

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月12日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21680011

研究課題名（和文） 感覚相互作用を利用した嗅覚・味覚提示手法

研究課題名（英文） Olfactory and gustatory display by using cross-modal effects

研究代表者

谷川 智洋 (TANIKAWA TOMOHIRO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：80418657

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、感覚相互作用を利用して、少ない種類の化学物質を用いて多様な匂いや味の提示を実現可能にする感覚提示手法とシステムを実現することである。嗅覚や味覚は、元々認知に対して様々な変動性や不安定性を伴う。本申請では、他の感覚刺激の影響を受けやすいことを逆に利用し、提示する実際の匂いや味に視覚情報を組み合わせて提示することで、多彩な匂いや味を認識させる手法の提案と実証を行う。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we proposed novel olfactory and gustatory display system by utilizing interaction of olfaction with other senses. Olfactory sensation is based on chemical signals whereas the visual sensation and auditory sensation are based on physical signals. By using this cross-modal effect between olfaction and vision, we can present various olfactory sensations different from the presented smell. Also, by using cross-modal effect among olfaction, gustation and vision, we can present various gustatory sensations with same food via visual-olfactory displays. By analyzing and utilizing these cross-modal effects, it is possible to augment the capability of olfactory displays and achieve high quality olfaction and gustation experience.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2010年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	20,500,000	6,150,000	26,650,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス、複合現実感、五感インターフェイス

## 1. 研究開始当初の背景

嗅覚や味覚は個人差や体の調子といった人間の深層部分に依存するため、定量的な評価が難しく、近年に至るまで研究が進んでこなかったのが現状である。ゲノム解析などか

ら嗅覚の受容体が388種類であることが判明するなど、匂いや味の受容体の研究は進みつつあるものの、依然として具体的な化学物質の特定や認識との対応の研究までには至っていない。認識の研究ではSD法による主観

的な分析や評価が依然として中心的である。工学的な応用としては、半導体ガスセンサや脂質高分子膜による膜電位変化の計測を用いることで、嗅覚、味覚センサ技術が実用化しつつある。複数の特性を持つセンサを組み合わせることで、匂いや味の種類や違いの識別する研究が行われているものの、特定の食品に限定するなど特化しているのが現状である。

一方、嗅覚情報や味覚情報の提示は、化学物質の受容に基づいていることもあり、物理的感覚である視覚・聴覚・触覚に比べ、定量的性能に踏み込んだ研究は国内外を問わず非常に少ない。嗅覚ディスプレイについては、臨場感を向上する手段として、嗅覚ディスプレイや匂い配信サービスなど、コンテンツと連動して特定の匂いを提示する試みが国内において積極的に行われ始めている段階である。味覚ディスプレイに至っては、まだ研究としても例がなく、その実現可能性が議論されているレベルである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、感覚相互作用を利用して、少ない種類の化学物質を用いて多様な匂いや味の提示を実現可能にする感覚提示手法とシステムを実現することである。嗅覚や味覚は、元々認知に対して様々な変動性や不安定性を伴う。本研究では、他の感覚刺激の影響を受けやすいことを逆に利用し、提示する実際の匂いや味に視覚情報を組み合わせて提示することで、多彩な匂いや味を認識させる手法の提案と実証を行う。

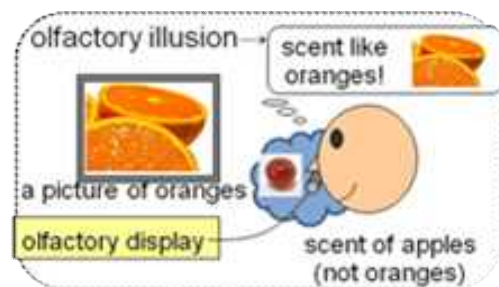


図1 視覚による嗅覚の引き込み効果

### (1) 人間の認知に基づいた味覚・嗅覚の類似度の測定

嗅覚・味覚における感覚相互作用の影響を解析するための前段階として、匂いの類似度、味の類似度を表わすマップの作成をおこなう。このとき、認知心理学的な手法を用いて人間の主観評価をおこなうことに加え、科学的組成など客観的な評価基準に基づき類似度マップを作成する。これにより、実際に感覚情報を提示した際に人間がどのように感じるかをベースとした嗅覚・味覚情報の類似度マップを作成することができる。

