

# タイルドディスプレイを用いた高臨場感映像 通信システムの構築と評価

野田 敏志<sup>†</sup> 江原 康生<sup>‡</sup> 石田智行<sup>\*</sup> 橋本浩二<sup>†</sup> 柴田義孝<sup>†</sup>

従来の映像通信システムでは、参加者の映像や各種資料データを同時表示する場合、表示装置の画面サイズに応じて表示の領域や位置、方法に制約が生じる。そのため高精細な画像データや等身大による参加者の映像を同時表示することは厳しく、対面状況と比べ意思疎通が困難である。本稿では、必要に応じ複数のディスプレイを組み合わせて大画面・高解像度表示装置を構築できるタイルドディスプレイ技術を利用し、等身大で表示された参加者間で高精細な資料データを共有し、臨場感あふれる円滑なコミュニケーションを可能とする高臨場感な双方向映像コミュニケーションシステムを提案し、その等身大表示の実装と評価について述べる。

## A Study of High Presence Video Communication System in Tiled Display Environment

Satoshi Noda<sup>†</sup> Yasuo Ebara<sup>‡</sup> Tomoyuki Ishida<sup>\*</sup> Koji Hashimoto<sup>†</sup> Yoshitaka Shibata<sup>†</sup>

Various tele-communication systems have been spreading with advance of network technology in recent years. Teleconference system can realize interactive communication between remote locations via Internet. On the other hands, it is difficult for commonly-used teleconference systems to simultaneously display data and video images of users as increasing the number of remote users due to restriction of monitor size. In addition, the realistic sensation such as user's facial expression and gesture cannot be sufficiently transmitted. In this paper, in order to resolve such problems, we focus on tiled display technology which has featured large display size and high resolution, and can configure various display sizes to solve these problems in remote communication. In this paper, we propose a configuration and an architecture of tele-communication system to obtain video image of multiple users by using multiple cameras based on tiled display environment and construct a prototype system. We describe multi-camera function, life-size display function and background switching function which are required to communicate with higher presence.

### 1. はじめに

情報通信技術の進歩と高精細な映像に対応した符号化技術の向上により遠隔地間でコミュニケーションを可能とするテレコミュニケーションシステムが様々な用途で用いられるようになった。最もポピュラーな利用例にはテレビ会議が挙げられる。そしてテレコミュニケーションシステムの利用環境は現実で対面し利用する環境に近いことが望ましい。

現在、遠隔地間をネットワークで接続し、実際に対面しているのと同様のコミュニケーションを実現するための研究も実施されている。しかしながら既存のコミュニケーションシステムは利用者の全身を捉えたり動きまわったりすることに充分対応できていない。上記の状況を想定する利用例は、図1に示すように例えばテレワークが挙げられる。テレワークは距離にとらわれず対面と同等のコミュニケーションを行い、円滑なコミュニケーションをとることが必要である。もう1つの想定する利用例は、ファッションやスポーツ用品など動き回る必要があるプレゼンテーションである。本研究の狙いは、遠隔コミュニケーションシステムでサポートすることが困難であった利用者の自由な移動や、物体を等倍表示することで雰囲気をもより現実に近い状態で伝えることである。

しかし利用者の自由な移動や、物体の等倍表示を実現す

るためには、従来の遠隔コミュニケーションシステムに課題がある。1つ目の課題は、通話者や資料の表示領域に制約が生じていることである。従来のシステム構成には画面サイズに制約があるため、通話者・通信地点の増加に制限が生じる。また、既存のシステム構成で現実では映るはずの利用者の全身を表示することは困難である。

