

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560304

研究課題名(和文) 速度・加速度・接触力に基づくメカニカル安全装置を用いた人間共存型ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of a Human-friendly Robot with Velocity, Acceleration, and Contact Force-based Mechanical Safety Devices

研究代表者

甲斐 義弘 (KAI, YOSHIHIRO)

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：00320119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：人間共存型ロボットにおいて人に対する安全性は非常に重要である。本研究では、人間共存型ロボットの安全性の更なる向上を目指し、速度・加速度・接触力に基づくメカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットを開発する。本安全装置は、受動機械要素のみで構成され、アクチュエータ・コントローラ・バッテリーを必要としない。開発した人間共存型ロボットを用いて実験を行い、実験結果から本安全装置の有効性を検討する。

研究成果の概要(英文)：Safety is one of the most important issues in human-friendly robots. In this study, in order to improve human safety, we develop a human-friendly robot with velocity, acceleration, and contact force-based mechanical safety devices. The safety devices consist of only passive mechanical components without actuators, controllers, or batteries. We verify the effectiveness of the safety devices by experiments.

研究分野：工学

キーワード：ロボティクス 人間共存型ロボット 安全装置

1. 研究開始当初の背景

安心・安全な人間共存型ロボットの実用化は、医療・福祉や建築・土木・農業、生活支援など様々な分野や国民から大いに期待されている。しかし、人間共存型ロボットの本格的な実用化を行うためには、人に対するロボットの安全性を今後さらに向上させる必要がある。ロボットの制御用コンピュータが故障等により機能しないとき（以下、ロボット暴走時と呼ぶ）、ロボットは人にとって非常に危険な存在になってしまう。ロボット暴走時の安全対策として、緊急停止ボタンの使用、人と衝突しても人に痛みを与えないレベルの出力しか発揮しないモータの使用、衝撃吸収材などによる衝撃力緩和などが挙げられる。しかし、緊急停止ボタンではボタンを押す前に人が傷つけられる危険性があり、人に痛みを与えないレベルの出力しか発揮しないモータを使用する場合にはロボットが行う作業が限定されてしまう。衝撃力を緩和するロボットの設計も重要であるが、人とロボットとの高速度・高加速度での衝突は回避できる方が望ましい。

以上のような問題を解決するために、これまでに、本研究代表者は、ロボット暴走時に発生するロボット駆動軸の速度・加速度に着目し、予め設定しておいたレベル以上（レベルの設定変更はロボットが行う作業に応じて可能）の速度・加速度が発生した場合に、機構的にそれを検知し機構学を駆使してロボットを停止させるメカニカル安全装置（旧型安全装置）を開発してきている（例えば、特願 2010-500722 参照）。しかし、旧型安全装置では、ロボット暴走時に予め設定しておいた速度・加速度が発生すればそれを検知することが可能であるが、設定値以下でロボットが暴走・誤動作した場合は検知することができず、人に過大な力が作用する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、旧型安全装置をベースとして、さらにロボット暴走時に予め設定しておいたレベル以下の低速度・低加速度でロボットが人と接触しても、予め設定しておいたレベルの力が人に加わればロボットを停止させる機能を加えたメカニカル安全装置（新型安全装置）を提案し、それを用いた従来よりも安心・安全な人間共存型ロボットを開発することを目的とする。予め設定する接触力の値もロボットが行う作業に応じて設定変更可能にする。

3. 研究の方法

本研究では以下の方法で行う。

(1) 本研究で新しく提案する新型安全装置の設計・製作とそれを搭載した1自由度ロボットの設計・製作・実験

図1にこれまでに提案した旧型安全装置を搭載したロボットの例を、図2に旧型安全

装置の構造を示す。本安全装置の図2に示すプレートAはトーシヨンバネを介してロボットの駆動軸に接続されているので、通常はロボットの駆動軸とともに回転する。駆動軸の回転とプレートAの回転に「ずれ」が発生すると、ロボットの駆動軸を停止させる機構が作動しロボットが停止する(ロボットのすべてのモータの電源がカットされ駆動軸ロック機構によりロボットが停止する)。速度の検知においては、駆動軸の速度に比例したダンパの制動トルクとバネBによるスプリ

