

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12769

研究課題名（和文）VR酔い防止と操作性向上を両立する3DCGゲームのカメラワーク制御条件の解明

研究課題名（英文）Research on Camera Control Systems of 3DCG Video Games with Good Usability for Reducing Motion Sickness

研究代表者

井ノ上 寛人（Inoue, Hiroto）

東京電機大学・未来科学部・助教

研究者番号：40724604

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：三人称視点の3次元コンピュータグラフィックス（3DCG）のビデオゲームにおいて、ユーザは一般にアバタと呼ばれるCGキャラクターと視点となるカメラを操作できる。CGゲームの世界には敵キャラクターがあり、敵と衝突してアバタやカメラが弾き飛ばされると、ユーザは敵や自分を見失ってしまうことがある。本研究では、アバタが敵と衝突した後に、視点が水平方向に半回転するカメラ制御システムと、アバタが敵と衝突して弾き飛ばされる間に障害物を半透明にしてオクルージョンを回避する表現手法を提案する。主観評価実験の結果、提案手法はコンテンツの感性的な高める手段として有用であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案手法はビデオゲームの生体安全性や感性的な演出性を高める手段として有用であり、その過程で得られた研究成果は将来の3DCGアクションゲームの品質向上に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：When we play three-dimensional computer graphics (3DCG) video games of third-person point of view, we can usually control both an avatar and a camera. There are some enemy characters in the CG game world, and we often lose contact with an enemy after the avatar collides with it. In this paper, we propose a camera control system that the view point makes a half turn in a horizontal direction after the avatar collides with the enemy. The camera shows both of the avatar and the enemy from the backside of the avatar. In addition, we propose a representation technique that obstacles make translucent to avoid occlusion when the avatar collides with the enemy. As a result of subjective evaluation experiment, it was shown that the visual effects of the proposed techniques useful to enhance affective impressions. Therefore, we think that the proposed techniques contribute to qualities of action video games.

研究分野：感性工学

キーワード：コンピュータグラフィックス カメラワーク ビデオゲーム 感性

1. 研究開始当初の背景

3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)を応用したビデオゲームのユーザは、アバタと呼ばれる操作キャラクタや視点となるカメラを一般に操作できるが、カメラの動きが激しいアクションゲームなどでは、画面の乱れや映像酔いが生じやすいという課題があった。特に、アバタが敵と衝突して弾き飛ばされるシーンでは、その影響が甚大であると考えられた。

2. 研究の目的

研究の初動として三人称視点の3DCGアクションゲームに着目し、アバタと敵の衝突判定後の演出として、(a)カメラを自動旋回させる、(b)障害物を半透明化させるという手法を提案し、その視覚効果の有用性について明らかにすることを目的とした。

一つ目の提案(a)は、アバタが敵に弾き飛ばされて操作不能となっている間に、水平方向の角 ϕ を制御することでカメラを自動旋回させ、カメラとアバタ、そして衝突してきた敵を図1のように一直線に並べる手法である。具体的には、敵とアバタが衝突した直後から、アバタを中心に円運動する角速度成分 ω_ϕ をカメラに加えて旋回させ、カメラがアバタと敵を通る想定線(Imaginary Line)に到達した段階で角 ϕ の進行を止める。想定線はカメラの視点から見た二人の位置関係を自然に理解させる上で重要な概念で、映画界では広く知られており、The 180-Degree Ruleとも呼ばれる。提案手法(a)には、旋回する動きによって迫力感やスピード感を向上する効果が期待できるほか、弾き飛ばされる原因となった敵を旋回後に視認させる効果が期待できる。そこで、実験1では旋回するカメラワークを評価することとし、提案手法(a)の視覚的効果が有用といえるか明らかにすることを目的に、衝突シーンの映像を評価の対象とした。なお、提案手法(a)の応用にあたっては、垂直方向の角 θ も制御の対象とし、カメラを浮上させる動きも表現できるが、地面の上を走り回る3DCGアクションゲームでは水平方向の操作が基本となるため、本研究では水平方向の動きのみを評価の対象とした。

