

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にした設計教育

Project-Based Graduate Design Education at Stanford University

正 藤田 喜久雄 (大阪大)

Kikuo FUJITA, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565, JAPAN

The design education curriculum for graduate students at Stanford University is shown under the standpoint for understanding the importance of systematic and cooperative project-based education. While design research is earning much attention under the competitive and social situation of industry, some new-type design education systems should be developed in Japanese universities for our future products and society, as well. Although traditional design education puts emphasis on drawing, analytic assessments, design rules for machine components, etc., essential characteristics of design is expressed with the terms such as synthesis, social activity, creativity, systematic integration, and so forth. This contrast directs us to the requirement of another design education system. The graduate design education system at Stanford University is investigated as a promising direction of future design education.

Key Words : Design Education, Project-Based Education, Design Engineering, Design for Manufacturability, Design Research

1 緒言

大学における工学設計についての教育に関しては、機械工学分野においては、演習を中心とした設計製図や要素設計などについての講義を中核として、古くから行なわれてきている。しかしながら、今日における企業活動や社会状況のもと、それらの従来からの教育方法のみでは、製品の多様化や多領域化などの課題に対応するには、不十分であることが顕在化しつつあるように思われる。そのため、設計研究の重要性が認識されつつある一方で、その成果を踏まえた系統的な新世代の設計教育方法を確立することが必要となりつつあるように見受けられる。

本報では、上記の点を念頭に置いた上で、著者が一年間滞在了たスタンフォード大学機械工学科設計部門^①において修士課程の大学院生を対象に行なわれている新しいタイプの設計教育の事例を紹介する。また、設計工学を総合技術、あるいはプロセス技術として理解した場合の課題についても考察する。

2 設計教育におけるプロジェクトの必要性

わが国における設計研究に関しては、吉川の提唱^②による「人工物工学」をはじめとして、その重要性が広く認識されつつある。吉川の指摘による問題意識のひとつは、旧来からの工学研究における、細分化や領域化によって特定領域における問題を明確化し効率的にその解決をはかるといった方法論が、今日における工学の状況、なかでも、設計という行為を対象とした場合に、必ずしも有効ではなく、脱領域によるメタレベルの問題解決能力の科学的な研究によってその解決を行なうことができるとしている。一方、大学における研究や教育は、ある種の形式知の確立や伝承を対象としてきたため、いわゆる「暗黙知」やそれに関わる内容を対象とすることを意識的に避けてきたように思える。

人工物を作り上げる設計という行為は、様々な自然法則や利用可能な製造方法に制約される一方で、利用者の求める機能要求との協調化やコストについての最適化など、人工物に固有の内容を含んでいる。それらの内容は、分析的な内容に裏付けされている一方で、個別の内容の統合化そのものに、より重要な本質があるため、ただ単に、問題を細分化するのみでは、その本質も失われていくという状況を生じることになる。

このことは、設計教育においても重大な側面であるはずであり、個別的な方法論を講義形式で知識として示すことはできても、それを実施することができるかどうかについては、また、別の問題が含まれていて、実務や経験を通じない限り、設計技術そのものを体得することは難しく、ある意味で属人的であるとされる所以かもしれない。しかし、何らかの設計活動の状況を想定した上で、講義による個別方法論の教授と、設計プロジェクトにおける実施とを、相補的に繰り返しつつ、教育を行なうことにより、仮に、10年の実務経験を1年のコースプロジェクトに凝縮することができるとするならば、新しい設計教育の形態として、その成果を期待することができる。

3 スタンフォード大学大学院における設計教育

スタンフォード大学の機械工学科には、設計部門 (Design Division) があり、日本の大学組織においてはひとつの学科に相当する規模で設計に関する教育と研究が行なわれている。また、スタンフォード大学は、修士号を、修士論文を提出することなく、講義によって一定数の単位を取得することによって、授与するという点においても、特徴的である¹。

¹ これに関して、修士課程の学生に研究を担わせる必要のないだけの博士課程の学生が入学してくるためと認識すべきなのか、大学院教育において修士論文に匹敵する内容の講義を相当数用意できる教授陣の層の厚さのためであると理解すべきか、あるいは、修士レベルでの

設計に関する修士課程学生向けの講義科目には多数のものが開講されているが、なかでも、コースプロジェクトを主体としたものは、以下の3つの科目である。

- ME210: Cross-Functional Systems Design⁽³⁾ … 製品の機能達成とそのためプロセスに重きを置いた科目のシリーズであり、設計におけるプロセスとしての側面の教育を主な目的としている。また、チームワークや創造性などについても配慮されているほか、設計用の各種電子ツールなども実験的に利用している。
- ME217: Design for Manufacturability⁽⁴⁾ … ME210と比較すると、より実装レベルにおける製造やコスト、製品のライフサイクルに関連した内容を実践的かつシステムティックに扱っている科目のシリーズであり、機械工学のみならず、経営工学などとの関連付けも行なわれている。
- ME218: Smart Product Design⁽⁵⁾ … いわゆるメカトロニクスを対象とした実際の科目であり、1年間のシリーズを終えた学生は、相応のプロセッサやセンサーを組み込んだ製品のプロトタイプを設計・自作できるようになるようである。

