

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：51601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750071

研究課題名(和文)電気系技術者を対象としたロバストデザイン教育のための実習教材の開発

研究課題名(英文)Development of practical teaching materials for robust design education for electric engineers

研究代表者

植 英規(Ue, Hidenori)

福島工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：90586851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：製品の使われ方や環境などによらず安定した機能を発揮する設計を実現するためのロバスト設計について、製品開発の機会や経験のない学生や若手技術者に対する効果的な教材開発を実施した。本研究では、測定データのばらつきの可視化と統計計算を容易に行うための計算システムを開発し、また、計算機実験によって短期間に複数回の実習を行うための教育手順の構築や、事前に実施するディスカッションを主とする演習の構築を行った。実践とアンケートなどによる検証の結果、本研究で構築した教材と教育手順がロバスト設計教育に有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this work, the stability of product's function against uncontrollable factors for designers was focused and it is called robust design. Examples of uncontrollable factors are usage environment and individual differences and so on. The purpose of the work is to develop effective teaching materials of robust design for students and young engineers who have no opportunity or experience in product design. In this work, the statistical calculation system was developed and by this the experiments of robust design iteratively performed. Furthermore, the education procedures for discussion based exercise was constructed and performed to understand the overview of robust design. As a result of verification by a questionnaire, it was confirmed that the education materials and procedures developed by this work are effective for students and young engineers.

研究分野：工学教育

キーワード：ロバストデザイン 若手技術者 技術者教育 導入教育

1. 研究開始当初の背景

企業などで市場に送り出すための製品設計を行う場合、つくられた製品には、製造ばらつきや長期使用による劣化、さらには温度や湿度などの使用環境の違いがあっても常に安定した性能を発揮する“ロバスト性”が強く求められる。そのため、設計者はロバスト性の高い設計（ロバストデザイン）を行うための考え方や設計手法を身につけることが重要である。本研究では、ロバストデザインを実現させるための手法として、品質工学分野で提唱されているパラメータ設計に着目している。

企業でのロバストデザイン教育の場合、実際の製品設計を行いながら行われる OJT (On the Job Training) が広く用いられている。しかしながら、OJT による教育は、実際の製品開発テーマを持たない技術者や、その機会がない学生には適用することができない。そのため、ロバスト設計の効果的な導入教育のためには、OJT によらない手法の確立が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、電気系の学生や若手技術者など、具体的な開発テーマを持たない対象者を想定して、ロバストデザインの導入教育を行うための効果的な教材を開発することを目的とする。特に、導入教育においてはロバストデザインに必要な統計計算の詳細を理解するよりも、考え方の全体を俯瞰して理解することが重要であるという考えに基づき、以下の2項目について重点的に実施する。

- (1) 煩雑な統計計算を容易に実施することができる計算システムの構築
- (2) ロバストデザインの重要性を実感させることができる教育手順の構築。

構築した計算システムや教育手順は、実際に学生に対する教育の実践とアンケート調査によってその効果を検証する。

3. 研究の方法

本研究におけるロバストデザインは、設計対象の機能をばらつかせる“誤差因子”の影響を、設計パラメータである“制御因子”の最適な組み合わせによって低減させることによって実現させる。制御因子と誤差因子の組み合わせが膨大になるため、通常は直交表を用いた比較的小数回の組み合わせ実験を行った結果から、誤差因子の影響に対する制御因子の効果（要因効果）が推定される。本研究では、要因効果の計算は重要ではあるものの機械的な作業であり、ロバストデザインの導入教育として重要な要素ではないと考え、測定値のばらつきや要因効果を自動的に可視化する計算システムを構築する。

実際の実習に使用することを考慮し、計算システムは、任意の PC 上で動作するように、Windows, Mac OS, Linux の各 OS 上で共通に

動作するようにソフトウェアを開発する。

また、ロバストデザイン教育の実習方法としては、表1に示すような3つの分類に基づいて教育手順を構築し、それぞれ実際の教育効果の検証を行う。なお、本研究での取り組みは、実習形式での教育を主とすることを想定しており、座学での学習は統計計算の基礎に関するものなど、実習内容を理解するための最低限度にとどめている。また、本研究期間で試行する教育手順は、高専の本科2年生あるいは4年生に対して実施し、アンケートにより効果の検証を行う。

