

# 2

## デジタルペット

～心を持った機械達～

実	世	界	に
近	づ	く	イ
ン	タ	フ	ェ
ー	ス	技	術

牛田 博英 オムロン（株）技術本部 IT研究所

平山 裕司 オムロン（株）技術本部 IT研究所

中嶋 宏 オムロン（株）技術本部 IT研究所



### 心を持った機械

近年、犬型や猫型のペットロボットが開発されるなど、デジタルペットの開発が盛んに行われている。デジタルペットは、人間の生産効率を向上するための道具として存在していた従来の機械とは明らかに異なる。デジタルペットは、機械が人間の道具からパートナーへと進化し、人間と機械が共生する社会を具現化するものの1つと捉えることができる。このような人間と機械の新しい関係を構築する上で重要となるのは機械の自律性である。ここでの自律性とは、人間から逐一指示を与えられなくても、機械が自分の判断をも

とに自発的に行動を起こすことである。機械に自律性が必要とされる理由は、次に述べるインタフェースの観点と擬人化の観点により説明される。

現在のコンピュータのインタフェースはMacintoshに代表されるようにGUI (Graphical User Interface) が主流である。ユーザは直接操作 (Direct Manipulation) によりメタファを利用したGUIを介してすべての仕事を明示的に指示する。しかし、扱う情報があまりに多いと、ユーザがすべての情報を監視したり指示したりすることが困難となる。これに対して、「間接管理 (Indirect Management)」という概念がある<sup>1)</sup>。間接管理では「人は道具を操作し、人を管理する」という言葉で説明されるように、人間から管理されながら、自律的に動作する機械を想定している。

インタフェースの観点からの自律性の説明は、生産効率の向上という従来の機械の役割の延長にある。これに対して、擬人化の観点は、機械を「生き物らしく」見せるために自律性が必要となる理由を説明する。志向姿勢<sup>2)</sup>によると、人間は、動物だけでなく人工物でも、自律的に動作するものに対しては、それらが合理的な意図を持つ主体であると考え、その行動を説明する。これは行動主義に対して、動機づけなど内的要因の存在を示唆する。また、「Media Equation」<sup>3)</sup>によると、コンピュータなどの人工メディアに対する

人間の反応は、自然界に対する反応と同じである。これら理論に加えて、ディズニーアニメを観た子供がキャラクターに魅了されるのは、キャラクターが表出する感情や個性に対して子供が共感を抱き感情移入するからである、という考えもある<sup>4)</sup>。もし、キャラクターが置かれた状況とは関係なくランダムに動作するものであれば、このような擬人化の効果は著しく減少するだろう。これら擬人観に従えば、自らの価値判断に基づいて行動を決定し、感情を表出する機械は、外部からの観察者である人間にとっては、心を持つかのように見えると考えられる。筆者らは、上記のようなインタフェースと擬人化の観点から機械が自律性を持つためには、機械としての心を持つべきであると考え「心を持った機械」(A Machine with Mind) というコンセプトを提案している。「心を持った機械」を実現するためには、少なくとも次の3つの機能を必要とする。

- (1) 人間にとって自然な方法で対話できること
- (2) 自律的に行動して人間と協調できること
- (3) 対話を通して人間に親近感や安心感など精神的価値を与えること

(1) においては、人間と同様に音声、表情、身振り、視線などをインタフェースに用いるべきである。(2) については、最初に人間がマクロなレベルで価値観や指示を与えておけ

ば、あとは機械が学習を行い獲得した知識を利用して状況を判断したり行動を決定できることを目指す。(3) については、機械との対話そのものが楽しいと人間が感じたり、機械との対話を通して人間の心が癒されることを目指す。

これら課題を解決するためには、自律したシステムである人間の心と意識の発生メカニズムや、社会的動物としての人間の行動や対話を研究し、その成果を「心を持った機械」に取り入れることが重要である。筆者らは研究成果の第1段階として「心と意識のモデル」を開発し、このモデルをペットロボットなどのデジタルペットに応用している<sup>5)~7)</sup>。本稿では、この「心と意識のモデル」と、その応用例であるデジタルペット達について述べる。また、大学や他の企業で開発されているデジタルペットの事例も紹介する。

## 心と意識のモデル — MaC モデル —

本章では、筆者らが開発している心と意識のモデル (MaC モデル: Mind and Consciousness Model) について、その概念モデルと実装アーキテクチャについて説明する。概念モデルは、脳科学、認知科学、心理学、人工知能における研究成果をもとに、心と意識のメカニズムを概念的に説明するモデルである。実装アーキテクチャは、概念モデルを工学的に実装することにより、機械の自律性に必要な機能を実現する。

### 概念モデル

近年の脳科学、認知科学、心理学の研究において、人間の意思決定において感情が重要な役割を果たしていることが分かってきた<sup>8)~10)</sup>。人工知能の分野においても、問題解決に感情を利用すべきという考え方が<sup>11), 12)</sup>。認知哲学者のDennettは

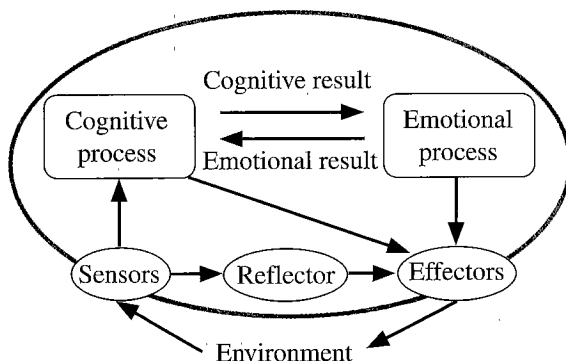


図-1 心と意識の概念モデル

人間の意識について、デカルト的なホムンクルス仮説を否定し、多重の並列分散処理プロセスが相互作用と選択的注意を繰り返す過程である、という多重文書理論 (Multiple Draft Theory) を唱えている<sup>13)</sup>。

