ヒューマノイドの進化とアミューズメント*

稲葉雅幸**

Humanoid Evolution and Amusement / Masayuki INABA

Key words: humanoid, robotics, amusement, software evolution

1. はじめに

アミューズメントは自主的で創造的な知的行為の新しいサイクルを産み出す力をもつ。市場原理で爆発的に普及したアミューズメントビジネスはそれに連なる技術革新を引き起こしてきた。家庭用TVゲームのように数の効果で業界標準を目指すアミューズメント機器の開発と、その上で数多くの競争開発がなされるソフトウェア進化がそれである。最低数年は陳腐化しないようプロ仕様の機能をチップとしてハードに組み込み、数をねらって破格の低価格で売り出す賭けを強いる。そのハードを基盤として数多くのソフトウェアビジネスが育たなければ賭けに負ける。新しいソフトウェアが生まれ続けなければならないアミューズメントの分野において、高度な技術と深い内容のソフトウェアが数の競争原理の中から生き残る仕組みを味方に付けた企業が成功した。アミューズメントだからと半端なものでは成功しえない。

人間型のロボットは長い間科学技術の夢のひとつであり、作り上げることは不可能と思われてきたものであった。近年人のように四肢をもって自立した個体として歩く等身大のヒューマノイド（人間型ロボット）の実現可能性が実証された。軽量化、身体の柔軟さ、転倒時の衝撃吸収、長時間可能なエネルギー源など、ハードウェアの課題は依然多いとはいえ、次はソフトウェアの革新がなされなければならないことが明らかになった。人間型ロボットのソフトウェアの発展には、ハードウェアを通した検証を繰

り返すだけでなく、社会的にソフトウェアを爆発的に進化させる仕組みを考えることが重要である。

アミューズメントは、ヒューマノイドのソフトウェアを発展させるための大きな起爆剤となりうる。実世界で仕事をするためのロボットを考えればサイズとパワーの問題は重要だが、最初から大きなロボットで実験を繰り返して済ませられるほどヒューマノイドへの要望は狭くはない。広い範囲での実世界での行動ソフトウェアの検証が容易であるかどうか重要なポイントである。数の効果で育ったアミューズメントソフトウェアのように、ヒューマノイドのソフトウェア進化にアミューズメントビジネスは重要なステップのひとつに見える。

2. ソフトウェア進化のためのハードウェア

ソフトウェア進化を引き起こすアミューズメントビジネスに必要な基本ハードウェアは、ソフトウェアが成熟する比較的長い期間陳腐化しないだけの工夫がなされていなければならない。ハードにおいて強くソフトウェアに依存してしまう部分を見極め、ハードの置き換えなくとも生き延びるだけの全体設計がなされていなければならない。そのような条件はロボットを継続的に発展可能な形で研究しつづける場合の基本思想に通じる。

ヒューマノイドはとくにソフトウェア進化が必要な段階に入っている。ソフトウェアのかんりの基本部分はハードウェアに依存はするが、ソフトウェア進化の足を止めるハードウェアをヒューマノイドのハードに含めてはならない。急激に進化しつづける計算機ハードウェアはその一つであろう。

そのようなソフトウェア進化をとらえて、ロボットのハードウェアに発展途上の計算機ハードウェアを搭載しないリモートブレイン方式のヒューマノイド研究を紹介する¹⁾。図1はその中のいくつかである。身長は30~40 cm

* 原稿受付 平成12年1月13日

** 東京大学工学部（東京都文京区本郷7-3-1）
1986年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修了，工学博士。1986年東京大学講師，
1989年東京大学助教授，現在同大学院助教授
工学系研究科情報工学専攻所属。研究分野：ロボティクス

図1 リモートブレイン型ヒューマノイドのプロトタイプ

程度で、左から脚の自由度数が3, 4, 5, 6と異なっている。これらは身体の上に計算機を搭載せず、無線通信により遠隔の計算機から行動指令を受ける。遠隔計算機の進化に対してヒューマノイドの身体ハードウェアを作り変える必要がない。

これらのロボットは、自由度数と配置は異なっているが、腕と脚をもつ全身の基本モデルや基本となる動作の構造は人間型ということで同じ扱いをすることができる。身体に組み込まれた計算機が身体の構造を固定化してしまう形ではなく、身体上にはない外部計算機上にハードウェア情報を解釈するプログラムが置かれる。身体構造をパラメタとして異なる身体に合わせた動きを生成できる構成法がこのリモートブレイン型ロボットでの特長となる²⁾。

