

複合現実空間との 新しいマルチモーダル・インタフェース

立命館大学

木村 朝子・田村 秀行

現実世界と仮想世界を融合した「複合現実空間」の体験には、多感覚の導入が効果的であり、自らの手足を視認しながらの対話操作が可能である。その特性を活かし、MR 空間操作に適したポスト WIMP 型のインタフェースの研究開発事例を 2 つ紹介する。「RealSound Interaction」は、現実空間で発した音をマイクロホンアレーで検出し、その位置や種類を VR/MR 空間への入力情報として反映させる斬新なインタラクション方法である。もう 1 つの「道具型対話デバイス」は、多くの人々が日頃利用している「道具」のもつ直観性を利用する対話デバイスである。その最も代表的な実現例として、仮想物体の選択・移動に適した「ピンセット型デバイス」の機構や試用結果から得た知見を紹介する。

はじめに

コンピュータがマルチメディア情報を取り扱えるようになり、説得力・訴求力のある情報提示ができるようになった。コンピュータ内に人工的に構築した電子的仮想環境を体験する「人工現実感」(Virtual Reality ; VR) は、この情報提示のあり方を、紙、スクリーン、TV モニタといった平面型の表示方法から解放し、3D 空間利用型の対話型体験へと飛躍させた。さらに、現実世界と仮想世界を融合する「複合現実感」(Mixed Reality : MR) では、日常の業務・生活空間そのものが情報を伝達・提示する媒体・対象となった¹⁾。

VR は人間の五感に訴える新しいヒューマンインタフェース (HI) 技術であるが、これまで技術的發展は臨場感や没入感の向上に集中し、体験者が仮想環境に働きかける入力側のインタフェースにはあまり進歩がなかった。一方、VR の発展形である MR では、

体験者の目の前にある現実世界が操作対象であり、自らの手足や共同体験者の姿も視認できる。このため、実世界指向の空間対話技術を導入して、より効果的に複合現実空間を操作できるようになることが期待されている。

一方、コンピュータのユーザインタフェースに関しては、20 世紀末以降、汎用 PC を中心に WIMP (Windows, Menu, Icon, Pointing-device) 型 GUI が圧倒的な主流となっている。それゆえ、HI 研究の潮流は、ポスト WIMP²⁾ と呼ばれる方向に向かっていると看做しても過言ではない。「実世界指向インタフェース」³⁾ や「タンジブルインタフェース」⁴⁾ という概念は、その中から生まれて来たものである。既にビデオゲーム機や新世代の携帯電話には、その研究成果が活かされつつある。新感覚の空間体験には、ポスト WIMP は必然的な流れである。

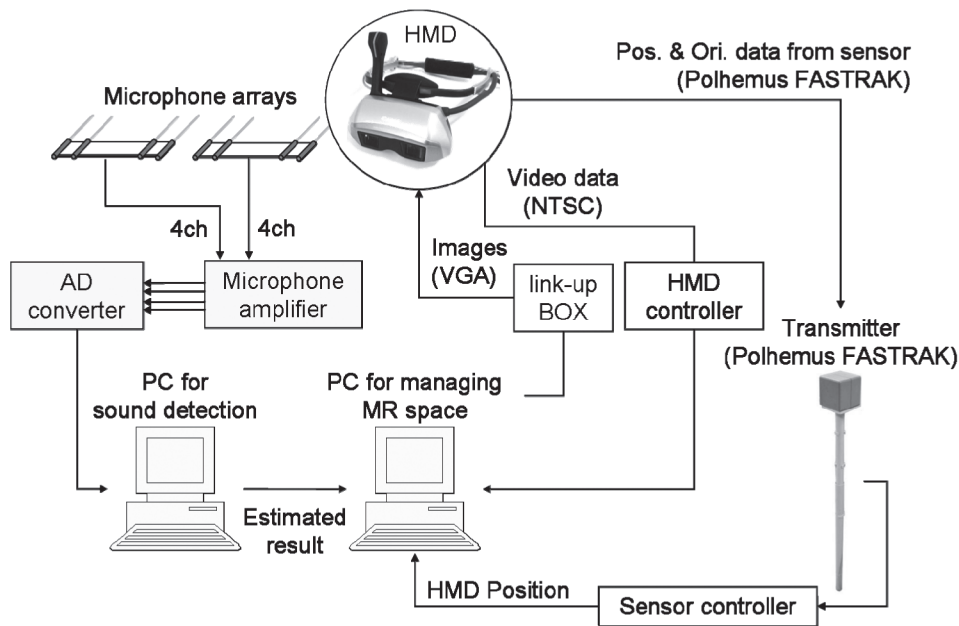
こうした背景を踏まえ、筆者らは MR 空間体験に多感覚を導入することと、それを活かした直観的で分かりや

