基礎論文

多様な可搬型機器に対応可能な複合現実感システムの共通フレームワークの設計と実装

柴田 史久[*1]，木村 朝子[*1]，橋本 崇[*1]，古野 光紀[*1]，平岡 貴志[*1]，田村 秀行[*1]

Design and Implementation of General Framework of Mixed Reality Systems Applicable to Various Mobile and Wearable Platforms

Fumihisa Shibata[*1], Asako Kimura[*1], Takashi Hashimoto[*1], Koki Furuno[*1], Takashi Hiraoka[*1] and Hideyuki Tamura[*1]

Abstract － We are now aiming at building of a general framework of mixed reality (MR) systems in which MR functions can be installed onto various kinds of mobile computers such as cellular phones, personal digital assistants (PDAs) and wearable computers. Our goal is not only to develop a software layer of application independent mobile platform but also to establish a general framework that can absorb the difference between types and performance of mobile computers. We developed a system architecture in which MR functions were distributed into a server and clients. Then we designed a content description language called SKiT-XML. This language is used to describe MR contents used in communication between the server and the clients. We implemented a cabling support system for OA floor as a sample application and verified the effectiveness of the framework.

Keywords : Mixed Reality, Mobile Computers, General Framework, System Architecture

1 はじめに

現実の光景に電子的に生成した付加情報を重畳描画する複合現実感（Mixed Reality; MR）システムは，屋内で利用される据置型システムでは既に実用化の域に達している．しかしながら，屋外で利用する可搬型システムは，従来から HMD を装着しノート型 PC をバックパックに搭載して背負って歩く形態が中心で，まだ実験レベルに留まっている[1-7]．ここに，カメラ付きの携帯情報端末（PDA）に MR 機能を持たせる試み[8-10]が登場し，さらにはカメラ付き携帯電話の利用を検討する研究が現れている[11]. 現状ではまだ性能的にも装着感にも問題はあるが，今後この種の可搬型システムへの流れが加速され，広汎な用途に利用されることは必至であろう．MR 技術の本質を考えれば，いつでもどこでも手軽に，目の前にある現実世界に仮想世界の情報を融合して眺めたいという要求が自然だからである．

我々は, 携帯電話, PDA, ウエアラブル・コンピュータ等，様々な種類の可搬型機器に MR 機能を搭載できる共通のフレームワークの構築を目指している．ここで目標としているのは，アプリケーションに依存しないプラットフォーム層を開発するだけでなく，可搬型機器の性能や種類の違いをも吸収できる共通フレームワークの確立である．現在の可搬型機器の処理能力・記憶容量はあまりにも限られているが，その制約が急速に緩和されることは，近年の携帯電話の発展からも確実である．そのため，現在入手可能な機器やソフトウェア環境を選んで開発を進めても，すぐに陳腐化してしまい無駄が大きいといえる．したがって，日進月歩の技術進歩が見込める分野には，そのバリエーションを吸収できる柔軟性のあるフレームワークの導入が望ましい．

我々は，こうした構想の下にモバイル MR システムの共通フレームワークを検討し，実際にそれを実現する基本アーキテクチャを複数のモバイル・プラットフォーム上に実装した．また，この目的のために必要なコンテンツ記述言語 SKiT-XML を定義し，その設計・実装も達成した．

本論文では，まず 2 章で我々の目指す共通フレームワークのコンセプトとその実現上の前提条件について明確にした上で，その概略仕様を決定する．続いて 3 章では，この仕様に基づいたシステム・アーキテクチャを提案し，サーバ及び各クライアントのモジュール構成のデザインを述べる. 4 章では，サーバ・クライアント間での通信に用いるコンテンツ記述言語 SKiT-XML の仕様を述べる. そして 5 章では，性能評価の対象事例である「床下配線サポートシステム」について述べ, 我々の基本アーキテクチャが，様々な種類の可搬型機器で MR 機能を提供できることを示す.

*1: 立命館大学大学院理工学研究科
*1: Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

2　共通フレームワークのコンセプト

2.1　フレームワークの前提条件

一般に普及している可搬型の情報機器は，ノートPC，ウエアラブルPC，PDA，携帯電話の4種類に分類することができる．これらを，その通信機能や記憶容量など複数の軸に対して分類すると**表1**のようになる．本研究では，現在達成されている最高水準のMRシステムを可搬型へ移し変えることを目指すのではなく，表1に示す能力の差異に起因するシステム実現上のトレードオフを容認し，利用端末や利用形態，情報提示のレベルを選択・設定可能な共通フレームワークの構築を目的とする．

システムの利用形態としては，複数のユーザが同一の空間内で協調しながら作業を実施するような状況を想定している．例えば，複数の作業員がシースルーHMDとウエアラブルPCを装着して1つの大きな機器の組み立てを分担して作業する場合が考えられる．また，広いテーマパーク内を，入場者が各自の携帯電話やPDAのMRガイド機能を使って遊覧する場合なども考えられる．

