

# メカニカル安全装置を搭載した歩行訓練ロボットの開発 (接触力検知機構を用いた接触力のセンシング)

東海大学 ○ 坂本 博一 東海大学 ◎ 甲斐 義弘 東海大学 高木 裕次

## 要旨

本研究ではこれまでに機械要素のみで歩行訓練ロボットの安全性を確保するための接触力検知機構付メカニカル安全装置を開発してきている。本報告では、その接触力検知機構をロボットを制御するためのセンサとして使用できないかについて検討する。まず、接触力検知機構を接触力センサとして使用できるようにするための改良について述べる。改良した接触力検知機構の有効性は実験により検証する。

## 1. 緒言

近年日本では急速に高齢化が進行している。2060年には人口の39.9%が65歳以上の高齢者となる超高齢化社会になると予測されている<sup>[1]</sup>。それに伴い、加齢による身体能力の低下や疾病などが原因で歩行障害を持つ患者が増加することが予想される。また、介護士や理学療法士の人手不足が予想される。このため、患者がある程度自立して歩行訓練を行える歩行訓練ロボットの開発が求められている<sup>[2]</sup>。しかし、人の歩行訓練をサポートする歩行訓練ロボットでは、使用者や周りの人の安全性を確保する安全対策が必要となる。

本研究では、これまでに歩行訓練ロボットの制御用コンピュータが故障し、ロボットが制御不能になった際の安全対策として、3種類の安全装置<sup>[3]</sup>を提案してきた。設定値以上の速度が発生した場合にロボットのモータの電源を切り、ロボットの回転軸をロックする速度ベース安全装置。設定値以上のトルクが回転軸に発生した場合にそのトルクを遮断し、ロボットのモータの電源を切るトルクベース安全装置。ロボットが人や物に衝突して、設定値以上の接触力が発生した場合にロボットのモータの電源を切る接触力ベース安全装置である。本報告では、コンピュータ制御時に接触力ベース安全装置に用いられている接触力検知機構をロボットを制御するための接触力センサとして使用できるようにするための改良を行った。また、改良した接触力検知機構の有効性を実験により検証した。

## 2. 歩行訓練ロボット

本報告で取り扱う歩行訓練ロボットの概観を図1(a)に示す。また、歩行訓練ロボットに搭載しているドライブユニットを図1(b)に示す。歩行訓練ロボットには3種類のメカニカル安全装置が設置されている。ドライブユニット上には速度ベース安全装置、トルクベース安全装置が取り付けられており、ロボットの前方には接触力ベース安全装置が取り付けられている。

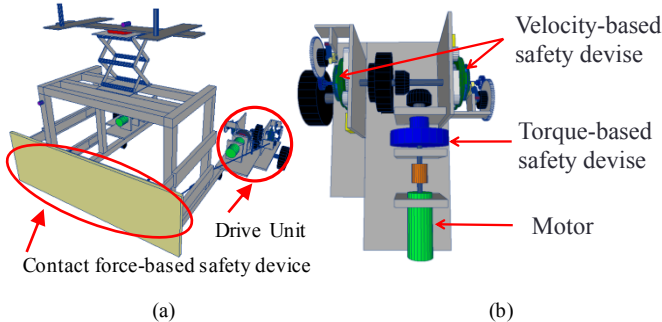


Fig.1 A walking support robot

## 3. 接触力ベース安全装置

図2にこれまでに提案された接触力に基づく安全装置を搭載した歩行訓練ロボットを示す。歩行訓練ロボットが人や物と接触した場合に、検知板が押し込まれスライドレールが押し込まれることでワイヤーが引っ張られ、引張りバネが初めに作用し、途中から圧縮バネが作用する。また、側面にあるスイッチが押し込まれ、ロボットのモータの電源が切られる。

