

「VR表示の物資流通活動への応用」

戸田政則（流通情報工学専攻）、鶴田三郎、黒川久幸

1. はじめに

1.1. 物資流通活動

物資流通活動は、輸送、保管、荷役、包装、流通加工の5つから成り立っている。（図1）この中で今回は、貨物の流れを扱う活動である輸送活動、保管活動、荷役活動を対象にした。この活動の中には、計画、管理等が含まれる。例えば、保管計画の中にはレイアウト計画があるが、レイアウトを視覚的に表現することにより、計画の立案やスペース管理等が容易となる。

そこで我々は、VR（Virtual Reality）を用いた物資流通活動の視覚化を検討することとした。

1.2. VR表示

VRについて、廣瀬は「人間の外界意識を司る視覚・聴覚・触覚等の器官に対して、コンピュータによる合成情報を提示し、それによって人間周囲に仮想的な世界を作り上げるための技術である」と定義している[1]。

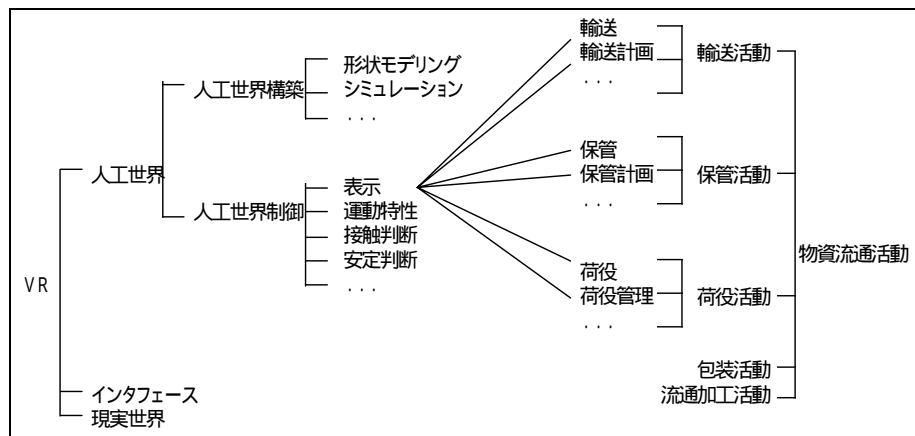


図1 VRと物資流通活動

コンピュータによって作られた仮想的な世界を視覚・聴覚等に関するインタフェースを介して、あたかも自分の周囲にあるかのようにするためには、様々な機能が必要となる。この中でも、対象オブジェクトや施設等の表示はVRにおいて基本であるし、輸送活動、保管活動、荷役活動の視覚化のためにも重要である。

1.3. 研究対象

VRにおいて表示されるものは、図1の人工世界構築によって生成された、人工世界の環境、人工施設、輸送機器オブジェクト等であり、この場合、臨場感や実時間性が重要となる。そしてこれらの表示されているオブジェクトは、自律性を持たなければならない。このオブジェクト等を表示するためには、表示機器が必要であり、表示方法、視野の大きさ、表示の精度、表示の追従性等が重要となる。表示機器によって表示されているオブジェクト等を制御するためには、インタフェースが必要であり、操作性についても考慮しなければならない。

そこで、実時間性、臨場感、操作性、自律性及び表示方法等について検討するために、フォークリフト作業をモデルとしたシステムを構築し、実機との比較によって検討を行った。また、表示の精度等について検討するために、海上での見張り作業をモデルとした実験を行った。

2. 表示装置と実験の種類

2.1. 表示装置について

今回VR表示で用いた機器は、CRTとHMDである。CRTのサイズは、21インチであり、HMDの液晶表示部のサイズは各眼とも、1.3インチである。この各眼の液晶表示部には、異なる出力が

可能であり、各眼とも同じ映像を出力する単眼視と、一定のずれた映像を出力することによって立体感を出し、奥行きを理解し易くした両眼視が可能である。そのため、今回は、異なる3種類の表示について評価を行うこととした。

2.2. フォークリフト作業

人工空間内に CFS を想定した人工施設を構築し、この CFS のフロアでフォークリフトオブジェクトを動かし、走行作業、荷役作業を行い、これを実機と比較することにより、実時間性、臨場感、操作性、自律性及び表示方法について、作業時間の測定、ヒアリング、フリッカーテストにより評価を行うこととした。実験としては、周回走行実験2種類と荷役作業実験3種類を行い、作業時間によって、どの様な作業を行う場合に特定の表示機器が有効かを検討し、その表示機器を使用した場合、どの程度疲労するかをフリッカーテストを用いて測定した。また、ヒアリングによって、表示の実時間性、生成された人工世界の臨場感、オブジェクトの操作性、自律性の評価を行った。

