

審査の結果の要旨

氏名 高雲

本論文は、「A study of the uncertainty considered decision-making framework using sensitivity analysis and Gaussian process in the early stage of architecture environmental design」と題して、建築環境設計の初期段階に存在するエネルギーパフォーマンス計算入力情報の不確実性を考慮することを前提として、感度分析とガウス過程の導入により、効率的な意思決定フレームワークの提案を行った。

現在の建築設計方法では、空調設定温度などの計算入力情報の不確実性を考慮せず、単一の仮定値を使用するため、計算結果と実際のエネルギーパフォーマンスの間にギャップが生じてしまう。本論文では、モンテカルロ法で不確実性を再現し、ガウス過程回帰 (GPR) によって設計案のエネルギーパフォーマンスの分布を効率的に予測する。さらに、本論文では Morris 法に基づいた感度と交互作用の分析の導入により、パラメータの数を減らし、訓練データ収集のためのシミュレーションの時間コストを減少させると同時に、判明した感度と交互作用が設計者の意思決定に根拠を与えることが期待される。また、モデリングの自動化とシミュレーションの高速化のため、本論文では世界的に広く利用されている熱負荷計算プログラム EnergyPlus と、設計者でも容易に利用できる数値流体計算プログラム FlowDesigner に基づいて、設計ツールを新たに開発している。

本論文は大きく分けて、序論、提案したフレームワークの説明、開発したツールと導入した技術の説明、及び事例研究の 4 つの部分により構成され、全 7 章から構成される。

第 1 章では、既往研究の調査に基づき、現在の設計方法に存在する問題点を整理した上で、本研究の研究目的を明確にした。

第 2 章では、不確実性に向き合う時の考え方を紹介し、ターゲットパラメーター (TP) とノンターゲットパラメーター (NTP) の概念を導入し、提案したフレームワークを記述した。このフレームワークの 4 つの段階について、それぞれの段階の目的と手段及び効果を整理した。

第3章では、モデリングの自動化とシミュレーションの高速化のために開発したツールについて説明した。使用するシミュレーションプログラムとして EnergyPlus と FlowDesigner を選んだ理由を述べた上で、今回開発したツールの目的と構造を示した。

第4章では、感度と効果作用分析方法として広く採用された Sobol indices と Morris 法の原理と特徴を紹介し、この2種類の方法のパフォーマンスの比較により、本論文で Morris 法を選んだ理由を記述した。

第5章では、ガウス過程回帰（GPR）の熱負荷計算への応用について記述した。その冒頭では訓練データに不確実性のある場合の訓練効果の検証方法を提案している。その上で、GPRの原理と特徴を説明し、不確実性に向き合う際のGPRの有効性を一つの事例研究により示している。また、不確実性が高い場合におけるGPRの訓練効果低下の問題に対して、STMN 層化抽出法を提案し、その効果を検証した。

第6章では、一つのオフィスビルの設計プロジェクトを事例研究として、提案したフレームワークの実運用を行っている。記録した時間コストと従来の設計法の時間コストの比較により、提案したフレームワークの効率性を示している。

最後の第7章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について展望を示した。

以上、本論文は既往研究に基づく知見の整理ともモンテカルロシミュレーションによる検証を地道に積み重ね、不確実性を考慮する前提で効率的な意思決定方法を中心として具体的に検討を行い、斬新的な建築環境設計方法を示すことに成功している。また、本論文はデータ科学の理論を深く理解した上で、建築熱負荷計算の特性に対して、独自の分析方法の提案と検証にも成功している。さらに、建築設計プロジェクトにおける検討効率の大幅な向上の可能性について示している。その意味で、本研究の工学的、社会的な有用性は極めて高いと判断される。

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。

以上