

Title	大阪大学工学研究科機械工学専攻におけるシンセシス教育
Author(s)	藤田, 喜久雄
Citation	砥粒加工学会誌. 2007, 51(10), p. 587-590
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3257
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

大阪大学工学研究科機械工学専攻におけるシンセシス教育

Synthesis education at Department of Mechanical Engineering, Osaka University

藤田喜久雄*
Kikuo FUJITA

Key words: synthesis education, design education, project-based learning, design project, design methodologies

1 はじめに

様々な方面でイノベーションの重要性が論じられている^{1)~3)}。Schumpeter によるそれは新結合であるとされるが、イノベーションが、新しい何かを取り入れてシステムに変化をもたらす新たな価値を生み出すことを指しているとの理解は広く共有されることである。一方、設計は、その複合領域的で横断的な意味に基づけば、何らかのものやことを創り出すに先立って、それについての計画を立案する行為やプロセスを指す⁴⁾。このシンセシスを強く意識した設計は、新たな価値に向けたシステムの全体像を描き出す局面を支配するものであり、イノベーションの促進に向けて重要な役割を担うものと考えられる。

一方、設計教育については、機械工学分野では、伝統的には、何らかの機械を題材として性能計算や強度計算を行わせ、対応する図面を描かせることがその実践的な形式であった。これに対して、欧米では 1990 年前後^{5),6)}を境として、我が国でも 2000 年前後⁷⁾を境として、ものづくりの全体像を意図して、構想の立案からその実現に至るプロセスの全体を体験させることにより、課題設定能力や課題解決能力を養成しようとする教育科目の導入が進んでいる。しかしながら、彼我の 10 年間の差のもと、創成科目と称される我が国での動向においては、プロジェクト型学習 (Project-Based Learning; PBL) による授業の導入に留まっている傾向も否めず、欧米の一部⁸⁾にみられるシンセシスについての体系的な教育を行う科目の導入はほとんど進んでいない。

本稿では、以上の背景を踏まえつつ、大阪大学工学部・大学院工学研究科での機械工学関連の教育カリキュラムにおけるシンセシス教育の考え方や枠組みと、体系的で高度なシンセシス教育を目指して大学院教育に導入した産学連携のもとでの PBL 型授業の趣旨や概略などについて、紹介する。

2 価値の創出に向けて拡大する設計の意味

機械工学分野でのシンセシス教育を論じるに先立ち、機械や装置などの製品に求められている価値やその斬新さの向上とも関連しながら、複合領域的で横断的なものへと拡大してきている設計の意味を整理しておく。

設計は、立場に依存して様々に解釈されるが、ものづくりの目指すところが拡大してくれば、その具体的な意味も拡大してくる⁹⁾。図 1 は、Cross による設計プロセスの解釈¹⁰⁾に重

