

早稲田大学大学院 先進理工学研究科

博士論文概要

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

2012年11月

(受理申請する部科主任会開催年月を記入)

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。

しかしながら、従来の産業用ロボットは、人間とは物理的に隔離された環境において、教示やプログラミングといった手続きで人間からの指示を受け、作業を遂行するだけのものであった。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、ロボット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。一方で、人間の生活環境において、ロボットは人間と同様の形態であることが、その既存環境への適応性という観点から望ましい。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、ユーザ心理に基づく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する。

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する。

本研究は、コミュニケーション手段の要素としてのロボットの構成および表現方法に着目し、これらについての様々な条件を設定した実験を行い、個々の条件が与える心理的影響を評価することで、人間とのコミュニケーションの観点によるヒューマノイドロボットの設計論を構築するという長期的目標に対する第1歩として位置付けられる。

本論文は、以下に示す7章から構成されている。

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た。

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 シリーズについて説明した。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た。

まず、全身情動表出ヒューマノイドロボット KOBIAN について説明した。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 の開発について説明した．

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 の開発についても説明した．

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た．

次に第 3 章では，KOBIAN および KOBIAN-R の情動表出能力の評価について説明した．先に述べたように，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る．ここでは，その基礎的な表現能力評価を行なった．

KOBIAN の基礎的な情動表出能力の評価について説明した．また，どのようなプロセスや要因が，ロボットの情動の伝達にどのように影響するかについて考察を行った．

次に，表情自由度の減少が情動表出に与える影響が評価された．また，表情各部と各感情の表出の関係について解析を行った．意図する感情の表出のための表情作成プロセスのうちの 1 つの有効なプロセスを示した．

さらに，全身での情動表出の効果について評価した．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た．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た．

第 4 章では，ロボットの物理的存在感と自律的行動に着目し，移動および反射・反応的行動が与える印象を評価した．

ここではまず，KOBIAN の視標追従歩行の開発について説明した．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 足歩行ロボットにおける反射・反応的行動生成を実現した．これにより，安定な 2 足歩行と反射・反応的なオンラインでの行動の両立を果たした．

次に，この行動中の情動表出について評価した．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が明らかになった．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わかった．

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た．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た．

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

する主観的印象について SD 法を用いて評価した結果，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示唆された。

第 6 章では，ロボットハンドの触感について評価した。ハンドは，人間同士のコミュニケーションにおいても頻繁に使われ，人間とロボットのコミュニケーションにおいても同様の役割を果たすと考えられる。また，触感は人間の感覚過程において，より生理的な作用が強い。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た。

柔らかさについて，触感の評価を行なった。「柔らかい/硬い」，「安全な/危険な」，「人間的な/機械的な」，「優しい/怖い」，「なじむ/なじまない」，「親しみやすい/親しみにくい」の 6 項目に関して有意差を見出すことができ，柔らかいロボットハンドがポジティブな評価を獲得した。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，ということが示唆された。

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た。形状パラメータは多岐に渡るため，まずは触感に関して支配的なパラメータを実験によって求め，次にそのパラメータについてのみの評価実験を行なった。このプロセスにより，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わかった。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物理パラメータについての印象も変化することがわかった。

さらに，握りの強さについて触感の評価を行なった。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わかった。一方で，他の評価値については，単純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唆された。

以上，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報告した。特に，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が定量的に明らかになった。

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だと考えられる。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。

早稲田大学 博士 (工学) 学位申請 研究業績書

氏名 遠藤信綱 印

(2013年 2月 現在)

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者 (申請者含む)
1. 論文				
○	Development of Whole-body Emotional Expression Humanoid Robot for ADL-assistive RT services	Journal of Robotics and Mechatronics Vol.23 No.6	2011年12月	遠藤信綱 高西淳夫
○	Development of the Anthropomorphic Soft Robotic Hand WSH-1R	Proceedings of the First IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science (Asian-MMS 2010)	2010年10月	遠藤信綱 飯田文也 遠藤圭太 溝口裕 Massimiliano Zecca 高西淳夫
○	Integration of Emotion Expression and Visual Tracking Locomotion Based on Vestibulo-Ocular Reflex	Proceedings of the 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2010)	2010年9月	遠藤信綱 遠藤圭太 橋本健二 児嶋卓也 飯田文也 高西淳夫
	Evaluation of the KOBIAN and HABIAN Emotion Expression Humanoid Robots with European Elderly People	ROMANSY 18, Proceedings of the 18th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control	2010年7月	Massimiliano Zecca Giovanna Macri 溝口裕 Vito Monaco 遠藤信綱 伊藤加寿子 Paolo Dario 高西淳夫
	Modular Design of Emotion Expression Humanoid Robot KOBIAN	ROMANSY 18, Proceedings of the 18th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control	2010年7月	遠藤信綱 遠藤圭太 Massimiliano Zecca 高西淳夫
	Whole body Emotion Expressions for KOBIAN Humanoid Robot - preliminary experiments with different emotional patterns	Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2009)	2009年9月	Massimiliano Zecca 溝口裕 遠藤圭太 飯田文也 川端陽介 遠藤信綱 伊藤加寿子 高西淳夫
	Evaluation of the Effects of the Shape of the Artificial Hand on the Quality of the Interaction - Natural Appearance vs. Symbolic Appearance -	Proceedings of Human Robot Interaction 2009 (HRI2009)	2009年3月	Massimiliano Zecca 遠藤信綱 溝口裕 遠藤圭太 飯田文也 川端陽介 伊藤加寿子 高西淳夫

