基礎論文

壁面と卓上面を併用する電子作業空間 WATARI システムのデザインスキームと実現例

木村 朝子[*1] 藤田 誠司[*1*2] 岩本 和也[*1] 谷津 芳樹[*1] 柴田 史久[*1] 田村 秀行[*1]

Design Scheme and Implementation of WATARI-System − Wall and Tabletop Based Reconfigurable Interaction Workspace

Asako Kimura[*1], Seiji Fujita[*1*2], Kazuya Iwamoto[*1],
Yoshiki Yatsu[*1], Fumihisa Shibata[*1], and Hideyuki Tamura[*1]

Abstract – We propose a new Wall-and-Tabletop-based Reconfigurable Interaction (WATARI) system, which is an evolution of our previous system. It provides both table and wall as its working spaces, enables gestural interaction with them, and can reconfigure their usage flexibly. In this paper, after describing the concept and design scheme of WATARI, we introduce the system configuration and, as an example of typical application, the fashion coordinate system on it. Especially, using metaphor of cards and document handling, the "Candle on the Table" subsystem is implemented at the level of its table-top operation. We critically discuss the results of our evaluation and comment on the limitations and advantages of WATARI.

Keywords: Post-WIMP User Interface, Gesture Operation, Wall Projection, Table-top System, Card Metaphor, Document Handling, Fashion Coordination

1. はじめに

映像ディスプレイと対話デバイスの進歩が，コンピュータによる電子作業の効率化・多目的利用を推進してきた．まず，小型液晶ディスプレイの登場が HMD (Head-Mounted Display) の実用化を促進し，グローブ型デバイスとの組み合わせで，人工現実感 (VR) なる概念を具現化した．VR システムは，次第に HMD から映像プロジェクタ利用型へシフトするが，シースルーHMD は複合現実感 (MR) 分野でなお重用されている．

一方, 一般のコンピュータ利用では, Workstation の主操作画面として登場した WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing-device) 型 GUI が，20 世紀末には PC でも主流となり，急速に普及した．そのアンチテーゼとしてポスト WIMP 型インタフェースの研究が活発化している[1]．「実世界指向インタフェース」[2]や「タンジブルインタフェース」[3]なるアプローチはその代表例である．

筆者らは，ポスト WIMP 研究の一端として，VR/MR 空間への音イベント入力[4]や VR 用スクリーンを利用した「広視野電子作業空間」をジェスチャ操作するシステムを開発してきた[5]. いずれも，現在のマウスが苦手とする電子作業を念頭においたものであるが，後者は通常の PC 画面の狭さに起因する非効率を克服することも目的としていた．この「広視野電子作業空間」の発展形として，我々は新たに映像投影された卓上面も作業領域に加え，壁面と卓上面の使い分けを柔軟に再構成できるシステムを提案し実現する．既にテーブルトップ型のシステム実現例は数多く存在するが，我々のアプローチは，大型壁面ディスプレイ利用で実績があるシステムに，敢えて卓上面を導入した点に特長がある．これは，壁面・卓上面併用の一般形ではないが，壁面にはない特性を積極的に卓上面にもたせることで，両作業空間の効率的利用を図った形態となっている．

本目的の達成のためには, 用途や対象によって場当たり的なシステム設計をするのではなく，しっかりとしたデザインスキームが必要と考える．また，効率的電子データ操作を支える技術基盤も不可欠である．本研究はその両方を目指すものであり，本論文では，まず WATARI と名付けた壁面・卓上面併用システムの概念とデザインスキー

*1 立命館大学大学院理工学研究科
*2 現在, ソニーグローバルソリューションズ(株)
*1 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University
*2 Sony Global Solutions Corporation

ムに関して述べる．続いて，このスキームに基づいて実現した WATARI システムの構成や応用事例を紹介する．残る章では，卓上面利用の技術基盤として開発した電子メタファ操作「Candle on the Table」とその評価結果に関して述べる．

2. WATARI システムの概念と研究スタンス

2.1 WATARI システムの概念と設計方針

従来の広視野電子作業空間 MR-Cube[5]は，平面もしくは湾曲した複数のスクリーンを連結した横長の領域に映像を投影し，その映像空間に表示された仮想オブジェクトをハンドジェスチャでコマンド操作するものであった．ここで映像表示モードは 2D（単眼映像）と 3D（両眼立体視映像）を選択でき，2 人以上の利用者が協調作業を行うモードも有している[6]．また，実在する什器・機材（ゴミ箱，ファイルボックス，プリンタ等）も操作対象として含み，VPPE (Visually Perceivable Physical Equipments) と呼んでいる．これは，それぞれデータの廃棄・保管・印刷場所を象徴する実物体で，例えば，廃棄したいデータをゴミ箱の方に向かって捨てるという動作がコマンドとして定義されている．

MR-Cube は，壁面（直立したスクリーン面）に正対して立ったまま使用することを標準とし，壁面に触れる動作は許していなかった．ただし，上述の実物体 VPPE を配置する場合は，机を置き，座って利用する形態も生じてきた．そこで，その上部平面（卓上面）にも映像投影を行うように対象領域の構成を積極的に拡張した対話型電子作業空間を WATARI (WAll & TAble-based Reconfigurable Interaction) システム［以下，単に WATARI］と総称することにした．

オブジェクト表示機能に関しては，壁面と卓上面は基本的に同等である．MR-Cube の複数画面の 1 つを卓上面に置き換えたと考えることができる．壁面のオブジェクトを手元の卓上面に引き寄せたり，逆に卓上のオブジェクトを壁面に移動させることができる（WATARI には，オブジェクトが壁面と卓上面を自在に渡り歩くという意味も込められている）．

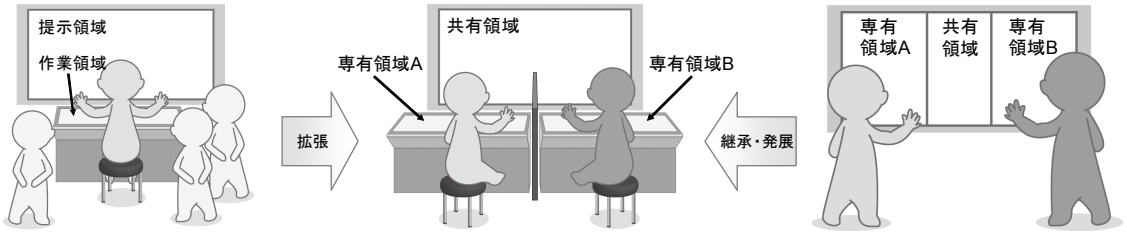
一方，オブジェクト操作に関しては，壁面を直接触れることはせず，指さし等で指し示すことのみを許し，卓上面は直接指や掌で触れることが可能とした．WATARI にこの条件を設けたゆえに，「卓上面」という概念を導入した意味が生きてくる．この非対称性が存在するという前提で，壁面と卓上面のいずれを主たる表示・操作対象とするかは，用途・対象に応じて選択できるものとした．システム構成やオブジェクトの配置を壁面と卓上面間で柔軟に再配置 (reconfigure) できることが WATARI の特色である．

