

ヤマモト タカシ

氏 名	山本 貴史
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博第1204号
学位授与の日付	2021年3月31日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	Research Platform for Mobile Manipulators in Symbiosis with Humans (人共存モバイルマニピュレータの研究プラットフォームに関する研究)

論文審査委員	主 査	教授	加藤 昇平
		准教授	打矢 隆弘
		准教授	田口 亮
		教授	伊藤 孝行
			(京都大学)

論文内容の要旨

少子高齢化は最も大きな社会的課題の一つである。また高齢者、障がい者の自立支援や共働き家庭の家事支援等、一人一人の生活の質 (Quality of Life) の向上が求められている。これらの社会的課題を解決するためには、労働、介護、介助から一般の生活に至るまで、人が行っている物理的作業の負担を軽減することが必要となる。上記を解決する手段の1つとして、人と共存する環境で人の作業を支援、代替するロボットの活用が考えられる。特に認識、把持、移動が実行可能なモバイルマニピュレータ (MM) は、作業を行うための基本機能を有していることから、上記課題解決の直接的な手段であると考えられる。これまでに、人共存環境で物理作業を行うロボット実現を目的としたロボットプラットフォーム開発プロジェクトが世界各国で実施されてきた。これらのプロジェクトは多くの研究成果を生み出すことで MM の技術を発展させたと考えられるが、一般家庭のような人共存環境での普及には至っておらず、更なる改良が必要である。特にこれらのプロジェクトで開発された MM の多くは、機能性は高いものの、体格および安心、安全の観点で、実際の人共存環境で作業させることは困難であると想定される。

このように現時点では、MM が生活空間で十分活用されているとは言い難いが、その主たる原因を整理すると、以下の2点があると考えられる。

1) ロボットが人共存環境において作業を行うには、技術が未達である。

2) 人の環境で作業するロボットに対する社会受容性が得られていない。

人共存関係で物理タスクを行う MM の実現に向けて、1) 2) を解決するために、これまで我々は以下のステップに沿って研究開発プロジェクトを進めてきた。

(STEP1) 初期検討：愛知万博に向けた MM 開発と長期運用

(STEP2) MM の研究プラットフォーム (PF) 開発と開発コミュニティの設立

(STEP3) 研究 PF を用いた研究開発の促進と社会受容性向上の両立

STEP1 では、形態的に人共存環境に適していると考えられる二足歩行ロボットを開発し長期間実働させた。それを通じて MM の社会受容性を向上させる共に、その経験を通じて次ステップの研究方針の検討を行った。STEP2 では、STEP1 での考察を踏まえて、実環境で利用できる小型で安全な MM の PF を開発し、研究開発を加速するための研究コミュニティを設立した。STEP3 では、自律技術が未確立な現状において、研究と社会受容性を両立して向上させていくための基本構成として、自律性を有するロボットエージェントと遠隔操作者エージェントを1台のロボット上に共存させる自律遠隔ロボットの構成を提案した。本研究では、上記のプロジェクト実施を前提として、それを達成するための主要な技術課題解決に焦点を当てる。

本論文の構成を説明する。第1章では本論文の背景、目的、概要について述べ、第2章では、STEP1の愛知万博出展ロボットの概要と、特に二足歩行ロボットの機能実現、信頼性確保に向けた研究成果について述べる。また得られた知見から、今後のMM研究の進め方について考察を行う。第3章では、STEP2のMMの研究PF開発について述べる。特に人共存環境を前提とした要求仕様に基づく小型、安全でシンプルな機構を有するPF構成を提示し、そのハードウェアおよびソフトウェアについて技術的内容を述べる。次に、開発したPFの基本性能評価、研究者らによるPF利用評価、国際ロボット競技の結果に基づき、本PFの有用性について検討した結果を述べる。第4章では、STEP3の自律遠隔ロボットの基本構成を定義し、本PFへのシステム実装を行う。次に物取り運搬タスクの被験者試験により、遠隔操作ロボット、自律ロボットと自律遠隔ロボットの印象比較を行う。結果として、自律遠隔ロボットの構成は、ロボットエージェントの存在により、ユーザがロボットに対して感じる親和性が高まると共に、遠隔エージェントの存在により、ユーザへの安心感を与えることを明らかにする。それらの結果を通して自律遠隔ロボット構成の有用性を示す。本構成により、自律技術の導入およびロボットエージェントによる親和性付与と、遠隔操縦によるタスク実用性向上および安心感付与が可能となり、研究促進と社会受容性向上の両立が容易な構成であると考えられる。第5章では、一連の研究成果の結論を述べるとともに、本研究のMM研究に与える影響および今後の課題について述べる。

