

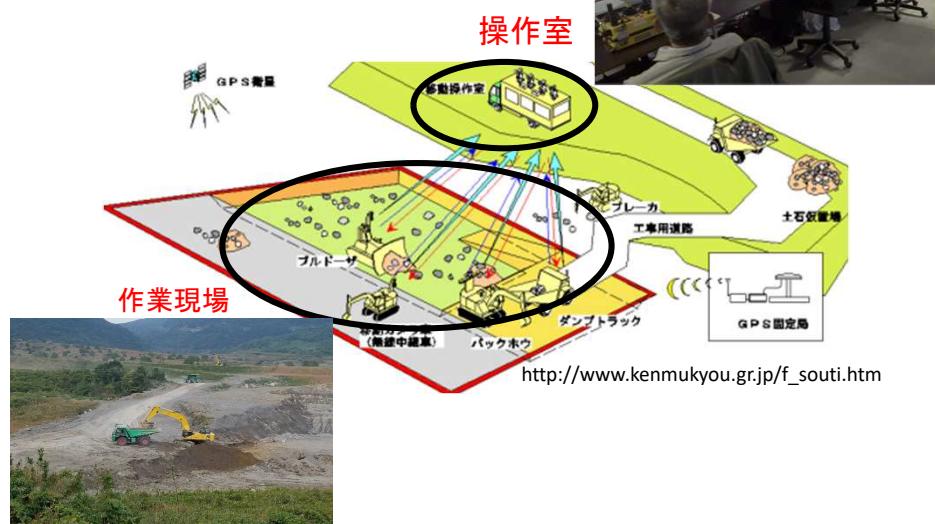
無人化施工におけるCognitive Tunneling を防止可能な視覚提示手法の構築 に関する研究

早稲田大学 理工学術院
教授 岩田浩康

早稲田大学 教授 岩田浩康

1

建設機械の遠隔操作 └ 無人化施工



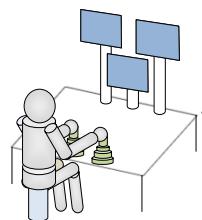
早稲田大学 教授 岩田浩康

2

遠隔操作時の作業効率低下

…搭乗操作の50%以下
茂木ら 2013
“無人化施工と有人施工における作業性の比較実験報告”

【操作者に提供可能な情報】 | 【認知するべき情報】



カメラ映像
各種センサ
慣性・加速度etc...



<https://picasaweb.google.com/kuriharakoho/0101>

- ・地面傾斜
- ・路面性状
- ・車体傾き
- ・手先姿勢
- ・対象物位置
- ・障害物位置
- ⋮

限られた情報を頼りに

膨大な量の情報認知



操作者に高い認知負荷

COCN 2012年
“無人化施工システムに関する提言”

従来の無人化施工の支援手法

限られた情報の量を増やす



雲仙普賢岳での無人化施工操作画面



遠隔操作高度化のためのインターフェース

IMPACT フィールド評価会報告, 2017

マシンガイダンスの提示

ドローンや画像処理を用いた
任意視点映像の提示

遠隔操作者の情報選択効率低下

【仮説】

提示情報量が増えたことで、操作者の適切な情報選択が阻害され作業効率低下を招いているのでは



遠隔操作者の視線分析
西山ら,2014 “油圧ショベルの機械化施工の遠隔操作と搭乗操作における操作負担の比較に関する研究”

Cognitive Tunneling の発生

…高認知負荷によりの視野・注意・思考が狭まる



Dirkin, 1983 “Cognitive Tunneling: Use of Visual Information Under Stress”

