

# 人間共存ロボットの衝突安全に関する研究

—ロボット外皮の開発と全身での衝突緩和制御—

田中 泰斗      稲葉 昭夫      光井 輝彰      横山 貴広

## Research on Anti-collision Safety for Human-Symbiotic Robot

Development of Robot Skin and Shock Absorbing Control with Entire Body

Taito TANAKA    Akio INABA    Teruaki MITSUI    Takahiro YOKOYAMA

**あらまし** 近年、医療、福祉、家庭内作業などの分野においてもロボットの利用が期待されており、その実現のためには、ロボットと人間の接触を想定した新たな安全設計や行動計画が必要となる。ロボットと人との接触を効率的に検出するためには、ロボットの全身に接触センサを分布させることが有効であり、要求される性能としては大面積の被覆が可能であること、接触の位置の特定や力の分布情報の検出が可能であること、力の定量およびその方向の検出が可能であることなど多岐にわたる。本研究では、人とロボットが共存するうえで必要な技術のなかで衝突時の安全確保に注目し、接触や衝突の検出、衝撃緩和などの機能を有したロボット外皮を開発し制御に応用することを目的としている。本年度は、ロボットの形状のなかで2次元的な形状により被覆可能な部位における接触時の力およびその荷重中心を検知可能な接触センサの試作と基礎的な特性評価を行った。

**キーワード** ロボット、外皮、接触センサ、荷重中心、感圧導電性ゴム

### 1. はじめに

近年、ロボットを医療、福祉、家庭内作業など人間とロボットが空間を共有する分野で利用することが検討されている。このような用途においては、従来から産業用ロボットにおいて採用されてきた作業空間の分離、緊急停止ボタンなどの安全対策だけで対応することは難しく、ロボットと人間の接触を前提とした新たな安全設計や行動計画が必要となる。人間とロボットの接触には意図の伝達を目的とするものと、不測の衝突によるものに大別でき、その認知、検出にはロボットの全身に接触を検出可能なセンサを配置する必要がある。このような触覚・接触センサに求められる性能は様々であるが、大面積の被覆が可能で、接触の位置の特定や力の分布情報の検出が可能であること、力の定量およびその方向の検出が可能であることなどがあげられる。

本研究では、人とロボットが共存するうえで必要となる要素のうち衝突時の安全確保に注目し、衝突検出・衝撃緩和機能を有したロボット外皮を開発し制御に応用することを目的としている。本年度は、接触時の力およびその荷重中心を検知可能な接触センサの試作と基礎的な特性評価を行ったので報告する。

### 2. 接触センサの構造

荷重の大きさとその中心を計測可能なロボット用、接触・触覚センサとしては、対向する電極を有した面状抵抗体により、感圧導電性ゴムを挟み込んだ構造のもの<sup>[1]</sup>や、歪みゲージ式6軸力覚センサと感圧センサを併用し

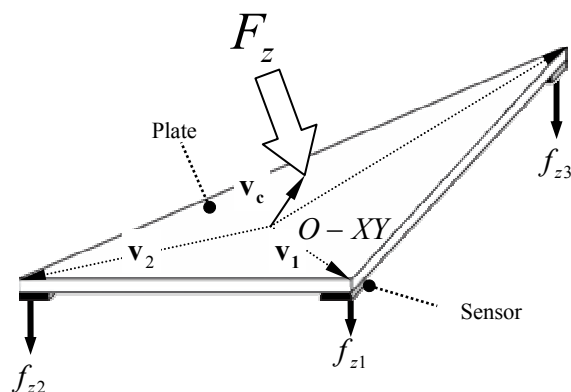


図1 接触センサの構造

たカバーセンサ<sup>[2]</sup>などがあげられ、いずれも微細なセンサを分布させることなく、広い面積内に加えられた力の中心位置と大きさを効率的に検出することが可能である。本研究でも、ほぼ同様な機能の実現を目的とした。

試作した接触センサの構造を図1に示す。三角形のプレートの頂点は力センサにより点支持されており、プレート上の任意の場所に鉛直方向から加えられた力 $F_z$ とその荷重中心位置 $v_c$ はプレート支持点における力の合計および釣り合いから求めることができる。

$$F_z = f_{z1} + f_{z2} + f_{z3} \quad \dots(1)$$

$$v_c = \frac{f_{z1}v_1 + f_{z2}v_2 + f_{z3}v_3}{F_z} \quad \dots(2)$$

( $f_{z1}, f_{z2}, f_{z3}$ : 力センサで検出される力.  $v_1, v_2, v_3$ : 原点から各力センサ支持点へのベクトル)

このような構造の特徴としては、接触する物体の形状による感度低下が少ないこと、プレートにある程度の剛性が必要のため3次元的な形状を完全に被覆するような用途には適さないことがあげられる。したがって、ロボットへの実装においては、外骨格など限定された部位への利用が想定される。

