

## 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)

## Development of a Human-friendly Robot with Mechanical Safety Devices

## (Mechanical Design of the Robot)

○ 山口紘輝 (東海大院) 森和也 (東海大院)

甲斐義弘 (東海大)

Hiroki YAMAGUCHI, Kazuya MORI,  
Yoshihiro KAI, Tokai University

**Abstract:** Human safety is one of the most important issues in human-friendly robotics. We have presented a safety device to improve the safety for humans in the robot's workspace. The safety device consists of only mechanical components without actuators, controllers and batteries. The safety device locks the robot's joint after detecting the overdrive on the basis of the joint's angular velocity. In this paper, we design and develop a human-friendly robot with the safety devices. First, we explain the concept and the mechanism of the safety device, briefly. Second, we discuss the design concept of the human-friendly robot with the safety devices. Third, we design and develop the human-friendly robot with the safety devices. Fourth, we experiment by using the developed robot. Finally, from the experimental results, we examine the usefulness of the safety devices.

**Key Words:** Human-friendly Robot, Welfare Robot, Safety Device, Life Support

## 1. 緒言

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において人間に対する安全は最も重要な問題の一つである。

本研究では、これまでに、ロボット暴走時、関節の軸に発生する高速度を機械要素のみで検知し、機械要素のみでロック、それと同時に作動するセーフティスイッチにより、ロボットを止めるという安全装置を提案している<sup>[1][2]</sup>。

本研究では、これまでに、ロボット暴走時にロボットの駆動軸に発生する高速度を機械要素のみで検知し、機械要素のみで暴走を食い止める安全装置を提案している。本報告では、これまでに提案しているメカニカル安全装置を組み込んだ5自由度のアーム部と2自由度の車輪移動部を有する人間共存型ロボットの機構設計を中心に述べる。はじめに、メカニカル安全装置を組み込んだ人間共存型ロボットの設計コンセプトについて述べる。さらに、メカニカル安全装置を組み込んだロボットの詳細設計および実際に製作したロボットについて述べる。

## 2. メカニカル安全装置のコンセプト

図1に示すように、ロボットの関節に安全装置を取り付け、ロボットが暴走した際、安全装置により予め設定したレベル以上の速度を検知し、関節をロックする。さらにロボットの暴走を検知した後、ロックと同時に作動するセーフティスイッチにより、ロボットの電源を切り、2重に安全を確保する。ロボットの暴走時、アームに大きな速度が発生し、人と接触した場合、大きな衝撃力が人に加わる。そこで、予め設定した速度でロックすることにより、大きな衝撃力の発生を防ぎ、人への被害を低減させる。

また、安全装置は一方向の速度でロックする。これを2つ付けることにより正転・反転でロックすることが出来る。また、ロック後、関節をロックしている方向と逆方向に回すことでロックを解除できる仕組みにする。これにより、ロック後アームに人が挟まれていたとしても、アームを動かすことにより人を救出することが期待できる。

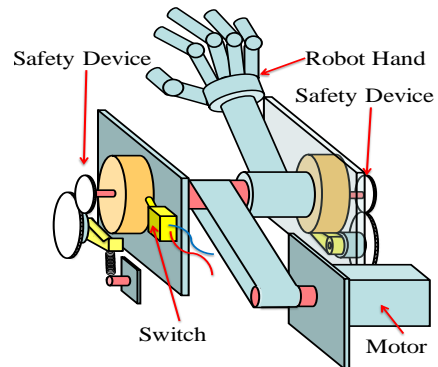


Fig.1 Design Concept

## 3. メカニカル安全装置の構造

図2に安全装置の構成を示す。軸Aはモータに接続されている。軸AはホールA、ホールB、ホールCに挿入され、歯車Aに接続される。ラチェットホイール・プレートB・歯車Aは軸Aと一体となって回転する。また、歯車Aの回転は、歯車Bに伝えられ、歯車Bに接続されているロータリダンパが回転する。ストッパAはロータリダンパの軸に取り付けられている。バネAの一端はストッパAに他端はピンAを介しフレームBに取り付けられている。プレートA

