教育プログラムの質保証の要となる「目標学習成果が、実際にどの程度まで個々の学生によって身に付けられているかをアセスメントし、評価する方法」として、効果が認められつつある‘ルーブリック（rubric）’という特別な表概念を用いたアセスメント・評価法（総合的ツール）の最新の開発状況について紹介する。

2. 基本的用語の定義

Oxford Advanced Learner's Dictionaryで、engineeringとは、「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に必要とされる学問（study）」と記述されている。本稿では、活動の意味のengineeringの訳語をエンジニアリング活動とか単にエンジニアリングといい、学問の意味のengineeringの訳語を工学ということにする。学問とは、「学ぶこと」とか「勉強すること」を意味し、その対象も意味する。学ぶ対象としての学問は含意する範囲が広い。広辞苑では、「一定の理論に基づいて体系化された知識と方法」も学問の一つであることが述べられている。文献(1)では、「言語ないしはそれに付随する記号体系によって広く伝達可能な形に整備されているもの」という側面と「専門領域によって体系化された知識という形態をとっているもの」という側面を持っているもので、言い換えれば、それは「現代的意味での学校という教育制度になじむ形の「知識」として整備されていることが要件となるのが普通である」と述べられている。‘まとまった知識の集まり’や‘体系化された知識’を「知識体（英語でa body of knowledgeと書き、BOKと略す）」とか単に知識ともいう。知識または知識体を身に付けるには、教育、経験や実践における学習行動が不可欠である。知識は、その理解力を伴って、役に立つ。ここに、理解力とは、例えば、問題解決、デザイン、説明等において、「含意を含め記憶している知識や概念を創造的に利用することができる能力」を意味する。英国のEC-UK（Engineering Council）の2004年に作られたUK-SPEC（UK Standard for Professional Engineering Competence、<http://www.engc.org.uk/ukspec>）の「高等教育プログラムの認定」の書類で、知識とは、「Knowledge is information that can be recalled.」であると説明されている。本稿では、‘思い出される’（be recalled）

という対象の知識としては、広義に捉え、「含意を理解し、覚えた知識」とする。というのは、思い出した情報が、身に付けようとした‘ある知識’の含意の範ちゅうで等価的に正しいと照合されて初めて、その‘知識’を正しく理解し、記憶し、身に付けているということになるからである。教育の現場では、教員は、教えた知識・能力等（知識、能力、スキル、自覚等）が実際に学生に身に付いているかどうかを確認するために、講義、演習、実験、実習、研究などでの学生のパフォーマンス（行動、態度、出来栄など）の観察（質問に対する応答、記述試験、口頭試験、宿題、論文、作品などの‘でき’を含む）でチェックしている。なお、能力は、「できること」、「（知識・訓練・才能などから発現する）物事をなし得る力」のことで、「理解力、記憶力、把握力、構想力、論理力、概念化力、定式化力、計算力、解決力、実験力、語学力、コミュニケーション力、プレゼンテーション力、チームワーク力、操作力、工作力、行動力、ノウハウ等のような‘力’を意味し、実際に発揮される力を表す一般語である。スキルは「（知識・訓練・才能などから生じる）物事を巧みに行うことができる力」のことで、（特殊な）技能、技術、わざも意味する。能力もスキルも、まだ知識化されていない部分を含むことから、あるレベル以上に身に付けるには、既に身に付けている知識や経験、個人の性格、適性、属性に大きく依存し、同じ学習努力で同じレベルに達するわけではなく、特別な訓練や学習を通しての個人ごとの努力が必要である。ノウハウとは、英語のknow-howのことで、「直感的に、効率的に、正確に作業を行うための習熟した知識とスキルを応用できる能力」を意味する。また、自覚とは、英語のawarenessのことで、「特別な分野に限られるが、一般的に知り、気付いていること」を意味する。

エンジニアリング活動を行うために必要とされる学問、すなわち「工学」とは、その分野にふさわしい「整備された知識」と「（まだ知識化されていない部分を含み、演習、実験、実習での学習で‘ある程度’まで身に付けることができる）能力、スキル、ノウハウ、自覚など」、並びに「エンジニアリング活動において適切な判断力と決断をもたらす幅広い教養」ということになる。その教育は、そのような知識・能力等（知識・能力・スキル・ノウハウ・自覚・教養など）を、学習者が学習への意欲と努力で身に付けるためのものである。

エンジニアリング活動におけるテクノロジーとは、engineering technologyのことで、「その活動のための実際に役に立つ方法に用いられる科学的知識、または、科学的知識を用いて設計された機械、装置、システム、デバイス等」を意味する。テクニクとは、engineering techniqueのことで、「その活動に実際に役に立つ（特定の目的や目標の達成のための専門の）方法、技術、

処理方式、やり方、技巧、技能とかテクニック」を意味する。

技術という用語は、基本的に「わざ」という概念が含意される方法ややり方で、主として、わざ、スキル、テクニックと関連して用いられるが、一般社会では、テクノロジーも、技術の範ちゅうに含めて用いられている。技術の用語はそのように曖昧に使われているから、使われている文脈や状況で読む方や聞く方で何を意味するか判断されることになる。engineeringの訳語として工学技術を載せている英和辞書があるが、それは国際的には通用しない。工学技術は、テクノロジーやテクニックの範ちゅうの語である。

ところで、我が国の工学教育 (engineering education) は、明治初期、我が国に西洋式工業を立ち上げ、根付かせ、西洋に追いつくことを目指し、その分野で専門的に働くことができる人材の育成教育として、1873年 (明治6年) の8月に開校された工学寮 (英語名称 Imperial College of Engineering) に始まる。工学寮を中心となって造ったのは山尾庸三 (文献(1)の pp. 86-91) であるが、そこでの教育内容を設計したのは初代都検 (のちに教頭と改称、実質的な校長) として英国から招かれた25歳の Henry Dyer である。Dyer は、来日する船の中で、世界で最初の「体系化された工学教育」(カリキュラム構成、教育方法、教育環境を備えた6年制教育) を設計し、1873年6月に東京に到着し、その年の8月に受け入れた学生に対し、その設計のとおり、8人の仲間の英国人教師とともに、英語で実施した (文献(1)の pp. 84-102, 文献(2)の pp. 2-3, 文献(3)の pp. 33-41 並びに文献(4)の pp. 32-37)。文献(5)はその教育に関する情報がネイチャー (Nature) に掲載されたもののうちの3件が翻訳され、ネイチャーの了承のもと、本小特集に掲載されたものである。

工学寮は、1877年に、英語名称をそのままにして、その名称が工部大学校に改称され、1885年に工部省が廃止された際に文部省に移管され、現在の東京大学工学部の前身となった。1886年 (明治19年) の辞書「工学字彙」(こうがくじい) には、engineeringの訳語としては「工学」が載せられ、engineerの訳語としては「工師」が載せられている。

技術を使った用語の「技術者」の意味も曖昧に使われている。英和辞書では、engineerの翻訳語として工学者、技術者、エンジニア、技師などが挙げられている。工学者は、「工学とその応用力を駆使して活動する者」とか「工学とその応用力を知識・能力等の中核とする活動に携わる者」という意味で用い、文献(6)では、曖昧な意味の技術者と区別するために、工学者の意味での技術者という使い方をしたが、数学者、医学者、法学者、文学者のように、「工学を研究する学者」とも解釈されるという指摘を受けた。文献(1)において工学が「知識

ベース型技術 (knowledge-based technology) と述べられたことから、ある英和辞書では、国際的には technologist は engineer と technician との間に位置付けられているにも関わらず、工学者が technologist の翻訳語の一つとして、科学技術者と同義語として載せられ、曖昧化がなされつつある。また、engineerの片仮名読み「エンジニア」も一般社会では、技術者ほどではないが、曖昧に使われている。

いろいろ考えた末、本稿で用いるエンジニアとは、後ほど述べるGA/PCでの定義と調和させ、『高校卒業後の4年制大学学部以上の典型的に4~5年の工学教育で、数学と自然科学、並びにその上に創造的に築かれた工学基礎と特定の工学専門の(含意を理解し、覚えるべき)知識体を、学士レベル以上で身に付け、それを発現させて、人々のニーズと、経済の発展及び社会に対してのサービス供給のニーズに応えるために、公衆の健康・安全への考慮、文化的、社会的及び環境的な考慮を行い、直面するなじみでない複合的に絡み合った問題のソリューション(問題を解くための効果的な提案)を設計するか、または特定のニーズに合った‘もの’を設計する活動を担う専門的職業人』という意味で用いる。なお、ここでの‘もの’とは、国際的に通用する範囲の‘もの’、例えば、「ワシントン協定発足時からの米国、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同協定加盟の認定団体によって認定されている工学教育プログラムの工学デザイン教育の対象となっている‘もの’と実質的同等性の範囲である」と、ワシントン協定側からみなされるシステム、構成要素、方法または工程など(ハードウェアやソフトウェアを含む)というのが無難な想定である。しかし、それは受動的考え方である。

