

令和 4 年 4 月 23 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03095

研究課題名（和文）協調学習における学習者の非言語動作と協調性の関係解明に関する研究

研究課題名（英文）A study on elucidation of the relationship between nonverbal behavior of learners and cooperation in collaborative learning

研究代表者

渡邊 栄治 (Eiji, Watanabe)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：20220866

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：対面における協同学習を対象として、学習者の非言語動作と協調性の関係を抽出するための手法を構築した。具体的には、(i) 画像処理およびメガネ型デバイスによる非言語動作の検出手法、(ii) 非言語動作に対する学習者間の相互作用を表現するための時系列モデルを構築した。さらに、時系列モデルにおけるパラメータと学習者間の協調性の関係を明確にするための手法を構築し、実験によりそれらの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

協調学習の目的は、授業に対する学習者の理解を深めつつ、グループとしての協調性を高めることである。しかしながら、教員が即時にかつ定量的に多数のグループの協調性を把握することは困難である。本課題では、(i) 非言語動作の検出手法の構築、(ii) 非言語動作に対する時系列モデルの構築、(iii) 時系列モデルにおけるパラメータと協調性の関係を抽出するための手法の構築などの成果を得ており、これら研究成果は協調学習の自動的な評価に応用可能である。

研究成果の概要（英文）：For face-to-face collaborative learning, we constructed methods for extracting the relationship between nonverbal behaviors of learners and cooperation. Specifically, we constructed (i) methods for detecting non-verbal motion using a glasses-type device and/or image processing, and (ii) a time-series model for expressing the interaction between behaviors of learners. Furthermore, we constructed a method to clarify the relationship between the parameters in the time series model and the cooperation between the learners, and confirmed their effectiveness by experiments.

研究分野：行動分析

キーワード：協調学習 学習者 非言語動作 協調性 相互作用

### 1. 研究開始当初の背景

「協調学習」は、知識の give and take だけでなく、コミュニケーション能力の育成にも有効である。文献 (D. W. ジョンソン他 (著), 石田 裕久他 (翻訳), 学習の輪, 二瓶社, 2010) によれば、**協調学習を効果的にする基本要素**として、「互恵的な協力関係」、「個人の役割責任」、「促進的な相互作用」、「社会的スキル」、「グループによる改善手続き」を挙げている。

しかしながら、「1 人または少人数の教員が、複数のグループにおける上記の基本要素を正確に評価できるのか?」という根幹的な疑問が生じる。現状では、「テストによる理解度の事後評価」や「アンケートによる協調性の事後評価」以外に評価する方法がない状況である。したがって、協調学習における目的達成には、「リアルタイムにかつ定量的な学習者の理解度や協調性の把握」が重要な課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、図 1 に示すように、協調学習を対象として、学習者の非言語動作を定量的に抽出し、抽出した非言語動作と協調性の関係を明確にすることである。

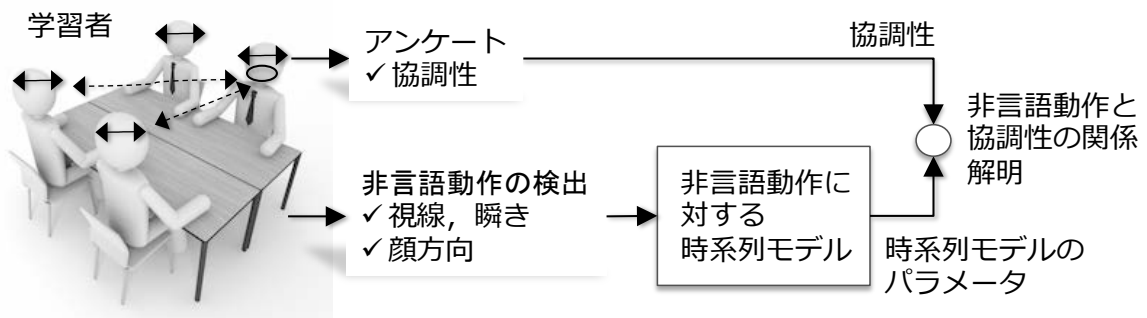


図 1: 本研究課題における研究目的 (協調学習における学習者の非言語動作と協調性の関係解明)