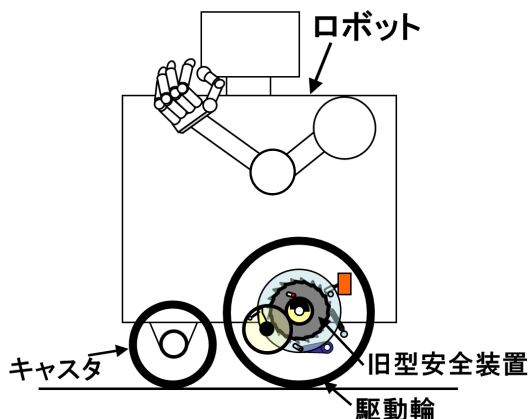


図1 旧型安全装置を搭載したロボット

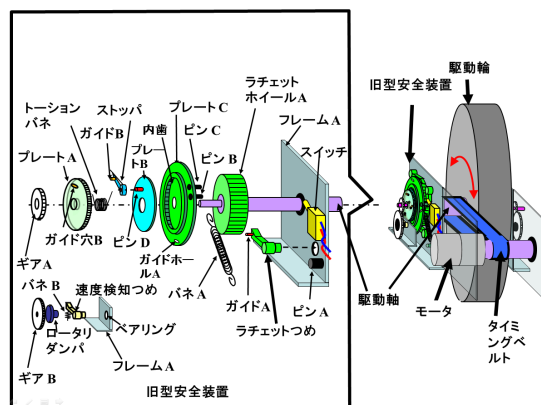


図2 旧型安全装置の構造

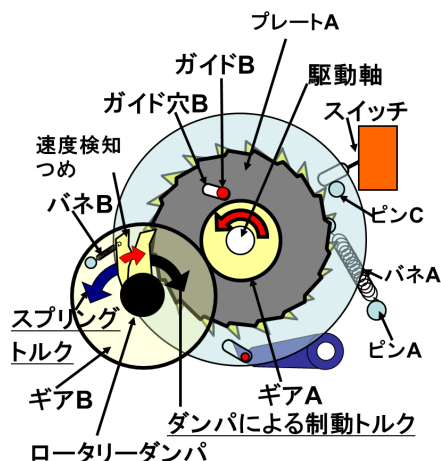


図3 速度検知

ングトルクとの釣り合いを用い(図3), 加速度においては, プレート A の慣性トルクとトーションバネのスプリングトルクとの釣り合いを用い, 駆動軸の回転とプレート A の回転に「ずれ」を発生させ, ロボットを停止させる. いずれもバネの取り付け位置を変更することにより検知する速度・加速度の設定変更が可能である. 旧型安全装置についての更なる詳細は特願 2010-500722 を参照されたい.

本研究では, 上記旧型安全装置をベースとして, さらにロボット暴走時に予め設定しておいたレベル以下の低速度・低加速度でロボットが人と接触しても, 予め設定しておいたレベルの力が人に加わればロボットを停止させる機能を加えたメカニカル安全装置(新型安全装置)を設計・製作する. さらに, その新型安全装置を搭載した1自由度ロボットを設計・製作し, そのロボットを用いた実験により新型安全装置の有効性を検討する.

(2) 新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能なロボットの設計

上記1自由度ロボットでの実験結果等を基に, 新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能な車輪移動式ロボットの設計を行う.

(3) 新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能なロボットの製作とそれを用いた実験

新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能な車輪移動式ロボットの製作を行い, そのロボットを用いて実験を行い, 新型安全装置の有効性を検討する.

