

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560271

研究課題名（和文）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（安心安全ロボットを目指して）

研究課題名（英文）Development of a Human-friendly Robot with Mechanical Safety Devices (For Realization of Safety Robots)

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

研究成果の概要（和文）：人と同じ空間で作業を行なう人間共存型ロボットにおいて、人に対するロボットの安全性が重要である。本研究代表者は、人間共存型ロボットの人に対する安全性の更なる向上を目指し、これまでに、ロボット用安全装置を提案している。その安全装置は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。本研究では、これまでに提案した安全装置を搭載した人間共存型ロボットを設計・開発する。そして、安全装置を搭載したロボットの有効性を実験により検討する。

研究成果の概要（英文）：Human safety is one of the most important issues in human-friendly robotics. We have presented a new safety device to improve the safety of human-friendly robots for humans. The safety device consists of only mechanical components without actuators, controllers and batteries. In this study, we design and develop a human-friendly robot equipped with the safety devices. We experimentally examine the usefulness of the robot equipped with the safety devices.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

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

人と同じ空間で作業を行なう人間共存型ロボットの研究開発は、我が国の戦略重点科学技術課題の1つであり、日本ロボット工業会によると2025年にはロボット産業市場の大半を人間共存型ロボットが占めると予想されている（ロボット産業全体の市場規模8兆円の内、生活分野4.1兆円、医療福祉分野

1.1兆円）。このように国民や産業界から大きな期待をされている人間共存型ロボットであるが、安全性の問題は未だ解決されていないのが現状である。ロボットが暴走した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、人とロボットが高速で衝突する前にロボットを停止させる方が望ましい。

以上のような問題を解決するために、本研究代表者は、これまでに、ロボット暴走時に発生するロボット駆動軸の速度に着目し、予め設定しておいたレベル以上（レベルの設定変更は可能）の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の駆動軸をロックし停止させる安全装置（以下、メカニカル安全装置）を提案してきた。しかし、そのメカニカル安全装置の有効性の検証実験は、据え置き型の1自由度ロボットアーム・3自由度ロボットアームのみを用いて行っており、移動機能を有する人間共存型ロボットへのメカニカル安全装置の搭載可能性や、移動機能を有する人間共存型ロボットにおけるメカニカル安全装置の有効性についての検証実験は行っていない。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに本研究代表者が提案したメカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボット（車輪移動機能とマニピュレーション機能を有するロボット）を設計・試作し、試作した人間共存型ロボットにおけるメカニカル安全装置の有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

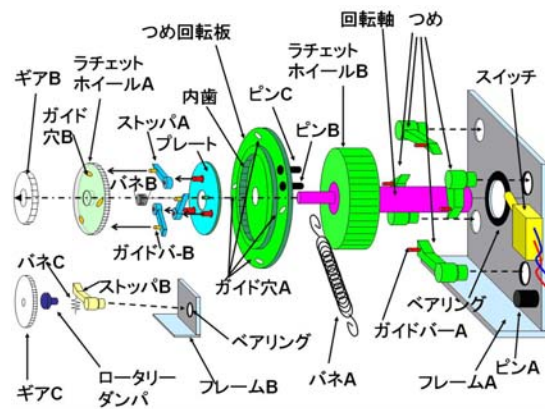
本研究では以下の方法で研究を行なう。

(1) メカニカル安全装置の振動解析・シミュレーション

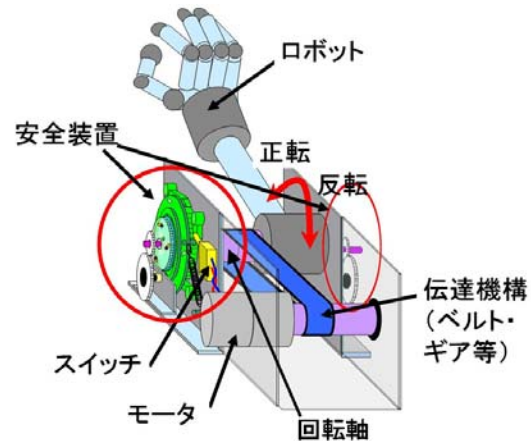
図1に、これまでに提案したメカニカル安全装置を示す。本メカニカル安全装置のメカニズム等については、例えば、「ヒューマンフレンドリーロボットのためのメカニカル安全装置の開発、科学研究費補助金データベース、研究成果報告書、研究課題番号19560260」を参照されたい。本メカニカル安全装置は、バネやダンパ等の機械要素のみで構成されているので、ロボットが不整地を走行する際に加わる振動（図2）によりメカニカル安全装置に誤動作が生じる可能性がある。そこで、振動がメカニカル安全装置に及ぼす影響を解析するためにメカニカル安全装置のモデル化を行い、そのモデルを用いてメカニカル安全装置の振動解析・シミュレーションを行う。

