

# 記憶・認識の不確かさによってマイクロスリップを起こす キャラクタ動作生成手法

谷口 莉帆<sup>1,a)</sup> 三武 裕玄<sup>1</sup> 長谷川 晶一<sup>1</sup>

**概要:** VR ゲームの普及によりキャラクタが身近になってきたため、キャラクタも人間らしい動きをして欲しい。その動作として考えられるマイクロスリップは、状況に応じて様々なので自動生成できると良い。本稿では、いくつかのマイクロスリップを発生するキャラクタの動作自動生成手法を提案する。従来手法にはマイクロスリップを自動で生成する仕組みは無かった。また、マイクロスリップの分類について調べると、多くが記憶を必要とすることがわかった。そこで、記憶の信頼度を用いて確認を適度に怠ることで、目的の動作が生成できると考えた。確認動作は今回生成したいマイクロスリップに必要な視覚と触覚を対象とし、認識することで記憶の信頼度を上下しながら動作を遂行する。この手法の検討のため、複数の動作を生成し被験者に見てもらった。この結果、いくつかの動作では、マイクロスリップを含むキャラクタの意図も伝わった。

## 1. はじめに

### 1.1 背景

近年 VR ゲームが普及してきたことにより、キャラクタがより身近になってきた。これにより、キャラクタに当たった時に無反応だったり、常に同じ方向を見ていると、自分がキャラクタと同じ空間にいない、つまり、自分かキャラクタのどちらかが VR ゲームにいないと考えられる。これにより、VR ゲームへの没入感を損ねたり、キャラクタの存在感がおざなりになってしまう。

また、店舗や公共施設等で活用されている Pepper 等をはじめ、人型ロボットも身近な存在となりつつある。人間らしい会話や動作をすることで、より親しまれながら多くの役割を果たすことができるようになるとの期待から、人型ロボットの動作を人間らしくするための研究がされてきた [1]。

ここでは、人間らしい動きのなかでも、無駄な動きを含む動作に焦点を当てた。人の動作には、わずかな失敗と修正が多数生じる。このような動きの澁みの日常的活動において観察される行為の淀みの現象のことを「マイクロスリップ」という [2]。

インタラクティブな状況で動作するキャラクタやロボット等に、マイクロスリップを行わせるには、状況に応じたマイクロスリップ動作を自動生成する仕組みが必要にな

る。なぜなら、掴みたいコップの位置記憶が少しズレただけでもその動作をその場で修正することが求められる。また、こちらからの呼びかけによって視線の動きを変える必要が出た時にも、元の動作とは違う動作が必要になる。このような動作修正を自動でする必要があるのである。

Reed らはマイクロスリップの分類について以下の四つがあると述べている [3]。

#### 軌道の変化

- 記憶と違う場所にあり、間違った位置へ手を伸ばそうとしてから正しい方へと修正する

#### 手の形の変化

- 余計に手指を動かす（意外と重かったり位置が少しずれていたり）

#### 接触

- 物を見ずに手に取るとき、触ってからじゃないと違う物、位置が違っていると気づかない

#### 躊躇

- ある動作を行うとき、それを躊躇うこと

ここから、多くのマイクロスリップが記憶との関わりによって生じることがわかる。例えば行動対象物体の位置に関する不確実な記憶に基づいて動作して失敗し、感覚により記憶を修正して再行動する、という仕組みでマイクロスリップを自動生成できると考えた。

ゆえに、感覚と記憶に基づく行動生成のモデルにより、マイクロスリップ動作を自動生成できる仕組みの実現を研究目的とする。

<sup>1</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Kanagawa, Japan  
<sup>a)</sup> r.taniguchi@gs.haselab.net

## 1.2 関連研究

ロボットにマイクロスリップを組み込んだ研究としては、[4]が挙げられる。マイクロスリップの重要性を指摘し、ロボットに行わせることで自然さを得ようとしていた。ただ、これも、上に挙げた研究[1]も、マイクロスリップの自動生成はできていない。

今回マイクロスリップを生成するために記憶モデルとして、Marvin Minskyは、期待している感覚が実際の感覚と影響していると言っている[5]。ここでは、期待している感覚として記憶上の位置から予想される感覚を使い、これを実際の感覚と比較する。この二つの感覚情報にズレがあった場合にマイクロスリップを起こすべきだと仮定してみる。