利用モードとしては，例えば，次のような形態が考えられる．

(i) 壁面＋卓上面を 1 人の利用者が個人利用し，卓上面が一杯になった場合にデータを壁面に移す．
(ii) オペレータが卓上面で頻繁なデータ操作を行ない，検索・分類・編集・加工等の結果を，壁面に表示し，背後にいる観衆や顧客に見せる．
(iii) 複数の利用者が卓上面で各自の作業を実行し，壁面を共有領域として，協調作業でのデータ授受を行なう．

図 1 に，上記の (iii) を中心としたシステム配置形態の例を示した．(i) と (ii) の機器構成は同じで，(ii) は周りに観衆が立てるスペースを確保する程度の違いである（図 1 (a)）．また，複数の壁面を設け，用途に応じて使い分けるようなシステム構成に (i) を発展させることも可能である．

複数利用者が壁面を共有する作業形態の (iii) は，同図 (b) のような構成となる．卓上面間のデータ移動は許さないので，両利用者間は物理的に仕切られていると考えた方が分かりやすい．また，協調作業での作業領域共有のメカニズムは，既に MR-Cube で実現済（同図 (c) の構成）であるので，そのジェスチャコマンド体系や複数人のデータ共有機構を継承し，卓上面併用時にも柔軟な機能再配置を実行できる機構を実現する．即ち，(b) は (a) の機器構成を拡張し，ソフトウェア的には (c) の発展形として実現できる．また，(b) の形態



(a) 壁面は観衆への提示が主目的　(b) 壁面を共有領域として利用　(c) 従来の壁面だけのシステム

図 1　壁面と卓上面の利用形態

Fig. 1 Utility Forms of Wall and Table System

は，ネットワークを介した遠隔地間の協調作業にも発展できる．

柔軟かつ信頼性の高いデータ操作を可能にするには，ジェスチャ操作やデータ管理に確固たる技術基盤を有していることが望ましい．それに加えて，この種のシステムの構成やユーザインタフェース設計には，操作性・応答性だけでなく，GUI デザインに対する利用者の好みも大きな要因となる．その Look & Feel の手直しや多様化は，データ操作・管理と明確に切り離して実装できることが望ましい．

この要求を満足する機構の実現には，オブジェクト指向の考え方を積極的に導入し，2.3 で後述するようなクラス構造を採用して，用途や目的に応じた個々の WATARI アプリケーションをデザインするものとした．

2.2 関連研究

大型ディスプレイを利用した研究では，その広さを有効活用するために，広大な作業スペースへの有効なアクセス方法に関する研究[7]や，広い作業空間を複数人の協調作業に使用する研究[6,8]が多く見られる．一方，テーブルトップシステムの研究では，手の届く範囲で作業ができることから手を使った入力に関する研究[9-11]や，卓上にものをおくことができるという性質を活かした研究[12]，テーブルを囲んでの協調作業を支援する研究[13,14]などが主流である．

このような両者の利点を組み合わせた研究として，例えば[15,16]のように，複数人が卓上面と壁面（またはホワイトボード）を共有し，それぞれの作業領域の特性を活かしながら協調作業を行うシステムが提案されている．壁面と卓上面の利点を活かすという点では，本研究も同じ立場であるが，壁面と卓上面は非対称とし，様々な利用モードに応じてシステム構成やオブジェクトの配置を壁面と卓上面間で柔軟に再配置できるデザインスキームを提案するという点で，一歩進んだ方法論を採用している．

ハンドジェスチャ関連では，既に壁面操作に適したジェスチャ[7]や，卓上面に適したジェスチャ[10,11]，壁型ディスプレイと卓上面間でスムーズにデータのやり取りを行うためのジェスチャ[17]などが多く研究されている．しかし，操作者が用いるジェスチャは，システムの目的や用途，操作者の嗜好などによって異なることが予想される．本研究で提案するデザインスキームでは，操作コマンドとジェスチャのバインディングも目的に応じて組み換え可能とし，より汎用的な機構を採用している．

2.3 WATARI デザインスキームとクラス構成

壁面と卓上面を併用する WATARI では，システム構成にも，壁面と卓上面の使い分けにも自由度を与えているので，目的・応用毎の個別開発に陥りがちである．これを防ぐためには WATARI システム設計の規範となる統一的なデザインスキーム (WATARI-DS) を確立し，それに基づいて個々の WATARI アプリケーションを開発する方針を採る．

ここで，「デザインスキーム」とは，設計思想とデザインツールとの中間的な存在を意味している．即ち，設計思想や設計方針からはもう一歩踏み込んでシステム設計支援を担うものであるが，オーサリングツールのような独立したソフトウェアモジュールではない．以下に示すようなオブジェクト指向のクラス概念をもとにしたもので，この WATARI-DS に基づいて各クラスのメソッド等を目標とする WATARI アプリケーションの要求仕様に沿って実装することで，WATARI 個別システムの実現の道筋が自然に得られる．

WATARI-DS では，システムは**図 2** に示す 5 つのパートで構成されるものと考える．システム基幹部は，WATARI の中核をなす部分であり，壁面と卓上面を統合したシステム全体の制御を行う．データ管理部は，このシステムで扱う電子データを管理する部分であり，電子データの外観 (Appearance) や挙動 (Behavior)，電子データに対する操作 (Operation) を規定する．センサ通信部は，センサシステムからの情報をジェスチャ制御部および実物体制御部へ伝達する役割を担う．ジェスチャ制御部は，センサ通信部から送られたセンサ情報をもとに，ジェスチャ動作と電子データへの操作コマンドをバインディングする．実物体制御部は，センサ通信部からのセンサ情報をもとに，前述の VPPE なる実物体を制御する．

WATARI-DS では，用途に応じて卓上面を表す TableTop クラスと壁面を表す WallSurface クラスを複数個定義できる．1 人での複数画面利用，複数人での画面共有等，様々な広視野電子作業空間を構築可能としている．各々の WallSurface クラスは，SharedMemory クラスのインスタンスを共有しているので，これを介して，複数の操作者が同一の壁面を共有できる仕組みを提供する．

WATARI に対する入力インタフェースは，両手を用いたジェスチャ操作が標準である．操作者が用いるジェスチャは，システムの目的や用途によってかなり異なるが，基本ジャスチャ g_j が連結した複合ジャスチャ $G_i=(g_1^i, g_2^i, \cdots g_l^i)$ として定義し，その定義に従って操作方法を習得するものとする．ここで，基本ジェスチャとは，2 つの静止状態 s_p, s_r を結ぶ動作 a_q から $g_k=(s_p^k, a_q^k, s_r^k)$ のように定義さ

