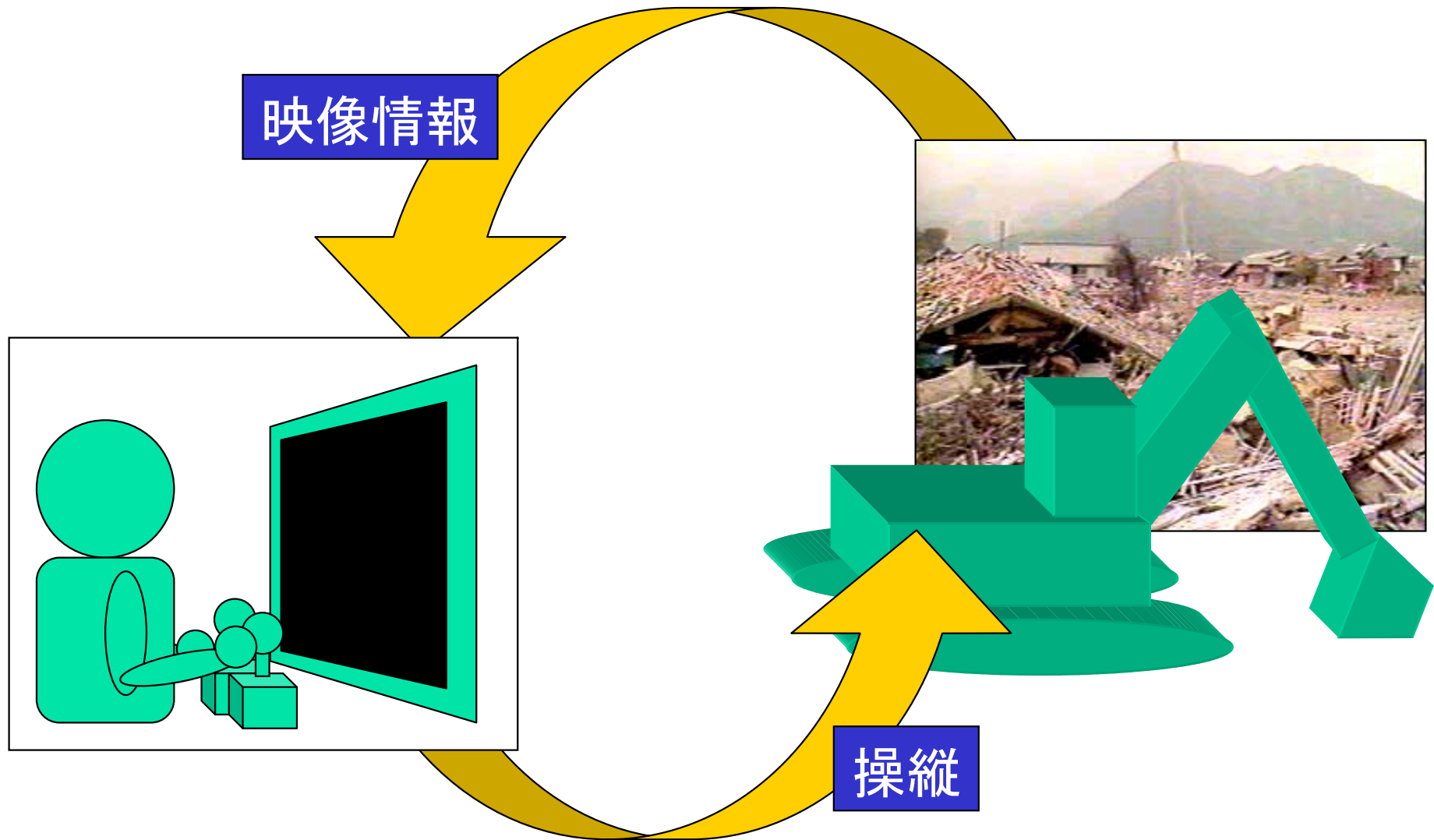


# 遠隔操縦作業用視覚装置における情報量削減の研究

九州大学大学院 システム情報科学研究所／府  
知能システム学部門／専攻  
松永 勝也（有川裕子／松ヶ下勇人）

# 背景 —遠隔操縦—



## 背景 —遠隔操縦での問題点—

### 問題

作業効率  
遠隔操縦 < 搭乗操縦

### 理由

- 帯域の制限（送信できる情報量が決まっている）
- 情報の欠如 例：奥行き，解像度，視野等

映像情報内には無駄な情報も含まれている

### 目標

情報量の削減  
ただし，作業効率を維持

作業効率向上  
ただし，情報量増加を抑える

## 解決法の提案

### 人間の視覚特性を利用する.

人間の視力は、網膜上で均一ではなく、中心窩付近が高く、周辺にいくにつれて急激に下がる.

### 操縦者の行動を利用する.

操縦者は、画面全体を見ているわけではなく、どこか一点に注視している.  
言い換えれば、ある一点に輻輳している.

## 発表内容

1. はじめに
2. 実験の目的
3. 実験1
  - 3.1. 実験方法
  - 3.2. 実験結果
  - 3.3. まとめ
4. 実験2
  - 4.1. 実験方法
  - 4.2. 実験結果
  - 4.3. まとめ
5. まとめ

## はじめに

- より自然な空間を表現するための様々な画像提示法が開発されている。
- 広画角、高解像度が人間に臨場感を与えることは広く知られている。

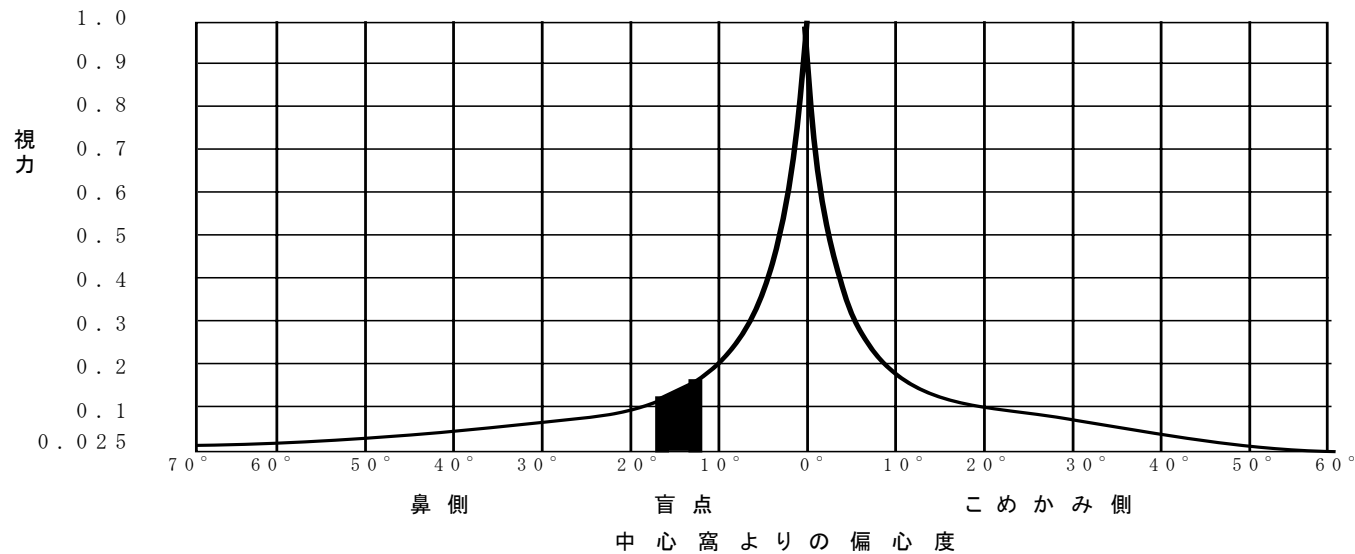
### 問題点

- 提示画角が広がると、単位面積辺りの解像度が低下する。
- 高解像度は、技術的に困難であり、画像の情報量の増加につながる。



人間の視覚特性を考慮し、注視点領域のみに高精細画像を提示する方法の検討

- 人間の両眼視野は $200^{\circ}$  を超える。
  - 中心視・・・注視点領域で見ること。
  - 周辺視・・・それ以外で見ること。
- 中心視と周辺視の視力の違い



視力は中心からはずれると急激に低下



視野全体を均一に見ているのではなく、中心部分ははっきりと周辺はぼんやりと見ている。

## 実験の目的

視野の中心領域は高精細なまま、周辺領域の画像を粗くした場合の全体的な主観的評価。

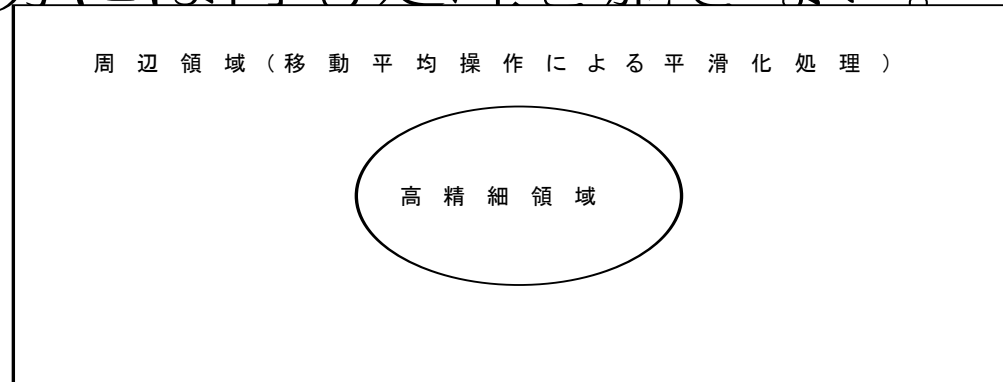
- 原画像と変わらない評価をする高精細領域の大きさ。
- 原画像と変わらない評価をする周辺領域の粗さ。

静止画像における注視点領域高精細画像の感性評価

- 実験1：高精細領域固定型
- 実験2：高精細領域視線追跡型



- 周辺領域に移動平均操作により平滑化処理を行う。
- 中心部分には何も処理を施さない。



• フィルタのぼけの強度

	被験者は1 像について を両端とす	被験者は1 像について を両端とす	被験者は1 像について を両端とす	被験者は1 像について を両端とす	被験者は1 像について を両端とす	被験者は1 像について を両端とす
マスクの大きさ	原画像	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6
ぼけの強度		2	3	4	5	6

# 刺激画像例

## (1)文字パターン

2 実験方法  
 実験者は25歳から35歳までの視覚に問題のない大学生および大学院生の計16名であった。実験の中心視野に画像の中心が投影されるように、あらかじめコンピュータディスプレイの中心に注目点を設け、その位置を指示した。何も記憶を頼っていないオリジナル画像をその中心に投影提示した。再び面視点を同じようにその位置を指示した後、今度は同一画像を用いて、中心視野と周辺視野で質の異なる画像を500ミツ投影提示した。中心視野と周辺視野で異なる画像というのは、面視点の位置から半径6.5cmの円内はオリジナル画像と同じで処理を施さず、周辺は平滑化フィルタを用いてボヤケさせる処理を行った。用いた画像のサイズはいずれも20cm×18.5cmであり、白黒3線、カラー3線の各軸を縦で使用した。画像の種類は近景から遠景を含む風景、風景を含む人物、近景の人物のみを3種類であり、各景およびカラーのそれぞれにこれらの3種類の要素を満たす異なる画像を提示した。画像1から6までの画像の種類を図1に示す。視距離は50cmであり、目の高さディスプレイ中心視野の高さと合わせた。

実験者は1組の画像を提示した直後、2組の画像それぞれについての主観評価を各組の画像について行うを行った。評価の方法は、各項目からなる評価軸の列を設定し、各列の頭を両端とする尺度を用いて、提示された画像から覚げる印象を各項目で評価させた。

## (2)人物写真

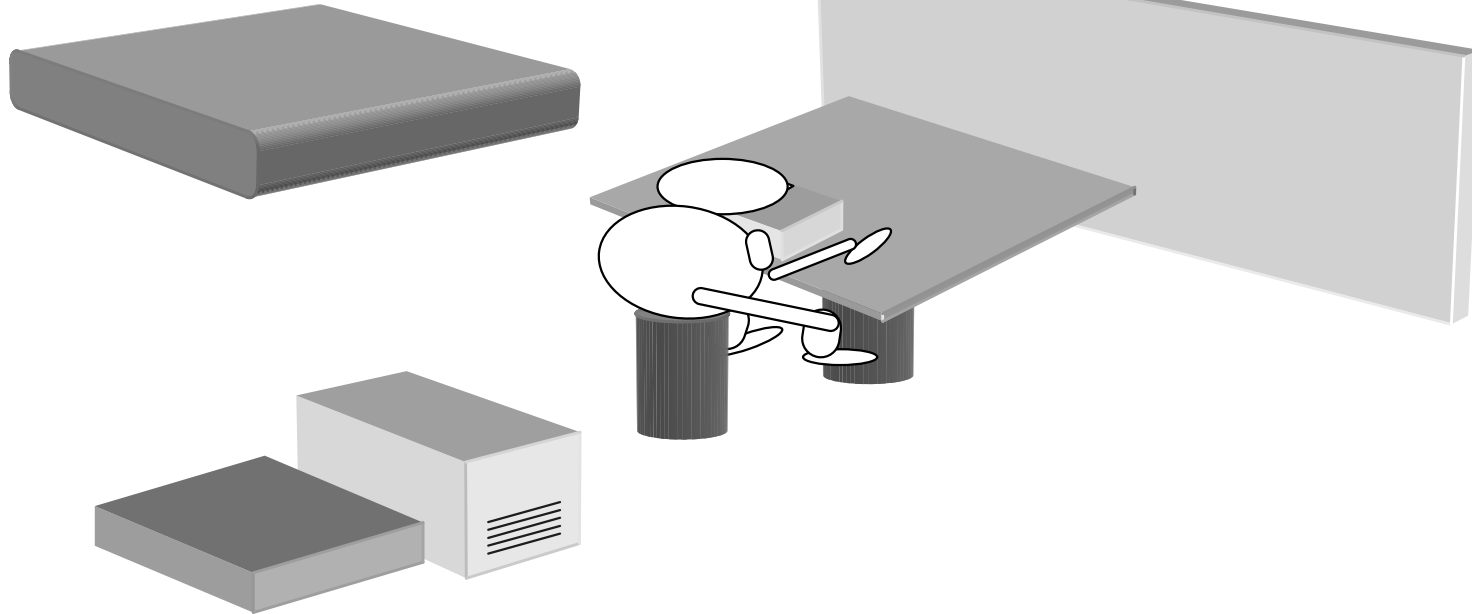


## (3)風景写真



## 実験1:方法および装置

- スクリーンサイズ：150cm×114cm
- 画像サイズ：約60° ×約45°（視角）
- 画像の解像度：640×480ピクセル
- 刺激画像提示時間：250ミリ秒
- 評価法：最も変化した画像を3, 原画像を8と教示し, 1から10までの値で評価を行う
- 被験者：視力健常な6名（頭部を固定）



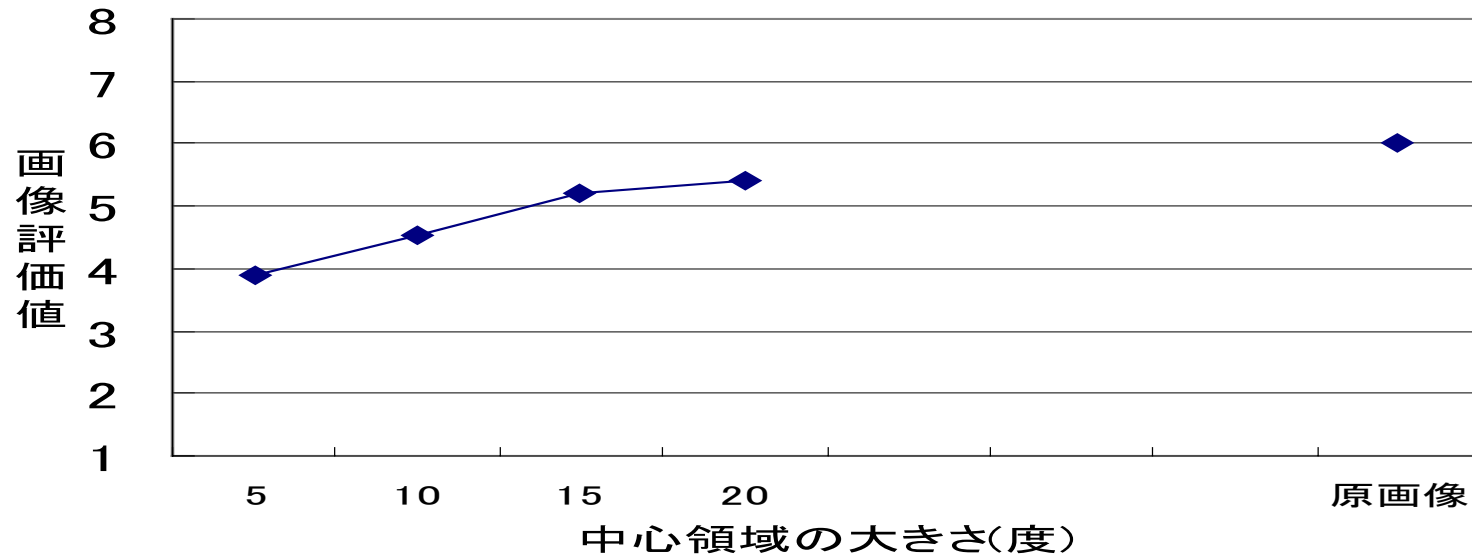
## 条件1

- 中心領域の大きさ。  
5°、10°、15°、20°、原画像
- ぼけの強度は3固定。  
(マスクの大きさ3×3)

## 条件2

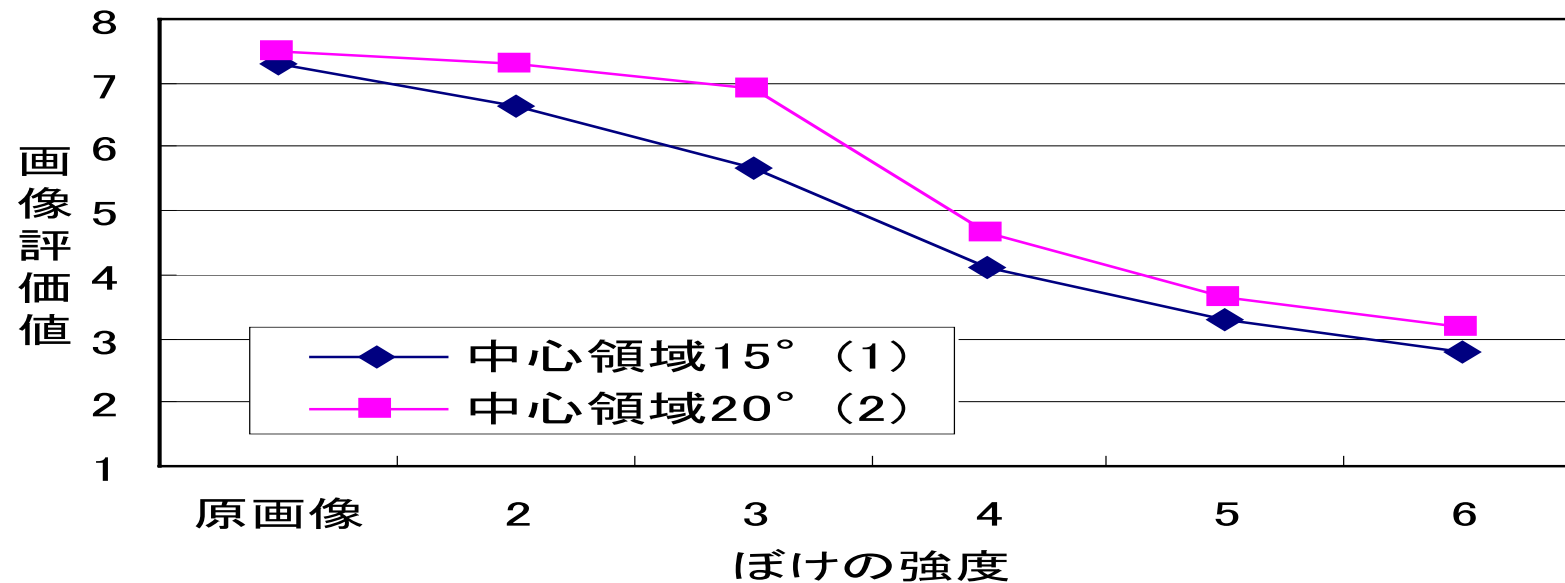
- ぼけの強度。  
ぼけの強度2から6まで、原画像
- 中心領域の大きさは15°、20°  
各中心領域の大きさごとに実験を行なう。

## 実験1(条件1) 結果



- 中心領域の大きさが広がるほど、画像の評価値が上昇する ( $p < .001$ )。
- 多重比較 (Ryan法) を行ったところ、 $20^\circ$  と原画像との差はみられない。
- 画像の種類による差はみられない。

## 実験1(条件2) 結果



- 画像の種類による差はみられない。
- (1)、(2)ともぼけの強度が大きくなるにつれ、画像の評価値が下降するのが有意に認められた( $p < .001$ )。
- 多重比較(Ryan法)の結果、
  - (1)原画像とぼけの強度2との間
  - (2)原画像とぼけの強度2、3との間

九大 松永 有意な差がみられなかった。

## 実験1まとめ

原画像と変わらない評価をする

高精細領域の大きさ……  $20^\circ$  以上

周辺領域の画像の粗さ… ぼけの強度3以下  
(約1.8cpd)

