

# 認知科学2005

1

## 空間及び時間的に多重解像度を有する 遠隔操縦に適した立体映像システムの研究

家永・松永らの研究

2

### 目次

- 第1章 伝送データ量の削減に関する基礎研究
- 第2章 新しい視覚インタフェースの開発とその評価

3

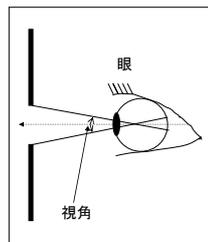
### 第1章 序論

- 本研究の背景
- 本研究の目的
- 本論文の構成

4

### 視野と分解能の比較

	水平視野	分解能
人間の眼 (視力1.0)	約190度	約1分
NTSC	60度	約5分
HDTV	60度	約2分



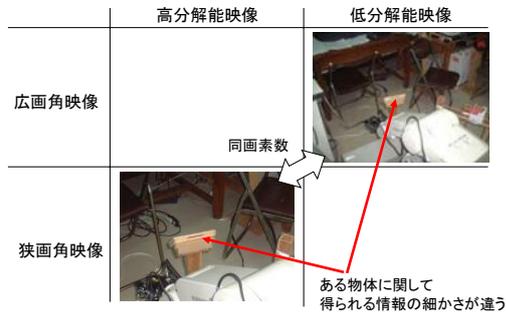
5

### 遠隔操縦における映像の要件

1. 作業空間全体の位置関係を把握するための  
**広画角映像**
2. 作業対象の細かな構造を認識するための  
**高分解能映像**
3. 作業環境の3次元的な情報を取得するための  
**立体映像**

6

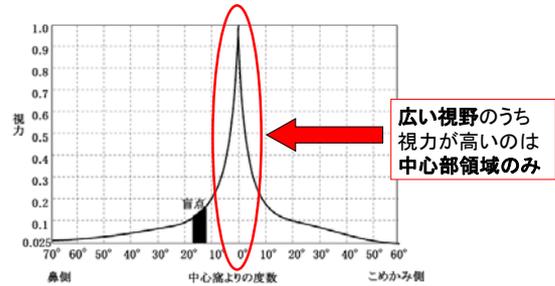
## 映像の分解能と画角の関係



広画角かつ高分解能な映像を同時に実現できない

7

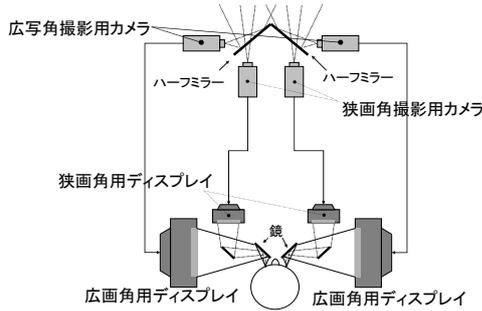
## 視力



網膜位置と視力の関係 (Wertheim, 1894)

8

## 複合画面方式立体映像システム



9

## 複合画像



- 中心部領域: 約20度
  - 周辺部領域の分解能: 約1/3
- 周辺部の分解能低下に気付かない。

有川ら(1997)

10

## 複合画面方式立体映像システムの特徴

NTSCやHDTVで構築した2眼式立体映像システムよりも、**広画角**(周辺部領域)・**高分解能**(中心部領域)な**立体映像**を実現できる。

- 他の多重解像度のシステムとの違い

	早稲田大学 空間没入型視覚情報学研究所 遠隔操作による立体映像システムの研究 九州大学大学院システム情報科学府 情報システム学専攻 認知科学講座
複合	広画角の映像に <b>高分解能</b> の映像をはめ込む。
他	広画角の映像の <b>周辺部の分解能を下げ</b> る。  撮影装置の分解能に依存

11

## 本研究の目的

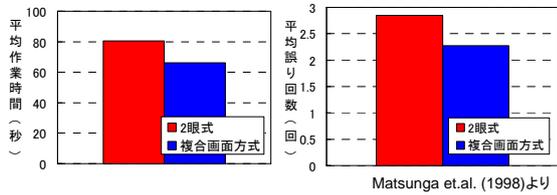
遠隔操縦において、**従来よりも高い効率での作業を可能とする視覚インタフェースを開発する。**

複合画面方式立体映像システムを基盤とした。

12

### 【先行研究】

#### 2眼式立体映像システムと複合画面方式立体映像システムの比較



複合画面方式では、2眼式よりも高い効率での作業が可能。

13

### 実験: 直視下の作業との効率比較

#### 目的:

直視下と複合画面方式立体映像システム下における作業効率の比較によって、複合画面方式立体映像システムの評価を行うこと。

#### 実験条件:

- 搭乗操縦条件
- 直視下操縦条件
- 複合画面方式立体映像システム下遠隔操縦条件
- 頭部追従型複合画面方式立体映像システム下遠隔操縦条件

14

### 搭乗操縦条件



15

### 直視下操縦条件



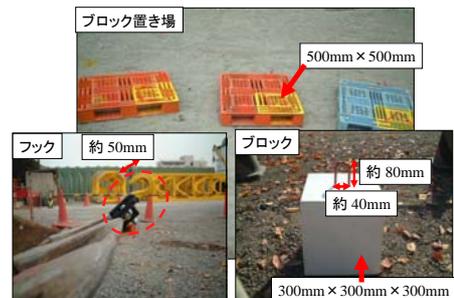
### (頭部追従型)

#### 複合画面方式立体映像システム下遠隔操縦

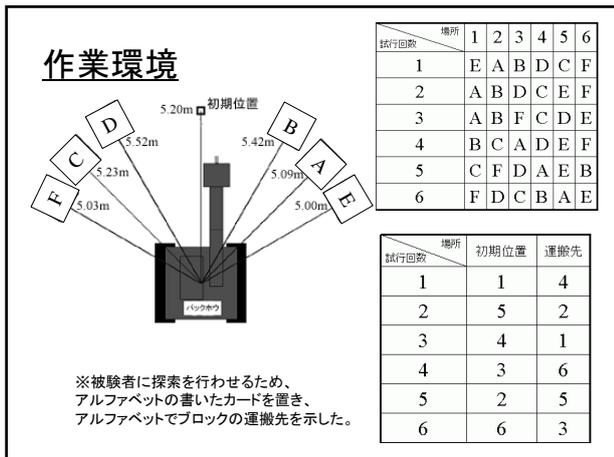


### 作業課題

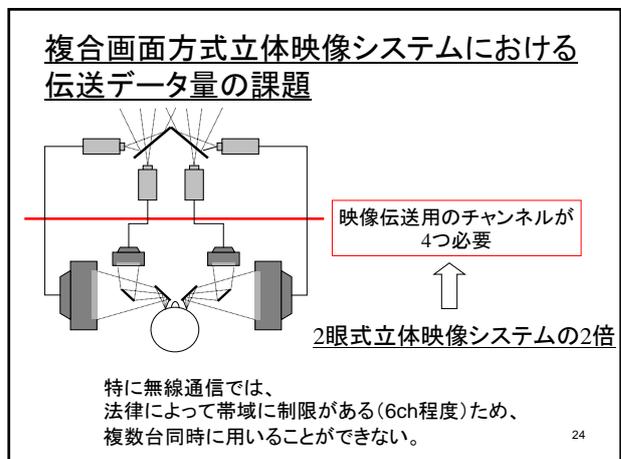
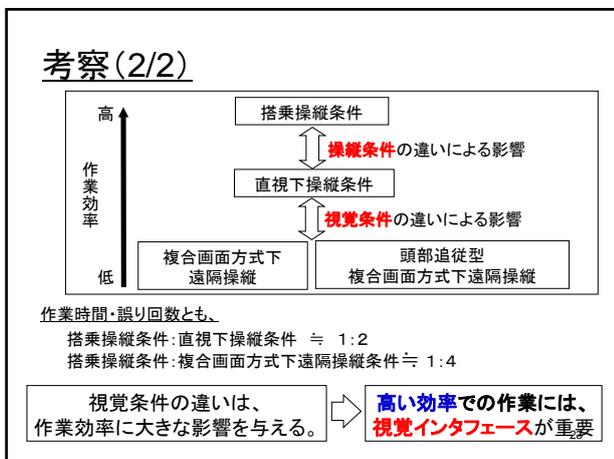
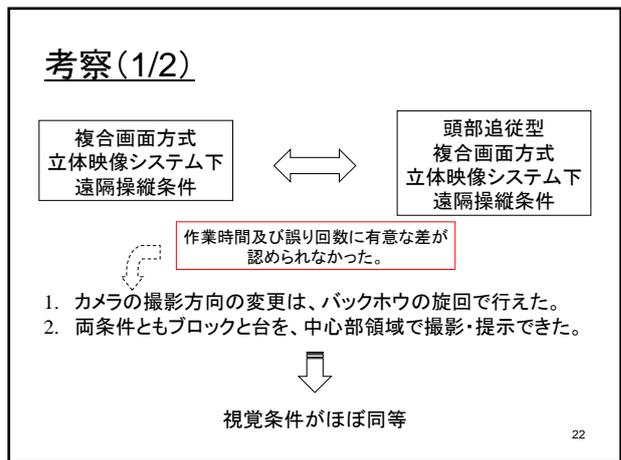
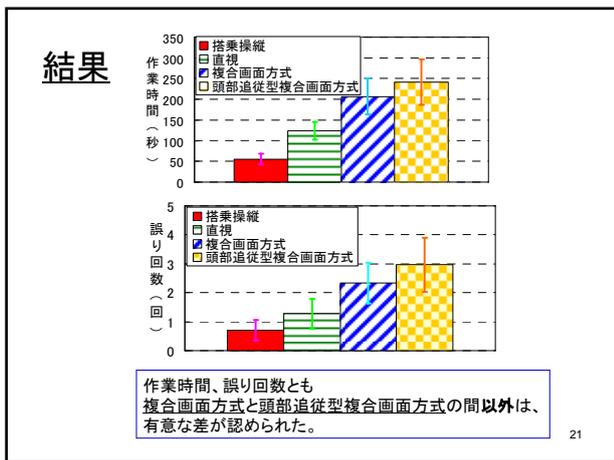
#### ブロックの運搬作業



18



- 被験者  
- 5名
- 試行回数  
- 6回
- 測定項目  
- 作業時間(秒)  
- 誤り回数(回)



## 複合画面方式立体映像システムの課題

1. 直視と比較して、作業効率が低い。  
⇒ 更なる**作業効率の向上**が必要。
2. 2眼式立体映像システムの2倍にあたる4チャンネル分の映像伝送帯域が必要。  
⇒ **伝送データ量の削減・圧縮**が必要。

25

## 第2章のまとめ

1. 遠隔操縦において、**視覚条件**が作業効率に与える影響は大きい。
2. 複合画面方式立体映像システムの課題：
  - i. **作業効率が2眼式よりも高いものの、直視下よりは低いこと。**
  - ii. **伝送データ量が多いこと。**

26

作業効率  
に関する課題

第2章  
複合画面方式  
立体映像システムの評価

第3章  
作業効率の向上  
に関する基礎研究

27

## 第3章

### 作業効率の向上に関する基礎研究

- 基本方針
- 視覚的な補助情報付加の効果
- 適切なカメラの輻輳(重複率)の制御
- まとめ

28

## 基本方針

映像の広画角化及び高精細化

⇒ 伝送データ量の増加が大きい

他の方法は？

- I. 視覚的な**補助情報**を付加する。
- II. 左右立体映像対の高い**重複率**を実現する。

↑  
映像の広画角化及び高精細化に比べて、  
伝送データ量の増加は少ない。

29

## i. 視覚的な補助情報付加の効果

目的:

