

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月24日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500855

研究課題名（和文）

日本版エンジニアリングデザイン教科書の作成および教科内容の開発

研究課題名（英文）

Development of the Engineering Design Course for Japanese Engineering Schools

研究代表者

別府 俊幸 (BEPPU TOSHIYUKI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・教授

研究者番号：30181481

研究成果の概要（和文）：エンジニアリングデザインとは、メーカーにおいてクライアントの要求に適合するシステムやコンポーネント、プロセスを開発するプロセスである。研究では、卒業生がデザインプロセスに参画して能力を発揮することを目的として、教科内容および教科書の作成を進めた。ものづくり体験に立脚したデザインプロセスの学習、および学習した知識を応用するデザイン演習を組み合わせさせた教育法を提案した。現在、教科書を作成中である。

研究成果の概要（英文）：Engineering design is the process of devising a system, component, or process to meet desired needs. The author proposes an effective curriculum for engineering design education. Understanding the principles of the engineering design process and applying this knowledge to the manufacturing process are necessary for engineering students to study engineering design effectively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、科学教育

キーワード：工学教育、エンジニアリングデザイン

1. 研究開始当初の背景

JABEE（日本技術者教育認定機構）の工学教育に関する国際協約 Washington Accord (WA)加盟に際し、「日本ではエンジニアリングデザイン教育が弱い」との指摘を受けた。これに対応して JABEE では 2005 年度の認定より、デザイン力養成を教育プログラムに要求した。しかし、我が国においてはエンジニアリングデザインとは何かとの認識も曖昧であり、PBL (Problem Based Learning)、ものづくり教育、創成型教育との混同も見受け

られる。多くの高専・大学では、エンジニアリングデザインを教授したくとも、何をどのように教育すればよいか手探り状態が続いていた。

一方、欧米においてエンジニアリングデザインは、工学教育に必要な不可欠な構成要素とされている。米国 ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) の認定要件では「学生は、カリキュラムの早期段階で学ぶ知識や技術を応用し、かつ工学標準や現実的な制約条件を考慮したデザイン実習を

最終的な目標とするカリキュラムを通じて、実際のエンジニアリング業務に対応する能力を備えねばならない」とされている。そして欧米では多数の Engineering Design 教科書が発刊されているが、日本ではエンジニアリングデザイン教科書は皆無であった。

このような背景のもと、研究代表者らは ”Nigel Cross, Engineering Design Process 4th edition” を 2008 年 7 月に翻訳出版した (邦題: エンジニアリングデザイン、培風館)。同書はエンジニアリングデザインプロセスの流れと各ステップにおける手法を詳述した教科書であるが、ヨーロッパ流のデザインコンセプトを外部に委託するプロセスを念頭に記されている。このため、製品開発のすべてを企業内のデザイナーやエンジニアが担う日本式プロセスとは相違があった。これは欧米における他の教科書も同様であった。

2. 研究の目的

エンジニアリングデザインを学生に教授するためには、日本企業におけるデザインプロセスを記述した教科書が必要と考えられた。彼らが卒業後に従事する業務を正しく把握することが、デザイン能力を高めるためにも欠かせないと考えられた。

また、エンジニアリングデザインとはメーカーにおける開発プロセスであり、デザイン能力とは“開発力”である。開発力は講義科目だけでは育成できない。ものづくり体験よりデザインプロセスを学び、学んだデザイン知識を活用して制作体験を積むことが開発力育成に必要と考えられた。

そこで研究では、日本版エンジニアリングデザイン教科書を作成を目標とした。また、演習と講義科目を組み合わせた統合的カリキュラムを試み、その効果を検討した。

3. 研究の方法

(1) 欧文エンジニアリングデザイン教科書調査

欧米においては多数のデザイン教科書が出版されている。エンジニアリングデザインとは何か、知識として重要視されていること、デザインに対する考え方、デザインプロセスの扱い方、エンジニアリングデザイン教科としての範囲、など教科書を通じて調査した。

