

属性変換による「好み」の生成と遷移

向井 淳^{†a)} 今井 倫太^{†,††b)}

Generation and Drift of “preference” by Feature Transition

Jun MUKAI^{†a)} and Michita IMAI^{†,††b)}

Abstract. 人間-ロボット間のコミュニケーションでは、ロボットの行動としてどの選択肢を選んでもコミュニケーションが成立する場面が多数存在する。本稿では、論理的に解決できない選択に対する基準として、ロボットの「好み」を扱う。「好み」は先験的に設計者が決定できるものではなく、ロボットがコミュニケーションを通じて獲得していくことが望ましい。筆者らはこれまで、ロボットがセンサデータから「好み」を自律的に生成し、維持する手法を提案してきた。本稿ではセンサデータの属性に注目し、拡張したシステム FTA を提案する。FTA では、システムの注目する属性自体が変化し、「好み」の自然な遷移を実現する。本研究では FTA をシミュレーションおよび実際のロボット上に実装し、実験を行った。結果、属性の変化に従って「好み」の遷移が起きることが確認できた。さらに、「好み」の安定性を損うことなく、変化するふるまいが実現された。

Keywords. 人-ロボットコミュニケーション、行動決定、自律エージェント

1. はじめに

コミュニケーションロボットにおいて、人間との自然なコミュニケーションは重要な課題である。特に、自然なコミュニケーションのためには、ロボットから人間へ自発的に働きかける能力が必要であると考えられる。ここで問題となるのは、ロボットの行動の基準は、必ずしも設計できないことである。

ロボットから人間へ自発的に働きかける場合には、何らかの行動基準を設定し、それにもとづいて選択をする必要がある。たとえば人間に話しかける場合に何の話題について話しかけるか、といった選択をロボットが行う必要がある。しかし、コミュニケーションロボットは常にタスクを与えられ行動するロボットと違い、コミュニケーションをすること自体が目的の場合がある。コミュニケーションをすること自体が目的の場合、明確な目的が与えられていない分話題の選択の自由度が大きく、このような選択をあらかじめルール化するのには困難であると考えられる。そこで本研究で

は、ロボットが周囲環境をもとに自発的に行動基準を生成し、その行動基準に基いて決定するための手法を提案する。

従来、人間とコミュニケーションを行うロボットの行動決定システムでは、あらかじめ用意した基本的な行動のある順序で実行することで実現する手法が一般的である。たとえば神田らの Robovie では、個々のコミュニケーション行動を状況依存モジュールという形式で定義し、それらの関係をルール化することでコミュニケーションを実現する [3]。このようなルールベースのアプローチにおいてロボットから自発的に働きかける場合には、何らかの乱数を用いてどの行動を実行するかランダムに決定するという解決法がまず考えられる。ところが、完全にランダムに選択するとロボットの行動は無秩序になってしまうため、選択肢には何らかの制約をかける必要がある。しかし、ルールベースのアプローチでは、考えられる状況の数は膨大なものとなり、設計することが困難になることが予想される。なぜならば、ルールベースのアプローチでは個々のコミュニケーション行動を大量に用意し、コミュニケーション行動間のルールを記述することが必要であるためである。このため、全ての状況において適切な制約を設計することは非常に困難であると考えられる。

[†] 慶應義塾大学理工学部情報工学科

〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

TEL: (045) 566-1515 FAX: (045) 560-1064

^{††} JST Presto

a) E-mail: mukai@ayu.ics.keio.ac.jp

b) E-mail: michita@ayu.ics.keio.ac.jp

一方、行動ベースの手法[2]でコミュニケーションロボットを設計する研究もある。たとえば Breazeal らの Kismet は内部状態として欲求 (drive) と感情 (emotion) を持ち、これらのパラメタをもとに行動ベースの手法でふるまいを決定している[1]。この感情や欲求は周囲の環境や人間とのコミュニケーションをもとに、モデルに基いて変化する。この機構により、人間が世話役となってロボットの世話をするという状況で、コミュニケーションが成立している。しかし Kismet の場合には、人間とロボットの関係は世話役と子供の関係に固定化されており、他の状況に適用することができない。Kismet ではコミュニケーションが成立したが、これは人間とロボットの関係性に強く依存しているためであり、本稿で目指すロボットから人間へ働きかけるための行動基準の生成には適用できない。

