

ヒューマノイドロボットにおける発話と身振りのタイミング制御

Timing control of utterance and body motion in humanoid-robot

武藤ゆみ子*^{1,2} 高杉将司¹ 山本知仁³ 三宅美博¹

Yumiko Muto^{1,2}, Shoji Takasugi¹, Tomohito Yamamoto³, Yoshihiro Miyake¹

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻

¹ Department of Computational Intelligence and Systems Science, Tokyo Institute of Technology

² 日本学術振興会(DC)

² JSPS Research Fellow

³ 金沢工業大学 情報工学科

³ Department of Information Science and Human Communication, Kanazawa Institute of Technology

Abstract: The purpose of this study is to analyze temporal development processes of the communication between humanoid robot and human, both verbal and nonverbal information used. Concretely focusing on utterance and body motions, we evaluate the relationship of them and the human's subjective impression in the communication. As the result, it is clarified that proper control of the timing between the utterance and body motion of the robot is essential to realize the natural communication with human.

1 はじめに

近年のロボット技術の発達に伴い、人との自然なコミュニケーションを目的とした自律型ロボットが数多く研究されてきた^[1-4]。その結果として、発話だけでなく、表情^[5,6]・領き^[7,8]・アイコンタクト・共同注意^[9]といった非言語的な機能をもつロボットも提案されてきた。

この背景としては、対人コミュニケーションにおけるメッセージとして、明示的な言語的メッセージだけでなく、そのメッセージに解釈を与え、話者間の関係を調整する役割を果たす非言語メッセージが重要な役割を果たしている^[10]と考えられてきたことが挙げられる。さらに、これらの2種類のメッセージが同時にかつ相互にやり取りされることによって、コンテキスト共有(関係性・背景・状況)に対する認識の共有・同意が促進され、その結果としてコミュニケーションが円滑に行われるものと考えられている。

たとえば、同じ言葉でも複数の意味が存在する場合、対話成立のためには2者間でのコンテキスト共有が必要である。このように、コンテキストはメッセージと同様に対人コミュニケーションを構成する重要な要素の一つとして、これまで言語学などの分野ではすでに主張されてきた^[11,12]。しかしその重要性の一方で、ロボットの言語的機能と非言語的機能をどのように統合し、人とロボットの自然

なコミュニケーションを実現していくかという工学的設計パラダイムは未だ明らかではない。

一般に、対人コミュニケーションとは、「メッセージの伝達を通して、他者と意味や感情を共有していく過程」であり、時間経過を伴った循環的の双方向プロセスであると心理学的に捉えられてきた^[13]。これは、「物理的な情報伝達」のみで説明する通信工学的な考え方^[14]と異なり、互いに意味や感情を共有するプロセスが人のコミュニケーションにおける本質であるということを示している。

しかし、これまでのロボット設計では、発話や身体動作などの“行為”にのみ注目され、それらが独立した機能としてロボットに実装される段階にとどまっていた。そして、それらの発話や身体動作の機能が、ロボットと人間の間でどのような時間的な相互関係に基づいて制御されることで、自然なコミュニケーションを実現するのかという点については、ほとんど明かにされなかったのである。

そこで本研究では、人とロボットの自然なコミュニケーションの実現を目標とし、ロボットがもつ言語(発話)・非言語(身体動作)機能が時間的に統合されるとする作業仮説を設定し、その有効性を検証する。具体的には、コミュニケーションの時間的側面に注目し、人間同士の対話における発話や身振りを時間軸上の事象としてとらえることにより、それらの時間的前後関係や相関関係を調査し、その結果をヒューマノイドロボットに実装し有効性評価を進める。

*連絡先：東京工業大学大学院総合理工学研究科
知能システム科学専攻
〒226-8502 神奈川県横浜市緑区 4259 G3-822
E-mail: yumiko@myk.dis.titech.ac.jp

