

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)

Development of a New Mechanical Safety Device for Human-friendly Robots (Experimental Study)

○ 三戸誠多朗 (東海大学院) 甲斐義弘 (東海大)

Seitaro SANDO, Tokai University
Yoshihiro KAI, Tokai University

Abstract: Human safety is one of the most important issues in human-friendly robotics. In this paper, we present 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, or batteries. The safety device is attached to each drive-shaft of the robot. If the safety device detects an unexpected angular velocity of the drive-shaft or an unexpected large contact force between the robot and the humans, the safety device can switch off the motors of the robot and lock the drive-shaft. Furthermore, we develop a robot arm equipped with the safety devices. We experiment by using the developed robot arm. Finally, we verify the effectiveness of the safety device from experimental results.

Key Words: Human-friendly Robot, Safety Devices

1. 緒言

現在、医療の現場や日常生活で人をサポートする人間共存型ロボットの研究が活発に行われている。人間共存型ロボットは人間と同じ空間で作業するため、高い安全性が求められる。しかし、従来の安全対策には様々な問題点がある。主な安全対策としては緊急停止ボタン^[1]の使用、低出力モータの使用^[2]等が挙げられるが、緊急停止ボタンを使用する場合ボタンを押す前に人が傷付けられる危険がある。低出力のモータではロボットの行う作業が制限されてしまう。

以上のようなことから、本研究では、これまでに、ロボット暴走時にロボット駆動軸に発生する高速度を機械要素のみで検知しロボットを停止させるメカニカル安全装置を提案した^{[3],[4]}。しかし、ロボット暴走時にロボットが低速で動作した場合は、ロボットにより人や環境に過大な力が加わっても、ロボットを停止できないという問題点があった。

そこで、本報告では、これまでに提案した安全装置の速度検知機構に加えて、新しく、接触力を検知する機構を搭載した新メカニカル安全装置を提案する。さらに、新メカニカル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、新メカニカル安全装置の有効性を実験により検証する。

2. メカニカル安全装置

図1に本研究で提案する新安全装置の構造を示す。図1は、一例として、本安全装置をロボットの駆動輪に取り付けた場合を示している。本安全装置は、ロボットの駆動軸において一方向のみに対して作動する。そこで、ロボットの各関節に本安全装置を二つ取り付けることにより、正転・反転の両方向に対して作動することができる。

安全装置において、ラチェットホイール A、プレート B およびギア A は、駆動軸と一体となって回転する。つまみ B に取り付けられたガイドバー B はプレート A に設けられたガイド穴 B に挿入され、プレート A はねじりコイルバネを介してプレート B に取り付けられる。プレート A はラチェット状の歯を持っており、その歯はガイド穴 B を有する部分により弾性支持されている。プレート C はバネ A を

介してフレームに拘束されている。プレート C には内歯が設けられており、つまみ C に取り付けられたガイドバー A はプレート C に設けられたガイド穴 A に挿入されている。ギア B にはロータリーダンパが接続されていて、ロータリーダンパの出力軸にはつまみ A が接続されている。また、つまみ A にはバネ B も接続されている。ギア B はギア A とかみ合う位置にフレーム A により設置される。さらに、つまみ D にはワイヤとバネ Z が取り付けられており、ワイヤが引かれるとプレート A のラチェット状の歯と噛み合う。

