

## 審査の結果の要旨

氏名 唐澤 宏之

本論文は6章からなり、第1章では研究の背景として機械設計と計算機技術の概要及び両者を組み合わせた設計のデジタル化の概要について述べている。第2章では従来研究で取り扱われている機械の制御パラメータの最適化システムを整理し、その構成要素であるモデルや最適化手法について紹介し、従来研究における最適化システムの問題点を指摘している。第3章では本論文の核となる部分である、メタな最適化システムとメタな最適化システムを効率良く動作させるための機構を提案している。メタな最適化システムの提案の中では、システムの定義や意義、安定性について述べている。第4章と第5章ではメタな最適化システムの考え方を具体的な最適化問題に適用した結果について述べている。第4章と第5章ではそれぞれ、ダンプトラックに搭載されるトランスミッションの制御パラメータ最適化、円筒研削加工機の加工条件最適化を行い、それぞれの問題における課題をメタな最適化システムの提案機構を利用して達成している。第4章と第5章の内容はそれぞれ従来研究で行われてきたような最適化行為に相当し、メタな最適化システムはそれらの行為がどのような価値基準の元で行われるのかという問題設定を提供している。第6章では論文の結論について述べている。

近年、計算機を原動力とした技術革新が加速度的に起こり、その流れは機械産業にも及んでいる。その中でも、数値シミュレーションと機械学習や最適化を代表とするAI技術とを組み合わせ、機械の設計パラメータや制御パラメータを最適化するような取り組みが盛んに行われている。AI技術への注目度は高く、人間による知的活動の多くが代替されると言われているものの、現時点においてこれらの手法は人間のような知性には到達できておらず、人間を代替するというよりは、むしろ人間を補助する目的で使われることが多い。これらの手法を機械産業に浸透させ、技術開発を推進させていくためには、手法が達成する機能を正しく評価し、人間が行う知的活動の中での位置付けを行う必要がある。

本論文は、既存研究で提案されているような計算機内で行われる機械の制御パラメータ最適化システムを1つの構成要素として捉える視点に立ち、メタな最適化システムを提案している。メタな最適化システムは、実機における性能の向上という人間の行う設計行為と同様の目標を持ち、その目標を達成するために、計算資源やマンパワーといった人間による設計行為と同様の資源を利用する。既存研究における最適化では、シミュレーションモデルや機械の性能を評価する目的関数は所与のものとされており、それらの構築方法や修正方法については体系的な議論が行われてこなかった。それに対し、メタな最適化システムを扱う本論文ではシミュレーションモデルや目的関数を構築・修正していくための手続きの在り方について議論している。

このような修正・構築行為は論理的思考能力を持つ人間が比較的得意としており、与えられたモデルや目的関数の出力を最適化する行為は繰り返し処理に長けた計算機が比較的得意としているというように、人間と計算機には得手不得手が存在する。実機における性能向上を達成するためには、人間と計算機の相補が必要であり、メタな最適化システムの提案の中ではこの相補の在り方の提案も行っている。

論文内では、人間と計算機の性質を踏まえ、メタな最適化を効率的に動作させるための3つの機構を提案している。また、論文内では、2つの具体的な機械の制御パラメータ最適化問題に取り組んでいる。その取り組みを通して、具体的な最適化問題がメタな最適化システムの手続きに当てはまること及び、提案機構の有効性を示している。

本論文で提案しているメタな最適化システムの内部で行われているモデル修正などの行為は従来、スキルを持った技術者が記録に残らない範囲で行うことが多く、暗黙知と呼ばれる。本論文はそれらの行為を体系的にまとめたものと捉えることができ、各行為の代替可能性や効率性を議論できるようになるという点で学術的・産業応用上の価値がある。今後、メタな最適化の議論が詳細に行われ、設計行為における人の働きや知識の流れが精密に整理されることにより、人間の知性の根源の解明につながる可能性がある。

第4章と第5章で述べられている実際の最適化問題における検証では、それぞれの分野の最先端の研究と比較すると更なる課題が見つまっている部分があるものの、実際の最適化問題がメタな最適化システムの手続きに適合すること、提案する機構の利用により実機における性能向上が実現されていることが示されている。

以上のように本論文は、機械工学や計算機科学の知識を分野横断型に使うことで、機械の制御パラメータ最適化における人と計算機の相互関係を設計するという、独自性が高い研究論文である。なお、本論文第4章は、小松製作所 金牧 知宏氏、小松製作所 大前 圭氏、九州工業大学 長 隆之氏、東京大学 中尾 政之氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって文献調査、システム実装、実験計画、考察を行っており、論文提出者の貢献が成果の大部分を占めると判断する。

よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 2,151 字