

手遊びや影絵に基づく操作が可能なロボットの組み立てプラットフォームとその実演・評価

辻 天斗^{1,a)} 牛田 啓太^{1,b)} 陳 キュウ^{1,c)}

概要: 本稿では、手遊びや影絵に基づくハンドジェスチャでロボットのリアルタイム操作を行うプラットフォームを提案する。手指の動きをセンサで計測し、それをロボットの動きに反映させる。ロボットはユーザがブロックを使って組み立てることができる。ロボットを操作するために、ロボットの関節に手指の動かし方を示すためのブロックを接続し、マウス・トラックパッドでロボットと手指の関節可動範囲を対応づける。イベントで体験会・ワークショップを実施し、ロボットの操作は200名以上が体験し、ロボットの組み立てと操作には19名が参加した。これにより、提案手法が直感性のある操作であること、リアルタイムに操作できるロボットを子供でもデザインできることを確認した。

1. はじめに

ロボットが個人で所有^{*1*}できるほど身近になり、ロボットをユーザ自身で組み立て、動きを与えるためにプログラミングを行うキットも登場した^{*3*}。これらはコントローラを利用してロボットを操作することも可能である。しかし、コントローラでは動き自体を任意に操作できず表現性が損なわれるという問題が指摘されている [1]。これに対し本稿では、ユーザが組み立てたロボットの動きをリアルタイムにかつ任意に操作できるようにする。このとき創作物を操作するため、さまざまな形状を操作できる必要がある。

操作情報を取得するため、体の動きをモーションキャプチャで取得する手法が提案されている。その中に体全体の動きを転写するもの [2] があるが、これは任意に動きを操作できるもの的大掛かりである。一方で手の動きでロボットを操作する手法 [3] は、手にグローブを装着しなければならない、手指と動きの対応づけにメタファがないなどわかりやすいとは言えない。一方で、文献 [3] では子供でもロボットを簡単に組み立てられるように、プログラミングや電子工作を必要としないこの考えは提案手法でも取り入れることにした。

以上をまとめて、ロボット組み立てプラットフォームと

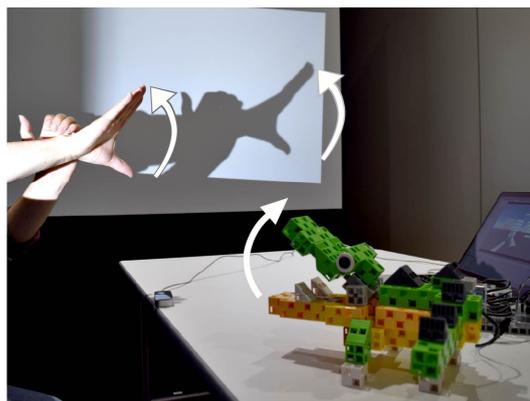


図 1: 実装システムでワニのロボットを操作

して次のような特徴を持つことが望ましいと考えた。

- (1) コントローラよりも複雑な動きを再現できる
- (2) さまざまな形状のロボットを操作できる
- (3) 手にグローブなどをつけずに手軽に操作できる
- (4) 操作方法がメタファを持ち、子供でもロボットを簡単に操作できる
- (5) プログラミングや電子工作などを必要とせずに子供でも簡単にロボットを組み立てられる

そこで筆者らは、手遊びや影絵に基づく操作が可能なロボット組み立てプラットフォームを実装 (図 1) し、ロボット操作の実演・展示を実施した。これには200名以上が参加した。さらに参加者自身がロボットの組み立ても行うワークショップを実施し、19名が参加した。これらの実演で子供が動くものを簡単にかつ意欲的に作り出すことを確認できれば、ロボットなどを利用したプログラミング教育への足がかりとしての役割を期待できる。

¹ 工学院大学

a) cm17032@ns.kogakuin.ac.jp

b) ushida@cc.kogakuin.ac.jp

c) chen@cc.kogakuin.ac.jp

*1 RoBoHoN, <https://robohon.com/>

*2 aibo, <https://aibo.sony.jp/>

*3 KOOV, <https://www.koov.io/>

*4 Artec ROBO, <https://www.artec-kk.co.jp/artecrobo/>

2. 関連研究

2.1 仮想空間内におけるオブジェクトの操作手法

ロボットではなくコンピュータ内の画像や3Dモデルに直接動きを与える手法もある [4,5]. 形状を持つものを動かす点で共通点も多いが、提案手法は手を用いる点で異なる。

手の動きを利用する手法として、Polyak はグローブをつけて人型の3Dモデルを操作した [6]. また糸操り人形^{*5}の要領で操作する Marionette Zoo^{*6}がある。提案手法は手にセンサをつけず、手自体をロボットに見立てる。

Oshita はタッチパネルやユーザの手や腕の動きで人型モデルを操作する手法 [1,7] を提案した。Leite らも手の動きで人型モデルの顔や体の動きを操作した [8]. 手で人型モデルに直接動きを与えるこれらに対し、筆者らはさまざまな形状に適用可能な手法を提案した [9]. 本稿ではこれをロボットにも適用する。

2.2 ロボットの操作手法

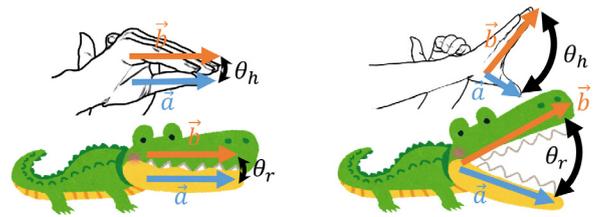
モーションキャプチャで体全体の動きをロボットに転写 [2,10] したり、ロボットアームを人の声(母音・高さ)やタッチパネルで操作 [11,12] する手法がある。Cao らはロボットをMR技術で組み立てたり操作したりできるようにした [13]. Guo らはぬいぐるみをロボットに見立て、ぬいぐるみの位置とロボットを連動させた [14]. これらに対し提案手法は手の動きでさまざまな形のロボットを操作する。

2.3 影を用いたインタラクション

手遊びや影絵を取り込み、演出を加えるアート作品や研究も存在する [15–18]. Chita らは手の影をモチーフにした家電の操作方法を提案した [19]. 提案手法では影絵の動きを拡張する(ロボットを操作する)だけでなく、ユーザの創作物に適用できる。また、プログラミングなしで手指の動きによる操作を変更できる。

2.4 ハンドジェスチャを用いるインタフェース

Liang らはジェスチャを識別し、対応するアニメーションを再生することで3Dモデルの動きを操作した [20]. また、ハンドジェスチャを識別してさまざまなアプリケーションを操作するものもある [21–25]. これらは手の動きをいくつかのジェスチャに識別し、対応する反応を行うものである。提案手法はジェスチャの識別はせず、手遊びや影絵に基づく手の姿勢をそのままロボットの姿勢として反映させるため、より直接的で表現力の高いインタラクションになる。