(2) デザインプロセス調査

日本の産業においては、機械装置や電気製品をマイクロプロセッサを用いてコントロールする組み込み技術が大きな役割を果たしている。しかし、欧米の教科書における製品例では、組み込み技術を用いたものがほとんど取り上げられていない。組み込み技術を用いた製品を開発する日本メーカーにおけるデザインプロセスを教科書に記述するため、

訪問調査を実施した。自動車関連装置メーカー 2 社、工作機械ほか機械装置メーカー 2 社、電気製品メーカー 4 社、交通システムなどの設備システムメーカー 3 社、半導体メーカー 1 社、計 12 社を訪問調査し、その結果より教科内容を検討した。

(3) 開発手法調査

学会等の報告、書籍および日本科学技術連盟セミナーなどを通じ、メーカーにおける開発プロセスに用いられている VE (Value Engineering)、QFD (Quality Function Deployment) などの開発技法や FMEA (Failure Mode and effects Analysis)、FTA (Fault Tree Analysis) 等の信頼性技法を調査し、デザイン教育への導入必要性を検討した。

(4) デザイン教育の試行

松江高専および専攻科において、デザインプロセス知識教育とデザイン技法演習、発想法演習、グループによる課題解決演習、製作実習を組み合わせたデザインカリキュラムを試行し、効果的な教育法について検討した。

4. 研究成果

(1) エンジニアリングデザインプロセス

研究では、日本メーカーにおけるデザインプロセスを図 1 のとおり要約した。工業製品は、企画に始まり、開発を経て生産が開始される。生産された製品はメーカーからユーザーへと渡り、使用され、やがて廃棄される。この製品ライフサイクルの初めの段階である企画から開発、すなわち生産開始までがエンジニアリングデザインプロセスである。

デザインプロセスは、「クライアントの要求」を明らかにすることから始まる。しかしクライアントの要求が、明確な文章となって示されることはほとんどない。クライアント自身にも、要求が正確に定義できないことも少なくない。その見えない要求を解き明かすことがデザインプロセスのスタートである。製品としての成否の検討を通じ、クライアントの要求を文書として明確化した“企画書”が作られる。

「製品プランニング」の段階では、企画書から具体的な製品イメージを作り上げ、製品としての可能性をより詳細に検討する。この段階で開発チームは、製品の価格や販売数を予想し、そこから開発にかけることのできるコストを見積もり、製品の技術的な可能性や問題点、外注先や部品メーカーなどの社外のリソース、生産 (社外となることもある)、流通、販売、サービス体制など自社のリソースを検討し、基本となる“製品プラン”を作り上げる。

