

学部におけるエンジニア育成の現代的課題

— 環境適応能力と主体性を育成する自己決定学習の役割に着目して —

藤 墳 智一

(宮崎大学 教育・学生支援センター)

1. 序論

第4次産業革命による超スマート社会の到来によって、われわれを取り巻く技術環境はその変化の速度をいっそう加速させることが予測される。これがエンジニア¹⁾の育成に大きな転換を迫っている。単に、急増するIT人材需要への量的対応ということだけでなく、たとえば、大学を卒業した後も成長を続ける質の高い人材が本格的に求められはじめていることを意味する。本論文では、学習者が自分自身で学習内容を決定しながら進める学習を自己決定学習 (self-directed learning) と呼ぶことにする。社会人エンジニアの日常は、仕事における課題の設定、解決に向けた試行錯誤、妥当なアプローチの取捨選択といった自分ひとりでおこなう状況判断と意思決定の連続である。状況判断と意思決定の質は業務遂行の質と成果に直結している。そこで、学生が在学中に課題に取り組み、学んだ知識を応用する経験はこうしたことへの準備として重要な意味を持つ。自己決定学習は状況判断と意思決定を経験する貴重な機会であり、後に触れる知識の応用にもっとも有効な学習方法のひとつだと言えよう。

本研究の目的は、文献レビューからエンジニアを取り巻く環境の変化、エンジニアが身につけるべき主体性、そこで強調される自己決定学習の意義を読み解き、学部レベルの教育におけるエンジニア育成の現代的課題を明らかにすることにある。この問題は学部教育とエンジニア育成の2つの領域が重なる場所である。後半では、この2領域の議論を踏まえて自己決定学習を効果的に展開するためのカリキュラムを検討する。

2. 学習者による学習内容の決定の理論

デューイ (John Dewey) の提唱する進歩主義教育論は、早い時期からその中で主体性の意義を認め、現代の教育政策に対しても影響を与える考えのひとつである。彼は、教員中心の伝統的な学校教育の限界を指摘し、その一方で、学習者による変化への適応とそれ

を学ぶ機会として自由な教育が必要であると主張した。近年、高等教育に関する政策文書において、課題探求型学習や能動的学習を取り入れた指導が繰り返し求められている。教員には未知の知識でも学生にはそれが重要である場合があり、自由な教育の実現には、教員だけでなく、学生が学習を主導することが極めて重要となる。これらの政策提言は自由な教育の追求という点でデューイの進歩主義的教育論と同じ基盤に立つ。

デューイは教員による統制と学生の自由な探究を両立させること、また、自由を社会的に統制することに大きな関心を払った。彼によれば、学校の教材、教員、組織そのものが統制を目的とする古い制度であり、次の言葉がそれを端的に示している。

「教育の主要な目標や目的は、教授することにさいしての教材を包含している知識の組織化された統一体と、あらかじめ用意された熟練形式を子どもたちに習得させることによって、子どもたちに対する未来の責任と生活上の成功を準備してやることにほかならない。教材も正しい行為の基準と同様に、過去から手渡されたものであるから、生徒の学習態度は、概しておとなしく受け身で従順でなければならないことになる。書物とりわけ教科書は、過去の伝承や知恵を代表する主要なものである。他方、教師は、生徒を過去から伝わる教材に効率よく結びつかせるための代理人であるにすぎない。教師は、知識や技能が伝達され、また行為の規則が強要されるさいの仲介者なのである (Dewey 1938=2004: 18).」

また、彼は伝統的教育では変化への適応能力が想定されていないこと、また、変化への適応には学習者自身が内容の決定に関わろうとする姿勢が重要であると述べる。

「ここに言われている学ぶということは、すでに書物や年長者の頭の中に組み込まれているものを習

得することに他ならないのである。さらに教えられるものは、本質的には静的なものであると考えられている。教えられるものは完成された所産として教えられ、教えられるものが最初に構築されるに至った道筋や、あるいは間違いなく未来に起こるであろう変化については、いささかも考慮されていないのである (ibid. 20).」

「上から教え込むことは、個性の表現と育成とを阻止することになる。外部からの訓練は、自由な活動を阻止することになる。教科書や教師からの学習は、経験を通しての学習に対立することになる。ドリルにより隔離された技能や技術の習得は、直接に生き生きとした訴えにより目的を達成するための手段としての技能や技術を習得することに対立することになる。多かれ少なかれ、遠い未来のための準備は、現在の生活における機会をどこまでも大切にしようとするに対立する。静的な教育目的や教材に対しては、変化しつつある世界を知り、それになじむことが対立するのである (ibid. 21).」

1890年代、デューイはシカゴ大学に実験学校を開設する。実験学校は初等中等教育レベルにおける進歩主義教育の貴重な実践の舞台となった。1920年代になると、デューイと並んでラーニングコミュニティの基礎を構築したと言われるミクルジョン (Alexander Meiklejohn) がウィスコンシン大学マジソン校に実験カレッジを開設し、学部教育レベルの進歩主義教育を実践した。実験カレッジに学んだ学生が、その後、全米のリベラルアーツカレッジの教育改革に寄与するなどその影響は現代に及んでいる。

実験カレッジの特徴について間篠 (2014) は「小規模」「自由度の高さ」「一貫性」の3つをあげる。講義への出席は学生の主体性に委ねられ、その一方で、個別指導の充実、学生による学習の決定、学習に対して学生が責任を持つことを奨励し、それらが学習の自由を保証していたと考えられる。ミクルジョンは実験カレッジを支える思想、制度、内容についてまとめた著書“The Experimental College”の中で、学生の自己決定能力 (the power of self-direction) の重要性を強調している。また、次の説明が示すとおり、それはリベラルな教育がもたらす知性 (intelligence) と深く関わっている。知性の最大の利点は他分野へ応用可能性にある。

「リベラルな大学とは、通常、知性との関連によって定義される。つまり、リベラルな大学の目的は、人生の様々な局面で自己決定能力というものを学生に身につけさせることにある。リベラルな大学は、普遍的でリベラルな教育が人々に知性をもたらす、それはひとりの人間として人生を送るために不可欠なものであるという前提に基づいている。一方、銀行家、研究者、企業経営者、芸術家、医師、法律家になるための専門的な教育はこのリベラルな教育の対極に位置する。では、ここで言う知性とは何か。これに対してフレクスナー (Abraham Flexner) が明快な回答を示している。彼は大学に関する議論の中で『ドイツ人は産業が大学を必要としていることを知っている。その理由は、単に、大学が研究室で働く化学者や物理学者を育成しているからだ、ということだけではない。むしろ重要なのは、大学が知性を育成し、その知性が他のあらゆる分野に応用可能だという点にある。アメリカの大学にはまだこの認識がない²⁾。』と述べている (Meiklejohn 1932: 5-6).」

その後のデシ (Edward L. Deci) の内発的動機づけの理論に、自己決定学習に関する重要な展開が認められる。デシが注目したのは人間の根本的欲求としての「自己決定 (self-determination)」であった (Deci 1975, 1980)。人々が時間を忘れ、疲れを忘れ、何かに没頭するとき、その目的は活動そのものにある。つまり、その行為は金銭や賞賛といった外的報酬によって導かれているのではなく、行為に対する報償が行為の当事者の内面から与えられているのである。この理論は、上から教え込むことや外部からの訓練が有効に機能しないことを説明している。

デシは、内発的に動機づけられた行動、たとえば「自己の力量に最適なチャレンジを探究し、次いでそれを征服するというこの循環過程」が人々に「有能さと自己決定の感覚³⁾」を与えようとする。自由な選択をともなう探求的な学習は自己決定という大きな満足、すなわち内発的報酬を学習者にもたらす。同時に、自己決定的でありたいという強い欲求が人々を自由な選択行動へと駆り立てる。行動を意識的に選択する能力と内発的動機とはこのように相即不離に絡み合っていることになる。

また、同時期、自己決定学習に関する重要な展開はノールズ (Malcolm S. Knowles) の成人学習の理論においても認められる。伝統的学校教育における教育

の技術と科学であるペダゴジーに対し、ノールズは成人学習における教育の技術と科学をアンドラゴジーと定義し、自己決定的でありたいという成人の欲求をアンドラゴジーの中心に位置づけた (Knowles 1980). 彼は成人学習者の特性として次の5点を指摘する。

- (1) 自己に対する概念が依存的なものから自己決定的なものへと変化している,
- (2) 多くの経験を蓄積しており、経験が学習へのきわめて豊かな資源になっている,
- (3) 個人の社会的役割が学習へのレディネスとして重要性を増している,
- (4) かつての知識の習得からその応用へという学習のプロセスは、より即時性の高い応用力の習得へと変化している、そして,
- (5) 学習の目標が教科中心的なものから課題達成中心的なものへと変化している⁴⁾.

