

# 複雑系としての人間の技量・巧みさの獲得と自律ロボットの知性の創発

## Acquisition of the Human Dexterity as a Complex System and Emergence of the Autonomous Robot's Intelligence

川副嘉彦 (埼玉工業大学・工学部)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Okabe, Saitama

This study has investigated the emergence of the intelligence of autonomous robot based on the human's dexterity and the mobile robot experiment with simple subsumption architecture (SA). It tried to acquire individual skill and proficiency of human operator from the experimental time series data by utilizing fuzzy inference. It showed that the rules identified for a fuzzy controller from time series data of each operator have the human-generated decision-making characteristics with the chaos and the large amount of disorder. It also showed that the degrees of freedom of the motion increase and the amount of disorder decreases with an increase of proficiency. It insists that the intelligence of autonomous robot exist in the dexterity of human or creatures as complex systems and the research style and the development procedure with SA are only necessary approach for the realization of real intelligent robot according to the emergence of human dexterity and autonomous behavior of mobile robot.

**Key words:** Emergence, Human's Dexterity, Intelligence, Autonomous Robot, Complex System

### 1. 緒言

柔軟性に富み、複雑な実世界での作業環境や人間の要求に良く適応し、自由で自然な動きを求められる知能ロボットに従来の Sense-Model-Plan-Act フレームワークに基づく方法を適用することは非現実的であり、実際に現実世界で本当に知的に動くロボットはまだ実現されていない。

一方、行動そのものを概念の中心におく Brooks の Subsumption Architecture (SA) を用いたビヘービア・ベーストロボット (SA ロボット) は多くの注目を浴びたが、複雑系としての SA ロボットの理解には混乱が見られる [1]-[16]。

日本ロボット学会設立 20 周年を迎えて、ロボティクスの学問体系の未熟さが指摘されており、現在のロボット技術と江戸時代における”からくり”の技術はいまだに同類項であると梅谷 [17] は云う。

ロボティクスが先端科学技術になりうるかという議論もなされており、従来からロボットをすべて計算ずくで動かせるという錯覚があり、ロボティクスの理論的研究は、ほとんど逆運動学や逆動力学の計算論的研究に終始し、感覚から行動に直結しているはずのフィードバックループは解明されていないと有本 [18] は指摘している。有本 [18] によると、感覚から行動を直接結ぶ具体的で明白な手懸かりを発見することにこそロボティクスの神髄があり、ロボティクスの目的が人間サイズの常識的世界の中で常識的に実行し得る能力を機械に与えることにあるならば、過去の 20 年間におけるロボティクスの研究は大した成果をあげたとは言いがたく、日常物理学を覆うペールをはがすような地道な発明、発見が期待される。

本研究は、人間の行為における巧みさの発現、さらに人間オペレータの巧みさの発現と対照して、SA ロボットの自律走行の発現を観察し、知能ロボットの知性 (巧みさ) の創発および知能ロボット開発へのアプローチ法を吟味する。

図 1 は技量・巧みさの発現のメカニズムを図示したものであり、(a) スポーツにおける用具とプレイヤー

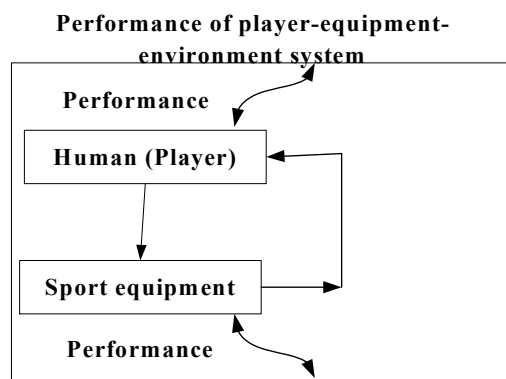
の相互作用によるパフォーマンスの発現、(b) 不安定系や難しい制御対象と人間オペレータの相互作用による巧みさの発現、(c) 人間・環境との相互作用による知能ロボットの知性の発現を示す。

