

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2005～2008

課題番号：17200014

研究課題名（和文）三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究

研究課題名（英文）Studies on Methods of Building a Tri-Sensory Mixed Reality Space

研究代表者

田村 秀行（TAMURA HIDEYUKI）

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：10367998

研究成果の概要：現実と仮想を実時間で融合・提示する「複合現実感」に関して、主たる「視覚」に「聴覚」「触覚」も加えた「三感融合型複合現実空間」の構築法を研究した。具体的には、現実世界で発した音刺激が複合現実空間に及ぼす影響、現実空間に重畳される仮想物体のCG像と音像の幾何学的整合性、複合現実型視覚刺激と聴覚刺激が触印象に与える影響に関して研究実験を行い、実際に稼動するシステムでその有効性や仮説を検証した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2006年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
2007年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2008年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
総計	34,800,000	10,440,000	45,240,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：複合現実感、三感融合、幾何学的整合性、三次元音場、音イベント、触印象

1. 研究開始当初の背景

現実世界と仮想世界を実時間で融合・表示する「複合現実感 (Mixed Reality; MR)」は、「人工現実感 (Virtual Reality; VR)」の発展形であるが、VRの限界を克服する新技術であり、近年急速な進歩を遂げていた。

従来のVRが人間の五感に訴える臨場感の創出を試みていたのに対して、MR研究の取り組みのほとんどは視覚的な現実と仮想の融合だけに留まっていたので、これを聴覚や触覚にまで拡大する「三感融合型MR空間」の構築法を目指した。

2. 研究の目的

MR技術は従来のVRにはない新しい情報提示技術としての期待が大きいため、本研究では、現実と仮想の融合に関して、主たる「視覚」に加えて「聴覚」「触覚」も表現し得る世界初の「三感融合型複合現実空間」の構築法を研究する。

しかしながら、この3つの知覚は生理的にも工学的な実現に関しても、精度にかなり偏りがあり、決して対称形ではない。本研究では、その非対称性を予め念頭においたMR空間構成法を研究し、具体的に稼動するMR空間体験システムでその有効性を確認する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の3点に焦点を当てたMR空間構成法を研究し、具体的に稼動するMR体験システムでその有効性の確認や仮説の検証を行った。

(1) 現実世界で発した音刺激の方向・位置の推定とその複合現実空間への反映：手を叩く、音を発するデバイス等を操作することで、現実空間で発した音イベントをマイクロホンアレイによって検出し、その方向・位置の推定結果をMR空間への入力方法・対話デバイスとして用いる新しいインタラクション方法を開発する。

(2) 視聴覚併用型複合現実空間の実現：視覚的MRと聴覚的MRを同時に達成する「2×2（ツー・バイ・ツー）方式」のMR空間を世界で初めて実現する。そのためには、現実空間に重畳される仮想オブジェクトのCG像と音像の幾何学的整合性をMR世界座標系の中で常時達成する機構を考案し、これを実装する必要がある。

(3) 複合現実型視覚刺激や聴覚刺激が触印象に与える影響の分析と活用：触知できる実物体に仮想映像を重畳表示した場合の触力覚に錯覚が生じるという仮説に対して、系統的な実験を行って、その影響を分析するとともにこの現象を産業分野で積極活用する場合の考察を行う。

4. 研究成果

前項 3.で挙げた3つの研究テーマに関して、それぞれ得られた研究成果の概要を、以下にテーマ毎に述べる。

(1) 現実世界で発した音刺激の方向・位置の推定とその複合現実空間への反映

[平成17年度]

- ・ 現実空間の音刺激をMR空間に反映させる機能は、マイクロホンアレイをHMDに取り付けて方向推定する方式（図1）で実現し、視覚シンボルを融合した実験で、その検出精度を評価した。
- ・ 上記の音刺激検出の精度を向上させるため、従来のCSP法を改良したWeighted CSP法を提案し、雑音や残響に頑健な音刺激検出システムを開発した。また検出した音刺激に対して、音センサを用いて高品質に抽出するシステムについても検討を行った。

[平成18年度]

