

# 高精細全方位ビデオ映像を用いたネットワーク対応の 没入型テレプレゼンス

江藤誠彦<sup>†</sup> 山澤一誠<sup>†</sup> 横矢直和<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: {masahi-e, yamazawa, yokoya}@is.aist-nara.ac.jp

**あらまし** 近年,遠隔地の情景を画像として提示し,まるでその場にいるかのような感覚を与えるテレプレゼンスシステムの要求が高まっている.我々はほとんど時間遅れなしに見回すことができる全方位カメラを用いたテレプレゼンスシステムを提案してきた.しかしこれらのシステムはネットワーク対応でないか,全方位カメラのカメラ部に通常の NTSC カメラを用いているため解像度が低いという問題があった.そこで,本稿では全方位ハイビジョンカメラから得られる高精細全方位ビデオ映像をネットワークを介して遠隔地に伝送し,表示デバイスに HMD, 球面型ディスプレイなどの没入型ディスプレイを使用して,利用者の視線方向の画像を生成・提示する実時間ネットワークテレプレゼンスシステムについて報告する.

**キーワード** ネットワークテレプレゼンスシステム, 全方位ハイビジョンカメラ, 高精細全方位ビデオ映像, 透視投影画像生成, 没入型ディスプレイ

## Networked Immersive Telepresence with High-resolution Omnidirectional Video Streams

Masahiko ETO<sup>†</sup> Kazumasa YAMAZAWA<sup>†</sup> and Naokazu YOKOYA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-0101 Japan

E-mail: {masahi-e, yamazawa, yokoya}@is.aist-nara.ac.jp

**Abstract** Recently, the demand of a telepresence system that provides a user with the scene of a remote site as an image with rich sensation is increasing. We have proposed the telepresence systems with an omnidirectional camera that enables us to instantly look around a remote site. However, the systems had some problems such that they did not use the network and the resolution of displayed image was poor because the standard NTSC camera was used for the portion of omnidirectional cameras. This paper describes a real-time networked telepresence system, which transports high-resolution omnidirectional video streams acquired by the omnidirectional HD camera to the remote site through the network, and presents a user's view-dependent video stream to immersive displays such as an HMD and a spherical projection display.

**Keyword** Networked Telepresence System, Omnidirectional HD camera, High-resolution Omnidirectional Video Stream, Perspective Image Generation, Immersive Display

## 1. はじめに

近年、仮想観光システムや遠隔監視システムなどにおいて、遠隔地の情景を広範囲かつ臨場感豊かな画像として獲得し、遠隔地に伝送する必要があるが高まっている。遠隔地の情景を提示し、まるでその場にいるかのような感覚を与える仮想現実感技術はテレプレゼンス[1]と呼ばれている。

従来のテレプレゼンスシステムとしては利用者が遠隔地のカメラの向きを制御して画像を獲得するシステムが多い。しかし、このシステムでは、利用者が一人に限定されることに加えて、利用者がカメラの向きを入力してからカメラを動かすため、機械的な時間遅延が生じてしまうという問題がある。またカメラと利用者が遠く離れている場合は、両者間の通信時間の遅延も無視できなくなる。これに対して我々は従来から、全方位カメラを使用するシステム[2,3,4]を提案してきた。これらのシステムでは全方位カメラを用いることにより周囲 360° の画像を一度に獲得し、その画像から利用者の視線方向の平面透視投影画像を実時間で生成・提示している。この方法ではほとんど時間遅延がなく広範囲の画像を見ることができる。しかし、参考文献[2,4]のシステムでは全方位カメラのカメラ部に NTSC カメラを用いていたため解像度が低かった。これに対して参考文献[3]のシステムでは、全方位カメラのカメラ部にハイビジョンカメラを用いることにより提示画像の解像度が低いという問題を解決している。しかし実時間型の仮想観光システムや遠隔監視システムではリアルタイムで遠隔地の情景を提示する必要があるためネットワークを介して画像を送る必要があるが、参考文献[2,3]のシステムではネットワーク化は考慮されていない。一方、参考文献[4]のシステムではネットワーク化は考慮されているが、解像度の問題を解決していない。すなわち、ネットワーク化と高解像度化の両立には至っていなかった。

