

博士論文審査報告書

論文題目

全身情動表出ヒューマノイドの
構成と表現に関する研究

Study on Configuration and Expression of
Whole-body Emotion Expression
Humanoid Robot

申請者

遠藤	信綱
Nobutsuna	ENDO

生命理工学専攻 バイオ・ロボティクス研究

2013年 2月

これまで産業用ロボットに代表されるように，製造業分野においてロボット技術の応用が生産能力や効率を飛躍的に向上させ，その発展に大きく貢献してきた．そして現在では，社会の少子高齢化に伴う労働人口の減少や高齢者に対する介護支援，またエンターテインメント分野などサービス産業の発展に対してロボット技術を応用することによりそれらの問題を解決しようという取り組みがなされており，次世代の労働力や新たな介護支援，受付案内サービスや情報支援などの様々な分野の課題に対するアプローチとして大きな期待が寄せられている．人間の支援をするロボットは，人間と近接した環境下において，人間とのスムーズなコミュニケーションを通して活動することが求められる．ロボットのこういった活動を実現するためには，その物理的な安全性の確保のみならず，人間に心理的にも好ましい存在になることが必要である．しかしながら，ヒューマノイドロボットの設計においては，ユーザ心理の側面から妥当な要件設定ができるほどには実証的知見が十分ではなく，この観点によるヒューマノイドロボットの設計論は未確立である．

そこで，このような設計論の構築を目指し，その基礎的知見を得るために，ヒューマノイドロボットの構成および表現が人間に与える心理的影響を評価することを本研究の目的としている．具体的には，人間との同様のコミュニケーション手段を備えるヒューマノイドロボットを開発し，これを用いた心理学実験を行うことで評価している．

本論文は，以下に示す 7 章から構成されている．各章の要約を示す．

第 1 章にて序論として本研究の研究背景と目的，その意義と関連研究の動向について述べている．

第 2 章では，本研究の実験プラットフォームとしたヒューマノイドロボット KOBIAN シリーズについて述べている．具体的には全身情動表出ヒューマノイド KOBIAN，KOBIAN-R，HABIAN，そして人間形ソフトロボットハンド Waseda Soft Hand シリーズの開発について述べている．まず，全身情動表出ヒューマノイドロボット KOBIAN について説明している．これは，表情表出可能な頭部，人間同様の表現が可能な 7 自由度腕部，人間形ソフトハンド，人間同様の膝伸展 2 足歩行が可能な脚部を持ち，環境認識のために両眼にカメラを備える等身大のヒューマノイドロボットである．次に，この KOBIAN 頭部を改良し，情動表出能力を向上させた改良機 KOBIAN-R の開発について述べている．また，KOBIAN の下半身を脚式から車輪式に変更したヒューマノイドロボット HABIAN の開発についても記している．さらに，主に軟素材によって構成された人間形ソフトハンド Waseda Soft Hand シリーズの開発についても説明している．

第 3 章では，KOBIAN および KOBIAN-R の情動表出能力の評価について述べている．ロボットの内部状態の伝達は，人間とロボットのコミュニケーションにおいても有効であり，ここでは，KOBIAN と KOBIAN-R の表現能

力評価について述べている。まず、KOBIANの表情表現能力の評価について説明している。KOBIANの表情は、「喜び」や「驚き」、「嫌悪」の感情をわかりやすいよう表出することができるが、「怒り」や「悲しみ」、「恐れ」については表出できないことを確認している。また、表情各部と各感情の表出の関係について解析と考察を行っている。次にKOBIAN-Rの表情表現能力の評価を行い、「恐れ」以外の感情をわかりやすいように表出できることを確認している。さらに、KOBIANの全身での情動表出の効果について評価している。表情単体では僅かな認識率しか得られなかったものも、特定の情動表出姿勢と組み合わせることで、より高い認識率を得られることが示されている。また、情動表出姿勢作成プロセスについて、専門家の意見を取り入れることの有効性が示されている。

