

モバイル複合現実感による災害時の設備復旧支援

Supporting Recovery Operations of Damaged Facilities Using Mobile Mixed Reality

岩倉寛幸¹・松中正法¹・柴田史久¹・木村朝子²・田村秀行¹

Hiroyuki Iwakura, Masahiro Matsunaka, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, Hideyuki Tamura

¹立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate School of Science and Engineering

²立命館大学 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

The Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

We are working the application of mixed reality technology to disaster prevention. In this paper, we implemented two systems: “Inspection Support System for Switchboard” and “Recovery Support System of Network Server”. We realized the effective presentation of operating information by applying mixed reality to these applications. In addition, this paper describes a view management method for enhancing the recognition of annotations.

Key Words : *Mixed Reality, Disaster Prevention, View Management, Mobile Computing*

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) は、現実世界と仮想世界を視覚的に実時間で融合・表示する技術で、人工現実感 (Virtual Reality; VR) の発展形である¹⁾。目の前の現実の光景を借景として、仮想物体や仮想現象を重畳表示することができるので、実世界に立脚した効果的かつ柔軟性の高い情報提示が可能である。MRシステムは、既に医療・福祉、建築・都市計画、工業製品の設計・組立、芸術・教育・娯楽等の分野に応用され、新しいヒューマンインタフェース技術、魅力的な情報提示技術として注目を集めている²⁾³⁾。

数年前から我々は、この最新先端技術を防災研究・防災対策に活用する研究開発を推進している。例えば、想定災害のシミュレーション結果や災害の歴史を可視化し、その結果をジオラマ上に重ねて動的なハザードマップとして提示する研究、地下構造や地震による揺れを効果的に可視化する研究、大災害発生時にモバイル情報機器に避難経路をMR表示して誘導する研究などである。本稿では、こうした一連の研究成果を概観した後、現在取り組んでいる災害時の設備復旧支援システムに関して述べる。

本研究は、大災害発生後にライフライン等の重要設備の点検・復旧作業を専門の作業員が実行できない場合に、携帯情報端末に適切な情報を重畳提示することにより、非専門家の一般人が代行できるよう作業支援することを目的としている。様々な点検・復旧作業が考えられるが、まず停電時の分電盤点検、ネットワーク・サーバ・システムの復旧支援を事例として実装したので、その結果を報告する。

2. MR技術の防災研究・防災分野への応用：これまでの研究成果

これまで我々が推進してきた「防災研究・防災対策へのMR技術の応用」は、災害情報を提示する場面として、災害の発生前・発生時・発生後の3つの場面に大別して考えることができる。