以上の問題に対して本研究では、全方位ハイビジョンカメラを用いることで解像度の問題を解決し、さらにネットワークを使用して全方位ハイビジョン画像を伝送し、かつ利用者の視線変化からその方向の画像提示までの時間遅延が少ないテレプレゼンスシステムを構築した。また利用者に画像を提示する表示デバイスとして、ヘッドマウントディスプレイとさらに臨場感を上げるために球面型ディスプレイを使用した。

以下では、2 節において本研究で使用した全方位ハイビジョンカメラについて説明し、3 節では提案したテレプレゼンスシステムの処理概要について述べる。4 節では実装したシステムの構成、5 節では実験について述べる。最後に 6 節でまとめる。

## 2. 全方位ハイビジョンカメラ

全方位カメラは今までにいくつか提案されているが[5,6]、本研究で利用する全方位ハイビジョンカメラ[3]は、鉛直下向きに設置した双曲面ミラーとその下に鉛直上向きに設置したカメラから構成される Hyper Omni Vision[7]のカメラ部を図 1 のようにハイビジョンカメラにしたものである。これにより図 2 のようにカメラの周囲 360° を一度に撮影することができる。さらに、さらに、得られる全方位画像は双曲面ミラーの内側焦点を投影中心とした双曲面上への透視投影像であるため、その一部を図 3 のような平面透視投影画像に変換できる。またカメラ部にハイビジョンカメラを用いることにより NTSC カメラを用いた全方位カメラの約 4 倍の解像度が得られる。



図 1 全方位ハイビジョンカメラ

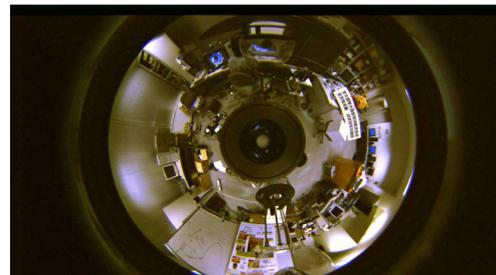


図 2 全方位ハイビジョン画像

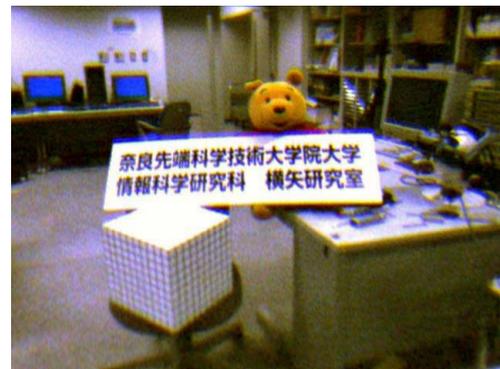


図 3 平面透視投影画像

### 3. テレプレゼンスシステムの処理概要

本節では、テレプレゼンスシステムの全体の処理概要について述べる。本システムは、全方位ハイビジョンカメラが設置してある方を送信側、利用者がある方を受信側として、その間を TCP/IP ネットワークを使って画像データの伝送を行う。

#### 3.1. 送信側での処理

送信側では、まず全方位ハイビジョンビデオカメラにより周囲 360° の情景を撮影し、全方位ハイビジョン画像を計算機に取り込む。次にネットワークを使って全方位ハイビジョン画像を伝送するが、ここで撮影された 1 枚の全方位ハイビジョン画像のデータ量は約 6Mbyte(1920(横)×1080(縦)×3(1pixel あたり 3byte))と膨大である。全方位ハイビジョンカメラにより撮影された画像は図 2 のように左右の端の部分は無駄なデータとなっているので、図 4 のように無駄な部分を削除して画像のサイズを 1024×1024 にしてデータ量を約半分の 3Mbyte(1024×1024×3)に削減してからネットワークで伝送する。全方位ハイビジョンカメラは秒間 30 枚で全方位ハイビジョン画像を撮影できるが、データを削減しても、ネットワークの帯域とトラフィック状況によっては、全方位ハイビジョン画像を 30 フレーム/秒で伝送することは困難である。この場合、ネットワークの速度に合わせて送信するフレームレートを調整し、常に最新の全方位ハイビジョン画像を送ることにより、実時間性を保つ。