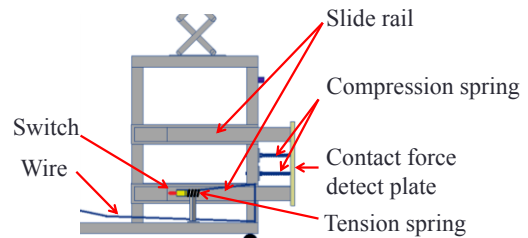


Fig.2 Contact force-based safety device

## 4. 接触力センサとして使用するための改良

接触力検知機構を接触力センサとして使用できるようにするために図3に示すように距離センサ(GP2Y0E0E2A)、3軸加速度センサ(KXSC7-2050)をロボット本体に取り付けた。ロボットが人や物と接触し、検知板が押し込まれると、距離センサにより検知板とロボットの距離を測定し、その距離から接触力を推定する。推定した接触力の値に基づいてロボットが制御される。なお、加速度センサにより坂道の傾斜角も計測し、坂道での検知板の自重による影響も考慮する。

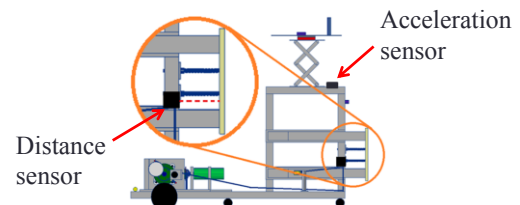


Fig.3 Sensor mounting position

## 5. 接触力のセンシングの実験

本章では距離センサから接触力のセンシングを行うために距離センサから得られる電圧(距離に比例する電圧)と検知板にかかる接触力の関係を実験によって求め、その関係から接触力を推定する(図4参照)。引張りバネと圧縮バネを使用しているため、2段階の線形グラフとなった。図4より傾きを求め、距離センサより出力される電圧から検知板に作用している接触力を推定する式を求めた。本実験において接触力は力センサ(ATI社製 ATIMini45)を用いて計測した。実験回数は10回であった。また、加速度センサを用いて坂道の傾斜角も計測し、その傾斜角から坂道での検知板の自重を差し引き、検知板にかかる力を推定できるようにした。

実際に平地、7°の坂道(上り、下り)でロボットの接触力検知板を力センサを取り付けた障害物に接触させ検知板に40[N]の力が加わるまで駆動させた。その間、力センサにより計測した接触力の実測値と距離センサと加速度センサにより求めた接触力の推定値を比較した。サンプリングタイムは0.005[s]で、実験回数は10回であった。

その結果を図5に示す。図5の(a)は平地、(b)は下りでの結果を示す。図5より実測値と推定値がほぼ一致していることがわかる。上りの場合も本結果と同様であった。このことから、接触力のセンシングが可能となった。

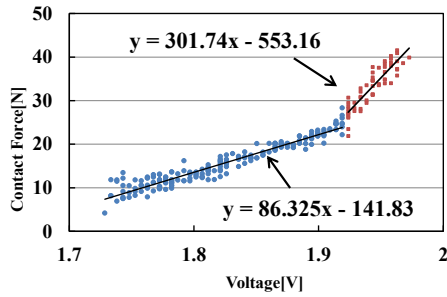
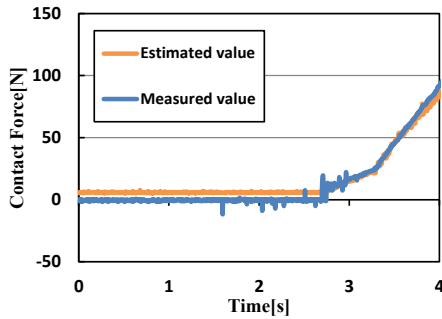
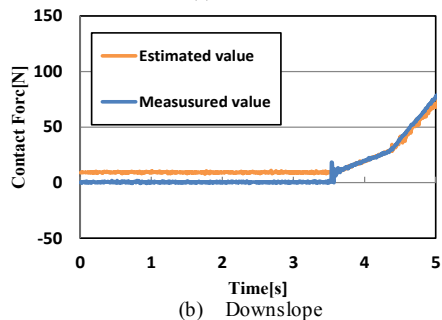