我が国の持続的発展のためには、国際的な協調も必要であるが、‘もの’の考え方一つとっても、国際的に受け入れざるを得ない斬新なモデルを提示し、世界をリードしていく能動的、先導的考え方が求められている。現新潟大学理事兼副学長の仙石正和博士が新潟大学の工学部長であったときの編著「工学力のデザイン」⁽⁷⁾の「まえがき」に述べられている工学力(科学の知識をベースにした‘もの’づくりに必要とされる力)を駆使する‘ものづくり’の‘もの’の中には、国際的に通用する範囲の‘もの’の概念を現時点では超えている‘もの’も含まれている。また、現在東京大学監事の有信睦弘博士が(株)東芝の顧問であったときに書かれた論説「ものづくりからことづくりへ—新たなイノベーション創出に向けて—」(化学と工業, vol. 61, no. 11, pp. 1033-1034, Nov. 2008)にも、重要な示唆がある。その中で、有信博士は、「重要なことは人々や社会のニーズを満たす‘こと’を設計し、その‘こと’を実現する‘もの’と併せて、‘こと’を提供することである。そのためには

望ましい生活や社会をビジョンとして描き、それらを実現する様々な‘こと’を設計し、‘こと’の実現に必要な知識を構造化・統合していくというプロセスが重要となる。」と述べ、更に、「最近では‘こと’作りという言葉が‘もの’に対する製造プロセスやソフトウェア、あるいは‘もの’の機能というように、いろいろの局面で使われようになってきた。」と述べている。この‘こと’と‘もの’の概念把握と認識は、エンジニアの上記の定義における「…ニーズに応えるために、公衆の健康・安全への考慮、文化的、社会的及び環境的な考慮を行い、直面するなじみでない複合的に絡み合った問題のソリューションを設計するか、または特定のニーズに合った‘もの’を設計する…」に関係していると考えることができ、今後、新しい時代の工学デザイン教育のための様々な知識体の構造化と体系化を推し進め、結果として、我が国の工学教育の改革へのイメージを明確にし、ワシントン協定の枠内外を通して、思慮深きエンジニア (reflective engineer, 内省的エンジニア) の育成で世界的なリーダーシップを発揮していくことになると思われる。教育界も、産業界のニーズと意識の流れを敏感に捉え、改善と改革を模索することが求められている。GA/PCは、‘もの’と‘こと’の捉え方を含め、国際的に通用する新時代の教育界での改善・改革の切っ掛け作りとなる可能性が強い。

ところで、文部科学省の平成22年6月4日付けの報道発表の「大学における実践的な技術者教育のあり方」(大学における実践的な技術者教育の在り方に関する協力者会議報告)で、これまでの我が国での技術者という用語が多様な意味で用いられているため、その報告書での技術者とは、GA/PCも考慮し、国際的に上記の定義のエンジニアとして通用するものとして、「数学、自然科学の知識を用いて、公衆の健康・安全への考慮、文化的、社会的及び環境的な考慮を行い、人類のために設計、開発、イノベーション又は解決の活動を担う専門的職業人」と定義されている。ここに、イノベーションとは、「これまでの‘もの’、‘仕組み’などに対して、全く新しい技術や考え方を取り入れて新たな価値を生み出し、社会的に大きな変化を起こすこと」を意味する (www.cao.go.jp/innovation/index.html)。この技術者の定義には、「活動の対象、すなわち解決されるべき問題とか、設計、開発、イノベーションされる‘もの’の部分」が書き込まれていない。これは、上記の‘もの’と‘こと’を考慮し、あえて書き込まれていないともとれる表現となっている。また、我が国の技術士制度が考慮され、「学歴の部分」が書き込まれていない。この定義の技術者は、曖昧さを入れ込む我が国固有の文化が表れているが、我が国の工学教育界では、国際的対応を含め、上記の定義の技術者とは上記の定義のエンジニアの意味であると解釈し、その人材育成のための教育である

工学教育プログラムの国際的に通用する設計と実施を行う必要がある。

他に基本的用語の定義として述べておく必要があるもの、工学教育では、教育目的、目標学習成果、アセスメント、評価という用語がある。ABETの認定基準EC2000(現、案)における、教育プログラムの教育目的 (program educational objectives) と学生の目標学習成果 (student outcomes, 期待学習成果, 目標アウトカム, 学習到達目標, 学習達成目標ということもある) についての用語説明をしておく。前者の教育目的とは「修了生が卒業後2, 3年以内に達成することが期待されるものを広めに述べたもの」である。それは、そのプログラムに対する産業界の企業や雇用者のニーズ、学生や卒業生の要望、社会の期待等を踏まえて設定される。また、後者の目標学習成果とは「学生が卒業時点までに学習で身に付けることが期待されるものを述べたもの」である。それは、学生がプログラムでの学習を通して身に付ける知識、能力、スキル、態度に関係する。また、その認定基準EC2000(現、案)における、アセスメント (assessment) と評価 (evaluation) についての用語も説明しておく。前者のアセスメントとは「学生の目標学習成果をどの程度まで身に付けているかを評価するためや、プログラムの教育目的の達成度を評価するために、根拠となるデータを同定し、集め、準備する一つまたは複数のプロセス」である。効果的なアセスメントには、測定される教育目的と目標学習成果にふさわしい、関連する直接、間接、量的、質的測定が用いられる。その際、ふさわしいサンプリング法がアセスメントプロセスの部分で用いられる。後者の評価とは、「アセスメントプロセスを通して集積されたデータを解釈する一つまたは複数のプロセス」である。それは、学生の目標学習成果がどの程度まで身に付けているかを決定する、または、プログラムの教育目的がどの程度まで達成されているかを決定する。その結果は、プログラムの改善に関する決断と実行となって現れる。アセスメントと評価という概念は米英では基本的に対となって用いられる概念である。我が国ではそのように区別して用いられていないが、本稿ではそのように区別して用いる。

3. 国際エンジニアリング連盟での合意文書の影響

ABETは、米国で1932年に学協会が集まって設立された民間の認定団体で、そこでの工学教育プログラム認定委員会 (EAC: Engineering Accreditation Commission) での認定審査システムと実質的に同等な認定審査システムを持つ英国、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との間で相互承認するワシントン協定 (<http://www.washingtonaccord>).

org/Washington-accord/) が 1989 年に立ち上げられた。その協定の加盟団体は一つのエコノミー（国または地域）に一つしか認められなく、その協定に新しく加盟が認められるには全ての既加盟団体の満場一致の承認が必要となっている。現在までに、香港（1995）、南アフリカ（1999）、日本（2005）、シンガポール（2006）、韓国（2007）、台湾（2007）、マレーシア（2009）の認定団体もワシントン協定に加盟している。日本から加盟を果たした認定団体は、1999 年 11 月 19 日に設立された日本技術者教育認定機構（Japan Accreditation Board for Engineering Education, 略して JABEE という。Web ページは <http://www.jabee.org/>）である。発足時からワシントン協定加盟前までは、JABEE の基準委員会の中には、国際的に通用する学習成果重視の技術者教育プログラムの認定であるから、教育のプロセスによらず、卒業時点で学生が身に付けている「プログラム分野の知識・能力等」が学士レベル以上であることが重要で、我が国の大学設置基準に縛られる必要はないという強い意見を持つ委員も複数いて議論が繰り返されていたが、ワシントン協定加盟後、協定側から国内の法、すなわち大学設置基準に基づく教育プログラムでなければならないことが明確にされ、JABEE もその認定で、その法の枠内での「教育の質改善」をプログラム側（運営組織側）に促すことが徹底されることになった。

ところで、国際エンジニアリング連盟は、ワシントン協定の加盟機関、シドニー協定の加盟機関、ダブリン協定の加盟機関、Engineers Mobility Forum の参加機関、Engineering Technologists Mobility Forum の参加機関から成る。2009 年 6 月に京都で開催された国際エンジニアリング連盟の総会で GA/PC が合意された。その GA/PC の書き出し部分で、engineering とは何かについて、分かりやすく、次のように説明された。

- ✓ engineering とは、人々のニーズと、経済の発展及び社会に対するサービス供給のニーズに応えることに不可欠な活動である。
- ✓ エンジニアリング活動は、数学、自然科学、工学知識体、テクノロジー、並びにテクニクの「有目的な応用」である。〈筆者注：工学知識体とは、engineering knowledge（エンジニアリング活動のための知識）のことで、エンジニアリング活動で直面するなじみでない複合的に絡み合った問題のソリューション（問題を解くための効果的な提案）を設計し、かつ特定のニーズに合ったものを設計するために必要とされる「数学と自然科学の上に創造的に築き上げられた工学基礎と特定の工学専門の（含意を理解し、覚えるべき）知識体」を意味する。また、工学知識体が数学、自然科学、工学知識体…のような「並び記述」でなく用いられるときには、そ

の基礎とする「数学と自然科学の（含意を理解し、覚えるべき）知識体」も含む広義の意味で用いることもある。工学はエンジニアリング活動のための学問であるから、工学知識体は工学の部分である。〉