成人学習では探求的スタイルが有効となり、成人学習の指導者には、したがって、次のような自己決定学習を援助する役割が求められることになる。

「学習が内在的なプロセスであるという、成人教育実践への重要な示唆は、人びとを自発的な探求に最も深く関わらせるような方法と技法こそが、最もすぐれた学習を生み出すのだということの意味する。この自我関与の原理は成人教育者の技術の核心にある。実際のところ、今日の成人教育の技術の大きな波は、成人を次のようなプロセスに参加させるような技術の開発という方向に向かっている。すなわち、継続的学習への自己のニーズをより深い部分で自己診断すること、自分自身の学習目標の明確化、学習活動の計画と実行への責任の共有、そしてその目標に向けての進歩の程度の評価 (Knowles 1980=2002: 61).」

「本当に技術のある成人教育者は、学習の拠点が学習者の中にあると思っている。彼らは自分が知っている学習者が学ぶべきことを教えたいという自分の思いを、誠実に抑えている。学びたいことを学習者が自分自身の力で学ぶのを援助するためにである (ibid. 61).」

ノールズが影響を受けた教育学者リンデマン (Eduard C. Lindeman) は、すでに1920年代に、人間の本质が画一的で静的であるという前提に対して異を唱え、学習者一人ひとりが人生の意味を発見するこ

とに成人学習の意義を見出した (Lindeman 1926). リンデマンは、人生の意味とは「人々が自分で定めた目標、その願望、要求、欲求、願いといったものの中にあるはずだ⁵⁾」と考え、教育の目標として自由な自己表現や創造性を重視した。

以上、学習動機研究と成人学習研究における進歩主義的教育論の展開を中心に、自己決定学習に関連する諸理論を概観した。エンジニア育成に関して言えば、他分野に比べ、環境適応と主体性がいっそう重要な意味を持つ。つまり、それは、産業技術など変化の激しい領域では、短期的な効果のある断片的な知識以上に、長期的な効果を持つ知識活用のノウハウが重要となるからである。このノウハウは大教室の一斉講義のみで身につくものではなく、応用の実践を繰り返すことによって時間をかけて習得されることがわかってきている。また、知識の応用は学習の転移を生じさせ、学習の移転は理解をいっそう普遍的なものへと向上させる。そのとき、学習者の主体性には学習の移転の波及効果を飛躍的に拡大させる働きがある⁶⁾。

3. 高等教育政策の中の環境適応と主体性

この20年間、大学教育に関する政策文書は、学生の学習への主体的な関与を繰り返し求めてきた。新しい大学教育に求められているのは、準備された教材の範囲を超えて学生自身が知識量の増大に努力を払うように彼ら彼女らを積極的に支援することだろう。ここでは、政府の提言にみられる環境適応と主体性に関する具体的な記述を概観し、育成方法としての自己決定学習の妥当性を考える。

1987年の教育課程審議会答申『幼稚園、小学校、中学校及び高等学校の教育課程の基準の改善について』は「自ら学ぶ意欲と社会の変化に主体的に対応できる能力の育成」を目標に掲げ、初等中等教育において主体的に変化へ適応する能力が重要であることを明確に打ち出した。

その後の1998年の大学審議会答申『21世紀の大学像と今後の改革方策について：競争的環境の中で個性が輝く大学』は学習成果として課題探求能力を重視した。同答申にしたがえば、課題探求能力とは、「主体的に変化に対応し、自ら将来の課題を探求し、その課題に対して幅広い視野から柔軟かつ総合的な判断を下すことのできる力」を意味する。つまり、「真に社会で伸びていく人材を養成するには、細分化された狭い分野を教えるだけでなく、学生が広い視野を持ち学

問を総合的に把握し課題を探究できるような幅広い教育」を推進していく必要がある。

2005年の中央教育審議会答申『我が国の高等教育の将来像』(以下「将来像答申」)の議論は、まず、われわれが「知識基盤社会」という大きな変化に直面しているという認識からはじまる。「知識基盤社会」とは、グローバル化、絶え間ない技術革新と競争、知識のパラダイム転換、性別年齢不問の競争への参加を特徴とし、そこでは幅広い知識と柔軟な思考力がいっそう重要になると答申は述べている。また、答申は「知識基盤社会」における高等教育の使命として「21世紀型市民」の育成を掲げる。「21世紀型市民」とは、高い専門性、幅広い教養、高い倫理性を有し、社会を改善し社会の変化を支える人材である。

2008年の中央教育審議会答申『学士課程教育の構築に向けて』(以下「学士課程答申」)は、大学共通の学習成果の目標である「学士力」を設定した。答申はこれまでの答申を踏襲して「グローバル化する知識基盤社会や学習社会」を社会の変化としてとらえ、自立した市民の育成の重要性を説いた。その中で大学は、まず、自らの教育活動を「学生の身につける学習成果」によって表現し、学習の「達成度を評価」するシステムを構築しなくてはならない。そうしたシステムを構築することで「個人の学習や訓練の履歴、知識・能力等を証明する」ことが可能になり、「知識・能力等の証明である学位の透明性、同等性」が確保されるのである。つまり、大学は「教育の中身の充実」を図ることを優先課題とすべきであると答申は主張する。

「学士力」に見られる学習成果のリストは「分野横断的に我が国の学士課程教育が共通して目指す学習成果」であり、「知識・理解」「汎用的能力」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の4領域で構成される。「態度・志向性」における「生涯学習力」「自己管理能力」は主体的な適応能力に関連している。また、「総合的な学習経験と創造的思考力」は「これまで獲得した知識・技能・態度等を総合的に活用し、自らが立てた新たな課題にそれらを適応し、その課題を解決する能力」を意味している。

2012年の中央教育審議会答申『新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて：生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ』(以下「質的転換答申」)は、学生に「学士力」を身につけさせる方法として能動的学習の重要性を強調した。まず、ここでは新しい環境を「知識を基盤とする経営の進展、労働市場や就業状況の流動化、情報流通の加速化や価値

観の急速な変化などが伴い、個人にとっても社会にとっても将来の予測が困難な時代が到来しつつある」ととらえ、その中で「想定外の事態に遭遇したとき」に対応できる「生涯にわたって学び続ける力、主体的に考える力を持った人材」が必要であると述べている。そのため、大学は従来の学習方法を改め、「教員と学生が意思疎通を図りつつ、一緒になって切磋琢磨し、相互に刺激を与えながら知的に成長」させる「能動的学習(アクティブラーニング)」に転換させる必要があると言う。自己決定学習は学習者による内容の決定を特徴とする能動的学習のひとつである。教員と学生の相互作用と双方の成長は能動的学習と自己決定学習に共通する重要な長所だと言えよう。

成人学習の研究者であるクラントン(Patricia A. Cranton)は教員の成長について興味深い指摘をしている。彼女は、成人学習を教員の役割によって他者決定型、自己決定型、相互決定型の3つに分類した⁷⁾。相互決定型は成人学習のひとつの到達点である。他者決定型は講義における教師による完全な管理を特徴とし、自己決定型は学習者による完全な管理を特徴とする。相互決定型は教員と学生が学習に対して責任を持ち、教員も学習者として行動する点に特徴がある。なお、本研究が採用する広義の自己決定学習は自己決定型と相互決定型を含む。相互決定型の活動でも学習者は十分に自己決定的であるためである。相互決定型では教員と学生が一緒になって切磋琢磨し、学生は教員の成長をより身近に実感することができる。大学での授業が相互決定型学習を積極的に採用することで、授業は教員と学生がともに成長する機会へと変わるのである。

2014年の中央教育審議会答申『新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について』では、アメリカの研究者デビッドソン(Cathy N. Davidson)の「2011年にアメリカの小学校に入学した子供たちの65%は、大学卒業後、今は存在していない職業に就く」という予測を引用し、これからの環境変化を「生産人口年齢の急減、労働生産性の低迷、グローバル化・多極化の荒波に挟まれた厳しい時代」を迎え、その中で「世の中の流れは大人が想像するよりもはるかに早く、将来は職業の在り方も様変わりしている可能性が高い」と分析する。

答申は、環境適応能力として小中学校段階で育成される「生きる力」の意義に注目し、この能力を高等学校教育、大学教育を通して体系的に発展させる必要

があると言う。「生きる力」は「豊かな人間性」「健康・体力」「確かな学力」の3つの領域を含み、その中の「確かな学力」はさらに「知識・技能」「知識・技能を活用して、自ら課題を発見しその解決に向けて探求し、成果等を表現するために必要な思考力・判断力・表現力等の能力」「主体性を持って多様な人々と協働して学ぶ態度（主体性・多様性・協働性）」の3要素から構成される。第3の要素として設定された「主体性・多様性・協働性」の育成を図るため、大学はこれまで以上に学習に対する学生の主体的関与を促す必要があるだろう。

2005年の「将来像答申」以降の学部教育に関する政策提言は、一貫して、全世界を巻き込む広範な社会システムの急転換への注意を喚起してきた。そこからわかるのは、予測困難な未来への適応が決定的な意味を持つこと、環境適応能力を高めるには主体的、能動的、個別的な学習が有効だということ、そして、学生は自己決定学習によって大学卒業後も成長し続けることがこれまでになく重要となるということである。

4. エンジニア育成政策の中の環境適応と主体性

本節では、エンジニア育成についてこの10年間に刊行された主要な政策文書を取り上げ、環境適応、とりわけ技術環境の変化への適応とエンジニアの主体性がその中でどのように表現されているのかについて検証してみたい。

はじめに取り上げるのは、2010年の「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」がまとめた『大学における実践的な技術者教育のあり方』である。同書は新しい環境の特徴が「社会のグローバル化や科学・技術の高度化・複雑化にともない、十分特定された技術課題を処理する技能者や科学的原理を探求する科学研究者だけでは解決できない課題が増加しており、実際に自然科学等の知識とその応用力等を駆使して複合的に絡み合う課題を解決でき、専門の変化に対応できる質の高い技術者の養成ニーズが高まっている」点にあると言う。

同書は、日本経済団体連合会による「技術系人材に対して基礎学力の不足、問題設定能力の不足、目的意識の欠如、狭い専門領域という問題点がある」という指摘に触れ、分野別評価基準の明文化を強く求めている。分野別の対応が必要なのは、「IT、バイオ、ナノテク、環境、エネルギーなどの先端技術分野における技術者の質的、量的不足」がわが国で深刻となり、こ

うした分野ではとくに評価基準の整備が急務であるためである。

また、先端技術分野だけでなく、これからのエンジニアに対して「変化する多様なニーズに応えられる基礎力、与えられた問題、未知の問題に対応できる汎用的能力」を習得することを求めている。汎用的能力を効果的に習得するには「学生が自主的に何かをおこなう過程を経験することで、動機付けられ、自分から進んで物事に取り組み、創り出す能力、チームで協力していく能力など将来にわたって有用な根本的態度等を育成する」など、学習者の主体性が成功の鍵を握る。