はバネBによって拘束されており、バネBの他端はフレームAに取り付けられている。また、プレートAは、回転軸の回転が伝わらないようになっていて、内歯車が設けられている。プレートAに設けられたガイドホールAにラチェット爪のガイドバーAが挿入される。プレートBのピンDは爪AのホールDに挿入され、爪AはピンDを中心とした回転運動をする。爪AのガイドバーBはプレートCのガイドホールBに挿入されている。プレートCのピンEにはバネC(ねじりコイルバネ)の一端が固定されていて、プレートBのピンCにはもう一端が固定されている。バネCによる張力が発生しているため、常に同じ方向にスプリングトルクが働いている。このため、プレートBの回転(回転軸の回転)はバネCを介し、プレートCに伝わり、一体となって回転する。

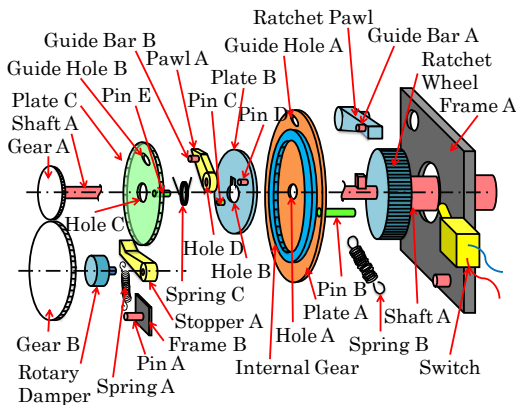


Fig.2 Safety Device

#### 4. 速度による検知およびロックのメカニズム

図3に速度による検知のメカニズムを示す。回転軸の角速度が設定速度以上になると、ダンパによる制動トルクはバネBによるスプリングトルクに打ち勝ち(図3(a)), ストップAが回転し、プレートCがストップAによりロックされる(図3(b))。これが速度による検知である。プレートCとプレートBはバネCによって一体となって回転しているが、プレートCはストップAによりロックされ、回転軸は回転を続けるので、これにより回転軸(プレートB)とプレートCの回転にずれが生じる(図3(c))。このずれによりプレートCに設けられたガイドホールBと爪AのガイドバーBの幾何学的拘束により、爪Aがスライド(図3(d))し、爪Aが内歯と接触する(図3(e))。爪Aが内歯車と接触すると、爪Aにより、プレートAが回転する(図3(e))ので、プレートAに設けられたピンBによりスイッチが切り替えられ、電源がカットされる。そして、プレートAに設けられたガイドホールAとラチェット爪のガイドバーAの幾何学的拘束によりラチェット爪が動きラチェットホイールと噛み合い、回転軸が停止する(図3(f))。なお、検知する速度の調整はバネBの張力を変えることによって調節することができる。以上が速度による検知およびロックの基本原理であるが、爪Aを複数用い、内歯に接触する位相をずらすことにより、速度検知からロックするまでの時間が短縮できる。実験では爪Aを3つ用いて行っている。

