

[研究論文]

仮想空間における 仮想ハンドモデルの操作性の検討

栗原亮¹・井上哲理²

1 博士前期課程情報工学専攻

2 情報ネットワーク・コミュニケーション学科

Performance of virtual hand-model under virtual environments

Ryo KURIHARA¹, Tetsuri INOUE²

Abstract

Our experimental study evaluated the performance of virtual hand manipulation tasks in virtual environments. A virtual hand is a computer graphic (CG) model of the human-hand that represents the user's hand in 3D virtual space. There are two kinds of expression of human-hand for manipulating virtual objects displayed around the user. One is that the user manipulates virtual objects with user's hand. The other is that the user controls an virtual hand for manipulation. We carried out the experiments comparing the performance of these two methods of human-hand manipulation among three types of hand manipulation tasks. The experimental results showed that for pointing, grasping and positioning tasks virtual hand control is faster and more accurate than direct manipulation by user's hand.

Keywords: virtual environment, virtual hand, stereoscopic display, CAVE, virtual reality

1. まえがき

本研究は、立体映像として表示された3DCG(3次元コンピュータグラフィックス)モデルに対して、ユーザが自身の手を動かすことで操作するインタフェースを想定して、その際のユーザの手の表示方法に関するものであり、入力系3D(3次元)ユーザインタフェースに関する研究に属するものである。

近年、テレビ、パソコン、携帯電話などの様々なメディアにおいて3DCGで表現された仮想空間に接する機会が多くなっている。立体映像についても映画、放送あるいは携帯端末などでのサービスが始まってきている。そのため、このような3次元仮想空間を見るだけでなく、ユーザが仮想物体に対して何らかの操作を行うアプリケーションの登場も予想される。仮想空間操作は複雑になりがちであるが、さまざまなユーザに利用してもらうことを考えると、複雑で詳細な操作が行えるインタフェースに加えて、精密な操作が困難であっても分かりやすいインタフェースが求められる。このような3次元空間に対するインタフェースを3Dユーザインタフェースと呼び、さまざまな研究が行われている。

出力系の3Dインタフェースである3次元情報表示技術

に関しては、研究・開発が進んでおり、すでに実用化されているものも多い。例えば、映像分野では3次元映像、立体映像技術として開発が進められており、また音響に関しては3次元音響技術として家庭用機器も販売されるにいたっている。

入力系3Dユーザインタフェースに関しても、さまざまな方式が提案、研究されている。例えば、コンピュータ入力インタフェースとして我々が通常利用している2次元マウスに拡張ボタン等を付けて3次元操作する3次元マウスや、ゲーム用入力装置(ゲームパッド)のように、多数のボタン操作を組み合わせることで3次元操作を実現しているものもある。しかし、これらの方法では、2次元的な動きで3次元操作を行っている点で難しさがああり、慣れるまでにある程度の練習が必要となる。一方、3次元位置・運動検出センサ技術をベースとしたインタフェースも各種開発されており、例えば近年ではゲーム用リモートコントローラとして実用化されたものもある(任天堂製Wiiリモコン等)。これらの3D入力インタフェースに求められるのは、我々の日常生活での対象物への操作感と比較して、違和感の少ない自然な操作性のあるインタフェースであるが、現状では十分なものはなく、多くは研究、開発段階であると言える。

本研究では、3次元位置センサとグローブ型入力デバイスを用いた仮想ハンド型3D入力インタフェース^{[1][2]}について、その操作基本特性を実験的に調べた。具体的には、立体表示ディスプレイでディスプレイよりも手前に表示された仮想物体（CGモデル）を操作する際に、ユーザ自身の手を直接用いて操作する場合と、ユーザの手の代わりにするCGモデル（仮想ハンドモデル）を用いて操作する場合との操作性を比較して、仮想ハンド型インタフェースとして、どのようなインタフェースが適当かを検討した。

2. 実験装置

2.1 立体表示ディスプレイ

実験では、仮想物体であるCGモデルがユーザ（被験者）の手の届く範囲に表示される必要があったため、ディスプレイ画面から映像が飛び出して見える立体表示ディスプレイを用いた。立体表示ディスプレイとして、液晶ディスプレイ型と4面スクリーン・プロジェクション型（CAVE型）の2種類を用いた。

液晶ディスプレイ型立体表示ディスプレイ（図1）は24インチ横長サイズで、マイクロボール方式^[3]の立体表示ディスプレイ（Samsung製P240W）であり、円偏光フィルタメガネをかけて立体的な映像を見ることができる。実験では視距離を40cmとしたので、ディスプレイ画面手

