

心を1つに： 拡張された身体の一体化を志向するメディアの提案

香川 真人^{1,a)} 岡田 美智男¹

概要：私たちは日頃から多くの遊びを行っている。こうした遊びは競争や協力といった他者との関係によって成り立っているものが多い。このような共同的な遊びの場面において、人と人を繋ぐ媒介物としてロボットがその役割を担うことはできないだろうか。本研究では、こうした観点からメディエータとしての機能を有するロボット〈Column〉を提案、評価している。本発表では、研究用プラットフォーム〈Column〉の概要とそのインタラクションについて紹介する。

1. はじめに

私たちは日常から遊びを行っている。多くの遊びは、スポーツに代表されるように、他者と協力したり競いあったりと、自分だけでなく他者との関わり合い、協調関係からおもしろさや楽しさを見出だすものが多い。相手とのやり取りや競い合いを楽しむ、共同的な遊びでは、遊び相手の普段とは異なる意外な一面を見出したり、互いの協力や出し抜きあいを引き出しており、その遊びの持つおもしろさは維持されやすい。

例えば、テニスを行う場面をイメージしてみると、初めはラケットとボールの扱いになれず、うまく打ち返すことができず、もどかしい。しかしながら何度も繰り返し練習をしていく内にラケットを自分の身体の延長のように感じ自由に扱うことができるようになってくる。

また、近年では犬型ロボット AIBO を始めとするコミュニケーションロボットやエンタテインメントロボット [1], [2] と呼ばれるロボットも社会実装されている。こうしたロボットが私達の遊び相手の選択肢の一つになることも現実味を帯びてきている。

私たちが共同的な遊びをしている場面を思い浮かべてみると、道具やルール、目標などを共有しながら遊びを行っている。テニスではボール、積み木遊びでは、積み木を媒介にすることで、見ず知らずの子ども達でもいつの間にか一緒に遊んでしまう。この時、積み木は子ども達を繋ぐ媒介物(メディエータ)としての機能を持つことになる。

本研究では、共同的な遊びの場面において媒介物としての役割をロボットに担わせることを目標にしている。この



図 1 〈Column〉プラットフォーム

Fig. 1 Platform of Column

観点から、人の関心をひきだすと共に、メディエータとしての機能を有するタイプのロボット〈Column〉を提案し、その評価を行っている(図1)。

〈Column〉は、12 個の関節を持つ多関節ロボットであり、自身の重心が崩れることで移動することができるロボットである。3名の操作者がコントローラを振ることでそれぞれの対応する関節が動作し、球体変形に伴い重心が崩れロボットが移動する。こうした原理より、操作者単独での動作ではうまく重心が崩せず、目標方向にうまく転がすことができないといった「もどかしさ」を感じさせる性質を持ち、参加者間での協調を引き出すロボットである [3], [4], [5], [6]。

これらの性質から、〈Column〉を介した人同士のインタラクションを観察し、ロボットを介した共同的な遊びの成立要件やおもしろさを生み出す要素について議論できると考えている。

本発表では、ロボットを介した共同的な遊び場면을ビデオ分析することで、どのように協調関係が構築されるのかについて参加者の発話内容を元に考察する。

¹ 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

^{a)} kagawa@icd.cs.tut.ac.jp

2. 研究背景

2.1 本研究の位置付け

テレビゲームでは、参加者間で協力しながら複数の操作者が1つの物体を操作し、課題達成やゴールを目指すものが多くある。これらのテレビゲームと本研究で用いる〈Column〉の違いの1つは、身体性を備えたロボットである点である。

ゲーム画面上で行われる動きの多くは、その世界観での物理演算で制御されており、実世界とかけ離れた動きをするものもある。〈Column〉は身体性を備えたロボットであるため、操作者とロボットは同じ地面に立ち、同じ物理法則を受けていることを感じる。そのロボットをコントローラを振って操作することで、ロボットが操作者の頑張りに応えることで、ロボットが自分の身体の延長、身体の一部と考えることができると考えている。この観点から、近年のVR研究で行われている身体拡張とも差別化されている。