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者（申請者含む）
	Design of the humanoid robot KOBIAN - preliminary analysis of facial and whole body emotion expression capabilities -	Proceedings of the 2008 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2008)	2008 年 12 月	Massimiliano Zecca 遠藤信綱 桃木新平 伊藤加寿子 高西淳夫
	Design and Evaluation of the New Head for the whole-body Emotional Expression Humanoid Robot KOBIAN	Proceedings of the 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology (ISG 2008)	2008 年 6 月	遠藤信綱 桃木新平 Massimiliano Zecca 伊藤加寿子 高西淳夫
	Design and Evaluation of The Soft Hand WSH-1 For The Emotion Expression Humanoid Robot KOBIAN	Proceedings of the 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology (ISG 2008)	2008 年 6 月	Massimiliano Zecca 遠藤圭太 遠藤信綱 溝口裕 草野世大 伊藤加寿子 高西淳夫
	Development of Whole-body Emotion Expression Humanoid Robot	Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008)	2008 年 5 月	遠藤信綱 桃木新平 Massimiliano Zecca 齋藤稔 溝口裕 伊藤加寿子 高西淳夫
2. 講演	高い情動表出能力を有する 2足ヒューマノイドロボット頭部の開発	日本ロボット学会第 29 回学術講演会予稿集	2011 年 9 月	岸竜弘 遠藤信綱 大谷拓也 Przemyslaw Kryczka 橋本健二 中田圭 高西淳夫
	ヒューマノイドのためのモジュール化された多機能小型モータコントローラの開発	日本ロボット学会第 29 回学術講演会予稿集	2011 年 9 月	大谷拓也 Przemyslaw Kryczka 遠藤信綱 岸竜弘 橋本健二 高西淳夫
	人間形ソフトロボットハンドの設計と開発ー握力制御機能の搭載と握力による印象の評価ー	日本ロボット学会第 28 回学術講演会予稿集	2010 年 9 月	児嶋卓也 遠藤圭太 遠藤信綱 飯田文也 橋本健二 高西淳夫

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者（申請者含む）
	2足歩行ヒューマノイドの視標追従歩行と情動表出との統合	日本ロボット学会第28回学術講演会予稿集	2010年9月	遠藤信綱 遠藤圭太 橋本健二 児嶋卓也 飯田文也 高西淳夫
	前庭動眼反射を基にした2足歩行ヒューマノイドロボットの視標追従行動の実現	日本機械学会ロボテイクス・メカトロニクス講演会2010	2010年6月	遠藤信綱 遠藤圭太 橋本健二 児嶋卓也 飯田文也 高西淳夫
	脚式ロボットと車輪式ロボットの印象の比較	日本ロボット学会第27回学術講演会予稿集	2009年9月	遠藤信綱 溝口裕 遠藤圭太 飯田文也 Massimiliano Zecca 伊藤加寿子 高西淳夫
	人間形ソフトロボットハンドの設計と開発ー人間形ハンドの形状の評価ー	日本ロボット学会第27回学術講演会予稿集	2009年9月	飯田文也 遠藤圭太 溝口裕 遠藤信綱 Massimiliano Zecca 伊藤加寿子 高西淳夫
	全身を用いた情動表出が可能な2足歩行ヒューマノイドロボットの開発ー情動表出が可能な頭部の評価ー	日本ロボット学会第26回学術講演会予稿集	2008年9月	遠藤信綱 桃木新平 遠藤圭太 草野世大 Massimiliano Zecca 伊藤加寿子 高西淳夫
	人間形ソフトロボットハンド WSH-1 の設計と開発ー高齢者および若年者とのインタラクションの評価ー	日本ロボット学会第26回学術講演会予稿集	2008年9月	遠藤圭太 遠藤信綱 Massimiliano Zecca 草野世大 溝口裕 伊藤加寿子 高西淳夫
3. その他 特許 論文・講演	顔表情表出ロボットの表情可変構造 論文7件 講演8件	特許出願 2008-128954 特許公開 2009-274184		

