

氏 名	たなか かずあき <b>田中 一晶</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 597 号
学位授与の日付	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>人-ロボット教示インタラクションにおける「間」の有効利用に関する研究</b>
審 査 委 員	(主査)教授 岡 夏樹 教授 辻野嘉宏 教授 澄谷 雄 准教授 荒木雅弘

### 論文内容の要旨

近い将来、日常生活の場に、人の仕事を手助けするロボットが登場することが予想される。日常生活の場では、ロボットの望ましい行動は使用者や使用環境によって異なるため、起こり得る全ての状況を想定し、適切な行動を予めロボットにプログラムしておくことは困難である。また、ロボットは、予め決められたコマンドに応じて行動するだけでなく、人が自由に発話した、人により異なる言葉による指示や評価を理解できるようになることが望ましいが、それら全ての言葉を予想し、認識できるようにしておくことも難しい。したがって、日常生活の場で人の仕事を手助けするロボットは、自然なインタラクションを通して使用者や使用環境に適応（人の言葉や、その時々の状況に応じた適切な行動が何であるかを学習）し、それらの変化に追従できる必要がある。さらに、ロボットが人とのインタラクションを通して学習する場合、内部状態を人に伝えられることも重要である。内部状態を伝えることなく好き勝手に行動するロボットは、人から適切な教示が与えられない上に、人に悪い印象を与えるだろう。

人が人に対して教示を与えるインタラクションでは、言葉だけでなく、韻律、表情、視線など、教示者は様々な非言語情報を通して学習者に評価を与えており、また、学習者の状態も非言語情報を通して教示者に伝えられている。人がロボットに対して教示を与えるインタラクションにおいても、人の振る舞いに含まれる非言語情報をロボットへの評価として利用することで、一般の人でもロボットの行動を自然に評価できる可能性があり、また、ロボットの振る舞いに非言語情報を利用することで、自然な形でロボットの内部状態を人に伝えられる可能性もある。本学位論文では、ロボットの学習に役立つ非言語情報の一つとして、人とロボットとの教示インタラクションにおいて生じる時間的な「間」に着目し、「間」を利用して円滑なインタラクションと効率的な学習を実現する方法を提案した。本論文は以下の 7 章から構成される。

第 1 章は諸論であり、研究の背景と、次の 2 つの研究目的を示した。1) 人の負担の軽減と、効率的なロボットの学習を実現するため、言葉による明示的な評価だけでなく、「間」を人からロボットへの暗黙的な評価として利用する方法を提案する。2) 人から適切な教示を引き出すと共に、ロボットに対する人の印象を改善するため、「間」を利用してロボットの内部状態（学習状態）を人に伝える方法を提案する。

第2章では、非言語情報の利用に関する関連研究について述べ、その中の本研究の位置づけを明示した。

第3章と第4章では、「間」が人からロボットへの評価として利用できることを示した。まず、第2章では、ロボットが行動を開始してから一定時間、教示が与えられないことを肯定的な評価と捉えるNo News規準(NNC)を提案し、NNCによる評価と明示的な評価を併用することで学習の効率化が図れること、NNCによる評価のみでも学習できることを示した。さらに、NNCの判定時間やロボットの行動仕様を変更して行った実験結果を通して、NNCが有効に働く条件を明らかにした。

つづいて第4章では、「間」を人からロボットへの評価として利用する2番目の方法を示した。本章では、ロボットが行動を終えてから人が評価を与えるまでの遅延時間が「おいしい」という評価として利用できることを示し、「おいしい」という評価を利用して学習する方法を提案した。

第5章では、ロボットの内部状態を人に伝える上で「間」が利用できることを示した。ロボットが行動を決定してから実行するまでの遅延時間をロボットの学習状態に応じて変化させることで、ロボットは、人の適切な教示に基づいて効率的に学習することができ、さらに、人に教えやすい印象を与えることが分かった。