二つ目の提案手法(b)は、図2に示したように、カメラを旋回させている間、アバタの描画を遮るオブジェクトを透明化させる処理である。具体的には、カメラとアバタの間にオブジェクトとの当たり判定を設け、オブジェクトがアバタの描画を遮る障害物となった場合に、オブジェクトの透明度(アルファ値)を上昇させ、アバタを含めた背景を透視できるようにする。多数の障害物が配置された3DCGゲームでは、操作中にカメラがオブジェクトに接近もしくは衝突してアバタを見失いやすいほか、提案手法(a)が作動した際も同様な場面が生じやすい。提案手法(b)には、この問題に対する解決策として、映像の見やすさを向上する効果が期待できる。なお、障害物を透視する表現手法はゲームの開発現場で古くから検討されており、関連特許がいくつつかある。しかし、どのような透視手法が有用なのか定量評価した事例は見当たらず、学術的な知見が十分に蓄積されていないのが現状である。そこで、実験2では障害物の適切な透視手法について検討するために、障害物となる柱の透明度を0%、50%、100%としたときの視覚的効果を評価した。

以上に加えて、陰影の不可能性に抱かれる違和感と認識難度の影響を評価する実験を行い、提案手法の応用範囲について検討した。

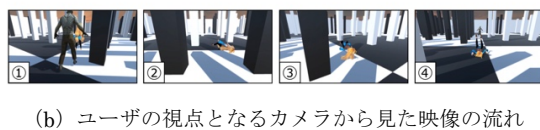
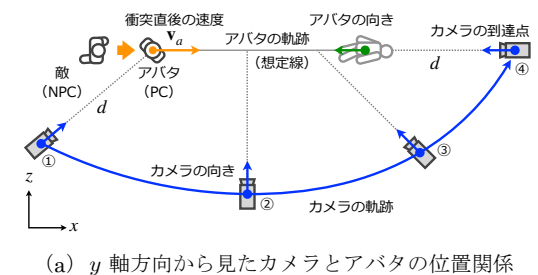


図1 提案手法(a)によるカメラの旋回

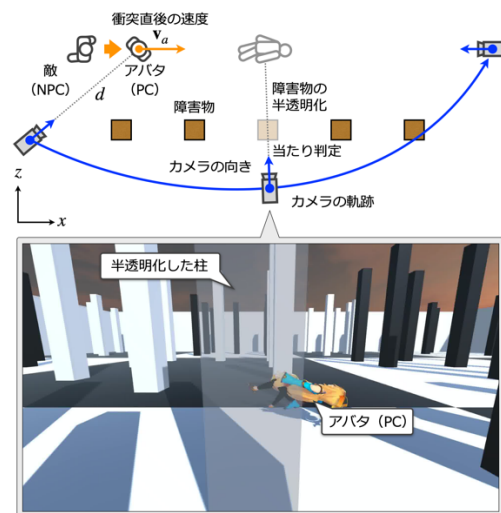


図2 提案手法(b)による障害物の半透明化

3. 研究の方法

提案手法を実装した後に衝突シーンを動画として出力し、既存システムで生じる動きと提案手法で生じる動きの印象を比較する主観評価実験を行った。評価項目は「迫力のある」、「スピード感のある」、「酔いそうなの」、「目が回る」、「違和感がない」、「見やすい」などとした。一部の実験では心理計測のほかに視線計測装置や心拍計を用いて生体計測も併用した。

4. 研究成果

(1) 旋回するカメラワークの評価 (実験 1)

衝突シーンを一対比較法で評価した。旋回あり／なしの条件間で有意差が示された組み合わせを図 3 に示す。図 3 に示した 7 項目すべてで主効果は有意となった ($p < 0.05$)。また、「1. 迫力のある」、「2. スピード感のある」の 2 項目については、旋回あり／なしの条件間で有意差が示された。したがって、提案手法 (a) による旋回の動きには、感性的な印象を高める視覚的効果があるといえる。一方で、「3. 酔いそうなの」、「4. 目が回る」の 2 項目については、旋回あり／なしの条件間で有意差が示されなかった。したがって、提案手法 (a) による旋回の動きには、映像酔いに関わる印象を高めてしまう視覚的効果があるとはいえない。この結果から、提案手法 (a) はゲームに実装しても安全面で差し支えないと考えられる。「5. 違和感がない」という印象については、移動パターン A のときに有意差が示され、移動パターン B のときは有意差が示されなかった。したがって、提案手法 (a) による視認性の向上効果は周囲のオブジェクトの影響を受ける傾向にあり、状況によっては十分に視認性向上効果が発揮されないといえる。総評としては、提案手法 (a) を適用してカメラを旋回させた方が、「7. 総合的によい」と判断された。

