

# マコにて: 「並ぶ関係」に基づく人とロボットの コミュニケーションの可能性を探る

## Mako-no-te: An Approach to Side-to-Side Sympathetic Communication

山本直輝<sup>1</sup> 深町建太<sup>1</sup> 竹田泰隆<sup>1</sup> P. Ravindra De Silva<sup>1</sup> 岡田美智男<sup>1</sup>

Naoki Yamamoto<sup>1</sup>, Kenta Fukamachi<sup>1</sup>, Yoshitaka Takeda<sup>1</sup>, P. Ravindra De Silva<sup>1</sup>, and Michio Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

<sup>1</sup> Department of Computer Science and Engineering,  
Toyohashi University of Technology

**Abstract:** Why don't we believe that future human might be walking with human on the road while establish a side-to-side communication? Since, this study is motivated to build-up the concept of side-to-side communication when robot and human walking together by holding each other hand. The above context, robot and human have to communicate by side-to-side to adjusting non-verbal behaviors, directions, speed, distance etc., toward their interactions (intersubjectivity) within in comfort manner. Our experiment is exploring the essential factors (adaptations, intersubjectivity, etc) for side-to-side communication by designing the novel robotic platform of Mako-no-te.

### 1. はじめに

公園を一緒に散歩するときなど、その歩調が次第に揃い、何を話さずとも相手の気持ちが伝わってくることもある。こうした場面では、お互いの身体が相互になり込みあって、自他非分離な関係を形成しながら、共感的なコミュニケーションを成立させていると考えられる。ここで興味深いことは、お互いは「対峙しあう」のではなく、むしろ「並んでいる」ことだろう。これまでロボットやエージェントとのインタラクションを議論する際には、それらの関係の多くは「対峙しあう」ことを前提としてきた。「聞き手」と「話し手」との関係の中で、どのように正確で効率よいコミュニケーションを実現するのか。あるいは、ユーザーとシステムとのコマンドとそれに対する応答で結ばれた関係や、「使うもの＝使われるもの」との関係もまた「対峙しあう」ことを前提とするものである。

そういう意味で、一緒に並んで歩くなど、人とロボットとの「並ぶ関係でのコミュニケーション」は、未開拓の研究分野であるといえる。特に、人とロボットとの共生を目指すとき、ロボットは単に人から指示を受ける存在としてだけでなく、その傍に一緒に「並んだ関係」を想定しても面白い。



図 1 「マコにて」とのインタラクション

本研究では、こうした人とロボットとの「並ぶ関係でのコミュニケーション」について議論するためのプラットフォームとして、「マコにて」と呼ぶロボットを構築している(図 1)。本論文では、「マコにて」に入り込んだ行為者が自身の身体の獲得を基盤として、歩行者と相互に「なり込む」ことを議論するために行った予備的な検証実験の結果と考察について述べる。

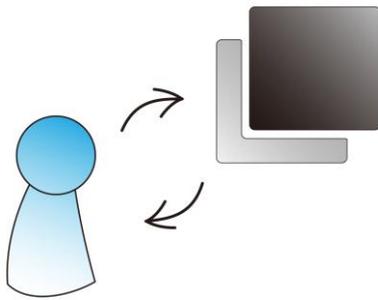


図 2 対峙し合う関係

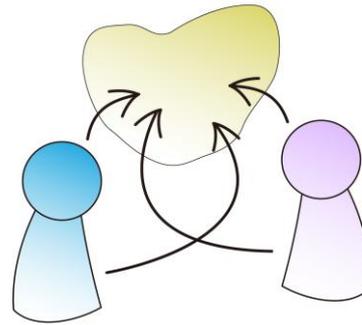


図 3 並ぶ関係

## 2. 研究背景

### 2.1 「対峙しあう関係」から「並ぶ関係」へ

携帯電話の操作，クルマの運転，そしてキーボードに向かう私たちの姿はシステムやコンピュータと対峙している（図 2）。

日々の生活の中で，人と人との関係はどうだろうか。すこし注意深く見ていくと，日々の生活の中で人と人との関わりは必ずしも「対峙しあう関係」に限られない。母親と子どもと一緒に絵本を眺めるとき，家族と一緒にテレビを観るとき，知り合いと一緒に公園を歩くときなど，その関係は「対峙しあうもの」ではなく，むしろ「並ぶ関係」にある。

