

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00949

研究課題名(和文) 開発力および発信力育成のためのエンジニアリング・デザイン教育

研究課題名(英文) A engineering design textbook and designing seminars for Japanese engineering students

研究代表者

別府 俊幸 (Beppu, Toshiyuki)

松江工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：30181481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

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および演習を開発した。設計情報開発に必要な情報を集め、それらの情報から製品コンセプトを作成し、デザインを完成させるためのプロセスを教示するための教科書を作成した。また、知識を学ぶだけではデザインを作り上げることはできない。デザイン知識教育と発想法、創造的技法、信頼性技法などのPBLを組み合わせたデザイン教育カリキュラムを提案し、報告した。

研究成果の概要(英文)：Design is a basic engineering skill and as educators we have a responsibility to produce graduates with the ability to design effectively. The author have developed a textbook, which introduces students the design process: defining the design concept of a new product, establish the functions and specifications, designing the product, information for design: customer's requirements, constraints, conditions of circumstances and users, the way of designing a new product, and methods of avoiding failures. The book also explains creative methods, designing techniques, and operations for improving durability of the product. The author have developed a course that combines lectures on the design process and design seminars for studying designing methods and developing creativity.

研究分野：エンジニアリング・デザイン教育

キーワード：エンジニアリング・デザイン 工学教育 PBL

## 1. 研究開始当初の背景

エンジニアリングの主要な役割は、生活の向上や安全の確保、環境の保全などの人間の要求を実現するためのデバイスやシステムの提供にある。したがって工学教育には、それらのハードウェアやソフトウェア開発のための能力育成が求められる。能力育成のためには、学生へデザイン知識と技術、思考法、意思決定法を教示し、それらを用いてデザインを作り上げる演習を実施することが必要と考える。

ところが日本の工学教育では、個別の要素技術は教示されるものの、それらを組み合わせてデバイスやシステムへとまとめるための「デザイン」を十分に教えているとはいえない。このため日本技術者教育認定機構 (JABEE) の国際的技術者教育条約である Washington Accord 加盟に際して、「日本のエンジニアリング・デザイン教育が弱い」との指摘につながったと考える。

米英の大学では、デザインを作るためのプロセスであり技術である「エンジニアリング・デザイン」を工学教育の柱としている。エンジニアリング・デザインとは、ユーザの要求を明らかにし、その要求を満足する設計情報を完成するまでのプロセスである。設計情報とは、仕様書や図面 (CAD ファイル) やプログラムなど、デバイスやシステムを製造するために必要となるすべての情報を指す。したがってエンジニアリング・デザインとは、メーカーにおける製品開発プロセスといっても良いであろう。米国 ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) Criteria では、「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」と定義している。そして ABET は「学生は、デザイン体験を含むカリキュラムを通じて、エンジニアリング業務に備える」と教育プログラムに要求している。

エンジニアリング・デザインは、1980年代の日本製品躍進による米国製造業の衰退を受けて行われた日本製品と日本メーカーの研究から始まった。そこで米国の研究者達は、日本製品の高い品質および性能、そして日本メーカーの高い生産性は、ユーザ中心のデザイン、効果的な開発プロセス、さらに OJT によるエンジニア教育が担っていると結論した。ところが米国では、当時すでに人材の流動が激しく、メーカー内で人材の育成に力を注ぐことが難しかった。このため、エンジニアリング・デザインの研究と教育は大学へと託された。米国産業の国際競争力回復には種々の要因があるが、工学部学生へのエンジニアリング・デザイン教育の充実もその一因と考える。

一方わが国では、エンジニアリング・デザイン・プロセスの整備と改良はメーカーの仕事とされ、高等教育機関がデザイン教育に力を注いでいるとはいえない。しかし今日、人材の流動性が高まる一方で、開発のサイクル

は短くなり、業務は細分化されている。日本においても、エンジニアリング・デザイン教育の充実が必要となっている。デザイン・プロセスの整えられたメーカーへと入社する卒業生は、そこで OJT を通じてデザインのやり方を学べるであろうが、そうでなければ学ぶ機会がない。高等教育機関においてエンジニアリング・デザインを学んでいれば、入社したメーカーにおけるプロセスを改善することも可能となる。