## 実験2方法および装置

- 高精細領域が視線とともに移動。
- 刺激：実験1と同じ、ただし

原画像に境界線を挿入  
周辺視は動きに敏感である。

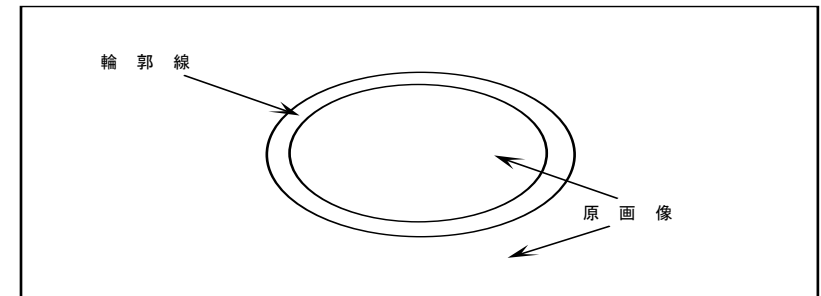


高精細領域と周辺領域との  
境界が、より知覚される。



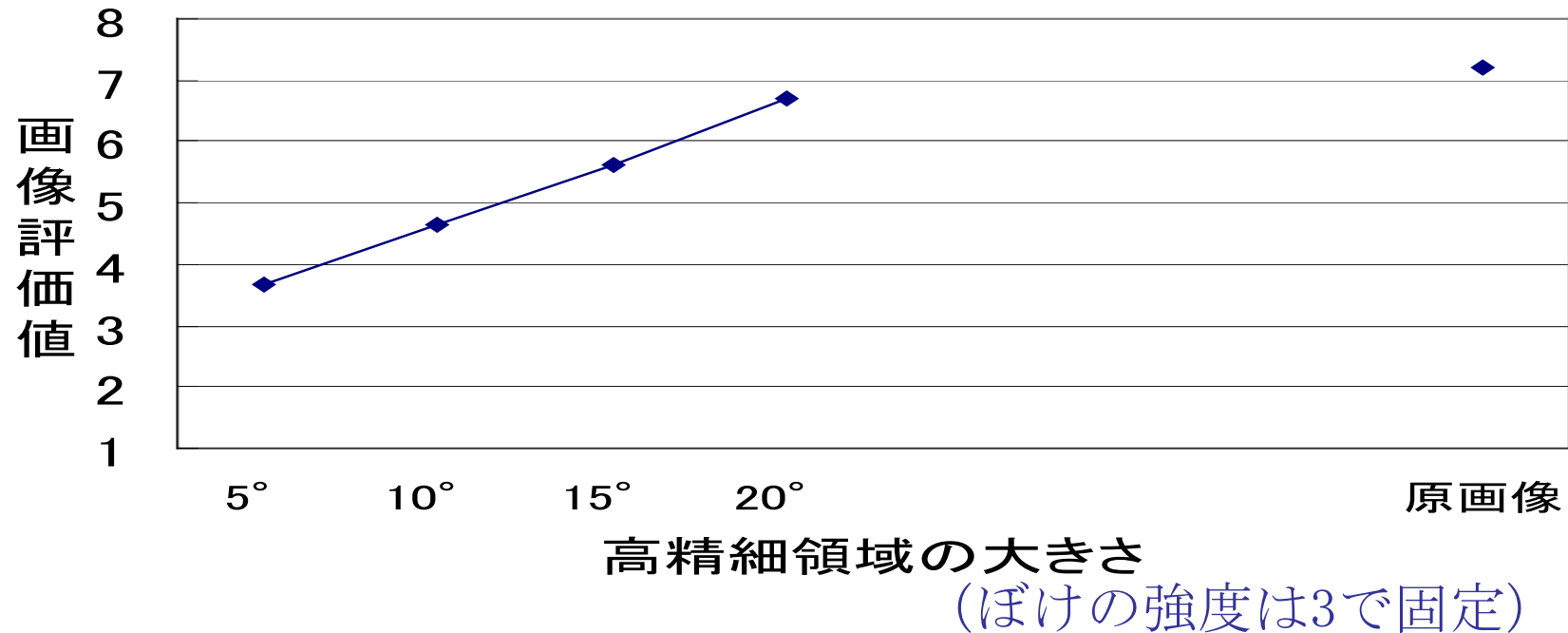
原画像に視角 $5^{\circ}$ の幅でぼけの強度3の境界線を挿入し、  
動きに対する効果をだす。

- 眼球運動測定装置を用いる。
- 提示時間：5秒間
- 被験者：視力健常な6名



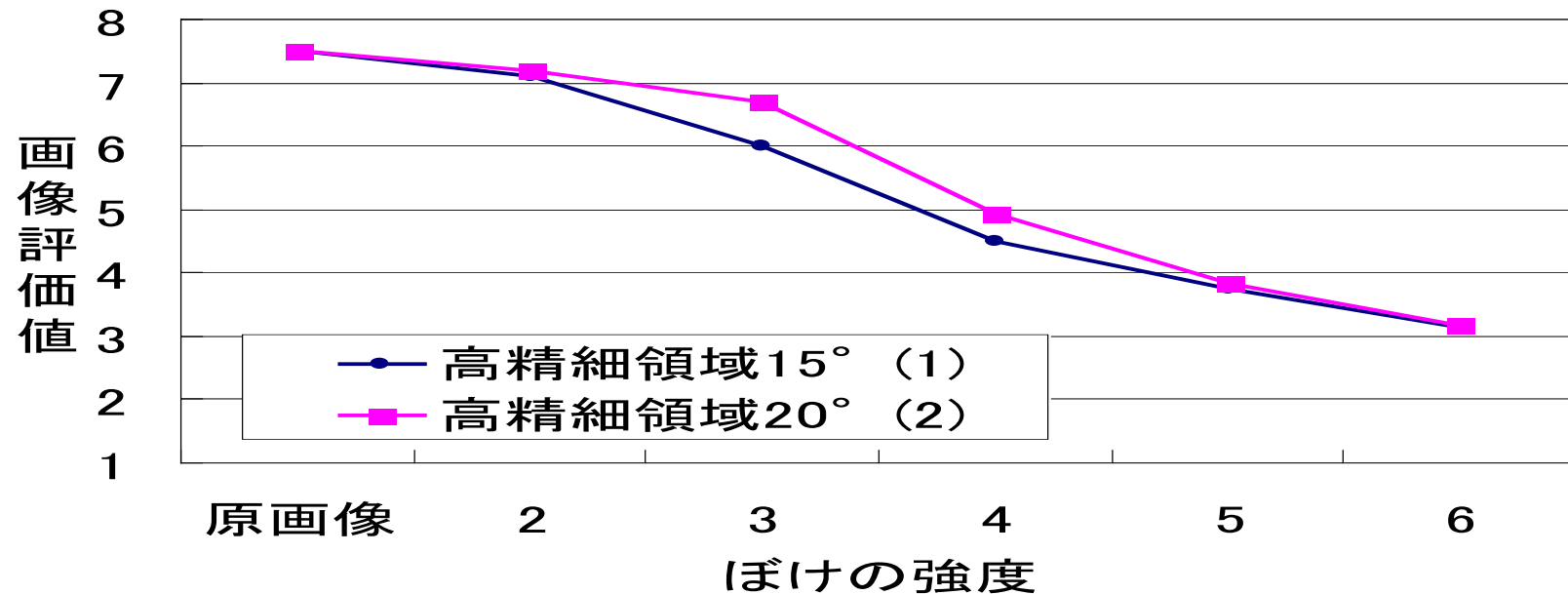


## 実験2(条件1) 結果



- 中心領域の大きさが広がるほど、画像の評価値が上昇する ( $p < .001$ )。
- 多重比較 (Ryan法) を行ったところ、20° と原画像との差はみられない。
- 画像の種類による差はみられない。

## 実験2(条件2)結果



- (1)、(2)ともぼけの強度が大きくなるにつれ、画像の評価値が下降するのが有意に認められた( $p < .001$ )。
- 多重比較(Ryan法)の結果、
  - (1)原画像とぼけの強度2との間
  - (2)原画像とぼけの強度2、3との間に有意な差がみられなかった。

九大 松永 画像の種類による差はみられない。

## 実験2まとめ

- 原画像と変わらない評価をする

高精細領域の大きさ・・・ $20^\circ$  以上

周辺領域の画像の粗さ・・・ぼけの強度3以下

- 視線固定型実験と一致した結果を示す。

## まとめ

原画像と変わらない感性評価をする高精細領域の大きさ

- 直径 $20^\circ$ （半径 $10^\circ$ ）以上

眼球運動の性質や有効視野の範囲と適合

周辺領域における画像の粗さ

- 最高空間周波数約2cpd以上,

中心窩からの距離が $10^\circ$  の周辺視の視力  
と整合

ある一定の条件を満たせば、画像の周辺領域がぼけていても人間が注視している領域が高精細なとき、画像全体が高精細な場合と評価が変わらないことが判明した。

# 応用： 解決法の提案

—複合(多重解像度)画像—

広画角画像  
周辺視用



元画像

高精細画像  
中心視用



複合画像

## 情報量の削減 実験1

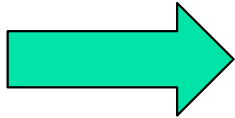
# 複合画像を利用した情報量の削減

# 複合画像による情報量の削減方法

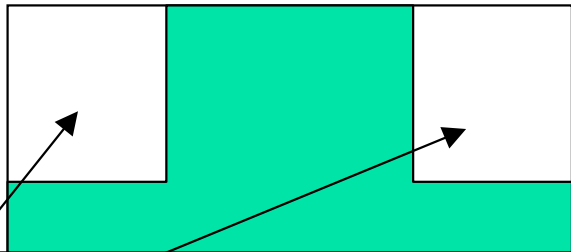
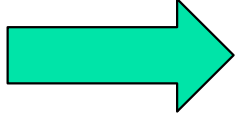
元画像