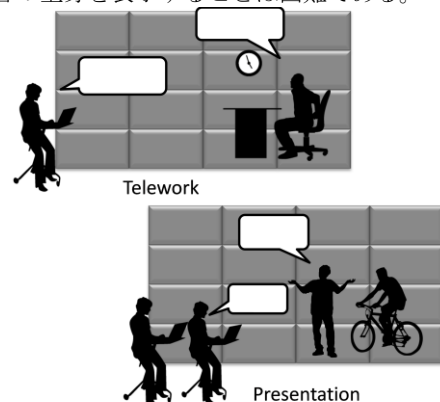


図 1 利用例

2つ目の課題は、高精細画像の表示が難しい点である。例えば航空画像や地図データのような高解像度かつ広範囲な画像は、限られた解像度のモニタには等倍表示が厳しい。

<sup>†</sup> 岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科  
<sup>‡</sup> 大阪大学情報推進機構  
<sup>\*</sup> 茨城大学工学部情報工学科

また、扱うデータ量が増加してきた近代では一つ一つの資料を一方向的に提示し説明するだけではコミュニケーションがスムーズに回らず、多数のデータが複雑に関連しているため同時に多数のデータを同時表示する必要性がある。

最後の課題は、現実と乖離した状況でのコミュニケーションは臨場感が不足することである。バスタップ映像など表示部位の制限はノンバーバルコミュニケーションを妨げる。また、現実とは異なる人物サイズからコミュニケーションの齟齬が発生する。そのため実際の対面状況では起こりえない、利用者の行動範囲の制限が生じる。我々が本論文中で述べる臨場感とは、立体感、質感、包囲感、動感、因果感、因果感、同時感、自己存在感、インタラクティブ感、情感の感覚要素を統合して感受する感覚と定義する[1]。各臨場感の要素の詳細を以下に記す。

- ・立体感：物体の奥行きや立体形状を感じる感覚
  - ・質感：物体の質感を得る感覚
  - ・包囲感：空間に埋没する没入感、その場の雰囲気を感じる感覚
  - ・動感：物の動き（速さ・方向）を感じる感覚
  - ・因果感：事象の因果感（ある事象が他の事象が原因となって、その結果生じていること）を感じる感覚
  - ・同時感：物と物が接触した映像と衝突音が同期している等、事象が同期していると感じる感覚
- 自己存在感：自己の身体や手・足などの位置・方向・動きを感じる感覚
- ・インタラクティブ感：環境に存在する物や他者に働きかけたときに特定の反応が得られると感じる感覚
  - ・情感：対象物に対して快・不快を感じる感覚

上記の課題を解消して利用者がジェスチャーを伴った会話や自由に動き回りコミュニケーションをとるためには、高精細な画像データや等身大での高臨場感かつ広範囲な双方向の映像通信を実現するスケーラブルな映像表示装置とそれを利用する新しいネットワークシステムが必要となる。

そこで本研究ではタイルドディスプレイ（TDW：Tiled Display Wall）を用いて高臨場感な双方向映像コミュニケーションシステムの実現を目指す。図2に示すように、TDWは複数のモニタを組み合わせて高解像度ディスプレイを構築できる拡張性を持ち、用途に応じて適切な解像度で対応できる。この利点によって表示コンテンツの増加を画面の拡張性でカバーできる。また、多数の資料の同時表示と、等身大表示によって臨場感の向上と広範囲な双方向の映像通信を実現して円滑な遠隔コミュニケーション環境を提供する。本稿では高臨場感な通信に必要なマルチカメラ機能、等身大表示機能、背景切り替え機能について記す。



図 2 TDW の例

## 2. 関連研究

近年では様々な方法で遠隔コミュニケーションシステムが研究されている。例えば、同室感を高める目的を持つ

t-Room[2][3][4]が研究開発されている。しかしt-Roomは高い臨場感を実現するが、システムの構成上の制限により通信できる人数が限られている。

次に対面型コミュニケーションシステムの例として、CiscoのTelePresenceシリーズ[5]がある。部屋ごとシステムを提供することで視線を妨げない対面型遠隔コミュニケーションを実現している。人物のバスタップを表示できる大型ディスプレイの上部にカメラを設置することで、現実に近いシチュエーションと視線の動きを再現している。TelePresenceシリーズは遠隔会議を想定しており、ユーザは席に固定されて、遠隔ユーザとテーブルを挟んで向かい合う形でコミュニケーションをとる。そのためユーザは席に固定されるという課題点が存在する。