このように、人材育成を長期的視点からとらえ「求められる技術者像に至る技術者のキャリアパス」の明示や「技術者のキャリアパスを踏まえた上で、各段階で達成され身につけるべき知識、資質・能力の評価指標（学習成果評価指標）が産学共同で整備されること」を求めている。これらの主張が前提とするのは、技術環境の長期的な変化とそれに適応するための継続的学習に対するエンジニアの意識である。つまり、そもそもエンジニアの「成長」とは、「単に資格試験に合格」し、知識を持っていればよいというものではなく、高等教育機関で教育を受けた後も「経験」と「継続教育」を重ね、エンジニアとして「進化」し、「大成」することを意味していると同書は述べている。

第2は、2016年に「理工系人材育成に関する産学官円卓会議」が示した『理工系人材育成に関する産学官行動計画』である。同書はエンジニアを取り巻く環境を「予想を超えた速度で革新が起こり、10年後、20年後には新しいビジネスや市場が誕生する」状況ととらえる。この環境に対して大学には「特化した専門分野に偏ることなく、教養教育、数学や物理、情報などの基盤となる分野の基礎教育の充実、文理を超えた分野横断的な教育プログラムの提供、研究室・専攻・大学・機関の枠を超えた人材・教育交流」などの支援を求めている。同書は、技術環境の転換期にはとくに幅広い教養と基礎的な知識・スキルの習得が重要であり、転換期の混乱を是正するためにスキルの見える化、キャリアの見える化、それを反映したカリキュラムの見直しが急務であると主張する。同書の大学教育への提言は産業界のニーズを踏まえた教育内容と制度の改革に関するものが多く、教員がどのように学習のプロセスに関わっていくべきか、あるいは学生の主体性をどのように育成するかといった方法に関しては十分言及していない。

第3は、2017年に「大学における工学系教育の在

り方に関する検討委員会」が中間報告としてまとめた『大学における工学系教育の在り方について（中間まとめ）』である。同書が注目する環境は「AI(人工知能), IoT (Internet of Things), ビッグデータ解析, システム構築技術, サイバーセキュリティ技術」の普及とそれにとまなう新たなニーズである。わが国の工業教育はこれまで「現場的な実学を重視した工学から発祥し, 帰納的プロセスに基づく真理の探究」に重点があった。また, 明治期以来「1つの分野を深く学ぶモデル」によって成功を収め, その一方, 学際的な教育体制の整備が遅れている。同書は, 1970年代以降も「工学系教育研究の内容は, 幅広く構造変化に対応するというよりもむしろ専門分野の分化と教育研究を進化させる方向に傾倒していった面もあった」とふり返る。

今後のエンジニア育成の課題として「今の技術を先導する力」「次の技術を生み出す力」「技術革新に適応する力」という短期, 中期, 長期の時間軸に沿った3つの能力の育成をあげ, それにはまず, 「専門の深い知識」と「幅広い知識」を背景とした「課題を自ら設定する能力」あるいは「基礎技術」を背景とした「分野内, 分野間で新たな展開」を推進する能力を身につける必要があると主張する。「今の技術を先導する力」「次の技術を生み出す力」「技術革新に適応する力」には明確に変化への適応と主体性の要素が見られる。また, 同書は, 企業との連携によるプロジェクト型学習やインターンシップなど実際の職務の経験を有効な学習方法として例にあげる。実際の課題に取り組むプロジェクト型学習は自己決定学習の典型的な学習の形態である。課題の発見, 解決の着想, 解決策を実行に移すための計画と評価というすべてのプロセスが学生に対して内容の決定を迫るからである。

同書は「輩出すべき人材像」を時間軸と対応させて次のように描く。

「まず, 社会における工学の価値を理解し, 自律的に学ぶ姿勢を具備するとともに, 原理・原則を理解する力, 構想力, アイディア創出能力, 問題発見能力, 課題設定能力, モデル化能力, 課題解決・遂行能力を持つ人材育成が必要であることを前提とする。

その上で, 前述のように, 輩出すべき人物像についても, 短期, 中期, 長期の戦略への対応を意識した人材育成に向けた教育が必要であり, 一人の学生にすべてを教えるのではなく, 人材のダイバーシティを確保することが必要である。

なお, スペシャリストとしての専門の深い知識と同時に, 分野の多様性を理解し, 他者との協調の下, 異分野との融合・学術領域の推進も見据えることができるジェネラリストとしての幅広い知識・俯瞰的視野を持つ人材を育成することも重要である。

さらには, これだけの情報通信技術の進展により, 様々なサービスが提供される中, 製造業と非製造業の橋渡しができる人材や, システム同士がデータによりリアルタイムに連携する仕組み (System of Systems) やサイバー空間上に精緻なモデルを組み上げ高精度な実証, 予測, 最適化を可能とするデジタルツイン機能を代表とする『バーチャル空間』と『リアル空間』の融合等を俯瞰的に把握できる人材を育成することが必要である (大学における工学系教育の在り方に関する検討委員会 2017: 3-4)。

つまり, ここでは, 明治期以来の1つの分野を深く学ぶモデルの反省と修正から, 幅広い知識と俯瞰的視野を身につけていること, また, 対人スキルとして他分野の多様な他者とも協調, 協働できることを重視する。また, 現場主義の実学と帰納的プロセスに基づく真理の探究を重視してきた伝統に対して, 基盤技術に基づき分野内分野間で新たな展開ができることを提言している。これらの学習課題に取り組む上でもっとも重要な前提は, 輩出すべき人材像の最初の条件に掲げられている学生の「自律的に学ぶ姿勢」である。

第4は, 2018年の「工学系教育改革制度設計等に関する懇談会」による『工学系教育改革制度設計等に関する懇談会取りまとめ』である。これは2017年の『大学における工学系教育の在り方について（中間まとめ）』での議論に基づき, 「工学系教育改革の実現に向けて重点的に講ずべき施策の具体的な制度設計等」を検討した結果をまとめたものである。環境と主体性について「中間まとめ」と重なる点が多い。それを実現させるための具体的な施策の提言が内容の中心を占める。たとえば, 大学教員が所属する教育組織と研究組織の分離, 教育専任教員の配置, 産学連携のインターンシップやプロジェクト型学習の導入, モデルコアカリキュラムの開発, 学習成果を測定する標準化テストの開発, 学部大学院の6年一貫制の設置, 専門基礎力, 展開力, 適応力の育成の強化, 他分野の内容の習得, メジャーマイナー制の設置, 実務家教員の配置などである。次世代のエンジニア像では, 困難な課題を解決するためには主体性と幅広い視野が不可欠の条件であるということを強調している。

「現在、産業界で求める学術的専門性は業種によって異なるものの、共通して求められる人材像としては主体的に課題想像や課題解決ができる素養を持った人材である。その素養を育成するためには、これまで述べてきた通り、幅広い分野を俯瞰できる総合力と主体的に学ぶ姿勢に培われた専門能力を併せ持つ展開力のある人材を育成できる教育プログラムが新たな時代への対応として要望され、その一部は実施されているものの、その実態は不十分である（工学系教育改革制度設計等に関する懇談会 2018: 6-7).」

このようにエンジニア育成に関する近年の政策を眺めると、10年間で注目すべき技術環境の変化がバイオ、ナノテク、環境、エネルギーに関連する技術からAIやSystem of SystemsなどIT分野の特定領域へとシフトしていることがわかる。また、その中で自己決定学習の必要性が高まっている。たとえば『大学における工学系教育の在り方について（中間まとめ）』が定義する5～10年後に「次の技術を生み出す力」は、予期せぬ変化に備えるための資質・能力であり、自ら課題を設定する姿勢がまだ見ぬ新技術への適応を可能にする。その経験を10～20年後の根本的な環境変化の中で「技術革新に適応する力」につなげていくには、エンジニア自身が自己決定学習によって成長を続けていく必要がある。学部レベルの教育は卒業した社会人エンジニアがひとりで学習をおこなうための助走期間である。したがって、在学中に学生が自己決定学習を本格的にスタートさせておくことには重要な意味があると考えられる。

5. 次世代のエンジニアに求められるコンピテンシー

本節では、コンピテンシーに関する研究のレビュー、国際機関によって検討されているエンジニア育成プログラムの学習成果に関するリスト、わが国の政策文書にあらわれるエンジニアへの要望を比較し、その共通項となる次世代のエンジニアに求められるコンピテンシーを検討する。コンピテンシーとはすぐれた人材に共通する能力の特徴であり、本研究では知識、スキルだけでなく意欲、価値観、行動様式がこれに関連していると考えられる。

(1) コンピテンシー再定義の潮流

わが国では2005年に「将来像答申」、2008年に「学

士課程答申」、2012年に「質的転換答申」が学士課程教育に対する重要な指針を示すが、その背景には、次に示すような次世代のコンピテンシー再定義に関する国際的な潮流がある。たとえば、1997年に「英国高等教育制度検討委員会」による勧告『学習社会における高等教育の将来像』、いわゆる「デアリング報告」が刊行され、その中で同書は、4つのキースキルを含む、知識・スキルの習得目標に関するプログラムの仕様書を大学は示す必要があると提言している。4つのキースキルとはコミュニケーションスキル、数量的スキル、IT活用能力、学び方の学習である⁸⁾。また、同じ1997年にOECDの主導によって組織されたDeSeCoプロジェクトは、知識基盤社会に適応するための新しい教育と能力について議論し、2003年、その結果を「キーコンピテンシー」としてまとめた。「キーコンピテンシー」は「社会的に異質な集団で交流すること」「自律的に活動すること」「道具を相互作用的に用いること」の3カテゴリーで構成される。環境適応と主体性に強く関連するのは「自律的に活動すること」であり、独立した自己による意思決定と自らの行為に対する責任を重んじた⁹⁾。

