

## 自動車の内装デザインのための 立体視画像の物体位置把握に関する一考察

吉田 俊介<sup>†\*</sup> 星野 俊仁<sup>‡</sup> 大関 徹<sup>‡</sup> 宮崎 慎也<sup>†</sup> 長谷川 純一<sup>†</sup> 福村 晃夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup>中京大学 情報科学部

〒470-03 愛知県豊田市貝津町床立101

<sup>‡</sup>トヨタ自動車株式会社

〒471-71 愛知県豊田市トヨタ町1

\*e-mail: shun@grad.sccs.chukyo-u.ac.jp

本研究では、自動車の車内の様子をCGの立体映像により再現し、その中で運転装置を含めた車内のデザインについて様々な角度から検討、評価できるシステムの実現を目指している。自動車の内装デザインにおいては、美観およびハンドルによる計器パネルの隠れなどの安全性を考慮する必要があるため、高い表示位置精度が要求され、これを実現するためには、両眼視差を用いた立体視における人間の知覚特性を明らかにする必要がある。

本報告では、特に視点から近い位置にある物体の知覚や、運転席に座って計器類を流し目で見た場合などの斜め方向の知覚を考慮した奥行き知覚に関する実験を行い、システムを実現する上で解決すべき問題点について考察を行った。

## A Study of Depth Perception of Virtual Objects by Stereoscopic Images for Car Interior Designing

Shunsuke Yoshida<sup>†\*</sup> Toshihito Hoshino<sup>‡</sup> Toru Ozeki<sup>‡</sup>

Shin-ya Miyazaki<sup>†</sup> Jun-ichi Hasegawa<sup>†</sup> Teruo Fukumura<sup>†</sup>

<sup>†</sup>School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University

101, Tokodate, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-03, Japan

<sup>‡</sup>TOYOTA Motor Corporation

1, TOYOTA-cho, Toyota, Aichi, 471-71, Japan

\*e-mail: shun@grad.sccs.chukyo-u.ac.jp

We have been developing a car interior design system that enables one to examine and evaluate car interior in the virtual space. A scene in a cockpit of the car is displayed by stereoscopic computer graphics images that have the binocular disparity. Perception characteristics in the stereoscopic display are tried to research to obtain exact view that is important for car interior design with beauty and safety.

We measured characteristics of depth perception in the stereoscopic display, especially, in the case that virtual objects are located near from the eye and in the oblique direction which supposes to look askance at the console panel in the state one is sitting in the seat. The issues in developing our system are also discussed in the paper.

## 1. はじめに

仮想現実感（バーチャルリアリティ：VR）の技術を利用して実用的なシステムを構築しようという試みが、最近、設計やトレーニング、情報通信、あるいはアミューズメントなどの様々な分野で活発に行われている [1] - [3]。

現在我々もそのような試みの一つとして、コンピュータグラフィックス（CG）により立体表示された仮想空間内で、車内の形状やデザインから受ける印象を検討、評価するための自動車内装シミュレーションシステムの研究を行っている。本システムが実現されれば、従来の木や粘土などを使った実体モデル作成に必要な時間と費用を軽減でき、デザインプロセスの早い段階での十分な試行やデザイン期間の短縮等が可能になる。

一般に、立体映像による仮想体験を目的としたVRシステム [4] の多くは、両眼視差、輻輳角を利用した立体視を行っており、我々のシステムも例外ではない。しかしながら、両眼視差情報による立体視では、焦点調節などの普段人が奥行き感を知覚する際に使用している視覚機能の一部を使えないために、計算上での表示位置と人間が実際に感じる表示位置とが異なったり、また、不自然さ、疲れ、酔いを感じたりするといった問題が生じる [5] - [7]。これらの問題があまり表面にでてこなかった理由としては、これまでのVRシステムがアミューズメントやトレーニングに用いられることが多く、その場合、高い位置精度や、不自然さが顕著に現れる視点から近い仮想物体の表示を必要としなかったためと考えられる。しかし、本文で述べるような自動車の内装デザインを検討するためのシステムでは、観察者の手の届く範囲に仮想物体を精度良く表示する必要がある。

