

眼球情報による課題回答者の 状態推定に関する基礎的検討

中山 実

東京工業大学

大学院社会理工学研究科

人間行動システム専攻

22, Mar. 2012

発表の概要

- **課題の難易度による眼球情報の変化**
 - 課題の困難さによる眼球運動、瞳孔、瞬目の変化
- **眼球運動による回答確信度の推定**
 - 眼球運動の動き／特徴量による推定
- **文脈的理解課題における正答率、回答正誤の予測**
 - 正答率、回答正誤の予測
 - 確信度の状態変化の推定

眼球情報の先行研究

- **眼球運動**

- 刺激による比較研究
- 読み過程の分析 [Rayner, 1995]
- 心的負荷(Mental workload)の眼球運動への影響 [竹田、1976]

- **瞳孔応答**

- 興味や情動が瞳孔径に影響 [Hess, 1966]
- 課題の困難さによる変化 [Beatty, 1979]

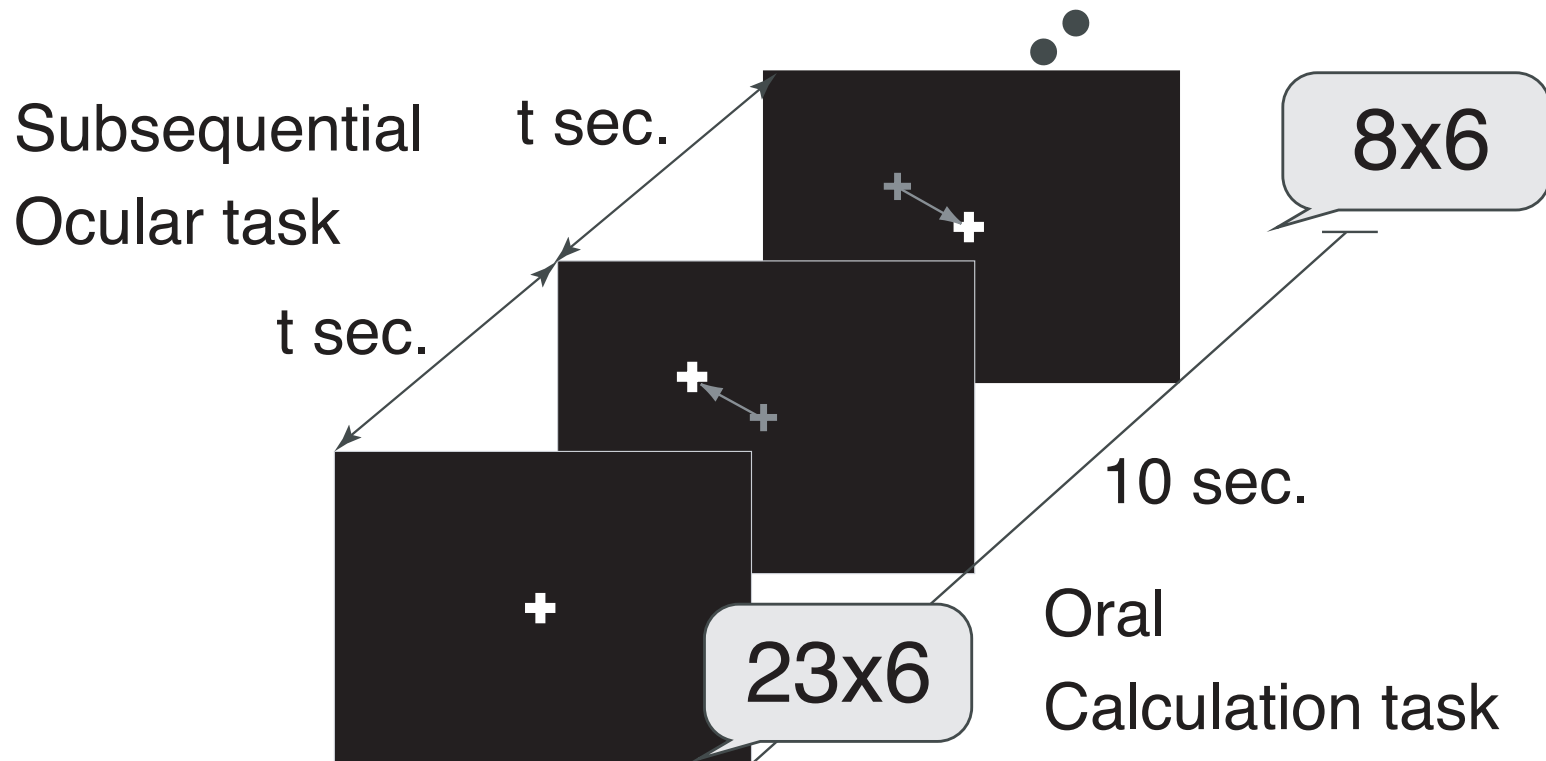
- **瞬目**

- 心的負荷との関係 [Tada, 1978]、情動との関連

刺激点滅系列

- 二重課題による眼球情報の変化を評価

- 被験者7名×10課題×5条件

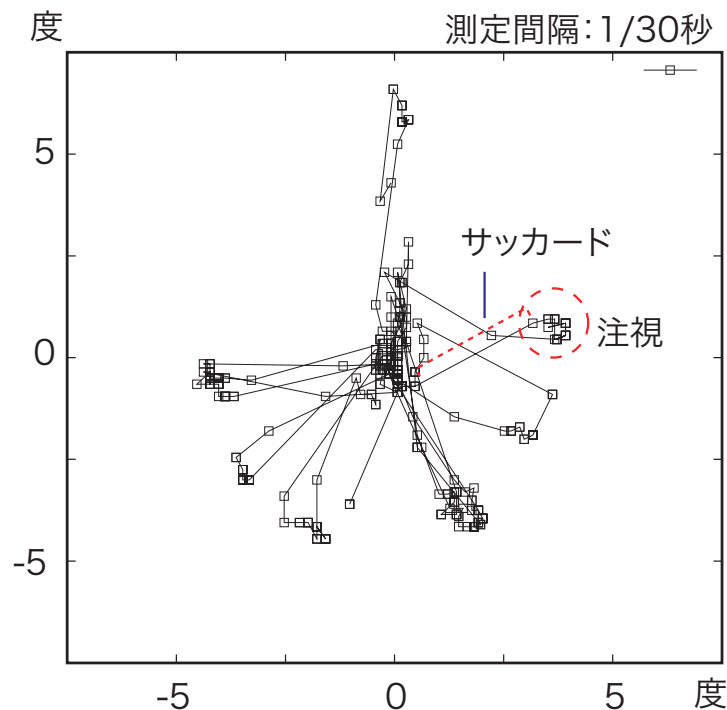


Switching frequency($1/t$): 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 Hz

