

[事業報告]

デザイン工学の教育手法と模擬実践教育

森田 廣

山陽小野田市立山口東京理科大学 工学部 電気工学科

Education Method and Simulated Practical Teaching of Engineering Design

Hiroshi Morita

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sanyo-Onoda City University

Abstract

Based on the experience of manufacturing in the company over the years, I have developed the engineering design curriculum of the university. This curriculum includes the learning of the wide range of practical science policy, knowledge science methods (Drill down tree, Customer value chain analysis, SWOT analysis, Quality function deployment, Failure mode and effect analysis, Inventive problem-solving theory, Brain storming and so on) and the simulated study. Through these, students can do a simulated experience of manufacturing in the second half of the semester.

キーワード：デザイン工学、教育手法、模擬実践教育

Key words : engineering design, education method, simulated practical teaching

1. デザイン工学の教育背景

わが国の高等教育機関での工学教育が世界水準にあるとして国際的に認知されるためには「デザイン工学 (Engineering Design)」教育の充実が必要であると、米国の技術者教育認定組織である ABET から JABEE に提示された。以来、国内で工学分野の JABEE 履修コースを持つ大学ではデザイン工学の教育方法への種々のアプローチが行われてきた。しかし、いまだ標準的な教育内容や指導書はないと著者は認識している。

そもそも JABEE におけるデザイン工学の定義とは、「必ずしも解が一つでない課題に対して、種々の学問・技術を利用して、実現可能な解を見つけ出して行くこと」であり、そのために必要な能力がデザイン能力である、としており、これはわが国の従来の工学教育の中では明確には謳っていない考え方であった。

近年、実業としての工学の成果において、目を見張るものが国内にあったにもかかわらず、昨今は、ものづくり産業の様々な分野で他の国に追いつかれ、分野によっては追い越されてしまったといわれる。その一因に「デザイン工学」に象徴される知識科学の裏付けや体系化が遅れ、指導的地位に於いては、欧米に後塵を拝している事実がある。こうしたことが、日本のエンジニアをして、国内や日本企業でしか評価されない、いわば「ガラパゴス技術者」と揶揄された一因であるといっても過言ではない。

2. 教育の狙いと方法

「デザイン工学」とは、「要求されるニーズに適合する技術、システムまたは製品、部品・材料、あるいは工程、サービスを作り上げる一連のプロセス」を扱う学問である。従って、対象範囲は広く、「新規な要求に対し、イメージを描くブレ企画から、コンセプトを創出し具体的に開発決定するまでの企画段階、アイデア創造と選択、計画立案して狭義の設計に続くフィージビリティスタディ、必要な研究段階を経ての技術開発、製品設計段階、工程開発、少量生産、量産、流通、ユーザーの手に渡り使用され廃棄されるまでの流れを完遂する上で必要なすべてを扱う、デバイスやシステムのライフサイクルそのものをデザインすること」である。

もの作りの流れとそれらをほぼ全域カバーするデザイン工学の対象とする範囲を Fig.1 に示す。すなわち、デザイン工学とは、もの作りや一連の行動に対する首

尾一貫した知識科学であるといえる。

これらを学生に身に付けさせるために、基本的な考え方と共に、簡単な個人演習により必要な手法を教え、次に、それらを駆使した模擬的なグループ実践演習を導入した。仮想的なものづくりや行為を想定して、数週間で、数人の学生達が団結・協力してそれを成し遂げる教育手法である。

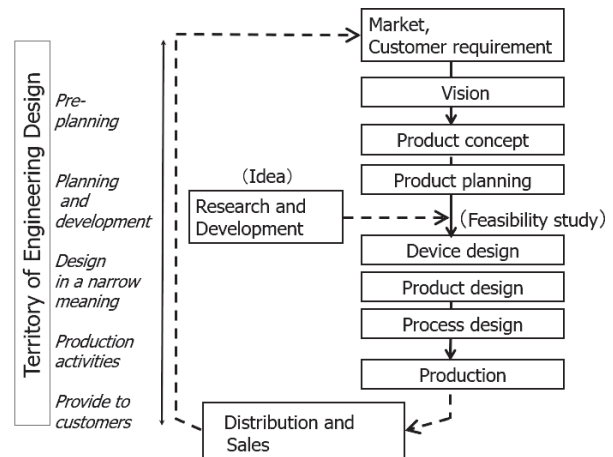


Fig.1. Flow of making things and engineering design scope.

