

論文の内容の要旨

論文題目 拡張身体部位を用いた人間機械系の研究

氏名 佐々木 智也

本論文では、情報技術を用いて人間と機械を一体化し、人間の身体機能の拡張を目指す研究を行う。従来のロボットを用いた人間機械系の研究を協働ロボット、遠隔ロボット、装着ロボットに大別し、人間とロボットの関係を自律性、操作方法、接触状態の特徴から整理する。その上で、人間の身体機能の拡張を志向した新たな人間機械系として、拡張身体部位の提案を行う。

拡張身体部位は、「人間がロボットを介して直接的な操作によって複数の対象に同時に作用できることを可能にする、身体機能を付加する人間機械系」である。人間拡張を志向する関連研究の一つに、余剰肢ロボット (Supernumerary Robotic Limbs: SuperLimbs) がある。装着ロボットの発展系として使用者の身体に取り付けたロボットアームやフィンガーを用いて人間とロボットが協働作業するものである。これに対して拡張身体部位は使用者が身体動作を介して直接操作する。これによって、自分の身体の一部としてロボットを扱えるようにする。

このような人間機械系を実現するためには、物理的相互作用と情動的相互作用の2つの観点から設計を行う。特に、これまであまり考慮されてこなかった、操作インタフェースと装着・設置の課題に着目する。つまり、拡張身体部位としてロボットを「どのように操るか？」と「どのように身につけるか？」を設計する。

本論文では、情動的相互作用のための操作インタフェースとして、入力手法とフィードバック手法を提案する。入力手法としては、上肢の冗長自由度に着目した肩の動作による入力システムについて述べる。フィードバック手法としては、人間の固有受容感覚に示唆を得た触覚提示手法について述べる。物理的相互作用として、装着ロボットの利点を非接触で再現するためのロボットシステムについて述べる。また、物理的・情動的相互作用を考慮したインタラクションデザインを探索的に行った事例を紹介

介する。

操作インタフェースの課題として、第一に拡張身体部位が想定する用途では、手を入力に使うことが難しいことが挙げられる。使用者が自分の手を使って操作している状況で、手の動きとは独立にロボットアームを操作できることで、使用者は自分の身体の一部としてロボットを操ることができる。このために人間の身体が持つ冗長自由度に着目した手法を提案する（第4章）。第二に、ロボットの状態を把握するためのフィードバックについても、従来とは異なる前提を考える必要がある。具体的には、視覚情報に頼らないロボットの状態把握が要求される。例えば、ロボットアームの状態を視覚でしか把握できない状態で遠くの物を掴もうとロボットを操作すると、常にロボットを見ていなければならず、自分の手で作業することができない。そこで、人間の身体の備わった身体部位の自己位置を把握する感覚（固有受容感覚）を人工的に作り出し、ロボットシステムに取り入れる手法を提案する（第5章）。

装着・設置の課題として、身体部位を考える場合に暗黙的に装着ロボットを前提としていることが挙げられる。VRアバターを用いた身体認知の研究では、身体に質量がない状態でも身体化されていることが示唆されている。ロボットシステムとして考える場合、装着による重量の制約の観点からも必ずしも装着しない非接触なロボットを検討する価値がある。そこで、人間とロボットの座標が一致することで、非接触状態で装着ロボットと同様の構成を実現する手法を提案する（第6章）。また、人間の身体に装着した状態から取り外して環境や別の身体表面に取り付ける状況を想定することで、拡張身体部位における協働ロボットと遠隔ロボットの特性について探索的な検討を行う（第7章）。

以下、本論文の内容を章構成に沿って紹介する。

第1章では、本研究の背景と目的について、人間拡張工学の観点から述べる。

第2章では、ロボットを用いた人間機械系について関連研究を論じ、本研究の位置づけを明確にする。また、本研究の設計指針を与える前提となるヒトの感覚と運動、および身体認知について知見を整理する。

第3章では、拡張身体部位を実現するための課題を明らかにし、設計要件を示す。以降の章で取り組む内容を概観する。

第4章「身体冗長自由度を用いた入力手法」では、拡張身体部位を操作するために上肢の冗長自由度に着目し、肩の動きによって入力を行う手法の提案と魚眼レンズを用いたウェアラブルセンシングデバイスの実装を示す。

第5章「固有受容感覚に示唆を得たフィードバック手法」では、拡張身体部位の自己位置を把握するために位置の変化量を触覚強度に変換して提示する手法の提案と皮膚変形を行うウェアラブル触覚デバイスの実装を示す。

第6章「座標共有による非接触拡張身体部位の設計」では、拡張身体部位の接触にお

ける重量の課題を座標の一致の観点から論じ、装着ロボットの利点を非接触状態で再現する手法の提案と実装を述べる。

第7章「部位形状と着脱性に着目したインタラクション設計」では、拡張身体部位の接触と設置状態の状態遷移に着目し、身体部位が持つ機能とインタラクションを検討するための実装について述べる。

第8章では、4～7章で得られた知見を整理し、本研究の総合的な議論と将来展望について述べる。

第9章で本論文の結論を述べる。