また、3Dを使った遠隔コミュニケーションシステム[6][7]の研究が進められている。この研究は遠隔コミュニケーションシステムにおいて容易ではない視点の追跡を行い、部屋型3Dを用いて等身大ディスプレイを使い遠隔ユーザにあらゆる視点から周りを見えるようにして、あたかも現実と同じように多様な角度から会話する相手を見ることを可能にした。しかしこのシステムは1対1の会話の場合、非常に自然な会話を可能にするが、複数ユーザには対応していない。

そこで本研究では、マルチカメラにより撮影範囲を広げ実際の対面状況と同等の、臨場感を重視したユーザが動き回れる多人数遠隔コミュニケーションシステムを提案する。

## 3. システム概要

本システムは Communication Site を各拠点に設置し、各拠点間を High-Speed Network で接続することで、映像通信による遠隔コミュニケーションを図る。図 3 のように Communication Site は Video Camera、Application Node、Communication Manager Node、Display Node、TDW で構成される。映像通信の流れを以下に記す。Application Node は Video Camera から受け取った映像を画像処理する。その後 Communication Manager Node が Communication Site 内の Node の構成を管理し Video Data の流れを制御する。Video Data はユーザの操作によってローカルまたはリモートの適切な Display Node へ送信され、TDW へ Video Data が表示される。

次に各 Node の構成と役割を説明する。Application Node は Video Camera の接続数と処理の負荷に応じた必要数で構成される。Application Node の内部では Video Camera から取得した映像データに対し等身大表示、背景切り替え表示などの映像処理が行われる。Communication Manager Node は Display Node がそれぞれタイル上に設置された TDW のどのモニタに接続されているか管理する。そして Application Node の映像が TDW のどのモニタのどのピクセルに表示されるかを Communication Manager Node が制御メッセージのやりとりにより確認を行う。その後、Application Node で処理された映像データは Communication Manager Node により High-Speed Network を通じて各 Display Node へ転送される。Display Node は受け取った映像データを TDW の適切なモニタへと描画する。また、ユーザは Communication Manager Node を GUI ベースで操作し制御メッセージをコントロールすることで、TDW に表示するコンテンツをコントロールする。

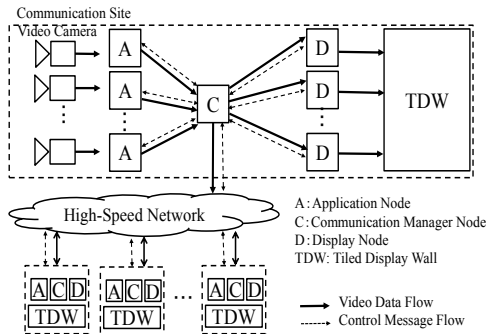


図 3 システム概要図

#### 4. システムアーキテクチャ

本システムは Communication Site を各拠点に設置し、各拠点間を High-Speed Network で接続することで、映像通信による遠隔コミュニケーションを図る。図 4 のように Communication Site は Video Camera、Application Node、Communication Manager Node、Display Node、TDW で構成される。映像通信の流れを以下に記す。Application Node は Video Camera から受け取った映像を画像処理する。その後 Communication Manager Node が Communication Site 内の Node の構成を管理し Video Data の流れを制御する。Video Data はユーザの操作によってローカルまたはリモートの適切な Display Node へ送信され、TDW へ Video Data が表示される。

次に各 Node の構成と役割を説明する。Application Node は Video Camera の接続数と処理の負荷に応じた必要数で構成される。Application Node の内部では Video Camera から取得した映像データに対し等身大表示、背景切り替え表示などの映像処理が行われる。Communication Manager Node は Display Node がそれぞれタイル上に設置された TDW のどのモニタに接続されているか管理する。そして Application Node の映像が TDW のどのモニタのどのピクセルに表示されるかを Communication Manager Node が制御メッセージのやりとりにより確認を行う。その後、Application Node で処理された映像データは Communication Manager Node により High-Speed Network を通じて各 Display Node へ転送される。Display Node は受け取った映像データを TDW の適切なモニタへと描画する。また、ユーザは Communication Manager Node を GUI ベースで操作し制御メッセージをコントロールすることで、TDW に表示するコンテンツをコントロールする。