- ✓ エンジニアリング活動は、解決を産み出すことを追い求めるものであるが、その解決の効果は、しばしば不確定な状況でも、可能な限り最大限、予測されることが必要である。
- ✓ エンジニアリング活動は、利益をもたらす一方で、都合の悪い結果を生む可能性を持つ。
- ✓ それゆえに、エンジニアリング活動では、責任感と倫理観を持って実行されなければならないし、利用可能な資源を効果的に使い、経済的であり、健康と安全を守り、環境の観点から健全で持続可能であること、そして、システムの全ライフサイクルを通してリスクを総体的に管理しなければならない。

また、それに続いて、次のような説明が続いている。

- ✓ 典型的なエンジニアリング活動に携わる人材は、法のもとでの専門職として登録が認められたエンジニア、テクノロジスト、テクニシャンの役割がある。それらの役割は、彼らの専門職の業務遂行力と責任のレベルによって定義される。役割の間には重なり合う部分もある。その能力とは、彼らの学歴とともに…。

エンジニア、テクノロジスト、テクニシャンは、それぞれの人材育成の教育プログラムで身に付けるべき知識と目標学習成果の特徴付け、並びにそれぞれのエンジニアリング活動の専門職の業務力の特徴付けによって、相互の位置付けと役割が明確にされている。GA/PC で位置付けられるエンジニアとは、基本的用語のところで述べたが、正確には、『〈高校卒業後の〉典型的に 4~5 年の工学教育で、GA/PC でワシントン協定プログラム向けに定義されている Knowledge Profile（身に付けるべき知識の一覧表、知識表という）に挙げられている 8 項目の知識（①工学の専門分野にふさわしい自然科学の体系的な、理論ベースの知識、②当該分野にふさわしい解析とモデル化のための概念ベースの数学、数値解析、統計、通常の範囲のコンピュータと情報科学の知識、③当該分野に必要とされる体系的な、理論ベースで系統立てられた工学基礎の知識、④当該分野での実践のための種々の知識体と理論的枠組みを与える専門職的知識、⑤その実践領域での工学デザインを支える知識、⑥その実践領域でのエンジニアリング実践の知識（テクノロジー）、⑦当該分野でのエンジニアリング実践に絡む諸問題や社会での役割の知識、⑧当該分野での研究文献での精選された知識に劣らない知識）を学士レベル以上で

身に付け、並びに Graduate Attribute Profile (身に付けるべき目標学習成果の一覧表、目標学習成果表という)に挙げられている12項目の目標学習成果(①工学知識体、②問題解決力、③調査研究力、④ソリューションの設計/開発、⑤エンジニアリング活動のためのツールの利用力、⑥チームワーク力と個人ワーク力、⑦コミュニケーション力、⑧専門職の役割と責任の理解力、⑨エンジニアリング活動の社会や環境へのインパクトの考慮力、⑩倫理と公平性の自覚、⑪経済とプロジェクトマネジメント力、⑫生涯学習力)を学士レベル以上に身に付け、卒業または修了後の職場で、それらの知識・能力を駆使する実践的活動の経験や絶えざる自学習と研さんを通して、それらを更に広く、深く拡大させるとともに、エンジニア向けに定義されている Professional Competency Profiles (身に付けるべきエンジニアリング活動の専門職の業務力の一覧表、業務力表ということにする)に挙げられている13項目の業務力(本稿では省略)も磨き上げ、人々のニーズと、経済の発展及び社会に対してのサービス供給のニーズに応えるために、公衆の健康・安全への考慮、文化的、社会的及び環境的な考慮を行い、複合的に絡み合う問題のソリューションを設計または開発する (design or develop solutions to complex problems) 特質を持つ人材』と定義された。ここに、この定義文における「ソリューションを設計または開発する」に対して、教育で身に付けるべき目標学習成果の「④ソリューションの設計/開発」の内容は「複合的に絡み合う問題のソリューション(問題を解くための効果的な提案)を設計し、かつ特定のニーズに合ったシステム、構成要素または工程を設計する (design solutions for complex engineering problems and design systems, components or processes)」と定義されていることに十分に注意する必要がある。

ところで、米国の4年制大学の工学部で使われている教科書⁽⁸⁾では、エンジニアとは、4年制大学以上での工学教育で身に付けた学士レベル以上の数学、自然科学、工学知識体を含む(含意を理解し、覚えるべき)知識体を用い、人類のために、資源と自然力を経済的に活用し、必要とされる‘もの’の概念設計、研究、プロジェクト立案、製品開発、システム開発などを創造的に行い、一生の間に幾つもの発明を行い、単独で仕事を行うこともあるが、テクノロジスト、テクニシャン、熟練工と一緒にチーム(共通の目的を有する集団)で仕事を行うときには、チームのイノベータ(イノベーションを引き起こす人、革新者ともいう)であり、設計者であり、意思決定者であり、かつリーダーとして活躍すると説明されている。この定義は、上記の定義と実質的に同等の範囲と解釈される位置付けにある。なお、熟練工(craftsman, craftswoman, 職人)とは、典型的には中学卒業後高校に進学せずに、職場でのOJT(On-the-

Job Training)等で機械、器具、装置等の操作法、稼働法、修理法の巧みな技能を磨き上げ、それを駆使し、エンジニアリング活動のチームの中で、設計によって仕様が決められている材料、製品や施設を造る巧みな作業ができる技能者であるという意味で述べられている。

GA/PCでのテクノロジストとテクニシャンの定義については、本稿では省略するが、テクノロジストは高校卒業後典型的に3~4年の学士号取得のテクノロジー教育を受けたもの、テクニシャンは高校卒業後典型的に2~3年の准学士号取得のテクノロジー教育を受けたものとされている。テクノロジストはエンジニアとテクニシャンの間に位置付けられている。上で引用した教科書⁽⁶⁾でも、そのように位置付けがなされている。なお、熟練工の部分は、GA/PCには含まれていない。

ABET(米国)の現行の認定基準EC2000では、『学生が身に付けることが期待される目標学習成果がどの程度まで身に付けているかどうかをアセスメントし、評価し、評価結果が合格レベル以上に身に付けたとき、プログラムの教育目的も合格レベル以上に達成しているか』に重点を置く考えである。これに、GA/PCとの調和を図る上で、修正すべき点がどこにあるかという観点で検討され、新EC2000へ修正させる案が作られ、現行と案の対応表(A Guide to the Criteria Harmonization for Engineering Accreditation)の形で、ABETのWebページ<http://www.abet.org/>に載せられている。認定基準EC2000の改正案の特徴は、基準構成の内容がより分かりやすくなり、目標学習成果とカリキュラム構成(数学と自然科学、基礎工学と工学デザイン、教養の時間配分を含む)を現行どおりに保持し、アセスメントと評価を強調したところにある。なお、基礎工学と工学デザインの定義は後ほど述べる。

カナダの認定団体のCEAB(Canadian Engineering Accreditation Board)では、1977年から使われていたCEAB認定基準に、GA/PCにおける目標学習成果表の項目(目標学習成果の項目)をほぼそのまま取り入れ、文書GA/PCに調和させる形で2008年版新CEAB認定基準に改正された(インターネットで「CEAB Criteria」を検索項目として、見ることが可能)。新CEAB認定基準の特徴は、旧CEAB認定基準になかった目標学習成果の項目が加えられたことで、ABETと同様に、「what is learned」というlearningの観点陽に現れている認定基準となったことである。なお、新CEAB認定基準は、旧CEAB認定基準と同様、最小カリキュラム授業時間などの要件がABETの認定基準(現、案)よりも細かく設定されている。

JABEEでも、基本的には文書GA/PCに調和させる形をとりながら、認定基準の大幅改正を伴わずに学習・教育目標(学習達成目標、目標学習成果に相当)のこれまでの項目をできるだけ維持しつつ「自己点検しやす

く」するための点検細目を作り、「分かりやすく」、「認定審査を受けやすく」、「認定審査をしやすく」という観点を重視した認定基準の改定案が、2012年度からの適用（移行措置を含む）を目指して検討されている。

4. ABET の認定基準における目標学習成果とカリキュラム構成

ワシントン協定加盟の認定団体やその協定へ加盟を希望する認定団体で、GA/PC との調和を基本とした認定基準の改正が進む中で、ABET の新認定基準（案）は、その改正の「ひな形」の一つとなると思われる。以後のアセスメントと評価の方法とも関係するので、ここでは、ABET の認定基準（現、案）の本質的に重要な部分について述べておく。

1996年にABETの理事会で、それまで長年使われてきたカリキュラム、教員資格、授業時間、教育環境、財政などを重視した「What is taught」という teaching の観点の認定基準が、(1)産業界の企業や雇用者のニーズ、学生や卒業生の要望、社会の期待等を踏まえ、(2)プログラムの教育目的を設定し、(3)目標学習成果が各学生によって卒業時点でどの程度まで身に付けられているかどうかをアセスメントし、(4)そのアセスメントを評価した結果、合格レベル以上に身に付けたとき、プログラムの教育目的も合格レベル以上に達成しているかをチェックし、(5)問題があれば改善するという継続的な教育改善を促進することを重視した「what is learned」という learning の（すなわち、学習成果重視の）観点の認定基準 EC2000 へ改正された⁹⁾。