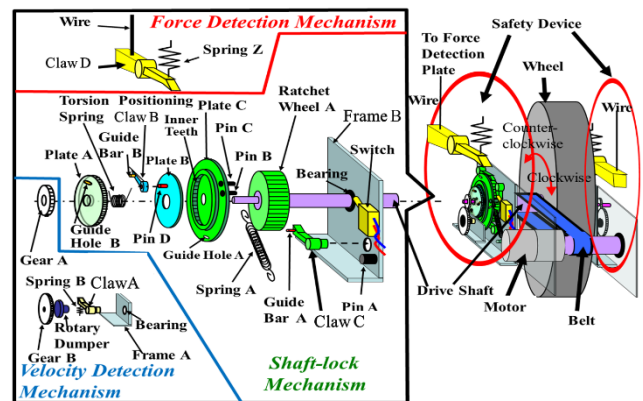


Fig.1 Structure of the Safety Device

3. 検知及びロックのメカニズム

図2に示すように、ロボットの外表面(腕部も含む)に人との接触力を検知する接触力検知板がバネ等の弾性体を介して取り付けられている。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、つまみ D が取り付けられているワイヤが引かれる。人との接触により、予め設定した力以上の接触力が作用したとき、つまみ D は、安全装置のプレート A と噛み合い、プレート A が停止する (図3(a))。一方、ロボットの駆動軸に取り付けられたプレート B は回転を続けようとする (図3(b))。このとき、プレート B による回転により、プレート A が停止しているため、つまみ B は、ガイドバー B とプレート A に設けられたガイド穴 B との幾何学的拘束により、ガイド穴 B に沿ってスライドし、プレート C の内歯と接触する (図3(c))。さらに、駆動軸が回

転すると、つめ B は内歯と噛み合い、その後、プレート C を回転させる (図 3 (d)). プレート C が回転すると、プレート C に設けられたガイド穴 A とつめ C に取り付けられたガイド A との幾何学的拘束により、つめ C が回転する。また、プレート A に設けられたピン C により、モータの電源が切られる。電源が切られた後、つめ C がラチェットホイールと噛み合い、ロボットの駆動軸をロックし停止させる。なお、接触力検知板に取り付けるワイヤの長さを調節することにより、検知する接触力の設定変更が可能である。

速度の検知においては、駆動軸の速度に比例して大きくなるダンパの制動トルクとバネ B によるスプリングトルクとの釣り合いを用いる (図 4)。すなわち、駆動軸の速度が設定したレベル以上の速度に到達すると、つめ A に作用するダンパの制動トルクがバネ B によるスプリングトルクに打ち勝ち、つめ A が回転しプレート A のラチェット状の歯と噛み合う。その後、上述した接触力検知後 (図 3) と同じプロセスでロボットの駆動軸がロックされる。検知する速度の設定変更は、バネ B の取り付け位置を変更することにより可能である。

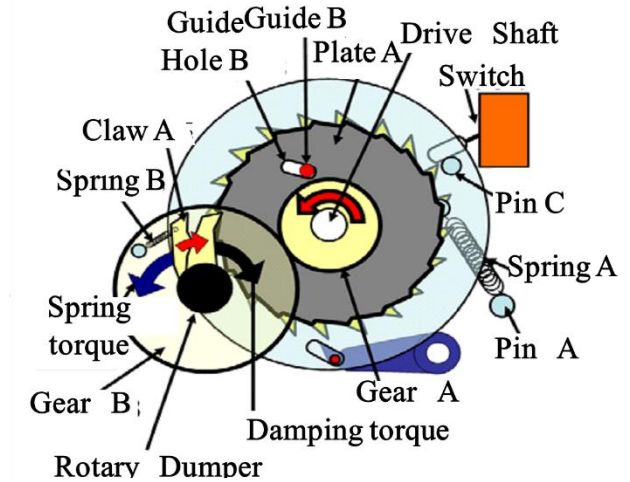


Fig.4 Velocity Detection Mechanism

4. 新安全装置を搭載した 1 自由度ロボットアームの設計・製作

新安全装置の動作を確認する実験を行うために、新安全装置を搭載した 1 自由度ロボットアームを設計し、その設計に基づいたロボットアームを製作した (図 5)。人との接触力を検知する接触力検知板は、ロボットアームの側面部に取り付けられている。接触力検知板にはアウターワイヤを介して接触力検知部に繋がっている。アウターワイヤはチューブの中にワイヤが通っており、ロボットアームの軌道に左右されることなく接触力を検知することができる。接触力検知板の弾性体には線形バネを使用し、モータの駆動力はプーリとタイミングベルトを介してアームの回転軸に伝達されている。