これら理論を踏まえ、筆者らは図-1に示すような心と意識の概念モデルを提案している。概念モデルは、感情を価値判断に用いる心のメカニズムと、選択的注意や反射・熟考のプロセスを処理する意識のメカニズムを持つ。心のメカニズムは、認識や判断を行う認知プロセスと、認知結果に基づいて感情を生成する感情プロセスからなり、これら2つのプロセスの相互作用により行動を決定する。認知プロセスから感情プロセスへの作用は、認知的評価理論<sup>14)</sup>に基づいている。意識のメカニズムは、限られた計算資源を効率的に分配するために2つの方法を用いる。1つは意識を知識処理を必要としない反射レベルと、知識処理を必要とする熟考レベルに分けていることである。行動生成の観点からは、反射行動は刺激に対する反応というボトムアップの行動であり、熟考による行動は目標に基づくトップダウン的行動といえる。2種類の行動の相補的な組合せにより、状況に応じた行動生成を行えるようにする。もう1つの方法は外部入力や内部状態に対する選択的注意である。選択的注意は、解決すべき問題を選択するためのメカニズムであり、複数のモジュールの相互作用を通して、状況に応じて解決すべき問題に関連する外部入力と内部状態に注意を向ける。外部入力と内部状態の変化により意識が移動し、それによって生成される感情が遷移することを繰り返す。

### 実装アーキテクチャ

前節の概念モデルに基づいて図-2に示すようなアーキテクチャでMaCモデルを実装した。図-2において長

方形は処理モジュールを表し、角の丸い長方形は記憶モジュールを表す。ここでは、MaCモデルの行動決定の仕組みを図-2のアーキテクチャに沿って説明する。また、行動決定のための知識を経験から獲得する学習と、個体により行動決定の傾向を変える個性形成の機能について説明する。

#### (1) 行動決定

概念モデルで説明したように、MaCモデルは反射と熟考の2種類の行動決定の仕組みを持つ。

反射による行動決定では反射生成部を用いる。反射生成部は、感覚入力部が抽出する特徴量と、機械が出力すべき行動の関係を反射生成規則として持つ。そして、特徴量が入力されると、その特徴量に対応する行動出力の命令を行動出力部に送る。たとえば、ペットロボットの反射生成規則として、音源の方向と、ペットロボットの頭を動かす方向の関係を記述した規則を持たせる。行動出力部は、反射生成部からの命令に応じて行動を出力する。たとえば、実ロボットではアクチュエータを動かす、コンピュータグラフィクス (CG) によるキャラクタでは表情などの描画命令をCGソフトウェアに出力す

る。また、音声を出力する場合には、録音された音声ファイルの再生出力や、音声合成による出力を行う。

熟考による行動決定では、3つの記憶モジュール (生得的目標記憶部、作業記憶部、長期記憶部) と4つの処理モジュール (認識部、感情生成部、目標設定部、行動計画部) を用いる。以下にそれぞれのモジュールを説明する。

#### a) 生得的目標記憶部

機械が行動を決定するための上位目標として1つ以上の生得的目標を持つ。これら生得的目標は、あらかじめ設計者やユーザから与えられる。それぞれの生得的目標は、その目標を達成する欲求の強さ (以下、欲求度と呼ぶ) を持つ。欲求度はバッテリーを充電するという目標のように時間経過に従って増加し、欲求

実	世	界	に
近	づ	く	イ
ン	タ	フ	エ
ー	ス	技	術

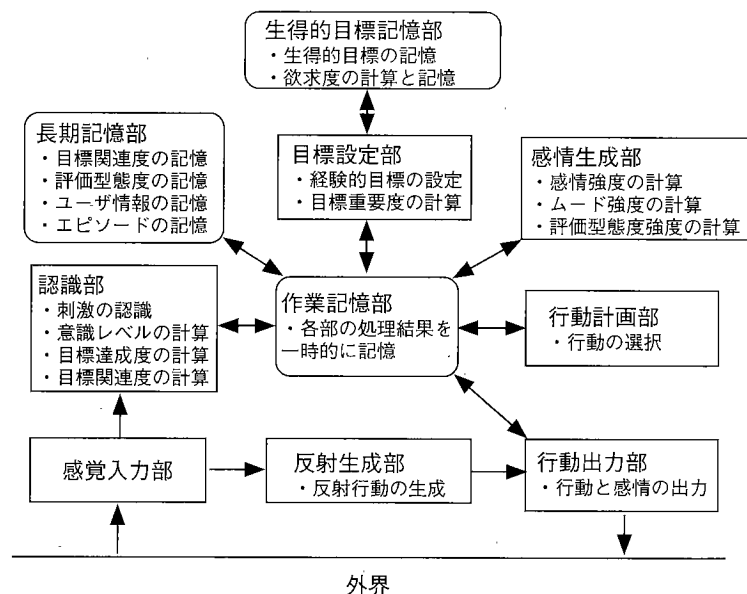


図-2 MaCモデルの実装アーキテクチャ

が満たされると減少する場合と、危険を避けるという目標のように外部からの刺激の強さに応じて変化する場合がある。

#### b) 作業記憶部

各モジュールから出力される処理結果を他のモジュールが利用できるように一時的に保存するための記憶モジュールである。

#### c) 長期記憶部

ユーザや外界の情報を長期的に保存しておくための記憶である。長期記憶部に保存された情報の中で、入力された刺激や、設定される目標に関係する情報が作業記憶部に読み出されて利用される。これまでのMaCモデルの応用例では次の4種類の情報を記憶に用いている。