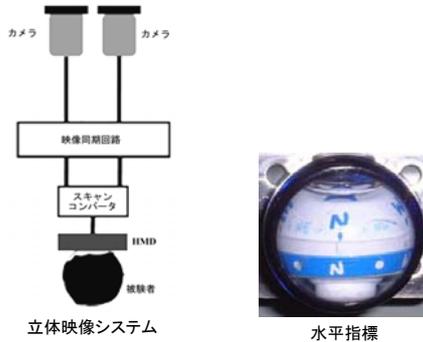
立体映像に水平面を提示する  
視覚的な補助情報を付加した場合の  
ブルドーザーの排土板の制御精度を調べる。

実験条件:

- 搭乗操縦条件
- 立体映像下遠隔操縦条件
- 水平指標付加遠隔操縦条件
- 搭乗立体映像下操縦条件

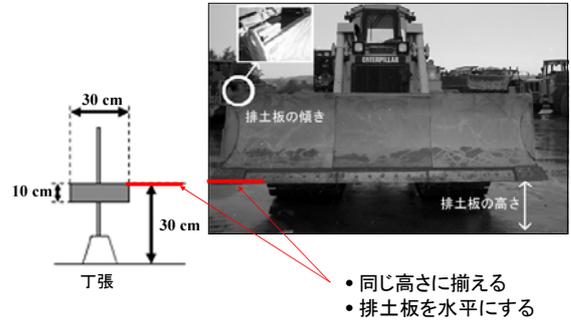
30

## 装置



31

## 作業課題及び測定場所



- 同じ高さに揃える
- 排土板を水平にする

32

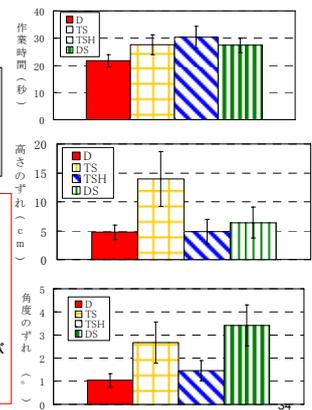
- 被験者
  - 3名
- 試行回数
  - 10回
- 測定項目
  - 作業時間(秒)
  - 水平面との角度のずれ(度)
  - 丁張の上面との高さのずれ(cm)

33

## 結果

D:搭乗操縦条件  
 TS:立体映像下遠隔操縦条件  
 TSH:水平指標付加立体映像下遠隔操縦条件  
 DS:搭乗立体映像下操縦条件

**作業時間:**  
 ・搭乗操縦のみ時間が短い。  
**高さのずれ:**  
 ・立体映像下のみずれが大きい。  
**角度のずれ:**  
 ・搭乗操縦では他の条件よりずれが小さい。  
 ・水平指標では、立体映像下及び搭乗立体映像下よりもずれが小さい。



## 考察

ブルドーザーを用いた遠隔操縦作業において、**水平面の基準**をカメラ映像に付加することによって**排土板の高さ及び角度の制御が正確**になる

水平指標付加条件における作業時間の短縮は、視認性の向上によって、可能と予想される。

作業効率の向上に、**視覚的な補助情報を付加**する方法は有効。

複合画面方式立体映像システムにおいても同様の効果が期待できる。

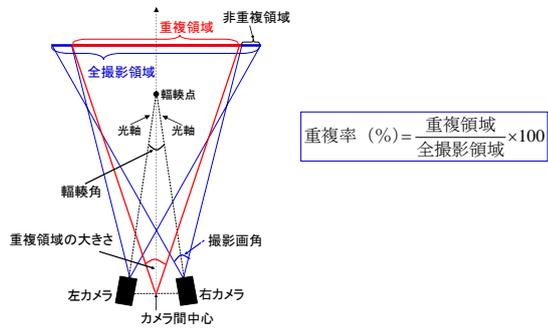
35

## 基本方針

- Ⅰ. 視覚的な補助情報を付加する。  
 ⇒ 作業効率の向上が示唆された。
- Ⅱ. 左右立体映像対の高い重複率を実現する。

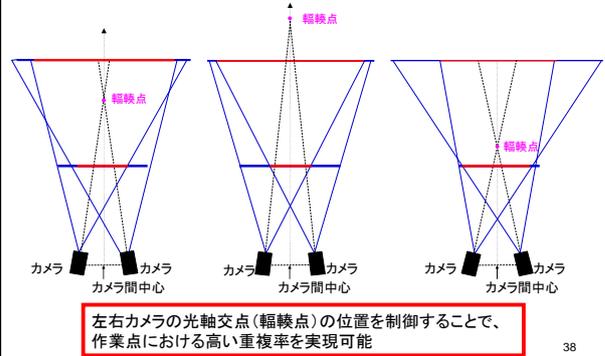
36

## 左右映像の重複率と重複領域の大きさ



37

## 輻射点の位置と重複率



38

## ii. 適切なカメラの輻射点(重複率)の制御

### 目的:

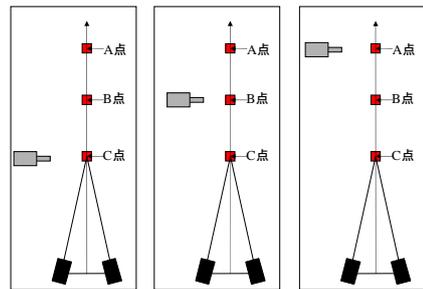
複合画面方式立体映像システムにおいて、カメラ輻射点を適切に制御し、作業地点における左右立体映像対の高い重複率を実現した場合の作業効率を検討する。

### 実験条件:

- カメラ輻射固定条件
- カメラ輻射移動条件

39

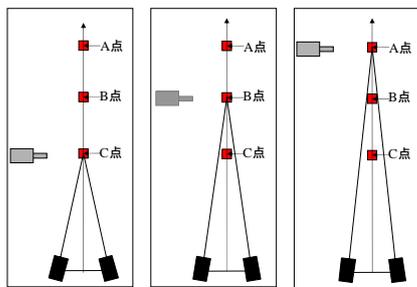
## 輻射固定条件



カメラの輻射点がある一点(C点)に固定

40

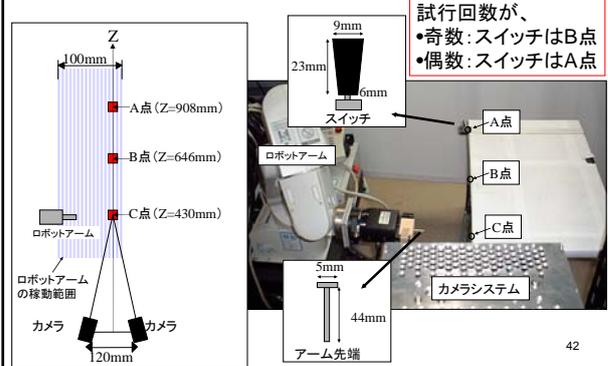
## 輻射移動条件



カメラの輻射点をロボットアームの奥行きに制御

41

## 実験環境

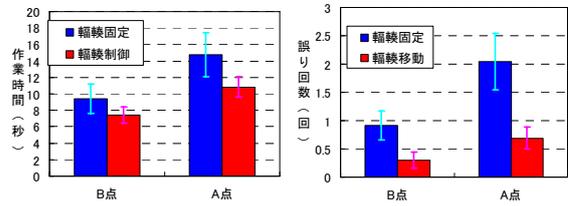


42

- 作業課題
  - スイッチの押下作業
- 被験者
  - 10名
- 試行回数
  - A点、B点について各10回ずつ
- 測定項目
  - 作業時間(秒)
  - 誤り回数(回)

43

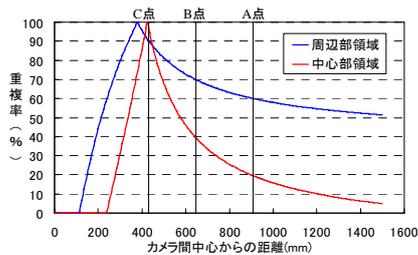
## 結果



A点・B点ともに、  
輻輳固定条件では輻輳移動条件よりも  
作業時間および誤り回数が多い。

44

## 考察



複合画面方式立体映像システムの中心部領域では、  
輻輳点からのずれによる重複率の低下が著しい。

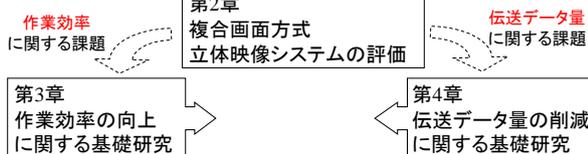
複合画面方式立体映像システムの能力を生かすには、  
カメラの輻輳を制御し、高い重複率を実現することが重要。

45

## 第3章のまとめ

1. 視覚的な補助情報を付加することによって、  
作業効率が向上する可能性が示唆された。
2. カメラの輻輳点を制御し、  
左右映像の重複率を高く保つことによって、  
作業効率が向上することが明らかになった。

46



47

## 第4章

### 伝送データ量の削減に関する基礎研究

- 基本方針
- 実験1: 周辺部の伝送データ量削減
- 実験2: 周辺部・中心部の伝送データ量削減
- まとめ

48

## 基本方針

画像処理による方法

⇨ 処理によって遅延が発生

作業効率に影響を及ぼす遅延の大きさは？

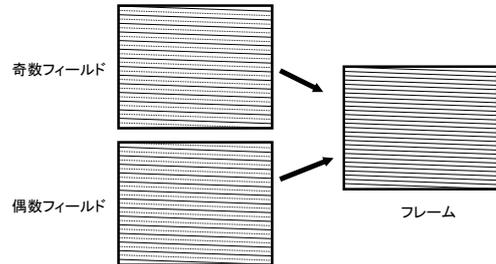
400msの遅延でも作業の効率に影響を及ぼす。

そこで、

遅延が生じない  
フィールド間引きによって伝送データ量の削減

49

## NTSC



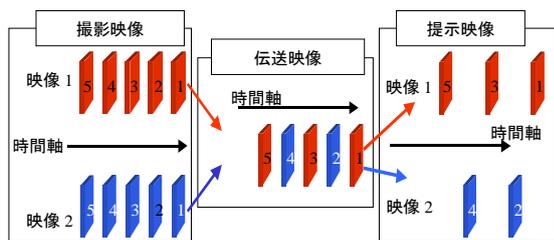
走査線数: 525本

走査方式: 2:1インタレース方式

1秒あたりのフィールド数: 約60 (フレーム数は、30)

50

## フィールド間引きによる情報の削減



51

## 実験1: 周辺部の伝送データ量削減

目的:

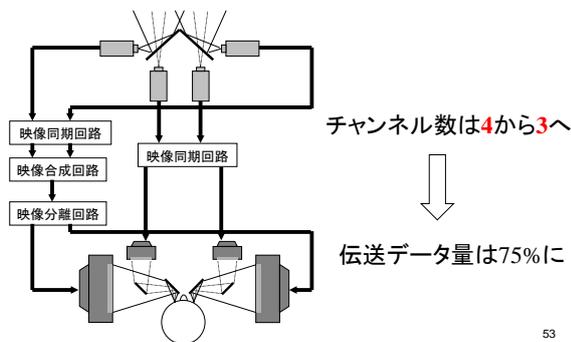
複合画面方式立体映像システムにおいて、  
周辺部領域の伝送データ量を時分割によって  
削減した場合の、作業効率を検討する。

実験条件:

- 複合画面方式立体映像システム
- 周辺部時分割複合画面方式立体映像システム

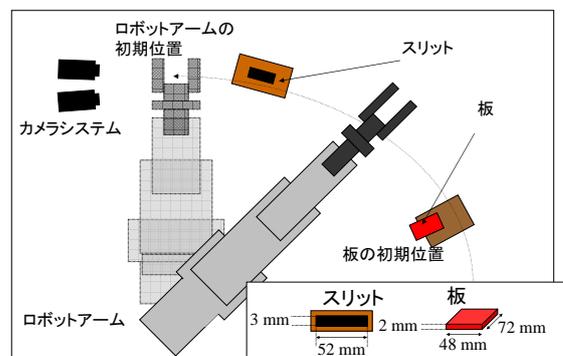
52

## 周辺部時分割複合画面方式立体映像システム



53

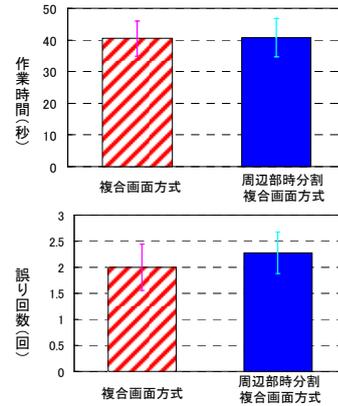
## 実験環境



- 被験者
  - 12名
- 試行回数
  - 10回
- 測定項目
  - 作業時間(秒)
  - 誤り回数(回)

55

## 結果



56

## 考察

作業時間・誤り回数ともに  
両条件に有意な差は認められなかった。



作業効率を維持したまま、  
複合画面方式立体映像システムの伝送データ量を  
**75%に削減可能**

57

## 実験2: 周辺部及び中心部の伝送データ量削減

### 目的:

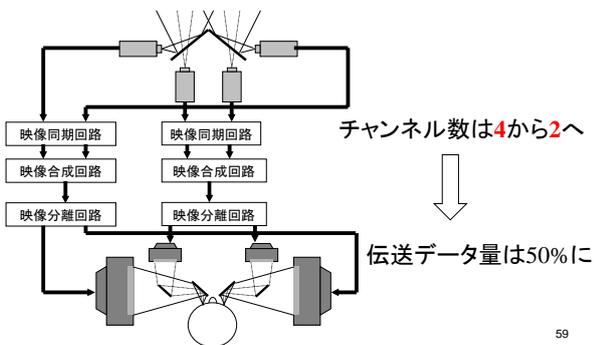
複合画面方式立体映像システムにおいて、  
周辺部領域及び中心部領域の伝送データ量  
を時分割によって削減した場合の  
作業効率を検討する。

### 実験条件:

- 複合画面方式立体映像システム
- 時分割複合画面方式立体映像システム

58

## 時分割複合画面方式立体映像システム

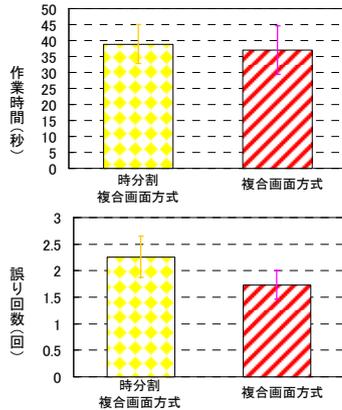


59

- 被験者
  - 10名
- 試行回数
  - 10回
- 測定項目
  - 作業時間(秒)
  - 誤り回数(回)

60

## 結果



61

## 考察

時分割複合画面方式立体映像システムでは、**誤り回数が有意に増加**。



作業効率を維持したまま、複合画面方式立体映像システムの伝送データ量を**50%に削減不可**

62

## まとめ

複合画面方式立体映像システムにおいてフィールド間引きによる伝送データ量の削減を行った。

1. **周辺部領域のみ**フィールドを間引き、伝送データ量を**75%に削減**しても、**作業効率維持**。
2. **周辺部・中心部領域とも**フィールドを間引き、伝送データ量を**50%に削減**すると、**作業効率低下**。

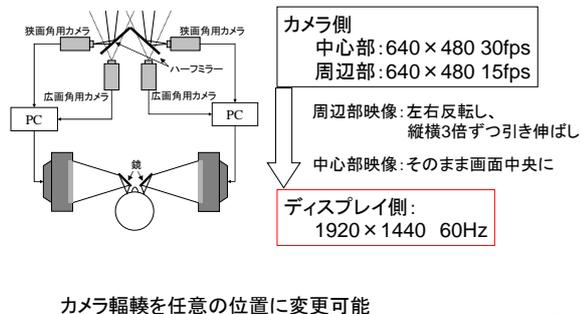
63

## 新しい視覚インタフェースの開発及びその評価

- 開発したシステムについて
- 2眼式立体映像システム及び直視との比較実験
- まとめ

64

## 開発した立体映像システム



65

## 評価実験

### 目的:

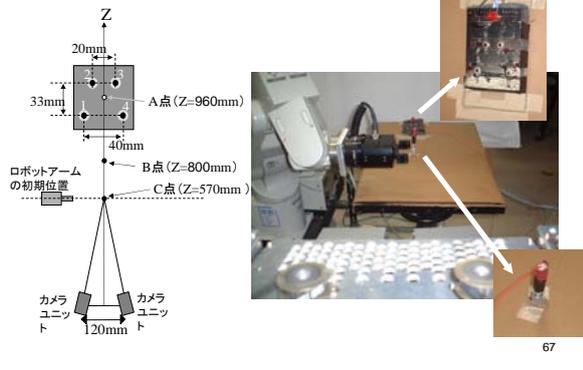
開発したシステムを、直視および2眼式立体映像システムとの比較によって評価すること。

### 実験条件:

- 直視
- 開発したシステム
- 2眼式立体映像システム

66

## 作業環境

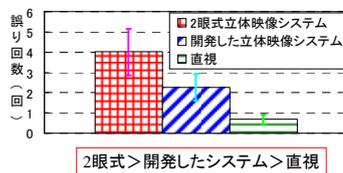
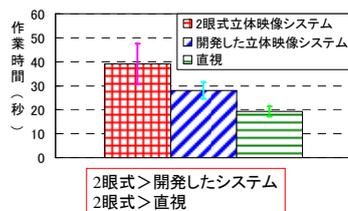


67

- 被験者
  - 12名
- 試行回数
  - 12回
- 測定項目
  - 作業時間(秒)
  - 誤り回数(回)

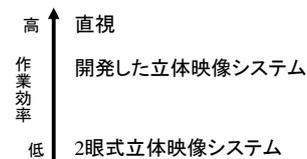
68

## 結果



69

## 考察(1/2)



開発したシステム下では、2眼式と比較して  
約70%の作業時間と約50%の誤り回数で作業を行える。

70

## 考察(2/2)

### • 2眼式(HDTV)立体映像システムとの比較

1. 表示画素数  
本システム: HDTV ≒ 1920 × 1440 : 1920 × 1080  
≒ 1.3 : 1
2. 伝送データ量  
本システム: HDTV ≒ 420Mbps : 2850Mbps  
≒ 0.15 : 1

本システムでは、約15%の伝送データ量でより高精細かつ広画角の映像を実現できる。

71

## まとめ

第3章および第4章の成果をもとに、  
新しい遠隔操縦用の立体映像システムを開発した。

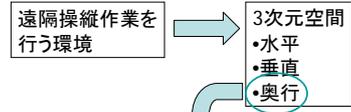
開発したシステムは、直視には及ばないものの  
VGAの2眼式立体映像システムよりも  
非常に高い効率での作業が可能であることが明らかになった。

72

松ヶ下・松永らの研究

73

## 遠隔操縦作業における視覚インターフェイスと問題点



視覚インターフェイスとして  
立体映像(ステレオ映像)が効果的であることがわかっている。



74

## 立体映像下での作業効率が目視下での作業効率より低い原因として...

1. 映像の解像度が低い.
2. 映像の画角が狭い.
3. 奥行き手がかりの欠如(例:輻輳).

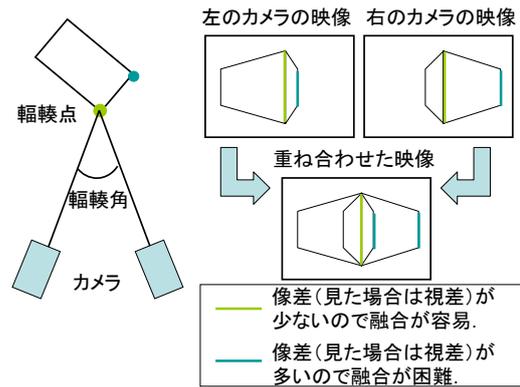
が考えられる.

### 研究の目的

これらの問題を解決し、より高い作業効率が得られる視覚インターフェイスを開発する.

