

NAIST-IS-MT9651023

修士論文

全方位画像からの透視投影画像実時間生成システム

尾上 良雄

1998年 2月 13日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

尾上 良雄

指導教官： 横矢 直和 教授
千原 國宏 教授
竹村 治雄 助教授

全方位画像からの透視投影画像実時間生成システム*

尾上 良雄

内容梗概

遠隔通信会議や監視システムなどにおいて，遠隔地の情景を広範囲に獲得する必要性が高まっている．遠隔地の情景を広範囲にわたって獲得するためには，回転台にとりつけたカメラを利用するのが一般的である．しかし，この方法では任意方向の画像を得るために実際にカメラを回転させなければならず，画像獲得までに時間遅延が生じてしまう．遠隔通信会議や監視システムなどでは，使用者が広範囲にわたり任意方向の画像を即座に獲得できることが望ましい．本研究では，全方位視覚センサで得られた全方位画像から任意方向の平面透視投影画像を生成する手法を開発した．これにより，即座に任意方向の画像を得ることが可能になった．

本研究ではこの手法を応用し，2つの遠隔地画像提示システムを開発した．1つ目は使用者の注視したい方向の画像をマウスの位置や実際の視線方向を検出することにより提示するシステムであり，2つ目は背景差分により移動物体を検出しその画像を提示するシステムである．これらのシステムを実装した結果，前者のシステムでは使用者の注視したい方向を1/30sの更新間隔で51.5ms以内に見渡せ，後者のシステムでは移動物体を追跡しその方向の画像を使用者自らカメラ方向を制御することなく秒5.3枚で得られるようになった．

キーワード

全方位画像センサ，平面透視投影画像生成，HyperOmni Vision

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文，NAIST-IS-MT9651023, 1998年2月13日．

Real-Time Perspective Image Generation Systems Based on Omnidirectional Image Acquisition*

Yoshio Onoe

Abstract

It has become more important to acquire an image of a scene in the distance in the fields of tele-conferencing and surveillance. Most of conventional systems use a rotating camera and thus suffer from the significant time delay. In this research, a novel technique is proposed to reduce the time delay. A perspective image is constructed from an omnidirectional image acquired with an omnidirectional imaging sensor.

In this paper two prototype systems are developed. One generates a perspective image in any direction acquired by using a mouse or tracking user's viewing direction by 3D magnetic tracker. The other presents a perspective image that contains a moving object acquired by difference calculation between a present image and a background image in omnidirectional images. Using these systems a user can look around a scene in the distance and can watch a moving object without a camera direction control.

Keywords:

omnidirectional image sensor, perspective image generation, HyperOmni Vision

*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9651023, February 13, 1998.

目次

1. はじめに	1
1.1 遠隔地画像獲得のための従来手法	1
1.2 本研究の概要	3
2. 全方位視覚センサ HyperOmni Vision	6
2.1 HyperOmni Vision の特徴	6
2.2 全方位画像と平面透視投影画像	8
3. 全方位画像からの平面透視投影画像実時間生成	10
3.1 画像生成アルゴリズム	10
3.2 最適な格子数の選択	12
4. 任意方向注視型遠隔地画像提示システム	16
4.1 システム構成	16
4.2 実験と結果	20
4.3 考察	23
5. 移動物体注視型遠隔地画像提示システム	24
5.1 移動物体の注視	24
5.2 システム構成	24
5.3 実験と結果	26
5.4 考察	27
6. おわりに	30
謝辞	31
参考文献	32

目 次

1	カメラの向きを制御するシステム	2
2	QuickTime VR	2
3	Virtual Dome	2
4	HyperOmni Vision の外観と光学系	7
5	全方位画像と平面透視投影画像の関係	8
6	入力画像 (左) と 3次元空間中の変換座標 (右)	12
7	格子数と計算時間	13
8	標本画像と配置	13
9	格子数と画像の幾何学的歪み	14
10	マウスを用いた任意方向注視型システムの構成	17
11	HMD を用いた任意方向注視型システムの構成	18
12	マウスを用いた任意方向注視型システム実行の様子	19
13	マウスを用いた任意方向注視型システムの実行時間	20
14	HMD を用いた任意方向注視型システム実行の様子	21
15	HMD を用いた任意方向注視型システムの実行時間	22
16	移動物体の抽出法	25
17	移動物体注視型システムの構成	26
18	移動物体注視型システムに用いた背景画像	27
19	移動物体注視型システム実行の様子	28
20	移動物体注視型システムの実行時間	29