## 2. 研究の目的

研究では、次世代の我が国産業を背負う学生たちのデザイン能力育成、さらにはエンジニアリング・デザイン教育を通じた我が国産業の国際競争力向上を目標とした。設定したゴールを以下に記す。

- (1) エンジニアリング・デザイン知識を教示する教材の開発
- (2) エンジニアリング・デザイン教育を大学・高専において広く実施するための演習教材の開発
- (3) 英語発信力向上のための工学系オンライン・コースの開発

(1) であるが、デバイスやシステムをデザインするためにメーカーでは、開発プロセスが定められている。プロセスは、製品の品質を確実に優れたものとするための経験の蓄積であり、そのための手順書あるいはチェックリストである。デザインにおいて必要となる情報を抜け落ちなく集め、求められる設計情報を完成できる可能性を高めるためには、必要なステップを確実に実施することが近道となる。ある製品ではデザイン段階での信頼性解析が成功につながっていたのに、次の製品で手を抜いていては、失敗を招く可能性が高まる。メーカーには、常に高い品質が要求されている。

高い品質を達成するためにデザイン・プロセスが用いられるのであるが、その理由も説明しなければ学生の理解にはつながらない。メーカーとしてのデザインのプロセスを学び、次にプロセスの中で必要となる情報はなにか、それらをどのようにして集め、どうやって設計情報に集約するかなどの開発手順を学び、さらにそれに沿ったデザインを体験することが重要と考える。「デザインは入社してから体験で覚える」暗黙知としてではなく、言葉で表すことができれば、デザイン・プロセスそのものを、より優れたものへと改良することも可能となる。そこでデザイン知識を学ぶための教科書の作成を計画した。

つぎに (2) である。いざ演習を実施しようとしたところで、何をどのようにすればよいか分からない。であるから教育機関では「ものづくり演習」から先へと進めない。もちろん、ほぼ製作体験を持たない学生達にとって、製作するだけであっても大きな学習である。けれども、ものづくりを体験した上で、

製品開発のための手順を示し、そのプロセスに従ってデザインを体験すれば、より良いデザインを作るための能力につながると考える。

そこでデザインを始めるにあたって必要となるクライアント要求を見いだす演習、グループでの発想演習、メーカーでの製品開発に用いられている技法を用いた演習を計画した。

そして(3)であるが、今日の製品製造において、パーツやアセンブリ、そして最終製品の組立生産は国際分業となっている。このため、エンジニア業務には、英語でのやりとりが必須である。しかし、多くの学生は英語を苦手とし、とくに英作文では意味をなさない“英単語の羅列”を作りがちである。業務遂行のためには、せめて native speaker に直してもらえるレベルの英文を自力で作成できることが必要となる。そのため、工学分野に特化し、かつオンライン和英辞書的な使い方が可能なコーパスの開発を試みる。

### 3. 研究の方法

#### (1) デザイン・プロセスの解明

欧米においては多数のエンジニアリング・デザイン教科書がある。これに対してわが国では、わずかの翻訳書を数えるのみであった。研究代表者は、Nigel Cross, “Engineering Design Methods” を翻訳(邦題:エンジニアリングデザイン、培風館、2008)し、さらに他の教科書を調査したが、欧米の教科書で述べられるデザイン・プロセスは、日本メーカーにおけるプロセスとは相違があると考えた。学生の大多数は卒業後、日本のメーカーへと就職する。それならば、日本メーカーにおけるエンジニアリング・デザイン・プロセスを教示することが重要と考える。しかしそのプロセスを詳述した文献は見つからなかった。

そこで、開発に携わるエンジニアのインタビューを通じて、メーカーにおける開発プロセスを調査した。これまでに自動車、機械、設備、家電、半導体メーカーなど、のべ18社を訪問調査した。

#### (2) 演習開発

デザインにはアイデアの発想と、適切なアイデアの選定、そしてアイデアを設計情報へと集約するための技法を学ぶことが必要と考えた。そこで課題発見・解決法提案、ブレインストーミングとKJ法によるアイデア発想、グループによる合意形成のためのファシリテーションなどの技法演習を松江高専専攻科にて試み、改良を図った。

