

## Human-Robotics Based on the Dexterity of Nature, Life and Human

正 川副嘉彦(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama

There is no robot around us in our society at the current stage and also there will be no robot in the future if we define a robot as an autonomous machine working in the arena of offices, homes, and disaster sites, etc. outside the factories and continue the present conventional research and development (R&D) style in robot projects. It seems that the emergence of intellectuality in an autonomous robot exists in the dexterity of human or creatures as complex systems. This paper proposed the research style and the development procedure along this approach for realization of a real intelligent robot. We call this Human-Robotics, where robots and engineers should learn and develop in collaboration with each other in the real world on the basis of the dexterity of nature, life and human. We realized the simple self-sustained humanlike robust walking & running NANBA of humanoid biped robot GENBE based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability without ZMP (Zero Moment Point) control, which uses only small active power with simple chaotic limit cycle utilizing instability, further developing into autonomous walking & running. Instability makes the natural movement. We also investigated the approach to the emergence of the intelligence of an autonomous robot for breaking through the problems of the conventional intelligent robot with SMPA (Sense-Model-Plan-Act) framework in the real world. It is based on the development of human's dexterity or proficient skills with Subsumption Architecture (SA) by learning in the real world.

**Key Words:** Robotics, Human-Robotics, Autonomous Robot, Real World, Subsumption Architecture, Complex System, Dexterity, Development, Humanoid Biped Robot, Limit Cycle, Nonlinear Control, Martial Art, Emergence

## 1. ロボットの壁

現在の自動車産業に匹敵するぐらいの規模で21世紀の重要な産業分野としてロボットが期待されている。しかし、少子・高齢化社会に期待されるサービスロボットや介護ロボットなど、我々の周囲に存在して知的に動く(従来の機械とは質的に異なる)機械をロボットと定義するならば、長年の研究にもかかわらず、我々の周りには1体、1匹、1台、あるいは1個のロボットも実在しない[1]-[14]。生活分野、公共分野、医療福祉分野等においてロボット技術の多様な利用が期待されているが、現状のロボット技術は、将来の市場拡大に対応したロボット技術の具体的用途や技術の実現可能性を明確にできないでいる[14]。

作業の精度、速度、効率を追求するモデル・ベーストと呼ばれる従来の知能ロボットは、SMPA(Sense-Model-Plan-Act)と呼ばれ、外界をセンサで認識し、そのモデルを内部に構築し、行動計画を立て、そして実際に行動を起こす。しかし、このような直列方式のロボットは、人間の住む実世界では、障害物が突然現れたような場合に計算に時間がかかりすぎて立ち往生してしまう[4]-[10]。

たとえば、二足歩行ロボットとして知られているホンダのASIMO、ソニーのQRIO、産官学のHRP-2などに代表される最先端と言われる二足歩行ロボットは、従来の制御技術を極めた高度な機械であるが、絶妙な制御ゆえに、スペックをひとつ変えるだけでバランスが簡単に崩れてしまう。これらのロボットは、重心とZMP(Zero Moment Point)の制御を歩行の基本とし、重力や慣性力に逆らう歩行法だから、エネルギー的にも無駄が多く、サーボモータの負担も大きく、複雑精妙な制御を必要とし、しかも、実環境における外乱に弱い[1][2]。杉原・中村らにより高精度なZMP操作の研究も精力的になされているが[15]、俊敏・柔軟な動きが求められる実環境においては精密な測定と計算に頼るZMP制御の限界はもはや明らかであろう。また、國吉ら[16][17]は、実世界に必要な行動能力のうち、既存のヒューマノイドで実現されていないのは、(1)全身を駆使して素早く巧みな運動を、(2)多様な姿勢や環境接触と予測困難な外乱やモデル化誤差のもとでロボストに達成することであると指摘しているが、ヒューマノイドに限ったことではなく、

ロボットにとって最優先の課題であろう。刻々変化して一瞬たりとて止まることのない現実の環境は、ロボットにとっては危険に満ちており、計算に頼るアプローチをとる限り、制御すべきパラメータが爆発的に増えることになる。ロボットに俊敏・柔軟な動きを期待すればするほど、従来のモデル・ベーストや従来の学習の概念が非現実的なものになる[1]-[10]。

