

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04056

研究課題名(和文) 人間共存型ロボットのための速度・接触力に基づくメカニカル安全ブレーキの開発

研究課題名(英文) Development of a Velocity and Contact Force-based Mechanical Safety Brake for Human-friendly Robots

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：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、人間共存型ロボットのための速度・接触力に基づくメカニカル安全ブレーキの開発を行った。本安全ブレーキは、受動的機械要素のみで構成されており、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。本ブレーキは、作動後、人間共存型ロボットのモータの電源を切り、ロボットの駆動軸を徐々に減速させ停止させる。本ブレーキの有効性は実験により検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究代表者は、本研究開始前に、人間共存型ロボット暴走時に発生するロボットの速度・人との接触力を機械要素のみで検知しロボットの駆動軸をロックするロック式メカニカル安全装置を開発していた。しかし、ロック式では坂道等で作動した場合にロボットが転倒してしまう等の危険性があった。そこで、本研究では、作動後にロボットの駆動軸を徐々に減速させることにより転倒のリスクを低減するメカニカル安全ブレーキを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a velocity and contact force-based mechanical safety brake for human friendly robots in order to improve the safety. This safety brake consists of passive mechanical elements without actuators, controllers, and batteries. This brake switches off all of the robot's motors and then stops the driveshaft by gradually reducing the velocity of the driveshaft after this brake has been activated. The effectiveness of the brake was verified by experiments.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット 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研究開発は、医療・福祉をはじめとする様々な分野・国民から大いに期待されている<sup>①②</sup>。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、今後実用化する上で、人に対するロボットの安全性を向上させる必要がある。

コンピュータ制御技術を駆使することによりロボットの安全性を向上させることができる<sup>③</sup>。しかし、ロボットのコンピュータが故障した場合や坂道でロボットのバッテリー切れが起こった場合、ロボットは暴走し高速で人間と衝突する危険性が考えられる。

コンピュータが機能しない(以下、“ロボット暴走時”と呼称する)場合の安全対策として、非常停止ボタンを使用することが考えられる<sup>④</sup>。しかし、非常停止ボタンを使用する場合、人がボタンを押す前にロボットと衝突してしまう危険性がある。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<sup>⑤</sup>を使用することも考えられるが、この場合、ロボットが行う作業が制限されてしまう(例えば人をサポートする力が出せないなど)。さらに、衝撃吸収材などの弾性体をロボットの表面などに取り付け、人との衝突時の衝撃を緩和することも重要であるが<sup>⑥</sup>、高速度での人との衝突は避ける方が望ましい。

上記のような問題を解決するために、本研究代表者は、本研究開始前に、ロボット暴走時に予め設定しておいたレベルのロボットの速度・人との接触力が発生した場合、ロボットの電源を切るとともに駆動軸をロックし停止させる安全装置(以下、ロック式メカニカル安全装置と呼称する)を提案・開発してきている<sup>⑦</sup>。しかし、車輪移動型ロボットの駆動輪にロック式メカニカル安全装置を用いた場合、坂道において作動時に駆動軸を急にロックするためロボットが転倒する危険性がある。

### 2. 研究の目的

上述したロック式メカニカル安全装置の問題点を解決するために、本研究では、駆動軸をロックするのではなく、制動力を発生させブレーキを掛ける安全装置(以下、メカニカル安全ブレーキと呼ぶ)を提案・開発することを目的とする(図1に本研究の構想図を示す)。本メカニカル安全ブレーキにおいて、ロック式メカニカル安全装置の長所は継承し、(a)予め設定する速度・接触力のレベルはロボットの作業内容・作業環境に応じて設定変更可能、(b)ロボットがブレーキにより停止した時に人がロボットと環境(例えば壁)の間に挟まれていたとしても人の救出を容易に行える機構を採用、(c)ロボットのバッテリー切れ時などでも作動するようバネなどの受動的機械要素のみの構成とする。