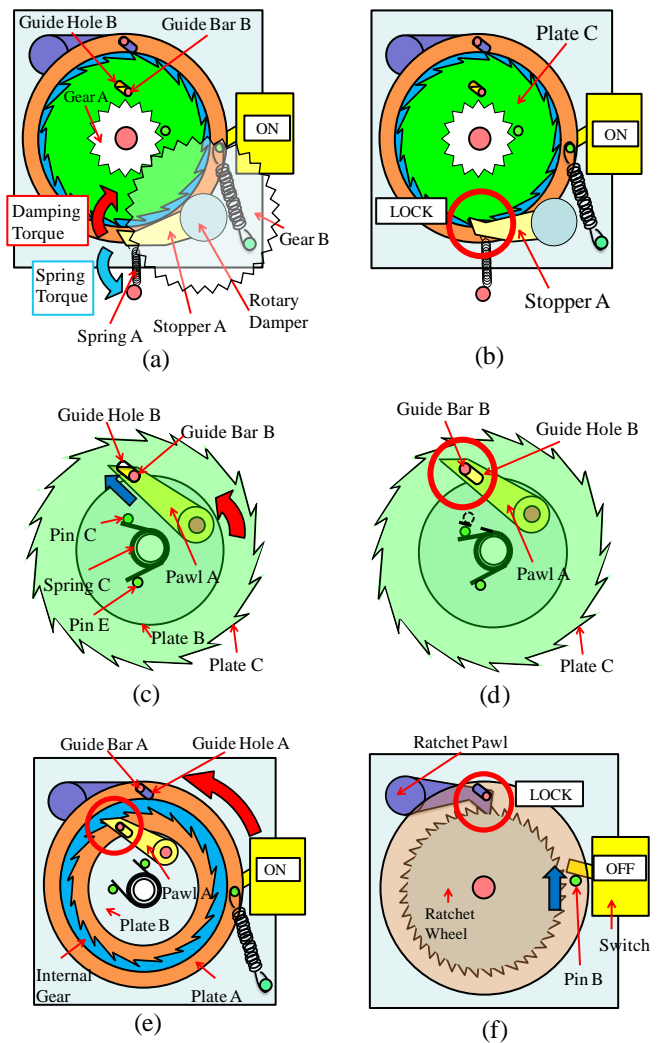


Fig.3 Mechanism of Safety Device

#### 5. 人間共存型ロボット

本研究では、双腕のロボットアームを搭載した車輪移動型ロボットを設計した。ロボットアームの各軸には安全装置を搭載した。ロボットアームの姿勢の変化や動作時における安全装置への影響を小さくするため、動力をタイミングベルトで伝達し、安全装置を根元部に近づけるといった機構になっている。また、負荷が小さくなると考えられる箇所は亚克力板を使い軽量化を行った。このロボットアームを車輪移動型ロボットに搭載することで行動範囲や自由度をさらに高めている。設計した車輪移動型ロボットの構想図を図4に示す。車輪部にも安全装置を搭載することで車輪部が暴走した際の安全対策としている。また、アーム部、車輪部を人間に近い大きさに設計した。

図4の車輪移動式ロボットに搭載するロボットアームの片腕を図5に示す。各関節を駆動するモータはロボットアーム内に搭載し、タイミングベルトを用いて各関節に動力を伝達している。メカニカル安全装置は、ロボットアームの姿勢の変化や動作時の動きによる影響を最小限に抑えるため、できるだけロボットアームの根元部分に近づけるように配置している。メカニカル安全装置は正方向、逆方向の回転に対応するため、1自由度につき2つのメカニカル安全装置を取り付ける。

図6に車輪移動型ロボットの車輪移動部を示す。車輪移動部の上部に搭載するロボットアーム(図5)の荷重に耐

えるため、車輪移動部の構造部にはアルミフレームを使用した。ロボットアーム部と同様に、タイミングベルトを用いて動力を伝達している。メカニカル安全装置は正方向、逆方向の回転に対応するため、1自由度につき2つのメカニカル安全装置を取り付ける。車輪は4つ取り付け、前輪は自在キャスター、後輪は駆動輪としている。後輪は左右別々のモータで駆動し、左右の車輪の回転差でロボットの進行方向を変えることができる。車輪移動部にアーム部を搭載した時の全長は1500[mm]であり、アーム部の根本のプレートから手先までの寸法は1210[mm]となっている。

回路図を図7に示す。ロボットのモータを駆動する場合は、パソコンからの指令電圧(-10~10[V])をD/A変換器を介しモータドライバに送り、それに応じた電圧(-24~24[V])がモータドライバからモータに速度制御で送られる。モータの回転はエンコーダ・カウンタボードを介し、カウントされパソコンにデータが送られる。ロボットの関節に設定した速度以上の速度が発生した時、メカニカル安全装置が作動してスイッチが切り替わる。その場合、モータドライバからモータへの電力の供給がストップする。