以上をまとめると、提案手法 (a) は、映像の感性的な印象を高める手段として有用であるが、視認性については別途検討の余地があるといえる。そこで、この問題を改善し得る提案手法 (b) の効果を実験 2 で検証した。

(2) 透明化する障害物の評価 (実験 2)

評価する映像は、図 4 に示したように、斜め後ろから衝突されたアバタをカメラが追従し、アバタが柱の陰に隠れながら弾き飛ばされる軌道を取る 5 秒程度の衝突シーンとした。図 4 の青線は提案手法 (a) に基づいたカメラの軌跡を表し、矢印は各座標におけるカメラの向きを表す。実験では次の 4 種類の映像を評価の対象とした。

- i. 実験 1 と同様に障害物の透明度を 0% としてそのまま表示した「透明化なし」
- ii. 障害物の透明度を一時的に 100% として非表示にした「透明化あり (100%)」
- iii. 透明度を 50% として半透明にした「透明化あり (50%)」
- iv. 透明度を 50% として障害物の色味を青とした「透明化あり (50%, 青)」

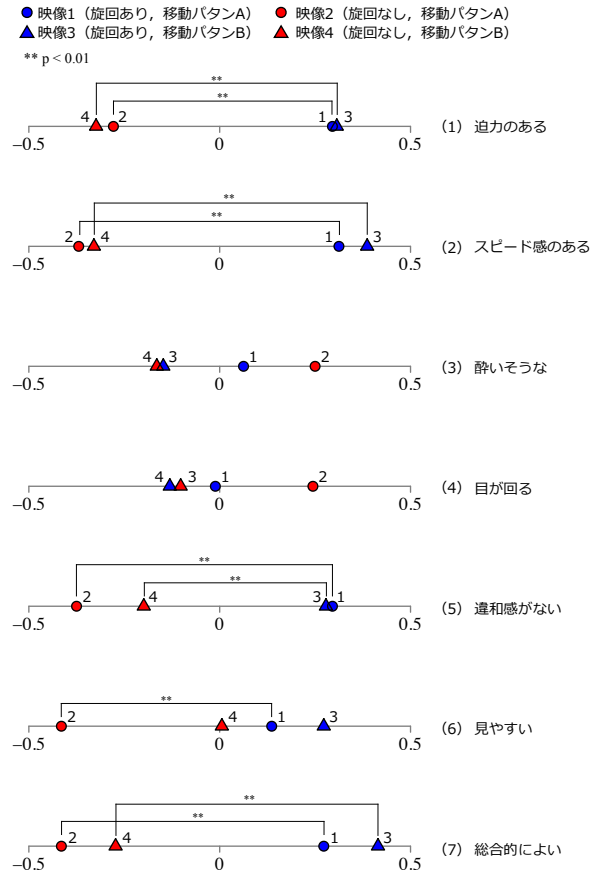


図 3 一対比較法で得られた映像の数量化得点 (実験 1)

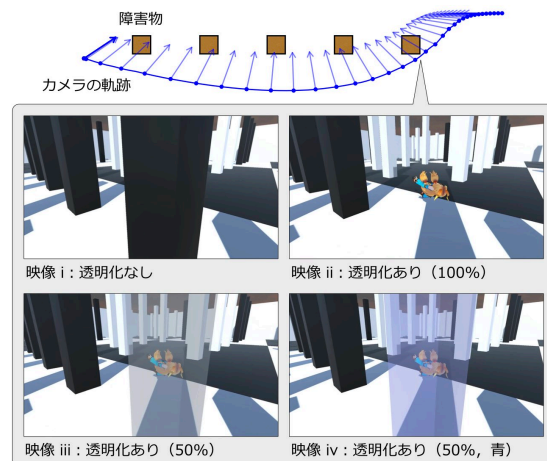


図 4 透明化の条件 (実験 2)