- 目標関連度：刺激と目標の関係する程度。
- 評価型態度：刺激への嗜好（好き／嫌い）の程度。
- ユーザ情報：ユーザとの対話から獲得した情報。
- エピソード記憶：刺激、行動、感情、行動結果の履歴。

#### d) 認識部

認識と状況の評価を行う。認識では、感覚入力部から受ける特徴量を用いて刺激の種類などを認識する。たとえば認識結果として、刺激が触覚であれば叩く・撫でるなどの種類、音声であれば音声認識結果、画像であればユーザの名前や顔表情などを得る。

評価は、刺激により目標が達成する、紛糾するなどの観点で行われる。複数の刺激が入力されると、次に述べる選択的注意により、評価に用いる刺激を絞り込む。選択的注意では、刺激の強さ、目標関連度、および目標の重要さの程度（以下、目標重要度と呼ぶ）をもとに、それぞれの刺激に対する注意の程度（以下、意識レベルと呼ぶ）を計算する。意識レベルの値がしきい値を超える刺激を評価に用いる。評価結果は、目標達

成の程度を表す目標達成度、目標紛糾の程度を表す目標紛糾度などで表現され、作業記憶に出力される。

#### e) 感情生成部

感情は論理的に説明できるという理論<sup>10)</sup>に基づき、作業記憶に出力された評価結果をもとに感情を生成する。感情を生成する目的は3つある。1つは、感情を評価関数として意思決定を行うことである。行動の間で競合が発生した場合には、状況に応じて生成される感情を用いて競合解消する。2つ目は、感情を表出することにより、機械の目標や価値基準をユーザに分かりやすく伝えたり、ユーザの擬人観を促進することである。3つ目は、ユーザの感情を推定することである。これまで最初の2つの目的で実装を行っており、ユーザ感情の推定については今後の課題である。

感情は、喜び、悲しみ、怒りなどのようにラベリングされ、それぞれの感情は強さ（以下、感情強度と呼ぶ）を持つ。たとえば、目標が達成すると喜びの感情が強くなり、目標が紛糾すると悲しみや怒りの感情が強くなる。感情強度は、目標達成度（または目標紛糾度）、および後述のムードと評価型態度をもとに計算される。それぞれの感情は、感情強度とともに作業記憶に出力されて目標設定や行動計画に用いられるほか、行動出力部では、感情強度がしきい値を超え、かつ、最大の感情強度を持つ感情が表情や韻律などを用いて外界へ出力される。

さらに、文脈に応じて感情強度を制御する方法として、ムードと評価型態度という状態を利用する。ムードと評価型態度も感情と同様に強度を持つ。ムードは感情よりも長期的に持続することで文脈に応じた感情生成を可能にする。たとえば、喜びが繰り返して強くなるとムードが良い状態になり、怒りが繰り返して強くなるとムードが悪い状態になる。

そして、ムードが良い状態のときには喜びやすく、ムードが悪い状態のときには怒りやすくなる。評価型態度は対象への好き嫌いを表現する。評価型態度も感情を制御するために用いられる。喜びを繰り返して強くさせる対象のことは好きになり、怒りを繰り返して強くさせる対象のことは嫌いになる。評価型態度は感情生成部で計算され、対象と関連づけて長期記憶部に保存される。そして、対象が入力されると呼び出され、好きな対象へは喜びを促進し、嫌いな対象へは怒りを促進する。意識レベルによる制御だけでは、それまでの履歴に関係なく不自然な感情が生成される。たとえば、喜びと悲しみが交互に発生する。このため、ムードと評価型態度を用いる。

#### i) 目標設定部

状況に応じて適切な目標を設定する。たとえば、ある目標に向けて行動しているときに、別の目標の方が達成しやすい状況と判断すれば目標を切り替える。目標設定部が設定する目標は、後述の学習結果に基づいて設定するため経験的目標と呼ぶ。経験的目標は次の3つの要因をもとに目標設定部において設定される。

第1の要因は生得的目標である。生得的目標のうち、欲求度が最も大きく、かつ、しきい値を超える生得的目標が選択される。そして、その生得的目標を達成するために必要な刺激を目標関連度を参照して選択し、選択した刺激を取得するという経験的目標を設定する。

第2の要因は外部からの刺激である。意識レベルが最大の刺激に関する生得的目標のうち、欲求度が最大の生得的目標が選択される。そして、その生得的目標を達成するための経験的目標が設定される。目標関連度を参照した結果、刺激が生得的目標の達成に関係するならば、その刺激を取得するという経験的目標が設定され、刺激が生得的目標の紛糾に関

係するならば、その刺激を回避するという経験的目標が設定される。

第3の要因は感情である。たとえば、ある刺激に対する嫌悪や恐怖の感情が強いと、その刺激を回避するための経験的目標が設定される。また、刺激により目標が紛糾すると、困惑や悲しみの感情が増加し、これら感情を抑制するための経験的目標が設定される。

これら3つの要因をもとに経験的目標を設定するために、経験的目標の重要さを表す目標重要度と呼ぶ属性値を用いる。目標重要度の値は、欲求度、意識レベル、および感情強度をもとに計算される。そして目標重要度が最大値となる経験的目標が設定される。

#### g) 行動計画部

経験的目標が設定されると、行動計画部において目標を達成するための行動が選択される。同じ目標でも状況に応じて選択される行動が異なる。たとえば、刺激を取得するという目標が設定されているとき、刺激が存在しなければ「探す」という行動が選択され、刺激が遠い場所に存在すれば「近づく」という行動が選択される。また、選択可能な行動の候補が複数ある場合には確率的に行動を選択する。