(a) 口を閉じる

(b) 口を開ける

図 2: 手の動きをロボットに伝える仕組み

2.5 STEM 教育

組み立てたロボットを動かすためにビジュアルプログラミングを行う製品がある^{*3*4*7}. ぬいぐるみを動かすデバイス [26] やウェアラブルな工作キット [27], ロボット自体をフィギュアのように動かし再生するもの [28] など、簡便に動くものを作る試みが多く存在する。Seeha らはグローブを着けてユーザが組み立てたロボットを手の動きで動くようにした [3]. これらに対して提案手法は手遊びや影絵に基づくことで、組み立てたロボットを第三者でも直感的に操作できる利点がある。

3. 手遊びや影絵のハンドジェスチャ

3.1 特徴を満たす操作手法

ここでは1節で述べた提案手法の特徴をいかに満たすかを考える。特徴(1)について、例で示す。図2上段は、ワニの影絵である [29]. これにおいて親指を曲げるとワニロボットの口が閉じ、伸ばすと口が開くようにする。これによりユーザは手がワニになったかのような感覚で操作できる。また人間の手は特に器用に動くことも考えると、ロボットをわかりやすく表現力豊かに操作できると考える。

特徴(2)について、手遊びや影絵は多種多様 [29] で、提案手法で操作できるロボットの形状にはさまざまなものが考えられる。ユーザは自由にロボットを組み立てて操作できる。

特徴(3)については体の動きではなく手の動きを利用することとした。体の動きを用いた場合には広い空間が必要であるが、手の動きであれば小さな空間でもよい。また Leap Motion を用いるので手にマーカをつける必要はない。

特徴(4)については、操作方法が手遊びや影絵に基づくという喩えの表現になっている。手遊びや影絵の経験に基づいて、ユーザは自ら操作方法を見つけられることを期待する。

以上から、提案手法は(1), (2), (3), (4)の特徴を持つと考える。特徴(5)については3.2節で述べる。

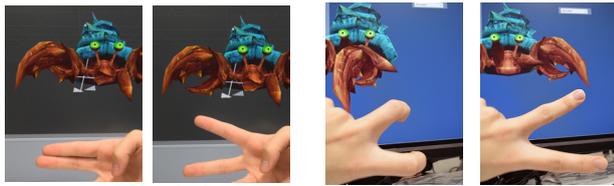
3.2 手指の動きをロボットに伝える仕組み

提案手法ではロボットとユーザの手指の動きを対応づけ

^{*5} <http://youkiza.jp/about/rekishi.html>

^{*6} <https://lm-s-apps-amnesia.leapmotion.com/apps/marionette-zoo/osx>

^{*7} LEGO MINDSTORMS, <https://www.lego.com/ja-jp/mindstorms>



(a) 内転外転でハサミの開閉 (b) 屈曲伸展でハサミの向き

図 3: カニのハサミの動きと手指を曲げる向き

て操作する。手や腕の2つの骨をベクトル(\vec{a} および \vec{b})とみなし、そのなす角 θ_h を抽出する。図2の例では、ワニの顎関節(θ_r)に親指末節骨(\vec{a})と人差し指末節骨(\vec{b})を紐づけた。次にロボット側と手指側の関節可動範囲も対応づける。図2では口を閉じたときの手指側の角を θ_{hc} 、ロボット側を θ_{rc} とし、開けたときはそれぞれ θ_{ho} 、 θ_{ro} とする。ロボットの関節角 θ_r を θ_h の一次関数で対応づける。

$$\theta_r = \frac{\theta_{rc} - \theta_{ro}}{\theta_{hc} - \theta_{ho}}(\theta_h - \theta_{ho}) + \theta_{ro} \quad (1)$$

以上より、ロボットの1関節に対して \vec{a} と \vec{b} に対応する手の骨を指定し、可動範囲(θ_{ho} 、 θ_{hc} 、および θ_{ro} 、 θ_{rc})を対応づければ、手の動きをロボットに伝えられる。

操作の自由度を高め、動きを適切に反映させるために手指の角は大きさだけでなく向きも考慮する。たとえばカニのハサミ(図3; CGの操作で示す)では人差し指と中指でハサミの開閉と向きの2つの動きが考えられる。内転外転方向と屈曲伸展方向の角度をそれぞれハサミの開閉と向きとして分け、別々にロボットに伝えることになる。この仕組みを用いるためロボットの関節には手指の骨だけでなく動かす方向も対応づける。

これらの対応づけはロボットの形状によって異なる。したがって、ユーザはロボットを組み立てたあと、ロボットの関節に手の2つの骨とその動く方向を対応付ける。本稿では1節で述べた特徴(5)のためにロボットの関節に設定を表すブロックを取り付けてこれを行う。

4. 実装

組み立てたロボットを提案手法で操作できるプラットフォームを実装した。ロボットはアーテックロボのブロックとマイコン(Studuino)、サーボモータを利用して組み立てる。プラットフォームはUnityとLeap MotionがサポートするWindowsとmacOSで動作する。開発環境は下記の通りである。

- macOS 10.12.6
- Unity 2017.2.0f3(C# 6.0, .NET 4.6)
- Leap Motion (SDK v2.3)
- アーテックロボ アドバンス

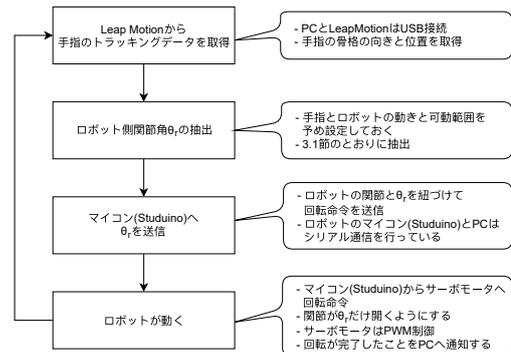
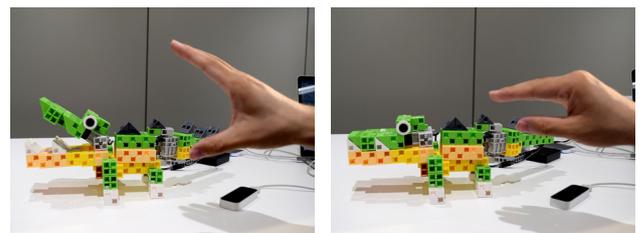
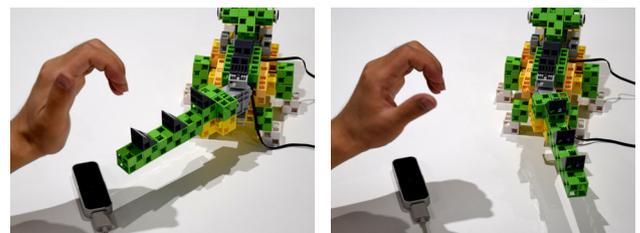