仮想物体の知覚位置精度については、これまでもいくつかの報告 [8] - [12] がなされているが、我々の

システムに必要な、視点から近い距離にある物体の表示や、シート位置に座り、斜め前の計器類を流し目でみるような場合についてはほとんど検討されていない。

そこで本研究では、特に自動車の内装デザインにおいて必要となる比較的視点から近い距離にある仮想物体の位置把握について検討し、人の知覚特性に合致する立体表示の可能性について考察する。以下に、2. で実験方法を詳しく述べた後、3. で実験結果を、4. でその結果に対する考察を行う。

## 2. 奥行き知覚に関する実験

### 2. 1 表示装置の構成

表示装置および実験器具の配置を図1に示す。グラフィックワークステーションで生成された立体視画像は、プロジェクターにより表示領域2400×1800（mm）の大型スクリーン上に投影される。立体視画像として、視点とスクリーンの位置より得られる視体積内の物体をスクリーンに投影した画像を左右の眼ごとに生成し、それらを時分割方式による液晶シャッター眼鏡を用いてそれぞれの眼に提示し立体視を行う。更に、外部光のスクリーンへの写り込みなどによるスクリーン自体の知覚から生じる立体視への悪影響を軽減するため、装置全体は暗室内に設置する。

### 2. 2 実験方法

被験者の視点位置を固定するための顎台をスクリーンから1300mmの距離に置き、高さ100mmの実物体および仮想物体の円錐を被験者の正面および左斜め前方に提示する。瞳孔間距離は被験者が遠方を注視した状態を計測し、被験者の

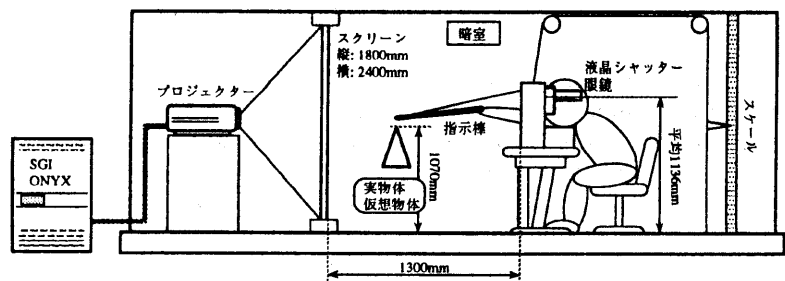


図1 表示装置および実験器具の配置

視点とスクリーンとの距離は顔を顎台に固定する度に測定した。円錐はハンドルや計器類の位置を考慮し、視点のやや下方に頂点が位置するように提示した。また、自動車のコンソールを想定して視点から1300mm、すなわちスクリーン上に背景として仮想物体の壁面を表示した。

知覚した位置の計測は、指示棒の移動量を指示棒先端に取り付けた糸の長さの変化量から測定することで行う(図1)。この際、指示棒で触れることにより位置が知覚されることを避けるため、実物体、仮想物体共に円錐の頂点の約10mm上を指すよう被験者に指示した。被験者は、仮想物体の立体視が著しく不安定な者(12人中2人)を除外した、正常な視力を有する10人(21~36歳の男女)とした。

実物体と仮想物体に対する奥行き知覚を比較するために、まず初めに被験者が実物体の位置をどれほど正しく把握できるかを調べ、次に仮想物体について実物体と同様の位置把握実験を行う。最後に、仮想物体について他種類の奥行き距離について実験を行い、より詳しい知覚特性を調べた。

### [実験1] 実物体の奥行き知覚

まず、人が実際の物をどれだけ正確に位置把握しているかを調べるために、実物体を被験者の正面、視点から400mmと800mmの位置に置き、知覚した位置を指示棒で指示させた。この操作を前回指した位置が記憶されないよう休憩を挟みつつ7回繰り返し、その位置を計測する。この際、仮想物体の実験と条件を同じにするために液晶シャッター眼鏡を装着し、壁面の背景を表示して実験を行った。また、斜め方向の知覚特性を調べるために、左前方20度の方向に正面の場合と同様に視点から400mmと800mmの位置に実物体を置いて実験を行った。