この環境でなされた行動実験の例を図2⁴⁾に示す。左上から右下へ向かってロボットのボディの複雑度が上がり、搭載しているセンサの種類も増えているが、基本となる関

節モジュールは同じ構造であり、身体と行動ソフトウェアのプロトタイピングが容易になっている。ハード、ソフトともに進化する過程を相互に阻害しない仕組みがなければ、研究の進化は起こり得ない。このような枠組みは次の課題を思いつき、それを自らの試作と実験を通して解決してゆく自主的で創造的な知的行為のサイクルには不可欠なものである。以下に挙げる例はヒューマノイドにおいてソフトウェア進化がなされなければならない例であり、アミューズメント分野とのかかわり方について見てみる。

3. 人間型の振舞いの形成

モーターカーの展示会場などで、観客を盛り上げるショーに使われる遠隔操縦された等身大のヒューマノイドは、それを操縦する側の人間の技術が観客を惹きつける。遠隔操縦している人間が、ロボットを通して観客を見、観客に話しかけ、観客の反応に応じて話題をつくり、観客を話に引き込む。観客にあたかもそのロボットが自律的に応答しているかのような錯覚を抱かせる。それは歩き出したりはしないが、向き合った人間の動きに応じて話を作るためにそのロボットが見て判断する知能を持つような錯覚に陥ってしまう。これもアミューズメントビジネスが、ヒューマノイドが人間らしい振舞いを示すようになった時の人間が抱く感情を想像させる働きを担った例のひとつに見える。

歩けるヒューマノイドの操縦は自律ソフトウェアがなければ安定な動作は不可能である。図3のようにロボットと同じ形の人形で動きを指示した場合に、ロボットのバランスを崩さないような動作指令へ修正してロボットが動作を

図2 リモートブレイン型ヒューマノイドの行動発展

図3 マスタ用人形とスレーブロボット

図4 移動行動：ナックル歩行，二足歩行，運搬移動，スケータ乗り

作る形となる。脚の接地状態，現在の動きと姿勢センサによって，指令として与えられた動きをそのまま行ったとして生まれる反動を計算して，反動を打ち消す動きを適当に生み出しつつ指示された姿勢へ近づくような動作を作り出す⁵⁾。オンラインでなく人の動きをモーションキャプチャしたデータに対しても同様の仕組みによってヒューマノイドの動きを形成できる。CGアニメーションなどのアミューズメント分野の動きデータはヒューマノイドのソフトウェア作りと密接に関連する。

4. 動作の多様性と選択

ヒューマノイドの移動行動は，2足歩行に限らない。腕をついて歩く，物を抱えて歩く，スケータなどの台車を利用して蹴って移動するなど，どれをとっても移動は可能である（図4）。状況に応じて動作を選択できる自由度がある。その自由度がヒューマノイドを特徴付けるものであり，状況に応じて動作を選択できないものはヒューマノイ

図5 視覚に基づく動的動作

ドと呼べない。

個々の動作実行に，床の柔らかさや摩擦，対象物の重さ，スケータの運動機構などあらかじめわかるものではない。ある程度予想したとしても現物からの反応を検出できなければ成功は難しい。身体の状態，環境とのかかわり具合，全体の安定性など動作ごとに考えなければならないことはヒューマノイドでは大変多く，今後のソフトウェア進化が必須のところである。

移動の基本動作の遂行だけでもそれを成功させるプログラムを作り上げる試みは知的好奇心をかき立てる。ましてや，何かを競う場合のように，状況に応じてそういった基本動作を使い分けつつ全体の行為を成功させる仕組みはいったいどのように実現すればよいかは対話的なキャラクターゲームのソフト作りの過程に通じる。

5. 視覚に基づく行動作り

物の存在，目的物の発見，自分の動き，環境の認知，高いレベルの応答行動などをロボットに求めれば視覚は不可欠である。図5のように，ブランコをこぐような動作では，自分の動きを知り，雲梯動作では，つかまるべき次のバーの位置を見つけて手を出すタイミングをあわせる⁸⁾。動きを知る，対象を見つづける視覚機能が近年の高性能化したパーソナルコンピュータのソフトウェアレベルで実現できるようになった。カメラ付きノートコンピュータにそういった視覚機能に通じる処理が付属してくるようになり，遊びを取り入れたプログラムが広く利用され比較される時代となった。目をもつロボットがあればその遊び感覚でロボットに視覚に基づく行動を作ることがなされるようになるのもそう遠くはない時代である。パーソナルコンピュータに限らず，次世代の家庭用テレビゲーム器は，専用の画像処理ハードウェアをしのぐ性能を出している。ゲーム器のソフトウェアの発展がロボットの視覚技術にも貢献してゆくことが予想される。