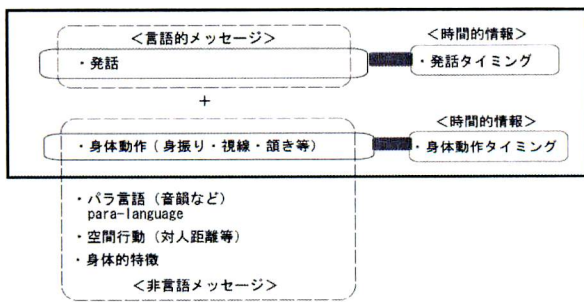


図1 発話と身体動作の統合のための方針

2 研究方針

これまでわれわれの研究グループでは、人と共存可能なエージェント設計を目指し、言語的メッセージとその時間的情報である発話タイミングの双方の関係について調査してきた^[15]。その結果、人とエージェント(アバター)の対話において、エージェントの発話タイミングが、人間のメッセージ解釈や、エージェントの印象形成に変化を与えていることが明らかになった^[15]。すなわちこの結果は、人とエージェントの音声対話において、物理的に言語的メッセージがやり取りされるだけではなく、互いに適切なタイミングに従って発話が行われることが重要であることを示唆している。

そこで本研究では、さらに発話と身体動作の時間前後関係や相関関係を調査し、それぞれのタイミングという時間的情報を用いて、ヒューマノイドロボットの発話と身体動作を統合し、それらの有効性を評価する。以下に、本研究の方針の詳細を述べる。

第1に、本研究では、対話における行為としての発話と身体動作を統合するために、それぞれの時間的情報である“タイミング”に注目する。発話と身体動作を統合するための方針を図1に示す。

第2に、実験課題として、人とロボットのやり取りで多く見られる「指示-応答場面」をシナリオとして用いる。具体的には、ロボットの前にある対象物(積み木)を取ってもらうように人間が指示し、ロボットが応答するという課題を採用する。その課題において、本研究では、発話・傾き・対象の掴み動作の3点に注目する。

第3にロボットと人間のコミュニケーションを調査するにあたり、人間同士の指示応答対話における発話に関する先行研究^[18]を基盤とし、さらに身体動作を加えた予備実験を行う。その際に図1のような方針に基づき、人間同士の個体間の発話と身体動作の関係、および人間の個体内の発話と身体動作の関係の両側面からの包括的な解析を進める。その結果に基づき、ヒューマノイドロボット(図2)に実装し、その有用性を評価する。



図2 Wakamaru (三菱重工株式会社)
高さ:100cm, 重さ:約30kg
(頭)3自由度, (腕)4自由度, (移動)2自由度車輪

3 人間同士の予備実験

人間同士の対話に関する先行研究において、互いの発話速度が同調するなどの同調傾向がすでに報告されている^[6]。また、個体間の音声リズムと傾きリズムの引き込み現象^[7]、個体内での傾き動作が発話に先行して行われていること^[17]もすでに明らかになっている。

また、われわれの研究グループでは、人間同士の「指示-応答対話」において、2者間の発話の時間構造について調べてきた^[18]。その結果、指示者の発話長と交替潜時(指示者の発話終了から被指示者の発話開始までの時間長、沈黙時間・間(ま)とも呼ばれる)に正の相関関係があることを報告してきた。

しかしながら、これらの先行研究は、2者間の発話や、個体内の発話と身体動作など、対話の断片的特徴を検出したものであり、2者間の発話と身体動作の関係および個体内の発話と身体動作の関係を図1で示したような方針に基づいて包括的に解析したものではない。そこで本研究では、指示-応答対話における発話と身体動作を時間軸上の事象として扱い、それぞれの時間前後関係や相関関係を明らかにするため、以下のような人間同士の予備実験を行った。

3.1 予備実験手法

被験者は図3に示すような10個の同じ形の積み木(木製5cm×5cm×2.5cm)が置かれた机をはさみ、1.2m離れて向かいあって座った。以下の2つの発話と身体動作からなる指示-応答対話を行った。

