

鈴鹿高専における STEM 教育の試み

兼松 秀行*

1. 緒 言

変化の激しい時代となった。昨日確実であった社会の様々なシステムは、今日あるいは明日には、不確定なものとなり、消え去ってしまうものも、さほど不思議なことではなくなっている。そのような変化の激しい社会においては、知識、スキルもまた社会システムの変化とともに、変転を余儀なくされることは言うまでもない。非常に速い速度で陳腐化していく時代が到来しているといえる。このような時代において、高等教育機関はいかに30年先あるいは50年先に有為な人材を教育していけばよいのであろうか。とりわけ、著者の勤務する工業高等専門学校においては、将来においてグローバルに活躍できる産業人材の育成が重要なミッションの一つである。そのため、この問題はきわめて重要で、教育目標の根幹に関わることと捉えることができる。この問題解決を本稿において完全に提示することは、問題があまりにも大きすぎて不可能であるが、一つの可能性を提案することは可能である。それが STEM 教育である⁽¹⁾。STEM 教育は、そもそも米国の教育政策であり、Science(理科)、Technology(技術)、Engineering(工学)、Mathematics(数学)の頭文字をとったもので、理系教育を総称したものである。本稿においては、この米国初の STEM 教育を高専教育の重要なエッセンスであるところのエンジニアリングデザインと関連づけて、実情にあうように修正して導入し、いくつかの教育ツールを開発した、著者と米国クラークソン大学の D. Barry との共同研究について、その概要と意義、将来展望について紹介する。

2. STEM 教育とエンジニアリングデザイン

STEM は理科教育において、もの作り産業に必須の理数系科目の教育を重点的に強化して、産業人材の一層の育成と充実を図ろうとする試みをいう。STEM 教育は科学技術においてイノベーションを巻き起こす産業人材を育成するために、あらゆるレベルで行われる科学技術教育全般を指している。そして、その最終目的は、雇用促進と国際競争力保持の

二つであり、そのために理工系出身の産業人材の育成強化を図ることにある。この点においてアメリカ合衆国政府は自らの国家の将来に対して、相当の危機感を抱いており、一連の政策として正式に打ち出すに至ったのである。これらの行き着くところの最終ゴールは、イノベーション人材の育成であり、この点において、著者が大いに共鳴する論点がある。著者の勤務する国立工業高等専門学校の重要なミッションの一つ、そして著者のライフワークの一つも、こうしたイノベーション人材を産業界に多数送り込むことにあるからである。

さて、こうしたイノベーション人材の育成は、米国の STEM 教育などのように、初等教育機関、中等教育機関、高等教育機関がそれぞれ連携を取り合って、行われるべきものではないだろうか。各レベルの教育機関がてんでばらばらなベクトルを持ちながら教育するのではなく、青少年の発達の段階に応じて、一定のコンセプトのもと、手を替え品を替えて、繰り返し教え導いていく必要があるものと考えられる。例えば、一般に初等教育においては、生徒は問題を解く際に、答えは一つである、と信じる方が教育効果は上がるであろうし、また先生は必ず答えを知っている、と考えるのが自然であろうし、主流であろう。しかし高等教育機関においては、それではやがて満足がいかなくなるのであって、先生といえども解答を知らない、あるいは解答が一義的に決まらない問題を扱うことも出てくるであろうし、そうでなければならぬ。これについては、例えば大学・短大、高専の卒業研究がその最たる例である。こうした教育は長い学校教育の最終部分に位置すべきものであるが、この最終段階に至るまでに、無理のない形で、そこに導くための導入教育が、各レベルの教育機関において必要である。このために、発達の段階に応じて、それぞれ適切な指導法がいつも必要とされるのであって、こうした違いを考慮した教育ツールを開発し、共通したコンセプトのもとで適切な教育を施すことにより、STEM 教育が可能になるのではないかと考える。STEM 教育の中で、理科、技術、数学については、比較的こうしたことが進められてきたように感じられる。一方工学に関しては、初等教育機関、中等教育機関において、適切な教育がなされてきたか、というところでは言えないのが現状である。そもそも工学とは何か、コアとなる哲学は何か、といったこと