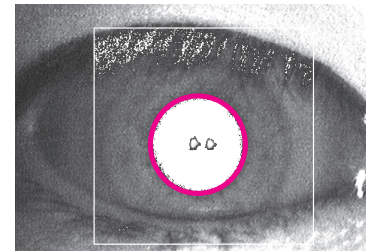
眼球情報の抽出

- 眼球運動(サッカード、注視)、瞳孔、瞬目

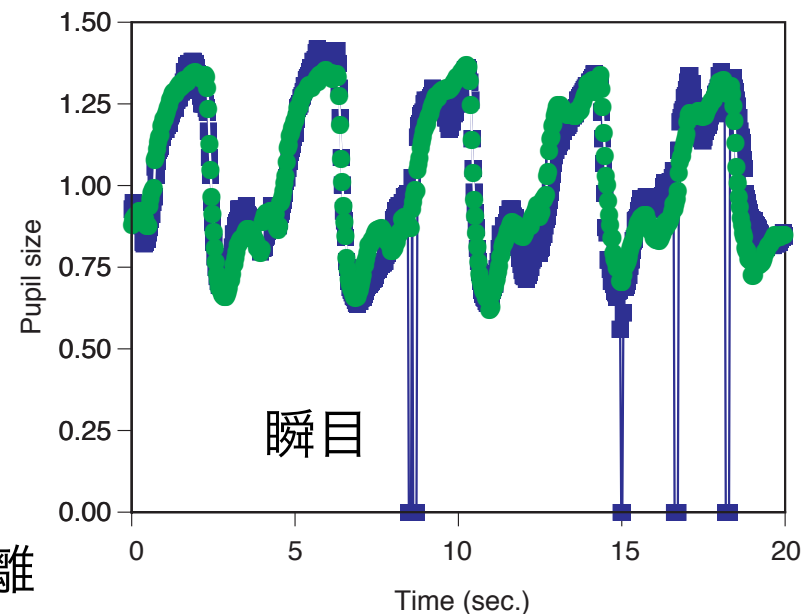
– 30または60Hzで計測



40deg/sでサッカードの分離
(海老沢・杉浦、1998)



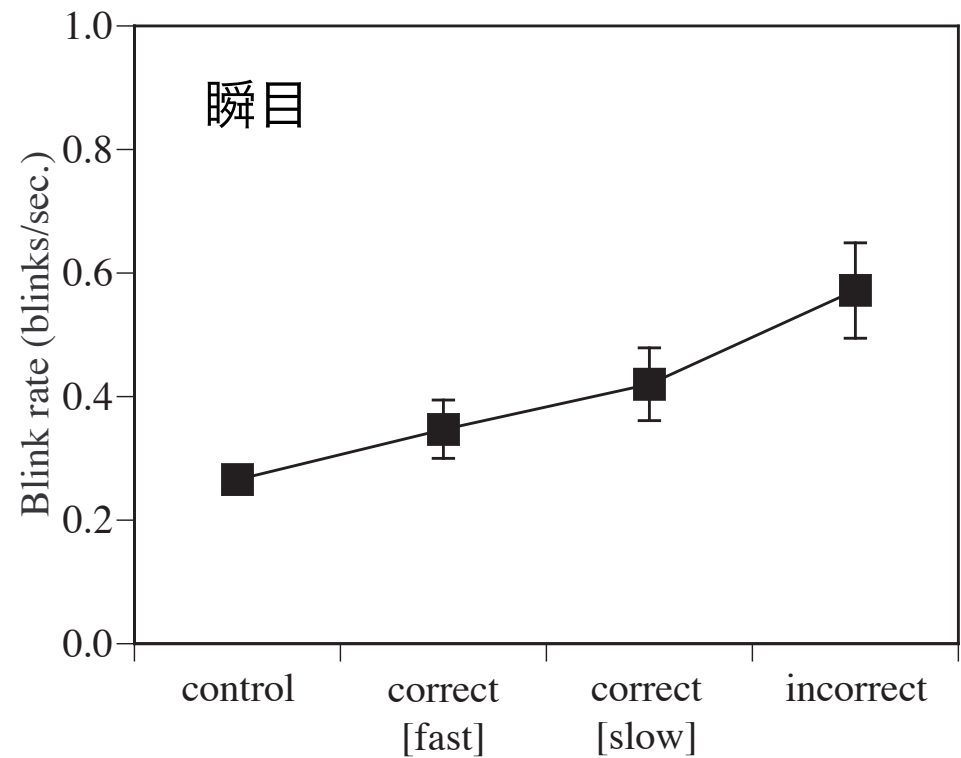
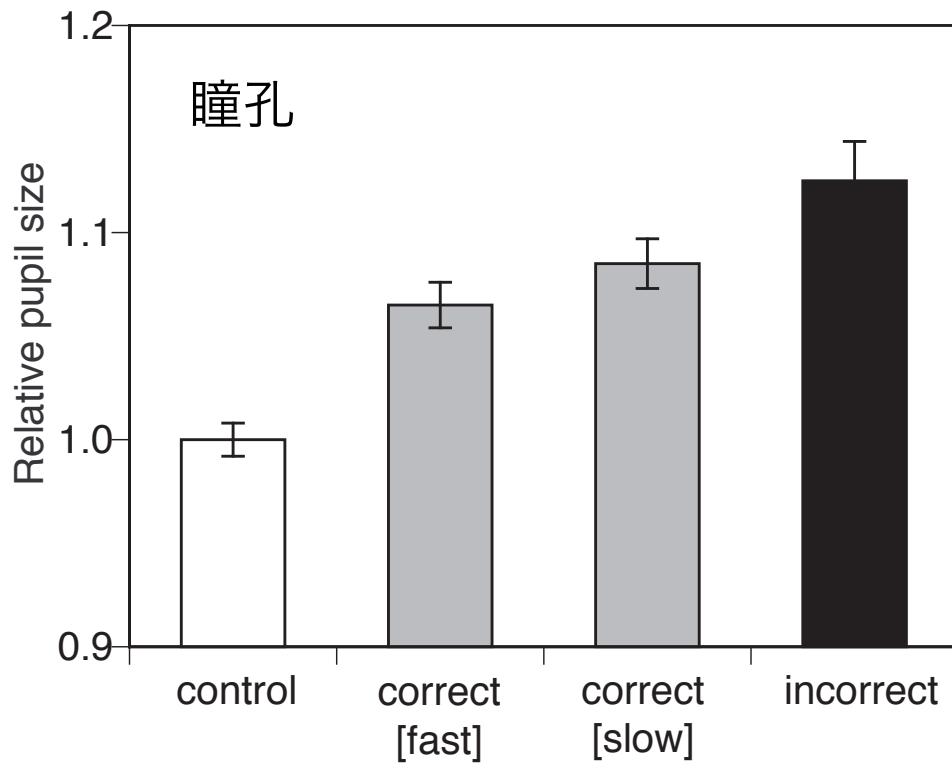
瞳孔径
または
面積