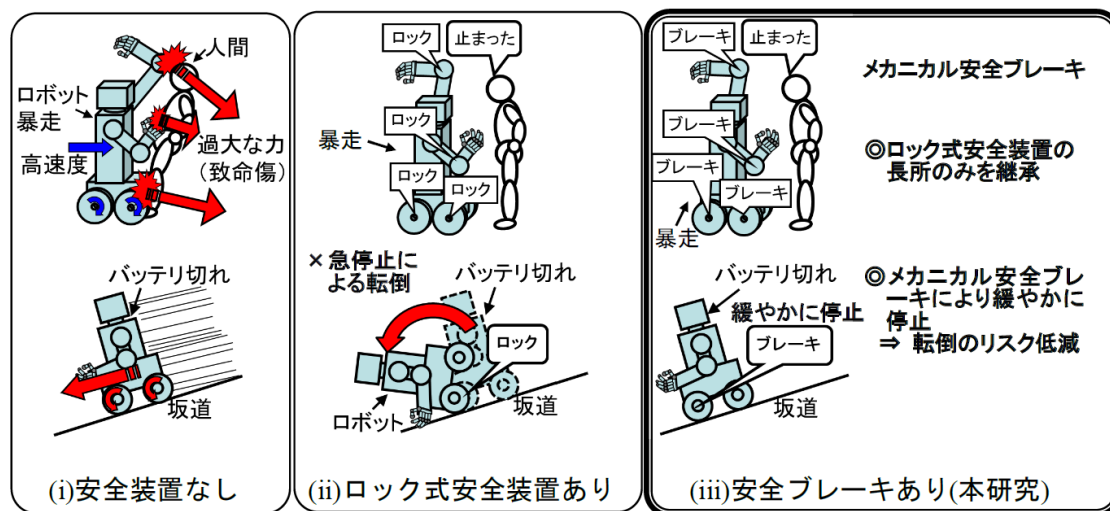


図1 本研究(メカニカル安全ブレーキ)の構想図

### 3. 研究の方法

本研究は、2018年度から2020年度までの3年間で実施する。2018年度は、ロック式メカニカル安全装置における研究成果などを踏まえ、メカニカル安全ブレーキの設計・試作および1自由度ロボットを用いた簡易確認実験を行う。また、「メカニカル安全ブレーキを搭載した車輪移動型ロボット」の設計も行う。2019年度は、設計した「メカニカル安全ブレーキを搭載した車輪移動型ロボット」を実際に製作する。最終年度の2020年度は、車輪移動型ロボットに搭載した際のメカニカル安全ブレーキの有効性について実験を行うことにより検証する。