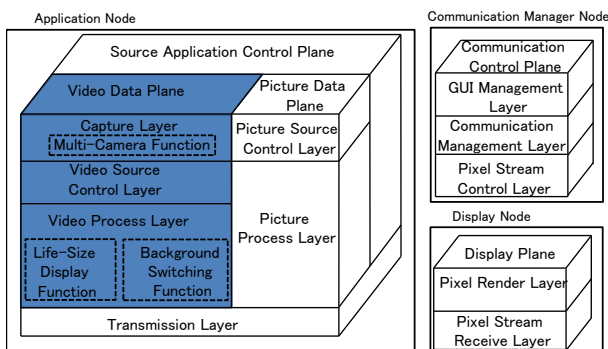


図 4 システムアーキテクチャ

#### A. マルチカメラ機能

単一のカメラでは撮影範囲の制限により TDW の持つ表示装置の拡張性を活かし切れない。本システムでは複数台のカメラを用い、上下左右前後からの多視点映像を取得する。多視点映像をシステム利用者の行動範囲に適したアングルを自動的に提供することで、行動を広範囲にサポートする。得られた映像は TDW の大画面の特長を活かし利用者の求めるアングルを提供する。例えば、正面映像に奥行きを感じたい場合は、正面映像と前後の動作が見られるアングル映像を TDW へ同時に表示し、様々な動きが出来るようサポートする。

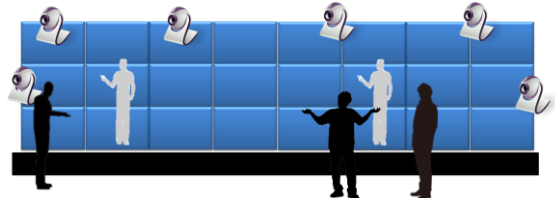


図 5 マルチカメライメージ図

#### B. 等身大表示機能

実寸大で物を表示したい場合や、テレワークのような動きを必要としないケースにおいて等身大表示を行うため、カメラ解像度と画素値、カメラと人物との距離に基づいた拡大縮小処理を提案する。画素の物理的なサイズを計算し、カメラの解像度に対応した実際の表示サイズを割り出すことにより、より正確な等身大表示を行う。入力したデバイス情報を基に TDW に表示する映像サイズを設定したサイズに調節する。TDW に実寸のサイズと同等の人物や物体の表示を可能にする。この機能により、人物を等身大に表示できる。Communication Site ごとに TDW の解像度やサイズが異なっても、デバイス情報に基づき計算を行うためモニタの解像度に左右されず、異なる環境でも同一の等身大映像を再現可能である。

入力する情報は、まず図 6 に示すように Video Camera の画角  $\theta$  を求める。次に撮影範囲の高さ  $h$  を決める。そして(1)の計算式を適用して、カメラと人物の距離を決める。この機能は、ユーザは計算式で出した距離をとり続ける必要があるという課題を持つが、マルチカメラによる多視点映像を利用して距離の問題を解消する。

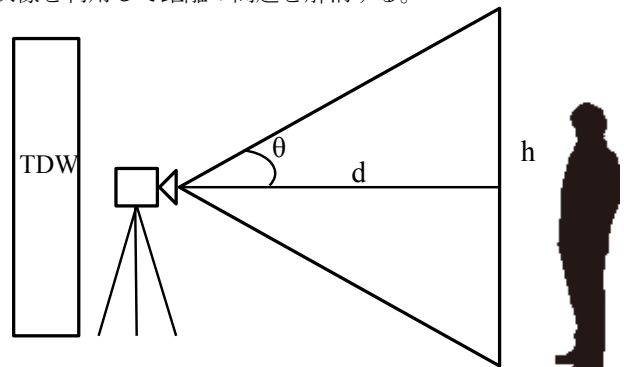


図 6 等身大表示のためのカメラ位置

$$d = \frac{h}{2 \tan \theta} \quad (1)$$

次に、以下の4つのデバイス情報を入力する。

- モニタのインチ (M)
- モニタの縦横の解像度 (mX, mY)
- カメラの解像度 (camX, CamY)
- 撮影範囲の高さ (h)