- ・ 前年度に実施した音イベントの検出の結果を反映し、視覚と聴覚を融合したMR融



図1 装着型マイクロホンアレイ外観

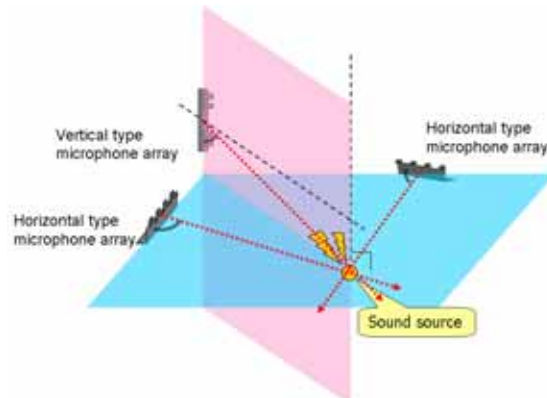


図2 3次元音源位置推定

合空間の実装を進めた。具体的には音イベントの方向のみでなくその水平面における位置、3次元位置をもMR空間への入力として利用できるシステムを構築した（図2）。

[平成19年度]

- ・ 前年度までに行った音イベントの検出処理をさらに推し進め、音源の識別や音量、音の連続再生時間をMR空間への入力として利用する方法について検討した。
- ・ 本方法をMR空間との新しいマルチモーダル・インタラクションとしてアピールするデモシステムを開発し、当該分野の世界最高峰の国際研究集会（UIST）で展示して、高い評価を得た。

(2) 視聴覚併用型複合現実空間の実現

[平成17年度]

- ・ 聴覚の仮想空間（3次元音場空間）の提示方法として、ヘッドホン装着した体験者に、頭部伝達関数を利用したバイノーラル方式で生成音を聞かせる方法を採用し、自作の3次元音場システムを開発・実装した。
- ・ 現実空間の実音と仮想空間の人工音の融合提示法として、「開放型音独立提示方式」と「密閉型音独立提示方式」の2方式（図3）を考案し、比較実験の結果、前者を採用することにした。
- ・ 高臨場感あふれる3次元音場空間を生成するために、予め用意した複数の頭部伝達関数の中から、体験者の頭部形状に最も適したものを効率的に選択する方法を、視覚

が支援する方式で実現した。

- ・ 図4に示すような構成で、視聴覚の両方で現実と仮想の幾何学的整合性を達成する「2×2方式視聴覚併用MRシステム」のプロトタイプを開発した。

[平成18年度]

- ・ 「2×2方式視聴覚併用MRシステム」は、音像とCG映像の位置を様々に変化させ、音像の位置とCG映像の位置のずれが気にならないか実験・評価することで、大幅な性能向上を図った。

- ・ 本システムに(1)の音イベント入力、触力覚の提示を導入したMR体験システムとして、複数人体験可能なMRアトラクション「Watch the Birdie!」を開発した(図5, 6)。VR学会第11回大会, インタラクション2007で展示発表し, 多数の体験者から高い評価を得た。

[平成19年度]

- ・ 本システムを用いて、視聴覚併用MR空間でのスケール感に関する諸実験を行ない、新たな知見を得た。

- ・ 視聴覚併用型複合現実空間での仮想物体による実音の反射と遮音を実現することを試みた(図7)。

[平成20年度]

- ・ MRにおける視聴覚融合の集大成として、前年度までに構築したシステムを、現実空間の音と仮想空間の音を反射や遮音を考慮して混在させるシステムへと拡張した。

- ・ 上記に触覚デバイスも導入したMRアトラクション「Rhythm of the Rain in 3D」は、第13回日本バーチャルリアリティ学会大会に技術展示し、学術奨励賞を受賞した。

(3) 複合現実型視覚刺激や聴覚刺激が触印象に与える影響の分析と活用

[平成17年度]

視覚刺激や聴覚刺激が加わることにより、触覚・力覚が影響を受け、ある種の錯覚が生じることは従前から知られているので、これが複合現実感システムでは、どのような条件下で、どの程度起こるかを、系統的な研究実験を行って検証・解明することにした。

CG画像を重畳した複合現実型視覚刺激を受ける対象物としては、産業界での設計製造過程での実利用を想定して、粗さを数種類変えた硬化樹脂製の物体を選択した。

[平成18, 19年度]