### (2) 嗅覚・味覚における感覚相互作用の評価

(1)で得られた類似度マップに基づき、一つの化学物質を提示する際に、同時に提示する視覚情報を変化させることでどの程度まで近似した匂いや味を認知させることができるかを明らかにする。化学物質と他の感覚情報を同時に提示することで起こる、嗅覚・味覚における感覚相互作用の解析をおこなう。

### (3) 感覚相互作用を活用した嗅覚・味覚提示システムの構築

(2)で得られた知見をもとに、どのような視覚情報をどのような手法で提示すれば感覚相互作用を効果的に引き起こすことができるかを明らかにし、嗅覚情報を提示するシステムおよび味覚情報を提示するシステムを構築する。嗅覚・味覚と他感覚の感覚相互作用を効果的に引き起こし、少ない種類の化学物質をソースとして多様な匂いや味を表現することができる感覚情報ディスプレイシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) 嗅覚・味覚提示システムの構築と類似度評価

嗅覚情報の提示には、開発したウェアラブル嗅覚ディスプレイで検討した微小液滴の噴射による手法を取り入れ、インクジェットヘッドデバイスを複数利用することにより、正確な嗅覚情報提示を実現する。呼吸を検知し、吸気のタイミングで気化に近い微小液滴を噴霧することで、嗅覚受容体に直接刺激を与えることが可能になる。従来、気体の状態で扱っていた香料を液体の状態で扱うことが可能になり、提示される嗅覚情報の強度や種類の正確で細かい制御や素早い応答性、多くの匂いを使った嗅覚情報提示を実現できる。

また、味覚情報の提示についても同様に、制御可能なマイクロピペットを利用することで、クエン酸やリンゴ酸など化学調味料の液滴を正確に供給・混合することで行った。味蕾細胞への提示は、食器を模したチューブによる供給を検討する。

さらに、構築した嗅覚・味覚提示装置を用いて、様々な味や匂いがお互いにどのような距離にあるか類似度マップを作成する。本研究では、まず匂い・味認識装置を用いて計測し、多変量解析を行うことで相対距離に応じたマップを作成する。さらに、実際に被験者に対し具体的な種類の匂いや味を様々な強度で提示し、順序づけをしてもらうことで、主観評価と客観評価による類似度マップを作成する。

(2) 嗅覚・味覚・視覚間の感覚相互作用の評価システムの構築

(1)で構築した嗅覚ディスプレイ、味覚ディスプレイと、ユーザの位置姿勢情報を取得し視覚情報提示を行うシステムを統合し、嗅覚・味覚・視覚間の感覚相互作用を評価するためのシステムを構築する。提示する視覚刺激は、実物の提示からリアリティの高い映像提示、色などの抽象的な視覚刺激までを想定し、臨場感高く実物との重畳が可能な立体視映像の投影を行う。

(3) 嗅覚・味覚・視覚間の感覚相互作用の影響の分析

(2)で開発したシステムを利用して、提示される各感覚情報が互いに与える影響や、情報提示量のバランスに関する実験および評価を行う。(1)で構築した類似度マップと、視覚・嗅覚・味覚を同時に提示したときの主観評価を比較することにより、感覚相互作用の影響の大きさを計測する。

#### 4. 研究成果

(1) 嗅覚の類似度マップと嗅覚・味覚提示の検証

7人の被験者に各々の香料に浸した試験紙を嗅いでもらい、2種類の匂いの類似性を5段階評価してもらった。5段階評価の類似度と匂い間の距離の関係を表1に示すように規定した。18種類の嗅覚サンプルの全ての組み合わせについて判定を行い、18次元の距離マトリックスを作成し、多次元尺度法を用いて2次元の嗅覚マップを作成した。

まず、嗅覚評価への信頼性のため、同じ匂いとされている香料を同じ匂いとして識別することができるかどうかの評価を行った。同じレモン同士、ライチ同士の香料に浸した1対のテストペーパーを準備し、5人の被験者に対し類似性を評価するように依頼した結果を図1に示す。18種類の全てのおいでの組み合わせにおける類似性の度の平均と比較を行った。同じレモン香料間の類似度の平均値は4.6、ライチ香料間の類似度は4.2であり、両方の結果が18種類全部の平均(2.07(p<0.01))と比較して非常に高い値を示しており、嗅覚に基づく類似度の測定に信頼性があると言える。

