

認知科学

松永 勝也

1

立体感画像提示技術の分類

(立体画像システム研究会, 1988)

画像の種類	観察用器具	方式
単眼像式	単眼覗き眼鏡式	ミラー式 レンズ式
単立体画像対式	2眼覗き眼鏡式	裸眼 パノラマ (180°-360度両角) 式 (Baker, 1788) シネラマ ミラー式 (Whetstone, 1828) プリズム式 (Brewster, 1849) レンズ式 (Bliss, 1859) 頭部搭載式 (Scheffer, 1968)
		フィルター 眼鏡式 偏光フィルター式 (Land, 1935) アナグリフ (補色カラーフィルター) 式 (D'Almeida, 1958) 増分画式-シフト式 (増減式, 電子式) - 偏光フィルター式 レンズ式 レンボキネマ式 (Ilex, 1932) パララックスパリアード式 (Ilex, 1932) オートステレオグラフィ 大画面ミラー式 (Vukobratovic, 1966) 大凸レンズ式 (Vukobratovic, 1966)
多立体画像対式	裸眼	パノラマパリアード式 (Kaneh, 1918) レンボキネマ式 インテグラル式 (Lipman, 1908) 回転円筒式 (Hartwig, 1983) パリアードミラー式 (Trub, 1967) 移動式パリアード式 表示距離増大式 (Bogak, 1985)
飛行器標準化式	裸眼	パリアードミラー式 レーザ光 (レーザーレイト光) 再生ホログラフィー (Gabor, 1948) 自然光 (レーザーレイト光) 再生ホログラフィー リップマンホログラフィー (Dennis, 1962) レインボウホログラフィー (Benton, 1969) マルチプレックスステレオグラフィ (McClintock,) CGホログラフィー 動画ホログラフィー 検索方式 (Losh, 1966) アプレジション方式 (Manik, 1966)
固体内発光式 (Lewis, 1971)	裸眼	

2

臨場感

1. 人間にとって、自然な3次元空間であること。
2. 人間がその中で、自由に行動でき、人工環境との相互作用が自然であること (実時間相互作用性)。
3. 自己が投射されていること。

臨場感の高い映像提示条件

1. 映像の画角が大きいほど臨場感が高くなる。
 - ・30度を超えると臨場感(立体感)が高くなる。
 - ・80度くらいで飽和する(畑田ら, 1979; 畑田, 1993)。
 - ・応用例: ハイビジョン、オムニマックス、マルチスクリーンなど。
2. 立体的に見えること。
 - ・応用例: CAVE、ImmersaDESK、CABINなど。
3. 人工環境が自然環境に忠実であるほど臨場感が高くなる。
 - ・画像: 分解能、色彩、光源など。

3

頭部搭載型ディスプレイ (ヘッドマウンテッドディスプレイ)

- 1) 画面のみえが頭の動きに影響されない。
- 2) 画角を大きくすることが出来る。



4

人工現実感技術の応用

遠隔操縦システム

- 原子力発電所
- 災害現場
- 宇宙空間
- 海底
- 非快適環境

5

極限環境下における作業



6

遠隔操縦技術の利用例(2)



7

遠隔操縦技術の利用例



8

遠隔操作システム例2(手術ロボット)



医学部橋爪研究室

普賢岳麓での遠隔工事システムの概要

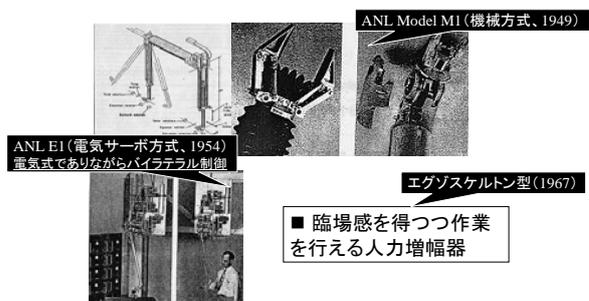


源¹⁰

工事現場、操作室の位置関係



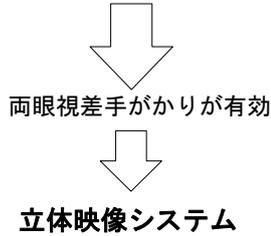
遠隔操縦技術の発展経緯



10

遠隔操縦を行うには空間構造の認識が必要

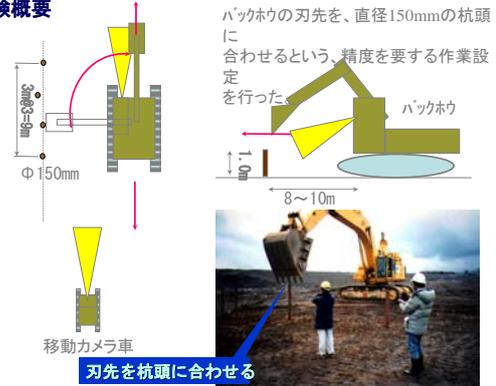
遠隔地の作業を行なうためには、その空間の奥行き構造の認知が必要である。



13

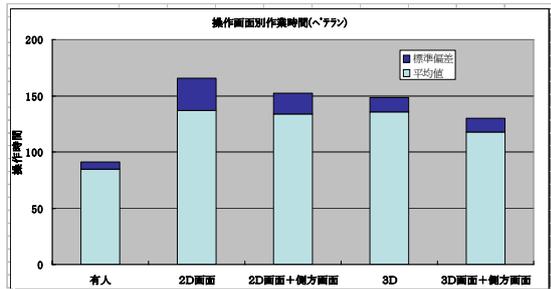
ボイディング作業における操作画像種別作業効率

実験概要



14

遠隔操作画像種別効率



・側方面面とは移動カメラ車による映像である。

15

映像下作業時間

映像下での作業時間は、直視下の作業時間に比較し、大変長い。



映像提示法の改善の必要

16

映像空間における作業特性

両眼視で、頭を動かせる条件での作業時間が短い。



運動情報が空間構造認識に影響を与えている。

17

実空間での実験の結果

- ① 頭部運動の効果
 - ・誤りはやや少ない。
 - ・作業時間はやや短くなる傾向が見られる。
 - ・影響はわずかである。
- ② 付随的な発見
 - ・単眼視下でも、徐々に両眼視下の作業時間に接近(練習効果、学習効果)。
 - ・両眼視の場合、当初から作業時間は短い。

18

•身体とカメラ位置の移動、静止 関係と作業効率 —まとめ—

- ・歩行しながらグリッパーを操作する場合は、カメラ(視点)は操作者の身体の移動と同期して、移動した方が作業効率は高。
- ・静止してグリッパーを操作する場合は、カメラ(視点)も固定されていた方が作業効率は高。
- ・すなわち、身体の動きとカメラ(視点)の動きは協応関係にある方が作業効率は高。

19

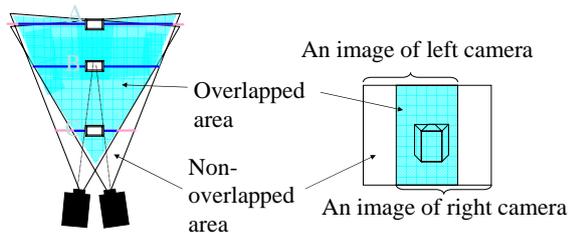
作業効率を高めるための工夫

• 重複率と作業効率

1. 遠隔操縦作業における重複率の効果
2. 輻輳点固定システムと輻輳点移動システム
3. 作業効率低下の原因

20

作業面画像重複率と作業効率



江淵、松ヶ下らの実験

21

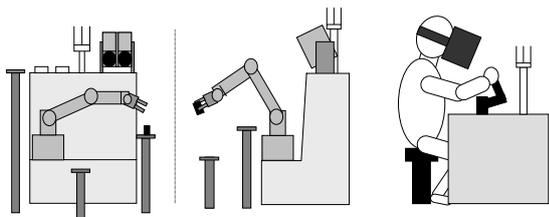
実験 I - 1 (目的)

遠隔作業において、左右眼用映像の重複率が作業効率に及ぼす影響について検討する。

22

実験 I - 1 (方法)

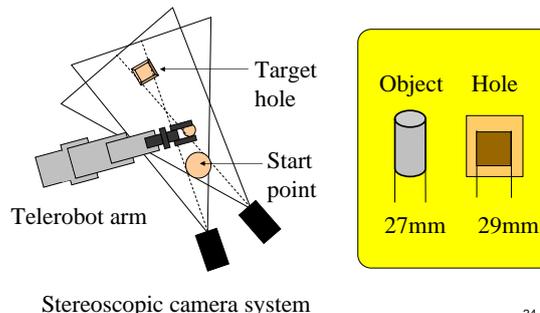
装置: マスタースレーブ型ロボット



23

実験 I - 1 (方法)

課題: 円柱の挿入作業

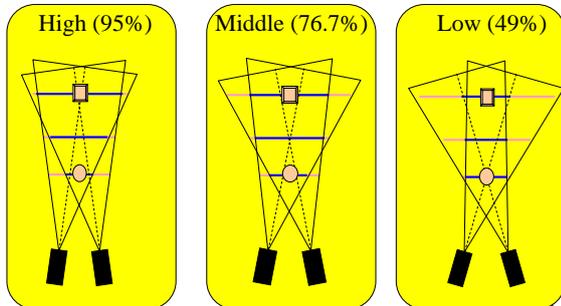


Stereoscopic camera system

24

実験 I - 1 (方法)

重複率条件:



実験 I - 1 (方法)