この問題に対し筆者らは、ロボットが周囲環境から行動選択の基準を自律的に構成するという手法を提案してきた[4]。この行動選択の基準を本研究では「好み」と呼ぶ。

ロボットの「好み」については以下の要件が満たされる必要があると考えられる。

- (1) 環境の影響を受けること
- (2) 安定していること
- (3) 変動しうること

第一の要件は、「好み」は周囲の環境や他のロボットなどに影響を受ける必要があるというものである。「好み」は状況に応じて適切に選択ができることが望ましいので、環境の影響を受ける必要がある。第二の要件は、「好み」がある程度の安定性を持っているということである。「好み」があまりにも頻繁に変化すると、結局はランダムに選択するのと同じように無秩序な行動が選択される可能性がある。第三の要件は、「好み」は安定するといっても、一つの「好み」に固定することなくふるまうということを示している。一度「好み」が獲得されると変更できないというのは問題がある。なぜならば、同じ状況にいつも同じ行動を実行するのは、自発的な働きかけとしては自然ではない。以上をまとめると、ロボットは「好み」を周囲環境のもとに生成し、ある程度の時間を維持する。ただし時間が経過すると他の「好み」に遷移している。ということを実現することが望ましい。

筆者らのこれまでの研究では、上記の問題のうち、変動可能性について単にランダムなアプローチを採用

してきた。すなわち、無作為に「好み」にゆらぎを与えることで、他の「好み」に遷移することを実現していた。これに対し本研究では、センサ値の属性に着目し、より自然な「好み」の遷移の手法を提案する。

本論文の構成は以下の通りである。まず2章で、問題の詳細について述べる。3章で本研究のアプローチである属性変換の基本的な考え方について述べ、4章で提案するシステムを説明する。5章で実施した実験とその結果について述べ、6章で結論を述べる。

2. ロボットの好みと属性変換

本章では、ロボットに持たせる「好み」について本研究でのアプローチを説明する。

本研究の目的は、恣意的な行動規則をロボットが自律的に生成することである。ただし恣意的であっても、状況に応じた対応ができなければならない。このための要件は、1. 環境に適応的であること、2. 安定していること、3. 変動しうること、の3点である。

これに対して本研究では次のアプローチを取る。

まず、環境に適応的であるためには、周囲環境を観測し、その結果から「好み」を生成する必要がある。ロボットは初期状態では「好み」を持たず、行動するに従ってその履歴より「好み」を生成する。

ただし、完全に無作為に「好み」を生成していくと、無秩序に「好み」が更新されていくため、安定性が達成できないことが予想される。そこで、周囲環境を観測した結果を現在の「好み」に従って判別し、現在の「好み」に合致するものだけを取り込んで更新する。この観測ステップを繰り返すことにより、現在の「好み」に従って次の「好み」が決定され、安定な「好み」が実現される。

しかし、この方法だけではある安定した「好み」に収束するとそれ以上の変動が起きなくなってしまうため、コミュニケーションの多様性を実現できなくなる可能性がある。そこで、何らかの方法で、現在の「好み」と合致しない観測結果を混ぜることで、「好み」の変動を実現する。

筆者らの従来のアプローチでは「好み」に異なる情報を取り込ませる方法として、単にランダムを用いていた。つまり、観測結果が偽であった場合、ある確率で真とみなすとして「好み」の更新を行っていた。

しかし、このアプローチにはいくつかの問題点がある。第一に、異なる観測結果が「好み」に影響を与えるため、安定性とのトレードオフの関係にあり、要件

のうち安定性と変動可能性をともに実現するのが困難である．第二に，観測のミスは一定の確率で起こるため，遷移する先の「好み」はこれまでの文脈と無関係に選択される．

そこで本研究では，センサデータの属性に着目し，属性を媒介した「好み」の遷移を実現する．

周囲環境を観測した結果，周囲の物体の情報は色や大きさや形状といった属性ごとの値で示されるとする．ここで，属性ごとに「好み」を生成するのではなく，ロボットが特定の属性に注目するようにし，その属性に「好み」を生成する．そして注目する属性については，時間的に変化させる．このため，属性が安定している間は「好み」も安定するが，特定の属性に変化したときに，「好み」の範疇に収まる物体が複数存在したとすると，両方の物体の情報で「好み」が更新されることになる．この結果，その時に「好み」の範疇に収まる物体のどれかに，現在の「好み」が遷移して安定することが考えられる．