### [実験2] 仮想物体の奥行き知覚

仮想物体の奥行き方向の物体位置把握を計測するために、実験1と同様の実験を先程と同じ10人の被験者で仮想物体に対して行った。

### [実験3] 仮想物体の知覚特性

計測位置を5ヶ所(300mm, 400mm, 600mm, 800mm, 1000mm)に増やし、それぞれの位置について各7回ずつ仮想物体を合計35回ランダムに提示する。これを正面、斜めについて先程の10人の被

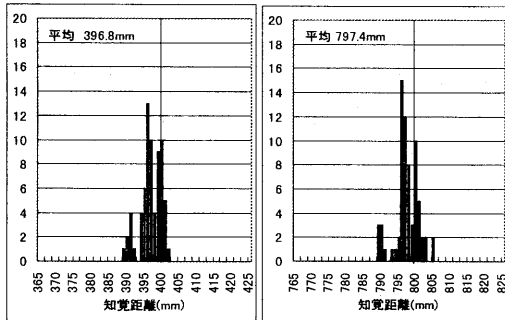


図2 知覚距離の度数分布(実物体、正面)

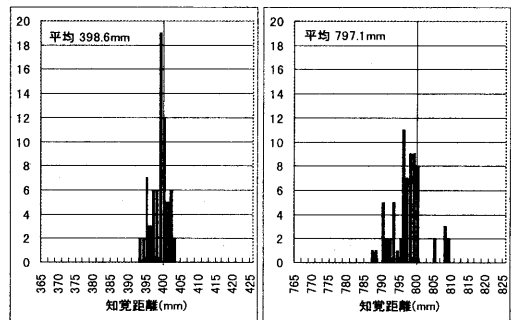


図3 知覚距離の度数分布(実物体、斜め)

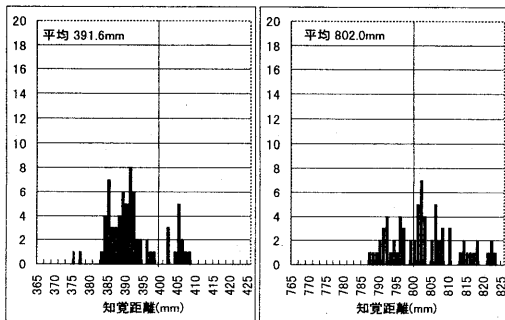


図4 知覚距離の度数分布(仮想物体、正面)

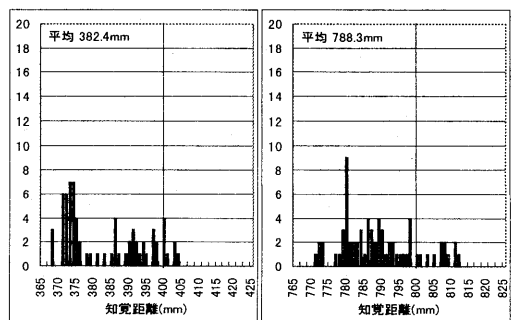


図5 知覚距離の度数分布(仮想物体、斜め)