被験者: 22歳から29歳の男性12名

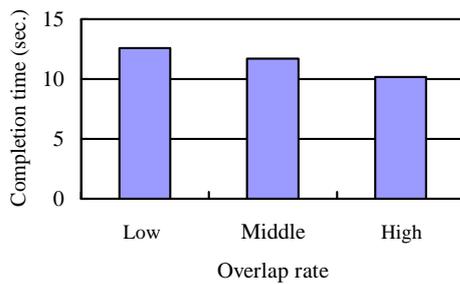
課題: 円柱の挿入作業

試行数: 各条件15回

測度: 作業時間、接触回数

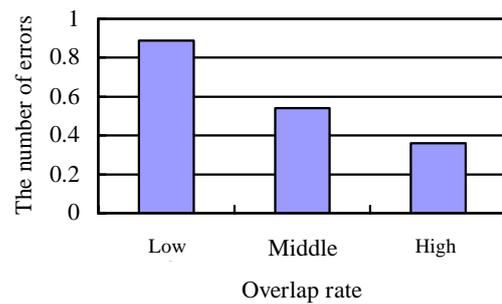
26

実験 I - 1 (結果と考察)



27

実験 I - 1 (結果と考察)



28

実験 I - 1 (結果と考察)

1. 高重複率条件において作業時間が短く、誤り(接触)回数が少なかった。
2. 半数の被験者が低重複率条件で眼精疲労を訴えた。
3. 作業開始時に高重複率条件で眼精疲労を訴える被験者がいた。



重複率が低下すると作業効率も低下する。

29

実験 I - 2 (目的)

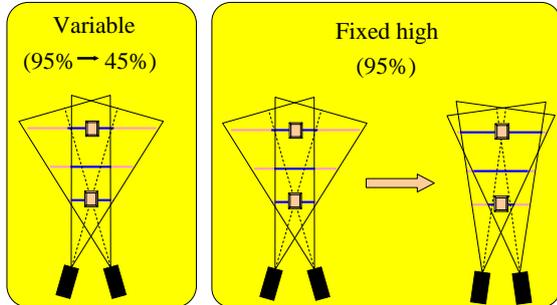
ほとんどの遠隔操縦システムにおいて、カメラの輻輳点を固定している。

カメラの輻輳点を固定した場合と輻輳点を作業対象の移動に合わせて移動させた場合とで遠隔作業の作業効率を比較する。

30

実験 I - 2 (方法)

重複率条件:



実験 I - 2(方法)

被験者: 22歳から25歳の男性10名

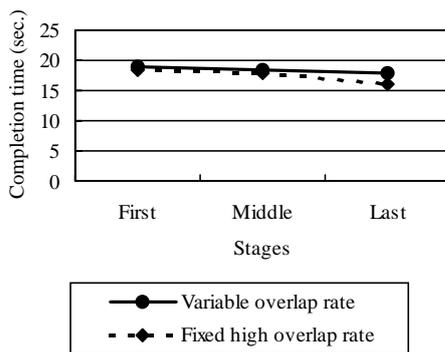
課題: 円柱の把持挿入作業

試行数: 各条件30回

測度: 作業時間、接触回数

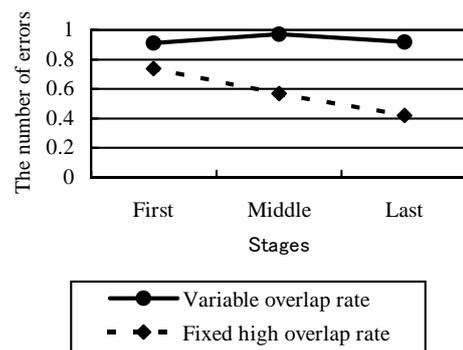
32

実験 I - 2 (結果と考察)



33

実験 I - 2 (結果と考察)



34

実験 I - 2 (結果と考察)

輻轆点固定(重複率変動)条件:

- 半数以上の被験者が眼精疲労を訴えた。
- 挿入口を融合するために時間を要す被験者がいた。

輻轆点移動(重複率固定)条件:

- 数名の被験者が眼精疲労を訴えた。
モーターの回転が遅く、円滑でなかった。
作業時間が短くならなかった原因?

35

実験 I - 3 (目的)

実験 I - 1と2では、常に輻轆と重複率が連動していた。

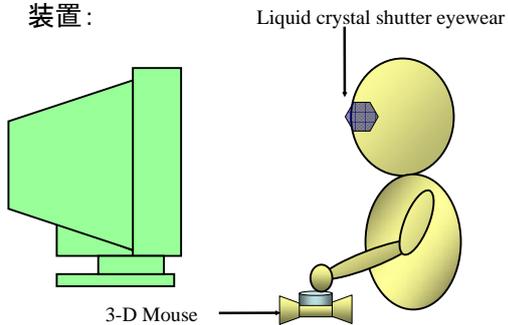


輻轆を固定して重複率だけの影響を調べる。

36

実験 I - 3(方法)

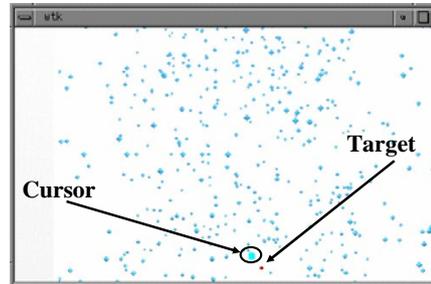
装置:



37

実験 I - 3(方法)

作業空間:



38

実験 I - 3(方法)

輻輳点: 被験者の眼前50cm

作業空間: 垂直: 20cm × 水平: 25cm (輻輳点を含む平面)

小物体: 被験者から30-80cmの奥行き位置

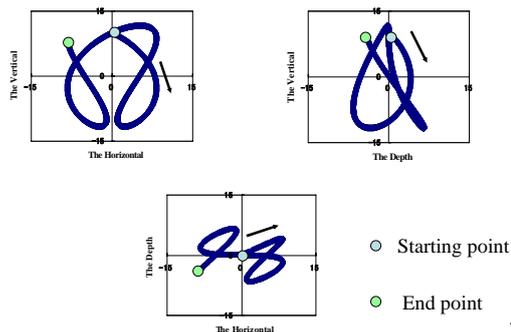
標的の運動:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \times \sin(\omega_1 t) + 5 \times \sin(\omega_2 t) \\ 10 \times \cos(\omega_3 t) - 6 \times \sin(\omega_3 t) \\ -3 \times (\sin(\omega_1 t) - \sin(\omega_2 t) - \sin(\omega_3 t)) \end{bmatrix}$$

39

実験 I - 3(方法)

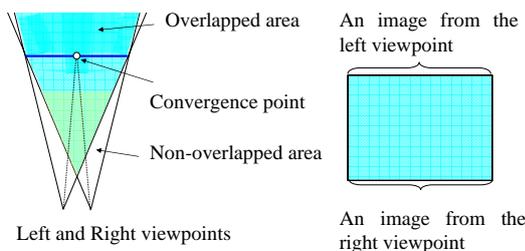
標的の運動:



40

実験 I - 3(方法)

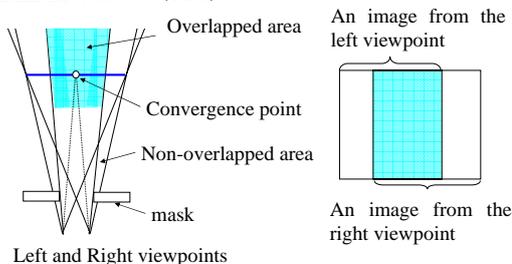
高重複率条件 (100%)



41

実験 I - 3(方法)

低重複率条件 (50%)



42

実験 I - 3 (方法)

被験者: 21歳から27歳の男性12名

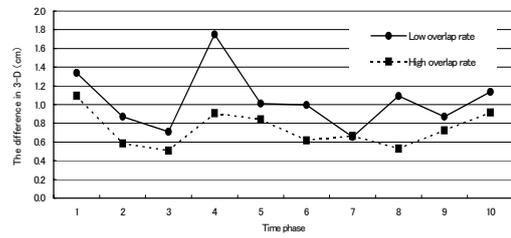
課題: 立体視環境下での100秒間のトラッキング

試行数: 各条件で練習試行1回、本試行1回

測度: 10秒毎の標的とカーソルの差

43

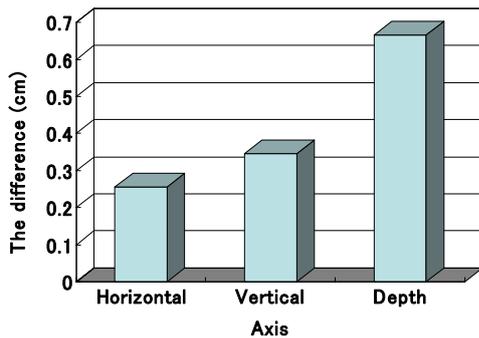
実験 I - 3 (結果と考察)



The difference from target to cursor in 3-D

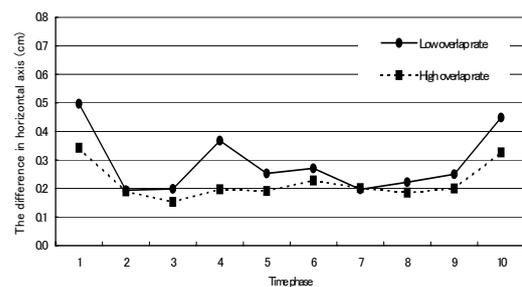
44

実験 I - 3 (結果と考察)



45

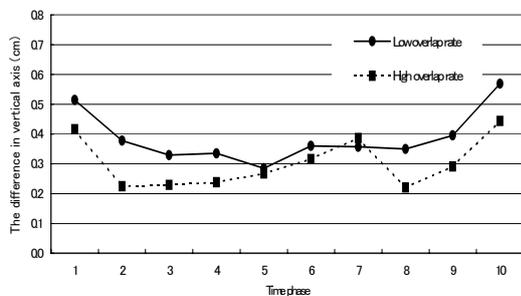
実験 I - 3 (結果と考察)



The difference from target to cursor in horizontal axis

46

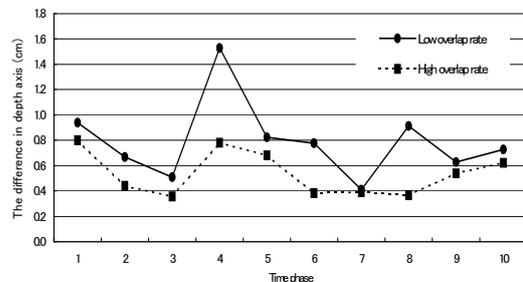
実験 I - 3 (結果と考察)