図2に試作した接触センサの寸法を示す。プレートには、厚さ2[mm]、一辺100[mm]の正三角形の亚克力板を使用した。力センサにおいては、その検出精度や再現性が荷重中心の計算に影響を及ぼすため、高精度なものを利用することが望ましいが、ロボットへの実装の容易さから市販の感圧導電性ゴムを使用した。感圧導電性ゴムは亚克力板の頂点付近に取り付け、その重心位置に座標系の原点を設けた。図中の破線で示した三角形(以下、アクティブエリア)は感圧導電性ゴムの受圧部の中心を結んだ三角形であり、式(2)より荷重中心位置を計算可能な領域を表している。また、アクティブエリアの面積が最大となるように感圧導電性ゴムを取り付けた結果、アクティブエリアはプレートと重心位置を同じくする相似な三角形を原点周りに1.7[deg]程度回転させたかたちになっている。

図3に使用した感圧導電性ゴムの特性例を示す。感圧導電性ゴムの電気抵抗は、絶縁状態から数十Ω程度まで変化し、ヒステリシスおよびクリープがあることが知られている<sup>[3]</sup>。また、荷重とコンダクタンスの間には比例的な関係が得られることが知られている。感圧導電性ゴムのコンダクタンスは、抵抗との直列回路から得られる分圧をバッファ回路およびAD変換器を介してPCに取り込み、PC内で計算から求めた。図からわかるように本研究で使用した感圧導電性ゴムにおいても顕著なヒステリシスが認められる。一方、加圧力の増加期のみ注目すると、最大加圧力(加圧から除圧に切り替わる瞬間の力)が変化しても再現性のある特性が得られており、大まかな力の計測に利用できるものと考えられる。ただし、安定した特性を得るためには予圧を加えるなどの慣らし操作が必要であった。また、使用した感圧導電性ゴムの最小検出荷重は0.4[N]程度であった。

### 3. 接触センサの特性

#### 3.1 荷重の定量

接触センサの重心位置に任意の荷重を加えたときの特性例を図4に示す。実験は、前述の慣らし操作を行わない状態で、手動ステージに取り付けたロードセルにより荷重を加えることにより行った。また、感圧導電性ゴムにはあらかじめ加圧力増加時の荷重とコンダクタンスの関係を測定し、最小二乗法により3次の近似式を求めたものを使用した。高次の近似式とした理由は、微小荷重領域および高荷重領域においては、荷重とコンダクタンスとの間に比例関係が得られなかったためである。図中の

破線はロードセルから得られた荷重であり、実線は感圧導電性ゴムのコンダクタンスから求めた荷重の合計を表している。(A)の領域において、接触センサから得られた荷重が小さい理由は、慣らし操作を行っていないためと考えられる。(B)の領域においては、ロードセルと接触センサから得られた荷重の最大値はほぼ一致しているものの、除圧時の荷重変化にはずれがあり、感圧導電性ゴムのヒステリシスの影響によるものと考えられる。また、(C)の領域においては完全に除圧しない状態で、加圧、減圧を繰り返すことにより加圧の度に荷重のずれが増大しており、履歴が累積していると予測される。なお、試作した接触センサの重心位置における最小検出荷重は1[N]程度であった。

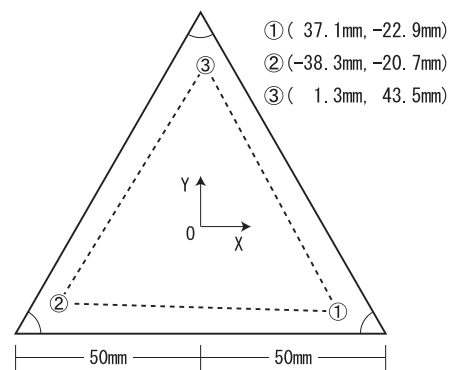


図2 接触センサの寸法

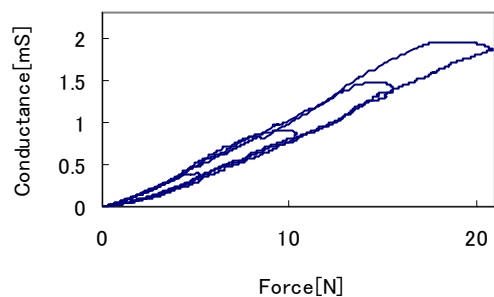


図3 感圧導電性ゴムの特性

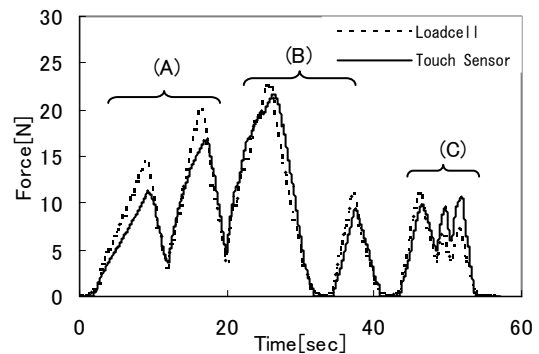


図4 荷重の測定例

これらから、試作した接触センサにおいては、荷重の増加、減少といった定性的変化は捉えられるものの、定量の用途への利用は難しいものと考えられ、荷重の定量に利用するためには、より高精度な力センサを利用する必要がある。