このアプローチでは，注目点を遷移させつつ，「好み」の範囲を変えていくため，これまでの文脈に依存して次の「好み」が決定される．また，通常は安定した「好み」を実現しつつ，特定の属性に注目した時に不安定化し，また他の属性に注目が移って安定するといったモデルのため，より安定性を実現できると考えられる．

2.1 コミュニケーションロボット Robovie

図 1 に，本研究でのシステムに実装するロボット Robovie を示す．

Robovie は ATR で開発されたコミュニケーションロボットで，片腕ごとに 4 自由度，首に 3 自由度を持

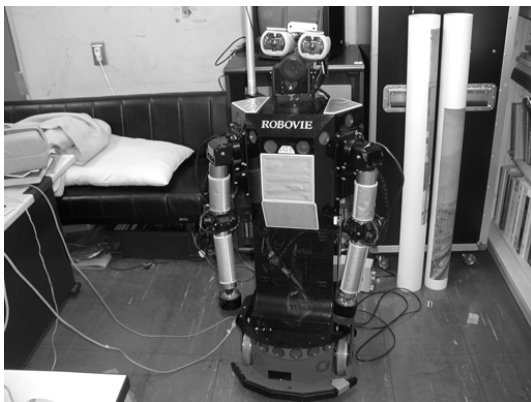


図 1 コミュニケーションロボット Robovie

つ．センサ機器としては両眼の位置にパンチルトカメラを持ち，肩に全方位カメラ，他にマイク，超音波測距計とタッチセンサを備える．本研究では，眼からの視覚情報をもとに物体を認識し，その特徴を抽出した．

3. システム構成

提案するシステムの概要図を図 2 に示す．

本システムは，観測モジュール，出力モジュール，コンテキストの 3 つから構成される．

まず，基本的な動作を説明する．環境の情報は観測モジュールに入力される．観測モジュールでは，入力されたデータとコンテキストを照合し，「好み」に含まれるかどうかを判定する．結果が真の場合は，入力されたデータをもとにコンテキストに修正を加える．この更新を繰り返すことで，コンテキストを安定に保つ．出力モジュールでは，コンテキストをもとに現在の「好み」を作成し，出力する．

以下で，各モジュールについてより詳しく説明する．

3.1 観測モジュールとコンテキスト

本システムは内部にコンテキストを持つ．コンテキスト C は，現在の「好み」の傾向を示すものであり，属性と値のペアの集まりとして表現される．

$$C = \{(a_0, v_0), (a_1, v_1), \dots, (a_{l_C}, v_{l_C})\}$$

この l_C をコンテキスト長と呼ぶことにする．コンテキスト長はコンテキストに固有な値である．

システム上のデータの流れの概略は以下の通りである．周囲を観測した際のセンサデータはまず，観測モジュールに入力される．観測モジュールでは，センサデータをコンテキストと照合し，センサデータが「好み」の範疇に含まれるかどうかを判定する．その判定結果をもとに，出力モジュールでは実際の「好み」を

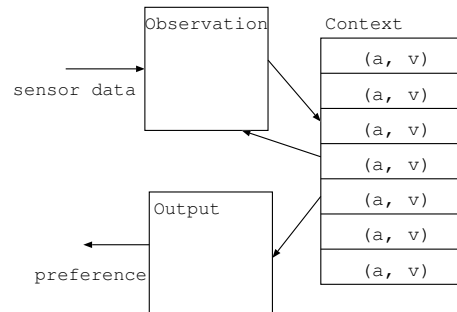


図 2 システム概要図

生成する。

観測したセンサデータもまた、属性と値のペアの集まりとして表現される。

$$S = \{(a_0, v_0), (a_1, v_1), \dots, (a_s, v_s)\}$$

ただし、センサデータ中は、同じ属性の値が複数回出現することはないとする。

センサデータが「好み」に含まれるかどうかを判定する規則について説明する。観測モジュールで、コンテキストからランダムにペアを取り出す。この集合 $C_{part} = \{(a_{p_0}, v_{p_0}), (a_{p_1}, v_{p_1}), \dots, (a_{p_{n_r}}, v_{p_{n_r}})\}, \forall i < n_r, p_{n_r} < l$ から、各属性についてまとめ、以下のようにして属性ごとに範囲を構成する。

- 複数個を取り出した場合は、最大値と最小値から構成される範囲
- 一つのペアしか取り出していない場合は、その値の近傍

なお、一つも取り出されなかった属性に関しては無視する。このとき、構成したすべての属性について、センサデータ S がその属性に対応する値を保持しており、その値が構成された範囲の中にあるとき、 S は「好み」に含まれる、と定義する。