The difference from target to cursor in vertical axis

47

実験 I - 3 (結果と考察)



The difference from target to cursor in depth axis

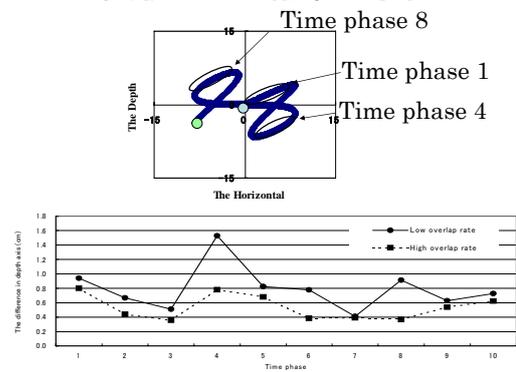
48

実験 I - 3 (結果と考察)

1. 低重複率条件では高重複率条件よりも偏差が大きかった。
2. 奥行き方向の偏差が垂直方向や水平方向の偏差よりも大きかった。
3. 特定の時間に偏差が大きくなった。

49

実験 I - 3 (結果と考察)



50

実験 I (まとめ)

1. 左右眼映像の重複率は、遠隔作業の作業効率に影響を及ぼす。
2. 遠隔作業の効率を上げるためには、重複率を高く維持する必要がある。

51

実験 II (目的)

情報を付加して遠隔作業の効率を向上させることはできないか。

力覚フィードバック？
視覚的な情報の付加？

柏木、崔正烈の研究

52

遠隔操縦技術の発展経緯

- 70年代から80年代
触覚センサーを取り付け、マスターに力をフィードバック
- 最近では
人間とロボットの間ネットワークなどの情報システムが介在



遠隔操縦技術の需要はますます高まりつつある。

- 極限環境
- 遠隔医療や遠隔手術
- 福祉
- ダム建設工事

53

従来の遠隔操縦システム

作業効率が直視と比べてかなり低い。

その原因のひとつ



操縦者に与える現場情報の不足

- 視覚
- 力覚/触覚
- 聴覚
- 体勢感覚

54

問題提起

空間位置認識の必要な場合は、まず、視覚的に判断を行い、空間位置が視覚的に判断の困難な場合は、触覚情報も利用している。

例えば、触覚情報を視覚的に十分取得可能な作業環境においては、触覚フィードバックは作業に期待したほど有効ではない可能性がある。

- 力覚や聴覚などによる触覚情報のフィードバックは本当に有効か否か？
- どのような作業に、どのような情報をフィードバックするべきか？
- 作業の内容によって有効に利用できる情報に違いがあるのか？

55

今までの力覚や触覚フィードバックに関する研究

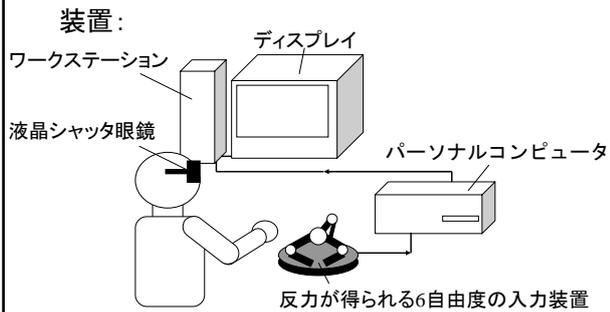
スレーブ側の触覚情報を良好に取得するためのシステム構築に関する研究

- インターネットを介した力掃選型バイラテラル遠隔操作系の構築に関する研究
- 移動ロボット群操作のための力覚情報の提示法に関する研究
- 遠隔外科手術システムに関する研究

しかしながら、感覚情報のフィードバックが作業効率の向上にどのような影響を及ぼすのかを、本質的に論じたものではない。

56

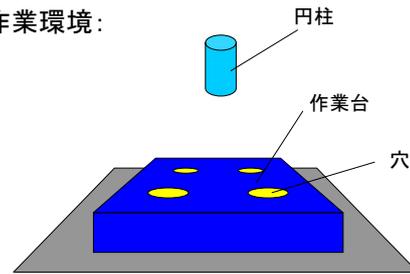
実験Ⅱ-1(方法)



57

実験Ⅱ-1(方法)

作業環境:



58

実験Ⅱ-1(方法)

実験条件:

- 付加情報なし
- 力覚フィードバック
- 補助線情報付加

59

実験Ⅱ-1(方法)

被験者: 21歳から24歳の男性6名

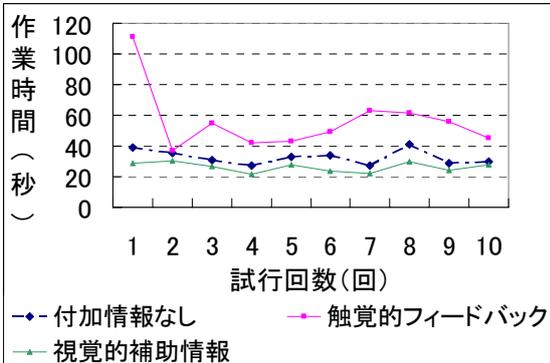
課題: 立体視環境下での4本の円柱の挿入作業

試行数: 10試行

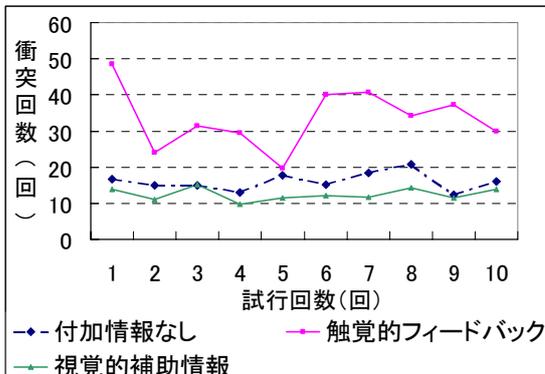
測度: 作業時間、衝突回数

60

実験Ⅱ-1(結果と考察)



実験Ⅱ-1(結果と考察)



実験Ⅱ-1(結果と考察)

- 力覚フィードバックの成績が悪かった。
 - 力覚フィードバックの与え方の問題
- 補助線情報の追加の効果はなかった。
 - 挿入口の付近まで円柱を持ってくると、補助線が見えない。
 - 別種の補助線付加実験では効果があった。

63

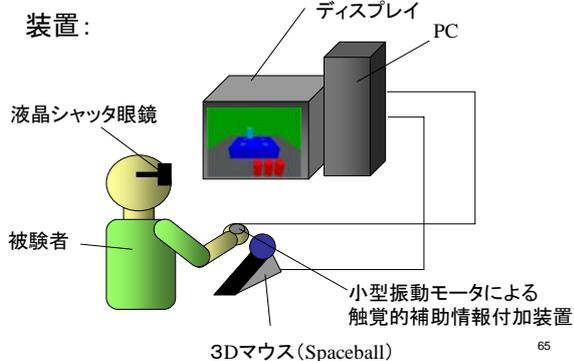
実験Ⅱ-2(目的)

視覚や力覚以外のフィードバック情報をあたえることで、遠隔作業の効率を向上できないか。

触覚(振動)によるフィードバックで遠隔作業の効率を高めることができるかどうか検討する。

64

実験Ⅱ-2(方法)



65

実験Ⅱ-2(方法)

作業空間:



66

実験Ⅱ-2(方法)

実験条件: 付加情報なし、触覚的補助情報付加

被験者: 男性6名

課題: 立体環境下での4本の円柱の挿入作業

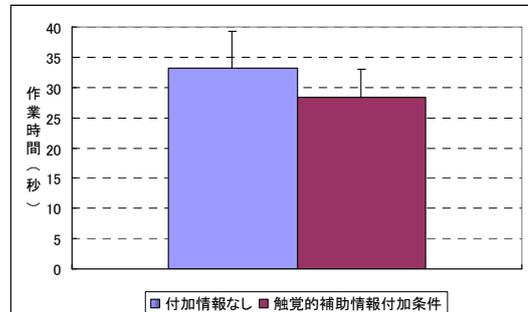
試行数: 10試行

測度: 作業時間、接触回数

67

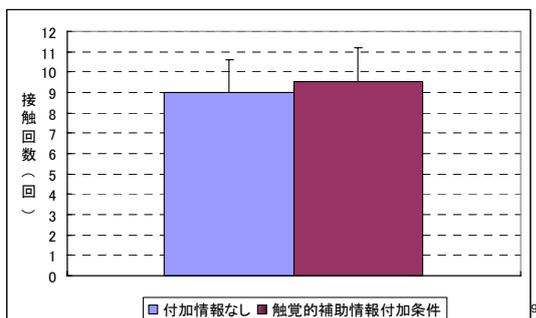
実験Ⅱ-2(結果と考察)

垂直方向への挿入作業:



実験Ⅱ-2(結果と考察)

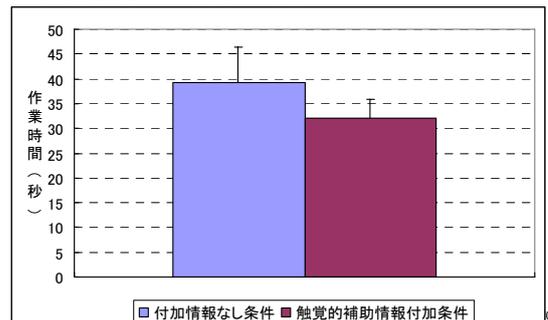
垂直方向への挿入作業:



9

実験Ⅱ-2(結果と考察)