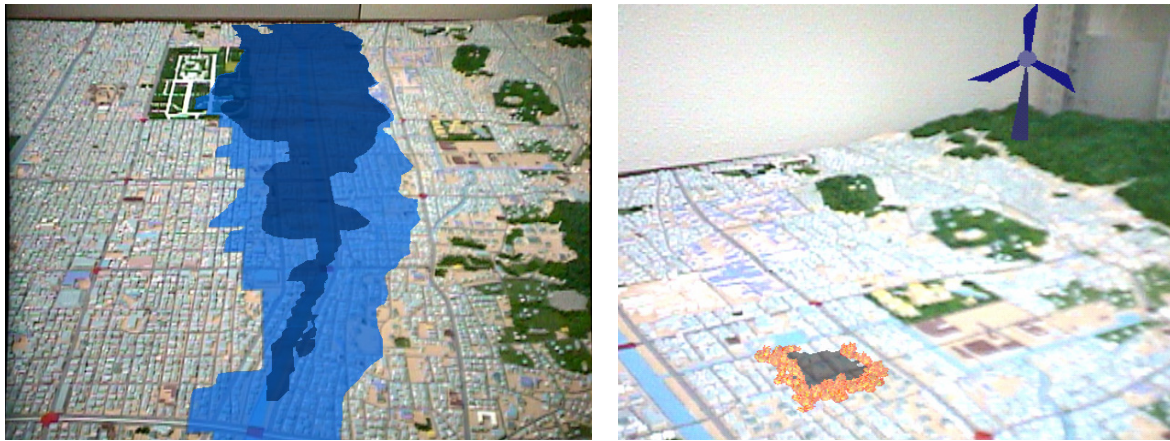


図2.1 ジオラマ上へのMR表示（左：洪水シミュレーション 右：火災シミュレーション）

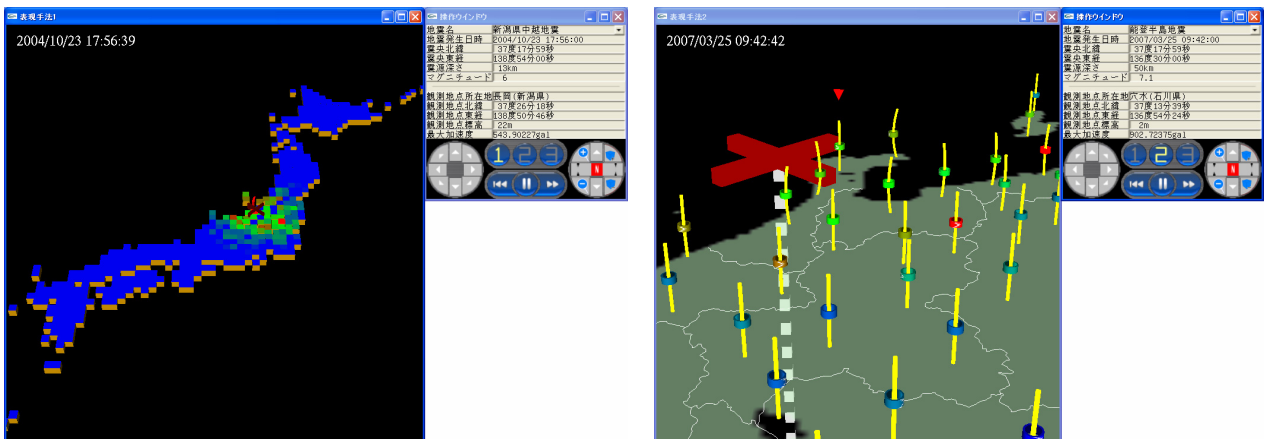


図2.2 地震の揺れの可視化の例

(1) 災害発生前の効果的情報提示

災害発生前の情報提示とは、ハザードマップ等によって、想定災害の情報を地域住民に周知させることによって、防災意識の向上を促すことを目的とするものである。我々の研究グループでは、対象地域のジオラマ（地形縮小模型）に災害シミュレーション結果を重畳するジオラマMRシステム⁴⁾（図2.1）と、地震の揺れを可視化して効果的に提示するシステム（図2.2）を実現した。

前者では、洪水や火災のシミュレーション結果のCGデータをジオラマ上に重畳して提示することにより、今までにない効果的な想定災害の可視化を実現した。洪水の可視化では、かつてない大雨が上流に振った場合の、鴨川が氾濫する様子をシミュレーションし、その結果をジオラマ上に重畳して可視化している。洪水が広がっていく様子を色を変えたり、時間軸を変化させたり、視点を変えて好きな角度から観察することができる。また、鴨川上流からの流量を変えた場合の、洪水の広がりの違いを比較できる機能も実装した。

火災の可視化では、大規模な地震によって火災が発生した場合を想定し、その延焼の範囲を観察することができる。可視化方法の検討だけではなく、延焼範囲や延焼の仕方をコンピュータによって予測することも研究の対象としている。風力や風向きを入力することによって、様々に変化する延焼の様子を観察できるようにした⁵⁾。これらは、これまでのハザードマップが静的で限られた情報しか提示できなかったのに対して、動的かつ立体的な情報を体験者の要望に応じて提示できるという特長がある。

地震の揺れ可視化システムでは、複数の可視化手法を開発し、ユーザの目的や好みに応じて使い分けられるようにした。地震の可視化に関しては、もともと天気図のような伝統的な表記法が存在しないため、「揺れ」という強度が時間変化する情報を3D-CGを用いて視覚化し、アニメーション表現によって時系列に沿った空間的な揺れの変化を表現するようにした⁶⁾。

本システムでは地震による揺れのデータとして、防災科学研究所が運営するK-NETと呼ばれる地震観測網より観測データを入手して、地震の可視化に利用している。入手したデータに変換、補正を行うことにより、日本各地における地表面の三次元移動や、揺れの強さの可視化を実現している。

(2) 災害発生時の最新情報提示

災害発生時の情報提示は、被災時の安全な避難経路等を提示することにより、2次災害の発生を防ぐことを目的とするものである。これまでに、携帯電話を用いた避難経路提示システム（図2.3）を試作した。