また、メーカーで用いられているデザイン技法として、TRIZ(発明的問題解決の理論)、VE(バリューエンジニアリング)、QFD(品質機能展開)などの開発技法、FMEA(故障モード・影響解析)、FTA(故障の木解析)などの信頼性技法の演習を実施し、演習内容の改善

を図った。

#### (3) オンライン・コーパスの開発

初学者のための、工学英文の自力作成を支援するオンライン・コーパス開発を試みた。コーパス(corpus)とはテキストのデータベースであり、これを用いることによって、大量に収集されたテキストデータから語(句)の用法や、語(句)同士の共起関係を調べることが可能となる。すでに British National Corpus や Brown Corpus などの大規模かつ有用なコーパスが存在するが、いずれも英単語を入力し、その用例を検索するシステムである。また、当然ながら、日本語の訳文は付いてこない。そこで、日本語から検索して英文例を表示する日英対訳コーパスシステムを試作した。

### 4. 研究成果

#### (1) 知識教材の開発

日本メーカーでのデザイン・プロセスには、以下の特徴があると考えた。

製品の性能向上と同時に、信頼性の向上に注力している。

そのため、ユーザやマーケットからはもちろん、生産工程からエンジニアリング・デザイン段階へのフィードバックを重視している。

ユーザからのフィードバック、サービス部門からの情報などにより、使い勝手、耐久性、使用環境への適応などの製品の改善に注力し、これが優れた品質につながっている。

デザイン・レビューDRをデザインの各段階で実施し、デザインの後工程へと伝えられる中間生成物の品質を確保し、最終製品の品質を高めている。

同時にDRによって先輩エンジニアの知識と技術を、若手へと伝承している。

反面、以下の弱点も見受けられた。

それぞれが担当する局所に特化する(しなければならぬ)ため、製品全体を見渡せるエンジニアが育ちにくくなっている。

製品全体を見通してのデザインができないために「局所最適化」に陥りやすく、全体としての最適化を軽視するおそれがある。

現時点での製品の機能向上、性能向上に注力するあまり、将来的な企画立案への見通しが弱い。

これらの分析をもとに、日本的プロセスの良い点を伝え、弱い点を改善するための議論を教科書(〔図書〕)に加えた。教科書の構成を以下に記す。

第1章ではエンジニアリングとは何かを議論し、エンジニアリングにおけるデザインにはどのような特徴があるかを分析した。

第2章では、クライアント要求を解き明かすことの重要性を議論し、そのための方法を

述べた。第3章では、設計情報をデザインするために設定すべき目標を検討し、必要となるクライアント要求の定義、環境条件と制約条件の解明について記した。第4章はアイデア発想として、まず機能から考える方法を紹介し、その方法のメリットを議論した。さらに発想法として、ブレインストーミング法とKJ法を説明した。

第5章では、メーカーにおけるデザイン・プロセスを紹介し、より優れた製品を完成させるための手順を議論した。第6章では、アイデアより設計情報を立案するための考え方であるTRIZとVEを紹介し、顧客の声(VOC)より製品の機能と仕様を定めるための方法としてQFDを、さらに製品の信頼性を高めるための技法としてFMEAとFTAを示した。

続く第7章は「失敗に学ぶ」と題して、なぜ失敗がデザインに紛れ込むのかを分析し、失敗を防ぐための考え方を議論した。

最終第8章は、優れた製品とは何かを考え、それを作るための方法について述べた。

## (2) 演習開発

知識教育と設計情報開発のためのPBL演習、デザイン製作演習を組み合わせたカリキュラムを〔雑誌論文〕に発表した。

製作演習では、目標となる製作物を課題として提示するのではなく、「島根県(および周辺地域の)課題を解決するデザイン提案」のように、困っている問題を見つけて分析し、提案がどのように問題を解決できるかを検討しながらプランニングできる演習課題を試みている。