### 2. 人間の行為における巧みさの発現

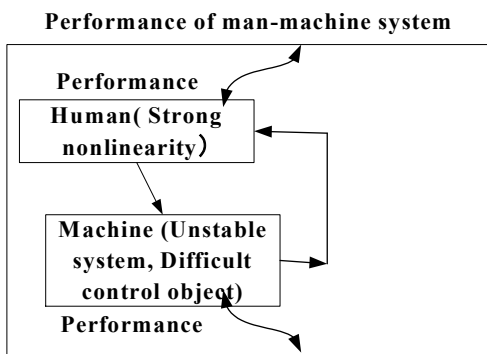
合気道の関東学生大会で優勝した学生が老師範に歯が立たないというので何故かと聞くと、やろうとしていることが全部読まれていると答えたそうである。逆にその老師範に聞くと、動きが全部読めると答えたそうである。ところが、この老師範がみんなの見ていながらこの学生を格好良く投げ飛ばしてやろうという気持ちになると簡単に負けてしまうと言う。無心でなくなったためにプレッシャーを感じて、相手の強い力をうまく反らしていた微妙な感覚が狂うのである [19]。

大リーグ 1 年目でいきなり数々の賞と記録を残した野球の達人・イチロー選手は次のように言っている。「やるべきことを一つ一つ積みあげていくのです。そうすると、そうしようと思わなくても、結果は出てくるのだと思う」。日本における 1994 年の大記録 210 安打の翌年、彼はさらに本塁打と打点を飛躍的に伸ばす変貌ぶりを見せた。ボールを遠くへ運ぶ技術を身につけたのである。大リーグ 2 年目の開幕戦 2 試合のヒットは、いずれも「追い込まれて」から打った「決して綺麗ではない」ヒットだったという。彼がオープン戦で絶好球をあっさり見逃していたのは、わざとツーストライクに追い込ませておいて、そこからの対応を試すためだったという。「一喜一憂はまわりがすること、僕がすることじゃない」というコメントに環境の変化に強い彼のロバスタ性 (頑健性) を見出すことができる [20]-[22]。

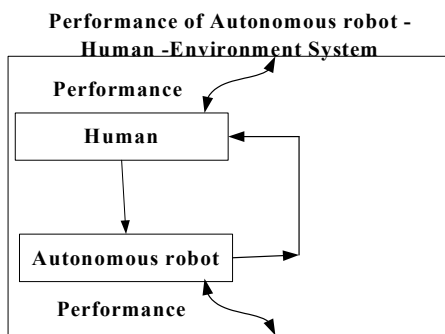
テニスの達人・コナーズは次のように言う。「コートでは、どろどろの戦いが展開されていて、試合中の自信が重要である。試合中の自信は、ただ自分に勝つぞと言いきかせたり思い込ませたりするのは違う。そんなものは簡単に敵に打ち返されてしまう。信じる



(a) Emergence of performance in sports



(b) Emergence of skill in man-machine system



(c) Emergence of skill in intelligent robot

Fig.1 Emergence of skill and intelligence

ものは本物でなければダメだ。本物の自信をつける方法はただひとつ。しっかりとサボらずに十分時間をかけて練習すること。そして、心から自分はできるんだという確証を持つことだ。目的を持って練習することが必要である。練習時間の長さではなくて、どれだけ充実した時間を過ごしたかが意味を持つ。」[23]

独自の基風「宇宙流」で有名な第 20 期名人・武宮正樹は彼の著書[24]で次のように言っている。「宇宙流」とは「自然流」のことである。「宇宙流」は最初から「地」をほしがるような戦法ではなく、「隅」にしる「辺」にしる、石を高く（中央に近く）打ち、戦ったうえで最終的に「地」を得るという「未来思考」の戦法なのである。基も人生もわからないことばかりである。神ならぬ身の私たちは、間違ふことでしか基の、そして人生の真理に近づくことはできない。結果にこだわるばかりでは、けっして真理は見えてこないのである。また、次のようにも言う。私は目標を立てない。目標は「立てる」ものではなく「持つ」ものだと思っている。

目標を「立てる」場合、その目標は、小さなもの、目先のものが対象になる。逆に、目標を「持つ」場合の目標は、人生を通してやりとげるといえるような大きなものが対象になる。

「住吉の長屋」で日本建築学会賞を受賞した安藤忠雄は次のように言う[25]。自然の移ろい、その刺激が人間の身体と精神をはぐくむ。どこでも等しく整えられた生活より、自然に応じて多様な日々の方が、はるかに豊かである。建築とは自然と人間との対話を喚起する装置である。

第 15 回山本周五郎賞を受賞した作家の江國香織は次のようにコメントしている。「恋愛は、他人の意見や情報が役に立たず、主観的な判断だけで人が行動する数少ないもの。小説でも、登場人物の考え方に耳をすまして慎重に行動を決めています。」[24]