デバイス情報を入力することで、以下の計算が自動的に行われる。次に、モニタの画素サイズを求める。そのためには ppi を求める必要がある。ppi とはピクセルの密度のことであり、1 インチあたりのピクセル数を表す。以下の計算式(2)により ppi を計算する。

$$ppi = \sqrt{(mX)^2 + (mY)^2} \quad (2)$$

ppi を基に dot pitch を、式(2)を用いて計算する。dot pitch はモニタの1つの画素の大きさと定義する。ppi を利用し(3)を用いて dot pitch を求める。

$$dot\ pitch = (25.4mm) / ppi \quad (3)$$

この dot pitch を1つの画素サイズとして適用する。この画素サイズをカメラの解像度に掛けることで、映像の実寸サイズが TDW 上に表示される。次に、元映像をどれほど拡大すれば設定した撮影範囲を TDW 上に再現できるかを表す倍率を(4)、(5)の式を用いて求め、カメラの解像度に掛ける。

$$life\ size = camX * (h / (camX * dot\ pitch)) \quad (4)$$

$$life\ size = camY * (h / (camY * dot\ pitch)) \quad (5)$$

これにより設定した映像の実寸サイズが TDW へ再現される。なお位置が固定される問題はマルチカメラ機能により解消する。

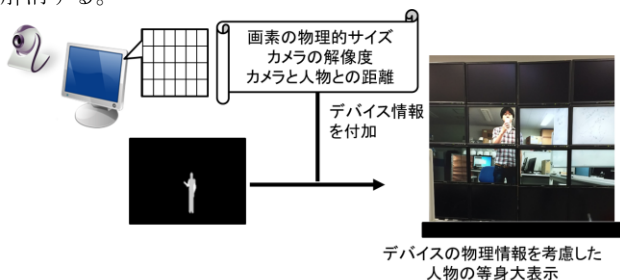


図7 等身大映像表示機能の流れ

例として、撮影範囲の高さを一般的な人物に合わせて1700mm、カメラの画角θをカメラの仕様から求め例として22.5°とする。その場合、式(1)を使うと  $d = 2.052 \approx 2050mm$  と表される。この式より、カメラの高さを850mmの高さに設定して、カメラをTDWの前方に設置したとする。このような場合、人物はカメラから約2050mmの距離をとる必要がある。

更に、モニタの縦の解像度  $mX=1600px$ 、横の解像度  $mY=1200px$ 、1台のモニタのインチ数  $M=20.1inch$  であるとすると、

この場合(2)の式により  $ppi=99.50$  となる。この ppi を式(3)に代入することで、 $dot\ pitch=0.255270 \approx 0.255$  となる。モニタの1画素の大きさが式により求められたので、次にカメラの映像がTDW上に出力されるサイズを求める。カメラの縦の解像度  $camX=1280px$ 、横の解像度  $camY=720px$  であるとするならば、式(5)を使い、183.79mmのサイズで

カメラ映像がTDW上に表示されることが分かる。この映像サイズをhに合わせることで、いくら映像サイズに倍率を掛ければhである1700mmになるかが求められる。倍率は約9.24となり、183.79mmに掛けることで約1700mmとなり、TDW上に1700mmの人物が表示される。

### C. 背景切り替え機能

多地点とコミュニケーションをとる場合、利用者に背景の不一致による違和感があると予想される。この違和感が臨場感に影響を及ぼすと考えられるため、図8のように背景を仮想的にマッチさせることで違和感の解消を目指す。背景差分法の利用により人物の背景を消去する。遠隔地のユーザのレイヤーの下に、予め用意した背景画像のレイヤーを配置する。これにより仮想的な背景に多地点の人物を配置し違和感を解消することが予想できる。