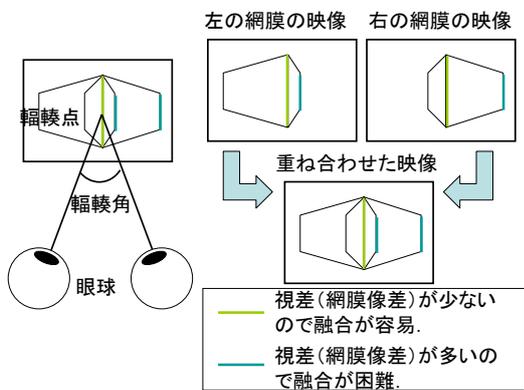
画角: 人間の視野に占める映像画面の範囲

## カメラの輻輳と立体映像の融合



76

## 輻輳と立体映像の融合

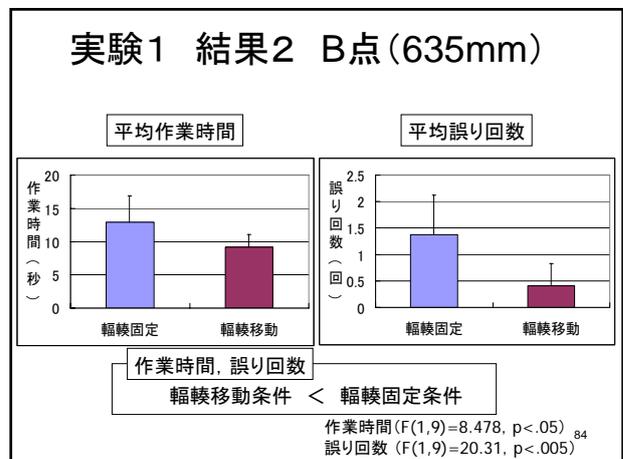
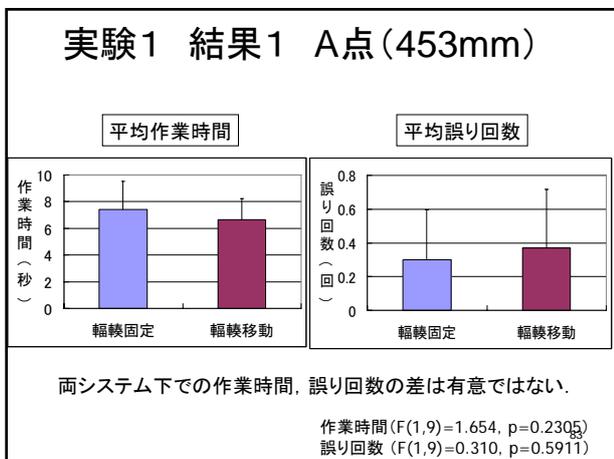
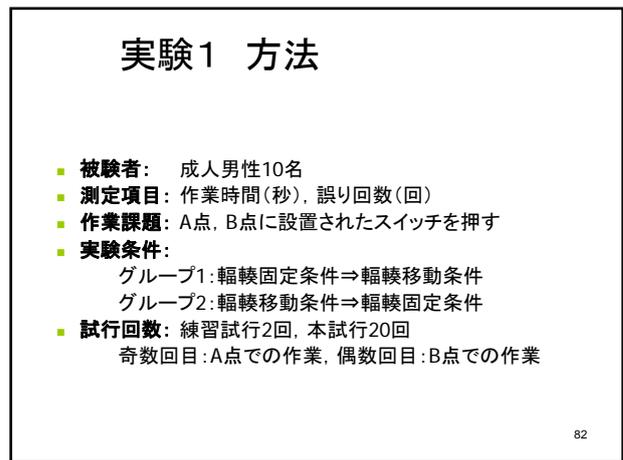
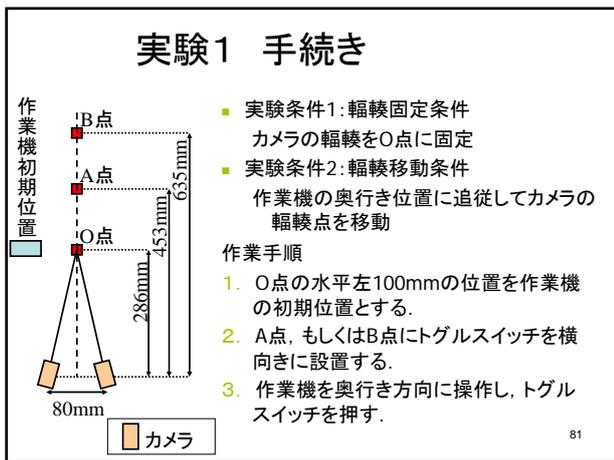
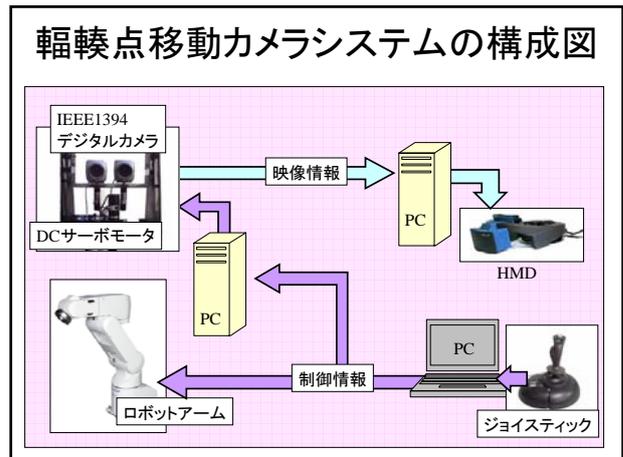
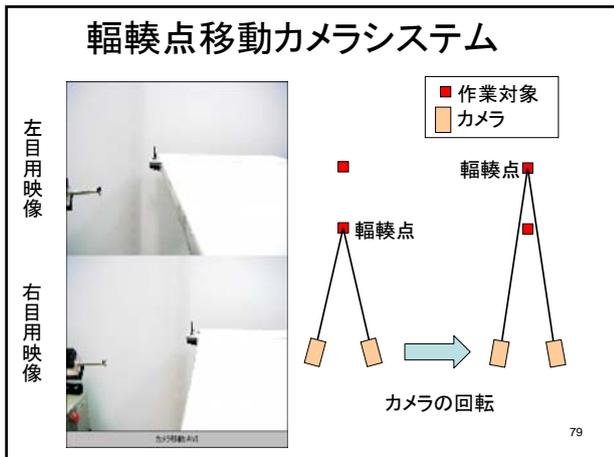


77

## 実験1 目的

- カメラの輻輳点が作業機の奥行き位置に追従して動くシステム(輻輳点移動カメラシステム)を用いた場合とカメラの輻輳点が一点に固定である場合の作業効率を比較する.

78



## 実験1 結果3 内省報告

	A点 (453mm)	B点 (635mm)
融合可能	10名	3名
融合不可能	0名	7名

B点(635mm)において融合可能であった3名においてもかなり困難であったとの報告があった。

85

## 実験1の結果より

- 奥行き方向に距離がある環境では、輻輳点移動カメラシステムは作業効率に関して有効であるといえる。

また、

- A点(453mm)の結果より、カメラの輻輳点が作業対象に合っていない~~ても~~立体映像の融合が可能であれば、作業効率に影響しないことが示唆された。

86

## 実験結果の考察と新たな提案

立体映像の融合が可能であれば、カメラの輻輳点が合っていない~~ても~~、高い作業効率を得られると考えられる。

### 新たな提案

カメラの輻輳ではなく、映像の提示位置を移動することで輻輳を調節し、立体映像の融合を可能にすれば、高い作業効率を得られるのではないかと？

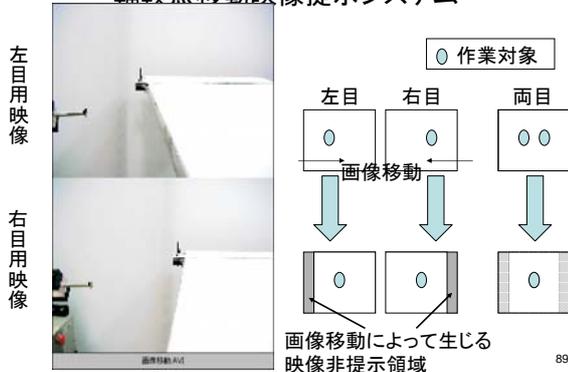
87

## 実験2 目的

- 映像の提示位置を移動することで、輻輳を調節するシステム(輻輳点移動映像提示システム)の有効性を輻輳点移動カメラシステムとの比較実験により検証する。

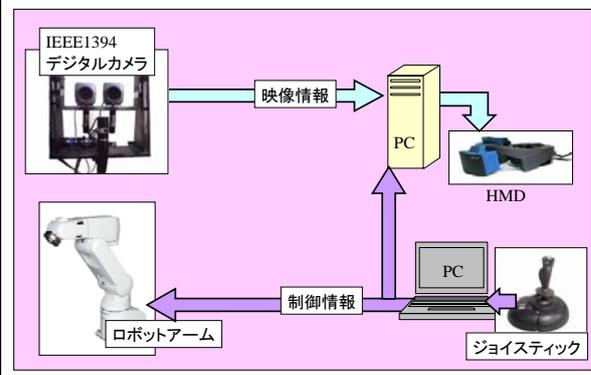
88

## 新しい視覚インターフェイス: 輻輳点移動映像提示システム

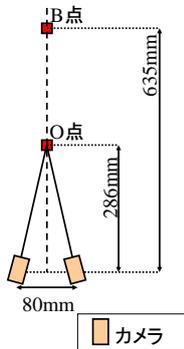


89

## 輻輳点移動映像提示システムの構成図



## 実験2: 手続き



- 実験条件1: カメラ移動条件  
輻輳点移動カメラシステムを用いる。
- 実験条件2: 画像移動条件  
輻輳点移動映像提示システムを用いる。  
このとき、カメラの輻輳点はO点に固定。

### 作業手順

1. O点の水平左100mmの位置を作業機の初期位置とする。
2. B点にトグルスイッチを横向きに設置する。
3. 作業機を奥行き方向に操作し、トグルスイッチを押す。

91

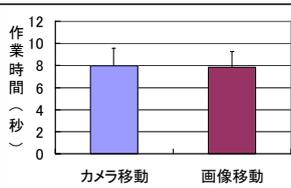
## 実験2: 方法

- 被験者: 成人男性10名
- 測定項目: 作業時間(秒), 誤り回数(回)
- 作業課題: B点に設置されたスイッチを押す
- 実験条件:  
グループ1: カメラ移動条件⇒画像移動条件  
グループ2: 画像移動条件⇒カメラ移動条件
- 試行回数: 練習試行2回, 本試行10回

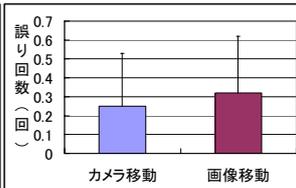
92

## 実験2: 結果1

平均作業時間



平均誤り回数



両システム下での作業時間, 誤り回数の差は有意ではない。

作業時間 (F(1,9)=0.162, p=0.6964)  
誤り回数 (F(1,9)=1.839, p=0.2091)

94

## 実験2 結果: 内省報告

- 両条件とも全ての被験者が融合可能であった。
- 輻輳点移動映像提示システムにおける、画像が移動したことで生じる映像非提示領域(グレー領域)に違和感を感じたものはいなかった。

## 実験2の結果より

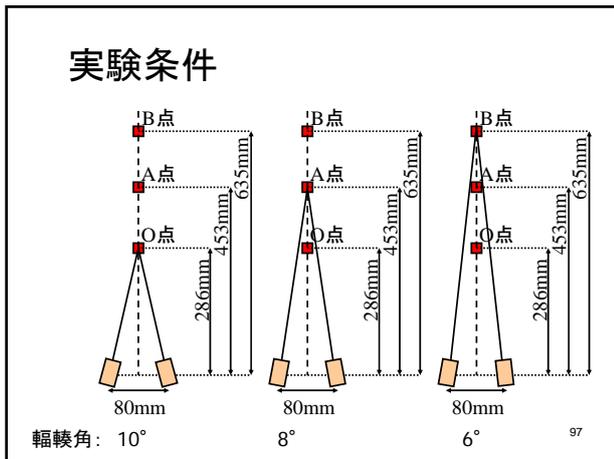
- 輻輳点移動映像提示システムを用いることで、輻輳点移動カメラシステムを用いたときと、ほぼ同等の作業効率が得られることが示唆された。

95

## まとめ

- 実験1より、輻輳点移動カメラシステムを用いて、カメラの輻輳を調節することで、従来の視覚インターフェイスより高い作業効率を得ることができた。
- 実験2より、輻輳点移動映像提示システムを用いることで、輻輳点移動カメラシステムを用いた場合と、ほぼ同等の作業効率を得ることができた。
- 遠隔操縦作業において、立体映像を視覚インターフェイスとする場合、左右像の融合が重要であることがわかった。
- 上記2つのシステムを用いることで、従来の視覚インターフェイスと比較して、より高い作業効率を得ることができる。

96



### 実験条件

	カメラ (deg)	画像 (pixel)
O点 (286mm)	5	0
A点 (453mm)	4	46
B点 (635mm)	3	69
1m	1.2	108
10m	0.2	124

98

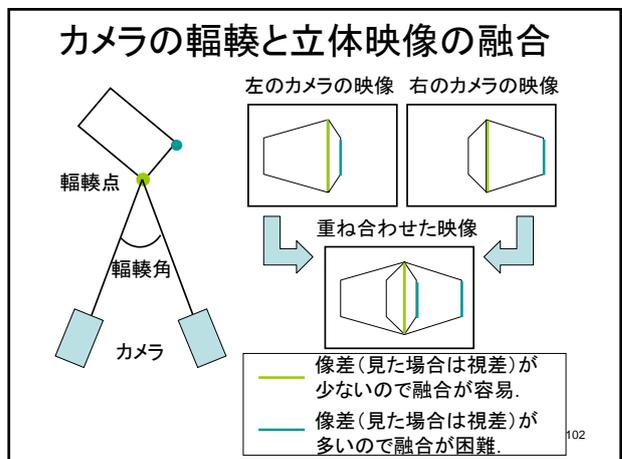
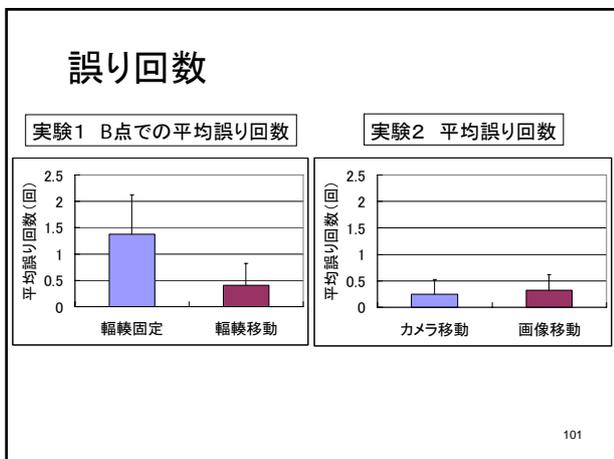
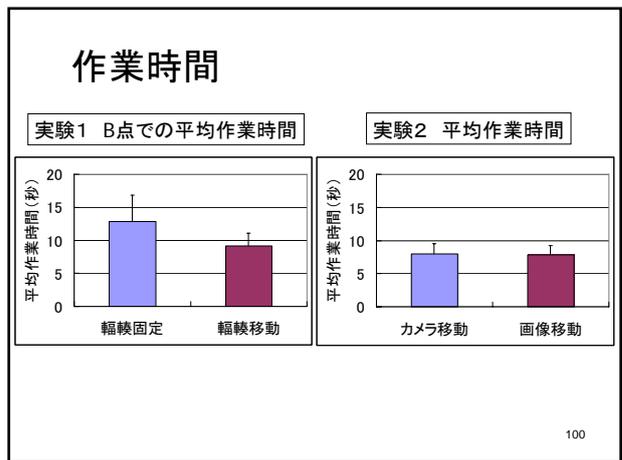
### 立体画像の融像限界(融合域)