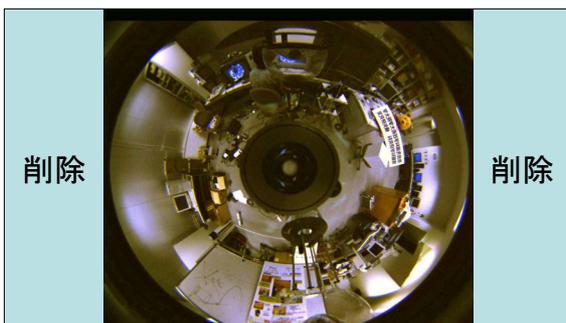


図 4 無駄なデータの削除

#### 3.2. 受信側での処理

受信側の計算機は、まず送信側からネットワークで伝送されてきた全方位ハイビジョン画像を受信する。次に 3D 磁気トラッカ、マウスなどを用いて利用者の視線(頭部)の向きを計測する。こうして得られた全方位ハイビジョン画像と利用者の視線情報から参考文献[2]と同様の手法によりハードウェアのテクスチャマッピング機能を用いて利用者の視線の向きに応じた平面透視投影画像を実時間で生成し、利用者に提示する。またネ

ットワークの障害などにより画像の伝送が停止した場合や、ネットワークで画像を伝送中にデータの一部が失われた場合には、すでに受信した画像のうち最新の画像を用いることにより、見直しにおいて時間遅れが起きないようにする。

### 4. テレプレゼンスシステムの実装

前節の手法を用いてネットワーク対応のテレプレゼンスシステムを実装した。利用者に画像を提示する没入型ディスプレイとしてヘッドマウントディスプレイ(HMD)と球面型ディスプレイの 2 種類のシステムを実装した。

#### 4.1. HMD を用いたシステム

図 5 のようなシステム構成により、表示デバイスとして HMD を使用する場合のテレプレゼンスシステムを実装した。システム構成機器および使用した全方位ハイビジョンカメラの仕様を表 1 と表 2 に示す。表 2 の双曲面ミラーのパラメータ a, b はミラーの形状を決定するパラメータである。送信側計算機と受信側計算機にはほぼ同じ性能の計算機を用い、ネットワークには有線 1000Base-T の学内 LAN を用いて全方位ハイビジョン画像を非圧縮で伝送する。

表 1 構成機器

カメラ	全方位ハイビジョンカメラ
HMD	OLYMPUS Mediamask 画素数(512,880pixels)
送受信計算機	SGI ONYX3400 (R14000,500MHZ, 16CPU(1CPU used), メモリ 16GB)
3D 磁気トラッカ	POLHEMUS 3SPACE Fastrak

表 2 全方位ハイビジョンカメラの仕様  
双曲面ミラー

a	39.2931mm
b	55.4982mm
ミラー径	90mm

レンズ FUJINON HA 15×8BERM

焦点距離	8-120mm
視野角(ワイド靖)	61° 52" ×37° 14"