本システムでは、携帯電話に付随のカメラで目の前の光景を撮影し、災害情報センター等からインターネット経由で得られる最新の避難誘導情報を重畳描画する

ことで、安全な避難経路を矢印で提示することができる。また、危険経路等を直観的に提示するために、ピクトグラム（図2.3に見える通行禁止や注意の標識）を用いている。

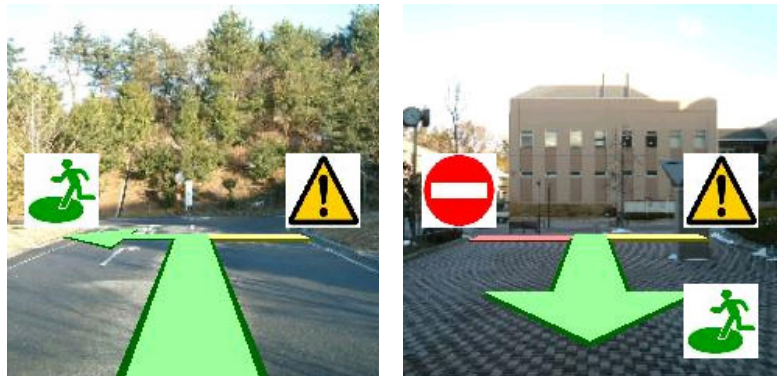


図2.3 携帯電話を用いた避難経路提示システム

(3) 災害発生後の適切な情報提示

災害発生後の情報提示としては、災害によってもたらされた被害の点検・復旧作業を支援することを目的としている。本稿の以下の章では、これまでに得られた研究成果に関して報告する。

3. モバイルMRシステムを用いた災害復旧支援

(1) 非常時の点検・復旧作業支援の意義

大規模な地震等の災害で電気・ガス・水道・電話・インターネット等のライフラインが被害を受けると日常業務にも社会生活にも大変な不便が生じることから、災害後に綿密な点検を行い、速やかな復旧作業を行うことが急務である。こうした点検・復旧作業は、本来、定期点検・保守作業を行っている専門家が実施するのが最善であるが、大災害によって交通網が寸断されてしまい、専門家が被災地に赴くことが出来ない場合が起こりうる。また、被害が広範囲に及ぶことにより、複数箇所での復旧を行なう必要が生じた場合に専門家の数が不足してしまうケースも考えられる。このような場合に、現場に居合わせた非専門家の一般人が早急に点検・復旧作業を行うことができれば、定業作業への復帰も早まり、人々を安心させることもできる。

非専門家が作業を行なう場合、作業ミスによって状況が悪化してしまうことや、点検者自身に危険が及ぶことは絶対に避けねばならない。また、当該設備の破損状況に応じて、次なる作業内容を点検者自身が判断しなければならない場合も考えられる。そこで、作業ミスを防ぎ、適正な作業内容を教示できるシステムを提供できることが望まれる。従来、作業マニュアル等がその役割を担ってきたが、それを逐一読み解いていたのでは時間がかかる上に、記載されている作業対象と実際に目の前にある対象物の対応付けが、非専門家には困難であり、誤操作を招きやすい。

こうした問題を解決するために、我々は点検・復旧の対象の光景に、作業を支援する付加的な情報を視覚的に重畳する方法を採用する。このMR表示により、作業対象となる部位と作業内容を的確に提示できる。ここで、作業支援情報を提示する機器として、モバイル情報端末(PDA)を用いることで、場所を選ばず様々な点検箇所を順次巡ることができる。この種の電子機器は、片手で保持できる利便性がある上に、省電力型が多く、予め十分充電されていれば長時間の使用に耐え得る。

非常時にいかに有効な作業できるかは、日頃から、考え得る限りの状況に応じた点検・復旧作業の内容を吟味し、予めそれをソフトウェアとして準備しているかどうかにかかっている。

(2) モバイルMRシステムによる運用

我々は、既に様々な可搬型情報機器（携帯電話、携帯情報端末、小型ノートPC等）にMR機能をもたせる共通アーキテクチャやコンテンツ記述言語を提案し、実際に多数の機器に対してその基幹ソフトウェアを実装し所望の目的通りに稼働させることを行ってきた⁷⁾。そこでは、重畳表示すべきコンテンツ情報を一元管理するため、サーバ・クライアント方式を用いている。今回の目的には、注釈情報提示のリアルタイム性と機器の性能を考慮して、携帯情報端末を用いる。基本となるモバイルMRシステムの処理の流れを図3.1に示す。図中の番号は以下の各処理に対応している。

1. クライアントで画像を取得
2. 取得画像を用いてクライアント自身の位置姿勢を検出
3. 検出した位置姿勢情報をサーバに送信
4. サーバは受信した位置姿勢情報をもとに必要なMRコンテンツを決定
5. 決定したMRコンテンツをクライアントに送信
6. クライアントは受信したMRコンテンツおよび検出済みの位置姿勢情報をもとに、重畳すべき仮想データを生成
7. 取得済み画像と生成した仮想データを重畳して提示