また、コンピュータシステムやゲームでの遊びのおもしろさを探る研究として、山本ら [7] や藤江ら [8] の研究がある。これらの研究で主に着目しているのは、PC上でのゲームやテレビゲームであり、身体性を備えたロボットを介した遊びのおもしろさや楽しさ、協調関係の成立過程についてはまだ十分に議論されていない。

2.2 拡張された身体

テニスを初めてする時からうまくラリーができる人は多くはないだろう。ほとんどの人は初めてさわるラケットやボール、コートの滑り具合等多くのことに戸惑うことになる。

しかしながら、練習を繰り返し行くと、ラケットをまるで自分の手のように扱うことができるようになる。これはマクルーハンのいう「人間拡張の原理」である [9]。

本研究で用いる〈Column〉も操作者がロボットの自由度1つを担当する。初めはよく分からないものであるが、何回も繰り返すことで自分の動きがロボットの身体の一部に対応することがわかると徐々に自分の身体の延長に感じる。

また、テニスでもラケット自分の身体の延長に感じたあとは、ボールを同様に身体の延長のように感じる。ボールは他者にとっても身体の延長になっていることもある。〈Column〉も単純に1関節を動かすためには操作者1人の拡張された身体である。しかしながら、うまく転がすためには、ロボット全体、他者の身体の一部についても考える必要がある。

こうした原理から、〈Column〉は操作者1人に対して拡張された身体であり、3名の参加者すべての身体の延長を束ねる役割を持っている。

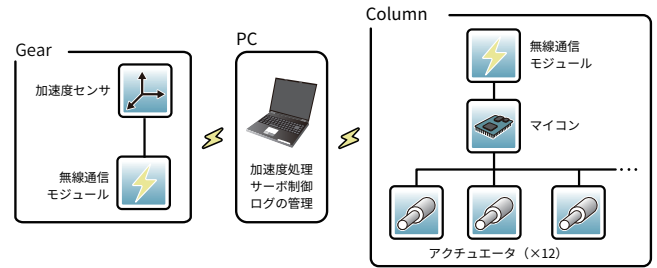


図 2 〈Column〉システム構成図

Fig. 2 System architecture of Column

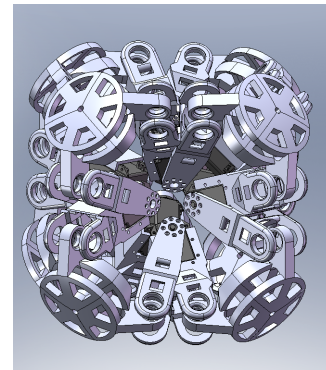


図 3 内部フレーム

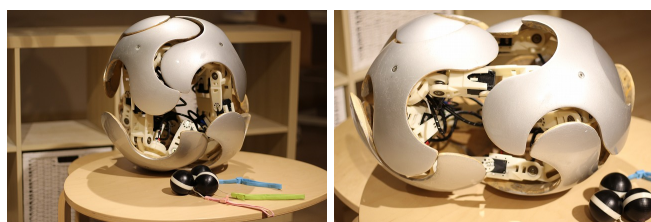
Fig. 3 Inner frame of Column

3. 多関節ロボット〈Column〉

本研究で構築したロボット〈Column〉は12個のアクチュエータを持つ多関節ロボットであり、その動作原理から、他者との協調・協力を引き出すことができるソーシャルメディアである。

〈Column〉は、動きの予測の難しさと、操作者の入力によって常に変化し続けることを利用し、操作者や周囲の傍観者の注意を引き付ける。操作者は専用コントローラ〈Gear〉を用いてロボットの自由度の内ある一部分を操作することができる。3名の操作者が集まればすべての自由度を操作することができるが、思い通りの方向に移動させるためには、参加者間での協力が必要となる。マクルーハンの言葉より、〈Column〉は操作者にとって「拡張された自分の身体の一部」であるとともに、他者の身体の一部でもある。つまり、二人三脚の状態で操作することになり、この時、操作者は、互いのせめぎあいによって生じる「もどかしさ」を感じ、共有している。こうした操作者同士の行為が、お互いを制約し合う「場」は、自然と会話や身振り手振りなどのコミュニケーションを誘発する。