2009年、アメリカでは民間資金の強力な支援の下「21世紀型スキルの学びと評価」プロジェクトが立ち上がり、情報化と知識経済という環境に適応するための新しい能力に関する議論がはじまった。このプロジェクトでは次にあげる資質・能力の10領域を提示した。すなわち、

- (1) 創造性とイノベーション、
- (2) 批判的思考、問題解決、意志決定、
- (3) 学び方の学習、メタ認知、
- (4) コミュニケーション、
- (5) コラボレーション（チームワーク）、
- (6) 情報リテラシー、
- (7) ICTリテラシー、
- (8) 地域とグローバルのよい市民であること、
- (9) 人生とキャリア発達、そして、
- (10) 個人の責任と社会的責任、である¹⁰⁾。

とくに「(3) 学び方の学習、メタ認知」では学習の対象と目的を批判的に振り返る能力、「(9) 人生とキャリア発達」では変化への適応や自律的な学習の態度が求められている。ここから、学習者による内容の決定は21世紀型スキルが想定する重要な学習方法であることがわかる。

2005年には「全米カレッジ・大学協会」が「教養教育のアウトカム¹¹⁾」をまとめるなど、この時期、国

内外で大学の学習成果に関する新しいリスト作成に多くの努力が払われた。いずれの場合も知識基盤経済のグローバルな拡大を強く意識しており、その目的は、変化の内容を正確にとらえ、それに応じた新しい能力を定義し、新しい能力の育成に向けた教育制度を実現することにあった。また、国境を越えた学習成果リスト作成に注目が集まるのは、単にグローバル化への対応のためだけではない。自国経済を牽引する国際競争力のある人材を育成しようとするとき、その人材がグローバルなネットワークの中でグローバルな文脈、価値、文化を理解し、それらを他国の人材と共有することがもはや不可欠であるというドメスティックな利害とそれは深く関係している。

2015年、ファデル (Charles Fadel) が会長を務めるカリキュラム・リデザイン・センター (The Center for Curriculum Redesign) は、キーコンピテンシー、21世紀型スキルの研究に加え、OECDのイノベーションのためのスキル、ヒューレット財団のより深い学びのコンピテンシーなど先行する6つのコンピテンシーの研究成果を知識、スキル、人間性、メタ学習の4領域にまとめ、比較した (Fadel et al. 2015=2016)。そこには、それぞれの領域に見られる新しい傾向が紹介されている。

たとえば、まず、知識に関して、彼らは世界中の教育カリキュラムの現状を調査し、古代ギリシャの教育理論から影響を受けた文法、論理学、修辞学、天文学、幾何学、算術、音楽のリベラルアーツ7科に加え、「21世紀に必要な知識を子どもたちが身につけられるよう、分野横断的なテーマに関する概念、メタ概念、メソッド、ツールに焦点を向けた新しい現代的・学際的な主題、分野、トピックを教育に導入すること¹²⁾」が新たなチャレンジとして着手されていると伝えている。

第2に、スキルに関して、ファデルらはそれを「将来行う学びのための準備」であり「知っていることをどう使うか」に関する能力として理解している。彼らは、スキル習得について「対象なしに批判的思考をすることができないように、スキルを内容知識と切り離れた形で教えることは非現実的なこと」だとして、スキルは学習者が身につけた知識を新たな環境へ転移させるのに不可欠のものとして教科の内容と不可分に結びついている点を強調する。

第3に、人間性 (character) に関して、彼らは幅広く世界中の500人以上の教師からデータを収集し、主要な6つの特徴、すなわち「マインドフルネス、好奇心、勇気、レジリエンス、倫理、リーダーシップ」

を精選した。

第4に、メタ学習に関して、彼らは知識、スキル、人間性をコントロールする能力であり、次世代のコンピテンシーの特徴であるにとらえている。また、環境適応と主体性の観点からメタ学習の意義を次のように説明している。

「21世紀に求められる適正な知識、スキル、人間性特徴の再設計に加え、我々は、子どもたちが振り返りをしたり、自らの学びについて学んだり、努力を促す成長的思考態度を身につけたり、目標に応じて学習や行動を調整する術を学んだりする、教育のメタ的な階層が必要だと考えている。この次元のことをOECDは省察性 (reflectiveness) と呼び、EUのキーコンピテンシー参照枠組みやヒューレット財団のより深い学びのコンピテンシー、そして21世紀型スキルの学びと評価は、いずれも学び方の学習 (learning how to learn) と呼んでいる。変わりゆく世界に子どもたちを備えさせる最も確実な方法は、多能で、よく考え、自主・自律的にふるまう人間になるための道具を彼らに与えることなのである (Fadel et al. 2015=2016: 133-134).」

(2) 教育プログラム評価における学習成果基準

こうしたコンピテンシー再定義の国際的潮流の10年以上前から、エンジニア育成の分野では新しい環境、新しい技術に適応する学習成果の議論が進められている。1989年のワシントン協定以降の状況を見ると、エンジニアのコンピテンシーはそれがアカデミックな関心に基づくアプローチであれ、実践的関心に基づくアプローチであれ、教育プログラム評価における学習成果基準として議論を展開させてきた。2005年に国際エンジニアリング連合 (International Engineering Alliance) はエンジニアに関する教育プログラム評価で取り上げられた学習成果の基準を「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力 (Graduate Attributes and Professional Competency Profiles)」にまとめた。その後の継続的な見直しによって、2009年に第2版、2013年に第3版が刊行されている。現在、日本技術者教育認定機構 (2018)、米国エンジニアリングテクノロジー認定機構 (Accreditation Board for Engineering and Technology 2017)、英国エンジニアリング評議会 (Engineering Council 2014) がおこなう教育プログラム評価が学習成果として想定する知識・能力は「卒

業生としての知識・能力」の最新版が掲げる12項目に極めて近いものである。

表1は、国際エンジニアリング連合(IEA 2013)の「卒業生としての知識・能力(Graduate Attribute)」の12項目を、筆者がファデルらの知識、スキル、メタ学習、人間性の4領域に対応させようと試みた結果である。この表からは次の6つの特徴と傾向を読み取ることができる。

第1に、ファデルらも指摘しているとおり知識とスキルは密接な関係にある。エンジニアのコンピテンシーと対応させることによってそれらはいっそう分かちがたいもののように感じられる。第2に、「知識・スキル」の発展に領域の拡張と高度な応用パターンの追求という2つの方向が見られる¹³⁾。第3に、「メタ学習」は、学習の目標、進め方、成果をふり返り、その中で「考えたことについて考える」メタ認知と、知能を変化し続ける動的なものとしてとらえる「成長的思考態度」に分かれる¹⁴⁾。第4に、「人間性」は個人に関するものと他者との関係に関するものに分かれる。個人の態度として自立や責任が重要だと考えられ、

他者との関係では協調性やリーダーシップが重視されている。第5に、「知識・スキル」の高度な応用パターンと「メタ学習」のメタ認知はともにより汎用的なレベルの知識応用のノウハウと深く関連している。第6に、「メタ学習」の成長志向と「人間性」の責任ある主体は、ともにエンジニアの自律性は重大な責任をともなっているという考え方と深く結びついている。

表1を解釈する上で、熟達者(experts)をめぐる議論が参考になる。米国学術研究推進会議(National Research Council 2000=2002)は、学習における初心者と熟達者の知識とその習得方法を比較した(表2)。熟達者の知識は構造化されスムーズな検索が可能であるなど、ここでも知識とスキルは分かちがたく一体化している。また、「知識はある特定の文脈の中で活用されるものである」という特徴にみられるように、知識をあるパターンにしたがって構造化させ、他に活用可能なかたちで身につけることが学習の質の向上には重要である。これは、ファデルらの分類における高度な応用パターンとメタ認知の2つが重なる領域に対応すると考えられる。

表1 本研究におけるコンピテンシーの4つの次元

学習者と教育の4つの次元 (Fadel et al. 2015)	卒業生としての知識・能力 (IEA 2013)	「大学における工学系教育の 在り方について(2017)」	本研究におけるコンピ テンシーの4つの次元
知識・ スキル	領域の拡張	幅広い知識・俯瞰的視野	【幅広い視野】幅広い視野に 立ち状況を認識する力
	高度な応用 パターン		
メタ学習	メタ認知	基盤技術に基づく新たな展開	【知識の応用】知識を構造化 させ応用する力
	成長志向		
人間性	責任ある主体	自律的に学ぶ姿勢	【自立した学習者】専門家と しての責任ある主体による 学習開発力
	他者との協調		
		多様性の理解と他者との協調	【チームワーク】

表2 熟達者にみられる6つの原則

知識の諸側面	初心者 (novices)	熟達者 (experts)
情報のパターン化	重要な意味を持つ情報理解のパターンに気づいていない。	初心者が気づかないような情報の特徴や有意なパターンに気づく。
知識の構造化	構造化されていない断片的な知識をわずかしか身につけていない。	課題内容に関する多量の知識を獲得しており、それらの知識は課題に関する深い理解を反映する様式で構造化されている。
知識の有効性	身につけた知識はある特定の文脈に結びつけられておらず、個々バラバラの事実や命題に還元される。	身につけた知識は個々ばらばらの事実や命題に還元できるようなものではなく、ある特定の文脈の中で活用されるものである。すなわち、熟達者の知識はある特定の状況に「条件付け」られている。
知識の柔軟性	身につけた知識から意味ある内容を見つけることが困難である	ほとんど注意を向けることなく、知識の重要な側面をスムーズに検索することができる。
知識の伝達	自分が専門とする分野について深く理解しておらず、他者にうまく教えることができない。	自分が専門とする分野について深く理解している。ただし、それを他者にうまく教えることができる場合とできない場合がある。
理解の柔軟性	理解の方法を変えることが困難である。	新規の状況に対して必要に応じて理解の方法を変えながら取り組むことができる。

