

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05910

研究課題名(和文)メカニカル安全装置を用いたロボットスーツの開発(安心・安全を目指して)

研究課題名(英文)Development of a robot suit with mechanical safety devices (For realization of safe robot suits)

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットスーツにおいて安全性は非常に重要である。本研究では、ロボットスーツの安全性向上を目指し、メカニカル安全装置(速度ベース安全装置・トルクリミッタ)を搭載したロボットスーツ(股関節・膝関節・足関節をアシストするロボットスーツ)を提案・開発する。メカニカル安全装置は、アクチュエータ、コントローラ、バッテリーを必要とせず、受動的機械要素のみで構成されているので、制御用コンピュータが機能しない時でも作動する。開発したロボットスーツを用いて実験を行い、実験結果から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 robot suits. In this study, in order to improve the robot suits' safety, we propose and develop a robot suit with mechanical safety devices (velocity-based safety devices and torque limiters). The mechanical safety devices work even when the computer breaks down because they consist of only passive mechanical components without actuators, controllers, or batteries. Furthermore, we verify the effectiveness of the mechanical safety devices in the developed robot suit by experiments.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット 機構設計 安全装置

1. 研究開始当初の背景

近年、人の身体に装着して使用するロボットスーツの研究開発が活発に行われてきており、医療・福祉をはじめとする様々な分野でロボットスーツの実用化が望まれている。このようなロボットスーツにおいては、その制御用コンピュータやセンサが故障等により機能しなくなりロボットスーツが暴走した場合でも人の安全を確保するための安全対策が重要である。ロボットスーツが暴走した時の安全対策として、緊急停止ボタンや関節可動域を制限する関節角度リミッタの使用などが挙げられる。しかし、緊急停止ボタンでは、ボタンが押される前に、(i)ロボットスーツを取り付けた脚が地面等と高速度で衝突する、(ii)人体に高負荷が掛かるなどの危険性が考えられる。また、関節角度リミッタにおいても、関節可動域制限に達するまで、同様の危険性がある。

2. 研究の目的

本研究では、人に対するロボットスーツの安全性の向上を目指し、ロボットスーツ暴走時に予め設定しておいたレベルの角速度・トルクがロボットスーツの関節に発生した場合、機械要素のみでそれを検知しロボットスーツを停止させる「ロボットスーツ用メカニカル安全装置 (以下、メカニカル安全装置)」を搭載したロボットスーツ (下肢用ロボットスーツ) を開発することを目的とする。予め設定する角速度・トルクのレベルは、ロボットスーツに要求される内容に応じて設定変更可能である。

3. 研究の方法

本研究では、メカニカル安全装置の一つとして、速度ベース安全装置 (本研究オリジナルの装置: ロボットスーツ暴走時に予め設定しておいたレベルの角速度がロボットスーツの関節に発生した場合、機械要素のみでそれを検知しロボットスーツの電源を切る装置) を用いるが、その安全装置において、予め設定しておいたレベルの角速度を検知してからどの程度素早くロボットスーツの電源を切るかが重要である。また、人の歩行周期と安全装置が共振しないように設計することも重要である。本研究では、まず、(i)安全装置が設定角速度を検知してからロボットスーツの電源を切るまでに要する時間遅れの理論解析および安全装置の周波数応答解析を行い、これらの解析結果等に基づき安全装置を設計する。さらに、(ii)設計した安全装置を搭載した下肢用ロボットスーツ (股関節、膝関節、足関節をサポートするロボットスーツ) を設計する。なお、本研究において、トルクに基づく安全装置として市販のトルクリミッタを用いることを検討する。次に、(iii)安全装置を搭載した下肢用ロボットスーツを製作し、安全装置が目的通り動作するか否かについて実験により検証する。

4. 研究成果

(i)安全装置が設定角速度を検知してからロボットスーツの電源を切るまでに要する時間遅れの理論解析・安全装置の周波数応答解析およびそれらに基づく安全装置の設計

研究開始前に提案してきた速度ベース安全装置をモデル化し、安全装置が設定角速度を検知してからロボットスーツの電源を切るまでに要する時間遅れの理論解析および安全装置の周波数応答解析を行い、それらの理論解析結果等に基づいて安全装置の設計を行った。さらに、安全装置を試作し実験により理論解析結果の妥当性を検証した。本研究成果については、5. 主な発表論文等の〔学会発表〕 [7], [14], [15], [19]~[21]にまとめ、発表を行った。

(ii) 設計した安全装置を搭載した下肢用ロボットスーツ (股関節、膝関節、足関節をサポートするロボットスーツ) の設計

設計した安全装置を搭載した下肢用ロボットスーツを股関節、膝関節、足関節の各部分毎に設計した。その設計において、効率よく設計するために、品質機能展開 (M-QFD: Multispace-quality function deployment) を用いてロボットスーツに要求される項目と各部品との関係性を整理し基本構造の設計を行うなどの工夫を取り入れた。