表1 教育手法の分類とねらい

No.	分類	ねらい
1	実際の製作に基づく方法	能動的態度の醸成し理解を深める
2	ディスカッションを主とする方法	深く考えさせ、重要性を認識させる
3	計算機実験による方法	短時間の実習を繰り返すことで理解を深める

4. 研究成果

(1) 計算システムの構築

開発した計算システムによって可視化した実験データのばらつきを図1に、SN比と感度の要因効果図を図2にそれぞれ示す。同図は、直交表 L₁₈ を内側直交表として制御因子を割り付け、直交表 L₈ を外側直交表として誤差因子を割り付けた結果である。これは、18種類の制御因子の組み合わせに対して、8種類の誤差因子の組み合わせの実験を行ったものであり、実験回数は 18×8=144 回である。18種類の制御因子の組み合わせにおける実験データのばらつきから、以下の式により望目特性の SN 比 η と感度 S を算出した。

$$\eta = 10 \log_{10} \frac{m^2}{\sigma^2} \quad [db] \quad (1)$$

$$S = 10 \log_{10} m^2 \quad [db] \quad (2)$$

ここで、mは測定データの平均値、σは標準偏差である。これらの式は、品質工学で従来から提案されている形とは異なるが、統計的知識の少ない学生等を対象とするため、理解が容易な形を採用した。

(2) 各教育手法の実施と検証結果

① 実際の製作に基づく教育手順の構築と効果の検証

紙コプターやミニソーラーカー、スタタパルトなど、工作レベルの製作物を直交表 L₁₈ に基づき設計することで、ロバストデザインを体験させる教育を行った。本教育手順を実施した結果、学生は当初のねらい通りにモノづくりに集中して取り組む様子が見られた。しかしながら、例えば、直交表 L₁₈ に基づいて18種類の製作物を手作業で完成させるには

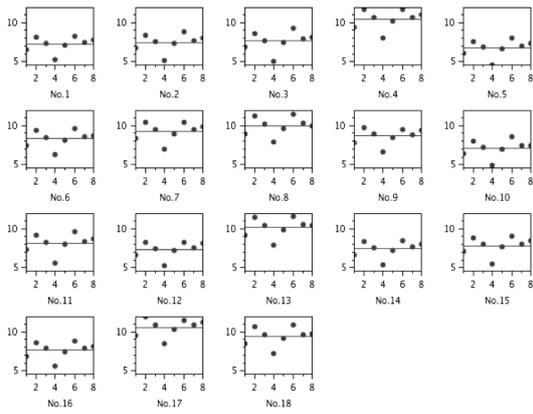
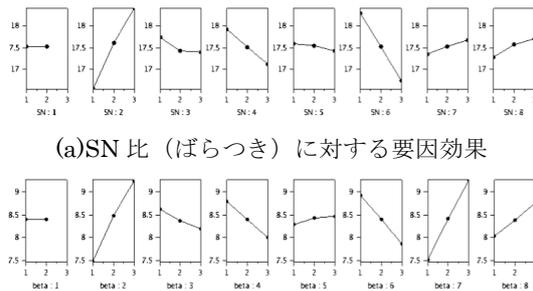


図1 測定値ばらつきの可視化例 ($L_{18} \times L_8$)



(a) SN比 (ばらつき) に対する要因効果
(b) 感度 (平均値) に対する要因効果

図2 要因効果図の例

非常に多くの時間を要し、限られた授業時間ではロバストデザインの実習を繰り返し実施することはできなかった。また、実際のモノづくりを伴う場合は、必ずしも再現性の高い実験結果とはならず、「成功体験」によってロバストデザインの効果を実感させることはできない場合もあった。授業期間終了後の学生へのアンケートによれば、モノづくりの大変さ、実験のゲーム的な楽しさを申し出る学生が多く、また、多くが直交表による実験数の削減 (L_{18} では4374通りの実験を18回に集約)に大きな衝撃を受けたことがわかった。そのため、実際の製作に基づく教育手順のみでは、直交表の印象が強すぎて、ロバスト性の重要性を認識させることは困難であることが確認された。