#### (2) 学習

設計者が機械に対してあらかじめすべての状況を想定してプログラムを与えておくことは困難である。機械が自律的に行動するためには、外界の刺激や刺激に対する行動の価値を学習していくことが望まれる。デジタルペットの場合には、ユーザから飽きられないための手段として学習を用いることもできる。このような理由から学習の機能は必要である。MaCモデルでは、次の3つの学習方法を用いる。

#### a) 目標関連度を用いる学習

認識部は、刺激により、ある生得的目標が達成または紛糾すると、そ

の刺激と生得的目標の関係を表す目標関連度を計算する。目標関連度の計算では、刺激の強さと目標達成度（または目標紛糾度）を用いる。目標関連度の値は、刺激が目標達成に関連する場合には正の値となり、目標紛糾に関連する場合には負の値となる。

#### b) エピソード記憶を用いる学習

目標関連度を用いる学習では文脈を学習することができない。たとえば、目標の達成が、与えられる刺激と対処する行動の順序に依存することを学習できない。エピソード記憶では、どの刺激の組合せに対して、どの行動の組合せを実行した場合に、目標と感情がどのような結果になったかを表現する。エピソード記憶は長期記憶部に保存される。そして、ある刺激が入力されると、目標が達成したときの記憶をもとに、目標設定部が経験的目標を設定したり、行動計画部が行動を決定することができる。また、目標が紛糾した記憶がある場合には、目標紛糾につながる刺激や行動を選択しないように目標設定部と行動計画部が処理する。

#### c) ユーザ情報を用いる学習

ユーザとの対話を通して得られる情報を長期記憶部に保存する。ユーザ情報として、たとえば、ユーザの属性やユーザの好きな事柄などを、ユーザを識別するコードと関連づけて記憶しておく。過去に対話したこ

とのあるユーザと対話するときには、このユーザ情報を用いて対話を行う。ユーザ情報を記憶することで、同じことを繰り返して質問するのを防いだり、記憶している情報を用いて対話を行うなど、効率のかつ自然な対話を行うことができる。

#### (3) 個性形成

人間は、対話相手の個性を見出すことで、相手の行動を説明したり予測する<sup>3)</sup>。このことから機械が個性を形成し表現することは、ユーザが、機械がどのような役割を担っているのかを知ったり、機械の行動を推定する上で重要な情報となる。デジタルペットの場合には、個性そのものに価値があり、個性を用いてユーザを魅了することがデジタルペットの役割ともいえる。

MaCモデルでは、次に示した各部

実	世	界	に
近	づ	く	イ
ン	タ	フ	エ
ー	ス	技	術

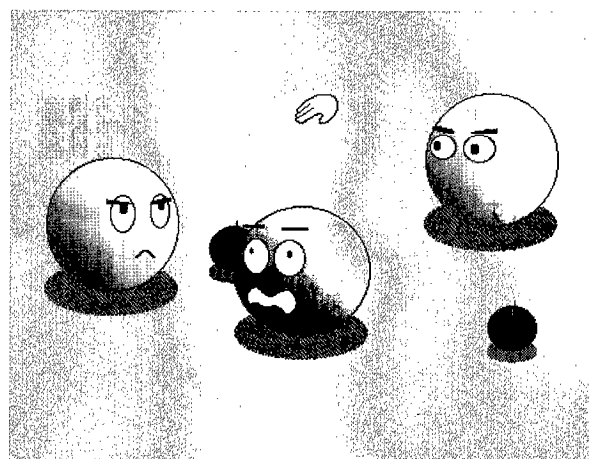


図-3 クリーチャーワールド

のパラメータ値の設定を個体によって変化させることで、多様な個性を表現することができる。

- 生得的目標記憶部：欲求度の単位時間当たりの変化量、および欲求度に対するしきい値。
- 目標設定部：目標重要度の計算に用いる欲求度および感情強度の各係数。
- 認識部：目標関連度の計算に用いる刺激の強さと目標達成度（または目標紛糾度）の各係数。
- 感情生成部：感情強度の計算に用いる目標達成度、目標紛糾度、ムード強度、および評価型態度強度の各係数。
- 行動計画部：ある目標を達成するための行動の候補が複数ある場合、それら行動の中から1つを選択する確率。
- 行動出力部：感情を外界に出力させるときに用いる感情強度の各しきい値。

これらパラメータは設計者やユーザが設定することもできるし、ユーザの接し方に応じて変化させることもできる。

## MaCモデルの適用事例

### クリーチャーワールド<sup>5)</sup>

MaCモデルの動作を評価するためのデモシステム「クリーチャーワールド」を構築した。クリーチャーワールドは、コンピュータアニメーションで表現された仮想世界であり、その仮想世界にクリーチャーと呼ぶキャラクターが存在し、ユーザとインタラクティブすることができる。クリーチャーワールドの画像例を図-3に示す。仮想世界には3体のクリーチャーが存在する。クリーチャーを3体にした理由は、1) 状況と表出する感情の関係を、複数のクリーチャーにより単純な社会を形成してシミュレーションす

るためと、2) 複数のクリーチャーに異なるパラメータを設定して、個性を評価するためである。

仮想世界には手、林檎、および水溜まりが存在する。また、クリーチャー間、および、ユーザとの間でインタラクションを行う。ユーザがクリーチャーとインタラクションするには次の2つの方法がある。1つは仮想世界の手をマウスで操作して林檎を与えること、もう1つは図-4に示す縫いぐるみで覆った触覚センサを介してクリーチャーを刺激することである。縫いぐるみを撫でる（または、叩く）と、仮想世界の手がクリーチャーを撫でる（または、叩く）。