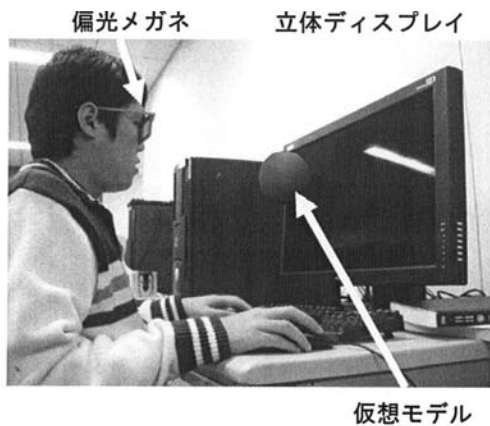


図1 液晶立体表示ディスプレイ

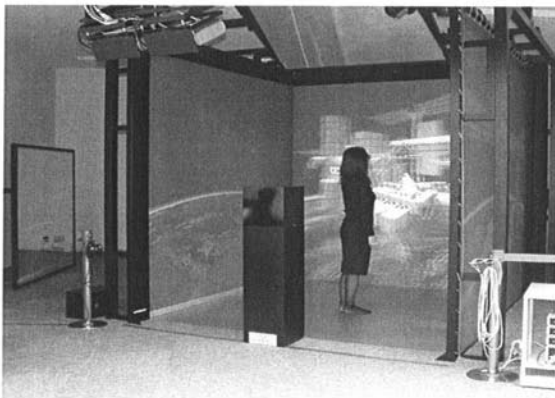


図2 CAVE型ディスプレイ

前に立体像を表示する場合は、およそ手の届く範囲に表示されることになる。

4面スクリーン・プロジェクション型立体表示ディスプレイは、没入型ディスプレイ（Immersive Projection Display）のひとつであるCAVE型ディスプレイ^[4]（図2 神奈川工科大学所有）を用いた。一辺が2.5mのスクリーンを正面、右面、左面、床面の4面に配置し、スクリーンに連続した立体映像を表示することができる。各スクリーンの映像は、コンピュータで制御されていて、表示させた対象が隣り合うスクリーンにまたがった映像が表示できる。そのため、ユーザの視野全体をCG映像のみで覆うことが可能であることから、高い臨場感を与えることができるバーチャルリアリティ技術のひとつである。ユーザは円偏光メガネを装着してシステム中央に立って映像を観察する。スクリーンまでの視距離は125cmであり、ユーザ眼前に立体像を表示することが可能である。

今回の実験における2つのディスプレイの違いとしては、液晶ディスプレイでは、画面から仮想物体が飛び出る感じがあり、画面枠で視野（仮想空間）が制限されている特徴がある。CAVE型ディスプレイでは、被験者自身が仮想空間内に入り込んだ感覚が強く、そのため仮想物体がスクリーンから飛び出ているというよりも空間内に浮いている感じを被験者が持ちやすい点と、画面枠がないために被験者から見える仮想空間に制限がない点が挙げられる。このようなディスプレイによる立体効果の違いが、仮想物体操作に与える影響についても今回検討した。

2.2 グローブ型入力デバイス

3次元空間への入力インタフェースとして、本実験ではバーチャルリアリティ技術の一つであるグローブ型デバイスCyberTouch（Immersion社製）と磁気式3次元位置センサFlock of Birds（Ascension社製）を用いた（図3）。グローブ型デバイスは実際にユーザの手に装着するもので、ユーザの指関節の曲がり具合を計測できるデバイスである。一方、磁気式3次元位置センサは磁場発生源（ソース）から一定範囲内にあるセンサの3次元位置と回転を計測できる装置である。このグローブに位置センサ



図3 グローブ型入力デバイス

を取り付けることで、ユーザの手の位置と手の形（指の状態）を計測することができる。

本実験では、同装置により被験者の手の位置と手の形を計測して、その状態から仮想物体に触っているのか、掴んでいるのかなどを判定した。

3. 実験概要

3.1 実験の目的

本実験では、立体映像で表示された仮想物体を操作する際の適切な方法を検討するために、

(1) CG で表現された手のモデル（ハンドモデル）で操作する場合

(2) 実際の手を CG と重ね合わせて操作する場合

とで、操作性に違いがあるかを調べた。仮想物体はディスプレイ画面から飛び出す映像として表現され、被験者と仮想物体との距離は十分に手の届く範囲とした。また、立体映像表示として、液晶ディスプレイ 1 台を用いた場合と CAVE 型ディスプレイを用いた場合との操作感の違いも検討した。