1. 指示者:「積み木を取ってください」と指示する。
2. 被指示者(応答):「はい」と言って傾き、机の上の積み木を取る

この課題において、指示者の発話速度変化が発話や身体動作の時間関係に与える影響を調査するため、指示者は発話速度を「はやい」「ふつう」「おそい」の3段階に意図的に変化させ、それぞれに対して各10回の対話が行われた。発話速度の変化は、被指示者が認知できる程度であった。これらは、ビデオカメラを用いて撮影され、音声と動作の時間情報に関し解析された。

解析では、このシナリオにおける発話と身体動作(傾き・把持動作)の時間順序と7種類の時間特徴量の全ての組み合わせに関し相関関係が調査された(図4)。

*連絡先: 東京工業大学大学院総合理工学研究科
知能システム科学専攻
〒226-8502 神奈川県横浜市緑区 4259 G3-822
E-mail: yumiko@myk.dis.titech.ac.jp

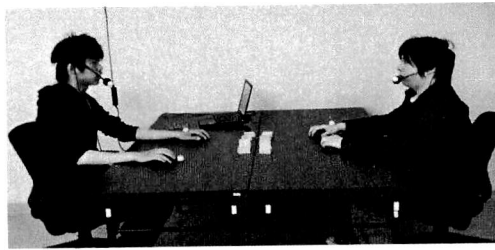


図3 実験の様子

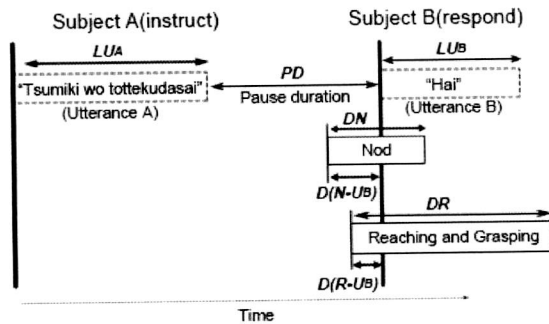


図4 時間特徴量

- ・発話に関する特徴量：3種類
 指示者発話長：Length of Utterance A (LU_A)
 被指示者発話長：Length of Utterance B (LU_B)
 交替潜時長：Pause Duration (PD)
- ・身体動作に関する特徴量：2種類
 被指示者の頷き動作：Duration of Nod (DN)
 把持動作の時間長：Duration of Reaching and grasping (DR)
- ・被指示者の発話と身体動作に関する特徴量：2種類
 頷き開始から発話開始までの時間長： $D(N-U_B)$
 把持動作開始から発話開始までの時間長： $D(R-U_B)$

3.2 結果および考察

解析の結果、以下の3つの相関関係が検出された。

1. 指示者の発話長(LU_A) — 交替潜時(PD)
2. 交替潜時(PD)
 — 頷き開始から発話開始までの時間長 $D(N-U_B)$
3. 交替潜時(PD)
 — 把持開始から発話開始までの時間長 $D(R-U_B)$

1つ目の発話に関する正の相関関係(図 5a)は、先行研究^[18]に一致する結果になった。しかし、2つ目の PD と $D(N-U_B)$ に関する正の相関関係(図 5b)と3つ目の PD と $D(R-U_B)$ に関する正の相関関係(図 5c)は、本予備実験によって得られた新たな知見であった。これらの結果は、交替潜時(PD)が長くなると、被指示者の頷き開始から発話開始までの時間長 $D(N-U_B)$ および把持動作開始から発話開始までの時間長 $D(R-U_B)$ が長くなることを示している。