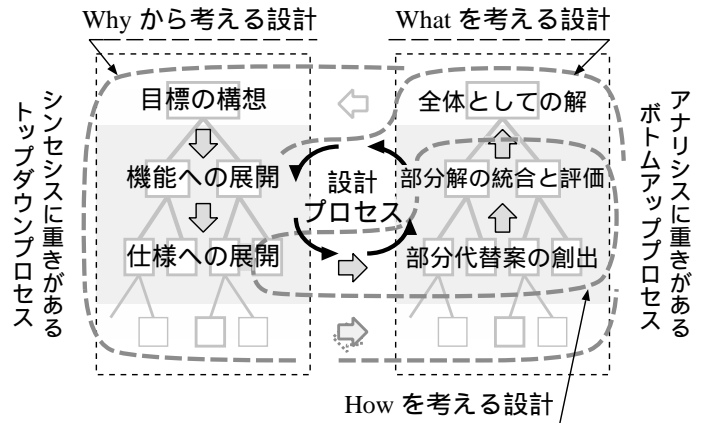


図 1 拡大する設計の意味⁹⁾

ねながら、その様子を模式化したものである。図は、設計プロセスが、対象とすべき目標の構想に始まり、それを機能へと展開し、さらにそれらを仕様へと解釈し、その後、それぞれの仕様を満たす部分的な設計解を代替案とともにつくり出した上で、それらから上位の部分解を統合して評価を行い、有望なものに絞り込んでいき、最終的には、対象物の全体についての詳細な設計解を得るといふ各段階から構成されることを示している。一方、製品の価値とはそれらの中でも目標に相当するものである。以上のもとで、設計の意味の拡大は、粗くは、以下の How から What へ、さらに Why への拡大として理解することができる¹¹⁾。

- How を考える設計 … 与えられた製品の全体像に向けて、どのようにしてつくるかを定めるために、対象を構成する様々な要素の設計を進めて全体を構成する。
- What を考える設計 … つくるべき製品の全体に向けて、要素の設計を行い、それらの組合せを統合することによってシステムの設計を行う。
- Why から考える設計 … そもそも社会や生活における有用性を問い、「なぜ、それをつくるのか」から始めて、斬新な製品をつくり出す。

ただし、What や Why に求められる水準が高くなる背景には、How の部分がより精密で緻密なものになっていることがあり、前者が後者によって支えられていることは当然のことである。

図 1 を前提とした場合、従来の設計教育は、主に、その右側にあるアナリシスを基盤としてボトムアップ的に進むプロセスを対象として、対象そのものについての知識や方法を修得させることを目指していた。これに対して、イノベーショ

*大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 (学会受付日：2007 年 7 月 4 日)

ンの促進に向けて新たに求められている設計教育は、その左側にあるシンセシスを基盤としてトップダウン的に進むプロセスを対象として、一連のプロセスを駆動するための課題設定能力や課題解決能力を涵養することが目的となる。

3 大阪大学工学部・工学研究科における機械工学教育カリキュラム

大阪大学工学部応用理工学科機械工学科目・大学院工学研究科機械工学専攻では、2005年度以降、学部教育と大学院教育のそれぞれにおいて、新カリキュラムの導入を進めている。

学部教育では、基礎教育を確実に実施するために、主要科目を5つのコア科目として再構成し、それぞれの科目では、週あたり2回の講義と1回の演習などを組み合わせて授業を実施している。また、ものづくり教育に関連する方面では、シンセシス系の科目を再編して拡充し、課題探求能力を開発するためのPBL科目を各セメスター(学期)に配置している。2年次1学期には、小型エンジンの分解組立を行ったり、工作実習を行ったりすることにより、機械とは何かを体験的に理解させる科目を配置し、同2学期には、模擬的な課題を通じて概念設計、製作や試験なども含む設計プロセスの全貌を経験させることにより、工学に固有の意味を理解させるための科目^{12)~14)}を導入している。さらに、3年次1学期には、従来型の設計製図を行わせ、同2学期には、新たにメカトロニクス系のPBL科目を導入することとしている。

大学院教育^{16),17)}では、博士前期課程では、力学と数学についての基礎科目を設け、体系的で高度なシンセシス教育のためのプロダクトデザインと称するPBL科目を導入し、以上の科目を各基盤科目と位置づけて準必修化している。さらに、専門科目を5科目程度毎に科目類に類別した上で、8つの科目類から選択した2つの科目類の重点的な学習を履修指導により要請することによって、学修の系統性を保障するカリキュラムを導入している。また、博士後期課程では、プロダクトデザインマネジメントと称する科目を導入し、博士前期課程におけるプロダクトデザインでのチーム活動のコーチングを通じて、リーダーシップ力を修得する機会を提供している。なお、このカリキュラムへの移行は、文部科学省の「魅力ある大学院教育」イニシアティブ¹⁵⁾に採択された「統合デザイン力教育プログラム」と称した2005年度と2006年度に渡る取り組み^{16)~18)}のもとで、事前の計画を加速させて進めた。

