

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650037

研究課題名（和文）衝撃吸収・負荷応力分散ハイブリッド構造柔軟触覚ロボットの飛び降り行動評価

研究課題名（英文）Development of Humanoid Robot for Resisting Falling Down Impact with Hybrid Soft Sensor Exterior for Both Shock Absorbing and Stress Deconcentration

研究代表者

吉海智晃（YOSHIKAI TOMOAKI）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任講師

研究者番号：60436558

研究成果の概要（和文）：本研究は、ロボット自身の安全性を高めるための耐衝撃・負荷応力分散型の外装・骨格構造の構成法を明らかにすることを目的として、実際に実機を用いた落下時の自己保護行動実験を行うことで、その評価をする。具体的な成果として、衝撃吸収ゲル構造と負荷応力分散ウレタン構造のハイブリッド全身柔軟外装を備え、衝撃負荷を逃がすためのトルクリミッタを主要関節部に備えた小型ヒューマノイドロボットを開発し、70cmの机の上から落下した際にも有効に落下衝撃を軽減できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research is that to clarify the method to construct a robot with whole-body exterior and self-protective mechanical frame for resisting falling down impact. As a result of this research, we have developed a small humanoid robot which can absorb a shock and lower contact stress by newly developed whole body soft exterior, which is a hybrid structure of shock absorbing gel and thick urethane foam. Also, small torque limiter for joints of the robot is developed. Using the developed robot, it is confirmed that the shock due to the collision with floor caused by falling down action from the top of the 70cm table is lowered by the proposed structure, and the robot can resist the falling down impact.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	570,000	3,470,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット，衝撃吸収外装，関節保護機構，発泡成形分布外装

## 1. 研究開始当初の背景

従来の研究において、ロボットと環境、人間との接触問題は、接触部位の大小の差はあっても主に対象の操作や接触状態変化の認識による状況・意図の認識などに焦点が当て

られており、転倒・衝突時の自己身体に対する安全性に関して、制御により解決を図るものはあっても、外装骨格構造の観点からの議論は十分ではなかった。その結果、例え人間・環境との接触のための外装が開発されても厚みの薄い「皮膚」と形容できるものが多

かった。今後、事務所環境や家庭内など雑然とした車輪移動に向かない環境でのロボットの活躍が求められる中、本質的に制御なくしては転倒してしまう脚型移動ロボットの研究開発がより一層期待されている。そのようなロボットにおいては、転倒しにくい制御法を研究するのみでなく、転倒・転落時の安全性確保のための骨格・外装構造の研究を進める必要がある。代表者のグループでは、これまで、厚みのあるウレタン肉質外装に多軸検出可能なセンサを多数埋め込んだ外装構造を対人密着時の接触センシングのために提案してきたが、これまでの対人接触用の外装研究成果を元に、自己保護に重点を置いた外装・骨格構造研究へと発展させることが本研究の狙いである。

## 2. 研究の目的

本研究では、高い衝撃吸収能力と負荷応力分散能力を備えた新たな自己安全確保のための肉質外装の構成法とともに、さらに分散・減殺された応力から関節部を保護する骨格構造の構成法の両方を明らかにする。また、実際に耐衝撃・負荷肉質骨格構造を備えた多自由度ロボットを開発し、実機を用いて提案する新たな肉質骨格構造の落下時自己保護行動実験による評価を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 衝撃吸収・負荷分散能力を実現するハイブリッドセンサ外装構造の開発

これまで、代表者の行ってきた厚みのある柔軟センサ外装研究の中では、全身重量の軽量化を重視して、軟質発泡ウレタンフォームを成型し、そこに柔軟多軸変形センサを埋め込む方式の外装構成法をとってきたが、軟質発泡ウレタンフォームは対象に対して柔らかく馴染み変形することが可能なため負荷応力分散能力は高いものの、衝撃吸収能力はそれほど高いとは言えない。そこで、高い衝撃吸収性能を備えたβゲルの層を骨格近くに配置し、対物馴染み変形能力の高い発泡ウレタンフォームを表面部分に配置したハイブリッド構造の外装を試作する。

### (2) 脱臼後の自動復帰可能な薄型関節トルクリミッタの開発

瞬間的な衝撃力を上記の外装で減らすことができても、姿勢によっては、関節部に強い力がかかり、モータ内部のギアを破損してしまう可能性がある。それを防ぐために、これまで、滑り角度の検知可能な小型の機械式

トルクリミッタを開発してきたが、これを元に機構の一部と一体型とすることで薄型に改良して肉質外装を装着しやすくとともに、脱臼時に自動復帰を行う機能を実装した新たなトルクリミッタシステムを開発する。

### (3) 小型ヒューマノイドロボット用ハイブリッドセンサ外装の開発およびトルクリミッタ埋込骨格構造の開発

耐衝撃・負荷分散外装骨格構造を数自由度程度の簡易モデル機体で検証するのみでなく、多自由度身体での検証を行うため、新たに、関節主要部に薄型トルクリミッタを備えた骨格構造を持つ小型ヒューマノイドロボットを開発する。また、開発したロボットのためのハイブリッドセンサ外装を開発する。