瞳孔と瞬目

- 暗算課題による変化

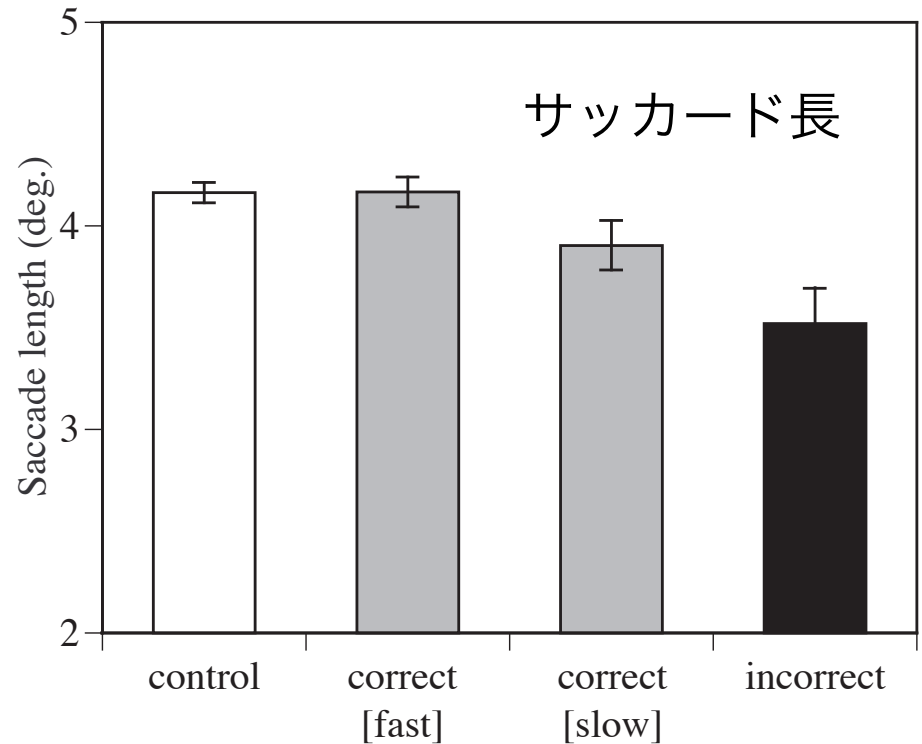
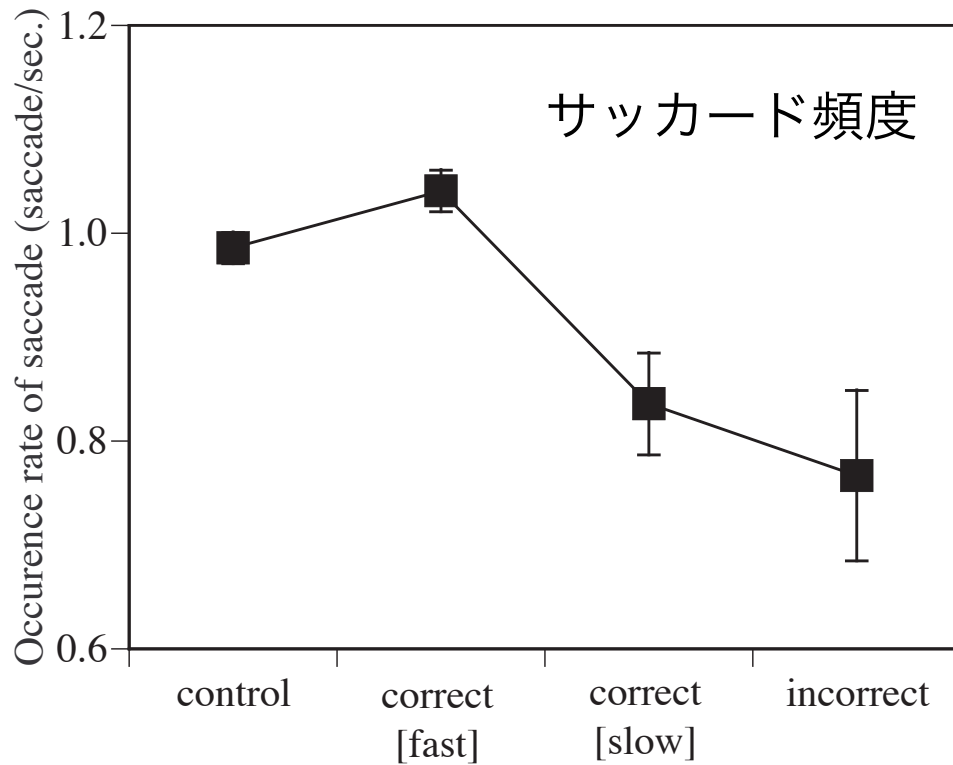
- 課題なし、正答(80.8%：早い、遅い)、誤答