1996年から2000年まで希望大学に対して審査が試行され、2001年から申請大学全てに適用している。EC2000の内容は実施の過程で一部修正され、現在に至っている。

ここに、注目されることがある。学習成果重視の「what is learned」という learning の観点は、我が国で明治6年（1873年）に工学教育（現在の工学教育の原型）が開始された工学寮の諸規則の中（文献(1)の p. 105 に紹介）で徹底されていた「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」（すなわち、「学生によって何が学習され、どの程度に身に付いているか」という観点がなければ、「教員が何を教えるか」という観点は意味を持たなくなる）という考えの現代版と解釈される。

新 EC2000 への改正は、改正前の認定基準で求めている「学生の工学知識体並びに教員団や施設・設備」についてはこれまでどおり求め、更に、どのように扱うべき

か明らかでない（種々の課題が複合的に絡み合う）問題の解決、効果的なコミュニケーション力（論理的に、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）、チームワーク力（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）などの専門的スキルの向上とエンジニアリング活動の専門的かつ倫理的な責任に対する理解を求めるものであった。具体的には、どのプログラムにも、共通の目標学習成果（アウトカム）として、

- (a) 数学、自然科学、工学知識体の応用力（それらの知識を、応用に際し、創造的に利用する能力）
- (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、構成要素または工程をニーズに合うようにデザインする能力（デザイン力）
- (d) 幾つかの専門分野の結集チーム（共通の目的を有する集団）で働くことができる能力
- (e) エンジニアリング活動で取り扱う問題を把握し、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（コミュニケーション力）
- (h) エンジニアリング活動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) 生涯学習の必要性に対する理解とそれを行う能力
- (j) 今日課題についての知識
- (k) エンジニアリング活動に必要なテクニック、スキル並びに現代的実践ツールを利用する能力

が挙げられている。また、それらの他に、プログラムで独自に設定する「身に付けることが期待される知識・能力等」も、目標学習成果として加え、全ての目標学習成果の項目が実際に許容レベルまで身に付けられたとき、プログラムの教育目的が許容レベル範囲に達成されるようになることを求めている。

目標学習成果を身に付けるためのカリキュラムは、EC2000 の中で、

- (a) 専門分野にふさわしい学部レベルの数学と自然科学（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（1年分とは卒業に必要な総単位数の約1/4の授業分）
- (b) 学生の学習分野にふさわしい基礎工学と工学デ

ザインからなる工学トピックスについて1年半分の授業

(c) 上記の(A)と(B)の専門的な内容を補完し、プログラムの目的に合う一般教養的要素の授業

を含まなければならないとしている。ここに、基礎工学とは、engineering sciences のことで、「数学と自然科学に基礎の上に創造的に築き上げられた知識体で、数学・自然科学とエンジニアリング実践の間をつなぐもの」で、工学知識体部分である。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われ、「数学、自然科学、工学知識体及び人文社会科学的教養の知識・能力等を効果的に利用し、種々の制約条件を考慮し、資源を最適に活用し、特定のニーズに合った‘もの’を設計するプロセス」を意味する。そのプロセスのための統合力をデザイン力あるいは創成力ともいう。そのデザイン力は、教育プログラムでの工学デザインの授業体験をし、その後、産業界等での継続的実務経験の中で、自学習で、専門職レベルまで身に付けていくものであるが、個人の知識、訓練、才能の特質にも依存し、これで十分といわれることがないものである。その意味で、大学でのデザイン力育成には限界がある。工学デザインは、特定のニーズに合った‘もの’（システム、構成要素または工程）を設計することが目的で、当然のことであるが、どのように扱うべきか明らかでない、複合的に絡み合った問題を解くこと、並びに、その解を設計することも含む。そのため、ABET のデザインの定義は文書 GA/PC のデザインの定義と実質的に同等である。

ABET の認定基準 EC2000 (案) では、現行と同様、その意味を踏まえ、大学では、デザイン力として必要な知識・能力等を身に付けさせるために、工学デザインの授業を、最終年次に配置させ、それまでの学習で身に付けた種々の知識・能力等を統合し、講義、演習、実験または実習を有機的に組み合わせたプロジェクトとして、学習体験させることを要求している。このことはカナダの CEAB 認定基準でも、全く同じ要求がされている。これは、卒業後、エンジニアリング活動に専門職的に携わる者にとってデザイン力が生命線であることを意味している。

ABET が工学教育認定したプログラムの修了生は、工学修了生 (engineering graduates, 工学教育修了生) という。その修了生が、法のもとでの専門職のエンジニアリング活動に携わる PE (Professional Engineer) として資格登録が認められるためには、「学歴、2段階の試験、実務経験」が必須である⁽¹⁰⁾。(我が国の技術士として資格登録が認められるためには、学歴も国籍も関係なく、「2段階の試験と実務経験」が必須である⁽¹⁰⁾。) 全米各州で年2回、同時に実施される1段階目の FE 試験

(FE: Fundamental of Engineering) の受験資格は工学修了生に対して付与されている。その試験に合格すれば、EI (Engineering Intern, エンジニアリングインターン) としていずれかの州に登録し、その後4年間の実務経験の後、2段階目の PE 試験を受ける州の受験・登録要件を満たせば、その州の PE 試験が受けられる。PE 試験合格後は、PE としてその州に登録手続きを行う必要があり、また、複数の州の PE に登録されるためには、基本的にはそれぞれの州の PE 試験に合格する必要がある⁽⁸⁾。注目される点は、FE 試験に合格した工学修了生はその修了生の母校大学の「認定プログラムの修了生であるという質保証」に加え、教育プログラムの「個々の修了生の知識の記憶力と理解力、並びに問題の把握力、解法の構想力と計算力、思考の論理力、方程式の定式化力、解の総括力などの能力」を見る FE 試験に合格したということ、そのような‘修了生の学力’ {少なくとも数学、自然科学、工学知識体を含む (含意を理解し、覚えるべき) 知識体を含む試験でチェックできる知識・能力等を意味する} が、大学間を越えて、‘あるレベル以上’であるという意味で、「修了生個人の質保証」がなされたことになる。それは、認定プログラムの修了生の FE 試験の合格率は 100% でなく、実際に筆者がこれまでに訪問した複数の大学では認定プログラムごとに様々であり、75~89% の間であった。ABET の認定審査は、認定によって「教育プログラムの質保証」をしているが、「修了生の学力’の質保証」にはなっていないことを意味している。教育プログラムの‘修了生の学力’は、目標学習成果の「(a)~(k)+α」の一部である。認定プログラムの「教育システムの質保証」によって、その認定プログラムの「修了生の学力’が大学間を越えて共通に FE 試験合格レベル以上である」ことが保証されるためには、少なくとも、科目等の成績評価並びに目標学習成果の「(a)~(k)+α」をどの程度まで身に付けているかを評価するための信頼できるアセスメント・評価法が開発され、卒業管理が厳密化されることが求められる。

EC2000 での教育改革は、ワシントン協定を通して、現在、世界の工学教育の改革の流れとなって広がっている。ABET と同様に民間団体である JABEE では、4年制の大学等の高等教育機関での教育プログラムに対して、EC2000 と類似の「what is learned」という learning の観点の認定基準を設け、申請に基づく審査でその認定基準を満たすものを、学部等は問わず、全て「技術者教育プログラムである」と認定し、公表している。JABEE の認定プログラムの修了生は、技術士として資格登録が認められるための2段階式試験のうち1段階目の試験 (一次試験) が免除されている。「免除」という意味は重い。米国の状況を考えると、プログラム認定の性質上、JABEE の認定プログラムも潜在的に「修了

生の学力’の質保証」に必ずしもなっていない可能性がある。「免除」という意味から、JABEEでは、米国よりも、「科目等の成績評価や、目標学習成果をどの程度まで身に付けたかの評価のための‘より信頼できる方法’（総合的ツール）」が開発、普及されることが急務である。そうすることが、我が国の大学設置基準の『第25条の二（成績評価基準等の明示等）：大学は、学生に対して、授業の方法及び内容並びに1年間の授業の計画をあらかじめ明示するものとする。また、大学は、学修の成果に係る評価及び卒業の認定に当っては、客観性及び厳格性を確保するため、学生に対してその基準をあらかじめ明示するとともに、当該基準にしたがって適切に行うものとする。』のアンダーライン部分に沿うことになる。なお、学修とは「学び修める」という意味で、大学設置基準で用いられているが、現在一般社会で用いられている「学び習う」の意味の学習とほぼ同義である。