放射状の円画像の場合 視差(角度)  
 立体視成立:円錐, 非交差視:平均3.40度, 標準偏差1.59度  
 不成立,単一視可能:円, 最大約14度  
 両方不可:2重像 交差視 :平均5.04度, 標準偏差5.06度

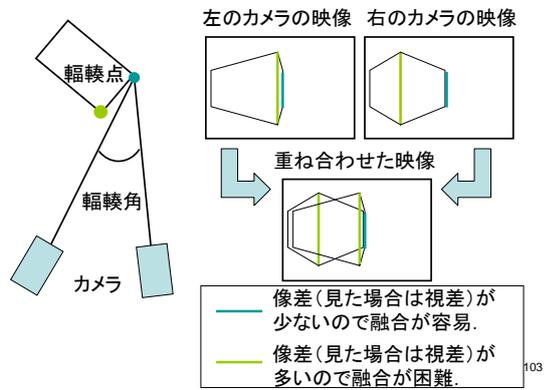
江本正喜, 矢野澄男, 長田昌次郎: 立体映像システム観察時の融像性輻湊限界の分布. 映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No. 5, pp.703-710 (2001)

今回の実験の場合 輻輳がO点固定の場合  
 A点(非交差視):6.8度  
 B点(非交差視):10.2度

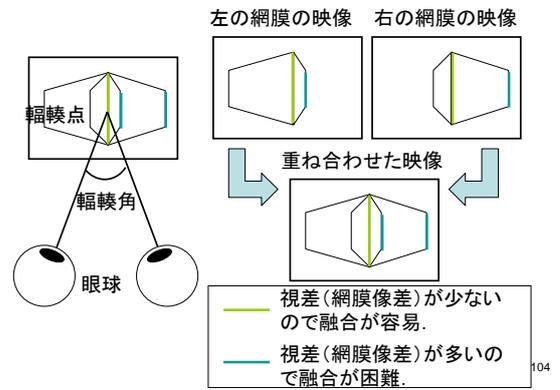
融合域には個人差があり, 提示画像の奥行き手がかりにより大きく変化する. 例えば, 視差を連続的に変化させた場合の交差視の限界の平均は17.78度であるとの結果もある.  
 細畑ら(1996)<sup>99</sup>