複合画像

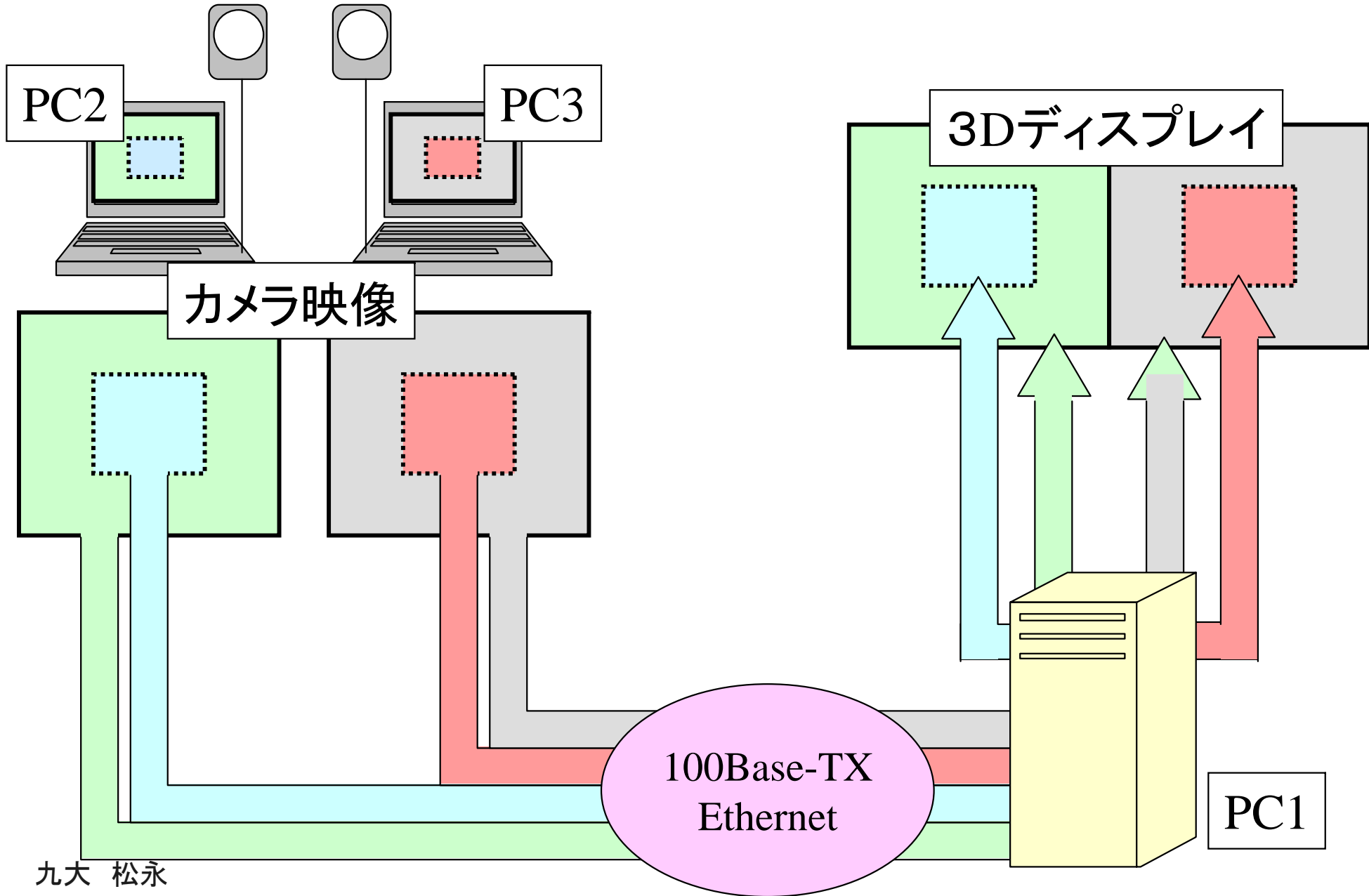


情報量



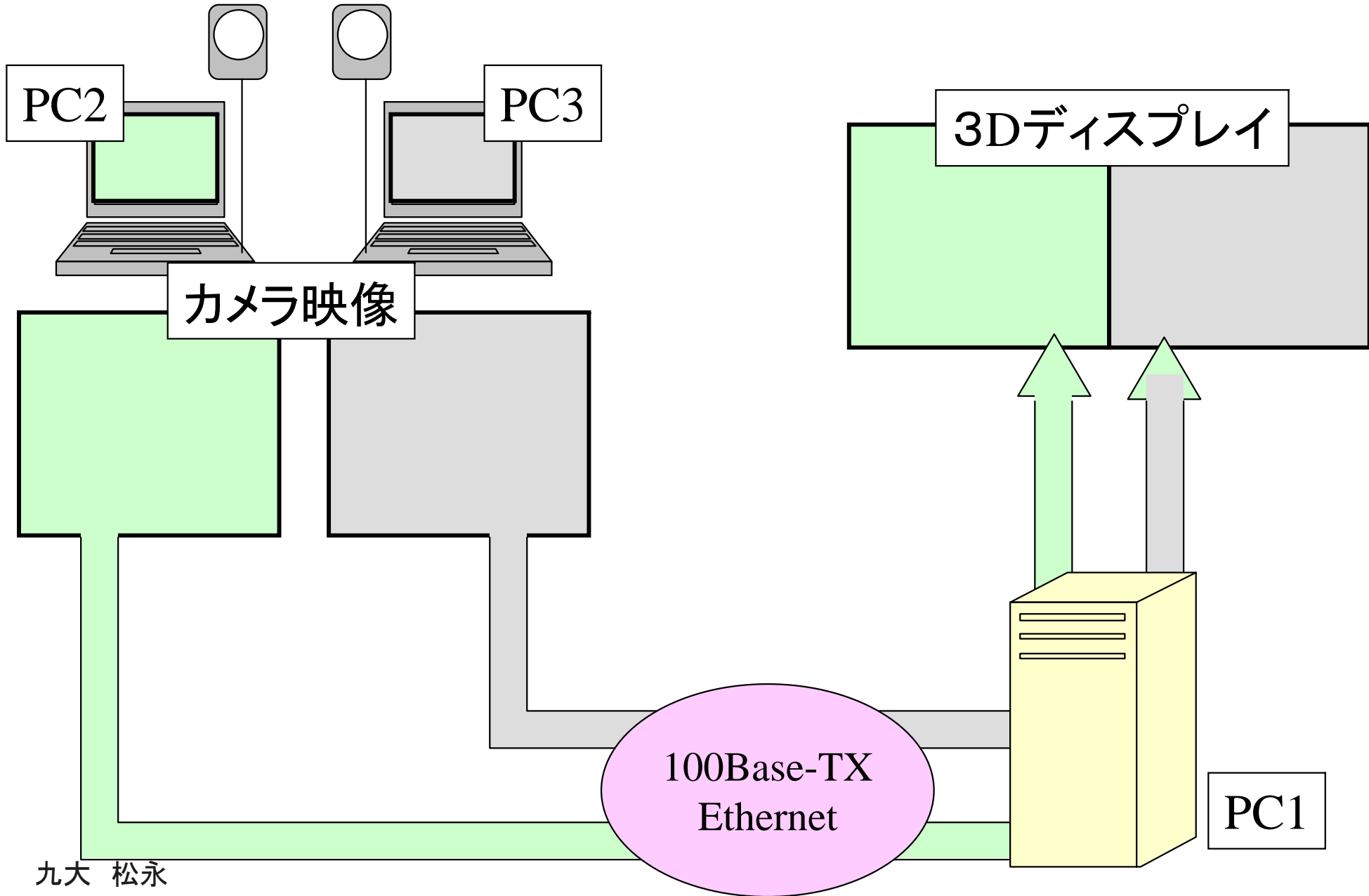
無駄なデータの削減

# 実験条件1: CCDカメラ立体映像方式(DQS)



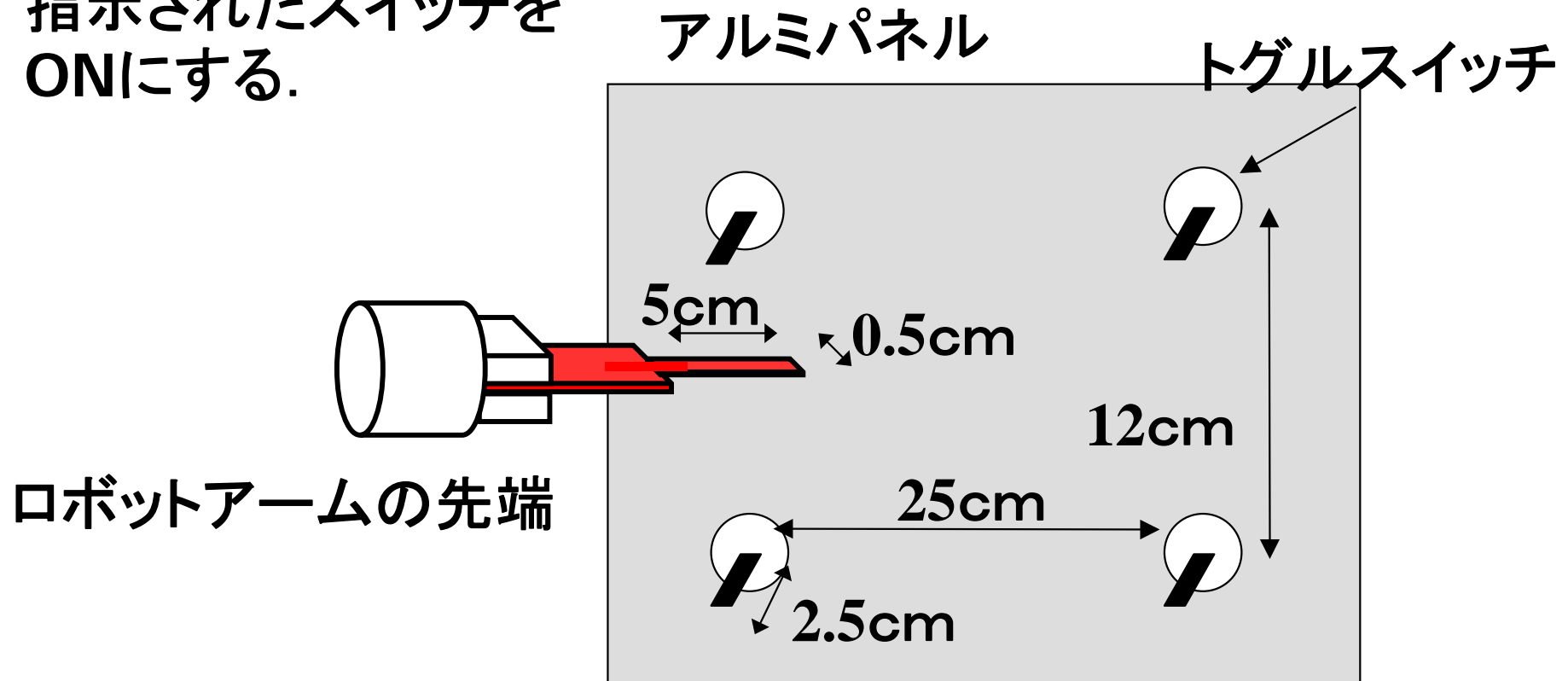


# 実験条件2: CCDカメラ立体映像方式



# 実験環境

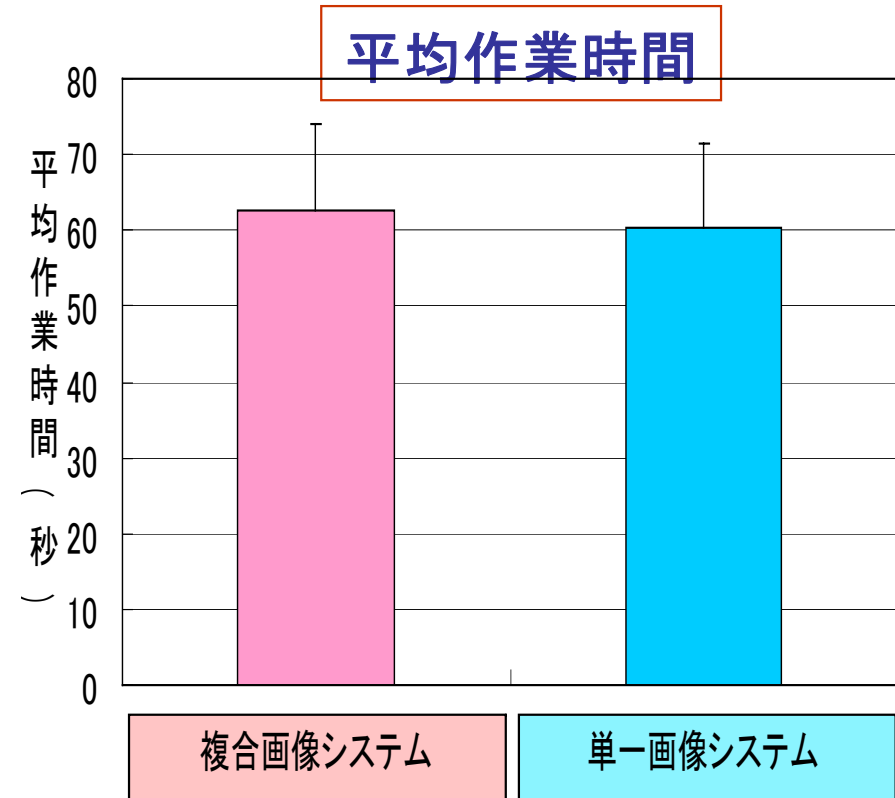
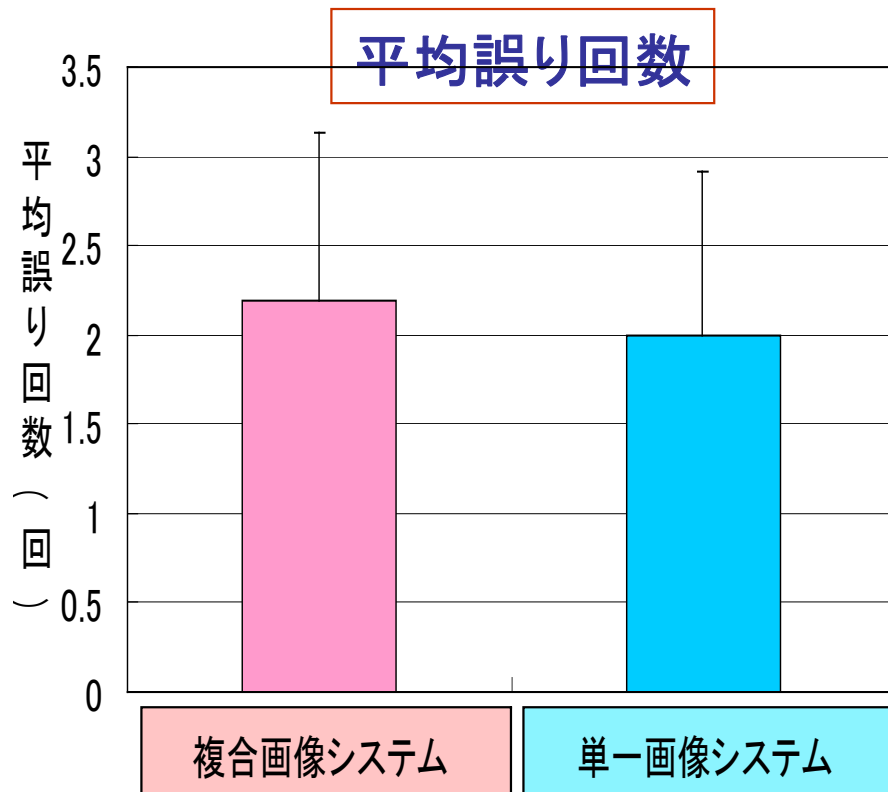
指示されたスイッチを  
ONにする.



# 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

# 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

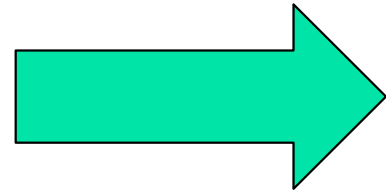
作業効率を維持したまま情報量を半分にすることができた。

## 情報量の削減 実験2

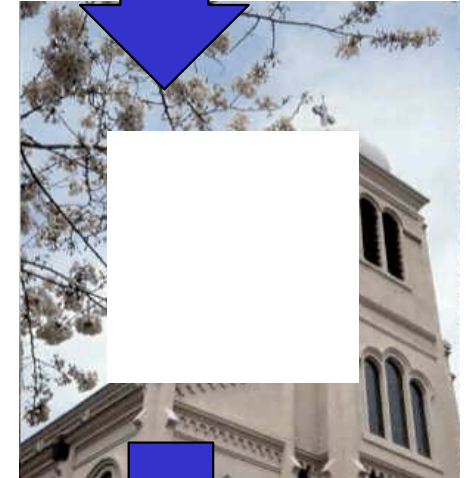
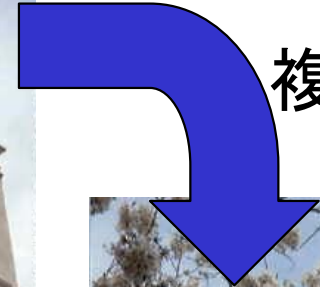
### 周辺画像を工夫した情報量の削減1

# 周辺画像を工夫した情報量の削減方法

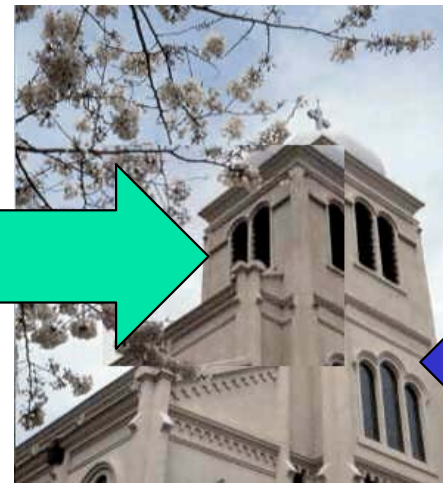
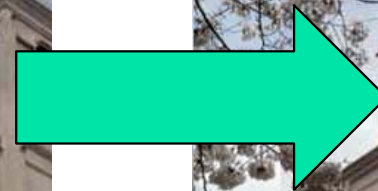
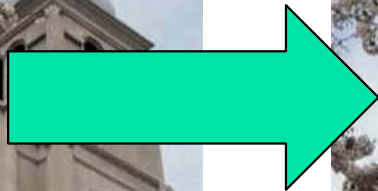
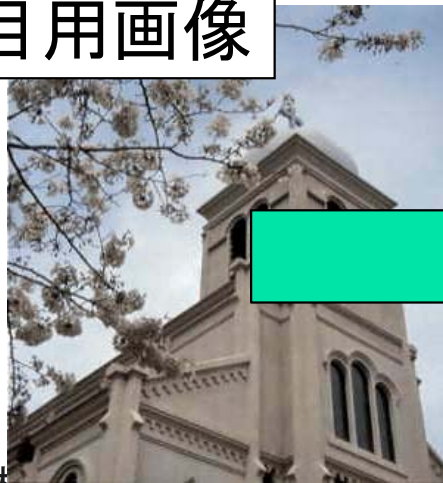
右目用画像



複製

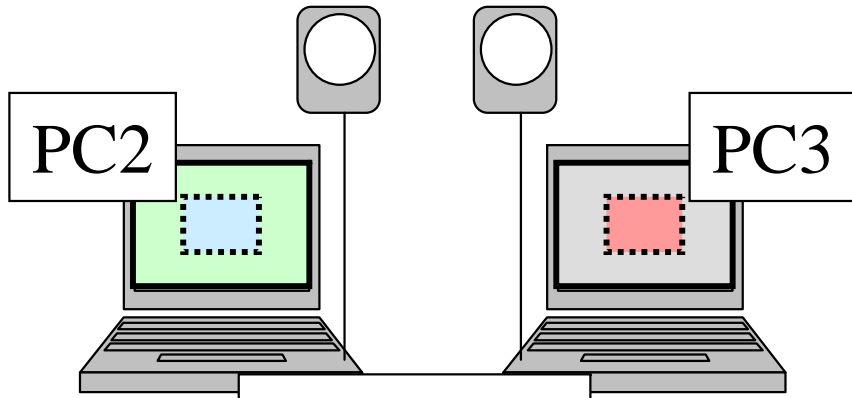


左目用画像

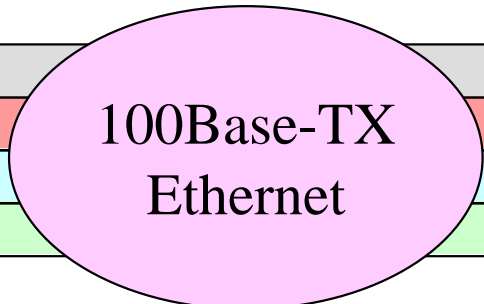
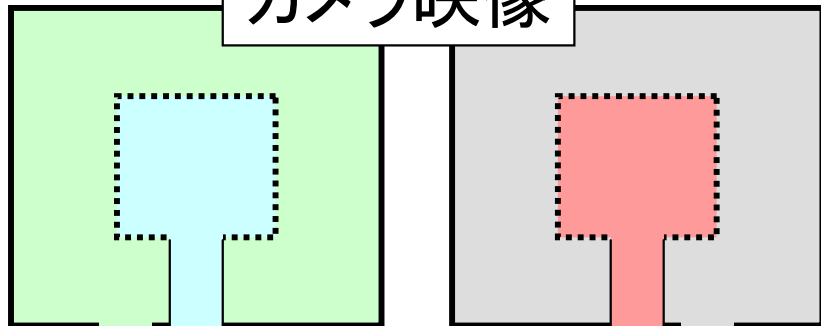


# 実験条件1:

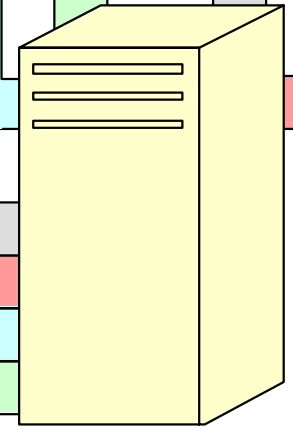
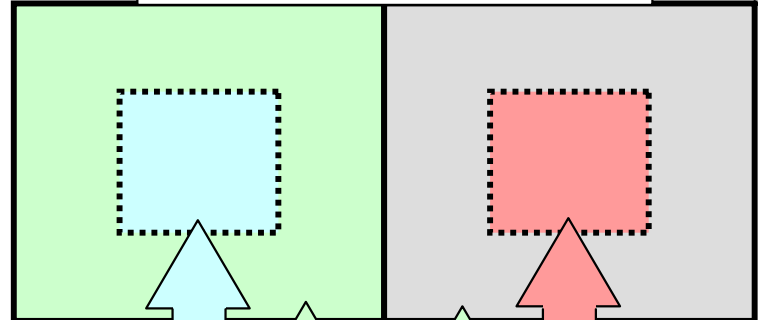
DCU CCDカメラ