- ・画面に注意固定
- ・複数情報の統合困難

【研究目的】

操作者のCognitive Tunnelingを低減し、適切な情報選択を支援することで遠隔作業効率の向上を目指す

研究手法

【研究目的】

遠隔操作者のCognitive Tunnelingを低減する
視覚提示手法の構築

【研究方針】

1.Cognitive Tunnelingによる遠隔操作への影響分析

2.概念設計

①Cognitive Tunneling発生の原因 ②要求事項の導出

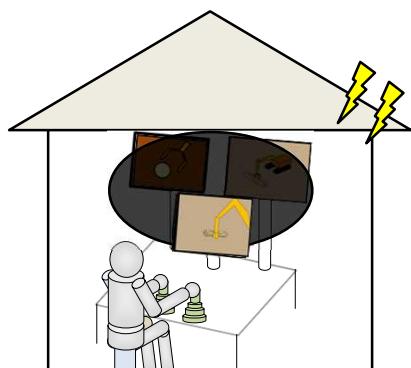
3.詳細設計

①Visual Momentumの向上 ②環境カメラへの注意誘導

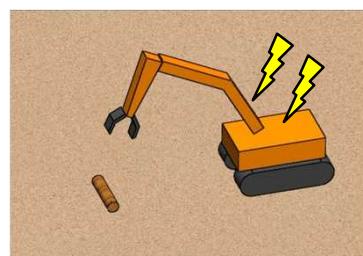
4.提案する視覚提示手法評価試験

Cognitive Tunnelingによる効率への影響

- A) 非効率な情報参照による作業時間の増加
- B) 複数情報の統合困難による操作停止時間の増加



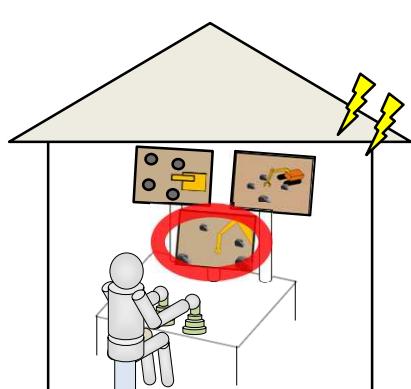
遠隔操作室



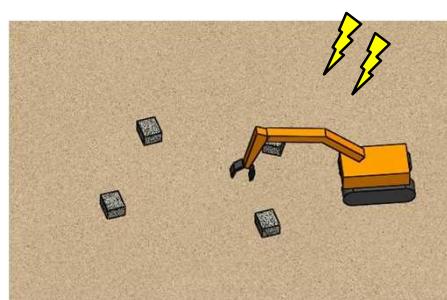
作業現場

Cognitive Tunnelingによる効率への影響

- A) 非効率な情報参照による作業時間の増加
- B) 複数情報の統合困難による操作停止時間の増加



遠隔操作室



作業現場

研究手法

【研究目的】

遠隔操作者のCognitive Tunnelingを低減する
視覚提示手法の構築

【研究方針】

1.Cognitive Tunnelingによる遠隔操作への影響分析

2.概念設計

- ①Cognitive Tunneling発生の原因
- ②要求事項の導出

3.詳細設計

- ①Visual Momentumの向上
- ②環境カメラへの注意誘導

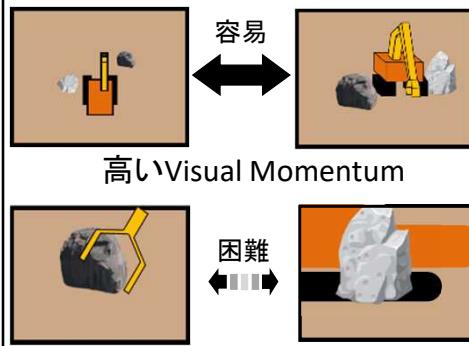
4.提案する視覚提示手法評価試験

Cognitive Tunnelingの発生原因

*Jessie Y.C.,2007 "Human Performance Issues and User Interface Design of Teleoperated Robots"

Visual Momentum*

(情報間の整合性の指標)



Visual Saliency*

(視覚顕著性)



車載映像に注意が固定

Nishiyama et al.,2014, "Research on the comparison of operator viewpoints between manned and remote control operation in unmanned construction of the hydraulic excavator"