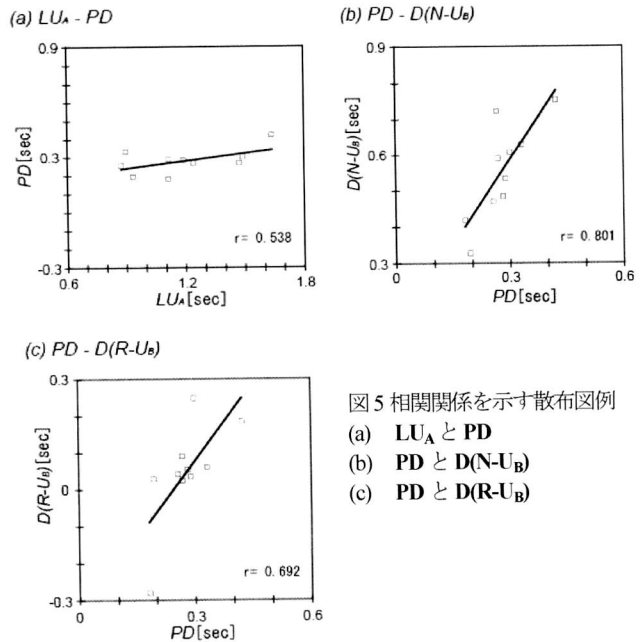


図5 相関関係を示す散布図例

- (a) LU_A と PD
- (b) PD と $D(N-U_B)$
- (c) PD と $D(R-U_B)$

4 ロボットへの実装方針

人間がロボットと共存していくうえで、人間の特性(心理・知覚・認知など)を考慮し設計していくことは、人とロボットの自然なコミュニケーションを実現するうえで重要であると考えられる。しかし、この設計方針は、必ずしもロボットを人間と等価に設計すればいいということを示しているわけではない。特に、ロボットの非言語メッセージを発信するチャンネルの数は限られている。そこで、断片的に得られた人間同士の知見をロボットに実装する際には、十分に検討する必要があると考えられる。

たとえば、予備実験における人間同士の指示-応答対話において、平均交替潜時は300ms程度であった。しかし、先行研究^[15]において、人とエージェントの指示-応答対話においては、交替潜時が600-900msのときに、エージェントの発話タイミングが自然であると評定されていた。これは、相手が機械であると認識し、人の発話速度も遅くなったことと、人が機械の反応応答へ期待するタイミングが人間同士の対話と異なるからであると考えられる。

そこで本研究では、このような対人と対ロボットの違いを考慮し、今回は予備実験によって検出された3つの相関関係についての知見のみをロボットに実装する。

具体的には、ロボットの発話と身体動作のタイミング制御の第一歩として、3つの相関関係を考慮し静的な一次線形モデルを仮定する。ただし、この線形モデルの制御パラメータに関しては、人間同士の予備実験の結果から直接推定するのではなく、ロボットの現状の技術的制約と予備的実験(人間とロボットの対話を記録し、そのデータに基づき制御パラメータを最小二乗法で推定する)に基づき決定する。これは、対人と対ロボットでは上記に述べたように人間が期待する応答時間に差がみられることがわかっているためである。

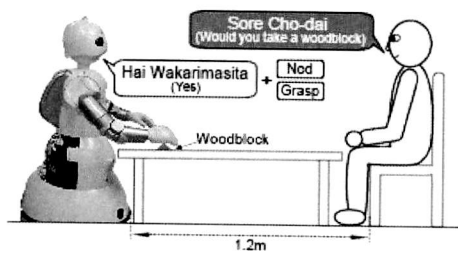


図6 ロボットへの実装実験の様子

さらに、Wakamaru に特化した技術的問題として、今回は頷きと把持動作のタイミングを独立に制御することは不可能であった。このような技術的問題が生じた問題が生じたのも、ロボットの発話や身体動作のタイミング制御の重要性がこれまで考慮されてこなかったからだと考えられる。そこで本研究では人間同士の対話実験から得られた知見をロボット設計に応用し、発話と身体動作のタイミング制御の重要性を明らかにし、その有効性を評価する。

5 ロボットへの実装実験

5.1 実験システム

実験は、防音室(サイレントデザイン社製：組立式防音室3.0 畳ロング)の中で行われた。被験者とロボットは図6に示されるように、1.2m 離れて向き合って座った。被験者とロボットの間の机の上には、ターゲットとなる赤い三角形の積み木(5×3×3cm)が置かれた。被験者は実験中に意図的に身体を動かすことは禁じられた。なお、実験の様子は被験者に見えない位置からビデオカメラで撮影された。