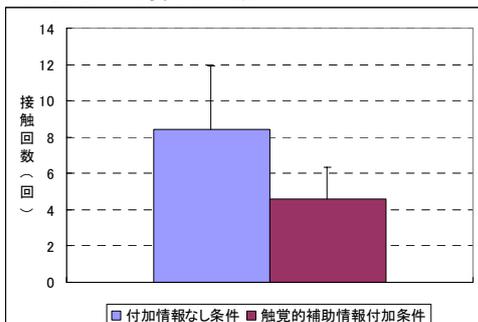
水平方向への挿入作業:



10

実験Ⅱ-2(結果と考察)

水平方向への挿入作業:



71

実験Ⅱ-2(結果と考察)

1. 水平方向への挿入作業と垂直方向への挿入作業とで、効果の現れ方が異なった。垂直方向への挿入時には接触回数に効果がなかった。当てながら探索をおこなったと考えられる。
2. 触覚的(振動)フィードバックの有効性が示唆された。

72

実験Ⅱ-2(まとめ)

1. 力覚フィードバックによる作業効率の向上は認められなかった。
2. 視覚的補助線情報や触覚情報を付加した場合、情報の提示方法や課題により作業効率への影響度合いが異なる。

73

実験Ⅱ-3の目的

遠隔操縦作業を行う場合の接触情報の操作者への提示(フィードバック)が、作業効率にどのような影響を与えるのかを実験的に調べる。

- 接触情報を視覚のみで取得可能な作業環境
(実空間における穴に円柱を挿入する作業環境)
 - 接触情報を視覚のみでは取得し難い作業環境
(穴に円柱を挿入する人工現実感作業環境)
- 遠隔操縦におけるより良い情報提示法を明らかにする。
■ 人の空間認識メカニズムの解明。
■ 人間の操作システムの解明。

74

実験Ⅱ-3の目的

接触情報を視覚的に取得可能な作業環境(穴に円柱を挿入する作業環境)を実空間に構築し、力覚や聴覚フィードバックが、作業効率にどのような影響を与えるのかを調べる。

- 接触や衝突により、作業対象物の微小な揺れや物体の姿勢の変化などの起こる可能性がある。
- 操縦者は視覚的变化から接触情報を取得できる可能性がある。

75

実験Ⅱ-3はじめに

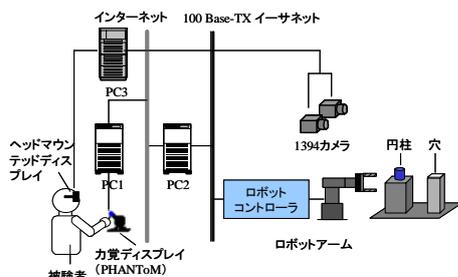
視覚情報が不十分な作業環境においては

作業物体と作業対象物との接触情報をフィードバックすることにより、空間認識をよりよく行える可能性がある。

視覚情報の比較的十分な作業環境においても力覚や聴覚による単純な接触フィードバックは有効であろうか？

76

実験Ⅱ-3作業環境



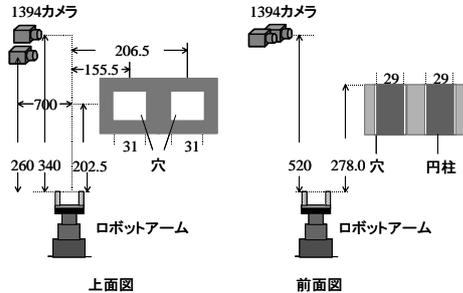
77

PHANTOMの写真



78

実験Ⅱ-3:ロボットアームと円柱、穴の概略図(単位 mm)



79

実験Ⅱ-3:実験内容(1/3)

- 作業課題
 - 穴に円柱を挿入する作業
- 実験環境
 - 円柱は、ロボットアームのハンドの先端に固定。
 - 円柱挿入作業のみを遂行。
 - 作業台も衝突によって揺れないようしっかりと固定。

80

実験Ⅱ-3:実験内容(2/3)

- 実験手順
 - PC1側のマウス左ボタンをクリックして実験スタート、右ボタンをクリックして1試行の終了。
 - できるだけ円柱を作業台に接触しないよう、なおかつできるだけ早く挿入するように指示。
 - 2つの穴へは交互に挿入。
- 実験条件
 - 力覚フィードバック条件、聴覚フィードバック条件、視覚のみの条件
 - 各条件を1試行ずつ、連続的に10回試行

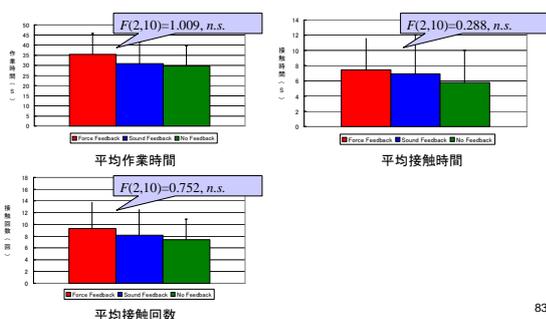
81

実験Ⅱ-3:実験内容(3/3)

- フィードバックの提示方法
 - 力覚フィードバック: PHANToM
 - 聴覚フィードバック: イヤホンを用い、接触時に音をモノラル提示
(サンプリング周波数は44,100Hz、16ビットの疑似ホワイトノイズ)
- 測定項目
 - 1試行に要した時間(作業時間)、
 - 円柱と作業台が接触した時間(接触時間)、
 - 接触回数
- 被験者
 - 立体視の可能な大学院生および大学生6名

82

実験Ⅱ-3:実験結果



83

実験Ⅱ-3:考察

実験の結果

力覚や聴覚フィードバックによって作業効率は向上しなかった。

考察

- 力覚や聴覚による接触フィードバックを利用しなくても、視覚情報のみによって、円柱と穴の空間における位置関係を十分に把握できる。
- 視覚情報が十分な作業環境下では、力覚や聴覚による接触フィードバックは、それほど有用でない。

84

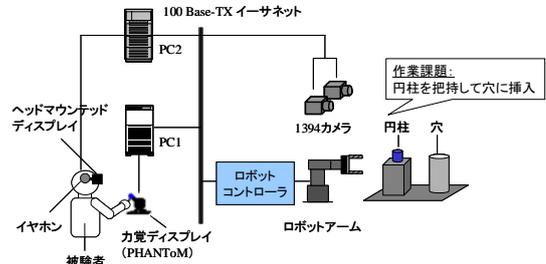
実験Ⅱ-4:はじめに

先の実験結果から、視覚情報が比較的十分な作業環境下では、力覚や聴覚による接触情報はそれほど有用でないことが分かった。

視覚情報が比較的に不十分な作業環境における力覚や聴覚フィードバックの効果は？

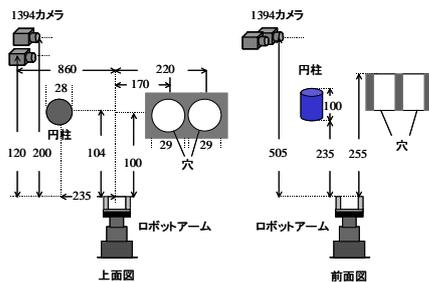
85

実験Ⅱ-4:作業環境



86

実験Ⅱ-4:ロボットアームと円柱、穴の概略図(単位 mm)



87

実験Ⅱ-4:力覚フィードバックの提示

- 内径が円柱の直径と一致する2つの'C'型の保持具をロボットアームのハンドに取り付け、ここに円柱を把持させた。

円柱の軸方向以外の方向への変動を防止できる。

- 円柱を掴む上下の位置は、一回の試行をさせると一定の位置となるように、取り付け具を工夫した。

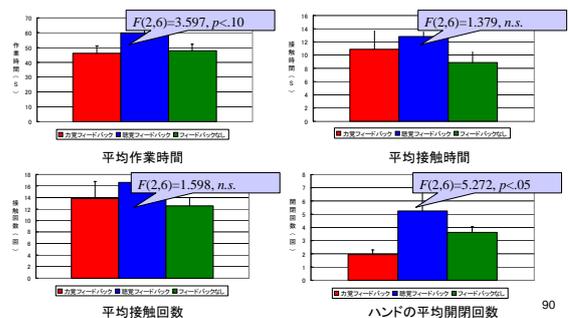
88

実験Ⅱ-4:実験内容

- 実験手順
 - PHANTOMのスタイラススイッチを押すことによりハンドを閉じる、PC1側のマウスの中央のボタンをクリックして開ける。
 - 学習効果を考慮し、2つの穴に交互に挿入。
 - 力覚条件、聴覚条件、視覚のみの条件の順序で、各条件を1試行ずつ、連続的に8回ずつ試行。
- 測定項目
 - 作業時間、接触時間、接触回数、ハンドの開閉回数
- 被験者
 - 立体視の可能な学生4名

89

実験Ⅱ-4:実験結果



90

実験Ⅱ-4:考察

■ 実験の結果

- 力覚や聴覚フィードバックによって作業効率は向上しなかった。
(接触時間、接触回数ともに3つの条件間で有意差はない)
- 力覚フィードバックの場合、ハンドの開閉回数が有意に少ない。

■ 考察

- 視覚的に接触情報を取得できる？
(円柱と作業台の接触により、円柱が上方方向に移動)
- 単純な接触フィードバックによつては、作業効率が向上しない？

91

実験Ⅱ-5:目的

滑らせ覚フィードバックの効果

92

実験Ⅱ-5:目的

先の実験結果から、視覚情報の不十分な作業環境においても、接触などにより、物体の変化を視覚的に認識できるような作業環境下では、力覚や聴覚による単純な接触情報はそれほど有用でないことが分かった。

- 円柱と穴の上下の位置関係のみならず、左右前後の位置関係の認識も必要。
- 連続した接触情報(滑らせ覚)の利用によって効率が向上できる？

滑らせ覚フィードバックの効果の検討

93

実験Ⅱ-5:実験内容

■ 実験手順

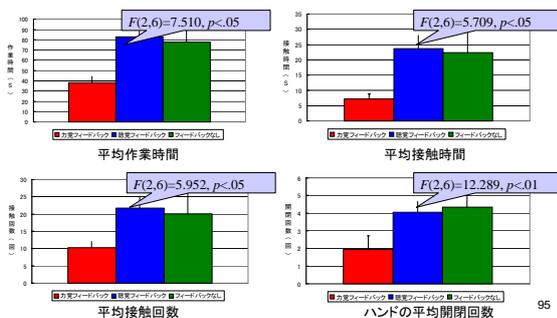
- 力覚フィードバック条件、聴覚フィードバック条件と視覚情報のみの条件を1試行ずつ、連続的に8試行
- 力覚フィードバック条件において、円柱を接触面上で滑らせながら穴の探索を行うように指示

■ 被験者

- 立体視の可能な学生4名

94

実験Ⅱ-5:実験結果



95

実験Ⅱ-5:考察

■ 実験の結果

力覚フィードバックのある場合は、他の2条件と比べて、作業時間と接触時間、接触回数、ハンドの開閉回数ともに有意差がある。

■ 考察

接触面においての滑らせ覚をりようすることにより、円柱と穴の左右前後の位置関係が容易に把握できた。(作業効率向上)

96

実験Ⅱ-6:目的

複合的聴覚フィードバックの作業効率への影響

97

実験Ⅱ-6:はじめに

先の実験結果から、力覚情報を接触面においての滑らせ覚として利用することによって、作業効率が向上することが分かった。

聴覚情報の提示に当たっても、聴覚情報の提示方法を工夫(挿入音、接近時の音の変化など)することによって、滑らせ覚ほどの効果を得られるか?