以上のように、機械工学科目・機械工学専攻では、学部課程から大学院課程に渡るそれぞれの段階にシンセシスに関する教育科目を配置している。図1に示した設計の意味の拡大にもみられるように、アナリシスとシンセシスは工学の両輪であり、本来、教育においてもその両者を並行的に深化させていくことが求められる。これに関して、米国などでは、工学教育に組み込むべきPBL方式の授業として、各領域における学習に先立ち、工学的な問題のイメージを植え付け後続する各授業科目に向けた動機付けを行うためのCornerstone Projectと、各授業科目で学習済みの内容を相互に連結させながら、総合的な課題設定能力と課題解決能力を習得させるためのCapstone Projectの2つのものを導入している場合を見

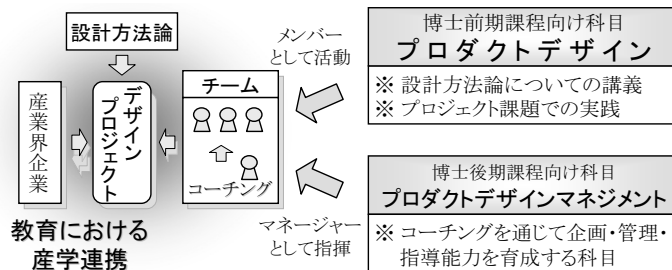


図2 産学連携によるプロジェクト型学習によるシンセシス教育の基本コンセプト

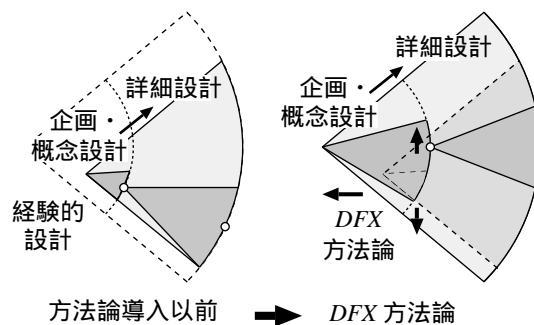


図3 設計プロセスとDFX方法論

受ける⁶⁾。この分類に対して、上述の新カリキュラムでは、学部2年次の科目が前者に、大学院での科目が後者に対応していることになる。次節では、後者にも対応するプロダクトデザインと称する科目の趣旨や概要について述べる。

4 大学院におけるシンセシス教育の取り組み

プロダクトデザインの骨子は、図2のように、シンセシスの指針となる設計方法論¹⁹⁾を講述しつつ、数名の学生から構成するチームに産業界から提供される製品の設計や開発についての課題にプロジェクトとして取り組ませることを通じて、課題設定や課題解決についての総合的な能力を開発することにある。加えて、博士後期課程学生については、前述のように、博士前期課程学生によるチームにコーチとして参画することにより、リーダーシップ力を涵養するしくみを導入している。この授業は、PBL型教育の効果を最大限に引き出すために、講義とプロジェクトを連成させている点で特徴的である。

講義の部分で取り上げる設計方法論の主要なものはDFX (Design for X) 方法論と総称されるものであり、価値工学の考え方、品質機能展開や組立性設計法などはその典型である²⁰⁾。それらは、概ね、図1の左側あるいは左側を受けた右側への展開において、設計者の創造的な思考を支援するための枠組みであり、設計を企画・概念設計・基本設計・詳細設計などとして段階的にみた場合に、企画や概念設計において基づくべき考え方を規範となる手順や方法の形に書き下したものである¹⁹⁾。つまり、DFX方法論は、設計を図3のような探索木として見なした場合に、それぞれの手順や記法に従って着重点を洗い出し解決策を探っていくことによって、設計の上流における検討をより包括的で広範な合理性を伴うものに導き、下流に向けた優れた出発点を求めるためのものであると言え

