

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32508  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2013～2015  
課題番号：25350261  
研究課題名(和文) 防災意志決定訓練のための臨場感提示環境とコンセプトマップによるシナリオ作成支援

研究課題名(英文) Immersive presentation environment for decision-making training in disaster prevention and scenario preparation support by concept map

研究代表者  
近藤 喜美夫 (Kondo, Kimio)

放送大学・教養学部・教授

研究者番号：40249925

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)： 防災訓練の訓練参加者が災害状況を具体的にイメージできるようにするための基盤として、臨場感を伴った仮想空間を提示する没入型ディスプレイシステムを構築した。提示映像が臨場感に及ぼす影響を評価した結果、広い視野があれば、立体視しなくても臨場感の創出が可能であることが示唆された。また、災害時に有用な通信回線として衛星回線を想定し、回線帯域の制限及び伝送遅延がある条件で多数画像のサムネイル表示から所望画像を効率的に抽出するための適切なサイズの存在が明らかになった。

研究成果の概要(英文)： An immersive display system that presents a virtual environment with immersion was constructed as infrastructure for giving participants a detail image of disaster situation in a disaster drill. The result of evaluating influences of video images on immersion showed that generating immersion in the virtual environment was possible with a wide field of view rather than the stereoscopic view. The satellite channel is available even in disasters. It was clarified that an appropriate size of the thumbnail images existed to extract the specific one from the images under the condition of channel bandwidth limitation and transmission delay.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：臨場感 仮想空間 可視化 遠隔画像伝送 サムネイル画像

## 1. 研究開始当初の背景

防災訓練では、擬似的な災害環境の下で防災活動を行うことにより、災害に的確に対処するための技術や能力を身につける。しかし、大規模災害への対応能力を養う実効的な防災訓練の機会は十分提供できていない。これは、大規模災害のような厳しい条件下では、災害状況が想定できず、防災活動における意思決定訓練が難しいことが大きな原因になっている。

防災訓練は、「実技・実働訓練」と「意思決定訓練」に分けられる。現状の防災訓練では実技・実働訓練が中心になっており、意思決定訓練は不十分な状況にある。意思決定訓練を行うには、意思決定を問うための災害状況を想定できる必要がある。

大規模な災害が発生した場合、被災地の被害状況を迅速に伝達することが重要になる。言葉のみでは伝達が難しい情報は写真や動画を利用する。しかし、大規模な地震による災害では、地上の通信設備が損傷を受け、通信不通となる可能性が高い。地上通信網が断絶した状況でも有効な回線が必要である。衛星回線はその候補の一つであるが、回線帯域の制限や伝送遅延が生じる。

## 2. 研究の目的

防災訓練を行う環境の構築を支援し、質の高い防災訓練の機会を提供できる基盤を整備する。災害状況を想定できるようにするためには、訓練参加者が災害状況を具体的にイメージできなければいけない。そのためには、臨場感を伴った仮想空間を提示する必要がある。そこで、三次元仮想空間を立体視提示するための没入型ディスプレイシステムを構築する。

臨場感を伴った仮想空間を提示するには、三次元仮想空間を映像として効果的に提示する必要がある。大型ディスプレイは、見かけ上同じ大きさの映像でも作業効率が改善したり、立体視映像が三次元空間における視認性を改善したりすることが指摘されている。しかし、没入環境では臨場感を創出するのに、大型ディスプレイが有効なのか、立体視が有効なのかが明らかになっていない。そこで、構築した没入型ディスプレイシステムを用いることにより、立体視映像あるいは広視野映像が臨場感に及ぼす影響を評価する。

衛星回線の回線帯域制限や伝送遅延に対しては、低速回線に適応した画像伝送方法を構築する。多数の画像や動画のファイルがある場合、ファイル名やメタデータだけから特定のファイルを抽出するのは難しい。この場合、原画を縮小表示したサムネイル表示が有効である。サムネイル表示のとき、その画像サイズは小さい方が高速な表示が可能であるが、視認性が下がるため画像の内容の把握は困難になる。サムネイル表示に対して回線条件に適した画像サイズの決定手法を構築