【設計要求】

- ・Visual Momentumの向上
- ・Visual Saliencyの低い環境カメラに注意を誘導

研究手法

【研究目的】

遠隔操作者のCognitive Tunnelingを低減する
視覚提示手法の構築

【研究方針】

1.Cognitive Tunnelingによる遠隔操作への影響分析

2.概念設計

- ①Cognitive Tunneling発生の原因
- ②要求事項の導出

3.詳細設計

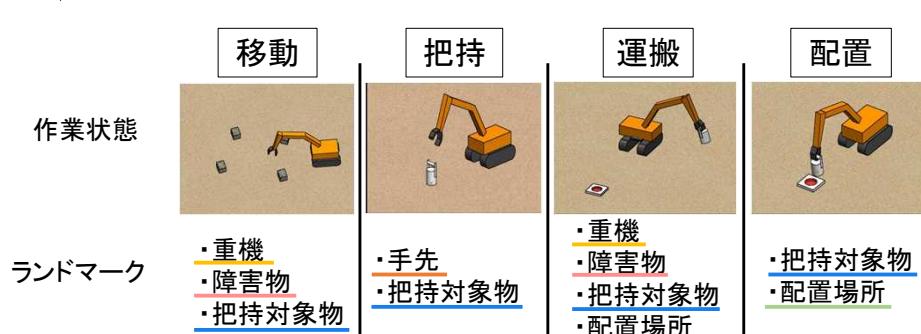
- ①Visual Momentumの向上
- ②環境カメラへの注意誘導

4.提案する視覚提示手法評価試験

①Visual Momentumの向上

- Visual Momentumは同じランドマークを撮像することで向上可能
S.H.Park,2000 "Design of visual displays for teleoperation"
- 作業状態ごとに有用なランドマークは異なる
R. Sato,2016 "Gaze pattern analysis in multi-display systems for teleoperated disaster response robots"

→ 作業状態ごとに有用なランドマークが撮像されたものを提示



①Visual Momentumの向上



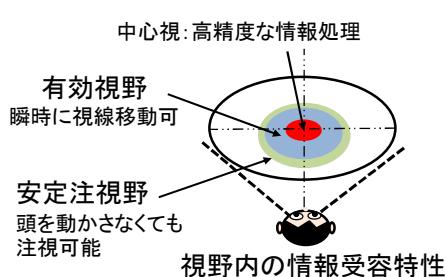
早稲田大学 教授 岩田浩康

13

13

②環境カメラへの注意誘導

◆ヒトの視野特性に基づいた情報提示



単一ディスプレイ提示



◆環境カメラへの注視誘導

有効視野内での振動刺激の優位性[1]



客観情報の表出時に画面を5[Hz]で0.5秒振動

[1]志村ら,2015 “注視中における周辺視野内での視覚的振動運動刺激に対する知覚特性”

早稲田大学 教授 岩田浩康

14

14

構築した視覚提示手法

作業状態: 