3.2 ハンドモデル

ハンドモデルとはデータグローブと連動させて、実際の

手の動きに合わせて操作できる仮想空間内の CG モデルである。仮想物体操作に関する実験条件として、「ハンドモデルあり」と「ハンドモデルなし」を設定した。

(1) ハンドモデルあり

図 4 に示したようなハンドモデルを表示し、これをグローブ装着したユーザ自身の手を動かし操作する。ここでハンドモデルと仮想物体が直線状に重なると仮想物体が見えなくなるので、ハンドモデルを半透明にして、ハンドモデルと仮想物体の両方を見えるようにした。この操作方のメリットは、ハンドモデルと仮想物体が同じ CG 空間で表現されているので、仮想物体とハンドモデルの位置関係が把握しやすいという所である。そのため、実際の手移動量より仮想空間のハンドモデルの移動量が多いなど、実際の動きと同じでない場合でも操作に支障をきたさない。仮想空間での移動量が多い方が、実際の範囲より仮想空間内で操作できる範囲が増えるメリットも生じる。

(2) ハンドモデルなし

図 5 のように仮想空間内の仮想物体を立体表示して、その物体に手で直接触れるようにすることにより仮想空間内の仮想物体と干渉する。仮想物体とハンドモデルの干渉判定を行うために、ユーザの手の位置にハンドモデルを表示しているのだが、このハンドモデルの色（材質）を透



図 4 「ハンドモデルあり」での操作風景

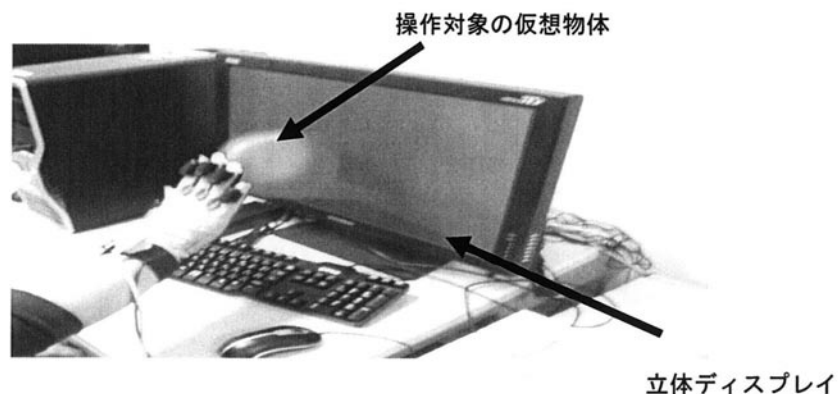


図 5 「ハンドモデルなし」での操作風景

明にすることで被験者からは見えないようにしている。この操作のメリットは現実と同じように直接手で物体を操作できるという点であり、直感的な操作が可能になるということである。

3.3 実験用コンテンツ

仮想空間内の仮想物体の操作方法として、「ハンドモデルあり」と「ハンドモデルなし」の特徴を調べる目的で、実験を実施した。実験では、日常的に手を使う場面として「触る」「動くものを捕る」「物を掴み移動させる」の3つの操作を考え、次の3種類の実験用コンテンツを作成して、表示した(図6)。

- (a) タッチコンテンツ
- (b) キャッチコンテンツ
- (c) キャリーコンテンツ

これら3つのコンテンツの作成においては、今回の実験では被験者自身の手を仮想物体と直接重ね合わせて物体を操作することを考えて(「ハンドモデルなし」の場合)、仮想物体が被験者から手の届く範囲に表示されるように設定した。

以下、それぞれのコンテンツについて説明する。

(a) タッチコンテンツ

仮想空間内に直径10cmの球体と直径5cmの球体を5個ずつ作成する。まず小さいボールを1つ出現させ、それをハンドモデルまたは自分の手で触わりそのボールを消す。その後違う場所のボールを出現させ、また触ってもらう。これを繰り返し、球体を10個消すまでやってもらう。その終了までの時間を計測する。

(b) キャッチコンテンツ

仮想空間内に画面から1m奥に直径5cmの球体を9つ作成する。球体を前方向(画面に垂直方向)に被験者に向けて動かし、それを被験者がキャッチする。キャッチできた成功数を記録する。