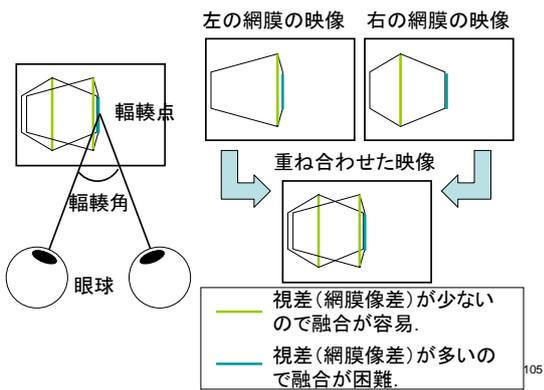
## カメラの輻輳と立体映像の融合2



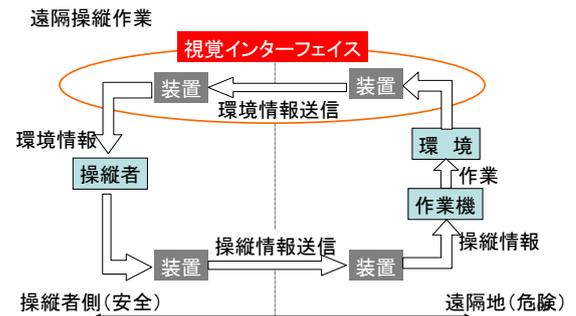
## 輻輳と立体映像の融合



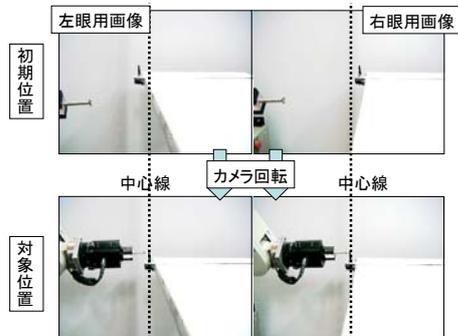
## 輻輳と立体映像の融合



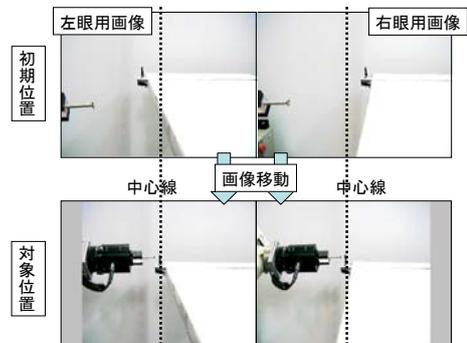
## 遠隔操縦作業における視覚インターフェイス



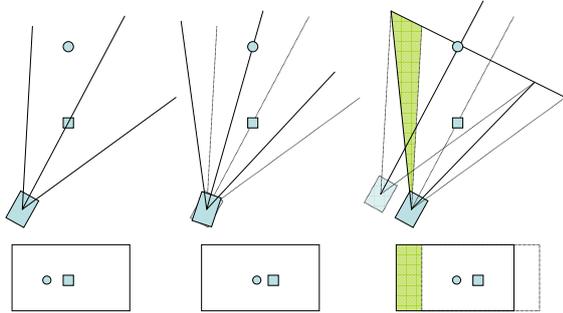
## 輻輳点移動カメラシステム



## 輻輳点移動映像提示システム

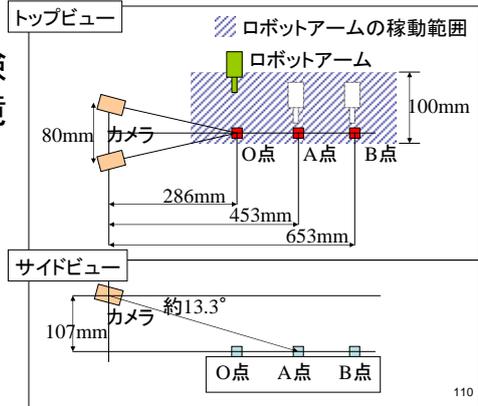


## 両システムの概要



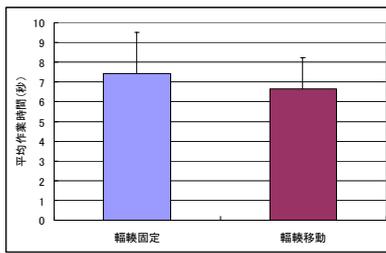
109

## 実験環境



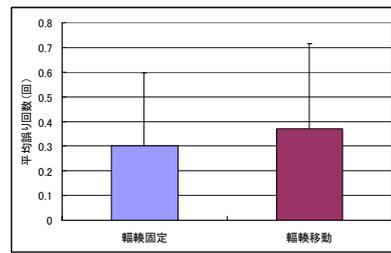
110

## 実験6A 作業時間



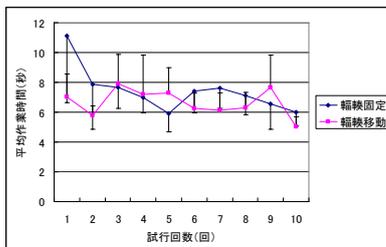
111

## 実験6A 誤り回数



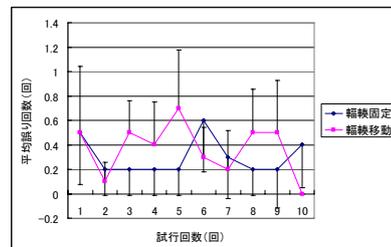
112

## 実験6A 試行毎作業時間



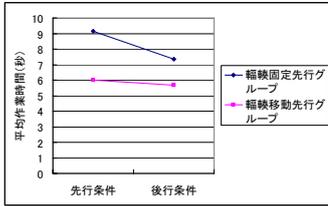
113

## 実験6A 試行毎誤り回数



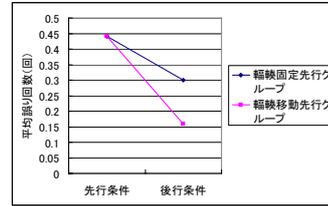
114

### 実験6A グループ 毎作業時間



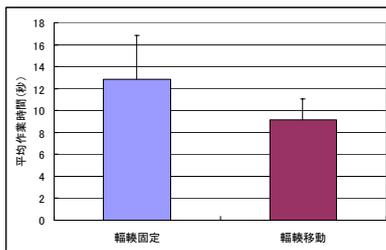
115

### 実験6A グループ毎誤り回数



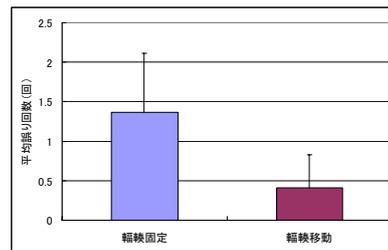
116

### 実験6B 作業時間



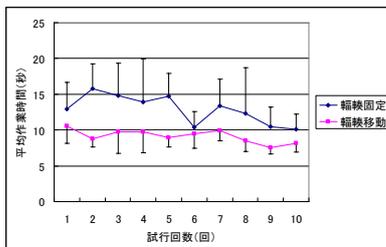
117

### 実験6B 誤り回数



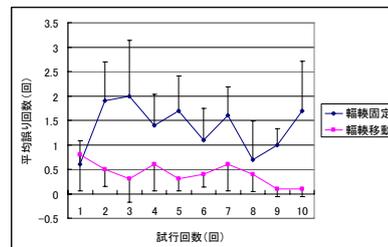
118

### 実験6B 試行毎作業時間



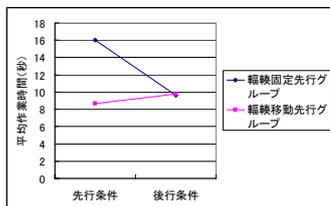
119

### 実験6B 試行毎誤り回数



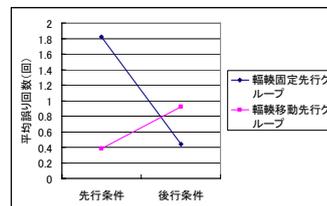
120

### 実験6B グループ 毎作業時間



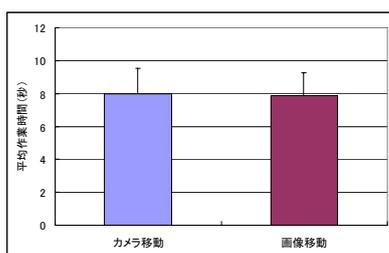
121

### 実験6B グループ 毎誤り回数



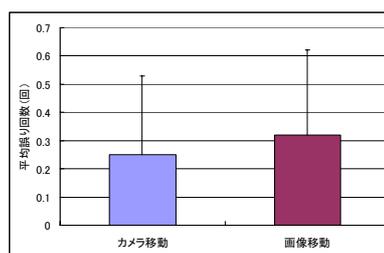
122

### 実験7 作業時間



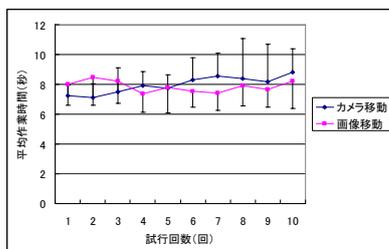
123

### 実験7 誤り回数



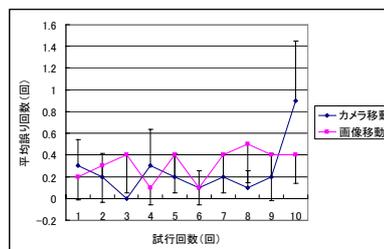
124

### 実験7 試行毎作業時間



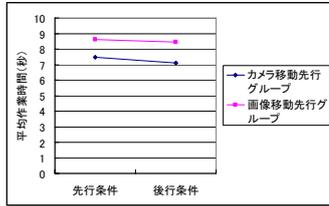
125

### 実験7 試行毎誤り回数



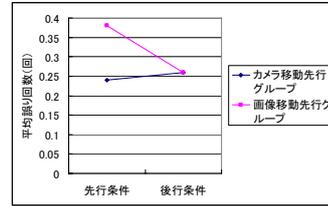
126

## 実験7 グループ 毎作業時間



127

## 実験7 グループ 毎誤り回数



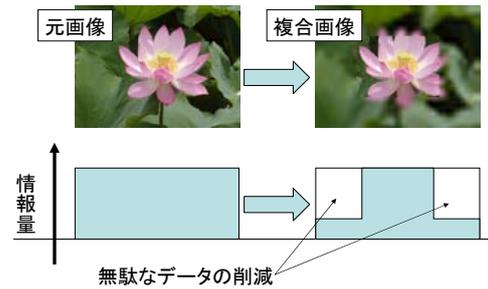
128

## 情報量の削減 実験1

複合画像を利用した情報量の削減

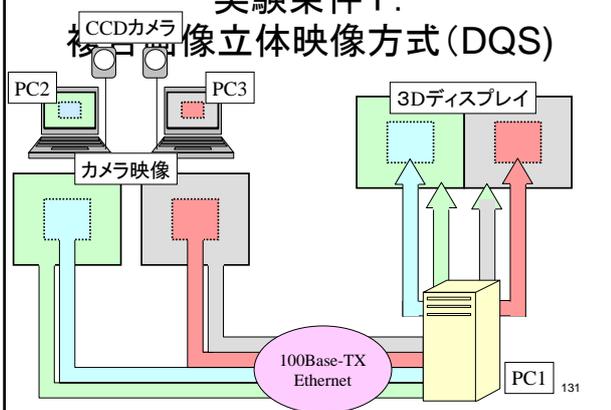
129

## 複合画像による情報量の削減方法



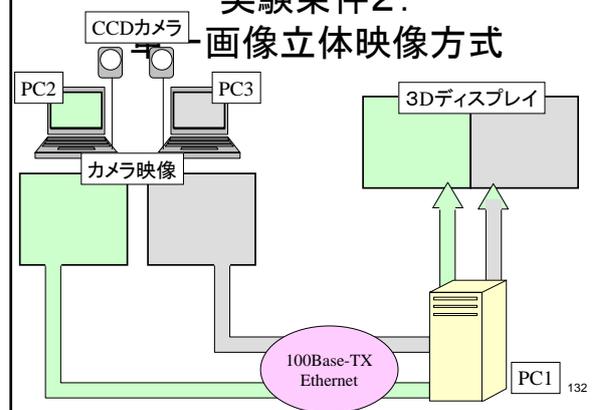
130

## 実験条件1: 複合画像立体的映像方式 (DQS)



131

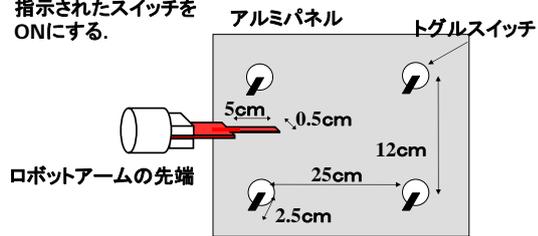
## 実験条件2: 画像立体的映像方式



132

## 実験環境

指示されたスイッチをONにする。



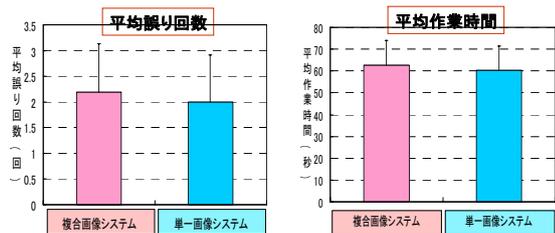
133

## 実験内容

- 情報量: 複合画像立体映像方式: 224kbps  
単一画像立体映像方式: 448kbps
- 被験者: 成人男性8名
- 測定項目: 試行時間(秒), 誤り回数(回)
- 作業課題: 指示されたスイッチをONにする
- 実験条件:  
グループ1: 複合画像立体映像方式⇒単一画像立体映像方式  
グループ2: 単一画像立体映像方式⇒複合画像立体映像方式
- 試行回数: 練習試行2回, 本番試行10回

134

## 実験結果



誤り回数に関して両方式間に有意な差はない

試行時間に関して両方式間に有意な差はない

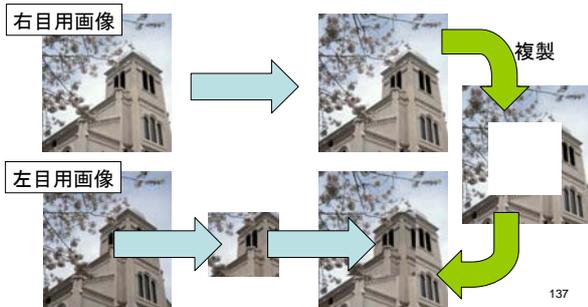
作業効率を維持したまま情報量を半分にすることができた。

136

## 情報量の削減 実験2

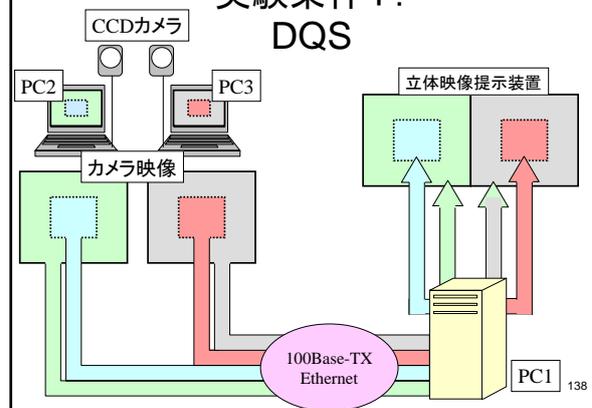
周辺画像を工夫した情報量の削減1

## 周辺画像を工夫した情報量の削減方法

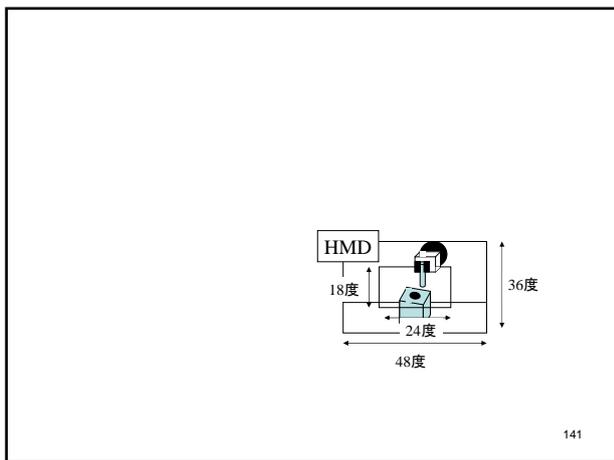
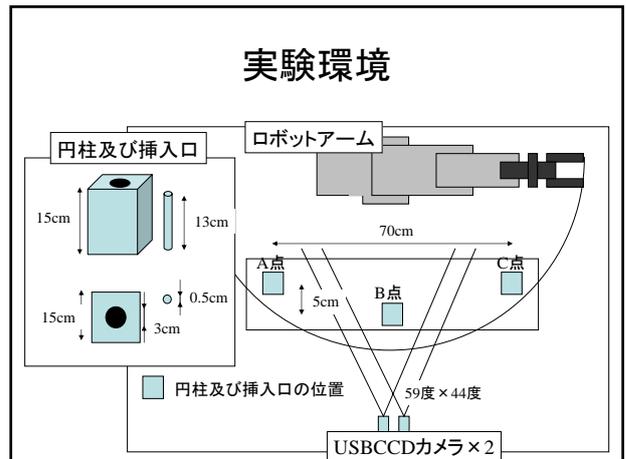
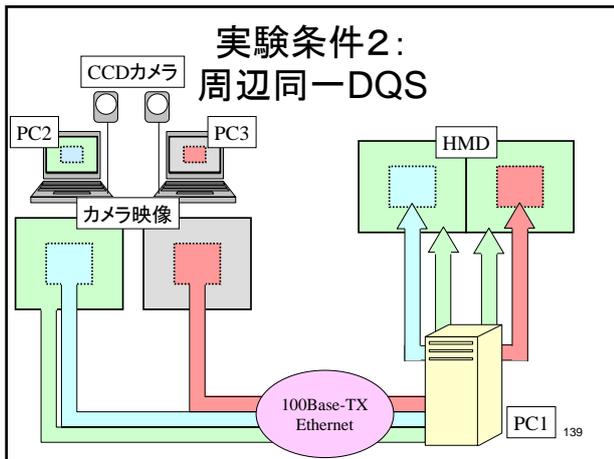


137

## 実験条件1: DQS



138



### 実験設定

**Subjects**

- 成人8名

**Conditions**

**Trial orders**

4 subjects:

- DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5

4 other subjects:

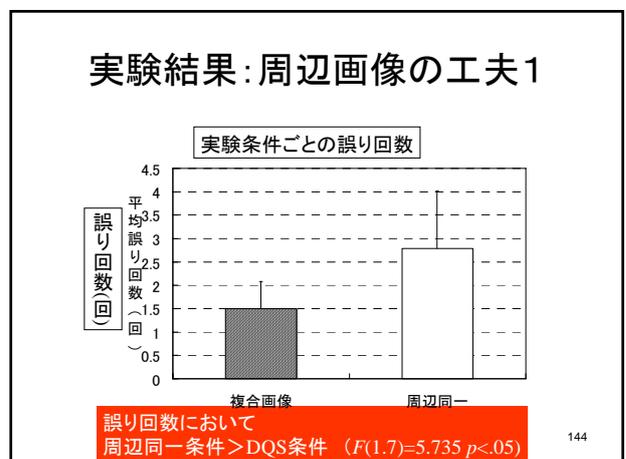
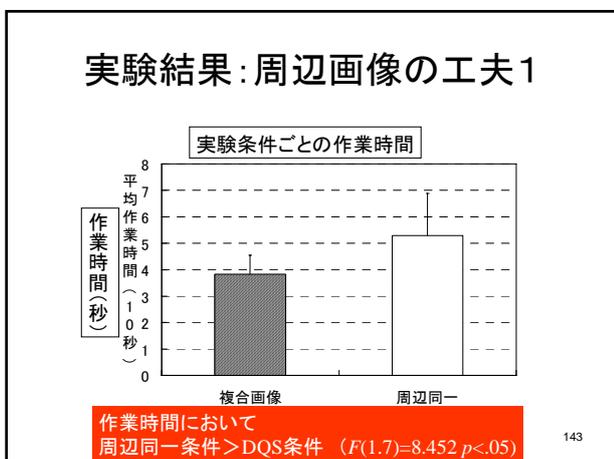
- 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5

