

## 自己評価報告書

平成 23 年 5 月 12 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20300072

研究課題名 (和文) 衝撃力を受ける人間型ロボットの反動零空間法に基づくリアクション・バランス回復制御

研究課題名 (英文) Reaction Null Space Method Based Reaction and Balance Control of a Humanoid Robot Subjected to External Impact

研究代表者

Dragomir Nenchev (ドゥラゴミル ネンチェフ)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：80270809

研究分野：ロボット工学

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：衝撃力、人間型ロボット、リアクション、バランス回復、反動零空間法

## 1. 研究計画の概要

本研究では、人間型ロボットが人間と共存する社会環境において本格的に活動する際に起こるさまざまな予期せぬ衝撃に対して、ロボットが自律的に柔軟な回避行動を取り、その安全性を維持することを目的とする。

本研究の核となるのは、研究代表者が宇宙ロボット研究において独自開発してきた衝撃力を扱う反動零空間法である。予期せぬ衝撃に対して実際に人間が行う回復動作を体系化し、その動作戦略と反動零空間法を融合することによって、新しいリアクション・バランス回復制御法を導出する。そして、外部からのさまざまな種類の衝撃力に対して人間型ロボットがリアクションおよびバランスを制御するための実際の制御コントローラとして実現する。さらに、動力学シミュレーションと実機実験を行い、その制御則を適用した人間型ロボットを開発、その安全性を実証することを課題とする。研究期間内での具体的な研究計画は以下の通り。

- (1) 反動零空間法を基本とした人間型ロボット用制御コントローラを開発
- (2) 直立静止時の人間型ロボットのさまざまな部位に外部から衝撃力を作用させ、その際のリアクション・バランス回復動作の生成手法と制御則を開発
- (3) 歩行は伴わないが上半身や身体内部での運動が起こる場合の、外部衝撃力へのリアクション・バランス回復制御を研究
- (4) 歩行を伴う全身運動時に外乱を受ける場合のリアクション・バランス回復制御を研究
- (5) 上記の研究過程・結果からリアクション・バランス回復制御法を体系化し、提案制御法に基づいた人間型ロボットシ

ステムの設計、構築、開発手法への発展

## 2. 研究の進捗状況

- (1) 平成 20 年度は、研究計画(1)と(2)に関する、矢状面における step 動作戦略の動作パターン、ankle-hip-step 三つの動作戦略に基づく遷移動作パターンの 2 種類のリアクション・バランス回復パターンを生成し、直立静止時状態の人間型ロボットに対して背面から、上半身中央に衝撃力が作用した場合の動力学シミュレーション実験を行った。また、生成したリアクションパターンを小型人間型ロボット HOAP-2 に適用し、実機実験によって有効性を確認し、実時間センサベースのリアクション動作パターンを開発した。衝撃力の認識には、足裏圧力センサによる ZMP と加速度センサを融合し利用した。
- (2) 平成 21 年度は、研究計画(3)に関するモーションキャプチャシステムを用いた実際の人間のリアクション・バランス回復動作の計測・解析から、生体力学分野などの従来研究では考慮されていない、新たなリアクションパターンの創出と、それに基づいた人間型ロボットでの自然な回復動作の生成、制御法による実証試験を行い、前年度までの結果と合わせて、人間型ロボットのシステム設計・開発手法を提案する基本理論をまとめることに取り組んだ。また、身体の動学的冗長性を活用した新たな二つの動作パターン (① ankle および hip 動作戦略においてひざ関節を利用する動作パターン、② 開発したすべての動作パターンに対して腕の運動の利用する動作パターン) の生成を検討、動力学シミュレ

- ーションと実機による実験を実施した。
- (3) 平成22年度は、研究計画(1)と(2)に関する動作パターンとして、frontal plane ankle 動作戦略、leg up 動作戦略、step 動作戦略の三つの前額面(矢状面に垂直で体を前部・後部分ける平面)内で衝撃力が作用する場合のリアクション・バランス回復動作パターンを生成し、実機実験を実施した。この結果、矢状面・前額面それぞれにおけるリアクション・バランス回復動作パターンが生成された。研究計画(3)以降は、提案する動作を実機で実現するために、腰部に球面関節が必要となる。しかし、現有設備のHOAP-2にはその機能がない。よって、今後の動作検証に必要となる三次元多体多自由度高速動力学シミュレータを独自に開発することとし、基本要素を完成させた。