2.3. 表示の精度

HMD を使用するに当たって考慮すべきものとして、視線の向き・視角・視距離がVR空間と現実とで一致しているかということが挙げられる。今回は、船舶における見張りを想定し、その時の視線の精度について検討を行うこととした。HMD の表示の精度に関わってくるものとして、センサーの方位測定精度、安定性、追従性及び当該運動以外の平行・回転運動の影響が挙げられる。今回は、水平回転における、VR表示方位の現実の方位に対する誤差、安定性及び追従性を計測した。また、頭部の前傾運動の水平回転への影響についても計測を行った。

3. 実験結果

3.1. フォークリフト作業

3.1.1. 作業時間

(1) 周回走行実験

3種類の表示方法の比較を行うための、2種類の周回走行実験及び3種類の荷役作業実験の結果を図2に、実機作業時間に対する比で示す。

四角周回走行実験においては、CRTとHMDとの間に大きな差は見られなかったが、三角周回走行実験では、CRTで1.09、HMD両眼視で1.00であったのに対し、HMD単眼視では1.31と実機との差が大きくなった。

(2) 荷役作業実験

フォーク差し込み実験においては、CRTでは1.83であったのに対し、HMD単眼視で1.36、HMD両眼視で1.14とHMDの方が実機に近い時間となった。これは荷役作業においてはHMD導入の効果があったことを示していると考えられる。さらにHMD単眼視よりも、立体感の高く奥行きが理解し易いHMD両眼視の方が実機に近い値となった。

積み下ろし実験においては、HMDの方が実機に近い値となった。また、直角積み付け実験では、HMD単眼視がもっとも悪くなった。

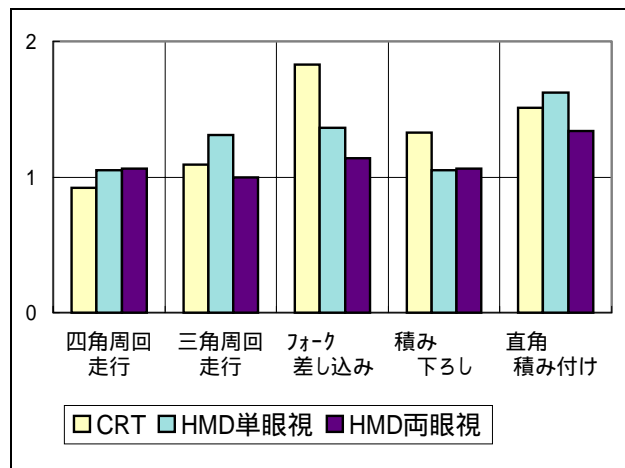


図2 作業時間の平均

3.1.2. ヒアリング

3種類の表示方法の、実時間性、臨場感、操作性、自律性についてのヒアリングの5段階評価結果を表1に示す。表中のかっこ内の数値は標準偏差を示している。

表示装置を総合的に比較すると CRT で 3.4 であったのに対し、HMD 単眼視で 3.21、HMD 両眼視で 3.08 という結果になっており、CRTの方が5に近く、評価が高いという結果となった。

実時間性では、頭の揺れの影響がなく、表示が安定している CRT の評価が高かった。臨場感では、3種類とも大きな差は見られなかった。操作性では、立体視のために2台の計算機を並列に動かしているため、画面処理速度が遅く、操作具の感が悪くなった HMD 両眼視の評価が低かった。自律性では、立体感があり、衝突の理解が容易な HMD 両眼視の評価が高かった。

表1 ヒアリング結果

	CRT	HMD 単眼視	HMD 両眼視
実時間性	4.44 (0.59)	3.40 (0.19)	2.60 (0.16)
臨場感	3.56 (0.79)	3.32 (0.57)	3.49 (0.31)
操作性	3.00 (0.90)	2.98 (0.71)	2.31 (0.32)
自律性	2.56 (0.73)	2.67 (0.59)	3.00 (0.31)
総合	3.40 (0.85)	3.21 (0.65)	3.08 (0.40)

3.1.3. フリッカーテスト

3種類の表示方法に関する実験終了後のフリッカー値を、平常時を1として、実験を行った順に示したものが図3である。

最初に行った CRT の実験終了後には、0.997 とほとんど平常時と差がないのに対し、HMD 単眼視の実験終了後には 0.947、HMD 両眼視の場合 0.978 と大きな差が見られた。これは、CRTの方が疲労が少ないことを示している。

両眼視の方が1に近い結果が得られたが、これは被験者が初めて HMD を使用した場合には、表示装置に慣れていないため差が大きくなり、2度目ともなると、HMD に慣れたため小さくなったものと思われる。

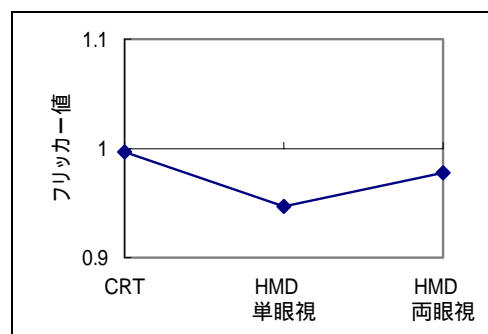


図3 フリッカー値

3.2. 表示の精度

3.2.1. 実験方法

水平方向に自由に回転させることのできる安定した台の上に置かれた HMD を、左右それぞれ 180° 回転させ、そのときの VR 表示での方位を計測した。方位は計測を始める点を 0°、右方向をプラス、左方向をマイナスとし、10° 毎に 5 回ずつ計測を行い、方位精度と安定性を計測した。

