

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560295

研究課題名(和文) 重力補償機構を利用した低出力高耐荷重の人共存ロボットシステムの設計論構築と開発

研究課題名(英文) Design and Development of Human Cooperative Robot System Using Gravity Compensation Mechanism

研究代表者

武居 直行 (Takesue, Naoyuki)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：70324803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、実環境で頑強に動作し、可搬性と省エネルギー性を有する人共存ロボットシステムの実現を目指し、その基本要素となる弾性体による重力補償機構の力学的特徴を明らかにし、設計仕様と制約条件からばねの選定を行う設計論の構築を検討した。対応荷重が可変となる重力補償機構を用いることで、全体のモータの低出力化を実現したパワーアシスト昇降機および3自由度ロボットアームを開発した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is realization of human-cooperative robust robotic systems with high capability of pay loads and low energy requirements. The characteristics and design method of variable gravity compensation mechanisms, which is an important element of the system, was investigated. The use of the variable gravity compensation mechanisms realized that the motors in the system are lowered. In this study, power-assist lifters and a 3-DOF robot arm were developed, which had high capability of pay loads and low energy requirements.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：機構 省エネルギー パワーアシスト 制御

1. 研究開始当初の背景

現在、急速にロボット技術が進歩している。特に、家庭用サービスロボット・福祉支援ロボットの分野の発展は目覚ましく、技術的完成度の高いロボットが数多く開発されている。iRobot社は自動で家庭内の掃除をする家庭用掃除ロボットRoombaを開発し、米国のみならず日本においても受け入れられ販路を拡大している。国内でも、ビル内で掃除や物品搬送するロボットや高速道路のサービスエリアでトイレ掃除を行うロボットが企業により実用化している。ロボット関係最大級の国際会議の一つIROS2010では、Willow Garage社の特別講演が行われ、オープンソースなロボット用OS(オペレーティングシステム)ROSの開発や、家庭用サービスロボットPR2によるタオルの折りたたみ、冷蔵庫から缶飲料の搬送などの映像が多くの特集を惹きつけた。福祉支援ロボットでは、筑波大の山海らのロボットスーツHALが世界的にリードしていることは間違いないが、国内・海外のロボティクス研究者が凄まじく追従しようと躍起になっている状況である。Delft大のHerderらは弾性体を用いて、アクチュエータなしで上肢障がい者のサポートアームとして、ARMONを開発している。

研究代表者は、これまで産業現場におけるパワーアシスト・スキルアシストロボットの制御技術および機構開発に取り組み、作業支援ロボットの現場導入を実現してきた。これまでの研究で、アクチュエータにおけるエネルギーは重力に打ち勝つために多く費やされており、その重力を補償することで、非常に小型のモータでも駆動可能であることが実証された。重力補償により省エネが実現されるとともに、小型のモータであれば、仮に暴走しても人が怪我をするリスクも低減できる。工場での搬送対象は家庭内のそれとは大きく異なるが、家庭用サービスロボットや福祉支援ロボットも、工場内でのアシストロボットと同様に人と近接して動作するため、高い安全性が要求される。

そこで本研究は、これまでの研究成果をさらに発展させ、特に家庭用サービスロボットおよび福祉支援ロボットを対象とした人共存ロボティクスの分野において、実環境で頑健に動作し、可搬性と省エネルギー性を有するロボット技術として定着させることを狙いとする。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大きく分けて2つある。第1に、低出力モータでも、重力補償機構を用いることで、高荷重物体をハンドリングできる省エネロボットの実現である。第2に、開発したロボット技術が単なる特殊ケースに陥らないように、その一般的設計論を与え

ることである。

第1のロボット実現の目標に対しては、数十kgオーダー、数kgオーダーの2つに分けて目標を掲げる。数十kgオーダーは、福祉支援ロボットが体重を支えることを想定した昇降機構である。また、数kgオーダーの対象物は、家庭用サービスロボットが物品をハンドリングすることを想定した平行リンク機構である。現在、研究代表者は線形ばねを組み合わせることで、姿勢によらず一定の重力補償を行える機構を考案した。一定の荷重に対応するものは今までもあったが、発明した可変型重力補償機構は線形ばねの平衡点の位置を変えるだけで対応する荷重を容易に調整することができるものである。この特徴を利用し、搬送物体が重量に応じて対応荷重を調整することで、モータにとって負荷の少ない動作環境を提供できる。