この研究目的を達成するためのサブゴールは、(i) 視覚センサーや画像処理による学習者の非言語動作の検出手法の構築、(ii) 検出した非言語動作に対する時系列モデルの構築、(iii) 時系列モデルにおけるパラメータとアンケートに基づいた協調性との関係解明である。ここで、アンケートにおける協調性の評価項目は、「他の学習者に教えた度合い」、「他の学習者から教えてもらった度合い」などに関するものとする。

### 3. 研究の方法

#### (i) 視覚センサーや画像処理による学習者の非言語動作の検出：

「協調学習」では、「教える/教わる」役割を交代しながら、当該の内容を教え合う。その際に、理解度や協調性が「話す/聞く/書く」などの動作に表出されることから、変動する学習者の非言語動作を定量的に検出する必要がある。ここでは、図 2 に示すように、視覚センサーやカメラにより、学習者の非言語動作 (視線や顔などの動き) を検出するための画像処理手法などを構築する。

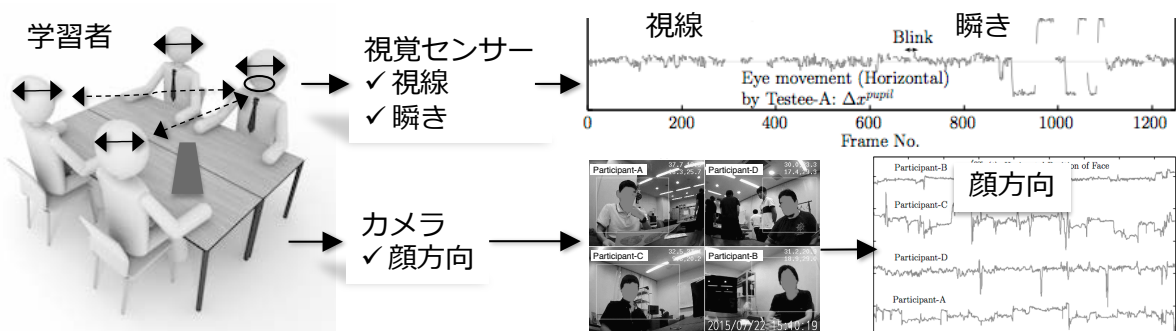


図 2: 視覚センサーや画像処理による学習者の非言語動作の定量的な検出

**(ii) 非言語動作に対する時系列モデルの構築：**

本サブテーマでは、検出された学習者の非言語動作（瞬き、視線、顔の向き）の特徴を定量的に把握するために、階層型ニューラルネットワークにより非言語動作に対する時系列モデルを構築する。

まず、各学習者の非言語動作（瞬き、視線、顔の向き） $x(t)$  に対する時系列モデルとして、非言語動作における非線形性を考慮して、次式のような時系列モデルを導入する。具体的には、このモデルは、図3に示すように、階層型ニューラルネットワークにより実現できる。

$$x(t) = \sum_{j=1}^H w_j h_j(t) + e(t) = \sum_{j=1}^H w_j f \left( \sum_{\ell=1}^L b_{j\ell} x(t-\ell) \right) + e(t) \quad (1)$$

ここで、 $e(t)$  は平均 0、分散  $\sigma^2$  の正規分布に従う白色雑音である。また、 $H$  は中間層ユニット数、 $L$  は入力層ユニット数である。さらに、 $h(t)$  は中間層ユニットの出力値、 $w_j$  は中間層と出力層間の荷重係数値、 $b_{j\ell}$  は入力層と中間層間の荷重係数値、 $f(\cdot)$  はシグモイド関数である。なお、荷重係数値  $w_j, b_{j\ell}$  は誤差逆伝搬学習法により獲得される。

つぎに、(1) 式により、各学習者の非言語動作  $x(t)$  が精度良くモデル化できた場合、(1) 式の係数  $b_{j\ell}$  に着目することにより、各学習者の非言語動作の特徴（話す/聞く動作の割合など）を抽出することができる。例えば、教える度合いや教わる度合いが少ない場合は、視線や顔の動きが小さくなり、協調性が低いと判断できる。このような非言語動作の変動が、係数  $b_{j\ell}$  によって評価できる。