ハイビジョンカメラ SONY DXC-H10

CCD	2/3inch 3 板式
有効画素数	1920×1035

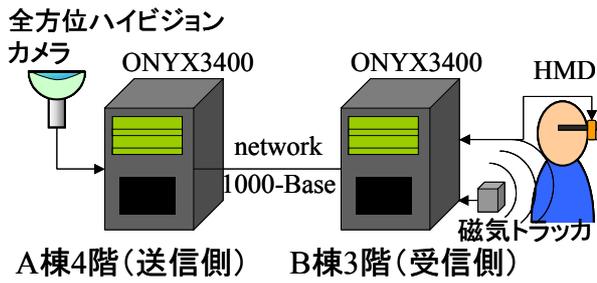


図 5 HMD を用いたシステム構成

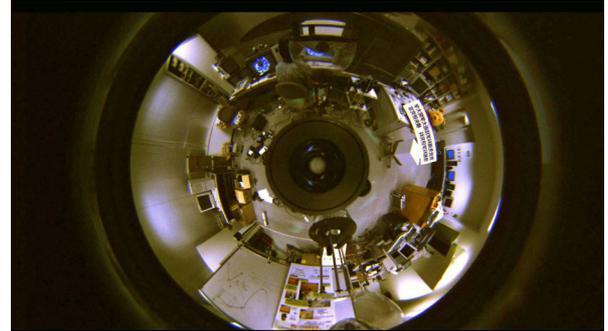


図 7 入力全方位画像

#### 4.2. 球面型ディスプレイを用いたシステム

表示デバイスとして HMD の代わりに球面型投影ディスプレイを使用してテレプレゼンスシステムを構築した。球面型ディスプレイには,Elumens 社の VISION STATION を用いた。球面型ディスプレイの外観を図 6 に示す。このディスプレイは,外径約 1.6m の球面スクリーンに解像度 1024×768 の画像を投影することによりユーザーに水平視野角 180° の没入感の高い画像を提示することができる。システムの構成としては,送信側のほうは HMD を使うときと同じである。受信側においては利用者が磁気センサを手で持って動かすことによりどの方向の画像を提示するかを決定する。磁気センサから得られた方位情報を計算機に取り込み,送信されてきた全方位ハイビジョン画像より利用者が見たい方向の球面透視投影画像を生成し,球面型ディスプレイに映し,利用者に提示する。例として図 7 の全方位ハイビジョン画像の一部を球面透視投影画像に変換した画像を図 8 に示す。また実際に図 8 の画像を球面型ディスプレイに映した様子を図 9 に示す。

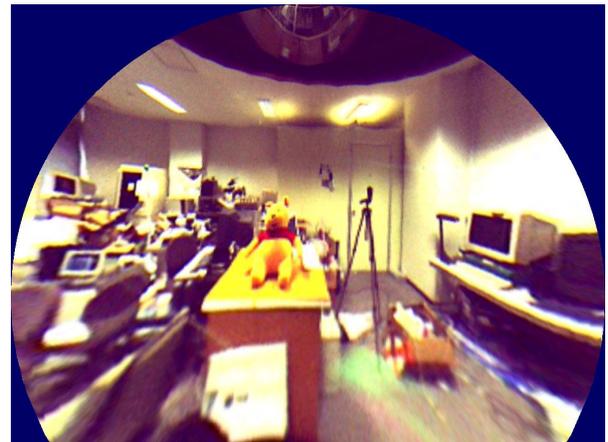


図 8 球面透視投影画像

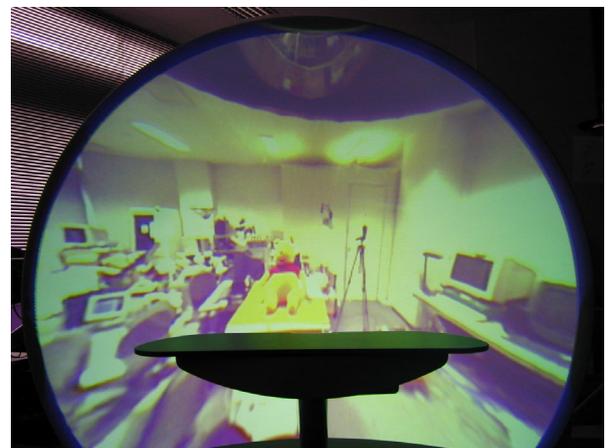


図 9 VISION STATION へ映した様子



図 6 球面型ディスプレイ (VISION STATION)

#### 5. 実験

前節で説明したテレプレゼンスシステムの動作確認とフレームレートの計測のために実験を行った。実験環境としては,本学情報科学研究科 A 棟 4 階を送信側とし,全方位ハイビジョンカメラを設置して周囲 360° の情景を撮影し,B 棟 3 階を受信側とした。球面ディスプレイを使用する場合には,全方位ハイビジョンカメラの位置を HMD を使用する場合と同じ A 棟 4 階ではあるが,異なる位置に設置した。ネットワークには有線

1000Base-T の学内 LAN を用い,全方位ハイビジョン画像を非圧縮で伝送した.