観測の結果が真のとき、観測モジュールはセンサデータから属性と値のペアを取り出し、コンテキストに追加する。ただし、コンテキスト長 l_C はある一定の値であるので、単に追加することはできない。そこで、ペアを1つ追加するごとに、コンテキスト中のペアをランダムで1つ選択し、削除する。

以上をまとめると、観測を繰り返すことで、コンテキストは同じ物体に対応する属性と値のペアを保持する傾向を持つことになる。この結果、「好み」として、常に同じデータが出力されることになる。したがって、3つの要件のうち、安定性を満たす。

3.2 コンテキストの変化

本節で、「好み」の変化について述べる。先述したように、コンテキストは、同じ対象のデータを保持する傾向を持つ。しかし、観測ごとにコンテキストの内容を書き換えているため、コンテキストの内容は変化しうる。

周囲環境に、ある属性については似た値を持っている2つの物体があると仮定する。このとき、もし「好み」の範疇としてその属性のみが選択されたとすると、どちらの物体も観測結果が真となるため、双方のデータがコンテキストに取り込まれる。この結果、異なる

タイプのデータによって、それまで持っていたコンテキストが上書きされることとなり、さらに他の属性の値がコンテキストに挿入される。コンテキストは同じ対象のデータを保持する傾向を持つため、結果としてコンテキストの内容が完全に書き換わり、「好み」が遷移することが起こりうる。

ただし、これを上手く行うためには、システムがある一定の期間は一つの属性に注目しつつ、時間の変化に伴って注目する属性を変化させることが望ましい。言い換えると、コンテキストが保持する属性は、一つの属性で安定しつつ、時間の経過に伴って保持する属性が変化するという特性が望ましい。

そこで、センサデータからコンテキストへ上書きする際に選択する属性と値のペアを次のように決定する。即ち、そのセンサデータが「好み」に含まれるかどうかを判定する際に、コンテキストから取り出したペアの中で、最も多くの回数を取り出された属性に対応するデータを上書きする。このことで、コンテキストの保持する属性も一つに収束する傾向を持つ。一方で保持する属性の変化については次のように対応する。即ち、コンテキストから取り出したときに全てが同一の属性であったときは、収束しすぎであると判断し、ランダムに選択するようにする。以上の方法によって、システムの注目する属性の遷移を実現する。

4. 実験

二種類の実験を行った。第一に、システムの挙動を調べるために、シミュレーション上で簡単な予備実験を行った。次に、コミュニケーションロボット Robovie 上で、簡単な好き嫌い判定を行わせる実験を行った。

4.1 シミュレーション

提案システムをシミュレーション上に実装し、基本的な性能に関する評価を行った。環境中には4つの物体があり、色、大きさ、横幅、縦幅、縦横比の5つの属性を持つとし、物体0と物体1は横幅が共通だが他の値が異なり、物体2と物体3は大きさが共通だが他の値が異なるとした。また、他に共通の値を持つ属性はないとした。また、システムの基本性能を評価するため、出力によるフィードバックは起きないものとした。

実装システムでは、コンテキスト長 $l_C = 8$ 、コンテキストから抜き出す数 $n_r = 3$ で実験を行った。この結果のグラフを図3に示す。

この図では、横軸は時間で単位はステップ、縦軸は、

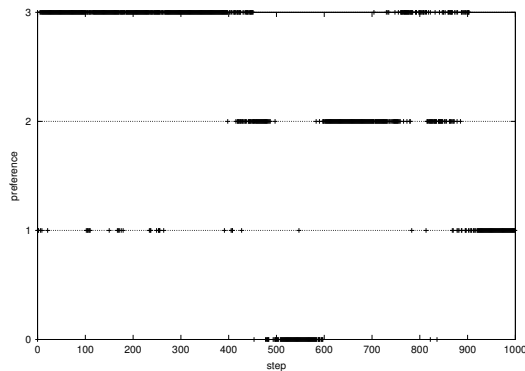


図3 シミュレーション環境における実験結果

物体の ID で、そのステップでその物体が「好み」に含まれると判断した場合にプロットしてある。

図からわかるように、「好み」は極めて安定している。たとえば時刻 0 から 400 ステップほどは、物体 3 が支持されている。しかし、ここで急激な「好み」の変化が起こり、物体 2 に遷移し、また物体 0 へ、というような「好み」の遷移も実現されている。