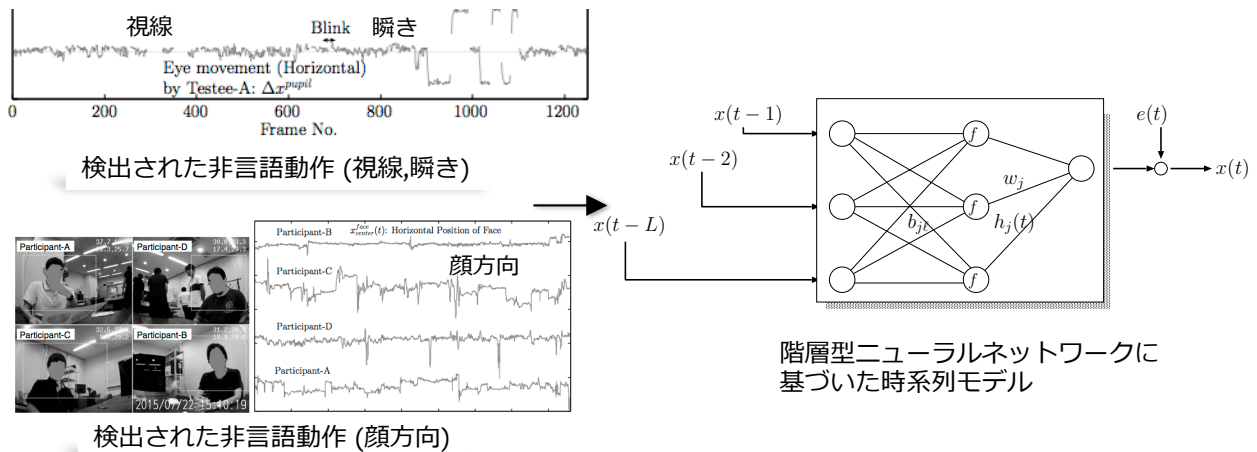


図 3: 検出された非言語動作に対する時系列モデル

**(iii) 時系列モデルにおけるパラメータと協調性との関係説明：**

本サブテーマの目的は、学習者の非言語動作と協調性の関係を明確にすることである。

(ii) で述べたように、時系列モデルにおけるパラメータ  $b_{j\ell}$  および  $w_j$  には、学習者の非言語動作（瞬き、視線、顔の向き）の特徴が表れる。したがって、学習者の協調性（教える/教わる度合い）が非言語動作に表出されることから、「非言語動作を特徴付けた時系列モデルにおけるパラメータ」と「アンケートによる協調性」の関係を照合することにより、学習者の非言語動作と協調性の関係が明確になる。さらに、この関係に基づいて、学習者の非言語動作から協調性を推定することが可能となる。

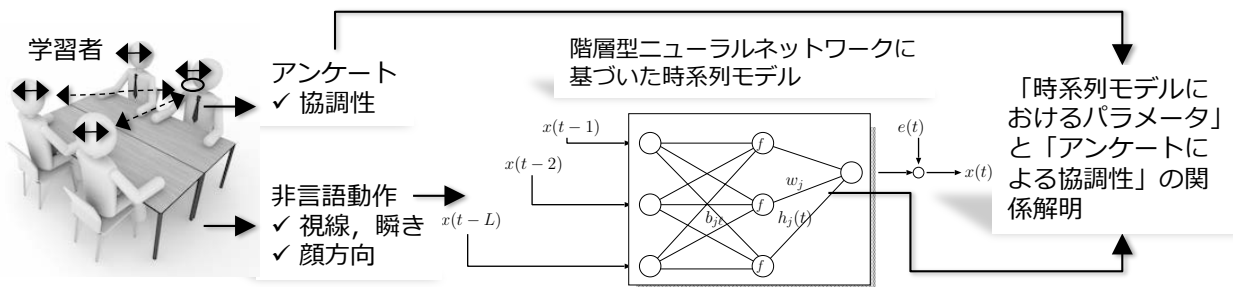


図 4: 時系列モデルにおけるパラメータと協調性との関係説明

#### 4. 研究成果

Eiji Watanabe, Takashi Ozeki and Takeshi Kohama, Modeling of Non-verbal Behaviors of Students in Cooperative Learning by Using OpenPose, Proceedings of 25th International Conference on Collaboration Technologies, 12 pages, 2019.

