

# ヒューマノイド型ロボットの動作記述言語を用いた形式知表出化 Externalization of Physical Tacit Knowledge by Analyzing Motion Control Codes of a Humanoid Robot

前田 郁夫<sup>†</sup>  
Ikuo MAEDA

奥田 隆史<sup>‡</sup>  
Takasi OKUDA

左合 佳美<sup>‡</sup>  
Yoshimi SAGO

井手口 哲夫<sup>‡</sup>  
Tetuo IDEGUCHI

## 1. はじめに

本研究では、運動における暗黙知(身体知)を形式知に変換するための新しい表出化手法を提案する。身体知[1]は暗黙知に属するものであり、言葉で全てを表現できるものではない。暗黙知を継承するためには、暗黙知を形式知として表出化することが重要な課題となる。

近年のロボット技術の発展により、ヒューマノイド型ロボットが人間に近い動きをできるようになり、複雑な制御を必要とするロボットの運動生成が容易になっている。すなわち、ヒューマノイド型ロボットを使用することによって、暗黙知を視覚化することができ、ロボットの制御コード解析から人間の関節や筋肉の動かせ方を言語化することが可能になる。

本研究が提案する手法は、人間の動きをヒューマノイド型ロボットで表現し、ヒューマノイド型ロボットの動作制御コードを比較分析することにより、動作を擬似的な形式知(言語化)として表出化する方法である。

## 2. 身体知と暗黙知

職人やプロが持っているノウハウや知識などの身体知は暗黙知に属するものであり、形式知とは異なり言葉で全てを表現できるものではない。一般的に職人といわれている人々の多くは、その暗黙知を身体的な経験を通じて得てきた。

しかし、ライフスタイルの変化により長期的な修行が敬遠され、職人の暗黙知が後世に伝わりにくくなっている。このような職人やプロのノウハウや知識を継承するためには、暗黙知を表出化し[2]、言語化等により形式知として変換することが重要である[3]。

暗黙知の言語化などは、職人やプロの身体知を学習する有効な方法である。すなわち、職人、コーチやプロ選手などの身体知そのもの、あるいは学習者(アマチュア)との差異を、形式知(言語化)にすることができれば、職人やプロの動作の学習には有効であると思われる。

## 3. ヒューマノイド型ロボット

### 3.1 スペック

本研究では、ヒューマノイド型ロボットとして、富士通オートメーション社製のHOAP-2を使用する。HOAP-2は、身長50cm、体重7kgで、5自由度の腕2本、6自由度の脚2本、2自由度の頭部と1自由度の胴体部分の合計25個の関節を持っており、全て回転自由度である。

パソコンと接続可能であり、動作指令パソコンから主要制御を行う有線(USB)モードと、ロボット内の中央制御ユニットで主要制御をおこなう無線(無線LAN)モー

ドの両方のモードで制御が可能である。動作指令パソコンのOSとしてRT-Linuxを使用する。

### 3.2 動作制御コード

HOAP-2の運動生成をするのに、同社のヒューマノイドロボット用運動生成ソフトウェアNueROMA(Neural network Environment for Robot Motion Architect)を使用する。NueROMAは、ヒューマノイドロボットの動作学習を行うニューラルネットワークを用いたシステムである。

NueROMAでは、RNN(リカレントニューラルネットワーク)により、ヒューマノイドロボットの運動を効率的に生成する。また、生成した運動は、RNN言語(コード)として出力することができる。RNN言語では、1つのニューロンを1つの変数に対応付け、変数を宣言することでニューロンを生成する。アナログ遅れ、ニューロンの初期値は変数を宣言する際に指定できる。

## 4. 提案手法

本研究が提案する方法は被験者にある動作をロボットで生成してもらい、それから得られたそれぞれのロボットの動作のRNN言語を比較し、RNN言語の差異を分析する(図1)。この差異を言語化することにより、身体知を形式知として表現することができる。例えば、プロ選手などの動作を学習者へ伝達する場合には、プロ選手の動作ならびに学習者の動作をRNN言語化し、その差異を比較することにより、身体知の差異を、形式知(言語化)にすることが可能である。

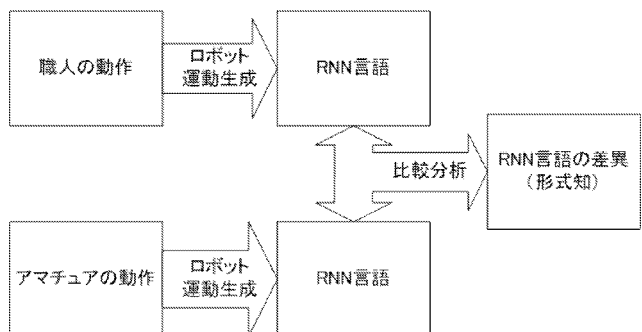


図1: 表出化方法

## 5. 実験例

提案手法の評価のため、被験者A, BにNueROMAを使用して、ロボットがバンザイを繰り返す動作とロボットがキックする動作の2種類を生成させた。なお、各被験者には関節を何度動かすなどといった細かい支持は与えていない。

<sup>†</sup>愛知県立大学 大学院 情報科学研究科

<sup>‡</sup>愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科

両者が作成した RNN 言語を比較分析し、RNN 言語の異なった箇所をバンザイについては表 1, キックについては表 2 に示す。なお、表 1, 表 2 において、one は“関節の位置を常に一定の値を保つ”, cpg1.1 と n.2 はともに変数で“同じ周期の sin 波を出力する”ことをそれぞれ意味する。

