

立体操作行為の分析によるジェスチャーインターフェースの基礎的研究

○中尾 俊祐*¹ 川角 典弘*²
佐藤 優美*¹ 大西 智佳*¹
村松 佑紀*¹

キーワード：操作行動 立体構成 非接触インターフェース 電子積み木 CAD

1. はじめに

デザイン検討をする際の表現方法としてCGモデリングを用いて正確な寸法でイメージを再現する方法があるが、操作が手続的で扱えるまでに時間を要する。^[1]また、模型は直感的で微妙な表現が可能で操作性に優れるが、複数のケースを想定してモデルを作るには手間がかかる。

本研究では LeapMotion センサー^[2]を使い、アナログの手の操作性とデジタルツールの持つ対話性を組み合わせ、より直感的な入力インターフェースの提案を行う(Fig.1)。また、積み木をメタファとした立体構成ツールを開発し、アナログの模型と既存モデリングソフトの比較実験から有用性の検証を行うことを目的とした。



Fig.1 提案システム想定イメージ

2. 立体構成行為のモデル化

まず、アートオブジェのような、抽象的で形の決まっていない造形物を制作する際、作る形を決めてから制作を進める様子を調査した。同研究室学生4人がコンペに取り組む過程をスケッチやCGモデルの成果物から観察した。結果、立体造形物の作成プロセスが大きく3つの段階に分かれることがわかった。頭の中にあるイメージを表現する「描画」、作成するオブジェクトの寸法や形状をモデリングにより再現する「立体化」、作った立体の整合性が取れているかの検証を行う「模型作成」の段階であった。それぞれの段階における試作物の数と期間は以下のTable1のような結果となった。

Table1 モデリングソフトの操作機能

段階	表現物	試作物/人数	期間
描画	スケッチ	15枚/5人	6/16~6/22
立体化	3Dモデル	3つ/1人	6/28~7/4
模型作成	縮尺模型	4つ/1人	7/26~8/4

次に、デジタルモデリングにおいて必要となる基本機能を明確化するため、既存モデリングソフトから立体を操作

する機能の抽出を行った。Sketchup, Rhinoceros, Lightwave の3種類の用途が異なるモデリングソフトの基本コマンドをカテゴリ別に分類した。

デジタルモデリングのコマンドは描画に関するコマンド、立体オブジェクトの編集加工をするコマンド、立体の構成やレイアウトを操作するコマンドについて大別でき、19種類の基本機能に分類できた(Table2)。

Table2 モデリングソフトの操作機能

描画,基本モデルの作成		立体オブジェクトの編集		立体構成やレイアウトを行うための操作	
カテゴリ	機能	カテゴリ	機能	カテゴリ	機能
線,曲線の描写	・削除する ・点を置く ・線を描く	作成形状の変形	・移動 ・縮尺 ・角の丸め ・ねじる ・曲げ ・しばり ・穴あけ ・形の整形	複数立体の操作	・関連付け ・結合
基本形状の描写	・平面形状を描く ・立体形状を描く			立体の複製	・複製
立体形状の作成	・面を押し出す			立体の配列	・整列 ・位置揃え

調査した操作機能を、アナログ技法で置き換えた操作方法を調べ、感覚的に扱える操作行為をツールに必要な基本機能としてデジタルでのコマンドと対応付けを行った。調査した結果、積み木は立体構成に関する操作行為について分類でき、操作の分類から三次元空間上の立体構成行為のモデル化を行った。これに視点変更の機能を追加したものを空間構成ツールに必要なとする基本操作とした(Table3)。

Table3 システムでの基本操作行為

機能別	システムでの操作	
立体形状作成	選択	選ぶ,つかむ
立体編集	移動	移動させる
	回転	手首をひねる
立体配列	配置	手を離す/置く
	位置揃え	指でずらす
	ランダム	投げる
視点を操作	視点移動	首を移動させる/土台を回転させる

3. 立体構成ツールの開発

本研究での提案システム作成には LeapMotion コントローラーを使用した.手や指の動きを対象とし,赤外線 LED により認識するモーションセンサーデバイスである.手を 20 点の関節点から,細かな動きを検知する.開発を LeapMotion SDK 3.1.3 と C# でオブジェクトの挙動を操作し,全体のビルドと実行は開発エンジン Unity5.4.1 により行った(Fig.2).