3. カリキュラムの全体像

2011～2019 年度の後期に 9 回に渡り、工学部電気工学科の 3 年生に 90 分 × 15 回の授業を行い、16 回目を発表会・評価の場とした。当初の 3 年間は試行錯誤を繰り返したが、4 年目からは Fig.2 に示す一定のカリキュラムに落ち着いた。

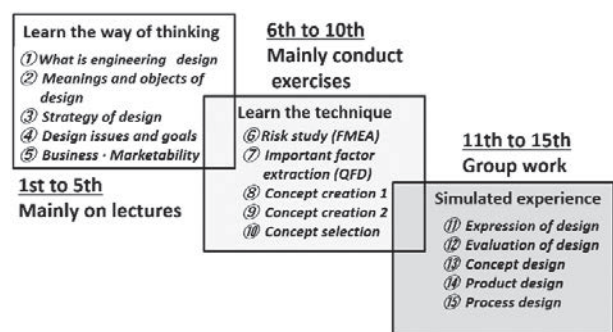


Fig.2. 15 lecture steps and contents of engineering design.

毎週実施の 15 回中、最初の 5 回で、デザイン工学の基礎知識習得として、定義と対象、戦略性、課題と目標、事業性・市場性等を学ぶ。次の 5 回で、リスクスタディ、キーファクターの抽出、コンセプトの発掘

と評価、デザインの表現と評価を学びながら有用な手法を演習形式で身につける。最後の5回で、数人のグループに分かれ、テーマを決めて、コンセプトデザイン、プロダクトデザイン、プロセスデザインの順に様々な手法を駆使して内容を掘り下げ、まとめる。最終回にはグループ発表を行い、この出来栄を学生に評価させ順位を決める。各グループでの活動に対する貢献度の個人別評価も学生に行わせ、総合得点で成績評価をする。

4. 模擬実践教育につなげる教育の実際

この教育方法の特徴的な部分が「模擬実践教育」である。本来は授業で学んだ手法を実際のもの作りや行動で実践しながら身につける OJT (On the job training) が理想の姿であるが、限られた期間と場所で行う大学の教育では、これがかなわないところから発案したものがこの手法である。筆者の企業での開発経験を元に、2011年度から8年間、試行錯誤しながら構築した内容 (Fig.3) について述べる。

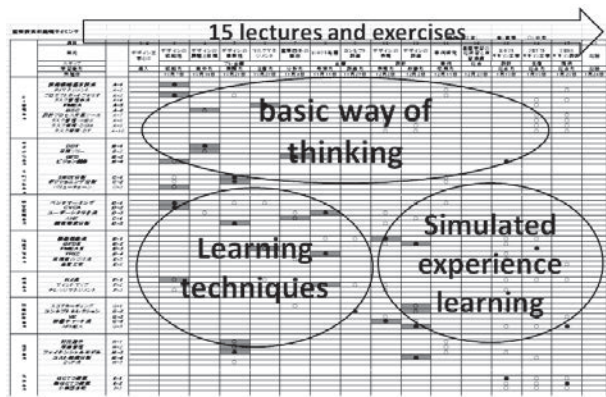


Fig.3. Lecture planning and education method.

まず準備として、2回目の授業で将来の夢や進みたい道、希望の職業を書かせる。3年次の後期の授業なので、全員が希望の進路や職業を提出する。それを仕分けして数人ずつのグループを作る。3~5回目に毎回、授業の最後に時間をとり、「将来の夢」「あるべき姿」を話し合わせ、グループとしての共通テーマを決める。

先立つグループ編成では、将来の希望進路の似た学生同士を組み合わせたり、逆に、異なる希望進路の学生を組み合わせたりしてみたが、総じて、前者のほうが、より深い検討がなされ、成果物もまとまった結果となったので、現在は、「電気主任技術者」「通信技術者」「情報関係」など、同じ進路を目指す学生が一緒にな

るようなグループに分けている。とはいえ、一定の範疇に収まらない学生たちも毎年必ずいるので、特徴ある成果を期待して、1チームは混成チームとして認めることとしている。