#### (1) 行動決定

前述のようにMaCモデルは反射的行動決定と熟考的行動決定を合わせ持つ。クリーチャーの場合、反射行動は、叩かれたり、他のクリーチャーと接触したときに目を閉じることである。

熟考による行動決定において、クリーチャーの持つ生得的目標は、空腹と渴きを満たす、撫でられる刺激を摂取する、叩かれる刺激を避ける、などである。クリーチャーは、これら生得的目標に対する仮想世界の対象（手、林檎、水溜まり、他のクリーチャー）の目標関連度をもとに目標を設定する。たとえば、叩かれる刺激を避ける生得的目標に対して、手の目標関連度が大きい場合、クリーチャーは手を見つけると逃げるようになる。

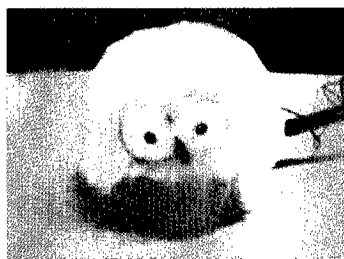


図-4 触覚センサ内蔵の縫いぐるみ

る。目標が設定されると、20種類の行動の中から、目標達成のための行動を選択する。これら目標設定や行動選択の際に感情が影響する。クリーチャーは、6種類の感情（喜び、怒り、悲しみ、恐怖、嫌悪、驚き）を状況に応じて生成する。たとえば、他のクリーチャーが林檎を食べて、自分の空腹を満たす目標が紛糾すると怒り、そのクリーチャーを威嚇する行動を選択する。感情と行動はCGによる表情と録音した音声を用いて出力される。

#### (2) 学習

クリーチャーは、刺激を受けて行動を行っているうちに、手、林檎、および水溜まりの生得的目標に対する目標関連度を学習する。たとえば、林檎を食べると空腹を満たす生得的目標が達成されるので、この生得的目標に対する林檎の目標関連度が増加する。また、手を使って撫でられると、撫でられる刺激を摂取する生得的目標が達成されるので、この生得的目標に対する目標関連度が増加する。

クリーチャーは目標関連度のほかにエピソード記憶を用いる。エピソード記憶には、刺激と行動のパターンを時系列で記憶する。この記憶を用いて成功事例や失敗事例をもとに行動を決定することができる。たとえば、水溜まりに近づいたときに、他のクリーチャーから脅かされると、恐怖の感情が記憶され、次回からは、喉が渇いても、脅かしたクリーチャーが水溜まりの近くにいるときは、水溜まりに近づかないようになる。

#### (3) 個性形成

欲求度と感情強度を計算する係数を変更することで、各クリーチャーに異なる個性を持たせている。たとえば、空腹を満たす生得的目標の欲求度の単位時間当たりの増加量を大きくすると、頻繁に林檎を食べるようになる。また、怒りの感情強度を計算するときの係数を大きくすると、怒りやすくなる。

## ペットロボット“たま”<sup>6)</sup>

クリーチャワールドは触覚センサを用いてユーザと対話できるものの、仮想世界におけるソフトウェアであった。これに対して、ロボットは実世界で動作する。図-5のペットロボット“たま”は、MaCモデルが実世界のロボットにも適用できることを示すために試作したネコ型ロボットである。それと同時に、機械が人間に親近感や安心感などの精神的価値を与えるという機能を試す目的もある。ユーザがペットロボットを触り、ペットロボットがそれに反応する。その反応をユーザが見て、さらにペットロボットを触りたくなる。このユーザとペットロボットの対話ループから、相互理解や愛着が生まれる。このような対話を実現するための“たま”の仕組みについて紹介する。

### (1) 行動決定

反射行動のための反射生成規則として、感覚入力部のセンサが受ける刺激や姿勢を条件として、行動出力部が出力するモータの制御量を決定するための規則を持たせた。ネコを抱いたり撫でたりする身体的接触が飼い主に親近感や安心感を与えると考え、ペットロボットが身体接触の状態に応じて反応できるように、圧力センサとスイッチによる触覚検出と、加速度センサによる姿勢検出を用いる。また、環境変化に対しても反応できるように聴覚センサを備える。たとえば、音の方向に顔を向ける、触覚や聴覚を感じたときに顔を閉じる、尻尾を振るなどを行う。

熟考による行動は生得的目標と感情に基づいて決定される。ネコの行動に関する研究や観察結果をもとに、ネコの行動を人間の欲求や感情に当てはめた。その結果、3つの生得的目標（快適な刺激を受ける、不快な刺激を回避する、眠る）と、6つの感情（満足、怒り、不安、恐怖、嫌

悪、驚き）を持たせた。生得的目標の欲求度は刺激と時間により変化し、感情は生得的目標と刺激に応じて生成される。そして経験的目標と行動が、生得的目標と感情に応じて選択される。たとえば、生得的目標による行動決定では、「快適な刺激を受ける」という生得的目標の欲求度が大きくなると、「撫でてもらう」という経験的目標を設定する。そして、撫でてもらうために「手招き」の行動を選択する。また、感情による行動決定では、撫でられると「快適な刺激を受ける」という生得的目標が達成され、その結果として満足の感情強度が大きくなり、「休む」という経験的目標が設定され、「横たわる」という行動が選択される。