実験条件の要因：1%水準で有意

サッカード情報

- 眼球運動と暗算計算、心的負荷との関係



実験条件の要因：1%水準で有意

点滅頻度の要因も有意に影響

実験課題：[回答]画面

課題01「くだもの」 0:50

果物	品種名1	品種名2	品種名3	品種名4
りんご	マスカット とちおとめ	パレンシア 紅玉	鈴木 巨峰	とよのか マッキン
	デリシャス 福原	あまおう デラウェア	女峰 世界一	ワシントン トッシュ
オレンジ	マスカット とちおとめ	パレンシア 紅玉	鈴木 巨峰	とよのか マッキン
	デリシャス 福原	あまおう デラウェア	女峰 世界一	ワシントン トッシュ
ぶどう	マスカット とちおとめ	パレンシア 紅玉	鈴木 巨峰	とよのか マッキン
	デリシャス 福原	あまおう デラウェア	女峰 世界一	ワシントン トッシュ
いちじ	マスカット とちおとめ	パレンシア 紅玉	鈴木 巨峰	とよのか マッキン
	デリシャス 福原	あまおう デラウェア	女峰 世界一	ワシントン トッシュ

次へ

[確認]画面

課題01「くだもの」 4:22				
果物	品種名1	品種名2	品種名3	品種名4
りんご	福原 戻る	紅玉 戻る	世界一 戻る	マッキントッシュ 戻る
オレンジ	デリシャス 戻る	バレンシア 戻る	鈴木 戻る	ワシントン 戻る
ぶどう	マスカット 戻る	デラウェア 戻る	巨峰 戻る	甲州 戻る
いちご	とちおとめ 戻る	あまおう 戻る	女峰 戻る	とよのか 戻る

[次へ](#)

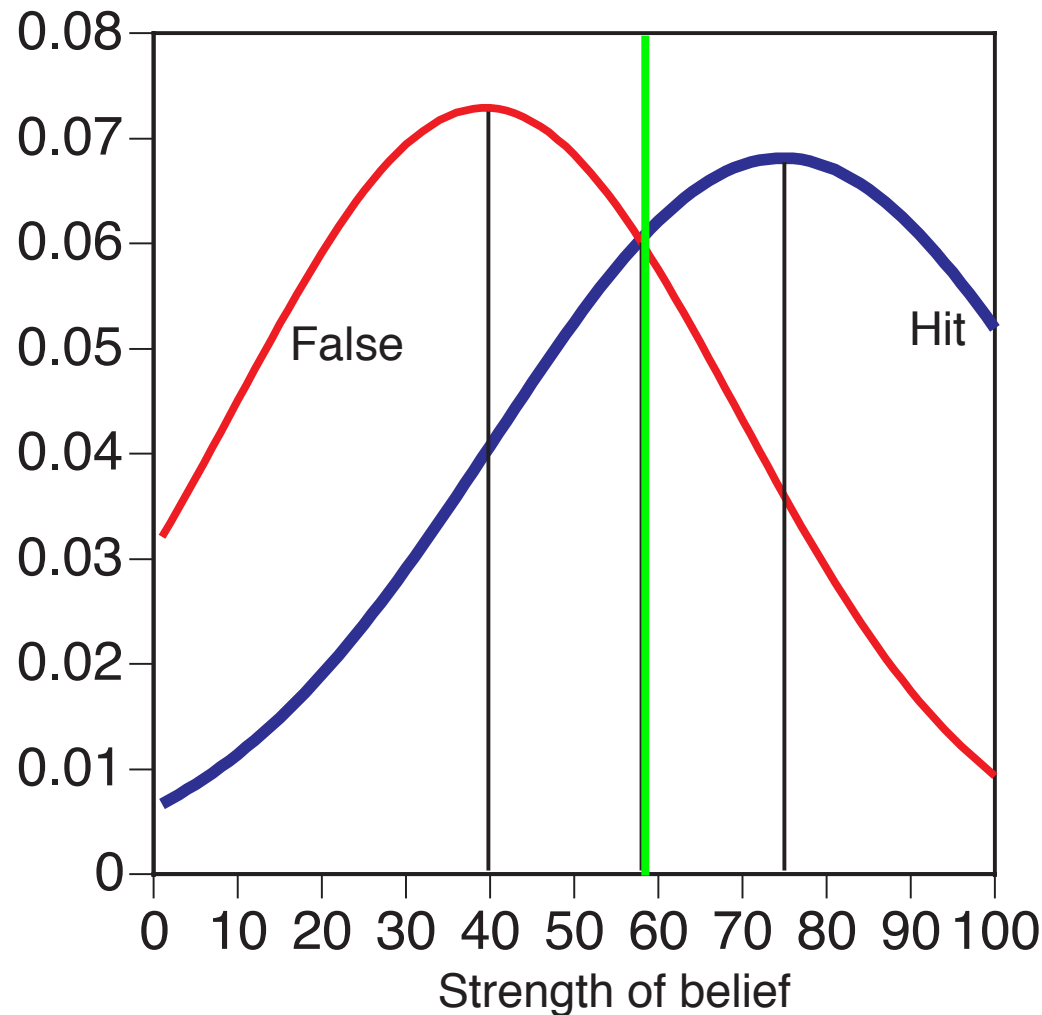
実験手順

- (1)教材の操作練習
 - (2)キャリブレーション
 - (3)[回答]1分間で回答選択
 - (4)[確認]1分間で回答内容の確認
 - (5)必要があれば回答修正
 - (6)回答完了画面を印刷
- 実験後、各回答(4×4)について確信度を記入

