



An Application of Symbolic Methods to Advanced Education for Engineering

兵頭, 礼子

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2010-03-22

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙3109

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003109>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名	兵頭 礼子
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学 位 記 番 号	博ろ第 3109 号
学位授与の 要 件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位授与の 日 付	平成 22 年 3 月 22 日

【 学位論文題目 】

An Application of Symbolic Methods to Advanced Education for Engineering (記号処理手法を用いた制御系設計支援ツールの高等工業教育への応用)

審 査 委 員

主 査	教 授	高橋 正
	教 授	高橋 真
	教 授	宮田 任寿
	東京大学大学院教授	原 辰次
	九州大学大学院教授	穴井 宏和

論文内容の要旨

氏 名 兵頭 礼子

推薦教授氏名 高橋 正

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

An Application of Symbolic Methods to Advanced Education for Engineering
(記号処理手法を用いた制御系設計支援ツールの高等工業教育への応用)

論文要旨

本論文は、制御系設計問題にたいし数式処理を適用することにより効率的な問題解決の提案と理解の増進を図ることである。さらに得られた解の領域を可視化した。これにより制御系の挙動を再現することで、制御系設計の助けとなるツールの開発をおこなった。一連のツール開発により高等工業教育の場において学習者がシステムの挙動を理解することを容易にすることができた。

一般的に、制御系設計問題においては、さまざまな問題を解決するために数値計算を使用する。しかし、制御系設計問題においてたびたび発生する非凸最適化問題を計算機、特に数値計算の手法を用いて解決することは非常に困難であった。さらに、解くことが可能な問題であっても、一つ一つ数値計算で値を求め、Trial&Error を繰り返す方法で

解全体を求めていく必要があった。

大域的な解決手法として、パラメタ空間設計法などさまざまな手法が研究されていた。

これらのアプローチと数式処理を用いれば、問題を正確に解くことができる。しかし、数式処理は数値計算よりも計算機能力を必要とされ、工学の分野においては現実的に用いられていなかった。

しかし、近年における計算機能力の向上や数式処理のアルゴリズムの改良等により、数式処理による工学や産業上の諸問題の求解が現実的なものとなってきた。

本論文では、パラメタ空間設計法と数式処理を用いた制御系設計支援ツールを開発した。

このツールでは、制御系設計問題を Sign Definite Condition の形に変形し、これを数式処理技術の1つである、Quantifier Elimination を用いて解決する。また本ツールは、

MATLABをベースとして作成した。このツールの中で数式処理を用いることで、制御系設計問題を正確に解決した。さらに得られた解の領域を図示する。このことにより制御系

のさまざまな特徴を示す Bode 線図, Nyquist 線図, 極配置のグラフを表示することが可能となった。パラメタの値を指定することで系の振る舞いを確認することができる。

本ツールでは、グラフィカルインタフェースを持ち、ユーザが複雑なコマンドを入力することなく、簡単に操作できるよう設計している。

得られた解の領域上で、ポインティングデバイスで値をクリックやドラッグし、選択した値を制御系にフィードバックすることが可能である。この機能によって、制御系の挙動を視覚によって確認することができるツールとなっている。

これらの機能によって、ツールの使用者は解の値と、領域内の位置情報などから、どのような場合にどのような系の振る舞いが起こるのかを視覚によって確認でき、値の選択の際の助けとなる。

表示したいパラメタが3パラメタの場合、3次元表示する機能を実装している。3次元でパラメタの領域を表示し、2次元スライスを選択することで、選んだ軸での2次元断面を確認することができる。

本論文で用いる手法では、設計に際して、1つの制約条件のみを満たす場合のみならず、複数の制約条件を満たすように解決する多目的最適化問題も一度に解くことが可能である。

数式処理を用いることで、本論文のツールでは制御系の諸問題を正確に解くことができる。しかし、複雑な系や、多くの制約条件を適用すると計算機資源を大量に消費し、その結果計算時間が膨大となり必要な時間内で問題が解決しない場合が多々あった。そこで、制度保障付き数値計算を用いて計算時間を短縮し、正確な解の領域ではなく、誤差を含んだ形で解の領域の概略を表示する機能を実装した。