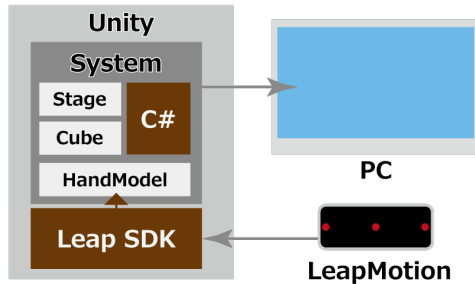


Fig.2 システムイメージ

提案システムは「基本立体モデル」「ステージ」「ハンドモデル」の 4 つの要素によって構成されている。「基本立体モデル」は一辺 5cm の立方体の積み木ピース(以下キューブ)であり,手が触れている間のみ赤く着色される。「ステージ」は作業を行う場所であり円形プレート形状で,指で回転させることができる.機能としては視点変更で他方向からの作成物評価の役割がある。「ハンドモデル」は使用者の手を表しており,実際の手の動きをトラッキングし,立体モデルの操作を行う.また,本システムでは「つかむ」「移動」「置く」「手首をひねる」「指でずらす」「土台移動での視点変更」を実現した.

4. 試作システムによる予備実験

作成した立体構成ツールの操作性を検証するため,被験者 10 人に予備実験を行った.提案システムによってキューブを組み合わせ,立体構成する課題を以下の手順に従って積み上げの動作をさせた.各行為のアナログ操作と比べたときの操作性について評価するアンケートを実施した.

- ① [選択配置]:キューブをひとつステージ中央に置く
- ② [複数配置]:キューブを複数,直線状に並べて置く
- ③ [除外]:ステージ上のキューブ数を 3 つに調整し除外
- ④ [積み上げ]:3 つのキューブの上に 2 つのキューブを置き,さらに 1 つキューブを重ね,階段形状にする

また,アナログ操作をした場合,効率よく構成を行うための特徴的な操作行為が出るか調べるために同じ課題を模型積み木で取り組ませ,手元操作の行動観察も行った.

アンケートの結果から以下の問題点が挙がった.

- 他のキューブを触ってしまう
- 自分の手と画面上の手が直結していない
- 近すぎるまたは遠すぎるキューブが取り難い

完成された課題物は被験者自身の評価が低く,手の基本行為をデジタル空間上で実現するだけではセンサー精度の

個人差や検出範囲の限定から操作が難しいことが判明した.アナログツールの行動観察から位置調整の行為として間隔をつめる目的で両端から同時に手を挟み込む動作,置いた物が動かないように指で支える動作が抽出できた.得られた結果から以下のような機能追加と操作インターフェースの提案を行い,提案システムとした(Fig.3).行為と機能が直感的に対応付けられるかを評価した.

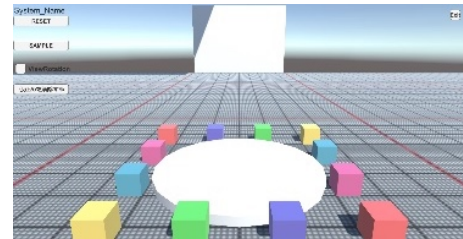


Fig.3 試作システム初期画面

- 「整列,位置調整」

両手を端から中心に近づける行為をすることで複数キューブの間隔と軸を整える機能(Fig.4).

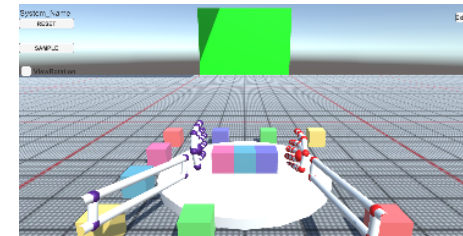


Fig.4 整列の動作画面

- 「仮止め」

両方の手のひらをステージにかざし,5 秒静止することで状態を固定化する機能(Fig.5).

