

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12890

研究課題名(和文) 懐に入り込むための瞳孔反应用いた親近性を促進させるペットロボットの開発

研究課題名(英文) Development of a pet robot that promotes intimacy using the pupil response for close rapport

研究代表者

瀬島 吉裕 (Sejima, Yoshihiro)

関西大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：40584404

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ペットロボットへの親しみや安心感等を獲得・促進させる、いわゆる“懐に入り込む”ための設計指針を得ることを目指している。そこで、Analysis(瞳孔反応がもたらす印象形成の解析)とDesign(新奇性と親近性を組み込んだ瞳孔反応システムの開発・評価)のアプローチによる研究開発を進めた。Analysisでは、瞳孔の大きさそのものがもたらす印象を因子分析により解析した。Designでは、上記のAnalysisにて得られた知見を適用させるとともに、新奇性をもたらす仮想照明による感情表現法を開発し、親近性と新奇性を組み合わせた表現により、人とのかかわりが強まることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、瞳孔がもたらす印象形成を解析し、親近性と新奇性の両側面に対する特徴を有することや、それらの関係がトレードオフにあることを示した。さらに、親近性をもたらす瞳孔反応に加え、仮想照明による新奇性を表現することで、人の興味を惹きつける効果があることを確認した。これらの成果は、これまでの認知心理学やヒューマン・ロボット・インタラクション領域の知見を拡充させるだけでなく、人とかかわる人工物設計の重要な指針となり、学術的意義が極めて大きい。さらに、本研究で得られた成果は、医療福祉分野だけでなく、カウンセリングや教育・エンタテインメント分野への波及が可能であり、社会的意義が極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to obtain a guideline for so-called "getting into the bosom" communication design that acquires and promotes a sense of familiarity and relief with pet robots. Therefore, we proceeded with two approaches: "Analysis" to analyze impression formation by pupil size, and "design" to develop and evaluate a communication system based on pupil responses that incorporate novelty and familiarity. In the "Analysis" process, we analyzed the impression caused by pupil size itself by factor analysis using two different communication media. In the "Design" process, we applied the knowledge obtained from the above analysis and developed an affective expression method using virtual lighting. The effectiveness of the proposed method was confirmed by sensory evaluations. Through these approaches, we obtained guidelines for communication design for promoting familiarity.

研究分野：感性ロボティクス

キーワード：ヒューマン・ロボット・インタラクション 親近性 新奇性 非言語コミュニケーション ロボットセラピー ソーシャルロボティクス ソーシャルシグナル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者における介護認定の利用者数が増加している。厚生労働省の統計によると、2030年には要介護者数が900万人を超えると推計されている。この対策として労働力・技術力を拡充することを目的に、介護ロボットの重点開発支援分野が策定された。その中に、「コミュニケーション機能」が求められている。この機能は、ペットの外観を持つ介護用ロボット（以下、ロボット）が被介護者の状況を把握し、自立支援を促す仕組みとして期待されている。しかしながら、現状のロボットは、予め設計された振舞いに従って行動しているため、単調な反応の繰り返しにより被介護者が飽きてしまうことが大きな問題となっている。これは、現状のロボットの行動デザインが物珍しさ等の新奇性によるアプローチがほとんどで、親しみや安心感等を獲得・促進させる、いわゆる“懐に入り込む”仕組みが設計されていない。

研究者代表者は、好印象を与える瞳孔反応に着目して、コミュニケーション時における瞳孔反応を表現するシステムを開発し、瞳孔反応が親近感の増加に関連することを確認してきた。これは、瞳孔反応が情動伝達メディアとして機能している可能性を示しており、瞳孔反応から親しみやすさという感覚的な指標の数値化ができると期待される。そのため、親しみやすさに基づく“懐に入り込む仕組み”が設計されれば、人との関係性を深化させる人工物設計等、人とかかわる基盤技術として応用展開が期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまで開発してきた瞳孔反応ロボットのプロトタイプを応用展開して、瞳孔反応の表現により好印象なコミュニケーションを積極的に促し、親しみやすさや安心感を強めるペットロボットのコミュニケーション基盤を構築する。このロボットは、ユーザからの発話に応じて、かわりを促すように好意的な情動表現する。とくに、新奇性と親近性を組み合わせた瞳孔反応のコミュニケーションデザインにより、懐へ入り込むための設計指針を得る。