Apply a background image to the TDW

Apply background subtraction

図8 背景切り替えのイメージ図

### 5. プロトタイプシステム

本稿で記述した等身大表示機能、背景切り替え機能が臨場感にどの程度影響を及ぼすか評価実験を行うため、図9に示すようにプロトタイプシステムを構築した。

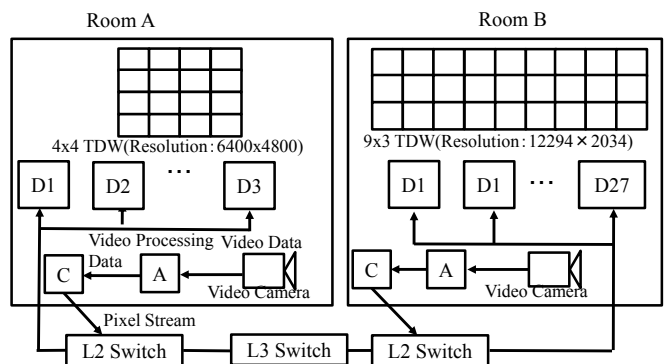


図9 プロトタイプシステム

Video Camera を1台用意しネットワークを介して双方向に等身大映像を送受信する。片方の部屋では1台につき2枚のディスプレイを制御する8台のDisplay Nodeで構成される。もう一方の部屋は1台につき1枚のディスプレイを制御する27台のDisplay Nodeで構成される。本システムでは構築したTDWを制御し映像、データ表示を可能とするミドルウェアとしてSAGE (Scalable Adaptive Graphics Environment) [7][8][9]を使用する。

SAGE を利用することによって、Communication Manager Node はウィンドウの位置やサイズの情報管理を行う。TDWへ描画したいアプリケーションは、Communication Manager Node から受けたウィンドウ情報のメッセージを基に、表示位置に適したモニタのDisplay Nodeへピクセルストリームを送信する。各Display Nodeは接続しているモニタに受信したピクセルストリームを描画する。

ビデオカメラから等身大の画像が双方向にネットワークを通して送受信される。片方の部屋は、1台あたり2枚のモニタ表示を制御する8つのDisplay NodeからTDWが構成されている。もう片方の部屋は、1台のノードごとに1枚のモニタ表示を制御する27台のDisplay Nodeから構成されている。このシステムでは、我々はSAGEミドルウェアを使いビデオと画像表示が可能であり、SAGEでTDWを制御する。

本プロトタイプシステムではApplication NodeのTransmission Layerと、Communication Manager Node、Display Nodeの機能をSAGEにより実現する。

このプロトタイプシステムでは、Application Node、Communication Manager、Display Nodeの機能を実現する。SAGEを使用して、Communication Managerはウィンドウの位置とサイズ情報を管理する。アプリケーションがCommunication Managerから受信したメッセージウィンドウ情報に基づいて、TDWにモニタ表示位置に適したノードへ表示するピクセルストリームを送信する。各Display Nodeは接続されている各モニタへ表示するピクセルストリームを描画する。



図 10 背景切り替え

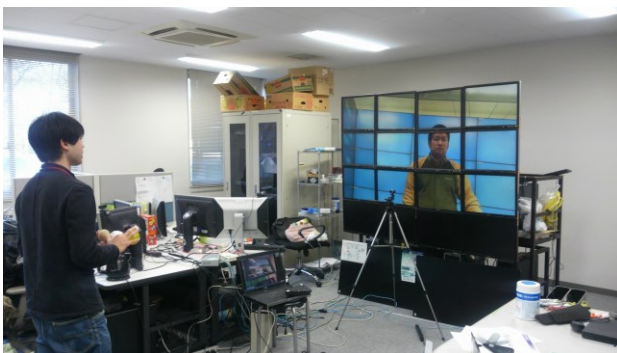


図 11 等身大映像表示

## 6. 評価実験

人物を大画面高解像度で等身大表示した場合、従来の遠隔コミュニケーションシステムと比べてどのような種類の臨場感の感覚が影響を及ぼすか計測する。評価実験のために、男女を含めた20代から50代の年齢層17人の被験者に5段階によるアンケート調査を行った。「1 はじめに」

