

## 博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 穂刈 一樹  
 学位 博士（工学）  
 学位記番号 新大院博（工）第 521 号  
 学位授与の日付 令和 3 年 9 月 21 日  
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
 博士論文名 把持動作シミュレーションに基づいた握り心地の定量的評価手法の開発

論文審査委員 主査 教授・平元 和彦  
 副査 教授・新田 勇  
 副査 教授・佐々木 朋裕  
 副査 教授・小林 公一  
 副査 教授・坂本 信  
 副査 准教授・Jonas Aditya Pramudita  
 副査 名誉教授・田邊 裕治

## 博士論文の要旨

消費者の感性に訴求し、その購買意欲を促進するという、感性価値が付加された製品が強く求められている。多様な感性の中で「握り心地」はペットボトルを持つ時やドアを開ける時など、日常生活で多く見られる「把持動作」に関係する感性であることから、把持に伴う握り心地の評価に基づいた製品設計は、製品への高付加価値付与の点から非常に重要である。従来、製品の握り心地を評価するために、被験者実験が専ら行われてきたが、この被験者実験は、客観的な握り心地評価が困難であること、および実験に要する過大な時間・コストという 2 つの大きな課題があった。

本論文は、これらの課題の解決を目的として、生体力学パラメータに基づく客観的指標による握り心地の評価、そして、実験回数の削減ないし無実験による握り心地の評価、の各々について検討し、具体的手法を確立した結果を述べたものである。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、従来の握り心地評価における課題やその解決策についての従来の研究を総括し、本研究の背景と目的について述べている。

第 2 章「生体力学パラメータに基づいた握り心地評価手法の構築」では、接触面圧、あるいは手指の関節角度から握り心地を評価可能な回帰式を構築することを目的とし、6 種類の異なる形状の把持物体について男性を対象とした被験者実験について述べている。その結果、本研究の範囲内では接触面圧分布が関節角度よりも握り心地を評価する上で適切なパラメータであることを明らかにしている。

第 3 章「握り心地スコア、接触面圧分布および把持姿勢に影響を及ぼす要因の分析」では、女性を対象とした被験者実験について述べ、第 2 章の男性被験者実験の結果と併せて統計学的分析を行っている。その結果、すべての把持物体において、握り心地評価には性差は無く、また、手部寸法の影響も見られなかった。一方、接触面圧分布で把持における各指の寄与が異なる 2 つの把持様式が確認されたこと、関節角度でも 11 の角度で把持物体間に有意差があり、把持形状が把持姿勢に影響することを明らかにしている。

第 4 章「手部有限要素モデルを用いた掌部の接触面圧分布の解析」では、円柱形状を把持した際の接触面圧分布を再現する、手部有限要素モデルと把持動作シミュレーション手

法について述べている。その結果、示指の末節部、中指の基節部、母指における接触面圧分布を再現できること、さらに、パラメータスタディによって、手長が長いほど、円柱の直径が小さい、あるいはヤング率が低いほど、接触面圧が小さくなる傾向のあることを明らかにしている。

第5章「把持動作シミュレーション手法およびトポロジー最適化を用いた把持部形状設計手法の提案」では、実験を必要としないコンピュータ上のみで握り心地を評価可能な握り心地評価手法を確立することを目的とし、第4章を発展させた把持動作シミュレーション手法について述べている。その結果、シミュレーションで得られる接触面圧と第2章の握り心地評価回帰式とによって、コンピュータ上で握り心地が評価可能であることを示している。さらに、トポロジー最適化を組み合わせた設計手法を提案し、握り心地を考慮した製品の効率的設計ができることを明らかにしている。

第6章「個別別把持動作シミュレーション手法に基づいた握り心地評価指標の提案」では、手部寸法の個体差を考慮した把持動作シミュレーション手法について述べている。その結果、手部寸法および母指の位置から握り心地を評価可能な回帰式を用いることにより、接触面圧分布を客観的指標として用いれば、簡便に握り心地を評価できることを明らかにしている。

第7章は、本論文の結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上、本論文では把持動作における手掌部の接触面圧とその分布が感性の一つである握り心地と極めて相関が高いことを明らかにした上で、接触面圧の高精度シミュレーション手法を確立し、最終的にシミュレーションのみで握り心地を評価する方法を得ている。すなわち、工業製品の感性に関わる高付加価値化をその設計の過程で考慮する設計科学における新たな知見、そして工業上も極めて有益な成果を得ている。

#### 審査結果の要旨

本論文は、把持動作における手掌部の接触面圧と感性である「握り心地」との相関関係をバイオメカニクスの立場から実験的、定量的に明らかにした上で、有限要素法シミュレーションによって把持動作中の接触面圧を性差、把持形状、手掌部の寸法等の影響を考慮して高精度に予測し、最終的に把持動作のコンピュータシミュレーションのみによって握り心地を評価するという設計システムの構築がその主な内容である。加えて、トポロジー最適化を組み合わせた製品把持部形状の設計手法も提案している。

その独創性は、先ず「握り心地」という感性と「接触面圧」という力学量との相関関係をバイオメカニクスの知見を駆使して定量的に明らかにしたことであり、次に、有限要素法シミュレーションという工学的手法によって接触面圧の高精度予測を行っていることである。得られた結果は個々人の感性に訴える工業製品の設計開発という製品の高付加価値化に道を拓くものであり、近未来の設計思想に反映されることも大いに期待される。すなわち、健康福祉社会や学術的意義への寄与が大きいと言える。

以上、要するに、本論文は、省力化および低コスト化といった制約条件の下での工業製品の高付加価値化の課題を工学的手法の積極的導入によって解決を図ろうとしたものであり、成果の社会への還元と感性工学、バイオメカニクスや設計科学に係る学術の発展に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。