また、興味深いのは、0, 1 のグループと 2, 3 のグループの間でも遷移が起きていることである。これは、観測モジュールによる判定では一致するかどうかの判定が範囲で与えられるため、値は一致はしないが範囲に含まれる可能性があるためであると考えられる。

次に注目する属性の変化を調べた。ただし、属性の変化は急激であるので、一部のみを抜き出して示す。

横軸は時間で単位はステップ、縦軸は、コンテキスト中にその属性の含まれる数を示す。

図からは、450 ステップまでは大きさに注目しているが、それが次第に失われ、次に色がに注目するよう

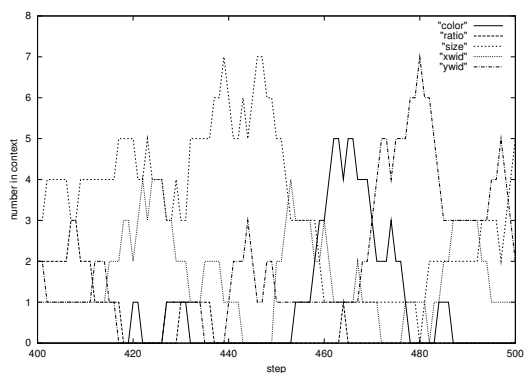


図4 属性の遷移

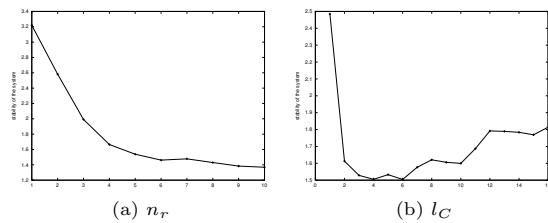


図5 各パラメタと安定性の関係

になり、さらに縦方向の大きさに注目し、最後にまた大きさに注目が移りつつある、という様子が見られる。図3と照合すると、400-440 ステップほどでは「好み」は物体2と3に対して向けられているが、その前あたりから0に遷移している様子がわかる。物体2と3は同じ大きさを持つことから、注目が大きさに移ったことにより両者のデータがコンテキストに入り、注目する属性に変化が起きるときに好みが遷移したことがわかる。さらにその先で再び注目が大きさに移りつつある様子が見られるが、この場合、属性は大きさで共通だが、値としては物体0のものであるため、物体3と混同されることはない。

このように、実際に属性変換を介して好みが遷移していく様子が確認された。

また、各パラメタについてもその影響について調べた。評価値は、10 ステップの間に、システムが「好み」の範囲内であると判断した物体の数を調べ、1回の試行での平均を計算し、100回の試行に対してさらに平均を取って安定性の指標とした。従ってこの値が低いほど、安定的にふるまっていると言える。これについては、どちらも高いほど安定的になると思われる。結果を図4.1(a)(b)に示す。

n_r については、予測どおり値が増えるごとに安定性が増えていく傾向が見られたが、逆に l_C については予測に反して、長さ 4-6 あたりが最も安定しており、そこから次第に安定性が損なわれる結果が得られた。コンテキスト長が短い場合には、容易に書き換えが進むために安定性が損なわれると考えられるが、長い場合には、完全な書き換えが完了できず、いくつかの物体が好みに含まれると判断してしまうため、このような結果になったと考えられる。

4.2 Robovie 上での実験

提案システムを、コミュニケーションロボット Robovie 上に実装し、好き嫌いを判別する単純な実



図 6 Robovie を使った実験の風景

験を行って動作を検証した．ただし上記のシミュレーションをもとに $l_C = 8$, $n_r = 5$ とした．

実験の手順は次の通りである．まず，Robovie の視界内に色のついた物体をいくつか配置する．Robovie は物体を発見し，その色，大きさ，縦横比などを取得し，属性と値のペアとして認識する．そして Robovie は観測した情報から「好み」を生成する．実験の風景を図 6 に示す．