ここで，ユーザが所持する各端末に対して，個々の端末の能力に応じて重畳表示すべきデータが適宜提示される．すなわち，グラフィック描画が優れた端末には高画質のCG画像が重畳描画され，描画性能が劣る端末ではポリゴン数を落として表示する．また，高性能な端末ではフルビデオレートで画面が更新されるが，性能が低い場合には画面更新のレートを落とす．場合によっては，キャプチャした静止画に付加情報を重ねるだけのこともある．いずれの場合も，いま目の前にある現実の光景が対象であり，複数のユーザが見るのは，それぞれの視点に依存した付加情報が重畳されたものでなくてはならない．以下，重畳表示される電子データやその重畳に必要な付帯情報を「MRコンテンツ」と呼び，現実のシーンに重ねられた結果の画像を「MR 画像」と呼ぶことにする．

以上の観点から，本フレームワークを設計するに際して次の2点を前提条件とした．

・本フレームワークは，多様な可搬型機器に対応できること
・協調作業を実現するために，複数端末を含むシステム全体で，MRコンテンツを共有できること

表1　可搬型情報機器の性能比較
Table 1　Specification of mobile terminals

端末の種類	提示デバイス	記憶容量	通信機能	画像取得デバイス
ノートPC	大型LCD/HMD	大	無線LAN	NTSC/1394/USBカメラ
ウエアラブルPC	単眼HMD	中		
PDA	小型LCD	小		CF/SD型カメラ
携帯電話		極小	携帯電話網	内蔵カメラ

2.2　システム構成における要求条件

システム内に複数の端末が存在し，それらが協調的に動作するためには，端末間で情報を交換するための機能が必要となる．すなわち，各端末はネットワーク接続可能でなければならない．同時に，MRコンテンツに変化があった際にそれを更新する機能，すなわちMRコンテンツを一元管理できる機構が必要となる．協調作業では複数の体験者が互いに影響を及ぼし合ってMRコンテンツが変化する場合もあれば，避難誘導システムの場合などは，外部から時々刻々最新データが更新されることもあるからである．

また，MR 画像を各端末で提示するためには，それぞれでMR画像のベースとなる現実の光景を取得するためのカメラデバイス，及び現実の光景とMR画像を正しく重ね合わせるための位置姿勢検出機能が必要となる．

システム構成面での要求条件をまとめると，以下のようになる．

・端末毎のネットワーク接続
・MRコンテンツを一元管理するための機構
・画像取得のためのカメラデバイス
・端末の位置姿勢検出機構

2.3　共通フレームワークの実現方式

上記の条件を満たすために，本フレームワークは以下の方式で実現するものとした．フレームワークのコンセプトを**図1**に示す．

(1) サーバ・クライアント型

本システムを，MR コンテンツを一元管理するためのサーバと，MR 画像を提示するクライアントから成るサーバ･クライアント型とする．両者間はネットワークを介して接続される．

(2) 処理の分散化

端末間の能力の差異を吸収するために，特に処理

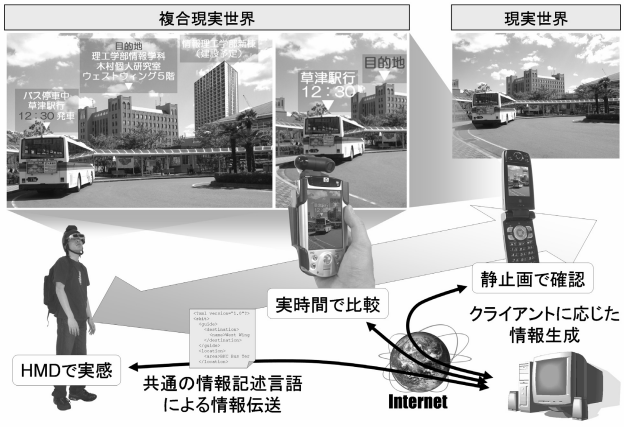


図1　フレームワークのコンセプト
Fig.1　Concept of the framework

能力の低い携帯電話及び PDA に対しては，サーバ側で位置姿勢検出などの処理を実行し，処理の分散化を図る．同時にシステム・レイヤとアプリケーション・レイヤを設定し，アプリケーション部分を入れ替え可能な枠組とする．

(3) 共通の情報記述言語

端末の種類に依存しない形で情報を記述するために，本目的専用のデータ記述言語を設ける．これにより，新たな端末の出現にも柔軟に対応することができる．

3 共通フレームワークの構成

3.1 システム・アーキテクチャ

一般に複合現実感システムを実現するためには，以下の 5 種類の機能が必要となる．

(1) 画像取得機能
　複合現実情報の重畳対象となる元画像（現実の光景）を取得するための機能

(2) MR 画像提示機能
　元画像に複合現実情報を重畳して提示する機能

(3) 位置姿勢検出機能
　端末の位置姿勢を検出する機能

(4) MR 画像生成機能
　MR コンテンツから位置姿勢に応じた MR 画像を生成する機能

(5) MR コンテンツ管理機能
　MR コンテンツを管理・更新する機能

これらに加えて，システム全体をサーバとクライアントから構成する上で次の機能が必要となる．

(6) クライアント管理機能
　クライアントの各種情報を管理する機能

端末ごとの能力差を吸収することを目的として，以上の(1)－(6)の機能を分散配置することを検討した．この結果，**図 2** に示すシステム・アーキテクチャを採用することにした．機能(1)及び(2)に関しては必ずクライアント側に配置する必要がある．また，(5)及び(6)に関しては，複数のクライアントでの情報を同期させるためにサーバ側に配置する必要がある．一方，残る(3)及び(4)に関しては，表 1 に示したクライアントの能力差などを考慮して，サーバ側かクライアント側のどちらに配置すべきかを決定する．