本研究で設計した足関節、膝関節、股関節用ロボットスーツの概形を図1~図3に示す。

なお、本研究成果については、5. 主な発表論文等の〔雑誌論文〕 [1], [2]および〔学会発表〕 [1]~[5], [8], [12], [13], [19]にまとめ、発表を行った。

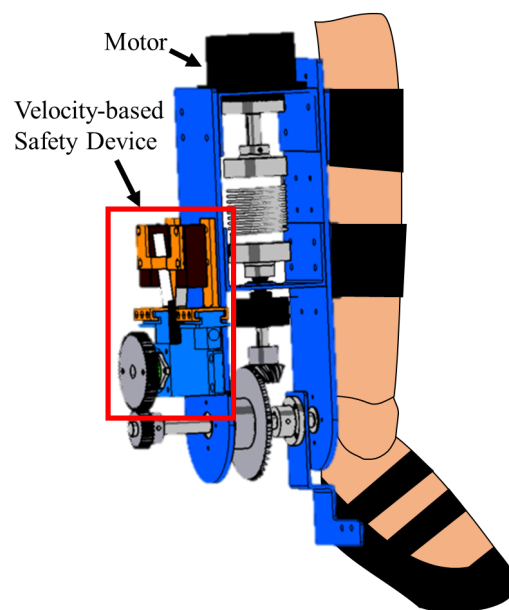


図1 設計した足関節用ロボットスーツ

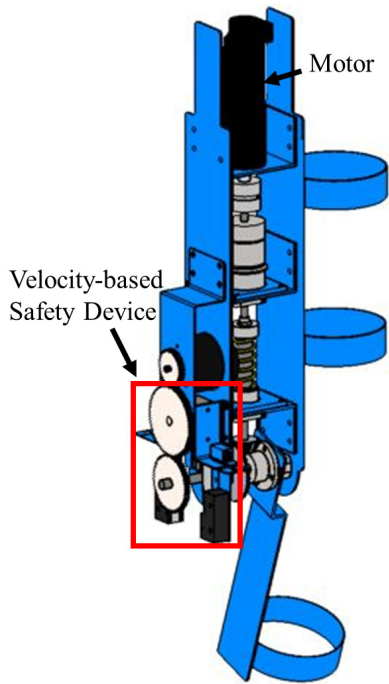


図2 設計した膝関節用ロボットスーツ

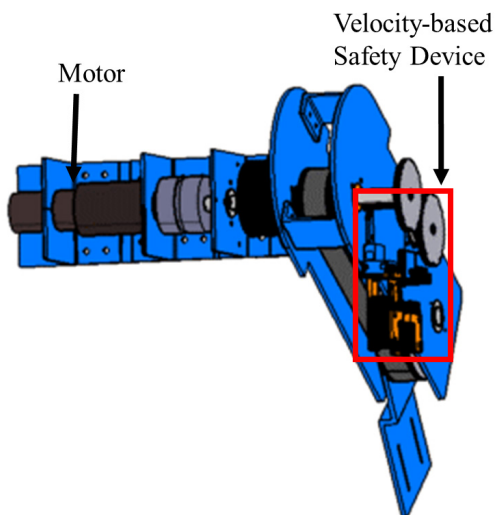


図3 設計した股関節用ロボットスーツ

(iii) 安全装置を搭載した下肢用ロボットスーツの製作・実験による安全装置の有効性検証実験

本研究では、上記で設計した下肢用ロボットスーツを製作した。図4～図6に製作した足関節、膝関節、股関節用ロボットスーツを示す。

さらに、製作したロボットスーツを用いて、搭載した安全装置が目的通り動作するか否かの検証実験を行ったところ、安全装置は目的通り動作していることが確認された。図7～図9に安全装置の実験結果の一例を示す。本研究成果については、5. 主な発表論文等の〔雑誌論文〕[1]および〔学会発表〕[6], [9], [10], [11], [16]にまとめ、発表を行った。