佐々木[26]によると、リハビリテーションの現場では、運動障害の身体は、新しい環境と出会ったとき、新しい姿勢、動きを要求される。頸椎の脱臼・骨折により損傷部以下の知覚と運動が完全に麻痺した障害者の「靴下はき」の観察によると、(a) 転倒しないこと（調整され続ける）、(b) 足と手を接触する位置に脚をもってくる(全身の変形)、(c) 全身の変形を持続したまま足先位置で手先の操作をする、という 3 種を目標としており、(b)と(c)の間も(a)が持続して達成されていることが重要である。三歳児は皆、座るといって確実な方法でこれを達成する。「靴下はき」の発達についても詳細な記述がある。

解剖学者・養老孟司は、人類の未来に関して次のようなコメントをしている。「社会が脳化していることが問題である。脳化とは、ああすればこうなると考えることである。すべてが意識のもとにコントロール可能だと思いたがることである。でも、肝心の人間は、自分の死期さえわからない不確定性に満ちた存在である。自分が不確かである程度に不確かな自然世界が、一番暮らしやすい。」[27]

### 3. 複雑系としての人間の技量・巧みさの獲得

#### 3.1 人間オペレータの時系列データからのファジィ制御器の自動生成

倒立振り子のように平衡点不安定な非線形系を人間が制御して安定化させるためには、人間には過酷な状況判断が要求され、人間は時と場合により複雑な行動を行うことが予想される(図 2)。従って、人間が介在したこのような閉ループ制御系には、システム全体として複雑系が形成される可能性がある。前報において[28]-[32]、60 s 間の安定化制御にある程度習熟した試行者(人間オペレータ)の時系列実測波形についてエントロピ・カオス診断を行ったところ、無秩序さとカオス性を示した。エントロピの割合は、学習効果によってその値が変化し、学習によって無秩序さの程度が変わることを示した。

さらに、外乱にロバストな人間オペレータの巧みな操作を実測時系列データからファジィ・ニューロを用いて同定する方法を示した。すなわち、ファジィ制御装置の入力として振り子の角変位  $\theta_t$ 、角速度  $\theta'_t$ 、および台車変位  $X_t$ 、台車速度  $X'_t$  を選び、出力として台車への外力  $F_{t+1}$  を選んで、時系列実測データから制御装置としての人間オペレータの制御特性を同定することができる[33]-[37]。図 3 は、練習により 60 s 間の

安定化制御にある程度習熟した人間オペレータ NK の 1 回目の試行 (NK01) を用いてファジィ制御器を同定した例である。人間 NK の試行回数 1 回目から 10 回目までのルール表は非対称で微妙に変化しており、試行 9 回目から 10 回目にかけて変化が大きかった。図 4 は、1 回目から 10 回目の試行における同定された制御器を用いたシミュレーションと実測の振り角波形である。



Fig.2 Experimental situation

		$\theta + \beta \theta'$					
		NB	NS	ZR	PS	PB	
$X + \gamma X'$	NB	PS	PMS	NMS	NMB	ZR	
	NS	PMB	PMS	NMS	NMB	ZR	
	ZR	PB	PS	ZR	NS	NB	
	PS	ZR	PMB	PMS	NMS	NMB	
	PB	ZR	ZR	PMS	NMS	NS	

Fig.3 Identified Fuzzy control rule from time series NK01

### 3.2 巧みさの獲得とエントロピー・カオス診断

図 4 のようにオペレータの挙動にはリミットサイクルが揺らぐような不規則的の周期変動が見られ、個人と習熟度の差異が顕著である。試行回数が増えると変動振幅が減少する傾向がみられる。一般的にリミットサイクルは軌道安定だから過渡的な外乱にロバストであり、構造安定でもあるから状況の変化に応じた運動の変化が起こりうる[38]-[41]。したがって、人間オペレータによる安定化制御は、適応性や柔軟性をもつことになる。人間の巧みな制御特性が同定できれば、外乱にロバストな制御器を実現できる可能性がある[32]-[37][41]。

図 5 は人間オペレータ NK の試行 1 回目 (NK01) の位相面表示である。左は振り角変位 (倒立棒傾斜角度) - 角速度, 右は台車変位 - 台車速度である。位相面上の軌道は毎回少しずつ変わり、左右非対称な動きが生成されるのが特徴である。