出典：National Research Council (2000=2002: 29) をもとに筆者作成。

エンジニアのコンピテンシーについては前述の『大学における工学系教育のあり方について（中間まとめ）』（大学における工学系教育の在り方に関する検討委員会 2017）が歴史的視点、国際的視点に基づいてわが国の課題を的確に描いている。筆者がとくに重要性が高いと注目するのは「幅広い知識・俯瞰的視野」「基盤技術に基づく新たな展開」「自律的に学ぶ姿勢」「多様性の理解と他者との協調」の4つである（表1右側）。この4つは、それぞれ知識・スキルに関する幅と複雑性、行動に関する主体性と協調性に対応する。「幅広い知識・俯瞰的視野」と「基盤技術に基づく新たな展開」の違いは、前者が主に知識の量的拡大や領域の拡張を指しているのに対して、後者は知識を応用するパターンが増大することによって知識・スキルの複雑性や質が高まることを指している点にある。このように「基盤技術に基づく新たな展開」は不測の変化に対する長期的な効力と深く関連しており、次世代のエンジニアのコンピテンシーの特徴をよく示している。

表3はこの4つのコンピテンシーを国際エンジニアリング連合（IEA 2013）が示す「卒業生としての知識・能力」の12項目すべてとの対応を試みた結果である。筆者には4つのコンピテンシーの具体的内容が「卒業生としての知識・能力」によってわかりやすく説明されているように感じられ、この結果を興味深く意義深いものとして評価している。表中では先の「幅広い知識・俯瞰的視野」「基盤技術に基づく新たな展開」「自律的に学ぶ姿勢」「多様性の理解と他者との協調」の表記をさらに「幅広い視野」「知識の応用」「自

立した学習者」「チームワーク」と簡略化した。

「幅広い視野」はゼロからの生産工程の検討、そして技術と社会の関わりの理解に対応する。「知識の応用」はエンジニアリングデザイン能力と身につけた知識の異なる場面への応用に対応する。「自立した学習者」はエンジニアとしての責任感と主体的学習態度、「チームワーク」はコミュニケーション能力やリーダーシップなどの対人スキルにそれぞれ対応すると考えられる。

ファデルらが示した学習者と教育の4つの次元は、複数の国際的研究プロジェクトが定義したコンピテンシーをさらに要約するための枠組みであり、メタ学習や人間性のカテゴリーが幅広く様々な資質・能力を受け入れるつくりになっている。その一方、「幅広い視野」「知識の応用」「自立した学習者」「チームワーク」の4カテゴリーでは、知識・スキルを幅と複雑性に分解し、行動を主体性と協調性に分解した。これには次のような産業界からの要望や実際の仕事の成り立ちが大きく影響している。つまり、これからのエンジニアは教科書から断片的な知識・スキルを学ぶだけでは不十分で、知識・スキルの応用と構造化を繰り返し、構造化のパターンを理解しなくてはならない。また、知識・スキルだけがすぐれていても不十分で、それに裏づけられた行動が求められる。

本研究はこの仮説、つまり「幅広い視野」「知識の応用」「自立した学習者」「チームワーク」の4つを次世代のエンジニアのもっとも基本的かつもっとも重要なコンピテンシーとして提案する。これが本研究の結論である。

表3 卒業生としての知識・能力(GA)と本研究におけるコンピテンシーとの対応

卒業生としての知識・能力 (IEA 2013)	幅広い 視野	知識の 応用	自立した 学習者	チーム ワーク
工学に関する専門知識	✓			
社会、衛生、安全、法に至る理解と責任	✓			
課題解決における理解と配慮の範囲	✓			
プロジェクトマネジメントの知識と深い理解	✓			
文献を活用して問題を分析する能力		✓		
ニーズに応じた課題解決をデザインする能力		✓		
実験のデザイン、データ分析を含む調査能力		✓		
技術、資源、ツールの創造と適応		✓		
専門家としての倫理、責任、規範			✓	
生涯にわたる自律的学習の必要性の認識			✓	
個人としてまたチームのメンバーとしての効果的な働き、行動様式				✓
専門家とのコミュニケーション、社会に対する説明能力				✓

筆者が、この4つのコンピテンシーをIT企業の人事担当者へのインタビューの分析に仮説として用いたところ、IT企業では新しい環境にチャレンジする姿勢が非常に強く求められているため、将来必要となる新しい技術を予測しながら効率よく学習を進められる「自立した学習者」や、文献から学んだことを仕事の場面に効果的に応用できる「知識の応用」においてすぐれたエンジニアが入社後の昇進と昇給において優位に立つ傾向があることがわかった(藤埴 2018)。

6. 次世代のエンジニアを育成するカリキュラム

(1) 改革の2つの方向

本研究の理論的枠組みにしたがえば、エンジニア育成を担うカリキュラムには大きく2つの転換が求められている。ひとつは予期せぬ変化に適応する能力を育成することである。既知の知識を学ぶことは過去の内容を学ぶことを意味する。一方、習得した知識の応用は未来に向けてその活用方法を考えることを意味する。いずれも教育の重要な課題であることに疑いはないが、暗記中心の学習スタイルでは、これから起こることを予測し、不確実な状況下での判断力を鍛えることは容易ではない。

もうひとつは個別化した学習の促進である。多数の学習者が同じ内容を同じ進度で習得することの限界が様々な場面で指摘されはじめている。そこで主体性が求められることになる。個々の学習者が異なる関心、異なる文脈、異なるアプローチにしたがって主体的に課題を探索することによって学習の個別化(personalization)が進む。

適応能力育成の場合も個別化学習の場合も、学習効

果の鍵を握るのは学習者の主体性である。学習内容と学習方法に対して学習者の強い関与を求める自己決定学習が2つの方向の延長に位置する。表4はこうした2つの改革の方向を「内容と方法の特徴」「実践上の特徴」「学習成果の特徴」の観点からまとめたものである。

(2) 研究室教育の機能からの検討

次に、学部レベルにおける研究室教育の機能という観点から工学系学部のカリキュラムを検討する。これまで工学部ではもっぱら研究室が未知の技術の習得と個別化学習の機会を学生に提供してきた。学生はまず教員が運営する研究室に所属し、個別指導の下で各自研究プロジェクトに取り組む。ただし、実質的な研究室配属のタイミングは所属学科や学生個人によって異なり、3年生以前に決定することがある。また、配属後に研究室が変わることもめずらしくない。

前掲の『工学系教育改革制度設計等に関する懇談会取りまとめ』が卒業研究に関する貢献、課題、改革の提言をまとめているので簡単に紹介したい(工学系教育改革制度設計等に関する懇談会 2018)。同書は、卒業研究が学生に対して課題解決と結果について自分の考えをまとめ、文章で表現する機会を与え、それが長らくわが国のエンジニア育成の強みであったと評価する一方で、学生が研究室に所属し、「比較的クローズドな環境」の下で「専門分野に特化した教育」が中心となる問題を指摘する。そのため、卒業研究において「学生の自主性・主体性を重視し、学生の視野を広げるためにも複数の教員による指導体制」の構築や「学生が失敗を恐れずチャレンジ精神を醸成する方策として冒険、失敗もある程度は許容される」指導がいっそう求められると言う。

表4 適応能力育成と個別化学習推進からみたエンジニア育成の方向

		過去の技術の理解	未知の技術への適応
一人一人が異なる内容を学習	内容と方法の特徴	個別化学習	自己決定学習
	実践上の特徴	協働学習, 双方向, 授業時間外学習	学生中心, プロジェクト中心, 課題探求型学習
	学習成果の特徴	主体性	構造化した知識を応用するノウハウ
全員が同じ内容を学習	内容と方法の特徴	従来の学部教育	エンジニアリングデザイン教育
	実践上の特徴	教員中心, 一方向, 一斉講義	総合的学習, 学際的学習
	学習成果の特徴	断片的知識	批判的思考, メタ認知, 知識の構造化

工学部の典型的なカリキュラムでは、2年生になると講義だけでなく、実験、実技、実習、演習などのラボワーク、フィールドワークが本格化する。図1の「従来の教育」が示すとおり、総仕上げとしての卒業研究は最終学年に設定される。専門基礎教育科目も専門教育科目も、卒業研究でより効果的な応用を経験するための基礎を提供することになる。



出典：大中（2005:17）。

図1 従来のカリキュラム構造と卒業研究の位置づけ

卒業研究の指導の場は研究室である。『工学系教育改革制度設計等に関する懇談会取りまとめ』の指摘は、卒業研究そのものというより、指導体制としての研究室に向けられている。つまり、卒業研究の改善点の多くは研究室の問題である。ここでは少し視野を広げ、研究室の活動に目を移したい。

表5は工学教育に関する文献に基づいて研究室教育の特徴をまとめたものである¹⁵⁾。メリットに課題解決能力の育成、多様な活動の経験があげられる。デメリットとして考えられるのは閉鎖的な人間関係と狭い専門分野への特化である。研究室教育の下で学生が進める卒業研究はエンジニアリングデザイン教育の要求に応える数少ない実践であるが、一方で、従来の指導スタイルでは学生にマーケットニーズを含む生産プロセス全体を視野に入れた開発や、コスト、時間、顧客の特殊な要望などの制約の下で実践的な開発を経験させることが難しく、限界がある。知識の応用という視点からは、卒業研究を最終学年に1度経験するのではなく、様々な形態の授業を通してプロジェクトを経験するカリキュラムを編成し、その中にひとつのプロジェクトとして卒業研究を組み込むことが有効だという考えもある（大中 2005, 2012）。

また、表5からは研究室が卒業研究の指導以外に様々な活動を運営していることがわかる。後輩先輩との共同作業、プロジェクトへの動機の維持、英文講読、プレゼンテーション能力向上のための指導や学生間の相互学習などがそれに当たる。卒業生のネットワークによって外部ともつながっており、そこから教員や学生が就職の情報を得ることもある。そう考えると、研

