

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12283

研究課題名(和文) フォトリアルなCGキャラクタの動作への1/fゆらぎ適用による不気味の谷現象の緩和

研究課題名(英文) A method for easing the uncanny valley of a photorealistic CG character by applying 1/f fluctuation to its motion

研究代表者

山田 光宏 (Yamada, Mitsuhiro)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：10272113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：フォトリアルな人間を表現するCGアニメーションであるヒューマンアニメーションにおいて、不気味の谷現象が報告されている。ヒューマンアニメーションが人間に与える印象には、CGキャラクタの形状だけでなく動作も影響すると考えられる。人間の様々な動作にみられる1/fゆらぎは、人間の動作における重要な要素と考えられ、不気味さを緩和するために1/fゆらぎをCGキャラクタの動作へ適用することが考えられる。そこで本研究では、ヒューマンアニメーションへの1/fゆらぎの適用手法に関して検討した。歩行シーンと走行シーンにおける予備実験の結果、1/fゆらぎの適切な大きさと周波数帯域は、動作に依存する傾向があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の技術進展により、CGキャラクタの形状はフォトリアルになってきているが、不気味の谷現象の発生が課題となっている。不気味の谷現象の発生には、その形状に見合う人間らしい動作の欠落による影響が大きいと考えられる。このため「形状のリアルさにより生じた不気味の谷現象を、動作を工夫することにより緩和できるか？」という学術的検討を行った。人間らしい動作の重要な要素と考えられる1/fゆらぎをCGキャラクタの動作へ適用し、不気味の谷現象の緩和につながる可能性を示した点に学術的意義がある。従来は未検討の、動作の工夫による不気味の谷現象の緩和は、従来技術を大きく変革する可能性がある点に社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Animations with realistically shaped CG human characters elicit the uncanny valley effect. Not only does the shape of the CG character cause this effect, but also the motion causes it. Various types of human motion exhibit 1/f fluctuations. Thus, we can consider 1/f fluctuations as essential elements of human motion and 1/f fluctuation can be used to reduce eeriness in animated scenes. In the present study, human animations using 1/f fluctuation are investigated by subjective comparison. Specifically, based on preliminary experiments, the method of 1/f fluctuation was applied to the motion data of a walking scene and a running scene. The results show a tendency for the appropriate amplitude and frequency band of the 1/f fluctuation to depend on the original motion of the scene.

研究分野：エンタテインメントおよびゲーム情報学関連

キーワード：ヒューマンアニメーション 不気味の谷現象 1/fゆらぎ CGキャラクタ フォトリアル

1. 研究開始当初の背景

(1) 学術的背景

CG (コンピュータグラフィックス) によるアニメーションやゲームなどには、実写と同等の、人間を表現するフォトリアルな CG キャラクタが用いられている。そのような CG キャラクタに関して、形状の人間に対する類似度が高くなるに従い親和感も増加するが、形状がほとんど人間に近くなった近傍で親和感が急激に落ち込み気味悪く感じる「不気味の谷現象」が課題となっている [14]。例えば、漫画的な CG アニメーションに比較しフォトリアルな CG アニメーションのほうが、より不気味であるという報告がある [15]。ここで、フォトリアルな CG キャラクタを用いて人間を表現する CG アニメーションをヒューマンアニメーションとする。人間は、例えば形状が明確でない低解像度の映像に映る人間からも、その人間らしさを認知する。このため人間らしさの認知には、形状だけでなく動作も影響すると考えられる。歩行や拍手など人間の様々な動作は、規則的、周期的ではなく $1/f$ ゆらぎが観測されるため、 $1/f$ ゆらぎは人間の動作における重要な要素と考えられる。例えば、歩行において歩幅は広くなったり狭くなったりして変化するが、その歩幅に $1/f$ ゆらぎがみられる [16]。ここで f は周波数であり、何らかの動的変数の時系列のパワースペクトル密度 $P(f)$ がおよそ $P(f) \propto 1/f$ となる場合、 $1/f$ ゆらぎと呼ぶ。しかしながら従来、例えば歩行のような繰り返し動作の場合、一般的には同一のアクションを繰り返し表示することにより表現され、 $1/f$ ゆらぎは CG キャラクタの動作において考慮されてこなかった。