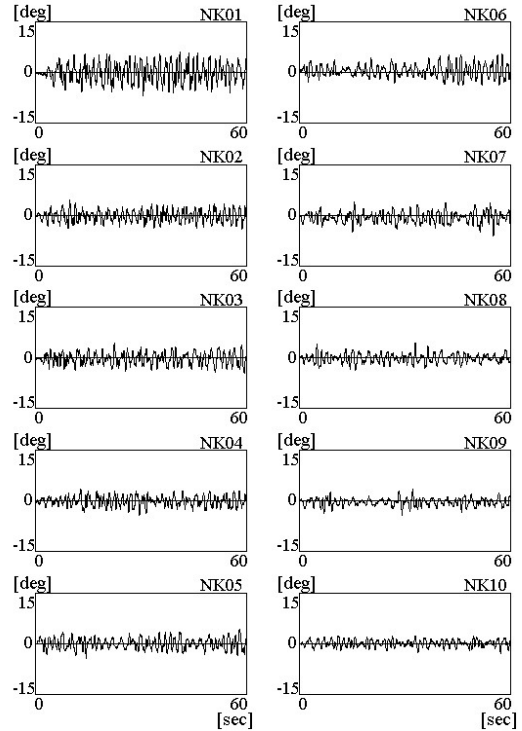
図 6 は、人間オペレータ NK の試行 1 回目から 10 回目までの時系列データのエントロピー診断結果である。縦軸のエントロピーの割合は無秩序さ、あるいは不規則さの程度を表し、1 は完全にランダムな状態を意味する。どの試行も無秩序さの程度が大きく、習熟度が増すと無秩序さの程度が低減することを示す。また、最大リアプノフ指数も正の値であり、カオス性を示した。図 7 は、最大リアプノフ指数の算出値から推定した次元数 (運動の自由度) である。試行を重ねると推定次元数が増す傾向があり、習熟度が増すと、運動の自由度の数が増えていく (腕系関節の自由度を多く使う)。

### 3.3 巧みさの発現のメカニズムとロバストネス

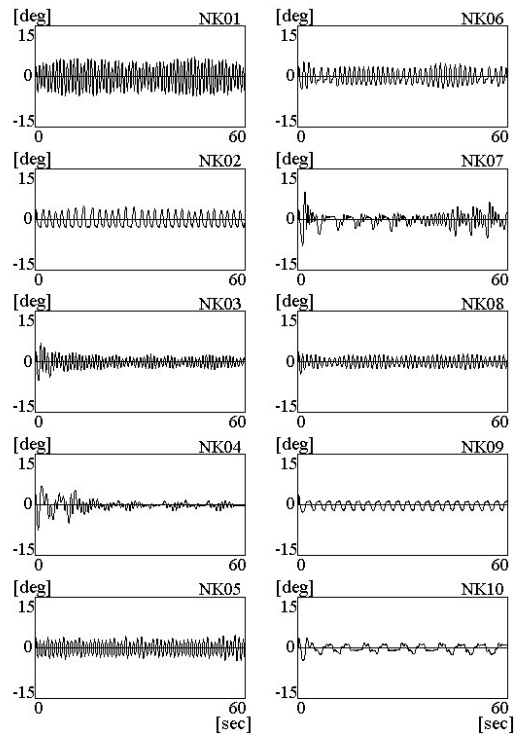
倒立振子を倒さないように安定化制御するという技

量・巧みさは、不安定で非線形な倒立棒系と非線形な人間系との相互作用により獲得された (発現した) もので、複雑系の世界と見ることが出来る。相互作用により倒立棒が倒れないで直立する状態が生まれるのである。

コンピュータ制御実験によると、リミットサイクル的 (線形的には不安定) あるいはリミットサイクルが揺らぐような不規則的な動きは予期せぬ外乱に対して



(a) Measured



(b) Simulated using identified Fuzzy controller  
Fig.4 Skill proficiency of human operator: 1st trial (NK01) to 10th (NK10) (Operator: NK)

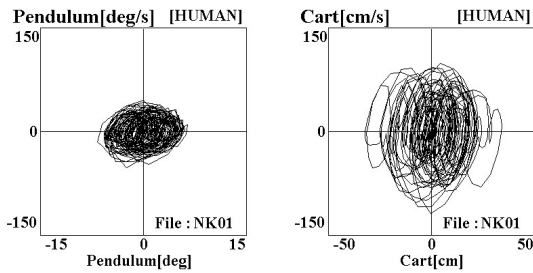


Fig.5 Phase plain representation

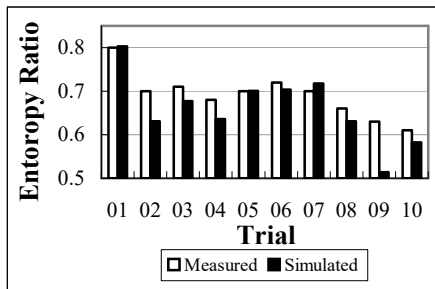


Fig.6 Entropy Ratios vs. trials (Operator NK)