3.2.2. 方位精度

計測の結果、水平方向では最大 2.8° の誤差が生じた(図4)。しかし、計測結果を見ると 0° から 180°、0° から -180° のそれぞれで、2つの回転角度の差と HMD 回転角度の間に強い関係があるため、そ

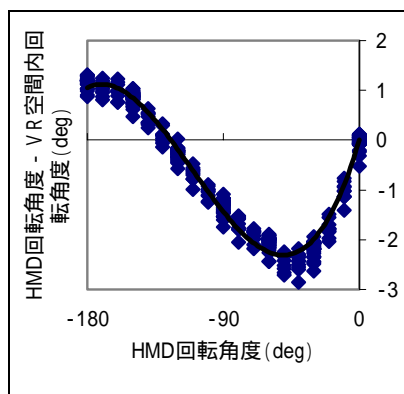


図4 方位誤差 (左側修正前)

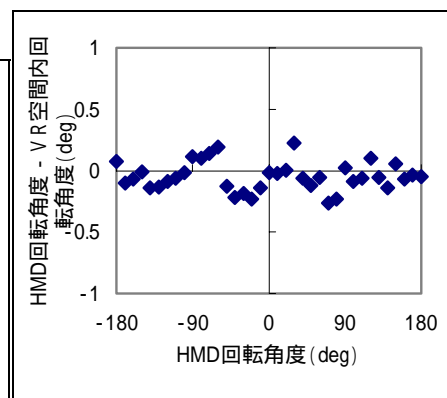


図5 方位誤差 (左右修正後)

れぞれについて、回帰式を求めたところ、 R^2 値はそれぞれ右側 0.978、左側 0.955 と高いものとなった。そこで、この回帰式を利用して測定誤差を修正した結果、水平方向の誤差は最大 0.3° となった(図5)。

3.2.3. 安定性

各角度毎に方位を 5 回ずつ計測した結果、最大値と最小値の差は、最大で 0.67° となった。HMD は安定した台の上に置かれているため、この測定値の変動は設定誤差、読み取り誤差及びセンサーの受信部による機械的な振動による誤差であると思われる。

3.2.4. 他方向への運動

視線は通常、座位で 5° 、立位で 10° 下方であるので、この頭部の前傾の影響を計算によって求めた。図6に示すように、 10° 前傾した場合の水平方向方位誤差は最大 0.5° となった。

3.2.5. 追従性

3Dグラフィックボードの表示性能は 450K ポリゴン / 秒であり、センサー受信部の更新速度は 120Hz である。今回行った実験システムではポリゴン数は 300 に満たないものであるため、回転角速度が大きい場合、センサー受信部の更新速度に応じた遅れが生じることとなる。

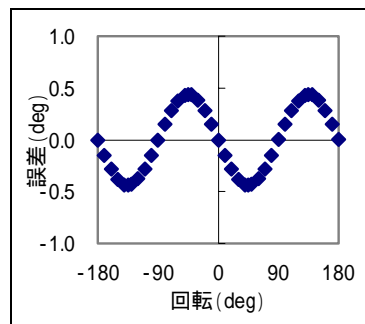


図6 10° 前傾した場合の誤差

4. 結論

4.1. フォークリフト作業

実時間性、臨場感、操作性、自律性及び表示方法の評価を行うために人工施設の中でのフォークリフトオブジェクトによる走行作業、荷役作業の実験を行った。作業時間の測定では、HMD 両眼視がもっとも実機に近い作業時間となったが、作業によっては CRT でも実機に近い作業が行えるという結果となった。ヒアリング結果と総合すると画面更新のスムーズさが重要であり、それに対し視線移動が少なく、立体視がそれ程要求されない場合には CRT が良い。また、視線移動の頻度・範囲が大きく、画面更新のスムーズさよりも立体視の重要性が高い場合には HMD 両眼視が有効である。

4.2. 表示の精度

HMD の視線方位精度や安定性の検討を行うために、HMD の水平回転の実験を行った。平均の方位誤差は修正を行うことにより最大で 0.3° となった。ただし、各測定の最大値と最小値の差は最大で 0.67° であった。追従性では、センサー受信部の更新速度に応じた遅れが生じるが、今回行った実験システムでは、頭部の回転速度がそれほど速くない場合、無視することができる。また、頭部の前傾による水平方向方位誤差は、 10° 前傾した場合でも最大で 0.5° であった。今回の実験の結果では、方位誤差、安定性、頭部の前傾の影響を総合すると 1.5° 以下となる。

参考文献

- [1] 廣瀬通孝 「バーチャル・リアリティ応用戦略」 オーム社 pp15