### (2) 個性形成

ユーザから与えられる刺激の差異により“たま”の行動生成の傾向を変化させることができる。たとえば、「快適な刺激を受ける」という生得的目標の欲求度の単位時間当たりの変化量を、ユーザが撫でる頻度により変化させる。これにより、撫でられ続けると、撫でて欲しいという行動を頻繁に選択するようになる。また、怒りの感情強度を計算するとき用いる係数を叩かれる頻度により変化させることで、叩かれると怒りを表出しやすくなる個性を形成する。



図-5 ペットロボット“たま”

## インタフェースエージェント “Stellar”<sup>7)</sup>

クリーチャとペットロボットは主なインタフェースとして触覚を用いていた。しかし、人間と協調する機械を考えた場合、触覚だけでインタラクションするのは無理がある。これに対して、CG合成によるインタフェース・エージェント“Stellar”は、音声認識、音源方向認識、顔画像認識、ジェスチャ認識、CGによる表情合成などのマルチモーダルインタフェースをMaCモデルに統合している。

### (1) 行動決定

“Stellar”では反射行動に、音源方向認識と顔画像認識を利用する。通常、“Stellar”は対話相手であるユーザの顔の方向を見ており、ユーザの顔

実	世	界	に
近	づ	く	イ
ン	タ	フ	エ
ー	ス	技	術

が移動すると、“Stellar”の顔の方向が追従する。また、急に大きな物音がすると“Stellar”は音源の方向に顔を向ける。これら反射行動により、“Stellar”がユーザや物音に関心を持っているという印象をユーザに与える。

熟者による行動では、“Stellar”の生得的目標としてタスクを与え、“Stellar”がタスク達成に向けて対話を進めるようにした。与えたタスクは、ユーザから好きな音楽ジャンルを聞き出し、そのジャンルの曲を、MIDI制御により演奏することである。このタスクを達成するための対話制御をMaCモデルを利用して行う。タスクを達成するための経験的目標として、ユーザは音楽が好きかを知ること、ユーザの好きな音楽ジャンルを知ること、などを持たせた。“Stellar”は、目標を達成するために音声を用いてユーザと対話する。しかし、対話の最初からユーザに好きな音楽ジャンルを質問するのは不自然である。そこで対話の最初は挨拶や機嫌を伺うなど、ユーザが自然に対話に入っていくための経験的目標も持たせている。挨拶や機嫌を伺う対話が終了すると、音楽に関する対話を行う。

“Stellar”は対話の状況に応じて感情を生成する。たとえば、音声対話では音声認識エラーが発生する。そこで、認識エラーが起こった場合に、感情生成部が困惑や悲しみなどの感情を生成し、目標設定部は、困惑や

悲しみを解消するためにエラーを回復する経験的目標を選択する。これら感情の強さは、経験的目標(話題)の重要度に依存する。たとえば、挨拶など重要でない話題の場合には、エラーが発生しても次の話題に制御を移すが、音楽ジャンルを知ることなど重要な話題でエラーが発生すると、“Stellar”はエラー回復を試みる。感情は、対話制御に用いられることに加えて、図-6に示すようにCG合成による顔表情を用いて表現される。感情を表現することにより、“Stellar”の価値観をユーザに伝えることができる。

## (2) 学習

“Stellar”では、対話を通してユーザから得た情報を長期記憶部に記憶する。これには個々のユーザの顔画像を認識した結果から得られるユーザ識別子を用いる。ユーザ識別子を検索キーとして、たとえば、ユーザの好きな音楽ジャンルなどの情報を記憶しておく。そして、以前に対話したことのあるユーザの顔画像を認識すると、ユーザ識別子を用いてユーザ情報を検索する。その結果として、たとえば、好きな音楽ジャンルがクラシックと検索されると、「クラシックが好きだった人ですね」という発話を出力することができる。機械が、以前に対話したことのあるユーザの情報を利用することにより、同じ質問の繰り返しを防ぐことができる。また、このように過去の対話情報を利用することは、社交性の観

点からも重要である。

## (3) 個性形成

“Stellar”を音楽好きで10代半ばの女性キャラクタに設定し、この設定に合わせて感情強度などのパラメータを調整している。また、パラメータに加えて、持たせる目標により個性を形成している。たとえば、ユーザにはポップスが好きであって欲しいという目標を持つ。ユーザが好きな音楽ジャンルをポップスと答えると、“Stellar”は目標が達成するので喜びの表情を出力する。この表情からユーザは、“Stellar”がポップス好きであることが分かる。

## 他の研究・商品事例

大学や他の企業におけるデジタルペットの研究・商品事例を紹介する。ここでは、それぞれの特徴を簡単に述べるだけとして、詳細については、文献やURLを記しておくので、これらを参照していただきたい。特に外観についてはWebページをご覧になることをお勧めする。また、ここで紹介するデジタルペットはほんの一部であり、ほかにも多くのデジタルペットが研究あるいは商品化されていることも付け加えておく。

## MITメディアラボ“ALIVE”<sup>15), 16)</sup>

ALIVE (Artificial Life Interactive Video Environment) は、MITメディアラボで行われていたデジタルペットの行動生成モデルと、ジェスチャ認識の2つの研究を統合したものである。仮想世界でユーザとデジタルペットがインタラクションすることができる。ユーザの姿は、CCDカメラで撮影され、デジタルペットと同じ仮想世界に合成される。CCDカメラの役割は、ユーザの姿を仮想世界に取り込むだけでなく、ユーザのジェスチャを認識するために利用される。ジェスチャの認識結果に応じて、デジ