カメラ映像

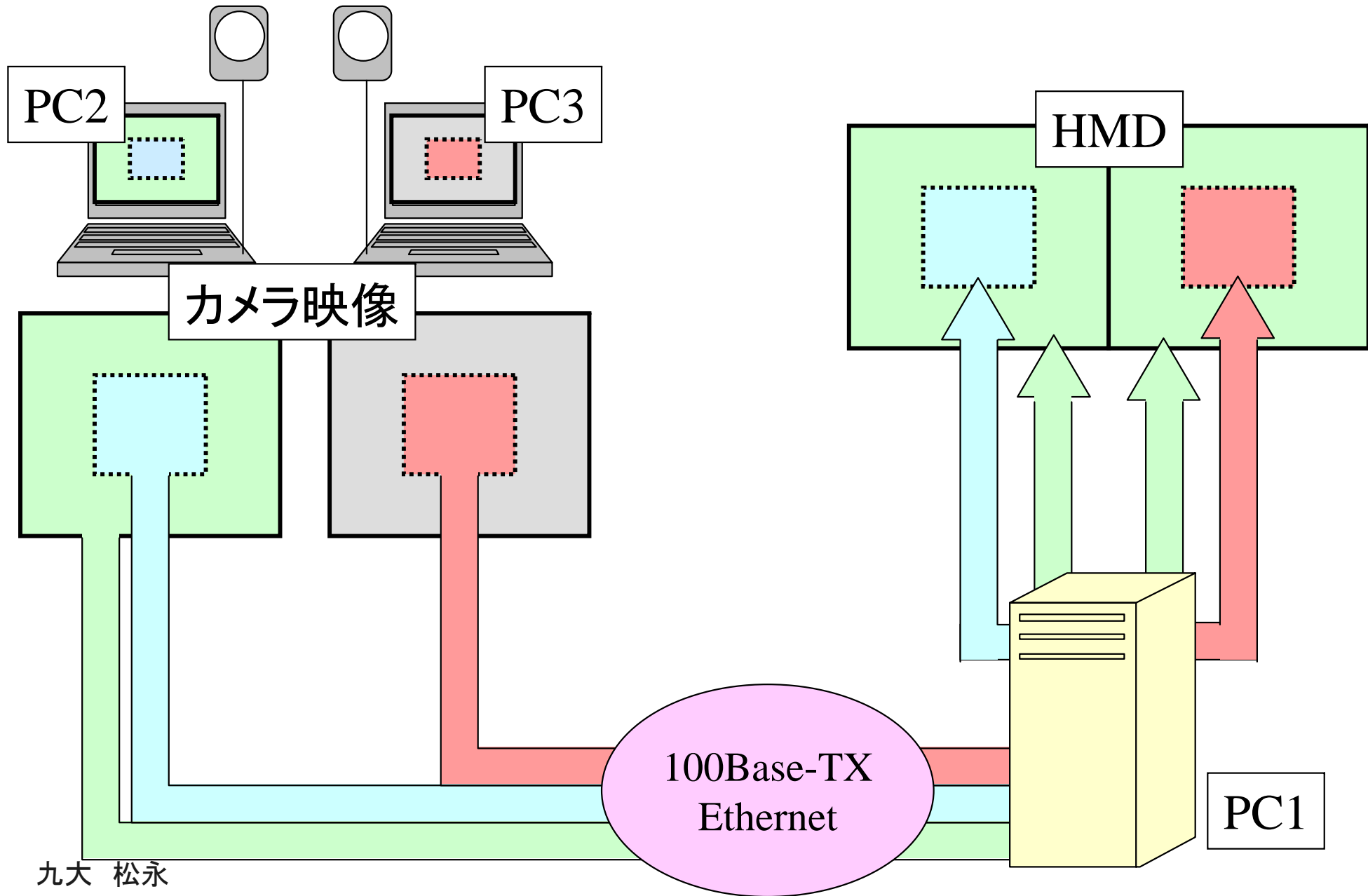


立体映像提示装置



PC1

# 実験条件2: CCDカメラDQS



100Base-TX  
Ethernet

PC2

PC3

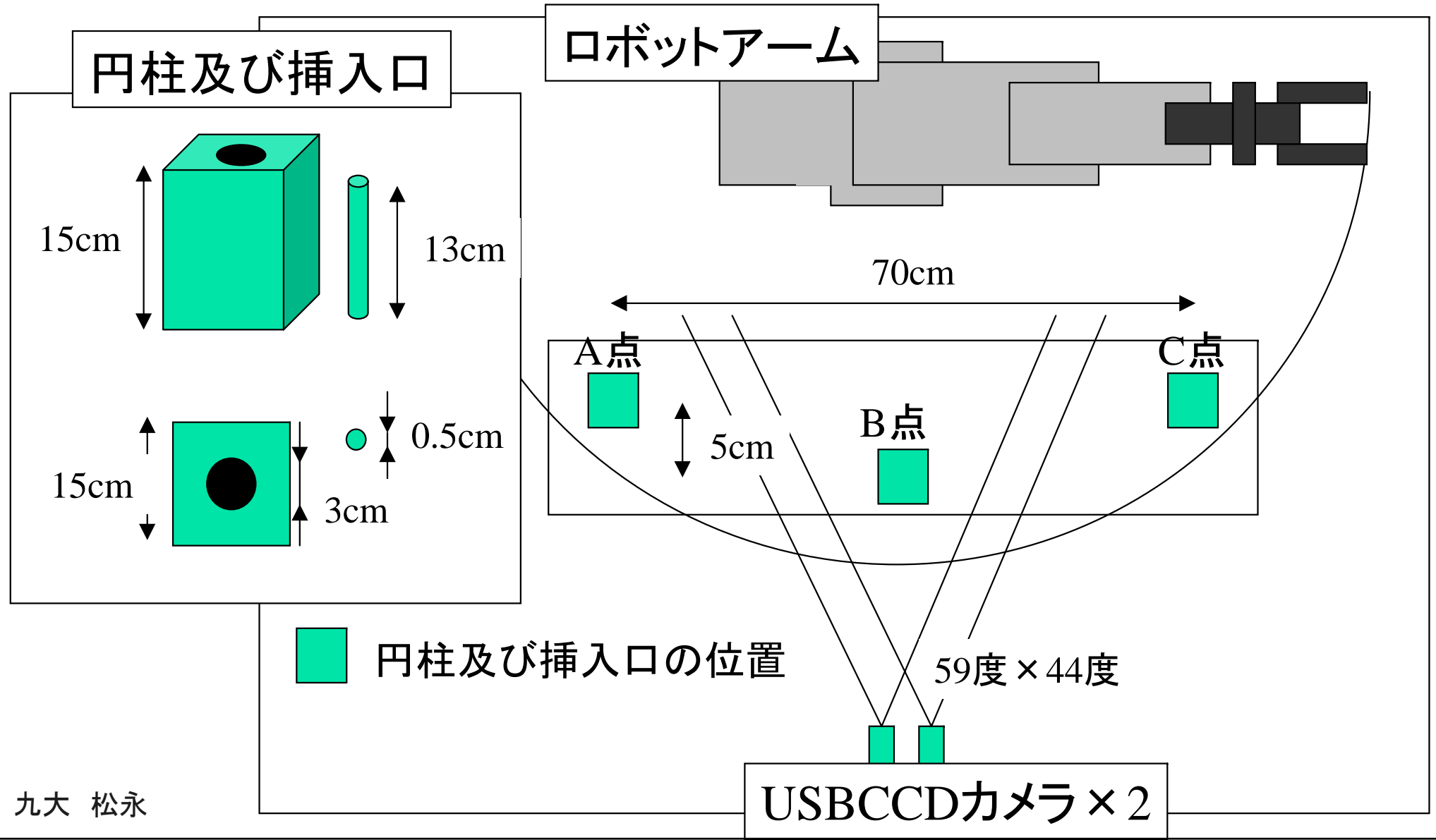
カメラ映像

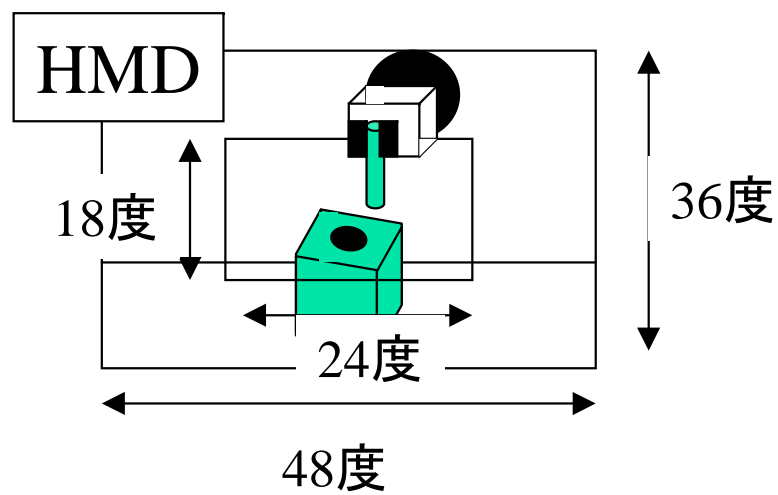
HMD

PC1



# 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

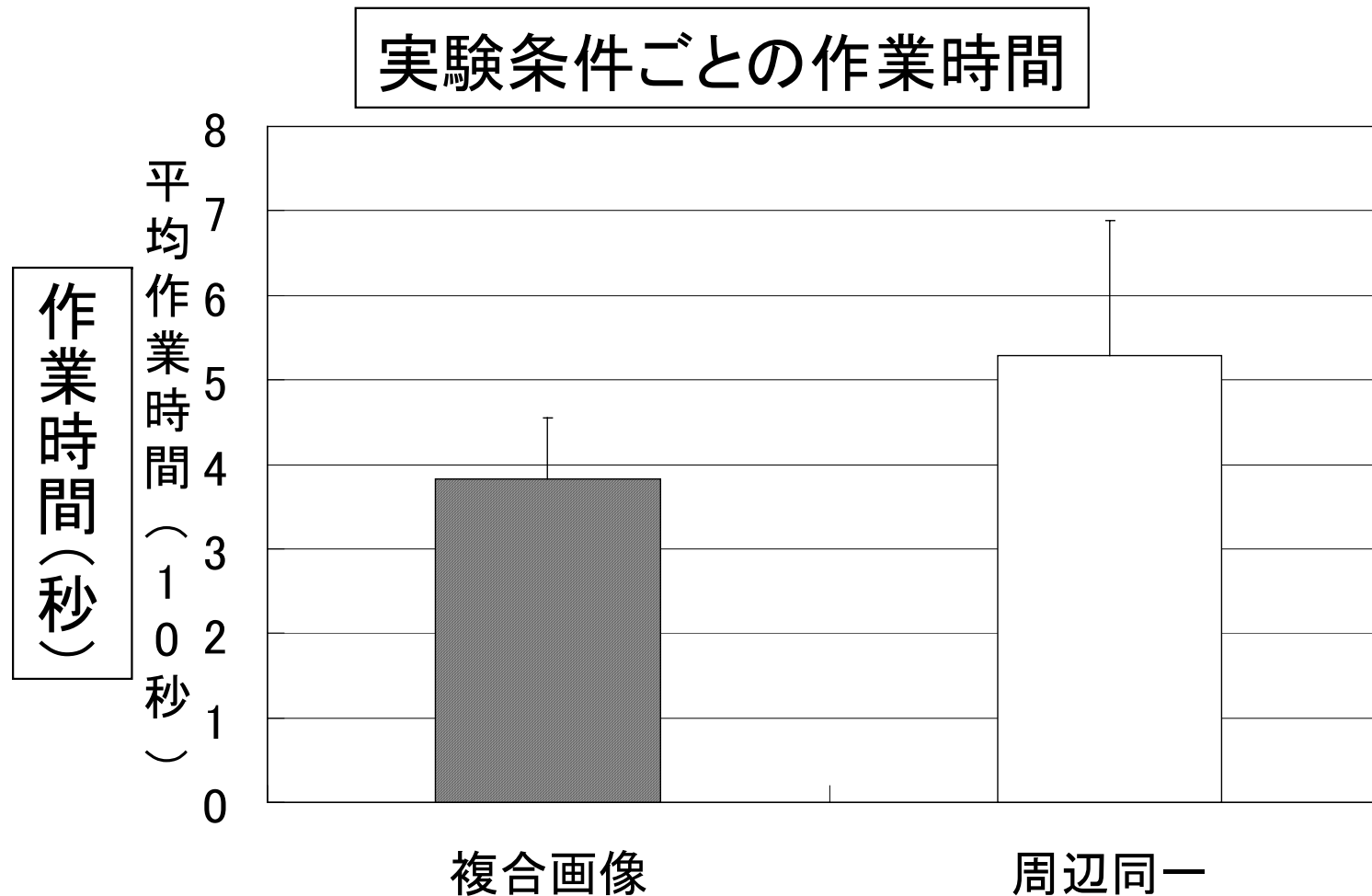
## *Measures*

- 試行時間
- 誤り回数

## *Task*

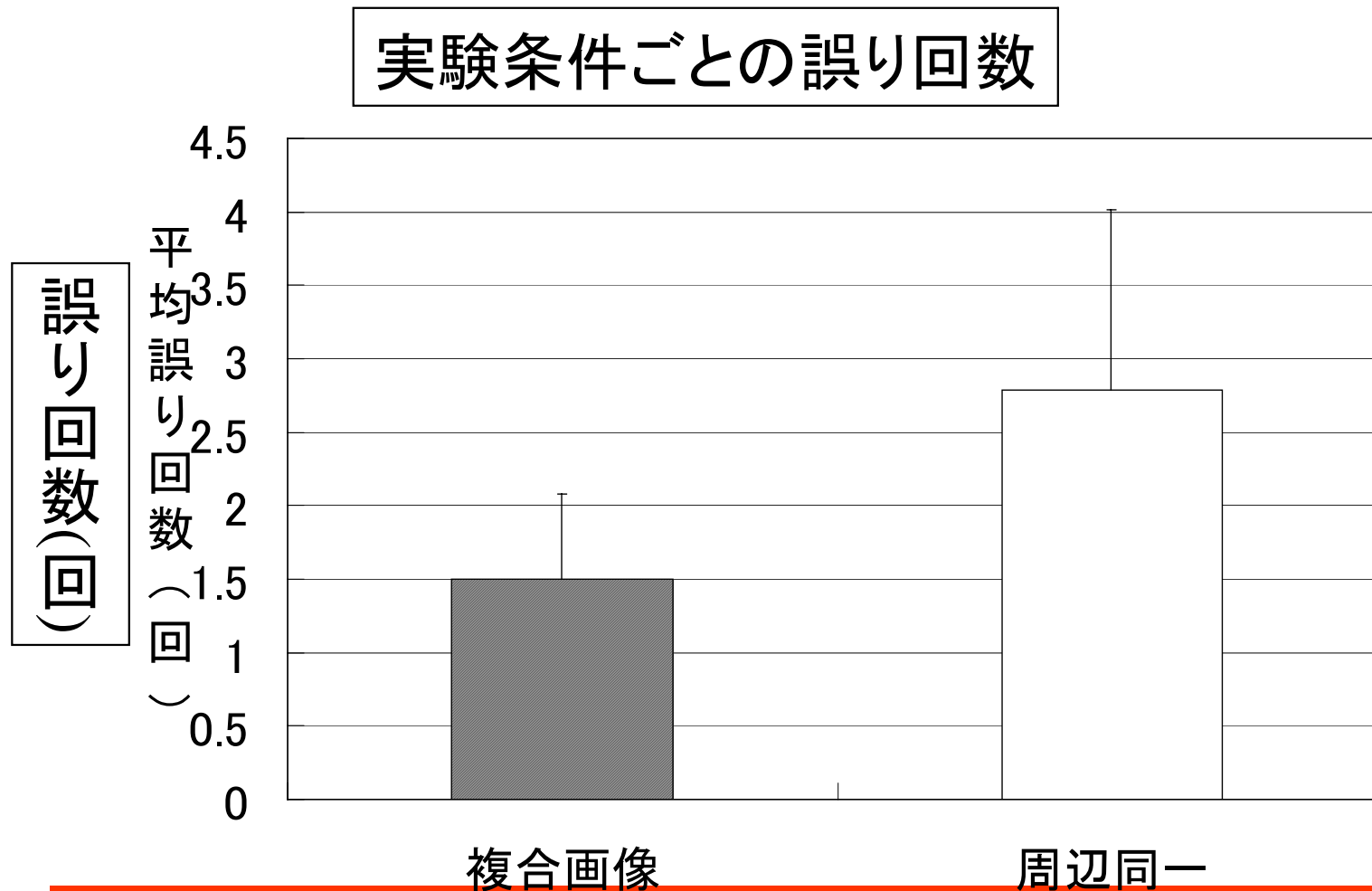
- 棒状の1物体を穴に挿入する

# 実験結果：周辺画像の工夫1



作業時間において  
周辺同一条件 > DQS条件 ( $F(1.7)=8.452$   $p<.05$ )

## 実験結果：周辺画像の工夫1



誤り回数において

周辺同一条件 > DQS条件 ( $F(1.7)=5.735$   $p<.05$ )

## 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

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。

被験者

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。

## 情報量の削減 実験3

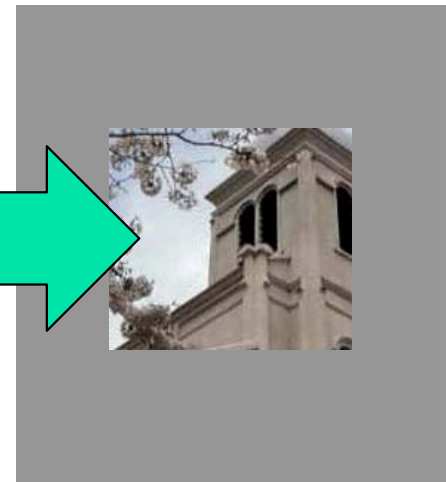
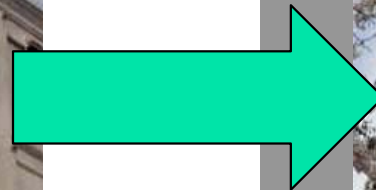
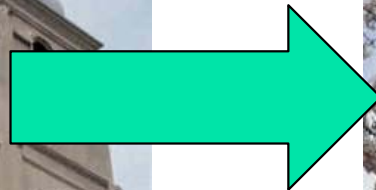
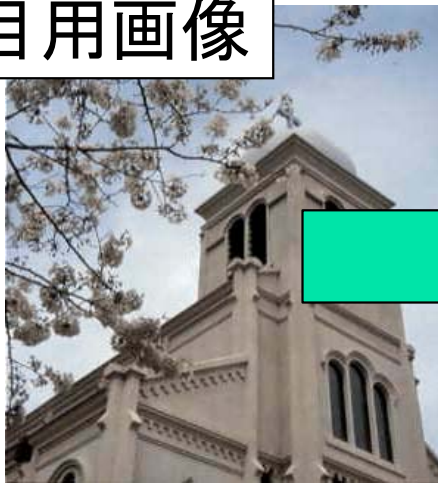
### 周辺画像を工夫した情報量の削減2

## 周辺画像を工夫した情報量の削減方法2

右目用画像



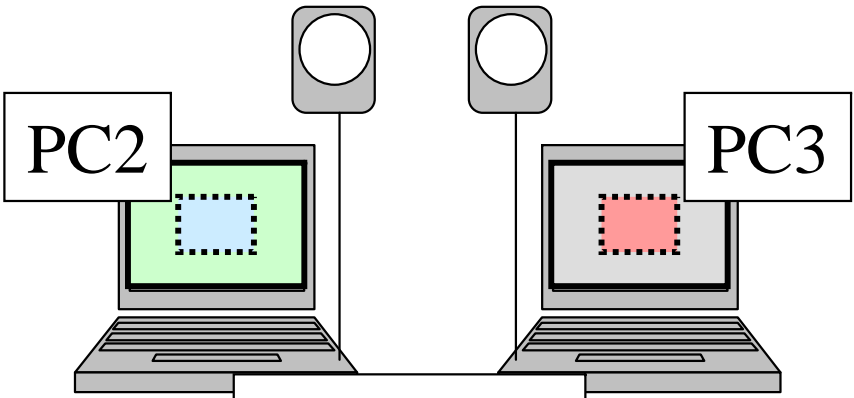
左目用画像



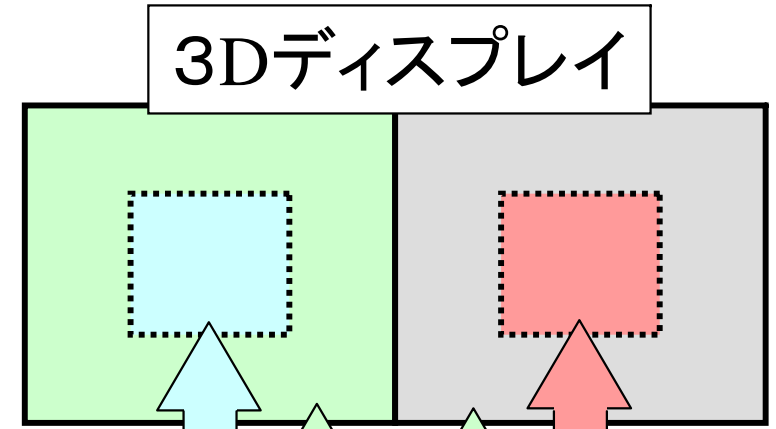
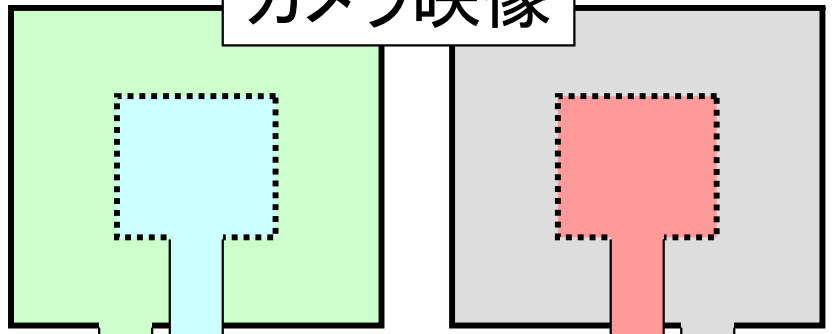


# 実験条件1:

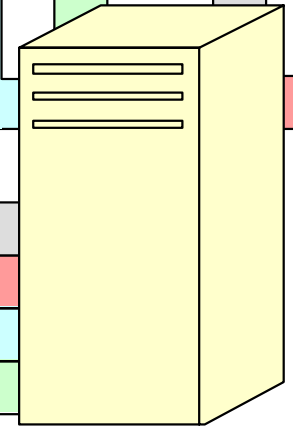
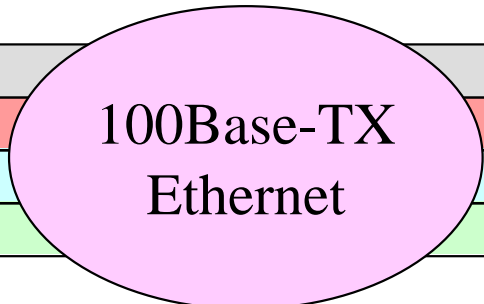
CCDカメラ