同じ形状で表面粗さの異なる硬化樹脂製のオブジェクト(図8)に対して、粗さの異なるテクスチャのCG映像を重畳し、触覚が視覚に誘導されるか系統的な比較実験を

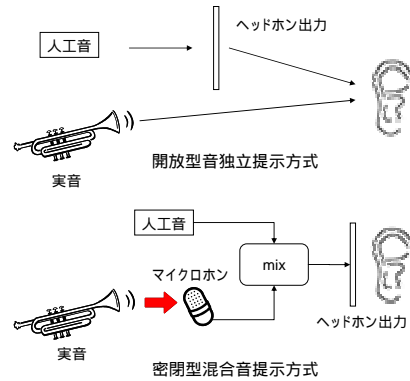


図3 2種類の音像提示方式

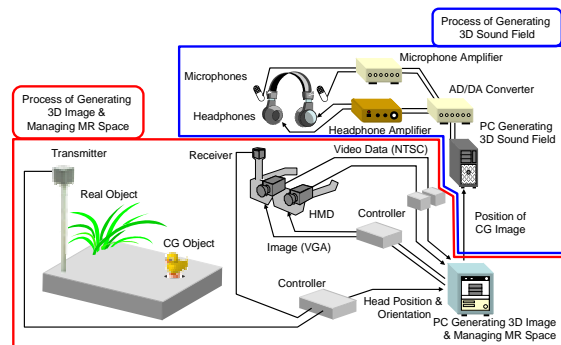


図4 2×2システム構成



図5 Watch the birdie!におけるメニュー選択



図6 Watch the birdie!におけるポインティング
(音源(スピーカ付実物体)に集まる子アヒル(CG))

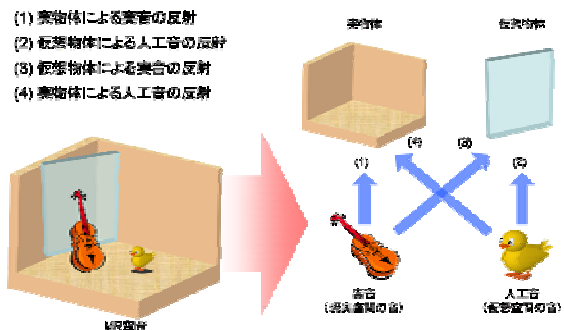


図7 MR空間における反射音

行った。また、またオブジェクトへの触れ方によってその結果が変わるか実験した(図9)。

この結果、ある条件下では、視覚に誘導されて触印象が変化し、異なった素材を触っているかのような錯覚も得られることも確認できた。

[平成20年度]

- ・ 上記MR型視覚刺激に加え、実際の粗さと異なる聴覚刺激を与えた場合の系統的な実験を行い、聴覚刺激の付加が錯覚を増幅させる現象を確認した。
- ・ 本研究を発展させ、実験対象を触覚だけに留まらず、MR型視覚刺激が重心知覚にどのような影響を及ぼすかを研究した。系統的な実験を行い、重心知覚が視覚に引きずられることを確認した(図10)。
- ・ 上記の重心知覚の実験の一部を体験型システムとして「インタラクショ2009」で展示し、多くの体験者に錯覚が発生することを確認した。同学会では「インタラクティブ発表賞」を受賞した。

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8件、すべて査読有り)

鍵本麻美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激と聴覚刺激が触印象に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 3 [採録決定].

石黒祥生, 比嘉恭太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視聴覚併用複合現実空間のスケール感に関する考察, 同上, Vol. 13, No. 2, pp. 125 - 128, 2008.

家崎明子, 杉田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激による触印象への影響, 同上, pp. 129 - 139, 2008.

比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚の現実と仮想を融合する2x2方式複合現実感システムの実現, 同上, pp. 227 - 237, 2008

大槻麻衣, 木村朝子, 西浦敬信, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実空間との新しいマルチモーダル・インタラクショ方法の提案と実現, 同上, pp. 247 - 255, 2008.

石黒祥生, 大槻麻衣, 比嘉恭太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: Watch the Birdie! - 三感融合型複合現実感アトラクショ, 同上, Vol. 12, No. 3, pp. 259 - 268, 2007.

Y. Denda, T. Nishiura, and Y. Yamashita: Robust talker direction estimation based on weighted CSP analysis and maximum likelihood estimation, *IEICE Trans. on Inform. & Systems*, Vol. E89-D, No. 3, pp. 1050 -

