

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 和 栗 創 一

本論文は、「最適化および確率分布モデルによる先導設計の実現化手法（マイクロファクトリ構成要素の開発設計検討への適用）」と題し、8章からなっている。

多くの新規技術開発を要する先端的な製品の開発設計では、利用可能な技術要素が存在しないために、設計検討作業を進めることが困難である。そのような問題を解決する方法として、未開発の技術要素を利用可能であると仮定し、その仮想的な技術要素を用いて設計検討作業を進める先導設計という概念が提案されている。

本論文は、先導設計の概念を実際の設計プロセスにおいて実現する手法を提案し、実践的開発設計への適用を通して、その有効性、可能性を検証したものである。

第1章では、先導設計の概念が提案された背景と本研究の目的を述べるとともに、本研究で提案する手法の全体像と、その手法による検討作業の流れを示している。また、提案手法の概略と論文の構成、各章との対応付けを示すとともに、本論文中で用いる用語の定義を行っている。

第2章では、新規性の高い開発設計に伴う問題点および、仮想技術要素の導入と設計の完遂を柱とする、先導設計の基本概念を整理している。中島の提唱した先導設計概念を解説するとともに、本研究で提案する具体的手法が先導設計概念のどの部分に対応するかを示している。また、設計論や設計プロセスモデル、設計手法などの関連研究と本研究の提案手法との対比を行い、それらの多くが設計検討の対象および目的の点で提案手法と異なることを指摘している。

第3章では、先導設計の定式化を試みている。機能構造の階層化と仕様値による構成要素の記述を行い、そこに含まれる技術要素に未達成の仕様値を仮定することで仮想技術要素の導入を形式的手続きで行えるようにすることで、仮想技術要素を定量的扱いが可能な具体的対象として設計検討に導入する枠組みを示している。また、定量的先導設計の目的に応じた検討として、トップダウン型およびボトムアップ型の2つのアプローチを示している。

第4章では、先導設計における最適化手法の応用を提案している。仮想技術要素の導入による設計自由度の増大に伴い設計検討が発散する問題を示すとともに、最適化によって先導設計検討を収束させる手法の定式化を行っている。最適化手法の導入に伴って評価関数を設定しなければならないが、先導設計に適した評価関数として難度の導入を提案している。また、各技術要素の将来について信頼性の高い予測を取り込んだ難度関数を設定する必要性に対して開発に要する時間を尺度とする難度関数を提案している。例として技術のライフサイクルを表すロジスティック関数を用いた難度関数の設定を示している。加えて、各技術要素の発達の独立性と難度関数の設定について論じるとともに、設計の対象全体の難度を表す関数の設定について考察を行っている。

第5章では、先導設計における確率論的検討の導入を提案している。まず、技術予測の難しさに起因する先導設計結果の信頼性の低下を論じ、不確実な技術予測の下で有意な開発指針を与える手法として確率論的検討を提案している。まず、各技術固有の未知の問題点の存在に対する不確実性と、社会的な技術の相関に伴う複雑性に起因する不確実性をまとめて捉え、評価関数である難度に確率分布モデルを組み込みモンテカルロ・シミュレーションを行うことでその不確実性を取り込んだ最適化評価を行う手法を提案するとともに、得られる結果に対しても確率分布による解析評価を行い、信頼度情報をともなった開発指標を示す手法を提案している。また、技術進歩の不連続性を反映させるために、ステップ関数と確率モデルを融合した難度関数の設定手法を提案している。

第6章では、前章までに示した手法を、具体的な開発対象を用いた実践的開発設計に適用し、検証を行っている。技術的新規性の高い開発設計対象であるマイクロファクトリを設計対象として取り上げ、まず現時点での開発試作状況を概観し、問題点を整理している。そして斬新なマイクロファクトリのシステム構成を提案し、その構成機器であるマイクロロボットアームおよびマイクログリッパに対して本手法を実践している。それら設計対象に関する有効な知見を得るとともに、それらを構成している技術要素について開発の目標値を定量的に提示し得たことから、本提案手法の有効性が確認されている。

第7章では、提案手法の問題点と課題を示している。本手法の問題点として当初から予想されていたものと、実践を通じて判明した問題点とを区別して論じるとともに、今後の課題として整理している。また、本手法によって得られる先導設計結果を合理性の観点から論じ、適用可能性および実用性に関して考察を行っている。

第8章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上、本論文は、先導設計の実現において問題となる設計検討の発散と技術予測の不確実性の2点について論じ、解決手段としてそれぞれに対し最適化および確率分布モデルを導入する手法を提案している。そして、実践的開発設計への適用を通じて手法の有効性を検証するとともに、手法の合理性、実用化への課題を論じており、機械工学に寄与するところが多い。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。