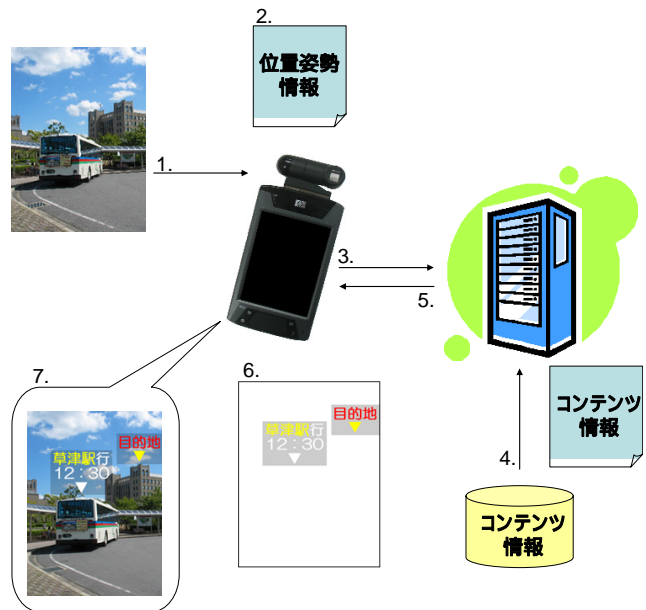


図3.1 モバイルMRシステムの処理手順

4 . View Management機能

(1) View Managementの必要性と課題

図2.1や図2.3に示したMR情報提示は、現実の光景を捕らえた映像を背景として予め用意されたCG映像をその幾何学的な位置関係のみを考慮して重ね合わせたものである。ここで、背景映像が遮蔽されてしまうことは全く問題としていない。ところが、本研究が対象とするような設備機器に点検作業の注釈情報を重畳描画する場合は、点検対象、操作対象が隠れ過ぎないように注意する必要がある。即ち、前面に描画するCG映像の要素の大きさやレイアウトを（PDAが有するカメラの）視点位置に応じて、適応的に決定する必要がある。これをView Managment 問題という。

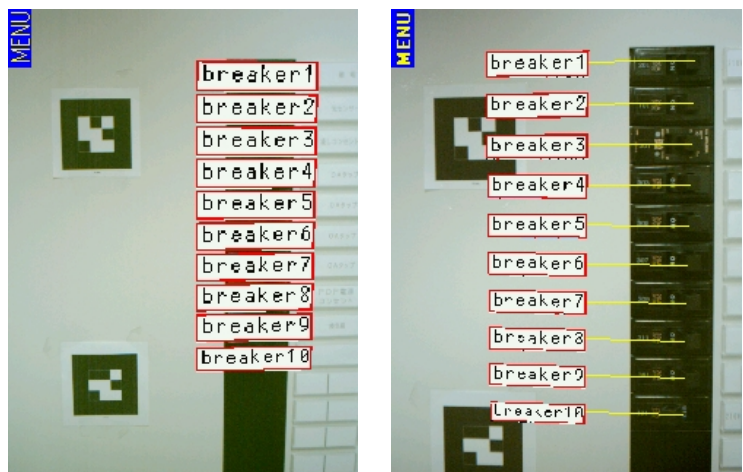


図4.1 View Management 機能（左：未実装時、右：実装時）

例えば、本論文で実装する分電盤点検アプリケーションにおいて、各スイッチの名称をCGの注釈情報として提示する際、何の考慮もなしにただ配置しただけでは、作業対象となる実物体（スイッチ等）を覆い隠してしまい、むしろ復旧作業の妨げとなってしまうことが起こりうる。そこで、あらかじめ作業対象となる実物体の場所に重畳不可領域を設定しておき、その領域には注釈情報を重畳しないように制限することで、作業対象となる実物体をCGで隠してしまう事態を防ぐことができる（図4.1）。

これまで、View Managementは、地理情報システムにおける文字表示やPCのデスクトップ画面上でのウィンドウ配置に関して研究されて来たが、MR研究分野においては比較的新しい研究課題である。MR分野ではリアルタイムに提示場所を決定しなければならないこと、提示する対象の環境そのものの変化や視点変化による景観の変化など提示する場所が変化すること、3次元空間という対象に2次元の情報を提示する等の問題点が数多く存在するため、より難しい研究課題である⁸⁻¹¹⁾。

一般的な注釈情報のようなラベル配置問題はNP困難な問題であるが、探索箇所を制限することにより計算量を抑えることや、移動すべき注釈情報の順序や移動させる領域などの配置ルールを定義することにより、実時間処理を達成できる。