第6章では、以上で提案してきた「間」の利用方法が有効に働く状況について、具体例を挙げて総合的に分析した。さらに、「間」を利用する上で起り得る問題にも言及し、その解決方法について考察した。

第7章は、結論であり、本学位論文の研究成果をまとめ、今後の展望を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

申請者は、ロボットの学習に役立つ非言語情報の一つとして、人とロボットとの教示インタラクションにおいて生じる時間的な「間」に着目し、「間」を利用して円滑なインタラクションと効率的な学習を実現する方法を提案した。これまで人-ロボットインタラクションに利用されてきた主な非言語情報(韻律、表情、視線、ジェスチャーなど)では、情報が発信されている部分から情報が取り出されていたのに対して、「間」の利用は、発話や行動が行われていないとき、すなわち、情報が発信されていない部分から情報を取り出すという点が全く異なる。したがって、「間」を利用するということは、これまで利用されてこなかった情報を新たに利用できるようになることを意味し、その意義や効果は極めて大きい。

また、「間」は、その取得に特徴抽出などの複雑な操作を必要としないため、他の非言語情報と比べて容易に検出できるという利点もある。さらに、ロボットの振る舞いに「間」を利用する場合においても、細かなパラメータ調整等をする必要がなく、行動を実行するタイミングを変えるだけで良いため、比較的簡単に実装できるという利点もある。

申請者は、まず、人からの発話がないこと(「間」)を肯定的な評価と捉えるNo News規準(NNC)を提案し、「間」が人からロボットへの評価として利用でき、ロボットの学習効率が上がることを実験的に示した。さらに、精密な実験計画と鋭い分析により、NNCが有効に働く条件を明らかにした。また、人からの評価の遅れ(「間」)を、「おいしい」という評価として利用する方法も提案した。

さらに申請者は、ロボットの内部状態を人に伝える上で「間」が利用できることを示した。ロボットが行動を開始するまでの遅延時間をロボットの学習状態に応じて変化させることで、ロボットは、人の適切な教示に基づいて効率的に学習することができ、さらに、人に教えやすい印象を与えることが分かった。

以上の結果から、本論文は、「間」という非言語情報を利用することにより、人 - ロボットインタラクションを円滑化することができるとともに、ロボットが効率良く学習できることを多角的に示している。将来のサービスロボットの本格的な普及に必要な基礎技術を提案し、その有効性を実験的に検証したという点で、本研究内容は高く評価できる。

なお、本論文の内容は、レフェリーによる審査を経た 2 編の学術雑誌論文[1,2]、2 編の国際会議論文[3,4]、および、1 編の参考論文[5]を基に構成されており、これらの論文はいずれも申請者が筆頭著者である。

- [1] 田中 一晶, 左 祥, 嶋峨野 泰明, 荒木 雅弘, 岡 夏樹, No News 規準が有効な条件 : 誘導教示の意味学習場面での実験的検討, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J92-A, No. 11, pp. 784-794, 2009.
- [2] 田中 一晶, 尾関 基行, 荒木 雅弘, 岡 夏樹, ロボットの教示場面における「間」の重要性 : ロボットの行動の遅れは学習効率を向上させ教えやすい印象を与える, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 703-711, 2010.
- [3] TANAKA Kazuaki, ZUO Xiang, SAGANO Yasuaki, and OKA Natsuki, Learning the meaning of action commands based on “No News Is Good News” Criterion, Proceedings of the Workshop on Multimodal Interfaces in Semantic Interaction, pp. 9-16, 2007.
- [4] TANAKA Kazuaki, OZEKI Motoyuki, and OKA Natsuki, The Hesitation of a Robot: A Delay in Its Motion Increases Learning Efficiency and Impresses Humans as Teachable, Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 189-190, 2010.
- [5] 田中 一晶, 尾関 基行, 岡 夏樹, 人のためらい : ロボットの行動が「おいしい」とき評価は遅れて与えられる, HAI シンポジウム 2010, 2010.