

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

Computational Mechanical Design  
Method for Achieving  
Both Aesthetics and Functionality

審美性と機能性を両立させる  
計算的機構設計手法の提案

申請者

Takuto	TAKAHASHI
高橋	卓人

総合機械工学専攻 知能機械学研究

2021年2月

## (1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す。

- ・ 2020年11月26日 予備審査会
- ・ 2020年12月3日 教室受理決定
- ・ 2020年12月17日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2021年1月7日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施  
実体情報学博士プログラム修了要件は，専攻審査の合格とプログラム QE3 の合格である．QE3 は現在審査中．
- ・ 2021年1月22日 公聴会
- ・ 2021年2月6日 審査分科会
- ・ 2021年2月25日 研究科運営委員会

## (2) 論文背景・内容・評価

オートマタやからくり人形など、「ロボット」の概念が提唱される古く前から機能性と審美性を兼ね備えた機械を設計する行為は行われてきた。コンピュータをはじめとする情報技術が発達した現在も同様に，社会の中で活躍する実体のあるロボットの設計では，機能性と審美性を両立させることを達成することが依然として重要な役割を担っている。しかし，現在の CAD のような設計支援技術を活用しても，機能性と審美性を両立させた機械を設計することは難しく，時間と費用がかかるだけでなく，工学的な設計センスが要求される作業である。これは設計工程において，全体的要素である審美性を保ちながら，局所的な要素である各部品を幾何学的，力学的，物質的な制約を満足させながら一つずつ設計しなければならないからである。

近年，3D プリンタに代表される付加製造技術の普及に伴い，仮想空間での最適化計算で得られた幾何学的形状を実空間に直接出力することで，芸術家を含む設計者の望む機能を実現しようとする研究，すなわち計算的設計 (Computational Design and Fabrication) が盛んに行われている。しかし，機械工学として機構の設計する手段については，これまで効果的に取り扱う方法論は無かったといえる。

このような背景の下，本論文では機能性と審美性を両立させた機械の設計工程を計算的に導出する方法論を，設計者の設計意図の抽出および設計者のモデル操作性に焦点をあてて構築を試みたものである。

具体的には，まず機械の設計作業における 3 つの問題点を指摘している。第 1 に，設計者が設計媒介変数を設定する場合，媒介変数空間における解の

存在を保証することができない問題である。これは、設計者が適切な解に到達するためにどの設計媒介変数を選択すればよいかを予測することが、設計者の経験に依存しているためである。第2に、機能の目的関数の制約を満足しつつ、審美性の高い解の探索を数値最適化問題として扱うことの困難さがある。これは、審美性のための目的関数は設計者の主観的な評価であり、明示的に設定することができないからである。第3に、製造後に必要となる機構の微調整の問題である。設計者が設定した機能の目的関数が、実際の機構の性能と必ずしも一致するとは限らないからである。

本論文ではこれらの3つの主要な問題解決のために、3つの概念を提案し、その具体的な実施方法を示している。設計媒介変数の選択に関しては、設計者が手描きの略図から最適な機構に移行することを可能にする「構築可能性(Constructability)」を提案している。製造後の微調整が必要な問題には、機械の一部だけを入れ替えて機械全体の機能を調整できる「プログラム可能性(Programmability)」を提案している。目的関数の制約を満たしながら審美性を探求することが難しい問題に対しては、設計者が対話的に媒介変数を調整できる検索インタフェース「探索可能性(Explorability)」を提案している。

具体的には、カウンターウェイト機構と安定性に焦点を当て、使用者の手描きの略図入力のみで安定した関節位置を出力する設計手法を提案し、これにより設計者は専門知識を必要とせずに対話的に設計媒介変数を設定することを可能としている。また、バネ機構とバランスに焦点を当て、自重保証機構の探索的設計手法も提案している。カム機構と軌道に焦点を当て、カム形状を設計することで機構の動きをプログラムできる枠組みを提案している。これらはいずれも実機を試作し、その動きなどを評価することで、提案する計算的機構設計の有用性を示している。

以上要するに、本論文は機能性と審美性を両立した機械の設計における課題を情報工学の数値最適化の観点から解決するため、数値最適化と対話的なインタフェースを組み合わせた3つのアプローチによる設計手段の枠組みを提唱したものである。この成果は、機械設計における新たな方法論確立への道筋を示しただけでなく、様々な用途のロボット機構を設計する際の有力なツールを構築した有用性の高いものである。さらにこの方法論は、機械工学の根本である設計工学およびロボット工学の発展に大きく貢献するものである。よって、本論文は博士(工学)早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2021年2月

審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

---

早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 高西 淳夫

---

早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 宮下 朋之

---

早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 尾形 哲也

---