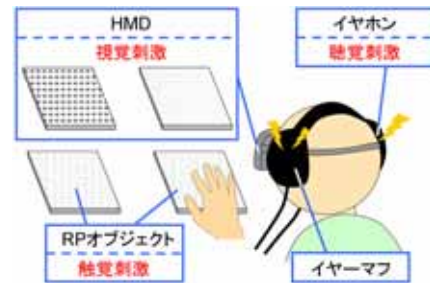
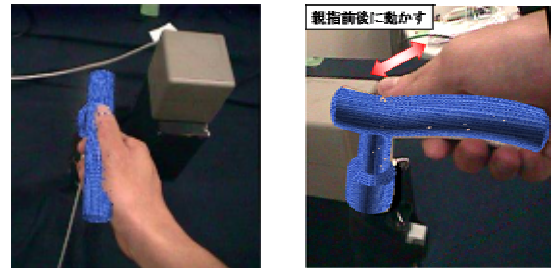


図8 聴覚刺激と視覚刺激が触覚に及ぼす影響を調査する実験



(a) 上面からの図 (b) 側面からの図

図9 実物体への触れ方



(a) 現実空間 (b) MR空間

図10 重心知覚に関する実験風景

1057, 2006.

一刈良介, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型アトラクショのための自然落下物表現法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 273 - 280, 2005.

[学会発表](計34件)

- (1) K. Onaka and T. Nishiura: A design of 3-dimensional sound field simulator based on acoustic ray tracing and HRTF, Proc. 13th IEEE Int. Symp. Consumer Electronics, Kyoto (2009.5)
- (2) 大中健司, 西浦敬信: 頭部回折を考慮した音線追跡法に基づく3次元音場シミュレータの構築, 日本音響学会2009年春季研究発表会, pp. 831 - 832, 東京(2009.3)
- (3) 杉田明弘, 溝口晃太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激が重心知覚に与える影響, 第71回情報処理学会全国大会講演論文集(4), 5X-2, pp. 115 - 116, 滋賀(2009.3)
- (4) 杉田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激が重心知覚に与

- える影響の基礎的実験，インタラクシオン 2009, pp. 55 - 56, 東京 (2009.3)
- (5) 鍵本麻美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激による触印象への影響 (3) - 聴覚刺激の付加による新しい知見 - ,第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 552 - 555, 奈良 (2008.9)
 - (6) 吉野将治, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (4) - 複合現実空間での音の反射・遮断の実現 - , 同上, pp. 556 - 559 (2008.9)
 - (7) 村井嘉彦, 深川亜美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: Rhythm of the Rain in 3D - 視聴覚 3D-MR 空間の表現力を体験できる複合現実型アトラクション - , 同上, pp. 560 - 563 (2008.9)
 - (8) 大中健司, 山田樹一郎, 西浦敬信: 頭部伝達特性を考慮した音線追跡法に基づく 3 次元音場シミュレータの構築, 日本音響学会 2008 年秋季研究発表会, pp. 737 - 738, 東京 (2008.9)
 - (9) M. Otsuki, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: Novel interaction methods with mixed reality space, Proc. SICE Annu. Conf. 2008, pp. 456 - 460, Tokyo (2008.8)
 - (10) 湊佳彦, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (3) - 頭部伝達関数の選択と接合法の改良 - , 電子情報通信学会 2008 年総合大会, A-16-6, p. 292, 福岡 (2008.3)
 - (11) 吉野将治, 比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視聴覚併用型複合現実空間での仮想物体による実音の反射と遮音, 同上, A-16-7, p. 293 (2008.3)
 - (12) M. Otsuki, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: A new acoustic method of table-top and full-3D interaction with mixed reality space, Proc. Int. Workshop on Ubiquitous Virtual Reality (IWUVR 2008), Osaka (2008.1)
 - (13) K. Higa, T. Nishiura, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: A two-by-two mixed reality system that merges real and virtual worlds in both audio and visual senses, Proc. 6th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), pp. 203 - 206, Nara (2007.11)
 - (14) K. Higa, M. Otsuki, Y. Ishiguro, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: 2x2 Audio-Visual Mixed Reality and RealSound Interaction, *ibid.* (2007.11)
 - (15) M. Otsuki, A. Kimura, T. Nishiura, F. Shibata, and H. Tamura: RealSound Interaction: A novel interaction method using sound events in real world, Adjunct Proc. 20th Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (UIST 2007), pp. 41 - 42, RI, U.S.A. (2007.10)
 - (16) 石黒祥生, 比嘉恭太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視聴覚併用複合現実空間のスケール感に関する考察, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, pp. 111 - 114, 福岡 (2007.9)
 - (17) 家崎明子, 杉田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激による触印象への影響 (1) - 研究構想と基礎実験 - , 同上, pp. 115 - 118 (2007.9)
 - (18) 杉田明弘, 家崎明子, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激による触印象への影響 (2) - 素材感の提示と曲面物体への展開 - , 同上, pp. 119 - 122 (2007.9)
 - (19) M. Otsuki, A. Kimura, T. Nishiura, F. Shibata, and H. Tamura: RealSound Interaction: A novel interaction method with mixed reality space by localizing sound events in real world, Proc. Human-Computer Interaction 2007, pp. 653 - 662, Beijing, China (2007.7)
 - (20) 松實洋介, 比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視聴覚併用型複合現実空間のスケール感に関する実験と考察, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, A-16-15, p. 328, 愛知 (2007.3)
 - (21) 家崎明子, 杉田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激が触覚に与える影響 (1) , 同上, A-16-21 p. 334 (2007.3)
 - (22) 杉田明弘, 家崎明子, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 複合現実型視覚刺激が触覚に与える影響 (2) , 同上, A-16-22 p. 335 (2007.3)
 - (23) 大槻麻衣, 木村朝子, 西浦敬信, 柴田史久, 田村秀行: RealSound Interaction: 現実世界の音イベント検出を利用した複合現実空間との対話デバイス, インタラクシオン 2007, pp. 93 - 94, 東京 (2007.3)
 - (24) 大槻麻衣, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 現実の音イベントの方向・位置の推定とその複合現実空間への反映, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, pp. 109 - 112, 仙台 (2006.9)
 - (25) 石黒祥生, 大槻麻衣, 比嘉恭太, 上坂晃雅, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: Watch the Birdie! - 視聴覚 MR と音イベント検出を利用した複合現実型アトラクション, 同上, pp. 281 - 284 (2006.9)
 - (26) 比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (1) - 視覚的 MR と聴覚的 MR の同時提示の実現 - ,