本研究では，クライアントをその処理能力に基づいて，「軽量クライアント」(Light-weight Client)，「中量クライアント」(Middle-weight Client)，及び「重量クライアント」(Heavy-weight Client) の 3 つに分けて考えることにした．軽量クライアントでは，先に示した(1)及び(2)の機能のみを搭載し，残りの機能はサーバ側に委ねることとする．中量クライアントでは，(5)及び(6)の機能をサーバ側で実行し，残りの機能はすべてクライアント側で処理することにした．さらに，重量クライアントでは，既存の可搬型複合現実感システムと同レベルのシステムを提供することを考えて，サーバ側と同様の MR コンテンツ管理機能を搭載することとした．これにより，リアルタイムでの複合現実情報の生成と，MR コンテンツの更新が可能となる．

なお，ここで軽量や重量と呼んだのは，クライアント側で処理できる負荷の量によるもので，そのクライアント・モジュールを搭載する可搬型機器の質量によるものではない．

3.2 サーバ側の構成

前述のシステム・アーキテクチャに基づくサーバ側のモジュール構成を，**図 3** のように考えた．アプリケーションに依存しない共通フレームワークを実現するために，モジュール構成を我々が提供するシステム・レイヤとアプリケーション開発者が独自に作成するアプリケーション・レイヤに分割した．アプリケーション独自の処理はすべて図中の

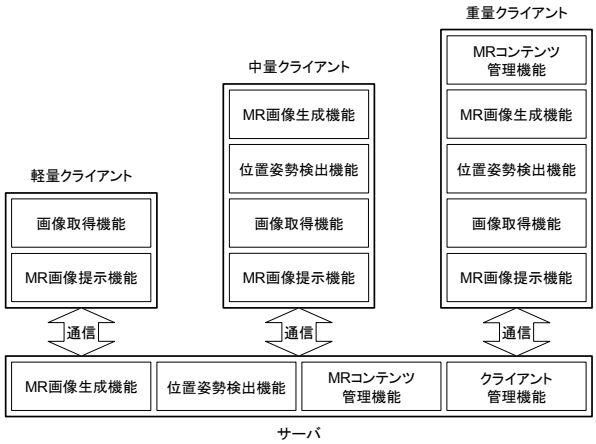


図 2 システム・アーキテクチャ
Fig.2 System Architecture

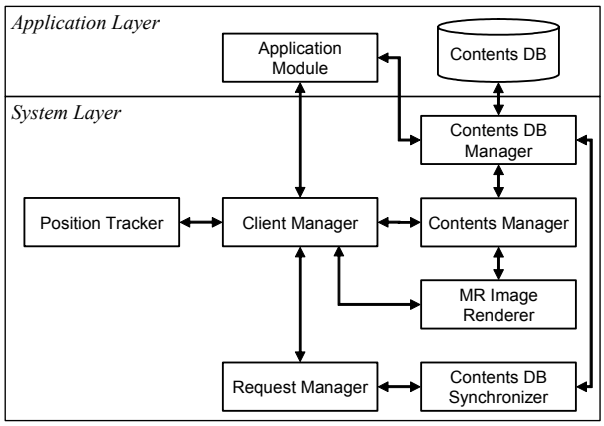


図 3 サーバのモジュール構成
Fig.3 The modular structure of the server

Application Module で示したモジュールで実装し，アプリケーションに関する MR コンテンツは Contents DB で示したデータベースに格納することで, 様々なアプリケーションに適用可能な共通フレームワークを実現する.

各モジュールの機能を以下のように設定した.

(a) Application Module
アプリケーションに特化した処理を実行する. クライアントの位置姿勢及びユーザの操作に応じたコンテキストを Client Manager へ返す. 同時に，コンテキストに応じたコンテンツの変更処理を担う．本モジュールは規定のインタフェースに従って実装され，Client Manager から適切なタイミングで呼び出される.

(b) Contents DB Manager
要求に応じて Contents DB に格納された MR コンテンツの取得・更新を行う.

(c) Client Manager
各クライアントの情報を保持し，クライアントからの要求に応じてサーバ側の他のモジュールに処理を依頼し，結果をクライアントに返す.

(d) Request Manager
サーバ・クライアント間で必要な情報の送受信を行う.

(e) Contents DB Synchronizer
重量クライアントの Contents DB とサーバの Contents DB の同期をとる.

(f) Contents Manager
MR コンテンツを Contents DB Manager を介して取得する.

(g) Position Tracker
位置姿勢を検出する.

(h) MR Image Renderer
位置姿勢情報とコンテキストを受け取り，必要な MR コンテンツを取得した上で, MR 画像を生成する.

3.3 クライアントの構成

上述のサーバ機能に対して，軽量・中量・重量, 各クライアントは図 4〜6 のモジュール構成を取ることで目的を達成することができる．サーバ側で登場した以外のモジュールの機能は以下の通りである.