被験者5名×3セッション×16問×回答・確認

確信度と正誤

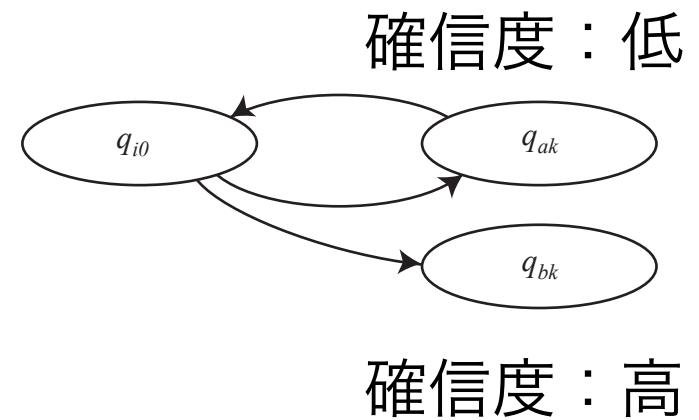
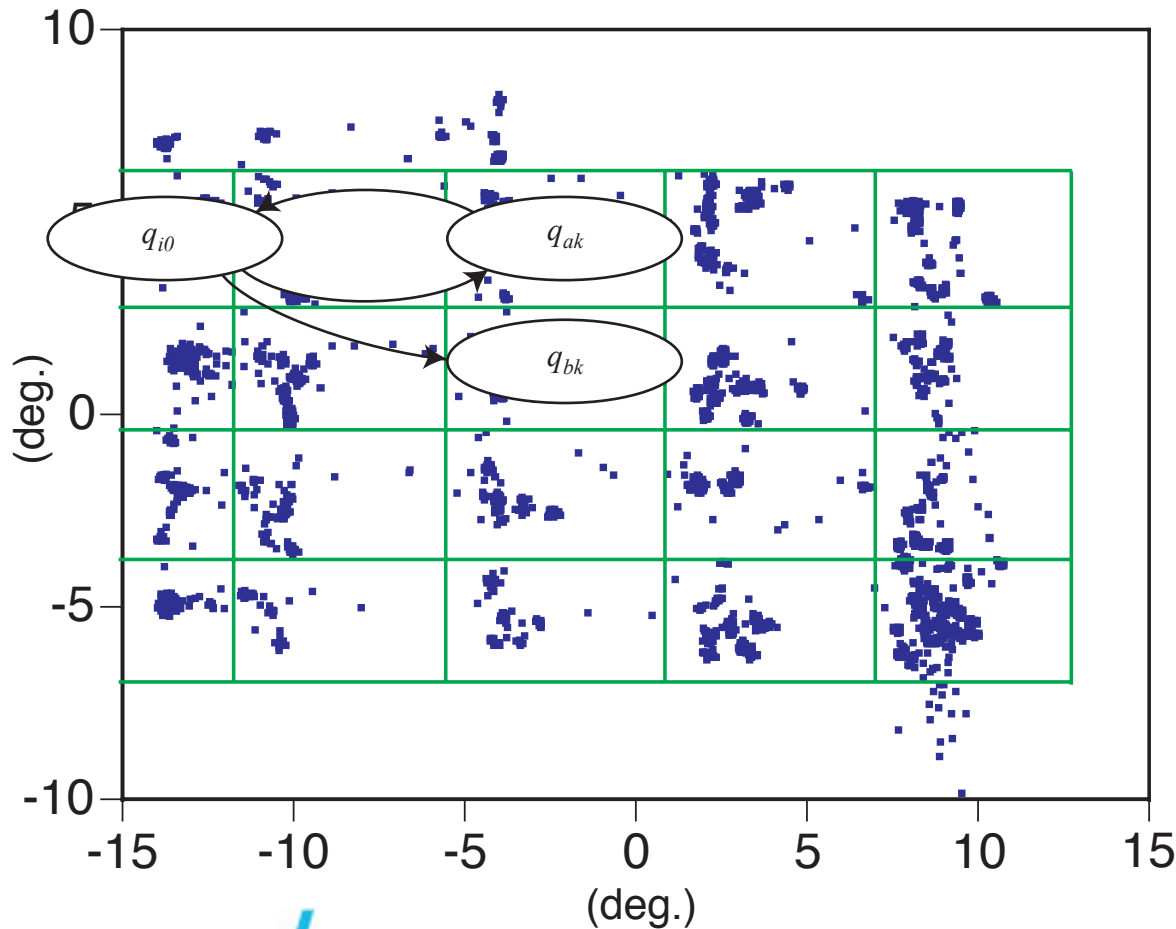
- 正誤における確信度の統計量で分布を推定



確信度の高低
スレシヨルドの決定

scan-pathによる確信度推定

- 回答画面のscan-pathを解釈



確信度高低の判別

被験者報告の2群化

眼球運動による確信度[高]
眼球運動による確信度[低]

被験者回答

確信度[高] 確信度[低]

○	×
×	○

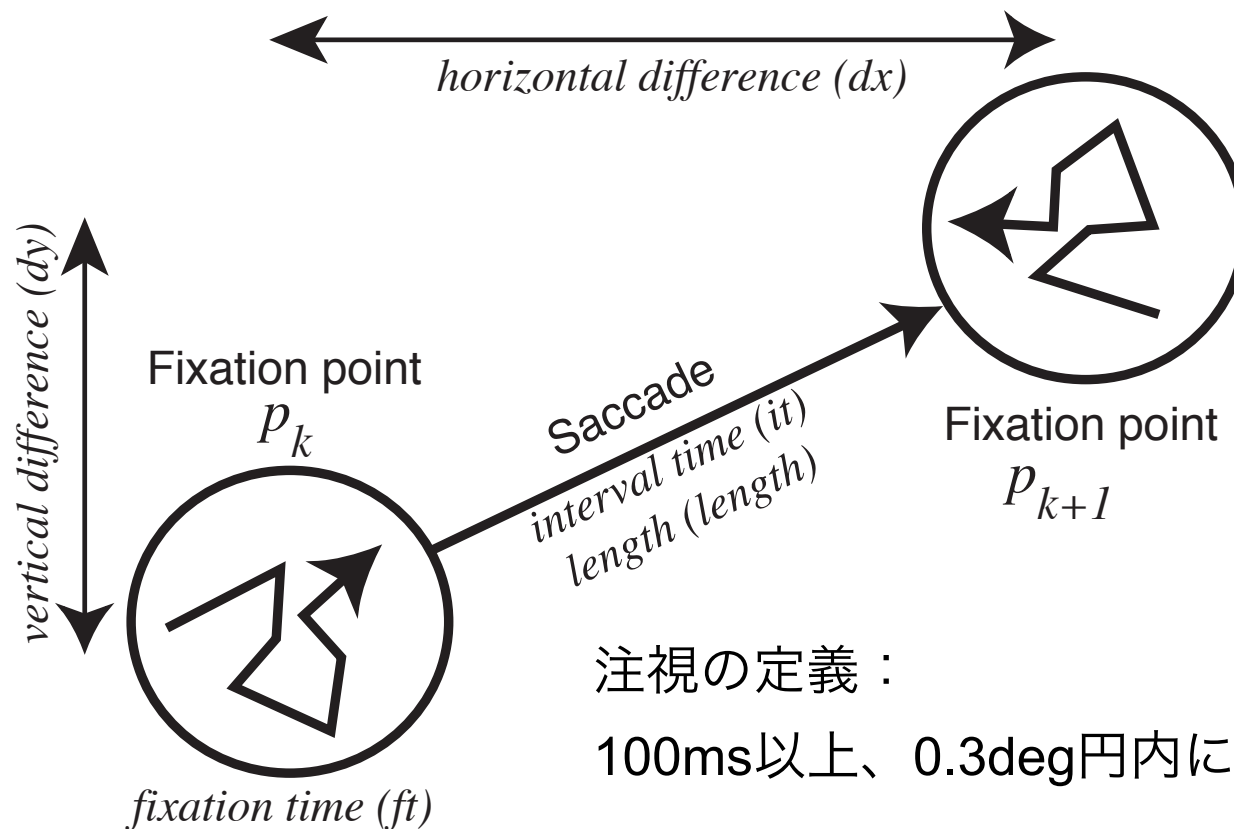
○の和を判別率と定義

判別性能：2群化のThreshold(θ)をパラメータ

判別率68.8% [$\theta=58.0\%$]