図 4: 操作時のフローチャート



(a) 口を開く

(b) 口を閉じる



(c) 尻尾を左に振る

(d) 尻尾を右に振る

図 5: ワニのロボットの動作

4.1 手指の動きをロボットに伝える仕組み

操作時のプラットフォームのフローチャートを図4に示す。操作時、システムはまず手の動きをLeap Motionで計測する。これよりPCで3.2節のとおりロボットの関節角(θ_r)を計算する。これをロボットのマイコンへ伝え、関節が θ_r だけ開くようにそのサーボモータを制御する。以上を繰り返しリアルタイムに動きを反映させる。

4.2 動くロボットを組み立てる

実装したプラットフォームでは、次の工程でロボットを組み立てて操作できるようにする。

- (1) ロボットを組み立てる
- (2) ロボットと手指の動きを対応づける
- (3) ロボットと手指の可動範囲を対応づける

ワニのロボットを例に説明する。これはその影絵に基づき、口の開閉と尻尾を左右に振る動作ができるものとする。右手の親指を伸ばして口を開き、曲げて口を閉じる(図5(a), (b))。左手の親指の曲げ伸ばしで尻尾を左右に動かせる(図5(c), (d))。



(a) 顎関節 (b) 尻尾

図 6: ワニロボットの関節部に取り付けたサーボモータ

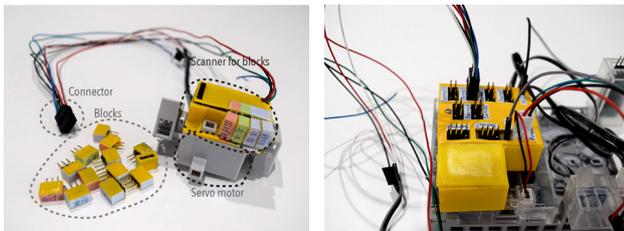


図 7: 手指ブロックを取り付けたサーボモータ

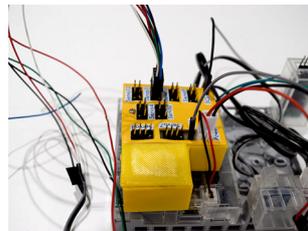


図 8: Stduino の変換デバイス取り付け例

4.2.1 ロボットの組み立て

ワニをブロックで形作ったあと、動かしたい部分で分ける。口の開閉は上顎を動かして再現し、尻尾も振れるように、上顎・胴体(下顎はブロックで接続しておく)・尻尾に分ける。これらをサーボモータを介して接続する(図 6)。

4.2.2 ロボットと手指の動きの対応づけ

組み立てたロボットと手指の動きを対応づける。組み立て時に加え、ここでも手遊びや影絵に基づくことで直感性のある操作が可能になる。対応づけはサーボモータに装着したスキャナ(図 7)に手指の動かし方を示すブロックを接続して行う。このやり方は、動く部位であるサーボモータそのものに、それがいかにしたら動くかを直接的に設定している。ブロックは 3 色あり青色には手指の部位(どの指の末節骨か、手首、腕)、緑色には右手・左手、赤色に屈曲伸張・外転内転(それぞれ「曲げる」「広げる」と表記)がある。ブロックは同じ色のコネクタに接続する。ワニの顎の場合は、顎関節のスキャナに「曲げる」「右手」「親指」「手首」のブロックを接続する。尻尾には「曲げる」「左手」「親指」「手首」を用いる。関節パーツのコネクタを Stduino へと変換基板を通して接続する(図 8)。

図 7 中のスキャナは Arduino Pro Mini を内蔵する。接続されたブロックの電圧 V_{ax} を測定し、Stduino がブロックを識別して PC に伝える(図 9)。ブロック内部回路(図 10)は Arduino の 3.3 V, GND 端子およびアナログ入力端子(V_{ax})に接続されている。ブロックは種類ごとに固有の抵抗比を持つので、 V_{ax} によりブロックを識別できる。変換デバイスは関節パーツと Stduino の接続の仲介やスキャナへの電力の供給を担う。

4.2.3 可動範囲の対応づけ

最後に手指とロボットの可動範囲を対応づける。関節

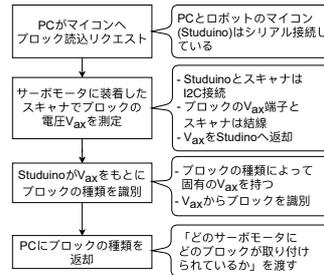


図 9: ブロックの読み取り

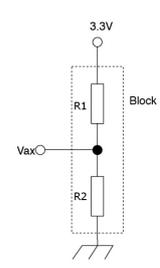


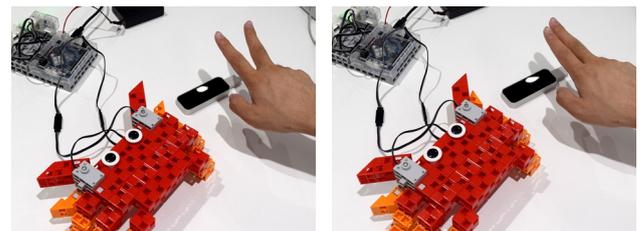
図 10: ブロック内部回路



図 11: 対応づけホーム画面



図 12: 可動範囲の設定



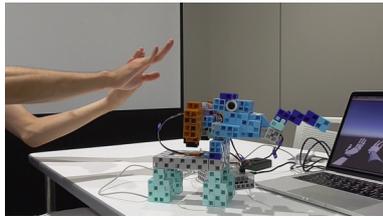
(a) ハサミを開く (b) ハサミを閉じる

図 13: カニのロボットの動作

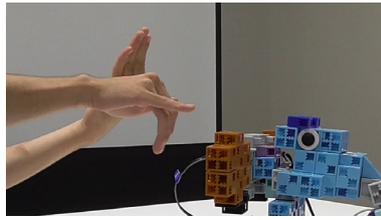
パーツとブロックの情報を PC で読み込むと、接続されたサーボモータのボタンが有効になる(図 11)。ボタンを押すとブロックで対応づけた手指の動きが表示される(図 12 は顎関節の設定画面)。この画面で手指の動きの変更と可動範囲の対応づけができる。ロボット側はスライダを動かして設定する。スライダに従ってロボットが動き、それを実際に見て設定できる。ここではワニの顎関節を開けたとき(上段, θ_{ro})を 73° 、閉じたとき(下段, θ_{rc})を 0° としている。それぞれに対応した手の姿勢を計測して手指側 θ_{ho} 、 θ_{hc} を設定する。尻尾も同様に設定する。