このように〈Column〉は、新奇であることを利用し周囲の人の注意を集めつつ、操作者の拡張された身体の一部を束ねることで、二人三脚の関係性から操作者間の協力を誘うロボットメディアである。こうした「もどかしさ」を媒介にする共同的な遊びは、単なる新奇さから来る遊び



(a)z 軸方向に押し上げた形 (b)x 軸方向に押し上げた形

図 4 外殻を押し上げる〈Column〉

Fig. 4 Various form of Column

よりもその遊びの「おもしろさ」を強く引き出し、維持・継続することが考えられる。

〈Column〉システムは、〈Column〉本体、専用コントローラ〈Gear〉、制御用 PC から構成される (図 2)。以下、それぞれについて述べる。

3.1 〈Column〉本体

3.1.1 多関節アクチュエータ

〈Column〉本体は、12 個のアクチュエータとそれらを繋ぐように 3D プリントで制作した ABS 樹脂製フレームで構成されている (図 3)。

アクチュエータにはデジタルサーボを用い、これらのサーボモータの制御・通信に無線マイコンが搭載されている。内部に搭載された 12 個のサーボモータは立方体の辺上に配置されているため、サーボモータが伸縮することで、外装を押し上げ変形する (図 4)。

3.1.2 電源供給と外装

〈Column〉本体には、バッテリーを備えるスペースがないため、各サーボモータ、マイコンへの電源供給として 12V の DC 電源を用いている。

また、外装は、骨組みの各頂点にそれぞれ設置されている。計 8 枚の外装は、外部からの負荷による許容できない変形がある場合に干渉が起こらないようになっている。メカニズム上の工夫があり、ロボット外装内に全てのアクチュエータ・構造材を内包していながら、それぞれが干渉しない範囲で高い自由度を実現している。

3.2 専用コントローラ〈Gear〉

〈Column〉の操作には、〈Gear〉と呼ぶ専用コントローラを用いて行う (図 5)。〈Gear〉には加速度センサが内蔵されており、各操作者はこのコントローラを“振る”ことで〈Column〉を操作する。このコントローラは操作者が振ったことによる加速度の大きさに応じて〈Column〉内部のサーボモータの角度を変化させる。

このコントローラは〈Column〉本体の xyz 軸それぞれに対応している。例えば、ある〈Gear〉を振ると x 軸方向に、また別の〈Gear〉を振ると z 軸方向にと稼働するようになっている (図 6)。



図 5 専用コントローラ〈Gear〉

Fig. 5 Controller "Gear"

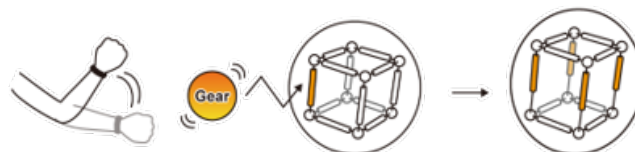


図 6 操作イメージ

Fig. 6 Operation image using "Gear"

3.3 制御用 PC

制御用 PC では、〈Column〉本体の動きの管理と操作者のログ管理を行っている。

〈Column〉本体の動きの管理として、〈Gear〉から 0.1 秒毎に送られてくる加速度について移動平均を取り、その値に応じてサーボモータの角度を制御している。今回は、閾値を 2 つ設定しており、それぞれに応じて、最大角 (完全に外殻を押し上げた状態)、中間角、サーボが閉じ球体に戻ろうとするという動きを産み出している。また、操作者はこうしたプログラム上で行われている処理については知ることなく、ただ〈Gear〉を振るだけで各関節を操作することができる。

操作者の操作ログとして、〈Gear〉から送られてくる加速度及び処理した値をそれぞれ 1 秒毎に記録することができる。

4. インタラクションデザイン

〈Column〉を介した共同的な遊びのイメージを図 7 に示す。操作者はそれぞれコントローラを手を持ち操作する。操作者は〈Column〉という 1 つのロボットを同時に操作するという目標を共有し、協調しながら課題の達成をしようとする。