## 3. 研究の方法

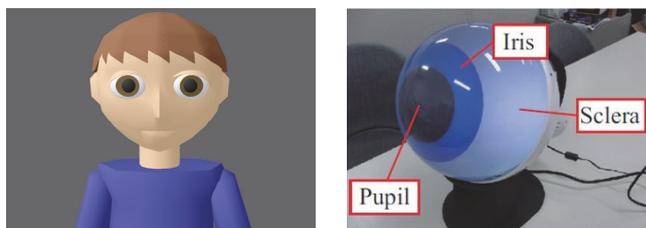
本研究では、ペットロボットへの親しみや安心感等を獲得・促進させる、いわゆる“懐に入り込む”ための設計指針を得るために、コミュニケーション時の無意識的な視線行動、中でも瞳孔反応に着目して、親しみや安心感等の親近性を強めるコミュニケーションをデザインする。この親近性促進コミュニケーションを構築するために、本研究では「Analysis（瞳孔反応がもたらす印象形成の解析）」と「Design（新奇性と親近性を組み込んだ瞳孔反応システムの開発・評価）」の両アプローチによる研究開発を進めた。具体的には、Analysisでは、瞳孔の大きさそのものがもたらす印象を因子分析により解析した。また、Designでは、上記のAnalysisにて得られた知見を適用させるとともに、新奇性をもたらす仮想照明による感情表現法を開発し、親近性と新奇性を組み合わせた表現により、人とかかわりが強まることを確認した。

## 4. 研究成果

### (1) 瞳孔の大きさがもたらす印象形成の解析

ロボットへの親近性を高めるためには、インタラクションに応じた瞳孔反応の拡大・縮小の制御が重要であるものの、瞳孔の大きさそのものが人へもたらす印象については明らかではなかった。先行研究における瞳孔の大きさに対する印象評価では、人物の顔画像を刺激としていることから、人物の虹彩や瞼形状に依存して瞳孔の大きさを加工する必要があるため、極端な瞳孔の大きさに対する検討は不十分であった。加えて、瞳孔の大きさのみを評価しようとしても、眼球以外の人物の口や鼻、眉毛等の他部位の形状に依存して印象が形成されると予想される。そのため、瞳孔の大きさそのものが与える印象を評価するには、顔を構成する部位を出来る限り排除した、眼球のみの構成や表現が望ましい。

そこで本研究では、図1に示す2種類の瞳孔表現メディアを用いて、異なる瞳孔の大きさが与える印象の相違について分析した。まず、瞳孔の拡大・縮小を組み合わせた8種類の瞳孔面積を選定し、因子分析により瞳孔の大きさがもたらす印象について解析した。解析の結果、抽出された潜在因子は「受容性」「信頼性」「好奇心」であった。各潜在因子における瞳孔の大きさを横軸に、因子得点の平均を縦軸にプロットした結果を図2および図3に示す。同図には、因子得点の