表 目 次

1	HyperOmni Vision のパラメータ値	6
2	マウスを用いた任意方向注視型システムの使用機器	17
3	HMD を用いた任意方向注視型システムの使用機器	18
4	移動物体注視型システムの使用機器	29

1. はじめに

近年，多人数による遠隔通信会議が盛んに行なわれるようになってきている．こうした会議の参加者は，遠隔地の様子を知るためにビデオカメラで撮影された画像を獲得する．画像は音声や文字に比べて情報量が大きく，画像を獲得することで身振りや表情を理解でき，豊かなコミュニケーションをはかることができる．従来の遠隔通信会議システムでは，一般に固定されたカメラまたは方向が制御できるカメラを用いていた．このようなシステムでは視野が狭いことや方向を変えるのに時間がかかるといった問題があり，臨場感が乏しかった．また，遠隔地を監視するシステムにおいても一般に同様の手法が用いられ，同様の問題により広範囲を移動する物体などの追跡が難しかった．本研究では，遠隔地を自由に見渡すことができるシステムを開発する．この章では遠隔地画像獲得のための従来手法とその問題点，および，本研究の概要について述べる．

1.1 遠隔地画像獲得のための従来手法

遠隔地の画像を獲得するためには CCD カメラなどの視覚センサの使用が一般的であるが，観測視野がレンズの画角により制限されるため広範囲にわたり利用者が遠隔地を把握することは困難である．この問題を解決するために，カメラの向きを使用者が制御しその画像を獲得する方法が考えられる (図 1)．このシステムの利用者は，注視したい方向を遠隔地に伝えビデオカメラを実際に動かしてその方向の画像を得る．これは広範囲の画像を得るためには簡便な方法である．しかし，この方法では，ビデオカメラを実際に動かすため機械的な時間遅延が生じてしまう．また，ビデオ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が問題になる．遠隔通信会議などにおいて，これらの遅延は重大な問題となる．その他の問題点として，複数人が任意の方向を見わたすためには複数のシステムが必要であることが挙げられる．

広範囲の任意方向を注視できる手法として，静止画を利用した QuickTime VR[1] が知られている (図 2)．この手法では，あらかじめ計算機内にパノラマ画像を持っており，その中から利用者の注視したい方向の平面透視投影画像を生成して提示

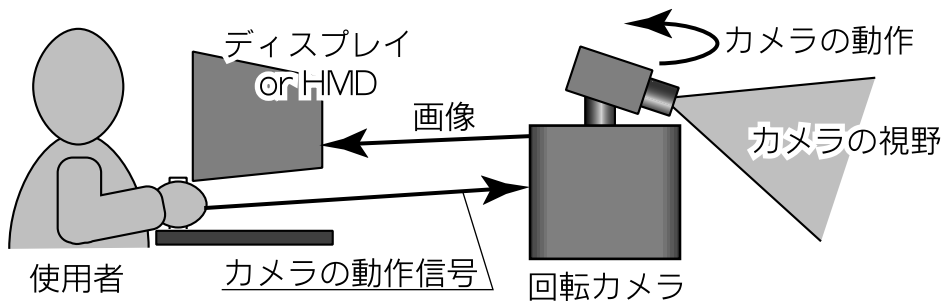


図 1 カメラの向きを制御するシステム

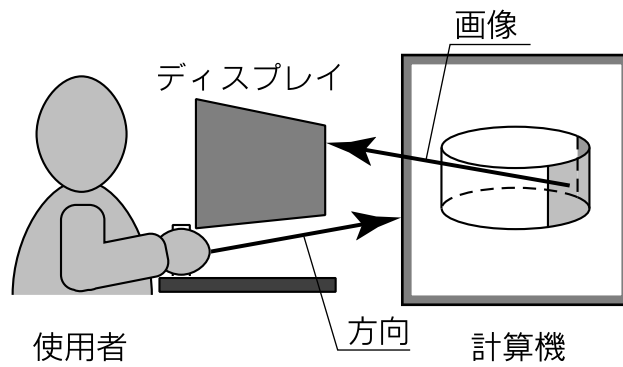


図 2 QuickTime VR

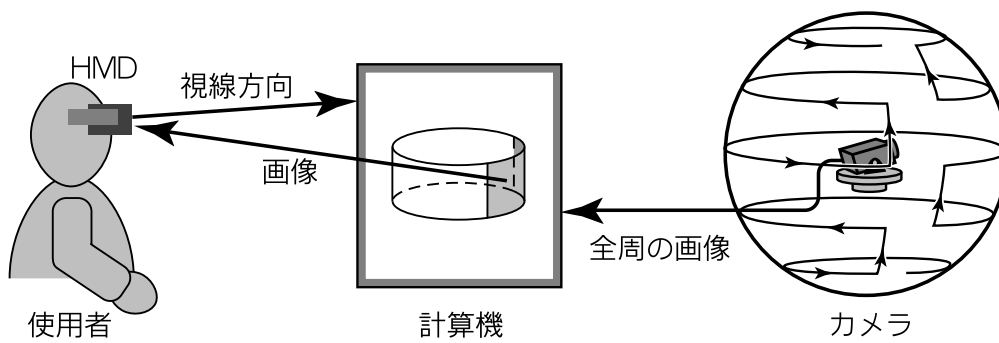


図 3 Virtual Dome

する。この中で、利用者は上下・左右の任意方向を見渡せる。しかし QuickTime VR では、パノラマ画像を回転カメラや何枚ものスチル写真のつなぎ合わせで作成しており、動画像を扱うのは難しい。