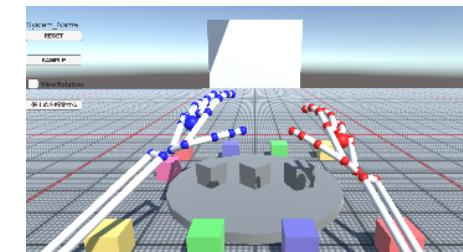


Fig.5 仮止め動作画面

- 「自身を移動させて視点変更」

トグルにチェックをつけて矢印オブジェクトを出す.回転する方向に指差すことでステージの中心を軸とした回転移動を行う機能,ハンドモデルの手の届く範囲を変化させる(Fig.6).

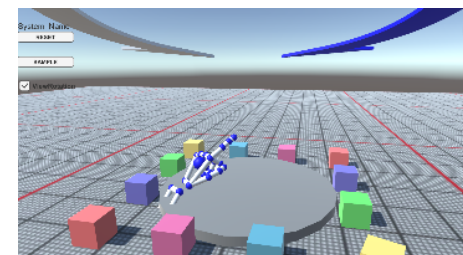


Fig.6 視点変更動作画面

5. 追加した機能についての有用性検証

提案システムに追加した機能についての評価システム全体の有用性を検証するため実験を行った。まず、11人の被験者に Fig.7 のような空間構成課題を積み木、既存モデリングソフト、提案システムの3種類の方法で取り組ませた。その後、アンケートにより提案システムの追加した機能について評価した。アンケート項目は機能ごとに「そのジェスチャーで機能が動作することがわかりやすかったか」、「機能が立体を組み立てるのに役に立ったか」を5段階評価で聞き、動作確認として「意図した時に使えたか」、「意図しない時に過敏反応する問題があったか」を聞いた。

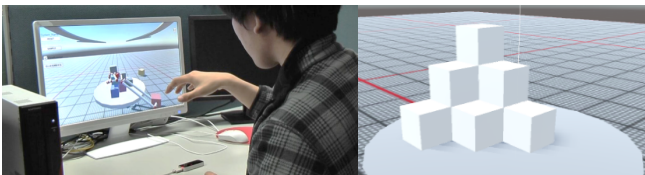


Fig.7 左:利用実験の様子,右:課題サンプルモデル

動作に不都合のある場合には、どの程度問題があったかについて、気にならない程度を1としてモデル作成に支障が出る程度までを5とした5段階で評価した。

結果は Table4 に示す。数値は答えた被験者の相加平均の値を表し、人数は答えた人数を表している。追加した3つの機能に関しては「行為と機能の動作のわかりやすさ」項目「立体構成への役に立った」項目は共に高評価であった。機能は有用で、手の動作と対応付けできた。機能動作は意図したとき使える場合がほとんどであった。仮止めの機能は積み上げの際にネックになる機能で意図した時に機能しないと課題物の完成に大きく影響が出た。整列機能は意図しないときに過敏に反応することが多くジェスチャーの認識範囲を狭くする必要があることが分かった。

Table4 追加機能の評価結果

質問項目	整列機能		仮止め機能		視点変更	
	○	×	○	×	○	×
この行為で機能が動作することがわかりやすかったか	4.45		4.18		4.18	
機能が意図した時に反応したか	○	8名	○	10	○	9名
	×	3名	×	1名	×	2名
しない場合どの程度問題があったか	3.33		4.00		3.00	
意図しない時に過敏反応することはあったか	無	2名	無	9名	無	7名
	有	8名	有	2名	有	4名
ある場合どの程度問題があったか	3.25		3.00		3.75	
機能は立体構成を行う役に立ったか	4.46		4.46		4.82	

6. 提案システムの概要

検証から明らかになった追加機能の問題点の改善を行った。整列ジェスチャーの認識条件を変更し、仮止め機能の反応条件を5秒静止から2秒静止に短縮した。ま

た、より多様な組み合わせが行えるように Naef 社のパウスピールを参考にシステムの基本立体オブジェクトの種類を立方体1種類から7種類増やした。最終的に提案するシステムの画面は Fig.8 の通りである。