98

実験Ⅱ-6:実験内容

■ 実験手順

- > 挿入音提示: サンプリング周波数44,100Hz、16ビット、1,000Hzの疑似サイン波
- > 穴の位置への接近音: 円柱と穴の中心間の距離に反比例して音圧がだんだん大きくなるように設定(最小音圧68.0dB/A、最大音圧85.5dB/A)
- > 連続的に10回試行

■ 実験条件

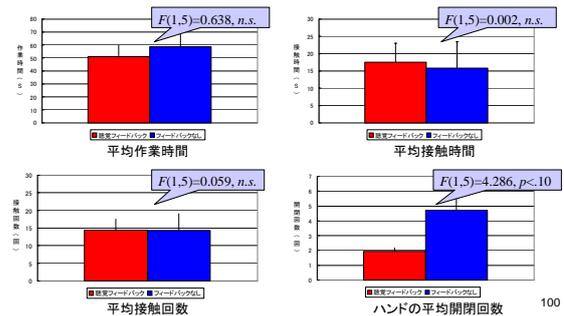
聴覚フィードバック条件と視覚のみの条件

■ 被験者

立体視の可能な学生6名

99

実験Ⅱ-6:実験結果



100

実験Ⅱ-6:考察

■ 実験の結果

- > 作業時間、接触時間、接触回数ともに3つの条件間で有意差がない。
- > ハンドの開閉回数が少なくなる傾向がある。

■ 考察

- > 聴覚フィードバックの情報量を増加しても作業効率は向上しない。
 - ◆ 上下の位置関係を保つことは困難である。
 - ◆ 音量の変化や挿入音の提示は有効でない。
- > 聴覚フィードバックの提示により、ある程度の安定した作業は可能。

101

実験Ⅱ:まとめ

実空間環境下(接触による物体の微小な位置の変化によって、接触情報を視覚的に取得できる環境)での、穴に円柱を挿入する遠隔操縦作業における、力覚や聴覚フィードバックの効果を調べた。

■ 力覚や聴覚による単純接触フィードバック情報は期待したほど作業効率向上に有効ではない。力覚情報を滑らせ覚として利用した場合には、作業効率が向上できる。穴の位置への接近度合いを示す音量の変化や挿入音の提示(複合的聴覚情報)などを行っても、作業効率は期待したほど高まらない。

102

第Ⅲの内容

1. 研究の目的
2. 力覚による接触フィードバックの効果
3. 聴覚によるフィードバックの効果
4. 振動覚による接触フィードバックの効果

103

Ⅲ-1:はじめに

先の実験では、実空間環境下の作業における力覚や聴覚フィードバックの作業効率への影響について調べた。



その結果

視覚的に接触情報を取得できる作業環境においては、単純接触フィードバックは有効でない。

接触情報を視覚的に取得することの困難な作業環境における単純接触フィードバックの効果は？

104

Ⅲ-1:研究の目的

接触情報を視覚のみでは取得し難い作業環境を人工現実感技術を利用して構築し、力覚や聴覚および振動覚による接触フィードバックの作業効率への影響について実験的に検討する。

- 接触や衝突による作業台の揺れや円柱の姿勢の変化がない。
- 接触情報を視覚のみでは取得し難い作業環境と見なせる。

105

実験Ⅲ:

力覚による接触フィードバックの効果

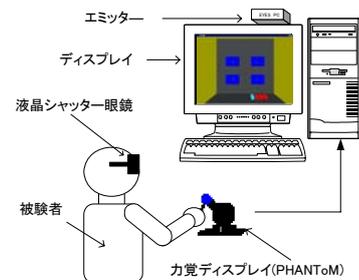
106

実験Ⅲ-1:目的

人工現実感環境下で、穴に円柱を挿入する作業を行う場合、力覚フィードバックの提示が、作業効率にどのような影響を与えるのかについて、実験的に明らかにすることを目的とする。

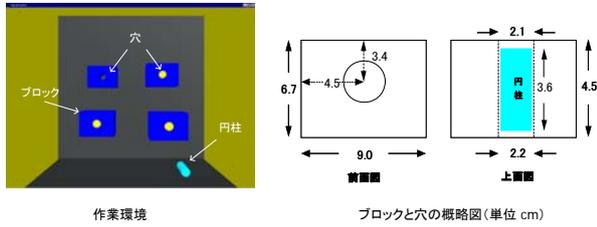
107

実験Ⅲ-1:実験装置



108

実験Ⅲ-1:作業環境



作業環境

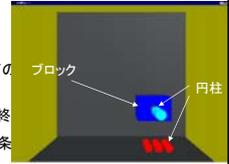
ブロックと穴の概略図(単位 cm)

109

実験Ⅲ-1:実験内容

■ 実験手順

- ▶ ブロックは画面の左上、右上、左下、右下の4つに、1つずつ提示
- ▶ 4本すべての円柱挿入の完了で1試行の終了
- ▶ 実験は力覚フィードバックと視覚のみの2条件
- ▶ 各条件を10回ずつ試行(2グループ)



■ 測定項目

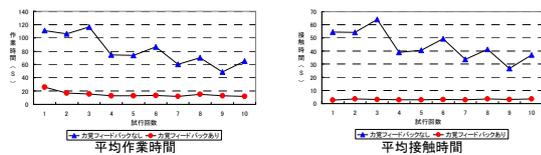
- 1試行に要した作業時間、接触時間、接触回数

■ 被験者

- 立体視の可能な学生9名

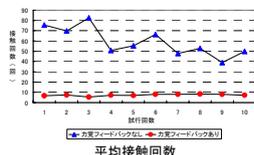
110

実験Ⅲ-1:実験結果



平均作業時間

平均接触時間



平均接触回数

111

実験Ⅲ-1:考察

■ 実験の結果(実験条件と試行回数による2要因の分散分析)

測定項目	力覚有無の主効果	試行回数的主効果(学習効果)	実験条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(1,8)=42.818, p<.001$	$F(9,72)=3.406, p<.005$	$F(9,72)=2.001, p<.10$
接触時間	$F(1,8)=55.315, p<.001$	$F(9,72)=2.043, p<.05$	$F(9,72)=2.066, p<.05$
接触回数	$F(1,8)=76.913, p<.001$	$F(9,72)=1.970, p<.10$	$F(9,72)=2.417, p<.05$

■ 考察

- ▶ 力覚フィードバック条件では、1試行目から作業成績が良い。
- ▶ 力覚フィードバックを利用することにより、作業対象物の細かい位置関係が容易に把握できる。

112

実験Ⅲ-2:

1. 聴覚によるフィードバックの効果

113

実験Ⅲ-2:はじめに

先の実験結果から、接触情報を視覚的に取得し難い作業環境では、力覚フィードバックの提示により作業効率率が顕著に向上できることが分かった。

- 接触情報自体が重要?
- 力覚フィードバックが重要?

聴覚による単純接触フィードバックが、作業効率にどのような影響を及ぼすのか?

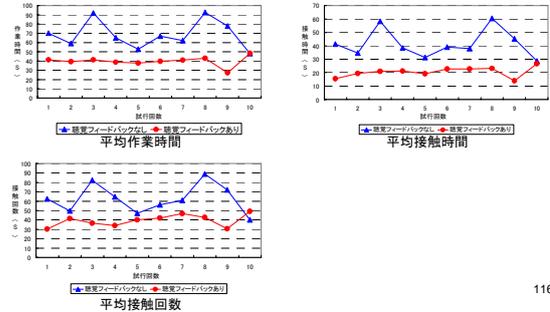
114

実験Ⅲ-2:実験内容

- 接触音
ヘッドホンを使用。周波数441.4Hz(単一音)、音圧は75dB/A
- 実験条件
聴覚フィードバック条件と視覚のみの条件
- 被験者
立体視の可能な学生6名

115

実験Ⅲ-2:実験結果



116

実験Ⅲ-2:考察

■ 実験の結果(実験条件と試行回数による2要因の分散分析)

測定項目	聴覚有無の主効果	試行回数の主効果(学習効果)	実験条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(1,5)=11.588, p<.05$	$F(9,45)=1.056, n.s.$	$F(9,45)=1.448, n.s.$
接触時間	$F(1,5)=11.350, p<.05$	$F(9,45)=1.232, n.s.$	$F(9,45)=1.725, n.s.$
接触回数	$F(1,5)=5.466, p<.10$	$F(9,45)=0.773, n.s.$	$F(9,45)=1.868, p<.10$