(2) 振動解析・シミュレーション結果に基づくメカニカル安全装置の設計

メカニカル安全装置の振動解析・シミュレーション結果に基づき、振動の影響をなるべく受けにくいメカニカル安全装置を設計する。



(a) 安全装置の詳細



(b) 安全装置のロボットへの搭載

図1 メカニカル安全装置

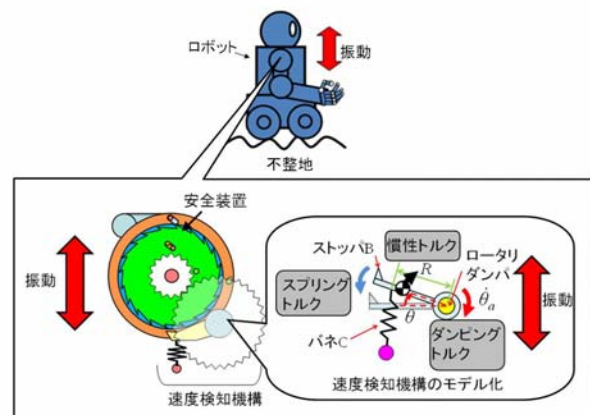


図2 メカニカル安全装置の振動解析

(3) メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの設計

上記(2)で設計したメカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの設計を行なう。

(4) メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの試作

上記(3)の設計に基づき、メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットを試作する。

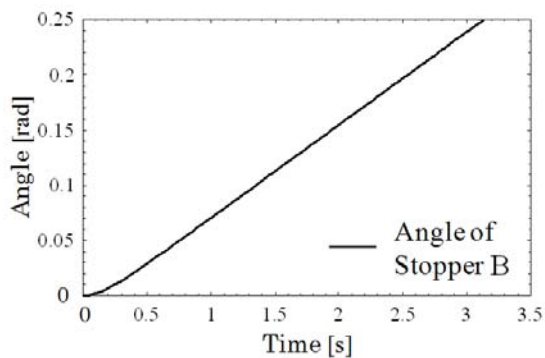
(5) 試作したロボットを用いた実験

試作したロボットを用いて実験を行ない、実験結果よりメカニカル安全装置の有効性を検討する。

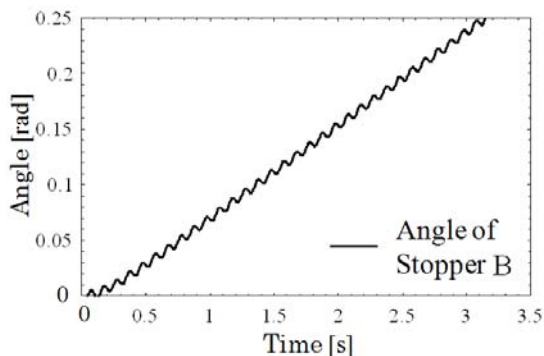
4. 研究成果

(1) メカニカル安全装置の振動解析・シミュレーション

3章(1)に基づきメカニカル安全装置の振動解析・シミュレーションを行なった(図3)。



(a) 5[Hz]の強制振動を安全装置に加えたときのストップBの挙動

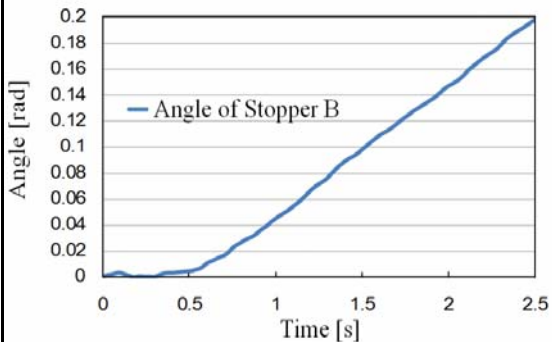


(b) 10[Hz]の強制振動を安全装置に加えたときのストップBの挙動

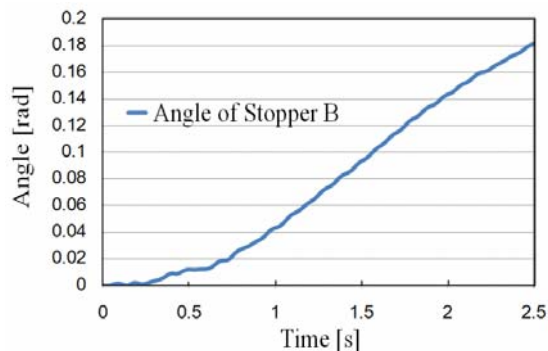
図3 シミュレーション例

(2) 振動解析・シミュレーション結果に基づくメカニカル安全装置の設計および加振実験