しかしながら、〈Column〉の転がりによって操作する役割は常に変化する。移動によって変わるシチュエーションごとに、自らの役割を見出していく必要がある。操作者の担当箇所以外の部分は、協調が成り立っていない試行初期の段階においては、自分の意思とは関係なく動いていると捉えることができる。しかし、ある程度操作に慣れ始めると、他者の振る舞いと〈Column〉の状態からタイミングを測り操作を行うなど、「コツ」を掴んでいく。



図 7 インタクションイメージ
Fig. 7 Image of interaction

また、まだコツがうまくつかめていない場合、転がりそうで転がらない「もどかしさ」を感じる。こうした「もどかしさ」は一見して物事がうまくいかない為に起こるストレスのように捉えられるが、共同的な遊びにおいてある程度のもどかしさは次の行動を予見させる材料にもなり、その遊びの持つおもしろさを維持しやすいと考えている。

このように、〈Column〉はその操作のコツを掴むようになるまでの過程における協調関係を利用することで顔見知りでなくとも試行を繰り返し行うことでいつの間にか協調を引き出してしまおうコンテンツとして機能する。

5. 実験

5.1 実験目的

〈Column〉を介してを 3 名の操作者が共同的な遊びを行う際の様子をビデオで録画し実験中にどのような発話が行われていたか分析する。特に、習熟の過程、コツを掴んでく様子について考察を行う。

5.2 基本的なタスクと参加者

この実験で用いるフィールドの概略図を図 8 に示す。実験参加者 3 名を 1 組として、各参加者が〈Gear〉を用いて〈Column〉を操作し他の参加者と協力しながら 1.5m 四方の中心から線の外側まで移動することを基本的なタスクとした。1 試行 3 分とし、全部で 6 回試行することを伝えた。また、〈Column〉を線の外側まで完全に移動できた場合はそこで試行終了であることも伝えた。

また、参加者は全 10 組 30 名であるが、操作者間の姿が見え、会話や身振り手振りなど直接コミュニケーションを行える条件である 5 組 15 名をビデオ分析の対象とした。分析対象は全 6 試行中の 2 回目と 6 回目とし、始めたばかりの状態と習熟したと考える終盤とで分析を行った。

5.3 発話タグ

今回の分析で用意した発話タグを表 1 に示す。分析では、実験中にどのような発話がなされていたかについて分

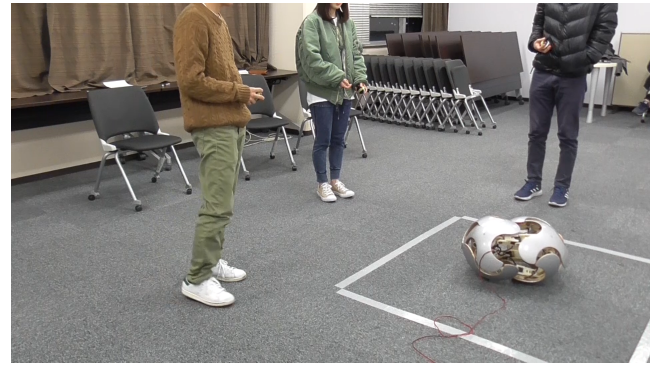


図 8 実験フィールド
Fig. 8 Experiment field

析する。発話タグは大きく以下の 3 つに分類した。

(1) ロボットの動作に直接関係ある発話

他者や自分に対してコントローラを振る指示や方略を伝える発話やロボットの状態 (転がりそう、重心が崩れている等) について伝える発話

(2) ロボットの動作に直接関係ない発話

他者や自分に対してロボットの動作に関係のない発話、雑談のような発話

(3) 会話になっていないような発話・感嘆

達成感や嬉しさ、残念な様子を伝える発話

これらの発話タグをそれぞれのビデオについてアノテーションしていき、各試行での参加者の発話分析を行った。今回の解析では、各試行での発話タグの種類とその割合を基に分析した。

5.4 分析結果

各試行での発話タグの種類とその割合を基にワード法によるクラスター分析を行った。その結果を図 9 に示す。ここでのアルファベットは組名、数字は試行回数を示している (B2 ならば B 組 2 回目の試行を意味する)。