■ 考察

- 接触したかどうかをフィードバックすること自体は重要である。
- 聴覚フィードバックの提示により作業効率が向上するが、力覚ほどの寄与効果はない。

117

実験Ⅲ-3: 複数音のフィードバックの効果

- 接触情報を視覚的に取得し難い作業環境では、聴覚による単純接触フィードバックにより作業効率が向上。
- 力覚ほどの効果はない。

複数の音を使い、より多くの情報を提示することにより、更なる効率向上を得られないか？

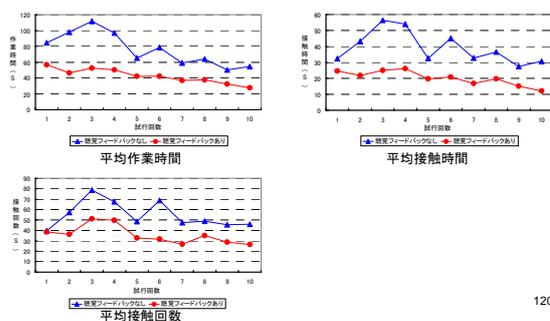
118

実験Ⅲ-2:実験内容

- 複数の音の提示
 - 挿入可能表示音: 53.8Hzの単一音、音圧は85dB/A
 - 接近音: 円柱が穴に近づくにつれ、円柱と穴の中心間の距離に反比例に、音圧が変化(最小音圧は60dB/A、最大80dB/A)
- 実験条件
聴覚フィードバック条件と視覚のみの条件
- 被験者
立体視の可能な学生8名

119

実験Ⅲ-2:実験結果



120

実験Ⅲ-2: 考察

■ 実験の結果 (実験条件と試行回数による2要因の分散分析)

測定項目	聴覚有無の主効果	試行回数の主効果 (学習効果)	実験条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(1,7)=7.080, p<.05$	$F(9,63)=1.93, p<.10$	$F(9,63)=0.477, n.s.$
接触時間	$F(1,7)=7.021, p<.05$	$F(9,63)=1.938, p<.10$	$F(9,63)=0.598, n.s.$
接触回数	$F(1,7)=4.376, p<.10$	$F(9,63)=1.984, p<.10$	$F(9,63)=0.412, n.s.$

■ 考察

- 聴覚による複合的フィードバックにより作業効率が向上する。
- 聴覚による単純接触フィードバックと比べると、作業効率は期待したほど向上しない。

121

実験Ⅲ-3

振動覚による接触フィードバックの効果

122

実験Ⅲ-3: はじめに

先の実験結果から、聴覚フィードバックの提示によって、作業効率が向上できることが分かった。

- ヘッドホン装着の違和感?
- 聴覚モダリティは緊急時に対応しやすい。
例えば: 警報などと区別し難い可能性がある。

振動覚による接触フィードバックが、作業効率にどのような影響を及ぼすのか?

123

実験Ⅲ-3: 実験内容

■ 振動装置

- 携帯電話などに使う小型振動モータ (FM23A: TPC、直径18mm、厚3mm、振動量1.0G、標準回転数5000rpm)
- 被験者の手の甲に付けて使用

■ 実験条件

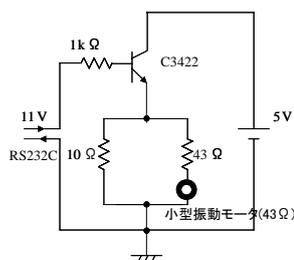
振動覚フィードバック条件と視覚のみの条件

■ 被験者

立体視の可能な学生6名

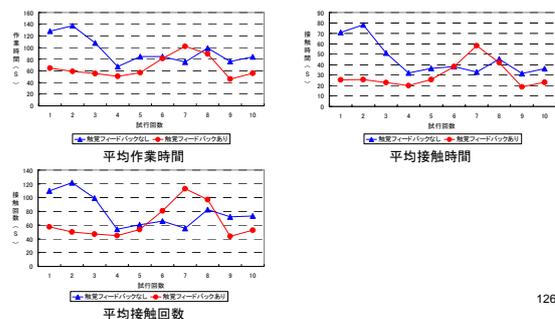
124

実験Ⅲ-3: 振動覚フィードバック装置の回路図



125

実験Ⅲ-3: 実験結果



126

実験Ⅲ-3: 考察

■ 実験の結果 (実験条件と試行回数による2要因の分散分析)

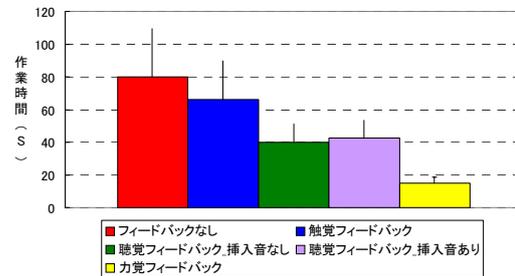
測定項目	振動覚有無の主効果	試行回数的主効果 (学習効果)	実験条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(1,5)=8.973, p<.05$	$F(9,45)=1.967, p<.10$	$F(9,45)=1.959, p<.10$
接触時間	$F(1,5)=8.959, p<.05$	$F(9,45)=1.589, n.s.$	$F(9,45)=2.074, p<.10$
接触回数	$F(1,5)=5.707, p<.10$	$F(9,45)=2.167, p<.05$	$F(9,45)=2.562, p<.05$

■ 考察

振動による接触フィードバックによっても、作業効率は向上できる。

127

実験Ⅲ-4: 各フィードバック別の平均作業時間



128

実験Ⅲ-4: まとめ

人工現実感環境下 (接触情報を視覚的に取得し難い環境) での、穴に円柱を挿入する作業における、力覚や聴覚、振動覚フィードバックの効果調べた。

- 力覚フィードバックの提示により、作業効率が顕著に向上できる。
(実空間のオペレータの位置と、人工現実空間下の物体の位置関係は常に対応が取れる)
- 聴覚や振動覚フィードバックによっても作業効率が向上できる、しかし力覚ほどの効果はない。
- 振動覚フィードバックは、聴覚フィードバックより効果が低い。

129

実験Ⅲ-5: 人工現実感環境下の作業に及ぼす接触反力の大きさの影響

実験Ⅲ-5: 研究の目的

先の実験から、力覚フィードバックの提示により作業効率が顕著に向上できることが分かった。



力覚情報を提示する場合は、接触面における反力の大きさとベクトル方向を明確にする必要がある。

接触面における、接触反力の大きさが、作業効率にどのような影響を及ぼすのか？

131

実験Ⅲ-5:

視覚情報が十分な作業環境下での作業

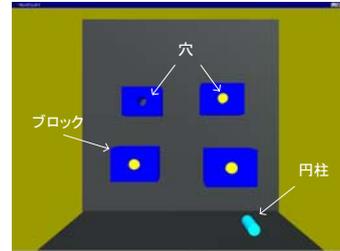
132

実験Ⅲ-5: 目的

視覚情報が十分な作業環境下において、穴に円柱を挿入する作業を行う場合の、接触反力の大きさが、作業効率にどのような影響を与えるのかを実験的に検討する。

133

実験Ⅲ-5: 作業環境



134

実験Ⅲ-5: 実験内容

■ 実験条件

- 反力フィードバックなし条件: 反力0N
- 反力フィードバックあり条件: 反力0.2N、0.4N、0.8N
(ブロック面に対して垂直方向)

■ 実験順序

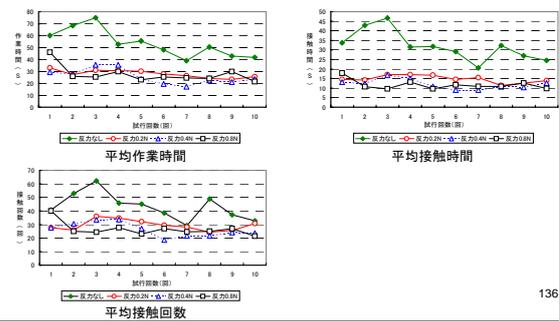
反力が0N、0.2N、0.4N、0.8Nの順序で、各条件を1試行ずつ、10回

■ 被験者

立体視の可能な学生9名

135

実験Ⅲ-5: 実験結果



136

実験Ⅲ-5: 考察

■ 実験の結果 (反力に関する条件と試行回数による2要因の分散分析)

測定項目	反力条件の主効果	試行回数的主効果 (学習効果)	反力条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(3,24)=21.691, p<.001$	$F(9,72)=3.848, p<.001$	$F(27,216)=1.079, n.s.$
接触時間	$F(3,24)=30.406, p<.001$	$F(9,72)=2.591, p<.05$	$F(27,216)=1.211, n.s.$
接触回数	$F(3,24)=8.273, p<.001$	$F(9,72)=2.214, p<.05$	$F(27,216)=1.065, n.s.$

■ 考察

- 反力フィードバックのある場合は、反力のない場合より、作業効率が向上する。
- 力覚フィードバック情報そのものが重要であって、反力の大きさ情報は、作業効率に影響を与えない。

137

実験Ⅲ-6:

視覚情報が不十分な作業環境下での作業

138

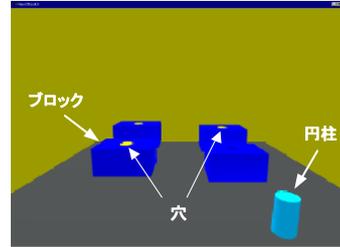
実験Ⅲ-6:目的

先の実験結果から、視覚情報が比較的十分な作業環境下では、反力の大きさ情報は作業に影響を与えないことが分かった。

視覚情報が比較的に不十分な作業環境においては、反力の大きさ情報が作業効率向上に貢献するかどうか？

139

実験Ⅲ-6:作業環境



140

実験Ⅲ-6:実験内容

■ 実験順序

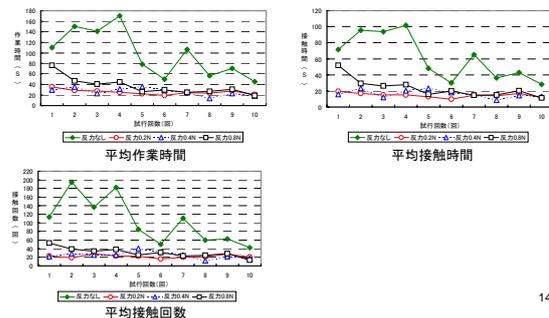
反力が0.8N、0.4N、0.2N、0Nの順序で、各条件を1試行ずつ、10回

■ 被験者

立体視の可能な学生4名

141

実験Ⅲ-6:実験結果



142

実験Ⅲ-6:考察

■ 実験の結果(反力に関する条件と試行回数による2要因の分散分析)