(2) View Management機能の実装

本研究では、View Management機能として、以下の5つの機能を実現することにした。

a) 実物体の隠蔽

本アプリケーションでは、現実空間を重畳可能領域と重畳不可領域に分類して考える。もし注釈情報が重畳不可領域に存在する場合は、注釈情報の元の位置を中心とした同心円上で重畳可能領域の探索を行い、注釈情報の配置場所を決定する(図4.2)。

b) 仮想情報同士の隠蔽

仮想情報同士がお互いに重なる場合、移動させてもよい仮想情報に関してはユーザの視認性向上のために移動させ、仮想情報同士が重ならないように描画する(図4.3)。

c) 注釈情報の移動順序

仮想情報同士が重なった際、移動させる注釈情報を選択するための指標として、各注釈情報に移動優先度の情報を付加する(図4.4)。

d) 注釈情報の大きさ

アプリケーション毎に注釈情報を読むであろう位置を想定し、距離毎に数段階に分けて文字や画像情報の大きさを提示することにより、ユーザが文字を読めない状況を防ぐ機能を実装する(図4.5)。

e) 提示する注釈情報の色

コンテンツの色と背景色が似たような色の場合コンテンツを認識しづらいため、撮像された現実空間の画像を基に背景の色相を判断し、その色相の補色となるように提示するコンテンツの色情報を変化させる(図4.6)。

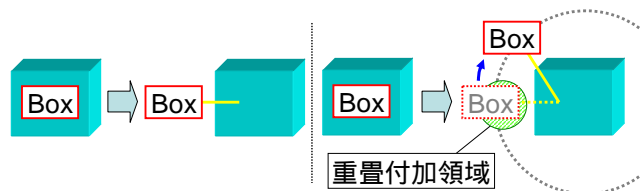


図 4.2 実物体の隠蔽

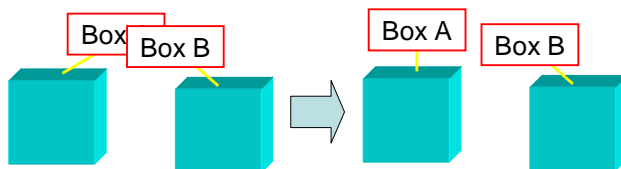


図 4.3 仮想情報同士の隠蔽

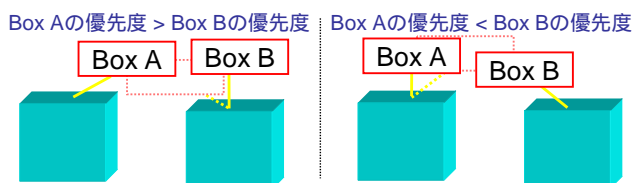


図 4.4 注釈情報の移動順序

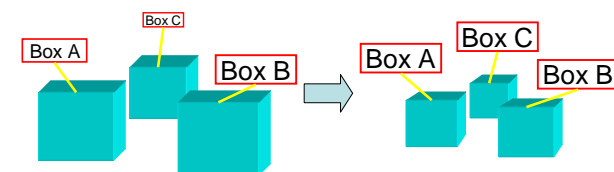


図 4.5 注釈情報の大きさ

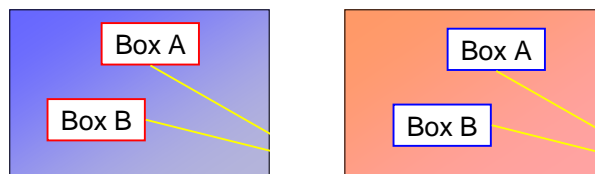


図 4.6 提示する注釈情報の色

5. 災害時復旧支援アプリケーション

本研究では、災害時復旧支援アプリケーションの事例として、2つの課題を選択した。1つは建物内に設置されている分電盤の点検作業を支援し、もう1つは災害後のネットワーク・サーバの起動および点検作業を支援するアプリケーションである。こうした実問題を解決しようとする中で、様々な災害時設備復旧作業の支援に共通な課題を見つけ出すことができる。

具体的には、最初の開発課題として、ユーザが行なう作業内容を文字で提示し、作業時に取り扱うスイッチ等の機器の名称を注釈情報として提示することに取り組んだ。ここで、「分電盤点検支援」では背景が半透明である文字情報が描かれた画像を最前面に重畳することとし、「サーバ復旧支援」は注釈情報を3D-CGで機器の付近に重畳することとした。

(1) 分電盤点検アプリケーション

災害発生後には各地で様々な異常・障害が発生すると想定される。その1つとして、建物内で停電が発生した場合における分電盤での点検および作業支援を取り上げる。現場での様々な状況を予め想定しておき、それぞれに応じた操作支援情報を準備しておく。そして、ユーザの入力に応じて必要な作業内容をMR提示することがこのアプリケーションの特長である。提示する画像例および作業風景を図5.1に示す。