(a) Image Capturer
カメラデバイスから現実の光景を取得する.

(b) MR Image Presenter
MR 画像を提示する.

(c) Data Flow Controller
各モジュール間のデータの流れを制御する.

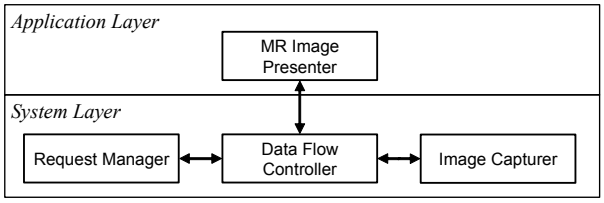


図 4　軽量クライアントのモジュール構成
Fig.4　The modular structure of the Light-weight Client

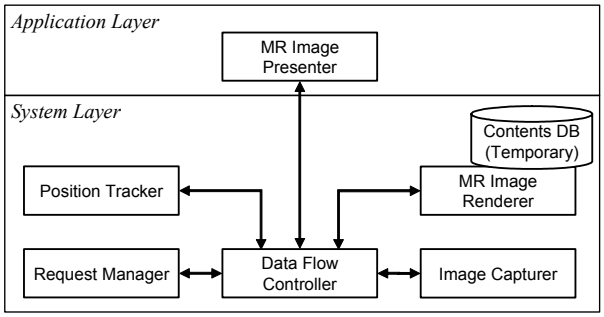


図 5　中量クライアントのモジュール構成
Fig.5　The modular structure of the Middle-weight Client

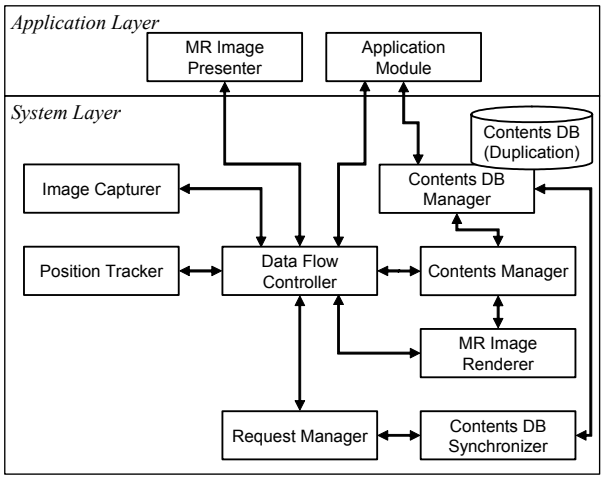


図 6　重量クライアントのモジュール構成
Fig.6　The modular structure of the Heavy-weight Client

軽量クライアントは，複合現実感を実現する上で最低限必要な画像取得機能と MR 画像提示機能のみを持つクライアントであり, 位置姿勢の検出及び MR 画像の生成処理はサーバ側で実行する．これにより処理能力が低い端末においても，複合現実情報の提示を実現できる.

中量クライアントは, 3.1 節で述べた複合現実感を実現する上で必要な 5 種類の機能のうち，MR コンテンツ管理機能を除く 4 つの機能を持ったクライアントである．ローカルに MR コンテンツを保持するデータベースを持つため，自身の周辺にある MR コンテンツをサーバから取得することで，コンテンツに変化がない間はリアルタイムに複合現実情報提示を実行することが可能となる.

重量クライアントでは，既存の自己完結型の複合現実感システムと同等以上の能力をもたせることを

意図し，複合現実感の実現上必要な 5 つの機能をすべて搭載する．ここで，重量クライアント側の MR コンテンツ管理機能では，サーバから MR コンテンツの複製を取得し，複製したコンテンツに基づいて複合現実情報を生成する．その上で，コンテンツに変化が生じた際には，差分情報をサーバ・クライアント間で送受信することで MR コンテンツの同期を図り，サーバ側で更新されている最新の情報を反映することができる．

3.4 処理の流れ

ここでは中量クライアントを例にとって，MR 機能を実現する処理の流れを説明する．中量クライアントでの処理は，以下の 6 ステップで実現される．処理の流れを制御するのが Data Flow Controller の役割である．

(1) Image Capturer によって，現実の光景を撮影・取得する．
(2) Position Tracker が位置姿勢を検出する．
(3) Request Manager が位置姿勢情報をサーバへ送信する．
(4) サーバ側の Client Manager は, Application Module に現在の位置姿勢情報とコンテキストを渡すことにより，必要な MR コンテンツと新たなコンテキストを取得する．その上で，得られた MR コンテンツを Request Manager を介して，クライアントへ送信する．
(5) 受け取った MR コンテンツと位置姿勢情報に基づいて MR Image Renderer が MR 画像を生成する．
(6) 生成した MR 画像を MR Image Presenter が表示する．

軽量クライアントでは，(2)及び(5)の処理がサーバ側で実行されることになる．また，重量クライアントの場合は，すべての処理がクライアント側で実行される．

どのようなアプリケーションの場合でも，上記の処理の流れに変更はない．アプリケーションを開発する際には開発者は，アプリケーション・レイヤに属する Application Module と, そのアプリケーションの MR コンテンツを準備し，必要があればユーザ・インタフェースを変更するために MR Image Presenter 部分に修正をいれるだけでよい．