眼球運動の特徴量

- 各セルでの特徴量抽出
- 回答、確認での特徴抽出が可能



注視の定義：

100ms以上、0.3deg円内に0.3deg/s以下

眼球運動特徴の差異

- 回答時と確認時、SOBによる差異

- サッカード長

- 視覚探索(3 deg), 黙読(2 deg) [Rayner, 1998]

Components	Answering		Reviewing	
	SOB[High] (N=1274)	SOB[Low] (N=941)	SOB[High] (N=597)	SOB[Low] (N=354)
ft(sec.)	0.15	< 0.16	0.15	0.16
it(sec.)	0.24	0.24	0.70	<< 0.89
dx(deg.)	0.55	>> -.57	0.83	>> -1.59
dy(deg.)	-.02	< 0.20	0.02	0.00
length(deg.)	3.12	>> 2.63	6.74	6.64

t-検定の結果 : <<,>>; p<0.01, <,>; p<0.05

確信度の推定

- 注視点が含まれるセルの確信度
- 注視点から確信度を判別推定
- **特徴情報による2群判別問題**
 - 眼球運動特徴と確信度高低のパターン
 - SVM(Gaussian kernel)によって判別訓練
 - SVMLIB(Chang & Lin, 2001)で最適化
- **判別値の論理和で各セルの確信度を推定**
 - Leave-one-out法によって性能評価

feature vector $V_k(fd, it, dx, dy, length)$

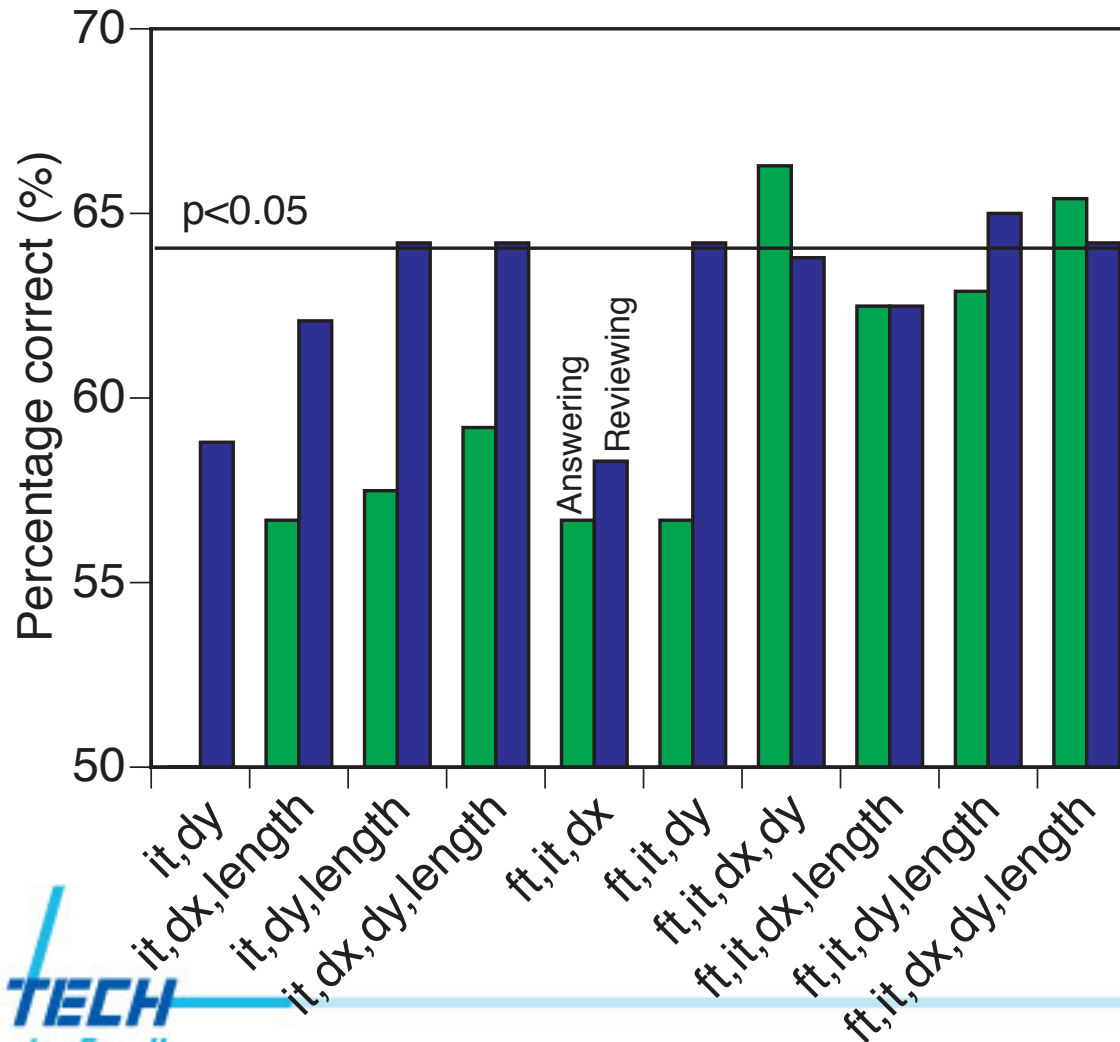
Class of SOB $t_k(high\ SOB, low\ SOB)$

Data set (V_k, t_k)

$\hat{t}_k = G(V_k)$, G : SVM model using Gaussian kernel

判別性能の比較

- 回答、確認ごとに算出



必要な要素
[回答]過程
(*ft, it, dx, dy*)