* 独立行政法人国立鈴鹿工業高等専門学校教授；材料工学科(〒510-0294 鈴鹿市白子町)
A Trial for STEM Education in Suzuka National College of Technology, Japan; Hideyuki Kanematsu (Department of Materials Science and Engineering, Suzuka National College of Technology, Suzuka)
Keywords: STEM education, creative engineering design, higher education, human resource for industries, innovation
2012年3月5日受理

が十分議論されず理解されていないこともその一因ではないかと考えられる。しかしこれを考えずに真のイノベーション人材の育成はあり得ない。

“イノベーション人材”，あるいは本稿においてほとんど同じ意味で用いている“産業人材”の育成に関して，必要とされる共通したコンセプト，コアとなる哲学はいったい何であろうか？それこそが国立工業高等専門学校が掲げている“エンジニアリングデザイン”ではないか，と著者は考える。

工学はいろいろな観点から定義できるであろうが，本稿においては，“工業的な問題を戦略的にあるいは系統的に解決するためのデザイン”であると考えたい。工学は，①システムの思考，②創造性，③コラボレーション，④コミュニケーション，⑤楽観主義，⑥倫理的配慮，の6つの特徴を併せ持った学問大系である⁽²⁾。数学や理科で得た知識を使って，上記の特色を出しながら人間の要求に合うように自然をどのように変えていくか，これが工学の命題であり，まさに工学は“一定の制約下でのデザイン”，すなわち，エンジニアリングデザインなのである。このようなエンジニアリングデザインのイメージを青少年に段階的に植え付けていくことが工学のSTEM教育となるのではないかと著者は考えている。このような考えのもと，いくつかの工学のSTEM教育のためのツール，創造的エンジニアリングデザイン教育のための教育ツールの開発を行った。以下に具体的にそれらを説明する。

3. デザインプロセスと創造的エンジニアリングデザイン教育のための5つのツール

前節で述べたように，エンジニアは問題解決を図るプロフェッショナルである。このときエンジニアはあるデザインプロセスを用いている。解答が一つに限定されない複雑な問題を解決することを可能にする。こうした問題は，いわゆるBloomのTaxonomyと呼ばれる問題解決の際の認知レベルの変化を表すチャートにおいて，分析と統合という高次の認知レベルに関係している。BloomのTaxonomyは，6つの認知レベルを持つピラミッド型のチャートである(図1)。六つの認知レベルは，知識，理解，応用，分析，統合，評価である。知識レベルでは，学生は情報を記憶し呼び起こす操作をする。理解レベルでは，コンセプトを理解し，応用レベルで規則の適用を行う。通常単一の技術的問題を解く際には，分析レベル(仮説，証拠の関連づけ)で問題解決が図られる。しかし，問題を創造的に解決するためには，統合レベル(アイデアの統合・組み合わせによる新アイデアの創出)あるいは評価レベル(価値判断，批判)のような高次の認知レベルで問題解決を図る必要がある。

著者らが開発した創造的エンジニアリングデザイン教育のツールはいずれも，BloomのTaxonomyにおいて高次の認知レベルにおける知的操作を学生に自発的にさせることによって問題解決を図るスキルを習得させることを目的としたものである。

設計の知識操作モデルに深く関連する！

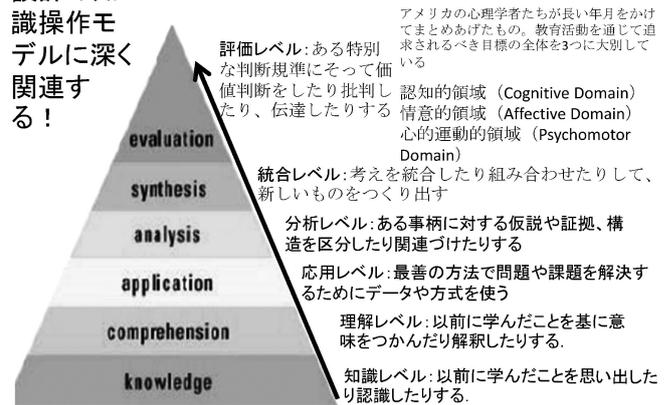


図1 BloomのTaxonomy.