なお、これらの科目にはそれぞれに特徴があり、ある種の分業が成り立っている。学生によっては、そのすべてを取るものもあれば、選択したものだけを取るものもいるが、いずれにしても、その講義や宿題、プロジェクトの内容たるや、相当のものである。

4 ME217: Design for Manufacturability

本節では、上述の3科目のうち、なかでも、ME217の内容について紹介する。ME217は、製造性設計 (Design for Manufacturability, DFM) に関する科目であり、“*How to make money by designing WORLD-CLASS products*” というスローガンを掲げた、昨年度で10周年を向かえた、冬・春学期からなる6ヵ月間²のコースである。

4.1 コース構成 コース前半の冬学期は、‘Product Definition’ と題して、製品における顧客要求機能解析の手法、機能価値評価法、品質機能展開法 (QFD)、組立性評価法 (DFA)、多品種指向設計法、製造プロセスおよび材料選定法、故障モード影響評価法 (FMEA)、信頼性およびサービス性評価法、などの手法を、簡単な例題を通じて習得するとともに、それを基礎として、具体的な現行の製品における問題点と改善の方向を特定化することを目標としている。コース後半の春学期は、‘Implementation’ と題して、設計コンセプトの生成・選択法、製造プロセスの評価基準や評価方法、ロバスト設計の方法や実装方法、などのより

教育の目的が研究者の養成ではなく実務家の養成にあると認識されていると理解するべきか、などは考えさせられるところである。

² スタンフォード大学は、4学期制を実施している。なお、通常の講義の多くは、週2回・各75分で行なわれているが、日本で一般的な週1回の講義と比べて、双方の緊張感を持続する上で有効に作用しているように思われた。

Table 1 ME217 A and B, Course Contents

1. Functional Analysis and Value Engineering: Competitive Benchmarking and Goal Identification
2. Quality Function Deployment and Affinity Diagrams
3. Design for Assembly
4. Product Structuring
5. Process and Material Selection
6. Design for Productivity and Process Analysis
7. Failure Modes and Effects Analysis
8. Design for Ownership Quality: Reliability/Serviceability
9. Environmental Product Design
10. Concurrent, Simultaneous, and Life-Cycle Engineering
1. Review of Product Definition Methods
2. Concept Generation and Selection: Pugh’s Method
3. Manufacturing Process Analysis: FMEA applied to Production/Service, Poka-Yoke
4. Design for Robustness: Closed form Optimization
5. Design of Experiments and Taguchi Method
6. Statistical Process Control and Six Sigma Process
7. Flexible Process Selection and Process Planning
8. Tolerances and Design for Productivity
9. Product Testing, Rapid Prototyping
10. Design and Development Management Issues

実践的な手法を習得する一方で、コースの前半において個別の製品事例において特定化された設計上の問題点を改善する設計代替案を提案するとともに、各種の手法をもとに、その改善案の有効性を具体的に検証することが課題とされている。

このような前後半の順序構成は、前半においては、決して具体的な再設計にまで踏み込むことなく、分析的な評価方法の習得と適用を行なうことで、現設計における問題点を明確に特定することに重きを置いておいた上で、後半において、十分に吟味されたターゲットに対して、再設計案を具体的に立案し、その評価などを行なう構成になっている。そこには、安易な再設計を行なうことなく、的確な目標に対して着実に設計を考えさせていくという狙いが意図されている。

また、単に、いわゆる DFM における各種手法を適用するのみではなく、製品そのものの性能 (Features) や、製品開発に要するコスト (Cost) や時間 (Time) など、設計に関わる諸々の相互に競合する因子を総合的に考慮して、再設計を行なうことも求められており、また、机上の空論ではなく、実際の製品開発における状況を想定することにも、留意されている。

なお、各学期の最後には、個別のプロジェクトチーム毎に、数十ページもの検討結果をまとめたレポートの提出とプレゼンテーションが行なわれ、受講学生の評価の50%も、それらの結果に基づいて決定されるようになっている。

