

# 審査の結果の要旨

氏名 金 潤河

本論文は、「HUMAN-FRIENDLINESS OF ROBOTS IN HUMAN ENVIRONMENTS: MOBILITY, MANIPULATION, AND REHABILITATION PERSPECTIVES（人間環境で働くロボットの人間親和性に関する研究：モビリティ、マニピュレーション、リハビリテーションの観点から）」と題し、これから広く一般的になると考えられる人間とロボットの共存する社会の実現のために必須不可欠なロボットの「人間親和性」について考察し、その条件と評価方法を提案した上で、多くの実機実験にもとづいて、近未来のロボットのあるべき姿を具体的に示したものである。

近未来のロボットはこれまでのロボットとは違い、人間と時空を共有しながら頻繁に物理的、心理的なインタラクションをするものと考えられる。しかし、これまでのロボットの研究開発は、主にロボットの高速化、高効率化、高精度化などに焦点があてられ、より高い剛性を持ち、外乱に強いロボットのための設計法や制御法の研究開発が主流になっていた。

最近では、サービスロボットの安全に関する国際規格が制定されるなど、時代に合った動きもみられるようになったが、工学的な議論はまだ不十分であり、ロボットの人間親和性の概念もまだ合意に至っていない。

そこで本論文は、人間親和性そのものを新しく定義し、その導出方法と評価方法を構築した上で、さまざまなロボット応用の基礎となるモビリティ、マニピュレーション、リハビリテーションの三つの領域において、人間親和型ロボットの設計・制御法を示し、実機実験によってその妥当性を検証している。

第1章「Robots and Humankind（ロボットと人類）」では、これまでのロボットと人類の歴史を概観し、ロボットと人間の関わり方とその変化の様子を説明している。ロボットと人間の間の物理的距離とインタラクションの観点からその変化の方向性を明らかにし、社会経済的变化とともに爆発的に増加すると予測されるロボット需要を背景に、現在のロボット工学が抱えている問題点を指摘しながら、本論文の研究方針と構成を述べている。

第2章「On Human-Friendliness of Robots（ロボットの人間親和性について）」では、人間環境で働くロボットのあるべき姿を、新しく定義した人間親和性の概念を用いて提示している。ロボットの人間親和性に関する先行研究はいくつか存在するものの、研究者によって想定しているアプリケーションが異なり、またその概念もまだ合意に至っていない。2014年にやっと制定されたサービスロボットの安全性を定める国際規格も、原論的なガイドラインを提示する水準に留まっていて、これからのロボットがどうあるべきかを具体的に示せてはいない。そこで本論文は、集中コンプライアンス（Lumped Compliance）を人間親和性の新しい指標として定義し、その導出方法と評価方法を提案した。また、その人間親和性を高めるためのハードウェアおよびソフトウェアの条件を提示し、以下の章で紹介する三つのアプリケーションに適用し、実験を通じて示すとしている。

第3章「CIMEV: Future Mobility Platform（CIMEV：未来のモビリティ・プラットフォーム）」では、車輪型のモビリティロボットにコンプライアントな機械要素（本論文ではキャスターホイール）を取り入れることによって、ロボット全体のコンプライアンス（人間親和性）

が著しく向上することを示している。また、外乱オブザーバなどの制御手法を用いることによって、ロボット周りの人間を含む環境の変化に柔軟なロボットが実現可能であることを実証している。さらにキャスターホイールを用いることで、人間環境におけるモバイル・ロボットに要求される高い操縦性能と機動性が実現できることを実験によって示している。

第4章「JUMPBiE: Biologically Inspired Manipulator (JUMPBiE: 生体模倣型マニピュレータ)」では、ロボットに動物の筋骨格構造に学んだ駆動方式（本論文では二関節筋駆動）とコンプライアント要素のバネを採用することによって、マニピュレータの剛性分布および力の出力特性（人間親和性）が改善されることを示している。最初3対6筋のアクチュエータ配置によって構成した二関節筋駆動型マニピュレータを、Mono-bi 構成を採用することによって冗長性を排除し、モータ1個と二関節筋バネ1個だけを持つ構造とし、二関節筋駆動の特長を保ちながらも、アクチュエータ数を減らせることを実機実験を通じて示している。

第5章「H-FEX: Human-Friendly Exoskeleton (H-FEX: リハビリテーションのための人間親和型エクソスケルトン)」では、歩行が不自由な患者の歩行を助けるためのリハビリテーション装具を、人間の身体に装着するロボットとして紹介している。まず、人間の脚の筋骨格構造に基づいた筋グループの活性化度を推定する。人が歩くときに容易に測定可能な、床反力と各関節の角変位データをもとに、提案のアルゴリズムを用いて10個の筋グループの筋活性化度を推定する。この推定によって弱っている筋肉が特定できるため、そこに特性の合うバネとダンパをつけることによって、簡単に歩行をアシストすることができると考えられる。モータなどのアクチュエータでなく、バネとダンパというパッシブなコンプライアント要素を取り入れることによって、ロボットの剛性を分散させ、人間親和性を向上できることが示されている。

第6章「Concluding Remarks (結言)」では、本論文の成果を述べ、今後の課題を示している。

以上これを要するに、本論文は、近未来の人間環境で働くロボットの「人間親和性」という概念を新しく定義してその評価方法を構築し、ロボット設計や制御法の新しい指標とするハードウェアおよびソフトウェアの設計法を提示して、その条件を満たす実験機を製作し、多くの実験結果にもとづいて、その有効性を検証するとともに、近未来のロボットのあるべき姿を示したものであり、ロボット工学、電気電子工学、制御工学などの分野への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。