測定項目	反力条件の主効果	試行回数的主効果(学習効果)	反力条件と試行回数の交互作用
作業時間	$F(3,9)=10.761, p<.005$	$F(9,27)=2.339, p<.05$	$F(27,81)=1.105, n.s.$
接触時間	$F(3,9)=7.998, p<.01$	$F(9,27)=1.858, n.s.$	$F(27,81)=1.098, n.s.$
接触回数	$F(3,9)=6.688, p<.05$	$F(9,27)=1.994, p<.10$	$F(27,81)=1.138, n.s.$

■ 考察

- 反力フィードバックのある場合は、反力のない場合より、作業効率向上する。
- 反力の大きさ情報は、作業効率に影響を与えない。

143

実験Ⅲ-6:まとめ

接触反力の大きさが作業効率にどのような影響を及ぼすのかについて調べた。

- 接触反力の提示により、作業効率が向上する。
- 視覚情報の如何にも関わらず、接触反力の大きさは作業に影響を与えない。
- 作業において、操縦者が感じることのできるほどの力覚情報を提示すれば良い。

144

実験Ⅲ-7:はじめに

遠隔操縦作業環境における、力覚や聴覚、および振動覚フィードバックの作業効率への影響について調べた。

- 接触情報を視覚のみで取得可能な作業環境(実空間環境)下での作業における接触情報の効果、滑らせ覚フィードバックの効果、複合的聴覚フィードバックの効果
- 接触情報を視覚のみでは取得し難い作業環境(人工現実感環境)下での作業における接触フィードバック(力覚、聴覚および振動覚)の効果
- 接触反力の大きさが作業効率に及ぼす影響

145

実験Ⅲ-7:接触情報の視覚的取得が可能な作業環境に及ぼす触覚情報の影響

1. 単純接触フィードバック(力覚や聴覚)は、作業効率の向上に期待したほどの貢献はしない。
2. 力覚情報を接触面における滑らせ覚として利用する場合には、作業効率が顕著に向上する。
3. 聴覚による複合的フィードバックは、作業効率に期待したほどの貢献はしない。

146

実験Ⅲ-7:接触情報の視覚的取得が困難な作業環境に及ぼす触覚情報の影響

1. 力覚による接触フィードバックは、作業効率を顕著に向上させる。
2. 聴覚や振動覚による接触フィードバックは、作業効率の向上に貢献はするが、力覚フィードバックほどの貢献はしない。
3. 聴覚による複合的フィードバックは、作業効率に期待したほどの貢献はしない。

147

実験Ⅲ-7:接触反力の大きさが作業効率に及ぼす影響

視覚情報の如何に関係なく、接触反力の大きさは作業効率に影響を与えない。

148

実験Ⅲ:全体のまとめ

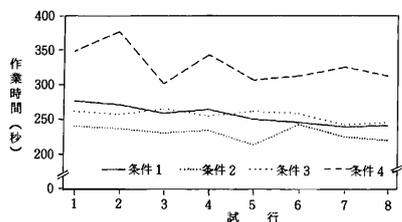
- 力覚や聴覚による、単純な接触フィードバックは、接触情報を視覚的に取得することが困難な作業環境においては有効であったが、接触情報を視覚的に取得可能な作業環境においては、作業効率に期待したほどの貢献はしない。
- ただし、力覚情報を接触面におけるすべり覚として利用した場合には、作業効率は顕著に向上する。

149

実験Ⅳ:画角、解像度と作業効率

150

実験Ⅳ-1:映像空間における作業特性



条件1: 9インチCRT, 視角20度
 条件2: 21インチCRT, 視角40度
 条件3: 21インチCRT, 視角20度
 条件4: 21インチCRTを視角40度に設置し、
 20度の範囲に映像を提示

151

実験Ⅳ:映像環境での操作において 作業の効率を高めるための要因

問題:

- 映像環境下での遠隔操作における作業効率は、実空間を直視しての作業に比較し、効率は低い。

効率を高める画像要因:

- 広写角(カメラ)
- 広画角(ディスプレイ)
- 高解像度であること
- 視野角30度で、NTSC規格映像装置の解像度は人の1/16
- 人の視覚における分解能:96ピクセル/度(視力1)、ディスプレイの解像度(垂直方向):480として。

152

実験Ⅳ-1:映像環境での操作における 遠隔作業の効率を高めるための1考え方

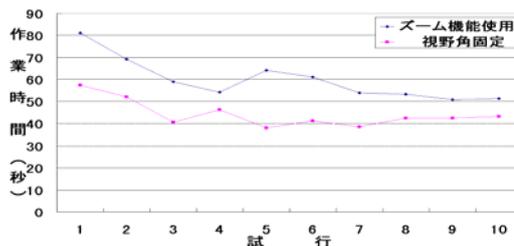
高効率: 広視野角かつ高解像度条件の満足

- NTSC規格のビデオ装置では、同時には満足できない
- 1つずつ満足させる:
 - ズーム機能の使用

153

実験Ⅳ-1:ズーム機能を用いた場合の作業効率

視野角固定よりも作業効率は低下



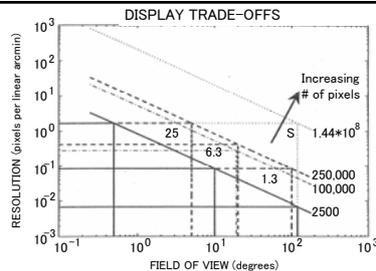
154

実験Ⅳ:遠隔操作において作業効率を 高めるためのビデオ装置の要件

- 1) 広写角であること。
- 2) 高解像度であること。
- 3) 広画角であること。
- 4) 身体の動きがあっても観察可能なこと。
- 5) 頭部の動きに相関して、映像も動くこと。など。

155

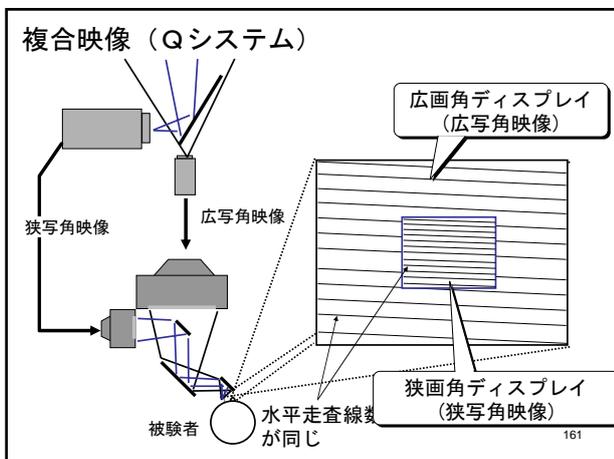
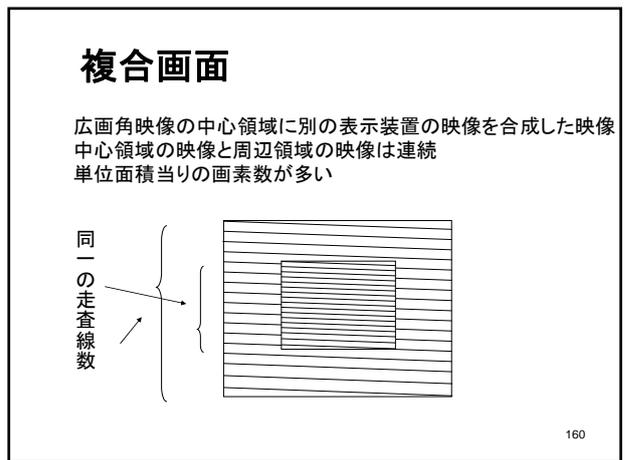
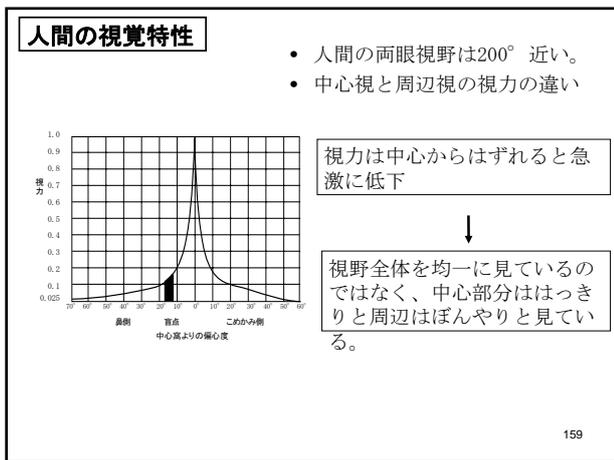
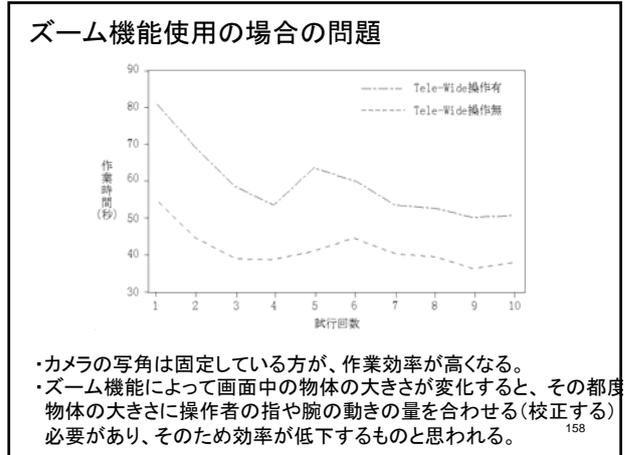
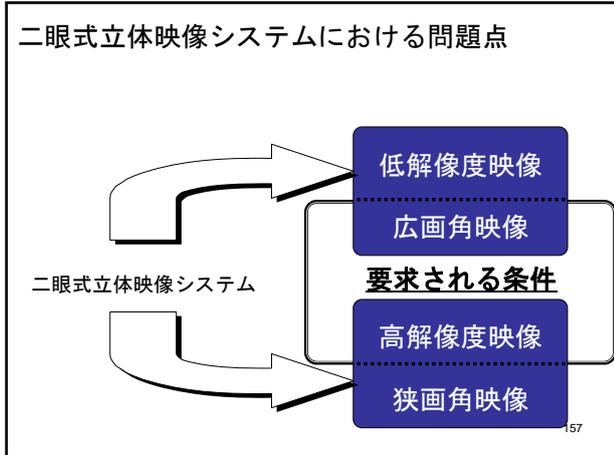
画角と 空間分解能