5.2 発話と身体動作のタイミング制御

4章で述べた実装方針に基づき、ロボットの発話と身体動作は、式(1)-(3)で示されるような単純な一次線形モデルに従い制御された。PDは交替潜時、 LU_H は人間の指示発話長、 $D(N-U_R)$ はロボットの頷き開始から発話開始までの時間長、 $D(R-U_R)$ はロボットの把持動作開始から発話開始までの時間長を表す(図8)。このように、ロボットの発話と身振りがこの式(1)-(3)に基づき制御される条件を、以下「Model 条件」と呼ぶ。

$$PD = 0.9347 LU_H + 110.15 \quad (1)$$

$$D(N-U_R) = 0.6667 PD \quad (2)$$

$$D(R-U_R) = D(N-U_R) \quad (3)$$

一方、ロボットの発話と身振りを式(1)-(3)に基づき制御しない条件では、タイミングが制御されていない通常のロボットの振舞いを再現するため、式(4)(5)の固定された数値で与えられた。この条件を以下「Fix 条件」と呼ぶ。

$$PD = 1000ms \quad (4)$$

$$D(N-U_R) = D(R-U_R) = 200ms \quad (5)$$

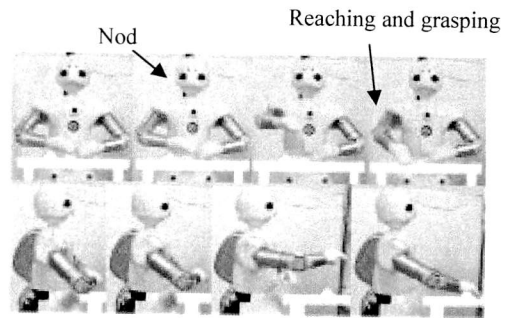


図7 実験における Wakamaru の身体動作

5.3 実験方法

人とロボットのやり取りで多く見られる「指示-応答場面」を想定し、実験では次の2つの発話と身体動作からなる指示応答対話がシナリオとして用いられた。

1. 被験者：「それちょーだい」と指示する。
2. ロボット：「はい、わかりました」の応答発話と頷き、積み木を取ろうとする把持動作を行う。(図7)

実験では、発話と身体動作のタイミングを、5.2 節で提案した線形モデルに従って制御した場合(Model 条件)と、制御しない場合 (Fix 条件) が用意され、被験者にはどちらの条件かは知らされずランダムで提示された。

1つの条件(Model/Fix)に対し、被験者は発話を「はい」「ふつう」「おそい」の3パターンに変えて発話するように指示され、3組の指示応答対話が行われた。実験ではこれを1セッションとして、各条件で6セッション、合計12セッションが行われた。各セッション終了後、被験者が抱くロボットへの主観的印象の変化を調べるため、6つの質問項目が提示され、被験者はそれに対し回答した。同じ対話を繰り返すことによる対話のリズム化を防ぐため、各指示-応答対話の開始はランダムで2-5秒位の間隔があげられ制御された。

被験者は、高齢者と若年者の2つの異なる世代を用い、それぞれの世代に対して実験が行われた。高齢者は66歳から74歳(平均69.0歳)の18名(男性9名、女性9名)、若年者は20代の学生18名(男性9名、女性9名)であった。