する。

## 3. 研究の方法

教育支援のために構築した没入型ディスプレイを再利用し、高価な保守や高度なスキルを必要としないように、システムを再構築する。システムは、低価格、アプリケーション構築の容易性、ハードウェアのスケラビリティを含む設計指針に基づいて実装される。GPUを搭載した4台のPCでPCクラスターが構成され、立体視映像を同期して生成する処理を行う。複数のスクリーンに映像を提示するフレームワークとしてVR Juggler (<http://www.vrjuggler.org/>)を採用する。これは、グラフィックスレンダリングを十分な性能で実行し、安定的に動作することによる。仮想世界のシーンを構築するフレームワークとしてOpenSceneGraphを利用する。

立体視映像あるいは広視野映像が臨場感に及ぼす影響の評価では、三次元仮想空間をウォークスルーするコンテンツにおいて立体視の有無と視野の範囲を条件にして比較実験を行う。音は提示されず、映像だけが提示される。三次元仮想空間を移動する操作にはゲームパッドが使われる。被験者はそれぞれの条件下で5分から10分程度操作し、質問紙の質問に5段階で回答する。質問紙には、以下の質問が含まれる。(1)周囲を見渡すことができた、(2)近くの物体は3次元的に見えた、(3)物体が近くに置かれているのか、トウクに置かれているのかを区別することができた、(4)シーンには奥行き感があった、(5)仮想空間に没入した、(6)シーンを眺めるのは楽しい、(7)シーンを眺めるのに違和感を持った、(8)長時間眺めるのに適している、(9)シーンを眺めるのは疲れる。

多数の画像の中から所望の画像を抽出するまでの時間を評価指標とし、サムネイル画像のサイズを決定する。被験者を用いた評価実験を行い、サムネイル画像のサイズを変化させ、画像を抽出する時間が短くなるサイズを探索する。モニタ画面に抽出すべき所望画像と、複数枚のサムネイル画像を並べて提示し、その中から所望画像のサムネイル画像を抽出するように指示する。サムネイル画像がマウスでクリックされると、その原画像がサーバから伝送され、表示される。被験者は、表示された画像が所望画像であると判断した場合、原画像をクリックしてその試行を終了する。この試行を、サムネイル画像のサイズを変更して、繰返し実施する。

## 4. 研究成果

没入型ディスプレイシステムは立方体スクリーンを持ち、立体視映像を投影する(図1)。三次元空間を立体視提示するため、透過型スクリーンと液晶プロジェクタが利用された。立方体スクリーンのうち4面が、投影ディスプレイとして使用された。4面だけを利用したのは、プロジェクタのランプを減

らしてコストを削減するためである。そのため、各スクリーンに対して立体視映像を作り出すには、8つのプロジェクタを用意すれば済む。立体視の左目と右目の映像は円偏光を通して互いに区別される。各面の正方形スクリーンは大きさ3m×3mであり、プロジェクタは解像度1000×1000pixelで映像を投影する。各液晶プロジェクタは、輝度1000ANSI-lmを持つ。



図1：没入型ディスプレイ

4つのスクリーンへの立体視映像の投影は、同時に8つの画像を生成する必要がある。クラスター・コンピューティングにより、3DCGの並列レンダリングを実現した。コストと保守を考慮し、1つのPCをマネージャ（管理PC）に割り当て、GPUを搭載した4つのPCをそれぞれレンダリング・スレーブマシン（レンダリングPC）に割り当てた。管理PCは、レンダリングPC及びアプリケーション・データを管理する。各レンダリングPCは立体視のための左目と右目の画像を同期生成し、GPUからビデオ信号を出力する。スイッチングHUBで、ギガビット・ネットワークを通して管理PCとレンダリングPCが接続される。図2に、没入型ディスプレイシステムの構成を示す。