4.3 ロボットの作例および動作例

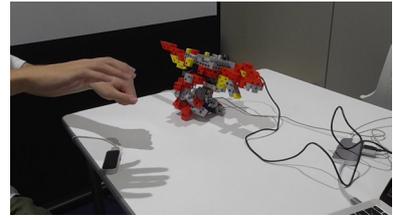
ワニロボットは図 5 の動きで囁みつかせたり尻尾を振ったりできる。カニでは人差し指と中指を開いたり閉じたりしてハサミの開閉をする(図 13)。右手で右ハサミを、左手で左ハサミを動かす。右ハサミの関節には「広げる」「右手」「中指」「人差し指」のブロックを接続している。ゾウは耳と鼻、頭が動く(図 14)。右手中指の曲げ伸ばしで鼻を



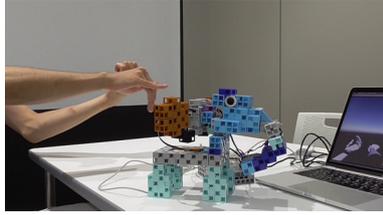
(a) 鼻を上伸ばす



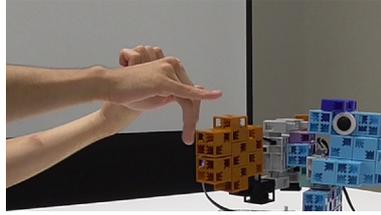
(c) 右耳を前に動かす



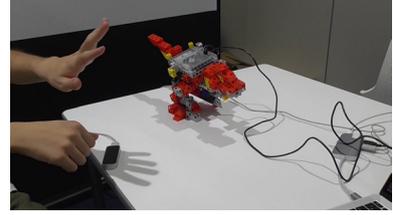
(a) 左足のみで立つ



(b) 鼻を下ろす



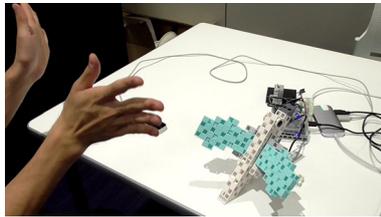
(d) 右耳を後ろに動かす



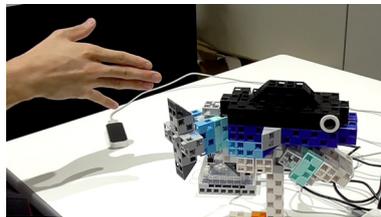
(b) 右足のみで立つ

図 14: ゾウのロボットの動作

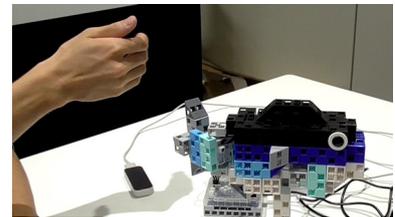
図 15: 恐竜のロボットの動作



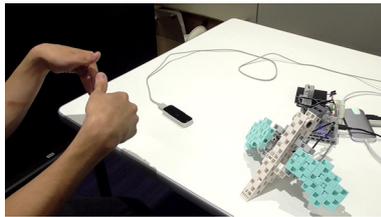
(a) 両羽を広げる



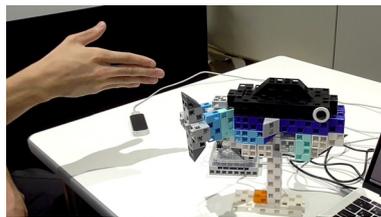
(a) 口を開ける



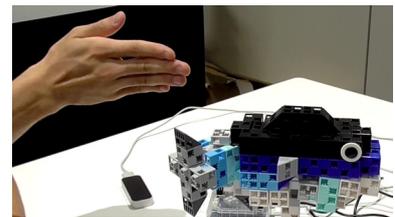
(c) 尾びれを左に振る



(b) 両羽を振り下ろす



(b) 口を閉じる



(d) 尾びれを右に振る

図 16: 鳥のロボットの動作

図 17: 魚のロボットの動作

上下に振ることができる。右手首を屈曲伸展させて頭を上下に動かせる。左手では人差し指・中指・薬指・小指を曲げ伸ばしすると右耳が、親指で左耳が前後に動く。恐竜は左手を広げ右手を握ると右足に重心が移り、右手を広げ左手を握ると左足に重心が移る足踏みができる(図 15)。鳥は羽が動く(図 16)。手を握ると羽を下ろし、手を開くと羽を上げる。右手で右羽を、左手で左羽を動かす。魚は右手で尾びれが横に動き、口が開閉する(図 17)。手首から中指にかけて屈曲・伸展させることで尾びれを動かせる。右手の小指と薬指を開いたり閉じたりして口を開閉させる。

5. ロボットの操作の体験展示とその評価

工学院大学八王子キャンパスで開催された「第 25 回科学教室」(2018/8/25-26)でロボットを操作する実演展示を行った。参加者はこのイベントに来場した一般の方である。

5.1 展示・実験の概要と手順

1 日目はワニ(図 5)と、カニ(図 13)とゾウ(図 14)のロボットを操作できる 2 コースを設けた。2 日目はワニと恐竜(図 15)、カニとゾウの 2 コースである。参加者には筆者らが係員として付き添ってロボットを操作してもらった。

最初は具体的な手の動かし方を参加者に伝えずに、センサの上でロボットの形(ワニならワニの形)を手で作ること、動かせる部位(ワニなら口と尻尾)を指示した。30 秒ほど経過しても手で形を作れない、ロボットを動かさないときは参加者に演示した。ただし恐竜のみ最初から演示している。また、センサが参加者の手指を正しく認識するように、両手や隣り合った指は離す、ゆっくり動かすよう指示している。体験は両コース共に 3 分以内で終了する。参加者は基本的にコースを選べるが、混雑時は空コースを体験する。

参加者は体験後にアンケートを記入する。回収したアンケートは 223 通だった。参加者は 2-37 歳(2-5 歳 32 名、



図 18: 参加者がワニを操作



図 19: 参加者がカニの右ハサミを操作

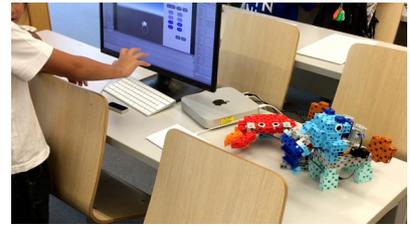


図 20: 参加者がゾウの鼻を操作

6-7歳 68名, 8-9歳 69名, 10-12歳 46名, 13-14歳が3名, 37歳1名, 未回答4名), 男性144名女性61名(未回答18名), 右利き193名左利き16名両利き4名(未回答10名)である。幼児については保護者に付き添ってもらう形で回答をお願いした。