Fig.4 The relationship between the sensor voltage and the contact force



(a) Flat



(b) Downslope

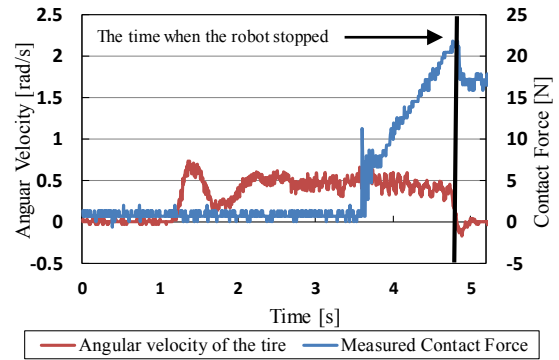
Fig.5 The estimated value and the measured value

### 6.1 実験方法

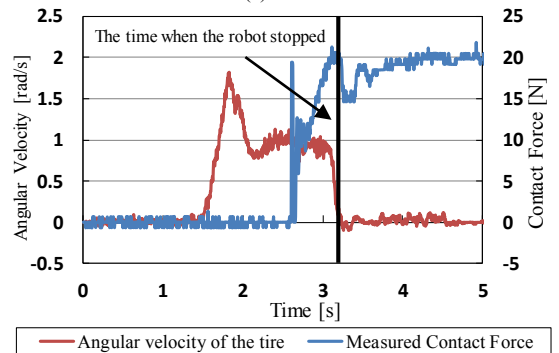
実験装置の概略図を図 6(a), (b), (c) に示す。この実験では接触力検知板に作用する接触力を障害物に取り付けた力センサで、タイヤの角速度を高速カメラ(HAS-500)で計測した。実験は平地、上り(7°)、下り(7°)で行い、ロボットを停止させる接触力の設定値は 20[N], 25[N], 30[N]とし実験回数はそれぞれ 10 回ずつ行った。

### 6.2 実験結果

平地・下りの実験結果の代表例を図 7(a), (b), に示す。実験結果より、設定値の接触力でそれぞれロボットが停止していることが分かる。他の設定値の実験結果も同様の傾向となった。



(a) Flat

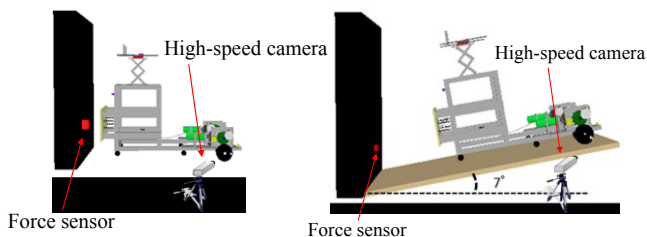


(b) Downslope

Fig.7 Experimental result

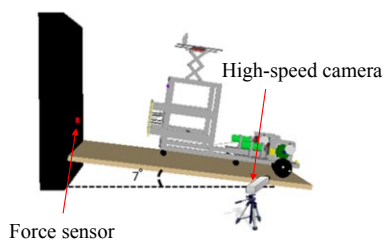
## 6. ロボットの駆動実験

本章では、図 6 に示すように、平地(図 6(a)), 下り(図 6(b)), 上り(図 6(c))でロボットを 0.05[m/s]で駆動させ、障害物と接触させる。そして、提案した接触力センサの情報に基づきロボットが停止するか確認実験を行った。



(a) Flat

(b) Downslope



(c) Upslope

Fig.6 Experimental set up

## 7. 結言

本研究では、接触力検知機構をロボットを制御するための接触力センサとして使用できるように改良を行った。また、その有効性を実験により確認した。なお、登壇者は、制御プログラムおよび実験データの整理・解析を行った。

## 参考文献

- [1] 内閣府 平成 27 年版 高齢社会白書(全体版)平成 26 年度 高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況 [http://www8.cao.go.jp/kourui/whitepaper/w-2015/html/zenbun/s1\\_1\\_1.html](http://www8.cao.go.jp/kourui/whitepaper/w-2015/html/zenbun/s1_1_1.html) (2016/2/1 アクセス)
- [2] T. Tani, A. Koseki, A. Sakai, S. Hattori, A. Ouchi, "System design and field-testing of the walking training system," in Proc. 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.1, 1996, pp.340-345.
- [3] Y. Kai and K. Arihara, "A walking support robot with velocity, torque, and contact force-based mechanical safety devices," in Proc.2015 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015), 2015, pp.5026-5031.