次に、制御系設計支援ツールと、その計算手法の応用として、発電機の励磁制御問題を扱う。

発電機の励磁制御設計問題は、複数の条件を満たすように制御する多目的最適化問題である。

実際の作業現場では、発電機の励磁制御設計問題においても、Bode線図と数値計算を用いた古典的な方法が用いられている。パラメタ空間法なども知られてはいるが、実際に発電機の調整を行うにあたっては、これまでの実績と、また不具合などが起こった場合の解決方法などの経験がないため、採用されていない。

古典的な方法に比べて、パラメタ空間法などの現代制御の手法は複雑であるため、現場のエンジニアが理解することが困難であるという側面もある。

しかし、古典制御手法を用いる場合であっても、現場のエンジニアの経験が大きく影響

しており、新たにエンジニアを教育する場合にどのように教えるか、が大問題となる。現代制御の手法を学習するにあたって、実際に挙動を見ることができないため、理解しづらいという問題がある。

そこで、本論文では発電機の励磁制御の学習者向けの支援ツールを作成した。

(1) 励磁制御を行うにあたって、必須となる発電機データの入力画面を作成する。

(2) 制御方式毎のブロック線図項目の入力画面を作成する。

(3) MATLABで作成した制御系設計支援ツールを用いて、各制御方式モデルに対して適用したい制約条件、制約値を設定し、計算を行う。

(4) 結果を数値ならびに図示する。

(1)の発電機データ入力画面とブロック線図の値入力画面によって、これら各項目の意味や、各値を変化させた場合の Bode 線図が確認できるので、学習者は、古典的手法においても、どの値が発電機にとってどのような意味があるかを確認、理解することができる。

(2)の直感的な入力手法により間違えが削減することができる。

(3)の中で数式処理を利用することにより数値計算にともなう誤差解析をする必要がなくなり検証をすることなく結果を信頼することができるようになった。

(4)のグラフィカルな出力により利用者が直感的にシステムの状態を把握できるようになった。

以上のことにより、発電機データと制御方式ごとのブロック線図の値を決定した後、制御系設計支援ツールを用いることで調整したいパラメタの値が領域として求められ、また値をBode線図などで挙動を確認しながら選択できるため、学習者はどのような位置にある値を採用すれば制御対象は安定するのかを視覚的に理解することができる。

本論文では、実際に発電機モデルに対して制約条件を満たすよう設計し、値を求め、従来の方法で求めた値と、新しいアプローチによって求めた値とでの Simulink 上でのシミュレーションを行い、双方の結果を検証する。

論文の構成は、第1章において、これまで制御系設計問題において用いられてきた手法の紹介と問題点、また今回新たに導入するパラメタ空間法と数式処理による手法の概略を説明している。

第2章においては、本論文で開発した制御系設計支援ツールで取り扱う制御系と、ツールにおいて問題を解決する際の手順を紹介する。また、本ツールの核となる設計手法である、Sign Definite Conditionと Quantifier Elimination の詳細な説明を行う。

また、ツールにおいて実装している個々の制約問題に対して、Sign Definite Condition に変形するアルゴリズムを詳細に示す。

第3章では、開発した制御系設計支援ツールの説明を行う。ツールの概略としてプラットフォームと実装されている制約条件を紹介し、各画面の機能の紹介と基本的な使用方法を示す。また拡張機能として実装されている3次元表示機能と制度保障付き数値計算を用いた領域表示機能を説明する。

第4章では、本論文で紹介したパラメタ空間法と数式処理を用いたアプローチでの多目的設計問題への適用例として、発電機の励磁制御を考える。

発電機の励磁制御の概略、また本論文で適用する制御方法であるブラシレス方式、サイリスタ方式の説明と、従来の手法と本論文で提案する数式処理手法を用いた場合の違いを説明する。

第5章では、開発した発電機の励磁制御用設計支援ツールを紹介する。このツールには発電機の励磁制御の手法を学ぶ際に必要な項目や機能を搭載しており、作成したツールの

各画面、各機能の詳細を説明する。

第6章では、第6章にて作成した発電機励磁制御設計支援ツールを実際に使用し、発電機の調整を行った際の挙動のシミュレーションと、これまで現場で多く使われてきた結果との比較を行う。