同時に、製品に付随する制約条件を明文化する。制約条件とは、許容される大きさや重さ、材質、販売国における法令や基準、電源

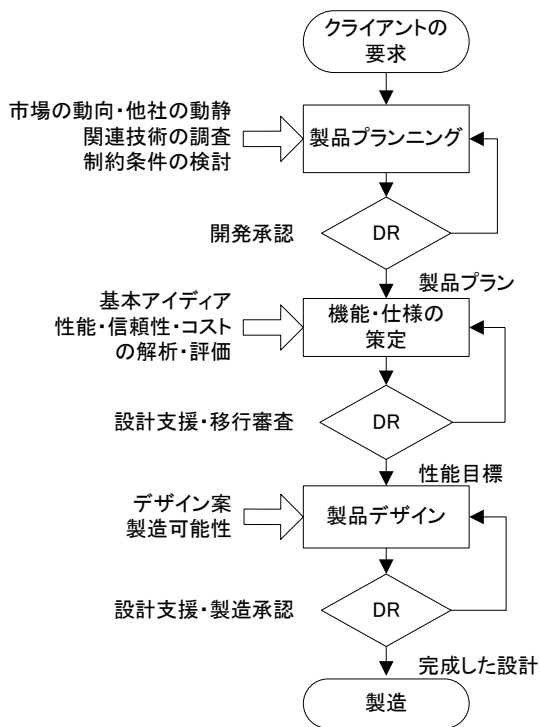


図1 エンジニアリングデザインプロセス

や温度、湿度などの使用環境など、製品そのものが満たさなければならない条件である。

「機能・仕様の策定」段階では、製品プランに基づいて、クライアントの要求を満たす工学的特性として機能や仕様が定められる。また、仕様に対する評価方法も定められる。出力や重量など数値として評価可能な項目であれば問題はないが、“使い心地”や“見た目”などの官能的要素が含まれる項目においては数値以外の評価方法が必要となる。

同時に製品の信頼性や安全性に関する検討もなされ、“性能目標”としての詳細な仕様書が作成される。

「製品デザイン」は、いわゆる設計の段階である。この段階では仕様書に基づき、概念設計から詳細設計へとデザインが進められる。製品デザインにも時間を要するが、製品デザイン段階以前の十分な検討が、良い製品を開発するために重要である。

それぞれの段階では、デザイン・チームを支援するためのデザイン・レビュー (DR) が行われる。デザイン・レビューは、製品プランをよりよいものとし、デザインにおける見落としを防ぐことを目的とする。

また、それぞれの段階から次の段階に移行するためには、承認のためのデザイン・レビューが行われる。段階を後戻りする“手戻り”が生じているのは、開発は遅れ、コストは増大する。開発においては各段階でのアウトプットを完全なものとするのが重要である。

(2) エンジニアリングデザイン知識科目の内容

欧米の教科書では、それぞれにデザインプロセスの記述に相違があるものの、いずれも”Engineering design”とは「クライアントの要求に適合するシステム」に向けて情報を集め、課題を定義し、設計解を開発するプロセスであることを教えている。

これに対し従来の我が国の工学教育では、設計解を解析、検討することに重点が置かれ、設計解に必要な仕様を策定することは軽視もしくは無視されていた。しかし設計解は、クライアントのニーズを解決するものでなければならない。このためには、クライアントのニーズを明らかにすることが必要となる。製品デザイン段階では、仕様書に記される数値目標を満たす設計解を実現するために設計が進められるが、いかにして仕様をまとめるかを教示しなければならない。仕様作成のためには集めなければならない情報があり、その情報から数値目標を定めるためにQFDなどの技法を用いることができること、そして数値目標はクライアントの視点から評価されなければならないことなどを教示する。

さらに、製品開発すなわちデザインプロセスの目標は、クライアントにとっての価値を創造することにある。価値とは、クライアントの満足度とすることもできる。クライアントにとっての価値を実現するためには、クライアントが評価する項目がなにかを明らかにし、クライアントが求める工学的特性を追求し、設計解として適切にまとめなければならない。

そしてエンジニアリングデザインは、クライアントのニーズを効果的に工学的製品へと転換させるプロセスでもある。このためメーカーで使われるKJ法、TRIZなどの発想法、VEなどのアイデア集約法、特性要因図や系統図などの情報整理法などを紹介し、演習を通じて使える技術とすることが役立つ。

また、製品は安全で信頼できるものでなければならない。事故例や失敗事例を紹介するとともに安全性について考察させること、さらにFTAやFMEAなどの信頼性技法を紹介し、演習によって考え方を理解することが重要である。とくにそれぞれの不具合を故障モードとして整理し、故障モードが生じた際の影響度の大きさから優先すべき対策を決定するFMEAの考え方は、開発プロセス以外にも応用可能であり、学生にとっても有用な知識と思われる。