4 共通の情報記述方式

4.1 送受信が必要な情報

これまで述べたサーバ・クライアント方式のシステムでは，サーバとクライアント間で送受信する情報を如何に記述するかが，本アーキテクチャの汎用性・拡張性を保つ上で重要な鍵となる．本研究では，モバイル端末に依存しない記述が可能である，様々な機種向けに処理系が公開されており移植容易性が向上する，という理由から，メタ言語 XML の仕様に基づく MR コンテンツ記述言語 SKiT-XML を開発した．すなわち，SKiT-XML は，XML の 1 つのインスタンスとなっている．

SKiT-XML の設計方針は以下の通りである．最初に，サーバ・クライアント間で送受信する情報を大きくクライアントからサーバに送信するリクエストと，サーバからクライアントに送信するレスポンスに分ける．その上で，両者に含まれる情報を詳細化し，階層構造を決定する．リクエスト及びレスポンスに含まれる情報を以下に列挙する．

［リクエスト］
・リクエストの種類
・クライアント情報
・アプリケーションが用いる情報
・位置姿勢検出に用いる情報（軽量クライアント）
・位置姿勢の情報（中量クライアント）
・コンテンツ同期情報（重量クライアント）
［レスポンス］
・リクエストに対するステータス
・アプリケーションが用いる情報
・MR 情報（軽量クライアント）
・コンテンツ情報（中量クライアント）
・コンテンツ同期情報（重量クライアント）

4.2 SKiT-XML の構造

前節に列挙した各情報を記述できる SKiT-XML の構造は**図 7** のようになる．リクエストとレスポンスに大きく分けた上で，さらに中身を階層構造化することで処理系の実装が容易な言語構造とした．サーバ・クライアント間の通信では，最初にクライアント側からリクエストの種類やクライアント情報などを格納した SKiT-XML を生成・送信する．サーバ側ではリクエストの種類に応じて，Contents DB の内容などからその都度必要な情報を生成し，要求された情報を SKiT-XML として送り返す．

各要素のうちで，MR コンテンツを格納する ContentList 要素及び ContentDBUpdate 要素に関して

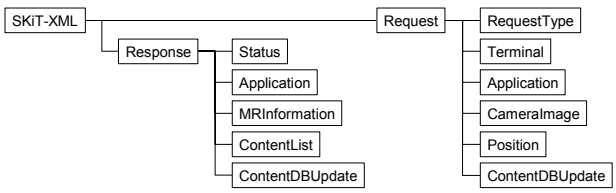


図 7 SKiT-XML の構造
Fig.7 The structure of the SKiT-XML

は，さらに取り扱うコンテンツの種類に応じて，3 次元オブジェクト，2 次元の画像情報，文字情報の 3 種類に分類した．3 次元オブジェクトについては複雑な形状を表現するコンプレックス・オブジェクトと基本形状を表現するプリミティブ・オブジェクトに分けて記述する．また，文字情報に関しても現実の光景に重畳描画するアノテーションと，別領域に単純に文字を表示するメッセージに分けて記述する．

我々の共通フレームワークでは以上の構造を有する SKiT-XML の言語処理系をモジュールとして実装し，サーバ及びクライアントの Request Manager から呼び出すことでサーバ・クライアント間の通信を実現する．

5　床下配線サポートシステム

5.1　床下配線サポートシステムの概要

我々が提案するモバイル複合現実感システム実現のための共通フレームワークの有効性を確認するために，具体的なアプリケーションを考えて，複数の可搬型機器で MR 機能を試作・実現することにした．ここで選んだのは，『床下配線サポートシステム』である．

近年，オフィス環境で利用されているフリーアクセスフロアでは，ケーブルが床下を通るため快適な空間を構築できるが，レイアウトを変更する際には床のタイルを開けなければ配線が確認できないという不便さがある．本システムは，予め位置が分かっているフリーアクセスフロア下の配線を，MR 機能を利用して重畳表示し，配線変更作業の煩雑さを軽減するという課題を取り上げた．

本試作システムでは，まず以下の機能を実現することにした．

●任意の床下の配線状況の MR 表示
●配線全体図の表示

5.2　実験機器と環境

上記の床下配線サポートシステムを，複数種類の可搬型機器上に実装した．用いた機器の種類と実装形態を**表 2** に示す．

サーバは Redhat Linux 9 を OS とするワークステーション Dell Precision 450 に Java Servlet 2.4 により実装した．主な仕様は，CPU が Intel Xeon 2.4GHz，搭載メモリが 1GB，グラフィックスカードが nVIDIA Quadro FX 500 である．Java Servlet の動作環境として Apache 2.0.52 と Tomcat 5.5.4 を利用している．MR 画像のレンダリングには Java 3D 1.3.1 を用いる．

携帯電話を用いたクライアントは，NTT DoCoMo の i アプリ実行環境 DoJa 4.0 プロファイル上に実装した．現実空間の撮影には内蔵カメラを利用し，サーバとの通信には NTT DoCoMo の携帯電話網を用いる．