一対比較法で得られた数量化得点と、有意差が示された条件の組み合わせを図5に示す。一対比較法で評価した結果、「1. 迫力のある」、「2. スピード感のある」の2項目については主効果が有意とならなかった。したがって、これらの感性的な印象を高める効果が提案手法 (b) にあるとはいえない。一方で、質問3以降の8項目については主効果が有意となった ($p < 0.05$)。有意差が示された映像の組み合わせに着目すると、映像 iii は、映像 i と比べて、「3. 酔いそうな」、「4. 目が回る」とは評価されず、「6. 見やすい」、「9. 情景がはっきり見える」、「10. 総合的によい」と評価されることが、また映像 iii は、映像 ii と比べて、「7. 障害物が邪魔に見える」とは評価されず、「5. 違和感がない」、「6. 見やすい」と評価されることが示された。したがって、映像 iii のように障害物を半透明化する提案手法 (b) の表現は、障害物をそのまま表示する通常の陰面処理や、障害物の透明度を 100%として非表示にする処理と比べて、映像酔いを軽減し、視認性を向上する視覚的效果があるといえる。提案手法 (b) が有用な理由は、障害物を半透明化することで、アバタの見え隠れによる画面のちらつきや、障害物を完全に透明化した際に生じる明滅感が軽減されるためと考えられる。なお、透明度を 50%として障害物の色味を青とした映像 iv は、映像 i と比べて「10. 総合的によい」と評価されるものの、映像 iii より効果が上がらず、「8. 障害物がちらついて見える」と評価されることが示された。この理由についても、映像 iii では障害物を本来の色味から変化させ、再び元の色味に戻す際に明滅感を与えた可能性が挙げられる。

以上のことから、三人称視点の 3DCG コンテンツにおいて、キャラクターがほかのオブジェクトと衝突した際にカメラを旋回させる表現と、キャラクターの手前に映り込む障害物を半透明化する表現の組み合わせは、映像の演出性と視認性を向上する手段として有用といえる。これらの提案手法は非常に単純な原理ではあるものの、アバタが 3DCG 空間の中を走り回り、ほかのキャラクターや障害物と頻繁に衝突するようなアクションゲームに組み込むと、コンテンツの質や魅力を向上できる可能性がある。

(3) 陰影の不可能性の評価 (実験 3)

実験 2 では、物体の陰を半透明化するという実世界ではあり得ない表現が有用であることが示されたが、この現象については観賞者の専門性や観察眼、慣れの影響を検討する必要がある。そこで実験 3 では、不可能立体の陰影を建築系の学生と情報系の学生に評価してもらった。なお、不可能立体とは一見すると造形不可能に見える図6の画像 1a のような構造を指すが、この図形は柱を斜めに立てると現実世界でも造形可能な構造となっている。陰影から形状を認識しようとする資質を有していた場合、不可能立体は「明らかにおかしい」とは言い切れないため、違和感の抱き方は観賞者の専門性や観察眼、慣れに影響すると予想される。

図7に違和感について質問した回答の割合を示す。図7における特筆すべき結果として、不可能立体を対象としたときに、「強くそう思う」の回答割合が建築系では低く、情報系では高い点が挙げられる。この回答の割合には有意差が認められた ($p < 0.05$)。そこで、不可能立体に対する違和感の抱き方を詳細に分析するために、「三面図を描いているときに何か違和感を抱きましたか?」という質問の回答を目的変数 Y とおき、説明変数 x_1 を建築系であれば 1、情報系であ