(3) エンジニアリングデザイン教育のためのカリキュラム提案

図2にエンジニアリングデザイン教育のための統合的カリキュラムを提案する。

エンジニアリングデザインを知識として覚えるだけでなく、デザインプロセスを理解し、デザインにプロセスを利用できるように

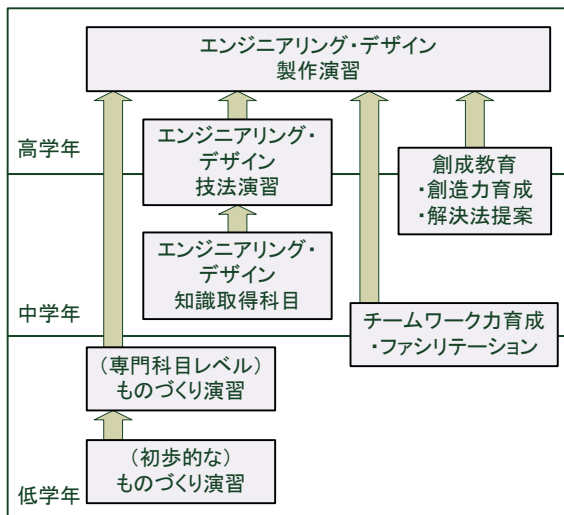


図2 デザイン教育カリキュラム

なるためには、単独の知識取得科目だけでは不十分と考える。

まず、知識取得には、それに先立つものづくり体験が必須である。高等教育機関入学以前のものづくり体験の欠落した学生が増えている現状では、専門科目への意識付けのためにも低学年における初歩的なものづくり体験が必要である。

中学年では、専門科目の学習に並行し、ものづくり演習を実施する。この段階は、学んだ専門知識を活用し、さらに自由な発想を組み入れられる演習が良いと考える。同じものを作るだけでは、製作技術の習得にはつながっても発想トレーニングとはならない。導入レベル及び専門科目レベルの2段階のものづくりは、専門科目の理解を深めるだけでなくエンジニアリングデザインを理解する基礎となる。ものづくり演習と並行して、チームワーク力育成のためのファシリテーション演習、創造力育成のための創成教育を実施する。

さらに、エンジニアリングデザイン知識取得科目、可能であればデザイン技法演習を実施する。製作演習だけでは、クライアントからの視点を養成することは難しい。学生自身が工学製品に何を要求するのかを把握させることから始め、クライアントが何を求めているのかを探り出すトレーニングが必要である。

そして総まとめとなるエンジニアリングデザイン製作演習を実施する。エンジニアリングデザイン製作演習では、クライアントの要求を明らかにし、クライアントの要求に向けて収束する設計解をつくりあげるエンジニアリングデザインそのものを体験する。

以上の成果およびカリキュラム試行については論文①および学会発表①～⑤に報告した。

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 別府俊幸、工学教育におけるエンジニアリング・デザイン教育、工学教育、59-4、pp. 72-79、2011、査読あり

[学会発表] (計5件)

- ① 別府俊幸、ほか9名、松江高専専攻科におけるエンジニアリング・デザイン教育、第6回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」、日本工学教育協会、pp. 32-38、2012年2月25日、東京
- ② 別府俊幸、荒木光彦、高橋信雄、箕田充志、エンジニアリング・デザイン科目の必要性、平成23年度工学・工業教育研究講演会講演論文集、pp. 476-477、2011年9月7日、札幌
- ③ 別府俊幸、エンジニアリング・デザインとは？、第5回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」、日本工学教育協会、pp. 7-23、2011年3月5日、東京
- ④ 別府俊幸、荒木光彦、高橋信雄、箕田充志、工学教育に求められるエンジニアリングデザイン教育、日本工学教育協会平成22年度工学・工学教育研究講演会講演論文集、pp. 320-321、2010年8月21日、仙台
- ⑤ 別府俊幸、荒木光彦、高橋信雄、箕田充志、日本版エンジニアリングデザイン教育について、日本工学教育協会平成21年度工学・工学教育研究講演会講演論文集、pp. 628-629、2009年8月8日、名古屋

[その他]

ホームページ等

<http://www.matsue-ct.ac.jp/senkoka/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

別府 俊幸 (BEPPU TOSHIYUKI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・教授
研究者番号：30181481