以降、2節では提案手法を述べる。3節で実際に提案手法により生成された動作を評価し、4節でまとめる。

## 2. 提案手法

提案手法の概要を図1にまとめた。実際の感覚を捉える「感覚器」と、記憶上の位置・姿勢からシミュレートされた感覚を捉える「感覚入力推定器」を用意し、この二つからの情報を比較する。「動作生成」は「記憶」に従って行い、「キャラクターの身体」が行動することによって「環境」が更新される。

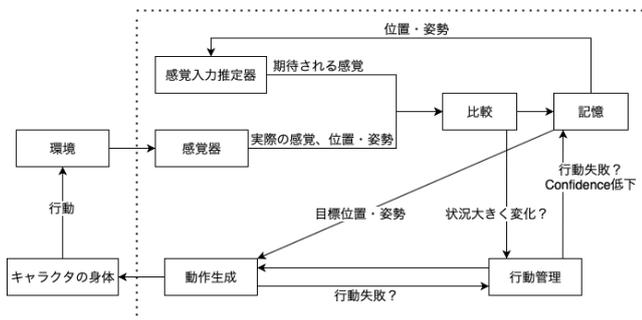


図1 提案手法の全体像

記憶に従ってキャラクターの動作を生成することで、記憶が間違っていれば動作を失敗するようになる。このように失敗した時、または感覚情報の比較によって記憶が間違いに気づいた時には動作を自動でやり直す。ここで、やり直す前に記憶を正すよう、必要に応じて感覚行動も行う。

### 2.1 記憶のモデル

人間が物を操作するとき、物体の位置を目視等の感覚により確認することなく記憶や記憶を元にした推定を頼りに行動する事は多い。感覚による更新が途絶えてから時間が経つほど記憶と現実が異なる可能性は高まり、記憶に従った行動は失敗しやすくなる。

本提案において記憶には2つの役割がある。一つは感覚器から最後に得られた物体の位置・姿勢を保持すること、もう一つはその位置・姿勢がどの程度信頼できるかを表す

信頼度を保持することである。

まず、記憶された位置・姿勢情報を用いて動作を行うことで、記憶が不正確な時に動作を失敗させることができる。

また、信頼度は、記憶の正確さがどの程度保たれているかの度合いを表し、感覚入力があると上昇し、時間経過と共に低下する。また、動作失敗によっても大きく低下する。こうした信頼度付きの位置情報モデルは例えばロボティクスの分野における確率付き空間記憶モデル[6]でも類似の手法が提案されている。

具体的には、時間経過によって毎フレーム信頼度を一定の割合で下げてから、信頼度が低い時は位置情報にランダムノイズを付加した。こうすることで、信頼度が低いと不確かさが増すようになる。

信頼度は、一定の閾値を下回る物体を対象に動作しようとするときは自動的に目視確認動作を挟むために用いる。目視確認を行う閾値が高いとよく確認を行う慎重な性格を表し、逆に閾値の低いキャラクタはあまり目視確認を行わない大雑把な性格を表せると考えられる。

図2に提案モデルで記憶される状況の一例を示す。図中の白い物体は実際の位置、赤い物体が記憶された位置を表す。

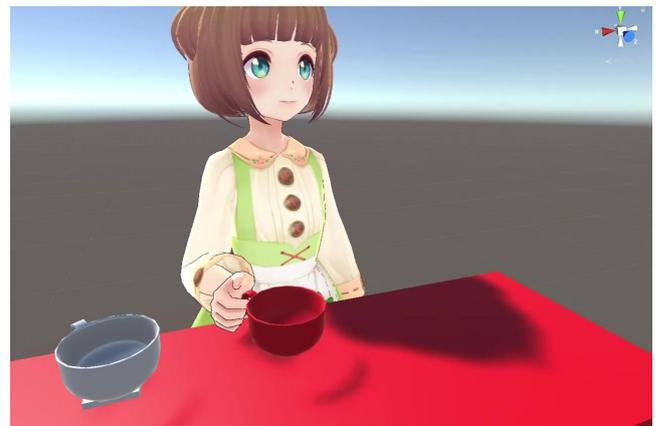


図2 記憶された状況の例

### 2.2 感覚による記憶の更新

今回は最初に再現する動作として視触覚のかかわるマイクロスリップを対象にしたことと、物の器用な操作に深く関わる感覚ということから視覚と触覚の二つによる記憶の更新を考える。

どちらの感覚も、実際の感覚を伝える感覚器と、記憶からシミュレートされた感覚を伝える感覚入力推定器からの情報を比較して、違う時には記憶が間違っていることとなる。この場合に位置姿勢と信頼度を更新する。この更新は感覚の種類と状況に応じて次のように行うこととした。