このクラスター分析より、実験参加者を Group A (B2, B6), Group B (D2, F2, J2, F6), Group C (H2, H6, D6, J6) と 3 組に分類した。3 組に分類した発話タグの割合をそれぞれ図 10 に示す。

これらの結果について、次章で考察を行う。

6. 考察

6.1 各グループの特徴について

まず、クラスター分析によってグループ分けしたグループそれぞれの特徴について考察する。

6.1.1 Group A について

このグループは、図 10(a) から発話を行ってなおらず、笑い声だけが起きているグループであることがわかる。このグループは B 組のみが属している。今回の実験は、各組内での参加者は顔見知りであることを条件に行っている。

表 1 発話タグとカテゴリー

Table 1 Utterance tags and their categories

(1) ロボットの動作に直接関係ある発話

発話タグ	内容	発話例
Action	動作の指示, 提案 (方向, 振るかどうか)	「〇〇, 動かして」
Understand	自分の担当部位確認	「俺どこ? 上だ」
Ask	他者の担当部位確認, 訪ねる	「〇〇, どこ? 横?」
Condition	ロボットの状態説明	「転がりそう, そっちいきそう」
OK/NG	指示, 提案を受けての肯定・否定	「うん, 分かった」

(2) ロボットの動作に直接関係ない発話

発話タグ	内容	発話例
Chat	他者への発話 (指示でなく雑談より)	「場所変わって」, 喋るよう促す
Mono	自分への発話 (独り言)	発話先が不明, いない発話
Robot	ロボットへの発話	「そっちじゃない」
Laugh	笑い声	笑い声のみなので表情は判別しない

(3) 会話になっていないような発話・感嘆

発話タグ	内容	発話例
Negative	残念な様子	「ああ…, むずかしい…」
Positive	喜び, 達成感を感じている様子	「よし! いけるいける!」

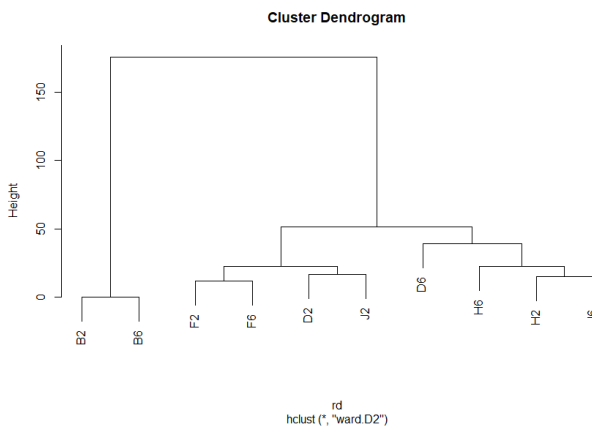


図 9 クラスタリング結果
Fig. 9 Cluster dendrogram

そのため, この結果は, 初めてあった人同士の緊張から発話することを戸惑ったわけではない。

実験後になぜ話をしなかったのか口頭で質問した際に, 「実験という場に緊張して何を話ししていいのかわからなかった」, 「ロボットのことがわからなかったのでも何とも言えなかった」という返答が得られた。

これらのことから B 組の 3 名は, 実験環境に慣れることができず協調関係を構築するフェーズにまで移行できな

かったと, 〈Column〉のもつメディエータとしての機能がうまく生かせなかったと考察する。

6.1.2 Group B について

このグループは, 図 10(b) からロボットの操作に関して直接的な指示を与える発話の割合が多いグループであることがわかる。

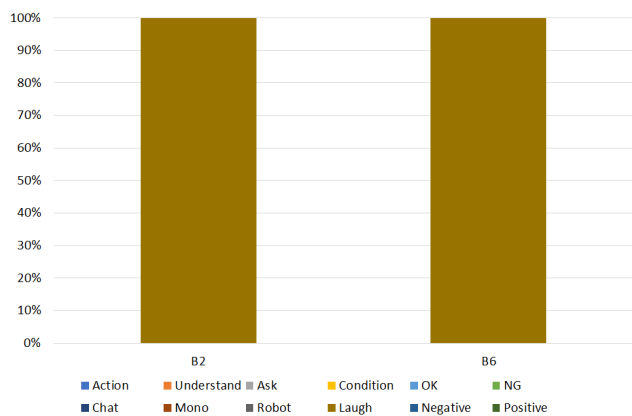
このグループの内訳を見てみると 4 つのうち 3 つが 2 回目の試行である。まだ序盤であり, ロボットをどう操作していけばよいのか, コツがまだ掴めておらず試行錯誤した結果であると考えられる。