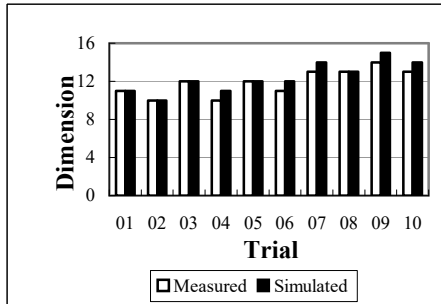


Fig.7 Estimated Degrees of Freedom of motion vs. trials (Operator NK)

ロバスト（頑健）であった[29][30].

多賀[41]は、人間の歩行について、習熟が進むにつれて、始め凍結されていた自由度が独立に動くようになることで運動の安定化と複雑化が同時に起こること、身体を介した脳神経系と環境との間の動的な相互作用の在り方に運動の創発の可能性があると論じている。

ギブソンは、行動は「姿勢」に依存しており、立位のような平衡姿勢ですら多数の微細な修正の動きからなっており、立つことは止まるのではなく、倒れないための「不安定幅」の持続であり、「姿勢」の止まらないという性質が、身体に動きをもたらす[26]と述べて

いる。

人間オペレータによる倒立棒の安定化制御における巧みさの発現は、不安定で非線形な倒立棒系と非線形な人間系との相互作用により生まれる。倒立棒系の非線形ダイナミクスと人間系の非線形ダイナミクスとが相互に作用し、系全体でリミットサイクル・アトラクターが生成されるのである。これが、安定かつ柔軟な制御の生成に対応し、人間オペレータによる安定化制御は、適応性や柔軟性をもつことになる[38]-[41].

#### 4. SAを用いた行動型移動ロボットの巧みな自律走行の発現

Brooksによると、「実世界で行動することの本質」とは、動的な環境世界の中で動きまわること、視覚、そして生存に関連する作業をやってのける能力である。この「本質」の部分は、「進化」がその時間を最も多く費やしたところであり、いったんこの「本質」が獲得されたなら、問題解決行動、言語、専門的知識とその応用、推論などはすべてこの本質に比べたら極めて単純な事柄である[1]-[3][11].

人間共存型ロボットが具備すべき要件は、1) 人に危害を加えない、2) 障害物に対応できる、3) システムがフェイルしないことである[7]. 要素行動 Escape, Avoid, Cruise の3つを実装したきわめてシンプルなSA移動ロボット[42]により巧みな動きの発現をみた。

図8は、環境(1)における自律走行の発現を示す。(a)は走行軌道、(b)は実験風景、(c), (d), (e)は(a)の1部分を拡大した軌道である。要素行動Cruiseは動き回り、Avoidは行き詰らないようにする。アルゴリズム無しのシンプルな構造であるにもかかわらず、生き物の巧みな動きを思わせる。センサの検知範囲の不安定さ、メカニズムの誤差、実行中の走路の摩擦の変化などからくるパラメータ変動の影響を受けて軌道が毎回少しずつ変わり、人間が倒立振子の安定化動作を行う際の状況に似ている。図9は、実験環境(2)における場合である。図10は、障害物をさらに複雑に配置した実験環境(a)~(d)での例である。図11は、人間と共存する環境での自律走行の発現を示すが、うまく適応している。障害物が突然現れたような場合に、高度なアルゴリズムを備えた従来の頭でっかちロボットが危機状態になるのに比べてはるかに知的である。

知的行動と見なされるような動きには必ずしも複雑な処理が必要ではなく、単純な行動でも、環境に応じて適切に発現すれば、外から見れば知的に行動しているように見えるという複雑系の世界である。