時間遅れ少なく任意方向の画像が得られる例として Virtual Dome[2] が挙げられる。このシステムはカメラを常時回転させて全周の画像を生成・更新し、その画像から見ている方向の画像を切り出して利用者の装着する HMD に提示する (図 3)。このシステムを用いると、使用者は任意方向の動画像を獲得することができる。しかし、カメラを回転させるのに時間がかかり画像が更新されるまでに時間遅延が生じる。

さらに、監視システムなどにおいては監視カメラに写った移動物体を常に注視しておきたいという要求がある。こうすることによって、侵入者などを監視することができる。この要求を満たすためには、利用者が手動でカメラの方向を制御しそのカメラからの画像を得る方法と、入力画像から物体の動きを予想し自動でカメラの方向を制御してそのカメラからの画像を得る方法 [3] [4] [5] が考えられる。前者では利用者が常に撮影された画像に注視しておかなければならない。後者では広範囲にわたり物体を追従できるが、高速な動きなどにより物体がカメラの視野から外れた場合、物体の動きが予想できなくなり追跡に失敗する可能性がある。

1.2 本研究の概要

遠隔通信会議や監視カメラなどで、観察者が遠隔地の情景を的確に把握するためには、遠隔地を広範囲にわたり注視できることが望ましい。前節で述べたように、ビデオカメラの方向を制御し様々な方向の画像を得る場合は指示をしてから画像を得るまでに時間遅延が生じ、Virtual Dome では画像が更新されるまでに時間遅延が生じる。これらの時間遅延の問題を解決するため、本研究では遠隔地の周囲 360 度の画像を同時に取得・伝送し、計算機により任意方向の画像を生成する方法を提案する。本手法はカメラを動かすような機械的な動きがなく、カメラの方向の指示を遠隔地へ伝送する必要がないため、注視したい方向を指示してから時間遅延なくその方向の画像を得ることができる。

今までに、観測位置において周囲 360 度の画像を同時に取得できる様々な全方位視覚センサが提案されている [6] [7] [8] [9]. これらのセンサは何らかのミラーを介して周囲 360 度の情景を一つのカメラで撮像するものである. このようなセンサで得られる全方位画像には周囲 360 度の情報が含まれているが, 我々が通常目にする平面透視投影画像ではないため人間が周囲の状況を理解することには適さない. 本論文では, 全方位視覚センサとして双曲面ミラーを用いた HyperOmni Vision[10] を用いる. HyperOmni Vision で得られた全方位画像からは, 既存の画像処理の幾何学的変換によって, ミラー焦点から見た平面透視投影画像の生成ができるためである. 透視投影カメラを用いている全方位視覚センサで, この生成ができるのは HyperOmni Vision だけである. なお, この詳細は次章で説明する.

遠隔通信会議や監視システムなどでの使用を考えると, 実時間で任意の方向の平面透視投影画像を獲得する必要がある. 本研究では, 実時間で任意の方向の平面透視投影画像を獲得するために, 後述の簡易生成手法 [11] [12] を新しく開発した. 類似した方法として Nayar らの方法 [13] があるが, この方法では正確な生成を行なっているので実時間で平面透視投影画像の方向を変えることは困難である.

さらに, 本研究では, 開発した手法を応用し 2 つの遠隔地画像提示システムを開発する. まず 1 つ目はマウスでの指示や実際の視線方向の検出により使用者が注視したい方向の画像を獲得できるシステムであり, 2 つ目は背景差分により自動で移動物体の注視が可能なシステムである. これらのシステムを実装した結果, 前者のシステムにより使用者は時間遅れ少なく任意方向を注視できるようになった. また, 後者のシステムにより使用者は自らカメラ方向を制御することなく移動物体を注視できるようになった.

以下, 2 章では, 本研究で全方位画像を撮影するために用いた全方位視覚センサ HyperOmni Vision について説明する. 3 章では, 全方位視覚センサで獲得される全方位画像から, 通常人間が見ている平面透視投影画像の簡易生成手法について述べる. 4 章・5 章では, それぞれ本研究で作成した任意方向注視型遠隔地画像提示システムと移動物体注視型遠隔地画像提示システムについて述べ, それぞれの実験結果と考察について述べる. 最後に 6 章で, 本論文のまとめとして,

結論と今後の課題について述べる.

