

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04150

研究課題名（和文）体性感覚の相互作用を用いた食体験向上のための食メディア基盤技術に関する研究

研究課題名（英文）Human food interaction technologies for improving food experiences using cross-modality of somatosensory

研究代表者

小川 剛史（Ogawa, Takefumi）

東京大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：60324860

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：食事におけるおいしさを向上させるために、これまで視覚や嗅覚、味覚のクロスモダリティを応用した研究が盛んに行われてきた。本研究では、体性感覚に起因する食事のおいしさをインタラクティブに提示するための感覚提示方式を確立することを目的としている。味覚の中でも辛味や渋味といった味は、皮膚で知覚する痛みなどの触覚に由来している。また、食感は硬さや重さなど骨格筋で知覚する力触覚に関係が深い。提案手法では、これらの感覚受容器に刺激を与えることで、食体験向上を目指して研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来研究で主に取り扱われてきた、視覚や嗅覚、味覚（甘味、酸味、塩味、苦味、旨味）への刺激ではなく、歯ごたえや舌触り、温度といった力覚や圧覚、触覚、温冷覚といった体性感覚を刺激することで、新たな食体験が実現できるかどうかを情報技術的立場から取り組んだことによる学術的意義がある。また、食体験向上に関する技術は食べる喜びを後押しするだけでなく、将来的に農業の工業化により画一化された食品の普及が進んだときでも、それぞれの好みに応じた食体験を提供できる可能性を持っており、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：To improve the taste of meals, many previous works have been conducted on utilizing cross-modalities, including vision, smell, and taste. The objective of this study is to establish an interactive sensory presentation method that realizes the deliciousness of a meal, specifically focusing on the somatosensory system. Among various tastes, sensations like pungency and astringency are derived from tactile perceptions, such as pain experienced through the skin. Additionally, texture is closely associated with tactile sensations such as hardness and weight, which are perceived by skeletal muscles. We proposed method aims to enhance the eating experience by stimulating these sensory receptors.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：インタフェース クロスモーダル 触覚提示 温冷刺激 電気刺激

### 1. 研究開始当初の背景

食事は、外界から食物を体内へ取り入れることによって、人間が生命を維持し、活動や成長に必要な栄養分を補う、生きる上で生物学的に必要な行為である。また、おいしい食事に満足したり、子どもの頃の味の記憶に懐かしさを感じたり、仲間同士と一緒に食事を摂ることによって帰属意識を高めたりなど、日常生活において重要な社会的役割を担っている。

食事におけるおいしさは、五感から得られる料理そのもののおいしさだけでなく、レストランの雰囲気や温湿度といった環境的要因、健康状態や空腹具合といった生理的要因、食習慣や食文化といった食環境による要因など、さまざまな要因によって決定される。我々が五感から得ているおいしさも、甘味、酸味といった味覚に加え、食べ物を噛んだときの食感や音、食べ物を口に入れたときに鼻に抜ける風味、新鮮な見た目や色鮮やかな盛り付けなど、さまざまなチャネルから情報を取得して得られる複合的な感覚である。これまでも、舌面を直接刺激することによる味覚提示、飲食物の色や外観などの視覚情報や香りによる嗅覚情報との相互作用による味覚提示、咀嚼音などの聴覚情報を用いた食感提示などのアプローチが提案されてきた。

### 2. 研究の目的

本研究では、体性感覚に起因する食事のおいしさをインタラクティブに提示するための感覚提示方式を確立し、人々の食生活を支援するための技術を開発することを目的とする。

味覚提示に関する従来研究の多くは、おいしさを構成する基本要素である基本味(甘味、酸味、塩味、苦味、旨味)に着目しており、味覚そのものだけでなく、眼、鼻、耳という特定の感覚器官から得られる情報との相互作用が用いられているのに対し、本研究では、おいしさの構成要素の中で食感や辛味、渋味といった皮膚や骨格筋への刺激提示によるおいしさに着目し、その感覚間相互作用と錯覚による影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、体性感覚に起因する食事のおいしさをインタラクティブに提示するための感覚提示方式を確立するため、味覚の中でも甘味、酸味、塩味、苦味、旨味の5種類に分類され舌に存在する味蕾で知覚する「基本味」ではなく、辛味や渋味といった皮膚表面の触覚受容器で知覚する味に注目し、温冷刺激による痛覚を用いた味覚提示手法や、舌触りなど食品の表面形状に基づくテクスチャ感提示手法、食器を食メディアインタフェースとして利用するため、電気刺激を用いた重量感提示手法の3つの項目について主に研究を進めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 温冷刺激を用いた辛味提示方式