6~10回目の手法演習は、グループのテーマに関連したもので行う。そして、最後の11~15回が模擬実践の場であり、グループ毎、各テーマについて、コンセプトデザイン、プロダクトデザイン、プロセスデザインの順に、「DDT (Drill Down Tree)」「CVCA (Customer Value Chain Analysis)」「SWOT分析」「QFD (Quality Function Deployment)」「形態チャート」「FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)」「TRIZ (トウリーズ：発明的問題解決理論)」などを駆使して「KJ法」や「BS(ブレインストーミング)」で「商品イメージ (ソフトウェアやサービスでも良い)」を描き、課題を見出しつつ、「図面」「仕様書」「プロセスフロー」「作業手順書」を完成し、「もの」や「しくみ」の仮想構築を体験する。

Fig.4は各ステップで用いるよう指示する主なツール、Fig.5は各ステップで作り上げる成果物である。これらの成果物は16回目に行う各グループの発表に用いる。

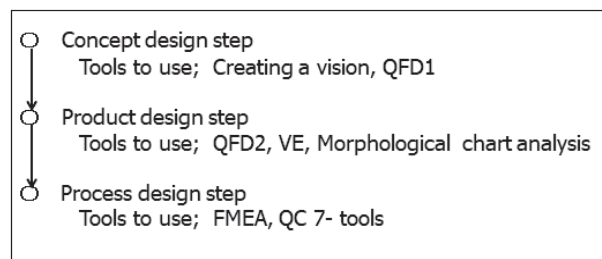


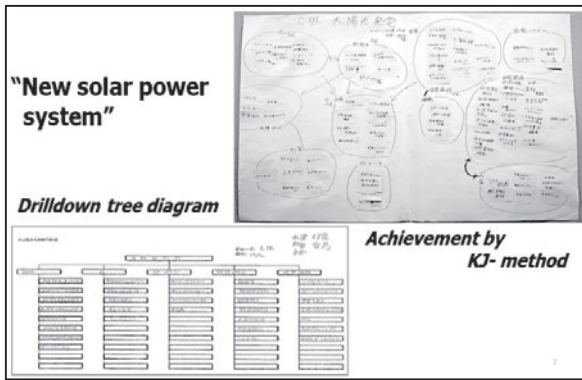
Fig.4. Main tools used in each step

<p>① Concept design Pre-design of specific target (products, technology, system, service)</p> <p>"Product image" "SWOT table" "simplified QFD"</p>	<p>② Product design Specific product design of target</p> <p>"Drawing of product" "Specification sheet" "Morphological analysis chart"</p>
<p>③ Process design Process design for how to realize and create</p> <p>"Process Flow" "Work Procedure for Main Operations" "Simplified FMEA"</p>	<p>④ Presentation and evaluation Evaluation of everyone participating in the class</p>

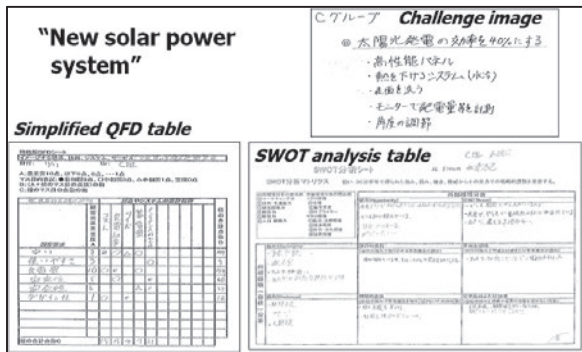
Fig.5. Results required in each step.

学生たちが実際に作成した例を Fig.6 (a)~(d) に示す。この例では、新しい太陽光発電システムの設置 ("Installation of new solar power system") をテーマ

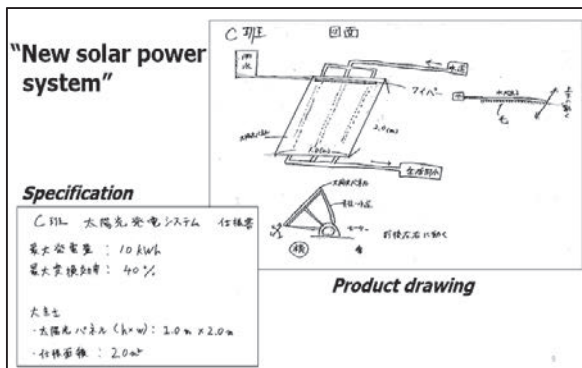
に、KJ 法を用いて課題を抽出し、DDT にまとめ、QFD や SWOT 分析を駆使して自分たちのアイデアを練り上げ、概念図を示し、仕様を決め、作製のプロセスを検討し、さらに FMEA によるリスク分析を行っている。