(a) 瞳孔反応 CG キャラクタ (b) 瞳孔反応インタフェース

図1 瞳孔表現メディア

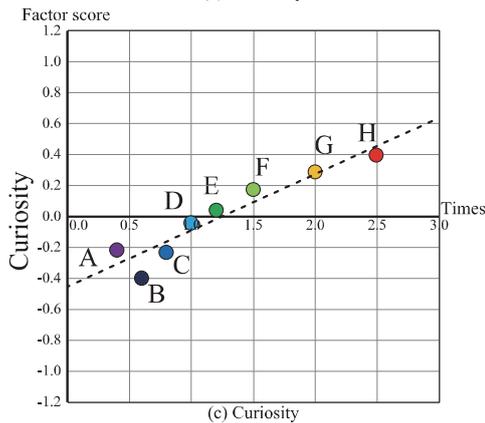
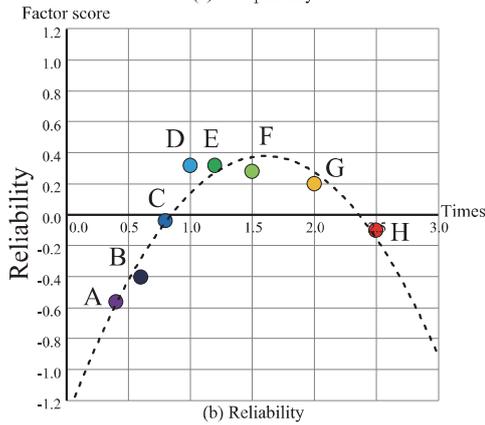
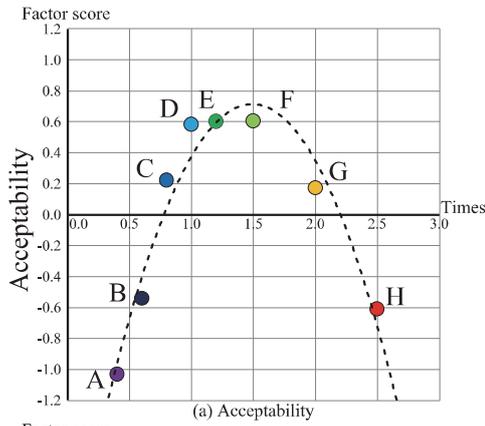


図2 瞳孔反応CGキャラクタの因子得点

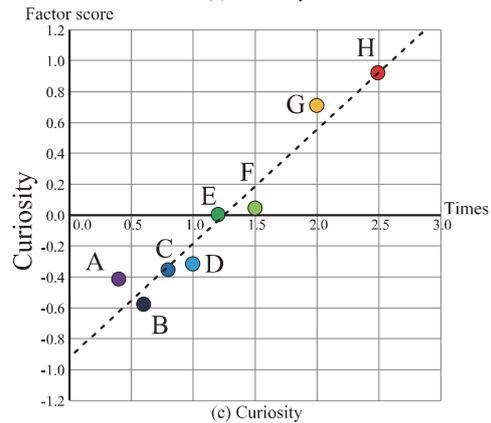
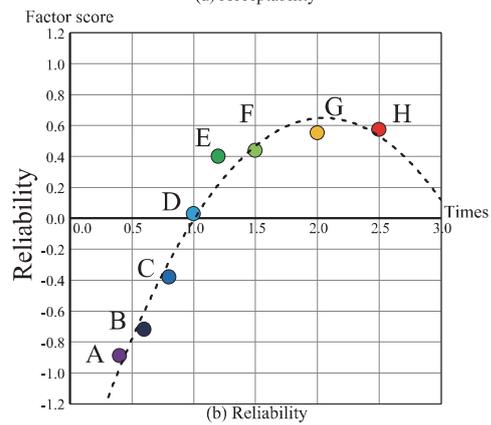
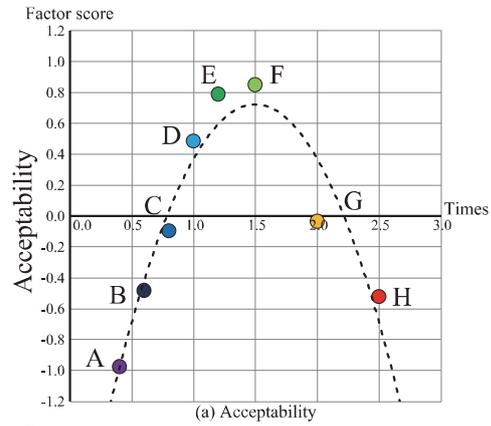


図3 瞳孔反応インタフェースの因子得点

多項式近似線を示している。「受容性」および「信頼性」については、瞳孔の大きさが1.5倍あるいは2.0倍にピークが存在することが示された。また、「好奇心」については、線形的に増加する傾向であることが確認された。これらのことから、瞳孔には親近性を高める「受容性」や「信頼性」と、新奇性を高める「好奇心」の潜在因子が存在することが確認され、それらの関係はトレードオフになることが示された。また、顔画像から瞳孔を抽出して機械学習させた場合、瞳孔の大きさと親密度の高さについて学習できることを確認した。

