

氏名（本籍）	宮治 裕 （東京都）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	乙第 83 号
学位授与の日付	平成 30 年 9 月 14 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	コミュニケーションロボットにおける擬似感性の研究
論文審査委員	(主査) 教授 大川 茂樹 (副査) 教授 南方 英明 准教授 藤江 真也 研究員 富山 健 信州大学 特任教授 橋本 稔

学位論文の要旨

コミュニケーションロボットにおける擬似感性の研究

本論文では、コミュニケーションロボットにおいて、人間とより良好な感性的相互作用を実現するための機能である「擬似感性」の研究について記述した。

第一章では、背景と目的、実現のための問題設定について述べた。日本における労働者不足の現状および予測に関し、その解決策としてロボット技術が求められていると同時に幅広く普及することが期待されている。その適用分野には対人業務も含まれ、人間との円滑な相互作用が重要であり、感性要素を取り扱う必要もある。また、その実現のためには、これまでのコミュニケーションロボットが対象としていた一部の機能や要素では不十分である。以上の背景をもとに、ロボットと人間の感性的な関わりに関するおける機能／要素を「擬似感性」と名付け、網羅的な研究をとおしてコミュニケーションロボットの実現にむけた知見を得ることを目的とした。なお、具体的な検討のために介護ロボットを対象とし、研究遂行の上での問題を設定した。

第二章では、介護現場での実習および聞き取り調査によって、実際のニーズに基づく介護ロボットの要件をまとめ、コミュニケーションの重要性やロボットが受け入れられるための懸念事項を示した。そこから介護ロボットではなく、「介護者支援ロボット」なるコンセプトを提案した。

第三章では、プロトタイプロボットの開発とその外的感性について述べた。外的感性とは、形状や色、動きなどのロボットを外部観測した際に人間が感ずる印象などの感性的要素を示す。形状や色の検討においては、これまでの感性研究の分析に用いられていた SD 法をそのまま用いることができないため、独自のアンケート手法や要素抽出手法を用いた。また動きに関しては構成

要素が多いため、その基本要素の印象に関する調査手法について検討実施した。

第四章では、擬似感性を定義し、概要と情報処理構造を説明するとともに、その一部の機能である感性同定の研究について述べた。擬似感性は、相手の感情状態を同定し（感性同定）／ロボットの感情を生成し（感性生成）／表出する（感性表出調整）機能からなる。ロボットの論理的な行動を司る処理と齟齬を起こさないように、これらの擬似感性の要素を組み込む構成とした。また、感性同定では、相手の人間の音声と顔画像から、快—不快状態や感情状態を同定する研究をおこなった。音声においては、ニューラルネットワーク(NN)を用い、意味情報ではなく韻律情報のみから同定をした。また顔表情同定では、顔の目領域と口領域それぞれを照明の影響を減らすため周波数成分とし NN で学習、その出力に対し Ekman の提唱する組み合わせをもとに表情を判定する手法を提案・構築した。

第五章では、人間の感情遷移を教師データとして学習し、ロボットの感情を出力する感性生成について述べた。その構成手法としては、NN と学習可能なペトリネット、隠れマルコフモデルを用いて比較した。学習可能なペトリネット手法は、内部状態の解析や出力傾向が拡張可能なことから有用である。なお、三手法の中では隠れマルコフモデルが最も良好な出力傾向を示すが、これらの他にも学習可能な手法は存在している。これらの生成方式を検討比較する際に示した人間の感情出力を学習することの必要性、モデルの考え方と要件、正答率以外の評価手法などについて提案し、実施検証したことが重要な成果である。

第六章では、感性表出の研究として、動作変調手法（感性表出調整）について述べた。ジェスチャや表情などの表出専用の機構を用いず、日常の論理的なタスク実行時の動作に対して、ロボットの感情を表現するように調整する仕組みとして動作調整表出部を提案し、実際に構築実験した。腕部動作軌道の動作のパラメータを様々に変化させた動画を提示するアンケートの分析によって、ロボットに表出させたい感情と動作のパラメータの組み合わせを導き出した。

第七章では、感性生成部の性能ではなく有効性を明らかにするため、感性同定と生成および表出部を組み合わせ、その評価実験について述べた。有効性を測る指標としては「自然さ」を用い、複数の手法を比較した。感性生成手法より、相手の感情をオウム返式的に出力するミラーリング手法の方が有効であった。感性生成手法の自然さの評価が低い原因を特定し、その調整によって改善が可能であることを示した。本実験により、ロボットの不自然なインタラクションと感じられる要因が明らかとなり、感性生成と表出が分離され調整可能なモデルの有効性が確認できた。

第八章では、研究の結果の総括を行い、擬似感性について有益な知見を整理し、残された課題を示した。また、介護分野への適用を想定して構成した擬似感性を、その他のコミュニケーションロボットに適用する際の必要事項を示した。

以上の研究を通じて、人間のロボットとの良好なインタラクションのための感性要素／機能の包括的な知見を得た。特に感性要素を検討／搭載するための要件、感情生成のためのモデルおよび評価方法、感情表出の要件と手法、感情表出の評価の考え方などは、コミュニケーションロボットを検討する際に有益な事項といえる。