究室はすでにラーニングコミュニティとして一定の機能を果たしていると考えられる。

表5 従来の研究室教育のメリットとデメリット

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> デザイン能力, 作文能力, プレゼンテーション能力, 対人スキル, 実務への応用力, 計画的に研究を進める能力, 課題解決能力などの育成 身につけた知識の活用 共同作業の経験 研究に興味を持たせる 解がひとつではない課題の解決 教員による個別指導 学部先輩や大学院生からの指導 英語論文講読セミナー 企業との連携 多様な活動の経験 	<ul style="list-style-type: none"> 狭い専門性 1人の教員から強い影響を受ける 研究室間の方針の違い 質保証が困難 教員がテーマを与えることが多い グループ編成が研究室内に限られる 機会が4年次に1回1年間に限られる 学生が1人で取り組むことが多い コストなど現実的な制約を設定することが難しくデザイン教育の一部しかカバーしていない

では、研究室教育の改善を図る上でどのようなカリキュラムの改革が有効だろうか。たとえば、エンジニアリングデザインを学ぶことのできる科目、プロジェクトに参加し知識の応用を経験できる科目、狭い専門性を脱却するための学際的教育を導入した科目などを充実させ、自己決定学習の機会を卒業研究以外へと拡張していくことが有効だろう。卒業研究の機能を補完し、「幅広い視野」「知識の応用」「自立した学習者」「チームワーク」を身につけさせるという観点からは、複数の学年にわたって学生が繰り返しプロジェクトと課題解決を経験する仕掛けがとりわけ重要ではないかと思われる。

7. 新しい科目の開発とカリキュラム改革の事例

(1) 講義の中のエンジニアリングデザイン教育

本節では、3つの事例を通じて科目開発によるカリキュラム改革の具体的なイメージに迫りたい。最初に取り上げるのは琴坂らが報告する埼玉大学におけるロボット製作の事例である（琴坂・野際 2015）。埼玉大学工学部機械工学科では、3年生後期に社会実装の実践を体験する講義を設定する。この講義の受講者の多くは機械工作実習、メカトロニクス関連科目を履修済みである。「3名から5名のチームを作り、具体的な社会的課題を調査によって抽出し、それをロボット技術」を活用して解決する。ロボット技術は「何らかのセンシングをおこない、その結果に基づいて作動する機械装置」とここでは定義される。16週の授業が4ステップで構成され、ステップ1ではニーズ調査、ス

テップ2では調査に基づくロボット開発、ステップ3では学内の中間報告をおこない、ステップ4では学外協力者とユーザーらから評価を受けることになっている。指導に当たり、教員およびティーチングアシスタントは「個々の学生の主体的な活動を促す」ため敢えて積極的な援助はおこなわない。一方、毎回の授業で義務づけられたレポートを用いて学生の「設計製作への積極的な関与」を促している。

講義は学生に次の3つの学習課題を与えている。第1に、「実際に課題を抱える人を探し出し、その課題を具体的に解決する手段を創造し、開発し、実現」させること、第2に、「課題を抱える人、すなわち将来のユーザーとの対話や調査によって、単なる技術者の考えによらない、真のニーズを探し出し、あるいはユーザーと一緒にニーズを開発」すること、第3に、「ユーザーに適宜評価」してもらい、「技術者だけでなく関係する様々な専門家や関係者との協働により問題解決」を図ることである。

たとえば、視覚障害者向けのセンサ付き白杖の開発では、学生が「埼玉県総合リハビリテーションセンターの歩行訓練指導員の方にインタビュー」と「視聴覚障害者の転倒しやすい場所や危険な場所、白杖にほしい機能の抽出」をおこない、「杖をつくことができないう方の場所に超音波センサによる上方センシング機能」にニーズがあることを発見した。そこで、白杖にそうした機能を付加することを目標とした設計開発に着手した。

琴坂らはこの実践の効果について、閉じた大学というコミュニティから学生を引っ張り出し、自分自身の中に社会性が希薄であることと同時に「実社会でのものづくりの意義、技術者としての社会的意義を実感」させることで、今までと異なる考え方、異なるもの見方を受け入れるグローバルな人材へと学生を育てるよい機会だと評価する。

これは講義であるが、1つの科目が実験、演習、産学連携、プロジェクト型学習というさまざまな側面を持つ。教員や学外の関係者による個別指導の機会にも恵まれていると考えられる。ロボット技術の適応範囲に制約はなく、すべてのプロセスで学生は内容を決定しなくてはならない。この事例には、講義、実験、実習、演習の長所を統合した非伝統的な授業形態が自己決定学習を促進させ、自己決定学習によって学生の視野が広がるのが象徴的にあらわれていると言える。

このようなユニークかつ効果的な実践を支えている

のは長年にわたって改革を続けてきた教員グループの存在と大学の組織的な支援である。学科における15年の試行錯誤の末、ロボット技術の社会実装に関する取り組みはようやく現在のプロジェクト型学習のスタイルに落ち着いた。学科からの継続的な資金支援と「外部予算の活用により、少しずつ工作機械等をそろえてきた」ことも重要な背景であり、琴坂らはそうした財政支援がなければこうした環境を整備することは難しかっただろうと述べている。

(2) 複数の科目によって構成される段階的なプロジェクト型学習

次に、大崎らが報告する鳥取大学の事例を取り上げる(大崎ほか2015)。鳥取大学工学部「ものづくり型PBL」では、複数科目を統合して卒業研究の前に段階的なプロジェクト型学習の機会を提供している。「ものづくり型PBL」の中に「段階的な教育実践」が「1年から3年までの体系的カリキュラム」に配置され、学生はそこで「ソフトやハードといった形態」にとらわれることなく多様な製作を体験することができる。「ものづくり型PBL」の科目群は3段階に分かれ、第1レベルの「手法群」「総合教養群」では課題解決の手法と教養教育に基づく思考の方法を学ぶ。第2レベルの「体験群」では特定の課題について解決のプロセスを体験し、第3レベルの「実践群」では実社会の課題に取り組む。つまり、「ものづくり型PBL」では、学生が平易なものから複雑なものへと配列された課題解決を繰り返し経験し、ものづくりに必要な知識・スキルを無理なく確実に定着させることを目指している。

論文の中で大崎らが紹介しているのは「体験群」のプロジェクトである。「体験群」は第2レベルに位置する2年次開講の全学共通科目である。「体験群」では、学生が「地域関連型科目」「企業連携型科目」「発想中心型科目」のグループから1科目を選択する。「地域連携型科目」では地域社会の課題を扱い、「企業連携型科目」では企業が抱える課題を扱い、「発想中心型科目」ではアイデアを具体的な提案のかたちにする。いずれも「授業で設定されたテーマの下で、グループごとに学習者が収集した情報から問題を解決する製品または企画を考え、検討し、製作」することを活動として含んでいる。

「企業連携型科目」の「電気自動車利用」を扱ったケースでは、まず、「情報収集・問題整理ステップ」で学生は「電気自動車に試乗し、企業の担当者へ現状

に関するインタビューをおこなうなど、活動しながら能動的に情報を収集し、「デザイン・設計ステップ」で「企画案を提案し、アイデアプレゼンを通してステークホルダーからの評価を受け、改善案を検討」する。「実施ステップ」では「最終発表に向けた修正とさらなる検討」をおこない、「評価・改善ステップ」で「最終発表会の採点結果を利用して、評価と改善案の検討」をおこなう。将来の電気自動車利用について独自のアイデアをまとめるという入門的な課題解決を体験させることで、3年次の「実践群」あるいは4年次の卒業研究の効果向上が期待される。実際、大崎らは企業連携型科目によって学生の学習動機と課題解決能力が向上したというアンケート結果を報告している。

鳥取大学工学部以外でも、現在、複数の大学で段階的なプロジェクト型学習の導入が進む。金沢工業大学のプロジェクトデザイン教育はその一例である（新ほか 2015）。金沢工業大学は「プロジェクトデザイン入門」「プロジェクトデザインⅠ」「プロジェクトデザインⅡ」「プロジェクトデザイン実践」「専門ゼミ」「プロジェクトデザインⅢ（卒業研究）」など複数の科目を連携させて4年間にわたる段階的なプロジェクト型学習を提供している。

新らは「プロジェクトデザインⅡ」の事例として機械工学科2年生グループによる「発電効率のよい風車」の製作を紹介し、その中で、自己決定学習によって促進される知識の応用について次のように述べる。

「学生が興味のある身近なことを対象にテーマを設定させている。自分たちでテーマを設定させるのは、興味のあることへの勉強は苦にならないからである。ここから、考えることと必要な調査を繰り返す、工夫してアイデアを出し、実験し、最後に考察を加えてレポートとプレゼンのかたちで報告する。このプロセスから学生らは、知識と知識の組み合わせが知恵に変化することを実感し、考えることの重要性を知るようになる。（新ほか 2015: 37）」

鳥取大学工学部の「ものづくり型 PBL」と金沢工業大学の「プロジェクトデザイン教育」は、いずれも製作活動を通して学生のデザイン力を高めることを目指している。その場合、学生自身が社会に役立つ事業や経営的に高い収益をもたらす製品やサービスを発見することに大きな意味がある。また、課題解決を通して知識応用のノウハウを習得するには、4年間に複数

回のプロジェクトを経験し、それぞれの経験が次のプロジェクトの質向上につながるように関連づけられていることが望ましい。「ものづくり型 PBL」「プロジェクトデザイン教育」のすぐれた点は、このように、卒業研究を含む段階的なプロジェクト型学習の中で学生が自己決定学習を繰り返し経験する点にある。