サーマルグリル錯覚とは、冷たい棒と温かい棒を同時に触れるとあたかも熱い棒に触れたときに感じるような熱痛覚が生起する錯覚である。温度受容 TRP チャンネルは温度に応じて活性化する以外にも、一部の化学物質が受容体と結合することでも活性化する。ヒトが辛味を感じる物質には、トウガラシに含まれるカプサイシン、ショウガに含まれるジンゲロール、ニンニクに含まれるアリシン、黒コショウに含まれるピペリンなどがあり、これらの成分はいずれも、43℃以上で活性化する熱刺激受容体の TRPV1 と結合して活性化させる働きがある。この 43℃ という TRPV1 の熱活性化温度閾値は、ヒトや動物に痛みを引き起こす温度閾値とほぼ一致しており、TRPV1 が侵害性熱刺激受容に関与していることを示している。

このことから、ヒトは辛味を熱痛覚として知覚しており、温度感受性 TRP チャンネルが密接に関与していると考えられる。サーマルグリル錯覚を舌に提示するために、図1に示す舌刺激装置を構築した。2つのヒートシンクを用意し、それぞれにペルチェ素子と温度センサを接着した。それぞれのヒートシンクを冷刺激用と温刺激用として利用するためにペルチェ素子に与える電圧の向きを調整し、温度センサの値を参照しながら目的の

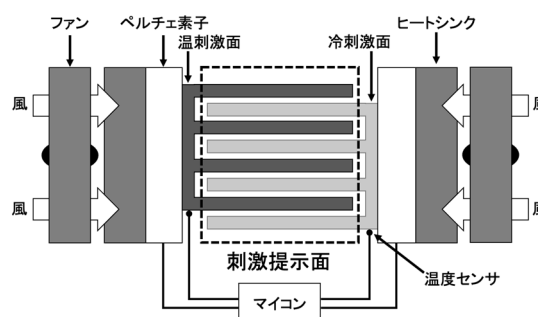


図1 刺激装置

温度になるまでマイコンによって電圧を制御する。刺激提示面は、冷刺激用ヒートシンクと温刺激用ヒートシンクが交互に並ぶように配置して固定している。刺激提示面のサイズは、およそ20mm×20mmで、冷刺激用および温刺激用のバーがそれぞれ4本交互に並んでいる。本研究では、サーマルグリル錯覚を舌に生起させることで辛味を提示する手法を提案し、構築した舌刺激装置によって、実際にどのような味を感じるのか、また提示する温冷刺激の温度条件によってどのように知覚が変化するのかを調査した。図2に調査結果の一部を示す。温冷刺激によってサーマルグリル錯覚が舌部にも生起すること、温冷刺激の温度差が大きいほど、また平均温度が高いほど辛味を強く知覚することや知覚した辛味は唐辛子を食べたときのように温冷刺激を止めても継続すること、また水を口に含むことですぐにその感覚がなくなることが明らかになった。

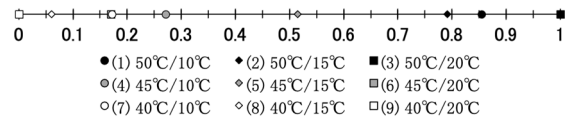


図2 味覚強度

(2) 電気刺激を用いた触覚提示におけるテクスチャ表現

ツルンとした舌触りやザラツとした舌触りなど食品のテクスチャ感を変更して食感を拡張することを目的とする。従来の電気刺激を用いたテクスチャ感提示に関する研究では、単一の振幅、幅、間隔を持つパルス波形が用いられることが多かった。しかし、リアリティの高いテクスチャ感を提示するためには、物体表面構造を触れた際の複雑な振動感を表現する必要があるため、単一の電気刺激のみでの提示は困難であった。そこで本研究では、振幅、幅、間隔の異なるパルス波形を組み合わせることで、単一のパルス波形を用いた電気刺激とは異なる触覚を与えられる可能性を見出した。具体的には、物体表面構造に基づいたテクスチャ感提示を電気刺激で行うため、図3に示すように電流波形を構成する。時刻  $0 \leq t \leq T$  において、指先を物体表面上で動かしてテクスチャ感を得ることを考えた場合、時間  $t$  において指先が接している物体表面の高さを  $h(t)$  としたとき、指先は、物体表面構造の凸部(極大値)をなぞることになる。そこで物体表面で  $h(t)$  が極大値となる時刻に、その大きさに応じた強さのパルス電流を印加する手法を提案した。ザラつき度合いの異なる物体を3Dプリンタで出力し、それぞれのサンプルに触れたとき、提案手法によって電気刺激を提示した場合の感覚の類似度を評価し、単一の周期パルスを用いる場合よりも類似度が高く、リアルなテクスチャ感を提示できる可能性が明らかとなった。