② ディスカッションを主とする教育手順の構築と効果の検証

はじめにブレインストーミング (BS) 法や KJ 法といったアイデア創出法を学び、「買って良かったと感じる製品とはどのようなものか」などの複数の問いに対するディスカッションを通じてロバストデザインの重要性を認識させる教育手順を実施した。本手法は BS 法や KJ 法を行うことによって自分自身の思考を整理することが目的であり、実際のモノは製作しない。そのためロバストデザイン手順の学習を行うことはできないが、ディスカッションによって製品のロバスト性が重要であるという結論に学生自らが到達することができた。アイデア創出手法の事前学習や、実際のディスカッション時間の最適化

は必要であるが、本教育手順は製品開発の実務経験の無い学生に対するロバストデザイン教育に重要な役割を果たすことが示唆された。

③ 計算機実験による教育手順の構築と効果の検証

電気回路を設計対象とし、回路シミュレータを用いて直交表による実験を繰り返すことで最適条件を探索していく教育手順を構築した。回路シミュレータでは、あらかじめ直交表の組み合わせ実験の手順をプログラミングしておくことで、 $L_{18} \times L_8 = 144$ 回の実験を自動で行えるよう工夫した。本教育手順においては、時間を要する製作の作業が無いため、制御因子や誤差因子の検討と、それらの水準幅の設定、さらには要因効果図からの最適条件の検討が中心となる実習内容となる。実際の教育を実施した結果、実験を繰り返すことで、電気回路のロバスト性 (回路素子のばらつきに対する出力信号電圧の安定性) が次第に向上していく様子を学生に体感させることができた。学生へのアンケートからも、SN 比 (ばらつき) を改善しながら感度 (平均値) をねらいの値に調整することの難しさを実感している様子が確認できた。これより、ロバストデザインの教育のためには、比較的短時間で実施できる実習を複数回繰り返すことが有効であることが確認された。

(3) 本研究で到達したロバストデザインの効果的な教育手順

前述の①から③までの検討結果を踏まえ、図3に示す教育手順を構築し、効果の検証を行った。

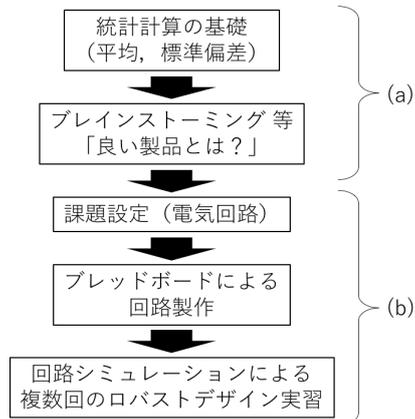


図3 ロバスト設計教育の手順

同図(a)は、ロバストデザインの導入として実施する基礎学習部であり、前述の②で示したディスカッションによる教育手順を含んでいる。また、(b)は電気回路を設計対象として実際のロバストデザインの手法を学ぶ実習である。ここでの実習の中心は、前述の③で示した計算機実験によって複数回の実習を行うものである。また、(b)の手順では、前述の①で示した実際の製作を行う手順も含めている。すなわち、ロバストデザインの実習

を行うにあたって、ブレッドボード上で実際の回路製作を行い出力電圧の値やばらつきの測定を行った上で、制御因子や誤差因子を選定し、計算機実験に基づく手法を実施する。一度ブレッドボード上で実際の回路を製作する作業を経ることで、学生により現実感を持たせることをねらっている。

本教育手順を学生に対して実施し、実習後にアンケート調査を行った。対象とした学生の人数が少なく結果を統計的に分析することができないため、アンケートの自由記述欄の内容から学生の理解度等を確認した。一部を以下に抜粋する。