すい対話デバイスの開発・導入を図ってきた。本稿では、その内 2 つの研究開発事例を紹介する。

RealSound Interaction

これまで VR 空間への入力動作として、身体を動かすことその他、スイッチを押す、棒状のデバイスを操作する、手袋状デバイスで掴む、ペダルを漕ぐ等の方法が採られてきた。我々が挑戦したのは、現実空間で発した音を検出し、その位置や種類を VR/MR 空間への入力情報として反映させる方法の実現である。古くから存在する音声認識ではなく、楽音や衝突音など恣意的に発した音刺激 (音イベント) を積極的に対話デバイスとして使ってみようという試みである。これは、

- 2 次元位置検出に (超) 音波が使われているならば 3 次元位置入力にも音を利用できないか
- 意図的な聴覚フィードバックが煩



第1図 システム構成

わしいならば、耳に快い音を入力にし、視覚・触覚をフィードバック側に使う逆転の発想もあるのではないかと

いう2つの着想に基づいている。音イベントとして我々が想定したのは、「手をたたく」「簡単な楽器・道具を操作する」などの様々な楽音、効果音を活用することであり、次の2つの特長を有している。

- 実際の楽器・道具などをそのまま入力デバイスとして利用できる
- 可聴音を採用することで音そのものがフィードバックとなり、入力行為をその場で確認できる

システム構成

「RealSound Interaction」⁵⁾と名付けた本システムの構成を第1図に示す。MR空間の管理と提示には、キヤノン製MRプラットフォームシステム、体験者が装着するHMDには、Canon製ビデオシースルー型HMD (Canon VH-2002)、HMDの位置姿勢検出には、Polhemus社製磁気センサ3SPACE FASTRAKを使用する。

現実空間における音の検出と方向・位置推定には複数のマイクロホンを利用する。従来、マイクロホンアレーはその位置を固定した据置型が主流であるが、我々はHMDに取り付けた装着型という新たな方式を導入した(第2図)。

また、MR用途では実時間処理が要求されるため、計算が簡便な小規模直線型マイクロホンアレーを採用した。雑音に対する頑健性を考えるとマイクロホン数は多い方が望ましいが、ケーブルの煩雑さとトレードオフになるので、2組のマイクロホンペア(計4ch)を用いた。

音源方向・位置の推定

(1) 音源方向の推定

音源方向は、マイクロホンアレー1基を利用して推定する。

従来、小規模直線型マイクロホンアレーを用いたCSP法による音源方向推定では、マイクロホンアレーの限られた方向でしか推定できない、側面方

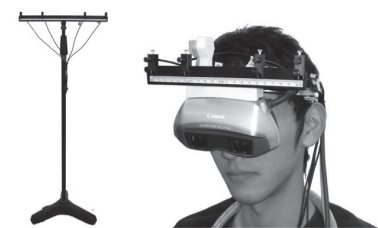
向の精度が正面方向に比べ、低くなるといった欠点があった。しかし、ここで導入した装着型マイクロホンアレーでは、ユーザが頭部に装着し頭を動かすことで、音源を正面方向で捉えることができ、体験者の周り全方向において精度の高い推定が可能となる。

(2) 音源位置の推定

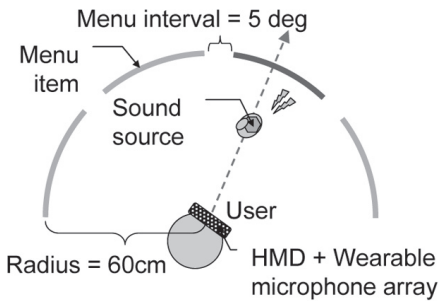
2基以上の横型マイクロホンアレーを用い、各マイクロホンアレーから得られた方向とその位置姿勢から、現実空間の水平面における音源の2次元位置が算出できる。さらに、縦型マイクロホンアレーを1基追加することで音源の3次元位置も取得できる。