まず HMD を用いた実験を行った.送信側では全方位ハイビジョンカメラの周辺を人物が動き回り,受信側では頭部に HMD を装着した利用者が提示された画像を見て,カメラの周辺を動き回っている人物を追いかけた.そのときの入力全方位ハイビジョン画像と出力された平面透視投影画像を図 10 に示す.実験の結果,見回しによる時間遅延は 44.1ms 以内であり,ほとんど時間遅延を感じることなく人物を追い続けることができた.フレームレートは約 17fps であり,ビデオレートである 30fps ではなかったものの,違和感なく画像の提示が行えた.フレームレートが約 17fps しかなかった大きな原因はネットワークの伝送が原因と考えられる.計算するとこのシステムにおいて画像の通信レートが約 400Mbps あり,1000Base-T の有効通信レートとほぼ同じ値と考えられる. また送信側でシーンを撮影してからそのシーンが受信側の利用者に提示されるまで,約 2 秒の遅延があった.

次に表示デバイスに球面型ディスプレイを用いた実験を行った.HMD を用いた場合と同様に送信側で全方位ハイビジョンカメラの周辺を人物が動き回り,受信側では利用者が手に持った磁気センサによりカメラの周辺を動き回っている人物を追いかけた.そのときの入力全方位ハイビジョン画像と出力された球面透視投影画像を図 11 に示す.実験の結果,見回しによる時間遅延は 44.7ms 以内であり,HMD を用いた場合と同様にほとんど時間遅れなく人物を追いかけることができ,HMD を使用する場合より視野が広く,没入感が上がった.フレームレートは約 15fps であり,違和感なく画像の提示が行えた.時間遅延とフレームレートが HMD を使用した場合と比較して遅くなっているが,これは受信側での画像変換にかかる時間が HMD を使用したときより長くなっているからと考えられる.また送信側でシーンを撮影してからそのシーンが受信側の利用者に提示されるまで,HMD を用いた場合と同様に約 2 秒の遅延があった.

## 6. おわりに

本報告では全方位ハイビジョンビデオカメラを用いたネットワーク対応の没入型実時間テレプレゼンスシステムについて述べた.表示デバイスとして HMD と球面型ディスプレイを用いた.実験では,HMD を使用した場合には見回しにおいて,スムーズに人物を追いかけることができた.球面型ディスプレイを使用した場合は,HMD を使用するより視野が広く,没入感が上がった.また見回しによる時間遅延はほとんどなく利用者に提示される画像は HMD を使用した場合は約 17fps,球面

型ディスプレイを使用した場合には約 15fps で違和感なく画像を提示できた.しかしさらに臨場感を出すためにはフレームレートを上げる必要がある.だが 1000-Base-T のネットワークで非圧縮画像を伝送した場合,今のフレームレートが限界である.

今後の課題としては HMD,球面ディスプレイだけでなく,円筒型ディスプレイなど様々なディスプレイを使用することにより今回提案したテレプレゼンスシステムよりさらに没入感を上げて,利用者に楽しんでもらえるシステムにすることや,画像の圧縮・展開を行うことによりネットワークを流れるデータ量を削減し,フレームレートを改善しさらにスピードの遅いネットワークでも利用可能にすること,ロボットの遠隔操縦に応用するためにネットワークによる時間遅延を少なくすること,また提案したシステムは一人しか見回すことができないので,複数人が見回せるシステムにすることなどが挙げられる.