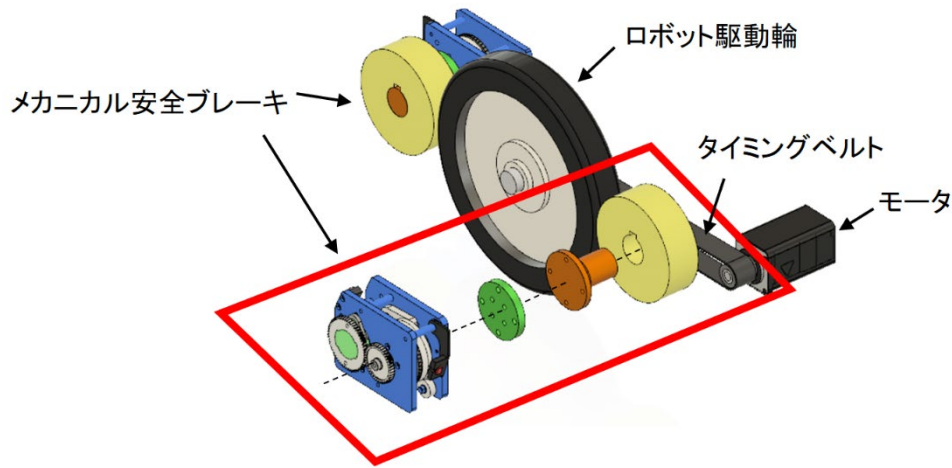


図2 メカニカル安全ブレーキ

#### 4. 研究成果

本研究では、2018年度に、まず、ロック式メカニカル安全装置における研究成果などを踏まえ、メカニカル安全ブレーキの設計を行った(図2参照)。設計したメカニカル安全ブレーキを実際に試作し、1自由度ロボットに搭載し、メカニカル安全ブレーキの動作確認実験を行った。さらに、設計したメカニカル安全ブレーキを組み込んだ車輪移動型ロボットの設計も行った。

2019年度は、設計した「メカニカル安全ブレーキを搭載した車輪移動型ロボット」を実際に製作した。

2020年度は、2019年度に製作した「メカニカル安全ブレーキを搭載した車輪移動型ロボット」を用いて、メカニカル安全ブレーキの有効性を検証する実験を行った。実験の結果、本研究で提案・開発したメカニカル安全ブレーキは、目的通り、駆動軸を徐々に減速させ、ロボットを停止させることが確認された(図3に実験結果の一例を示す)。

メカニカル安全ブレーキの設計・開発に関する研究成果については、学術論文誌、国際会議、国内会議で発表を行った。

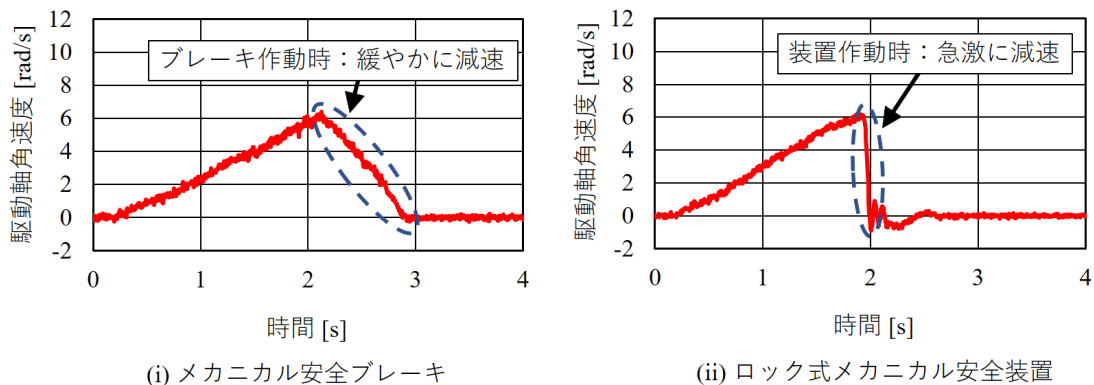


図3 実験結果の一例：上記(i)メカニカル安全ブレーキの実験結果ではブレーキ作動後ロボット駆動軸が緩やかに減速し停止している。一方、(ii)のロック式メカニカル安全装置では作動後急激に駆動軸が停止している。以上より、メカニカル安全ブレーキは目的通り駆動軸を徐々に減速させ、ロボットを停止させることがわかる。

#### 引用文献

- ①未来投資戦略2017—Society 5.0の実現に向けた改革—, (2017).
- ②経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO, “2035年に向けたロボット産業の将来市場予測”, (2010), pp. 1-5.
- ③岡本球夫, 医療福祉ロボットの開発と安全技術, 日本ロボット学会誌, Vol. 29 No. 9(2011), pp. 770-772.
- ④Y. Kai, T. Tanioka, Y. Inoue, T. Matsuda, K. Sugawara, Y. Takasaka and I. Nagamine, “A walking

support/evaluation machine for patients with parkinsonism,” The Journal of Medical Investigation, Vol. 51, pp.117-124, 2004.

⑤石井純夫, 食事支援ロボット「マイスプーン」, 日本ロボット学会誌, Vol. 21 No. 4(2003) , pp. 378-381.