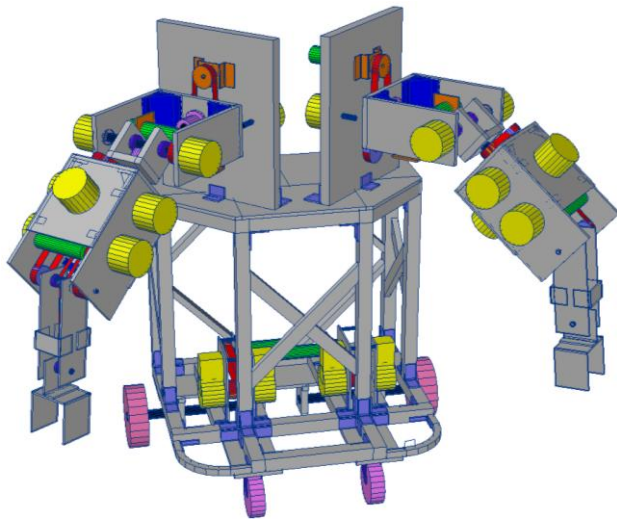


Fig.4 Human-friendly Robot

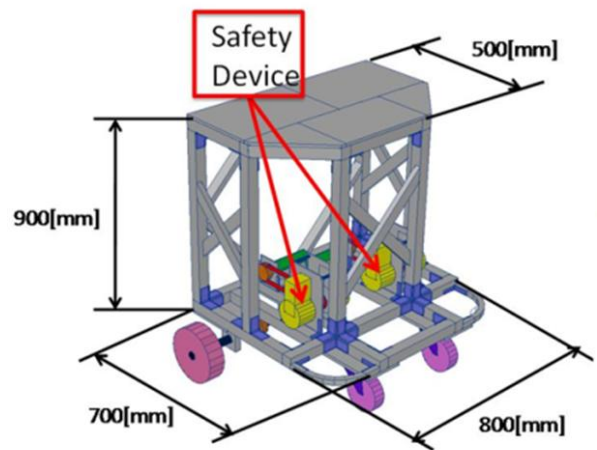


Fig.6 Wheel Mobile Robot

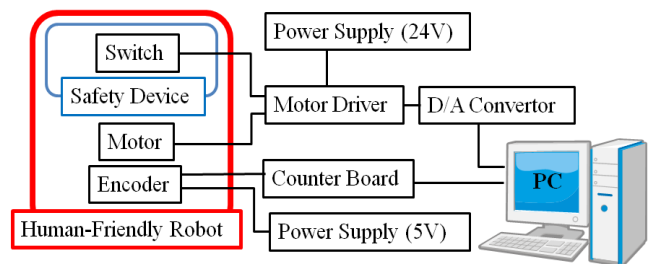


Fig.7 Electric Circuit

## 6. 実験

本安全装置を搭載した車輪移動式ロボットを設計・製作し、不整地走行時(図8)における安全装置の有効性を実験により検証した。図9に設計・製作した車輪移動式ロボットを示す。

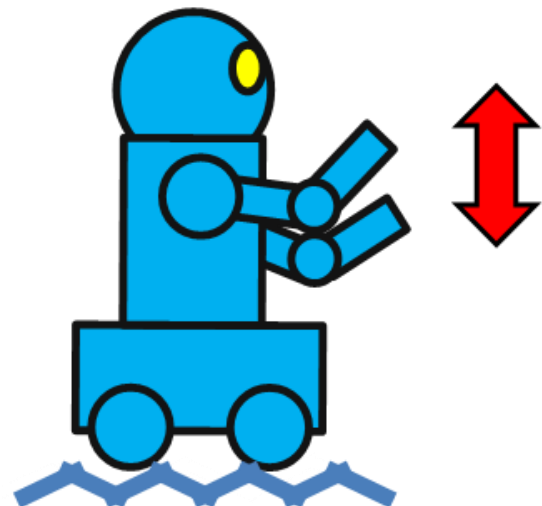


Fig.8. Irregular place

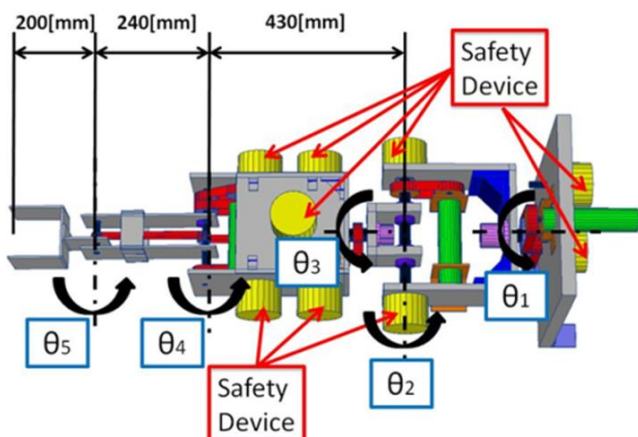


Fig.5 Robot Manipulator



Fig.9 Human-friendly Robot with Mechanical Safety Devices

### 6-1 アーム部動作確認実験

車輪部を振動させアーム部のストップAへの影響を確認する。この実験で用いる関節は図10の $\alpha$ 部である。実験は5回行った。関節の角度は $\theta_1=1.57[\text{rad}]$ ,  $\theta_2=1.57[\text{rad}]$ ,  $\theta_3=1.57[\text{rad}]$ ,  $\theta_4=0[\text{rad}]$ ,  $\theta_5=0[\text{rad}]$ とした。