さらに7人の被験者の嗅覚類似度評価を平均することで共通の嗅覚マップを構築する。平均の手法としては単純平均をとる手法と、似ている-似ていないの2値化後の平均をとる手法を試みた。構築した嗅覚情報マップを図2に示す。二値化平均の場合、異なる2種類のレモン香料、ライチ香料同士が他の香料よりも近くなり信頼性が高いといえる。

具体的な匂いと関連づいた、工学的に利用可能なマップは他に類のないものである。



図2 構築した嗅覚情報マップ

(2) 嗅覚・味覚・視覚間の感覚相互作用の評価システムの構築

嗅覚と味覚の感覚間相互作用、クロスモダリティに着目し、嗅覚が味覚に与える影響を確かめるシステムの開発を行った。

まず、その影響をさらに高めるために、口腔内に匂いを提示することを提案した。嗅覚-味覚間相互作用を利用してジュースの味を変えるシステムを製作した。このシステムでは、ユーザがジュースをストローで飲む瞬間にストローの横から匂いを含む空気を出すことで、口腔内に匂いを提示すること、また、鼻先に匂いを含む空気を出すことで、鼻先に匂いを提示することが可能である。

味の強さに対する回答は、酸っぱさ、甘さと同様に各個人ごとの平均を1としたとき、図5となった。オレンジ、アップルともに4名中2名において、匂いを口腔内に提示したときの方が匂いを鼻先に提示したときよりも味の強さが強くなっていた。逆に、味の強さが弱くなっていた被験者はいなかった。

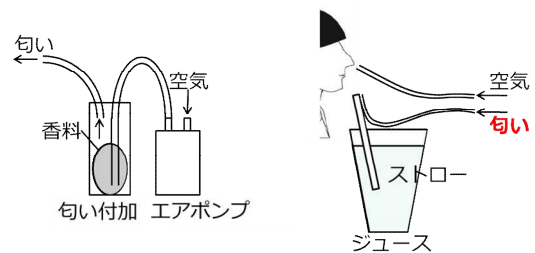


図3 嗅覚・味覚相互作用評価システム

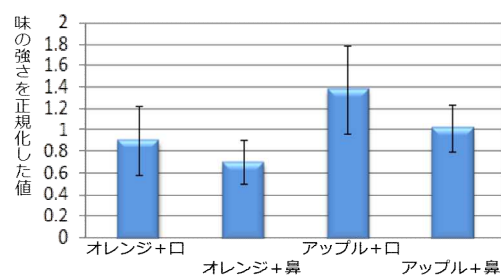


図4 鼻先と口腔内に匂いを提示したときの味の強さ

さらに、さまざまな味を提示することができる味覚ディスプレイの実現を目指し、味覚情報を提示する際に、視覚及び嗅覚を複合現実感技術を用いて重畳提示し、摂取する食物そのものを変化させることなく味の認識だけを変化させる手法について検討をおこなった。

本システムでは、ユーザはHMDに二つのカメラと嗅覚ディスプレイが取り付けられた装置を装着し、マーカ付きのクッキーを食べる。このとき、クッキー認識部のカメラがマーカ付きクッキーを認識し、クッキーの位置を6自由度で計算し、クッキーとユーザの鼻や口との間の距離を計算する。算出された情報に基づいて、クッキーに視覚情報が重畳される。また、クッキーを食べる前にはクッキーとユーザとの距離に応じた強さの匂いが提示され、クッキーを食べている最中には強度の強い匂いが提示される。

視覚情報重畳部で重畳させるテクスチャとしては、実際にさまざまな市販のクッキーを撮影したものを用いた。実際の重畳表示の様子を図6に示す。実写のクッキーがマーカ付きクッキーの上に重畳して表示されることで、見た目にはマーカ付きクッキーとは違う種類のクッキーがあるように感じられる。この視覚効果が、実際にはユーザはマーカ付きクッキーを手に行っているにも関わらず、自分の選択した味のクッキーを手に行っているかのような感覚にさせることが可能になった。

このシステムは、ACM SIGGRAPH 2010, インタラクション 2010 などでデモとして採用され、非常に好評であった。また、成果はACM CHI2011の論文にも採択されている。