カメラ映像

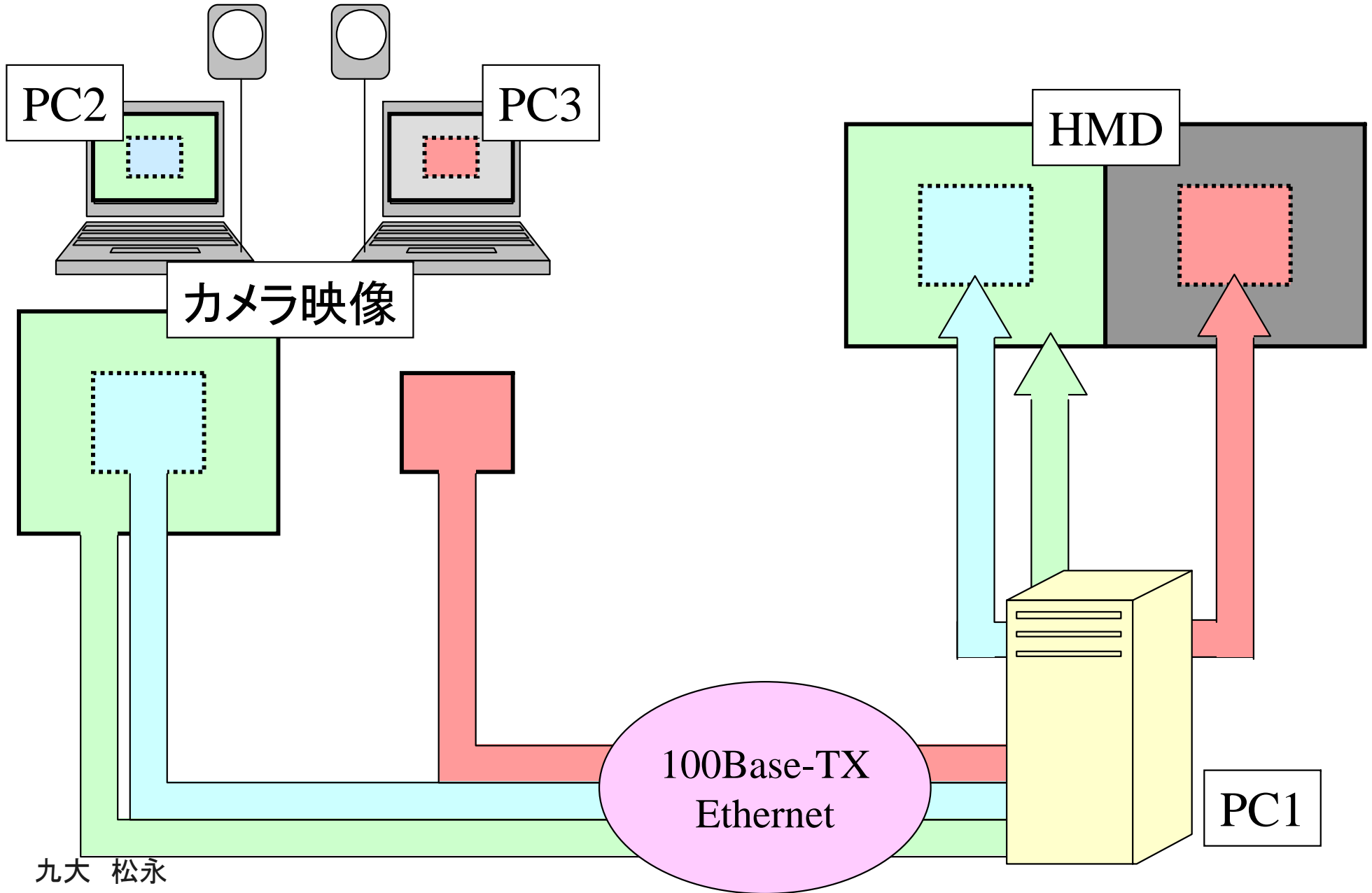


3Dディスプレイ

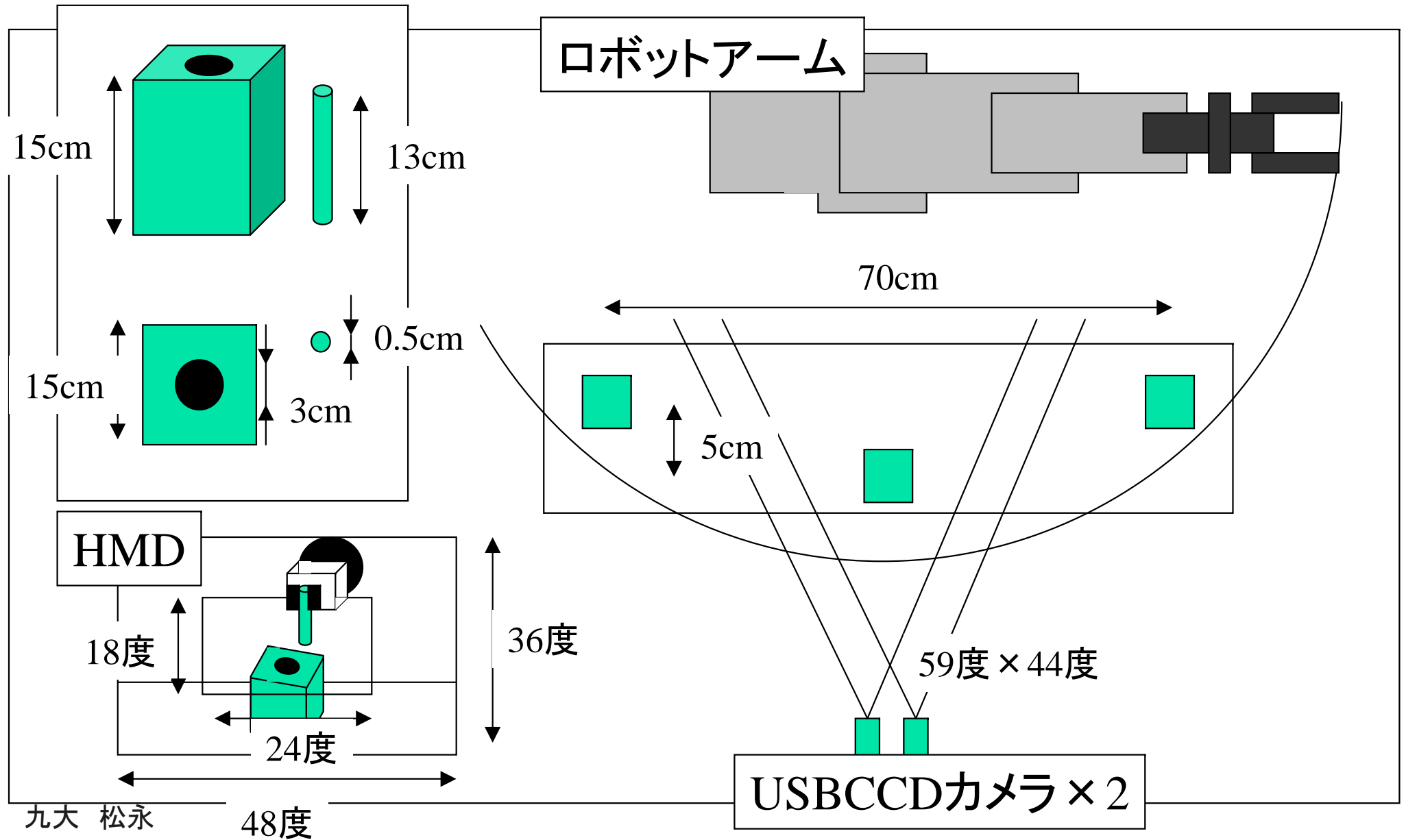


PC1

# 実験条件2: CCDカメラDQS



# 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

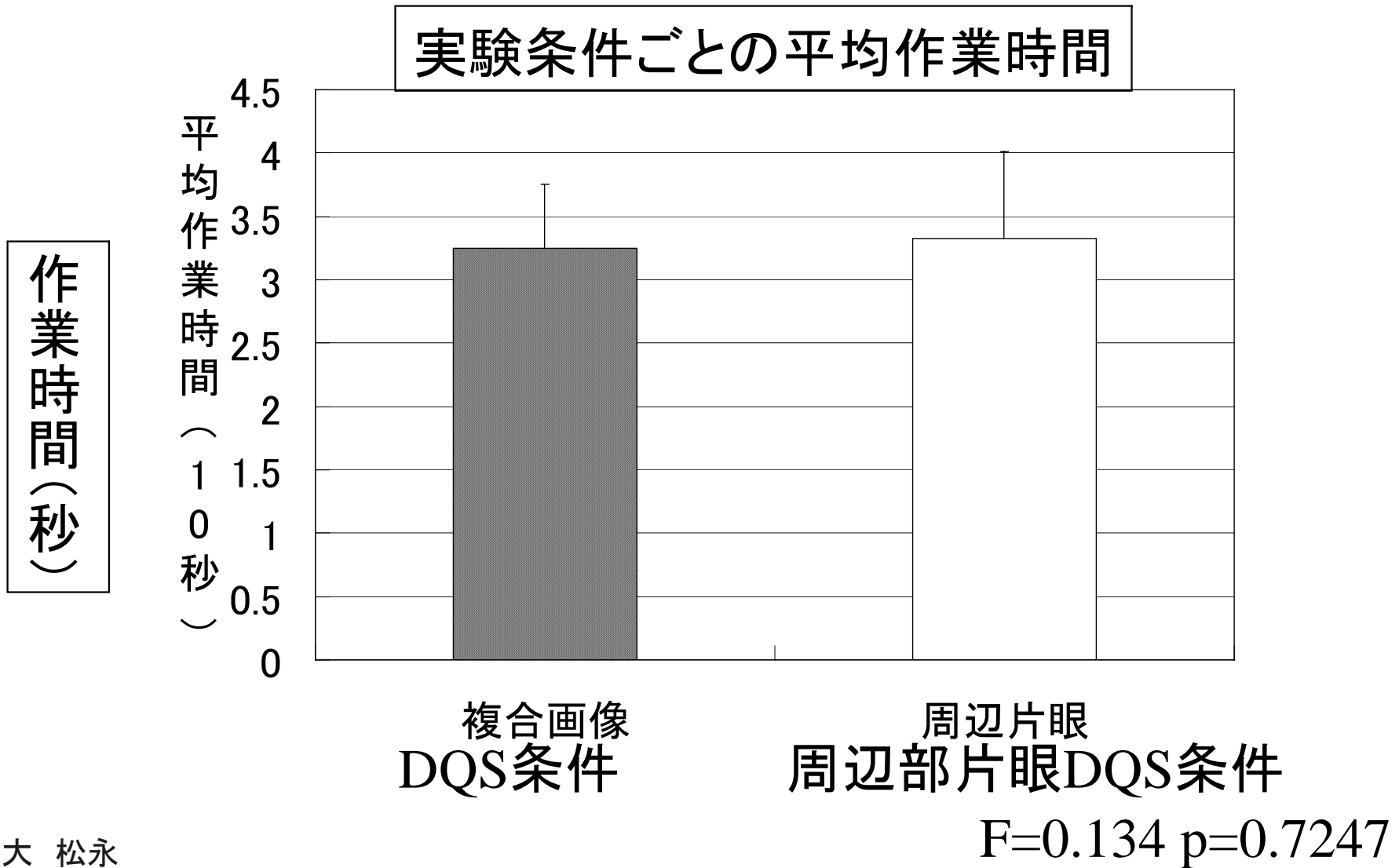
## *Measures*

- 試行時間
- 誤り回数

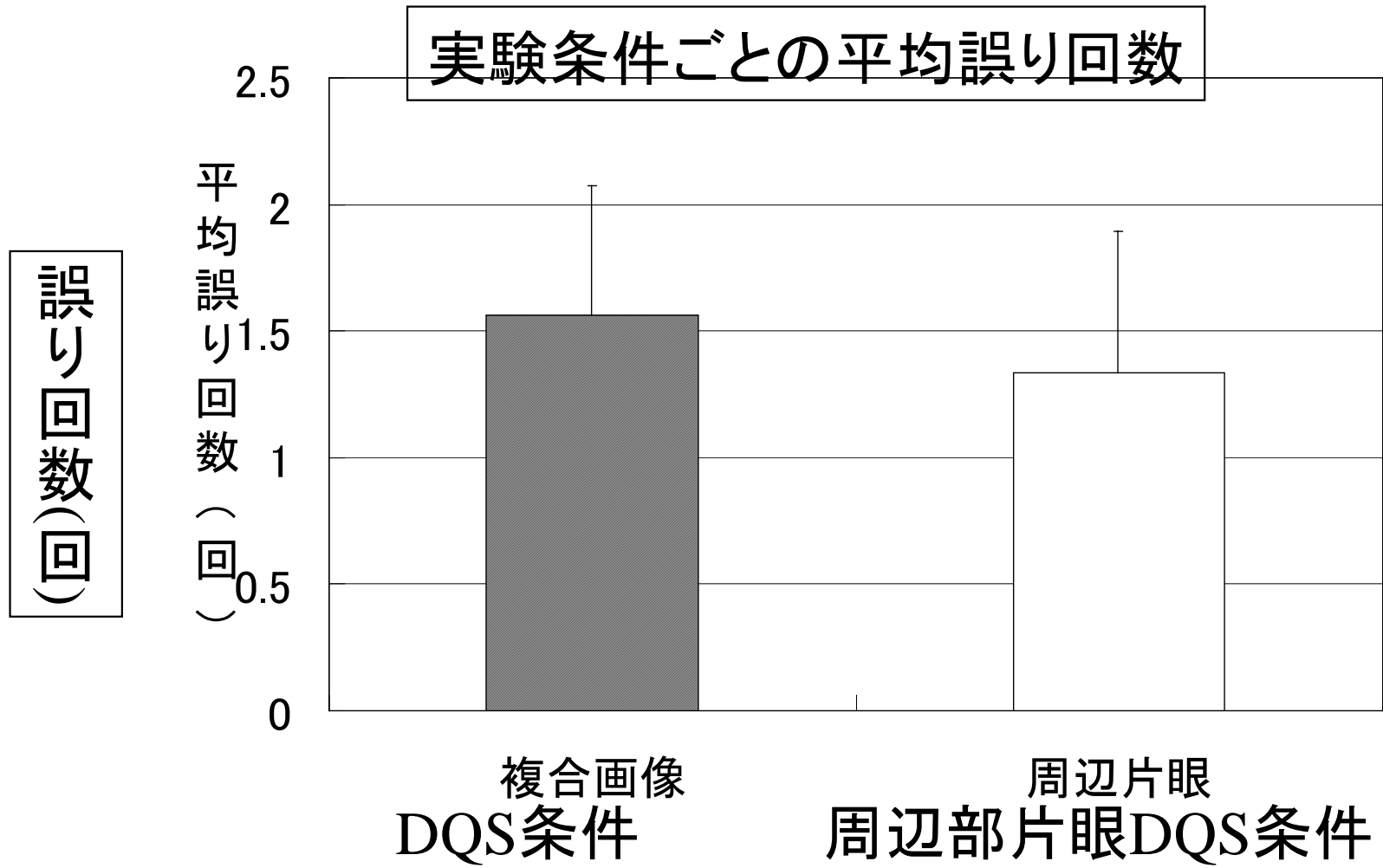
## *Task*

- 棒状の1物体を穴に挿入する

# 実験結果：周辺画像の工夫2



# 実験結果：周辺画像の工夫2



F=2.333 p=0.1705

# 実験結果のまとめ

作業効率

等しい解像度において

DQS

=

周辺片眼

データ量

DQS

>

周辺片眼

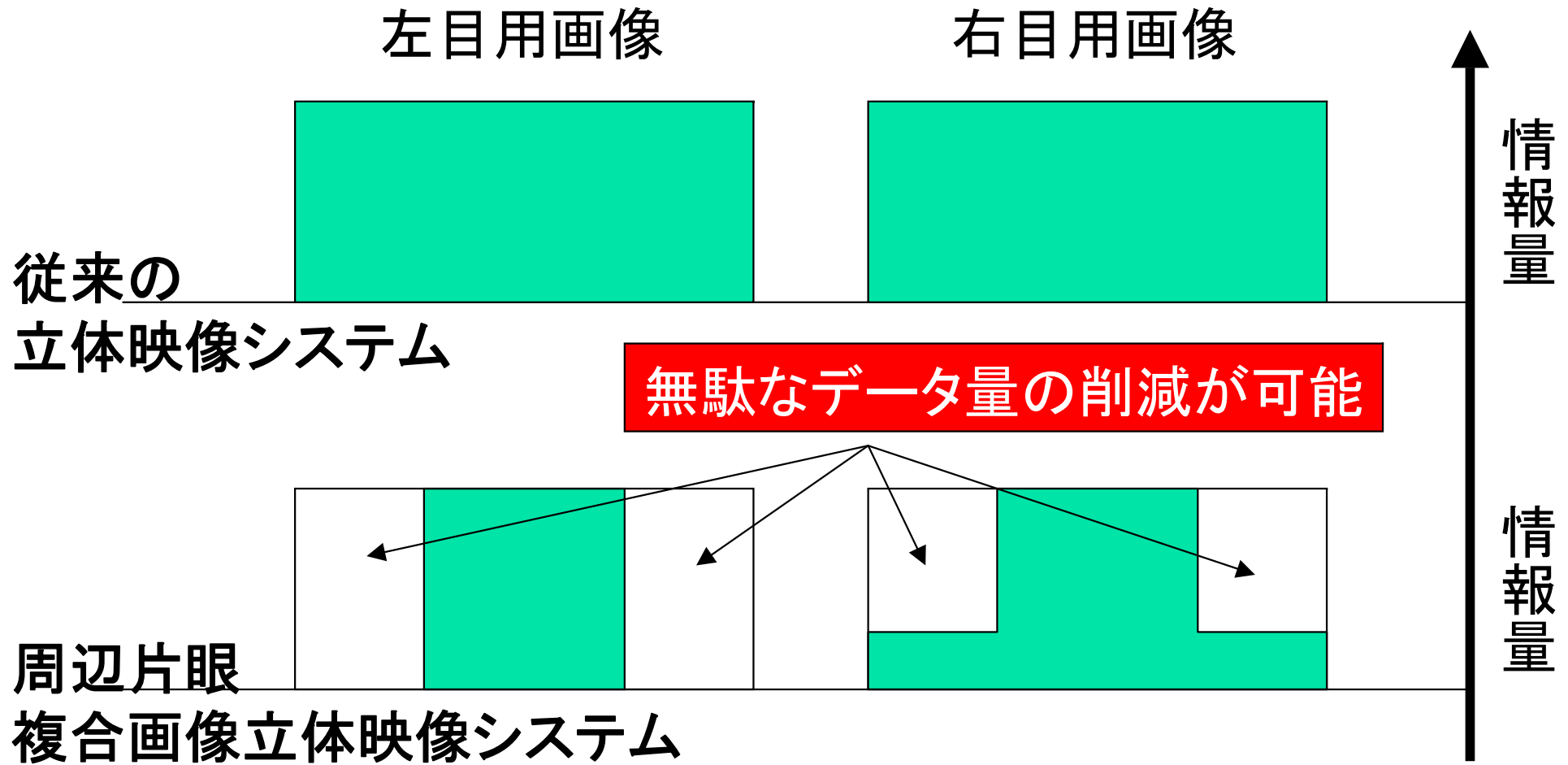
約150kB

約100kB

# 情報量の削減のまとめ



# 情報量の削減 ーまとめー



## 作業効率の向上 実験1

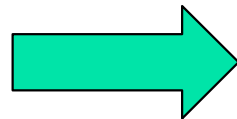
# 複合画像を利用した作業効率の向上

# 複合画像を利用した作業効率の向上方法

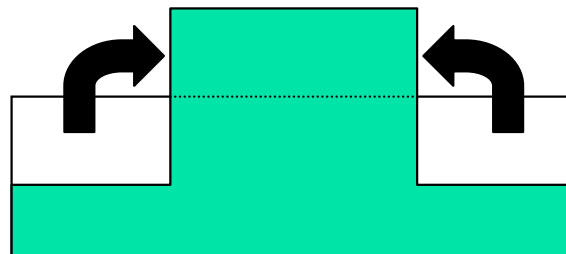
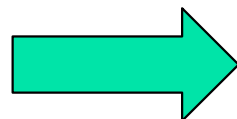
元画像