一つ目はケミカルセンセーションプロジェクトである⁽³⁾。これは，最初に音楽を聴かせ，絵画を見せた後，手近な日用品や食品などを使って化学実験を行い，化学が日常生活に密着したものであることを五感を通じて体感し，そのおもしろさを実感しながら科学技術へのあこがれをも同時に培うことを狙った化学授業である。2002年に米国化学会ACSより功績賞，2004年には同学会よりChemLuminary賞をいただいた記念すべきプロジェクトであった。このツールは，学生に五感を使わせることによって，学生が新しい何かを頭の中に提案させることを可能にする。より信号が頭脳の中を駆け巡り，アイデアの流れを起こさせて，BloomのTaxonomyにおける分析と統合のサイクルをより早く回転させることができるものと考えている。

二つ目は仮説検証型実験サイエンスフェアである⁽⁴⁾。学生がグループを組んであるいは単独で日常身近な問題をとらえて仮説を立て，検証していき，結果を多くの人たちの前で発表するもので，問題提起→仮定→手順→材料→結論→プレゼンテーションという，問題解決モデルを体験的に学習することができる点でエンジニアリングデザイン教育の有用な教育ツールといえる。鈴鹿高専材料工学科ではこれに関する教科書を作成し，現在1年生後期の実験として正式カリキュラムに組み込んでいる。具体的には，6週間にわたって，学生は数人のグループを組み，PBL(Problem Based Learning)のスタイルをとりながら，議論を重ねて問題解決を図る。第一週は自分たちの取り組むべき問題を設定するために費やされる。第二週は仮説を立てて，それを証明するために必要な手順，材料を選定する。そして第三週，第四週において実験を行い，第五週目に結果の解析，プレゼンの準備を行い，第六週目に成果発表を行っている。これに限らず，様々な時間枠を使って，サイエンスフェアは遂行可能であり，公開講座や出前授業にも用いて展開している。

三つ目の教育ツールはミステリーを使ったエンジニアリングデザイン教育であり，私どもが作ったミステリーと演習問題からなる教科書⁽⁵⁾⁽⁶⁾を使って，ミステリーを解きながら，戦略的に創造的にデザインする手法を学び，これを工学的問

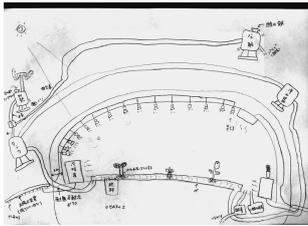


図2 日本の学生グループによる月面の温室デザイン。

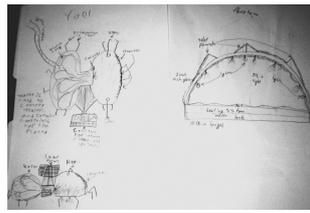


図3 米国の学生グループによる月の温室デザイン。

題に適用する試みである。これも鈴鹿高専専攻科の組織制御学の授業に組み込まれて学生が学んでいる。この正規授業においては、まずミステリーを読んで、登場人物をまとめさせるような低次の知識レベルの作業から、物語の最終部分の次に起こる事柄をエッセイとして考えださせるような高次の作業まで step by step で演習させる。その後、熱処理・相変態に関する問題を提示し、グループを組ませて、PBLによって、様々な鉄鋼材料の熱処理を調べてまとめさせるような低次の作業から、新しい熱処理方法を仮想的に提案させるような高次の作業を行わせる。これらパラレルな二つの一連の作業を関連づけさせ、問題解決モデルを強く意識させることを狙っている。