表1 知覚した距離の平均値と信頼区間（実物体）

被験者	正面400mm		正面800mm		斜め400mm		斜め800mm	
	平均	信頼区間	平均	信頼区間	平均	信頼区間	平均	信頼区間
A	398.4	0.583	796.7	0.361	399.6	0.535	796.1	1.676
B	395	1.132	796.9	0.511	398.9	0.378	799.1	0.9
C	394.9	0.667	797.9	2.398	395.4	1.272	795.3	1.976
D	390.4	0.583	789.7	0.56	398.6	1.134	795.7	1.113
E	396.3	0.705	795.7	1.899	394.4	0.976	790.7	2.928
F	397.6	1.12	801.9	1.242	401.7	0.951	798.3	1.496
G	400	0.428	800.6	1.199	401.1	1.069	807.4	1.718
H	398.9	0.792	799.1	0.667	397.1	0.9	798.7	1.254
I	396.1	0.511	796.9	0.792	399.9	1.069	798.7	0.756
J	400.9	0.511	798.3	1.4	399.1	1.069	791.3	1.604
平均	396.8	0.703	797.4	1.103	398.6	0.935	797.1	1.542
標準偏差	3.027	0.246	3.281	0.659	2.325	0.275	4.692	0.62

(単位: mm)

験者に対して行った。

### 3. 実験結果

まず、実験1で実物体を正面に提示した場合と斜めに提示した場合の、10人の被験者の各7回(合計70度数)の計測によって得られた知覚距離の度数分布をそれぞれ図2、図3に示す。また、被験者別の知覚距離の平均値と、95%の信頼区間を表1に示す。これらの結果から、実物体については遠近、正面、斜め方向すべてについて手前を指し示す傾向が若干見られるものの、95%信頼区間は±2mm程度で収まっており、ほぼ正確な位置に安定して奥行きが知覚されていることがわかる。

次に、実験2で得られた知覚距離の度数分布を図4、図5に、また、被験者別の平均知覚距離と95%信頼区間を表2に示す。

図2、図3と図4、図5を比較することにより仮想物体の方が実物体に比べて全体的に分布範囲が広がる傾向にあり、知覚のばらつきが明らかに増えていることが分かる。実物体では、若干の距離のズレが確認されただけであったが、仮想物体については正面400mmの場合では約9mm手前、同800mmではやや奥、斜め方向400mmの場合では約18mm手前、同800mmの位置では約12mm手前というように知覚距離に明らかなズレが見られる。しかしながら、表2の結果より信頼区間は±4mm程度であり、実物体と比較してばらつきは増えるものの、仮想物体でも遠近、正面、斜め方向に関わらず、ある程度の奥行き知覚はできていることがわかる。

実験3の10人の被験者個別の各提示位置と知覚した位置との誤差の分布を、正面、斜め方向

表2 知覚した距離の平均値と信頼区間（仮想物体）

被験者	正面400mm		正面800mm		斜め400mm		斜め800mm	
	平均	信頼区間	平均	信頼区間	平均	信頼区間	平均	信頼区間
A	385.9	1.419	801	0.824	370.1	1.695	789.5	2.24
B	390.7	2.914	810.5	5.713	375.4	0.943	773.3	2.419
C	390.7	0.667	791.5	1.68	373.8	0.56	780.2	0.997
D	388	0.667	801.5	2.32	365.9	1.353	795.3	2.671
E	385.3	5.736	795.5	1.381	371.6	0.56	783.6	3.076
F	402.6	1.947	817.2	3.126	401	1.242	808.2	1.446
G	392.7	1.242	805	1.993	392	2.473	784.3	3.873
H	389.3	1.807	798.5	2.914	385	5.193	786.7	1.953
I	405.7	0.9	809.6	3.046	397.3	2.132	800.9	3.75
J	385.4	1.807	789.6	1.749	372.4	0.84	780.6	1.749
平均	391.6	1.91	802	2.475	382.4	1.699	788.3	2.417
標準偏差	7.084	1.508	6.757	1.365	11.41	1.384	10.51	0.946

(単位: mm)

の場合それぞれについて図6、図7に示す。この結果から、仮想物体の位置知覚のズレは、ある距離を基点として手前の物はより手前に、奥の物はより奥へ知覚していることがわかる。また、その基点は被験者ごとにそれぞれ異なり、斜め方向については正面の場合と比較してその基点が奥に移動する傾向が見られる。