で挙げた臨場感の内立体感、インタラクティブ感、動感、包圍感、質感に加え、現実と同じ移動性を映像からどれ程得られるか調査する相手の行動範囲の6項目を実験で評価する。また、被験者が映像に表示された人物を等身大に感じられているという前提で実験を進められているか確認するために、等身大表示映像が等身大に感じられているか質問する。図12に示すように、評価者と被験者が1対1で構成の異なる3つのケースで評価を行いTDW上で等身大表示を行う影響を調査する。(A)従来の遠隔コミュニケーション環境を想定した単一のモニタを使ってコミュニケーションを行う、(B)従来の形式の遠隔コミュニケーション環境の上で等身大表示を行うケース、(C)TDW上で等身大表示を行うケースで評価実験を実施した。今回、(B)の映像は(C)で行う拡大処理を使わず、カメラに接近して擬似的に等身大を表現した。そのため(B)の映像が鮮明に表示される構成となる。フレームレートは全てのパターンで22FPSに統一している。評価者はRoomA、被験者はRoomBで実験を行う。実験の最後に、被験者に3つの映像を臨場感が感じられた順に並べてもらった。なお、音声は別システムにより通信を行った。

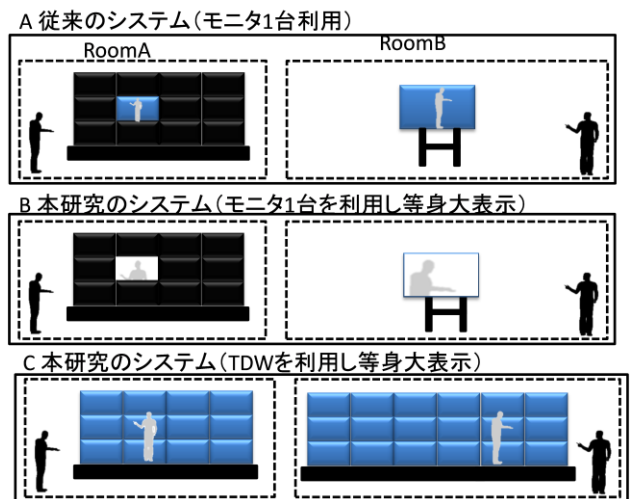


図 12 評価実験構成

評価方法は以下のとおりである。

1. 立体感  
 評価者が前後左右に移動し立体的に見えるか。
2. インタラクティブ感、動感  
 ジャンケンで3段階の速さで行う。また、物やボール、評価者が様々な方向を向き動く。
3. 相手の行動範囲  
 評価者が前後左右に移動し、その行動範囲が広く感じるか狭く感じるか。
4. 包圍感  
 以上の評価実施後に回答してもらう。
5. 質感  
 形状が同じく材質の異なる物体を被験者に見せる。今回は発泡スチロール、ゴム、木材のボールを被験者に見て評価してもらった。



図 13 評価実験の状況

各評価項目の回答の平均値を表 1 に記した。結果から、立体感と質感の質問では(B)が最も高い評価を得た。この結果の原因は、(A)はモニタに人物が小さく表示されたことと、(C)の映像の解像度が拡大処理により低かったことにより、B がもっとも解像度が高く鮮明に見えたためと推測する。次に動感と包囲感について考察する。この 2 項目は数値に大きな差が見られないことから、本システムにおける臨場感への影響はほぼ無いと考えられる。インタラクティブ感において、(A)、(B)の評価がほぼ同じなのに比べ、(C)は高い数値を得た。このことから、等身大表示はコミュニケーションにおけるインタラクティブ感を向上させるといえる。この結果はモニタを介さない対面状況とほぼ同等の環境を提示出来たことに起因すると推察する。最後に相手の行動範囲について言及する。最も画面の狭い(B)は他の映像に比べ移動性に劣る。しかし(A)と(C)は同じ撮影範囲を表示しているが、(C)の評価がやや勝っている。この原因は、実際の対面状況と同等の行動範囲や移動性を表現する TDW 上に表示した等身大表示の影響といえる。