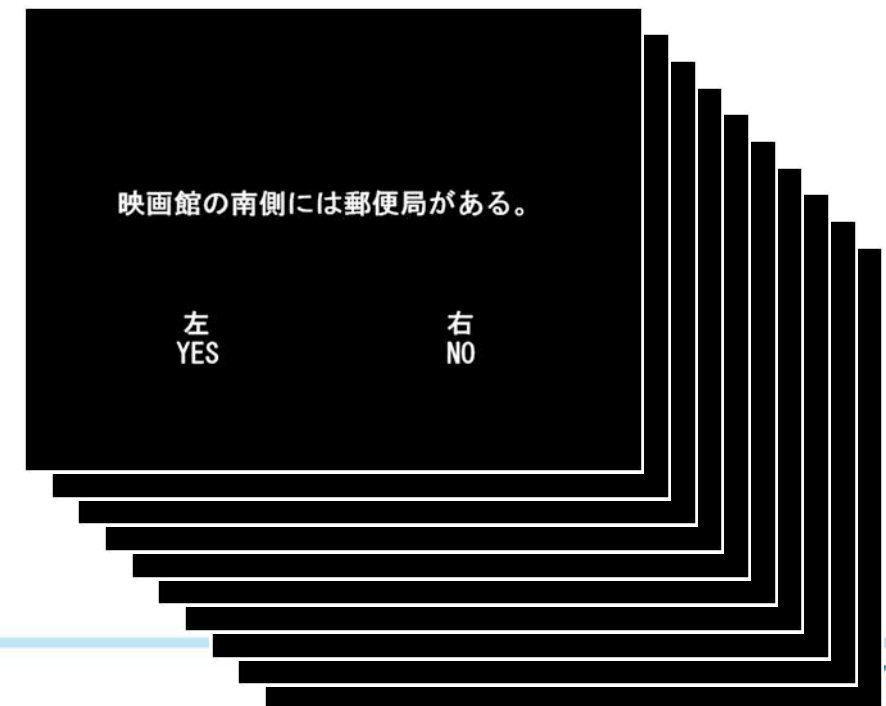
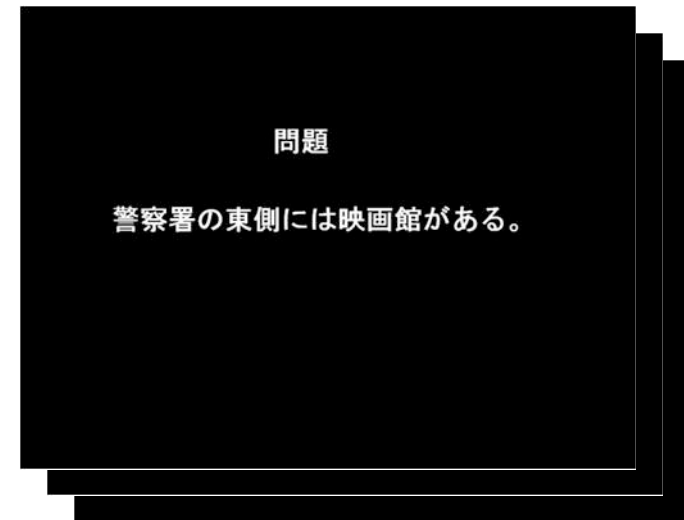
[確認]過程
(*it, dy*)

文脈理解への拡張

- Web情報の文脈理解とユーザ反応の要求
 - Webバナーのクリック: *impression, click through*
 - バナー内容に興味がある時
 - Webでの回答要求
 - help画面の評価要求
 - 「この情報は役立ちましたか？」 (yes/no)
 - オンラインテストイング：選択回答の評価＝能力評価

実験手順

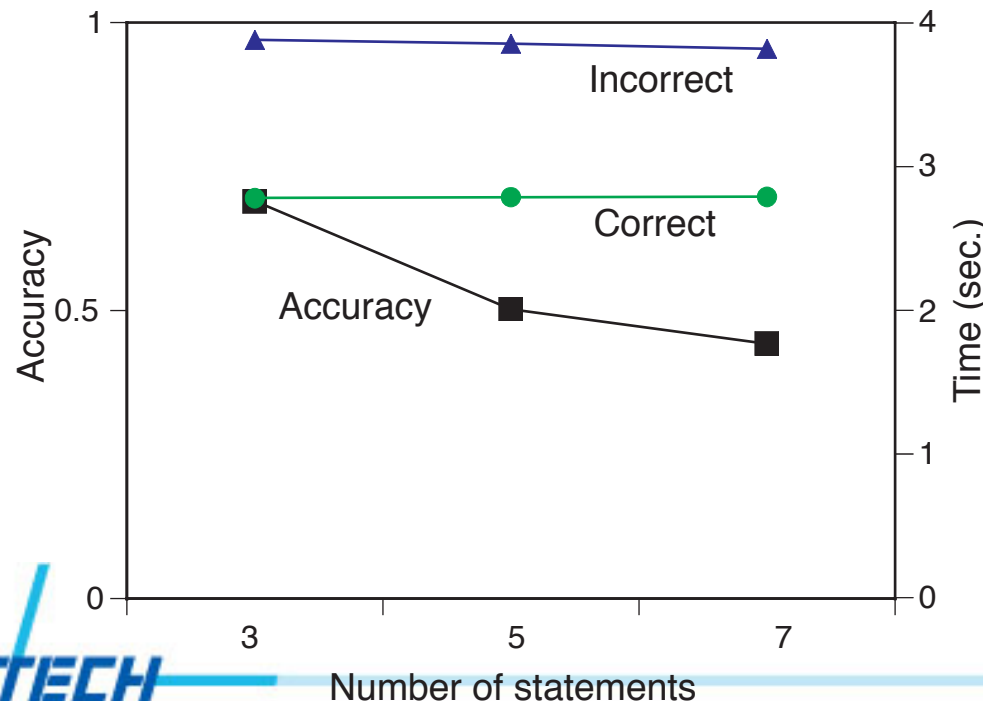
- 定義文の表示
 - 5秒ずつ表示
 - 定義文の数: 3, 5, 7
- 質問文の表示
 - 10問で文脈理解の評価
 - 10秒間、回答時点で消失
 - フィードバックなし
 - 回答後、次の問題へ
- 5セット : (5x10x3=150/人)
 - 6人の被験者



回答正誤と反応時間の結果

- 課題文の数による変化

- 正答(correct+correct rejection)率への有意な影響
 - 3 課題 >> 5、7 課題
 - 回答時間が長い回答は誤答に分類
- 回答時間への影響なし