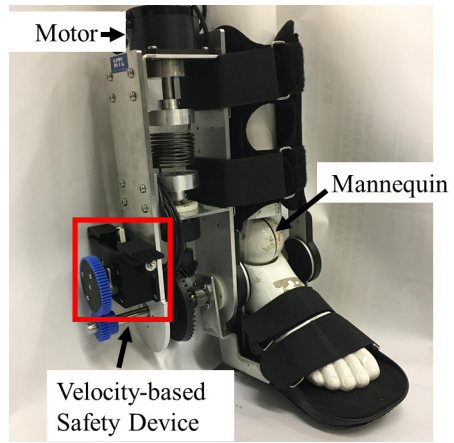


図4 製作した足関節用ロボットスーツ

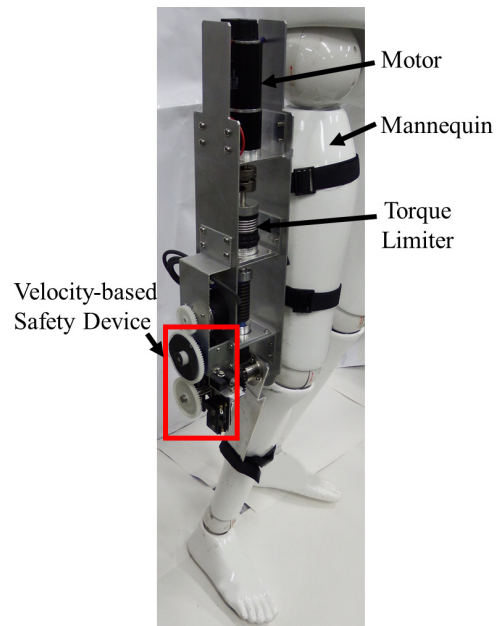


図5 製作した膝関節用ロボットスーツ

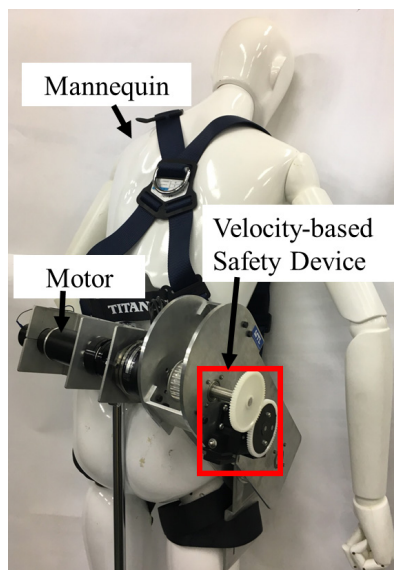


図6 製作した股関節用ロボットスーツ

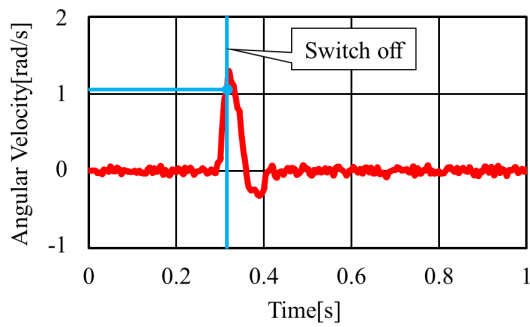


図7 足関節用ロボットスーツに搭載した速度ベース安全装置の実験結果の一例（実験結果は、縦軸に足関節の角速度、横軸に時間を示しており、足関節の角速度が設定したレベル（本実験では1.0 rad/s）に至った後、モータの電源が切れロボットスーツが停止していることを示している。）

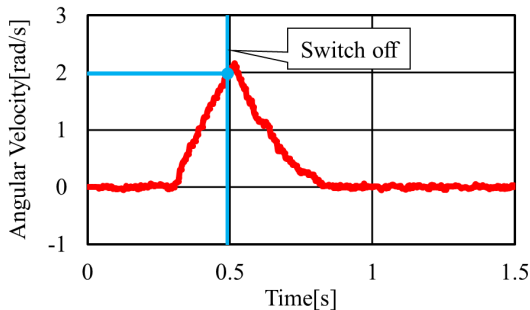


図8 膝関節用ロボットスーツに搭載した速度ベース安全装置の実験結果の一例（実験結果は、縦軸に膝関節の角速度、横軸に時間を示しており、膝関節の角速度が設定したレベル（本実験では2.0rad/s）に至った後、モータの電源が切れロボットスーツが停止していることを示している。）

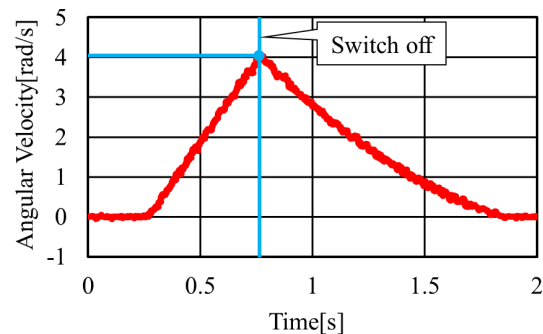


図9 股関節用ロボットスーツに搭載した速度ベース安全装置の実験結果の一例（実験結果は、縦軸に股関節の角速度、横軸に時間を示しており、股関節の角速度が設定したレベル（本実験では4.0rad/s）に至った後、モータの電源が切れロボットスーツが停止していることを示している。）