5. 目標学習成果がどの程度まで身に付けたかのアセスメントと評価のツール

JABEEは2005年6月15日に、ワシントン協定に正式に加盟が認められた。しかし、「日本はデザイン教育が弱いのではないか」と指摘を受け、2011年にJABEEがワシントン協定加盟維持の審査を受けるときに、デザイン教育の改善状況がチェックされることになった。これに至る経緯は次のとおりである。JABEEのワシントン協定加盟審査で同協定側から派遣されたカナダ(CEAB)、米国(ABET)、オーストラリア(Engineers Australia)の代表からなる審査チームが、JABEEの認定審査システムを審査するために、三つの大学の教育プログラムに対するJABEEの現地審査に立ち会った。そのときに、審査チームによって、デザイン教育の内容を示す主要な根拠資料として準備されていた卒研の成果(卒業論文)の中身が(通訳付きで)見られ、その中から検出された情報科学寄り、応用理学寄りや理工学融合・複合寄りのものの内容などを基に、ワシントン協定加盟団体の標準のデザイン教育に比べ、「日本はデザイン教育が弱いのではないか」と指摘された。{なお、認識しておくべきことは、ABET(米国)では、工学教育プログラムの認定委員会とは別に、コンピューティング教育(情報科学、情報システム、ITの教育のことで、コンピュータ工学、ソフトウェア工学などの情報工学の教育を除く)プログラムの認定委員会、応用理学教育プログラムの認定委員会、テクノロジー教育(我が国流でいえば、テクノロジストとテクニシャンの育成のための技術教育)プログラムの認定委員会が独立にそれぞれの関係する教育プログラムの認定を行っている。}ワシントン協定側の指摘の根本的考え方は、『認定教育プログラムに問題があるとすれば、プログラム側に問題がある

のではなく、そのような教育プログラムが実施されるように導いているJABEE側、すなわち「認定基準」や「認定審査の手順と方法」(認定審査システム、それに携わる審査員の質を含む)に問題があるではないか』であるため、この意味でJABEE側に改善を求めるものであった。ワシントン協定に加盟している限り、ワシントン協定加盟団体の標準のデザイン教育と実質的に同等な範囲にあることが求められることから、JABEEでは、デザイン教育の改善策として、「認定基準」を変えずに、「認定基準の解説」や「認定審査の手順と方法」の中で改善策をとる方針で、プログラム側並びに産業界側に対してアンケート調査も行い、改善策を、プログラム側に広報するとともに、JABEEの認定審査のための審査チーム派遣の学協会の講習会等を通じて広報し、プログラム自身による教育プログラムの改善を促してきている。

改善を加速させる必要性もあって、2009年3月に、JABEE主催で、中央大学後楽園キャンパスで、平成20年度文部科学省大学評価研究委託事業シンポジウム「工学デザイン教育および目標達成成果のアセスメント・評価に関するシンポジウム」を開催した。そこで、JABEEの大中逸雄副会長から、我が国の技術者教育の質保証の動きを加速するために、今後(特に2011年以降)のJABEE認定審査にあたって工学デザイン教育(engineering design education)について、どのような観点を重視してチェックするかを示す『JABEE方針』が紹介された(現在JABEEのWebページには、その方針とデザイン教育の米国の例などが掲載されている)。JABEEでは、化学、材料、物理、理工学融合・複合のような理学寄りの分野の教育プログラムでも、JABEEの認定基準を満たすものは全て技術者教育プログラムであると認定している。そのことから、理学寄りの技術者教育プログラムでの(ワシントン協定にも通用する)デザイン教育の優良実践例を開発することが必要であり、併せて、デザイン能力のアセスメント・評価法を開発することも必要となっている。キャップストーンデザイン{米国とカナダでは、ABET(米国)とCEAB(カナダ)での認定基準に従い、4年次に実施される、それまでに身に付けた知識・能力等を総合的に発揮し、授業経験する工学デザイン科目のことで、シニアデザイン、シニアプロジェクト、キャップストーンプロジェクトとも呼ぶことが多い}としては、デザインとサイエンスの関係(一部重なり合う部分あり)、「知識を生成するプロセス」と「知識を利用するプロセス」の関係、並びにオランダの3大学(Delft Univ., Eindhoven U.T., U. Twente)によって設置されている「工学デザイン教育センター(Stan Ackermans Institute)」で用いられている「卒業生が身に付けるコンピテンシー(エンジニアリング活動における専門職的業務を上手にこなす能力)に

つについての概略図」(http://www.jointquality.nl/content/descriptors/AC_English_Gweb.pdf)が紹介され、『デザインと研究が重要である』ことが強調された。

なお、筆者からの補足であるが、デルフト大学の機械工学科の教授へのインタビューを2008年に行ったとき、「1年からデザインコンテストを行い、2年で従来の実験でなくプロジェクトを行い、3年の前期は全大学で他の何の科目をとってもよいとし、後期はデルフトでの授業で、4年は講義と卒研でサイエンス研究プロジェクトとなっている4年間で卒業生のコンピテンシーを確保できたが、2010年からボローニャプロセス(Bologna process)⁶⁾が完了するため、学部が3年、修士課程が2年となる。このため、学部での対応がどうなるのか検討中」とのことであった。今後は、GA/PCが参考指標となって、工学教育は、高校卒業後の典型的に4~5年の教育で、数学と自然科学、並びにその上に創造的に築かれた工学基礎と特定の工学専門の(含意を理解し、覚えるべき)知識体(工学知識体に相当)を、学士レベル以上で身に付け、それを発現させて、人々のニーズと、経済の発展及び社会に対するサービス供給のニーズに応えるために、公衆の健康・安全への考慮、文化的、社会的及び環境的な考慮を行い、直面するなじみでない複合的に絡み合った問題のソリューションを設計し、かつ特定のニーズに合ったもの(システム、構成要素または工程、方法)を設計することを学習経験することが求められる方向となる。欧州での4年制未満の大学では、それを満たさなくなり、ワシントン協定レベルの工学教育への対応は、これまで対応してきた英国と同様、学部に大学院修士課程を加えた対応に移るのではないかと予想され、今後の教育体制、デザイン教育、ワシントン協定との実質的同等性の関係を調査する必要がある。

続いて、ワシントン州立大学プルマン分校(WSU at Pullman)のDenny C. Davis教授によって、教授とそのチームが米国のNSF(National Science Foundation)から受けた約10年間の資金援助による、先導的研究で開発した『デザイン教育の目標学習成果のアセスメント・評価に用いる統合的ツールであるTIDEE(Transferable Integrated Design Engineering Education)』(多数のルーブリックが統一的思想のもと設計されている)についての設計思想とその機能について基調講演がなされた。筆者は事前にワシントン州立大学プルマン分校とその仲間のアイダホ大学モスクワ分校(Univ. of Idaho at Moscow)のSteven Beyerlein教授を訪問し、内容を知っていたが、聴衆には、TIDEEがかなり練られた「統合的ツール」であることに、大きなインパクトと、これから追いつくには困難さを感じさせた。後ほど、その設計思想の概略を説明する。

午後には、独立行政法人大学評価・学位授与機構の川口昭彦理事兼国際連携センター長から「アウトカム評価

の動向—OECDの挑戦—」に関する講演があり、続いて、筆者が、講演セッションの後のワークショップセッションでの話題提供として、「我が国における工学デザイン教育の直面している問題」という題で、我が国の工学デザイン教育の米国やカナダでの工学デザイン教育への調和策についての問題提起を行った。

最後の講演としては、GP「段階別コンピテンシー育成教育システム」の事業推進責任者である中央大学理工学部情報工学科の牧野光則教授から、同学科で開発した「工学プロジェクト教育アセスメント・評価へのルーブリックの導入」と題して講演がなされ、「学生の能力によって発現する行動特性(コンピテンシー:コミュニケーション力、問題解決力、知識獲得力、組織行動能力、創造力、自己実現力、専門力)を、基準を設定し、達成レベルを含め、測る総合的ツール」について詳しく紹介された。牧野教授の講演も、国内外から見ても先導的内容のもので、聴衆に驚きを与えた。なお、詳しくは、シンポジウムの予稿集やプロジェクトのWebページの<http://sites.google.com/site/chuounivcontentsengineer/>または、大学公式のWebページのhttp://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/gp/b09_20_01j.htmlを参照されたい。多くのルーブリックが統一的思想のもと設計されている。その総合的ツールは、2009年4月から実際の授業で試行し、問題点を洗い出し、改善し、2010年からの理工学部全学科展開や種々の授業への適用に拡大・展開されつつある。また、同時に、Davis教授とそのチームの考えも検討され、その総合的ツールは、より使いやすい、より信頼されるツールとして洗練されるべく、現在も研究が推進されている。Davis教授は、この研究に強い関心を持たれている。

また、中央大学では、上記の総合的ツールから専門性の部分を除いたものをもとに、全学生対象のキャリアデザインに役立てるノート並びにWebページ(<http://www2.tamacc.chuo-u.ac.jp/shushoku/competency/start.htm>)が2009年4月から全学生の利用に供され、他大学からも注目を集めている。

大学設置基準の「第25条の二(成績評価基準等の明示等)」に沿う意味で、科目等の成績評価と目標学習成果のできるだけ客観性及び厳格性を確保する達成度評価のための信頼できるアセスメント・評価の総合的ツールを開発することは急務であり、それは、学生にとっても、教員にとっても、プログラム側にとっても、社会(産業界を含む)にとっても、認定機関や認証機関にとっても、必要不可欠になっている。特に、JABEEにとっては、認定プログラムの質保証が実質的に学生個々の学力の質保証にもなるためにも、絶対不可欠であり、使いやすさという観点で、プログラム側の独自性を組み込むことができるWebベースのJABEEモデルを開発し、その利用と普及を図ることが急務となっている。そ