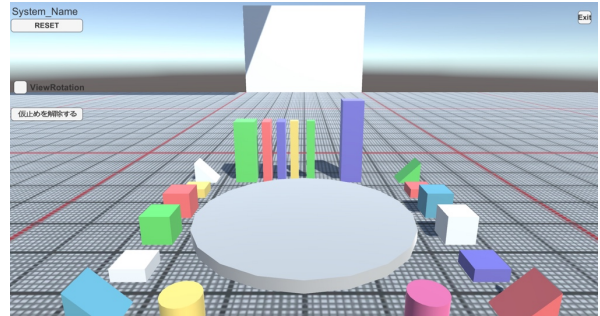


Fig.8 提案システム初期画面

7. タスク分析による提案システム全体の有用性検証

提案したシステムを既存の手法と比較することで有用性の検証を行った。アナログでモデルを作成する手法、デジタルモデリングでの手法の2つと比較するため、ユーザビリティ評価実験を行った。実験は文献¹⁰を参考に同一被験者を使ったタスク分析と5段階評価のアンケートを実施した。被験者10名にスタイロフォームで作った積み木、モデリングソフト SketchUp、提案するシステムの3種類の方法で、被験者によって手法の順番を変えながら同じタスクを行わせた。タスクは Table5 のように難易度によって3つの内容に分け、被験者は1から3まで順に評価を行った。

Table5 難易度分けしたタスクの内容

タスク1 (初級者)	積み木の立方体キューブを選び(モデリングする場合作る)、横一列に並べてください。その後、角度を変えながら立体を見てズレがないかを確認してください。
タスク2 (中級者)	今あるものを一度取り除いて、作り直します。 立方体や直方体を積み上げて柱を作り、長めの積み木で橋をかけ、門のようなオブジェクトを作ってください。その後、三角形のオブジェクトを長めの積み木の両端に置き、装飾してください。
タスク3 (上級者)	タスク2で作った門の周辺に自由に立方体や円柱の組み合わせを2つ以上使用し、独創性を意識し、街なみに見えるように考えて配置してください。

提案するシステムについての評価項目をタスクごとに分け、合わせて14項目の質問を作成した (Table6)。ひとつタスクが完了した後に対応する項目について5段階評価で点数をつけて評価させた。また、タスクごとに実験の様子を収録して発話データと各タスクの達成時間を記録した。

Table6 各タスクの質問項目

タスク	質問項目
タスク1 (初級者)	1)作業平面がわかりやすいか
	2)機能の意味がわかりやすいか
	3)オブジェクトを選択されたことがわかりやすいか
	4)オブジェクト移動方法がわかりやすいか
	5)位置調整、稜線を揃える仕方がわかりやすいか

	6)画面移動の仕方がわかりやすいか
タスク 2 (中級者)	7)作り直しがしやすいか
	8)作る部品の代替がしやすいか
	9)オブジェクトの固定がしやすいか
	10)形の整合性を取るのにわかりやすいか
タスク 3 (上級者)	11)自由にランダムな配置がしやすいか
	12)独創性を意識した配置が行いやすいか
	13)位置調整,再配置が行いやすいか
	14)見え方の確認(アングルの調整)が行いやすいか

Table7 タスク分析の評価項目の結果

項 目	平均値			標準偏差			t 検定 確率 p	
	積木	Model	System	積木	Model	System	積木と System	Modeling と System
1)	4.7	4.2	4.4	0.675	0.919	0.516	0.19342	0.50865
2)	4.8	2.9	4.2	0.632	0.738	0.789	0.08113	0.00373
3)	5	4.2	4.6	0.000	0.789	0.516	0.03679	0.03679
4)	5	3.4	4	0.000	0.843	1.247	0.03195	0.19342
5)	4.8	3.1	3.9	0.422	1.101	1.197	0.08113	0.15266
6)	4.7	3.6	3.6	0.675	0.843	1.506	0.08415	1.00000
7)	4.9	3	3.5	0.316	1.247	1.650	0.01647	0.29872
8)	4.2	2.9	2.6	0.789	1.287	0.843	0.00196	0.59105
9)	2.9	2.9	3.8	1.197	1.287	1.033	0.13413	0.09466
10)	4.5	2.5	3.2	0.707	1.509	0.789	0.00190	0.08859
11)	5	3.9	3.3	0.000	0.994	1.252	0.00201	0.27887
12)	4.5	3	2.8	0.972	1.247	1.033	0.00031	0.44333
13)	4.9	2.7	2.1	0.316	1.059	0.568	0.00000	0.08113
14)	4.4	3.9	3.4	0.843	1.370	1.075	0.07381	0.17727