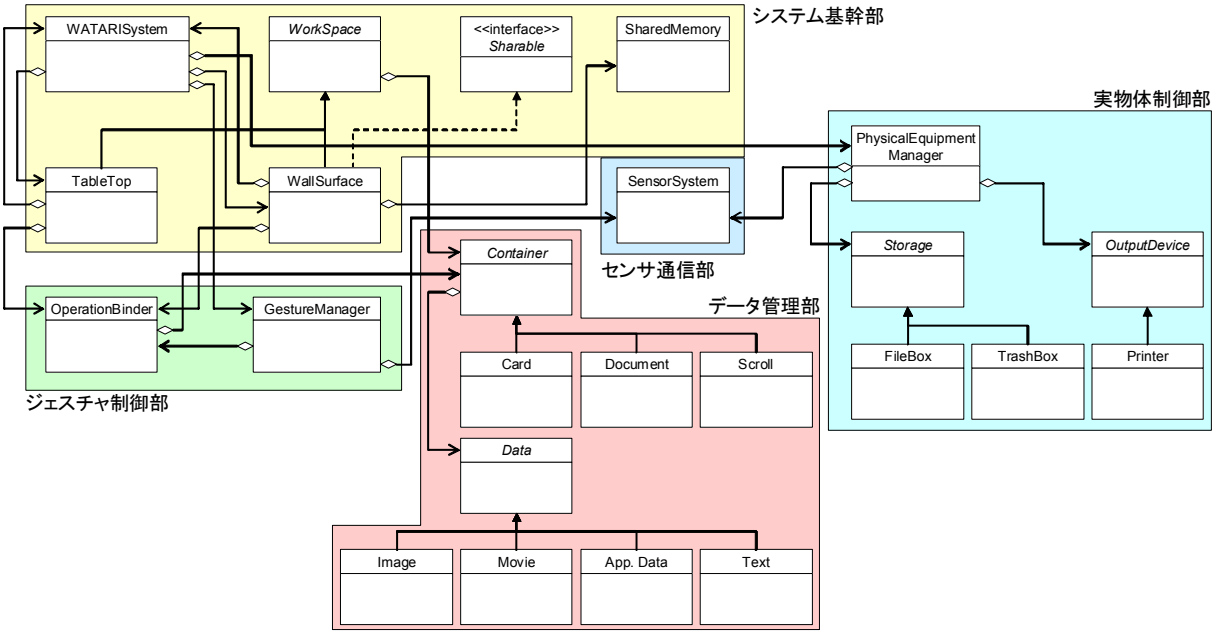
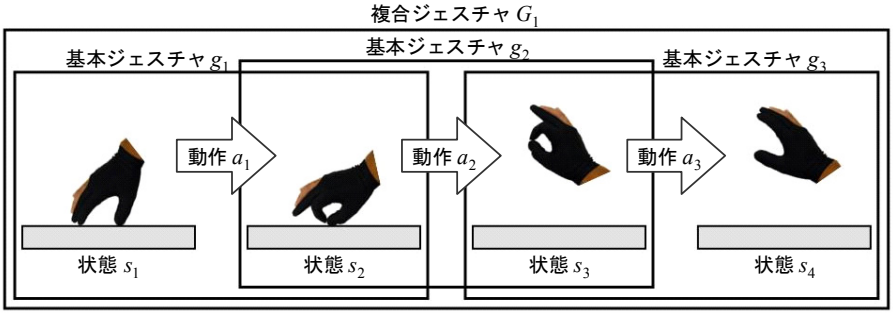


図 2　WATARI におけるクラスの構造を表現したクラス図
Fig. 2 Class Diagram of WATARI



卓上面にあるデータを壁面に移動する操作は，「オブジェクトを掴む」（手を卓上面に触れ，親指と人差し指が離れた状態から触れる状態にする）「手をそのまま上方に持ち上げる」「オブジェクトを放す（触れている親指と人差し指を離す）」の 3 つの基本ジャスチャから構成する．

図 3　基本ジェスチャから複合ジェスチャの構成例
Fig. 3 Example of Compositing Fundamental Gestures

れる分割不能な操作単位である．**図 3** に基本ジェスチャから複合ジェスチャを構成する例を示す．これは，卓上面にあるオブジェクトを壁面に移動させるジェスチャであり，WATARI では最もよく使用するジェスチャコマンドの 1 つである．

有用なジェスチャ G_i は，作業空間の種類や応用によって異なるが，基本ジャスチャ g_j は共通性の高いものを蓄積しておき，その（順序性のある）組み合わせでジェスチャ G_i をデザインする．新しい複合ジャスチャを生み出すために基本ジェスチャが増えることもある．本論文執筆時点で存在する基本ジャスチャ数は 22 である．

システム開発者は，ジェスチャ G_i が定義できれば，その認識プログラムを，ジェスチャ制御部の GestureManager クラスとして実装する．また，データ管理部では，各々の電子データを格納する *Container* に対して操作 O_k が規定されており，ジェスチャ G_i の集合 $X_G = \{G_1, G_2, \ldots\}$ から操作 O_k の集合 $Y_O = \{O_1, O_2, \ldots\}$ への対応付け $f: X_G \rightarrow Y_O$ は，ジェスチャ制御部の OperationBinder クラスとして実装される．

このように WATARI の基本骨格をクラスとして表現しておくことで，この作業空間の特質を抽象的に捉えることができ，再構成可能なシステムのデザインが容易になる．この枠組の中で，電子データの外観や挙動，操作方法などのバリエーションを考えることで，様々な魅力的なシステムがデザインできる．

3. WATARI-DS に基づくシステム構築例

本章では，WATARI-DS を用いて実際に開発した WATARI 原型モデル，試作応用事例，その発展形について述べる．

3.1 ハードウェア構成

WATARI 原型モデルは，図 1 (a) に示した 1 壁面，1 卓上面を有し，1 人で操作する最も素朴な構成の実現例である．センサや VPPE を含むハードウェア構成は**図 4** のように表わせる．

壁面と卓上面に表示する映像は，映像生成用 PC で生成され，2 台のプロジェクタ（壁面用：PLUS 社製 U5-512h，卓上面用：日立製作所製 CP-A100J）から各表示面に投影される．WATARI 専用に試作したテーブル（nac 社製特注）には，上記のプロジェクタ，映像生成用 PC の他に，スピーカが内蔵されており，効果音などを提示することができる．

ジェスチャ認識，VPPE の位置姿勢検出には，モーションキャプチャシステム（ViconPeaks 社製 MX カメラシステム）を使用する．これは，カメラ 6 台とカメラ制御用 PC，通信制御用 PC 各 1 台から構成される．利用者は，親指，人差し指，手の甲に再帰性反射マーカを貼付した手袋状デバイスを装着し，ファイルボックスやゴミ箱などの VPPE にも再帰性反射マーカを貼付することで，手指や各種実物体の位置姿勢を検出することができる．モーションキャプチャシステムにより得られたこれらの情報は，通信制御用 PC を介して映像生成用 PC に送られ，図 2 におけるセンサ通信部において WATARI に取り込まれる．