(3) 本手法に適した音源

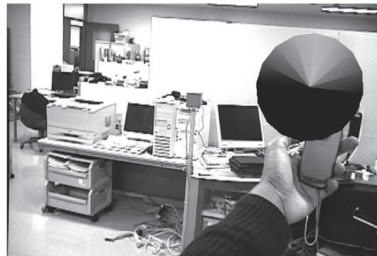
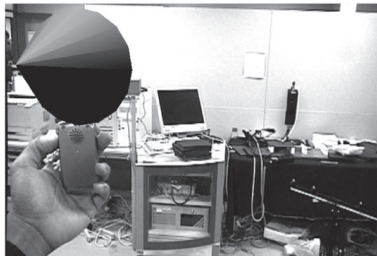
音イベントの種類に多様性を持たせ



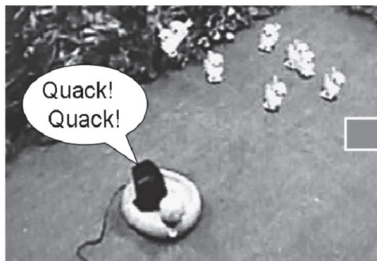
第2図 マイクロホンアレー外観 (左:据置型、右:装着型)



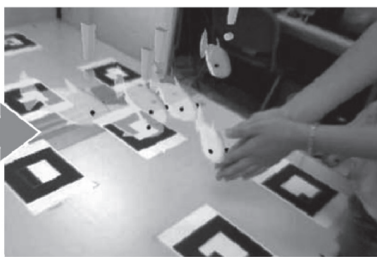
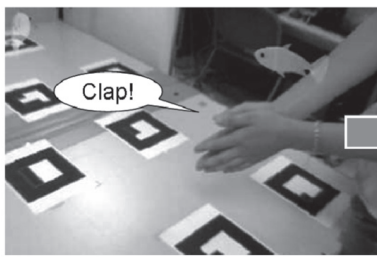
第3図 音入力によるメニュー選択



第4図 音源方向にCGオブジェクトが重畳描画された様子



第5図 音源（スピーカ）に集まる子アヒル（CG）



第6図 音源（拍手）に集まる魚（CG）

ることもまた、本方式の狙いである。ここで採用した手法では、正確な方向推定を行うために、面音源ではなく点音源であること、全周波数を含む衝突音（インパルス音）を音源に用いることが望ましい。また、上記の条件に加え、安定性と使いやすさの観点から、持ちやすい、鳴らしやすい、操作者が意図している時だけ音が出せる等を満

たしていることが望ましい。この条件を満たす音源として、拍手、カスタネット、ブザーなどが挙げられる。

インタラクション事例

(1) メニュー選択

まず、装着型マイクロホンアレー1基による音源方向推定結果を利用して、体験者の周囲に配したCGのメ

ニューを音イベントで選択するインタラクションを実現した（第3図）。

(2) 方向指示

次に、同様のマイクロホンアレー構成で、任意方向での無段階の方向指示のインタラクションを実現した。ユーザが任意方向に向けて音イベントを発生させると、その方向にCGオブジェクトを出現させる（第4図）。

(3) 2次元平面のポインティング

3つ目のインタラクションとして、床や机上など平面上をポインティングするインタラクションを実現した。ここでは、装着型マイクロホンアレーと据置型マイクロホンアレーを各1基ずつ用いる。第5図に示すように、ユーザが任意の位置で音イベントを発生させると、その位置（高さ固定）にCGオブジェクトを出現させる。

(4) 3次元空間のポインティング

音イベントによる2次元平面のポインティングが実現できたので、続いてこれを3次元に拡張した。マイクロホンアレーの構成は、前述の構成に縦型のマイクロホンアレーを追加した。事例として、空間内を自由に泳ぐ仮想の魚を、拍手によって任意の場所に呼び寄せるといったインタラクションを実装した（第6図）。

運用現場からの声

本システムは基本機能を実現しただけでなく、実際にMRアトラクション⁶⁾に組み込んで活用している。学会・展示会等で何度も技術展示した結果、以下のような評価を得ている。

- 体験者の大半が、磁気センサ等の付加物を身に付けることなく、操作できることを好ましく感じた。
- 拍手、カスタネット、ブザーから発する音は、入力動作を確認しやすく、操作時の触感が操作感を向上させるという意見が得られた。



第7図 デバイスの汎用と専用



(a) 選択・移動



(b) 加工



(c) 描画

第8図 想定する3つの操作

- 体験者の多くは、指示がなくても音源を視野に入れて操作していた。
- 展示会場にはかなりの騒音があったが、若干の吸音材を配置するだけで、(予想以上に) 方向・位置検出能力は安定していた。