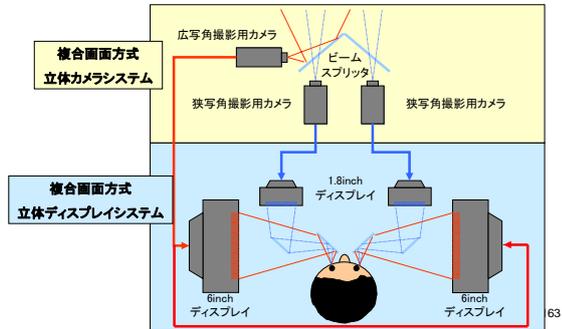
	pixels/arcmin	pixels/deg	FOV(deg)	total # of mega-pixels	Notes
Fovea	1.6	96	1/2	0.0025	1 cone/receptive field.
TV at 25"	1.6	96	5	0.25	27" at 25": quasi-fovea for HMD
TV at 6.3"	0.4	24	20	0.25	27" at 6.3"
G-narrow	0.33	19.6	11.25	0.061	
Visortron	0.26	15.8	20	0.1	current "adequate" HMD
G-wide	0.13	7.8	30	0.22	
TV at 1.3"	0.08	4.8	100	0.25	27" at 1.3": widefield for HMD
Periphery	0.007	0.42	120	0.0025	2.5 degree receptive field
Super Display	1.6	96	120	144	future super HMD 11520 lines

480 lines at NTSC

156



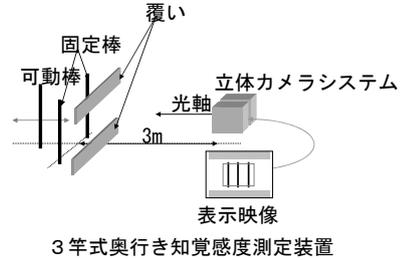
複合画面方式立体ビデオシステム



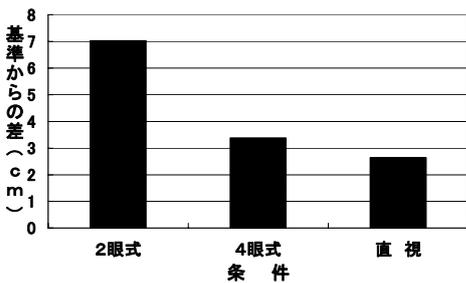
実験IV-1: 評価実験1

実験目的と実験装置

目的: 4眼式立体映像システムの高解像度映像の有効性の検討を行う。



実験IV-1: 実験1結果

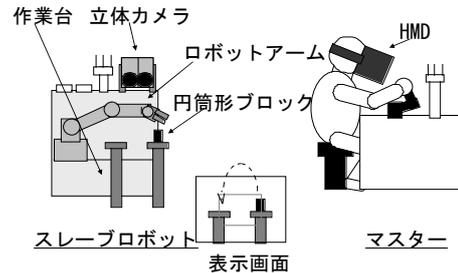


4眼式における奥行き感度は、直視における感度とほぼ同じ⁹⁶⁵

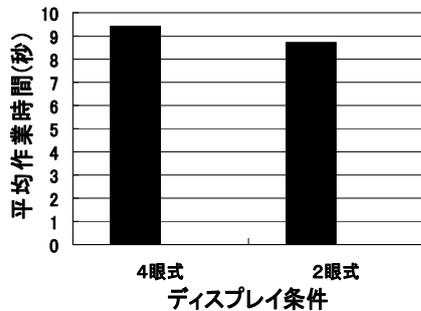
実験IV-2: 評価実験2

実験目的と実験装置

目的: 4眼式立体映像システムにおける境界の影響の検討



実験IV-1: 実験2結果



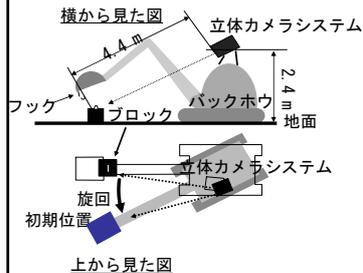
境界部分での作業では、2眼式と4眼式システムの間に差がない。

167

実験IV-1: 実験3

実験目的と実験装置

目的: 実際の遠隔操縦環境での4眼式立体映像システムの性能評価を行う。



- 被験者 10名
- 実験順序
4眼式 → 2眼式
2眼式 → 4眼式
- 試行回数 13試行
- 測定項目
作業時間
ミス

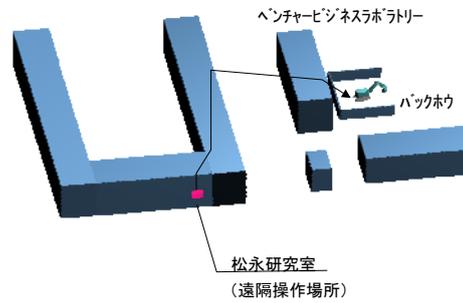
168

実験装置 -スレーブ-



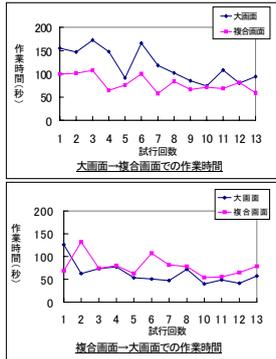
169

実験IV-1: 実験装置の配置

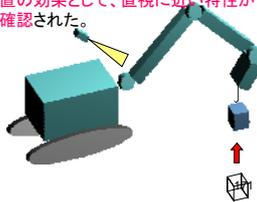


170

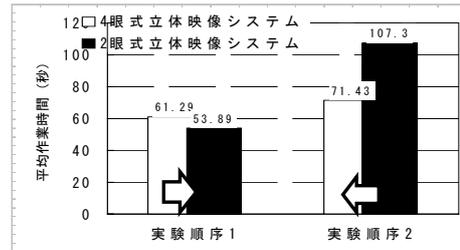
実験IV-1: 従来方法と新方式立体視装置における作業効率 (実験3)



1) 実験は、左図のようにバックホウに取り付いたフックでブロックの取っ手を引っかけて、吊り上げるまでの作業時間を、従来方式と新方式立体視装置で作業効率の測定を行った。(被験者8名)
 2) 実験結果として、**新方式立体視装置の効果として、直視に近い特性が確認された。**



実験IV-1: 平均作業時間 (実験3)

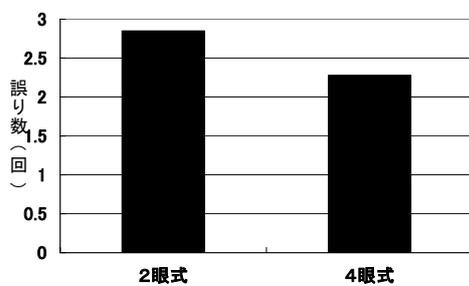


実験順序1: 4眼式 → 2眼式
 実験順序2: 2眼式 → 4眼式

4眼式システムにおいては、練習の有無に関わらず、作業時間は短い。

172

実験IV-1: 1試行当たりの平均誤り回数



4眼式の方が誤りも少ない。

173

実験IV: まとめ

- 4眼式立体映像システムは、
- ・ 前もった練習を必要とせず、作業効率の面からもその作業精度に関しても高い精度を発揮できる。
 - ・ 広い空間の作業のみならず、微細外科手術などにも有効と思われる。

174

まとめ

- 触覚付加によって作業時間が短縮されたが、衝突回数に変化はなかった
- 補助線付加によって作業時間の短縮だけでなく、衝突回数の減少もみられた
- 補助線情報が存在する場合、触覚情報の効果は認められない



実験1と同様の結果を示した

175

まとめ

4眼式立体映像システム：

- 前もっての練習を必要とせず、作業効率の面からもその作業精度に関しても高い精度を発揮できる。
- 広い空間の作業のみならず、微細外科手術などにも有効と思われる。

176

映像環境での操作において 作業の効率を高めるための要因

問題：

- 映像環境下での遠隔操作における作業効率は、実空間を直視しての作業に比較し、効率は低い。

効率を高める画像要因：

- 広写角(カメラ)
 - 広画角(ディスプレイ)
 - 高解像度であること
- 視野角30度で、NTSC規格映像装置の解像度は

人の1/16

- 人の視覚における分解能：96ピクセル/度(視力1)、ディスプレイの解像度(垂直方向)：480として。

177

•映像環境での操作における 遠隔作業の効率を高めるための1考え方

高効率：広視野角かつ高解像度条件の満足

- NTSC規格のビデオ装置では、同時には満足できない
- 1つずつ満足させる：
 - ズーム機能の使用

178

まとめ

- 操作者に映像を提示する場合
我々の日常生活での身体移動と眼の関係で、映像と操作はなされた方が、作業効率は高い。
- 現在のシステムでは、実空間直視での作業時間よりも映像空間での作業時間が短い。←映像装置の解像度が低い。
- 作業効率を高めるには、広写角・広画角・高解像度のビデオシステムが必要。

179