#### 4. 研究成果

(1) 本研究で新しく提案する新型安全装置の設計・製作とそれを搭載した1自由度ロボットの設計・製作・実験

図4に本研究で新しく提案した新型安全装置を搭載したロボットを, 図5に新型安全装置の構造を示す. 図4に示すように, ロボットの外表面に人等との接触力を検知する接触力検知板がバネを介して取り付けられている. 図4(b)に示すように接触力検知板に外力Fが作用すると接触力検知板がスライドし, ワイヤを介して接触力検知つめが回転する. 人等との接触により, 予め設定したレベルの接触力(検知接触力)が作用したとき, 接触力検知つめは, 安全装置のプレート A と接触後, プレート A と噛み合い, ロボット駆動軸の回転とプレート A の回転に「ずれ」が生じる. その後は, 旧型安全装置のロボット停止機構が作動しロボットが停止する. なお, 検知接触力の設定は, 図6に示すように接触力検知バーの位置を移動させることにより調整することが可能である.

さらに, 本研究では, 上述した新型安全装置を搭載した1自由度ロボットアームを設計・製作した. 図7に製作した1自由度ロボ

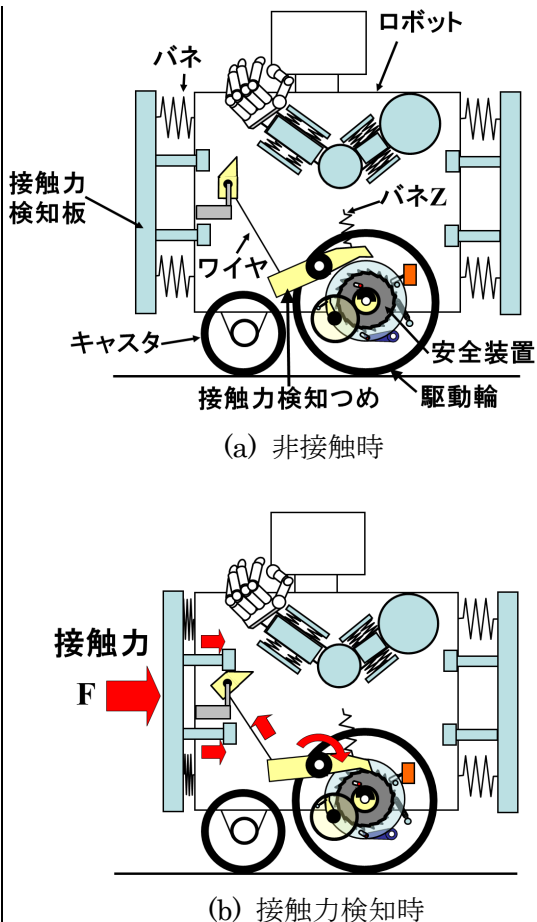


図4 新型安全装置を搭載したロボット