2. 全方位視覚センサ HyperOmni Vision

HyperOmni Vision[10] は双曲面ミラーを用いた全方位視覚センサであり，センサの周囲 360 度の画像を一度に取得できる．また，他の全方位視覚センサとは異なり光学系の特性が透視投影であるため，得られる全方位画像から平面透視投影画像を生成できる．以下では，HyperOmni Vision の特徴や得られる全方位画像の特徴について述べる．

2.1 HyperOmni Vision の特徴

図 4左に HyperOmni Vision の外観，図 4右に光学系の構成を示す．HyperOmni Vision は，下向きに設置した双曲面ミラーに写り込んだ鏡像を，上向きに設置したビデオカメラで撮影するものである．その双曲面には回転 2 葉双曲面を用いており，図 4右のように 2 焦点 O_M, O_C がある．双曲面ミラーの外側にある焦点 O_C にレンズ中心がくるように，カメラを鉛直上向きに取り付ける．ここで図 4右に示すように Z 軸を鉛直軸とする 3 次元ワールド座標系を考えると，双曲面ミラーの面，双曲面ミラーの焦点 O_M ，ならびにカメラのレンズ中心 O_C は次式で表せる (a, b, c, f の値は表 1参照)．

表 1 HyperOmni Vision パラメータ値

a	42.1 mm
b	42.7 mm
c	60.0 mm
焦点距離 f	5.4-64.8 mm
撮像素子	1/3" IT CCD

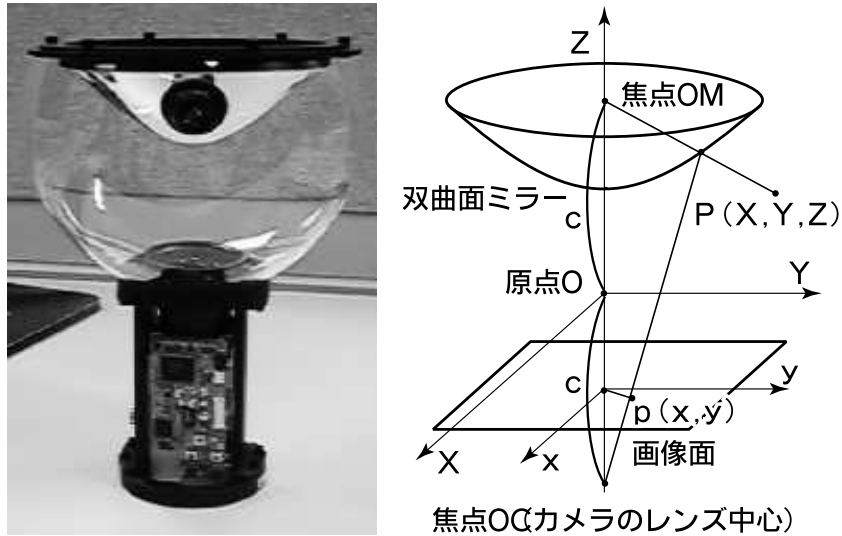
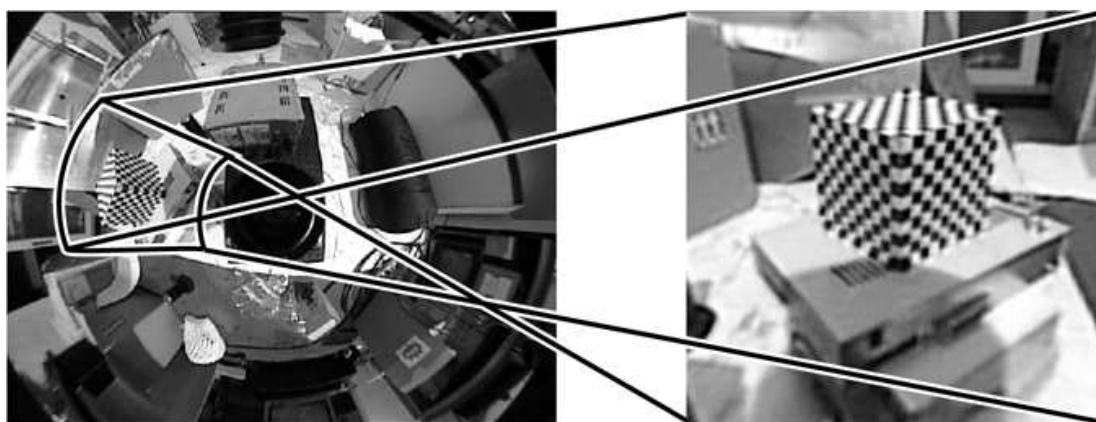


図 4 HyperOmni Vision の外観と光学系

$$\begin{aligned}
 \text{ミラー面} & : \frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1 \\
 & \quad (Z > 0) \\
 \text{ミラー焦点 } O_M & : (0, 0, +c) \\
 & \quad (c = \sqrt{a^2 + b^2}) \\
 \text{カメラレンズ中心 } O_C & : (0, 0, -c) \\
 \text{ただし, } a, b, c & : \text{ 双曲面ミラーのパラメータ}
 \end{aligned} \tag{1}$$