● 道具型対話デバイス

今日、多くの人々が実生活で利用している「道具」は、長い期間をかけてその操作性が工夫されたものであり、我々人間は子供の頃からその使い方を自然に学んでいる。そうした道具のもつ直観性を利用した対話デバイスを作ろうというのが、筆者らの研究動機である。HI分野の専門用語で言えば、良い道具がもつ「アフォーダンス (affordance)」を継承し、幼少時から形成されている操作の「メンタルモデル」を活用することに相当する。

対話デバイスを「専用」と「汎用」に分類した軸上では、筆者らが目指す「道具型デバイス」は「準汎用」と位

置づけられる(第7図)。キーボードやマウスは応用分野に依存しない「汎用デバイス」であり、実機のコックピットを利用するフライトシミュレータ等は全くの専用インタフェースである。道具型デバイスは、操作性を重視して少し汎用性は犠牲にしつつも、多様な用途に利用できる「準汎用」であるとの位置づけである。

機器間でのデータ転送や、壁面ディスプレイへの描画用の対話デバイスに道具の形状を採用する研究はこれまでもいくつか存在する^{7) 8)}。これに対して我々は、複数の道具型デバイスを「ツールセット」として利用し、VR/MR空間での作業で目的によって使い分けることを指向している。

想定する作業

MR空間に適した作業として、設計、レイアウト、立体造形などを想定し、それらを実現する操作を「選択・移動」「加工」「描画」の3つに絞り込んだ。言い換えれば、これらはすべてマウスが苦手とする操作である。

(a) 選択・移動: 実世界で手やピンセットを使ってモノを把持・移動するのと同様の感覚で、3次元CGの選択・移動を可能にする(第8図(a))。

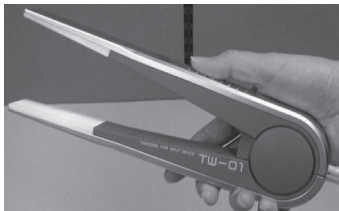
(b) 加工: 実世界でヘラやナイフなどを使って造形を行うのと同様の感覚で、3次元CGに対する造形を可能にする(第8図(b))。

(c) 描画: 実世界で筆やペンを用いて描画を行うのと同様の感覚で、作業空間全体をキャンバスとした描画を可能にする(第8図(c))。

ピンセット型デバイス

既にも上記3種の道具型デバイスが開発済であるが、紙幅の制限から、本稿では選択・移動用の「ピンセット型デバイス」の実現例のみを紹介する。

コンピュータのデータ操作ではマウスによるドラッグ&ドロップで実現されるこの行為を、我々は実世界でモノを移動するための道具であるピンセットに関連付けた。ピンセットはその先端でモノを挟む道具で、側面を指で押すことにより、その間にある物体



第9図 ピンセット型デバイスの外観

を挟むことができる。また、挟んだ物体の硬さや大きさを把持に必要な力から推測することができるという特徴がある。

【外観】

形状は一見してピンセットを容易にイメージできるデザインとした。第9図が、その試作1号機の外観である。

【内部機構】

第10図に内部機構を図示した。空間に配置された仮想物体を選択・移動するためには、内部機構として以下の2つの機能が必要である。

(1) 位置姿勢検出：仮想物体がピンセット型デバイスで挟める（選択できる）位置にあるかどうか判定したり、選択した仮想物体をデバイスに追従して表示するために必要な機能。