以上をまとめると次のようになる。

- 1) 実物体と比較すると平均的なズレやそのまわりのばらつきは増えるが、仮想物体でもある程度の奥行き知覚が可能である。
- 2) 仮想物体に対して、ある距離を基点として手前の物をより手前に、奥の物をより奥に知覚する傾向にある。ただし、その基点は個人差がある。
- 3) 斜め方向についてはその基点が奥に移動する。

以上の結果を基に、次章ではその原因と補正方法についての考察を行う。

## 4. 考察

### 4.1 瞳孔間距離変化による誤差要因

視点から表示する位置が離れるにつれて、誤差が正の傾きで変化していくことの要因の一つに、眼球の輻輳運動による瞳孔間距離の変化が考えられる。そこで、提示物の位置による理論的な瞳孔間距離の変化(瞳孔間距離65mm、眼球半径12mm<sup>[13,14]</sup>で計算)と、前の実験3の結果である知覚位置誤差を瞳孔間距離に換算した場合とを比較した。正面の場合の瞳孔間距離の変化を図8に、斜め方向の場合を図9に示す。

これらより、知覚誤差から換算された瞳孔間距離の変化は、提示位置が視点から離れるにつれて増加する輻輳運動による変化と同じ傾向が

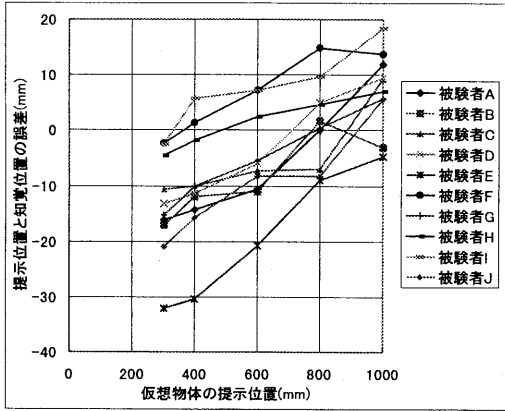


図6 提示位置と知覚位置の誤差 (正面)

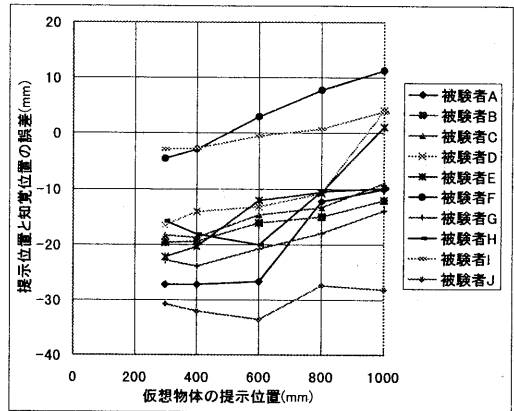


図7 提示位置と知覚位置の誤差 (斜め)

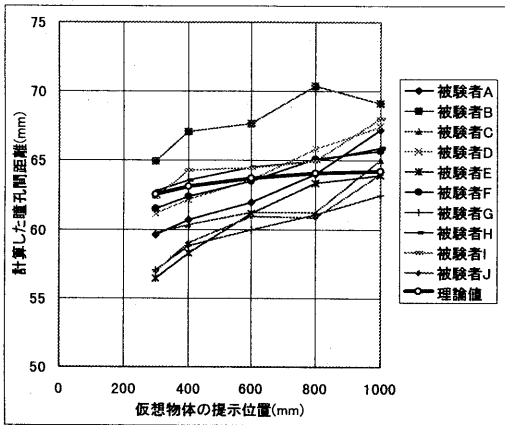


図8 各提示位置での計算上の瞳孔間距離 (正面)

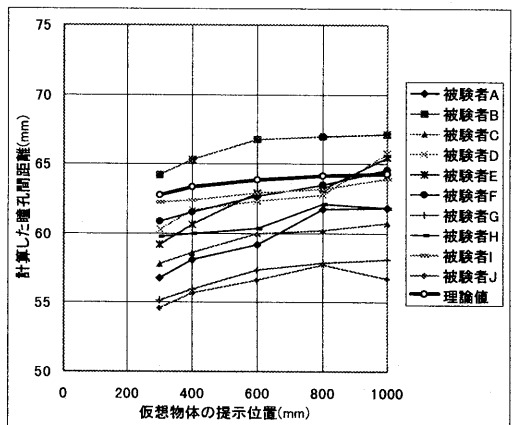


図9 各提示位置での計算上の瞳孔間距離 (斜め)