内側の焦点 O_M に集まる像は双曲面ミラーに反射して、外側の焦点 O_C に集まる。ここで、 O_C にレンズ中心を置いたカメラで全方位の画像を撮影すると、双曲面の特性により、3次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ と全方位画像上の写像点 $p(x, y)$ の間には式 (2) の関係が成立する。したがって、焦点 O_C で撮影された全方位画像上の点の位置から、その点に対応する3次元空間中の点を焦点 O_M から見た方向が解り、平面に投影することにより平面透視投影画像を生成できる。



(a) 全方位画像

(b) 平面透視投影画像

図 5 全方位画像と平面透視投影画像の関係

$$\begin{aligned}
 x &= X \times f \times \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \\
 y &= Y \times f \times \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

2.2 全方位画像と平面透視投影画像

HyperOmni Vision を用いて得られる全方位画像の例を図 5(a) に示す. 同図からわかるように, 全方位画像には周囲 360 度の情報が含まれている.

この全方位画像から前節で述べた方法を用いて平面透視投影画像を生成したものを図 5(b) に示す. この平面透視投影画像は, 同図 (a) の全方位画像上の枠内の像と対応している. 通常この平面透視投影画像を生成するためには, 平面透視投影画像上の全ての画素に対応する全方位画像上の対応点の位置を求め, その全方位画像上の対応点の色を平面透視投影画像内の各画素に張り付けなければならない. しかし, この方法では対応点の計算量が大きくなる. SGI 社の Indigo2(R4400, 250MHz) を用いてこの計算を行なうと, 720x486 の全方位画像から同じ大きさの

平面透視投影画像を生成するのに 5.5 秒かかり，実時間で任意方向の平面透視投影画像を生成することは難しい．このため本研究では次章に示すアルゴリズムを用いて，簡易的な画像変換を行なう．

3. 全方位画像からの平面透視投影画像実時間生成

3.1 画像生成アルゴリズム

HyperOmni Vision で撮影された全方位画像は，人間が通常見ている平面透視投影画像でないため，全方位画像そのものを使って直観的に人間が周囲の状況を把握することは難しい．しかし，HyperOmni Vision は光学系の特性が透視投影であるため，得られる全方位画像よりミラー焦点から見た通常の平面透視投影画像を生成できる．しかしながら正確な平面透視投影画像を生成するための対応点計算は計算量が多く，ビデオレートで行なうのは難しかった．そこで本研究では以下で述べる簡易生成手法により全方位画像より平面透視投影画像を生成する．

ビデオレートで平面透視投影画像を生成することが難しい原因は対応点計算の計算量が多いためである．計算量を減らすためには対応点計算に簡単な式を採用するか計算する対応点の数を減らす必要がある．本研究では生成する平面透視投影画像上に格子を設け，各格子点に対応する全方位画像上の点の座標はソフトウェアにより正確に求め，各格子の中は使用したハードウェアのテクスチャマッピング機能を利用することでビデオレートでの画像生成を実現した．この手法はハードウェアによるテクスチャマッピングが線形補間による画像変形であるため近似的な画像生成手法であるが，生成された画像は後述する遠隔地画像提示システムにおいて実用上の問題なく使用できる．以下に具体的な画像生成アルゴリズムを示す．

- 入力 (全方位) 画像座標 (x, y) ，変換 (透視投影) 画像座標 (u, v) ，3次元座標 (X, Y, Z) は図 6 のように定める
- 利用する定数として以下のものを定義する。
 - $N_x \times N_y$ 格子の数
 - $W \times H$ 変換画像のサイズ
 - f_h 視点と変換画像の間の焦点距離

1. 任意の方向を表す回転行列 R を得る．

任意方向を (方位角 α , 仰角 β , ロール角 γ) で表した場合，回転行列 R は以下

の式で表される.

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix} \quad (3)$$

2. For $i=0$ to N_x begin

(a) For $j=0$ to N_y begin

i. 変換画像上の格子点の座標を計算する.

$$u = \frac{W \times i}{N_x} - \frac{W}{2}$$

$$v = \frac{H \times j}{N_y} - \frac{H}{2}$$

ii. 変換画像上の格子点の座標を保存する.

$$Pers_{i,j} = (u, v)$$

iii. 変換画像上の格子点の方向を表す 3次元座標 (X, Y, Z) を計算する.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} u \\ v \\ -f_h \end{pmatrix}$$

iv. 式 (2) に (X, Y, Z) を代入して入力画像上の格子点の座標 (x, y) を求める.