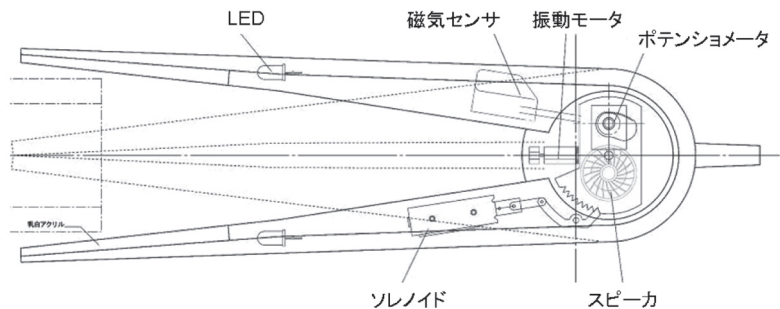
(2) 挟み幅検出：仮想物体を挟んだかを判定するのに必要な判定機能。

試作機では、前者用にPolhemus社製の磁気センサ3SPACE FASTRAKを、後者用に回転式ポテンシオメータを内蔵している。

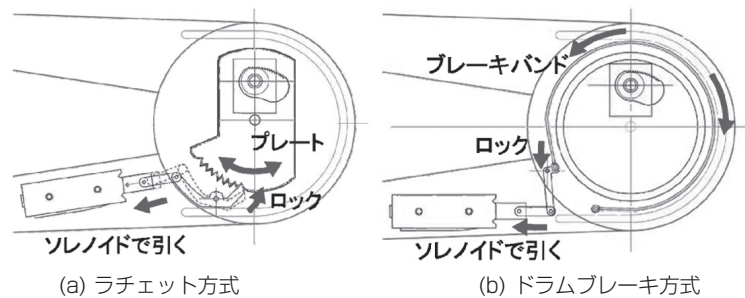
操作結果の応答、確認を視・聴・触力覚に対して行うために、以下の4つの情報を提示する。

(3) 聴覚提示：本デバイスが仮想物体と接触したことを印象付けるため、音を発生させる機能をもたせる。

(4) 反力提示：ピンセットで物を挟んだ時に感じる反力を実現する。ただし、仮想物体の硬さによってこの反力の強さは異なるべきであるので、軟らかい物体の場合は、側面を押す強さに応じて挟み幅が変化するような反力を提示する。



第10図 ピンセット型デバイスの内部機構



第11図 反力提示機構

(5) 触感提示：操作対象が動きを伴う仮想物体である時に、その動きを体感させるため振動を提示する。

(6) 視覚提示：動作確認のため、デバイスの状態（モード）を光で提示する。試作機では、(3) (5) (6)を実現するためデバイス内部に小型スピーカ、振動モータ、RGB3色のLEDを内蔵している。(4)の仮想物体の大きさ・硬さに応じて反力を提示する機構として、ラチェット方式とドラムブレーキ方式の2種類の方法を考案した(第11図)。

ラチェット方式は、ソレノイドでロックツメを上下させ、プレートの溝に咬ませることで、一定角度ごとにピンセット型デバイスの開口角度をロックする。この方式では、仮想物体の大きさに応じて先端の挟み幅をロックすることができる。

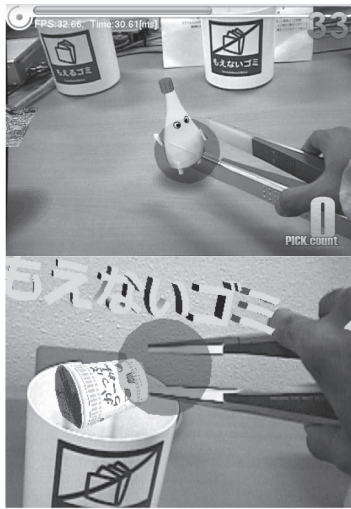
ドラムブレーキ方式は、ソレノイドがブレーキバンドを引き、ドラムを締め込むことでブレーキがかかり、ピンセット型デバイスがそれ以上閉じない

ようにする。この方式では、挟み幅を固定するだけでなく、仮想物体が軟らかい場合ブレーキを緩めることで、デバイスの側面を強く押すとブレーキバンドが滑り、仮想物体の軟らかさを提示することができる。

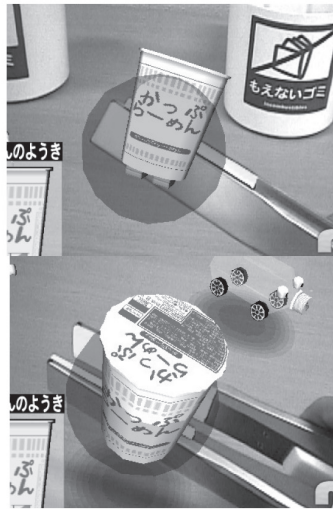
ピンセット型デバイスによるインタラクション

ピンセット型デバイスを用いることで、以下のようなインタラクションが可能となる(第12図)。

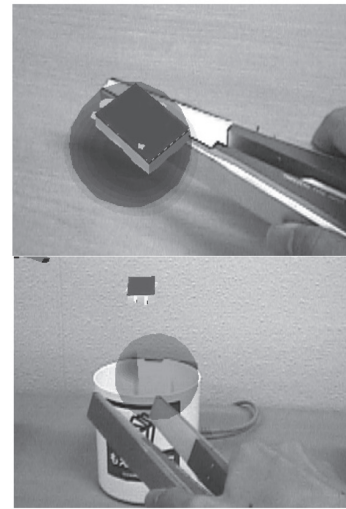
(1) 選択(挟む)：仮想物体を挟むことでその物体の選択を行う。デバイスの3次元位置は磁気センサより取得可能であるため、3次元空間内に配置されている/移動している仮想物体を直接選択することができる。ドラムブレーキ方式のデバイスでは、もう1段階強く挟むことで仮想物体が変形する/仮想物体の詳細情報が提示されるな