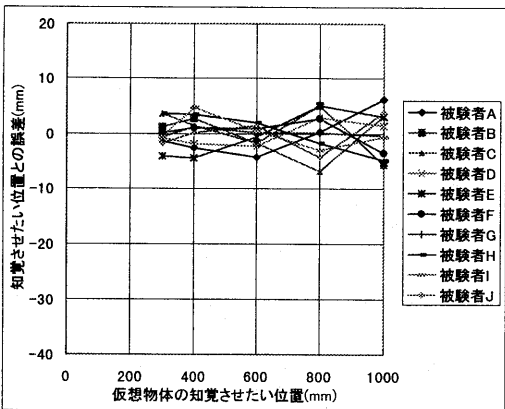


図10 補正関数により予測される誤差 (正面)

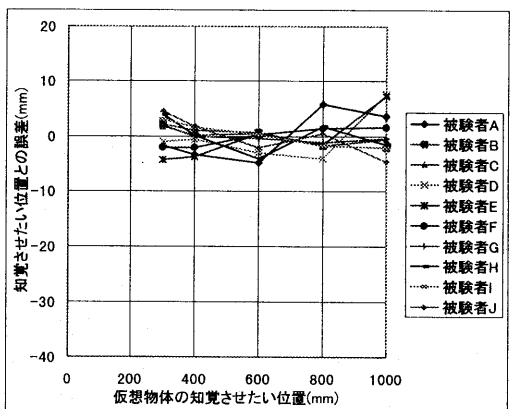


図11 補正関数により予測される誤差 (斜め)

表3 補正有無の誤差平均変化 (正面)

正面		300	400	600	800	1000
補正	平均	-13.5	-9.9	-5.28	1.217	7.325
なし	標準偏差	9.14	10.11	8.772	7.789	7.071
補正	平均	-0.07	0.541	-0.59	0.028	0.246
あり	標準偏差	2.379	2.838	1.946	4.014	3.993

(単位: mm)

表4 補正有無の誤差平均変化 (斜め)

斜め		300	400	600	800	1000
補正	平均	-18.1	-18	-15.5	-11	-6.29
なし	標準偏差	8.88	9.455	10.98	9.644	11.51
補正	平均	0.828	-0.54	-1.22	-0.22	0.855
あり	標準偏差	2.946	1.946	2.116	2.76	4.116

(単位: mm)

確認できるが、その変化量が理論値と異なる結果となった。

このように、理論的な輻輳の変化だけでは説明に矛盾があり、知覚誤差には瞳孔間距離以外の要素が働いていると考察される。

#### 4. 2 仮想物体の知覚位置の補正

これまでの実験結果から、仮想物体については提示した位置と知覚位置が異なることが判明した。形状デザインを検討を行う上では、正しい位置に物体を知覚させることは重要な要素であり、このような知覚誤差を減少させるために補正を行う必要がある。そこで、これまでの計測結果を基に、仮想物体を正しい位置に知覚させるための補正の方法について考察する。

各被験者について、 $x$ を知覚した位置、 $y$ を提示した位置とした時、 $x, y$ の関係がほぼ線形に変化する傾向が見られることから、各被験者 $i$ の回帰直線、式(1)を算出する。

$$f_{(i)} : y = f_{(i)}(x) : y = a_{(i)}x + b_{(i)} \quad \dots (1)$$

この時、補正関数として、上記関数 $f_{(i)}$ の傾き $a_{(i)}$ の平均値 $a$ を傾きとし、視点とスクリーンの中心位置、つまり、 $(f_{(i)}^{-1}(650), 650)$ を通る線形関数、式(2)を得る。