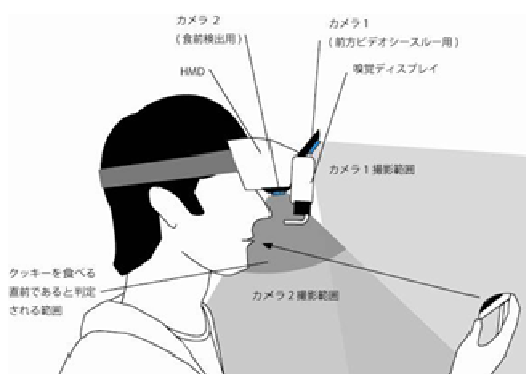


図5 嗅覚・味覚・視覚間相互作用

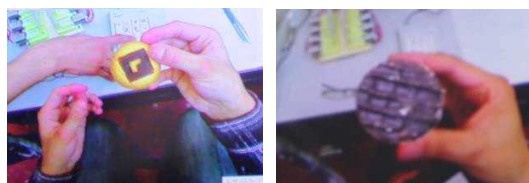


図6 クッキーへのテクスチャ重畳 (左: 重畳前, 右: 重畳後)

### (3) 嗅覚・味覚・視覚間の感覚相互作用の影響の分析

視覚・嗅覚間の相互作用を用いた視嗅覚ディスプレイは、匂い生成部、コントローラ、ノートPC、PCモニターから構成される。匂い生成部は、4つの空気ポンプにより、4種類の匂いを出力できるようになっている。PCから任意の匂いの出力と、画像の表示が可能になっている。

7人の被験者により、構築した嗅覚情報マップ(図2)に基づく視嗅覚提示の評価実験を行った。7名は匂いマップ構築の被験者とは別となっている。匂い構築に使用した18種類のうち4種類を要素臭として選択して提示を行い、18種類の匂いに対応する写真を見せ、被験者に「どのような匂いを感じるか」という質問を行った。

構築した匂いマップから、評価に使用した18種類の匂いの特徴によって4つのグループに分類した(図7)。さらに、分類した4つのグループの内、もっとも重心に近い匂い(メロン、レモン、ライチ、リンゴ)を要素臭として選択した。

引き込み効果の確認のため、選択した要素臭に最も近い匂いと2番目に近い匂いの写真を被験者に提示した。各々の被験者が写真と匂いの組み合わせを体験した27試行の内、平均36%で写真の匂いを感じたと答えた。これは香料の匂いの回答率よりも十分に高いと言える。さらに、嗅覚情報マップ上の距離との比較を行った。写真と香料の匂いが近い場合は平均44%、遠い場合は平均27%であった(図8)。以上から嗅覚情報マップ上の距離と写真による引き込み効果が相関するということができ、嗅覚情報マップに基づいて選択した視覚刺激と嗅覚刺激の提示を行うことで視嗅覚ディスプレイの実現が可能であると考えられる。