実際の弾性体には、自然長、初張力、許容変位量などの制約パラメータが存在する。また、ロボットの可動範囲・高低差を考慮することによって、ばねの要求仕様が異なるものとなる。そこで、第2の理論構築では、それら仕様・パラメータを一般的に扱い、弾性体を利用した重力補償機構設計の基礎理論として位置付けることを考える。重力補償として要求される仕様を決めたときに、それを実現するための設計パラメータの範囲を明確化し、弾性体を選定できるようにする。

3. 研究の方法

本研究の基礎技術は、現象としては良く知られている重力ポテンシャルエネルギーと弾性ポテンシャルエネルギーの蓄積・解放、ロボットの省エネルギー化に活用している点に特徴がある。このような例は早稲田大の菅野ら、慶応大の森田ら、東工大の遠藤らやDelft大の研究グループで見られるが、いずれも一定の荷重に対して考案されたものであり、荷重の変化に対しては対応できていない。一方、研究代表者らの可変重力補償機構は、弾性体の平衡点を移動するだけで容易に対応荷重を変化することができる。

本研究では、実環境で頑健に動作し、可搬性と省エネルギー性を有する人共存ロボットシステムを実現するため、試作した原理検証モデルでの知見から、人の体重程度の荷重に対応できる重力補償機構により、低出力モータによる福祉支援ロボット用昇降機を開発する。パンタグラフ機構による昇降運動には上端・下端の制約条件があるため、その条件下で必要な重力補償設計手法を確立するとともに、製作した装置の性能評価を行う。さらに家庭用サービスロボットの3自由度アームを開発する。これまで以上に小型軽量化を図り、人共存ロボットのための可搬性・省エネ性・安全性を有するロボット機構を実現する。

4. 研究成果

図1に示す6kgの荷重を想定したロボット用昇降機の試作機での特性検証および図2に示す最大3kgの荷重を想定した3自由度のサービロボット用アームの開発を行った。



図1 昇降機の試作機



図2 3自由度ロボットアーム

昇降機の試作機では、おおむね設計した補償力が得られていることが検証した。さらに、動力学モデリングを行い、負荷力推定および補助力制御によるパワーアシストの基礎的実験を行った。

ロボットアームの試作機では、カムによる重力補償機構の対応荷重可変機構を新たに導入した。これにより、比較的小型のアクチュエータにより1kgから3kgの範囲で荷重を変えることが可能となった。詳細な特性調査実験を行うとともに、物体搬送実験を行った。搬送中にワークが落下しても、誤動作することなく安定的に動作することを実験により示した。

さらに、図3に示す25kg可搬の昇降機を開発した。ばねの各種パラメータを勘案し、無数のばねから仕様を満たすものを選定することが可能となった。実機において特性を確認できた。



図3 25kg可搬昇降機

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① Naoyuki Takesue, Takashi Ikematsu, Hideyuki Murayama, and Hideo Fujimoto: Design and Prototype of Variable Gravity Compensation Mechanism (VGCM), Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 23, No. 2, pp. 249-257, 2011/4. (査読有)
<http://hdl.handle.net/10748/5544>

〔解説記事〕(計 1 件)

- ① 武居直行: 省エネ・安全のための重力補償機構, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 6, pp. 508-511, 2011/7.

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 武居直行, 小茂田洋輔, 池松貴史, 藤原弘俊, 藤本英雄: 低出力モータによるパンタグラフ式昇降機の可変重力補償機構, 第29回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2011)講演論文集, RSJ2011AC1P1-7, 2011/9, 東京.
- ② 杉山巧, 武居直行, 池松貴史, 藤原弘俊, 藤本英雄: 可変重力補償機構を用いた3自由度マニピュレータ(基本設計), 第54回自動制御連合講演会講演論文集, 2J105, pp. 1517-1518, 2011/11, 愛知.
- ③ 新井淳平, 杉山巧, 武居直行: 可変重力補償機構を用いた3自由度マニピュレータ—重力補償機構の特性—, 第55回自動制御連合講演会講演論文集, 2H103, pp. -, 2012/11, 京都.
- ④ 小茂田洋輔, 武居直行, 藤原弘俊, 藤本英雄: 可変重力補償機構を用いたパンタグラフ式パワーアシスト昇降機, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2012)論文集, 2E1-2, 2012/12, 福岡.
- ⑤ 武居直行: サーベイ: 重力補償機構(荷重調整), 第31回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2013)講演論文集, RSJ2013AC1L2-07, 2013/9, 東京.

〔図書〕(計 1 件)

- ① 武居直行: 先端事例から学ぶ機械工学(増訂版)「第8編 工場の人と協働する組立ロボット」(pp. 127-142)執筆担当, 日本機械学会, 丸善出版, 2013/1.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/ntlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武居 直行 (TAKESUE, Naoyuki)

首都大学東京・

大学院システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：70324803