ロボットと私たちとの間ではどうだろう。例えば，おばあちゃんとロボットとが縁側に並んで，日が沈むのをじっと眺めている。「対峙した関係」から「並ぶ関係」へのシフトによって，コミュニケーションのモードは何かを伝達するという非対称な形態から，むしろ「相互に調整しあう」あるいは「何かを共有しあう」といった，対称で対等な形態に移行する。

このとき，私たちは互いの気持ちを自分の身体の類似的な経験を基に，他者の身体が感じ取っているものを推測し合うような，相互の「なり込み」に基づいた共感的なコミュニケーションをしているといえる（図 3）。

### 2.2 手をつないで並んで一緒に歩く

人と人が手をつないで並んで一緒に歩いていると，いつの間にか自然に歩調があってくる。つないだ手に伝わる僅かな感覚から相手の気持ちが伝わってくる。そして自分の気持ちも相手に伝わっているように思えてくる。お互いの身体が相互になり込み合っ一つに融合していくような事態が見られる。

「並ぶ関係」は，二者の間で共通な物・事象がある関係（三項関係）において，身体を基盤とした相互

の「なり込み」により両者の共感的な状態が形成されていると考えられる。発達心理学においては，幼児と養育者との間における三項関係の成立が，原初的コミュニケーションの基底にあるといわれている[1]。特に，「並ぶ関係」でのコミュニケーションの成立は「相互主体性」「間身体性（intersubjectivity）」の観点からも興味深い。日常生活の中で，この間身体性の現れについては共同想起対話での間身体的な関係の現れ（同時発話）などが挙げられる。

本研究では，人と人，人とロボットが手をつないで並んで歩く際に生じる間身体的な関係の現れ（歩調や経路の同調）を二者が一体となった様相の評価として用いることとした。

### 2.3 アバターを介しての「なり込み」

浜田は，私たちの身体を捉える視点を「観察者の視点」から「行為者の内なる視点」に移すことで，自身の「身体」は環境との切り結びの中から現れる[2]という。こうした視点から行為者がアバターとしてロボットに入り込むことは，行為者が身体を制約し自身の身体を獲得してく様子を観察する有効な手段であると考えられ，ロボット操作者が感じる社会的テレプレゼンスの分析も行われている[3]。しかし，それらは「対峙しあう関係」を想定しており，「並ぶ関係」での議論には至っていない。

本研究では，アバター技術は自身の身体の獲得に加え，他者への「なり込み」を顕在化することにも有効であるとする。そこで，相手の思考形態や身体などすべての要素に対して「なり込み」や「なぞり」を考えるのではなく，その一部の要素，原初的な領域でのやりとりでの「並ぶ関係」でのコミュニケーションに焦点をあてる。また，そこで得られた知見を筆者らが構築をすすめるモデルに適用することを目指す。

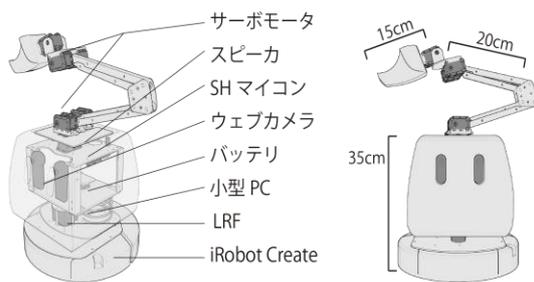


図 4 システム構成と外観

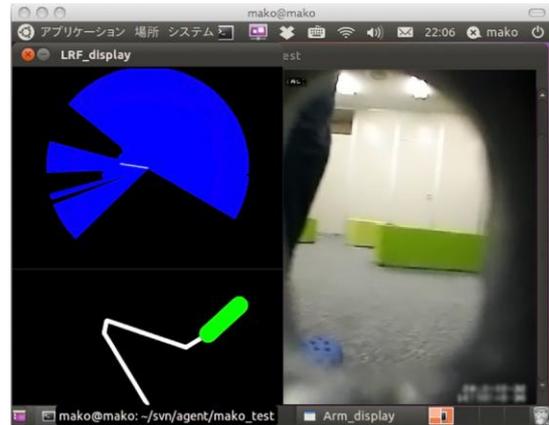


図 5 行為者に与えられる情報

### 3. プラットホーム「マコにて」

#### 3.1 手をつないで並んで歩くロボット

「マコにて」は歩行者と手をつないで並んで一緒にふらふらと散歩をすることをコンセプトとしたロボットである。そのため、ナビゲーションのような機能は備えていない、さらに自分の行きたい方向を発話することもない。しかし、「あっちへ行きたい」「いや、こっち」と手を引きながら、歩調や手の感覚という原初的な領域で、人と相互に行為を調整しあう。