(2) 研究代表者による先行研究の状況

研究代表者はこれまで、比較的単純な形状の CG キャラクタの拍手の動作 (拍手の振幅) へ $1/f$ ゆらぎを適用した場合、より自然で人間らしくなることを見出した [3], [4]。また歩行 (歩幅と手の振り幅) へ適用した場合、より生き生きしたものとなった [1], [2]。しかしながら先行研究は、漫画的な CG アニメーションに相当し、不気味の谷現象が発生していなかったと考えられる。

2. 研究の目的

GPU などのハードウェアやソフトウェア技術の近年の進展により、CG キャラクタの形状は、よりリアルなものとなってきている。しかしながら CG キャラクタの動作に関する検討は不十分であり、動作の工夫による不気味の谷現象の緩和に関する学術的検討は行われていない。そこで本研究では、フォトリアルな CG キャラクタを用いた CG アニメーションすなわちヒューマンアニメーションを製作し、不気味の谷現象が発生している状態にあると考えられる CG キャラクタの動作への $1/f$ ゆらぎの適用に関して検討する。CG キャラクタの動作は、実際の CG アニメーションなどで用いられる歩行など、様々な動作を採り上げる。そして不気味の谷現象の緩和という観点から、 $1/f$ ゆらぎの効果に関して、感性工学に基づき学術的に検討する。なお、リアルタイムでの CG の表示が必要となるゲームや VR、AR への応用のため、GPU によるリアルタイムレンダリングを用いる。

研究代表者は、CG キャラクタの人間らしさの認知にはその動作も大きく影響すると考えており、不気味の谷現象の発生には、CG キャラクタのフォトリアルな形状に見合う人間らしい動作の欠落による影響が大きいと考えている。人間らしい動作の重要な要素として $1/f$ ゆらぎが考えられるため、 $1/f$ ゆらぎをフォトリアルな CG キャラクタの動作へ適用し、不気味の谷現象を緩和することが考えられる。よって、「形状のリアルさにより生じた不気味の谷現象を、動作を工夫することにより緩和できるか？」を研究の目的とした。



図 1 CG キャラクタと体の回転軸 [13].

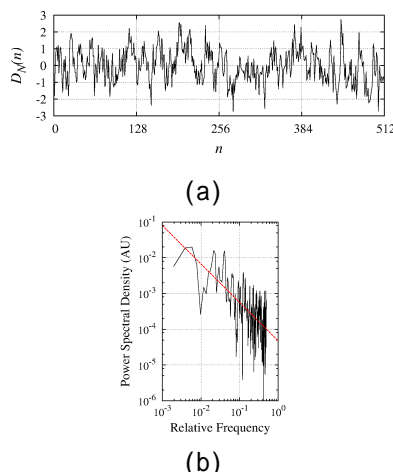


図 2 $1/f$ ゆらぎ時系列: (a) 波形、(b) パワースペクトル [11].

3. 研究の方法

本研究代表者が研究全般を担当し、大学院生を研究協力者として[11]-[13]、次のように感性工学に基づく感性評価に基づき心理的評価に関して検討することにより研究を進めることとした。CGアニメーションの製作には、商業映画のフォトリアルなCG製作にも使用され、GPUによるリアルタイムレンダリングに対応したソフトウェアであるUnreal Engine 4(UE4)を用い、また図1に示すCGキャラクタを製作して用い、図2に示す1/f ゆらぎ時系列を用いることとした。本来フォトリアルなCGキャラクタの製作はプロのデザイナーが行うものであり、経験のない製作者には困難である。そこで本研究では、特に不気味さに関係があると考えられる頭部には、Epic Games社によりUE4のサンプルとして公開されているフォトリアルな男性キャラクタの頭部を用いた。

(1) 繰り返し動作の場合の歩行に関する検討

フォトリアルなCGキャラクタを用いて製作した、繰り返し動作の場合の歩行のヒューマンアニメーションにおける1/f ゆらぎの効果を、本研究に先行して実施した感性評価の本実験により得られたデータに基づき、心理的評価に関して学術的に詳細に検討することとした[11]。その本実験では、人間の繰り返し動作となる歩行動作における歩幅に関する従来研究に基づき、歩幅および腕の振り幅に1/f ゆらぎを適用した。得られたデータに対して、因子分析や有意差の検定の適用、効果量の算出を行い、1/f ゆらぎを用いた場合と用いない場合を比較し、繰り返し動作の場合の歩行における1/f ゆらぎの効果を検討することとした。