れには、Davis 教授とそのチームの TIDEE の設計思想や牧野教授の先導的開発研究経験が大いに参考となると考える。

本稿の残りページで、以下、ルーブリックとは何かについて述べた後、Davis 教授とそのチームの開発した統合的ツール TIDEE の設計思想について概略を述べる。

ルーブリック (rubric) は、ABET の Dr. Gloria Rogers の注意喚起によって、最近、米国での工学教育界で注目されつつある。それは、プログラムでの学生の目標学習成果 (卒業時点までに個々の学生が身に付けることが期待されている種々の能力等) の達成度や、科目ごとの学生の目標学習成果 (科目授業の終了時点までに個々の学生がその科目で身に付けることが期待されている種々の知識・能力等) をどのレベルまで身に付けているかを、アセスメント (根拠となるデータを同定、収集、準備) し、評価 (アセスメントで集積されたデータを解釈) するツールで、スコアリングルーブリック (scoring rubric, 採点ルーブリックとか採点根拠表) ともいわれる『特別な表概念』である。

目標学習成果は一般に複数の '目標項目' からなる。各 '目標項目' の達成状況は、学生の学習のパフォーマンス (performance, 行動, 態度, 出来栄えなど) の観測で測り、アセスメントされ、評価される。その際、各 '目標項目' をパフォーマンス領域 (performance area) ともいう。その達成状況を幾つかの明確に観測で測ることができるパフォーマンスの組で定義するための文をその '目標項目' のパフォーマンス基準 (performance

criteria) といい、その組の各パフォーマンスをその '目標項目' のパフォーマンス因子 (performance factor) とかパフォーマンスアスペクト (aspect of performance) という。目標項目、パフォーマンス領域またはパフォーマンス基準ごとに、そのパフォーマンス因子を表の行に並べ、各パフォーマンス因子の達成度を、共通尺度で、5段階の場合、1~5 (または、0~4) のように点数化し、例えば、パフォーマンスで観測される「行動が全くない；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」とか、「無級；初級；中級；上級；最上級」というレベルを表す記述語を用い、対応する点数と対で、その表の列に並べ、その表の各セルに、その行が表すパフォーマンス因子に対する達成レベルの適切な判断が可能な記述語を記入した表が、その '目標項目' のルーブリックという。ただし、セルとは、その表の升目ともいい、その表を線形代数での行列として見たときの要素に対応する部分である。

例えば、図1は、目標項目が「チームワークにおける学生の有効な行動」で、パフォーマンス基準が「チーム (共通の目的を有する集団) において目標達成に向け学生が有効に行動する」であるとき、その基準を構成するパフォーマンス因子を「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」とした場合のルーブリックの例である。図の「表」の行にはそれらの因子を並べ、それらの因子の達成度を共通の4段

目標項目 (パフォーマンス領域) : チームワークでの学生個人の有効行動						
パフォーマンス基準 : チーム (共通の目的を有する集団) において目的達成に向け学生が有効に行動しているか						
パフォーマンス因子	達成度のレベル	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	達成度のレベルの点数化
		1	2	3	4	
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、課題に係るのは少しである	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	ほぼ全ての義務を果たす	全ての義務を果たす	達成度レベルの判断のための記述語
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	
						平均

図1 ルーブリックの例 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Dr. Gloria Rogersが用いた資料の一つを意識したもの。

階尺度である「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」で測ることにし、それぞれに1, 2, 3, 4の点数を割り当て、その「表」の列に並べ、更にその「表」のセルに、因子ごとにどの段階の達成度であるかを表す適切な判断のための記述語を記入した(その目標項目の)ルーブリックである。その表で、観測したパフォーマンスがどの記述語に当たるかチェックを入れると、各行の因子の点数が決まり、対象の目標項目に対するパフォーマンス因子ごとの点数を成分とする列ベクトルが求められ、それらの点数の単純平均、重み付き平均、最大値、最小値のどれでも好きなもの(複数でも)を自動的に計算できる。また、因子の点数があるレベル以下であるとき、その因子が点数とともに個別にリストアップできる。学習過程でのルーブリックを利用して、望ましくない点数の因子がリストアップされた学生は、呼び出して、改善努力を促す個別指導を行うことができる。

工学デザイン教育では、特に4, 5人のチームに分けて、複数の教員、テクニカルアドバイザー、訓練されたTAによって、「チームでのチームリーダーやメンバーとしての役割分担と責任の自覚、討論への取組み、学生のチーム会議への出席態度、チーム内のコミュニケーション力、意見発表の積極性、成果発表の内容、発表態度、レポートの内容、作品、学習行動など」での学生のパフォーマンスの観測によるアセスメントと評価が中心となることが多い。その際一番難しい問題は、チームワークで工学デザイン教育を実施するのに、4, 5人からなるチームをどのように構成するかである。TIDEEを開発し、有効利用しているワシントン州立大学プルマン分校とアイダホ大学モスクワ分校(両分校は10マイルの距離にある)では、シニアデザイン(キャップストーンデザイン)教育で、学生の属性(それまでに身に付けた知識、能力、態度などの)のデータを集め、チーム分けの不満ができるだけ出ないように、2週間ほどかけ学生とのインタビューを交え、チーム間のバランスを考慮したチーム構成を行うことに配慮されている。チームワーク力をアセスメント・評価するルーブリックは、上記の例とは違うものが開発されている。

ルーブリックは、教員側と学生側で共有されることが重要で、教員にとっては、授業科目の成績評価のための「どのような観点と基準で採点するか」の採点根拠表となっているが、成績評価、学習指導や教育改善に役に立つものであり、同時に学生にとっては、知識獲得力と理解力の増強だけでなく、試験で良い成績を取るという観点で学習計画を練ることができ、学習点検簿(portfolio, ポートフォリオともいい、自身の学習計画と進捗状況を記した学生の自己管理ノート)とシラバスとの併用で、自己学習点検や学生相互間での学習点検に役に立つものとして注目されている。教員にとっては、試験の

採点の「ある意味での透明性」とも関係し、学生との信頼関係醸成の意味で注目されている。

さて、Davis教授とそのチームの開発した統合的ツールのTIDEEは、ワシントン州立大学、アイダホ大学、シアトル大学、ローズハルマン大学など8大学でのそれぞれの教育現場で実際に利用され、それぞれの大学の特色が組み込まれた改善がなされている。その総合的ツールは共通の5段階尺度を持つ複数のルーブリックを用いる方法である。TIDEEとは、『ますます多様化する世界では、曖昧で、目まぐるしく変化する多様な社会的ニーズに対して、常に過去の経験の再検討と自己研さんで、様々な領域での活動の中で、新しいなじみでない複合的に絡み合った問題に直面しても、社会的合意が得られ、文化の壁を乗り越えて効果的にコミュニケーションでき、チームワークで、エンジニアリング活動として専門職的業務ができる人材を育成するため、企業のエンジニアの協力も得て、本物に近い、チームによるシニアデザイン(キャップストーンデザイン)科目の授業』を設け、その授業での目標学習成果は大きく二つのカテゴリーに分けられ、一つはソリューション開発(solution development)を目指し、問題のソリューションを設計し、かつ特定のニーズに合ったものを設計することに焦点を当て、もう一つは学習者成長(learner development)を目指し、学生に卒業後エンジニアとしての専門職的活動に携わることができる素養(知識、能力や資質等)を身に付けさせることに焦点を当てている。学習者成長は更に(1)専門職的業務力開発(学習者個々並びにプロジェクトのニーズ、専門職的行動、内省的実践者の方法にとって重要な専門的、人間関係的、個人的属性の専門職的能力の開発)と、(2)チームワーク(チームメンバーの行動とチームによるプロセスが高い生産性を相乗効果的に生み出す建設的な関係、協働達成、個々の貢献並びに情報管理の能力開発)の二つのカテゴリーに分けられ、ソリューション開発は更に(3)デザインプロセス(問題の理解力とデザインソリューションを協働開発するため、デザインツールと情報を内省的に利用して行う問題調査、概念生成、ソリューション実現の活動)と(4)デザインソリューションアセット(機能性、経済性、実効性、社会へのインパクトに対する顧客のニーズを満たすソリューションの価値)の二つのカテゴリーに分けられ、それら四つのカテゴリーの項目が授業の全体の目標学習成果の目標達成度を測るパフォーマンス領域となり、それらの関係は図2の概念図に示される。その際、学習過程で内省的思考(reflective thinking)を働かせ、それらの項目が、どの段階でどのレベルまで達成されているかをアセスメントし、評価するために、専門職的業務力開発に対して12個のパフォーマンス因子の組からなるパフォーマンス基準が設定され、チームワークに対して12個のパフォーマンス因子の組からなるパ