#### 3.2 デザインコンセプト

ロボットとの社会的なインタラクションをデザインするためのひとつの指針として、「ミニマルデザイン」と呼ばれる考え方がある[4]。このミニマルデザインの狙いは、外見や機能的な制約があることを前提とした上で、周囲の状況や文脈の変化による人の意味付け行為を利用し、人からの積極的な関わり（対人的な行動）を引き出すことである。「マコにて」は「ミニマルデザイン」に依拠し、人からの積極的な関わりを引き出すことを狙う。

#### 3.3 システムの概要

「マコにて」の身体は、並んで歩いても違和感のない大きさを目指した。手をつなぐ為に腕を伸ばしたときの高さはおよそ 650mm となっており、大人と子どもが手をつなぐような、馴染みやすい大きさとなっている。

システムは、小型 PC (fitPC2) を中心に構成され、モータの制御やセンサからのデータを取得するマイコン (SH2)、サーボモータ、測域センサ (LRF)、ウェブカメラなど、最小限の要素からなる (図 4)。また、「マコにて」のアーム機構では、意思表示としての関節動作に加え、各サーボモータから、モータの回転角、速度変化やトルクの変化を検出している。

#### 3.4 「マコにて」に入り込む

本研究では、アバターとして「マコにて」に入り込んだ行為者が自身の身体の獲得とそれに基づいた歩行者への「なり込み」を行つための手がかりとして以下のものを用いた。

- ・ ウェブカメラ映像の提示
- ・ アーム状態の提示
- ・ 測域センサによる周囲状況の提示

図 5 に行為者に与えられる情報を示す。測域センサによる周囲状況にアームの伸縮方向を加えることで、歩行者の身体配置を推測できるよう設計した。

### 4. 本研究のポイント

「マコにて」に入り込んだ行為者と歩行者との間で相互に「なり込み」を行う要素として、速度や方向の変化が考えられる。私たちの日常生活において、手をつないで一緒に並んで散歩する場面を考えてみると、その相手が子どもや老人のような自身より速く歩けない場合、彼らは私たちの歩く方向について「なり込み」、行為を調整すると思われる。一方で私たちは彼らの歩く速度を慮り、行為を調整しているだろう。このことから、(1) 相互に「なり込み」を行う最も有力な要素は必ずしも一致しないことが予想される。

また、相互の「なり込み」合うことで、二者間で状況と方略の対応付けが自己組織化されていくと考えられる。このことから、(2) 間身体的な関係の形成につれて歩行経路は次第に滑らかなものに変化すると予想される。

そして、私たちが「あ、うん」の呼吸とよぶように、(3) 相互の関係が親密になるにつれ、そこで行われるやりとりが微かなものになっていくことが予想される。



図 6 調査実験環境

## 5. 検証実験

### 5.1 目的

本検証実験の目的は、先に述べた着眼点について分析をすすめるとともに、方略が共有されるならば、その過程について観察することである。

### 5.3 方法

調査実験は被験者が2人1組で参加して行う。被験者は、アバターとして別室から「マコにて」に入り込む「行為者」と、「マコにて」と手をつないで並んで一緒に歩く「歩行者」に分かれ、協力して課題に取り組む(図6)。課題は、互いに障害物を避ける際に相互に相手の方略を探りあいながら調整しあえる場面が望ましいことを考慮し、図7に示す障害物を設置したフロア内のチェックポイントを往復するタスクを設定した。被験者ペアは、10人5組(21~26歳までの大学生、大学院生、男性9名、女性1名)である。