## 文 献

- [1] “Special issue on immersive telepresence,” IEEE Multi Media, vol.4, no.1, pp.17-56, 1997.
- [2] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya: “Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams,” Computer Vision and Image Understanding, Vol.71, No.2, pp.154-165, 1998.
- [3] 山澤,竹村,横矢:“全方位HDカメラを用いたテレプレゼンスシステム”,信学技報,PRMU2001-48, pp.31-36, 2001.
- [4] 森田,山澤,横矢:“全方位画像センサによるネットワークを介したテレプレゼンスと遠隔監視システム”,信学技報,PRMU2002-83, pp.19-24, 2002.
- [5] Z.L.Cao, S.J.Oh, and E.L. Hall: “Dynamic Omnidirectional vision for mobile robots”, J. Robotic Systems, Vol.3, No1, pp5-17, 1995.
- [6] J.Hong, X.Tan, B.Pinette, R.Weiss, and E.M.Riseman: “Image-based homing”, Proc. Int. Conf. On Robotics and Automation, pp.620-625, 1991.
- [7] 山澤,八木,谷内田:“移動ロボットのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案”,信学論, Vol. J79-D-II, No.5, pp.698-707, 1996.

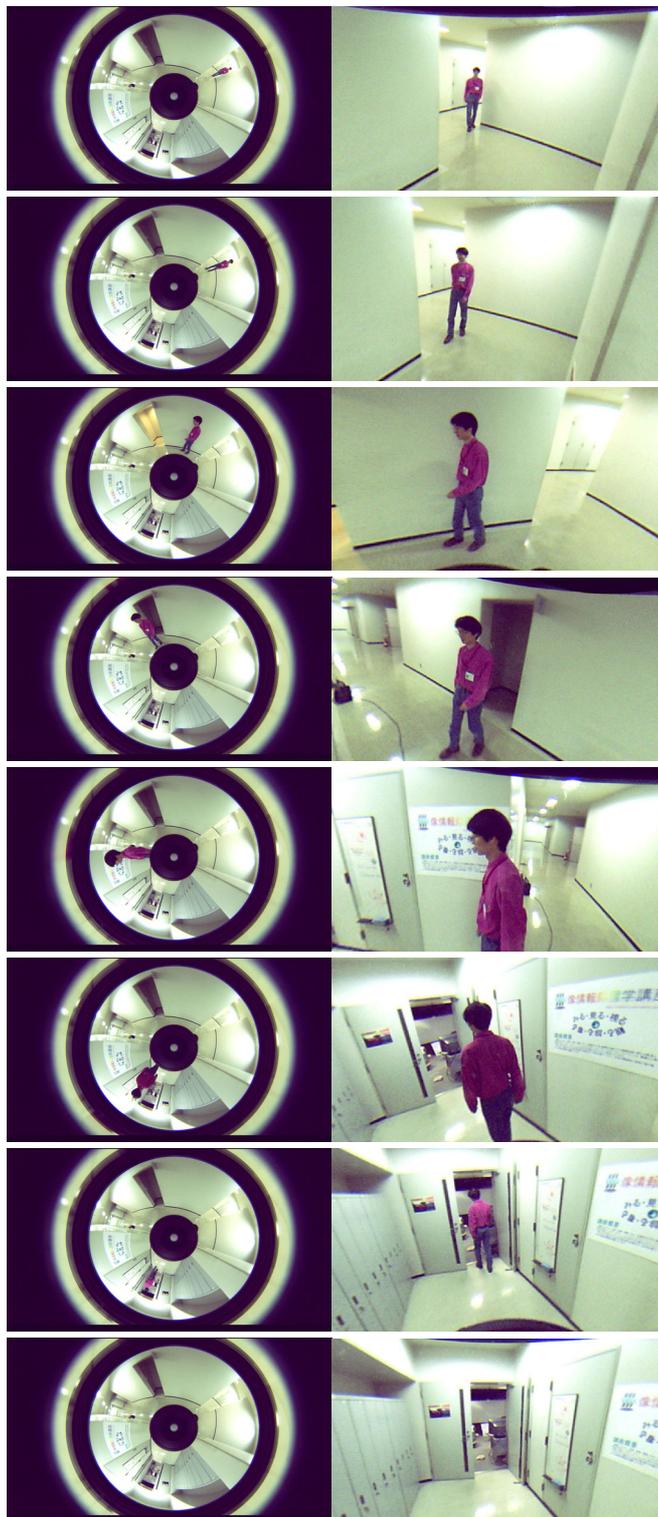


図 10 入力全方位画像(左)と出力画像(右)



図 11 入力全方位画像(左)と出力画像(右)