世界のすべての人びとが日本人と同じようにエネルギーを消費するとしたら地球が5つ必要だといわれる。ロボットにとっても環境問題と省エネルギーは極めて深刻な問題である。

昆虫程度のロボットというような表現をしたり、昆虫のような行動に見えてしまうとして試行錯誤的なロボットの行動アーキテクチャをデメリットと見なしたり[22]、シミュレーションしかやっていないのに人工生命を作っていると簡単に言っただけたり、ロボットがやがて人間を越えるかもしれないなどと心配する研究者が多いが、これらは自然・生き物・ヒトを理解していないための誤解としか著者には想像できない。ブルックス[2]が指摘するように、地球の歴史は46億年、単細胞生物が出現したのが35億年前、単細胞から昆虫に進化するのに30億年、昆虫から人類に達するのに5億年、人類が農耕を始めたのが約2万年前、文字を書くようになったのが5千年前、専門的知識を所有するようになったのは数百年前である。我々はまだ単細胞さえ作れないのである。地球が生まれてから単細胞が生まれるまでに10億年、しかも昆虫になるまで単細胞時代は30億年も続いたのである。

自然・生き物・ヒトの生態系は、何が起こるかわからない、コンピュータ・シミュレーションが通用しない世界である。われわれの住む世界は、半分は規則的、半分はランダムという複雑系である。春夏秋冬、朝昼晩は確実に巡ってくるが、去年の春と今年の春は違う、昨日の朝と今日の朝は違うのである。したがって、自然・生き物・ヒトと共存するロボットは動いてみないとわからない。一時期ブームであった人工知能研究にコンピュータ・シミュレーションが通用しないことは20世紀後半の歴史が示した。数千年前の人たちが文字や計算と関係なく暮らしていたことを考

えれば、計算能力は生命（知能：生きる能力）の極めて微小な部分にすぎないことがわかる。「ロボットがどんなに人間に近付いても問題はない。怖いのは、人間がロボットになることだ」とチェコの作家イバン・クリーマ氏は言う（ロボットという言葉の世界で最初に使ったチャペックはチェコの作家）[23]。これが日常物理学の常識的な感覚であろう。ロボットが人間に近づく速度より人間がロボットに近づく速度の方が速いように見える。

養老[21][24]によると、多くの運動は「無意識」である。日常慣れた動作でも、意識したとたんにゴコチなくなる。原始的な運動系は、おそらく反射系だけで成立しており、知覚入力がかたに運動出力に結合する。昆虫のように、ごく小さな脳しか持たない動物でも、かなり複雑な行動を行う。試行錯誤は運動系の大切な性質の一つで、ネズミが餌のありかを覚えるいちばん確実なやりかたは、試行錯誤だそうである。したがって、運動系は「やってみなけりや、わからない」。西垣[25]も、ヒトの身体内にうごめく情報は、意識されないもののほうがはるかに多くて、大半の生物は意識など持たずに生きていると言う。ミミズの穴ふさぎ、ゴキブリの動き、モグラの穴掘り、アザラシの泳ぎ、チータの走り[21][27][28]は、「ロボット学」の視点からは極めて知的に見える。

多くの時間と経費を費やして大規模プロジェクトとして展開されてきた日本のヒューマノイド・ロボット研究もようやく一段落したように見える。終わってみると、生き物や人間の住む現実世界で俊敏・柔軟・ロバストに動くロボットは、現在の延長線上では実現しそうなことが開発に実際に取り組んできた研究者[15]-[17]だけではなく一般にも認識され始めたような気配はあるが[29]、まだ十分に理解されているようには見えない。「2050年にワールドカップ人間チームに勝つ」という目標をかかげて日本の研究者の提案で始まったヒューマノイド・ロボカップ世界大会において、ヨチヨチ歩きのロボットがバタバタ転倒する惨憺たる状況について、専門家は直立二足ロボットに歩かせたり走らせたりするのは本来極めて難しいことだと解説している。しかし、たとえ目標達成の時期が2050年だとしても、あるいは目標自体がユーモアだとしても、ロボットの動きは恐ろしく緩慢で頼りなく、ロボット学会設立時の知的ロボットへの期待[30]-[34]からはほど遠い。前田[35]が指摘するように、最初に質が植え付けられていない限り、上達の過程は始まりようがない。刻々変化する現実世界においては、俊敏・柔軟・自在に動き回ることができないようなロボットには、外界モデルも経路計画も無意味であり、目的を達成することは不可能であろう。ロボットの壁である。現状のロボット研究開発の質を変えない限り、我々の住む現実世界で動くロボットの実現は不可能であろう。