v. 入力画像上の格子点の座標を保存する. $Omni_{i,j} = (x, y)$

(b) end

3. end

4. For $i=0$ to $N_x - 1$ begin

(a) For $j=0$ to $N_y - 1$ begin

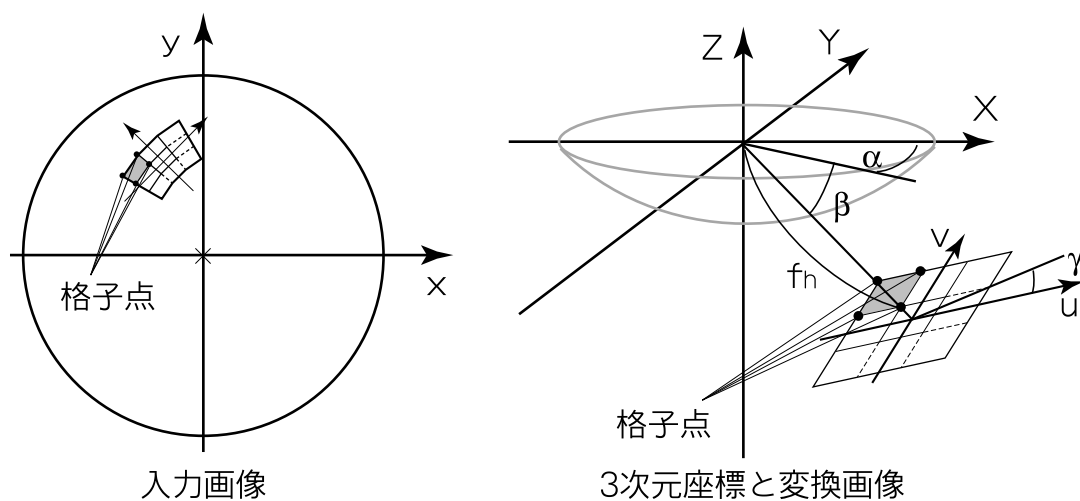


図 6 入力画像 (左) と 3 次元空間中の変換座標 (右)

- i. 入力画像上の $Omni_{i,j}$, $Omni_{i+1,j}$, $Omni_{i+1,j+1}$, $Omni_{i,j+1}$ で囲まれる領域を変換画像上の $Pers_{i,j}$, $Pers_{i+1,j}$, $Pers_{i+1,j+1}$, $Pers_{i,j+1}$ で囲まれる領域にハードウェアのテクスチャマッピング機能を用いて張りつける。(テクスチャマッピングには 2 次元線形補間 [14] を用いてワーピングする)

(b) end

5. end

以上により、疑似平面透視投影画像を生成する。このアルゴリズムをビデオレートで実行するためには使用する計算機の計算能力に合わせて格子の数 ($N_x \times N_y$) を、テクスチャマッピング能力に合わせて変換画像のサイズ ($W \times H$) を定めれば可能である。