論文審査結果の要旨

申請者の論文には、少子高齢化社会が有する諸問題に資するために人間と共生するロボットの実現にむけて、ロボットの制御技術、ヒューマンロボットインタラクション、人の環境で作業するロボットの社会受容性に関する研究が、コンセプト、デザインからハードウェア設計、ソフトウェア開発に至るまで一貫して展開されている。申請者の考えとして、少子高齢化社会のなかでも、高齢者・障害者の自立支援や共働き家庭の家事支援等に貢献できるロボットとして、人と共存する環境で、人の作業を代替、支援するロボットの実現の必要性に着目している。特に認識、把持、移動が可能なモバイルマニピュレータ（MM）は、作業を行うための基本機能を有していることから、課題解決の直接的な手段になると考え、人共存モバイルマニピュレーターのリサーチプラットフォームの実現をターゲットとして設定している。こうした背景を鑑みて、申請者は、人共存関係で物理タスクを行うMMの実現に向けて以下のステップに沿ってプロジェクトを進めてきた。

（STEP1）研究の初期段階として、複数のモバイルマニピュレーター（歩行ロボット、台車ロボット）開発および人とロボットが共演する愛知万博展示による社会受容性向上

（STEP2）MMの研究プラットフォーム（PF）開発と開発コミュニティの設立

（STEP3）研究PFを用いた研究開発の促進と社会受容性向上の両立

本論文は上記STEP1～3に基づくプロジェクトの遂行と目標達成のための主要な技術課題の解決に焦点を当てて内容が構成されている。第1章では本論文の背景、目的、概要について述べ、第2章では、STEP1の愛知万博出展ロボットの概要と、機能実現に向けた研究成果について述べる。次にここで得られた知見から、人共存MMのあるべき姿について考察している。第3章では、MMの研究PF開発について述べている。特に小型、安全でシンプルな機構を有するMMのハードウェアおよび、台車と腕の8自由度全体を使った手先位置制御などのソフトウェアについて議論がなされている。次に、開発したPFの基本性能試験結果および国際ロボット競技結果を通じて、本PFの有用性が述べられている。第4章では、STEP3の自律遠隔ロボットの基本構成を定義し、実ロボットへのシステム実装が実施されている。更に、物取り運搬タスクによる被験者試験により、遠隔操作ロボット、自律ロボットとの印象が比較考察されている。結果として、自律遠隔ロボットでは、ロボットエージェントの存在により、ユーザがロボットに対して感じる親和性は高まり、遠隔エージェントの存在により、ユーザへの安心感を与えることが明らかにされた。それらの結果を通して自律遠隔ロボットの構成の有用性が示された。本構成により、自律技術の導入およびロボットエージェントによる親和性付与と、遠隔操縦によるタスク実用性向上および安心感付与が可能となり、研究促進と社会受容性向上の両立が容易な構成であると考えられる。第5章では、一連の研究成果の結論を述べるとともに、本研究のMM開発に与えた影響と今後の課題が議論されている。

本研究の成果は、2編の学術雑誌論文および4編の国際会議論文（いずれも審査あり）として発表されており、4件の学術関係表彰を受賞している。人間共生ロボティクスならびにヒューマンロボットインタラクションの学術・技術的な発展に貢献することが期待される。以上を総合して十分に審査した結果、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるとの結論に至った。