メカニカル安全装置のシミュレーションの結果を基に、メカニカル安全装置を設計し、試作した。さらに、試作したメカニカル安全装置に加振機により強制振動(1[Hz], 5[Hz], 10[Hz])を加え、実験を行った。実験の結果より、メカニカル安全装置はほぼ目的通り動作していることが確認できた(図4)。



(a) 5[Hz]の強制振動を安全装置に加えたときのストップBの挙動

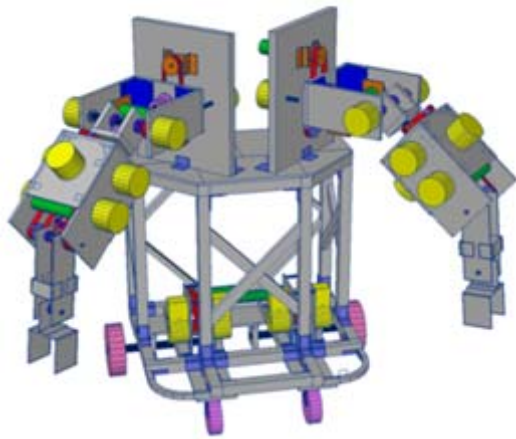


(b) 10[Hz]の強制振動を安全装置に加えたときのストップBの挙動

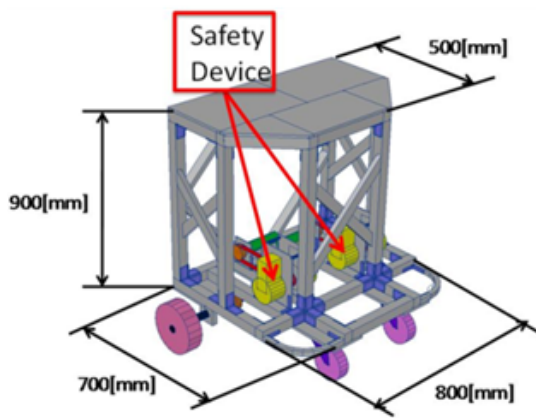
図4 設計・試作したメカニカル安全装置を用いた実験結果の一例

(3) メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの設計

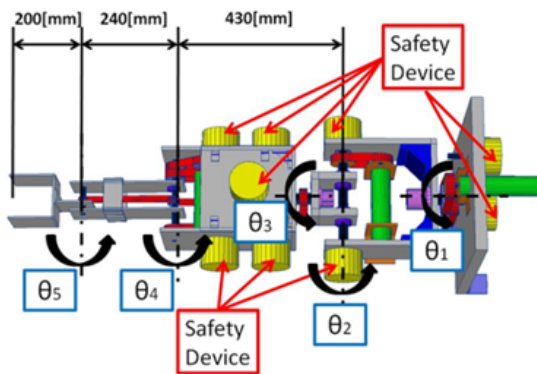
図5に示すようなメカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボット(車輪部(2自由度)とアーム部(片腕5自由度)を有するロボット)を設計した。



(a) 全体図



(b) 車輪部



(c) 腕部

図5 設計したロボット

(4) メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの試作
 上記(3)に基づきメカニカル安全装置を

搭載した人間共存型ロボットの試作を行なった(図6).

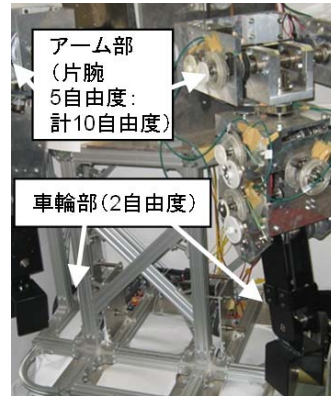


図6 試作したロボット

(5) 試作したロボットを用いた実験

試作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ロボットが不整地を走行している際などにメカニカル安全装置が誤動作を起こさないか否かや突然ロボットが暴走した場合(ロボットのある一つのモータあるいは複数のモータに急激に高速度を与えた場合)にメカニカル安全装置が作動するか否か等を検討するために種々の実験を行なった。その結果、平地走行・不整地走行実験においては、メカニカル安全装置の誤動作は見られなかった。また、ロボット暴走時の実験においても、メカニカル安全装置は、ほぼ目的通り動作していることが確認された(図7)。