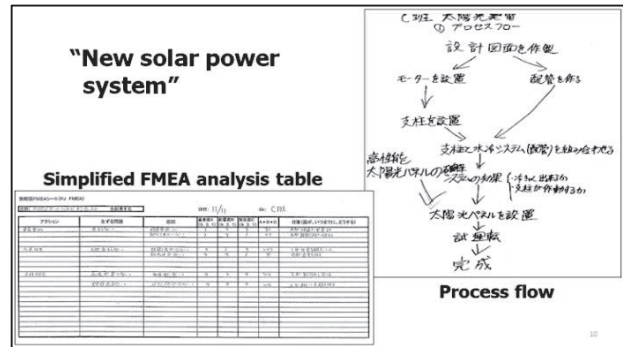
(a) Extraction of tasks by KJ method and DDT.



(b) Challenge image, QFD and SWOT analysis.



(c) Product drawing and specification.



(d) Process flow and simplified FMEA table.

Fig.6. Examples of student achievement.

5. 教育の評価

最後に「世に問う」として、Fig.7 に示すように、各グループ 15 分程度の発表と 5 分間の質疑応答を行い、互いに批評させる。

発表にはあらかじめ、前章で説明した成果物を Fig.8 のように、教室の壁に貼り出して準備しておく。



Fig.7. Group presentation scenery.



Fig.8. Achievements of group work.

各グループは事前に何度も発表の練習を行うが、その過程で他グループからの質問対策や資料の手直しを行いながら発表の質を高める。本番の発表会には、メモ用紙を手にした受講者全員が参加して、それぞれに評価を付ける。このときの一連の評価を元に各人が最もよい仕事（一連の作業と発表）を行ったと思われるチームを選び、その理由を明確にしておく。また、各グループの作業での最大の貢献者についても候補者を挙げておく。最終的に学生の評価結果を元にグループの順位を決めるが、これまでの経験では毎回、筆者の評価とも一致した。

結果は構内の掲示板に貼り出して公表する。学生たちがこれを眺めて一喜一憂しているのを見るのも筆者のひそやかな楽しみである。こうして、「グループ評価」と「個人評価」の合計得点で個人の成績評価を決めているが、このプロセスの詳細を次に示す。

Fig.9. Description sheet for learning evaluation.

Fig.9 は発表会後の時間に行う、発表の評価を兼ねた試験の記述用紙である。

問1は「グループ発表」部分の評価である。各々の学生の属するグループの獲得した順位に相当する得点と、その学生が1位に選んだグループの選定理由の記述の表現力に筆者がつけた得点の合計である。

問2はグループでの活動への貢献度を評価する部分である。グループ全員の寄与度集計結果から、そのグループの中で、貢献度の高い人に高い点がつき、この選定理由に対しても記述の表現力から筆者が評価したものとの合計点となる。

さらに、問3はスキルを問うもので、習ったツールについて質問に答える記述問題で、一定のルーブリックに従って筆者が採点する。これら全ての問の合計点で個人評価をつける。

本科目のようなグループの演習を中心とした学習では個々の学生の評価をいかに行うかが議論となることが多い。筆者が9年にわたり試みてきた結果、現在では学生や教員からの評価も一定化しており、この手法は、グループで行うPBL教育などでも活用できる個人評価法だと感じている。

6. 卒業研究での手法活用

ある年度に、筆者の研究室に配属となった学生たちに、教育効果を高めるために、デザイン工学で学んだ手法を駆使して研究テーマの絞り込み作業を行わせた。一連の作業で作成した表を Fig.10 に示す。

著者の研究対象である「環境調和型電子デバイス (environmentally harmonized electronic devices)」に関する“(a) 階層図 (hierarchy diagram)”を作成し、次に“(b) 目標重み付け法による研究分野の選択表 (selection table of research field by target weighting method)”により研究分野を選択し、さらに項目を掘り下げて“(c) 重み付け法による研究分野の絞り込み再選択表 (narrowing-down reselection table for research fields by weighting method)”を作成した。