1回の試行は8分間の歩行後、被験者ペアに質問紙を用いてその回の試行に対する印象を評価してもらおうという手順で行い、これを3回繰り返した。

相互に原初的な領域で方略を探り合えるよう、「行為者」は、

- ・ 前進速度の3段階の切り替え
  - ・ 方向転換
  - ・ 3段階の強さで手を引っ張る
- という行為をキー操作により行う。

### 5.2 手続き

まず、行為者を別室に誘導し、教示を行った。教示は、「マコにては歩行者と手をつないで一緒に散歩するロボットです」、「これからチェックポイン

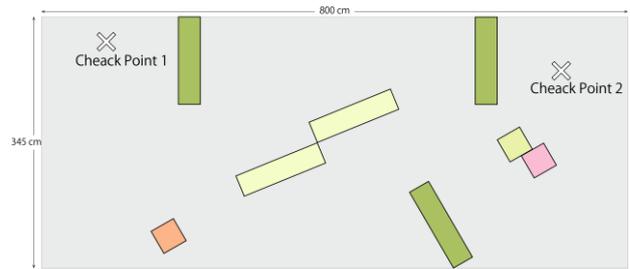


図 7 調査実験を行ったフロア

トの往復を8分間1セットで3回行なってもらいます。チェックポイントはどちらかが踏んだことをお互いの了解が得られた程度で通過していただければ結構です」と伝えた。その後、5分程度自由に操作練習を行う時間を設けた。次に、歩行者をフロアへ誘導し、行為者と同様の教示を行った。

### 5.3 質問紙

各試行に対する被験者の印象評価のために、以下のような質問項目を用意した。

各項目は、本実験の目的に沿って著者らが作成した。自身の身体の獲得について(Q1からQ4)、相手の身体への「なり込み」について(Q5からQ8)システム全体的な評価について(Q9からQ10)をそれぞれ確認するものである。また、質問項目は5段階で評価する(5:とてもあてはまる, 4:あてはまる, 3:なんとも言えない, 2:あまりあてはまらない, 1:あてはまらない)。上記に加え、質問紙には自由記述形式にて二人の間で共有できたと感じる方略について問う解答欄も用意した。

- Q1: 相手の行きたい方向がよく分かるようになった
- Q2: 相手の歩きたい速度がよく分かるようになった
- Q3: 自分の行きたい方向を相手にうまく伝えられた
- Q4: 自分の歩きたい速度が相手にうまく伝えられた
- Q5: 相手の行きたい方向を察して自分の行きたい方向を変えることがあった
- Q6: 相手の歩きたい速度を察して自分の歩きたい速度を変えることがあった
- Q7: 自分の行きたい方向を相手が察してくれて、進む方向を変えてくれることがあった
- Q8: 自分の歩きたい速度を相手が察してくれて、歩く速度を変えてくれることがあった
- Q9: 同じ部屋で実際に相手と一緒に散歩しているような感じがした
- Q10: ルートのとり方に規則や方略が二人の中で生まれた、共感できたと感じた

表 1 行為者側の各質問項目における平均値と分散分析の結果

質問項目	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
試行1	2.000 (0.894)	1.800 (0.980)	2.200 (0.748)	2.600 (0.800)	1.800 (0.748)	2.400 (1.200)	3.200 (0.748)	2.200 (0.748)	2.600 (1.020)	2.400 (1.200)
試行2	3.400 (0.490)	2.600 (0.490)	3.600 (0.490)	3.000 (0.632)	2.800 (0.980)	1.800 (0.748)	3.200 (1.327)	3.200 (1.166)	3.600 (0.800)	3.600 (1.356)
試行3	3.600 (0.490)	2.800 (0.400)	3.600 (0.490)	2.800 (0.748)	3.600 (0.490)	2.400 (0.800)	4.000 (0.894)	3.200 (0.748)	3.800 (0.748)	4.000 (0.632)
分散分析結果	F=6.909 F(2,12) p=0.0181(*)	F=4.421 p=0.0509(+)	F=6.323 p=0.0225(*)	F=0.545 p=0.5997(n.s.)	F=5.545 p=0.0308(*)	F=0.545 p=0.5997(n.s.)	F=1.306 p=0.3229(n.s.)	F=2.222 p=0.1708(n.s.)	F=4.276 p=0.0546(+)	F=7.429 p=0.0150(*)
多重比較結果	1<2,3	-	1<2,3	-	1<3	-	-	-	-	1<2,3