5.2 学齢ごとの操作の様子

ワニの操作時は、センサの上でワニの頭を右手で作り口を開閉させるよう伝えた。おおむね6歳以上は手の動きを自分で考えて口を開閉できた(図18)。このうち数秒で動かした参加者は8割ほどであった。その他は手が正しく認識されず、前述の注意点を伝えることで操作できた。5歳以下では影絵と異なり、手を開いたり握ったりする参加者が8割ほどだった。他は演示により開閉できるようになった。ワニの尻尾を左右に振る動きについては、学齢を問わずワニの影絵を演示することで動かした参加者がほとんどだった。ワニ全体の影絵はそれほど知られていないためと考える。

ワニのあとに、参加者は演示を見てから恐竜を操作する。多くの参加者が恐竜の膝や股関節を動かしたが、足踏みでバランスを崩す様子が多く見られた。

もう一方のコースでは、最初にカニのハサミを動かす。おおむね6歳以上は手の動かし方を伝えずとも手でハサミの形を作りロボットを動かした(図19)。しかし人差し指と中指ではなく親指と人差し指を動かしたため、動かない場面も1割ほど見受けられた。幼児は演示なしで影絵の動きで操作した参加者が1割、手を握る・開くは3割で操作した。演示を必要とした幼児も手を握る・開く動作で操作していた。

ゾウについては、右手で鼻を動かすよう指示した。ほとんどの参加者がこの大まかな指示で鼻を動かした(図20)。4本の指の曲げ伸ばしという大きな動きが、学齢を問わずに見られた。耳については演示なしで動かした6歳以上の参加者が約半数だった。5歳以下は演示をする前に左手を握ったり開いたりして両耳を一緒に動かすことが多かった。

参加者がロボットを動かすのを見て、その保護者が手の動きを教える場面もあった。保護者にも具体的な操作方法を伝えていないが、4.3節の動きを教えていた。

ロボットの操作だけでなく、それを使って遊ぶ様子も見られた。ワニの口に手を入れて噛まれる前に手を引いたり

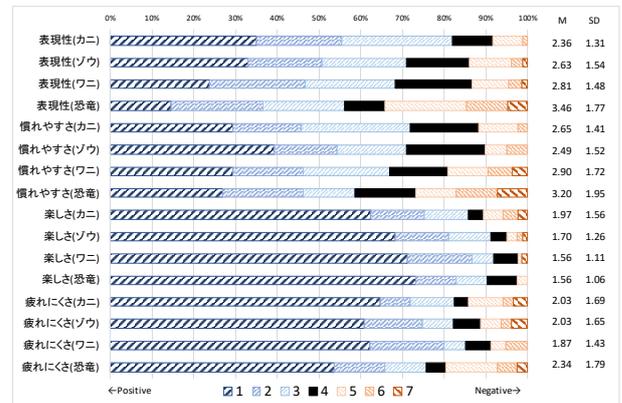


図 21: アンケート結果

(図18中の左の女児), カニのハサミに挟まれないようにしたりする遊びが見られた。

5.3 アンケート

年齢, 利き手, 性別と各ロボットの表現性, 慣れやすさ, 楽しさ, 疲れにくさへの評価(7段階)を記入する。ポイントが低いほど肯定的な, 高いほど否定的な評価である。評価項目と実際の質問文は下記の通りである。

表現性 どれくらい思い通りに操作できましたか

慣れやすさ どれくらい早く慣れましたか

楽しさ どれくらい楽しかったですか

疲れにくさ どれくらい疲れましたか

図21はアンケートの結果である。カニ・ゾウは全ての項目に対して7割以上の参加者が肯定的な(3以下)評価だった。ワニも表現性・慣れやすさについて68%, 67%, 楽しさ・疲れにくさは8割以上が肯定的な回答だった。恐竜は表現性・慣れやすさ・楽しさ・疲れにくさについてそれぞれ56%・59%・90%・76%が肯定的な回答だった。年代別の分析は2-5・6-7・8-9・10-12歳で行った。2-5歳はカニの慣れやすさ・疲れにくさでそれぞれ55%・64%, 8-9歳はゾウの表現性で65%, カニ・ゾウの他の項目は年代を問わずに7割以上で肯定的だった。ワニの表現性・慣れやすさは全ての年代で6割以上が, ワニや恐竜の楽しさ・疲れにくさは全ての年代で7割以上で肯定的な評価を受けた。恐竜の表現性は2-5, 10-12歳で7割以上が, 慣れやすさは2-5, 8-9, 10-12歳で6割以上が肯定的な回答をした。コメントは71件, 内容の一例を示す。

- 手の動きでロボットが動いた (2件8歳男児/11歳女児)
- 手の動きで操作して楽しかった/すごい/びっくり (9歳男児3名/7歳男児/8歳女児)
- 恐竜が楽しい/すごい/かわいい/こけたのがおもしろい (8歳女児/9歳男児, 11歳, 7歳男児/10歳女児/9歳男児)
- 家でもやりたい (8歳)
- 手でワニの形を作らなくてもいい (5歳男児)

5.4 考察

5.4.1 年齢ごとの手の動き

ワニ、カニ、ゾウについて、多くの参加者が具体的な動かし方を知らされずとも操作できた。6歳以上の多くは手遊び・影絵で動かしていた。手遊びや影絵は幼稚園や保育園などでよく行われている。参加者はこの経験に基づいて数秒でロボットを動かせたと考える。

一方で5歳以下の半数は演示を必要なしで手を開く・握る動きで操作した。2-4歳は手指の発達期間であり、指を1本だけ動かすような動きが難しいのであろう。簡単な、手を握る・開く動きを指示するとより多くの幼児が動かせた。

アンケートからカニ、ゾウ、ワニへの評価は年齢を問わずに過半数が好意的な評価をした。操作の様子を含め、これらは提案手法が直感的であることを示唆する。手の動き通りにロボットが動くので、ロボットが体の一部になったかのように感じていると推測する。

演示なしでは簡単な動き(手を握ったり開いたり)で操作する参加者(特に4-5歳)が多かった。この動きには4.3節の動きを含むため、設定変更なしでロボットの操作ができる。ワニを例にすると、口の開閉を行う親指の屈伸がこの動きに含まれている。対応づけた動きと操作時の動きが異なっても意図通りに操作できる可能性がある。

5.4.2 操作性と楽しさ

恐竜ではバランスを崩さずに足踏みができた例はほとんどなかった。アンケートから、恐竜については他に比べて操作性への肯定的な評価が少なかった。一方で楽しさへの評価は他のロボットと同水準である。正しく動かせることだけが楽しさを感じる要素ではないと考えられる。

5.4.3 ロボット操作の遊び・知育への発展

ロボットを用いる遊びも見られた。提案手法での操作は容易でありロボットの操作に気を取られないので、子供がロボットの活用場面を考える余裕が生まれたと推測する。また、参加者の保護者や参加者同士でロボットの操作方法を教える場面もあった。これらから、遊びを通じてものの活用を考えたり、幼児においては手指をより複雑に動かす訓練となったりと、知育への発展が期待できる。現に、手遊びや手指を動かす知育玩具^{*7}もある。