## (2) 瞳孔反応システムの開発・評価

上記の解析結果より、瞳孔が与える印象は「親近性」と「新奇性」の両側面が存在し、瞳孔を過度に拡大させた場合は、親近性が促進されない可能性が示された。そのため、瞳孔反応に依存しなくとも新奇性を表現できる仕組みが求められる。そこで本研究では、人の情動や興味関心が高まっている様態を目から読み取れる印象として「目が輝いている」という比喩に着目し、新たに仮想照明を導入したハイライト表現を開発した(図4)。この表現法は、仮想空間内の輝度を制御するワールド光源に加え、新たな仮想照明を導入することで、多様な感情表現を作り出す(図5)。とくに、導入した仮想照明の位置や輝度だけでなく、色彩や照射方向を制御することで、虹彩の色彩そのものを変更することなく、瞳から生み出される興味関心といった新奇性を高めることができる(図6)。開発した表現法を用いてコミュニケーション実験を行った結果、ハイライト表現を話し手の意図と一致するタイミングで生成することで、ロボットへの親近感や興味が増大することが示された。

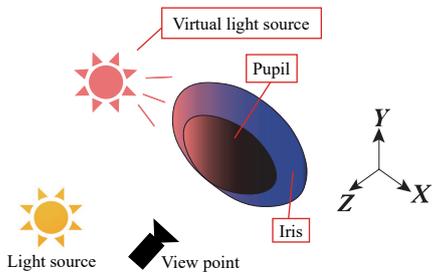


図4 仮想照明によるハイライト表現

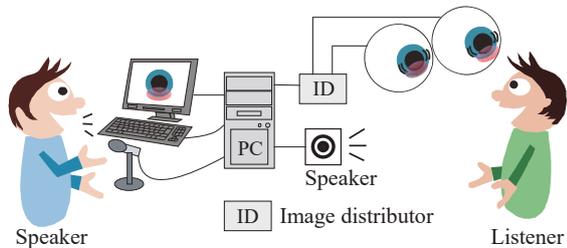
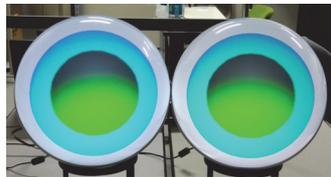