- (a) 学習者の非言語動作の検出: OpenPose (<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>) により, ホワイトボードの前に立ち, 説明を行う学習者および机の周りに着席した学習者の部位を検出し, 検出した部位に基づいて非言語動作を検出した.

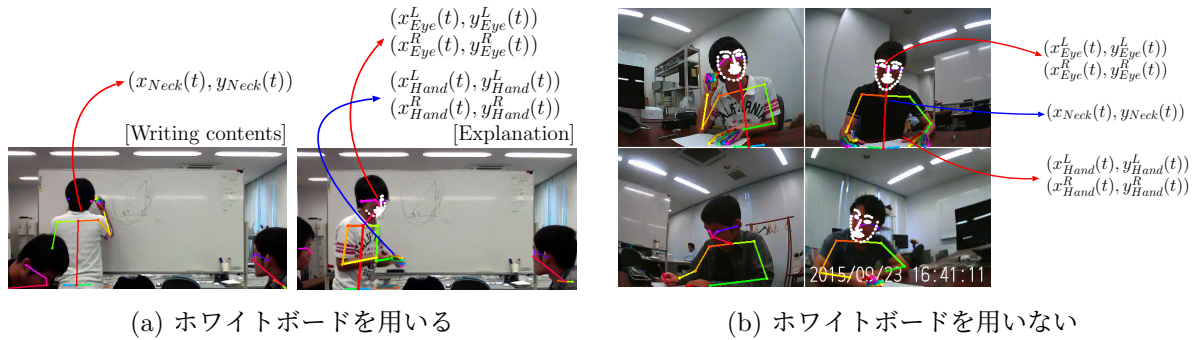


図 1: 協同学習における学習者の部位の座標と非言語動作の検出

- (b) 学習者の相互作用のモデリング:

$$x_{m,i}(t) = f \left( \sum_{j=1}^J \alpha_{m,i,j} h_{m,j}(t-\ell) \right) + e(t), \quad (2)$$

ここで,  $i$  および  $k$  は, 学習者番号 ( $i = 0$ : ホワイトボードの前に立つ学習者,  $i = 1, \dots, P$ ): テーブルの周りに着席している学習者) を表す. また,  $\alpha_{m,i,j}$  は,  $i$  番目の学習者の動作が  $j$  番目の学習者の動作から受ける影響を,  $w_{n,j,k,\ell}$  は学習者の動作における時間的な相関を表している.

- (c) 学習者の相互作用における重要な因子の抽出: 学習者の動作に対する特徴量  $x_{m,i}(t)$ ,  $x_{n,k}(t-\ell)$  が相互に及ぼす影響を微係数によって評価した.

$$\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)} = x'_k(t) \sum_{j=1}^J \sum_{\ell=1}^L \alpha_{m,i,j} w_{m,j,k,\ell} h'_{m,j}(t-\ell), \quad (3)$$

さらに, 学習者間の相互作用を評価するために, 微係数  $\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)}$  に基づいた指標  $\Delta_{k,i}$ ,  $\Delta_m$  を導入し, 実験結果より, 指標  $\Delta_{k,i}$  により学習者の相互作用の強さを表現できることを確認した.

渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛, ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第 5 報), 電子情報通信学会技術報告, LOIS2021-10, pp. 60–65, 2021.

- (a) 学習者の非言語動作および唇の開閉の検出: OpenPose により, 机の周りに着席した学習者の部位を検出し, 検出した部位に基づいて非言語動作を検出した. さらに, 学習者の発話のタイミングが他の学習者の動作に影響を及ぼすことから, OpenPose によって検出された部位に基づいて, 唇の開閉を検出するための手法を構築した.
- (b) 発話のタイミングを考慮した学習者の相互作用のモデリング: (2) 式により, 学習者の頭部の動きに加えて唇の開閉も対象として, 次式により学習者の動作における相互作用のモデリングを行なった.

$$x_{m,i}(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^P \alpha_{m,i,m,j} h_{m,i,n,j}(t) + e(t), \quad (4)$$

ここで,  $i$  および  $j$  は学習者を,  $m$  および  $n$  は特徴量を,  $\ell$  は時間遅れを表す. また,  $w_{m,i,n,j,\ell}$  は, 動作の特徴量における時間的な相関を, 係数  $\alpha_{m,i,n,j}$  は,  $i$  番目の学習者の  $m$  番目の動作の特徴量が  $j$  番目の学習者の  $n$  番目の動作の特徴量から受ける影響を表す.