<自由記述欄からの抜粋>

- 実習では、誤差因子と制御因子について検討することが強く印象に残った。
- 回路を組んだ後でばらつきを考えたことはなく、これまでの実験等でも習ったことはなかったのでも印象的だった。
- SN 比を改善しようとして制御因子のパラメータを変えた結果、目的の電圧から離れてしまったので、ばらつきを抑えることの難しさを感じた。
- SN 比を大きくしようとすると、電圧が目標値から遠ざかることが多くなってしまいうので、要因効果を考えてうまく調整していくことが大切だと思った。
- 電圧値のばらつきをシミュレーションで求めることができることに驚いた。
- 電圧値のばらつきの程度を SN 比で求め、要因効果図からばらつきを小さくする条件を見つけるという方法に驚いた。
- これまでは、製作した回路のばらつきについて具体的に知る機会はなかった。

学生のコメントには、ロバストデザインで重要な「制御因子、誤差因子」「SN 比を改善する」「要因効果」などの言葉が含まれており、本実習がロバストデザイン教育に一定の効果があることが確認できた。

本教育手法では、最初に実際の回路製作を行った上で計算機実験の計画を立案させたことで、制御因子や誤差因子の検討がより現実的になった。これによって、実習の結果として、出力電圧が目標値にほぼ一致し、かつ、ばらつきの影響が少ない条件を素早く見いだすことができたことは注目すべきことだと考えている。図 4 にその様子を示す。同図に示すように、SN 比が低い（ばらつきが大きい）条件、SN 比が高い（ばらつきが小さい）条件、目標値に平均出力を合わせ込む条件など、数時間の実習によって、制御因子（抵抗や電源電圧）の値を自在に組み合わせることが可能となった。なお、同図のエラーバーはモンテカルロシミュレーションにより求めた出力電圧の標準偏差であり、SN 比等もこの結果から算出している。

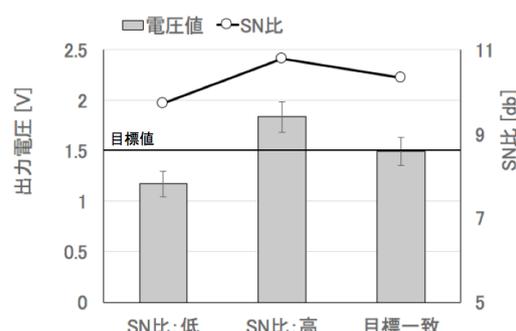


図 4 ロバストデザイン実習の結果例 (目標電圧 1.5[V]として実施したもの)

(4) 本研究の成果のまとめ

表 1 に示した 3 つの分類に基づいた教育手順を構築し、それらの実践結果から効果的なロバストデザインの教育手法を開発することができた。特に、ディスカッションを主とする方法を取り入れることによって、導入教育としての効果の向上が確認されたことは、当初想定していなかった成果である。また、本教育手順を限られた時間内で実施するために、統計計算を容易に実施できる計算システムが重要な役割を果たすことが確認された。

今後は、本教育手順の適用件数を増やすとともに、電気系以外の専門性を有する学生や技術者に対する教材開発を行うことが必要である。

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)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 植英規：電気系学生に対するロバスト設計教育の実践，電気学会教育フロンティア研究会，2017年3月4日，神戸
- ② 植英規：ばらつきを利用した安定化設計のための実践的教育法，電気学会基礎・材料・共通部門大会，2016年9月5日，北九州
- ③ 植英規：学生に対する品質工学導入教育の研究 -福島高専の場合-，第24回品質工学研究発表大会，2016年6月23日，東京
- ④ 植英規：電気系分野の学生に対するロバスト設計教育のための教材開発と教育の実践，電気学会教育フロンティア研究会，2016年2月28日，福岡
- ⑤ 植英規：技術者育成を目的とした高専低学年生へのもの作り導入教育の試み，電気学会基礎・材料・共通部門大会，2015年9月17日，金沢

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植 英規 (UE, Hidenori)

福島工業高等専門学校・電気電子システム工学科・准教授

研究者番号：90586851