(a) 仮想物体の選択・解除



(b) 仮想物体の移動・回転



(c) 仮想物体を投げる

第 12 図 ピンセット型デバイスによるインタラクション

どの操作も可能である。

(2) 移動・回転：選択された仮想物体を、3次元空間の任意の場所へ移動させる。磁気センサでデバイスの姿勢も計測できるので、仮想物体の移動と回転を同時に行うことが可能である。

(3) 選択解除(放す)：仮想物体を把持している力を緩め、デバイスの先端を開くことによって、仮想物体を放すことができる。この際、仮想物体をその場で放す、机上などに落とす、投げるなどの操作が考えられる。

運用結果からの知見

本ピンセット型デバイスもMRアトラクションで実運用、展示し、以下のような知見を得ている⁹⁾。

●ほとんどの体験者は、操作の様子を一度見ただけで操作方法を学習し、自身で実際に操作することができた。

●操作結果の応答・確認用にLEDによる視覚提示、スピーカによる聴覚提示、振動による触覚提示を組み合わせることで、体験者は仮想物体を選択したことを十分認識できた。

●これに反力提示を導入することで、実物のピンセットにより近い触力覚感

となり、デバイスの操作性が向上するという意見が得られた。

●体験者は、ピンセット型デバイスを利用して、3次元空間内での移動・回転操作を容易に行っていた。

参考文献

- 1) S. K. Feiner (田村秀行訳)：“複合現実感がひらく第3の視界”，日経サイエンス，2002年7月号，pp. 40-49.
- 2) A. van Dam：“Post-WIMP user interfaces,” Comm. ACM, Vol. 40, No. 2, pp. 63 - 67, 1997.
- 3) 暦本純一：“実世界指向インタフェース”，情報処理，Vol. 43, No. 3, pp. 217-221, 2002.
- 4) 石井裕：“タンジブル・ビット”，同上，pp. 222-229, 2002.
- 5) 大槻麻衣 他：“複合現実空間との新しいマルチモーダル・インタラクション方法の提案と実現”，日本VR学会論文誌，Vol. 13, No. 2, pp. 247-255, 2008.
- 6) 石黒祥生 他：“Watch the Birdie! -三感融合型複合現実感アトラクション”，同上，Vol. 2, No. 3, pp. 259-268, 2007.
- 7) K. Ryokai et al.：“I/O Brush: Drawing with everyday objects as ink,” Proc. CHI 2004, pp. 303-310, 2004.
- 8) Y. Kitamura et al.：“Virtual Chopsticks: Object manipulation using multiple exact interactions,” Proc. IEEE-VR, pp. 198-204, 1999.
- 9) A. Uesaka, et al.：“TweezersDevice: A device facilitating pick and move manipulation in spatial works,” Adjunct Proc. UIST 2008, pp. 55-56 2008.

【筆者紹介】

木村朝子

立命館大学
情報理工学部 准教授
〒525-8577 草津市野路東 1-1-1
TEL：077-561-5104
(主たる業務歴及び資格)

1996年大阪大学基礎工学部卒。1998年同博士前期課程修了。同大学助手、立命館大学理工学部助教授、科学技術振興機構さきがけ研究員等を経て、2009年4月より現職。実世界指向インタフェース、ハプティックインタフェース、複合現実感等の研究に従事。博士(工学)。

田村秀行

立命館大学
情報理工学部 教授
〒525-8577 草津市野路東 1-1-1
TEL & FAX：077-561-5154
(主たる業務歴及び資格)

1970年京都大学工学部電気工学卒。工業技術院電子技術総合研究所、キヤノン(株)等を経て、2003年4月より立命館大学理工学部教授。2004年より現職。工学博士。パターン認識、画像情報処理、マルチメディア、バーチャルリアリティ等の研究推進と実用化に従事。編著書：「コンピュータ画像処理」(オーム社)、「デジタル映像」(日本経済新聞社)など。