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] 杉山 将史, 池田 啓祐, 金田 翼, 甲斐 義弘, 富塚 誠義, ハードウェアベース安全装置を搭載した膝関節用アシストスーツの開発（機構の提案・設計）, 日本機械学会論文集, 査読有, 83号 856号, 2017, DOI:<https://doi.org/10.1299/transjsme.17-00279>
- [2] Masafumi Yabe, Souhei Noguchi, Masahito Sugiyama, Keisuke Ikeda, Tsubasa Kaneda, Yoshihiro Kai, Masayoshi Tomizuka, ハードウェアベース安全装置を搭載した足関節用アシストスーツの開発（品質機能展開を用いた設計）, Journal of Advanced Science, 査読有, Vol. 29, 2017, DOI:<https://doi.org/10.2978/jasas.29105>

〔学会発表〕（計21件）

- [1] 池田 啓祐, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した足関節用アシストスーツの開発（要求項目の検討とそれに基づく設計）, 日本機械学会, 2018.
- [2] 金田 翼, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した足関節用アシストスーツの開発（詳細設計）, Society of Advanced Science, 2017.
- [3] 柳田 幸記, チンタナー. N, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した新型膝関節用アシストスーツの開発（新型膝関節用アシストスーツの詳細設計）, Society of Advanced Science, 2017.
- [4] 狩野 泰毅, 尾崎 拓美, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した股関節用アシストスーツの開発（詳細設計）, Society of Advanced Science, 2017.
- [5] 西谷 佑典, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したリハビリテーション用アシストスーツの開発（M-QFDを用いた股関節用アシストスーツの基本設計の提案）, Society of Advanced Science, 2017.
- [6] 杉山 将史, 池田 啓祐, 金田 翼, 甲斐 義弘, 富塚 誠義, メカニカル安全装置を搭載した膝関節用アシストスーツの開発（実験的検討）, 日本機械学会, 2017.
- [7] Yuma Sato, Souhei Noguchi, Masahito Sugiyama, Yoshihiro Kai, Masayoshi Tomizuka, An Analysis of a Velocity-based Mechanical Safety Device for Rehabilitation Assist Suits, Japan Society of Mechanical Engineers & Korean Society of Mechanical Engineers, 2017.
- [8] 佐藤 優磨, 高屋 啓介, 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を

- 搭載した股関節用ロボットスーツの設計, 日本機械学会, 2017.
- [9] Souhei Noguchi, Masahito Sugiyama, Yoshihiro Kai, Masayoshi Tomizuka, Development of a compact robot suit with hardware-based safety devices -Study on the control method -, International Society of Artificial Life and Robotics, 2017.
- [10] Masahito Sugiyama, Souhei Noguchi, Yoshihiro Kai, Masayoshi Tomizuka, Development of a compact robot suit with hardware-based safety devices -Study on the effectiveness of the safety devices-, International Society of Artificial Life and Robotics, 2017.
- [11] 清 聖弥, 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツの開発 (トルクリミッタの動作確認実験), Society of Advanced Science, 2016.
- [12] 矢部 雅史, 樋口 弘樹, 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した足関節用ロボットスーツの開発 (品質機能展開を用いた設計), Society of Advanced Science, 2016.
- [13] 樋口 弘樹, 矢部 雅史, 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載した足関節用ロボットスーツの開発 (機構の提案), Society of Advanced Science, 2016.
- [14] 佐藤 優磨, 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツの開発 -速度ベース安全装置の時間遅れの理論解析-, Society of Advanced Science, 2016.
- [15] 高屋 啓介, 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツ (速度ベース安全装置の時間遅れの実験的検討), Society of Advanced Science, 2016.
- [16] 池田 啓祐, 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, ハードウェアベース安全装置を搭載したロボットスーツ (歩行時の速度ベース安全装置の動作確認実験), Society of Advanced Science, 2016.
- [17] 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したコンパクトなロボットスーツの開発 (設計および製作), 日本機械学会, 2016.
- [18] 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐 義弘, 富塚 誠義, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツの新設計 (品質機能展開を用いた設計), 日本ロボット学会, 2016.
- [19] 古屋 将徳, 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐 義弘, 富塚 誠義, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツの開発: ロボットスーツの駆動実験, 日本機械学会, 2016.
- [20] 佐藤 優磨, 野口 蒼平, 杉山 将史, 甲斐

義弘, 富塚 誠義, メカニカル安全装置を搭載したロボットスーツの開発: 速度ベース安全装置の解析・検討, 日本機械学会, 2016.

- [21] 杉山 将史, 野口 蒼平, 甲斐 義弘, メカニカル安全装置を搭載したコンパクトなロボットスーツの開発 (詳細設計), 日本機械学会, 2016.

[その他]

ホームページ等

http://www.mech.u-tokai.ac.jp/~kai_lab/

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