(3) 狭い専門性を脱却するチームティーチングと学際的教育

次に、東海大学における技術者倫理教育の事例を取り上げる（康井 2008）。東海大学では工学部と情報デザイン工学部が連携し、東海大学の学部生全員を対象とした総合的な技術者倫理教育をおこなうための「科学と倫理」を開講している。2、3年生を中心に毎学期 300 人以上が受講する。

本科目は 6 名の教員が担当し、教員の専門分野はそれぞれ生命化学、電気電子工学、通信情報工学、機械工学、科学論、体育学である。指導に当たり、「単なる内容の縦割り分担にならないようコミュニケーションをとりながら、各講師は持ち味を活かした授業」を展開している。講義には毎回「廃棄物問題と環境倫理」「エネルギー・資源と科学倫理」というテーマがあり、小グループによるディスカッションがおこなわれる。それぞれのディスカッションではテーマに応じて「第 4 次産業革命におけるモラル」「ものづくりにかかわる技術者の安全と責任」「社会的・組織的立場での倫理観」などの切り口を教員が設定している。第 7 回に中間レポート、最終回に総合レポートが義務づけられている。

調査の課題では、「日航ジャンボ機事故の背景」「内部告発の是非」「建築構造に関わる偽装行為」「バイト先での種々のハラスメント」など、学生がテーマを選択し、調査を進める。この経験を学生は、「高度な科学技術に支えられた現代社会を生きる上で意義深い学びとなった」「ヒューマンファクターを踏まえた安全の構築の重要性を感じた」など、肯定的に評価している。

本科目では、「社会的倫理観や歴史観、世界観、地球観を併せ持つ総合的な人間力を磨くこと」を目的とする。この事例は、学生自身による問題に設定、問題の理解、複数の解決策の比較、解決策の評価など、学習に対して主体的に関与することが理工系の学生の視野を広げるのに有効であることを示している。また、専門性の異なる複数の教員グループとさまざまな学部から集まる多様な学生がこの科目で出会い、技術者倫

理という学際的なトピックについて議論することが科学技術への理解を深めるのに効果的であることを示している。

埼玉大学、鳥取大学、東海大学の3つの具体例はそれぞれ異なるアングルから図1が示す伝統的な工学部のカリキュラムに揺さぶりを掛け、卒業研究の限界を補完し、その効果を高める機能を持つ科目を開発していた。とくに、カリキュラムにおける新しい科目の設定、新しい科目の結合、新しい科目の運営体制という実践面において示唆に富む。その新しさは面白い授業として十分学生の関心にうたっているように見える。また、自己決定学習はこれらの試みに共通する学習スタイルとして中心的な役割を果たしていた。

8. 結論

本研究では環境適応、主体性、自己決定学習に着目し、学部レベルの教育とエンジニア育成の文献に関してレビューをおこなった。これらの要素間の関係は図2のようにまとめることができる。学生が大学を卒業して社会人エンジニアになったときの環境適応においてまず求められるのはエンジニア自身の主体的な姿勢である。社会人エンジニアが学習を継続する場合も主体性は重要な前提となる。これが本研究における自己決定学習の仮説と仮説検証に関する枠組みの基礎となる。社会人への助走期間である学部在学中に経験する自己決定学習は卒業後の環境適応への準備であり、環境適応という競争がすでにここからはじまっていると言っている。

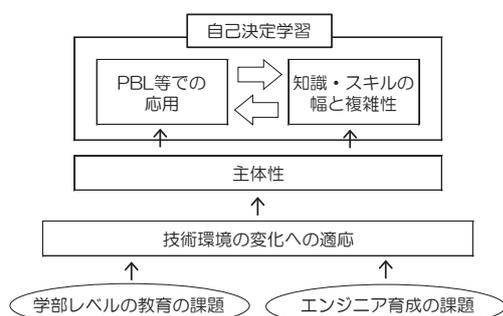


図2 環境適応、主体性、自己決定学習の関連性

また、在学中の学習は学生が主体的に内容の決定に関わることによって効果が向上する。つまり、自己決定学習は、学生に自由な探究の機会を与え、それは個々の学生の文脈に応じた内容の選択を基本とし、強く安定した学習動機に支えられ、教員の想定を超えてどこまでも広がっていくという点に特徴がある。その重要

性はデューイ、ミクルジョン、デシ、ノールズ、リンデマン、クラントンの理論の中で繰り返し強調されていた。

本研究では次世代のエンジニアに求められるコンピテンシーについて探究を試み、それは「幅広い視野」「知識の応用」「自立した学習者」「チームワーク」へとたどり着いた。さらに重要なのは、これらを如何に身につけるかということである。そこで、研究室教育依存からの脱却、つまり、多くの教育の機能を限られた少数の専門家が特定の期間に担うという体制から脱却することを視野に入れながら、4つのコンピテンシーを効果的に習得することを可能にする段階的なプロジェクト型学習を提案した。

学部レベルで研究室教育や卒業研究の制度のない海外の大学であれば、むしろこの改革に柔軟に対応できるかもしれないが、研究室教育での成功体験を持つわが国の工学系学部ではまず教員間の共通認識を確認することからはじめる必要があるだろう。ただ、全国のすぐれた取り組みの中に、断片的ではあるが、多くの改革のヒントが隠れている。たとえば、事例として取り上げた埼玉大学、鳥取大学、東海大学の試み、それに加えて大中(2005, 2012)によるカリキュラム改革の提言を参考にするなら、新しい科目の開発とカリキュラム改革を効果的に進めるには、次の3つのレベルにおいて従来型の大学教育とは異なる新しい方針を設定し、それらが自己決定学習支援という点で一貫していることが重要であることがわかる。

(1) カリキュラムレベルにおいて、基礎的内容から発展的内容までの科目間の接続を高め、一貫性を維持すること。とくに知識の応用の経験を難易度の低いものから高いものへと配列することで学生の成長を促すことが可能となる¹⁶⁾。鳥取大学の事例はこの点においてすぐれていた。

(2) 科目レベルにおいて、地域社会や企業と連携を深めること。たとえば、実社会の課題を解決することで、社会のニーズを実感し、開発にともなう様々な制約を体験することができる。社会連携は学外から指導者を招くきっかけになるなど、学生の視野の拡大に有効である。埼玉大学の事例はこの点においてすぐれていた。

(3) 毎回の授業において、学習の個別化を図ること。調査のトピックや解決すべき課題を学生が決め、教員は個人指導によって学生個人やグループの関心を引き出し、学生が学生から学習し、教員も学生も深く学習に関与することが学習の到達度を高めることになる。

東海大学の事例をはじめ3つの事例すべてがこうした自己決定学習で大きな効果を上げていた。さらに、学際的教育は個別化することでいっそう効果をあげており、反対に、どの事例も画一的な学際的教育はおこなっていないかった。

さて、本研究ではこのようにしてエンジニア育成を多角的に考察してきた。その結果、エンジニアリングデザイン教育の実現だけがここでの課題ではないことが見えてきた。新しい大学教育像と新しいエンジニア像を模索する議論は1990年代に本格化し、2000年代に成果の報告が集中した。現在、一部の技術は当時の予想を大きく上回る速度で進展を続け、日々、新しい仕事を生み出すと同時に人々から雇用機会を奪っている。2020年代へ向けてわれわれは先の見えない混沌に直面しているといっても過言ではない。生きる力として個人レベルの未来予測の精度がますます重要になってきている。その意味で、環境適応、主体性、自己決定学習という本研究が着目したキーワードは現代的課題を読み解く上で十分妥当なものであったと言える。

一方、文献レビューでは他に気になる多くのキーワードに遭遇した。リベラルな教育(デューイ)、リベラルな大学、自己決定能力(ミクルジョン)、相互決定型の学習(克蘭トン)などである。長期的視点と高い理想を求めるこれらの理念にしたがえば、何よりもまず教員が変わらなくてはならない。本研究ではこの問題を正面から取り上げることができなかったが、学部学ぶエンジニアの中でこの先大学での指導者を目指す者には、これらのキーワードが掲げる改革の指針がより重要な意味を持つだろう。

注

- 1) 1989年のワシントン協定, 2001年のシドニー協定, 2002年のダブリン協定では, 加盟の先進諸国によってそれぞれエンジニア, テクノロジスト, テクニシャンの定義と学校卒業時に求められる能力の水準が定められた。それに従えば, エンジニアとは, 複合的なエンジニアリング問題を解決することに特徴があり, 課題解決に向けて数学, 科学, エンジニアリング基礎, そしてひとつの工学専門分野の知識を応用することのできる人材である。
- 本稿では, エンジニア育成について, 引用元の表記の不統一のため, 理工系人材育成, 工学系人材育成, 技術者教育, 工学教育, 工業教育など, 多くの類似の表記を用いているが, いずれもその内容はエンジニア育成を指している。引用箇所以外ではこれを「エンジニア育成」に統一した。
- 2) Flexner (1930: 177)
- 3) Deci (1980=1985: 44) .
- 4) Knowles (1980=2002: 48) .
- 5) Lindeman (1926=1996: 33) .
- 6) National Research Council (2000=2002: 53-77) .
- 7) Cranton (1992=1999: 93-94). 三輪 (2009) と米岡 (2011) は克蘭トンの相互決定型の意義と効果について論じている .
- 8) The National Committee of Inquiry into Higher Education (1997).
- 9) Rychen (2003=2006: 103) .
- 10) Binkley et al. (2011=2014: 46)
- 11) Association of American Colleges and Universities (2005).
- 12) Fadel et al. (2015=2016: 79) .
- 13) ファデルらが作成したコンピテンシーマトリクスを参考にした。知識やリテラシーに関する学問分野の広がり「領域の拡張」ととらえ、「協働」「コミュニケーション」「批判的思考」「創造性」など、スキルに見られる段階を高度な応用パターンととらえた (Fadel et al. 2015=2016: 63)。
- 14) ファデルらはドエック (Carol Dweck) の研究成果に触れ (Dweck 2006), 思考態度には, 知能を静的なものにとらえる「固定的思考態度」と知能を生涯にわたって伸ばすことができるととらえる「成長的思考態度」の2つのアプローチが観察され, 「固定的思考態度」は自滅的な行動パターンに向かうことがあり, 「成長的思考態度」はレジリエンスや好奇心へとつながるとその特徴を対比している (Fadel et al. 2015=2016: 137-139)。
- 15) 2012年に刊行された『工学教育』60巻5号では卒業研究が特集され, 学部教育における卒業研究の実践を紹介する10編の論考が掲載された (藤吉孝則・宮内肇 2012, 原口雅宣ほか 2012, 猪股宏 2012, 大中逸雄 2012, 末武義崇 2012, 武沢英樹ほか 2012, 館石和雄 2012, 鳥越一平 2012, 矢田光徳 2012, 山際和明ほか 2012)。筆者はこの10編の論考から研究室教育と卒業研究の指導に関する109件の記述を抽出した。表5はその要約である。
- 16) 学習理論における足場かけとは「問題解決過程を共有し支援してくれる有能な他者の助けを得ることで, 子どもたちがその助けがないときよりも複雑な

課題に取り組めるようになること」を「建設作業における足場かけの比喻」を用いて表現したものである (Sawyer, K., ed. 2014=2018: 40).