4.2 プロジェクト課題 コースの全般にわたって、具体的な産業界から提供される製品の事例を対象に設計を行なうことがこの ME217 の特徴の一つであり、4名の学生からなるチーム毎に具体的な製品事例と設計課題が与えられる。95-96 年度においては、航空機用圧力ゲージの設計、ディスクジェットプリンタの製造コスト削減およびリサイクル設計、計測検査機器の多品種指向設計、電子レンジの製造性設計、自動車用エアコンユニットの組立性設計、洗濯機のリサイクル設計、硬貨選別器の製造性設計、ディスクドライブにおけるコスト削減、高性能紙用穿孔機械の設計、次世代線形加速器のコスト削減、超純水製造器の民生転用のためのコスト低減、などが取り上げられた³。

このように、課題の内容は多彩であり、一般的な DFM を対象にしたものから、最近、日本国内でも関心が高まりつつあるリサイクル設計などを対象とした課題が含まれている一方、対象製品も、一般向けのものから、線形加速器といった物理学者向けのものまでが含まれている。なお、上記の ME210 も同様に、プロジェクト課題を中核としたコースではあるが、その目的とするところが異なることから、ME210 の場合は、例えばベンチャー企業より提供されるような新製品についての課題が多いように見受けられた。

4.3 プロジェクトコースにおけるスタッフ構成 上記のようなプロジェクトコースを実施する上で、教育スタッフ側の人員構成は重要な課題のひとつとなる。米国の大学教育においてティーチング・アシスタントが重要な役割を担っている⁴ことは知られるところである。ME217 のようなプロジェクト課題を主体としたコースにおいては、インストラクタやティーチング・アシスタントのほか、各プロジェクトチームを個別に指導するコーチ群の役割も大きい。彼らは、DFM 関連の研究を進めつつある博士課程の学生であり、いわば、DFM エキスパートの予備群である。上記のように個々のプロジェクト課題の内容は多岐に渡り、それぞれが個別のフォーカスを持っていることから、プロジェクト課題の内容とコーチ個人の研究テーマとの関連性をもとに、コーチの割り当てが行なわれている。また、以上のようなスタッフ構成と受講学生との関係を組

織構造として眺めてみると、インストラクタ－ティーチング・アシスタント－コーチ－受講学生、さらに、プロジェクトの提供先を加えた全体がある種の階層関係をなしており、実際の設計における組織的状况を模擬して置ける。

4.4 産業界との関係 一方、教育をする側からすれば、教材や講義の内容に加えて、受講学生数に見合った数の良質なプロジェクト課題を産業界から提供をしてもらう必要もある。また、対象製品の製造工程を分析するための工場見学に関わる費用やベンチマークのための競合製品購入費用、レポート作成に関わる費用、場合によっては、プロトタイプシステムの試作に関わる費用、などの学生チームの支出や、コース全体を管理するための費用なども必要であるため、テーマそのものに加えて、相応の金銭的サポートも得る必要がある⁵。このことは、学生チームによる成果はそのサポートに見合うだけの価値のあるものであることが期待されていることを暗に意味しているわけであり、当然のことながら、受講学生にも相応の緊張感が要求されているほか、インストラクタをはじめとした教育スタッフも、受講学生と課題提供企業の双方から、評価されているということになる。

また、プロジェクト課題の実施に当たっては、上記のようなコースの内容が多分に実践的なコストや性能などに関わる情報を必要とすることから、適度な内容の資料・データが企業側から提供されることが不可欠であるほか、プロジェクト課題が実施されていく過程でのレビューなども重要である。これらの内容が、企業側にとっては、かなりの負担であることも事実ではあるが、先端の研究成果である新しい DFM 関連の手法やそれらを用いて行なわれた解析や評価の結果に、プロジェクト課題の提供を通じてアクセスできるメリットは魅力的なものであるようである⁶。加えて、状況によっては、実施可能な競争力のある再設計案が得られる可能性もあることになる。

5 期待される成果と実施上の課題

上述のように、設計には従来からの分析的な手法ではとらえることのできない内容が含まれており、個別内容の統合化やシステムティックな設計方法を習得する上で、プロジェクトをベースとした教育により得られる成果は魅力的であり、それこそ、組織化された講義とプロジェクト課題との関係により「10年分の設計経験を1年に凝縮する」ことができれば、その成果は大きいものになるように思われる。しかしながら、そのような設計教育を仮に日本において実施することを考えた場合に、上記の内容が示すコースそのものの内容に関わる点以外にも、さまざまな問題

³ ここに列挙したプロジェクト課題は、オン・キャンパスの学生60名を対象としたプロジェクトである。これらのほか、ベイエリアをはじめとする全米各地や海外の企業の約70名のエンジニアが、ケーブルテレビやビデオテープの送付などを通じて講義を受けつつ、彼らの設計業務やそれに関連する内容をプロジェクト課題として、この ME217 を受講しているケースも相当数ある。なお、このような形態の遠隔授業は、ME217 に限らず、Stanford Instruction Television Network (SITN) を通じて、年間200以上の科目が提供されており、それらを通じて修士号に必要な単位の多くを取得することも可能である。(URL: <http://www-engineering.stanford.edu/scpd>)