### バンザイ動作

バンザイについては、表 1 から、被験者により異なる箇所は、

- (1) 関節の動作開始ポイント (A は左右ともに 35, B は 45)
- (2) 関節の移動範囲 (A は左右ともに 60, B は左右ともに 90)

である。つまり、A は左右ともに関節の開始ポイントが  $35^\circ$  で、移動範囲が開始ポイントから  $\pm 60^\circ$  であるが、B は左右ともに関節の開始ポイントが  $45^\circ$  で、移動範囲が開始ポイントから  $\pm 90^\circ$  である。

一方、被験者に共通するのは、

- (3) 動作は左右対称である (左右が等しい)
- (4) 同周期で関節を動かしている (同周期の sin 波を出力する)

である。すなわち、バンザイという動作 (身体知) を形式知として表出化するためには、動作開始ポイント、関節の移動範囲、対称性、周期性に着目し、言語化することが重要であることがわかった。

表 1: バンザイの RNN 言語の比較

	関節	被験者 A	被験者 B
動作開始ポイント	右肩関節前後	35 * one;	45 * one;
	左肩関節前後	35 * one;	45 * one;
関節移動範囲	右肩関節前後	60 * cpg1.1;	90 * n.2;
	左肩関節前後	60 * cpg1.1;	90 * n.2;

### キック動作

キックについては、表 2 から各被験者が作成したキックの動作はバンザイと比較して個人差が大きい。被験者 A は右足で小さくキックする動作を作成したが、被験者 B は左足で大きくキックする動作を作成した。動作もバンザイより複雑なため、RNN 言語で異なっている箇所がバンザイよりも多い。

表 2 において、被験者により異なる箇所は

- (a) 変数では A は sin 波を出す RNN を作成し、B は時間がたつごとに 2 づつ増えていく n.1 と n.4 を作成
- (b) 右股関節左右と左股関節左右では A は移動範囲が 0 ~ -5, B は 5 で固定
- (c) 右股関節前後では A だけ移動範囲が 0 ~ -20
- (d) 右足首前後では A だけ移動範囲が 0 ~ 5
- (e) 右脚足首左右では A は移動範囲が 0 ~ 5, B は -7.03 から -9.7 へ移動
- (f) 左股関節前後では A は -20 で固定, B は 9 から -80 へ移動
- (g) 左膝は A は 40 で固定, B は 75 で固定
- (h) 左足首前後では, B だけが 0.46 から 41.5 へ移動

- (i) 左脚足首左右では A は移動範囲が 0 ~ -5, B は 0 で固定

である。  
A は右でキックし、B は左でキックしているため、キックする脚を比べると、キックする脚の股関節前後と足首関節前後の開始ポイントと関節の移動範囲が異なる。また関節を動かす周期も異なっている。

- 一方、被験者に共通するのは、
- (j) キックする脚の動かす関節が同じ (股関節前後と足首関節前後)

- (k) キックする脚の膝は固定

- (l) 反対の脚を転倒防止のために傾けている
- である。

以上の (a) ~ (l) から、キックという動作 (身体知) を形式知として表出化するためには、キックする脚の関節の動作開始ポイント、関節の移動範囲、周期性、反対の脚の傾きに着目し、言語化することが重要であることがわかった。

表 2: キックの RNN 言語の比較

場所 変数	被験者 A	被験者 B
	var n.2(1);	var n.4(0.1) = 1;
	var n.3(1) = 1;	var n.1(0.1);
	n.2 := 1 * n.2;	n.4 := 1 * n.4;
	n.3 := 1 * n.3;	n.4 := 2 * one;
	n.3 := -1 * n.2;	n.1 := 1 * n.1;
	n.2 := 1 * n.3;	n.1 := 2 * one;
右股関節左右	if (n.2 > 0) -5 * n.2;	5 * one;
右股関節前後	if (n.2 > 0) -20 * n.2;	—
右足首前後	if (n.2 > 0) 5 * n.2;	—
右脚足首左右	if (n.2 > 0) 5 * n.2;	-7 * one;
	—	if (n.1 >= 90) -2.7 * one;
	—	if (n.1 < 90) -0.03 * n.4;
左股関節左右	if (n.2 > 0) -5 * n.2;	5 * one;
左股関節前後	-20 * one;	10 * one;
	—	if (n.1 < 90) -1 * n.4;
	—	if (n.1 >= 90) -90 * one;
左膝	40 * one;	75 * one;
左足首前後	—	if (n.1 < 90) 0.46 * n.4;
	—	if (n.1 >= 90) 41.5 * one;
左脚足首左右	if (n.2 > 0) 5 * n.2;	0 * one;

## 6. まとめ

バンザイおよびキックの動作に関するロボットの動作制御コードを比較分析することにより、動作を擬似的な形式知として表出化する方法を提案した。今後の課題は、より複雑な動作について提案手法の有効性を検証すること、自動的に形式知を表現するソフトウェアを開発することなどがあげられる。なお、本研究は平成 16 年度科学研究費 (課題番号 16650214) の補助を受けて行なわれた。

### 参考文献

- [1] 茨城大学健康スポーツ教育研究会編 『健康スポーツの科学』, 大修館書店, 1999.
- [2] 野中郁次郎, 竹内弘高, 梅本勝博 『知識創造企業』, 東洋経済新報社, 1996.
- [3] 古川康一, 植野研, 五十嵐創, 森田想平, 尾崎知伸, 玉川直世, 奥山渡志也, 小林郁夫, “ベイジアンネットによる身体知のモデル化”, 人工知能学会人工知能基礎論研究会主催第 2 回ベイジアンネットセミナー予稿集, pp.53-58, 2002.