第7章において、まとめと高等工業教育において数式処理を適用した場合に直面したさまざまな問題点の議論を行う。

また、Appendix として、第3章で紹介した制御系設計支援ツールの詳細な使用方法を説明する。

論文審査の結果の要旨

氏 名	兵 頭 礼 子		
論文題目	An Application of Symbolic Methods to Advanced Education for Engineering (記号処理手法を用いた制御系設計支援ツールの高等工業教育への応用)		
判 定	合 格・不 合 格		
審 査 委 員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	高 橋 正
	副 査	教授	高 橋 真
	副 査	教授	宮 田 任 寿
	副 査	東京大学大学院情報理工学系研究科教授	原 辰 次
員	副 査	九州大学大学院数理学府教授	穴 井 宏 和

要 旨

本論文は、記号処理手法を用いた制御系設計教育に関して、高等工業教育への応用を自ら開発した支援ツールを用いて実践したものである。

第1章においては、序論としてエンジニアリングの分野において数式処理が近年注目されつつあることを踏まえ、数式処理の高等工業教育への適用について指摘している。また、制御系設計問題の解決に用いられてきた手法であるパラメタ空間法と数式処理による手法の概略を示している。これらの先行研究を踏まえ、本論文で明らかにする数式処理手法を用いた教育的ツールの開発と教育への応用方法を示している。

第2章では、数式処理手法の教育への応用、特に高等工業教育での制御系設計問題への応用を視野に入れ、従来行われてきた数値計算による最適化手法と今回新たに導入した数式処理による最適化手法の比較を行い、双方の利点・問題点を考察し数式処理による手法の高等工業教育への応用の可能性を論じている。数式処理手法を用いて最適化問題を解決することの大きな利点は、解を誤差なく正確に得られることだけでなく、領域として解全体を得られる点である。この利点を高等工業教育に活かす方法を明らかにしている。

第3章では、前章までに示された数式処理手法の利点や、従来行われている数値計算による手法での制御系設計教育における問題点を検討し、これらの問題解決のために作成したツールを使用することで、これ

までの問題を解決する手順を明らかにしている。特に、パラメタ空間法の一つである Sign Definite Condition と数式処理手法の Quantifier Elimination は、開発したツールの核となる技術である。また、ツールにおいて実装している個々の制約問題に対して、それらの変形アルゴリズムを明らかにしている。

第4章では本論文において開発した数式処理を用いた制御系設計支援ツールの機能を示している。開発したツールは、ツールボックスでは、GUIを用いて学習者が視覚的・直感的に問題の制約や仕様を理解できるように設計されている。またパラメタを領域として図形的に認識できる可視化機能を実装し、パラメタ領域の認識を促すものとなっている。第1節においてプラットフォームと実装されている制約条件／各画面の機能を示している。第2節では、拡張機能として実装されている3次元表示機能と精度保障付き数値計算を用いた領域表示機能を示している。第3節から第5節では、パラメタ空間法と数式処理を用いたアプローチの実際の高等工業教育への適用例として、発電機の励磁制御問題を示し、本論文で適用した制御方法であるブラシレス方式／サイリスタ方式の詳細を示し、従来の手法と本論文で提案した手法の違いを明らかにしている。第6節では、発電機の励磁制御設計支援ツールの応用を示し、学習者がこの手法を学ぶ際に必要な事項を示している。第7節では、作成した発電機の励磁制御設計支援ツールを実際の教育現場において使用した際の実験結果と実験で行ったシミュレーション結果を示している。

第5章では、前章までに行ったツールの開発と高等工業教育への応用(実験)の結果を踏まえ、その手法の教育利用への考察を行っている。第1節では、認知科学的考察として人間の行動と方略の視点から、開発したツールを用いた教育への応用とアプリケーション開発の方針について論じている。第2節から第5節において、数学教育における「内在的道具」と「外在的道具」の観点から、本論文で行った高等工業教育での実証実験の結果を分析し、数式処理手法と開発したツールを用いた教育的効果を考察している。

最後に、付録として、第4章で示した、開発した制御系設計支援ツールの詳細な使用方法を示している。

提出された参考論文は、

1. Development of Parametric Robust Control Design Toolbox, pp. 2856-2861. SICE-ICASE, (2006).
2. Development of a MATLAB toolbox for parametric robust control, pp. 3-25. Vol.13, No.2, Journal of JSSAC, (2007)
3. Solving and visualizing nonlinear parametric constraints in control based on quantifier elimination, AAEC16ページ(CDでの出版のためページ表記なし), (2007).

であり、これら3論文は査読付き論文である。

以上の審査結果から、本論文の審査委員会は、学位申請者兵頭 礼子氏が博士(学術)の学位を授与される資格を有するものと判断する。