本システムでは，開発言語には C++を，グラフィックス API には OpenGL および GLUT (OpenGL Utility Toolkit) を使用している．

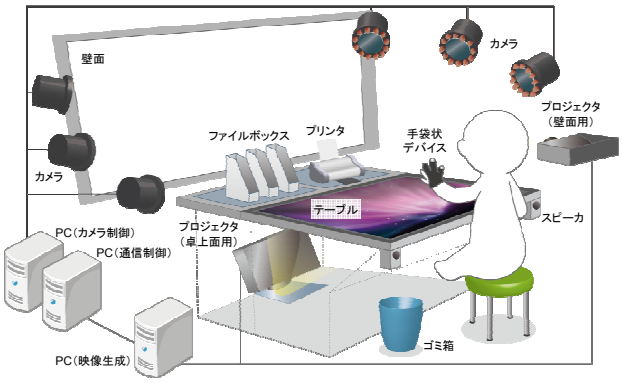


図 4　原型モデルのハードウェア構成
Fig. 4 Hardware Configuration of Primitive Model



図 5　衣服を示すカードデザインとそのバリエーション
Fig. 5 Card Design of Clothes and Its Variation

3.2 応用事例

WATARI 原型モデルを有効利用する応用事例として「ファッションコーディネートシステム」を取り上げ，WATARI-DS に基づいて設計・開発し，実装した．実際に動作している様子の映像を[18]に示す．これは，後述するカードメタファ・モードを積極的に利用した事例にもなっている．本システムは，以下のような機能をもつ．

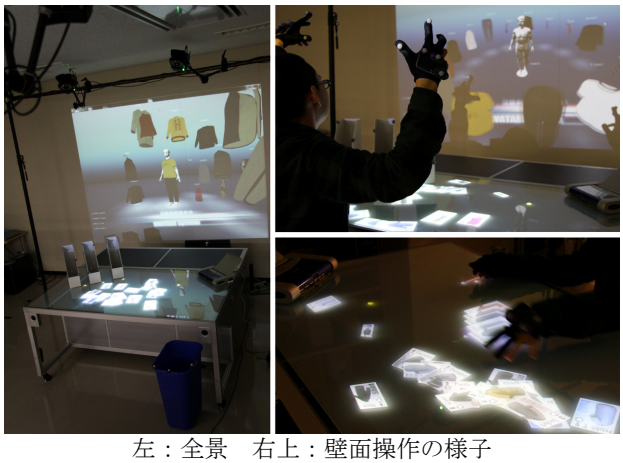
- 色や形が異なる多数の衣服の各々が，**図 5** に示すような（電子的な）カードにマッピングされている．各カードの面に ID や衣服の CG 映像が描かれていて，一目で視認できる．
- 卓上面では電子的に表示された多数のカードを操作して，ファイルボックスからの取り出し，分類・選択・再保管等の操作を行う．選択したカードを，壁面方向に放り投げるとデータは壁面上に移動する．
- 壁面内では，候補の衣服（上着，シャツ等）をマネキン状の人物像に着せ，そのコーディネート結果を確認できる（**図 6**）．衣類は仮想空間内に置かれ，3D-CG 表示されるので，視点移動が可能である．着衣後の像は正面からだけでなく，人物を回転させたり，引き寄せて大きくして眺めたり，俯瞰的な視点から見下ろすこともできる．
- 本システムの操作風景を**図 7** に示す．壁面を見やすくするよう，操作者 1 人しか写っていないが，本システム自体は，背後に立った観察者（友人，顧客等）と相談しつつ，コーディネート結果を提示することを目的としている．素早い応答を実現し，効果音等も導入したため，体験者からは操作感は快適であるとの評価を得ている．

3.3 機能拡張・再配置

WATARI-DS に則った設計・開発は，単独のアプリケーション開発ではその効果を感じにくいが，機能拡張や別の用途に流用させる場合に威力を発揮する．以下のような発展・拡張を行ったところ，システムの他の部分に影響を与えることなく，関



図 6　壁面でのファッションコーディネート結果
Fig. 6 Result of Fashion Coordination on the Wall Display



左：全景　右上：壁面操作の様子
右下：卓上面操作の様子

図 7　ファッションコーディネートシステム
Fig. 7 Fashion Coordination System

連するクラスの変更・追加や実装方法の改良だけで達成できたことで，WATARI-DS の有効性が確認されたと言える．

(1) 同モデル内での改良・拡張

衣服の種類追加については，勿論カードを増やすだけ良い．マネキンを増やしての男女ペアでのコーディネート，背景を街並みに差し替えた場合の調和等は，同じ構成で図 2 の WallSurface クラスの実装を改良するだけで容易に達成できる．実際，本アプリケーション開発中に，コーディネーション時の操作モード変更は頻繁に行われた．壁面表示での Look & Feel の改良もまた，何度か行われたが，これも WallSurface クラスの実装方法だけに閉じて達成できる．

ジェスチャコマンドの変更・追加も，度重なる試行錯誤を経て安定した利用に至ったが，これはジェスチャ制御部内の GestureManager 及び OperationBinder クラスを修正することだけで達成でき，他のクラスの実装とは全く独立している．実際，新たなジェスチャコマンドを追加するたびに，ジェスチャ要素の組合せを変え，認識処理のパラメータを調節する必要があったが，それらはファッションコーディネートの概念や機能には全く影響を与えていない．

(2) 類似アプリへの変形・拡張

一旦，本事例を開発した後，類似のアプリケーションを複数開発している．カードデザインの変更はデータ管理部の Card クラスの描画に関連したメソッドを変更することで実現できる．カードと対象となる事物との対応関係（バインディング）の定義は，Card クラスの親クラス *Container* に含まれた抽象クラス *Data* のインスタンスの種類を変更することで容易に達成できる．また，卓上面のカード操作コマンドの種類を変更せず，壁面の表示物の操作のみを変更することは，OperationBinder におけるジェスチャと操作の対応付けだけを変更することに相当している．

実際，この場合にも，カードというメタファを導入し，そのジェスチャと操作のマッピングを独立したクラス OperationBinder に閉じこめたことが奏功していると言える．

(3) 壁面・卓上面の機能再配置

コーディネート結果の他人への提示を目的とせず，操作者 1 人で衣服の在庫管理等を行う場合には，卓上面中心の操作となり，壁面は予備の作業領域となる．ファッションコーディネートでは，壁面を使用して観察者に対してコーディネート結果を見せるために図 6 に示すような画面表示となっているが，在庫管理ではこのような表示は不要なため，カードを単純に表示するようなものへと WallSurface の表示処理部を修正する．さらに，コーディネート結果を見せるために必要としていた視点移動などの操作コマンドの割り当てを OperationBinder において削除する．