3.2 最適な格子数の選択

前述の通り、全方位画像から平面透視投影画像の生成に格子を用いている。格子が粗ければ、ソフトウェアによる対応計算が少なくなるので画像生成時間は短くな

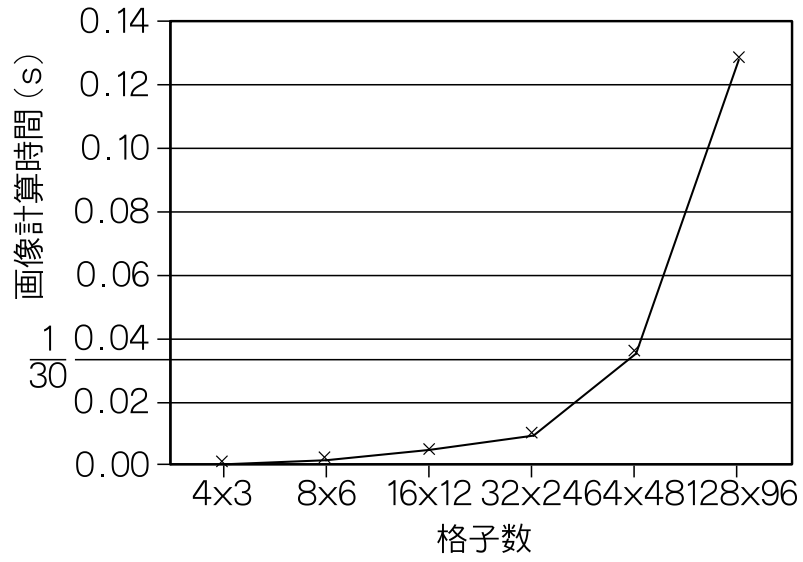


図 7 格子数と計算時間

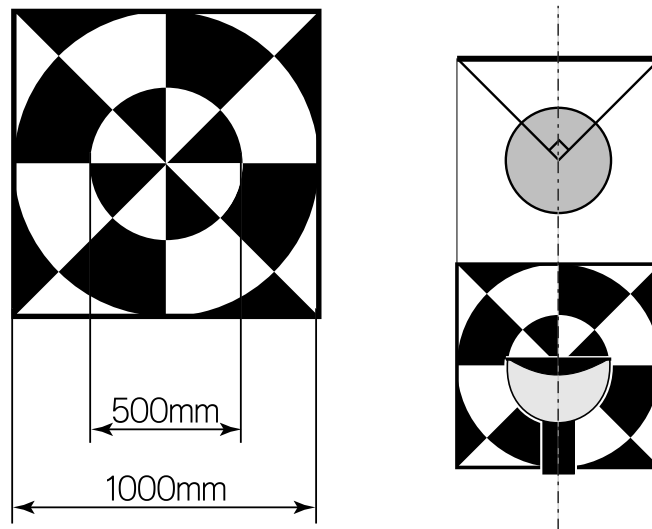


図 8 標本画像と配置

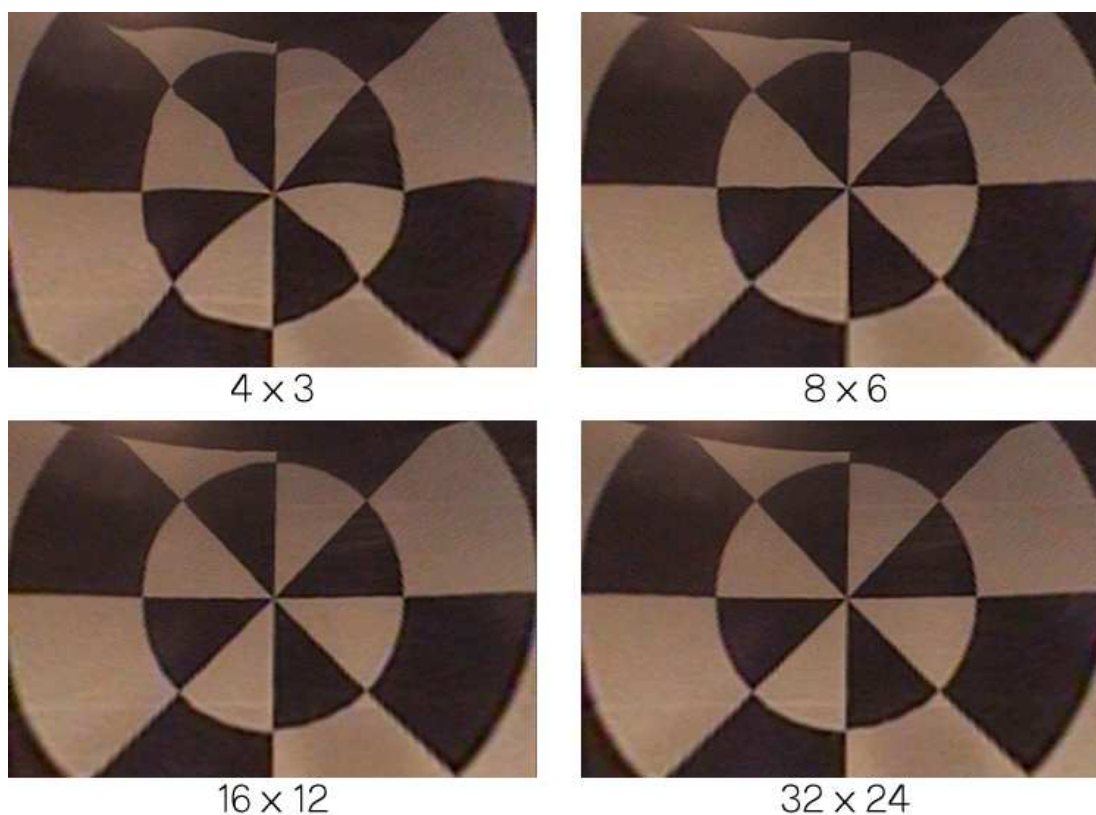


図 9 格子数と画像の幾何学的歪み

るが得られる画像が歪んでしまう．一方，格子が細かければ，画像の歪みは少ないがソフトウェアによる対応計算が多くなり画像生成に時間がかかってしまう．そこで，この節では，様々な格子数での画像生成時間と画像歪みの関係を調べ，最適な格子数を求める．ここで，計算機にはSGI社のIndigo2 Maximum Impact(R4400, 250MHz)を使用し，入力画像と生成画像の大きさはともに720x486である．

格子数と画像生成時間の関係を調べるために，定量的実験を行なった．図7に格子数と画像計算時間の関係を示す．ソフトウェアによる格子点の対応計算時間の実測値と，ハードウェアによる格子内のテクスチャマッピング処理時間のカタログスペックから求めた理論値の合計値である画像計算時間は，格子数に比例して増えており，格子数が32x24以下のときは画像更新時間である1/30秒以内で