複合画像

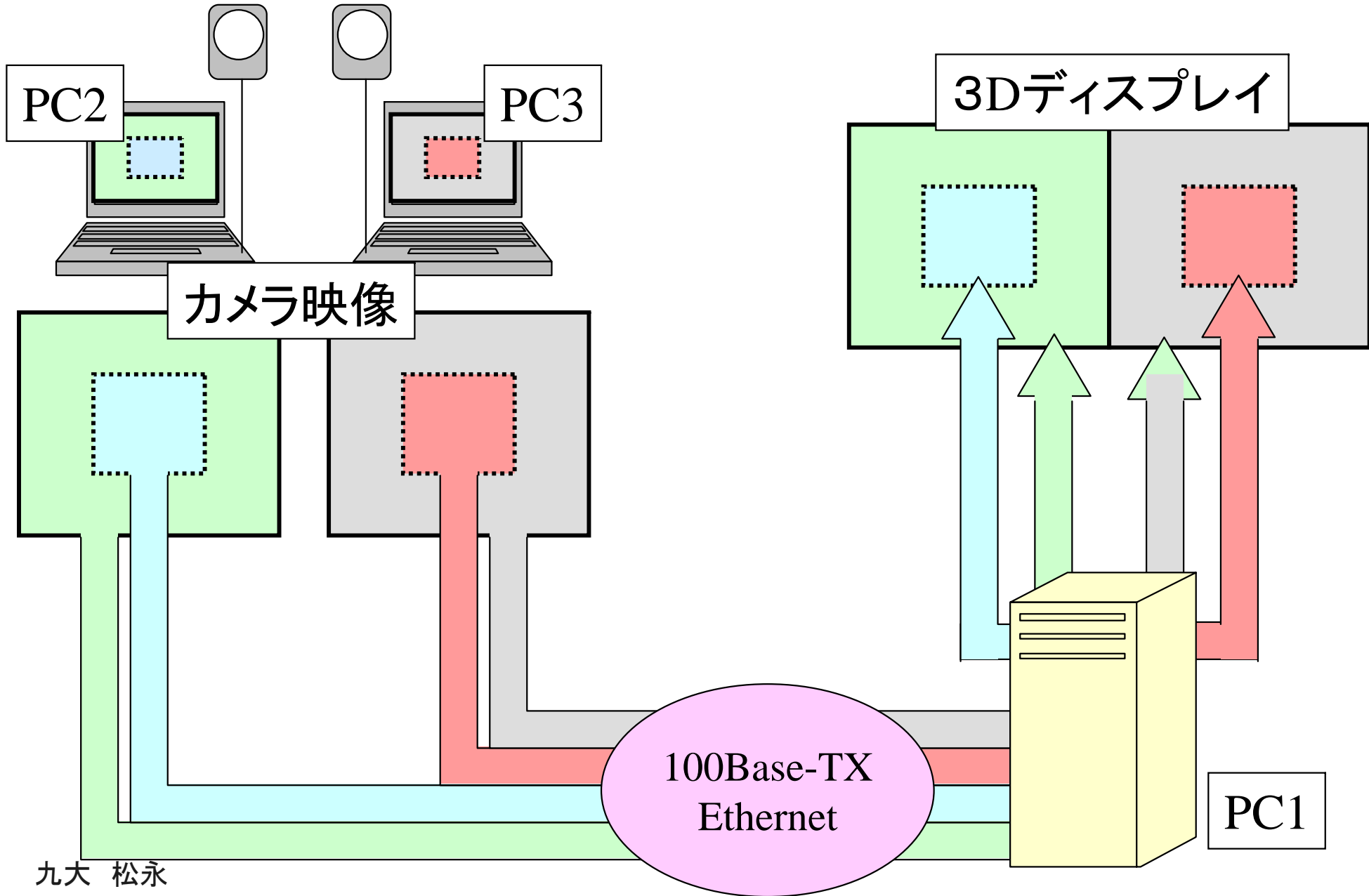


情報量

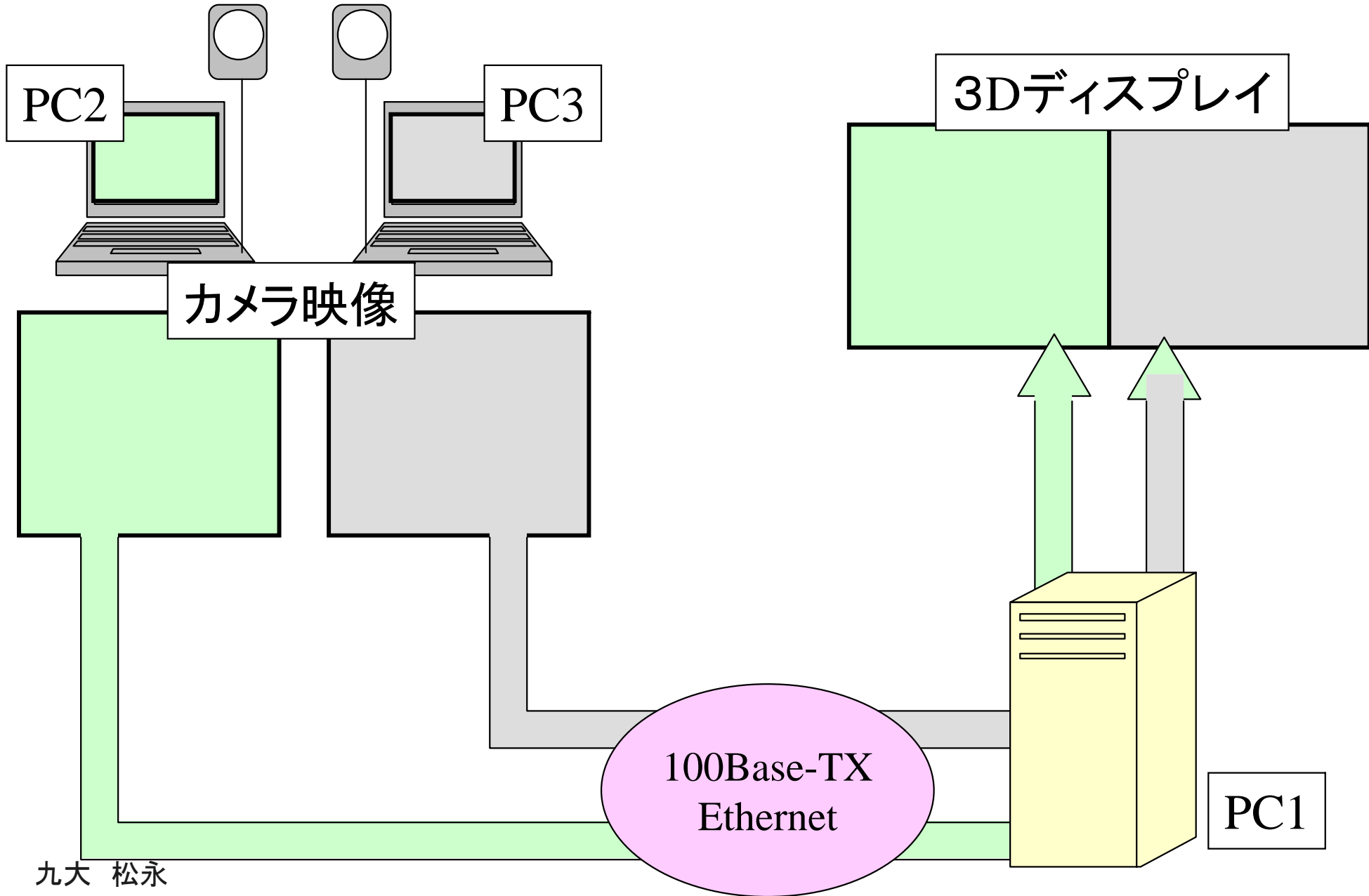


解像度の重み付け

# 実験条件1: CCDカメラ立体映像方式

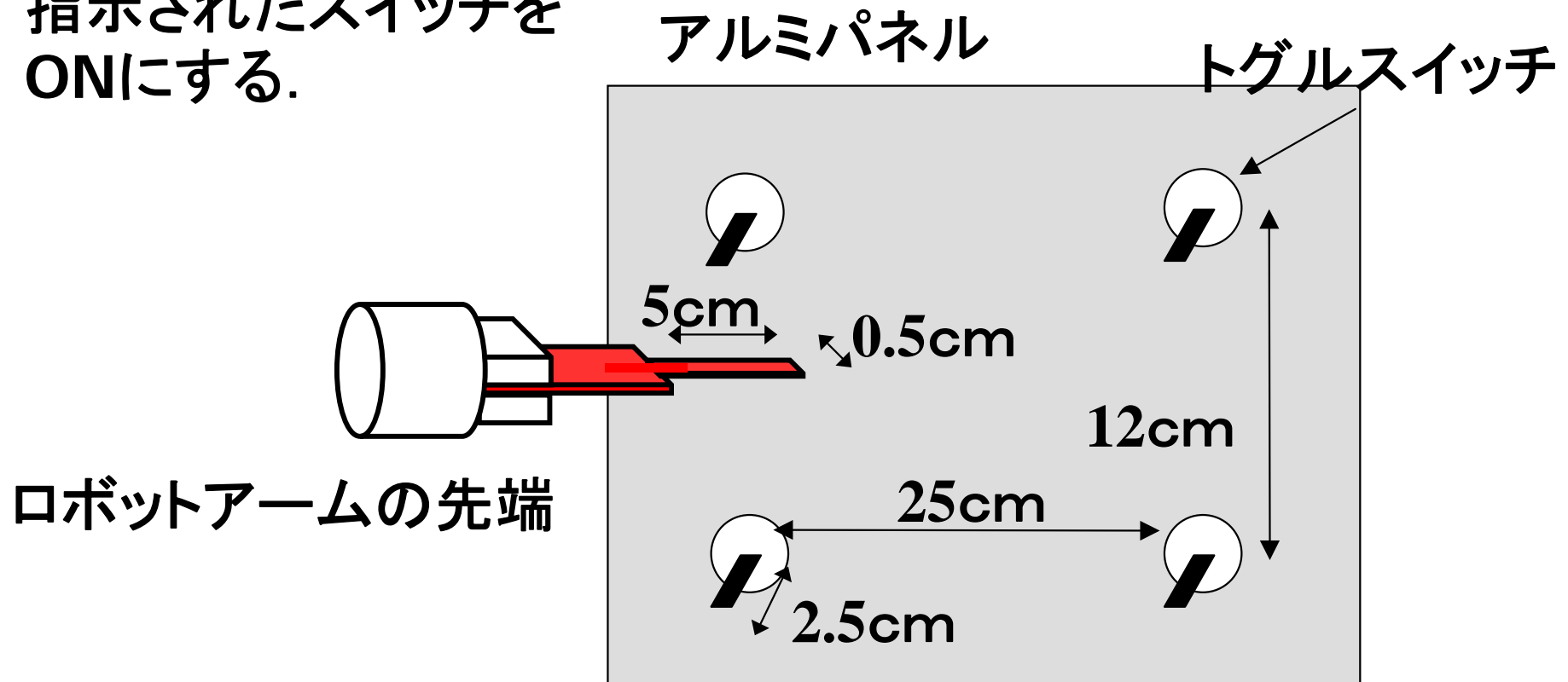


# 実験条件2: CCDカメラ立体映像方式



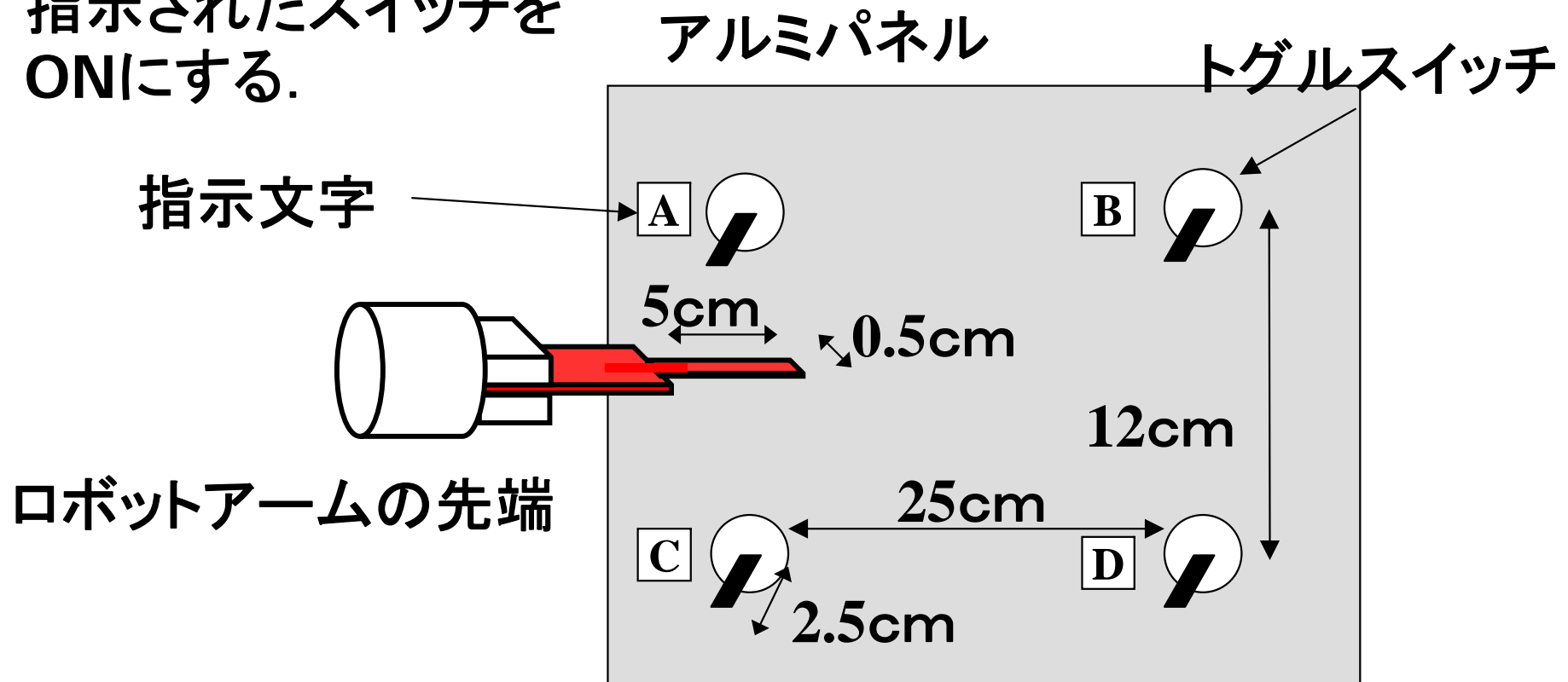
## 実験環境

指示されたスイッチを  
ONにする.



# 実験環境

指示されたスイッチを  
ONにする.



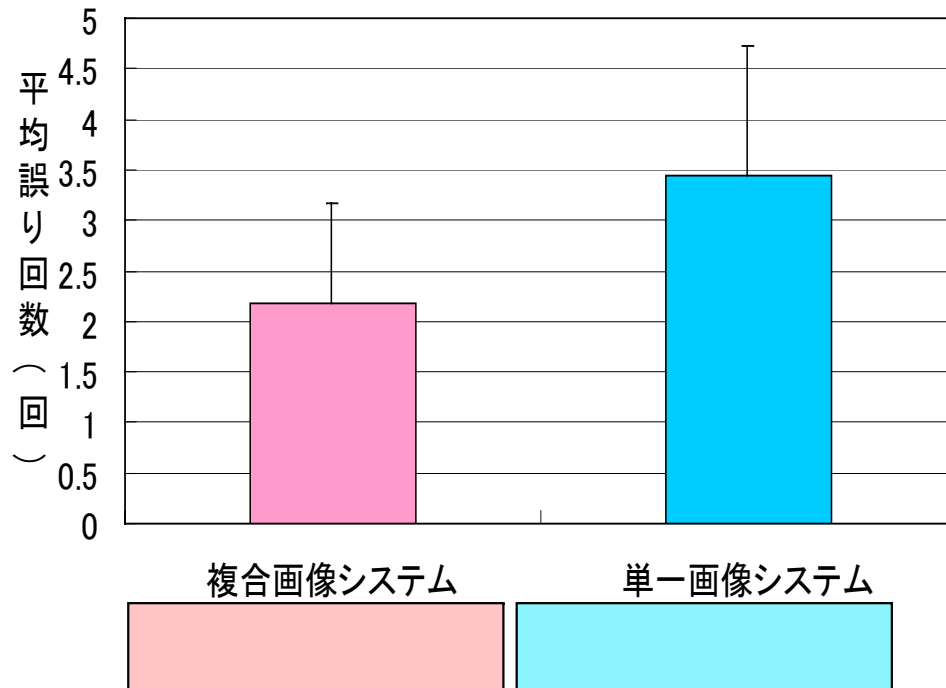
# 実験内容

- 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

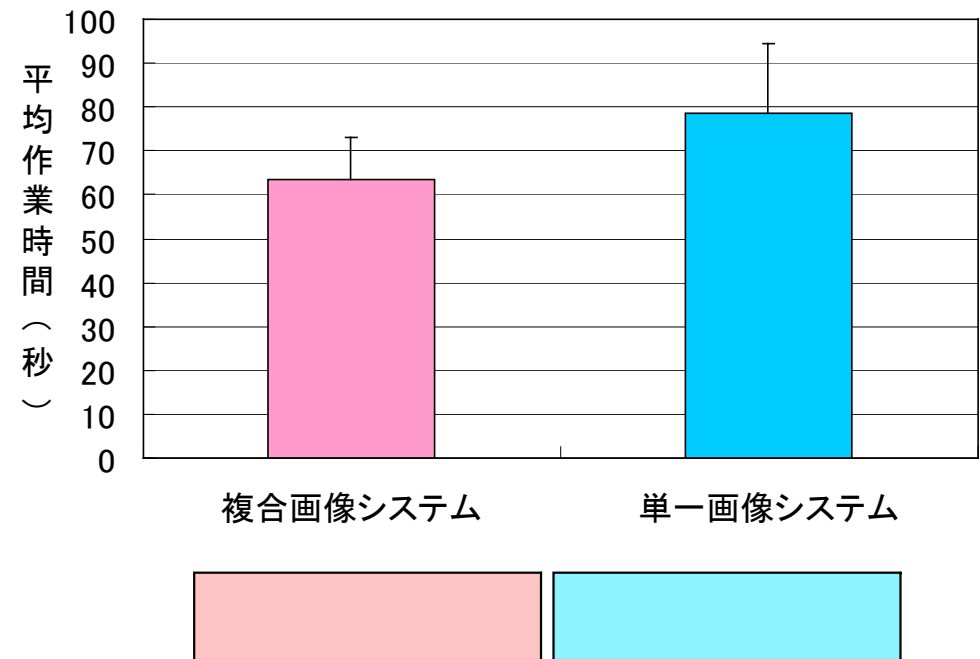


## 実験結果: 複合画像の利用(ロボット追従)

平均誤り回数



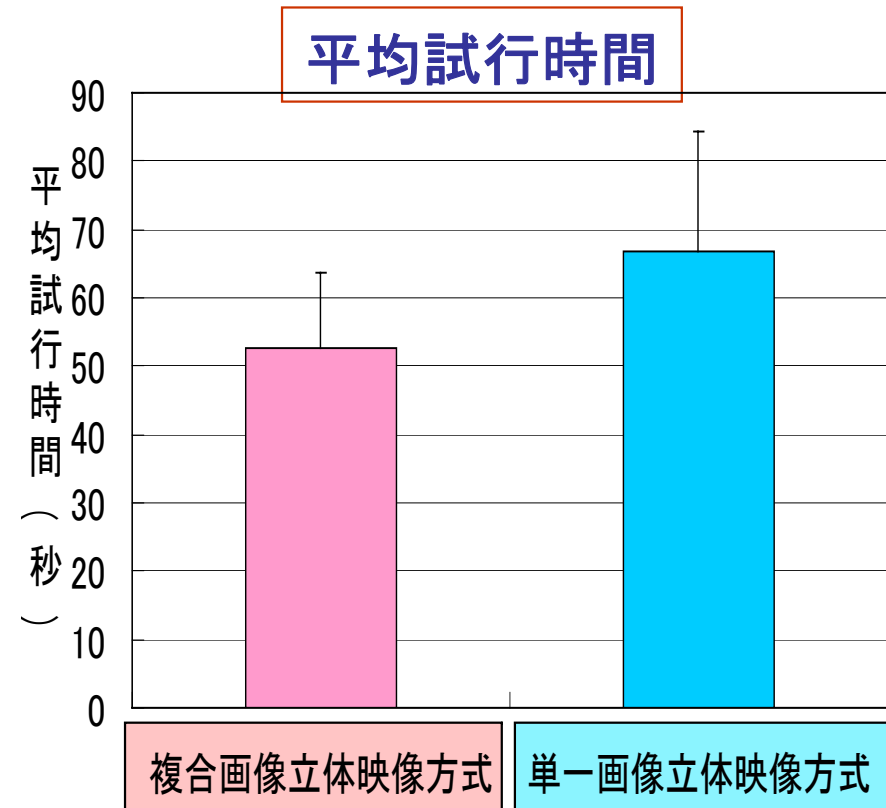
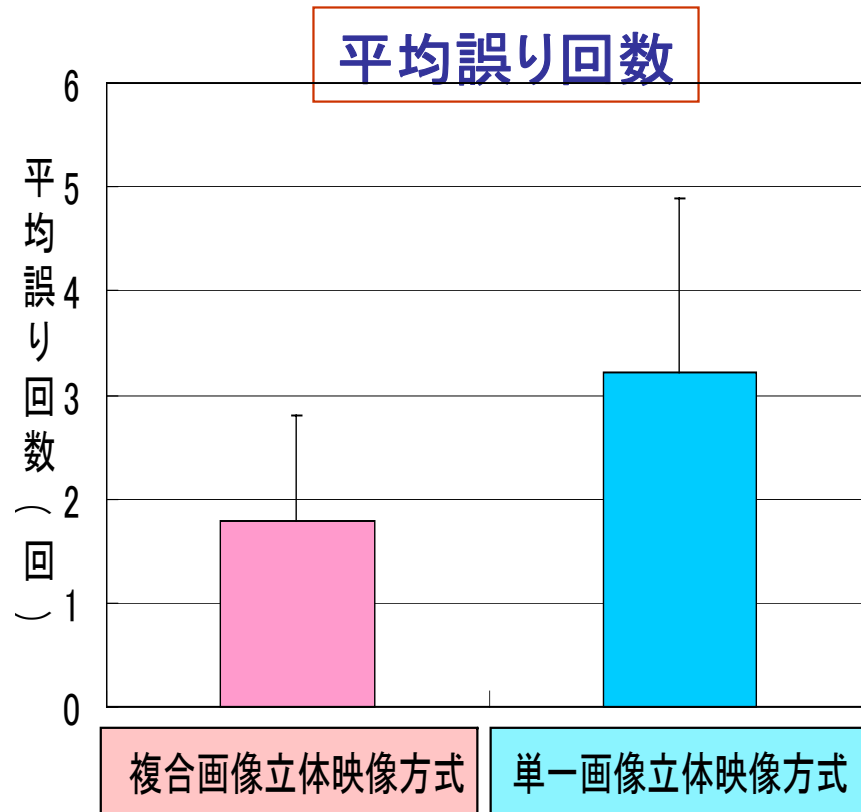
平均試行時間



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	単一画像 立体映像方式
320kbps	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。

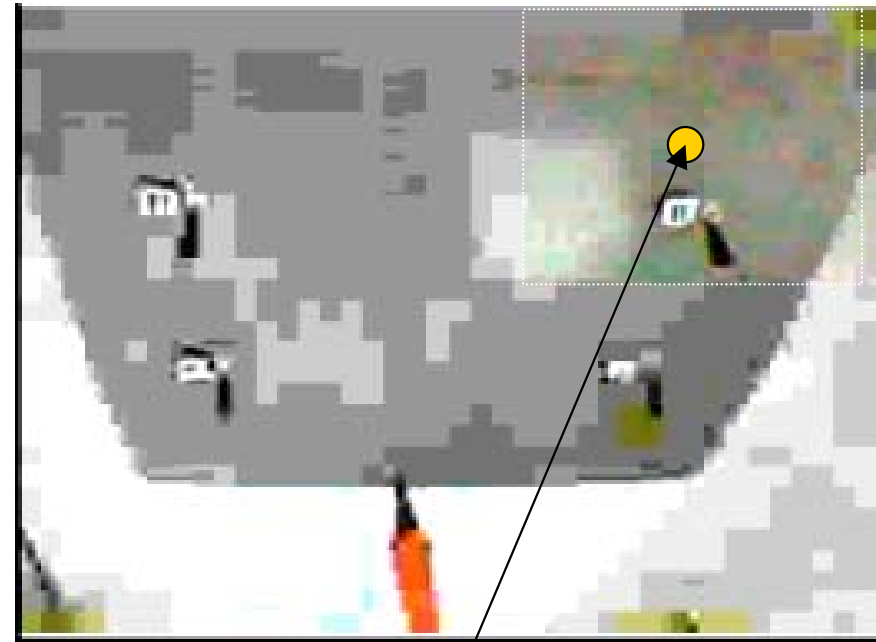
## 作業効率の向上 実験2

# 注視点を利用した作業効率の向上

## 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

# 実験条件1: 高精細領域ロボット追従型



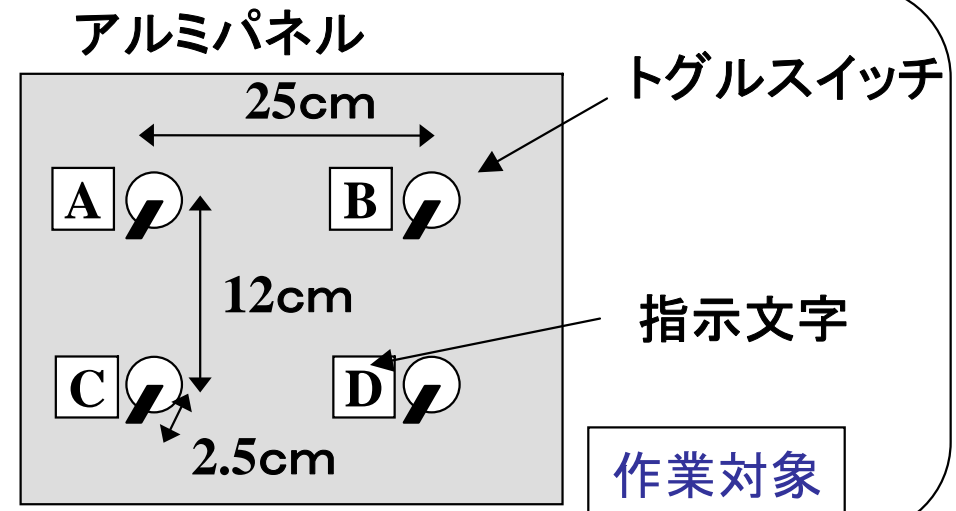
# 実験条件2: 高精細領域注視点追従型



# 実験内容

## ロボット追従型と注視点追従型の 作業効率の比較

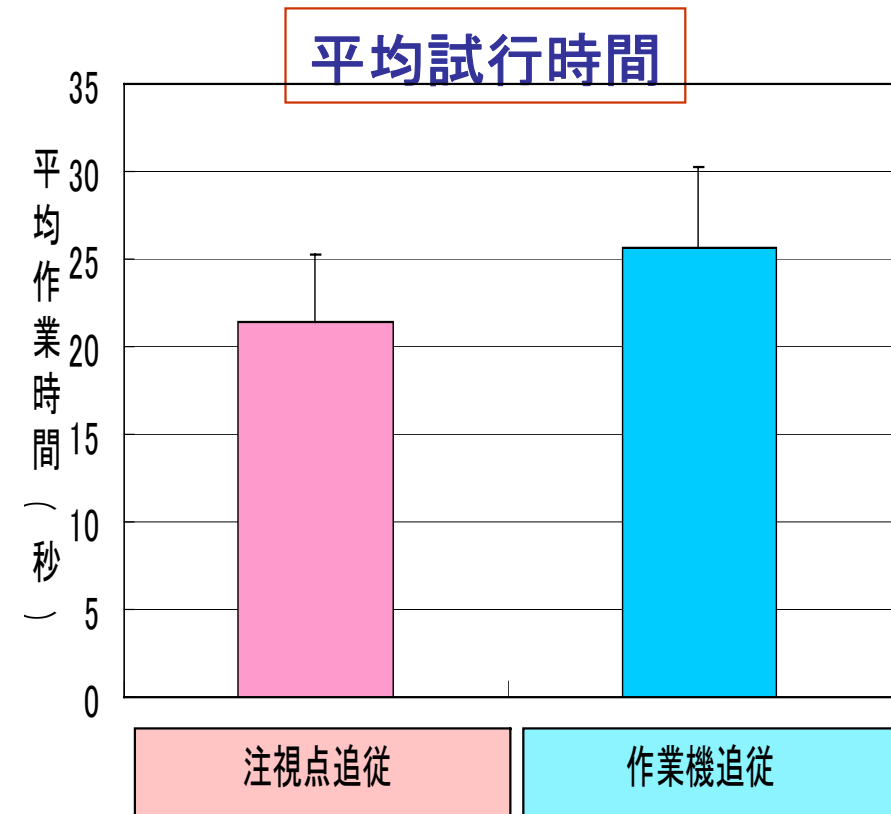
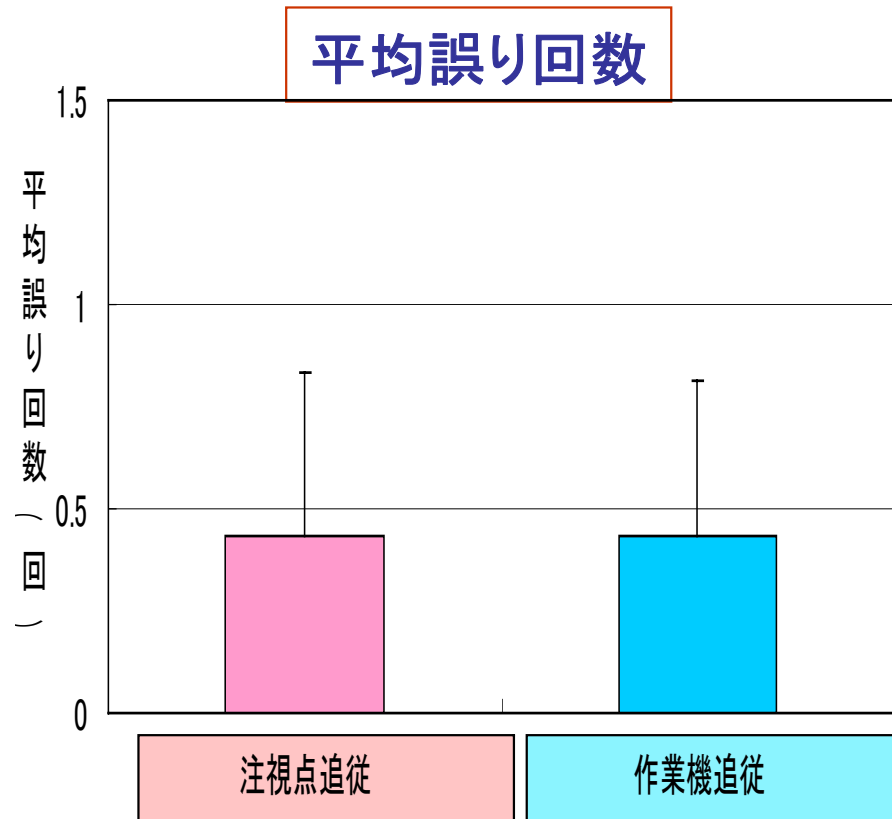
探索を含む作業により比較する



- 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のスイッチを探索しON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



## 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

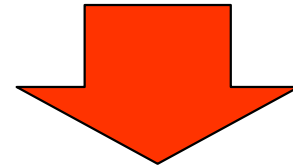
試行時間

等しい解像度において

注視点追従

<

ロボット追従



探索を必要とする作業の場合  
注視点追従型の方が作業時間が短い

注視点の移動速度

>

ロボットの移動速度

## 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）にカメラが輻輳しているほうが輻輳点が合っていない場合と比較して高い作業精度が得られる（渡邊ら, 2000）.

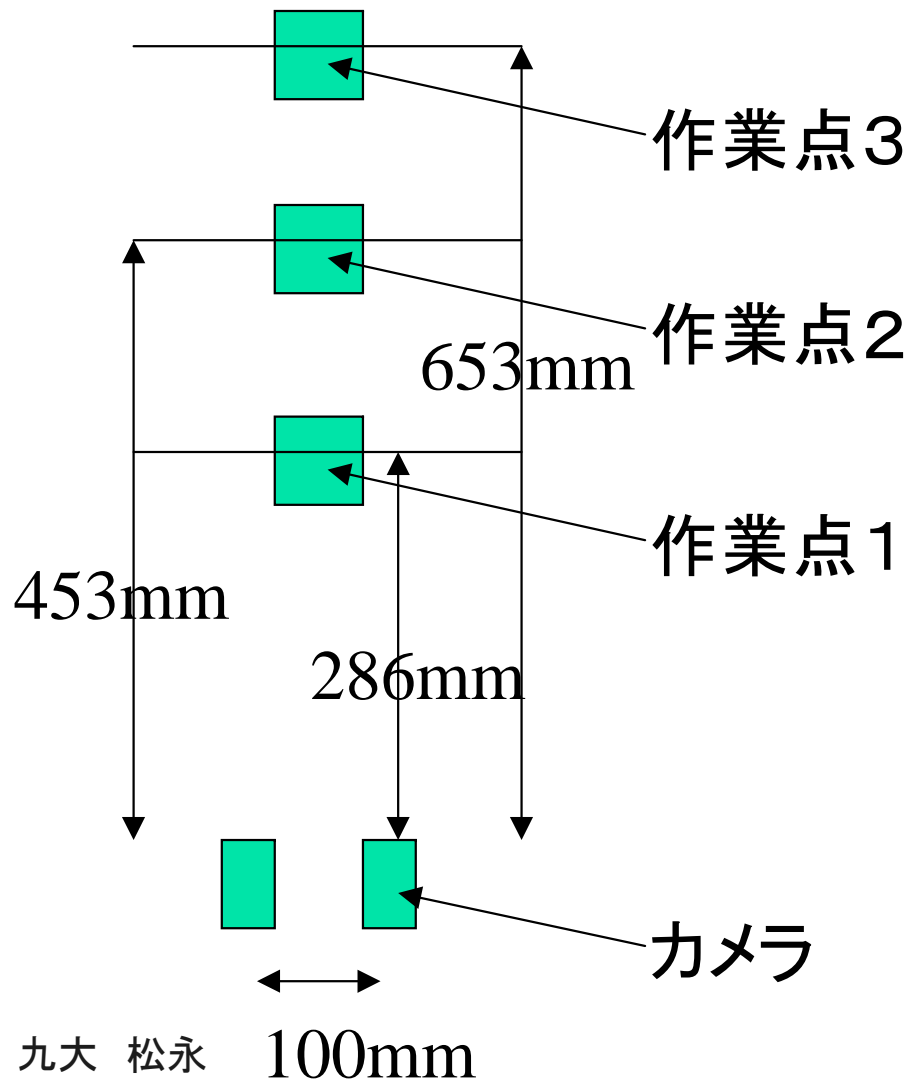
### 仮想空間における実験

- カメラが常に作業対象（作業機）に輻輳するシステムは輻輳点が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）.