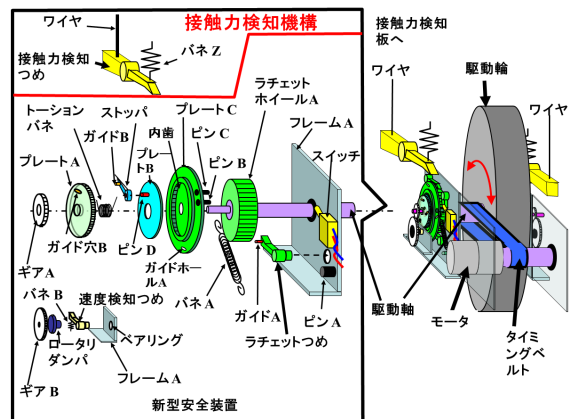


図5 新型安全装置の構造

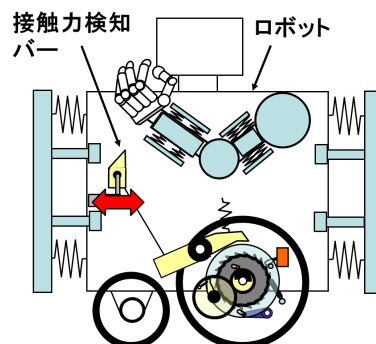


図6 検知接触力の設定変更

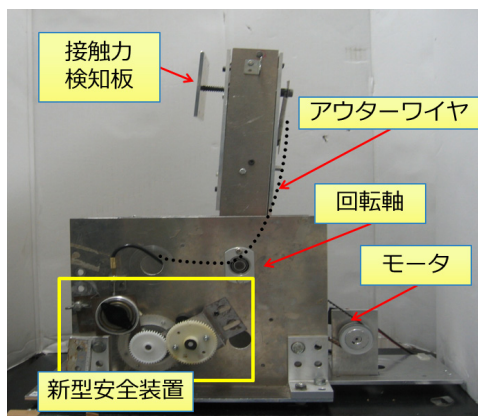


図7 試作した新型安全装置を搭載した1自由度ロボットアーム

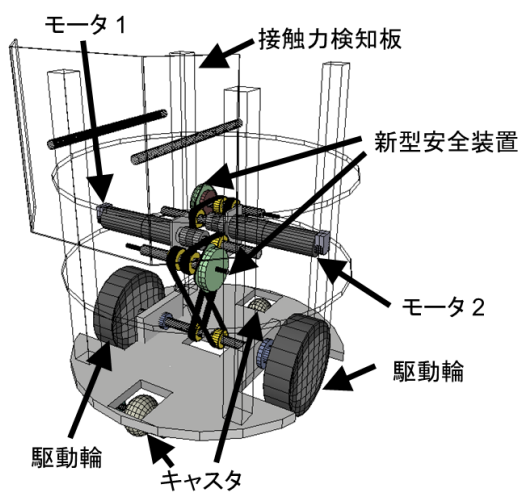


図8 新型安全装置を搭載した車輪移動式ロボットの設計

ットアームを示す。図7に示した1自由度ロボットアームを用いて実験を行ったところ、新しく提案した新型安全装置は、1自由度ロボットアーム搭載時において目的通り動作することが確認できたため、次のステップである「新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能なロボットの設計」に研究を進めた。

(2) 新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能なロボットの設計

新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能な車輪移動式ロボットの設計を行った。図8に設計した車輪移動式ロボットを示す。