デザイン技法としては、VE, QFD, FMEA, FTA演習を実施している。いずれの技法を演習する際にも、対象となる製品についての知識を十分にもっているか、ユーザと製造者それぞれの視点から分析できるかが重要となる。いくつかの製品を用いたが、身近であり、分解して構造を把握できることから、最近では、修正テープとヘアドライヤーを対象としている。

失敗学における個別事例から共通する因果関係を見つけ出して「上位概念」として知識化し、その知識を取り組んでいるデザインへと展開する思考法は、トレーニングを繰り返さないと使えるようにならない。新聞などでの事故記事は、直接の原因までは述べるが、そこに至った因果関係を上位概念として整理して他のデバイスやシステムへと展開する失敗学の考え方は学べない。そこで、事故などの失敗事例を調査し、その原因を把握し、直接原因より上位概念を抽出する失敗調査分析PBLを試みている。抽出した上位概念を、異分野の失敗事例に適用しようとするトレーニングである。

しかし上位概念の抽出は簡単ではなく、抽出に至れる学生は多くはない。今後の演習技法の改善を必要とするが、製品の信頼性を高めるためには有用な考え方であり、必要な

PBLと考える(〔雑誌論文〕)。

## (3) オンライン・コーパスの開発

学内での研究発表会の日本語予稿集より、頻出する動詞200を選び、これらの動詞の用例を海外の文献、コーパスより収集した。その品詞や、検索対象となる語やその共起関係を確認し、和訳を準備し、システムを試作した(〔雑誌論文〕)。しかし、学生は日本語で思いついた動詞をそのまま和英検索しようとするため、多様な和訳を用意できていないため、システムの有用性検証に至っていない。たとえば「利用する」と思いついた学生は、この語でのみ検索し、「用いる」「使用する」「応用する」などの類義語を考えない。このため、和訳が「用いる」となっている用例が検索されない。システムの再検討を行っている。

## <引用文献>

JABEE, エンジニアリング・デザイン教育の改善に向けて、2009

藤本隆宏、日本のものづくり哲学、日本経済新聞社、2004

ABET, Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2011-2012

マイケル・L・ダートウズ、リチャード・K・レスター、ロバート・M・ソロー、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  
藤田喜久雄、松尾崇宏：製品開発における手法やツールの活用状況の調査と分析、日本機械学会論文集(C編)72-713、pp.290-297、2006

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

別府 俊幸、原 元司、箕田 充志、浅田 純作、田邊 喜一、幸田 憲明、エンジニアリング・デザイン能力を高めるためのPBL、工学教育、65(1)、pp.32-39、2017、査読有

M. Hara, T. Beppu, K. Tanabe, J. Asada, K. Yamane, N. Kouda, A. Minoda, Active and Interactive Learning Activities in Matsue College, Trans. 10th Intern Symposium on Advances in Technology Education (ISATE), 10, pp.1410-1412, 2016, 査読有

別府 俊幸、原 元司、エンジニアリング・デザイン教育に必要な失敗学、工学教育、63(5)、pp.18-22、2015、査読有

S. Matsuda, T. Beppu, et al., Developing an online corpus and teaching materials for writing technical papers in English, Trans. 9th Intern Symposium on Advances in Technology Education (ISATE) 2015, pp.106-109, 2015.9、査読有

〔学会発表〕(計3件)

別府 俊幸、製品・システム企画開発設計のための新しいエンジニアリング・デザイン教科書、第12回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」予稿集、日本工学教育協会、2018.3

別府 俊幸、片山 優、青代 敏行、ロボコンによるデザイン能力評価、平成28年工学教育研究講演会講演論文集、pp.290-291、2016.9

別府 俊幸、原 元司、エンジニアリング・デザイン教育に必要な失敗学教育、平成27年工学教育研究講演会講演論文集、pp.322-323、2015.9

〔図書〕(計1件)

別府 俊幸、エンジニアリング・デザインの教科書、平凡社、2018、254ページ

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.matsue-ct.jp/senkoka/index.php/mainmenu-introduction/mainmenu-engineering-engineer>

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・電気情報工学科・教授

研究者番号：30181481