## 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).

# 渡邊らの実験1



実験条件1- 輻輳を作業点1

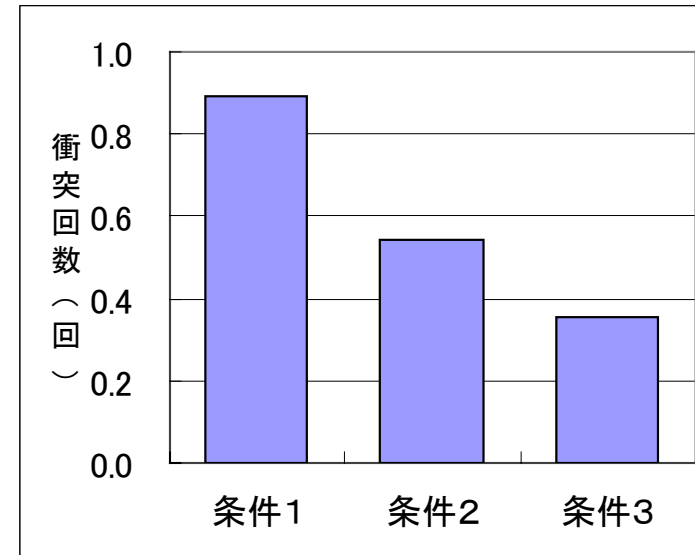
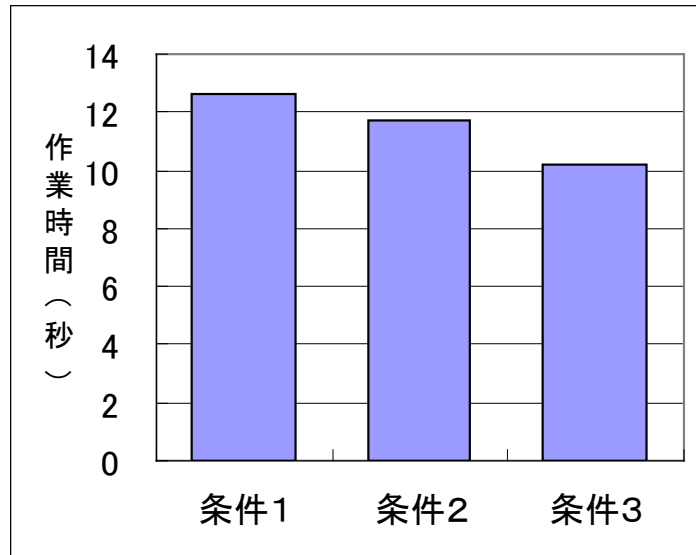
実験条件2- 輻輳を作業点2

実験条件3- 輻輳を作業点3

実験手順

- 予め作業点1にある円筒を把持
- 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
- 円筒と作業点との衝突回数を測定

# 渡邊らの実験1 結果



## 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

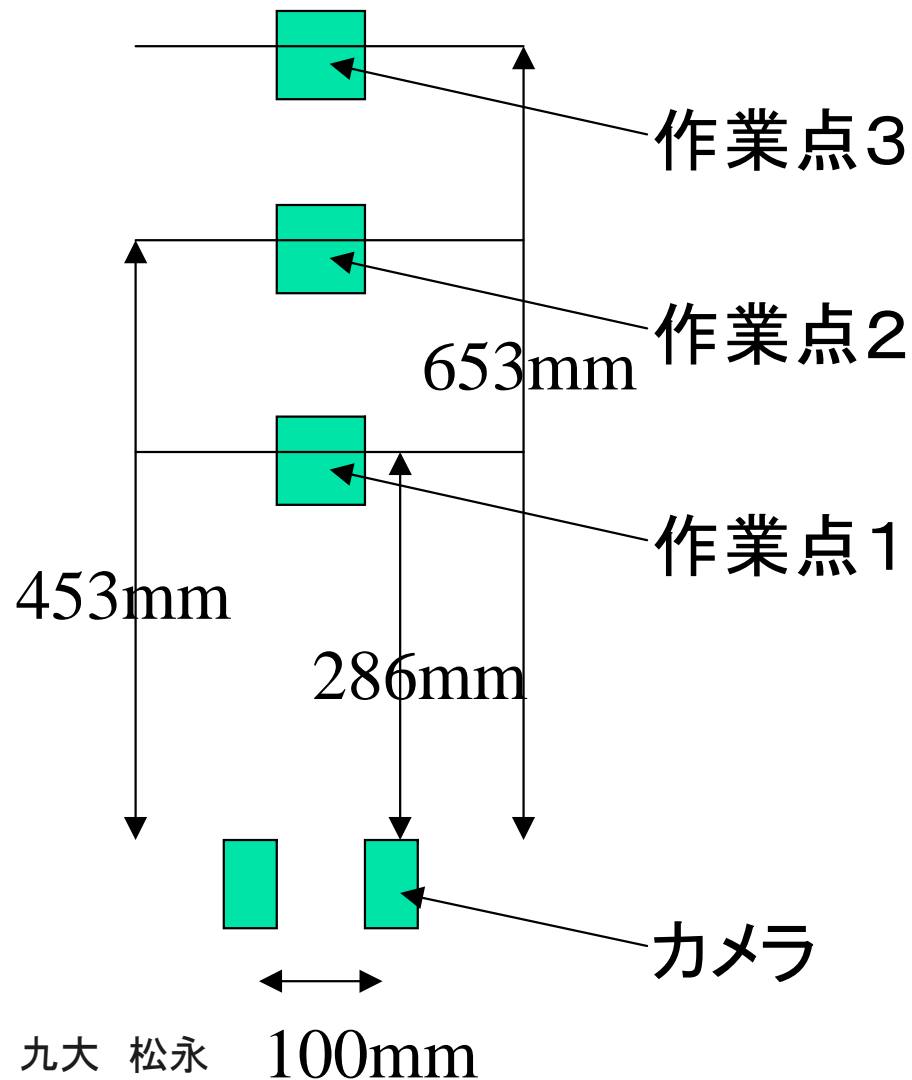
条件1 > 条件2 > 条件3

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

## 渡邊らの実験2



実験条件1 - 輻輳を作業点1

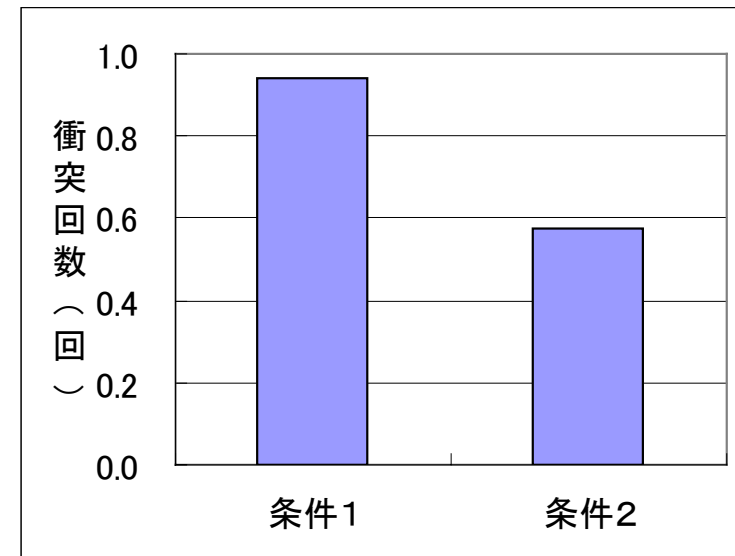
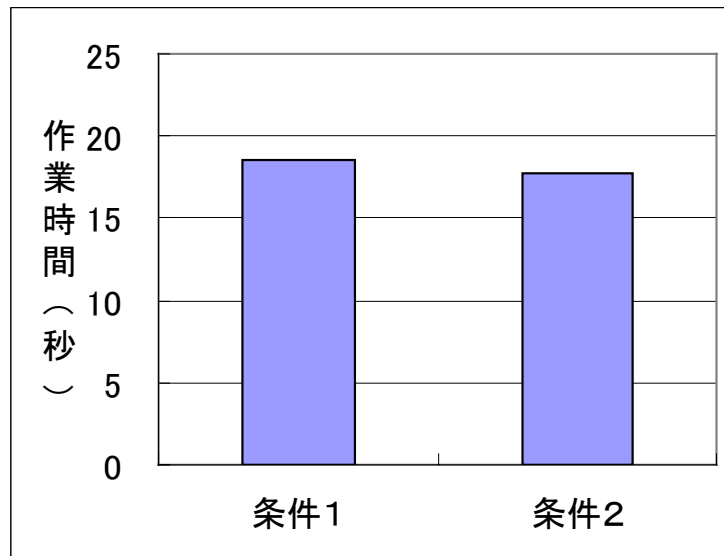
実験条件2 - 輻輳を作業点1 →  
作業点3

実験手順

- 予め作業点1にある円筒を把持
- 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
- 円筒と作業点との衝突回数を測定



## 渡邊らの実験2 結果



## 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

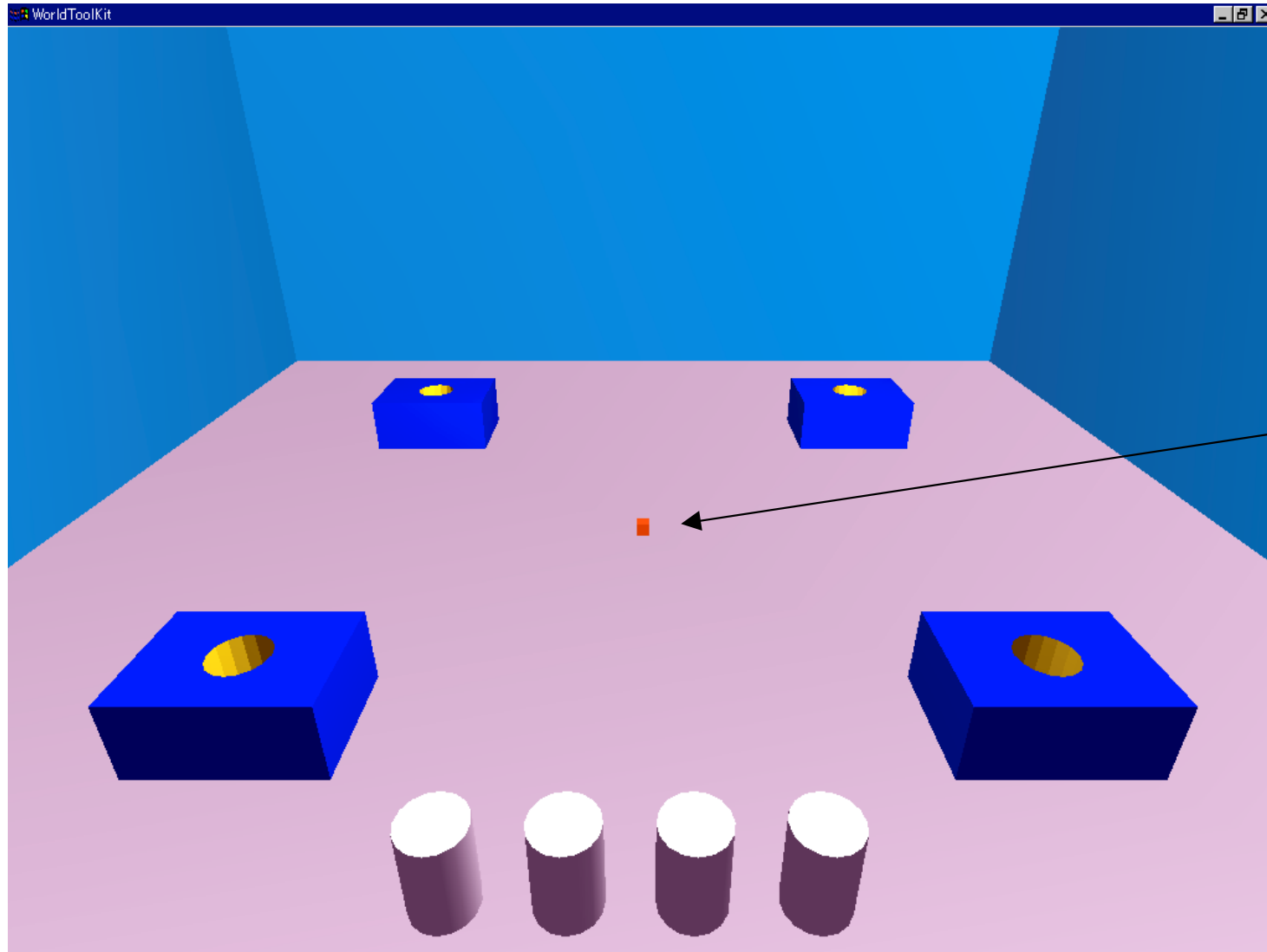
条件2において被験者の目の疲労

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。

## 渡邊らの実験 考察(渡邊)

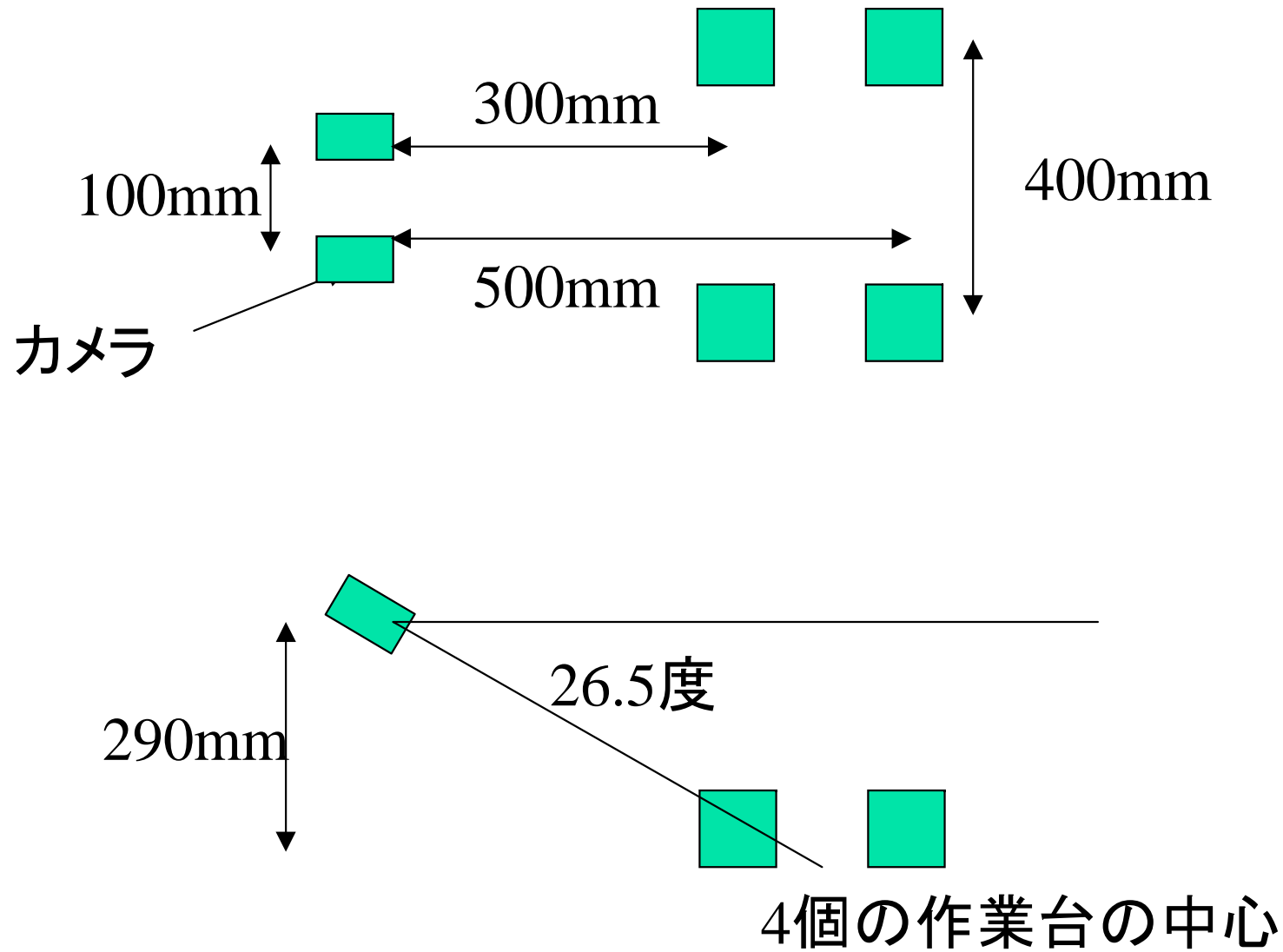
- 正確さを要求する作業において高い作業精度を得るためには、カメラの輻輳を作業の対象となる地点に合わせて作業させるべきである.