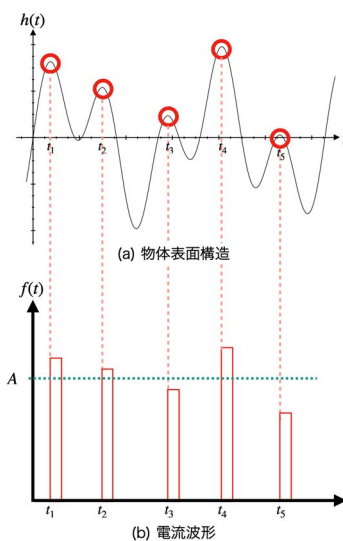


図3 電流波形生成

(3) 電気刺激を用いた重量感提示

スプーンやフォークなど食器を用いて食品を口に運ぶとき、重たければ多くの量を軽ければ少ない量を口に入れているように感じさせることができると考えられる。自由に食器越しに感じる重量感を変更することができれば、例えば常に少し重たく感じさせることで食べすぎを抑制するなどの応用が期待できる。これまで重量感を変更する場合には、視覚と触覚の感覚感相互作用が用いられることが多かったが、本研究では、電気刺激による振動感を用いて重量感を変更することを試みた。提案手法では、与える電気刺激における電圧と周波数より人が知覚する刺激の強度を定式化し、そのモデルに基づいて刺激することで、従来のボイスコイル型振動子を用いた手法よりも、解像度の高い重量感提示が可能になったことが明らかになった。