まず、視覚からは正確な位置が得られるため、視線を対象に向け対象が視界に入れば、記憶の位置姿勢を更新し信

信頼度を上昇させる。ただし、記憶上では見えるはずなのに見えなかった場合には信頼度が下がることになる。

次に触覚は、視覚ほど正確な位置が分かるわけではない。一方で、記憶上と実際に触覚の有無と対象が一致しない場合、どう異なっていたかに応じて信頼度が低下する。

以上から、感覚と時間経過による信頼度を含めた記憶の更新の処理を下にまとめる。

- 視覚
  - 視界に入れば位置と向きは正しく更新でき、信頼度も上がる
  - 記憶では見えるはずなのに見えない場合は、位置のズレが大きい場合のみ信頼度を下げる
- 触覚
  - 体のどの部分で触れたかに違いが出ている場合は位置と向きを更新する
  - 記憶では触れるはずなのに触れない場合は、視覚と同様、ズレが大きい場合のみ信頼度を下げる
  - 記憶では触れないはずなのに触れた場合は信頼度が下がる
- 時間経過
  - 毎フレーム信頼度を一定の割合で下げる
  - 信頼度に応じて位置記憶に少し誤差を乗せる

## 2.3 動作による記憶の更新

マイクロスリップでは動作の失敗を判断する必要がある。掴むのに成功したかどうかや、掴んでいる物の位置などは、実際の人間であれば触覚によって把握する。一方で、本提案では後で述べる Controller が判断する。その上で、把持できていれば視認できているときと同様に記憶の位置情報を更新する。掴んでいる場合は、その掴まれた物の位置や向きは大体正確にわかるため、視界に入っている時と同じように記憶を更新して良い。

ここで、掴み損なったなどの行動失敗によっては信頼度を下げることに繋がると考えられる。このような動作の失敗は他にも、手を伸ばしても期待した位置に届かないということが挙げられる。しかしこの場合には、何かの信頼度を下げるより、体をそちらへ動かすという行動が考えられる。今回は、体の位置は固定してあるため、手が届かなければ失敗ということとし、それ以降のことは考えないものとする。

以上から、行動の成功/失敗による信頼度を含めた記憶の更新の処理について下にまとめる。

- 掴む
  - 掴まれている場合は、位置と向きは正しく更新でき、信頼度も上がる
  - 掴むのに失敗したら、掴む対象の信頼度が下がる
- 手のある方向へ伸ばす
  - 目標位置へ到達すれば次の動作へ移れる

– 目標位置へ到達しなければ、失敗となり、修正動作に入る

行動を実行する時には、動作に失敗していないか、依拠する記憶は信頼度が低くないか、を監視し続け、失敗や記憶の変化があった時に感覚行動や行動の再実行を行う。この仕組みを以降では行動管理と呼ぶ。

## 2.4 動作の再開地点の設定

予定外の接触や、信頼度の低下によって修正動作に入る際、最初の動きから再開するのは不自然である。一方で、動作のどの段階から再開するべきかは動作によって異なると考えられる。

本研究では動作を躍度最小軌道による小さな到達運動の重ね合わせで実現する V Gent[7] を用いる。その上で、動作の構成要素である到達運動のうちどの到達運動から再開するかを動作ごとにあらかじめ決めておくこととする。

## 2.5 行動管理

行動管理は信頼度や予想外の接触などから次の行動を決定する。そのため、到達運動列も行動管理に入れておく。例として、ティーカップ手に取って飲む動作を構成する到達運動列を以下に示す。

- (1) 直立不動の姿勢をとる
- (2) テーブルの上まで手を上げる
- (3) カップに手を近づける
- (4) カップを掴む
- (5) カップを持ち上げる

行動管理は到達運動の実行を Controller に指示する。Controller は指示された到達運動を行い、終了したら行動管理に伝える。

しかし、“手を目標の位置まで伸ばす”や、“何かを掴む”という動作は、失敗する可能性がある。そのため、それぞれ別の Controller を用意する。手を目標の位置まで到達するときを使う Controller は、与えられた方向へ手を動かし、目標に到達すれば成功を返す。ここで、手を伸ばしきっても到達できない場合は失敗を返す。掴むのに使う Controller は、掴む動作の後、取っ手から近いのか、かつ、物体の掴みやすさに応じてランダムに掴むのに成功したかを判断し、結果を返す。