### 3. 現在までの達成度

#### ② おおむね順調に進展している。

(理由) 直立静止時の人間型ロボットのさまざまな部位に外部から衝撃力を作用させ、その際に受けるリアクションを回避し、身体のバランスを回復する動作生成手法と制御則を開発することが第一目標であった。鉛直方向のモーメントが発生しない上半身中央への衝撃力については、矢状面・前額面ともに遷移動作も含めた動作パターン生成が終了し、実機実験での検証も達成された。鉛直方向のモーメントが発生する上半身へのオフセット衝撃力についての研究が進んでいないが、研究計画(3)に関する人間の動作解析と、上半身や手足の身体内部での運動が起こる場合の外部衝撃力へのリアクション・バランス回復制御の基礎実験が先行している。

また、実機検証がハードウェアの性能不足による困難となったことから、代替策として三次元多体多自由度高速動力学シミュレータの開発を進めた。この進展は順調であり、これによって、実機実験では安全面など配慮から容易ではない大胆な動作実験を繰り返すことが可能であり、研究計画(3)の残る課題と歩行時のリアクション・バランス制御を扱う研究計画(4)についての研究は、計画当初よりも実施が容易となった。

よって、計画以上の発展研究は難しいが、これまでの研究成果と実験における知見から、研究課題は十分達成可能であり、研究計画全体では進展を維持できているとした。

#### 4. 今後の研究の推進方策

研究計画(2)において残る、鉛直方向のモーメントが発生する上半身へのオフセット衝撃力についての動作パターンの生成をその実機検証を早急に解決する。また、先行している人間の動作解析結果を利用し、研究計

画(3)の歩行を伴わないが上半身や手足の身体内部での運動が起こる場合での、外部衝撃力へのリアクション・バランス回復制御方法を確立する。これらの研究課題達成は、本年度7月と設定し、新たな課題点が発見される場合は、8月末を目標に解決を図る。

また研究計画(4)を確実に遂行するために、研究者を増員する。新規担当者は従来、人間型ロボットの全身協調動作に関する別課題に従事していた。よってその成果を活かすことで、歩行を伴う全身運動時に外乱を受ける場合のリアクション・バランス回復制御を達成することが、より確実となる。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Dragomir N. Nenchev and Akinori Nishio, Ankle and hip strategies for balance recovery of a biped subjected to an impact, *Robotica*, vol. 26, pp. 643--653, 2008. (査読あり)

[学会発表] (計7件)

- ① Yoshikazu Kanamiya, Shun Ota, Daisuke Sato, Ankle and Hip Balance Control Strategies with Transitions, Proc. of the 2010 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Anchorage, Alaska, USA, May 3-8, 2010, pp. 3446-3451. (査読あり)
- ② 太田峻, 岡本和晃, 金宮好和, 佐藤大祐, Ankle および Hip Strategy に基づく人型ロボットの反動動作の遷移手法, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 神奈川, 9月15~17日, 2009, RSJ2009AC3S3-03.
- ③ 岡本和晃, 長尾学, 金宮好和, 佐藤大祐, ZMP を用いた平面上の人型ロボットのコンプライアンス応答制御, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 岐阜, 12月5~7日, 2008, pp. 1075-1076.
- ④ Kazuya Tamegaya, Yoshikazu Kanamiya, Manabu Nagao, Daisuke Sato, Inertia-Coupling Based Balance Control of a Humanoid Robot on Unstable Ground, Proc. of the 2008 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Daejeon, Korea, Dec. 1-3, 2008, pp. 151-156. (査読あり)
- ⑤ 為ヶ谷和也, 金宮好和, 佐藤大祐, 不整地における人型ロボットのバランス制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08講演論文集, 長野, 6月5~7日, no. 08-4, 2008, 2A1-D09.