表 2　使用端末と実装形態
Table 2　Hardware platform and its implementation type

端末分類	使用端末	実装形態
ワークステーション	Dell Precision 450	サーバ
携帯電話	NTT DoCoMo SH901iC	軽量クライアント
PDA	SHARP Zaurus SL-6000W	軽量クライアント
PDA	SHARP Zaurus SL-6000W	中量クライアント
PDA	HP iPAQ h5550	中量クライアント
ウエアラブルPC	Xybernaut MA-V	中量クライアント
ノートPC	Dell Precision M60	中量クライアント

PDA を用いたクライアントは SHARP Zaurus SL-6000W と HP iPAQ h5550 の 2 種類の端末で実現した．前者は Linux を OS とする PDA であり，CPU は Intel XScale PXA255 400MHz, 搭載メモリ 64MB である．追加のカメラデバイスとして SHARP CE-AG06 を利用した．後者は Windows CE を OS とする PDA であり，CPU は Intel XScale PXA255 400MHz，搭載メモリは 128MB である．カメラデバイスには LifeView FlyCAM-CF1.3 を利用した．両者ともに，サーバとの通信には無線 LAN（IEEE 802.11b）を用いている．MR 画像のレンダリングには，Klimt[12] を用いた．

ウエアラブル PC によるクライアントは Xybernaut 製ウエアラブル PC MA-V 上に実装した．主な仕様は，CPU が Intel Celeron 500MHz, 搭載メモリが 256MB，グラフィックスチップが ATI RAGE Mobility-M である．カメラデバイスとして，OrangeMicro 社製 IEEE1394 カメラ iBOT を，HMD には島津製作所のデータグラス 2/A（SVGA）を使用している．サーバとの通信には無線 LAN（IEEE 802.11g）を用いている．プログラムの開発は Windows XP Professional 上で VC++.NET にて行った．

ノート PC によるクライアントには Dell Precision M60 を用いた．主な仕様は，CPU が Intel Pentium M 2.1GHz，搭載メモリが 2GB，グラフィックスチップが nVIDIA Quadro FX Go 1000 である．これにカスタムメイドのヘルメット型の光学シースルーHMD（SVGA）を接続している．カメラデバイスには

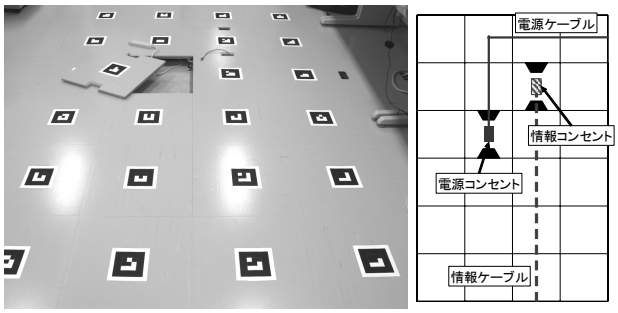


図 8　実験環境と見取り図
Fig.8　The experimental environment and its sketch

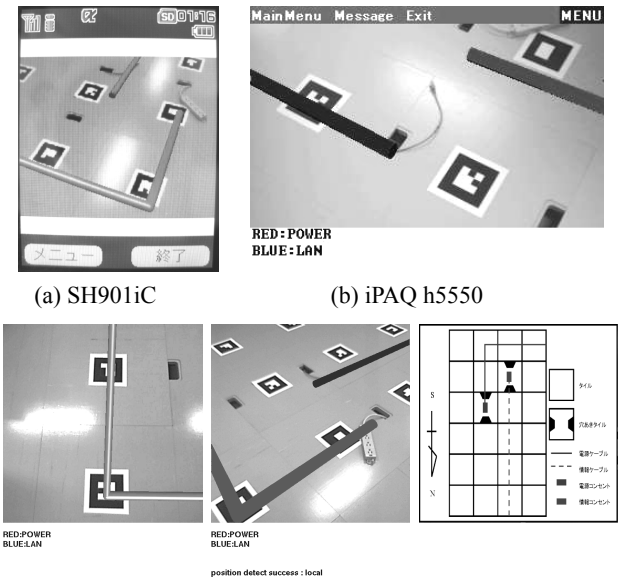
NTSC 信号を出力する小型カメラを用い，ノート PC に IMPERX 製ビデオキャプチャカード VCE-Pro を搭載して画像の取り込みを行っている．サーバとの通信手段, 及び開発環境はウエアラブル PC と同じである．

実験対象は，フリーアクセスフロアのタイル 4×6 枚の範囲である（**図 8**）．タイル 1 枚の大きさは 50cm 四方であり，タイルの下 10cm には，実線で示す電源ケーブルと破線で示す情報ケーブル（LAN）が通っている．サーバと中量クライアントの位置姿勢検出機構として ARToolKit[13,14]を利用した．このため，各タイルの中央に 12cm 四方の正方形マーカを貼付した．ARToolKit を利用したのは，本提案の機能実証のためには，安定した位置決め機構を採用したかったためであり，この種のマーカの利用が好ましいと考えているわけではない．