## 2.6 動作生成

提案手法では、記憶された位置に応じて動作を連続的に変化させたり、動作の失敗時等に動作を任意の時点で中断して異なる動作を挟んだりする必要がある。このことから、躍度最小軌道の重ね合わせと IK を用いて滑らかな手先到達運動を生成できる V Gent[7] を用いた。

また、掴む動作については指の動作制御による実現は容易ではなかったため、簡易的に手と物体をバネで結合する

ことにより代替した。

### 3. 評価

#### 3.1 目的

提案手法によって生成された視線、体の動きで表現されたマイクロスリップが作成者の意図通りであり、それが他人にも伝わるかを評価する。

ここで、作成者の意図と同じ意見が多数の人から得られれば、それは伝わったということになる。逆に、多数の人の意見が類似していても、それが作成者の意図と全く異なるなら、それは伝わりづらいか、作成者の意図が間違っているということになる。多数の人の意見が割れた場合にも同様に伝わらなかったと考えられる。ここでは、なるべくそうならないよう一般的な動作を見てもらうこととする。

それとは別に、似たような動作をした、または見たことがあると思われれば、人間らしいということに繋がるのでなお良い。

#### 3.2 方法

##### 3.2.1 作成した動作

今回は、目的に合わせて以下の7つの動作を作成した。

- (1) ティーカップの位置を確認してから手を伸ばして取る  
カメラとは別の方に注意を向けた状態で、直立不動の姿勢から机の上のティーカップを取る。始め、ティーカップの信頼度を低く設定し、位置は隣に置かれたマグカップの位置に間違えて記憶している。この場合、ティーカップを最初から見て動作を行うので、手を伸ばす先を間違えない。
- (2) ティーカップと間違えて隣のマグカップに手を伸ばす  
したいことと始めの記憶上の位置は1と同じ。始めのティーカップの信頼度を高く設定する。こうすることで、確認作業を怠り、間違えてマグカップの方へ手を伸ばす。触れてから持ちたい物と違うことに気づき、一度手を引いて確認する。それから、ティーカップの方へと手を伸ばし直す。  
1と2によって、信頼度による動作の違いを意図通りに表現できるか確認する。また、2では、マイクロスリップの「接触」を表せる。
- (3) 上方の棚に手を伸ばすが、途中で机にぶつかる  
この動作は、机の記憶が少し奥の方にズレているために起こる。途中で手が机にぶつかり手を引いて机の位置を少し確認する作業が入る。机の方を確認した後、上方へ手を伸ばし直す。ここでは、予想外の衝突から修正動作を自然に行っているかを確認する。  
予備実験において、この動作は棚が無い状態で上方に手を伸ばすという動作であったが、なぜ手を挙げたのかわからず、キャラクターの意図が掴めないという意見が得られた。そのため、上方向に棚のような直方

体の物を用意して、そちらへ注意を向けながら手を伸ばしているようにした。

- (4) カード状の物を取ろうとするが、何度も掴み損ねる  
カメラとは別の方に注意を向けながら、カード上の掴みにくい物を取ろうとする。ここでは、掴みやすさの値を低くすることで何度も掴み直すという動作が自然に行えているか確認する。この動作ではマイクロスリップの「手の形の変化」を表現できる。
  - (5) カード状の物を取る際、前方に注意しながら間違えた方に手を伸ばす  
カメラとは別の方を注意した状態で、直立不動の状態から机の上のカードを取る。カードの位置を間違えた位置に記憶しているが、信頼度が高いので、2と同様確認せずに間違えた方へ手を伸ばす。机に当たってカードが無いことに気づき、カードの位置を確認する。今回は、薄い物を取る時によく見かける、机の端まで引きずってから掴むという動作によってカードを取る。
  - (6) 動作は5と同じ。カメラの方に注視しながら  
5で注意している方にカメラを置いた。今回の動作で初めてカメラ目線になるが、視線を含めた動作の見方に変化があるのか確かめる。
  - (7) 動作は5と同じ。どこにも注視しない  
5で注意している物を無くす。これによって、確認後もカードの方を見続ける。これに対して違和感を感じるかどうか確かめる。
- ##### 3.2.2 被験者による評価実験
- 上で作成した動作を、手と目線が常に見える位置にカメラを固定して撮影する。録画した動画を被験者と一緒に見ながら、その場で以下のことを中心に説明してもらう。
- キャラクターが何をしたいか
  - キャラクターが何を知っているか
  - キャラクターが何に気づいたか
- 動画は必要に応じて何回見てもよいことにするが、初見でわかったことはなるべく話してもらうようにした。
- ### 3.3 実験結果
- 成人の男女9名が実験に参加した。得られた意見は以下ようになった。
- (1) ティーカップの位置を確認してから手を伸ばして取る  
カップを持ちたいという意見は全員から得られ、何か飲みたいという意見も複数得られた。知っていることはカップの位置という意見と特にないという意見が半数程度ずつ得られた。  
目線が前方にあるので、テレビを見てるか誰かと話しているという意見が得られた。しかし、前方を向きすぎて違和感があるという人も数人いた。
  - (2) ティーカップと間違えて隣のマグカップに手を伸ばす  
マグカップではなくティーカップを持ちたいのだと