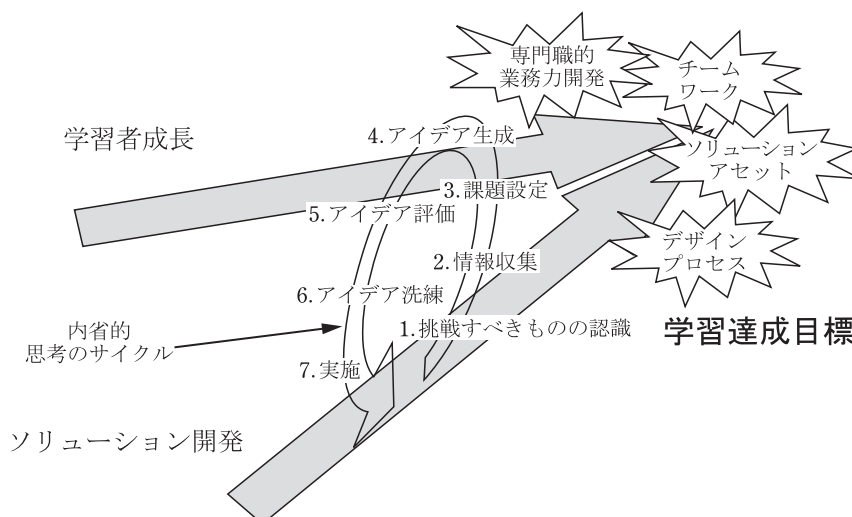


図2 キャップストーン工学デザインの目標学習成果（提供：ワシントン州立大学 Davis 教授） 専門職的業務遂行能力，チームワーク，デザインのプロセス，ソリューションアセット。

表1 形成的アセスメントと総括的アセスメントの意味の定義 パフォーマンスとは行動，態度，出来栄など（提供：ワシントン州立大学 Davis 教授）。

観点	形成的アセスメント	総括的アセスメント
何が目標か	未来のパフォーマンスの質を改善するため	現在のパフォーマンスの質を決定するため
誰が要求するか	アセスメントされる方	クライアント
誰がパフォーマンスをするか	アセスメントされる方	評価される方
誰がパフォーマンスを観察するか	アセスメントする方	評価する方
誰が評価項目をセットするか	アセスメントする方，アセスメントされる方	クライアント(評価する方と相談も)
誰が情報を利用するか	(未来のパフォーマンスにおいて)アセスメントされる方	クライアント(意思決定するため)
いつフィードバックが起きるか	パフォーマンス中か後	パフォーマンス中か後
フィードバックが何に基づくか	観察(長所，短所)	スタンダードに基づく質のレベル
何が報告書に含まれるか	何がパフォーマンスを強くしたか(未来の行動の改善へ)	パフォーマンスの質，しばしばスタンダードとの比較
誰が報告書を受け取るか	アセスメントされる方	クライアント
何のために報告書は用いられるか	パフォーマンスを改善するため	判定をするため

パフォーマンス基準が設定され，デザインプロセスに対して3個のパフォーマンス因子の組からなるパフォーマンス基準が設定され，デザインソリューションアセットに対して4個のパフォーマンス因子の組からなるパフォーマンス基準が設定され，共通の5段階尺度を持つ複数のルーブリックからなる統合的ツールが開発されている。ここに，内省的思考とは，思慮深き思考ともいい，「常に新しい問題に直面することに備え，過去の経験の再検討と自己研さんで，知識を蓄積・整理し，能力を磨き上げ，実際に新しい問題に直面したときに）挑戦すべきものを認識し，情報を集め，分析し，そのための解決すべき問題を特定化し，アイデアを生み出し，アイデアを評価し，アイデアを洗練し，問題解決を実践する思考を意味する。その思考過程を内省的な思考のサイクルとか思

慮深き思考のサイクルという。

特に特徴的なことであるが，アセスメントを，表1のように特徴付けられる「学習の総括的アセスメント」と「学習のための形成的アセスメント」に分けていることである。学習のための形成的アセスメントとは，授業の途中で，身に付けつつある知識・能力等をアセスメントし，それによって学生の学習のための改善情報を適宜フィードバックし，学生の学習を助けるだけでなく，教員自身の教育効果を知り，教育方法の改善を助けるものである。これは必ずしも成績評価に利用されるとは限らない。他方，学習のための総括的アセスメントとは，科目，科目群，学期，年次という単位で，授業での学習結果として身に付けた知識・能力等をアセスメントし，それによって評価（アセスメントで集積されたデータを解

積)し、評価結果(成績)を学生に報告するのに用いられる。後者は、「評価」の含意である「解釈」を含めたアセスメント・評価というべきものである。その意味で、TIDEEはアセスメントに力点を置いているという特徴がある。

図2における専門職的業務遂行力開発、チームワーク、デザインの工程、デザインのソリューション価値証明の目標学習成果の各々について、教員側から出されるタスク{2~3時間かかるタスクで、宿題(例えば、100~200単語の範囲で学生が解答しなければならないもの)も含む}は、目標設定から、最終的な達成までの必要な各段階で出され、それに対する応答を含むパフォーマンスの観測によって、根拠となるデータを同

定、収集、準備する形成的アセスメントや、目標学習成果の目標達成度評価のための総括的アセスメントを可能にする。形成的アセスメントは学習途中で有益なフィードバックを与える。図3において白で示される三角形とひし形で示される部分は形成的アセスメント部分を表し、黒で示される三角形とひし形で示される部分は、デザイン工程(製品開発工程)におけるマイルストーンごとの総括的アセスメント部分を表す。

TIDEEは、文献(11)で推奨されているアセスメント三角形{assessment triangle, 頂点を学習モデル(cognition, cognitive model of learning), 観察(observation, measures, sampling, tasks), 解釈(interpretation, scoring, expectations, reporting)とする三角形}の基

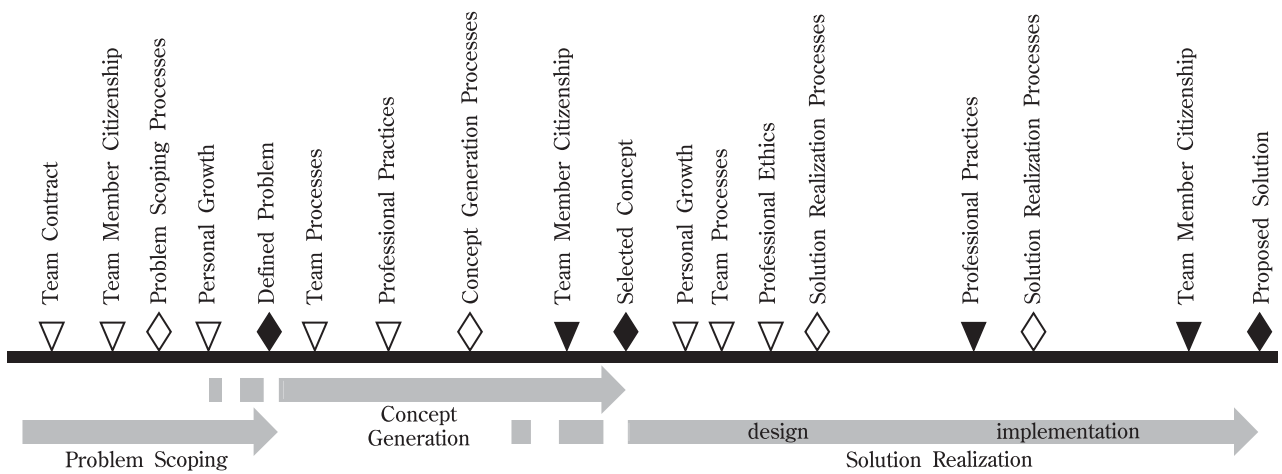


図3 問題調査(problem Scoping)、概念生成(Concept Generation)、ソリューション実現(Solution Realization)の時間経緯と形成的アセスメントと総括的アセスメントの概念(提供:ワシントン州立大学 Davis 教授)

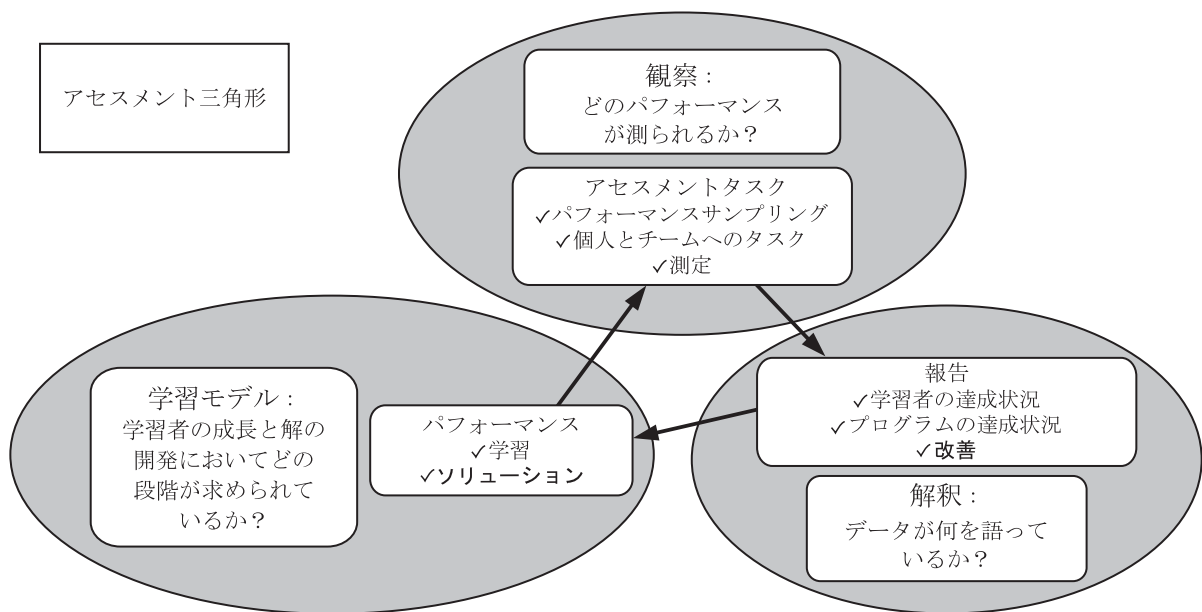


図4 米国の全国研究審議会(National Research Council)で推奨されているアセスメント三角形⁽¹¹⁾(提供:ワシントン州立大学 Davis 教授)