- (c) 学習者の相互作用における重要な因子の抽出：実験結果より、(4) 式における係数  $\alpha_{m,i,n,j}$  に着目すると、(a) 全ての学習者において、頭部の動きに関する係数が大きい (相互作用に対する影響が大きい)、(b) 唇の開閉に関する係数に着目した場合、発言回数の多い学習者の唇の開閉に関する係数が大きいことが示された。

渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛, 小規模な協同学習における学習者の動作の分析 (第 1 報), 情報処理学会技術報告, DC-117-2, 6 pages, 2020.

- (a) 学習者の非言語動作の検出：OpenPose およびメガネ型デバイスにより、学習者の部位を検出し、検出した部位に基づいて非言語動作を検出した。図 2 に、OpenPose およびメガネ型デバイスによる学習者の非言語動作 (顔方向) の検出結果を示す。

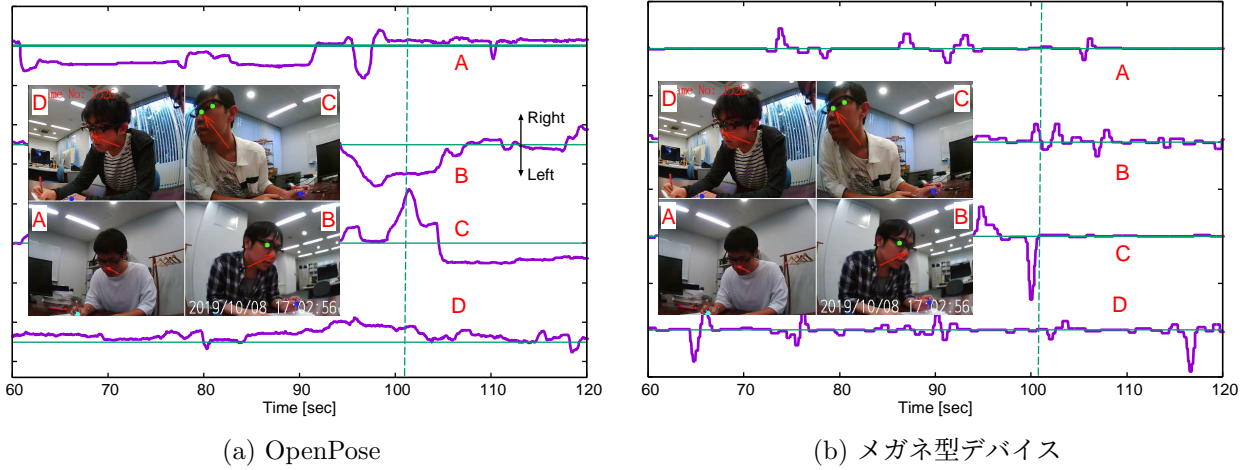


図 2: OpenPose およびメガネ型デバイスによる学習者の非言語動作の検出

- (b) 学習者間の相関の抽出：協同学習において、与えられた課題に対する進捗状況やグループ内の協調性が、各学習者の動作に影響を及ぼす。ここでは、学習者間において類似した動作が生じることから、学習者の類似性に着目することにより、各グループにおける包括的な動特性を把握することを検討した。具体的には、学習者の顔方向や顔の動きに対する特徴量に対して、学習者間の相関係数を算出し、相関係数に基づいて学習者間の類似性を評価した。

まず、同一のグループにおける  $i$  番目および  $j$  番目の学習者の動作における OpenPose による特徴量  $\mathbf{q}_i^{\text{OP}}(t)$  および  $\mathbf{q}_j^{\text{OP}}(t)$  の間に生じる同期現象を、次式の余弦  $\cos_{i,j}^{\text{OP}}(t + \tau)$  により定量化した。

$$\cos_{i,j}^{\text{OP}}(t + \tau) = \frac{\mathbf{q}_i^{\text{OP}}(t) \cdot \mathbf{q}_j^{\text{OP}}(t + \tau)}{|\mathbf{q}_i^{\text{OP}}(t)| |\mathbf{q}_j^{\text{OP}}(t + \tau)|} \quad (5)$$