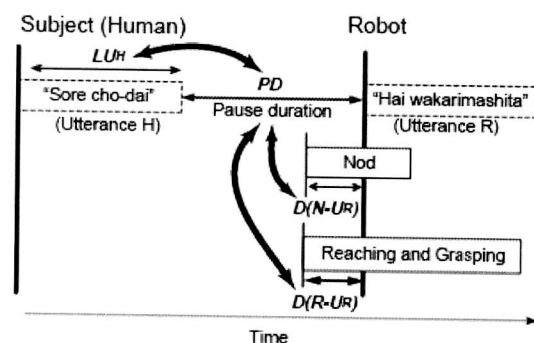


図8 実装実験で制御された発話と身体動作

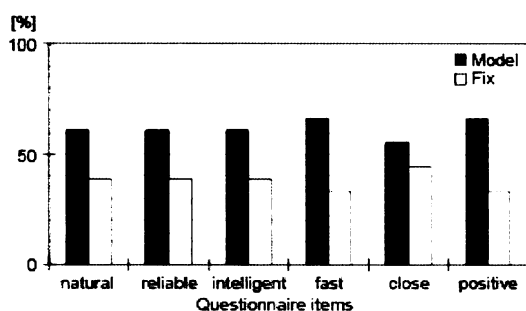


図9 高齢者における印象評定結果

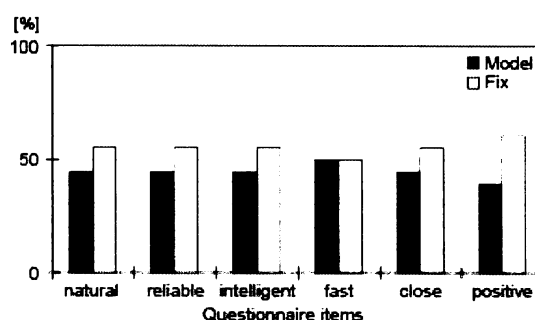


図10 若年者における印象評定結果

被験者は、高齢者と若年者の2つの異なる世代を用い、それぞれの世代に対して実験が行われた。高齢者は66歳から74歳(平均69.0歳)の18名(男性9名、女性9名)、若年者は20代の学生18名(男性9名、女性9名)であった。2つの異なる世代を被験者とした理由は、Wakamaruが家庭というコミュニティで活躍していくうえで、幅広い世代との対話が必要であり、それを実現させるために高齢者の心理特性を考慮していくことが重要であると考えたからである。

5.3 結果と考察

本研究では、被験者の発話速度の変化によってロボットの発話と身振りの応答が変化する場合(Model条件)と変化しない場合(Fix条件)を比較することによって、ロボットにおける発話と身振りのタイミング制御の有効性を評価した。図9に高齢者における印象評定の結果、図10に若年者における印象評定の結果を示す。なお、提示された質問は以下の6項目であった。

1. もっとも自然に(natural)感じたものはどれですか？
2. 信頼できる(reliable)
3. 知的に(intelligent)
4. 速い(fast)
5. 心理的に近い(close)
6. 肯定的(positive)に感じた応答

高齢者においては、タイミングを制御する場合(Model条件)と制御しない場合(Fix条件)でロボットの印象評定結果に有意水準1%で差が検出され($t(10) = 9.97, p < .01$)、ロボットの発話や身体動作のタイミングが制御された条件を高く評価していたことが明らかになった。

この結果は、高齢者とロボットの対話において、高齢者は自分の発話速度に合わせてロボットの発話や身体動作がなされることを好む傾向にあることを示唆している。また、今回の結果のなかでも、発話タイミングだけでなく、身体動作のタイミングによってもロボットへの印象や、言語的メッセージの解釈に影響を与えているという結果は、非常に興味深い。特に、これまで発話タイミングは非言語メッセージのパラ言語の1つであると位置づけられてきたが、今回の結果から身体動作タイミングもメッセージの解釈や印象評定に影響を与えていることが明らかであり、

タイミングという時間情報は単なる非言語メッセージの1つという以上にコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている可能性があると考えられる。