四つ目は宇宙探検プロジェクトである⁽⁷⁾。人類最後のフロンティアである“宇宙”が青少年の夢をかき立てる対象であることを利用して、宇宙に多くの題材を求めた創造的エンジニアリングデザイン教育といえる。一例を挙げると、ある新入学生に対する導入教育のプロジェクトでは、“月面上に温室を作りたい。さてどのような温室が望ましいだろうか”という問題設定に対して、学生たちがグループに分かれて議論し問題解決を図った。このプロジェクトも日米双方の学生の共同プロジェクトとして、比較検討などを行った。図2は日本の学生グループが提案したデザインであるが、図3の米国の学生グループのデザインときわめて似ていて、興味深かった。

五つ目は現在も精力的に検討しているテーマ、3次元仮想空間においてももの作り教育をPBL形式で行わせる教育ツールであり、これについては著者らにより、本誌ですでに詳細をご紹介させていただいている⁽⁸⁾。アバターを使って、学生が時間、空間を超えたコラボレーションにより、もの作りを行ったり、議論したりする、仮想空間におけるPBLであり、e-learningの新しい可能性を模索した教育ツールである。現在では、結晶構造など紙面上では理解しがたい3次元的な題材を選び、検討を加えている。

こうしたツールを作製し、それがカリキュラムとなり、さらに改善を加えてまた新たなツールとなって、新しいカリキ

ュラムとなる、こうした循環が継続的に起こっていくことが、STEM教育の向上、ひいては産業人材の育成につながっていくものと考えている。

4. おわりに

本稿において、STEM教育を日本の工学教育に応用する上で、鈴鹿工業高等専門学校が日米で共同開発した五つのエンジニアリングデザイン教育ツールを紹介した。その我が国の工学教育における意義は“Creative Engineering Design: A Collaborative Program Between the US and Japan”と題した150ページほどの論文にまとめられ、2011年3月に大阪大学から博士(工学)の学位が共同研究者のBarry博士に授与された⁽⁹⁾。このような工学教育における新しい試みについては、我が国のみならず、国際的に見てもまだ賛否両論がある。なぜならば、その成果は、数十年先にカリキュラムを習得した卒業生の活躍、社会へのインパクトを総合して評価されるべきものであり、その際の“成果”が、果たしてどの程度こうした教育的試みの寄与として評価されるかは、不確実なことだからである。それでもなお、同じ目的を持つ全国に存在する50を超える工業高等専門学校における工学教育・技術者教育、産業人材育成のこうした小さな試みの積み重ねが、これまでの50年に加えて、さらに今後の30年、いや50年先の我が国の有為な産業人材輩出に、一步一步着実に貢献するであろうことを著者は信じてやまない。

文 献

- (1) J. J. Kuenzi: Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: Background, Federal Policy, and Legislative Action, CRS Report for Congress, Order Code RL 33434, March 21, (2008).
- (2) National Research Council of the National Academies: Successful STEM Education: A Workshop Summary, National Academy Press, August 8, (2011).
- (3) 例えば D. Barry., H. Kanematsu, T. Kobayashi and H. Shimofuruya: Science Teacher, **70**(2003), 66.
- (4) D. Barry, 兼松秀行, 小林達正: はじめての化学の祭典(第二刷), 現代図書2009年7月.
- (5) D. Barry, 兼松秀行: ミステリーを解いて化学を学ぼう!, プレデス出版, 2007年2月.
- (6) Dana M. Barry & Hideyuki Kanematsu: Develop Critical Thinking Skills, Solve A Mystery, Learn Science, Tate Publishing & Enterprises, April, (2007).
- (7) 例えば H. Kanematsu, D. Barry: International Session Proceedings of 2008 JSEE Annual Conference = international Cooperation in engineering Education, August, 2008, Kobe, Japan, 16-19(2009).
- (8) 兼松秀行, 福村好美: まてりあ, **49**(2010), 426-430.
- (9) D. M. Barry 学位論文: Creative engineering Design: A Collaborative Program Between The US and Japan, (2011), 大阪大学.