結果は Table7 に示す通り,既存モデリングツールと比較した場合,2つの項目に有意水準 5%で有意差が見られ,3つの項目については有意水準 10%でやや有意傾向にあることが分かった。有意差のあった項目 2 は「機能の意味のわかりやすさ」であり,モデリングツールのアイコンによる機能説明より,実際の手の操作方法が直感的でわかりやすいということが分かった。実物の積木と比較した場合,7つの項目に有意水準 5%でマイナスの有意差が見られ,4つの項目については有意水準 10%でややマイナスの有意傾向が見られた。項目 3「オブジェクトの選択されたことのわかりやすさ」は提案システムの触っている間は赤くなるというインターフェースについての項目だった。積木と比べ触感がない点で低評価になり,モデリングツールと比べると,三次元空間を特定の二次元で動くマウスマウスより同じ三次元を操作できる仮想の手に高評価が得られた。項目 7 の「作り直しのしやすさ」は積木の「崩して置き直す」をシステムで表せているかを評価する項目であったが,再読み込み用のリセットボタンを使用する被験者が多く,モデリングの delete キーを押す感覚に近くなってしまい,低評価になってしまった。項目 10「形の整合性」は実際に成形した時,現実的に作れるようなものができるか確かめられるかについて,積木と比べると低評価だったが,物理演算を組み込んでいる点でモデリングツールより評価が高く,ある程度構造を考えながらオブジェクトを作成でき

ることが分かった。タスク 3 の自由にオブジェクトの位置調整する作業では,提案システムでは積み木の操作性には及ばなかったものの,位置調整,再配置の項目はモデリングツールより操作の自由が効くということが分かった。

Table8 タスクごとの達成時間

		(a)平均時間	(b)タスク毎の平均	(a-b) 秒
積み木	タスク 1	0:00:22	0:01:21	-0:00:59
	タスク 2	0:00:41	0:05:21	-0:04:39
	タスク 3	0:01:01	0:04:14	-0:03:13
モデリング ツール	タスク 1	0:02:18	0:01:21	0:00:57
	タスク 2	0:06:25	0:05:21	0:01:04
	タスク 3	0:05:15	0:04:14	0:01:00
提案 システム	タスク 1	0:01:22	0:01:21	0:00:01
	タスク 2	0:08:56	0:05:21	0:03:35
	タスク 3	0:06:26	0:04:14	0:02:12

タスクごとの達成時間の結果は Table8 に示す。積み木で行う手法が最も早く,タスクの平均時間よりも素早く行えた。モデリングツールを使った手法は配置の際に細かなズレが気になり,何度も作り直す場面が見られた。提案システムでは難易度の低いタスク 1 は整列の機能を使ってスムーズに達成できたが,積み上げや自由な配置を行う際,長細いオブジェクトを立てて置く操作に時間がかかった。また,比較的高い場所に配置する操作で落とす場面があった。

8. まとめ

本稿では実際の動きを取り入れたセンサーを用い,基本オブジェクトを組み合わせて立体構成を行うツールを作成した。予備実験で得られた積み木の立体構成行為から必要な機能を提案し,直感操作で行うインターフェースがアナログの積み木,デジタルモデリングツールに比べてどのような有用性があるかについて比較検証した。

センサーの精度について問題はあるものの,実際の操作行為を取り入れたインターフェースは既存デジタルモデリングツールに比べ,機能のわかりやすさの点や仮想空間内でどれを操作しているかのわかりやすさの点で一定の評価が得られた。一方で,位置を細かく調整して素早く再配置を行えるアナログ積み木のような操作性の点については低評価であり,課題が残った。今後,提案システムの操作性を向上させるとともに,デジタルツールであることの利点を活かし,基本オブジェクトのサイズの変化や操作データの管理から元に戻す Undo,やり直し Redo などの機能追加を検討する。本研究は JSPS 科研費 JP25350012 の助成をうけたものです。

【参考文献】

- 1) 両角光男著,「建築設計の新しいかたち」1998年発行
- 2) LeapMotion, <https://www.leapmotion.com/>
- 3) 井上勝雄著,「魅力的なインタフェースをデザインする」2008年発行

*1 和歌山大学システム工学部 大学院生
*2 和歌山大学システム工学部 講師・工博