**Measures**

- 試行時間
- 誤り回数

**Task**

- 棒状の1物体を穴に挿入する



## 実験結果のまとめ

作業効率

等しい解像度において

DQS

>

周辺同一

被験者  
片眼の映像において、周辺画像と中心画像にずれがあるため、両眼の画像の融合が困難になってしまったとの報告があった。

結果、同一の周辺画像を両眼で共有することによるデータ削減は作業効率の維持が困難であった。

145

## 情報量の削減 実験3

周辺画像を工夫した情報量の削減2

146

## 周辺画像を工夫した情報量の削減方法2

右目用画像

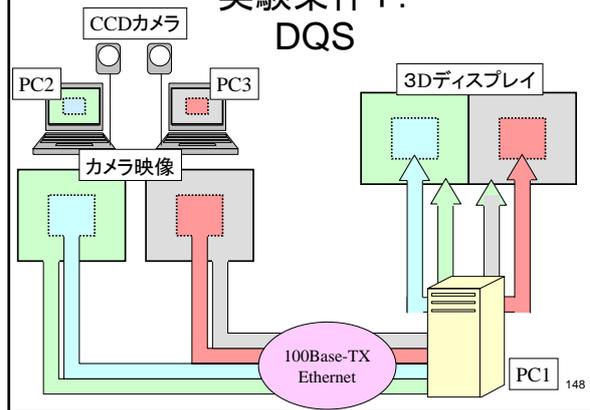


左目用画像



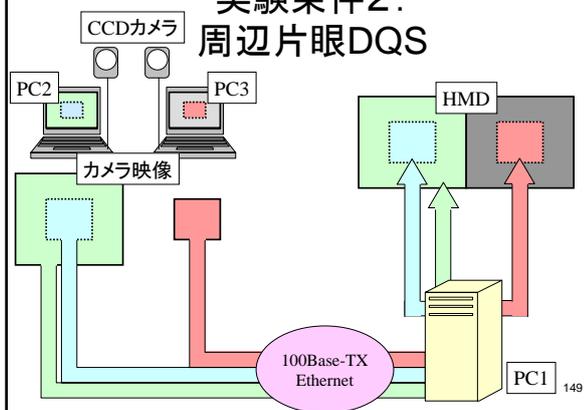
147

## 実験条件1: DQS



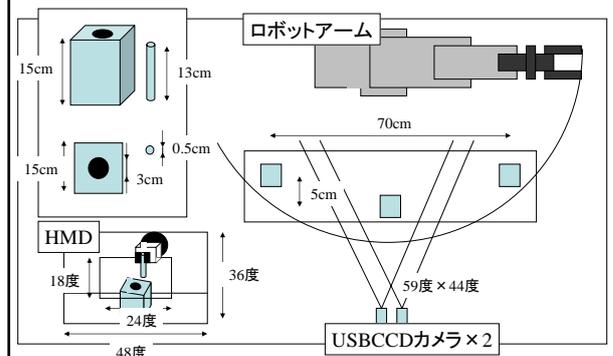
148

## 実験条件2: 周辺片眼DQS



149

## 実験環境



## 実験設定

### Subjects

- 成人8名

### Conditions

#### Trial orders

4 subjects:

- DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5

4 other subjects:

- 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5 → 周辺部片眼 × 5 → DQS × 5

### Measures

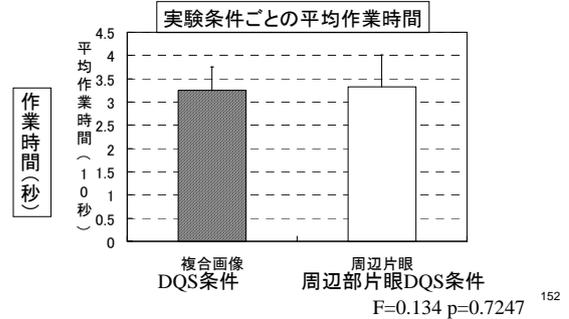
- 試行時間
- 誤り回数

### Task

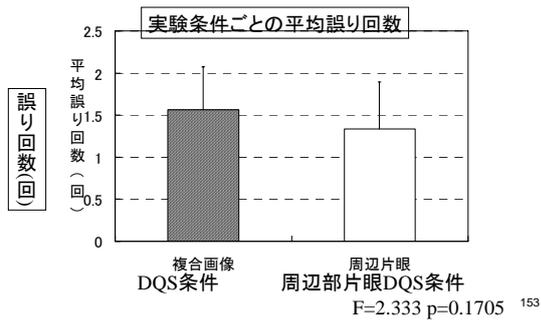
- 棒状の1物体を穴に挿入する

151

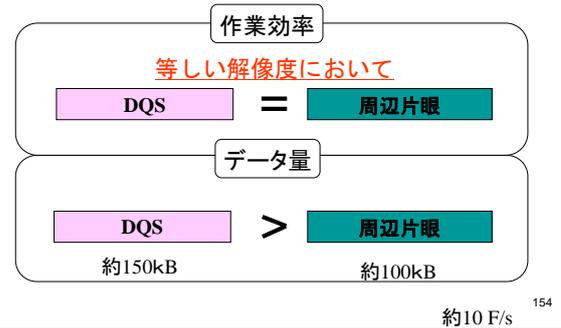
## 実験結果:周辺画像の工夫2



## 実験結果:周辺画像の工夫2



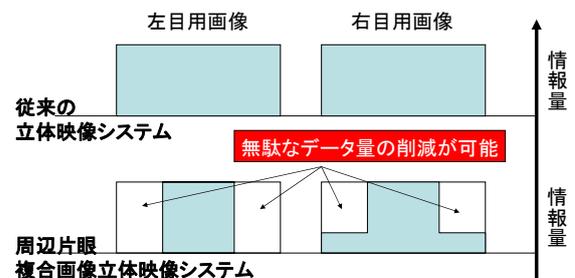
## 実験結果のまとめ



## 情報量の削減のまとめ

155

## 情報量の削減 —まとめ—

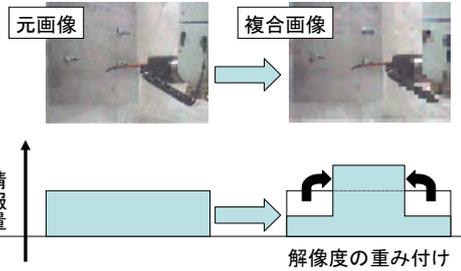


# 作業効率の向上 実験1

複合画像を利用した作業効率の向上

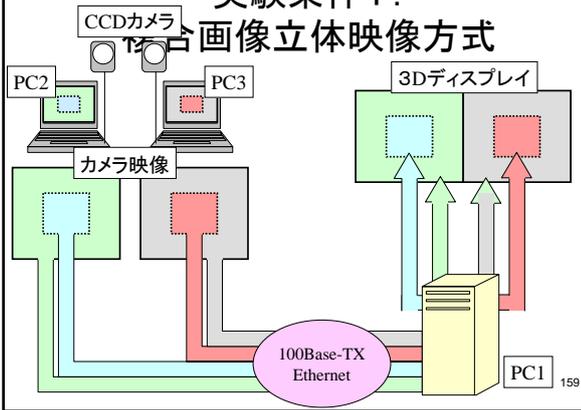
157

# 複合画像を利用した作業効率の向上方法



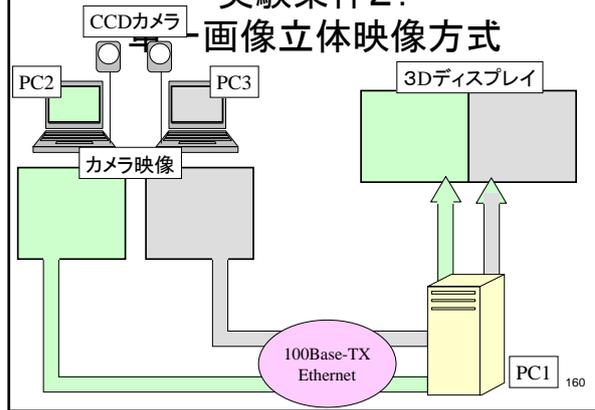
158

## 実験条件1: 画像立体映像方式



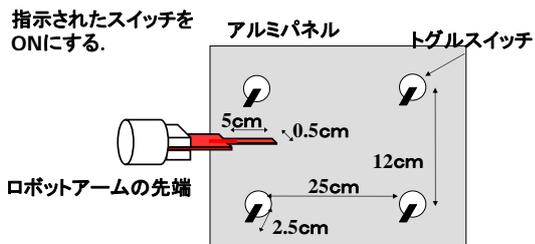
159

## 実験条件2: 画像立体映像方式



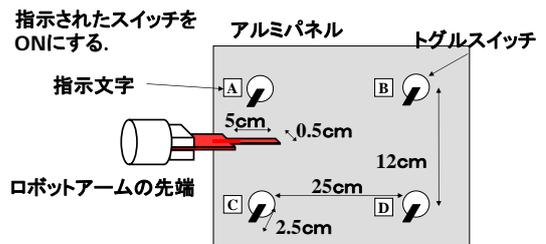
160

## 実験環境



161

## 実験環境



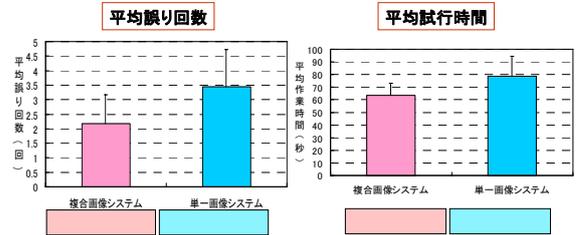
162

## 実験内容

- **情報量:** 複合画像立体映像方式:320kbps  
単一画像立体映像方式:320kbps
- **被験者:** 成人男性8名
- **測定項目:** 試行時間(秒), 誤り回数(回)
- **作業課題:** 指示されたスイッチをONにする
- **実験条件:**  
グループ1:複合画像立体映像方式⇒単一画像立体映像方式  
グループ2:単一画像立体映像方式⇒複合画像立体映像方式
- **試行回数:** 練習試行2回, 本番試行10回

163

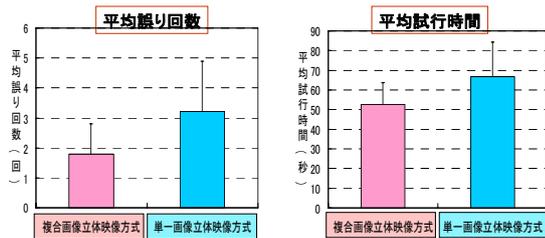
## 実験結果:複合画像の利用(ロボット追従)



複合画像立体映像方式の方が有意に誤り回数が少ない  
( $F(1,7)=9.232, P<0.05$ )

複合画像立体映像方式の方が有意に試行時間が短い  
( $F(1,7)=18.996, P<0.005$ )

## 実験結果:複合画像の利用(注視点追従)



複合画像立体映像方式の方が有意に誤り回数が少ない  
( $F(1,7)=12.260, P<0.01$ )

複合画像立体映像方式の方が有意に試行時間が短い  
( $F(1,7)=9.053, P<0.05$ )