## 2. ヒューマン・ロボット学の提唱

工場の外で働くロボットの実現には、ロボットにも設計者にも適応性・柔軟性が求められる。生き物やヒトの巧みさの発達を包摂構造の観点から吟味すると[1]-[10][20][21]、現在展開されている知能ロボット開発における本質的な欠陥を克服するヒントが見えて来る。自然・生き物・ヒトの世界で働くロボットは自然・生き物・ヒトの巧みさの発達に学ぶしかない。

たとえば、二足ロボットの歩きや走りは本当に難しいだろうか。「ヒトは誰でも簡単に歩いたり走ったりする。

図1は、人間オペレータの手による倒立棒の安定化制御において挙動がZMP制御に似た数少ない例であり、常に目標値に近づけようとする。このオペレータは練習を繰り返したが、結局、60秒間の安定化には至らなかった。図2は不安定を利用した試行錯誤による大胆な動きから試行を重ねて習熟していくと次第に動きが滑らかになり、倒立棒は

静止しているように見える。しかし静止しているのではなく、絶えず細かく動いており、これが人間の立位あるいは歩行が外乱に対して強いロバスト性をもつ理由であり、人間型二足ロボット「源兵衛」(図3, 図4)の歩行原理である。倒立棒の前方への傾き角度に応じて台車の速度を増すと倒立棒は小さく揺れながらほぼ垂直の姿勢で前方に走る。不安定にすることにより動きが生まれるのであり、従来の微小変動の線形制御とは本質的に異なる。図3, 図4では、ロボットは前傾姿勢で膝を曲げて前脚の形を作ると、自然に前方に倒れていき接地する。事例の詳細は別報に述べる。

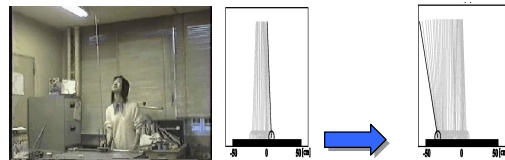


Fig.1 Stabilizing behavior similar to ZMP control (NR01) seems not to become skillful.

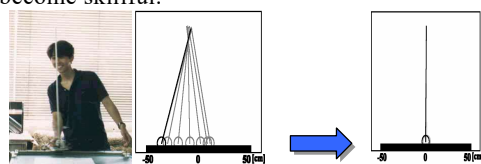


Fig.2 Stabilizing behavior utilizing instability develops from baby walk into NANBA running of biped robot GENBE.

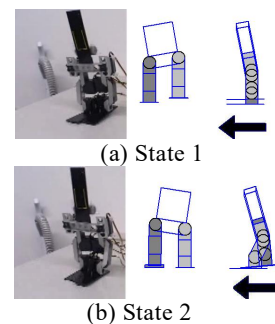


Fig.3 Fundamental States of NANBA Walking of GENBE-No.2 with 6 freedom legs.

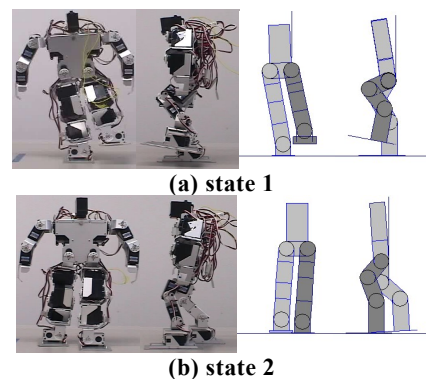


Fig.4 Fundamental States of NANBA Walking of GENBE-No.4 with 10 freedom legs.

## 3. 結論

「ロボット」および「ロボット学」が21世紀に生き延びるためには、ロボット単独の学習は無理であり、省エネ・環境保護を考慮して、設計者（母親）とロボット（赤ちゃん）とが共に次第に発達していくような道筋を基本とし、自然・生き物・ヒトの巧みさに学ぶサブサンプレション的研究開発のスタイルが、ロボット実現への道であることを指摘して、「ヒューマン・ロボット学」を提唱した。いくつかの事例については別報に述べる。（文献省略）