6.1.3 Group C について

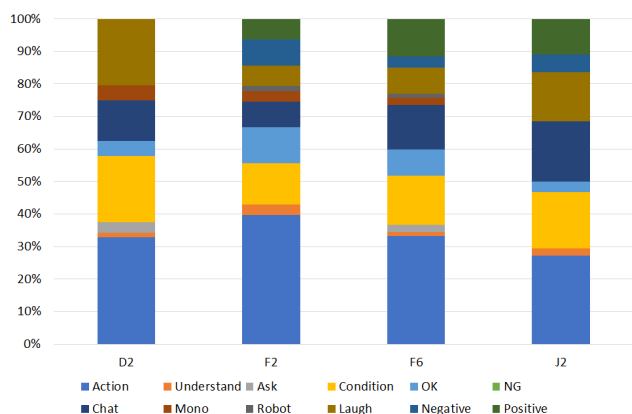
このグループは, 図 10(c) から Group B と比較してロボットの操作に関して直接的な指示を与える発話の割合が少ないグループであることがわかる。

このグループでは, 6 回目の試行が 3 つあり, ロボットの操作に十分慣れた後に多く現れている。このことから, 試行を繰り返すことで参加者間で何かしらのコツやもどかしさを共有することができたため, 直接的な操作の指示を行わなくともロボットの様子から操作のタイミングを図れたためであると考えられる。

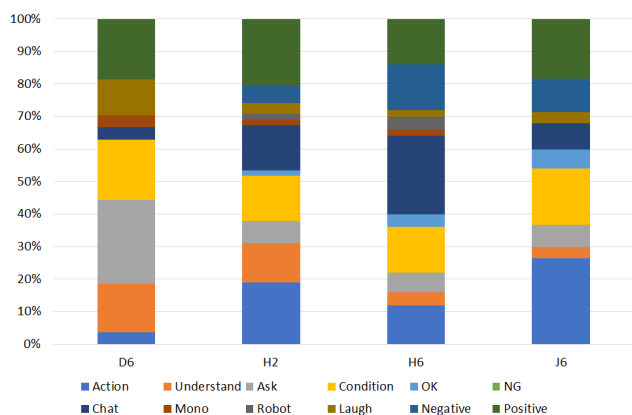
また, このグループでは, 発話タグ「Positive」「Negative」の割合も増えており, ロボットの動きに対して一喜一憂す



(a)GroupA



(b)GroupB



(c)GroupC

図 10 各組での発話タグ割合

Fig. 10 Utterance tag ratio in each groups

る様子が増加している。

これらのことから、操作方法を習熟するにつれて、自分だけの操作に集中することから、他者の操作やロボットの様子に合わせた操作にも着目する余裕が生まれてきている可能性を示唆している。したがって、試行を繰り返して行うことで〈Column〉のもつメディアータとしての機能がうまく生かされ、協調関係が構築されていると考えられる。

6.2 特徴的な組についての考察

ここでは、今回の実験で見られた様子についてある組に着目して考察する。着目するのはD組である。D組は、男性2名、女性1名の組であった。この組について、実験の序盤と終盤の時系列順に追って考えたい。

● 実験序盤

まず、実験の序盤であるが、男性1名がリーダー的役割を担っていた(以下、Aさんとする)。Aさんの指示に他の参加者2名が従うといった構図が展開されていた。2回目の施行中ではこの関係が顕著に現れており、発話のほとんどがこのAさんのものであった。

また、Aさんは他の参加者へ話をするようにも勧める場面も見られた。それに対し、もう一人の男性は操作や目標達成までの方法がよくわかっていないため発話を控えていると告げていた。実際に2回目の施行中この男性が発話をしたのはこの一度だけであり方略を考えている様子が伺えた。