6. ロボット組み立て・操作のワークショップとその評価

工学院大学八王子キャンパスで開催された「第25回科学教室」(2018/8/25-26)で、ロボットを組み立てて動かすワークショップを実施した。参加者はこのイベントに来場した一般の方である。

6.1 実験の概要と手順

参加者は4.2節の通りにロボットを組み立ててから操作までを行う。筆者らが係員として付き添って実施した。その後アンケートに回答する。参加者は19名、18体のロボット(内1体は2名での合作)が作られた。回収したアンケート14通(未回収5名)から男性8名女性4名(未回答2名)、右利き13名左利き1名の5-12歳(5歳1名・8歳3名・9歳4名・10歳2名・11歳3名・12歳1名)が参加していた。幼児には保護者が付き添う形でアンケートに回答する。また参加者は事前に5節のロボット操作の体験をしている。

体験は1回30分とした。組み立てを15分、対応づけと操作を15分で行う。またロボットの動く部位は2人の回では1人1か所、1人のみの回は2か所までとした。

まず参加者はロボットを組み立てる(4.2.1節)。次に参加者はロボットと手指の動かし方を対応づける。手指をどう動かしてロボットを動かすのかを参加者自身で考えてもらう。このとき影絵や手遊びを用いるように指示はしない。ただし、手指以外の動き(腕を動かす、口を動かす)の場合には再度手指の動きにするよう求めた。動きを決めたら、それがどんな動きか(右手・左手、動かす指、広げる・曲げる)を、係員の説明のもとで分析してもらった。これに基づいて、スキャナに接続するブロック(図7)を参加者に選んで接続してもらった。

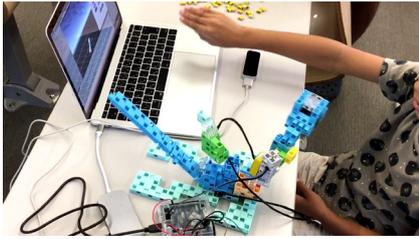
最後にロボットと手指の可動範囲を対応づける。参加者は図11,12の画面でブロック読み取り後の設定を行う。PCの操作が難しい場合は補助するが、可動範囲の決定は全員参加者自身で行ってもらった。ロボット側は画面上のスライダーに従って動くロボットを見て、これを決定する。手指側はロボットの姿勢(範囲の端点)を見て、そのときの手の姿勢を参加者がセンサの上で実演し、これを計測する。対応づけ完了後、組み立てたロボットを参加者が動かす。

6.2 ワorkshopの様子

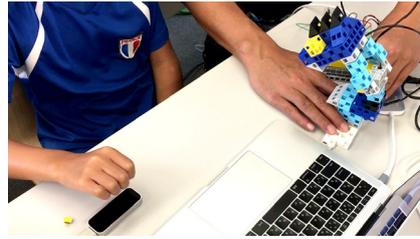
6.2.1 組み立てられたロボットの操作方法

手遊びや影絵に基づいた操作をするロボットは18体中9体だった。図22は8歳男児が作った首長竜のロボットである。右手を恐竜の頭に見立て、手首を外転内転させて首と頭を横に振る。図23は9歳男児による恐竜の口のロボットである。右手を開いたり握ったりすることで口の開閉ができる。右手親指を下顎、残りの4本の指を上顎に見

^{*7} ルーピング 汽車, <https://ec.bornelund.co.jp/shop/g/gJT3200/>



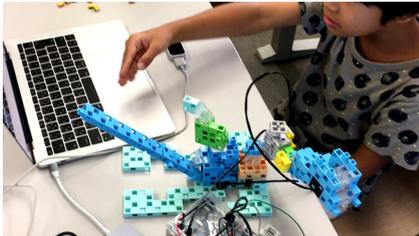
(a) 左に振る



(a) 口を閉じる



図 24: 鳥のロボットを操作



(b) 右に振る

図 22: 首長竜のロボットを操作



(b) 口を開ける

図 23: 恐竜の口を操作

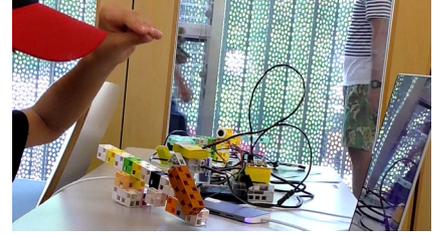
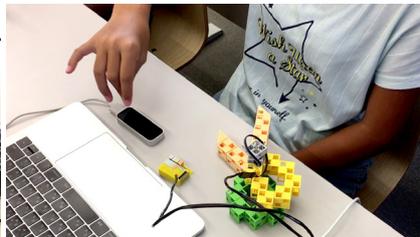


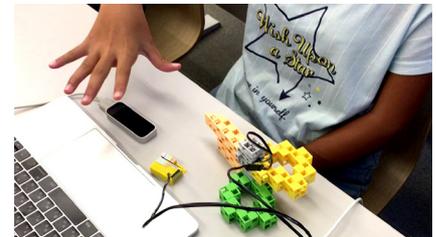
図 25: ロボットを操作 (5 歳)



図 26: 四足ロボットを操作する様子



(a) ハサミを開く



(b) ハサミを閉じる

図 27: ハサミを操作

立てている。また図 24 のように両羽が動く鳥のロボットも作られた (8 歳女兒)。両手をあおぐように動かすことで羽ばたく。右手で右羽が、左手で左羽が動く。図 25 は 5 歳男児が作ったロボットである。左手を握ったり開いたりすることで口が開閉する。手を口に見立てており未就学児でも手遊びや影絵に基づく操作を考えた例と言える。

手遊びや影絵を利用していない例も 7 体あった。その多くは手を握ったり開いたりして動かすものだった。

6.2.2 複数人でのロボット製作

図 26 は 12 歳と 5 歳の兄弟が共同して組み立てたロボットである。最初は別々のものだったが、保護者が「合体してみたか？」とかけた声に従って 1 つのロボットになった。左手人差し指を左右に振ると首が左・右を向く (12 歳担当)。右手の握る・開く動作で尻尾を縦に振る (5 歳担当)。