(2) 多様な動作に関する検討

単純な繰り返し動作ではない、商業映画に比較的近い多様な動作を含むヒューマンアニメーションにおける、CGキャラクタの動作への1/f ゆらぎの適用に関して検討することとした。1/f ゆらぎの効果に関する本実験においては比較的多数の被験者による実験を実施することになる。しかしながら本研究の研究期間中においては、COVID-19による緊急事態宣言やまん延防止等重点措置などがあり、大学構内への立ち入り禁止措置や研究室内への立ち入り人数の制限措置があった。このため本実験のための多人数の同意を得ること、また多人数での実験を実施すること自体が困難と判断された。以上のことから、1/f ゆらぎの効果に関して検討する本実験のための、本研究室内における少人数による感性評価の予備実験に基づく、1/f ゆらぎの適用手法とCGアニメーションの製作手法に関する検討を行うこととした。また予備実験の実施においては適切な感染症対策を行うこととした。なお感性評価実験の実施前に茨城大学工学部生命倫理委員会の許可(許可番号:19T0900)を得ている。

(3) 1/f ゆらぎ適用ソフトウェアツールの製作

多様な動作に関する検討のため、アニメーションの動作データのフォーマットとして標準的に用いられているFBX(Filmbbox)形式を用いて、動作データを入力すると、1/f ゆらぎを適用した動作データを出力するという、1/f ゆらぎ適用ソフトウェアツールを製作することとした。

表1 繰り返し動作の場合の歩行の結果
(A_{SW} : ゆらぎ無し、 A_{SF} : 1/f ゆらぎ適用) [11].

形容詞対 (プラス側-マイナス側)	因子	被験者間平均値		p値	効果量r
		A_{SW}	A_{SF}		
不自然な-自然な	1	0.238	-0.238	0.264	0.17
心地わるい-心地よい	1	0.167	-0.167	0.350	0.14
滑らかな-滑らかでない	1	-0.095	0.095	0.530	0.10
重たい-軽やかな	1	0.286	-0.286	0.204	0.20
人間らしくない-人間らしい	1	0.476	-0.476	0.009	0.40
おもちゃっぽい-本物っぽい	1	0.476	-0.476	0.029	0.34
親しみやすい-親みにくい	1	-0.190	0.190	0.141	0.23
不気味でない-不気味な	1	-0.190	0.190	0.329	0.15
ありふれた-めずらしい	1	0.095	-0.095	0.559	0.09
好きでない-好きな	1	0.214	-0.214	0.165	0.21
機械的な-機械的でない	1	0.643	-0.643	0.001	0.49
単調な-複雑な	2	0.762	-0.762	0.000	0.55
おもしろい-つまらない	2	-0.238	0.238	0.046	0.31
メリハリのある-メリハリのない	2	-0.357	0.357	0.049	0.30
飽きのくる-飽きのこない	2	0.500	-0.500	0.002	0.48
印象的でない-印象的な	2	0.095	-0.095	0.613	0.08
生き生きしていない-生き生きした	2	0.190	-0.190	0.353	0.14
アクティブな-アクティブでない	2	0.143	-0.143	0.525	0.10

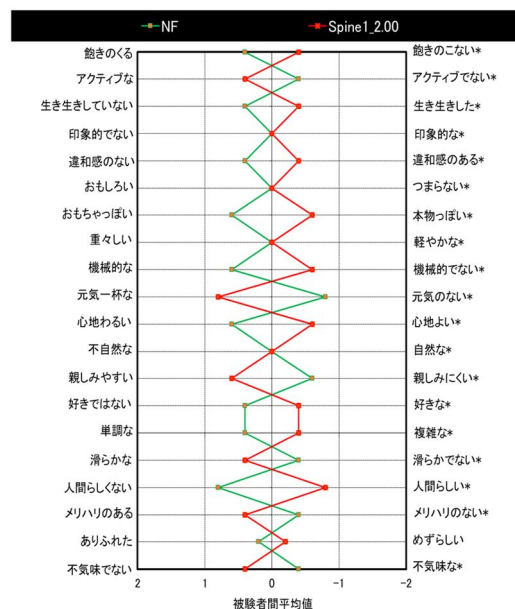


図3 走行を中心としたシーンの結果 (赤: ゆらぎ無し、緑: 1/f ゆらぎ適用) [12].