5.3 実験結果と考察

図 9 に実行結果の一例を示す．複数種類の可搬型機器において，軽量クライアント及び中量クライアントが設計通りに動作することを確認した．軽量クライアントは，カメラでキャプチャした画像をサーバに送り，サーバ側で位置姿勢を計算した上で，その画像に対応した MR 画像をクライアントに送り返し，MR 画像を表示する．その実行時間は，SH901iC で 1 回のカメラ撮影から MR 画像提示まで約 15 秒，SL-6000W では約 3 秒程度かかった. これら軽量クライアントが提供するのは，シャッタを押して得た静止画に対するサービスである．

一方，中量クライアントには ARToolKit の実行モジュールが搭載されているため，位置姿勢検出はこのクライアント内で実行できる．よって，クライアントから現実の光景の画像をサーバに送る必要はなく，検出した位置姿勢情報のみを送り，配線情報を返してもらえばよい．これにより通信の負荷が減少し，擬似動画処理ができる．すなわち，PDA を利用したクライアントであれば, 手にした PDA を様々な方向に向ければ，そのアングルに対応した MR 画像が刻々得られる．また，ウエアラブル PC 及びノート PC によるクライアントであれば, 顔を様々な方向に向ければ，そのアングルに対応した MR 画像が目の前に提示される．10 フレームから計算した，各モジュールのフレーム毎の平均実行時間は**表 3** に示す結果となった．



(a) SH901iC　(b) iPAQ h5550

(c)軽量 SL-6000W　(d)中量 SL-6000W　(e) 全体図表示

図 9　実験結果
Fig.9　The experimental results

続いて，サーバ側のデータベースに含まれる MR コンテンツを更新した際の動作について確認した．ここでは，サーバのデータベース上で配線の位置情報を変更して様子をみた. 軽量クライアントの場合，クライアントからのリクエストのたびに，その時点でデータベースに格納された MR コンテンツに基づいて MR 画像が生成される. したがって, データベースの更新結果は即時反映された．一方，中量クライアントの場合，一定間隔で MR コンテンツの変化をサーバに問い合わせ，変化があった際に MR コンテンツを再度取得する．それぞれの中量クライアントの実装では，更新間隔を 5 秒に設定したため，データベースの更新結果が反映されるまでに, 1 秒から 6 秒程度の遅延が生じた．この遅延は，更新間隔に起因する最大 5 秒の時間に，更新された MR コンテンツをダウンロードするのに要する時間を加えたものであり，データベースの更新タイミングと各端末の通信速度に影響される．

こうしたクライアントを複数同時に用いても，それぞれの機器は矛盾なく稼動している．これらの結果より，我々が提案する共通フレームワークに基づいて，様々なモバイル MR システムが実現可能であることが実証できた．また，実現された MR システムが使用機器に非依存で，システム全体で同一のコンテンツ情報を共有できることも確かめられた．

次に仮想物体の複雑さと各端末の能力の関係を明らかにするために，床下配線サポートシステムとは別に仮想物体を表示する実験を実施した. 実験では，

表 3　中量クライアントの実行時間（単位：ms）
Table 3　Execution times of the Middle-weight Clients (ms)

端末	画像取得	位置姿勢検出	MR情報生成	MR情報提示
SL-6000W	249	971	206	62
h5550	233	175	236	18
MA-V	24	35	76	4
Precision M60	30	9	16	2

表 4　クライアント毎の仮想物体数とフレームレート
Table 4　Frame rates (fps) of each client corresponding to the number of virtual objects.

仮想物体数	1	5	10	20	50	100	200	500
SH901iC	0.077	0.075	0.081	0.074	0.072	0.071	0.064	0.057
SL-6000W(軽量)	0.314	0.309	0.288	0.288	0.280	0.257	0.225	0.203
SL-6000W(中量)	0.664	0.641	0.773	0.676	0.508	0.404	0.222	0.101
h5550	2.139	1.985	1.774	1.498	1.045	0.694	0.414	0.207
MA-V	5.763	4.869	4.661	3.966	2.842	1.930	1.200	0.531
Precision M60	14.92	14.58	14.39	13.09	10.96	8.684	6.186	3.329

表示する仮想物体として，底面の分割数を 16 個とした円錐を使用し，表示する仮想物体の個数を変化させ，クライアント毎のフレームレートを計測した．計測結果を**表 4** に示す．実験結果からわかるように，どのタイプのクライアントでもある程度は仮想物体の個数の影響を受ける．これは，サーバ側で実行されるデータベースへのアクセスが，仮想物体の個数が増えるにつれて増加するためである．軽量クライアントと中量クライアントを比較すると，後者が仮想物体の個数の影響をより大きく受けていることがわかる．この理由としては，前者は仮想物体のレンダリング処理がすべてサーバ側で実行されており，高性能なグラフィックスカードによるレンダリングでは処理時間の差があまり発生しない一方，中量クライアントでは，処理時間がグラフィックスチップの性能に大きく依存しているためと考えられる．また中量クライアントにおいて，PDA（h5550）とノート PC を比較すると，PDA は CPU を使用して仮想物体をレンダリングするため，仮想物体の個数が増加するにつれて処理時間が長くなっているが，ノート PC は高性能なグラフィックスチップを搭載しているため，処理時間の変化が比較的少ない．このことから，ある程度以上に複雑な仮想物体を表示するアプリケーションでは，PDA を端末として採用する場合，中量クライアントによる実装を用いるより軽量クライアントによる実装を用いるほうが，性能が向上する可能性があることがわかる．