客観① ■ 作業状態による切り替え ■ 客観②



研究手法

【研究目的】

遠隔操作者のCognitive Tunnelingを低減する
視覚提示手法の構築

【研究方針】

1.Cognitive Tunnelingによる遠隔操作への影響分析

2.概念設計

①Cognitive Tunneling発生の原因 ②要求事項の導出

3.詳細設計

①Visual Momentumの向上 ②環境カメラへの注意誘導

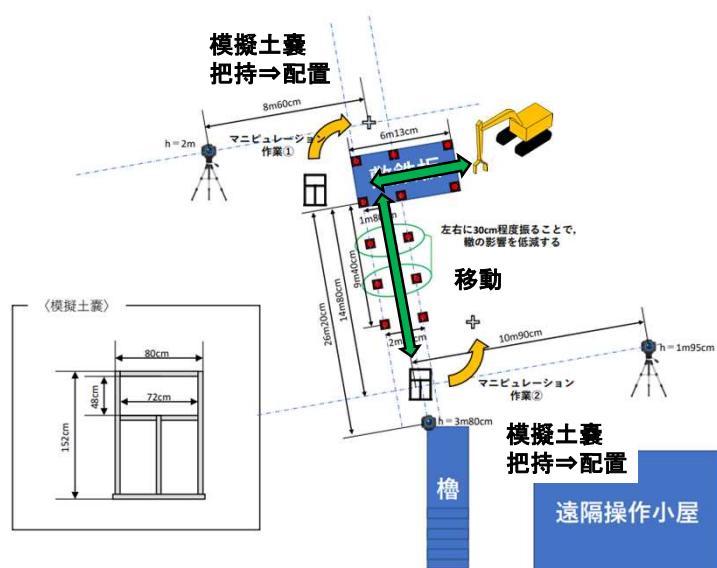
4.提案する視覚提示手法評価試験

評価試験

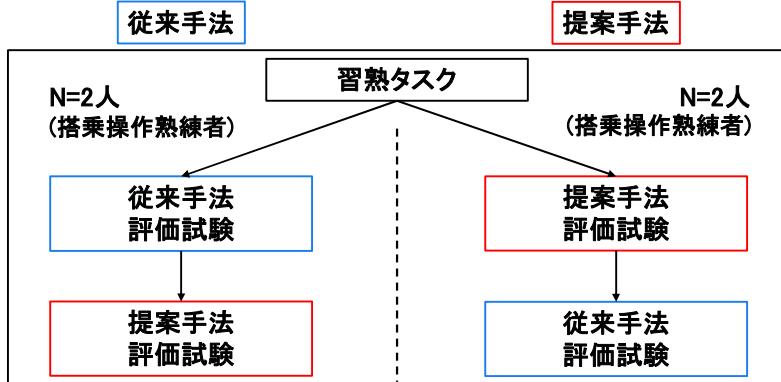
目的:構築した視覚提示手法による遠隔操作性改善の検証
 手法:従来の視覚提示と構築した視覚提示の比較試験