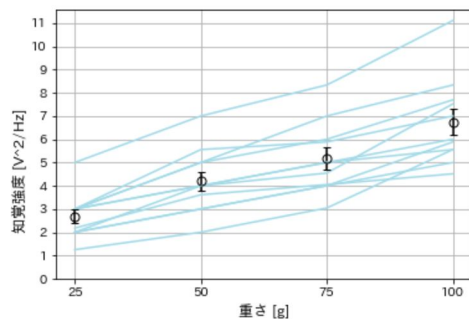


図4 刺激知覚強度と重量の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 坪内 優樹, 小川 剛史	4. 巻 28
2. 論文標題 VR体験におけるサイバー酔い抑制のためのまばたきを用いた視点回転操作手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 19 ~ 26
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 森島 正博, 小川 剛史	4. 巻 11
2. 論文標題 高速・高品質な可視化のための三次元点群の密度を考慮したオクルージョン推定方式	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
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 Hirai Akimu, Nakayama Masaya, Ogawa Takefumi	4. 巻 33
2. 論文標題 Local Peak Method: An Electrotactile Stimulation Method Focusing on Surface Structures for Texture Rendering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1043 ~ 1050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2021.p1043	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 林 芳樹, 小川 剛史	4. 巻 9
2. 論文標題 スマートフォン利用時のセンサ情報を用いた眠気判定手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
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 宇川 拓人, 小川 剛史	4. 巻 9
2. 論文標題 Bubble-Pixels : 気泡を用いた図形描画のための水中ディスプレイ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 9情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ)	6. 最初と最後の頁 11~20
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 多田 祥起, 小川 剛史	4. 巻 25
2. 論文標題 ユーザ視点移動による擬似抵抗感・吸引感生起に関する一検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 60~67
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.25.1_60	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 大山 晃平, 小川 剛史	4. 巻 25
2. 論文標題 クロスモーダル効果を用いた圧覚の隠消現実感提示	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 31~39
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.25.1_31	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 小川 剛史, 高橋 直人	4. 巻 8
2. 論文標題 Haptic Turntable: 視触覚VRのためのリターゲットイングと回転運動を用いた力触覚提示システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ(DCON)	6. 最初と最後の頁 20~28
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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤次 徹也, 中山 雅哉, 小川 剛史
2. 発表標題 VR環境での重量感覚再現に向けた指先への電気刺激の特徴量に関する検討
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 葦澤 雄太, 小川 剛史
2. 発表標題 VR環境での重量感覚再現に向けた指先への電気刺激の特徴量に関する検討
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮澤 政駿, 小川 剛史
2. 発表標題 作業環境におけるアバタを通じた他者の存在感提示効果の検証
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 角南 陽友, 小川 剛史
2. 発表標題 VR音楽ライブにおける他の観客との共存感向上を目的とした声援合成手法の提案と評価
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊延 観司, 小川 剛史
2. 発表標題 ウェアラブル機器を利用した視線情報と歩行行動の特徴に基づく興味推定手法
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菺澤 雄太, 小川 剛史
2. 発表標題 回転移動操作に対するフットステップ錯視を用いた擬似触力覚提示
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菺澤 雄太, 小川 剛史
2. 発表標題 二点マルチタッチにおけるフットステップ錯視を用いた擬似触力覚生起に関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haoyue Tan and Takefumi Ogawa
2. 発表標題 Sentiment-aware Interview Chatbot Based on Deep Learning Approach for Personality Detection from Text
3. 学会等名 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坪内 優樹, 小川 剛史
2. 発表標題 まばたきを用いた視点回転操作によるウォークスルー時のサイバー酔い抑制効果
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀越 尉央, 小川 剛史
2. 発表標題 一人称動画における速度感覚低減を目的とした動画提示手法の提案と評価
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川 貴哉, 小川 剛史
2. 発表標題 ARグラス着用時のUIの移動による歩行誘導手法
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北野 壮一, 小川 剛史
2. 発表標題 オンラインショッピングにおける購買体験を支援する拡張現実感技術を用いたVirtual Try Onシステム
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 森島 正博, 小川 剛史
2. 発表標題 三次元点群の高速・高品質な可視化のための密度を考慮したオクルージョン推定
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坪内 優樹, 小川 剛史
2. 発表標題 VR空間でのまばたきを用いた視点回転操作によるシミュレータ酔い抑制効果
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菘澤 雄太, 星野 聖, 小川 剛史
2. 発表標題 タッチパネルにおける錯視現象を利用したPseudo-Hapticsの生起
3. 学会等名 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北野 壮一, 小川 剛史
2. 発表標題 Virtual Try On のための衣服画像を用いた衣服モデル作成手法に関する一検討
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井 亨武, 中山 雅哉, 小川 剛史
2. 発表標題 触覚提示のための複数パルス波形を用いた電気刺激方式とその評価
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOM02020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井 亨武, 中山 雅哉, 小川 剛史
2. 発表標題 テクスチャ感提示のための物体表面構造に着目した電気刺激方式の一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小沢 健悟, 小川 剛史
2. 発表標題 安全な「歩きVR」を支援する空間提示システム
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦 光紀, 小川 剛史
2. 発表標題 HMD を用いた全方向動画視聴のための Direct Manipulation 手法に関する検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森島 正博, 小川 剛史
2. 発表標題 三次元点群の高速・高品質な可視化のためのオクルージョン推定に関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 芳樹, 小川 剛史
2. 発表標題 スマートフォン利用時のセンサ情報を用いた眠気判定手法に関する一検討
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦 光紀, 小川 剛史
2. 発表標題 HMD環境におけるDirect Manipulationを用いた全方位動画ナビゲーションに関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shoki Tada and Takefumi Ogawa
2. 発表標題 Evoking Pseudo-Haptics of Resistance Force by Viewpoint Displacement
3. 学会等名 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田 祥起, 小川 剛史
2. 発表標題 ユーザ視点位置の動的変更による擬似触覚生起に関する一検討
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOM02019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 芳樹, 小川 剛史
2. 発表標題 スマートフォンのタップ操作を用いた眠気判定手法に関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中澤 陽介, 萩生 翔大, 野崎 大地, 小川 剛史
2. 発表標題 現実空間での移動量低減を目的としたVR空間における歩幅の運動学習に関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇川 拓人, 小川 剛史
2. 発表標題 Bubble-Pixels : 気泡を用いた図形描画のための水中ディスプレイの設計と実装
3. 学会等名 情報処理学会デジタルコンテンツクリエイション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小沢 健悟, 小川 剛史
2. 発表標題 安全性を考慮した「歩きVR」システムにおける空間操作ツールの実装
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇川 拓人, 小川 剛史
2. 発表標題 Bubble-Pixels : 気泡を操作するインタラクティブ水中ディスプレイの検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小沢 健悟, 小川 剛史
2. 発表標題 安全な「歩きVR」を支援する空間切り替え制御機構の設計と実装
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田 祥起, 小川 剛史
2. 発表標題 ユーザ視点の移動による擬似的な抵抗力・吸引力提示に関する一検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小川剛史	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 8
3. 書名 VR / AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例（分担執筆）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

小川研究室HP <a href="https://www.ogawa-lab.org/">https://www.ogawa-lab.org/</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
---------	---------