# 山本らの実験 環境映像



グリッパ

# 山本らの実験 環境



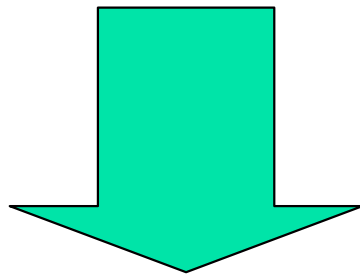
## 山本らの実験

- 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)

# 山本らの実験 条件1

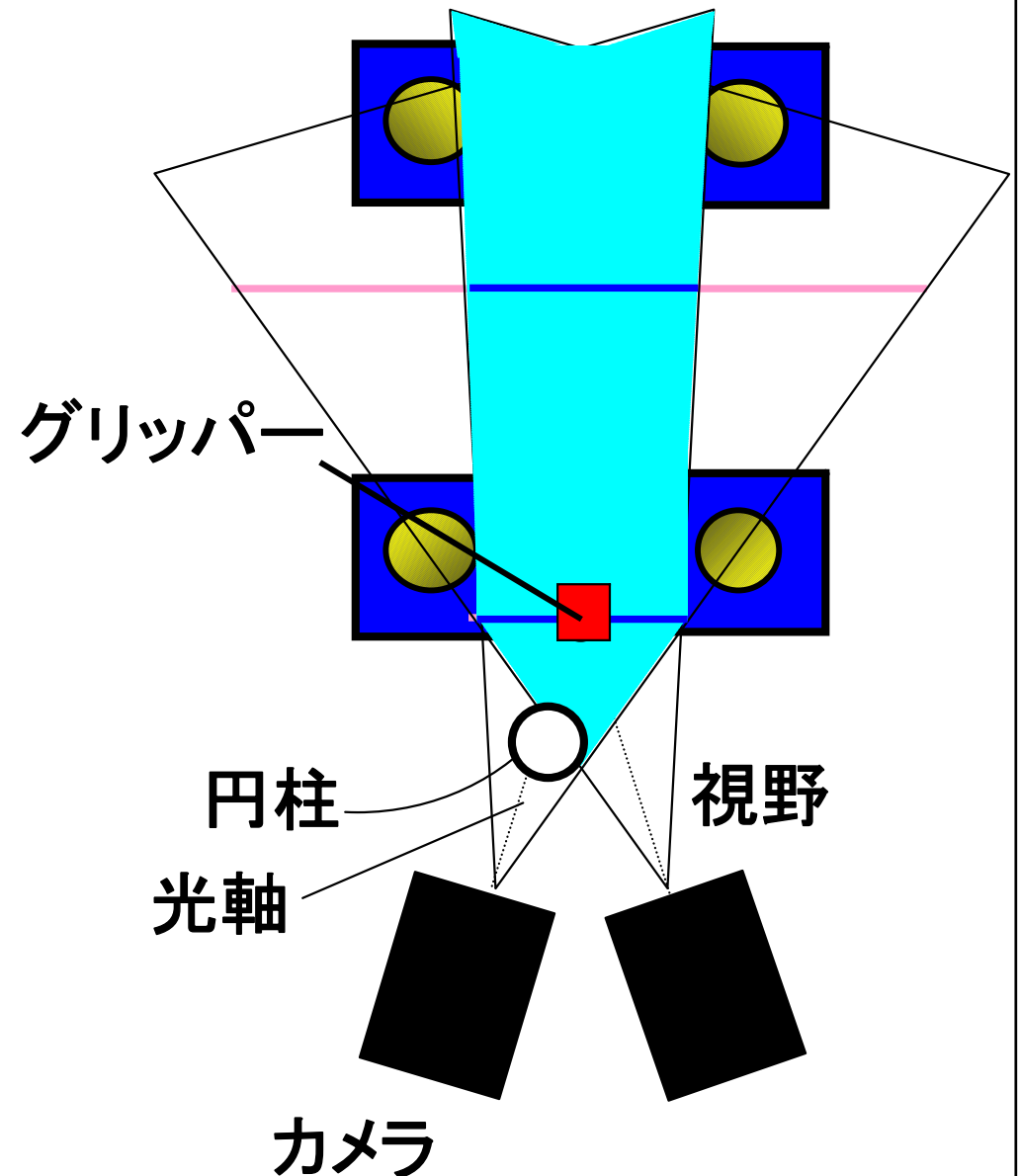
作業対象輻輳条件(グリッパーに輻輳)

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%)

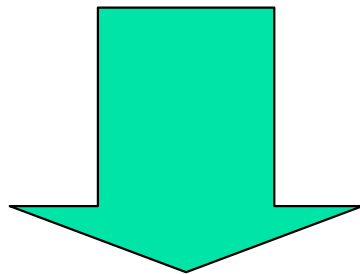
グリッパーから奥行き方向に距離が離れるほど重複率が減り、融合しにくくなる。



## 山本らの実験 条件2

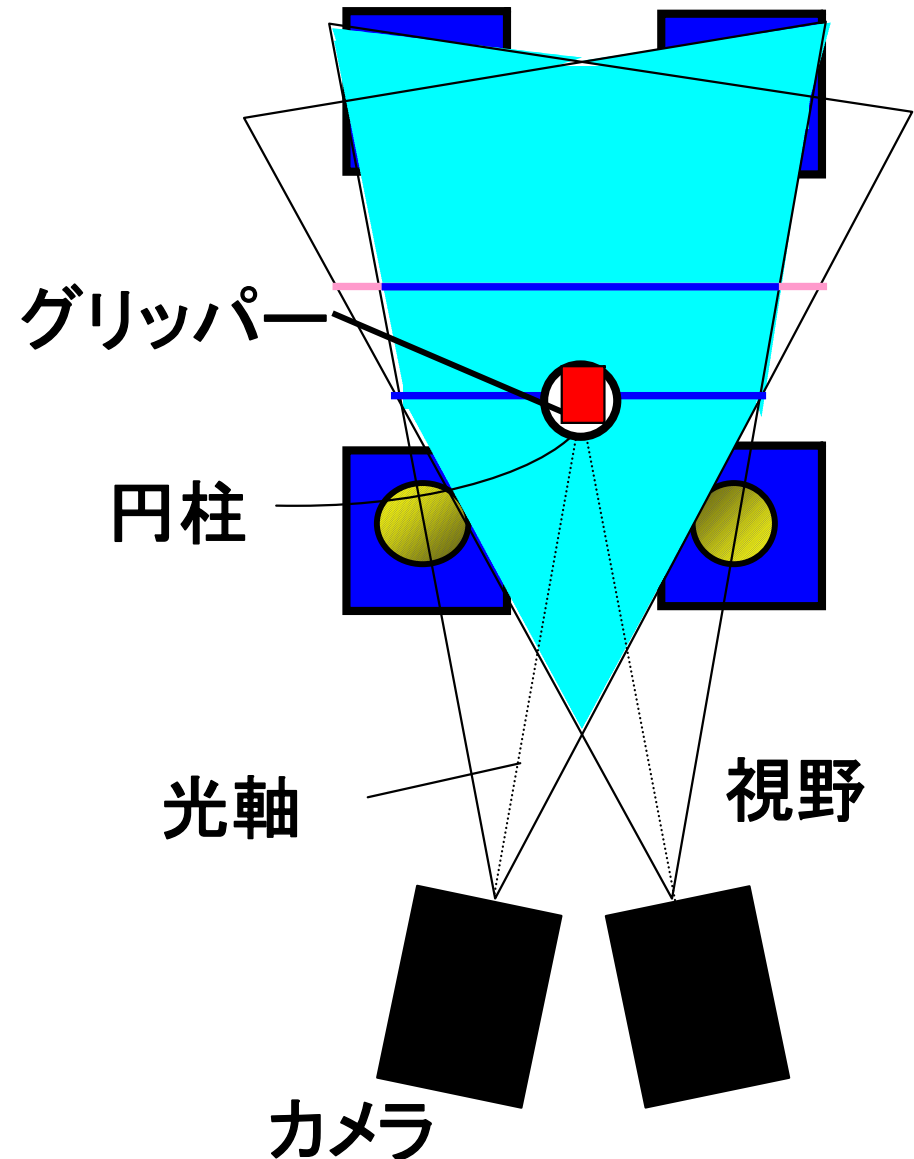
作業対象輻輳条件(グリッパーに輻輳)

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。

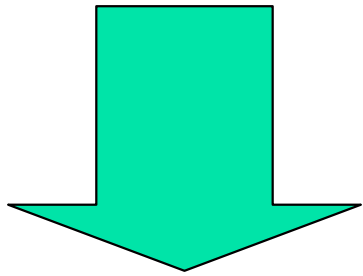




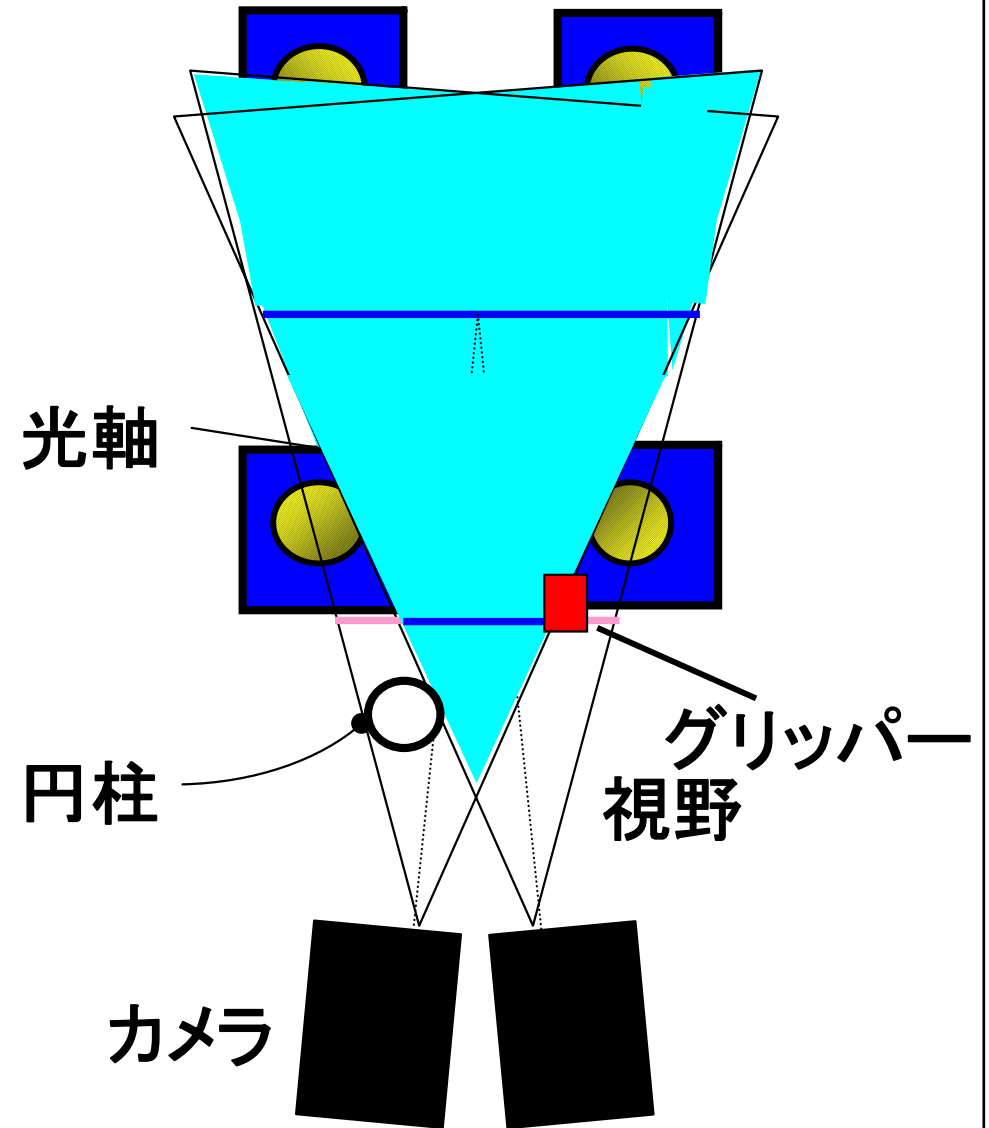
# 山本らの実験 条件2

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



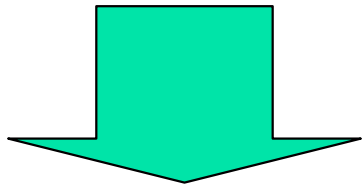
作業領域の中心位置面の映像は高い  
重複率(95%)  
作業領域の中心から奥行き方向に距離  
が離れるほど重複率が減り、融合しにく  
くなる



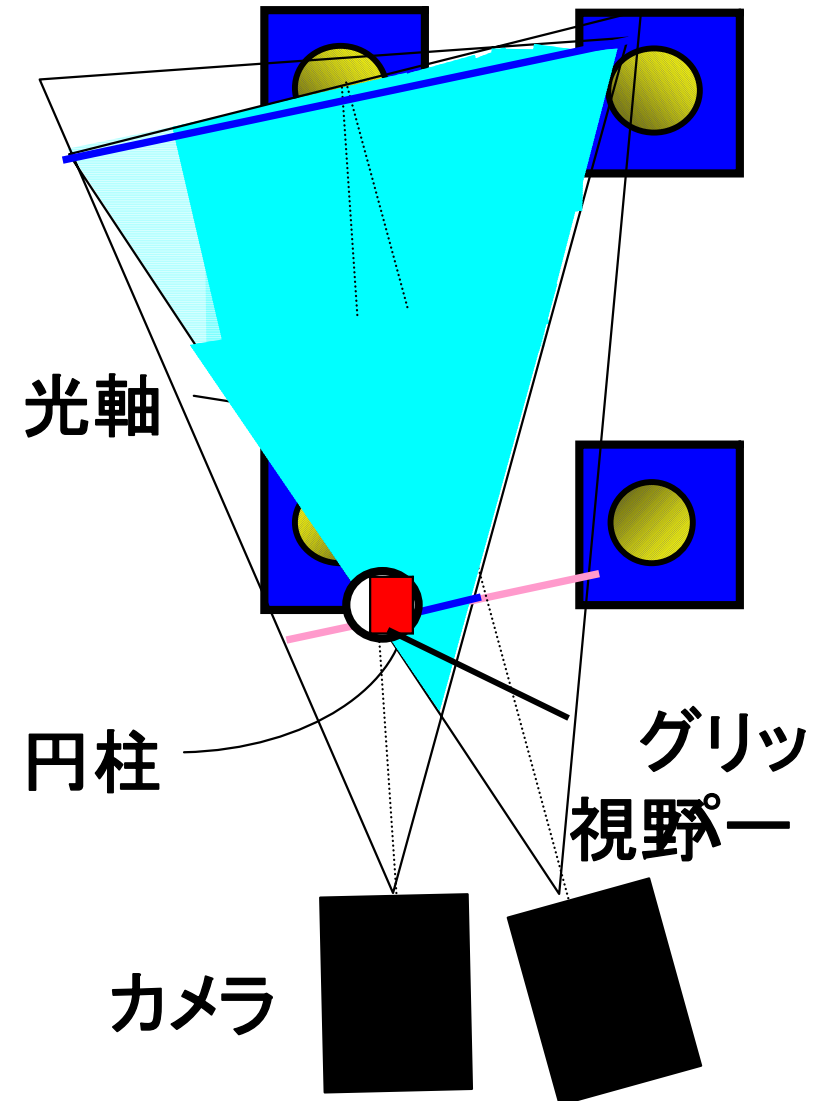
# 山本らの実験 条件3

ゴール地点輻輳条件(作業台の穴に輻輳)

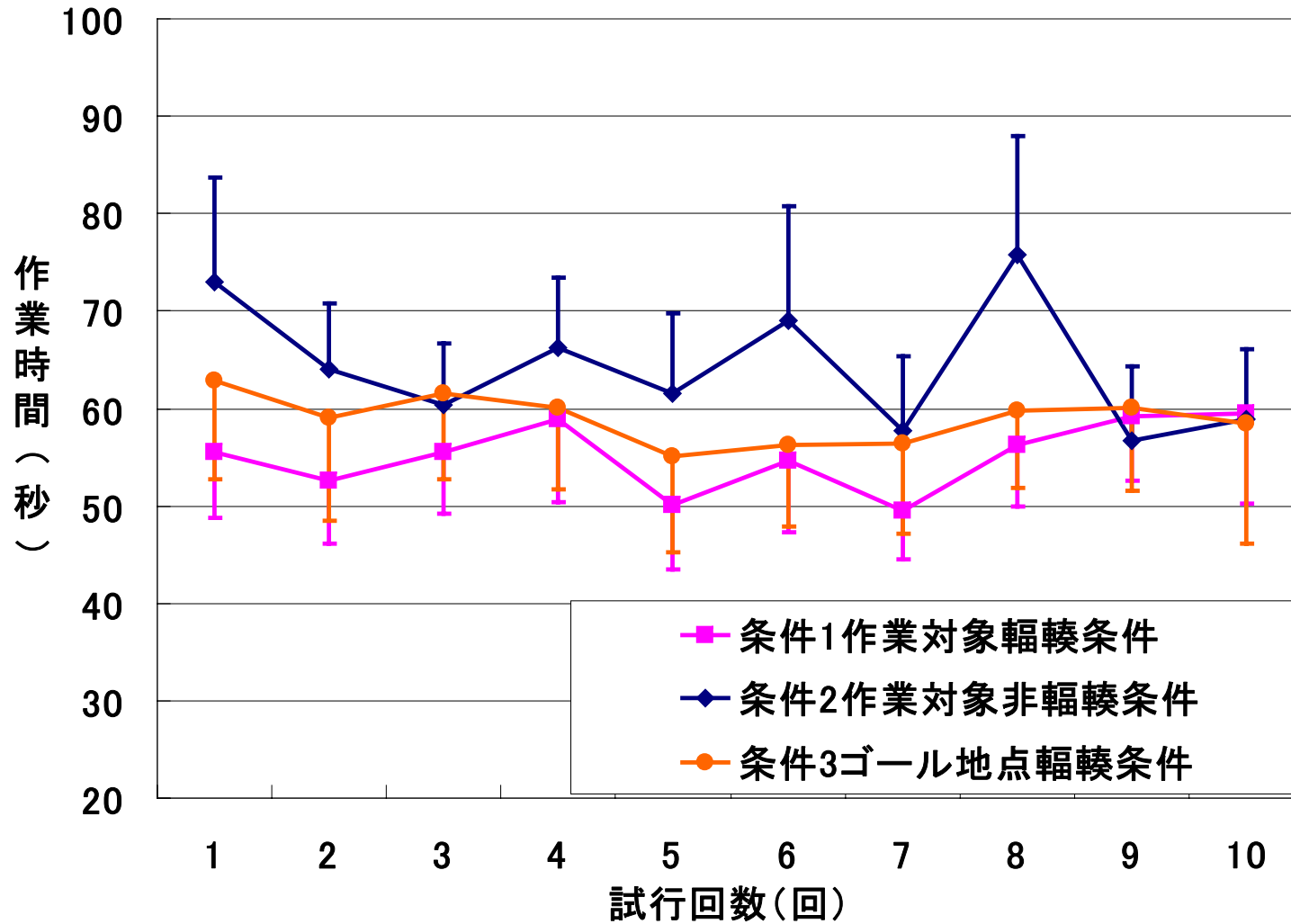
ゴール地点(作業台の穴)に  
左右カメラの中心位置を合  
合わせた条件



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。

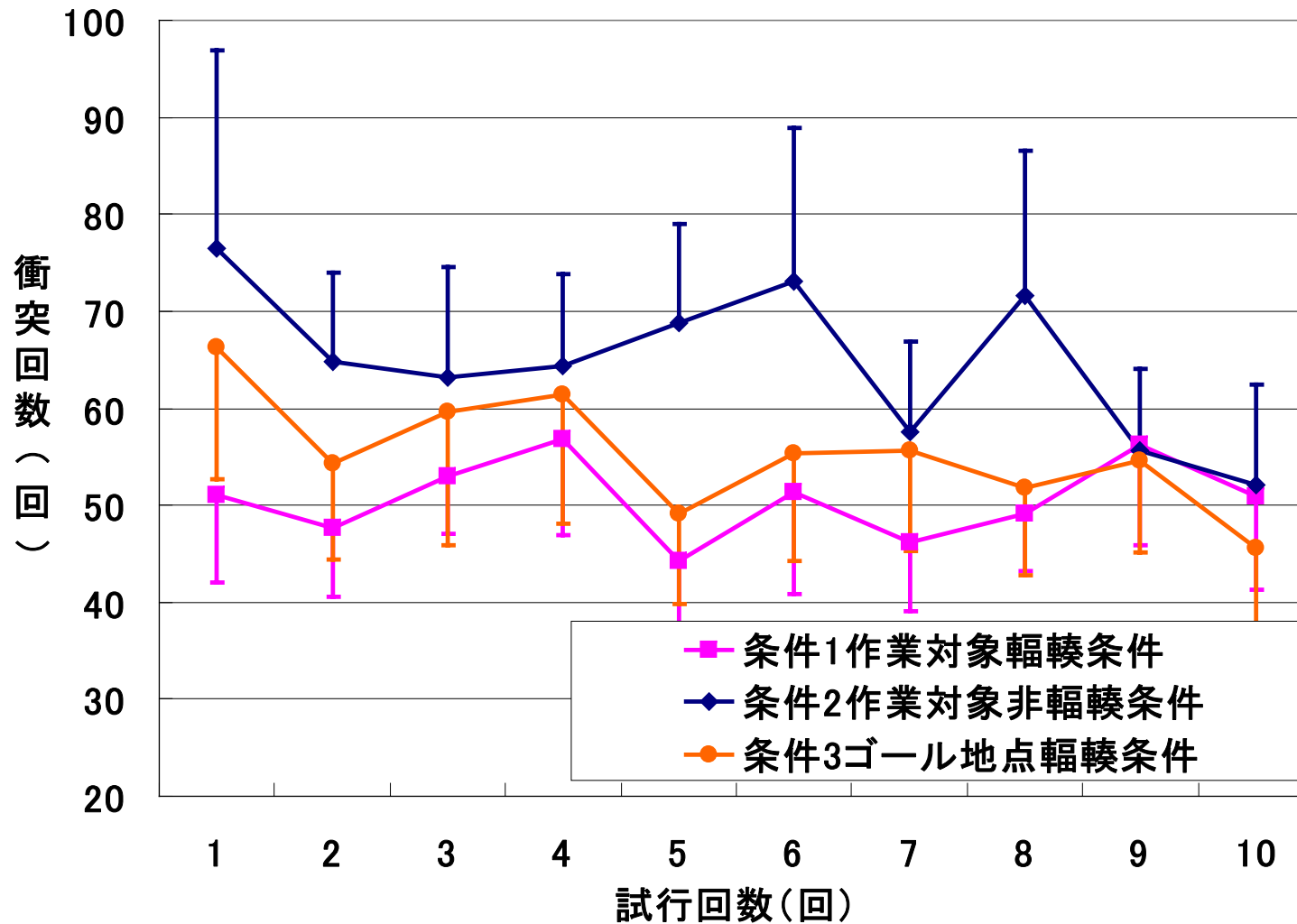


# 山本らの実験 結果1 時間



各試行における平均作業時間

## 山本らの実験 結果2 衝突



各試行における平均衝突回数

## 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3

ゴール地点輻輳条件  
(作業台の穴に輻輳)

<

条件2

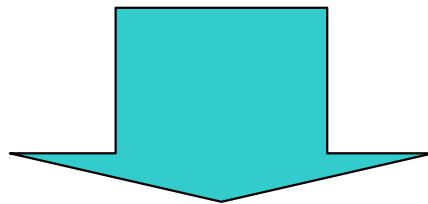
作業対象非輻輳条件  
(作業領域の中心に輻輳)

### 衝突回数において

有意な差は見られなかった。

## 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。**