



Title	ヒューマノイドの運動学習における物理的相互作用への適応機構
Author(s)	清水, 俊彦
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/26267">https://hdl.handle.net/11094/26267</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

[題名] ヒューマノイドの運動学習における物理的相互作用への適応機構

学位申請者 清水俊彦

本研究では等身大ヒューマノイドの運動学習に関する研究を行った。運動学習とは、試行錯誤により目的の運動を実現する過程である。試行錯誤の本質は、まず失敗を許容すること、次に経験を活用することにある。一方、等身大ヒューマノイドの運動という範疇には、ロボットの作業環境、運動タスク、ロボットと外部環境との接触状況、ロボット自身の物理的特性など多様な問題設定が含まれる。問題設定に依存したロボットと外部環境との物理的なやり取りを物理的相互作用(Physical Interaction: PI)と呼ぶ。すなわちヒューマノイドの運動学習の本質は、物理的相互作用を考慮した上で、まず失敗を許容すること、次に経験を活用することにある。

そこで本研究では、まず失敗の許容について、ヒトの反射系に着想を得た転倒時の自己保護に取り組んだ。具体的には、シミュレーションおよび実機を用いて、多数の障害物環境において適切な全身反応の運動学習を行った。本研究の特徴は、組み込み型反射系による学習初期の自己保護の実現と、追加学習型反応系による学習後期の自己保護の改善を行った点にある。その結果、多数の障害物環境への適応という観点から、PIを考慮した失敗の許容を実現した。

次に経験の活用について、PIの変化に対応する運動学習、およびPIの解析の自動化に取り組んだ。前者は、ヒトとのPIから抽出した運動経験を、ヒトのいないPIにおける運動学習に利用する転移学習を行った。具体的には、シミュレーションおよび実機を用いて、ヒューマノイドがヒトに支えられながら歩き方を教わった後、その経験を自立歩行の獲得に活用した。またヒトに支えられながら起き上がり方を教わり、その経験を支えなしでの起き上がりの獲得に活用した。本研究の特徴は、PIの違いから生じる運動のタイミングと強度のずれに頑強な運動特徴量を提案し、運動学習に活用した点にある。その結果、異なるPIの間で経験を活用したという観点から、PIを考慮した経験の活用を実現した。

後者は、PIの解析を自動化する手法について取り組んだ。具体的にはシミュレーションを用いて、上体起こし、寝返り、ステップなど異なる運動のコツを探査する手法について取り組んだ。本研究の特徴は、解析が困難な高次元センサ情報ではなく、設計が容易な運動の評価と成功経験で得られる運動指令を用いて運動のコツを探査した点にある。その結果、多様なPIの解析を自動化したという観点から、PIを考慮した経験の活用を実現した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

	氏　名　(　清水俊彦　)	
	(職)	氏　名
論文審査担当者	主　查　　教　授	石黒　浩
	副　查　　教　授	新井　健生
	副　查　　教　授	宮崎　文夫

## 論文審査の結果の要旨

本論文は等身大ヒューマノイドの運動学習における物理的相互作用への適応機構を提案している。試行錯誤に基づく運動学習をヒューマノイドのような多自由度の制御対象に適用する際、失敗試行によるロボットの故障、また多数回の試行によるハードウェアの経年劣化が問題となる。そこで申請者は、失敗試行を許容する反射制御（失敗の許容）と試行を削減する高速学習（経験の活用）を提案している。提案手法は、四肢に6軸力覚センサを有する子供型ヒューマノイドiCubを用いて検証されている。

失敗の許容に関して、生物規範の反射機能とオンライン分類可能な学習機能を用いて、障害物環境における転倒時の運動生成問題に取り組んでいる。この研究は障害物との衝撃緩和に寄与する運動生成を行うという点で、障害物との物理的相互作用への適応機能を実現している。経験の活用に関して、物理的相互作用の変化に対応する運動学習の高速化手法、および物理的相互作用に内在する運動のボトルネック探索手法を提案している。高速化手法では、ヒトの支えがある状況で得られた運動知識（例えば支持歩行や支持上体起こし）を利用し、ヒトの支えのない環境における運動（例えば自立歩行や自立上体起こし）を高速に獲得する手法を提案している。ボトルネック探索手法では、高次元特徴空間における運動の解析問題を自動化するための手法を提案している。寝返り、上体起こし、ステップ運動などの全身運動に関して提案手法を適用した結果、運動のボトルネックを視覚化できることを示している。

このように本論文では、ヒューマノイドの運動学習における基本問題に注目し、それぞれに対応する適応機構を実現している。多数の障害物環境に対応した自己保護運動生成や、物理的相互作用が異なる際の運動学習の高速化など、運動学習の一般的かつ重要な問題に取り組み、シミュレーションだけでなく実機を用いて検証した点が評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。