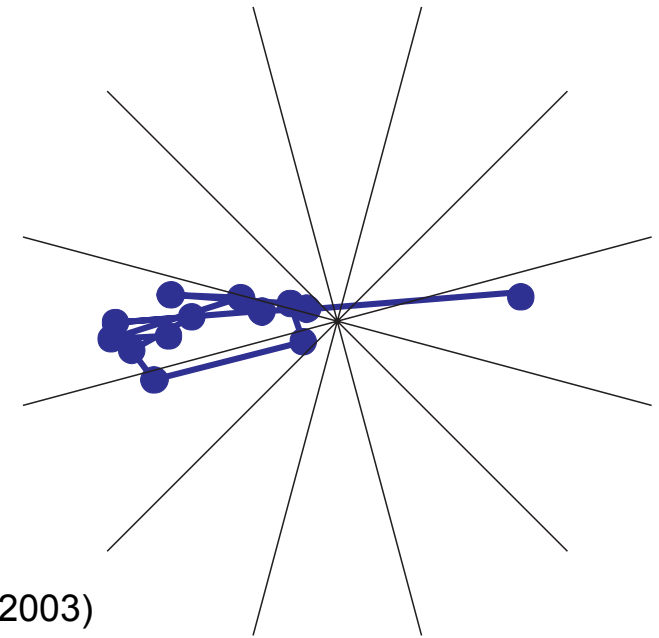


回答時間が正誤に
顕著な影響
特徴情報を単位時間
あたりで評価

眼球運動の2次元特徴

• 読み過程を示すScan-path

- 注視点とサッカーボールの情報
 - スカラー情報(A) (林、中山、2009)
 - ベクトル情報(B) (Nakayama & Takahashi, 2008)
 - ベクトル情報+位置情報 (本報告)
- 特徴の組み合わせ
 - スカラー情報の組み合わせ (Jacob & Karn, 2003)
 - 高次情報の必要性 (Duchowski, 2006)
 - 眼球運動の2次元的特徴化 (Tatler, 2007, 2007)
- 12方位の特徴ベクトルでの検討
 - 注視点 (位置、停留時間)
 - サッカーボール (長さ、時間[フレーム数])



サッカーボール、
注視点の特徴を
12方位で表現

眼球運動の特徴量から正答率予測

- 質問文の正答率によって眼球運動の特徴が変化
 - 定義文の読み過程が正答率に影響すると仮定
 - 眼球運動特徴と正答率の因果関係
- サポートベクトル回帰(SVR)で表現
 - $\mathbf{x}$: 眼球運動特徴、 $f(\mathbf{x})$: 正答率

$$\mathbf{x} \in \{\mathbf{f}_p, \mathbf{f}_d, s_1, s_d\}$$

$$f(\mathbf{x}) = \langle \mathbf{w}, \mathbf{x} \rangle + b$$

予測値と実験値との間の相関係数

- 予測に用いた特徴量による結果

- $f(12)$: 平均注視位置、 $f(24)$: 注視位置と注視時間
- $s(12)$: サッカード長、 $s(24)$: サッカード長、時間

r	注視点		サッカード		両方
課題	$f(12)$	$f(24)$	$s(12)$	$s(24)$	$f(24)s(24)$
3	0.69	0.64	0.33	0.47	0.61
5	0.57	0.59	0.62	0.66	0.66
7	0.52	0.51	0.36	0.54	0.54
全体	0.48	0.47	0.33	0.47	0.50

質問文の眼球運動による回答正誤推定

- **SVMによる正誤判別**

- 被験者ごとのLeave-one-out法で評価
- 特徴量の組み合わせ(12から48次元で検討)
- LIBSVM、Gaussian Kernelで最適化と判別

注視点(12+12)+サッカード(12+12)での結果

Subject Response	Estimation		Total
	Correct	Incorrect	
Correct	158	49	207
Incorrect	25	68	93
Total	183	117	300

課題文数: 3
正判別率=76.3%
(158+68)/300
(sig. $p < 0.05$)

特徴量の組合せによる性能比較

- 注視点とサッカードの組み合わせ比較
 - 従来法：Aの場合(Accuracy:54.3, AUC:0.41)
 - ：Bの場合(Accuracy:53.2, AUC:0.72)

	Accuracy		
特徴情報	f(12)s(12)	f(12)s(13)	f(24)s(24)
3	76.0	75.7	76.3
5	66.7	68.7	70.7
7	68.3	67.7	68.7
平均	70.3	70.7	71.9

	AUC		
特徴情報	f(12)s(12)	f(12)s(13)	f(24)s(24)
3	0.83	0.84	0.83
5	0.75	0.76	0.76
7	0.77	0.78	0.78
平均	0.78	0.79	0.79

時系列推定への拡張

- 回答選択の時系列的な変化を仮定

- 正答、誤答となる状態変化

- 正答：確信度が高い(Certainty)
- 誤答：確信度が低い(Uncertainty)

- 眼球運動によって状態変化を予測

- 隠れマルコフモデルで検討
- 眼球運動のシンボル出力を定義(saccade, fixation)

$$O = \{o_1 o_2 o_3 \cdots o_N\}$$
$$o_k = "s" : saccade \vee "f" : fixation, k \in \mathbb{Z}^+$$
$$N = T \times 60 - 1, T : sampling\ time(sec.)$$

時系列正誤推定

- 隠れマルコフモデルのパラメタ推定

- Baum-Welchアルゴリズムで最適化
- Forwardアルゴリズムで眼球運動サンプリングに対応
 - Certainty:正答、Uncertainty:誤答として予測精度の評価

定義文数=3	予測	
	Certainty	Uncertainty
正答	242	41
誤答	9	8

550 msec

ま と め

- **眼球情報による課題回答の分析**
 - 課題の難易度による眼球情報変化
 - 確信度の推定、回答正誤の予測、判別過程の分析
- **今後の課題**
 - 予測精度の向上
 - 学習やコミュニケーションの支援の構築
 - 入力や操作の支援など、動作的な支援
 - 文脈的な理解に基づく支援

研究協力者

高橋 功次(人間行動システム専攻2000年度修了)

高橋 佳行(制御システム工学科2005年度卒業)

林 裕子(人間行動システム専攻2008年度修了)

高橋 直也(人間行動システム専攻2011年度修了)