6　むすび

本論文では，複数種類の可搬型機器に対応可能な複合現実感システムのための共通フレームワークを提案し，その実現方式を考え，かつ実際に複数の可搬型機器に実装して，その有用性を確認した．可搬型機器は，その処理性能に応じて 3 種類に分類した上で，各クライアントに対応したシステムのモジュール構成を設計し，ソフトウェアとして実現している．実際のところは，この設計・実装は一直線に達成したのではなく，具体的応用課題に取り組みながら，基本設計を見直し，何度も大きな修正を加えている．

アプリケーション事例として床下配線サポートシステムを，位置姿勢決定に ARToolKit を選んだのは，あくまでも機能検証を第一義と考え，扱いやすい対象と安定した能力を発揮するツールを重視したためである．

本フレームワークの目指すところからすれば，屋外での利用に向かうのが本筋である．しかしながら，そのためには位置姿勢検出機構に何を採用するかが大きな問題となってくる．これは，フレームワークの考え方とは別の問題で，具体的な応用を考える上では重要な選択となる．利用したいセンサがあっても，可搬型機器に接続できるとは限らない．システム全体をバランスよくデザインする必要があるだろう．

現時点ではまだ万能の有力な解は見当たらないが，こうした屋外利用の位置姿勢検出方式やセンシング・デバイスの研究は活発化しているので，やがて実用的な方式が見出されると考えられる．それゆえに，センサやアプリケーションには非依存で，様々なプラットフォームに共通な枠組を提唱する我々の提案が生きてくるものと思われる．

謝辞

本研究の開発・実装作業の一部に携わった木田智子氏，佐々木亮一氏，吉田友祐氏，及び実験に利用した HMD を貸与していただいたキヤノン株式会社に感謝いたします．また，本研究は科学研究費補助金（基盤研究(B) No.17300039）及びハイテク・リサーチ・センター整備事業の一部の補助を受けて行われました．

参考文献

[1] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and T. Webster, A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, Proc. 1st IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.74-81, 1997.

[2] 佐藤, 穴吹, 山本, 田村: 屋外装着型複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法, 日本ヴァーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.129-137, 2002.

[3] 興梠, 蔵田, 坂上: ウェアラブル拡張現実システムのための利用者のビューベースと位置・方位取得手法, 日本ヴァーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.139-149, 2002.

[4] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: A wearable augmented reality system using positioning infrastructures and a pedometer, Proc. IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.110-117, 2003.

[5] S. Güven, and S. Feiner: Authoring 3D hypermedia for wearable augmented and virtual reality, Proc. of 7th IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.118-126, 2003.

[6] 天目, 神原, 横矢: 「平城宮跡ナビ」観光案内のためのウェアラブル拡張現実感システム, 画像の認識・理解

シンポジウム(MIRU2004)講演論文集，Vol. I，pp. 121-126, July 2004.
[7] W. Piekarski, R. Smith, and B. H. Thomas, Designing backpacks for high fidelity mobile outdoor augmented reality, Proc. of 3rd IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp.280-281, 2004.
[8] 浅野，藤井，石井，赤塚: 視野一致型情報呈示システムの開発，日本ヴァーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, pp.423-426, 2002.
[9] J. Fruend, C. Geiger, M. Grafe, and B. Kleinjohann: The augmented reality personal digital assistant, Proc. of 2nd Int. Symp. on Mixed Reality, pp.145-146, 2001.
[10] D.Wagner, and D.Schmalstieg: First steps towards handheld augmented reality, Proc. of 7th IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.127-135, 2003.
[11] M. Möhring, C. Lessig, and O. Bimber, Video see-through AR on consumer cell-phones, Proc. of 3rd IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp.252-253, 2004.
[12] Klimt - the Open Source 3D Graphics Library for Mobile Devices, http://studierstube.org/klimt/
[13] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana, Virtual object manipulation on a table-top AR environment, Proc. of Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR2000), pp.111-119, 2000.
[14] ARToolKit, http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

(2005 年 4 月 16 日受付)

［著者紹介］

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助教授．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．電子情報通信学会，情報処理学会，日本ロボット学会，IEEE 各会員．2004 年日本 VR 学会学術奨励賞受賞．

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修士了．同大学助手を経て，立命館大学理工学部助教授．現在，同 情報理工学部メディア情報学科助教授．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．2001 年より 2002 年まで Mayo Clinic にて Special Project Associate．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．博士（工学）．

橋本 崇



2005 年 3 月立命館大学理工学部卒業. 現在，同大学大学院理工学研究科博士前期課程在学中．複合現実感の研究に従事．電子情報通信学会会員.

古野 光紀



2005 年 3 月立命館大学理工学部卒業. 現在，同大学大学院理工学研究科博士前期課程在学中．複合現実感の研究に従事．電子情報通信学会会員.

平岡 貴志 （学生会員）



2005 年 3 月立命館大学理工学部卒業. 現在，同大学大学院理工学研究科博士前期課程在学中．複合現実感の研究に従事.

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．IEEE, ACM，電子情報通信学会，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.