### (4) 落下時自己保護行動における耐衝撃・負荷分散外装骨格構造の検証

(3)で開発した実際の多自由度脚式移動ロボットにおいて、単純なその場での転倒時における外装骨格構造の基本機能評価だけでなく、ある程度高さのある場所からの落下時自己保護行動実験を行い、どの程度の衝撃吸収機能があるか、更に、その状態で支障なく行動継続が可能かを評価する

## 4. 研究成果

### (1) ハイブリッドセンサ外装構造の開発

衝撃吸収能力の高いベータゲル層と負荷応力分散能力の高いウレタン厚肉分布層のハイブリッド構造を備えた新たな肉質外装構造を設計・開発した。負荷応力分散能力の高いウレタン層を外部と接触する最外層として発泡成形し、その内側に衝撃吸収力が高いベータゲルを配置する構成とした。図1に実際に小型ロボット脚部を想定して構築したハイブリッド外装を示す。



図1 ハイブリッド柔軟外装構造

この構築した外装構造に図2左側に示すように機構部品を装着し、更に図2右側に示すように2.5kgのおもりをつけた状態で

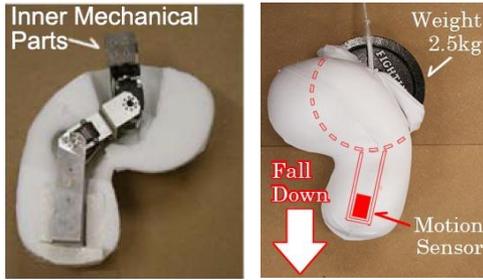


図2 開発した外装構造への骨格の組込と落下試験のためのセットアップ

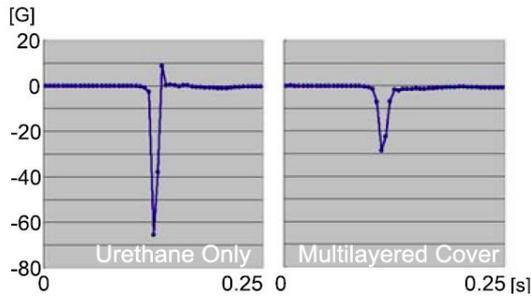


図3 開発した外装構造による衝撃吸収試験

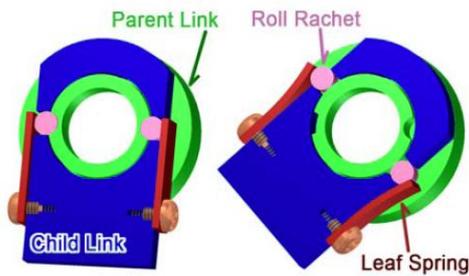


図4 薄型トルクリミッタ

300mmの高さからカーペットの床の上に落下させた際の衝撃吸収能力を評価する実験の結果を図3に示す。

図3の左側は、ウレタンのみで外装を構成した場合を、右側は今回開発したハイブリッド外装構造の場合を表している。衝撃吸収ゲルとの組合せにより、最大時の衝撃をおよそ1/3まで低減することができていることがわかる。

### (2) 自律的関節保護のための薄型トルクリミッタの開発

自律的な関節保護を行うために関節脱臼自動復帰を実現する薄型トルクリミッタを開発した。図4にその構造を示す。過負荷がかかり、チャイルドリンクがペアレントリンクに対して脱臼した際に、それを検知するために、チャイルドリンク側には、軸にポテンシオメータを装着する構成とした。それにより、脱臼後に関節位置の自動復帰が可能となった。

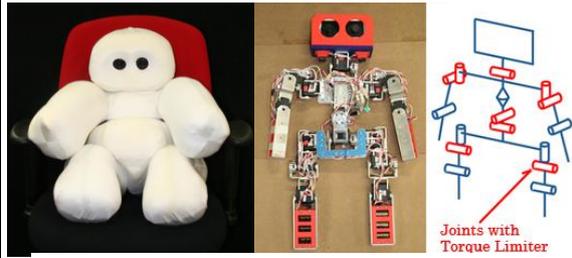


図5 ハイブリッド外装と薄型トルクリミッタを備えた小型ロボット

### (3) ハイブリッド外装・薄型トルクリミッタを備えた小型ロボットの開発

(1), (2)で開発したハイブリッド柔軟外装および薄型トルクリミッタを組み込むことの可能な小型ロボット骨格部を設計・開発した。また、開発した骨格部にフィットする全身柔軟ハイブリッド外装を開発した。図5に開発した小型ヒューノイドロボットを示す。全高は600mm、重さは6kg(内骨格部は4kg)であり、全身で16自由度を持つ。図5の赤い関節がトルクリミッタを内蔵した関節である。落下時に過負荷がかかりやすい四肢の根本関節に重点的に配置した。