DB 管理や検索等が重きをなす場合は，DBMS とのリンクや検索に適したジェスチャコマンドが必要となる．DBMS とのリンクについては，WATARISystem クラスの実装において DBMS と接続するコードを追加するとともに，OperationBinder において DB に対して処理を行うような操作コマンドとジェスチャを対応付けることで実現できる．

後述するドキュメントメタファ利用の場合は，（現開発システムは）卓上面での操作に限定し，壁面を利用していない．VPPE であるファイルボックスから文書ファイルを取り出して，操作後にしまうという実現形態を採ったからであり，これは必然的な利用形態ではない．今後，もっと積極的に壁面を利用する形態も登場してくることは十分可能であり，それは新たに WallSurface クラスを実装し，OperationBinder におけるジェスチャと操作の対応付けを変更することだけで発展・拡張できる．

(4) 協調作業への拡張

複数人の共同・協調作業を行う場合は，図 1 (b) に示したような構成で共有領域を壁面に設けたコラボモデルを採用する．これは例えば，ファッションコーディネートシステムの操作者が 2 名になった場合の構成に該当し，ブティックなどにおいて，顧客と店員がそれぞれのテーブルに着座し，顧客の好みを聞いて店員が選んだ衣服を，客が自分でマネキンに着せることで満足の行くコーディネートを行うといった利用を想定している．

筆者らの場合，図 1 (c) の構成のシステムは開発済みであるので，その協調作業メカニズムはそ

のまま継承できる．WATARI 原型モデルとコラボモデルの主な違いは，TableTop クラスと WallSurface クラスのインスタンス数になる．各々のクラスのインスタンスを必要人数分準備した上で，WallSurface クラスのインスタンスについては，1 つの SharedMemory クラスのインスタンスを共有することによって，これを介したデータの受け渡しが可能となる．

4. 卓上面を利用した電子メタファ操作

WATARI では，壁面は直接触れることはなく，卓上面は指で触れることを前提としている．後者の導入とともに，卓上での電子データ操作に適したメタファの利用，そのためのジャスチャコマンド開発を行った．下記のカードと文書のメタファを利用した非 WIMP 型 GUI を「Candle (Card and Document File) on the Table」と総称している．

4.1 カードメタファ

既に前章の応用事例で観たように操作したいデータアイテムをカード状の視覚オブジェクトに対応させて操作する．卓上にあるトランプやタロットカードを指で操作する感覚で，この電子カードを操作することを目的としている．

このカードメタファ・インタフェースのために設計したジェスチャコマンドは**図 8**，**表 1** に示す通りで，**図 9** のような外観になる（各動作の模様は，[18]に映像で示した）．各ジャスチャコマンドは，図 2 に示したと同様な流儀でデザインした複合ジェスチャであり，基本ジェスチャの繋がり（順序を考慮した組合せ）として定義されている．

機能及び留意事項は以下の通りである．

- WATARI では，視覚オブジェクトは，データ管理部の抽象クラス *Container* を継承したクラスによって管理するため，カードの場合，*Container* の子クラス Card として，その外観や操作コマンド，挙動などを実装する．カードに対してどのようなデータをマッピングするかは，Card のインスタンスに含まれる *Data* クラスの種類によって決まり，データアイテム毎にカードに描かれた文字・記号・絵柄なども Card クラスのプロパティとして与えられる．
- カードの大きさは，トランプサイズを前提としているが，実際の卓上面では一回り大きく表示している．これは，意図に応じて花札やハガキ大にすることも，図書カードや紙幣のような横長にすることも設定可能である．
- カードの操作に効果音を付しているが，これは好みにより ON/OFF できる．ジェスチャコマンドの認識時に確認音を出すことはせず，手の位置に円形の図形を描く視覚フィードバックを採用している．
- カード面に描かれた内容から深い階層に降りた

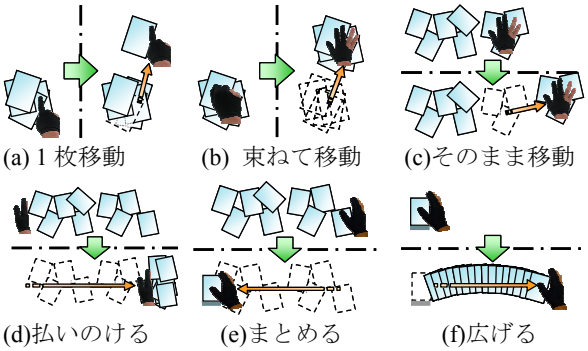


図 8　カードメタファ用ジェスチャコマンド
Fig. 8 Gesture Commands for Card Metaphor

表 1　カードメタファ用ジェスチャコマンド一覧
Table 1 Gesture Command List for Card Metaphor

コマンド	手指の動作と効果
1 枚動かす	人差し指だけをカードに触れ，指を動かすと 1 番上のカードだけが追随する．勢いをつけると，ディーラー感覚でカードを配れる．
複数枚挟んで動かす	親指と人差し指でカードを挟んで動かすと，複数枚のカードが束になって移動する
複数枚をそのまま移動する	掌全体を卓上面に触れたまま動かすと，その下にあるカード全体が位置関係を保ったまま移動する
払いのける	手の端を卓上面に触れるように垂直に立てて動かすと，触れたカードが払いのけられる
1 つの山にまとめる	手を少し浮かせ，指だけ卓上面に触れながら移動すると，整列したカードの山が作られる
ざっと広げる	上記の整列状態の山を，親指を浮かせ，掌で触れて移動するとカードが等間隔に広がる

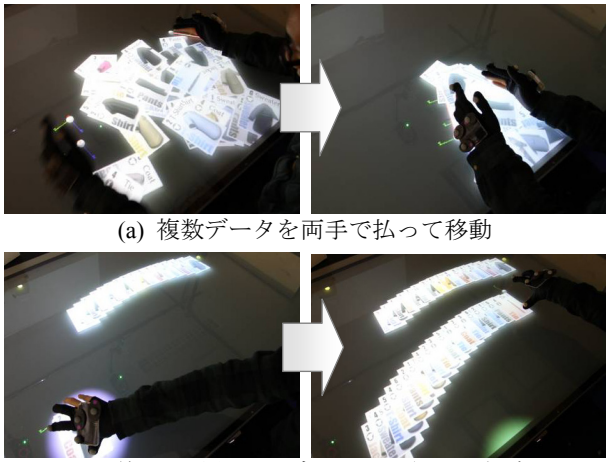


図 9　カードメタファ・インタフェースの操作例
Fig. 9 Examples of Card Metaphor Interface Operation

り，リンクを辿ったりする機能はもたせない．実現は難しくないが，カードメタファはシンプルな方が好ましいと考えるからである．

・卓上面には最大何枚程度のカードを許容すべきかは，まだ要検討事項である．また，プロジェクタの解像度は限界があるので，カード面の拡大表示機能を望む声もある．そうした機能拡張でインタフェースを複雑にするより，シンプルなままに保つべきとの声もあり，意見が分かれるところである．