(n.s.):有意ではない (+):有意傾向 (\*):有意 p<0.05 (\*\*):有意 p<0.01 (\*\*\*):有意 p<0.005

表 2 ELAN によるタグ付の結果

試行回数	1組目			3組目			5組目			
	Collision	Avoid	Turn	Collision	Avoid	Turn	Collision	Avoid	Turn	
回数	0	3	4	3	0	2	4	1	2	
合計時間	00:00.0	00:07.5	00:59.4	00:09.5	00:00.0	01:09.0	00:18.5	00:02.4	00:44.3	
平均時間	00:00.0	00:02.5	00:14.9	00:03.2	00:00.0	00:34.5	00:04.6	00:02.4	00:22.1	
回数	2	0	3	4	3	3	0	0	3	
合計時間	00:06.6	00:00.0	00:47.3	00:30.9	00:10.1	00:55.0	00:00.0	00:00.0	00:46.1	
平均時間	00:03.3	00:00.0	00:15.8	00:07.7	00:03.4	00:18.3	00:00.0	00:00.0	00:15.4	
回数	2	0	4	6	0	2	0	3	4	
合計時間	00:12.1	00:00.0	00:51.6	00:39.2	00:00.0	00:23.3	00:00.0	00:08.1	00:45.8	
平均時間	00:06.0	00:00.0	00:12.9	00:06.5	00:00.0	00:11.6	00:00.0	00:02.7	00:11.5	
回数	1.33	1.00	3.67	4.33	1.00	2.33	1.33	1.33	3.00	
平均	合計時間	00:06.2	00:02.5	00:52.8	00:26.5	00:03.4	00:49.1	00:06.2	00:03.5	00:45.4
平均	平均時間	00:03.1	00:00.8	00:14.5	00:05.8	00:01.1	00:21.5	00:01.5	00:01.7	00:16.3

## 5.4 結果

本調査実験の結果を、主観評価の分析、ビデオ分析、「マコにて」内部データの分析の3つの観点からまとめた。

### 5.4.1 主観評価の分析

行為者側の各試行に対する質問項目の主観評価の平均値、標準偏差、および分散分析の結果を表 1 に示す。One-Way Repeated-Measures ANOVA を実施した結果、Q1、Q3、Q5、Q10 について試行間で有意な差があることが確認された。また、Ryan の方法による多重比較をおこない試行間の差について調査をおこなった。

自由記述欄については、5組中3組が共有できたと感じる方略について行為者、歩行者が同様の記述をしていることが確認された。共有された方略について以下にまとめる。

- ・ 方略1 (3組目): 歩行者が主導権を得たい時は「マコにて」の視界に入る。
- ・ 方略2 (4組目): 「マコにて」の視界を確認しながら歩く。
- ・ 方略3 (5組目): 反転する際に「マコにて」が歩行者の手を強く引っ張る。

### 5.4.2 ビデオ分析

アノテーションソフト ELAN[5]を用いて調査実験の様子をビデオ分析し、

- ・ どちらかが障害物にぶつかる (Collision)

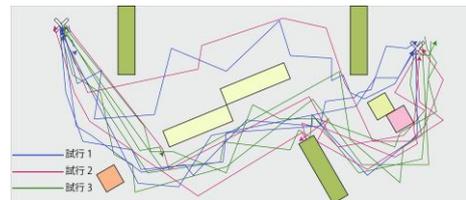


図 8 1組目の歩行経路



図 9 3組目の歩行経路



図 10 5組目の歩行経路

- ・ 歩行者が障害物を跨ぐなどして避ける (Avoid)
  - ・ チェックポイントを通過する (Turn)
- の3項目についてタグ付けを行った。1組目・3組目・5組目のタグ付け結果を表 2 にまとめる。また、「マコにて」の身体配置の時系列変化を、測域センサのデータと鳥瞰的なビデオ映像とを基に求め、フロア図(図 7)上にプロットした。1組目・3組目・5組目について、図 8 から図 10 にまとめる。

### 5.4.3 「マコにて」内部データの分析

「マコにて」の行為の記録、アーム機構の各サーボ情報 (位置・速度・トルク)、アーム座標と測域センサから算出した歩行者と手をつないでいる位置座標の関連を分析する。方略3が確認され、図 10 から経路が一様に定まる傾向が見られた5組目の各試行でのターン時の内部データの変化を図 11 に、方