(c) キャリーコンテンツ

仮想空間内に直径5cmの球体9個を作成する。その球体を手またはハンドモデルを使って掴んで、箱の中に入れ

る。9個の球体すべてを箱に入れるまでの時間を計測する。

これらの実験用コンテンツは、表示されるディスプレイが液晶ディスプレイ型の場合とCAVE型の場合で適切に表示されるよう調整されているが、いずれの立体表示ディスプレイにおいても、被験者から見た仮想物体の位置と大きさは同じになるようにしている。

コンテンツの作成、表示には仮想空間構築ソフトウェアであるOmegaSpace(ソリッドレイ研究所製)を用いた。

4. 実験結果と考察

4.1 実験方法

用意した3種類の実験用コンテンツを用いて被験者を対象とした実験を行った。表示ディスプレイとしては、液晶ディスプレイ型立体ディスプレイとCAVE型立体ディスプレイを用いた。

一人の被験者に対して、まずどちらかのディスプレイを用いてタッチコンテンツによる実験を3回実施する。次にキャッチコンテンツ実験を3回、キャリーコンテンツ実験を3回実施する。実験間で1分間、コンテンツ間で5分間程度の休憩を入れた。次にもう一方の種類のディスプレイで同様な順番での実験を行った。

被験者は男女大学生(年齢20~22歳)10名で視力、立体視能力とも正常であった。

4.2 実験結果

実験用コンテンツ3種類、立体ディスプレイ2種類での各3回の測定に対して、各条件の10人の被験者の平均値を求めて、条件毎に比較した。

各コンテンツに対する3回の測定での平均値の変化を図7(a)~(c)に示す。各図において、(1)が液晶型ディスプレイに対する結果であり、(2)はCAVE型ディスプレイに対する結果である。横軸は試行回を示しており、縦軸は操作時間(秒)または操作成功回数(回)である。◆点で示したデータが「ハンドモデルあり」の場合であり、■点が「ハンドモデルなし」の場合である。以下に各コンテンツに対する結果を述べる。

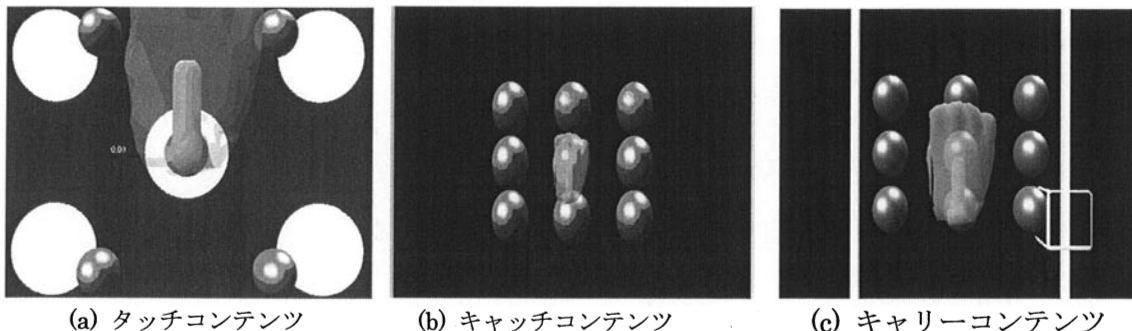


図6 使用したコンテンツ

(a) タッチコンテンツの結果

タッチコンテンツにおいて、空間上の仮想物体 9 個をすべて触るまでの時間の結果を図 7(a)に示す。実験結果から、液晶型ディスプレイではハンドモデルの有無での差は見られないが、CAVE 型ディスプレイではハンドモデルがある方が、操作が速かった。ディスプレイ間の比較では CAVE 型で操作が遅かった。両方のディスプレイで 1 回目よりも 3 回目の方が、操作が速くなっており、練習効果が見られるが、特に液晶型では顕著であった。

(b) キャッチコンテンツ

キャッチコンテンツにおいて、飛んでくる仮想物体を上手くキャッチできた回数の結果を図 7(b)に示す。実験結果から、両ディスプレイにおいて、ハンドモデルありの方が、成功率が多かった。ディスプレイ間の違いは明確には見られなかったが、液晶型ディスプレイでは練習効果が顕著であった。

(c) キャリーコンテンツ

キャリーコンテンツにおいて、仮想物体を空間上の一定の場所まで移動するまでの時間の結果を図 7(c)に示す。実験結果から、ハンドモデルの有無による差が見られなかった。ディスプレイ間の比較では液晶型ディスプレイの方が操作時間が短く、操作が早く終了していた。両ディスプレイで練習効果が見られた。