第4章では、ロボットの自律的行動に着目し、移動および反射・反応的行動、そして心理モデルによる感情の動的变化が与える印象を評価している。まず、KOBIANの視標追従歩行の開発について説明している。本手法では、短期FFT型オンライン歩行パターン生成と前庭動眼反射を基にした視標追従動作を統合し、2足歩行ロボットによる反射・反応的行動生成を実現している。次に、この行動中の情動表出について評価している。移動有りの場合と無しの場合を比較し、移動により意図された情動が読み取りづらくなることを確認している。しかし、その情動が読み取れた場合には、移動がその情動の強さを補強することが示されている。さらに、心理モデルと統合し、外界からの刺激に対して動的に情動を変化させ、それによる行動の変化を実現している。印象を評価したところ、ロボットが外界からの刺激に反応し、自律的に行動したとしても、情動表出無しではロボットの意図が理解しづらく、何をしているのかわからない、親近感も湧かないと感じられ、情動表出と組み合わせることで、ロボットの意図がわかりやすくなり、何をしているのかわかる、親近感も湧くことが確認されている。また、移動を伴う自律的行動自体が、社会においてロボットがより重要な役割を果たせる、という印象に寄与することが示されている。

第5章では、ロボットのハードウェア構成が与える印象について評価している。ロボットのハードウェア構成は特に機能要件に束縛されるものであり、また、技術の進展度合いに依存するものである。ここでは、その構成の違いが、人間に与える印象にどのように影響するのかを論じている。KOBIANとHABIANの全身を用いた感情表現を人間に提示し、それぞれに対する印象について評価した結果、KOBIANのほうがHABIANに比べてより活動的な印象を与えること、また、逆に不安感を与えることが確認されている。

第6章では、ロボットハンドの触感について評価している。触感は人間の感覚過程において、より生理的な作用が強く、ロボットハンドの設計はユーザとの親和性に大いに影響すると考えられる。そこで、ロボットハンドの素材特性、形状、力の入れ方が、その触感にどのように影響するのかを評価し

ている。まず、柔らかさについて、柔らかいロボットハンドは心理的により親しみやすく、また安心感を与えることができる、ということが確認されている。次に、形状について、より好ましいロボットハンド形状を求めるためのプロセスについて説明している。ロボットハンド形状について掌側部の丸みが重要であり、丸いほうがポジティブな触感を与えられることが確認されている。また、この丸みの変化だけで、柔らかさ、厚さといった実際には変更していない形状パラメータについての印象も変化することが明らかになっている。さらに、握りの強さについて触感の評価を行っている。握りの強さを増加させていくと、硬く、危険な印象を与えられることが確認されている。一方で、他の評価値については、単調増加の関係にはなくピークが存在し、与えたい印象について適した握りの強さがあることが示されている。

最後に、第7章では、以上の研究成果を総括している。また、今後の展望として、様々な構成に対応可能なフレームワーク構築の可能性、ユーザ基準のヒューマノイドロボット開発・評価フレームワーク構築の可能性、さらにはヒューマノイドロボットの医療福祉分野への応用の可能性について言及している。

以上要するに、本論文では、ヒューマノイドロボットの構成と表現が人間に与える心理的影響について論じている。特に、全身情動表出ヒューマノイドロボット KOBIAN シリーズおよび人間形ソフトハンド Waseda Soft Hand シリーズを開発し、様々な心理実験を通して、ロボットの構成や表現による人間への心理的影響を定量的に評価している。

本研究の成果は、ヒューマノイドロボットの開発とその心理学的評価に分けられる。前者については、そのユーザとのコミュニケーションの観点からの設計プロセスの事例として、他のヒューマノイドロボット以外のロボットおよびサービスにおいても適用可能と考えられる。また、後者により得られた知見は、今後のヒューマノイドロボット開発においても基礎的知見として有用であると考えられる。よって、ロボット工学、機械工学のみならず人間工学や設計工学など幅広い工学分野の発展に大きく貢献するものであり、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2013年2月

(主査)	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）	藤江正克
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	梅津光生
		医学博士（東京女子医科大学）	
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	橋本周司
	神奈川大学教授	博士（工学）（早稲田大学）	林憲玉