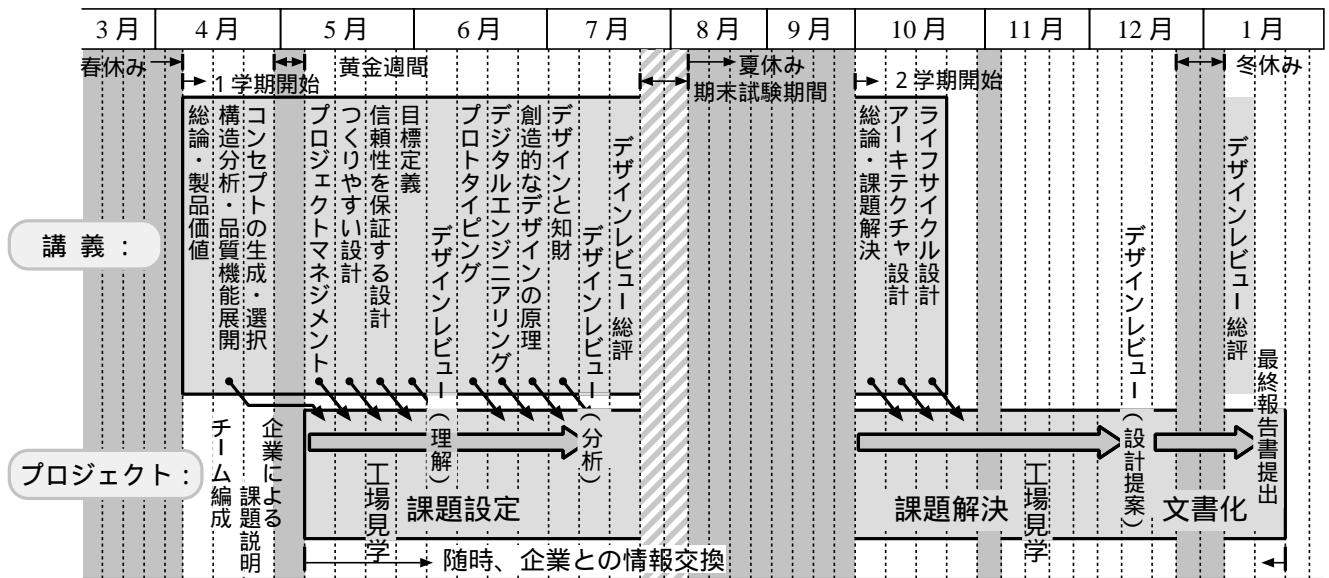


図4 プロダクトデザインの講義内容と実施スケジュール例(2007年度の場合；ただし10月以降は予定)

る。このようなシンセシスの考え方やそれを支える方法論は、形式としては平易なものであっても、物理現象についての理論のように厳密で再現性のあるものではなく、どちらかと言えば、曖昧な部分を伴うものであり、座学による一方的な教育では教示が難しい。図2に示した授業の形式は、講義による内容提示と具体的な実践における省察²¹⁾を繰り返させながら、それを克服することを意図したのものである。

一方、プロジェクト課題は産業界企業から具体的で実践的なものを提供してもらうことにしており、機械工学における様々な現象が複合的に含まれていて、上記のような方法論のもとで具体的な課題設定や課題解決を行うには、学部レベルにおける機械工学の知識を総動員した上で、新たな知識も自ら獲得して活用することが求められる。この点もシンセシスという範疇を超えて総合的な能力の開発についての効果を持つものと考えている。