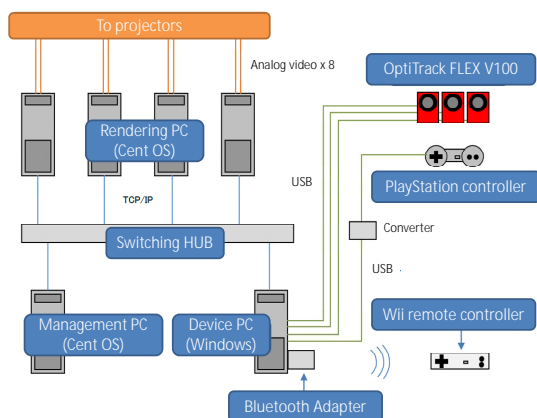


図2：システム構成

ユーザ・インタラクションを支援するため、インタフェース・デバイスが3つ（頭部位置

姿勢センサ、ジョイスティック、指示棒）没入型ディスプレイシステムに組み込まれた。ユーザの頭部運動は、視点に基づいて合成画像を生成するために必要である。そこで、ユーザの頭部運動を赤外線センサによって追跡することにより、ユーザは自らが好む視点から仮想世界を見ることができる。三角測量の原理により、3つの球からなる剛体の幾何学から、ユーザ頭部の位置と姿勢が推定される。赤外線センサで検出できるようにするため、3つの球は再帰性反射材で覆われている。有線ゲームパッドがジョイスティックとして、3次元空間内における視点を制御するために使われる。加速度計を搭載した無線ゲームコントローラも、仮想物体を操作するための指示棒として使われた。こうしたインタフェース・デバイスはデバイス制御用PCによって制御され、インタラクション・データはギガビット・ネットワークを通して管理PCに送られる。

没入型ディスプレイシステムを使ったインタラクティブなコンテンツを構築するには、VR Juggler及びOpenSceneGraphのフレームワークに基づくアプリケーション・プログラムを作成する。このフレームワークは、(1)インタラクションのための基本機能と(2)仮想空間内のウォークスルーといった視点制御機能を提供する。コンテンツ用の3次元シーングラフのデータとして、OpenSceneGraphがサポートする全てのファイル形式を利用できる。

アプリケーションとコンテンツのデータは、管理PCに蓄積される。各レンダリングPCは、NFS(Network File System)を通してこれらのデータを参照する。VR Jugglerには管理PCからレンダリングPCへのデータ転送を行う枠組みがあるが、NFSはユーザがデータ転送について考慮しなくて済むようにできる。

アプリケーションに読み込まれるOpenSceneGraphファイルの中にノードを追加することにより、アプリケーションに対する設定が可能である。設定項目として、背景色や霧、視点及び姿勢の初期状態、水面の定義が含まれる。また、仮想空間内のインタラクションは、拡張ノードを記述することにより定義する。拡張ノードには、注釈付与、音響出力、メニュー選択、外部モデル参照、シーン切替、タイマーといった機能が含まれる。こうした機能を適宜組み合わせることにより、様々なアプリケーションを構築することができる。OpenSceneGraphを使うことにより、アプリケーションが異なるプラットフォームで動作するのを容易にし、パラメータ設定で制御できるようになる。全くスキルを要求しないというわけにはいかないが、その要求レベルを大幅に下げることができる。

立体視映像あるいは広視野映像が臨場感に及ぼす影響の評価では、ディスプレイがある程度広い視野を覆う状況であれば、両者と

も臨場感を伴っていることが示され、必ずしも立体視しなくてもよいことが示唆された。立体視の有無を条件とした評価実験では、「近くの物体は3次元的に見えた」という質問に対して立体視提示の方が有意に高い評価となった。一方、「長時間眺めるのに適している」という質問に対しては、立体視提示の方が有意に低い評価となった。両質問ともスコアが被験者間で大きくばらつく傾向にあった。前者の結果は、立体視している方が3次元的に見えるというものである。後者の結果は、立体視すると疲れるため、長時間の視聴には向かないことを示している。一般的には、輻輳と調整の不一致が主な原因と言われている。立体視の有無を条件とした評価実験で注目すべき結果は、「仮想空間に没入した」「シーンを眺めるのは楽しい」といった質問に対してスコアに差が無く、しかも立体視無しの条件でも高いスコアが得られている点である。これは、没入感や楽しさには必ずしも立体視でなくてもよいことを示している。視野の範囲を条件とした評価実験では、広い視野に対して正面、両側面、床面のスクリーンに映像が投影され、狭い視野では正面のスクリーンにだけ映像が投影された。「周囲を見渡すことができた」という質問に対して、広視野の条件の方が有意に高いスコアを得たが、「仮想空間に没入した」という質問に対しては、条件による差は認められなかった。この結果は、正面スクリーンが提示する視野でも十分没入感を提供できることを意味する。被験者は床面の中央に位置したため、視野角は90度である。視覚から誘導される自己運動感覚は視野角が20度を超えると知覚され始めるという先行研究結果と矛盾しない。両評価実験の結果は、没入感を提供するには立体視映像は必須ではなく、広視野の2次元映像が提示されればよいことを示している。