いう意見が全員から得られた。1よりわかりやすいという意見もあり、始めに手を伸ばした所にあったマグカップが目的の物でないことに気づいたという意見も多く得られた。一方、気づいたことは位置ではなくマグカップが熱いことという意見も複数あった。

(3) 上方の棚に手を伸ばすが、途中で机にぶつかる

上にある物体が棚だとわからない人も複数いたが、棚の方へ手を伸ばしたかったという意見は多数得られた。手が途中で止まって視線が下方へ行ったことから、下が気になったことは全ての人が気づいた。しかし、手が机に当たったからだと思う人は初見ではいなかった。複数回見た後でも、数人しかそう思わなかった。他の理由を挙げる人もいたが、それと同数程度が何も推測できなかった。

(4) カード状の物を取ろうとするが、何度も掴み損ねる

カード状の物を取ろうとしていることは全ての人に伝わった。それが何か知っていたという意見がほとんどだったが、手でまさぐっているように見えたので知らないと考えた人もいた。半数以上からカードが取りづらいという意見が得られた。また、カードの位置が少しだけ想定と違っていただけと答えた人も複数いた。また、目線がずっと前方にある、質問に答えるのが難しいという意見も複数得られた。

(5) カード状の物を取る際、前方に注意しながら間違えた方に手を伸ばす

手を出すところを間違えた後、目で見て確認して取っているという回答は全員から得られた。机の上に取りたい物があることを知っているという意見も複数あった。4で難しいと感じた人を中心に4よりわかりやすい、よくやるという意見が得られた。一方、掴む時にすでに掴む物から前方へ目が移っているため違和感が強いという意見が複数あった。失敗した時にすぐに手元を見たことから4より手元を注意しているという意見も得られた。

(6) 動作は上と同じ。カメラの方に注視しながら

5と変わらないという意見が複数得られた。初見では、5よりもカードの方を見ていると答えた人と、逆に5の方がカードを見ていると答えた人が数人ずついた。この際、掴み損なう動作を見落とす人や、6の方が早くカードを取れたという人もいた。複数回見た後には5、6ともカードを見ていることに全員が気づいた。また、注目する方向については、カメラ目線だと答える人、方向が変わったと答える人で割れた。

(7) 動作は上と同じ。どこにも注視しない

目で見て位置を確認しているという意見をほとんどの人が言っていた。その上で、カードを持ち上げた後もずっとカードを見ているので、何か得体の知れない物を手に取った、あるいはカードの裏側を知らない、

携帯を見ているというようにカードの裏面を見たいという意見が半数以上から得られた。

全体を通しては、ストーリーを語る人も半数近くいた。一方、持ち上げ方や、ずっと無表情でいるところに違和感を持ったという意見が複数人から得られた。質問の意図が分かりづらい、疲れるという意見が多く、さらに、動画が短くて情報を集めきれないという意見も複数あった。

### 3.4 考察

#### 3.4.1 動作についての考察

キャラクタが何をしたかったのかは全ての動作で多数に伝わった。しかし、マイクロスリップが何を意味しているのか分からなかった人には、奇妙な動作として映ることもあった。

動作2では、手を引く動作が速すぎて、マグカップが熱かったための条件反射だと感じる人がいたと考えられる。これは、手を引く動作を遅めれば、より期待していた意味を伝えられたと思う。

動作5、6はカメラの位置以外は同じ動作であるが、動作6では始めの掴み損なう動作を見落とすという意見が得られた。これは、動作6で始めてカメラ目線になったことで、手よりも目に注意が行ったからだと考えられる。どちらの方が目線がカードへ向かっていたかでも意見が割れたのは、動作6では目線を見たが、動作5での記憶が曖昧なためだと考えられる。