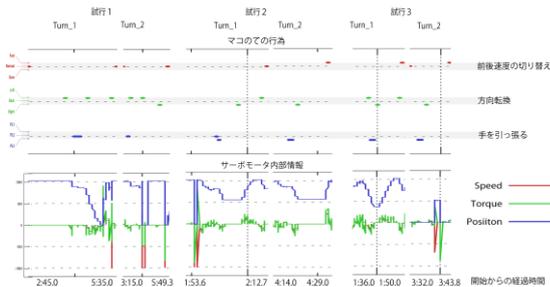


図 11 5 組目のターン時の内部データ変化

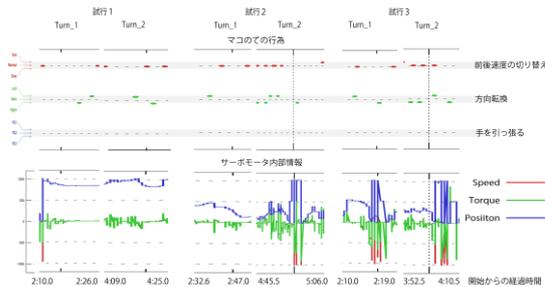


図 12 1 組目のターン時の内部データ変化

略の共有が確認されなかった 1 組目を同様に図 12 に示す。

## 6. 考察

### 6.1 調査実験全体の傾向

表 1 から、行為者は自身の身体の獲得のうち、方向のやりとりについて試行を重ねるにつれ学習し、歩行者に対して調整する要素として利用する傾向がみられた。一方で、行為者側の各試行（試行 1 から試行 3）に対する質問項目では、Q6 について有意な傾向 ( $F=4.421, p=0.0509$ ) がみられるに留まった。このことから、相互に「なり込み」を行う最も有力な要素は必ずしも一致せず、互いの身体の特徴を利用し、相手に「成り込む」方略をとる可能性が示唆された。

### 6.2 被験者ペア間の比較

自由記述から方略の共有が確認されなかった組（1 組目）と方略の共有が確認された組（3 組・5 組）とを比較考察する。

表 2 から、3 組目は衝突数が比較的多く、増加傾向が見られた。また、ターン回数は比較的少なく、増加傾向もみられなかった。このことから、1 組目と比較して相互の調整行為が多くみられたと考えられる。さらに、5 組目は衝突数が減少し、ターン回数は増加しており、1 組目、3 組目と比較し、間身体的な関係が強まっていたと考えられる。図 8, 図 9, 図 10 から 5 組目の歩行経路は 1 組目、3 組目と比較し、一様に定まり、次第に曲がる回数が減り滑らかになっている。このことから、間身体的な関係の形成につれて歩行経路は次第に滑らかなものに変化することが確認された。

### 6.3 方略が形成される過程

図 11 より 5 組目のターン時間は減少傾向にあり、「マコでの」の行為がターン時には手を引っ張るように組織化される様子が観察された。一方で、図 12

より 1 組目では観察されなかった。このことから、間身体的な関係の形成につれ原初的な領域でのやりとりが二者間で組織化されている可能性がある。

## 7. まとめ・今後の展開

本研究では、人とロボットとの「並ぶ関係でのコミュニケーション」について議論するためのプラットフォームとして「マコでの」を構築した。アバターとして行為者が「マコでの」に入り込むことは、「内なる視点」から環境との切り結びのなかで自身の身体の獲得し、それを基盤とした他者への「なり込み」を顕在化する有効な手段であると考えた。原初的な領域に焦点をあて予備的な調査実験を行い、方略の共有とその過程を確認した。今後は、今回の調査で得られた知見を基に「マコでの」からの適応学習モデルへ応用をしていく。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費補助金(基盤研究(B) 21300083)の助成による。

## 参考文献

- [1] 鯨岡峻:『原初的コミュニケーションの諸相』, ミネルヴァ書房 (1997).
- [2] 浜田寿美男:『「私」とは何か—ことばと身体との出会い』, 講談社選書メチエ, 講談社 (1999).
- [3] 村上友樹, 中西英之, 野上大輔, 石黒浩: ロボット操作者が感じる社会的テレプレゼンスの分析. 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, pp.27-34, 2008(79).
- [4] N. Matsumoto, H. Fujii, M. Goan and M. Okada: Minimal Design Strategy for Embodied Communication Agents, in In Proceedings of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN' 05), pp. 335-340 (2005).
- [5] ELAN- Linguistic Annotator, <http://www.lat-mpi.eu/tools/elan>