以上の実験により、次の点が確認できる。

- (1) 知的行動は要素行動群と外界との相互作用に

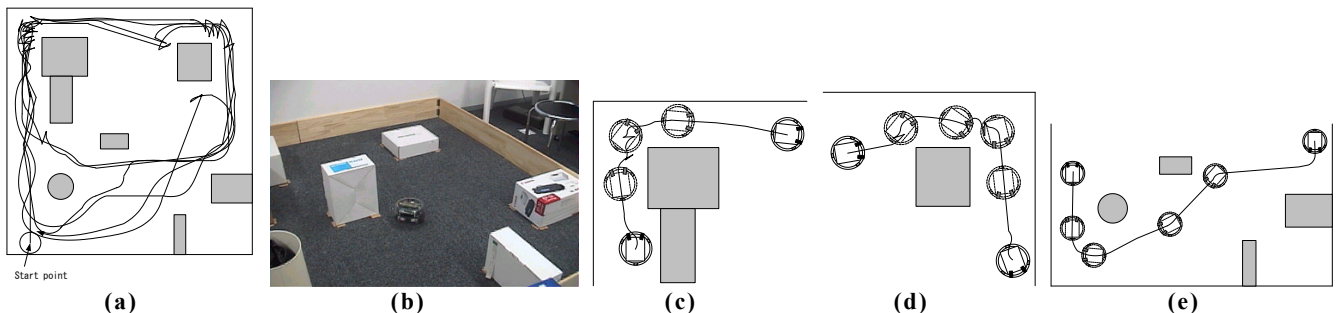


Fig.8 Behaviors with SA (Escape · Avoid · Cruise) Environment (1)



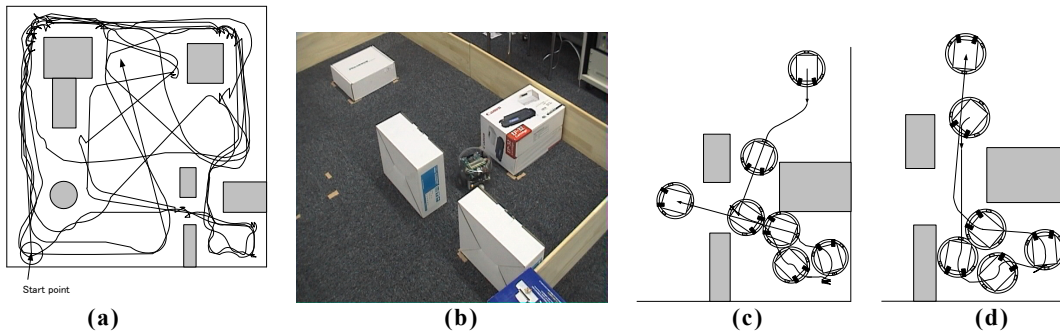


Fig.9 Behaviors with SA (Escape · Avoid · Cruise) Environment(2)

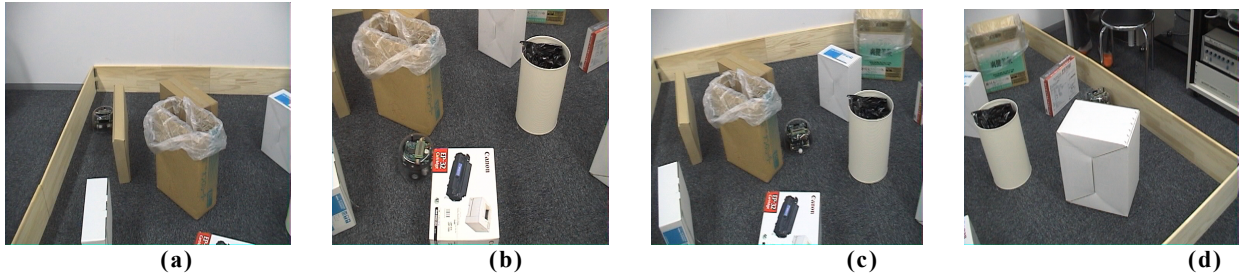


Fig.10 Behaviors with SA (Further complex Environment)



Fig.11 Interaction between human and an autonomous mobile robot with SA

よって発現する。(2) それは簡単な要素行動モジュールの積み重ねにより実現できる。(3) ロボット自身の拡張(知的レベルの向上)も簡単である。(4) 従来のモデル・ベーストのように外界の完全なモデルの獲得が不要である。(5) 簡単な処理で実現でき、外界に対してロバストなロボットが得られる。

## 5. 結論

知能ロボットの研究開発が大規模プロジェクトとして展開されるようになったが、巧みな(知的な)ロボットの実現という意味では、費やされる多くの時間と経費に対して、将来の見通しがよいとは言い難い。ゴキブリ程度の行動をするロボットさえ実現されていないのである。複雑系としての知的ロボットの理解に混乱が見られることが大きな理由であろう。

本研究では、人間の行為における巧みさの発現、人間オペレータの巧みさの発現、さらにサブサンクション・アーキテクチャ(SA)による簡単な要素行動を実装した移動ロボットの自律走行の発現について考察し、知能ロボットの知性(巧みさ)の創発および知能ロボット開発へのアプローチ法を吟味した。