6. 行動原理と対人反応

子供を抱きかかえればそれになじむ反応をし，落ちないように姿勢を整える。肩をたたけばこちらを振り向き，手

図6 対話行動実験用ヒューマノイド

を引けばこちらの方へ身を近づける。こういった基本的反応はヒューマノイドにおいてどのように組み込まれておかれるべきものか。それらは自然な対人反応として現れるようなある種の行動原理となって組み込まれておくべきものである。図6は、全身に柔軟な接触センサを分布させる際の実現方式の問題、配線数の問題、計算機へのインタフェースの問題などを解決した触覚センサスーツ⁹⁾を着た人間型ロボットである。人が抱きかかえ上げた場合にロボットは様々な反応を示すべきである。しかし、それは状況に応じて変わる反応となるべきものである。身体を支えられた部位を基本として反応するパターンを基本に、対話状況に応じた反応変化の仕組みのモデルが必要となっている¹⁰⁾。どのような形の行動原理が受け入れられるかは社会的なルールや市場の要求によって決まるものであろう。アミューズメントの世界はそれ自体人を相手にして成り立つものであり、実機も伴うアミューズメントの分野は対人行動原理の様々な淘汰を得られる世界のひとつである。

7. おわりに

ヒューマノイドのソフトウェア進化が求められている方向は多い。可能な単位行動を増やすことはできる。それらの組み合わせ方の妥当性がヒューマノイドの行動原理、置かれている環境、相手となる人間との関係などに応じて変化する。実際のヒューマノイドを用いてそれらの関係の組み合わせ方が広く受け入れられるものかどうかを広く問う道が必要な段階に入っている。アミューズメントビジネスは分野全体で数多くの試みがなされ淘汰された手法や評価が次第に確立してゆくという場を提供できる分野である。楽しみ、知的好奇心、競争心、向上心の要求に対して供給側が競って育てゆく市場に基づく分野であったとしても、人間生活を仕事として手助けしてくれるヒューマノイドを社会に提供する以前に、淘汰による技術レベルの向上と現実味のある受入れ可能性の議論が社会でなされる契機としての役割は大きい。

アミューズメントビジネスでヒューマノイドが育つかは市場と意欲のある企業に委ねられる。大学では、創造力と

図7 学生演習用ロボット

実行力の高い学生に、身をもって課題を知り、新しい在り方の創造と基本となる行動モデルの議論を行う場を提供しようと図7のようなロボットをグループで作り、動かし、行動モデルをプログラムして、上記の課題を考える学部3年向けの少人数学生演習をはじめた。手間と時間のかかる演習であってもできあがり新しい試みを楽しむ気持ちで成り立つもので希望者は多い。作り方だけでなく新しい発想の使われ方に対する毎年の積み重ねを通して大学らしい進化を目指そうとしている。

参考文献

- 1) 稲葉雅幸：ヒューマノイドの発達プロセスの研究，日本ロボット学会学会誌，**15**, 7 (1997) 964.
- 2) F. Kanehiro, Y. Tamiya, M. Inaba and H. Inoue : Developmental Methodology for Building Whole Body Humanoid System, Proc. IROS '99, (1999) 1210.
- 3) M. Inaba : Remote-brained Humanoid Project, Advanced Robotics, **11**, 6, (1997) 605.
- 4) M. Inaba : Developmental Processes in Remote-Brained Humanoids, in *Robotics Research*, Y. Shirai and S. Hirose ed., The 8th Int. Symp., Springer, (1998) 344-355.
- 5) 田宮幸春, 稲葉雅幸, 井上博允：人間型ロボットの片足立脚動作における全身を用いた実時間動バランス補償，日本ロボット学会学会誌，**17**, 2 (1999) 268.
- 6) M. Inaba, S. Kagami, F. Kanehiro, K. Takeda, T. Oka and H. Inoue : Vision-Based Adaptive and Interactive Behaviors in Mechanical Animals using the Remote-Brained Approach, Robotics and Autonomous Systems, **17**, 1-2, (1996) 35.
- 7) 稲葉雅幸：人間型ロボットプレーヤのシステム環境，bit, **28**, 5 (1996) 46.
- 8) 長阪憲一郎, 稲葉雅幸, 井上博允：GA と NN を用いた二足二腕ロボットによる視覚誘導型ブランコ動作の獲得，日本機械学会論文集 (C 編)，**62**, 602 (1996) 28.
- 9) 稲葉雅幸, 星野由紀子, 井上博允：導電性ファブリックを用いた全身被覆型触覚センサスーツ，日本ロボット学会学会誌，**16**, 1 (1998) 80.
- 10) Y. Hoshino, M. Inaba and H. Inoue : Model and Processing of Whole-body Tactile Sensor Suit for Human-Robot Contact Interaction, Proc. 1997 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, (1998) 2281.