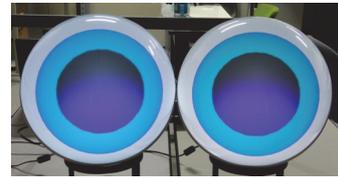
図5 システム概要



(a) Reddish color



(b) Greenish color



(c) Bluish color

図6 仮想照明によるハイライト表現

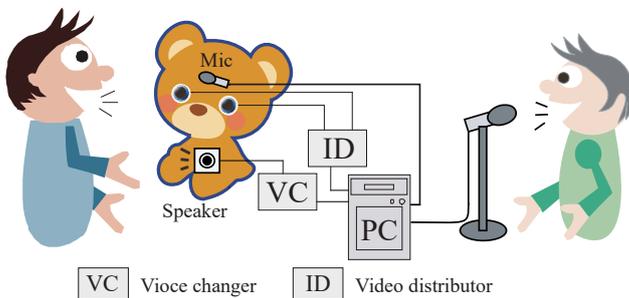


図7 瞳孔反応ペットロボット



図8 ハイライト表現を付加した瞳孔反応ペットロボットの様子

これらの知見を、これまでに開発してきた瞳孔反応ペットロボットへ導入した。瞳孔反応ペットロボットは、ロボット内部に搭載している接触センサによって、身体接触に応じて瞳孔反応を生成するものである。しかしながら、新型コロナウイルスの感染予防の観点から、身体接触ではなく、非接触での入力が可能な音声入力へ改良を行い、瞳孔を拡大表現するとともに、ハイライト表現するペットロボットを開発した。とくに、物理的な距離を保ったままの対話が可能なアバターロボットシステムとして設計した(図7)。開発したロボットの外観を図8に示す。本ロボットシステムは、デスクトップPC、指向性マイク、映像分配器、音声変声器、スピーカーから構成される。デスクトップPCから出力される瞳の映像を小型液晶ディスプレイに投影している。音声は、16bit 11kHzでサンプリングしている。遠距離の対話者の音声は、キャラクター性を含めるために変声器を用いて音声情報を変換し、アバターロボットに内蔵されているスピーカーから出力している。さらに、小学生32名を対象とした体験イベントに開発したアバターロボットをデモ展示した。対話終了後にアンケートを行った結果、親近感の増大だけでなく、自己開示が促進される可能性が示された。すなわち、親近性のみでなく、新奇性を組み合わせることで、ロボットと初対面であったとしても自己開示がスムーズになり、懐に入りやすくなる可能性が示唆された。

以上のシステム開発を通じて、親近性と新奇性を組み合わせることで、興味増進や自己開示の促進等のコミュニケーション支援効果が示され、開発したロボットシステムの有効性が示された。これらの研究成果に対して、日本感性工学会優秀発表賞(2019)、日本機械学会設計工学・システム部門奨励業績表彰(2019)、電子情報通信学会中国支部連合大会奨励賞(2019, 2020)、第9回ナレッジナレッジイノベーションアワード近畿経済産業局長賞(2022)を受賞し、先端研究として高く評価された。さらに、本研究課題を発展させた、新学術領域研究「人間機械共生社会を目指した対話知能システム学(対話知能学)」に採択される等、本研究領域の重要性が示されている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 6件）