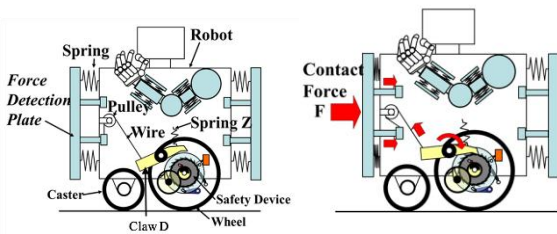


Fig.2 Force Detection Mechanism

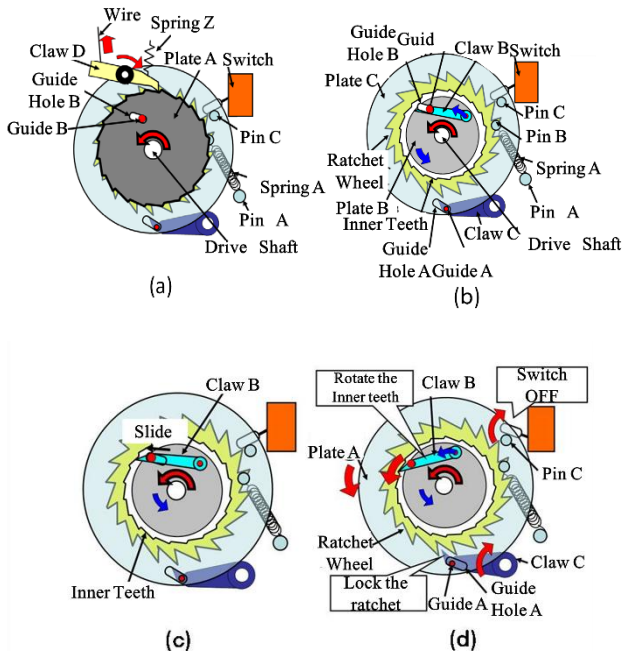


Fig.3 Shaft-lock Mechanism

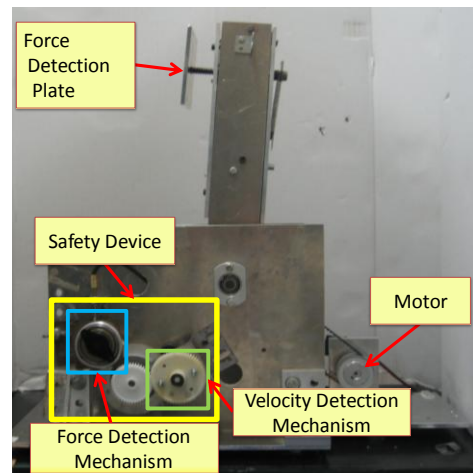


Fig5. Developed Robot Arm

5. 新メカニカル安全装置の実験 (接触力検知機構)

製作したロボットアームを用いて、新安全装置の接触力検知機構が目的通り作動し、新安全装置によりロボットアームが停止するか否かの検証実験を行った。

5.1 接触力検知の動作実験

実験装置の配線図を図 6 に示す。実験方法として、まず、低速度 (2 [rad/s]) でモータを駆動させ、ロボットアームの接触力検知板と障害物を接触させる。その後、新安全装置によりロボットが停止することを確認する。なお、接触

力検知板に作用する接触力は、実験中にモータへの供給電流を計測し、それをモータのトルクへ換算し、そのトルクから接触力を算出した。この接触力と設定した接触力の理論値を比較した。

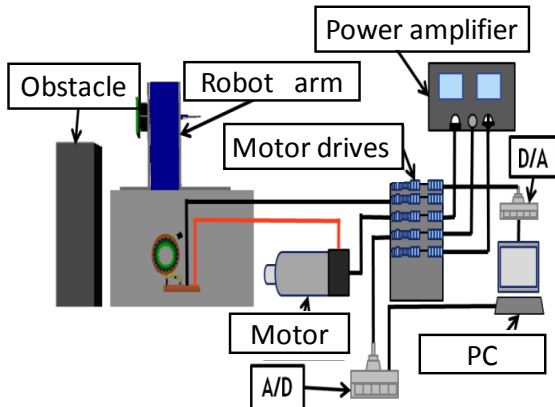


Fig.6. Experimental Setup (Force Detection)

5.2 実験結果及び考察

図 7 に実験結果の代表例を示す。このグラフは横軸に時間、縦軸には接触力を示している。設定した接触力は、接触力検知板に取り付けたバネに±5%の出力誤差があるため、その分を考慮した範囲で表示している。図 7 より、接触力検知板に設定したレベル以上の接触力が作用した後、接触力の値（すなわち、電流値）が急激に減少し、ゼロになっていることがわかる。したがって、設定したレベル以上の接触力が作用した後に新安全装置が作動しモータの電源が切られたと考えられる。なお、本結果はその他の場合においても同様であった。