4.3 考察

実験結果からは、ハンドモデルなしの操作、つまり実際の手を用いた操作方法では、液晶ディスプレイでのタッチコンテンツやキャリーコンテンツで、ハンドモデルありと同等の結果が出たが、他の条件ではハンドモデルありの方が良好な結果であった。このことから、簡単な操作のみであれば手による直接操作も有効な操作方法といえるが、操作が複雑になってくると、手による直接操作では操作性が落ちる。この方法は、普段の生活で我々が行っている手による操作と同じであり、自然な入力インタフェースとして良好な結果を期待したが、実験結果からは仮想空間での入力インタフェースとしては適切ではないことがわかった。原因としては、グローブ等での 3 次元位置や指の状態計測の誤差に加えて、操作対象の CG モデルと実物の手との見え方の違いなども考えられる。なお、この手による直接操作方法では、画面の中に手を入れることができないため、今回の実験用コンテンツのように仮想物体が画面手前に立体表示される場合のみで利用できるという制限もある。

一方、ハンドモデルを用いた操作では、実際の手を用いた場合よりも成績が良いか同等であることがわかった。また、回数を重ねる毎に操作性が向上することがわかり、訓練効果が期待できるといえる。

立体表示ディスプレイの種類による比較では、CAVE 型ディスプレイで操作性が良くない結果を得た。CAVE 型は、臨場感の高い仮想空間表示に適している点で、高い

操作性を期待したが、実験結果は液晶型の方が、操作性が良好であった。特にタッチコンテンツとキャリーコンテンツでその傾向があった。この 2 つでは、ユーザが仮想物体に触れるために手を奥行き方向に動かす必要があるが、キャッチコンテンツでは仮想物体が動いて、ユーザは奥行き方向に手を動かす必要がない。このことから、CAVE 型では奥行き方向の距離感に課題があることが示唆される。今後さらに検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、グローブ型入力デバイスを用いた 3D 入力インタフェースの操作基本特性を実験的に調べた。具体的には、立体表示ディスプレイでディスプレイよりも手前に表示された仮想物体に対する基本操作実験を行い、操作時間などを比較した。また 2 種類の立体表示ディスプレイで実験を行い、ディスプレイによる比較も行った。

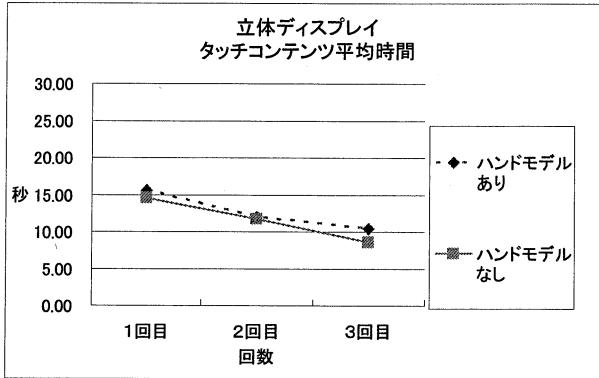
実験結果からは、空間内の仮想物体を操作する場合は、CG で表現された手であるハンドモデルを介して行った方が、操作性が良いことがわかった。特に練習を行うことで操作性の大きな向上を期待できることがわかった。一方、ハンドモデルを用いない、手による直接操作は、物体に触るなどの簡単な操作では有効であるが、手の位置計測の誤差が操作性に大きく影響することと、実物の手と仮想物体の重なりで距離感がつかみにくいなど、現段階では操作性に問題があることがわかった。

今回の実験からは、グローブ型 3D 入力インタフェースでの手の表現方法については十分な検討はできなかった。今後の課題として、複雑な操作を含むコンテンツによる実験や、手の 3 次元位置計測の補正方法などが挙げられる。

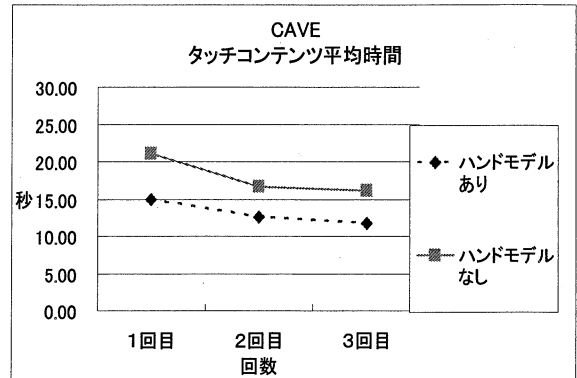
なお、本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業「次世代 ヒューマンメディアをコアとする共生共創コミュニケーションシステムの研究」の研究の一部として実施された。