4.2 ドキュメントメタファ

複数ページからなる文書をメタファとして採用し，そのページを繰ったり，抜き出したり，束ねたりするインタフェースが，もう 1 つの実現例である．カードメタファ・インタフェースでのコマンドに加え，ドキュメント専用に**図 10**，**表 2** を設けた（動作の模様は，[18]に映像で示した）．基本ジェスチャの繋がりで，ドキュメント操作用の複合ジェスチャを定義する方法は図 3 と同様である．

卓上面での配置イメージは**図 11**，操作時の外観は**図 12** で，機能及び留意事項は以下の通りである．

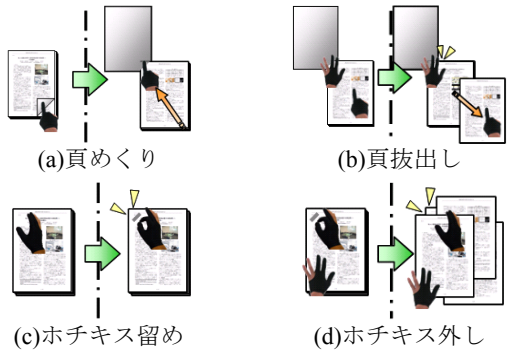


図 10　ドキュメントメタファ用ジェスチャコマンド
Fig. 10 Gesture Commands for Document Metaphor

表 2　ドキュメントメタファ用ジェスチャコマンド一覧
Table 2 Gesture Command List for Document Metaphor

コマンド	手指の動作と効果
カードと同じ 5 操作	「1 枚動かす」以外は，綴じられた文書単位で同じジェスチャが利用できる
頁をめくる	人差し指を触れ，左上になぞると頁送り，右下になぞると頁戻しができる．勢いをつけて動かすと，一気に頁めくりができる．
1 頁抜き出す	片手で文書（束ねた書類）を押さえ，人差し指で触れて動かせば，見えている頁が外れる
ホチキスで留める	散逸した書類を 1 つの山に束ねた後，親指と人差し指で挟み込めば，ホチキス留めできる
ホチキスを外す	片手で文書を押さえ，もう一方の手の親指と人差し指でホチキス部分を摘み上げるとホチキスが外れて，バラバラの書類になる

・ドキュメントは，*Container* を継承した Document として実装し，ページを繰るなどの操作もここで規定される．

・カードメタファでは，何か意味のあるデータがマッピングされることを前提としていたが，ドキュメントメタファでは，電子的文書そのものを扱うことが多い．ただし，本来文書でないものをこの形式にマッピングすることを拒むものではない．

・A4 サイズの文書をデフォールトとしているが，実際には一回り大きめ（ただし，A3 サイズよりはかなり小さい）に表示している．

・「ページをめくる」「ページを破って抜き出す」「ホチキス止めする」等に対して専用の効果音を付しているが，これは ON/OFF できる．

・通常の文書ファイルと同様，ページ数には特に制限はないが，ページという概念がない連続したデータ（例えば，歴史年表）をマッピングする場合には，「巻物のメタファ」を導入し，ジェスチャによるスクロール機能を重視する方が好ましいと考えられる．そのような場合には，図 2 の Scroll クラスのように別のクラスとして，その外観や挙動，操作コマンドなどを実装することになる．

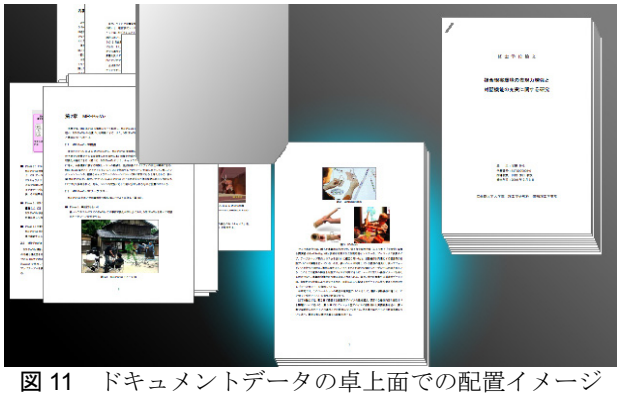
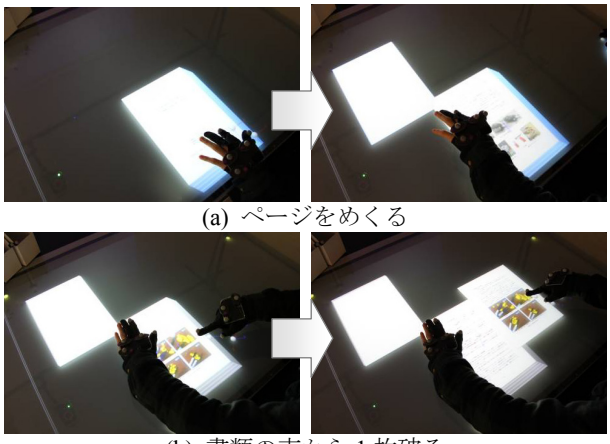


図 11　ドキュメントデータの卓上面での配置イメージ
Fig. 11 Example of Documents Putting on the Tabletop



(a) ページをめくる
(b) 書類の束から 1 枚破る

図 12　書類メタファ・インタフェースの操作例
Fig. 12 Example of Document Metaphor Interface Operation

5. ドキュメントメタファの操作効率評価

カードメタファによるデータ操作は，まさに卓上での非 WIMP 型 UI に適した実現形態であるが，文書データの操作・加工は，現在の PC/WIMP 環境でもかなり充実した機能が提供されている．その操作に慣れ親しんだ PC 利用者も多いので，我々が提案・実装したドキュメントメタファ UI が，それにどの程度太刀打ちできるものかの実験を行ない，その効率を客観的に評価した．

5.1 実験 1：文書操作だけでの効率比較

5.1.1 実験目的

一般的な文書ファイル中から，ある特定のページだけを抜き出して統合し，別の文書ファイルとするという一般的な作業で，通常の PC の WIMP 型 GUI と WATARI 操作の処理時間を比較する．使い慣れた WIMP 操作の方が円滑で速いことが予想されるが，WATARI 作業での操作感や習熟に関する問題点も含めて，体験者の感想を求めることを目的とした．

5.1.2 実験対象と実験方法

【対象文書】A4 サイズ約 40 ページの論文 3 種類．各論文中に 3 種類の印が各 10 ページ，計 30 ページに押印されている（**図 13**）．3 回の操作で，1 試行ごとに違う種類の印を指定して，該当ページを抜き出し，別ファイルを作成する．