サムネイル表示における画像サイズの評価実験において、被験者にサムネイル画像を提示してから所望画像の原画像をクリックするまでの時間を計測した。サムネイル画像のサイズごとの所望画像抽出時間の平均値を求め、これを評価指標として検出時間が短く、かつ、データサイズの小さい条件を探索する。評価実験では、10枚のサムネイル画像を提示した。原画像のサイズは3610×2399 pixelであり、画像には複数の人物が写っている。用意したサムネイル画像のサイズは、180×120 pixelから1620×1080 pixelまで10種類である。サムネイル画像の画素数とデータサイズとは比例関係にある。実験の結果、伝送遅延のない環境ではサムネイル画像のサイズによる画像の抽出時間に有意な差は認められなかった。伝送遅延のある環境では、サムネイル画像が小さいとき抽出時間が長くなり、画像サイズが大きいつき抽出時間が長くなる傾向が観察された。したがって、伝送遅延がある場合、サムネイル画像に対して

所望画像の抽出を効率的に行うためのサイズに最適値が存在することが示された。

当初、コンセプトマップを用いてシナリオを作成することによって具体的な災害状況を想定することにしてはいたが、具体的にイメージとして提示されないと、災害状況の想定自体が難しいことがわかり、没入型ディスプレイシステムの構築とその評価を重点的に実施した。また、災害発生後の対策として被災地域から外部への通信手段を確保することの重要性が認識された。そこで、災害時に有用な通信回線として衛星回線を想定し、回線帯域の制限及び伝送遅延がある条件下で効率的に画像伝送を行うための検討を行うに至った。

#### 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2件)

菅貴之, 武藤憲司, 八木一夫, 小野寺聡之, 仲田佳広, 高野邦彦, 災害時における衛星回線を利用した画像伝送システムのサムネイル画像サイズ, INFORMATION, 査読有, Vol.18, No.3, 2015年, pp.1019-1027.

浅井紀久夫, VR Juggler を用いた PC クラスタによる没入型ディスプレイの構築, 放送大学研究年報, 査読無, 第31号, 2013年, pp.75-87.

[学会発表](計14件)

Kikuo Asai, Kimio Kondo, Revisit: wide field of view in visualization, Workshop on Application of Innovative Educational Technologies in STEM Education, Nov. 30-Dec. 4, 2015, Hangzhou, China

山下真樹, 菅貴之, 武藤憲司, 八木一夫, 三林洋介, 浅井紀久夫, 近藤喜美夫, 災害時被災者支援のためのサムネイル画像を用いた検出時間とクリック回数による初期値について, 日本人間工学会第21回卒業研究発表会, 2015年12月12日, 東京電機大学

Kikuo Asai, Subjective evaluation of stereoscopic view in immersive projection display, International Conference on Computers in Education, Nov. 30 - Dec. 4, 2014, Nara

Takayuki Suga, Kenji Muto, Kazuo Yagi, Kikuo Asai, Kimio Kondo, Relation between image detection time and thumbnail image size for satellite-based telemedicine, International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, September 15-17, 2014, Gdynia, Poland

菅貴之, 倉田浩司, 武藤憲司, 八木一夫, 浅井紀久夫, 近藤喜美夫, 視距離がサムネイル画像の検出に与える影響, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月18-21日, 新潟大学

Takayuki Suga, Kenji Muto, Kazuo Yagi, Toshiyuki Onodera, Yoshihiro Nakata, Kikuo Asai, Kimio Kondo, Detection effects by thumbnail image in a medical image support system using transmitting delay path of satellite communication, International Society for Telemedicine and eHealth, International Conference, October 18-19, 2013, Takamatsu

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

近藤 喜美夫 (KONDO, Kimio)  
放送大学・教養学部・教授  
研究者番号: 40249925

### (2) 研究分担者

浅井 紀久夫 (ASAI, Kikuo)  
放送大学・教養学部・准教授  
研究者番号: 90290874

### (3) 研究分担者

武藤 憲司 (MUTO, Kenji)  
芝浦工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 30259832

### (4) 連携研究者

奈良 由美子 (NARA, Yumiko)  
放送大学・教養学部・教授  
研究者番号: 80294180