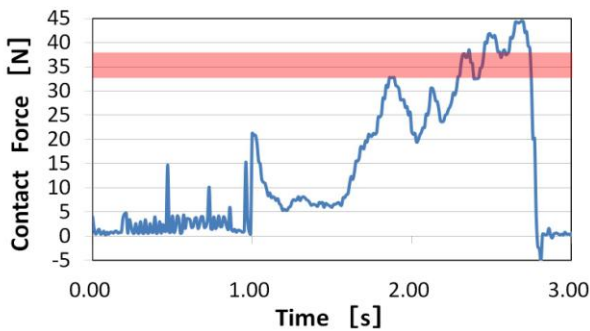


Fig.7 Experiment Result (Force Detection)

6. 新メカニカル安全装置の実験（速度検知機構）

製作したロボットアームを用いて、新安全装置の速度検知機構が目的通り作動し、新安全装置によりロボットアームが停止するか否かの検証実験を行った。

6.1 実験結果及び考察速度検知の動作実験

図 8 に実験装置の配線図を示す。ロボットアームの速度を徐々に加速させ、新安全装置が作動する様子を高速度カメラで計測した。

6.2 実験結果及び考察

図 9 に実験結果の代表例を示す。このグラフは横軸に時間を、縦軸にはロボットアームの回転軸の角速度を示している。設定した角速度は、用いたロータリーダンパの出力トルクの誤差が±20%あるため、その分を考慮した範囲で

表示している。図 9 より、設定したレベル以上の速度が発生した後、急激に速度が減少し、ゼロになっていることがわかる。したがって、設定したレベル以上の速度が発生した後、新安全装置が作動しロボットアームが停止したと考えられる。

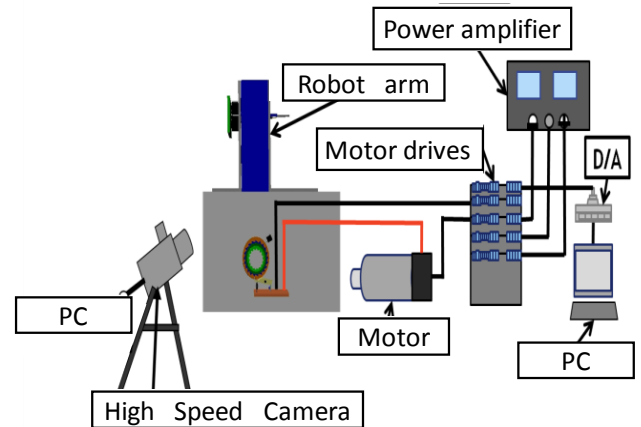


Fig.8 Experimental Setup (Velocity Detection)

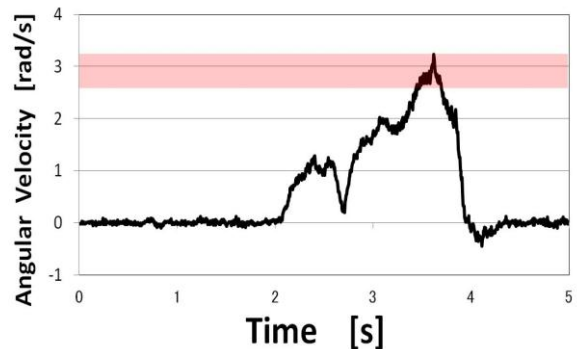


Fig.9 Experiment Result (Velocity Detection)

7. 結言

本報告では、ロボットの暴走時に速度だけでなく、人や環境との接触力に基づいてロボットの暴走を検知し、ロボットを停止させる新安全装置を提案した。また、新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。製作したロボットアームを用いて実験を行った結果、新安全装置では、接触力でも速度でもロボットの暴走を検知することができ、ロボットを停止できることが確認された。

参考文献

- [1] Y. 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,(2004), pp.117-124.
- [2] 深瀬, "サービスロボットの安全化事例③—食事支援ロボット「マイスプーン」—", 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No.8, (2007), pp.1165-1167.
- [3] 奥平, 甲斐, "福祉ロボットのためのメカニカル安全装置", 日本機械学会福祉工学シンポジウム 2008 講演論文集, (2008), pp.178-179
- [4] 山口, 甲斐, 池田, "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 年度年次大会講演論文集, (2010), pp.355-356.