

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14764

研究課題名（和文）モデルベース開発における機能とコストを同時設計する実用的な制御系設計手法の確立

研究課題名（英文）Study on a Practical Control System Design Method for Integrated Design of Performance and Cost on Model-based Development

研究代表者

脇谷 伸 (Wakitani, Shin)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：00728818

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、産業界で急速に導入が進むモデルベース開発(MBD)において、機能と設計コストの同時最適化に基づく新しい制御システムの設計手法に関して研究を行った。研究では、機能モデルに対してその機能の実現に関わるコストをモデル内に内包させ、機能とモデルの組み合わせ最適化問題を制約法に基づく遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて解く手法について提案した。さらに、上記のGAに対してデータベース駆動型アプローチに基づく制御パラメータ決定手法を併用した効率的なプラントと制御パラメータの同時最適化手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業界においては、モデルベース開発（MBD）やDX関連技術が急速に普及している。このような社会情勢の中で、システム設計の自動化においても技術革新が進展することが予想される。本研究成果は、システムの機能と実現コストの両方をモデル内に組み込む点において、前述の自動設計技術との相性が優れており、設計者が目標性能とコスト制約を設定することで、以降の設計が自動的に行われる技術への発展も期待される。したがって、設計者は限られた開発期間の中で、顧客価値やユーザ体験の創出に関する工程にリソースを集中することが可能となる。そのため、本研究成果はよりイノベティブなものづくりの推進に大いに貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research explored a study on a novel design methodology for control systems in the field of Model Based Development (MBD) rapidly introduced within the industrial sector. The aim of this study was to optimize functionality and design cost simultaneously. To achieve this, the research proposed a method that incorporates cost considerations directly into the functional models, allowing for the integration of functionality and model optimization. The proposed approach utilizes an evolutionary algorithm called the λ -constraint method (GA) to solve the optimization problem. In addition, an efficient simultaneous optimization method for both the plant and control parameters was proposed by combining the GA with a database-driven approach for control parameter determination.

研究分野：制御工学

キーワード：モデルベース開発（MBD） 制御系設計 同時最適化 遺伝的アルゴリズム（GA）

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、消費者ニーズの多様化・複雑化が急速に進んでおり、工業製品の多くは多品種少量生産にシフトしている。そのため、製品開発に関わるエンジニアはこれまで以上に開発を効率的に行うことが要求されている。製品の開発期間や開発コストを増大させる原因として、手戻り(設計ミス等による開発のやり直し)がある。特に、製品の試作機を用いた実機検証段階における手戻りは、時間的・経済的に莫大な損失を生じるために絶対に避けなければならない。モデルベース開発(MBD: Model-Based Development)は、上記の問題を解決する有効な手法として、主に航空宇宙産業や自動車産業を中心に積極的に採用されてきた。

MBDにおけるシステム設計では、システムを構成するサブシステムの機能(ダイナミクスを含む入出力特性)を数理モデルで記述し、これらのサブシステム同士を机上で結合して複合システム(以下、システム)を構成し、シミュレーションによる設計・検証を行う。システムが要求された性能を発揮するためには、サブシステムの組み合わせおよび可調整パラメータの最適調整が重要である。しかし、システムの要求性能を達成するために、一部のサブシステムに高度な機能を要求すると、サブシステムを構成する部品や要素に対して高度な動作や、機構の複雑さ・精密さが求められる。その結果、仮にシステム全体が要求される機能を実現したとしても、特定の高度なサブシステムの設計に関わる人件費や工数が増加することで、システムの実現に伴うコストが増加するという課題があった。

2. 研究の目的

上記の研究背景において、従来のMBDにおける機能重視型の設計論から脱却するため、図1に示すような「機能」と「開発コスト」の概念を包括するMBDのための新たなモデリング手法を提唱し、提案モデルを用いてシステムの機能と開発コストを同時最適化する実用的な制御系設計手法の確立を目指した。

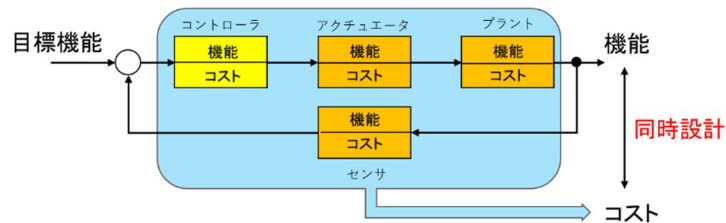


図1: 機能と開発コストの同時最適化

3. 研究の方法

本研究は3年間の研究期間を設けて実施した。はじめに、従来のMBDで用いられるサブシステムの入出力関係を記述した機能ブロックに対して、図1のような、機能と開発コストを同時に検討可能なモデルを検討した。開発コストにおいては、機能の複雑さや開発人員・工数などを想定している。つぎに、これらのモデルを複合的に組み合わせ、制御システムの所望の性能を満たす機能とコストの最適化を両立した設計論について研究を進めた。なお、機能やコスト関数が非線形関数で記述される場合、単純な数値最適化手法では最適な制御システムの構成が難しいことが想定される。そのため、遺伝的アルゴリズムや粒子群最適化などメタヒューリスティックな解法を含む手法についても検討を進めた。