知能ロボットの知性の創発は人間の技量・巧みさの獲得や生き物の巧みさのなかにあることを指摘し、研究開発の原点にSAロボットを据えて、SA的な開発スタイルで、実環境において地道に要素行動を積み上げていくことが、現実世界で本当に知的に動く知能ロボットを実現するための唯一可能な方法であることを主張した。まず「体」が動くこと、次は「体」を動かしながら「技」を積み上げること、最後は「体」と「技」

を持続しながら「心」を積み上げるのである。

おわりに、実験にご助力いただいたビジネスネット(株)原田洋氏および埼玉工大・平成13年度卒研究生橋本和馬・大澤渉の両君に厚くお礼申し上げます。なお、本研究の一部は埼玉工業大学ハイテク・リサーチ・センターの援助によって行われたことを付記する。

## 文献

- [1] Brooks, R. A., A robust layered control system for a mobile robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 1, 14-23(1986).
- [2] Gomi, T, Impact of Non-Cartesianism on Software Engineering, Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.487-519.
- [3] 五味隆志, 知的移動ロボット: 知能の新しい見方, ロボットの新たな役割, Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.427-454.
- [4] 井上博允, 知能ロボットに関する最近の研究動向: 重点領域研究「知能ロボット」とその周辺, 計測と制御, 35-4, (1996), 計測自動制御学会, pp. 237-242.
- [5] 白井良明, 感覚と行動の統合による実環境の理解, 計測と制御, 35-4, (1996), 計測自動制御学会, pp.256-261.
- [6] 井上博允, 重点領域研究「知能ロボット」, 日本ロボット学会誌, 16-5, (1998), p.578-585.
- [7] 西田洋一郎・中川一・中内靖・森 泰親, 接触センサを用いた動的環境に適應したロボットの開発,