一方、若年者においては、タイミングを制御する場合(Model条件)と制御しない場合(Fix条件)でロボットの印象評定結果にあまり差が見られなかった。

このような高齢者と若年者の結果の違いには3つの原因が挙げられる。まず1つ目は、年齢による時間認知の影響である。本研究では発話と身体動作のタイミング制御を行っているが、それによる印象への影響は主観的時間に基づくものであると推測される。人間は加齢によって様々な認知機能が低下する^[19]。この影響によって、時間認知能力も差が見られるため^[20]、高齢者と若年者で印象の違いが見られた可能性がある。このことから、今後はロボットの発話と身体動作のタイミング制御を行ううえで、年齢を考慮するような仕組み(たとえば、制御パラメータのチューニングなど)が必要であると考えられる。2つ目は、現状のWakamaruの技術上の制約が挙げられる。今回は傾きと把持動作の動作開始タイミングを時間的にずらして制御することは技術上不可能であった。今後発話や身体動作のタイミング制御の重要性から、このような問題も解決していくことで、さらに人とロボットの自然なコミュニケーションが実現されると考えられる。3つ目は、予備実験で得られた知見をロボットに実装する際の制御モデルの正当性が挙げられる。特に、制御パラメータの決定には、今後さらなる実験が必要であると考えられる。また、今回は、第一歩として線形モデルを仮定したが、このモデルに関しては今後さらに非言語メッセージを追加することによっても、変わってくる可能性がある。これに関しても調べを進めていく予定である。

6 おわりに

本研究では、人とロボットの自然なコミュニケーションの実現を目標とし、ロボットがもつ言語(発話)・非言語(傾き・把持などの身体動作)機能の時間的統合パラダイムを提案し、その有効性を評価した。その結果、本研究で採用したコミュニケーションの時間的側面に注目した包括的アプローチの有効性が明らかになった。

これまで、人とコミュニケーションを目的としたヒューマノイドロボットは、多く設計されてきた。しかし、「人とロボットのコミュニケーションとは？」という問いに対して明確な定義が与えられていなかった。そこで本研究では、まずコミュニケーションを定義し、発話や身体動作を時間軸上の事象としてとらえることにより、時間的前後関係や相関関係を明らかにした。この手法は、すでにこれまで提案されているロボットの言語的・非言語的機能を今後統合していくうえで重要なアプローチとなると期待される。また、これまでの対人コミュニケーション研究では、発話タイミングは非言語メッセージのなかのパラ言語の一つとして扱われてきた。しかし、本研究ではコミュニケーションの時間的側面を扱っていくために、図1のように行為としての発話や身体動作とその時間的情報のタイミングを対にして扱うことの有効性を示唆した。この結果から、コミュニケーションのさらなる時間構造を解析するうえで、本研究から得られた知見は重要であると考えられる。

さらに、このような知見はヒューマノイドロボットの設計だけでなく、人とのインタラクションを目的として開発されている Social Robot の設計にも有効な手法であると考えられる。Social Robotics(SR)の分野では、人とインタラクションするロボットは社会的技能を身につけることが不可欠であるとの指摘に基づき、そのために必要なロボット機能について議論されてきた^[21,22]。その結果として、ロボットは視線・身体動作・表情などの非言語的機能を獲得してきたのである。さらにこれらのSRの中でも特に、人とロボットの“peer to peer”で遠隔操作なしのロボット研究(Socially Interactive Robotics(SIR))に関しても、これまで多くの研究がなされてきた^[23]。しかし、さまざまな機能を搭載したロボットが紹介されるなかで、言語と非言語メッセージをタイミングという時間的観点から統合してこうと試みる研究は、見あたらなかった。このような点からも、今後このような分野のロボットが発話機能を獲得し、人とコミュニケーションをしていくうえで、本研究のような知見は役に立つと考える。なぜなら、円滑なコミュニケーションの達成には言語的メッセージと社会性との関係のある非言語メッセージの両者がうまく使えることによって、コミュニケーションは達成されると考えられるからである。

さらに、本研究では家庭用ロボット設計を目標とし高齢者を被験者として実験を行った。この結果から、高齢者に対応させるためにロボットの発話や身体動作のタイミング制御を行うことが有効であることを示した。今後、このような知見は、SIRの概念を基盤に確立されている Socially Assistive Robotics (SAR)^[24]の分野とも連携していくことによって、高齢者だけでなく脳卒中後の回復など、人を援助するロボットの可能性が広がっていくことも期待される。