また、図6に示すようにハイブリッド柔軟外装に関しては、部位ごとの機能分布をもたせた。関節部位に関しては、可動を阻害しないよう柔らかいウレタン構造を用いる一方で、転倒時に最初に接触する可能性の高い末端部に衝撃吸収ゲルを配置し、それ以外の部位は応力分散のための比較的高い弾性を持つウレタン構造とした。

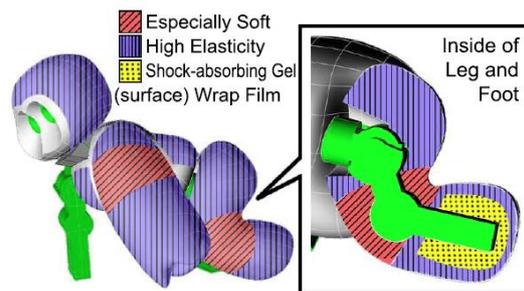


図6 柔軟外装の局所機能分布

### (4) 高所からの落下時における耐衝撃・負荷分散外装骨格構造の検証

開発した小型ロボットを用いて、実際に70cmの高さの机の上から落下させた際の衝撃吸収性能の評価を行った。その時の様子を図7、図8及び図9に示す。ベータゲル層とウレタン層のハイブリッド外装および主要関節に備えたトルクリミッタにより、70cmの



図7 落下衝撃吸収試験の様子

高さの机の上から落下した際にも関節を保護しつつ、衝撃吸収を行い、その後に、リミットトルクを超えて脱臼した関節を自動復帰させ通常動作に戻ることが可能なことを確認した、実際に図8の衝撃の推移から、最大でも5G以下に抑えられており、図3の場合と比べても十分小さくできていることがわかる。また、図9では、全身の関節角度の初期値からのずれの推移を示しているが、落下時に過負荷がかかった関節がずれ、その後、元の関節角度に自動復帰している様子が確認できる。また、これらの検証試験を繰り返し行う過程で、トルクリミッタを改良設計した。具体的には、リミットトルクを調節可能で、かつ、摩擦が小さく、繰り返し試験時の耐久性を向上させたトルクリミッタを開発した。

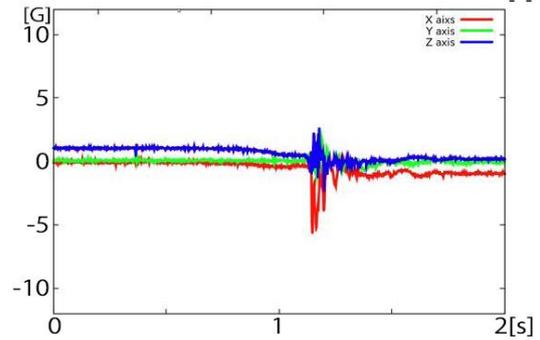


図8 落下試験時の衝撃の推移

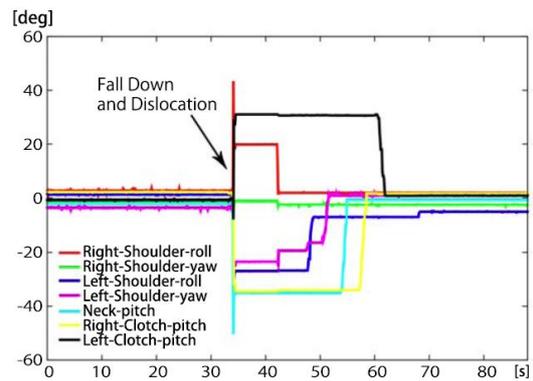


図9 落下時の関節脱臼・自動復帰の様子

以上の成果により、自己安全確保のための肉質外装骨格構造の構成法を実際の行動試験を通じて明らかにすることができた。今後、本研究で明らかになった知見をもとに等身大ヒューマノイドや人型に限定しない様々な形態のロボットへハイブリッド外装と関節保護機構による自己保護構造を展開していくことで、ロボットの活躍できる場が広がっていくことが期待できる。

## 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)

[学会発表] (計 2件)

- ① Kazuya Kobayashi, Tomoaki Yoshikai, Masayuki Inaba, “Development of Humanoid with Distributed Soft Flesh and Shock-Resistive Joint Mechanism for Self-Protective Behaviors in Impact from Falling Down”, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2011年12月10日, PhuketIsland, Thiland
- ② 小林一也, 吉海智晃, 後藤健文, 秋元貴博, 稲葉雅幸, “落下衝撃吸収のための緩衝・関節保護機能を備えた発泡成形型分布性肉質外装ロボットの開発”, 計測自動制御学会システムインテグレーション部

門学術講演会，2010年12月23日，仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉海智晃 (YOSHIKAI TOMOAKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・

特任講師

研究者番号：60436558