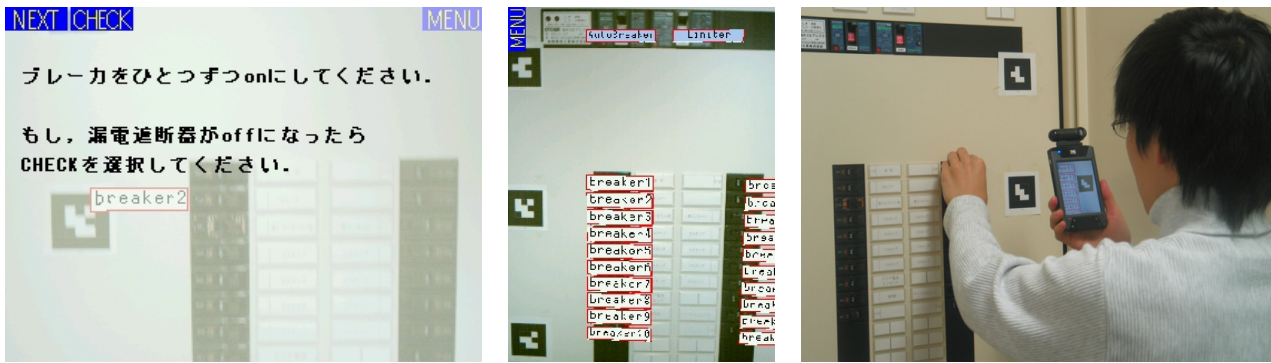


図 5.1 左, 中央: 画像提示例 右: 作業風景

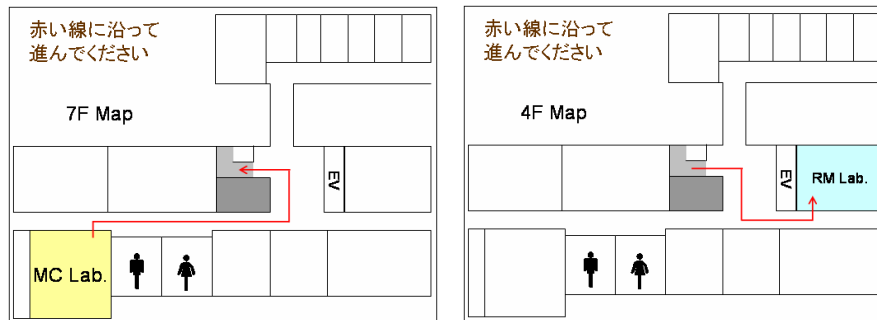


図 5.2 点検箇所への誘導のために提示する画像

本アプリケーションを起動すると、初めに周辺の状況確認を行い、停電の原因を特定する。災害発生後に室内で停電が発生した場合、いくつかの原因が考えられるためである。ユーザに対して一問一答形式で質問して周辺の状況を把握し、推定された原因に応じた解決策を提示する。

周辺の状況確認の結果、室内で漏電の恐れがあると判断した場合、設置されている分電盤で漏電検査を行なう。この検査を実行することで、分電盤に複数設置されたブレーカの中から漏電の原因となっているブレーカを見つけ出す。その際、作業内容と操作箇所の情報が MR 提示される。

分電盤での作業が完了すれば、次の点検箇所までの誘導を行なう。誘導はルート情報が含まれる地図を提示することで実現する。本アプリケーションでは、本学びわこくさつキャンパス内のクリエイションコア 7 階にあるモバイルコンピューティング研究室から、同 4 階にあるリアリティメディア研究室までの誘導を行なうことにする。誘導時に提示するマップを図 5.2 に示す。

(2) サーバ復旧支援アプリケーション

本アプリケーションは、災害時に停電が発生したと想定し、その後にネットワーク・サーバ (DNS サーバ、メールサーバ、Web サーバ等が含まれる) での点検・復旧作業を支援する。本アプリケーションは停電が復旧した後、サーバを起動する際の作業手順や注意点、また起動後の簡単な点検作業について支援する。作業対象としたサーバ、およびその作業風景を図 5.3 に示す。

本アプリケーションの特長は、支援する作業項目を複数用意しておき、サーバでの作業におけるユーザの知識レベルに応じた作業支援が可能な点である。例えば、サーバでの作業が不慣れなユーザに対しては、サーバを起動する際の作業手順や注意点までの支援を行ない、サーバに対する知識を持っているユーザには、起動後の点検作業まで支援を行なう。