謝辞

本研究は、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」として実施されたものである。ロボットのプログラム設計にあたっては、三菱重工業(株) 主席研究員 見持圭一氏、同主任 日浦亮太氏、同主任 宅原雅人氏に専門的助言を頂いた。実験の実施にあたっては金沢工業大学修士課程 阿部浩幸氏、東京工業大学大学院博士課程 高野弘二氏、修士課程 滑健作氏にご協力頂いた。記して心から感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Kanoh M., Iwata S., Kato S., and Itoh H.: Emotive Facial Expressions of Sensitivity Communication Robot: Ifbot, *Kansei Engineering International*, Vol. 5, No.3, pp. 35-42, (2005)
- [2] Imai M., Ono T., and Ishiguro H.: Robovie: Communication technologies for a social robot, *Artif. Life Robotics*, Vol. 6, pp.73-77, (2003)
- [3] Shiomi M., Kanda T., Ishiguro H., and Hagita N.: Interactive Humanoid Robots for a Science Museum, *IEEE Intelligent Systems(Special Issues on Interactive with Autonomy)*, Vol. 22, No.2, pp. 25-32, (2007)
- [4] 石黒浩, 宮下敬宏, 神田崇行: コミュニケーションロボット,人と関わるロボットを開発するための技術,オーム社(2005)
- [5] Hashimoto T., Hiramatsu S., Kobayashi H.: Development of Face Robot for Emotional Communication between Human and Robot, *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, pp. 25-30, (2006)
- [6] Breazeal C.: *Designing Sociable Robots*, MIT Press, (2002)
- [7] 渡辺富夫: 身体的コミュニケーション技術とその応用, システム/制御/情報, Vol. 49, No. 11, pp.431-436, (2005)
- [8] T.Hashimoto T., Hiramatsu S., Tuji T., Kobayashi H.: Realization and Evaluation of Realistic Nod with Receptionist Robot SAYA, *IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (ROMAN)*, pp.326-331, (2007)
- [9] Kozima H, Nakagawa C, Yano H: Attention coupling as a prerequisite for social interaction, *IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN)*, (2003)
- [10] Richmond V P., McCroskey J C., and Hickson M L.: *Nonverbal Behavior in Interpersonal Relations* (6th edition), Allyn & Bacon, (2007)
- [11] 長田攻一: 対人コミュニケーションの社会学, 学文社 (2008)
- [12] 深田: インターパーソナルコミュニケーション, 北大路書房 (1998)
- [13] Rogers E M.: *Communication Technology (The New Media in society)*, Free Pr, (1986)
- [14] Shannon C.E.: A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, Vol.27, pp. 379-423 & 623-656, (1948)
- [15] 武藤, 高野, 大良, 小林, 山本, 三宅: 音声インタフェースにおける発話タイミング制御とその評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.639-642 (2007)
- [16] 大坊郁夫: しぐさのコミュニケーション, サイエンス社 (1998)
- [17] Yamamoto M and Watanabe T.: Timing Control Effects of Utterance to Communicative Actions on Embodied Interaction with a Robot and CG Character, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol.24, No.1, pp.87-107 (2008)
- [18] Yamamoto T., Kobayashi Y., Muto Y., Takano K., Miyake Y: Hierarchical Timing Structure of Utterance in Human Dialogue, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp.810-813 (2008)
- [19] Denise C. Park: Cognitive aging, *Psychology Pr* (1999)
- [20] Hibbard T.R., Migliaccio J.N., Goldstone S., and Lhamon W.T.: Temporal information processing by young and senior adults and patients with senile dementia, *Journal of Gerontology*, Vol.30, No.3, pp.326-330 (1975)
- [21] Breazeal C.: Toward sociable robots, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, pp. 167-175 (2003)
- [22] Dautenhahn K., Ogden B., Quick T.: From Embodied to Socially Embedded Agents - Implications for Interaction-Aware Robots, *Cognitive Systems Research*, Vol.3, No.3, pp. 397-428 (2002)
- [23] Fong T., Nourbakhsh I. and Dautenhahn K.: A Survey of Socially Interactive Robots, *Robotics and Autonomous Systems* Vol. 42, pp.143-166 (2003)
- [24] Feil-Seifer D. J. and Mataric' M. J.: Defining Socially Assistive Robotics". Poster paper in *International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp.465-468, (2005)