測定項目: 操作者視線
作業時間
配置誤差
誤接触回数 } Cognitive Tunnelingの低減と
作業効率・精度の改善

試験フィールド



実験フロー



早稲田大学 教授 岩田浩康

19

19

結果①～操作者B・Dにおける視線～

1. 視線停留時間における長期停留の割合

Visual Momentumが改善され
情報統合が円滑にできたか

0.1秒以上の注視＝停留

1.5秒以上の注視＝長期停留

2.車載画面からの注視切り替え数

3.注視画面の切り替え数

Visual Saliencyが改善され
主観情報から注意解放されたか

Cognitive Tunnelingが改善され
複数画面を参照できたか

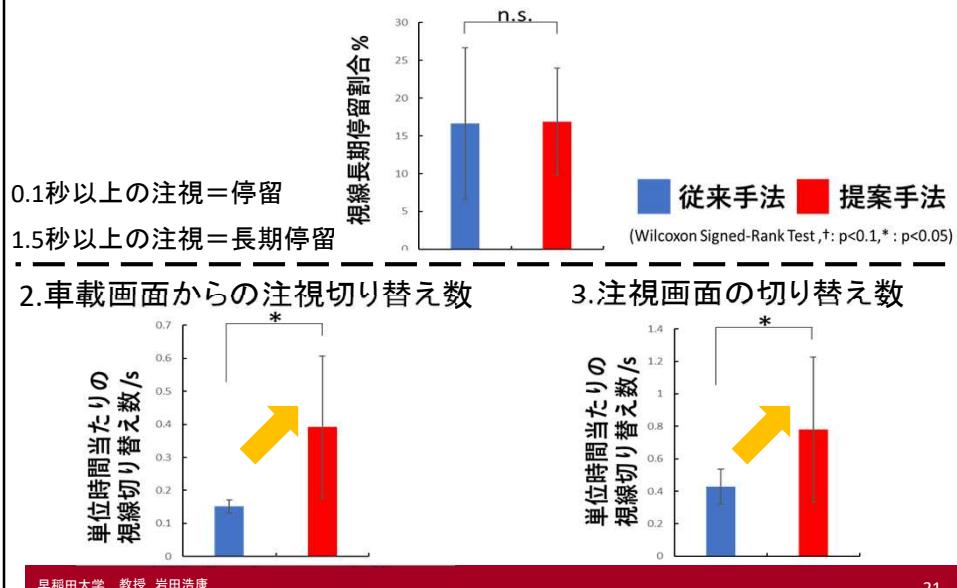
早稲田大学 教授 岩田浩康

20

20

結果①～操作者B・Dにおける視線～

1. 視線停留時間における長期停留の割合

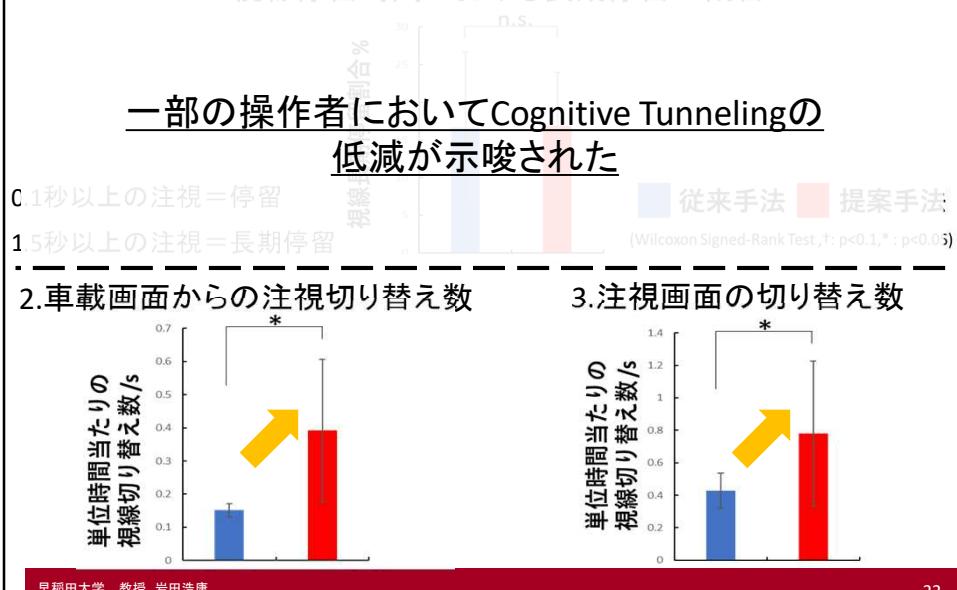


21

21

結果①～操作者B・Dにおける視線～

1. 視線停留時間における長期停留の割合

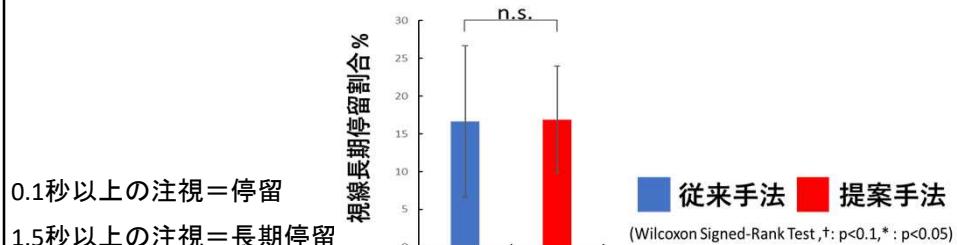


22

22

結果①～操作者B・Dにおける視線～

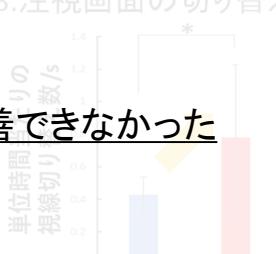
1. 視線停留時間における長期停留の割合



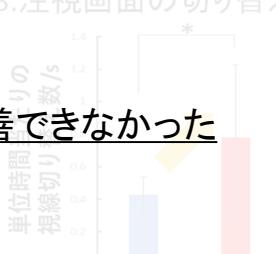