## 実験結果のまとめ

結果	
複合画像 立体映像方式 320kbps	単一画像 立体映像方式 320kbps
誤り回数:複合方式が有意に少ない	
試行時間:複合方式が有意に短い	

等しい情報量で作業効率を向上することができた。

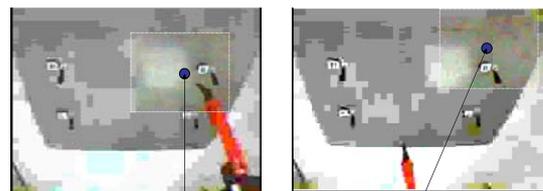
166

## 作業効率の向上 実験2

注視点を利用した作業効率の向上

167

## 注視点を利用した作業効率の向上方法



高精細領域: ロボットアームに追従

注視点に追従

168

## 実験条件1: 高精細領域ロボット追従型



169

## 実験条件2: 高精細領域注視点追従型



170

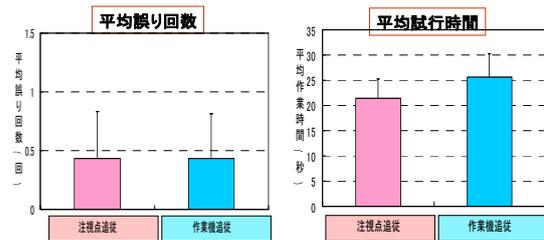
## 実験内容



- 被験者 : 成人男性6名
- 測定項目 : 試行時間(秒), 誤り回数(回)
- 作業課題 : 指示文字Aのスイッチを探索LONIにする
- 実験条件 :
  - グループ1: 注視点追従型⇒ロボット追従型
  - グループ2: ロボット追従型⇒注視点追従型
- 試行回数 : 練習試行2回, 本番試行10回

171

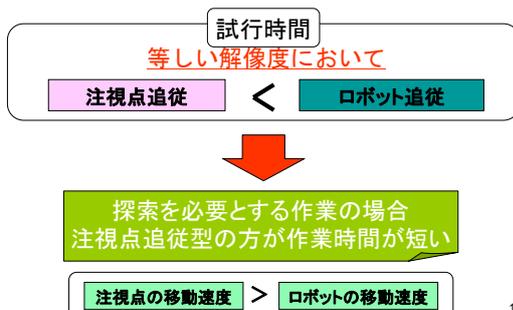
## 実験結果:注視点の利用



誤り回数に関して両方式間に有意な差はない

注視点追従型の方が有意に試行時間が短い  
( $F(1,5)=29.386, P<0.005$ )

## 実験結果のまとめ



173

## 研究室で過去行 われた実験

### 現実空間における実験

- 作業対象(作業目的位置)にカメラが輻射しているほうが輻射点があてない場合と比較して高い作業精度が得られる(渡邊ら, 2000).

### 仮想空間における実験

- カメラが常に作業対象(作業機)に輻射するシステムは輻射点固定であるシステムと比較して作業時間を短くすることができる(山本ら, 2001).

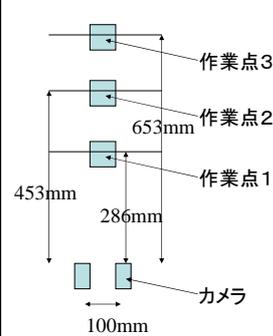
174

## 過去行われた実験の問題点

- 立体映像の融合の可否が考慮されていない。
- 作業対象が1点である。
- 作業難度が高いため融合の可否が作業効率に反映されにくい(映像ではなく勘で作業を行ってしまう)。

175

## 渡邊らの実験1



実験条件1- 輻輳を作業点1

実験条件2- 輻輳を作業点2

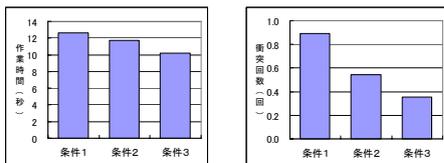
実験条件3- 輻輳を作業点3

実験手順

1. 予め作業点1にある円筒を把持
2. 引き抜いてから作業点3に挿入するまでの作業時間を測定
3. 円筒と作業点との衝突回数を測定

176

## 渡邊らの実験1 結果



177

## 渡邊らの実験1 分散分析結果

作業時間

条件1 > 条件3

衝突回数

条件1 > 条件2 > 条件3

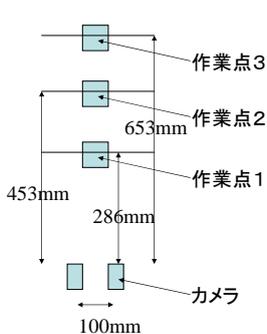
条件1, 条件3において被験者の目の疲労

条件1では挿入時に重複率の低下

条件3では把持時に重複率の低下があったため

178

## 渡邊らの実験2



実験条件1- 輻輳を作業点1

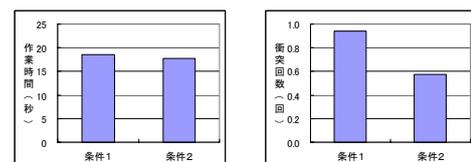
実験条件2- 輻輳を作業点1→  
作業点3

実験手順

1. 予め作業点1にある円筒を把持
2. 引き抜いてから作業点3に挿入するまでの作業時間を測定
3. 円筒と作業点との衝突回数を測定

179

## 渡邊らの実験2 結果



180

## 渡邊らの実験2 分 散分析結果

作業時間

条件1 = 条件2

衝突回数

条件1 > 条件2

条件2において被験者の目の疲労

作業点1→作業点3への輻輳の変化時に  
融合させる時間が必要であった。

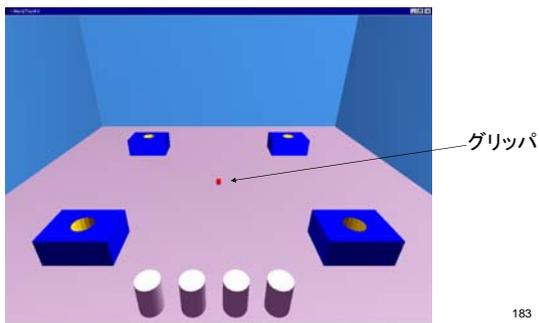
181

## 渡邊らの実験 考察(渡邊)

- 正確さを要求する作業において高い作業精度を得るためには、カメラの輻輳を作業の対象となる地点に合わせて作業させるべきである。

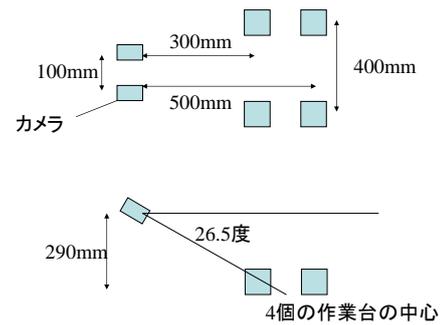
182

## 山本らの実験 環境映像



183

## 山本らの実験 環境



184

## 山本らの実験

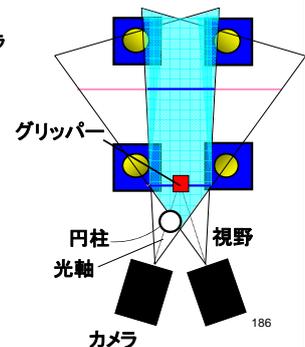
- 実験条件1-作業対象輻輳条件  
(グリッパに固定)
- 実験条件2-作業対象非輻輳条件  
(作業領域の中心に輻輳)
- 実験条件3-ゴール地点輻輳条件  
(作業台の穴に輻輳)

185

## 山本らの実験 条件1

作業対象輻輳条件  
(グリッパに輻輳)  
(グリッパの中心点に左右カメラ  
の中心位置を合わせた条件)

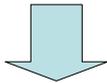
グリッパの中心位置面の映像は高い重複率(95%)  
グリッパから奥行き方向に距離が離れるほど重複率が減り、融合しにくくなる。



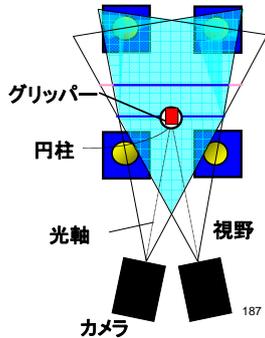
186

### 山本らの実験 条件2

作業対象輻輳条件  
(グリッパーに輻輳)  
(グリッパーの中心点に左右カメラ  
の中心位置を合わせた条件)



グリッパーの中心位置面の映像は高い重複率(95%)  
グリッパーから奥行き方向に距離が離れるほど重複率が減り、融合しにくくなる。



187

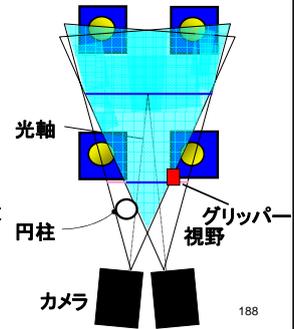
### 山本らの実験 条件2

作業対象非輻輳条件  
(作業領域の中心に輻輳)

作業領域の中心点に左右カメラ  
の中心位置を合わせた条件



作業領域の中心位置面の映像は高い重複率(95%)  
作業領域の中心から奥行き方向に距離が離れるほど重複率が減り、融合しにくくなる



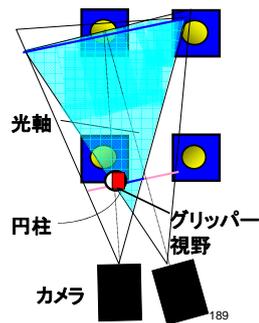
188

### 山本らの実験 条件3

ゴール地点輻輳条件  
(作業台の穴に輻輳)  
ゴール地点(作業台の穴)に  
左右カメラの中心位置を合わせた条件

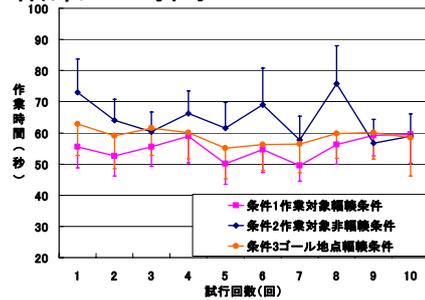


ゴール地点(作業台の穴)中心位置面の映像は高い重複率(95%)  
ゴール地点(作業台の穴)から奥行き方向に距離が離れるほど重複率が減り、融合しにくくなる。



189

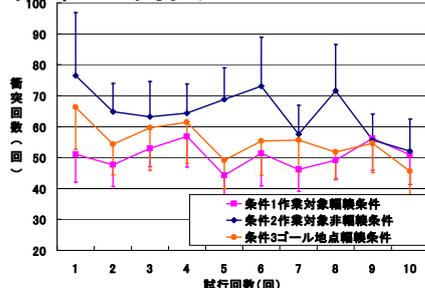
### 山本らの実験 結果1 時間



各試行における平均作業時間

190

### 山本らの実験 結果2 衝突



各試行における平均衝突回数

191

### 山本らの実験 分散 分析の結果

作業時間において

条件1  
作業対象輻輳条件  
(アーム輻輳)

条件2  
作業対象非輻輳条件  
(作業領域の中心に輻輳)

<

条件3  
ゴール地点輻輳条件  
(作業台の穴に輻輳)

衝突回数において

有意な差は見られなかった。

192

## 山本らの実験 考察(山本)

作業の対象となる部分にカメラ輻輳を合わせて作業を行うほうが作業効率が良い。



作業対象付近で高い重複率(95%)になるので左右像の融合が容易になり作業を行いやすかったと考えられる。

193

## 総論(全体のまとめ)

遠隔操縦に適した視覚インタフェース

広視野かつ高解像度 ⇨ 伝送データ量大



伝送が困難

1. 空間的な多重解像度映像
2. 時間的な多重解像度映像
3. 左右映像の高い重複率
4. 視覚的な補助情報

これらを満たすことによって、伝送データ量の増加を抑えつつ、高い効率での作業が可能となる。

194