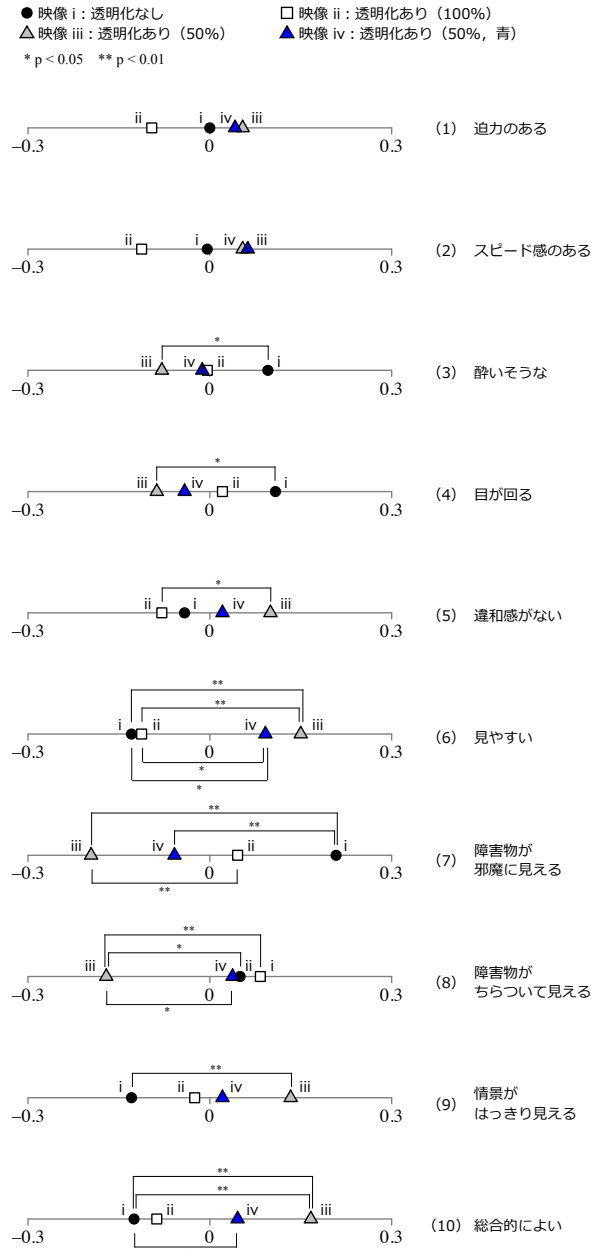


図5 一対比較法で得られた映像の数量化得点 (実験 2)

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

ば0,そして「この立体の概形を把握できたと思うタイミングはいつですか?」という質問の回答を説明変数 x_2 とおいて,順序ロジットモデルを適用した.その結果,建築系は,陰影が付いた不可能立体を観察した際に,影などの奥行き手がかりから立体の概形を把握できそうに思う傾向にあり,違和感を少し以上 ($Y \geq 1$) 抱く確率が情報系と比べて有意に低いことが示された.一方で情報系の場合は,図8の右図に示した通り,違和感について「強くそう思う ($Y = 2$)」かつ「現在も概形を把握できるとは言い難い ($x_2 = 4$)」の選択確率が高く,大半の者が画像1aの概形を最後まで把握できずに強い違和感を抱きやすい傾向があるといえる.



図6 立体の投影図

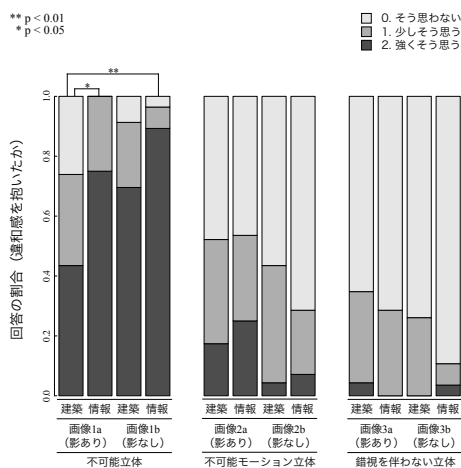


図7 違和感の強さ

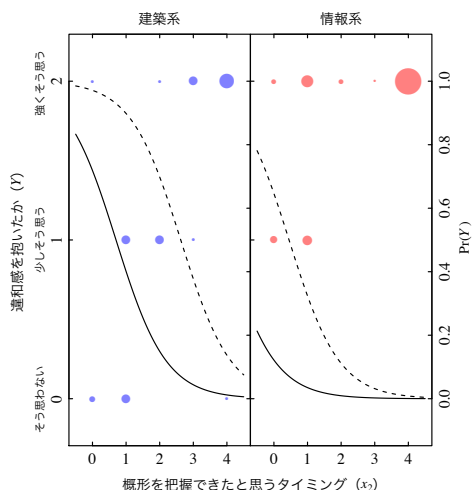


図8 画像1aの概形把握のタイミングと違和感の関係

(4) 提案手法の応用範囲に関する考察

本研究では三人称視点の3DCGアクションゲームで頻繁に生じる場面として,アバタが敵と衝突して吹き飛ばされるシーンに着目し,衝突判定後の演出として,(a)カメラを自動回転させる,(b)障害物を半透明化させる,という映像表現が,3DCGコンテンツの感性的な印象を高める上で有用か明らかにすることを目的とした主観評価実験を行なった.提案手法(a)は映画の撮影技法である想定線の概念を,提案手法(b)はゲーム開発の現場で検討されてきた透視の概念を発展させたものである.