表 1 評価結果の平均値

	A	B	C
立体感	3.11	4.05	3.17
インタラクティブ感	2.41	2.47	3.76
動感	3.94	3.94	4.11
相手の行動範囲	3.58	2.41	4.11
包囲感	3.35	3.76	3.76
質感	2.94	3.70	3.00

実験の最後に、被験者に(A)、(B)、(C)をそれぞれ臨場感を感じた順に並べてもらった。結果は (C)を 1 位に選んだ人が 17 人中 14 人だった。(B)を 2 位に選んだ人が 14 人、(A)を 1 位に選んだ人が 15 人という結果だった。この結果から、インタラクティブ感と相手の行動範囲を向上させた TDW を用いた等身大表示が臨場感の向上に貢献したといえる。逆に、立体感、動感、包囲感、質感は TDW を用いた映像表示に対し臨場感の影響は少ないと言える結果となった。

## 7. おわりに

本研究では TDW を利用した臨場感のある遠隔コミュニケーションシステムを提案した。これにより遠隔ユーザの等身大表示を行い表情やジェスチャーなどの臨場感を含む遠隔コミュニケーションを実現する。

本稿の評価実験では、従来の形式と TDW 上に遠隔の相手を等身大表示した形式で遠隔コミュニケーションを行った場合で比較したところ、等身大表示が臨場感の向上に役立つことが確認できた。

今後、複数人物の映像処理や評価実験の結果を考慮し臨場感の向上を目指す。

## 参考文献

- [1] ANDO Hiroshi, Akiko Callan, Norberto Eiji Nawa, NISHINO Yurie, Juan Liu, WADA Atsushi, and SAKANO Yuichi: Perceptual and Cognitive Mechanisms of Presence and its Evaluation Technology, Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, Vol.57 Nos.1/2, pp158-165 (2011-11-17).
- [2] Irie Yosuke, Aoyagi Shigemi, Takada Toshihiro, Hirata Keiji, Kaji Katsuhiko, Katagiri Shigeru, Ohsaki Miho: Development of Assistant System for Ensemble in t-Room, Information Processing Society of Japan, pp1-8(2009).
- [3] NTT Communication Science Laboratories: Mirai no Denwa t-Room. <http://www.mirainodenwa.com/index.html>(Accessed 2014-10-11).
- [4] Tokiya Tanaka, Norihiko Furuya, Shigeru Katagiri, Miho Ohsaki, Keiji Hirata, Yasunori Harada, Toshihiro Takada, Shigemi Aoyagi, Yoshinari Shirai: Dynamic Data Transmission Control Based on Mobile Computer Performance Measurement for t-Room, Information Processing Society of Japan, pp1-7(2010).
- [5] Cisco TelePresence: Cisco TelePresence TX9000 series, <http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/tp/tp9000/index.html>(Accessed 2014-08-28).
- [6] Andrew Maimone, Henry Fuchs: A First Look at a Telepresence System with Room-Sized Real-Time 3D Capture and Life-Sized Tracked Display Wall, The 21TH International Conference On Article Reality And Telexistence, pp4-9(2011).
- [7] Malte Willert, Stephan Ohl, Anke Lehmann, Oliver Staadt: The Extended Window Metaphor for Large High-Resolution Displays, EGVE - JVRC'10 Proceedings of the 16th Eurographics conference on Virtual Environments & Second Joint Virtual Reality, pp69-76(2010).
- [8] University of Illinois Board of Trustees: SAGE : DOCUMENTATION. <http://www.ev1.uic.edu/cavern/sage/documentation.php>(Accessed 2014-10-11).
- [9] Jason Leigh, Andrew Johnson, Luc Renambot, Maxine D. Brown, Ratko Jagodic, Sungwon Nam, Hyejung Hur: Ultrascale Collaborative Visualization Using a Display-Rich Global Cyberinfrastructure, IEEE Computer Society, pp50-62.