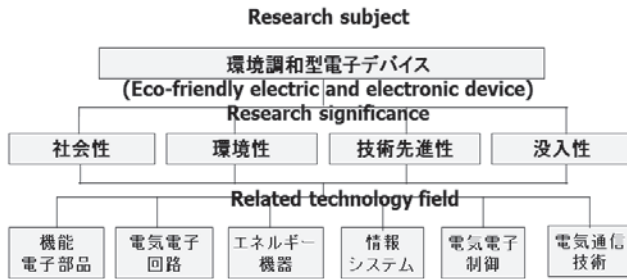
次に、絞り込まれた研究分野のデバイスコンセプトを構成する“(d) 要素技術のドリルダウン表 (drill-down of technology elements that make up the functional window)”を作り、その結果を参考にして、テーマとして選んだ“(e) 機能性窓の形態要素解析表 (morphological element analysis of smart window)”を作成した。

そこから卒業研究期間で研究を遂行できることを条件として“(f) 卒研対象機能性窓の構成要素表 (element configuration of smart window.)”を得た。

学生たちはこれらの結果に沿った卒業研究を行い、卒業論文にまとめて社会に巣立った。他にも、この方針に沿ってテーマを選定した数人の学生が卒業研究を終了し社会に出ていった。今後、社会人として種々の場面で、学んだ手法に磨きをかけ、活用して活躍してくれることを願う。

なお、“(e) 機能性窓の形態要素解析表 (morphological element analysis of smart window)”については、“(g) 中期的に達成可能な要素構成表

(element configuration of super smart window)”, “(h) 最終的に達成させる要素構成表 (element configuration of hyper smart window)” も作成し、後輩卒研究生や院生が、これに基づいた研究を継続中である¹⁾。



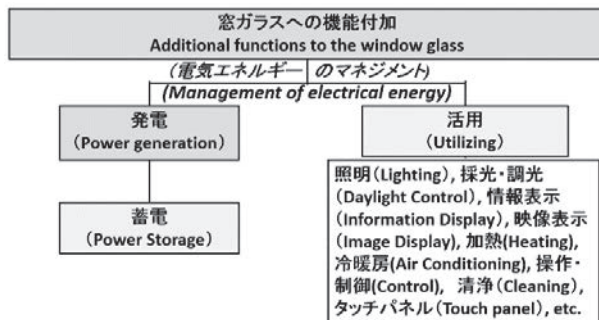
(a) Hierarchy diagram of environmentally harmonized electronic devices.

実現の場		移動体	住空間	屋外
		(電気自動車)	(屋根・窓・壁)	(広告・表示・標識)
コンセプト	[重み]	超高機能電気自動車	超高機能付ガラス窓	超高機能屋外大型ディスプレイ
社会性	3	9(3)	9(3)	9(3)
環境性	3	9(3)	9(3)	6(2)
技術先進性	3	6(2)	9(3)	6(2)
没入性	1	3(3)	3(3)	1(1)
技術基盤	3	3(1)	9(3)	6(2)
合計		30	39	28

(b) Selection table of research field by target weighting method.

目標項目	目標重み	機能電子部品	電気電子回路	エネルギー機器	情報システム	電気電子制御	電気通信技術
社会性	3	9(3)	9(3)	9(3)	9(3)	9(3)	9(3)
環境性	3	6(2)	3(1)	9(3)	3(1)	6(2)	3(1)
技術先進性	3	9(3)	6(2)	6(2)	6(2)	6(2)	6(2)
没入性	1	3(3)	1(1)	3(3)	2(2)	1(1)	1(1)
縦合計		27	19	27	20	22	19

(c) Narrowing-down reselection table for research fields by weighting method.



(d) Drill-down of technology elements that make up the functional window (smart window)

Power generation	Solar Power (transparent)	Solar Cell (colored)	Commercial Power
Sunlight Control	EC phenomenon	LC DS mode	Blinds, Curtains
Lighting	EL(transparent)	LED	None
Heating	ITO heater	Hot wire	None
Display (Information)	OLED(transparent)	LCD(transparent)	None
Electrical control	Built-in transparent thin-film circuit	External circuit	None
Operation	Transparent touch panel	Sensor-type external circuit	External circuit
Surface cleaning	Photo-catalyst (visible light)	Photo-catalyst (UV)	Cleaning by hand

(e) Morphological element analysis of smart window.