4. 研究成果

(1) 繰り返し動作の場合の歩行に関する検討

1/f ゆらぎを用いた場合と用いない場合の感性評価のデータを比較し、歩行における 1/f ゆらぎの効果を詳細に検討した[11]。検討の結果、因子分析には直交回転を用いた因子分析が適すると考えられた。また表 1 に示すように、実験結果から算出した評価の平均値である被験者間平均値、p 値および効果量 r を用いて分析した結果、1/f ゆらぎを用いたほうが、より人間らしい、より本物っぽい、より機械的でないものであったといえる。また 1/f ゆらぎを用いたほうが、より複雑なものであったといえる。歩行動作は上半身と下半身が連携した比較的複雑な全身動作であると考えられるため、1/f ゆらぎを用いることにより歩行動作に見合った複雑な動作のヒューマンアニメーションとなり、より親和感が高くなったと考えられる。よって 1/f ゆらぎを適用する本手法の妥当性を確認した。

(2) 多様な動作に関する検討

走行を中心としたシーンについての検討

まず走行を中心としたシーンについて検討した[5]-[8],[11],[12],[13]。事前検討に基づき、CG キャラクタの体の上下の軸となるヨーイング軸の回転角に 1/f ゆらぎを適用する手法を用いた。まずヒューマンアニメーション再生プログラムを開発、実行し、録画および編集することにより 1/f ゆらぎの大きさなどの異なる複数のヒューマンアニメーションを製作し、予備実験により、1/f ゆらぎの効果に関する検討に妥当な 1/f ゆらぎの大きさを求めた。次に、1/f ゆらぎの有無による差異を比較するための予備実験を実施し、評価の平均値である被験者間平均値を分析した。その結果、図 3 に示すように、1/f ゆらぎを用いることにより、より本物っぽい、より機械的でない、より人間らしいものとなる傾向があり、1/f ゆらぎの適用手法が妥当であると考えられた。

歩行を中心としたシーンについての検討

次に歩行を中心としたシーンについて検討した[9],[10],[12],[13]。走行シーンの検討と同様に CG キャラクタの体の上下の軸となるヨーイング軸の回転角に 1/f ゆらぎを適用する手法を用いて、感性評価により心理的評価に関して検討した。まずヒューマンアニメーション再生プログラムを開発、実行し、録画および編集することにより 1/f ゆらぎの大きさなどの異なる複数のヒューマンアニメーションを製作し、予備実験により、1/f ゆらぎの効果に関する検討に妥当な 1/f ゆらぎの大きさを求めた。次に、1/f ゆらぎの有無による差異を比較するための予備実験を実施し、評価の平均値である被験者間平均値を分析した。その結果、図 4 に示すように、感性評価に用いた各形容詞対において、差異は比較的小さい傾向があると考えられた。一方で歩行シーンに関しては比較的大きな差異がみられたことから、1/f ゆらぎを用いる最適な手法は、CG キャラクタの様々な動作に対して、それぞれ異なると考えられた。このため今後、歩行を中心としたシーンについては、他の軸の回転角に 1/f ゆらぎを適用する手法も検討する必要があると考えられた。

歩行を中心としたシーンについてのさらに詳細な検討

歩行を中心としたシーンについてさらに詳細に検討した[13]。CG キャラクタの体の上下の軸となるヨーイング軸もしくは前後の軸となるローリング軸の回転角に 1/f ゆらぎを適用する手法を用いて、感性評価により心理的評価に関して検討した。まずヒューマンアニメーション再生