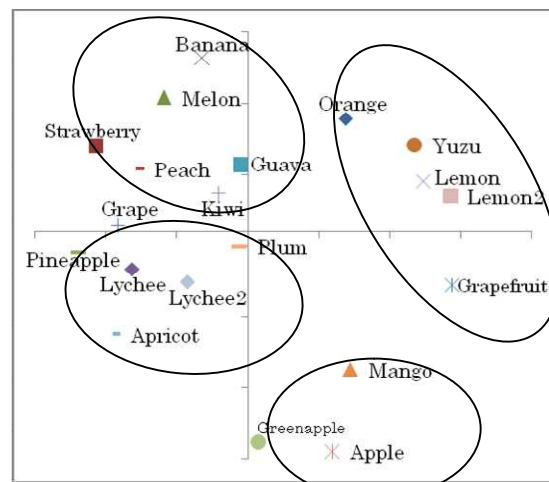


図7 嗅覚情報マップに基づく匂いの分類と要素臭の決定

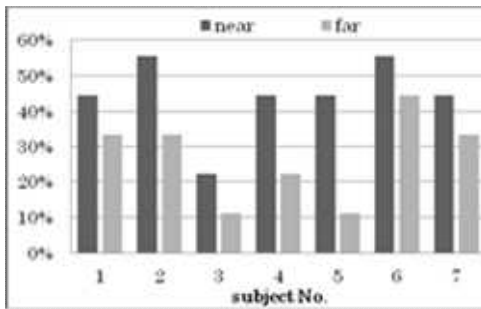


図 8 嗅覚情報マップ上での距離による比較

また、味覚ディスプレイにおいても少数の香料で複数の味、匂いを再現するために匂い間距離を算出した。先行研究で、視覚情報に対応する匂いと、実際に出す匂いが近い組み合わせでは、かいだ匂いが視覚情報と一致するものに感じられるという引き込み効果が発生しやすく、遠い組み合わせでは引き込み効果が発生しにくいことが明らかになっている。そこで、被験者に匂いの類似度を評価してもらい、そこから個人差による影響を排除した匂い距離行列を作成することを考える。被験者数は 10 名であった。上記 10 種類のジュースに用いる香料をそれぞれ試験紙に染みこませたものを試料とした。匂い距離の算出は 2 種類の試料の比較で行い、被験者は 5 段階で匂いの類似度を評価した。この比較を 10 種類の香料すべての組み合わせ (同種同士の組み合わせを含む)、55 通りについて行った。5 段階評価の基準については各被験者間で個人差があるため、5 段階評価を非類似側 2 段階と、類似側 3 段階の回答で二値化し、非類似側の回答では距離を 1、類似側の回答では距離を 0 とした。二値化した値の平均を 2 種の香料の距離とした。その距離によって香料をグループ化するため、ウォード法によるクラスタ分析を行った。その結果が図 9 である。

この結果からミカングループ (ミカン、オレンジ、グレープフルーツ、レモン)、アップルグループ (アップル、アセロラ、ピーチ、グレープ)、パイナップルグループ (パイナップル、ストロベリー) の 3 グループに分けた。

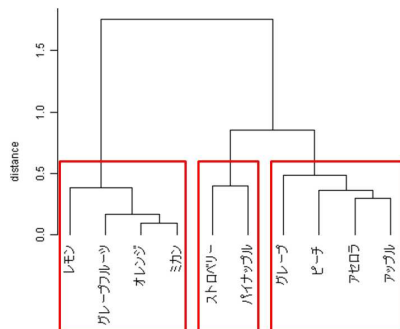


図 9 ジュース香料のクラスタ分析

本研究では、10 種類のジュースに対して 10 種類よりも少ない匂い (要素臭のみ) で味の引き込み効果を起こすことを考える。ある色を提示し、要素臭を出した際に、その色と匂いが同じグループ内にある場合とグループ外にある場合で、飲んだ後におけるジュースの正答率が、同じ色、匂いを出した場合の正答率に比べて何倍になったか求めた。その結果、全要素臭における倍率は、グループ内の平均が 0.85 倍 ( $\sigma=0.28$ )、グループ外の平均が 0.65 倍 ( $\sigma=0.35$ ) であった。この結果から、匂いによる引き込み効果はグループ内 (近距離) の方が高く、要素臭 (3 種類) で 10 種類の味の再現が可能であることを示した。

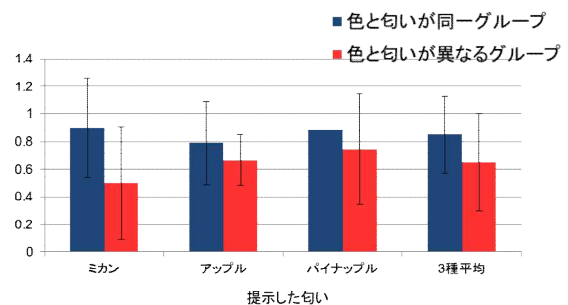


図 10 要素臭を提示したときの正答率  
各色に対応する匂いを 1 としたときの正答率 (1 に近いほど匂いが異なることによる違和感が小さい)

さらに、クッキーに複合現実感技術で視覚・嗅覚を変化させることで味の認識をけんかさせるシステムについても評価を行った。市販のクッキーを模した 6 種 (チョコレート、アーモンド、紅茶、ストロベリー、メープル、レモン) のクッキーを被験者が食べた 63 試行において、システムによって味が変わって感じたと言った被験者は 79.3% であった。また、味が選択したものに変わった (体験者がチョコレートクッキーを選択した場合にチョコレートクッキーの味を感じた) と回答した割合は 71.4% であった。