盤の上に図4のように築かれている。また、文献(12)、(13)で導入された内省的実践 (reflective practice, 思慮深き実践ともいい) の概念に着目し、それを TIDEE に利用した。内省的実践とは、実践活動に携わる人が、様々な領域での実践活動の中で新しい (なじみでない複合的に絡み合った) 問題に直面したときに、経験によって過去に得た問題解決の知識、能力、テクノロジー、技巧という実践的な知恵を駆使し、内省的思考を働かせること) である^{(12)~(14)}。Davis 教授は、工学デザイン教育での内省的実践について、その目標学習成果を「挑戦的で、なじみでない条件のもとでソリューションを求め、問題解決を通して学習を前進させること」であると述べている。その内省的実践にはリフレクションインアクション (reflection-in-action) とリフレクションオンアクション (reflection-on-action) の二つの形があり、Davis 教授とそのチームでは、前者のリフレクションインアクションは、「ソリューション開発と学習の過程で、どこでも、新しい問題に直面したとき、内省的思考 (のサイクル) で問題解決をすること」という意味で、後者のリフレクションオンアクションは、「ソリューション開発と学習の過程で、主要な前進 (進歩) をもたらした条件や状況を、批判的に分析し、蓄積し、次に同様な状況が生じたときに、より良い方法を選び、使うことができるようにすること」という意味で用いている。

講演では触れられなかったが、「TIDEE によるシニアデザイン (キャップストーンデザイン) 教育のアセスメント・評価によって、ABET の認定基準 EC2000 の目標学習成果のどの項目が学士レベル以上で実質的に等価的に達成されたことになるか、という疑問」に対し、Davis 教授らの別の資料で報告されている。それは、TIDEE の目標学習成果のアセスメント・評価の合格ラインの達成度のレベル設定が、ABET の目標学習成果 (アウトカムズ) の対応する項目が実質的に等価的に学士レベル以上で身に付けているように、理論的検討だけでなく、適用実践例での検討で、工夫・設定されている。また、理解し、うまく使いこなすためのガイドを教員と学生にどのように行うか、拒否反応する教員が多いことから、使いやすさの向上策を考え、Web ベースのツールが開発されている。とはいえ、TIDEE は常に改善されてはいるが、使いこなすには、ノウハウも含まれ、学生も教員も、慣れるためにはある程度の訓練が必要である。

詳しくは、シンポジウムの予稿集や Davis 教授が共同所長を務める工学教育研究センター (Engineering Education Research Center, <http://eerc.wsu.edu>) からの情報で、研究調査されることを望む。多数のルーブリックが統一的思想のもと設計されている。

6. あとがき

我が国の大学での工学教育では、工学デザイン教育を、「知識獲得、調査研究能力、問題発見能力、問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卒業研究 (卒研)」との関係をどう調和させるかが、プログラム側にとって問題となっている。JABEE も、認定審査にあたってデザイン教育について重視する観点についての『JABEE 方針』を示し、プログラム側に、それを考慮してそれぞれの特色あるデザイン教育の改善を進めるよう、促している。デザイン教育については本稿の他に、『JABEE 方針』、GA/PC、ABET の認定基準 EC2000 (現、案)、新 CEAB 認定基準、並びに文献 (6)、(10)、(15)~(17) を参照され、改善されることを望む。

目標学習成果の達成度をアセスメント・評価する信頼できる方法の開発は、教育プログラムの質保証の関係で、特に工学教育や技術者教育で緊急の課題となっている。どの大学の工学部や理工学部での工学系学科も、JABEE が求めるからではなく、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、大学設置基準に従いながら、独自性ある対応をし、学生の目標学習成果と科目ごとの目標学習成果を学士レベルとは何かを十分に考慮して、プログラムの受け入れた多様な基礎学力を持つ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、学生の目標学習成果と科目ごとの目標学習成果の達成度を信頼できるアセスメント・評価法で測り、各目標を実質的に学士レベル以上で達成した学生のみを卒業させることが強く求められている。社会 (産業界を含む) は、卒業生を見て、大学を評価する。TIDEE を越えるような、より使いやすい、より説明しやすいがしかし、より信頼できるアセスメント・評価法を開発することは、教員によって授業科目の成績評価、学習指導や教育改善に役に立つだけでなく、学生にとっても、知識獲得力と理解力の増強だけでなく、試験で良い成績を取るという観点で学習計画を練ることができ、シラバスと学生ごとの学習点検簿との併用で、自己学習成果の点検確認や学生相互での学習成果の点検確認に役に立ち、学生を受け入れる社会にとっても、意義あることと期待されている。本稿は、その方法の開発に、参考になることを願っている。

謝辞 この件に関わった会誌編集の方々に深く感謝する。また、牧野光則教授には、2010年3月に、Davis 教授とその仲間の Beyerlein 教授への再訪問の機会を作って頂いて TIDEE の更なる調査をさせて頂き、特に深く感謝する。また、Davis 教授と Beyerlein 教授には、2度にわたり、それぞれの大学への訪問にも関わらず、親切に対応して、多くの情報を提供して頂き深く感謝する。本稿の執筆にはそれによって補足された情報が

含まれている。また、本稿の原稿を読んでコメントを頂いた仙石正和新潟大学理事兼副学長に深く感謝する。

文 献

- (1) 村上陽一郎, 工学の歴史と技術の倫理, 岩波書店, 2006.
- (2) 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—,” 信学 FR 誌, vol. 1, no. 2, pp. 4-12, Oct. 2007.
- (3) 三好信浩, ダイアラーの日本, 福村出版, 1989.
- (4) ヘンリー・ダイラー, 平野勇夫(訳), 大日本, 実業之日本社, 1999.
- (5) 小山直子, “Nature の記事から読むダイアラーの描いた理想,” 信学誌, vol. 94, no. 2, pp. 107-113, Feb. 2011.
- (6) 篠田庄司, “工学教育の未来に向けての変化,” 信学 FR 誌, vol. 2, no. 3, pp. 4-18, Jan. 2009.
- (7) 仙石正和, 小山 純, 瀧山智榮, 米田正明, 丸山武男, 茂地徹, 長谷川 淳, 升方勝巳, 西村伸也, 工学力のデザイン, 丸善, 2007.
- (8) P.H. Wright, Introduction to Engineering, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- (9) L.R. Lattuca, P.T. Terenzini, and J. F. Volkwein, “Engineering change : A study of the impact of EC2000,” Executive Summary, (Center for the Study of Higher Education, The Pennsylvania State University), pp. 1-20, ABET, 2006.
- (10) 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.
- (11) Knowing what Students Know : The Science and Design of Educational Assessment, J.W. Pellegrino, N. Chudowsky, and R. Glaser, eds., Committee on the Foundations of Assessment, Board on Testing and Assessment, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council, Washington DC, National Academy Press, 2001.
- (12) D.A. Schon, The Reflective Practitioner, Basic Books, New York, 1983.
- (13) D.A. Schon, “Knowing-in-action : The new scholarship requires a new epistemology,” Change, pp. 27-34, Nov.-Dec. 1995.
- (14) R.S. Adams, J. Turns, and C.J. Atman, “Educating effective engineering designers : The role of reflective practice,” Design Studies, vol. 24, no. 3, pp. 275-294, 2003.
- (15) 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.
- (16) 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, pp. 718-720, Sept. 2007.
- (17) 篠田庄司, “大学における技術者教育改革の方向,” 信学誌, vol. 84, no. 1, pp. 57-67, Jan. 2001.

(平成 22 年 10 月 18 日受付 平成 22 年 10 月 26 日最終受付)



しのだ しょうじ
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・理工・教授。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, 編集長兼理事など, 並びに日本シミュレーション学会会長などを歴任。現在, JABEE の理事など。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 (1991, 1996, 1997 年度), 基礎・境界ソサイエティ特別功労賞 (2003 年度), 業績賞 (2004 年度), 功績賞 (2006 年度), 並びに IEEE の 1995 ICSPNN 最優秀論文賞 (1996), 第三千年紀賞 (メダル) (2000), IEEE Fellow, 日本シミュレーション学会フェロー, IEEK 会員。