もう一人の女性は、発話はしていたものの少なく、だれかに向けて指示を出しているのではなく、雑談やロボットの様子を周囲に伝えていた。

● 実験終盤

終盤では、序盤とうって代わり、Aさんがリーダー的役割をしておらず、3者がそれぞれ発話の様子が見られた。

特に、序盤ではほぼ発話を行わなかった男性が率先して発話を行っている様子も見られた。女性も序盤よりもロボットの様子をより伝えていた(こっちにいきそう、転がりそう等)。

Aさんも発話はしていたものの序盤ほど直接的な指示を行うこともなく、3者間でロボットの様子を伺いながら、タイミングを伺いながら操作することができていた。結果的にタスクである、線からロボットを出すことにも成功しており、この組では、うまく協調関係を構築することができたと考えられる。

このことから、この組では、序盤は一人のリーダーに従いながらも、試行を繰り返していくにつれて操作のコツもどかしさやの共有、ロボット特性の理解が進んだと考えられる。そして、終盤には、誰かがリーダーにならずとも、誰からともなく発話を繰り返して出しており、ロボットを通して拡張された身体の一部化が図れたと考えられる。

7. おわりに

本研究では、参加者間の拡張された身体を束ねるソーシャルメディアータとして多関節ロボット〈Column〉を構築し、ロボットを介した共同的な遊びの場面における参加者間の協調関係の構築について、ビデオ分析にて分析を行った。

ビデオ分では、実験中に操作者間でどのような種類の発話が行われていたかに着目した。その結果、発話の種類とその割合によって大きく3つのグループに分けられることができた。

〈Column〉のもつメディエータとしての機能がうまく生かせなかったと考える1組を除くと、協調関係の構築には、試行回数を増やすことで起きる習熟が影響すると思われる。

今回は、ビデオ分析の結果のみであったが、今後の予定として、ビデオ分析をより詳細に行うと共に、コントローラの入力値とビデオの対応した分析、主観評価と合わせた分析を行い、ロボットを介した共同的な遊びのおもしろさを感じる要素や、協調関係の構築過程等の成立要件について詳細に明らかにしたい。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B)18H03322）の助成を受けて行われた。ここに記して感謝申し上げたい。

参考文献

- [1] 景山浩二, 石田健蔵: エンタテインメントロボットビジネス, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 7, pp. 668–671 (2002).
- [2] 土井利忠: 犬型ロボットA I B Oと新ロボット産業, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 10, pp. 1000–1001 (2012).
- [3] 竹田泰隆, 吉田広平, Silva, P. R. D., 岡田美智男 (編): COLUMN: 個人間での協調を引き出す「もどかしさ」について, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012 論文集 (2012).
- [4] 竹田泰隆, 吉田広平, Silva, P. R. D., 岡田美智男 (編): 心を1つに: マルチエージェント型アバターの構築とその応用, Human-Agent Interaction シンポジウム 2012 (HAI-2012) 論文集 (2012).
- [5] Takeda, Y., Sawada, S., Mori, T., Yoshida, K., Arita, Y., Asano, T., Ohshima, N., Silva, P. R. D. and Okada, M.(eds.): *Sociable Creatures for Child-Robot Interaction Studies*, Proc. of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Demonstration Session (2013).
- [6] Takeda, Y., Yoshida, K., Silva, P. R. S. D. and Okada, M.(eds.): *COLUMN: The Visually Mediated Interpersonal Coordination*, The 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI) 2012 (2012).
- [7] 山本吉伸, 松井孝雄, 開 一夫, 梅田 聡, 安西祐一郎: 計算システムとのインタラクション, 認知科学, Vol. 1, No. 1, pp. 107–120 (1993).
- [8] 藤江清隆, 馬場章: ゲームの面白さとは何か-テレビゲームのプレジャビリティをめぐる-, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 15–19 (2004).
- [9] マクルーハン H.M(栗原, 河本訳): メディア論-人間の拡張の諸相, みすず書房 (1987).