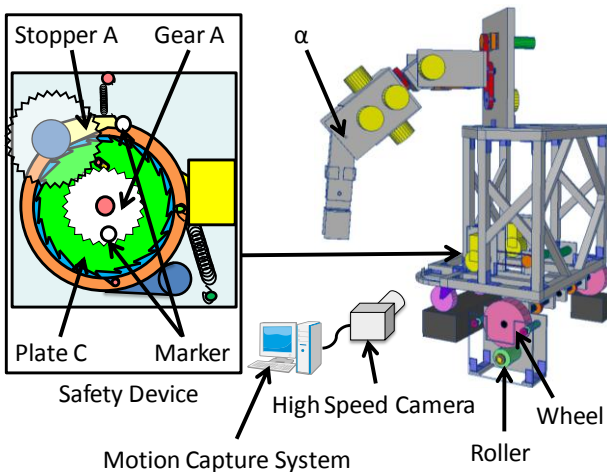


Fig.10 Experimental Setup

### 6-2 実験結果

図11は振動がもたらすストップAの検知角度への影響を示す。図11より、ストップAの検知角度は設定した角度(0.17[rad])に達していないため、プレートCとストップAはかみ合っていないことが分かる。すなわち、本実験においては振動により速度検知部の誤動作は生じていないことが分かる。なお、ストップAの角度が変化しているが、これは車輪部の振動により、ロボットアームの駆動軸がわずかに動いたためである。

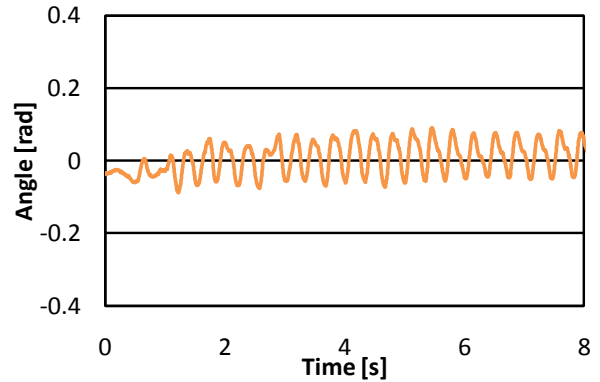


Fig.11 Experimental Result

### 6-3 車輪部動作確認実験

図10に示すように、車輪をローラの上に載せ、車輪のモータを駆動させ実験を行った。不整地走行時を再現するため、ローラに突起を取り付ける(図12)。ストップAは不整地走行の影響を受けやすい位置に配置した。回転軸(歯車A)とストップAの動きを計測するためにマークを取り付け、高速度カメラ(ディテクト社製 HAS500)により、回転軸(歯車A)の角速度とストップAの角度変位を計測した。ローラに突起を付けずに駆動させた場合と図12(a), (b), (c)の3種類の突起を付けたそれぞれの不整地走行時に対し、急激な速度上昇を与えた場合の計測をそれぞれ10回ずつ行った。設定速度の理論値は4.2[rad/s]だが、ダンパの誤差が $\pm 20\%$ あるため、設定速度の範囲は3.4~5.2[rad/s]となる。なお、実験結果は講演会当日に示す。

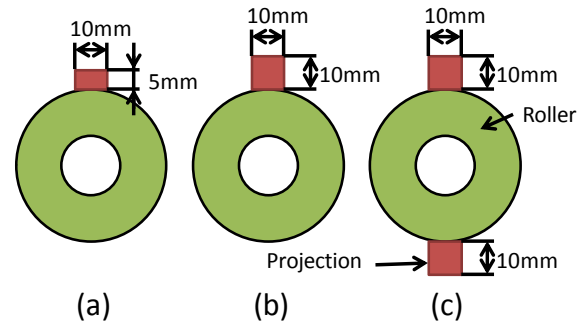


Fig.12 Roller of Experimental Device

## 7. 結言

本報告では、本安全装置を搭載した双腕車輪移動型ロボットを設計した。また、片腕のロボットアームを搭載した車輪移動式ロボットを製作し、不整地走行時におけるメカニカル安全装置の有効性を実験により検証した。

### 参考文献

- (1) 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, pp.178-179
- (2) 山口, 甲斐, 奥平, 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, 日本機械学会, 第10回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, pp.185-188