6.2.3 生き物ではなく道具をかたどったロボット

図 27 は 10 歳女兒が作ったハサミのロボットである。右手をハサミを持つ形にしハサミで紙を切るように親指と人差し指・中指を開く・挟む動作で刃の部分が動く。

6.2.4 ロボットと手指の対応づけ作業

対応づける手指の動きは参加者自身に決定・実演してもらった。手指の動かす方向が曲げる・広げるのいずれにあ

たるかは、係員が手首や指を動かして説明した。おおむね 9 歳以上はこれを理解し、適切に動きを分析し、ブロックを選べた。関節 2 か所目の対応づけでは、9 歳以上は指示なしで適切に行っていた。8 歳以下では手指の動かす方向を分析するときに、再度の説明が必要になったことがあった。右手左手、手指の使用部位のブロックは、8 歳以上であれば自分で選択できていた。しかし、手首・腕を用いるときは補足説明が必要だった。「手指のどの指が動いているか選んでください」と説明したため、動きの基準となる手首や腕を用いづらくなったためであろう。なお、5 歳の参加者は自分の手指の動きが分析できず、係員が代わりに参加者の動きを見てブロックを選択し、接続のみを参加者が行った。

6.2.5 可動範囲について

おおむね 10 歳以上の参加者は指示通りに設定できた。また関節 2 か所目は指示なしで対応づけを行えた。9 歳以下の参加者はトラックパッドの操作が難しかったので、保護者や筆者らが補助した。ロボットの可動範囲は実際に動くロボットを見て、参加者全員が自分で決定できた。手指の可動範囲も対応づけたいロボットの姿勢を見ながら、参加者自身が手で形を作り計測した。結果として、大人が補

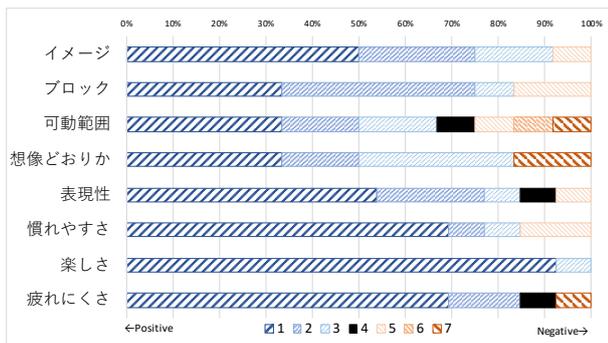


図 28: アンケート結果

助したのはトラックパッドの操作のみである。

図 27 の例では、可動範囲の対応づけが逆になってしまった。指を閉じると刃が開き、指を開くと刃が閉じる。

6.3 アンケート

年齢、利き手、性別とロボットの組み立てや操作への評価を記入する。ポイントが低いほど肯定的な、高いほど否定的な評価である。質問文は次の通りである。

イメージのしやすさ どう手を動かしたらロボットが動くべきかイメージしやすかったか

ブロックのわかりやすさ どのブロック (指や動かし方、右手左手) を使うかすぐにわかったか

可動範囲のわかりやすさ ロボットの関節で開いた時と閉じた時の設定はわかりやすかったか

想像どおりか 想像通りのロボットを組み立てられたか

表現性 どれくらい思い通りに操作できたか

慣れやすさ 操作はどれくらい早く慣れたか

楽しさ 操作はどれくらい楽しかったか

疲れにくさ 操作はどれくらい疲れたか

「可動範囲の分かりやすさ」の項目では 67% の参加者が、それ以外の項目では 8 割以上が肯定的な評価をした (図 28)。これらから提案手法による組み立て方法や、参加者が組み立てたロボットの操作について肯定的な評価を得ていると言える。コメント欄 (任意記入) の内容を次に示す。

- 楽しかった (5 歳男児, 8 歳女児)
- もっと大きなロボットを作ってみたい (5 歳男児)
- 複数の場所が動くロボットを作ってみたい (5 歳男児)
- 作れて楽しかった (11 歳女児)
- いろんな仕組みだからすごいと思った (11 歳女児)
- ブロックを組み立てるのが大変だったけど、思い通りに動いたので楽しかった (10 歳女児)
- おもしろかった (8 歳男児)
- ハネを動かすことにしたけど、難しかった。でもかわいくできてうれしかった (10 歳女児)
- つぎは車を作りたい (9 歳男児)
- 昨日 (1 日目) はできなかったのですが今日も来たらできて嬉しかった (11 歳)

6.4 考察

6.4.1 ロボットの操作方法

参加者は 5 節の体験をしているが、組み立て時には手遊びや影絵を利用するような誘導はしていない。それにも関わらず約半数が短時間でそれらに基づく操作を定めた。

手遊びや影絵に基づいていない操作方法もあった。ここで見られた手を握ったり開いたりする動きは、参加者が最初に思いつく簡単な動きだったためと考えられる。

6.4.2 生き物ではなく道具をかたどったロボット

道具のロボットも作られた (図 27)。他の例では手遊びや影絵に基づき手をロボットに直接見立てているが、道具 (ロボット) を使う手に見立てている点が特徴的である。道具は自律的に動かず、手を使うことに着目している。

6.4.3 ロボットと手指の対応づけ

最年少参加者 (5 歳) を含めて全員が組み立てたロボットの動きの対応づけ作業を完了させ操作できた。未就学児を含め、子供でもロボットのリアルタイム操作方法をデザインできたと考える。5 歳の参加者を除く全員がロボットを動かすための手指の動きを分析でき、さらに、おおむね 9 歳以上の参加者は、2 か所目の関節に対する動きの分析および対応づけは指示なしでも行えた。アンケートからもこの対応づけ作業はわかりやすかったと確認できる。この作業において、キーボードの操作はなくしており、トラックパッドでのクリックのみで操作できる。またロボットの動きを実際に見たり、操作時の手の姿勢を作ったりして設定するので操作をイメージしやす。これらの特長により、参加者は簡単に対応づけ作業を完了できたと考える。

一方で、ブロックによる対応づけについて、5 歳の参加者には多くの補助が必要だった。ユーザインタフェースのいっそうの改良が必要だろう。例えば、文字ではなくアイコンを利用する、トラックパッドではなくタッチパネルを導入するなどがあげられる。また、ロボットを直接動かして可動範囲を設定できるようにすることも考えられる。

7. 2つのワークショップから得られた知見

5 節では、1) 手遊びや影絵に基づくロボット操作に直感性があること、2) 6 歳以上は手遊びや影絵の動きで操作すること、3) 幼児は手を握る・開くような操作をすること、4) 簡単にロボットを操作できるため子供でもロボットの利用方法を自然と考えたこと、を確認できた。6 節では、1) ロボットのリアルタイム操作方法を子供がデザインしたこと、2) その操作方法が影絵や手遊びに基づいていること、3) 道具のロボットはそれを使う手の動きで操作できること、4) 未就学児でもロボットの組み立てから操作までを行えたこと、が見出された。

また「影絵や手遊びに基づく操作に直感性があること」「子供が組み立てたロボットの操作が影絵や手遊びに基づくこと」から、子供の組み立てたロボットに対しても、

操作方法を知らない他のユーザが直感的にロボットを操作できると考える。この点がLEGO MINDSTORMS や ArtecRobo, 文献 [3] などの既存のキットと大きく異なる点である。第三者が直感的にロボットを操作できると、創作物を作ることだけでなく、多くの人がその利用を考えられるようになる。