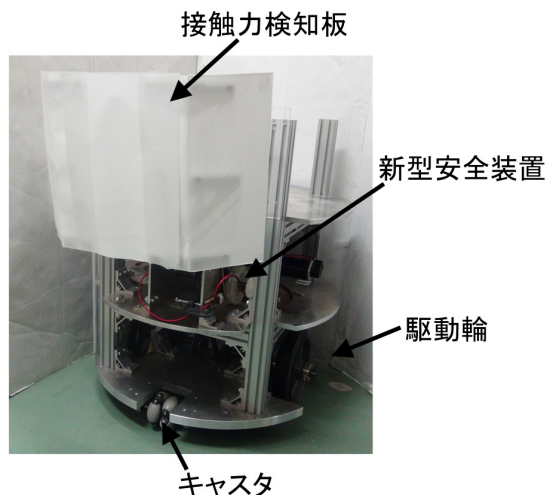


図9 新型安全装置を搭載した車輪移動式ロボット

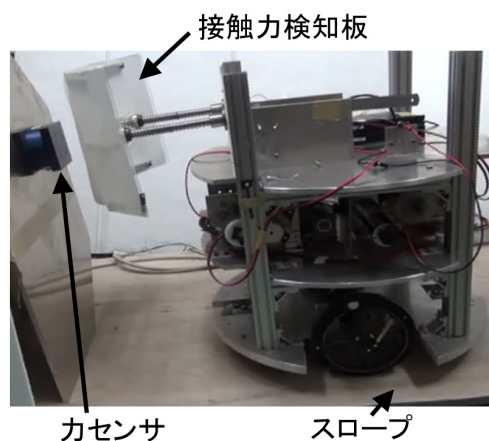


図10 坂道での実験

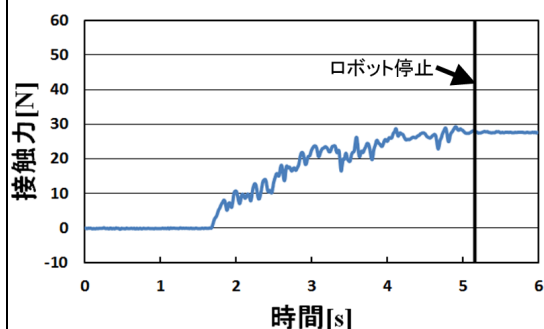


図11 実験結果の1例(本実験結果は、図10のようにロボットをスロープ下の力センサに衝突させた際、予め設定した検知接触力が接触力検知板に作用した後、新型安全装置によりロボットが停止したことを示している)

(3) 新型安全装置を搭載した人と同一空間で移動可能なロボットの製作とそれを用いた実験

上記(2)で設計した車輪移動式ロボットの製作を行った。製作した車輪移動式ロボットを図9に示す。

図9に示したロボットを用いて、①ロボットが平地を走行している際、②ロボットが坂道(約7°の勾配)を走行している際に(図10)、新型安全装置が目的通り動作するか否かを検討するために種々の実験を行った。その結果、本研究で実施した実験において、新型安全装置は目的通り動作していることが確認された(図11)。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Yoshihiro Kai and Seitaro Sando, Development of a Velocity and Contact Force-based Mechanical Safety Device for Service Robots, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 査読有, 2014, pp.1188-1193, DOI:10.1109/CoASE.2014.6899477.

[学会発表] (計8件)

- ① Toshinori Sakaushi and Yoshihiro Kai, A Wheeled Robot with Velocity and Contact Force-Based Mechanical Safety Devices: New Design of the Contact Force Detection Mechanism, The 6<sup>th</sup> International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (JSME&KSME), 2015年4月24日, Okinawa Convention Center (沖縄県宜野湾市).
- ② 坂牛寿成, 甲斐義弘, 鈴木裕, 速度・接触力におけるメカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの開発(斜面における安全装置の有効性の検証), 日本機械学会関東学生会第54回学生員卒業研究発表講演会, 2015年3月20日, 横浜国立大学(神奈川県横浜市).
- ③ 坂牛寿成, 三戸誠多朗, 甲斐義弘, 人間共存型ロボットのための速度ベースメカニカル安全装置(理論解析と実験), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 2014年5月28日, 富山市総合体育館(富山県富山市).
- ④ 三戸誠多朗, 甲斐義弘, 他3名, 新メカニカル安全装置を搭載した車輪移動式ロボットの開発, 日本機械学会 関東支部第20期総会・講演会, 2014年3月15日, 東京農工大学 小金井キャンパス

(東京都小金井市)。

- ⑤ 古木広邦, 甲斐義弘, 他3名, 新メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの開発(実験的検討), 日本機械学会関東学生会第53回学生員卒業研究発表講演会, 2014年3月14日, 東京農工大学 小金井キャンパス(東京都小金井市)。
- ⑥ 三戸誠多朗, 甲斐義弘, 人間共存型ロボットのための新メカニカル安全装置の開発(実験的検討), 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2013(日本機械学会・日本生活支援工学会・ライフサポート学会), 2013年9月3日, 山梨大学 甲府西キャンパス(山梨県甲府市)。
- ⑦ Seitaro Sando, Yoshihiro Kai, and Kazuya Mori, Development of a New Mechanical Safety Device for Human-friendly Robots, The 5<sup>th</sup> International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 2013年5月23日, BEXCO(韓国).
- ⑧ 三戸誠多朗, 甲斐義弘, 他3名, 人間共存型ロボットのための新メカニカル安全装置の開発(機構設計), 日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013年3月15日, 首都大学東京 南大沢キャンパス(東京都八王子市)。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

甲斐 義弘 (KAI YOSHIHIRO)  
東海大学・工学部・教授  
研究者番号: 00320119

### (2) 連携研究者

小金澤 鋼一 (KOGANEZAWA KOICHI)  
東海大学・工学部・教授  
研究者番号: 10178246