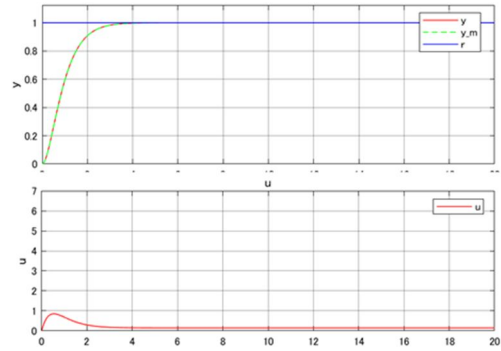
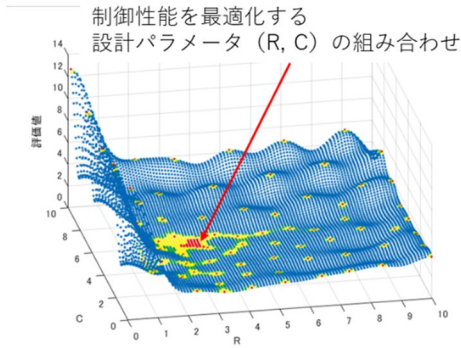
4. 研究成果

以下に各年度において得られた研究成果を示し、これらの研究成果を総括する。

(1) 令和2年度

MBDにおける機能と設計コストの同時最適化に基づく新しい制御システムの設計手法の提案について調査・研究を進めた。また同時最適化における最適な手法を検討するため、液位制御システム設計におけるプラントパラメータと制御器の同時最適化問題を題材とした検討を進めた。設計問題を追従性と安定性のトレードオフを考慮した最適化問題として定式化し、プラントおよび制御器のパラメータの同時最適化をベイズ最適化手法に基づいて実施した。また、本手法の有効性を数値シミュレーションにより検証した(図2)。

これにより、制御系設計において制御パラメータだけでなくプラントパラメータを変更することにより、設計の自由度を増やすことでより柔軟な制御系設計ができることを確認した。なお、令和2年度の実績として、MBDにおける機能の最適化問題を中心に研究を進め、その成果について国際会議1件、国内会議1件報告した。



ベイズ最適化による最適パラメータの探索

指定した制御性能を達成

図 2: プラントとコントローラの同時最適化シミュレーション

(2) 令和 3 年度

MBD における機能と設計コストの同時最適化に基づく制御システムの設計手法の具体的な提案を行った。前年度に検討を行ったベイズ最適化手法は、多数のシステムパラメータの探索において計算コストが指数関数的に増大することが判明したため、別途、最適化手法を検討した。その結果、最適化手法として 制約法に基づく遺伝的アルゴリズム (GA) を導入し、その有効性について検討した (図 3)。油圧システム設計を例題として、各個体を以下の評価値によって決定し、 GA による最適化を実施した。

$$\text{各個体の評価値} = \text{性能の評価値} + \text{製造コストの評価値}$$

GA などのメタヒューリスティックな探索手法では、多数の解候補に対してシミュレーションを実行する必要があるため、計算コストが高くなるという問題があるが、解探索において適切な 制約を導入することで、解候補の中でシミュレーションが必要な解候補と、シミュレーションが不要な解候補に分けて評価を行い、シミュレーション実行回数を減らすことで最適化にかかる時間を短縮できることを確認した。

R3 年度の実績として、MBD における機能と設計コストの最適化問題を中心に研究を進めたほか、データ駆動型アプローチによる機能と制御器同時設計に関しても着手を始めた。関連成果について国内会議 1 件に報告したほか、国内学会誌 1 件に投稿を行った。

さらに、本研究から得た新たな着想として、上記の GA に対してデータベース駆動型アプローチに基づく制御パラメータ決定手法を併用した効率的なプラントと制御パラメータの同時最適化手法を提案し、CPU ファンの設計問題に対して提案手法の有効性の検証を行った。