参考文献

- Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), 2017, *Criteria for Accreditation Engineering Programs 2018-2019*, Accreditation Board for Engineering and Technology.
- 新聖子・宮崎慶輔・坂本宗明・千徳英一・岩田節雄, 2015, 「学生のイノベーション力を伸ばすプロジェクトデザイン授業」『工学教育』63 (2), 23-39.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, Joan, and Raizen, S., 2011, “Defining Twenty-First Century Skills,” Griffin, P., McGaw, B. and Care, E. eds., *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*, Springer, 17-66. (=2014, 「21世紀型スキルを定義する」三宅なほみ監訳『21世紀型スキル：学びと評価の新たなかたち』, 北大路書房, 21-76.)
- 中央教育審議会, 2005, 『我が国の高等教育の将来像 (答申)』.
- 中央教育審議会, 2008, 『学士課程教育の構築に向けて (答申)』.
- 中央教育審議会, 2012, 『新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて：生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ (答申)』.
- 中央教育審議会, 2014, 『新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について (答申)』.
- Cranton, P., 1992, *Working with Adult Learners*, Wall & Emerson. (=1999, 入江直子・豊田千代子・三輪建二訳, 『おとなの学びを拓く：自己決定と意識変容をめざして』鳳書房.)
- 大学審議会, 1998, 『21世紀の大学像と今後の改革方策について：競争的環境の中で個性が輝く大学 (答申)』.
- 大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議, 2010, 『大学における実践的な技術者教育のあり方』.
- 大学における工学系教育の在り方に関する検討委員会, 2017, 『大学における工学系教育の在り方について (中間まとめ)』.
- Deci, E. L., 1975, *Intrinsic Motivation*, Plenum Press. (=安藤延男・石田梅男訳, 1980, 『内発的動機づけ：実験社会心理学的アプローチ』誠信書房.)
- Deci, E. L., 1980, *The Psychology of Self-Determination*, Lexington Books. (=1985, 石田梅男訳, 『自己決定の心理学：内発的動機づけの鍵概念をめぐる』誠信書房.)
- Dewey, J., 1938, *Experience and Education*, The Macmillan Company. (=2004, 市村尚久訳, 2004, 『経験と教育』講談社.)
- Dweck, C., 2006, *Mindset: The New Psychology of Success*, Random House.
- Engineering Council (EC), 2014, *The Accreditation of Higher Education Programs: UK Standard for Professional Engineering Competence* (3rd edition), Engineering Council.
- Fadel, C., Bialik, M., and Trilling, B., 2015, *Four-Dimensional Education: The Competencies Learners Need to Succeed*, Lightning Source Inc. (=2016, 岸学・関口貴裕・細川太輔訳, 『21世紀の学習者と教育の4つの次元：知識, スキル, 人間性, そしてメタ学習』北大路書房.)
- Flexner, A., 1930, *Universities: American, English, German*, Oxford University Press.
- 藤埴智一, 2018, 「IT産業のキャリアからみた大学教育の課題」吉本圭一編『職業資格・高等教育資格枠組みを通したグローバルな専門人材養成のためのコンソーシアム：職業教育における学修成果とコンピテンシーをめぐる分野別アプローチ』(平成29年度「専修学校による地域産業中核の人材養成事業」報告書18)九州大学第三段階教育研究センター, 102-115.
- 藤吉孝則・宮内肇, 2012, 「熊本大学工学部情報電気電子工学科における卒業研究」『工学教育』60(5): 64-66.
- 原口雅宣・山本裕紹・手塚美彦・陶山史朗・森篤史・河田佳樹, 2012, 「卒業研究におけるエンジニアリングデザイン教育明文化の取り組み」『工学教育』61(5): 61-63.
- 猪股宏, 2012, 「東北大学工学部化学・バイオ工学科の卒業研究について」『工学教育』61(5): 73-74.
- The International Engineering Alliance (IEA), 2013, *Graduate Attributes and Professional Competencies* (version 3), International Engineering Alliance. (<http://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/Policy/Graduate-Attributes-and-Professional-Competencies.pdf>,

- 2019.1.11.)
- Knowles, M. S., 1980, *The Modern Practice of Adult Education: From Pedagogy to Andragogy* (2nd edition), The Adult Education Company. (=2002, 堀薫夫・三輪建二監訳, 『成人教育の現代的実践: ペダゴジーからアンドラゴジーへ』 鳳書房.)
- 琴坂信哉, ・野際章人, 2015, 「社会実装ロボット教育」『工学教育』63 (1), 25-30.
- 工学系教育改革制度設計等に関する懇談会, 2018, 『工学系教育改革制度設計等に関する懇談会取りまとめ』.
- 教育課程審議会, 1987, 『幼稚園, 小学校, 中学校及び高等学校の教育課程の基準の改善について (答申)』.
- Lindeman, E. C., 1926, *The Meaning of Adult Education*, New Republic Inc. (=1996, 堀薫夫訳, 『成人教育の意味』 学文社.)
- 間篠剛留, 2014, 「A. ミクルジョンの実験カレッジにおけるコミュニティ: 民主社会を目指すカレッジ教育」『近代教育フォーラム』23: 269-282.
- Meiklejohn, A., 1932, *The Experimental College*, Harper & Brothers Publishers.
- 三輪建二, 2009, 『おとなの学びを育む: 生涯学習と学びあうコミュニティの創造』 鳳書房.
- The National Committee of Inquiry into Higher Education (NCIHE), 1997, *Higher Education in the Learning Society*, The National Committee of Inquiry into Higher Education.
- The National Leadership Council for Liberal Education and America's Promise (LEAP), 2008, *College Learning for the New Global Century*, Association of American Colleges and Universities.
- National Research Council, 2000, *How People Learn*, National Academy Press. (=2002, 森敏昭・秋田喜代美監訳, 『授業を変える: 認知心理学のさらなる挑戦』 北大路書房.)
- 日本技術者教育認定機構, 2018, 『日本技術者教育認定基準: 共通基準 (2019年度)』 日本技術者教育認定機構.
- 大中逸雄, 2005, 「技術者教育の新動向」『IDE 現代の高等教育』470: 15-21.
- 大中逸雄, 2012, 「エンジニアリング・デザイン教育と卒業研究」『工学教育』61(5): 5-12.
- 大崎理乃, 三浦政司, 村上健介, 田中玄洋, 大澤克幸, 2015, 「汎用的能力育成のためのものづくり型 PBL フレームワークの開発」『工学教育』63 (3), 55-60.
- 理工系人材育成に関する産学官円卓会議, 2016, 『理工系人材育成に関する産学官行動計画』.
- Rychen, D. S., 2003, “Key Competencies: Meeting Important Challenges in Life,” Rychen, D. S., and Salganik, L. H. eds., *Key Competencies for a Successful Life and Well-Functioning Society*, Hogrefe & Huber Publishers, 63-108. (=2006, 「キー・コンピテンシー: 人生の重要な課題に対応する」, 立田慶裕監訳, 『キー・コンピテンシー: 国際標準の学力をめざして』, 明石書店, 109-116.)
- Sawyer, K. ed., 2014, *The Cambridge Handbook of the Learning Science* (2nd edition), Cambridge University Press. (=2018, 森敏昭・秋田喜代美・大島純・白水始監訳, 『学習科学ハンドブック (第2版)』 第1巻, 北大路書房.)
- 末武義崇, 2012, 「複数の学習・教育目標と関連付けた卒業研究の成績評価」『工学教育』61(5): 56-60.
- 武沢英樹・中島幸雄・雑賀高・中山良一, 2012, 「プロジェクトベース産学連携型 ECP」『工学教育』61(5): 45-49.
- 館石和雄, 2012, 「名古屋大学社会資本工学コースの卒業研究」『工学教育』61(5): 71-72.
- 鳥越一平, 2012, 「熊本大学工学部・機械システム工学科における卒業研究の位置づけ」『工学教育』60(5): 39-44.
- 矢田光徳, 2012, 「佐賀大学 理工学部 機能物質化学科における卒業研究への取り組み」『工学教育』61(5): 67-70.
- 山際和明・鳴海敬倫・原田修治・田邊裕治・清水忠明・坪川紀夫, 2012, 「卒業研修におけるエンジニアリングデザイン教育」『工学教育』61(5): 34-38.
- 康井義明, 2008, 「理工系学生のための技術者倫理ハイブリッド教育・『科学と倫理』の実践と成果」『工学教育』56 (4), 4-9.
- 米岡裕美, 2011, 「日本における成人教育方法論の構造に関する一考察」『京都大学生涯教育学・図書館情報学研究』10: 75-84.