Power generation	Solar Power (transparent)	Solar Cell (colored)	Commercial Power
Sunlight Control	EC phenomenon	LC DS mode	Blinds, Curtains
Lighting	EL(transparent)	LED	None
Heating	ITO heater	Hot wire	None
Display (Information)	OLED(transparent)	LCD(transparent)	None
Electrical control	Built-in transparent thin-film circuit	External circuit	None
Operation	Transparent touch panel	Sensor-type external circuit	External circuit
Surface cleaning	Photo-catalyst (visible light)	Photo-catalyst (UV)	Cleaning by hand

(f) Element configuration of smart window. (Research results achievable in the short term)

Power generation	Solar Power (transparent)	Solar Cell (colored)	Commercial Power
Sunlight Control	EC phenomenon	LC DS mode	Blinds, Curtains
Lighting	EL(transparent)	LED	None
Heating	ITO heater	Hot wire	None
Display (Information)	OLED(transparent)	LCD(transparent)	None
Electrical control	Built-in transparent thin-film circuit	External circuit	None
Operation	Transparent touch panel	Sensor-type external circuit	External circuit
Surface cleaning	Photo-catalyst (visible light)	Photo-catalyst (UV)	Cleaning by hand

(g) Element configuration of super smart window. (Research results achievable in the medium term)

Power generation	Solar Power (transparent)	Solar Cell (colored)	Commercial Power
Sunlight Control	EC phenomenon	LC DS mode	Blinds, Curtains
Lighting	EL(transparent)	LED	None
Heating	ITO heater	Hot wire	None
Display (Information)	OLED(transparent)	LCD(transparent)	None
Electrical control	Built-in transparent thin-film circuit	External circuit	None
Operation	Transparent touch panel	Sensor-type external circuit	External circuit
Surface cleaning	Photo-catalyst (visible light)	Photo-catalyst (UV)	Cleaning by hand

(h) Element configuration of hyper smart window. (Research results to be finally achieved)

Fig.10. A certain graduation research policy directed by engineering design.

7. 最後に

著者は某電気会社において、新製品の企画、研究開発、設計からプロセス・生産活動、事業化と、一連のものづくりを経験し、その中で様々な手法を会得し改善してきた。その精神や具体的方針が、「必ずしも解が一つでない課題に対して、種々の学問・技術を利用して、実現可能な解を見つけ出して行くこと」という思想のもとに始められたデザイン工学の主旨にかなうのではないかと直感した。

その後、周囲の先生方と議論を重ねて作り上げたのが本学のデザイン工学である。はじめてから今年度で9年目になるが、この間、学会講演会の教育関係のセッションでも何回かご報告させていただいた²⁻⁵⁾。その都度、多くの先生から有益なご教示をいただいた。

こうして実践してきた教育を受講した学生たちの中には既に社会に出て第一線で活躍しているものもあり、どのくらい彼らに役に立っているのかを是非調査してみたいと思っている。

これから我々が世界の中での「ものづくり大国」を維持、発展させていくためにはこれまで以上に IT 化や AI の活用を推進していかなければならない。加えて、技術者、研究者ひとりひとりの効率的なものの考え方、それを実行できる最低限のツールを、できれば、大学時代に習得しておきたいと考える。デザイン工学の授業がその一助となることを願う。

この科目はまだまだ未成熟であり、世の中の進歩とともに改善していかなければならないので、皆様のご批判やご意見を今後も継続していただければと思う。

文 献

- 1) Hiroshi Morita, Hiroyuki Yoshida : “Super Smart Window --Its Energy Design and Some Early Research”, Proceedings of International Display Workshop 2014, Niigata, The Society for Information Display, MEET4-4(2014.12.4).
- 2) 森田廣 : 「デザイン工学の教育手法」、平成 25 年度電気学会 基礎・材料共通部門大会、講演番号 12-B-p-1(2013-9).
- 3) 森田廣 : 「デザイン工学の模擬実践教育」平成 26 年度電気学会 基礎・材料・共通部門大会、講演番号 21-C-a2-1(2014-8).
- 4) 森田廣 : 「デザイン工学の教育評価」平成 28 年度電気学会 基礎・材料・共通部門大会、講演番号 5-F-a2-1(2016-9).
- 5) 森田廣 : 「デザイン工学による卒業題目の選定」平成 29 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会、講演番号 20-D-a1(2017-9).