【PC 操作】25 インチの液晶モニタに PDF 文書を表示し，「Adobe Acrobat Pro Extended」を用いて操作する．ページ送りと選択に，メニュー，ボタン，スクロールバー，ショートカットキー等の何を用いるかは，被験者の自由とする．

【WATARI 操作】「書類の移動」「(単数・複数）ページめくり」「ページを破る」「複数書類をまとめる」「ホッチキスで留める」といった操作を，指定のジャスチャコマンドで実行する．

【被験者と準備】Acrobat 操作に通暁した情報系の大学生 6 名．両方式とも，事前にタスクの実行に必要なすべての操作を説明し，これらの操作が円滑に行えるまで十分に練習させてから実験を行う．

5.1.3 結果と考察

図 14 に，各被験者の平均操作時間を示す．6 名中 2 名の被験者に，操作途中で大きなエラーがあったため，ここでは残り 4 名の結果を示している．個人差はあるものの，WIMP 型 GUI と WATARI ジャスチャ操作の間で，当初予想したほど操作時間に大きな差はなかった．このことから，WATARI システムにおける卓上での書類操作は，少し練習するだけで，使い慣れた WIMP 操作とも遜色ないレベルに達することが分かる．

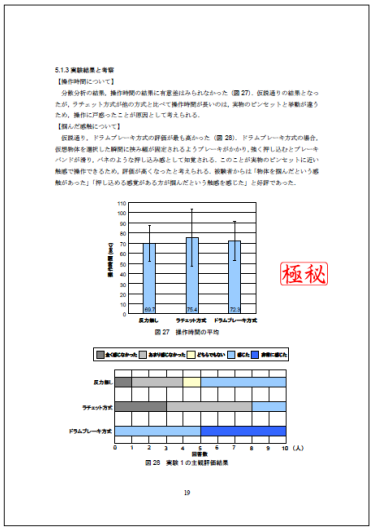


図 13　実験 1 で使用した書類の一例
Fig 13 An Example of Document Used in Experiment1

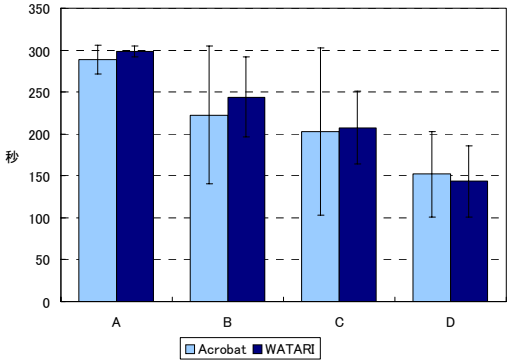


図 14　実験 1 の結果
Fig. 14 Result of Experiment 1

被験者の感想としては，「マウスと比較するとジェスチャは動作が大きいので，疲れやすい」という意見があったが，「日常の動作と似ているので，直観的でわかりやすい」「自然な流れで楽に操作できた」「操作に爽快感があった」「紙を扱っているという感覚がとてもある」「卓上が広いので，切り出したページを他の場所に置いたり，重ねて置けるのが便利」などの好意的な意見も多数あった．改善点はあるものの，卓上で実世界に類似した操作が行えるメリットが大きいことが指摘された．

5.2 実験 2：両手を使うタスクでの効率比較

5.2.1 実験目的

PC でのマウス操作に比べて，WATARI でのジェスチャ操作では両手が使えることが大きな利点である．意図的ではあるが，この点で差が出るようなタスクを課して，PC 操作との効率の違いを測定した．

5.2.2 実験方法

【作業内容】文書中に存在する所定の数値を読み取り，その加減算を行なって集計する．珠算でいう伝票算に相当し，書類（伝票）を左手でめくりながら，右手で算盤や電卓を操作するタスクであ

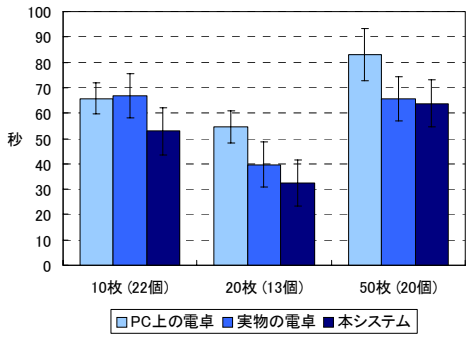


図 15　実験 2 の結果
Fig. 15 Result of Experiment 2

る．以下の実験では，入力ミスによるやり直しは行なわず，そのまま自然なスピードでキー操作を行なうものとした．

【対象文書】A4 サイズで，①10 ページの各ページに 2〜4 桁の正負の整数が合計 22 個記された文書，②20 ページ中 13 ページに 2〜3 桁の正整数が記された文書，③50 ページ中 20 ページに 2〜3 桁の正整数が記された文書の 3 種類を対象とした．

【PC 操作】PC の画面及びソフトは実験 1 と同じで，(a) 画面上の文書の「進む／戻る」ボタン操作と PC 上の電卓ソフト利用を右手のマウス操作だけで行なう場合，(b) 文書の「進む／戻る」ボタン操作をマウス操作と実物の電卓のキー操作を右手だけを使って行う場合のそれぞれの処理時間を測定し，合計した．

【WATARI 操作】左手で WATARI ジャスチャでページをめくりながら，右手で卓上に表示された電卓ソフトのキーインを行なうものとした．

【被験者と準備】右利きの大学生 5 名．実験 1 と同様，事前にタスク内容を理解させ，十分な練習の後，自然なスピードでの各種電卓計算を課した．

5.2.3 結果と考察

図 15 に，書類のタイプごとの平均操作時間を示す．図より，(a) → (b) →WATARI の順で操作時間が早くなることが確認できる．これは，書類と電卓ソフト間でのマウスカーソルの移動が不要な分，WIMP 型の電子電卓よりも実物の電卓の方が速く，両手で作業できる分，実物の電卓よりも WATARI が速い，という予想通りの結果が得られた．極端な例ではあるが，両手操作の有用性が定量的に示せた結果となっている．

一方，被験者の感想としては，「まるで本物の紙や電卓を使用しているような感覚があった」「両手が使えるので，平行した作業をスムーズに行うことができた」という声があった．

6. むすび

壁面と卓上面を併用しハンドジャスチャで電子データ操作を行う WATARI システムの設計方針や応用事例等について述べた．ここで壁面は指で触れることは許さず，卓上面は積極的に触れることを前提としたジェスチャを採用している．

従来の壁面のみのシステムの体験者からは，この卓上面の導入は歓迎され，操作性に関しても高い評価を得た．これは，2 つの馴染みやすいメタファを採用し，卓上面での利用に特化したジャスチャコマンド体系を充実させ，同時に応用事例である「ファッションコーディネートシステム」のユーザインタフェースも魅力的なものに作り上げておいたからだと考えられる．即ち，システムの応答性能や操作感が，利用者の想像以上の完成度であったためだろう．