チョコレート、アーモンド、紅茶、ストロベリー、メープル、レモンの 6 種の比較もおこなった (図 11)。それぞれの味が選択された場合、その味を感じたと答えた被験者は、チョコレートでは 75.0% ( $n=20$ )、アーモンドでは 77.8% ( $n=9$ )、紅茶では 100.0% ( $n=1$ )、ストロベリーでは 71.4% ( $n=14$ )、メープルでは 55.6% ( $n=9$ )、レモンでは 80.0% ( $n=10$ ) であった。

以上から、匂いやテクスチャによらず約八割の被験者から味が変わったという回答が得られ、市販のクッキーを模したテクスチャと匂いを提示した場合には、約七割の被験者にシステムが狙ったとおりの味を認識させることができるという有効性を示した。

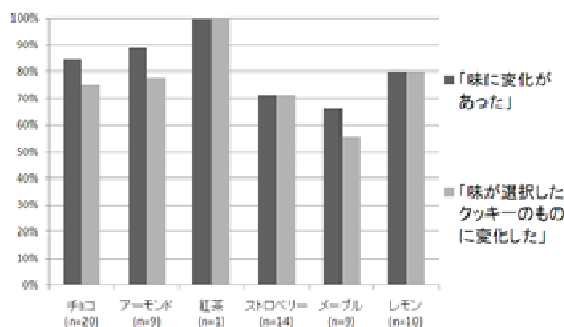


図 11 6 種のクッキーを模したものの間の効果比較

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、感覚間相互作用を利用した味覚提示、情報処理論文誌、査読有、Vol. 52、No. 11、2011、pp. 1403-1408
- ② 鳴海拓志、谷川智洋、梶波崇、廣瀬通孝、メタクッキー：感覚間相互作用を用いた嗅覚ディスプレイの検討、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 15、No. 4、2010、pp. 579-588

[学会発表] (計 2 0 件)

- ① Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose, Meta Cookie: An Illusion-based gustatory display, the 14th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2011), 2011年7月13日, Orland, Florida, USA
- ② Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose, Augmented Reality Flavors: Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-Modal Interaction, CHI2011, 2011年5月9日, Vancouver, Canada
- ③ Takuji Narumi, Takashi Kajinami, Shinya Nishizaka, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose, Pseudo-Gustatory Display System Based on Cross-Modal Integration of Vision, Olfaction and Gustation, IEEE Virtual Reality 2011 (CD-ROM), 2011年3月19日-23日, Singapore
- ④ 谷川智洋、感覚間相互作用を用いた匂い・香りのデジタル化と嗅覚情報通信の展望、第11回アロマ・サイエンス・フォーラム2010 - 匂い・香りのデジタル化による嗅覚情報通信技術の最先端のいま -、2010年10月1日、東京(招待講演)
- ⑤ Takuji Narumi, Takashi Kajinami, Tomohi

ro Tanikawa, Michitaka Hirose, Meta Cookie, SIGGRAPH 2010, 2010年7月25日-29日、Los Angeles, USA

- ⑥ Takuji Narumi, Munehiko Sato, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose, Evaluating Cross-Sensory Perception of Superimposing Virtual Color onto Real Drink: Toward Realization of Pseudo-Gustatory Displays, ACM the 1st Augmented Human International Conference, 2010年4月3日、Megeve, France
- ⑦ Aiko Nambu, Takuji Narumi, Kunihiro Nishimura, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose, Visual-Olfactory Display Using Olfactory Sensory Map, IEEE VR 2010, 2010年3月20日-24日, Waltham, USA
- ⑧ 鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、Meta Cookie: 拡張現実感によって味が変わるクッキー、インタラクション2010、2010年3月1日-2日、学術総合センター

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/~narumi/metacookie.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷川 智洋 (TANIKAWA TOMOHIRO)  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師  
 研究者番号：80418657

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

廣瀬 通孝 (HIROSE MICHITAKA)  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授  
 研究者番号：40156716  
 西村 邦裕 (NISHIMURA KUNIHIRO)  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
 研究者番号：70451797  
 (H22 まで連携研究者)  
 鳴海 拓志 (NARUMI TAKUJI)  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
 研究者番号：70614353  
 (H23 から連携研究者)