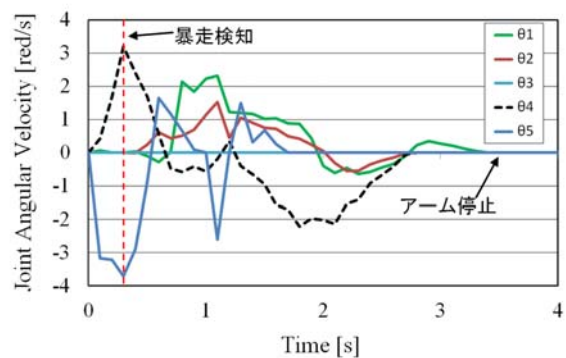


図7 実験結果の1例(ロボットアームを動かし第4関節と第5関節を暴走させた場合(第4関節と第5関節に急激に高速度を与えた場合)の実験結果)

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 2 件)

- ① Y. Kai, "Evaluation of Manipulators Based on a Kinematic Accuracy Index Considering Task-Directions", Proceedings of the 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications, 査読有, 2011, pp.238-243.
- ② 甲斐義弘, "動的作業方向動作精度に基づく冗長マニピュレータの姿勢評価・制御", 日本機械学会論文集 (C 編), 査読有, Vol.77, No.776, 2011, 1388-1403.

[学会発表] (計 13 件)

- ① 三戸誠多朗, 甲斐義弘, 山口紘輝, 森和也, 深谷奨, 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 (不整地における走行実験), 日本機械学会, 2012年3月9日, 日本大学生産工学部津田沼キャンパス.
- ② Y. Kai and T. Adachi, "Development of a Mechanical Safety Device for Service Robots", The Seventeenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2012 (AROB 17th '12), Jan. 20, 2012, B-Con Plaza, Oita, Japan.
- ③ 山口紘輝, 森和也, 甲斐義弘, 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 (ロボットの機構設計), ライフサポート学会・日本生活支援工学会・日本機械学会, 2011年11月3日, 芝浦工業大学 芝浦キャンパス.
- ④ 森和也, 甲斐義弘, 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 (メカニカル安全装置の実験的検討), 日本機械学会, 2011年9月12日, 東京工業大学 大岡山キャンパス.
- ⑤ 森和也, 甲斐義弘, 池田正仁, 山口紘輝, メカニカル安全装置を搭載した人間共存型ロボットの設計, 日本機械学会, 2011年5月28日, 岡山コンベンションセンター.
- ⑥ 池田正仁, 山口紘輝, 森和也, 高木秀悟, 土屋信悟, 甲斐義弘, 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 (設計及び実験), 日本機械学会, 201

1年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス.

- ⑦ 森和也, 高木秀悟, 土屋信悟, 池田正仁, 山口紘輝, 甲斐義弘, 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 (メカニカル安全装置の実験的検討), 日本機械学会, 2011年3月18日, 慶應義塾大学日吉キャンパス.
- ⑧ 山口紘輝, 甲斐義弘, 池田正仁, ヒューマン・フレンドリーロボットのためのメカニカル安全装置の設計, 日本機械学会, 2010年9月6日, 名古屋工業大学.
- ⑨ 池田正仁, 奥平雄右, 甲斐義弘, 人間共存型ロボットのためのメカニカル安全装置の開発 (安全装置の振動解析), 日本機械学会, 2011年6月15日, 旭川大雪アリーナ.
- ⑩ 山口紘輝, 甲斐義弘, 奥平雄右, 池田正仁, ヒューマン・フレンドリーロボットのためのメカニカル安全装置 (解析設計及び実験), 日本機械学会, 2010年4月20日, 華鳳.
- ⑪ 奥平雄右, 甲斐義弘, 人間共存型ロボットのためのメカニカル安全装置 (振動が安全装置に与える影響), 日本機械学会, 2010年3月11日, 明治大学.
- ⑫ 池田正仁, 甲斐義弘, 奥平雄右, 松田拓也, メカニカル安全装置を用いたロボットマニピュレータの開発, 日本機械学会, 2009年9月16日, 岩手大学.
- ⑬ 松田拓也, 池田正仁, 麻生剛宏, 奥平雄右, 甲斐義弘, メカニカル安全装置を搭載したロボットマニピュレータの開発, 日本機械学会, 2009年5月25日, 福岡国際会議場.

6. 研究組織

(1) 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

(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