1. 著者名 瀬島吉裕	4. 巻 61
2. 論文標題 withコロナ時代における目ヂカラコミュニケーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 198-202
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11499/sicejl.61.198	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 瀬島吉裕，川本宙輝，佐藤洋一郎，渡辺富夫	4. 巻 87
2. 論文標題 瞳孔表現メディアにおける瞳孔面積が印象形成に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 21-00187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.21-00187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yoshihiro Sejima, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe	4. 巻 15
2. 論文標題 A body contact-driven pupil response pet-robot for enhancing affinity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM61(1-10)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2021jamdsm0061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yoshihiro Sejima, Ryosuke Maeda, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe	4. 巻 14
2. 論文標題 A video communication system with a virtual pupil CG superimposed on the partner's pupil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0091
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 瀬島吉裕, 渡辺富夫	4. 巻 54
2. 論文標題 視線コミュニケーションにおける瞳孔反応のミニマル・デザイン	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本設計工学会誌	6. 最初と最後の頁 723 ~ 728
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 無
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 SEJIMA Yoshihiro, ISHII Yutaka, WATANABE Tomio	4. 巻 85
2. 論文標題 An embodied communication system with avatar-shadow 's color expressions based on an interaction-activated communication model in voice communication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshihiro Sejima, Shoichi Egawa, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe	4. 巻 13
2. 論文標題 A pupil response system using hemispherical displays for enhancing affective conveyance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 中瀬悠太, 瀬島吉裕
2. 発表標題 眼球上のハイライトに陰影を重畳合成した情動強調表現法の提案
3. 学会等名 第17回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬島吉裕
2. 発表標題 音声対話における親近性を促進する動物型瞳孔反応アバターロボットの開発
3. 学会等名 日本福祉工学会第25回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 岡本峻平, 渡辺富夫
2. 発表標題 音声対話における視線情報を付加した場の盛り上がりモデルの開発
3. 学会等名 日本機械学会第31回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 渡辺富夫
2. 発表標題 瞳孔反応のミラーリングによる音声駆動型身体的傾聴システムの開発
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2021論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬島吉裕
2. 発表標題 心の動きを表現するための涙目ロボットを用いた落涙提示手法
3. 学会等名 日本ロボット学会第39回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣早紀, 森田大樹, 井上遼介, 松本康希, 瀬島吉裕
2. 発表標題 オンラインコミュニケーションにおける背景色の動的変化による雰囲気表現法の開発
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門 知覚情報技術委員会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Sejima, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe
2. 発表標題 Development of a Presentation Support System using Group Pupil Response Interfaces
3. 学会等名 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保紀穂, 瀬島吉裕
2. 発表標題 自己開示を促進するための音声駆動型瞳孔反応ペットロボットの開発
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Sejima, Makiko Nishida, Tomio Watanabe
2. 発表標題 Development of an interface that expresses twinkling eyes superimposing human shadows on pupils
3. 学会等名 22nd International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 渡辺富夫
2. 発表標題 情動的共感を表出する涙目ロボットの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 西田麻希子, 渡辺富夫
2. 発表標題 瞳孔に自己影を重畳合成した瞳輝インタフェースの開発
3. 学会等名 日本機械学会 2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川本宙輝, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎
2. 発表標題 瞳孔反応インタフェースにおける仮想照明を用いた感情拡張表現手法の開発
3. 学会等名 第71回電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 川本宙輝, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫
2. 発表標題 瞳孔表現メディアにおける瞳孔面積の違いに対する印象評価
3. 学会等名 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiro Sejima, Hiroki Kawamoto, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe
2. 発表標題 A body contact-driven pupil response pet-robot for enhancing familiarity
3. 学会等名 the 28th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daichi Hasegawa, Yoshihiro Sejima, Yoichiro Sato
2. 発表標題 A study on the discrimination of eye size using a CNN for the evaluation in the appearance of kawaii
3. 学会等名 International Conference on Design and Concurrent Engineering 2019 & Manufacturing Systems Conference 2019 (iDECON/MS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Sejima, Yoichiro Sato, Tomio Watanabe
2. 発表標題 Evaluation of the speech-driven pupil response robot synchronized with burst-pause of utterance
3. 学会等名 International Conference on Design and Concurrent Engineering 2019 & Manufacturing Systems Conference 2019 (iDECON/MS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬島吉裕
2. 発表標題 人を惹き込む視線インタラクション・コミュニケーション技術
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 しなやかな行動の脳工学研究部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本宙輝, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫
2. 発表標題 瞳孔反応インタフェースにおける瞳孔面積の違いが人の印象に及ぼす影響
3. 学会等名 ヒューマンインタフェース学会 第169回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 牧野和倫, 佐藤洋一郎
2. 発表標題 親しみやすさを演出する音声駆動型瞳孔反応スマートスピーカーの開発
3. 学会等名 日本福祉工学会 第23回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川大地, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによる目の大きさ推定における分類学習と回帰学習の相違
3. 学会等名 第70回 電気・情報関連学会 中国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 川本宙輝, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫
2. 発表標題 瞳孔反応ペットロボットにおける身体接触に同調した瞳孔拡大表現の効果
3. 学会等名 日本機械学会 第29回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫
2. 発表標題 親近感向上のための身体接触駆動型瞳孔反応ペットロボットの評価
3. 学会等名 日本機械学会 2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫
2. 発表標題 親近感向上のための身体接触に基づく瞳孔反応ペットロボットの開発
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019講演論文集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 前田裕, 芝井敬司, 大津留(北川)智恵子, 良永康平, 西山真司, 吉田信介, 桑名謹三, 池田勝彦, 大洞康嗣, 瀬島吉裕, 福康二郎, 後藤健太, 村川治彦, 安田忠典, 小井川広志, 高橋智幸	4. 発行年 2022年
2. 出版社 関西大学出版部	5. 総ページ数 282
3. 書名 アカデミアが挑むSDGs	

1. 著者名 瀬島吉裕, 渡辺富夫	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 391
3. 書名 生体情報計測による感情の可視化技術	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 ロボット装置	発明者 瀬島吉裕、佐藤洋一 郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、7222537号	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

関西大学総合情報学部 ヒューマンロボットインタラクション研究室 <a href="http://www2.kansai-u.ac.jp/hri/">http://www2.kansai-u.ac.jp/hri/</a> 第9回ナレッジイノベーションアワード 近畿経済産業局長賞 <a href="https://kc-i.jp/activity/award/innovation/2021/nominate/">https://kc-i.jp/activity/award/innovation/2021/nominate/</a>
---

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------