本アプリケーションを起動すると図 5.4 に示す画像が提示される。画面には設置されているサーバの名称が注釈情報として重畳されている。画面右上の“MENU”を選択することで図 5.5 に示すメニュー画面が表示され、各機能を実行することができる。

本アプリケーションではまず UPS チェックを行う。UPS とは、停電などの電源トラブルが発生した場合に、内部バッテリーを電源としてコンピュータや周辺機器に電源を供給する装置である。UPS の充電量の確認を行い、サーバを起動するべきか UPS の充電を待つべきかを判断する。UPS チェックを行い、充電量に問題がないと判断されれば、各サーバの起動を行う。全てのサーバの起動を終えれば、各サーバのログファイルを参照し、各サーバが正常に稼働しているかどうかの確認を行う。

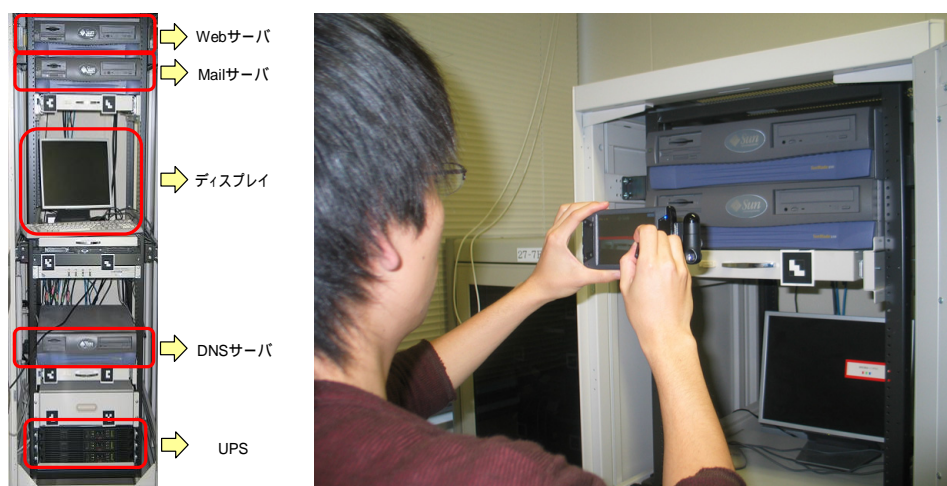


図 5.3 左：作業対象であるサーバ 右：作業風景

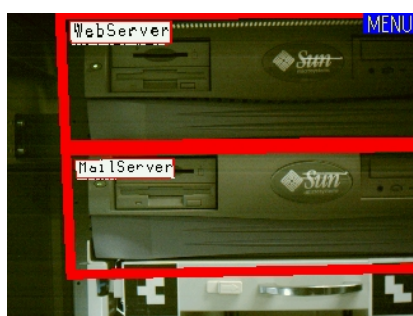


図 5.4 サーバ復旧支援アプリケーション起動時の提示画像

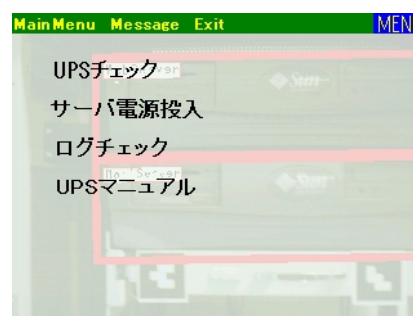
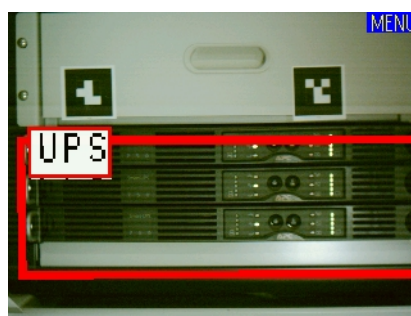


図 5.5 メニュー画面

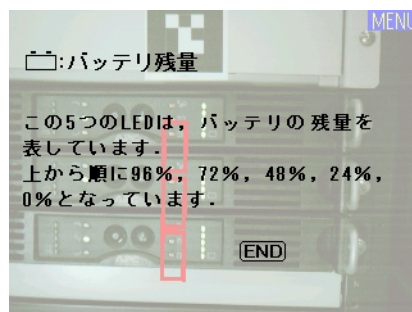


図5.6 UPSマニュアル機能における提示画像例

また，以上のような復旧作業支援を行うための機能とは別に，UPS の各 LED の意味を解説するための「UPS マニュアル機能」も実装した（図 5.6）．従来のマニュアルでは，紙面上において文書や図を用いて解説しているが，非専門家にとっては実際の機器との対応づけが困難である．しかし本機能では実際の機器が映し出された画面上で各 LED の強調表示や解説を行うことにより，非専門家でも理解しやすいマニュアル表示を実現している．