審査結果の要旨

本論文は、ロボットが人間とより良好な感性的相互作用を実現するための機能と要素である「擬似感性」についての研究をまとめたものである。

第1章では、背景と目的、実現のための問題設定について述べている。日本における労働者不足の現状および予測に関し、その解決策としてロボット技術が求められていると同時に幅広く普及することが期待されていることを示した。ロボットの仕事には対人業務が含まれ、人間との円滑な相互作用を行うために、感性要素を取り扱う必要性が主張された。また、その実現のためには、これまでのコミュニケーションロボットが対象としていた一部の機能や要素では不十分であると指摘した。以上の背景をもとに、ロボットと人間の感性的な関わりにおける機能と要素を「擬似感性」と名付け、網羅的な研究を通してコミュニケーションロボットの実現にむけた知見を得ることを目的とした。なお、具体的な検討のために介護ロボットを対象とし、研究遂行の上での問題設定を示した。

第2章では、介護現場での実習および聞き取り調査によって、実際のニーズに基づく介護ロボットにおける要件をまとめ、コミュニケーションの重要性やロボットが受け入れられるための懸念も示した。そこから介護ロボットではなく「介護者支援ロボット」なるコンセプトを提案した。

第3章では、プロトタイプロボットの開発とその外的感性について述べた。外的感性とは、形状や色、動きなどのロボットを外部観測した際に人間が感ずる印象などの感性的要素を示す。形状や色の検討においては、これまでの感性研究の分析に用いられていたSD法をそのまま用いることができないため、独自のアンケート手法や要素抽出手法を用い、仕様を満たすことを示した。また動きに関しては構成要素が多いため、その基本要素の印象に関する調査手法についての検討を実施した。

第4章では、擬似感性を定義し、概要と情報処理構造を説明するとともに、その一部の機能である感性同定の研究について述べた。擬似感性は、相手の感情状態を同定し（感性同定）、ロボットの感情を生成し（感性生成）、表出する（感性表出調整）機能からなる。ロボットの論理的な行動を司る処理および結果と齟齬を起こさないように、これらの擬似感性の要素を組み込む構造を提案した。また、感性同定では、相手の人間の音声と顔画像から、快-不快状態や感情状態を同定する研究を記した。音声においては、ニューラルネットワーク(NN)を用い、意味情報ではなく韻律情報のみから同定した。また顔表情同定では、顔の目領域と口領域それぞれを照明の影響を減らすため周波数成分としNNで学習、その出力をEkmanの提唱する組み合わせをもとに表情を判定する手法を提案・構築した。

第5章では、人間の感情遷移を教師データとして学習し、ロボットの感情を出力する感性生成について述べた。その構成手法としては、NNと学習可能なペトリネット、隠れマルコフモデルの比較をした。学習可能なペトリネット手法は、独自提案の手法であり、その内部状態の解析や出力傾向が拡張可能なことから、有用であることを実証した。なお、三手法の中では隠れマルコフモデルが最も良好な出力傾向を示すが、他の学習可能も検討可能である。これらの生成方式を

検討比較する際に示した人間の感情出力を学習することの必要性，モデルの考え方と要件，正答率以外の評価手法などについて提案し，実施検証したことを重要な成果としている．

第6章では，感性表出の研究として，動作変調手法（感性表出調整）について述べた．ジェスチャや表情などの表出専用の機構を用いず，日常の論理的なタスク実行時の動作に対して，ロボットの感情を表すように調整する仕組みとして動作調整表出部を提案し，実際に構築・実験をした．腕部動作軌道の動作のパラメータを様々に組み合わせた動画を提示するアンケートの分析によって，ロボットに表出させたい感情と動作のパラメータの組み合わせを導き出すことができた．

第7章では，感性生成部の性能ではなく有効性を明らかにするため，感性同定と生成および表出を組み合わせた評価実験について述べた．その有効性を測る指標としては「自然さ」を用い，複数の手法を比較した．感性生成手法より，相手の感情をオウム返式的に出力するミラーリング手法の方が有効であった．そのため，自然さの評価が低い原因を特定し，その調整によって改善が可能であることを示した．この研究により，ロボットの不自然なインタラクションと感じられる要因が明らかとなり，感性生成と表出が分離され調整可能なモデルの有効性が確認できた．

第8章では，研究の結果の総括を行い，擬似感性について有益な知見を整理し，残された課題を示した．また，介護分野への適用を想定して構成した擬似感性を，その他のコミュニケーションロボットに適用する際の必要事項を示した．

これらの研究を通じて，人間とロボットの良好なインタラクションのための感性要素・機能の包括的な知見を得た．特に感性要素を検討・搭載するための要件，感情生成のためのモデルおよび評価方法，感情表出の要件と手法，感情表出の評価の考え方などは，コミュニケーションロボットを検討する際に有益な事項といえる．

以上のことから，本研究はロボティクス分野について新たな重要な知見を与えるものとして価値ある集積であると認め，学位申請者である宮治裕は，博士（工学）の学位を得る資格があると認める．