以上のような趣旨と骨子によるプロダクトデザインは、まず、2005年度に、試行的な意味も含めて、4月から9月の夏季休業期間も含めた1学期の科目として導入した¹³⁾。授業は、主に、プロジェクト課題の要件を設計方法論に基づいて洗い出させた後に何らかの解決案を提示させることを意図して行った。続く2006年度には、4月から1月の通年科目(夏季休業期間は除く)として、本格的な実施に移行させた。前年度の実施では課題解決に十分な時間を充てなかったことが課題設定についても理解不足を招いていたとの反省のもと、1学期は方法論に基づいた製品の分析を通じて課題を設定させることを主眼とする一方、2学期はその課題を何らかのプロトタイプを作成を含めて解決させることを意図し、さらに、プロジェクトマネジメントの考え方²²⁾についての講義を導入するなどにより、授業を拡充した。さらに、2007年度には、前年度の実施において、依然として、課題解決に取り組ませることに向けては何らかの障害が存在していて、あらかじめ答えの想定されていない問題に取り組ませる(および、そのための能力を開発する)ことの難しさが改めてあらわになったこ

とを踏まえて、課題設定と課題解決をやや並行的に進め、また、プロトタイピング^{23),24)}をより有効に活用するように、設計方法論についての講義の順序を入れ替え、プロジェクトの指導方法を改善している。

図4は上記のような段階的な改善を経た2007年度の授業実施スケジュールの概略である。講義で取り上げる方法論の順序は、まず、課題設定に向けて、設計対象を構造的かつ体系的に理解するための考え方、設計コンセプトを創出する際の視点や選定方法、プロジェクトの進め方を講述し、さらに、各論の中でも主要な方法論を取り上げた後に、課題解決に向けて、設計において目標の持つ意味や設定についての考え方、プロトタイピングの役割や方法論、それに向けたデジタルエンジニアリングの活用方法などを講述し、製品設計と知財との関連、アーキテクチャ設計などのトピックスを加えている。多くの方法論を取り上げているために個々の方法論の細部についての教育を行うことができないが、むしろ、それぞれの骨子を関連させながら講述しプロジェクトの中で活用させることを通じて、一連のものに共通する本質的な考え方を修得させることを意図している。一方、プロジェクトでは、4月末までにチーム編成と課題の割り振りを行った後、講義の進捗とも合わせながら、まず、工場見学による知見をも踏まえつつ与えられた製品の内容や問題点を学生チームの視点で理解させ、続いて、その中から、取り組むべき課題を抽出させた後に、夏休みをはさんで、設定した課題をプロトタイピングによる検証も交えながら解決させることを意図している。加えて、それぞれの節目で、課題提供企業の担当者をも交えた報告会を実施してデザインレビューを模擬している。さらに、最終的には、課題設定から課題解決に至る全体としての経緯と成果を報告書としてまとめさせることにしている。

プロダクトデザインによる教育の成果や効果については、いずれかの課題の内容と学生チームによるその解決例を示して、具体的に論じるべきところであるが、課題提供企業との関係もあり、本稿では差し控える。いずれにしても、2社から

は3カ年に渡り継続して課題提供をいただいているなど、概ね、課題提供企業からは好評を得ている。企業側の期待は多岐に渡るが、学生チームによる課題設定や課題解決による直接的な結果はともかくとして、シンセシスについての体系的な教育の必要性やその方面の能力を修得した人材の必要性に対して賛同を頂き、課題の提供をいただいている場合もある。

一方、学生の反応は、プロジェクト演習を通じて他の科目では修得できない広範な能力が獲得できているとして、授業内容を高く評価するもの、授業が演習を主体としていることやそれがチームによる活動であることなどに起因して他の科目と比較して拘束される時間が多いとして、授業を敬遠するものの2つに大きく分かれている。後者については、授業内容についてのものだけでなく、大学院教育の中にこのような教育科目をどのように位置付けるかについての問題であり、冒頭で述べたシンセシスについての教育の必要性や産業界における期待感などをも踏まえながら、教育内容の一層の充実とも絡めて、何らかの対応策を見いだすことが求められている。

5 まとめ

本稿では、大阪大学工学部・工学研究科で導入を進めている新しい機械工学教育カリキュラムの概略と、そのもとで拡大しつつある設計の意味を念頭に置きながら大学院に導入したシンセシスについての教育科目の趣旨や構成について紹介した。以上の内容が、ものづくり教育についての議論に関して何らかの参考になれば、幸いである。