### 3. 2 荷重中心計測

アクティブエリア内の1箇所に鉛直方向から約10[N]の点荷重を加えたときの荷重中心の計算結果を図5に示す。荷重はX,Y軸に沿って原点から10[mm]間隔で加え、各座標について5回の測定を行った。また、荷重は1秒間加え、20[Hz]でサンプリングした結果の平均を1回の測定とした。実験は感圧導電性ゴムに予圧を加えた後行った。真値と計算結果はほぼ一致しており、全測定点における真値とのずれ(座標間の距離)は、平均2.4[mm]であった。

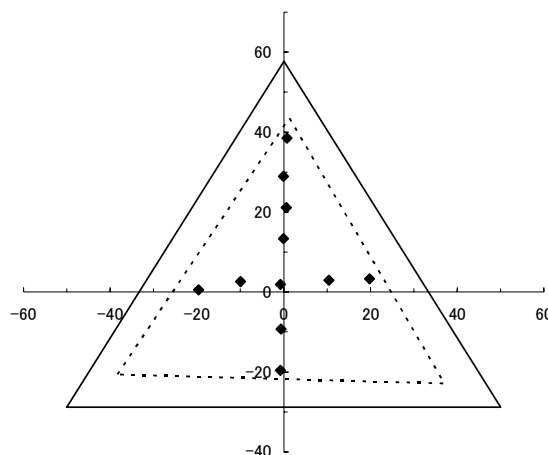
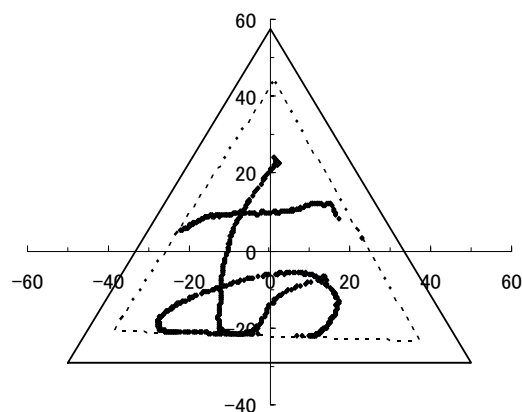


図5 静荷重中心計測

プレートに加わる荷重を連続的に変化させたときの荷重中心軌跡を図6に示す。実験は紙を貼り付けたプレート上に、「あ」という文字を鉛筆で書くことにより行った。また、接触検出の閾値は、筆圧を加味し2[N]に設定した。写真は実際に接触センサ上に書いた文字である。なお、加えられた最大荷重(筆圧)は10[N]程度であった。同図からわかるように、実際の筆跡と類似した荷重中心軌跡が得られているが、静荷重時の荷重中心計測結果と比べて推定位置の誤差が大きいと推測される。この理由としては、これまで述べてきた感圧導電性ゴムの特性(ヒステリシス、クリープ、力の変動に伴う履歴の蓄積)や近似の精度に加え、鉛筆と紙面との摩擦力など鉛直方向以外の力成分が影響していると考えられる。



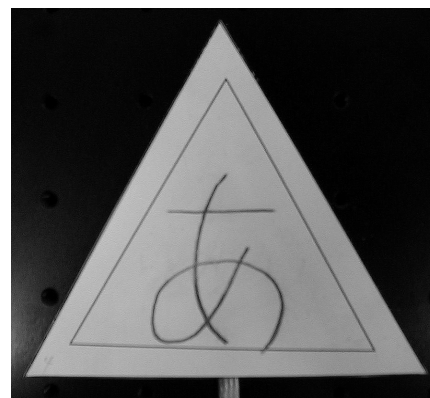
(a) 計算による軌跡

## 4. まとめ

人とロボットが共存するための要素技術の一つとして、衝突や接触時の力の大きさと荷重中心位置を検知可能な接触センサの試作を行った。試作した接触センサは、簡単な測定回路で構成することができ、約1[N]の荷重により接触を検出可能であった。接触力の定量および荷重中心の計測においては精度および再現性の面で問題が認められたが、力の増加、減少のような定性的な変化、大まかな荷重中心位置の特定といった用途への利用が期待できる。

## 文献

- [1] 石川, 下条, “面圧力データの検出方法”, 特開昭58-17330
- [2] 岩田, 星野, 森田, 菅野, “人間共存ロボットのための全身触覚インタフェース”, 日本ロボット学会誌, Vol20, No.5, pp543-549, 2002.
- [3] “感圧導電性ゴムの紹介と応用”  
<http://www.scn-net.ne.jp/~eagle/psecrsyoukai.html>



(b) 実際の軌跡

図6 荷重中心軌跡