参考文献

- [1] 尾原秀登, 角所考, 美濃導彦: パーチャルスタジオにおける演者の手を用いた仮想物体の直接操作の実現, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.91(MVE2006 1-24), 103-109 (2006)
- [2] 浅井博次, 田村祐一, 渡辺国彦: 没入型ディスプレイシステムのための手を用いたインタフェース, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, Vol.2003, 207-208 (2003).
- [3] 松広憲治, 河野通之, 高橋通: マイクロポールによる 3D-LCD システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.100, No.437(EID2000 231-242), 43-46 (2000)
- [4] C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.A. DeFanti: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, Proc. SIGGRAPH'93, 135-142 (1993)

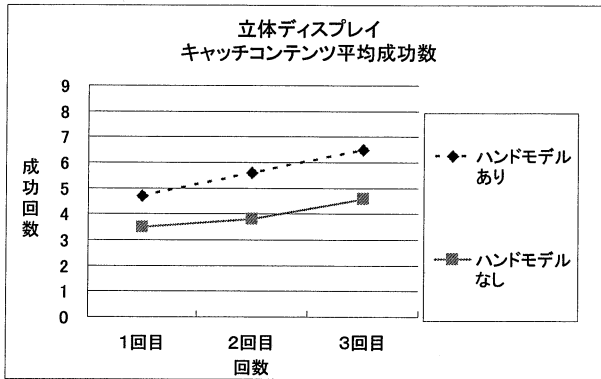


(1) 液晶型ディスプレイ

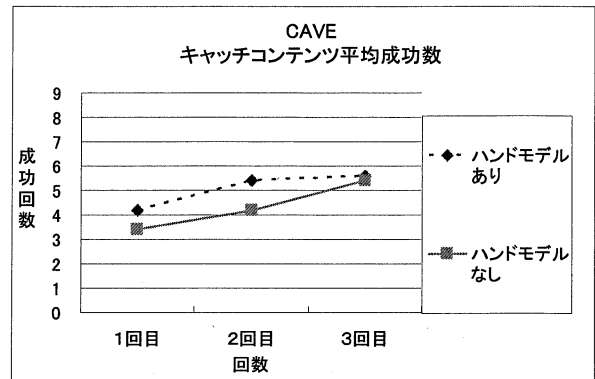


(2) CAVE 型ディスプレイ

図 7(a) タッチコンテンツでの操作平均時間

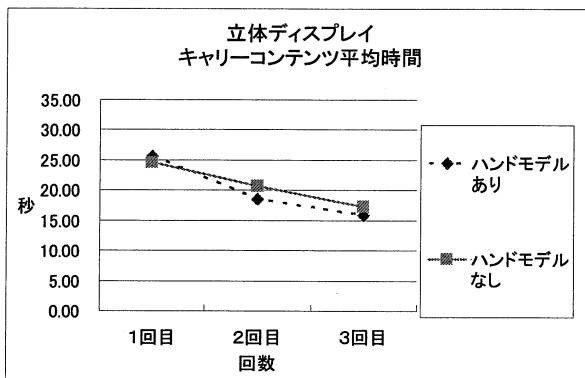


(1) 液晶型ディスプレイ

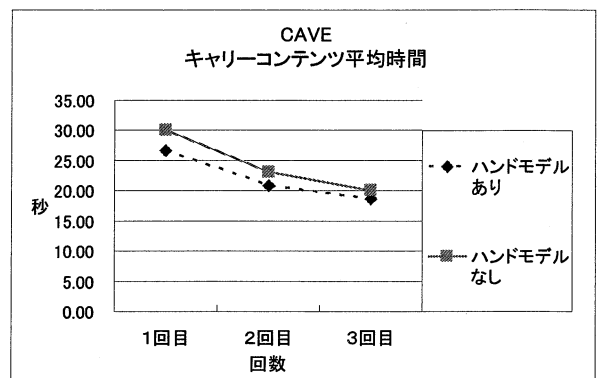


(2) CAVE 型ディスプレイ

図 7(b) キャッチコンテンツでの平均成功数



(1) 液晶型ディスプレイ



(2) CAVE 型ディスプレイ

図 7(c) キャリーコンテンツでの操作平均時間