8. おわりに

本稿では手遊びや影絵に基づくロボットの操作手法と組み立てプラットフォームを提案した。さまざまな形にロボットを組み立てて、手がロボットになったような感覚でリアルタイムに操作できる。組み立て時にプログラミングや電子工作も必要としない。本プラットフォームによるロボットの操作を、幼児・小学生 200 名ほどに体験してもらった。操作性や楽しさの面で肯定的な印象を与えていたことを確認した。ロボットの組み立てワークショップも 19 名が参加した。参加者はロボットを組み立て、手遊びや影絵を取り入れた操作方法を定めて動かさせた。これより提案手法でロボットを直感的に操作する方法を簡単にデザインできることが示された。

今後は、可動箇所の多いロボットにおける分かりやすい操作方法や子供が組み立てたロボットを第三者が直感的に操作できるかを調査する。

参考文献

- [1] M.Oshita: “Multi-Touch Interface for Character Motion Control Using Example-Based Posture Synthesis”, WSCG 2012, D11, 9 pages, 2012.
- [2] B.Spanlang, X.Navarro, J.Normand, S.Kishore, R.Pizarro and M.Slater: “Real time whole body motion mapping for avatars and robots” ACM VRST’13, pp.175-178, 2013.
- [3] J.S.Seehra, A.Verma, K.Peppler and K.Ramani: “HandiMate: Create and Animate using Everyday Objects as Material”, TEF’15, pp.117-124, 2015.
- [4] L.Leite and V.Orvalho: “Shape your body: control a virtual silhouette using body motion”, ACM CHI’12, pp.1913-1918, 2012.
- [5] A.Jacobson, D.Panozzo, O.Glauser, C.Pradalier, O.Hilliges and O.Sorkine-Hornung: “Tangible and modular input device for character articulation”, ACM Trans. on Graphics, Vol.33, Issue 4, Article 82, 12 pages, 2014.
- [6] E.Polyak: “Virtual impersonation using interactive glove puppets”, ACM SIGGRAPH Asia 2012 Posters, Article 31, 2012.
- [7] M.Oshita, H.Oshima, Y.Senju and S.Morishige: “Character Motion Control by Hands and Principal Component Analysis”, ACM VRCAI ’14, pp.171-179, 2014.
- [8] L.Leite and V.Orvalho: “Mani-Pull-Action: Hand-based Digital Puppetry”, Proc. ACM Hum.-Comput. Interact., Vol. 1, Issue EICS, Article 2, 16 pages, 2017.
- [9] 辻, 牛田, 陳: “手遊びのハンドジェスチャを用いた 3D モデル操作手法”, 信学技報, vol. 118, no. 95, MVE2018-1, pp. 15-20, 2018.
- [10] M.Sakashita, T.Minagawa, A.Koike, I.Suzuki, K.Kawahara and Y.Ochiai: “You as a Puppet: Evaluation of Telepresence User Interface for Puppetry”, ACM UIST’ 17, pp.217-228, 2017.
- [11] B.House, J.Malkin and J.Bilmes: “The VoiceBot: a voice controlled robot arm”, ACM CHI’ 09, pp.183-192, 2009.
- [12] S.Hashimoto, A.Ishida, M.Inami and T.Igarashi: “TouchMe : An Augmented Reality Based Remote Robot Manipulation”, Journal of Robotics and Mechatronics (JRM), Vol.25, No.3, 2013.
- [13] Y.Cao, Z.Xu, T.Glenn, K.Huo and K.Ramani: “Ani-Bot: A Modular Robotics System Supporting Creation, Tweaking, and Usage with Mixed-Reality Interactions”, ACM TEI’ 18, pp.419-428, 2018.
- [14] C.Guo, J.E.Young and E.Sharlin: “Touch and toys: new techniques for interaction with a remote group of robot”, ACM CHI’ 09, pp.491-500, 2009.
- [15] Shadow Monsters, <https://vimeo.com/106798521>(参照 2018-12-14)
- [16] Puppet Parade - Interactive Kinect Puppets, <https://vimeo.com/34824490>(参照 2018-12-14)
- [17] C.Jacquemin, G.Gagneré and B.Lahoz: “Shedding light on shadow: real-time interactive artworks based on cast shadows or silhouettes”, ACM MM’11, pp.173-182, 2011.
- [18] The Manual Input Sessions, <http://www.tmemo.org/mis/>(参照 2018-12-14)
- [19] E.Chita, Y.Sugiura, S.Hashimoto, K.Kunze, M.Inami and M.Ogata: “Silhouette interactions: using the hand shadow as interaction modality”, UbiComp/ISWC’15 Adjunct, pp.69-72, 2015.
- [20] H.Liang, J.Chang, I.K.Kazmi, J.J.Zhang and P.Jiao: “Puppet Narrator: Utilizing Motion Sensing Technology in Storytelling for Young Children”, VS-Games 2015, pp.1-8, 2015.
- [21] L.G.Cowan and K.A.Li: “ShadowPuppets: supporting collocated interaction with mobile projector phones using hand shadows”, ACM CHI’11, pp.2707-2716, 2011.
- [22] Y.Ying and R.Davi: “Toward natural interaction in the real world: real-time gesture recognition”, ICMI-MLMI’10, Article No.15, 2010.
- [23] S.S.Rautaray and A.Agrawal: “A novel human computer interface based on hand gesture recognition using computer vision techniques”, IITM’10, pp.292-296, 2010.
- [24] A.D.Bimbo, L.Landucci and A.Valli: “Multi-User Natural Interaction System based on Real-Time Hand Tracking and Gesture Recognition”, ICPR’06, pp.55-58, 2006.
- [25] M.V.Bergh and L.V.Gool: “Combining RGB and ToF cameras for real-time 3D hand gesture interaction”, IEEE-WACV 2011, pp.66-72, 2011.
- [26] Y.Sugiura, C.Lee, M.Ogata, A.Withana, Y.Makino, D.Sakamoto, M.Inami and T.Igarashi: “PINOKY: a ring that animates your plush toys”, ACM CHI’12, pp.725-734, 2012.
- [27] M.Kazemitabaar, J.McPeak, A.Jiao, L.He, T.Outing and J.E.Froehlich: “MakerWear: A Tangible Approach to Interactive Wearable Creation for Children”, ACM CHI’17, pp.133-145, 2017.
- [28] H.Raffle, A.Parkes, H.Ishii and J.Lifton: “Beyond record and play: backpacks: tangible modulators for kinetic behavior”, ACM CHI’ 06, pp.681-690, 2006.
- [29] 後藤 圭, 手で遊ぶおもしろ影絵ブック, PHP 研究所, 2005.