対象を絞って集中すれば，この種の応用システムの完成度を上げ，満足度を向上させることはそう難しくない．問題は，様々な用途で WATARI システムが求められる時，同じレベルを保って個々のシステムの設計・開発ができるかどうかである．そこで，しっかりとしたデザインスキームを有しているかが重要になってくる．理論的な最適解や客観的な評価基準が明確でないユーザインタフェース開発の場合に，威力を発揮する．別の観方をすれば，「UI デザインにおけるオブジェクト指向実践教室」ともなっている．システム設計方法論として，1 つの解を与えるものになると考え，本研究を推進している．

WATARI の原型モデルといえども，その実現に要する費用は，現在の PC の価格に比べれば，まだ桁違いに高価である．しかし，WIMP 型 GUI がワークステーションの登場から汎用 PC の標準となるまでどれだけに期間を要したか，一旦普及が始まれば，家庭用 TV 受像機の大型化や携帯電話の浸透がいかに早いかを考えれば，本 WATARI 級の近未来型システムが日常業務で利用される日もそう遠い先のことではないと思われる．

謝辞

本研究の初期段階で WATARI システムの開発に従事した大学院生・渡辺匡哉君 (現, キヤノン(株)) の貢献に対して，感謝の意を表します．

参考文献

[1] A. V. Dam: “Post-WIMP User Interfaces,” Comm. ACM, Vol. 40, No. 2, pp. 63 - 67, 1997.
[2] 暦本純一 : “実世界指向インタフェース－実空間に拡張された直接操作環境” , 情報処理, Vol. 43, No. 3, pp. 217 - 221, 2002.
[3] 石井裕 : “タンジブル・ビット–情報と物理世界を融合する，新しいユーザ・インタフェース・デザイン–”, 同上, pp. 222 - 229, 2002.
[4] 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・インタラクション方法の提案と実現”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 13，No. 2，pp. 247 – 255，2008.
[5] 木村朝子，柴田史久，鶴田剛史，酒井理生，鬼柳牧子，田村秀行：“ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間の設計と実装”，情報処理学会論文誌，Vol. 47，No. 4，pp. 1327 - 1339，2006.
[6] 平沼真吾，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“ジェスチャ操作を用いる広視野電子作業空間の複数人分担・協調作業への拡張”，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 10，No. 4，pp. 547 - 557，2008.
[7] D. Vogel and R. Balakrishnan: “Distant freehand pointing and clicking on very large high resolution displays,” Proc. UIST, pp. 33-42, 2005.
[8] S. Izadi, H. Brignull, T. Rodden, Y. Rogers, and M. Underwood: “Dynamo: A public interactive surface supporting the cooperative sharing and exchange of media,” Proc. UIST, pp. 159 - 168, 2003.
[9] P. H. Dietz and D. L. Leigh: “DiamondTouch: A multi-user touch technology,” Proc. UIST, pp. 219 - 226, 2001.
[10] M. Wu and R. Balakrishnan: “Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays,” Proc. UIST, pp. 193 - 202, 2003.
[11] X. Cao, A. D. Wilson, R. Balakrishnan, K. Hinckley, and S. E. Hudson: “ShapeTouch: Leveraging contact shape on interactive surfaces,” Proc. TABLETOP, pp. 139 - 146, 2008.
[12] B. Ullmer and H. Ishii: “The metaDESK: Models and prototypes for tangible user interfaces,” Proc. UIST, pp. 223 - 232, 1997.
[13] Y. Kakehi, M. Iida, T. Naemura, Y. Shirai, M. Matsushita, and T. Ohguro: “Lumisight Table: Interactive view-dependent tabletop display surrounded by mutiple users,” IEEE CG & A, Vol. 25, No. 1, pp. 48 - 53, 2005.
[14] 北村喜文，小西孝重，山本澄彦，岸野文郎：“多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole”，映像情報メディア学会誌，Vol. 57，No. 10，pp. 1320 - 1327，2003.
[15] J. Rekimoto and M. Saitoh: “Augmented Surfaces: A spatially continuous workspace for hybrid computing environments,” Proc. CHI, pp.378 - 385, 1999.
[16] D. Wigdor, H. Jiang, C. Forlines, M. Borkin, and C. Shen: “WeSpace: The design, development, and deployment of a walk-up and share multi-surface collaboration system,” Proc. CHI, pp. 1237 - 1246, 2009.
[17] J. Lee, J. Lee, H. Kim, and J. Kim: “Gesture-Based interactions on multiple large displays with a tabletop Interface,” Proc. UAHCI, pp. 936 - 942, 2007.
[18] WATARI システムの動作映像：
http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/watari/

(2009 年 12 月 4 日受付)

［著者紹介］

木村 朝子 （正会員）



1996 年大阪大学基礎工学部卒．1998 年同 大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．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 月より立命館大学情報理工学部メディア情報学科准教授．博士（工学）．実世界指向インタフェース，複合現実感，ハプテックインタフェースの研究に従事．電子情報通信学会，情報処理学会，ヒューマンインタフェース学会，ACM，IEEE 各会員．本学会学術奨励賞・論文賞，情報処理学会山下記念研究賞等受賞．

藤田 誠司



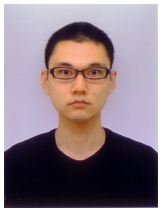
2008 年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒．2010 年，同大学院理工学研究科博士前期課程修了．同年 4 月，ソニーグローバルソリューションズ（株）入社．2007 年より 20010 年 3 月まで，壁面と卓上面を併用する電子作業空間でのインタフェースに関する研究に従事．

岩本 和也



2009 年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒．現在，同大学院理工学研究科博士前期課程在学中．壁面と卓上面を併用する電子作業空間でのインタフェースに関する研究に従事．

谷津 芳樹



2010 年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒．現在，同大学院理工学研究科博士前期課程在学中．壁面と卓上面を併用する電子作業空間でのインタフェースに関する研究に従事．

柴田 史久 （正会員）



1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．1999 年同 研究科博士後期課程修了．大阪大学産業科学研究所助手を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部助教授．現在，同 情報理工学部情報コミュニケーション学科准教授．博士（工学）．モバイルコンピューティング，複合現実感等の研究に従事．本学会複合現実感研究委員会委員，IEEE，電子情報通信学会，日本ロボット学会，情報処理学会等の会員．本学会学術奨励賞及び論文賞受賞．

田村 秀行 （正会員）



1970 年京都大学工学部電気工学科卒．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．現在，同 情報理工学部メディア情報学科教授．工学博士．1997 年より 2001 年まで，MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた．本学会元理事，現在，評議員，複合現実感研究委員会顧問．編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」（オーム社）など．電子情報通信学会フェロー，IEEE，ACM，情報処理学会，人工知能学会，映像情報メディア学会等の会員．本学会及び情報処理学会論文賞，人工知能学会功労賞等を受賞．