- 日本機械学会論文集, 63-606, (1997), pp.492-498.
- [8] 久野義徳, ビヘービアベースロボットの行動, 日本ロボット学会誌, 11-8, (1993), pp.1178-1184.
- [9] 及川一美・土谷武士, 行動規範型自律移動ロボットの世界像獲得およびナビゲーション手法, 日本ロボット学会誌, 16-1, (1998), pp.65-73.
- [10] 久保田直行・増田寛之・谷口和彦・小島史男・福田敏男, 移動ロボットの多目的行動調停のための学習, 日本機械学会論文集, 67-664, (2001), pp.3876-3882.
- [11] Brooks, R. A., Intelligence without representation, Artificial Intelligence, Vol.47, (1991), pp. 139-159.
- [12] 川副嘉彦, 複雑系としての人間の巧みさと自律ロボットの知性の発現, 日本機械学会2002年度年次大会講演論文集, pp.171-172, (2002).
- [13] 川副嘉彦, 知能ロボットの知性の創発 (第1報, 複雑系としての人間の行為・運動の巧みさとサブサンクション・アーキテクチャ), 埼玉工業大学紀要, 第10&11号, pp.9-19, (2002)
- [14] 川副嘉彦, 知能ロボットの知性の創発 (第2報, SAを用いた行動型移動ロボットの自律走行の発現), 埼玉工業大学紀要, 第10&11号, pp.21-31, (2002)
- [15] Seraji, S. & Howard, A., Behavior-Based Robot Navigation on Challenging Terrain: A Fuzzy Logic Approach, IEEE Trans. on Robotics & Automation, 18-3, (2002), pp.308-321.
- [16] 能島裕介・小島史男・久保田直行, 多目的行動調停に基づく移動ロボットの行動獲得, 日本機械学会論文集, 68-671, (2002), pp.2067-2073.
- [17] 梅谷陽二, RSJ-黎明期から今日まで, 日本ロボット学会誌, 20-6, (2002), pp.566-567.
- [18] 有本卓, ロボティクスは先端科学技術になりうるか, 日本ロボット学会誌, 20-6, (2002), pp.569-570.
- [19] 吉福康郎, スポーツとロボティクス・キーノート講演: 格闘技における力とエネルギーの伝達, 第17回日本ロボット学会学術講演会, (1999年9月)
- [20] 山田佳毅, 「重圧」無縁・揺るがぬ自信, 朝日新聞, 2002年3月30日.
- [21] 石田雄太, イチロー&マリナーズ Ichiro: the desire for evolution, Sports Graphic Number, 23-8, (2002), pp.52-57.
- [22] 由利英明, 定位置も飛躍への通過点, 朝日新聞(夕刊), 2002年5月27日.
- [23] リンバーグ, M. 編, 金井哲夫訳, 勝利の秘訣, (1996), アスペクト出版.
- [24] 武宮正樹, 「宇宙流」生き方のすすめ—"こころ"は明日やって来る, 廣済堂出版
- [18] 朝日新聞夕刊, 2002年4月6日, 自然との対話呼び起こす建築: 安藤忠雄 (建築家, 東大教授)
- [25] 加藤修, 朝日新聞, 2002年5月17日, ひと: 江國香織さん.
- [26] 佐々木正人, 物と行為を一体に記述する試み: 靴下はきの場合, 季刊「発達」, 22-87, (2001), ミネルヴァ書房, pp.2-8.
- [27] 養老孟司, 明日はあるか, 朝日新聞, 2002年1月8日.
- [28] 川副嘉彦: 人間の手による制御とコンピュータ制御 (倒立振子の制御実験), 日本機械学会・第2回運動と振動の制御シンポジウム講演論文集, No.910-52, (1991), pp. 95-100.
- [29] 川副嘉彦, 台車上の倒立振子の制御における人間の制御特性に関する研究 (第1報, コンピュータ制御における非線形挙動), 日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集, (A), No.920-55 (1992), pp.1-6
- [30] Kawazoe Y (1992), Manual control and computer control of an inverted pendulum on a cart, Proc. of the First International Conf. on Motion and Vibration Control, pp.930-935.
- [31] Kawazoe Y & Ju DY (1994), Nonlinear characteristics of human operator with the stabilizing control of an inverted pendulum on a cart, Proc. 2nd International Conf. on Motion and Vibration Control, pp.645-650.
- [32] Kawazoe Y, Ohta T, Tanaka K, Measurement and analysis of chaotic behavior of human operator stabilizing an inverted pendulum on a cart, Proc. of ICMA2000-Human friendly mechatronics, pp.457-462. (2000)
- [33] Kawazoe Y (1999), Nonlinear characteristics of a human operator during stabilizing control of an inverted pendulum on a cart: Fuzzy identification from experimental time series data and Fuzzy control simulation, Motion and vibration control in Mechatronics, Edited by Seto K, Mizuno T & Watanabe T, pp.133-138.
- [34] Kawazoe, Y., Fuzzy identification of chaotic and complex behavior of human operator stabilizing an inverted pendulum on a cart., Proc. 6th Int. Symp. on Artificial Life & Robotics, (2001), pp.9-12.
- [35] Kawazoe, Y., Measurement of Chaotic Behavior of Human Operator stabilizing an Inverted Pendulum and Its Fuzzy Identification from Time Series Data, J.Robotics & Mechatronics, 13-1. (2001), pp.23-29.
- [36] 川副嘉彦・松本仁, ファジィ推論による人間オペレータの技量獲得 (倒立振子の安定化制御におけるカオス的時系列データからの制御ルールの同定), 第17回ファジィシステムシンポジウム論文集, 日本ファジィ学会, (2001.9), pp.715-718.
- [37] 川副嘉彦・松本仁, ファジィ推論による時系列データからの人間オペレータの技量獲得 (倒立振子の安定化制御における技量の個人差の同定), 第11回インテリジェント・システム・シンポジウム, 計測自動制御学会, (2001), pp.415-420.
- [38] 川副嘉彦, 空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究 (第1報, 原因を探る諸実験), 日本機械学会論文集 51-461, pp. 404-409. (1985),
- [39] 川副嘉彦, 空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究 (第3報, 低速ハンチングの計算機シミュレーション), 日本機械学会論文集, 51-471, (1985), pp.2789-2795.
- [40] 川副嘉彦, 空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究 (第9報, 非線形挙動の考察), 日本機械学会論文集, 56-523, (1990), pp.693-699.
- [41] 多賀巖太郎, 歩行の創発, 日本ロボット学会誌, 15-5, (1997), pp. 680-683.
- [41] 川副嘉彦・榎本弘一・松本仁・岡部澄夫・半田昌司, ニューラルネットワークによる人間オペレータの技量と巧みさの獲得 (倒立振子の安定化制御におけるカオス的時系列データからのニューロ制御器の生成), 第29回知能システムシンポジウム, 計測自動制御学会, (2002), pp.217-222.
- [42] Jones J L, Rug Warrior Pro™, Assembly Guide, AK Peters LTD (USA).