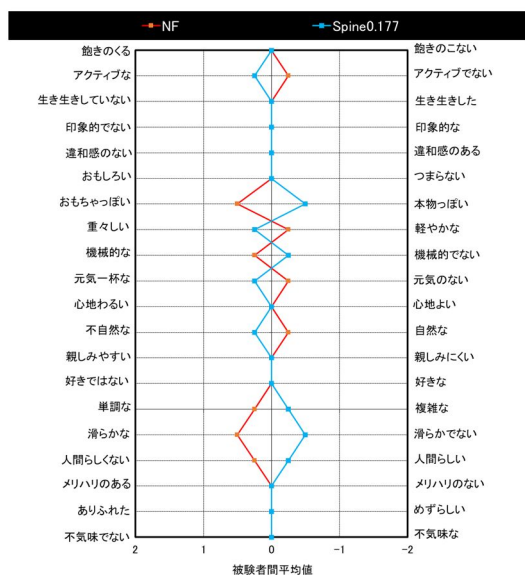


図 4 歩行を中心としたシーンの結果 (赤: ゆらぎ無し、青:1/f ゆらぎ適用) [12].

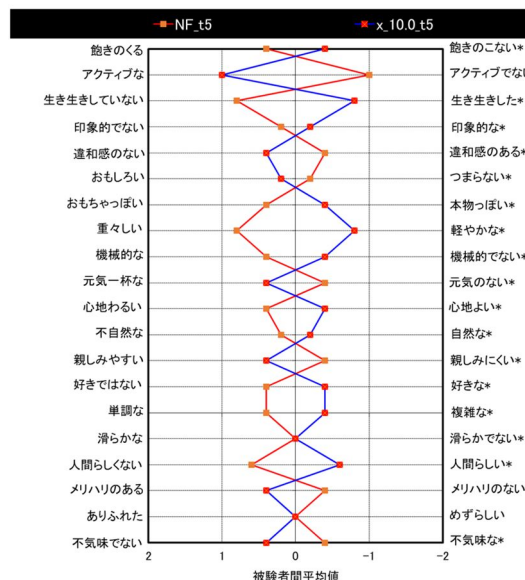


図 5 歩行を中心としたシーンの結果 (赤: ゆらぎ無し、青:1/f ゆらぎ適用) [13].

プログラムを開発、実行し、録画および編集することにより 1/f ゆらぎの大きさなどの異なる複数のヒューマンアニメーションを製作し、予備実験により、1/f ゆらぎの効果に関する検討に妥当な 1/f ゆらぎの大きさを求めた。次に、1/f ゆらぎの有無による差異を比較するための予備実験を実施し、評価結果を分析した。また CG キャラクタの体の軸の回転角に 1/f ゆらぎ時系列を適用する手法をさらに改善し、より CG キャラクタの動作に見合う手法を検討した。その手法として、CG キャラクタの動作データの変化量の絶対値に移動平均フィルタを適用後に定数倍したものを動作の大きさとし、その動作の大きさに基づき 1/f ゆらぎの大きさを制御する手法を考案した。また 1/f ゆらぎ時系列の、1/f ゆらぎ型となる周波数範囲についても検討することとした。予備実験では、まず 1/f ゆらぎの効果の検討に妥当な前出の定数を求め、次に 1/f ゆらぎの有無による差異に関する傾向を分析するため、評価の平均値である被験者間平均値を図 5 に示すように算出した。その結果、本手法が妥当であり、ローリング軸の回転角に 1/f ゆらぎを用いた場合に肯定的な傾向となると考えられた。また、歩行を中心としたシーンのように動作の大きさが比較的小さいシーンでは、走行を中心としたシーンのように動作の大きさが比較的大きいシーンに比較し、1/f 型となる周波数範囲を、より低くすることが適切と考えられた。このため CG キャラクタの動作の大きさにより、1/f ゆらぎの大きさと周波数範囲を適切に設定する必要があるという新たな知見を得た。

(3) 1/f ゆらぎ適用ソフトウェアツールの製作

動作データのフォーマットとして標準的に用いられている FBX(Filmbbox)形式を用いて、動作データを入力すると、CG キャラクタの体の任意の軸の回転角へ 1/f ゆらぎを適用した動作データを出力するという 1/f ゆらぎ適用ソフトウェアツールを製作した[5]-[13]。