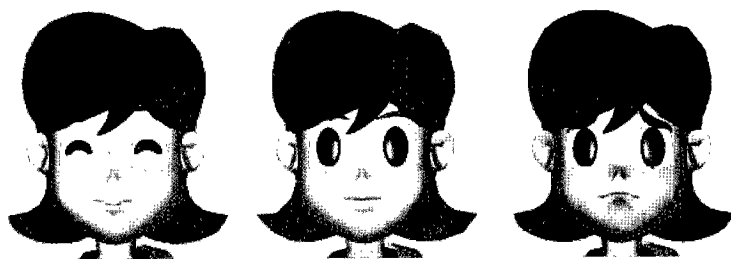


図-6 Stellarの表情台成例



タルペットの行動が変化する。第三者から見ると、ユーザとデジタルペットが仮想世界で一緒に遊んでいるように見える。しかし、仮想世界に合成されるユーザから見ると、自分の近くにデジタルペットの実体が存在しているわけではないので、デジタルペットとのインタラクションに違和感があるかもしれない。

### MITメディアラボ“Storyteller Agents” 17), 18)

これまで紹介してきたデジタルペットは、単体で動作するものであった。これに対して、Storyteller Agentsは、縫いぐるみをインタフェースとして、ユーザとコンピュータがインタラクションしながら物語を作成する子供向けのシステムである。物語は、それを構成する断片があり、物語の分岐点においてユーザとインタラクションすることで断片をつなげながら物語を構成していく。縫いぐるみは物語の語り部として、また、インタラクションの相手としての役割を果たす。音声合成による語りと、手足の動き、目が光るなどの動作を行う。

### 富士通

#### “TEO—もう一つの地球—” 19), 20)

TEOでは、単に人に媚びたり遊んだりするようなデジタルペットを作るのではなく、自分自身の感情や生活の場を持って自律的に行動する「生き物」を作ることを目指している。TEOはコンピュータアニメーションで描かれるイルカに似たフィンフィンというキャラクターが主人公のパソコンソフトである。フィンフィンは、ユーザとインタラクションするだけでなく、自分自身の住む生活の場を持っている。ユーザとのインタラクションは、光センサと音センサを備える装置を、パソコンに接続して行う。また、フィンフィン以外にもキャラクターが登場し、フィンフ

インとインタラクションする。機械が提供する機能を中心として設計されたのではなく、フィンフィン達キャラクターが存在していること自体に意義を見出すような存在である。

TEOの背景には3つの技術がある。1つは生物エンジンと呼ぶ人工知能技術である。キャラクターは生物エンジンを用いて、世界を認知し、考え、行動する。2つ目はアニメエンジンと呼ぶ描画技術である。リアルタイムで高品質なコンピュータアニメーションを用いてキャラクターと仮想世界を描画する。3つ目はBOSS (Believable Operating System Structure) と呼ぶリアルタイムOSである。従来のOSでは不可能だった10コマ/秒という生物の行動生成と描画を実現している。

### Microsoft “ActiMates Barney” 21)

子供向けエデュテイメント製品である。この製品の特徴は、前述のStoryteller Agentsと同様に縫いぐるみをパソコンのインタフェースとして利用していることである。Barneyと呼ばれる縫いぐるみロボットは、喋り、歌い、手振りで子供とインタラクションする。Barney単体で喋れる言葉は2000語だが、パソコンと接続することにより、パソコンソフトの助けを借りて14000以上の言葉を喋ることができる。目の部分に光センサ、手先に触覚センサが内蔵されており、ユーザがBarneyの目を覆ったり、手を握ると反応する。反応するのはBarneyだけでなく、Barneyが接続されたパソコン画面に映し出されるキャラクターも連動して反応するところが面白い。また、Barneyはユーザとインタラクションすることに加えて、パソコン画面上のキャラクターとの掛け合いも行う。Barney自体の動作は単調であるが、提供されるパソコンソフトのコンテンツの多様さで補っている。

### Tiger Electronics / TOMY “Furby” 22)

ファービーの特徴は2つある。1つは多様なセンサである。触覚センサ、光センサ、音センサ、姿勢センサ、マウスセンサの5種類のセンサを備える。触覚センサは腹部と背中との2カ所にあり、腹部への刺激はくすぐることに相当し、背中への刺激は撫でることに相当する。光センサは明るさを区別して、暗くなれば眠り、明るくなれば起きるなどの動作を行う。音センサは人の声などに反応するが音声認識の機能はない。マウスセンサは口の中に備えられ、物を食べさせると反応する。

もう一つの特徴は、言葉をしゃべることである。最初はファービー語という擬音語しか喋らないが、前記のセンサ群により、さまざまな刺激

実	世	界	に
近	づ	く	イ
ン	タ	フ	エ
ー	ス	技	術

を受けるうちに、英語（日本版は日本語）をしゃべるようになる。単語を発するだけでなく、単語を組み合わせで最大で約800種類の言葉を話すようになる。ユーザから教わって言葉を覚えるのではなく、あらかじめメモリされた言葉を、センサが受ける刺激の頻度や組合せに応じて出力する。このように、刺激に応じて喋る言葉が増えていくようにユーザに感じさせることを開発元では成長と呼んでいる。

### ソニー「AIBO」23), 24)

ソニーは、新しいロボット産業分野の確立を目指してロボット・エンタテインメントを提案している。ロボット・エンタテインメントの目的は人を楽しませるロボットを提供することであり、AIBOはこの考えをもとに開発された。