- 同上, pp. 285 - 288 (2006.9)
- (27) 湊佳彦, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (2) - 体験者に合った頭部伝達関数の選択と接合法の検討 -, 同上, pp. 289 - 292 (2006.9)
- (28) 比嘉恭太, 湊佳彦, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚, 聴覚融合型複合現実感システムの開発, 電子情報通信学会 2006 年総合大会, A-16-29, p. 291, 東京 (2006.3)
- (29) 大槻麻衣, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 現実空間での音検出とその複合現実空間へのイベント入力利用, 同上, A-16-30, p. 292 (2006.3)
- (30) 西浦敬信, 傳田遊亀: 音声認識における初期反射音の影響についての検討, 日本音響学会 2006 年度春期全国大会講演論文集, 3-1-17, pp. 141 - 142, 東京 (2006.3)
- (31) 田中貴雅, 傳田遊亀, 中山雅人, 西浦敬信: Weighted CSP 法と音声特徴量に基づくハンズフリー発話区間検出の検討, 同上, 1-P-3, pp. 149 - 150 (2006.3)
- (32) 傳田遊亀, 西浦敬信, 山下洋一: マイクロホンアレーと全方位画像を用いたマルチモーダル発話者方向推定, 同上, 1-P-34, pp. 211 - 212 (2006.3)
- (33) 中山雅人, 西浦敬信, 山下洋一: 音素特徴量に基づく適応形アレーの検討, 同上, 3-Q-9, pp. 645 - 646 (2006.3)
- (34) 傳田遊亀, 西浦敬信, 山下洋一: CSP 係数サブストラクションと最尤推定に基づく CSP 法の高精度化に関する検討, 日本音響学会 2005 年度秋期全国大会講演論文集, 1-P-27, pp. 205 - 206, 仙台 (2005.9)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 複合現実感システムとそのイベント入力方法及びヘッドマウントディスプレイ

発明者: 田村秀行, 大島登志一, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 大槻麻衣

権利者: 学校法人立命館

種類: 特願

番号: 2006-243952 号

出願年月日: 2006年10月

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 秀行 (TAMURA HIDEYUKI)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 10367998

(2) 研究分担者

西浦 敬信 (NISHIURA TAKANOBU)

立命館大学・情報理工学部・准教授
研究者番号: 70343275

柴田 史久 (SHIBATA FUMIHISA)
立命館大学・情報理工学部・准教授
研究者番号: 80314425

(3) 連携研究者

木村 朝子 (KIMURA ASAKO)
独立行政法人科学技術振興機構・さきがけ
研究員
研究者番号: 20324832

大島 登志一 (OHSHIMA TOSHIKAZU)
立命館大学・映像学部・教授
研究者番号: 40434708