2. 車載画面からの注視切り替え数

単位時間当たりの
視線切り替え数 / s

Visual Momentumは改善できなかった



3. 注視画面の切り替え数



考察

Visual Momentumに差が出なかった理由



スケールモデル
9つの映像



実機
4つの映像

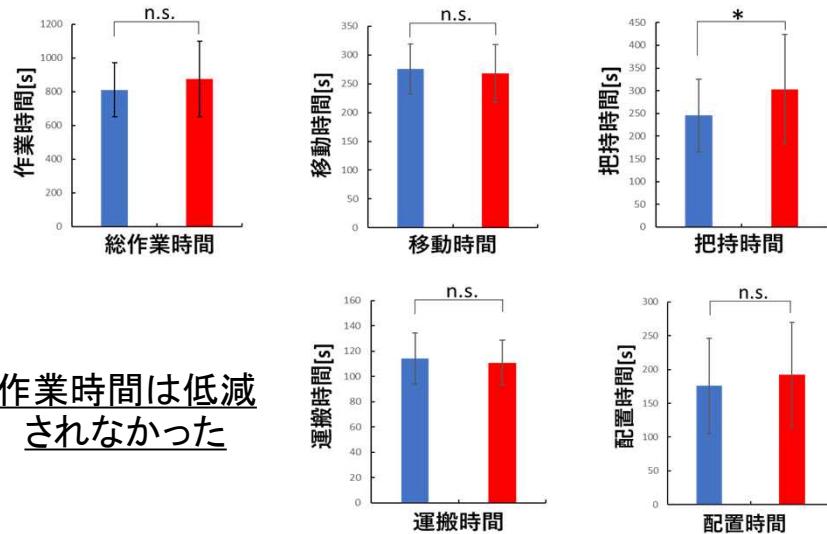
提示映像の種類が少なく、映像間の情報統合が容易



映像数が多い場合には有用な可能性

結果②～作業時間～

■ 従来手法 ■ 提案手法 (Wilcoxon Signed-Rank Test, †: p<0.1, *: p<0.05)



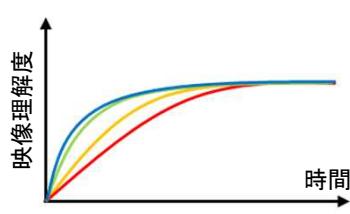
早稲田大学 教授 岩田浩康

25

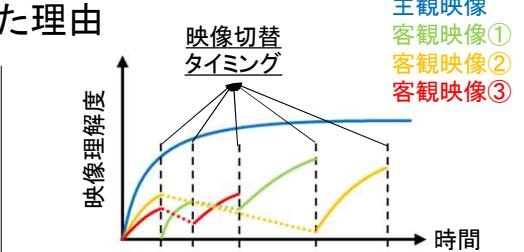
25

考察

作業時間に差が出なかった理由



従来手法



提案手法

複数映像が常時提示されているため、映像の理解が容易

映像を切り替える度に、新しい映像の理解に時間を要する

早稲田大学 教授 岩田浩康

26

26

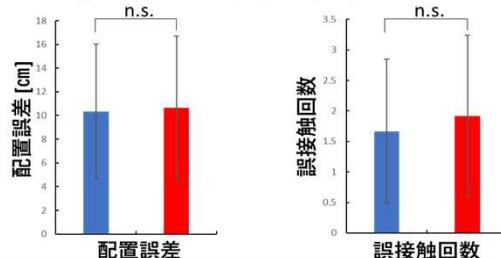
結果③～配置誤差・誤接触回数～



配置誤差：
模擬土嚢と十字マーカーの中心間の距離

誤接触回数：
移動時建機とパイロンの接触回数

■ 従来手法 ■ 提案手法 (Wilcoxon Signed-Rank Test, †: p<0.1, *: p<0.05)