(3) 考察

本研究では，モバイルMRシステムを用いた災害時復旧支援システムとして，2種類のアプリケーションを選択し，実際に実対象に対して適切に稼働する試作システムを開発した．文字情報による作業内容の提示に加え，3D-CGによる注釈情報を現実世界に重畳することで操作対象を明示した．これによって，従来の文書形式でのマニュアルよりも直観的な情報提示，ひいては非専門家にとっても明確な作業支援が可能であることを確認した．

6. むすび

本稿では、これまで我々が行ってきた「防災分野への複合現実感技術の応用」に関して概観し、次いで新しく研究を開始した「災害時復旧支援システム」に関して述べた。この研究は、大災害の発生後に素早い復旧が望まれる設備・機材の点検・復旧作業に可搬移動型の MR システムを活用するものである。本研究で試作開発したアプリケーションは、分電盤点検アプリケーションとサーバ復旧支援アプリケーションの 2 種類である。モバイル情報機器上に作業指示の注釈を MR 提示する上で重要な課題である View Management 問題とその解決策を論じた。

研究の手始めとして、問題の本質を検討しやすいよう、比較的身近で専門知識をさほど必要としない対象を選択したが、本研究で達成した機能は、もっと危険が伴う対象（例えば、変電設備、ボイラー等々）にも同様に適用でき、地表面からは見えない地下や床下の埋設設備の点検にも拡張して利用することができる。また、本稿では、文化遺産やかけがえのない財産の保全に関する議論はしなかったが、そうした一般設備よりも一層の配慮が必要な場所にこそ、大災害時に 2 次災害が起こる前に点検・復旧すべき作業は多々あると考えられる。

いずれの場合も、様々なレベルの災害に対して、その発生時に実行すべき作業内容を日頃から十分吟味しておくことが肝要で、その準備がソフトウェア蓄積として活かすことができる。

謝辞：当研究室学生、佐々木亮一・林佑司両君には、本研究の一部を担当してもらった。本学総合理工学研究機構特別研究員 天目隆平博士からは View Management に関して助言を頂いた。その協力に対して、ここに感謝の意を表する。本研究は（旧）21 世紀 COE プログラム「文化遺産を核とした歴史都市の防災研究拠点」及びハイテク・リサーチ・センター整備事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」の支援による。

参考文献

- 1) 田村秀行・大田友一：複合現実感，映像情報メディア学会誌，Vol. 52, No. 3, pp. 266 - 272, 1997.
- 2) H. Tamura, H. Yamamoto, and A. Katayama: Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds, IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 21, No. 6, pp. 64 - 70, 2001.
- 3) 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。
- 4) 坂井陸一，横江祥吾，木村朝子，柴田史久，田村秀行：防災研究・防災対策のための複合現実型情報提示-ジオラマを利用した対話型動的3Dハザードマップ，電子情報通信学会技術報告，Vol. 105, No. 534, PRMU 2005-183/HIP 2005-153, pp. 201 - 206 (2006.1)
- 5) 坂井陸一，濱田純也，木村朝子，柴田史久，田村秀行：複合現実型情報提示とその防災研究への応用(3)～地形模型を用いた災害情報提示の拡張，電子情報通信学会 2007 年総合大会，A-16-10, p.323, 2007
- 6) 岩倉寛幸，木村朝子，柴田史久，田村秀行：地震による揺れの効果的可視化方法，電子情報通信学会 2007 年総合大会，A-16-14, p.327, 2007
- 7) 柴田史久，木村朝子，橋本崇，古野光紀，平岡貴志，田村秀行：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，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.10, No.3, pp.323-332, 2005。
- 8) Ronald Azuma, Chris Furmanski: Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management, Proc. IEEE and ACM Int Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003), pp.66-75, 2003.
- 9) Blaine Bell, Steven Feiner, Tobias Hollerer: View Management for Virtual and Augmented Reality, Proc. Symp. on User Interface Software and Technology (UIST 2001), pp.101-110, 2001.
- 10) Alex Leykin, Mihran Tuceryan: Automatic determination of text readability over textured backgrounds for augmented reality systems, Proc. IEEE and ACM Int Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), pp.224-230, 2004.
- 11) Ryuhei TENMOKU, Masayuki KANBARA, Naokazu YOKOYA: Intuitive Annotation of User-Viewed Objects for Wearable AR Systems, Proc. IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp.200-201, 2005.