同様に、同一のグループにおける  $i$  番目および  $j$  番目の学習者の動作における J!NS MEME による特徴量  $\omega_i^{\text{JM}}(t)$  および  $\omega_j^{\text{JM}}(t)$  の間に生じる同期現象を、次式の余弦  $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t + \tau)$  により定量化した。

$$\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t + \tau) = \frac{\omega_i^{\text{JM}}(t) \cdot \omega_j^{\text{JM}}(t + \tau)}{|\omega_i^{\text{JM}}(t)| |\omega_j^{\text{JM}}(t + \tau)|} \quad (6)$$

つぎに、同一グループ内における第  $i$  番目および第  $j$  番目の学習者の動作 (OpenPose および J!NS MEME により検出された) の類似度を定量化した余弦  $\cos_{i,j}^{\text{OP}}(t + \tau)$  および  $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t + \tau)$  に基づいて、第  $g$  グループにおける学習者の包括的な類似度を、以下の指標  $R_g^{\text{OP}}(\tau)$  および  $R_g^{\text{JM}}(\tau)$  により評価した。

$$R_g^{\text{OP}}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \cos_{i,j}^{\text{OP}}(t + \tau), \quad R_g^{\text{JM}}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \cos_{i,j}^{\text{JM}}(t + \tau) \quad (7)$$

ここで、 $N$  は学習者の組み合わせの総数を表す。指標  $R_g^{\text{OP}}(\tau)$  および  $R_g^{\text{JM}}(\tau)$  に基づくことにより、グループ内の類似度およびグループ間の類似度の比較を評価できることを実験結果により確認した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Watanabe Eiji, Ozeki Takashi, Kohama Takeshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Analysis of Holistic Interactions Between Lecturers and Students in Lectures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of AIED 2019	6. 最初と最後の頁 309 ~ 313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-23207-8_57	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Ozeki, Eiji Watanabe	4. 巻 1
2. 論文標題 Analysis of the Behavior of Students Considering Privacy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Eiji Watanabe, Takashi Ozeki and Takeshi Kohama	4. 巻 1
2. 論文標題 Modeling of Non-verbal Behaviors of Students in Cooperative Learning by Using OpenPose	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 25th International Conference on Collaboration Technologies	6. 最初と最後の頁 191-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-28011-6_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Eiji Watanabe, Takashi Ozeki and Takeshi Kohama	4. 巻 1
2. 論文標題 Modeling of Behaviors of Participants in Meetings for Decision Making	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2019	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Eiji Watanabe, Takashi Ozeki and Takeshi Kohama	4. 巻 1
2. 論文標題 Modeling the Behaviors of Participants in Meetings for Decision Making Using OpenPose	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Interactive Collaborative Learning 2019	6. 最初と最後の頁 27-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-40274-7_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 小規模な協同学習における学習者の動作の分析 (第1報)
3. 学会等名 情報処理学会DC研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 小規模な協同学習における学習者の動作の分析 (第2報)
3. 学会等名 情報処理学会 GN Workshop
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第4報),
3. 学会等名 電子情報通信学会LOIS研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 講演における聴講者の動作の分析 (第3報)
3. 学会等名 電子情報通信学会LOIS研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 ビデオ講義を対象とした学習者のノートテイング動作の分析 (第3報),
3. 学会等名 電子情報通信学会ET研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第3報)
3. 学会等名 教育システム情報学会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 講義や自習における学習ログの分析
3. 学会等名 電子情報通信学会LOIS研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 渡邊 宋治, 尾関 孝史, 小濱 剛, 浜野 裕希, 吉田 賢史
2. 発表標題 講義における講師と受講者の相互作用の分析 (第4報)
3. 学会等名 電子情報通信学会MSS研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 宋治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第5報)
3. 学会等名 電子情報通信学会LOIS研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊 宋治, 尾関 孝史, 小濱 剛
2. 発表標題 ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第6報)
3. 学会等名 電子情報通信学会ET研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

甲南大学 知能情報学部 渡邊研究室  
<http://we-www.is.konan-u.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	尾関 孝史  (Ozeki Takashi)  (40299300)	福山大学・工学部・教授    (35409)	
研究 分 担 者	小濱 剛  (Kohama Takeshi)  (90295577)	近畿大学・生物理工学部・准教授    (34419)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関