⑥森田寿郎, 鈴木雄一郎, 川崎毅彦, 菅野重樹, 人間共存ロボットマニピュレータの衝突安全設計と制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 16 No. 1(1998), pp. 102~109.

⑦ Y. Kai and S. Sando, Development of a velocity and contact force-based mechanical safety device for service robots, Proc. of 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, (2014), pp. 1188- 1193.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshiaki Sato, Hiroki Mishima, Yoshihiro Kai, Tetsuya Tanioka, Yuko Yasuhara, Kyoko Osaka, Yueren Zhao	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of a Velocity-Based Mechanical Safety Brake for Wheeled Mobile Nursing Robots: Proposal of the Mechanism and Experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Intelligence	6. 最初と最後の頁 69-81
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SATO Haruka, SATO Yoshiaki, KAI Yoshihiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Design of a compact mechanical safety device for human-friendly robots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Science	6. 最初と最後の頁 31105-1 ~ 31105-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2978/jjas.31105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yoshiaki Sato, Hiroki Mishima, Yoshihiro Kai, Tetsuya Tanioka, Yuko Yasuhara, Kyoko Osaka, Yueren Zhao
2. 発表標題 Development of a Velocity-Based Mechanical Safety Brake for Wheeled Mobile Nursing Robots
3. 学会等名 The 15th International Conference on Natural Language Processing (NLP-KE ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤喜昭, 三島弘希, 甲斐義弘
2. 発表標題 速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発（車椅子への応用）
3. 学会等名 日本機械学会 2020 年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三島弘希, 佐藤喜昭, 甲斐義弘
2. 発表標題 人間共存型ロボットのためのローラ型速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発 (実験に基づく有効性の検討)
3. 学会等名 第21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 (SI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Sato, S. Shinoda, Y. Sato, Y. Kai, K. Abe, H. Wada
2. 発表標題 Design of a New Velocity-Based Mechanical Safety Device for Wheeled Mobile Robots
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, MachineDesign and Tribology (JSME & KSME) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Shinoda, Y. Sato, Y. Sato, Y. Kai, K. Abe, H. Wada
2. 発表標題 Design of a Wheeled Mobile Robot Equipped with New Velocity-Based Mechanical Safety Devices
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, MachineDesign and Tribology (JSME & KSME) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 喜昭, 篠田 修平, 佐藤 優磨, 甲斐 義弘
2. 発表標題 車輪移動型ロボットのための速度ベースメカニカル安全ブレーキの設計
3. 学会等名 The 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠田 修平, 佐藤 喜昭, 佐藤 優磨, 甲斐 義弘
2. 発表標題 速度ベースメカニカル安全ブレーキを搭載した車輪移動型ロボットの設計
3. 学会等名 The 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 喜昭, 篠田 修平, 佐藤 優磨, 甲斐 義弘
2. 発表標題 車輪移動型ロボットのための速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発 (設計および製作)
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 喜昭, 遠藤 嘉康, 三島 弘希, 甲斐 義弘
2. 発表標題 車輪移動型ロボットのための速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発 (設計及び動作確認実験)
3. 学会等名 '19 SAS Symposium (SAS: Society of Advanced Science)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三島 弘希, 遠藤 嘉康, 佐藤 喜昭, 甲斐 義弘
2. 発表標題 速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発 (実験用車輪移動型ロボットの設計・製作)
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第59回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 優磨, 他 7 名
2. 発表標題 人間共存型ロボットのためのコンパクトなメカニカル安全装置の開発
3. 学会等名 LIFE2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 晴香, 他 4 名
2. 発表標題 人間共存型ロボットのための小型メカニカル安全装置の設計
3. 学会等名 '18 SAS Symposium
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 喜昭, 他 3 名
2. 発表標題 車輪移動型ロボットのための小型メカニカル安全装置の設計 (詳細設計)
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第 58 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠田修平, 甲斐義弘
2. 発表標題 速度ベースメカニカル安全装置を搭載した実験用車輪移動型ロボットの設計
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第 58 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------