$$g_{(i)} : y = g_{(i)}(x) : y = ax + c_{(i)} \quad \dots (2)$$

本補正関数 $g_{(i)}$ では、あらかじめ $a$ を得ることにより、各被験者の1点(提示位置650mm)を計測するだけで補正を行うことができる。

次に、式(2)の補正関数によって求められる提示すべき位置 $y$ に仮想物体を提示した場合に、それぞれの被験者がどの位置に知覚するのか予想される位置を求めた。その知覚させたい位置との誤差を正面の場合を図10に、斜め方向の場合を図11に示す。また、各被験者の知覚誤差を平均した値を、補正前後についてまとめたものを表3,4に示す。知覚予想値は、3.3で求められた各提示位置での平均知覚位置を区間ごとに線形補間した関数より求めた。

#### 5. まとめ

本研究では、立体視技術を用いた自動車の内装デザイン支援システムに必要な表示範囲内に

おいて、正確な位置に仮想モデルが知覚できるシステムを開発するための準備として、両眼立体視における仮想物体の位置把握について検討を行った。本システムのように比較的視点から近い距離に仮想物体を提示する場合は、ある基点から手前のものはより手前に、奥のものはより奥に感じ、斜め方向ではその基点が奥に移動するという空間特性が得られた。これは、本シミュレーションシステムを体験したデザイナーの感想である「パースがきつい(目に近い物や周辺物が自分に迫ってくる感じ)」という意見と合致する結果となった。

本システムでは、デザイン形状、取り込まれ感、囲まれ感などを人間の感覚と同等に表現する必要があり、今後は、本文で述べたような仮想物体と実物体の間の知覚のズレを補正する手法を開発する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり実験に協力して頂いた被験者の皆様に深謝致します。

#### 参考文献

- [1] 館璋, 広瀬通孝: "バーチャル・テック・ラボ", 工業調査会, 1992.
- [2] 伴野明, 岸野文朗: "臨場感通信会議におけるヒューマンインタフェイス技術", 人工知能学会誌, Vol.6, No.3, pp.358-369, 1991.
- [3] 山本泰秀, 石井雅博, 佐藤誠, "力覚ディスプレイを用いた仮想協同作業空間", 1996 信学総全大, A-415.
- [4] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. Defanti: "Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", COMPUTER GRAPHICS Proceedings, Annual Conference Series, pp.135-142, 1993.
- [5] 畑田豊彦: "生理光学(14) - 奥行き知覚特性 -", plus E, pp.108-118, 1985-10.
- [6] 畑田豊彦: "両眼視を中心とした空間認識機構", 日本眼科学学会誌, 24, 1989.
- [7] 畑田豊彦: "3次元表示技術の最近の動向", 画像電子学会誌, Vol.24, No.5, pp.466-472, 1995.
- [8] 柴崎宏武, 猪田克美: "CADの3次元直接操作手法の検討", 8th Symposium on Human Interface, pp.1-6, 1992.
- [9] 内海章, ボール ミルグラム, 竹村治雄, 岸野文朗: "仮想空間表示における奥行き知覚誤差の要因について", 信学技報, HC94-10, pp.63-70, 1994.
- [10] 清水久夫, 砂川正一, 小田哲, 宮近幸逸: "二眼式立体表示における立体知覚に関する研究", Progress in Human Interface, 4, pp.85-90, 1995.
- [11] 森本一成, 宮南雅也, 村田浩之, 緒方誠人, 黒川隆夫: "現実および仮想空間の間のサイズ知覚差について", 信学技報, MVE96-21, pp.43-48, 1996.
- [12] 緒方誠人, 村田浩之, 宮南雅也, 森本一成, 黒川隆夫: "立体視眼鏡による奥行き知覚の特性とそのモデル", 信学技報, MVE96-29, pp.97-104, 1996.
- [13] 田崎京二, 大山正, 橋渡潤二: "視覚情報処理", 朝倉書店, 1979.
- [14] 鈴木正二: "医学大辞典", 南山堂, 1954.