また、目線について、前に注意しすぎていて不自然という意見がしばしば見られた。その中の多くは、前方に人がいたり、テレビがあるのではないかと想像していた。後でも述べるが、キャラクタがどこに注目するかを説明しておくべきだったかもしれない。一方、持つときは一番目線が対象へ向いているのが自然だが、目線が対象からそうっていないかったという意見もあった。これについては、動作を行える基準となる信頼度の値を動作に応じて分けるなどの改善策が考えられる。

#### 3.4.2 実験内容についての考察

動作1の後、連続で確認しないで失敗する動作が続いたため、キャラクタに対してイライラする人がいた。また、動作1はキャラクタが何を知っていたか、何に気づいたかを答えられる人が少なかったことから、他の動作より難しかったと考えられる。以上から、動作を見せる順番として、最初に動作1を見せたのは良くなかった。動作2は答えやすいと感じる人が多かったことから、動作1と動作2の順番を入れ替えて見せるべきだったと考えられる。

動作1以外でも、キャラクタが何を知っているのかという質問は意図がわかりにくく答えづらいという声が多かった。他の二つの質問に関しては全ての動画で大体の人が意図を理解して答えてくれていた。また、質問に答えるというより、自由に説明する人が少なからずいた。これらのこ

とから、あまり質問で縛らない方が、より広く意見を拾えたと考えられる。そのため、三つの質問をするよりも、“キャラクタが何をしたいくて途中何に気づいたかなど、なるべく詳しく説明してください”と言って答えに幅を持たせるべきだった。

この実験では、短い動画の中でキャラクタの視線や手元、配置された物から状況を推測し、キャラクタの行動を理解する必要がある。しかし、配置されている物は簡略化しており、ぱっと見では何かわからないという意見もある。そのため、この実験は大変だった、疲れる、難しいという意見も多く見られた。また、質問とは別に、ストーリーを話す人がいた。これは、今回の動作の前後について考えていたためである。このように、今回の動作単体で見るとは実際には考えにくいので、動作を始める前に状況を説明する時間が必要だった。これにより、動作についてより集中してもらえただろう。ここで、余計な先入観を持たせると誘導質問のようになりかねないので、配置されている物が何か、何に注目しているのか程度に説明を抑える。

#### 4. 結論

本稿では、キャラクタが指定された動作の中に自然にマイクロスリップを入れるため、記憶上の位置と向き、そして、記憶の信頼度を用いた。これにより、確認作業を行うかどうか決め、確認作業を怠るか、認識不足によって動作の失敗を起こす。この動作の失敗を判定するには、キャラクタの視覚と触覚の記憶上のズレを用いた。

これによって、記憶上の位置のズレに応じたマイクロスリップは動作作成者の意図通りに表現でき、他の人にも伝わった。一方、手を上げるときに手が机に当たったという意図の動作では、机にぶつかったことがあまり伝わらなかった。これは、予想外の衝突に対し、一律に同じ場所に手を引くとしたことが原因だと考えられる。この場合、当たった位置、物によって軌道を修正する必要がある。また、掴みにくい物を何度も掴み直す動作もあまり自然とは感じられなかった。これについては、連続の失敗に対して上限を設けることで解決できる。

#### 参考文献

- [1] 高橋 智隆, “ロボットデザインの概念と実施例”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.8, pp.966-969, 2004
- [2] 黄瀬 直哉, “マイクロスリップに関する研究の動向”, Journal of Ecological Psychology, Vol.8, No.1, 49-61, 2015
- [3] Edward S. Reed, Carolyn F. Palmer, Denise Schoenherr, “On the Nature and Significance of Microslips in Everyday Activities”, Journal of Ecological Psychology, Vol.4, No. 1, 51-66, 2009
- [4] 石黒 浩, 平田 オリザ, “ロボット演劇”, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.1, pp.35-38, 2011
- [5] Marvin Minsky, “心の社会”, 産業図書出版, 1990, (邦訳: 安西 祐一郎)
- [6] 稲邑 哲也, 園田 朋之, 川路 友博, 稲葉 雅幸, “確率的空間

- 記憶モデルに基づく人間ロボット間の協調的タスク遂行システム”, The 20th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2006
- [7] 佐藤裕仁, 三武裕玄, 杉森健, 長谷川晶一, “操作部位と空間目標点を動作表現として用いたインタラクティブキャラクタの動作生成”, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019