AIBOの特徴は3つある。1つは、18自由度のメカ機構により歩行動作を含む多様な動作を行えることである。限られた自由度の中で、できるだけ複雑な動作を表現するために、身体の各部分が独立に動作する仕組みを組み込んである。これは、体、頭、手、足などをノードとみなして、上位ノードに複数の下位ノードがぶら下がるツリー構造を用いる。歩行動作のように複数の下位部品（手足）を動作させるプログラムは上位ノードが管理する。これに対して、下位部品である頭だけを動かすような場合は頭のノードにプログラムを記述する。このように下位ノードは上位ノードからの指令に従う一方で、上位ノードからの指令がない場合には独立して動作する。この仕組みにより、ある方向に歩きながら、別の方向にあるモノを頭を動かして見るなど複雑な動きが可能になる。

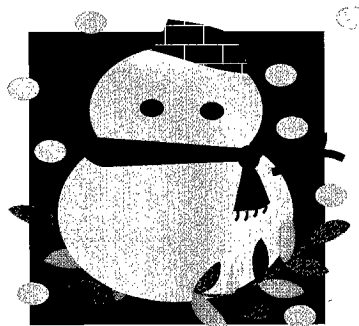
2つ目の特徴は18万画素のCCDカメラの搭載である。これにより特定色のボールを追いかける動作を行うことができる。また、赤外線方式の

距離センサを用いて、自分と対象との距離を知ることにより、対象に近づいて立ち止まるという動作を行う。

3つ目の特徴は、独自の感情モデルと学習のメカニズムを持つことである。感情モデルでは、6種類の感情と、4種類の欲求を生成する。学習は、ユーザの接し方により行動パターンが変化する仕組みで感情が介在する。たとえば、AIBOがボールを見ているときに誉めると喜び、ますますボールを見るようになる。

### 後の展開

我々は、「心を持った機械」というコンセプトのもとにMaCモデルを開発してきた。機械が心を持つとはどのような意味を持つのかを考えた。自律性、および、人間との対話能力などの必要性を提示した。本稿では、機械に心を持たせるためのMaCモデル、および、そのアプリケーションを中心に述べてきた。これらアプリケーションが行うタスクは、日常生活の場においては、主にその存在自体に意味を与えるものである。今後の展開としては、機能的タスクにも応用すべきと考えている。そのためには、より高度な知識処理を行えるように、常識や専門知識など知識ベースを構築する知識獲得技術と、これらを利用する知識処理技術を開発するだけでなく、これら技術とMaCモデルを統合・融合すること



で従来とは異なるアプローチの知識獲得・知識処理技術にする。また、人間との対話能力を向上させるために、人間や環境の情報をセンシングする技術や、人間の意図を理解する技術も発展させねばならない。さらに、実世界で物理的に作用するためのロボティクス技術も必要である。これら技術を開発・統合してMaCモデルを発展させ、「心を持った機械」を人間のパートナーにすることが最終目標である。

#### 参考文献

- 1) Key, A.: User Interface: A Personal View, in Laurel, B. (ed.), The Art of Human-Computer Interface Design, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1990).
- 2) Dennett, D.: The Intentional Stance, MIT Press (1989).
- 3) Reeves, B. and Nass, C.: The Media Equation, Cambridge University Press (1996).
- 4) Thomas, F. and Johnson, G.: The Illusion of Life: Disney Animation, Walt Disney Production (1981).
- 5) Ushida, H., Hirayama, Y. and Nakajima, H.: Emotion Model for Life-like Agent and Its Evaluation, Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98), pp.62-69 (1998).
- 6) 牛田, 平山, 中嶋, 田島, 齋藤: 心のモデルに基づくインタラクティブエージェント, 第4回知能情報メディアシンポジウム講演論文集, pp.165-172 (1998).
- 7) 牛田, 平山, 中嶋: 自律的行動決定モデルに基づくインタラクティブキャラクタ, インタラクティブ99論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.99, No.4, pp.51-52 (1999).
- 8) James, W.: The Principles of Psychology, New York (1994).
- 9) Damasio, A.R.: Descartes' Error, New York (1994).
- 10) 戸田: 感情, 東京大学出版 (1992).
- 11) Stork, D.G.: Scientist on the Set: An Interview with Marvin Minsky, Stork, D.G. (ed.), HAL's Legacy: 2001's Computer as Dream and Reality, pp.15-31, MIT Press (1997).
- 12) Brooks, R.A., Breazeal, C., Irie, R., Kemp, C.C., Marjanovic, M., Scassellati, B. and Williamson, M.: Alternative Essences of Intelligence, Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98), pp.961-968 (1998).
- 13) Dennett, D.: Consciousness Explained, Little Brown & Co (1992).
- 14) Ortony, A., Clore, G.L. and Collins, A.: The Cognitive Structure of Emotions, Cambridge University Press (1988).
- 15) Maes, P., Darrell, T., Blumberg, B. and Pentland, A.: The ALIVE System: Wireless, Full-Body Interaction with Autonomous Agents, ACM Multimedia Systems, Special Issue on Multimedia and Multisensory Virtual Worlds, ACM Press (1996).
- 16) <http://alive.www.media.mit.edu/projects/alive/>
- 17) Umaschi, M.: Soft Toys with Computer Hearts: Building Personal Storytelling Environments, Proceedings of SIGCHI '97. (ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction), pp. 20-21 (1997).
- 18) <http://marinau.www.media.mit.edu/people/marinau/Sage/index.html>
- 19) 村上: A-LIFE: A Day in the LIFE, 日本認知科学会, SIGLAL, 97-2- (3), pp.13-16 (1997).
- 20) <http://www.teo-world.com/>
- 21) <http://www.microsoft.com/products/hardware/actimates/>
- 22) <http://www.game.com/turby/>
- 23) Fujita, M. and Kageyama, K.: An Open Architecture for Robot Entertainment, Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents, pp.435-442 (1997).
- 24) <http://www.world.sony.com/robot/>

(平成11年10月27日受付)