⁴ 日本の国立大学においても、ティーチング・アシスタント制度が実施されつつあるが、スタンフォード大学におけるそれと比べて、採点もすれば、たまには講義もする彼らと比べて、ティーチング・アシスタントの担っている責任(報酬も含めて?)が本質的に異なっているように見受けられた。

⁵ このプロジェクト提供費用は、95-96年度の場合、ME217で10,000ドル、ME210で30,000ドルであった。

⁶ このほか、スタンフォード大学には、Stanford Integrated Manufacturing Association (SIMA) という組織があり、産学共同研究の推進、産業界からの資金による大学院生への奨学金の提供などを、組織的に推進している。(URL: <http://www-sima.stanford.edu/SIMA>)

点もあるように考えられる。例えば、学生そのものの積極性や自律性などはこのような教育においてプロジェクトを成功させる上での鍵ではあるが、教育文化などを背景として、一般には、日本の学生の間で実問題を対象にした、プロジェクト提供企業に対しても責任のある議論を成り立たせることは容易ではないように思われる。また、プロジェクト課題の提供に関わる情報提供や資金提供に対する日本企業の閉鎖的な風土、さらに、それを受け入れることとなる大学側の組織や体制、意識なども、大きな障害になるように思われる。

しかしながら、スタンフォード大学のような規模のプロジェクトをベースとした教育は例外的であるにしても、米国機械学会 (ASME) の年次大会において学生による設計のコンペティションなどが行なわれるなど、この種の設計教育はある種の流行として、盛んになってきているようである。一方、日本においても、メディアの影響もあってか、ロボットコンテストなどが盛んに行なわれつつある。しかしながら、その内容は、スタンフォード大学における設計そのものに主眼をおいた系統的な教育と比較すると、まだまだ、設計教育としては貧弱でアド・ホックであるように見受けられる。

6 設計研究との関連

以上では、プロジェクトをベースとした設計教育について示したが、その内容と設計研究そのものとの関連性も重要な点である。設計研究そのものは、大きく、設計最適化に代表される設計自動化、情報システムを援用した設計支援手法の確立、さらに、設計そのものの科学的解明を目的とする設計論あるいは設計方法論の分野、に大別されるが、前二者が、どちらかといえば、数理的な手法やコンピュータシステムそのものに根差しているのに対して、後者は、社会や心理などとの関連も含んでおり、前述のような総合科学としての側面が大きい。また、設計そのものが、例えば、最近におけるリサイクル設計、部品共通化・共有化設計などにみられるように、様々な社会的状況に影響されながら、その様相を変化させていくため、実際の企業活動と隔離された状況では、最新の課題をとらえた研究を行なうことが困難であるという側面を含んでいるように思われる。

上述のように、スタンフォード大学における ME217 においては、教育スタッフによる講義内容、企業から提供される実問題、コーチ陣による最新手法の提供などが有機的に関連しあっており、場合によっては、このコースにおける製品事例を博士論文において設計手法の事例検証のための例題として取り上げることもある。また、社会的状況を反映した新しい設計課題なども、企業側からのプロジェクトという実問題との関連を通じて明確化される可能性も大きい。つまり、このような協調的な状況は、設計研究という立場からすれば、研究そのものを実際の問題から乖離

させることなく、地に着いたものとする上での原動力にもなっているように思われる。

7 結 言

本報では、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の状況、なかでも、製造性設計 (Design for Manufacturability) を取り上げた ME217 の内容を中心に、関連する状況について述べた。ここ数年、日本においては、雇用形態の変化、大学院進学率の上昇、など社会的な状況の変化も生じつつあるようであり、例えば、設計技術なども、その重要性が増す一方で、企業内教育によって行なうことが難しくなりつつあることも、伝えられつつある。一方、米国の状況は、ここで示した事例をはじめとして、設計や製造にかかわる教育や研究は活性化される方向にあり、米国連邦科学財団 (NSF) のレポート⁽⁶⁾にも、設計研究は国家の経済活動を支える上で重要な課題であると明言されており、研究の推進を呼びかけている。

なお、今回のスタンフォード大学滞在におきましては、(財)村田海外留学奨学会からの御援助を頂きました。また、ME217 のインストラクタでもあるスタンフォード大学 石井 浩介 教授には、滞在におけるホストを引き受けて頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

文 献

- (1) <http://cdr.stanford.edu/DD>
- (2) 吉川, テクノグローブ, (1993), 工業調査会.
- (3) <http://me210.stanford.edu>
- (4) <http://me217.stanford.edu>
- (5) <http://cdr.stanford.edu/DD/courses/me218/me218.html>
- (6) *Research Opportunities in Engineering Design - NSF Strategic Planning Workshop Final Report*, (April 1996)