参考文献

- 1) *Innovate America — Thriving in a World of Challenge and Change* —, (2004), Council on Competitiveness.
- 2) *Creating an Innovative Europe*, (2006), European Communities.
- 3) 長期戦略指針「イノベーション25」～未来をつくる、無限の可能性への挑戦～, (2007), イノベーション25 戦略会議。
<http://www.kantei.go.jp/jp/innovation/saishu/070525/saishu.pdf>

- 4) 藤田喜久雄, 設計工学とその展開, 日本機械学会誌, **108**, 1034, (2005), 43.
- 5) Dertouzos, M. L., et al., *Made in America — Regaining the Productive Edge*, The MIT Press, (1989), [邦訳: 依田直也 訳, *Made in America — アメリカ再生のための米日欧産業比較*, 草思社, (1990)].
- 6) Sheppard, S. D., Design as Cornerstone and Capstone, *Mechanical Engineering — Premiere Issue on Design*, (November 1999), 44, ASME.
- 7) 8 大学工学部を中心とした工学における教育プログラムに関する検討, (1998), 8 大学工学部長会議.
- 8) 藤田喜久雄, スタンフォード大学大学院におけるプロジェクトを主体とした設計教育, 日本機械学会 第6回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, 96-45, (1996), 223.
- 9) 藤田喜久雄, 設計工学からみた創成教育の課題, 日本機械学会 2005 年度年次大会講演資料集, **8**, 05-1, (2005), 15.
- 10) Cross, N., *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, (Third Edition), Wiley, (2000), 58.
- 11) 藤田喜久雄, 製品開発の戦略性と設計工学について, 日本機械学会 第12回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, 02-31 (2002), 214.
- 12) 藤田喜久雄, 設計工学と創成教育 ~ 画用紙製衝撃吸収装置の設計プロジェクトの実践 ~, 機械の研究, **55**, 1 (2003), 172, 養賢堂.
- 13) 藤田喜久雄, 設計プロセスとプロジェクト型設計教育の展開, 設計工学, **40**, 11 (2005), 543.
- 14) 梅田靖・阪上隆英, 大阪大学機械系における学部学生向け創成教育, 工学教育, **54**, 3 (2006), 41.
- 15) <http://web.jsps.go.jp/j-initiative/>
- 16) 藤田喜久雄, 大阪大学工学研究科機械工学専攻における「統合デザイン力教育プログラム」の取組, 工学教育, **54**, 3 (2006), 91.
- 17) 藤田喜久雄, 統合デザイン力教育プログラム — 大阪大学工学研究科における機械工学教育の展開 —, 日本機械学会誌, **110**, 1064, (2007), 523.
- 18) <http://www.mech.eng.osaka-u.ac.jp/initiative/>
- 19) 藤田喜久雄, DFX 方法論, 日本機械学会誌, **106**, 1016, (2003), 546.
- 20) Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., *Product Design and Development*, (Third Edition), (2004), McGraw Hill.
- 21) Schön, D. A., *The Reflective Practitioner — How Professionals Think in Action* —, (1983), Basic Books, [部分邦訳: 佐藤・秋田 (訳), 専門家の知恵 — 反省的実践家は行為しながら考える —, (2001), ゆるみ出版].
- 22) プロジェクトマネジメント知識体系ガイド, PMBOK ガイド 2000 年版, (2002), プロジェクトマネジメント協会.
- 23) Brown, T., Innovation Through Design Thinking, *MIT World*, (March 16, 2006), <http://mitworld.mit.edu/video/357/>
- 24) Kelley, T. and Littman, J., *The Art of Innovation: Lessons in Creativity from Ideo, America's Leading Design Firm*, (2001), Doubleday, [鈴木・秀岡 (訳), 発想する会社! — 世界最高のデザイン・ファーム IDEO に学ぶイノベーションの技法 —, (2002), 早川書房].