<引用文献>

- [1] 山田光宏, 大内貴弘, 西木戸亜美, 箱崎翔太, 栗田大地, 中島千紘, “歩行の CG アニメーションにおける 1/f ゆらぎの効果,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol.100, no.7, pp.699-708, 2017.
- [2] 山田光宏, “カオス性の異なる 1/f ゆらぎの感性評価と発生手法の開発,” 科学研究費助成事業研究成果報告書(挑戦的萌芽研究 課題番号 25540119), 2015.
- [3] 山田光宏, 井上裕貴, 野月悠平, 大和田祥平, 金沢文恵, 中村雅人, “カオス性の異なる 1/f ゆらぎを用いた拍手のアニメーションの感性評価,” 日本感性工学会論文誌, vol.12, no.3, pp.389-396, 2013.
- [4] 山田光宏, 佐藤康二, 麻生明義, “1/f ゆらぎを用いた拍手のアニメーションに関する研究,” 芸術科学会論文誌, vol.9, no.4, pp.154-162, 2010.
- [5] 須賀 菜由子, 小佐野 瑞基, 渡邊 晃丈, シャズワン カリリスワイド, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作,” 第 21 回日本感性工学会大会, 12B2-04, 2019.
- [6] 小佐野瑞基, 須賀菜由子, シャズワンカリリスワイド, 渡邊晃丈, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価,” 第 21 回日本感性工学会大会, 12B2-05, 2019.
- [7] 須賀菜由子, 古橋直紀, 小佐野瑞基, 市川裕司, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作,” 第 22 回日本感性工学会大会, 3A06-10-03, 2020.
- [8] 古橋直紀, 須賀菜由子, 小佐野瑞基, 市川裕司, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価,” 第 22 回日本感性工学会大会, 3A06-10-04, 2020.
- [9] 樵 証希, 須賀菜由子, 古橋直紀, 傳田拓夢, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作,” 電子情報通信学会 2021 年ソサイエティ大会, A-15-4, 2021.
- [10] 傳田拓夢, 須賀菜由子, 古橋直紀, 樵 証希, 山田光宏, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価,” 電子情報通信学会 2021 年ソサイエティ大会, A-15-5, 2021.
- [11] 小佐野瑞基, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションに関する研究,” 茨城大学大学院理工学研究科電気電子システム工学専攻令和元年度修士学位論文, 2020.
- [12] 須賀菜由子, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作手法に関する研究,” 茨城大学大学院理工学研究科電気電子システム工学専攻令和 2 年度修士学位論文, 2021.
- [13] 古橋直紀, “1/f ゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価に関する研究,” 茨城大学大学院理工学研究科電気電子システム工学専攻令和 3 年度修士学位論文, 2022.
- [14] Masahiro Mori, “The Uncanny Valley,” IEEE Robotics & Automation Magazine, vol.19, no.2, pp.98-100, 2012.
- [15] Jari Kätsyri, et al., doi:10.1016/j.ijhcs.2016.09.010.
- [16] Philippe Terrier, et al., doi:10.1016/j.humov.2005.03.002.
- [17] Epic Games, “Photorealistic Character,” <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/Resources/Showcases/PhotorealisticCharacter/>, 参照 June 10, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 樵 紘希, 須賀 茉由子, 古橋 直紀, 傳田 拓夢, 山田 光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年ソサイエティ大会, A-15-4
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 傳田 拓夢, 須賀 茉由子, 古橋 直紀, 樵 紘希, 山田 光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年ソサイエティ大会, A-15-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須賀 茉由子, 古橋 直紀, 小佐野 瑞基, 市川 裕司, 山田 光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作
3. 学会等名 第22回日本感性工学会大会, 3A06-10-03
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古橋 直紀, 須賀 茉由子, 小佐野 瑞基, 市川 裕司, 山田 光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価
3. 学会等名 第22回日本感性工学会大会, 3A06-10-04
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須賀 茉由子, 小佐野 瑞基, 渡邊 晃丈, シャズワン カリリスワイド, 山田光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの製作
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会, 12B2-04
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小佐野瑞基, 須賀茉由子, シャズワンカリリスワイド, 渡邊晃丈, 山田光宏
2. 発表標題 1/fゆらぎを用いたヒューマンアニメーションの感性評価
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会, 12B2-05
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

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