実験1の結果から,カメラを衝突オブジェクトの反対側に自動回転させる提案手法(a)には,(1)迫力感やスピード感を高める効果がある,(2)酔いそうな印象を高める効果があるとはいえない,(3)見やすい印象を高める効果はあるが,視点と障害物の位置関係によっては視認性が十分に向上しない,ということが示された.また,実験2の結果から,上記(3)の欠点は,障害物を半透明化する提案手法(b)と併用すると解消可能で,提案手法(b)は映像の視認性を向上し,総合的によくと評価されることが示された.陰影に対する印象は,観賞者の専門性や慣れ,そして認識難度に依存することが実験3の結果から示唆されたため,提案手法(b)の応用にあたっては観賞者の属性や観賞条件,作業条件などを考慮する必要があるといえる.

なお,VR環境を含め,一人称視点のゲームでは個人により印象が大きく変化する傾向が示唆されたため,これらのゲームジャンルに提案手法を応用する場合は別途検討の余地がある.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 INOUE Hiroto, KAWABATA Yumika, TETSUTANI Nobuji	4. 巻 19
2. 論文標題 Proposal of Representation Techniques to Enhance Affective Impressions at Scene of Collision in 3DCG Video Games of Third-Person Point of View	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of Japan Society of Kansei Engineering	6. 最初と最後の頁 155 ~ 161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-19-00069	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 INOUE Hiroto, NAKAJIMA Mizuki, NISHIJIMA Chiemi, TETSUTANI Nobuji, KUWAHARA Noriaki	4. 巻 19
2. 論文標題 Evaluation of Sense of Incongruity Focused on Both Shaded Impossible Objects and Observant Eyes Acquired in Education Courses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of Japan Society of Kansei Engineering	6. 最初と最後の頁 145 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-19-00015	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yumika Kawabata, Hiroto Inoue and Nobuji Tetsutani
2. 発表標題 A Study of Optimum Display of Obstacles in 3DCG Games from a Third Person Point of View
3. 学会等名 The 6th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC), (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Ishibashi, Yoshiki Nishio, Hiroto Inoue and Nobuji Tetsutani
2. 発表標題 Proposal of Rendering Technique Making Semi-transparent Silhouettes of 3DCG Obstacles to Improve Visibility in Video Games
3. 学会等名 The 6th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井ノ上寛人, 中島瑞季, 西嶋千笑, 鉄谷信二, 桑原教彰
2. 発表標題 陰影を伴う錯視立体と専門教育課程で身に付けられる観察眼に着目した違和感の評価
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井ノ上寛人, 川端友未香, 鉄谷信二
2. 発表標題 三人称視点3DCGゲームの感性的な印象を高めるカメラの制御方法と障害物の表示方法に関する検討
3. 学会等名 第15回日本感性工学会春季大会予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西尾祥希, 石橋侑宜, 井ノ上寛人, 鉄谷信二
2. 発表標題 三人称視点3DCGアクションゲームの視認性を向上する陰面透視法の感性評価
3. 学会等名 第15回日本感性工学会春季大会予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西嶋千笑, 井ノ上寛人, 中島瑞季, 鉄谷信二
2. 発表標題 錯視立体と陰影から感受される違和感の定量評価：専門教育課程に着目した比較
3. 学会等名 第14回日本感性工学会春季大会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端友未香, 井ノ上寛人
2. 発表標題 障害物の半透明化による三人称視点3DCGゲームの視認性向上効果
3. 学会等名 第14回日本感性工学会春季大会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Suganuma, S. Ohara, H. Inoue and N. Tetsutani
2. 発表標題 Feature Classification of Heart Rate Variability Depending on Difficulty Levels of a Puzzle Game
3. 学会等名 Proceedings of the International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川端友未香, 榎本美穂, 井ノ上寛人
2. 発表標題 3DCG ゲームにおける三人称視点カメラワークの巡回システムに関する基礎的検討
3. 学会等名 第19回日本感性工学会春季大会予稿集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅沼周, 大原俊太, 井ノ上寛人, 鉄谷信二
2. 発表標題 ビデオゲームの難易度に応じた心拍変動の特徴分類に関する研究
3. 学会等名 第19回日本感性工学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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