配置精度、誤接触回数
は改善しなかった

考察

配置誤差・誤接触回数に差が出なかった理由



従来手法

提案手法

従来手法・提案手法で提供する映像の画角が同じ

作業精度は映像の画角に依存する可能性

まとめ

目的

遠隔操作者のCognitive Tunneling低減のための視覚提示手法の構築
手法

Visual Momentumの向上、およびVisual Saliencyの高い映像(車載映像)から低い映像(環境カメラ映像)への注意の誘導

成果

個人によってCognitive Tunnelingを低減可能

今後の展望

映像切替の時空間的に離散的な映像の理解を補助できるシステムの導入、作業状態の自動識別

スケールモデルを用いた実験の結果・考察

スケールモデル評価試験

目的:構築した視覚提示手法による遠隔操作性改善の検証

手法:従来の視覚提示と構築した視覚提示の比較試験

測定項目: 作業時間

操作停止時間

操作者視線

認知負荷

Cognitive Tunneling
と作業効率
の改善

操作室



スケールモデル環境



作業現場



タスク環境1



タスク環境2

スケールモデル評価試験フロー

コントロール群 (N=4人)



介入群 (N=4人)



作業効率

測定実験

環境1×3回

認知負荷

測定実験

環境2×3回

【評価項目】

・作業時間

・操作停止時間

・操作者視線

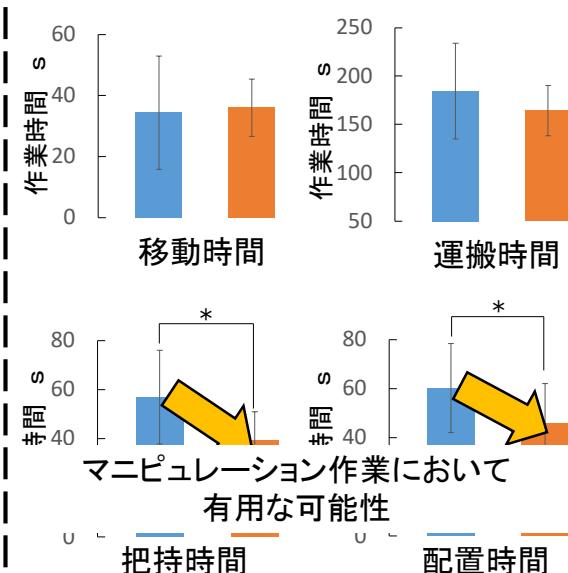
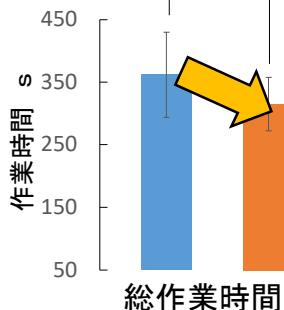
【評価項目】

二重課題の成績による認知負荷計測^[1]

[1]高野ら,1990 “生体情報を用いた精神作業負荷の評価に関する基礎的研究”

スケールモデル作業効率①～作業時間～

■ : コントロール群
■ : 介入群
[†]: p<0.1
^{*}: p<0.05



考察①

移動時間に差が出なかった理由

要求精度が低い移動1と高い移動2



移動2: 道幅が非常に狭い
許容幅: 2mm以下

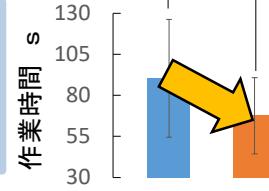
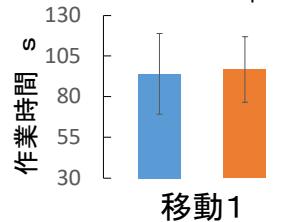
移動1: 道幅が広い
許容幅: 10mm以上

要求精度が高い場合には有用な可能性

■ : コントロール群

■ : 介入群

[†]: p<0.1



考察②

運搬時間に差が出なかった理由

運搬作業領域周辺に障害物が1つしかなかった



要求精度が低い場合には有用ではない可能性

作業効率測定結果②～操作停止時間～

■ : コントロール群
■ : 介入群
 $t: p < 0.1$
 $*: p < 0.05$
 $**: p < 0.01$