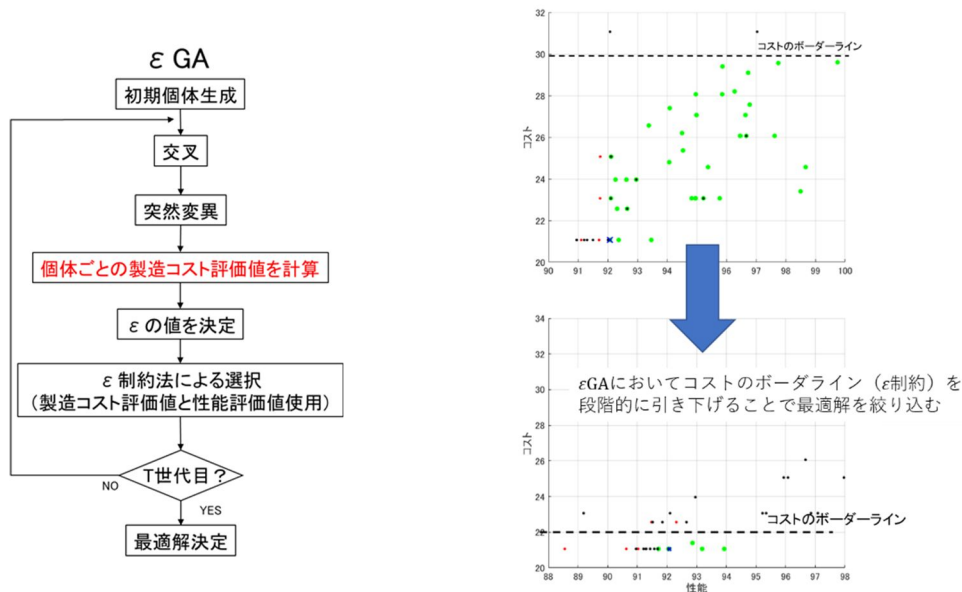


図 3: GA による機能とコストの同時最適化

(3) 令和 4 年度

提案手法の産業応用への適用を目指して、その研究成果の普及・振興に努めた。具体的には本研究で提案するアプローチを含む新しいMBDの概念を「スマートMBD」と位置づけ、広島県を中心にMBDを推進するものづくり企業(4社)の技術者とともに「スマートMBD

技術懇話会」を発足した。スマート MBD 技術懇話会では、産業界が MBD 適用において抱える問題とその解決アプローチについて年間を通じて 10 回にわたって議論を重ねた。これらの活動の中で、本手法の基本的なスマート MBD コンセプト(図 4)が産業界のニーズをとらえており実適用の可能性があることが示唆された。また、スマート MBD の基本概念についてより広く周知をするため、システム制御情報学会が発行する学会誌「システム/制御/情報」の中で、MBD に関する特集号(2023 年 8 月掲載)を企画し、その中で「スマート MBD アプローチに基づく制御システム設計 -モデルとデータを融合した新しい MBD を目指して-」と題した解説記事を執筆した。

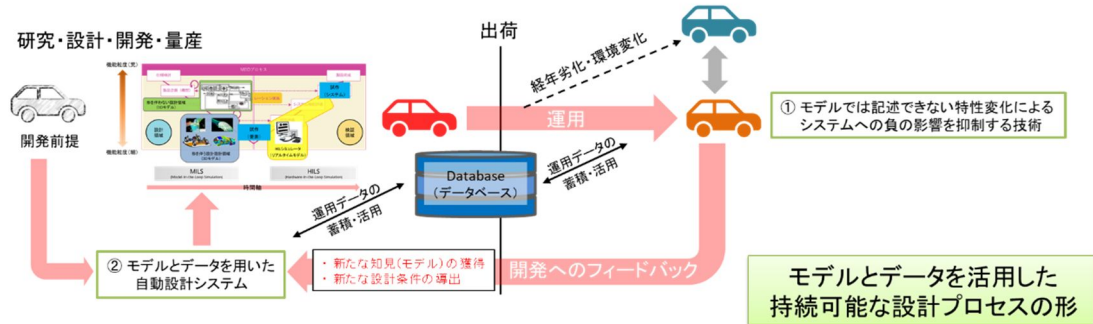


図 4: スマート MBD コンセプトに基づく持続可能な設計プロセスの提案

以上の研究成果により、

- ・ MBD における機能と設計コストの同時最適化に基づく制御システムの設計手法
- ・ データベース駆動型アプローチに基づく制御パラメータ決定手法を併用したシステム性能向上の研究への発展
- ・ 社会実装に向けた産学連携に基づくオープンイノベーション基盤の構築

が実現し、当初の研究目的である MBD における機能と設計コストの同時最適化に基づく制御システムの実現可能性とその社会的意義を示すことができた。本研究では数値シミュレーションによる有効性の検討のみにとどまっているため、今後は実システムへの適用を通じてその有用性についても検討を進める。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 脇谷伸	4. 巻 67
2. 論文標題 スマートMBDアプローチに基づく制御システム設計	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 システム / 制御 / 情報	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 廣田晃一, 脇谷伸, 山本透
2. 発表標題 データベース駆動型アプローチにおける類似度計算手法の提案
3. 学会等名 第30 回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Hirota, Shin Wakitani, and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Study on an Optimal Design Method for Control Systems based on Bayesian Optimization
3. 学会等名 THE 2021 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS (ICAROB) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣田晃一, 脇谷伸, 山本透
2. 発表標題 制御器とプラントの同時最適化によるスマートMBD手法に関する一考察
3. 学会等名 電気学会C部門制御研究会（スマートシステムと制御技術シンポジウム 2021）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------