図のように，赤と青のブロックを用意し，実験を行った．

実験の結果，しばらくは青の方を向いていたが，しばらくして赤の方を向くようになるなど，好みの遷移が起きている様子が観察された．

「好み」に含まれると判断した物体の色の遷移をプロットしたものを図 7 に示す．

図の横軸は時間で単位は秒，縦軸は物体の色相を示す．-167 度近辺（濃い水色）と-4 度（赤）の二種類が検

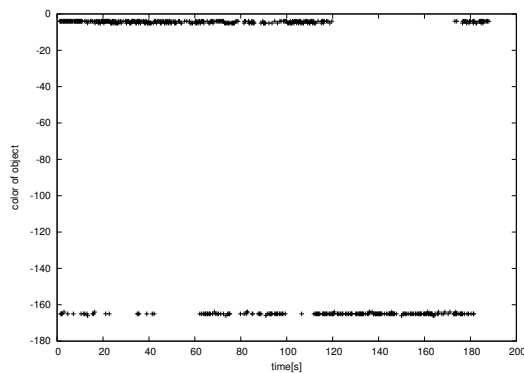


図 7 Robovie を使った実験の好みの遷移

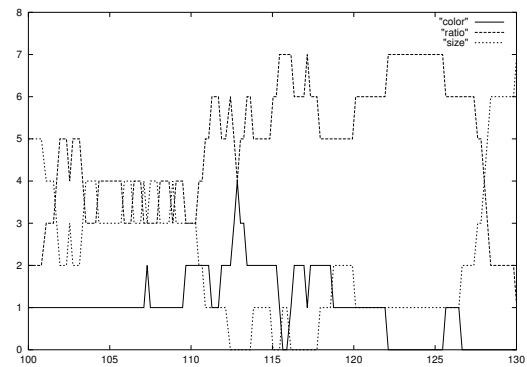


図 8 Robovie のコンテキストに含まれる属性の遷移

出されており，好みの移り変わりが起きている様子がわかる．

また，コンテキストに蓄えられたデータのうち，各属性の個数を図 8 に示す．ただし，実験で遷移の見られた 100-130 秒目の区間のみを抜き出している．

どちらの物体も「好み」に含まれている 120 秒目前後では，縦横比が大きな割合を占めていることがわかる．どちらの物体も形状は似ているので，縦横比は一致する．このときに，両方の物体の情報がコンテキストに入るようになり，ここではコンテキストが移って安定する．その結果，縦横比の割合は減少し，双方の物体を識別できる属性の割合が増えるようになることがわかる．

以上のように，属性を介してのロボットの好みの遷移が起きていることがわかった．

5. 結 論

本研究では，コミュニケーションロボットに恣意的な決定をさせるために，ロボットの行動基準を動的に生成・維持するシステムを提案した．

提案システムは，内部にコンテキストを持ち，自分の行動基準である「好み」と，注目する属性をまとめて保持し，動的に更新しつづけている「好み」が同じであっても，注目する属性がしだいに遷移することがあり，また逆に，注目する属性が同じ場合には，その属性に対応する値が同じ複数の物体が「好み」の範疇として捉え，コンテキストを更新する．したがって，普段は安定した「好み」が生成されているが，属性の変化により複数の種類のデータがコンテキストに混ざり，結果として異なる「好み」に遷移することがあると考えられる．これにより，普段は安定しているが，

時間の経過に伴って「好み」が変化し、多様な行動の生成が可能となるシステムが実現された。

また、提案システムをまずシミュレーション上で実装し、期待通りの機能が実現されていることを確かめた。さらに実機上で簡単な動作実験を行い、安定した好みの遷移が行われていること、しかし時間の経過によって遷移しうることを確認された。

ただし、現行のシステムではまだいくつかの問題がある。第一に、環境が激変し、現在保持するコンテキストが全く利用できなかった場合に対処ができない可能性がある。これは、筆者らがこれまで用いていた不定な観測の手法を取り入れることにより、回避が可能だと考えられる。

また、提案システムはシミュレーションと簡単な動作実験しか行っていない。そこで、実際のコミュニケーションロボットのプランナとして設計し、人間とのコミュニケーションに活用することで、システムの有用性を検証していく予定である。

文 献

- [1] Cynthia Breazeal and Brian Scasselatti. How to build robots that make friends and influence people. In *Proc. of IROS99*, 1999.
- [2] R. A. Brooks. Intelligence without reason. In *Proceedings of IJCAI '91*, pp. 561–595, 1991.
- [3] H. Ishiguro, T. Ono, M. Imai, T. Maeda, T. Kanda, and R. Nakatsu. Robovie: an interactive humanoid robot. *Intl. J. of Industrial Robot*, Vol. 28, No. 6, pp. 498–503, 2001.
- [4] Jun Mukai, Michita Imai, and Yuichiro Anzai. Indefiniteness of observation for spontaneous generation of robots' behaviors. In *SCIS & ISIS 2004*, 9 2004.