画像変換できているのが解る。

つぎに，格子数が生成画像の幾何学歪みに及ぼす影響を調べるために，定性的実験を行った．対象として図 8 左のような縦横斜めの直線と円を含む白黒 2 階調の標本画像を全方位視覚センサで撮影し，様々な格子数で平面透視投影画像を生成した．ここで標本画像と全方位視覚センサは，同図右のように全方位視覚センサから標本画像への画角が 90 度になり，かつ，全方位視覚センサ内の双曲面ミラーの焦点と画像の中心が水平になるように配置した．図 9 に格子数が 4x3, 8x6, 16x12, 32x24 の場合の生成画像を示す．格子数が 4x3 の場合，変換画像が大きく湾曲している．格子数が 8x6 の場合，変換画像は 4x3 の場合と比べてかなり改善されたが，まだ違和感が残る．格子数が 16x12 の場合は，全方位視覚センサで撮影された直線が，変換画像でほぼ直線に復元されて映っている．格子数が 32x24 の場合に交換された画像は，16x12 の場合に交換された画像と変わらない．

これらの予備実験により，画像更新間隔が 1/30 秒でかつ変換された画像に歪みを感じない格子数は，16x12 と 32x24 となる．生成された画像に有意性が認められない以上，格子数を細かくしても無意味であるので，今後の実験では使用する格子数を 16x12 とする．

4. 任意方向注視型遠隔地画像提示システム

遠隔通信会議などにおいて利用者にその場にいるのと同様の感覚を与えるためには、利用者が遠隔地の任意方向の画像を獲得する必要がある。また、監視システムなどにおいては、利用者が即座に様々な方向を注視する必要がある。本研究では、全方位視覚センサを用い、使用者が任意方向を見渡せるシステムを作成した。このシステムでは全方位の画像をあらかじめ取得して、周囲 360 度にわたり使用者の見渡したい方向の平面透視投影画像を提示する。

この章では、まず、この任意方向注視型システムの構成について述べる。そして、実際にそのシステムを構築しシステム実行時の遅延時間を計測した結果について述べる。最後にその考察について述べる。

4.1 システム構成

本研究では、全方位視覚センサで獲得された全方位画像から、使用者の注視したい方向の平面透視投影画像を生成し、提示するシステムを作成した。使用者の注視したい方向の指示の方法としては、様々なものが考えられる。ここでは、(a) マウスによる指示と (b) HMD の方向での指示による 2 種類の任意方向注視型システムを構築した。この任意方向注視型システムの構成を図 10, 図 11 に示し、実際に使用した機器を表 2, 表 3 に示す。ここで全方位画像や平面透視投影画像の解像度はともに 720x486 である。全体の処理の流れは、以下の通りである。

- (1) 全方位視覚センサ HyperOmni Vision で撮影した全方位画像を計算機に無線伝送する。
- (2) マウスの方向 (x, y) から注視したい方向 (α, β) に線形にマッピングする。あるいは、磁気トラッカで使用者の注視したい方向 (α, β, γ) を求める。
- (3) ステップ (2) で求めた注視したい方向の平面透視投影画像を生成し、表示装置に伝送する。

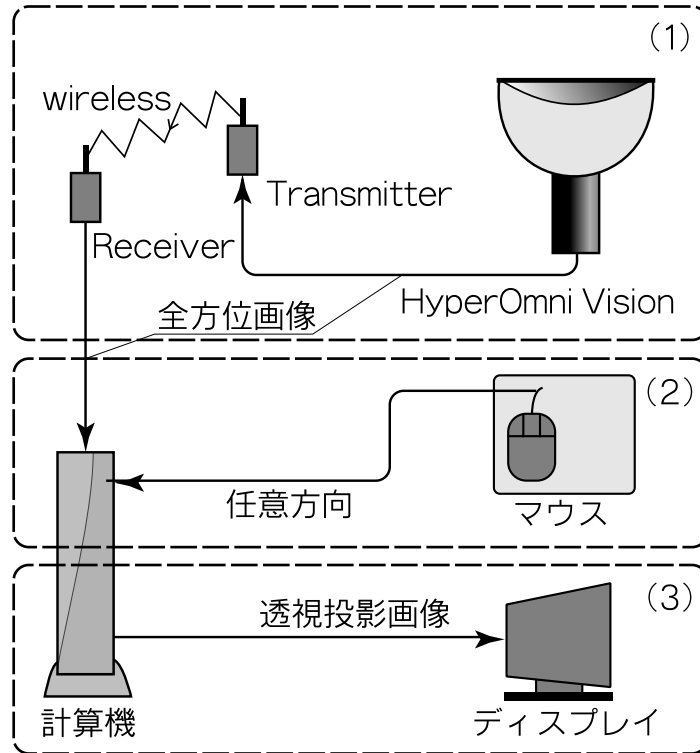


図 10 マウスを用いた任意方向注視型システムの構成

表 2 マウスを用いた任意方向注視型システムの使用機器

全方位視覚センサ	HyperOmni Vision ver.2
画像無線送受信器	Premier Wireless CS-200
計算機	SGI Indigo2 + Maximum Impact Video (R4400, 250MHz)
マウス	SGI 純正マウス
ディスプレイ	SGI 21 インチカラー CRT ディスプレイ

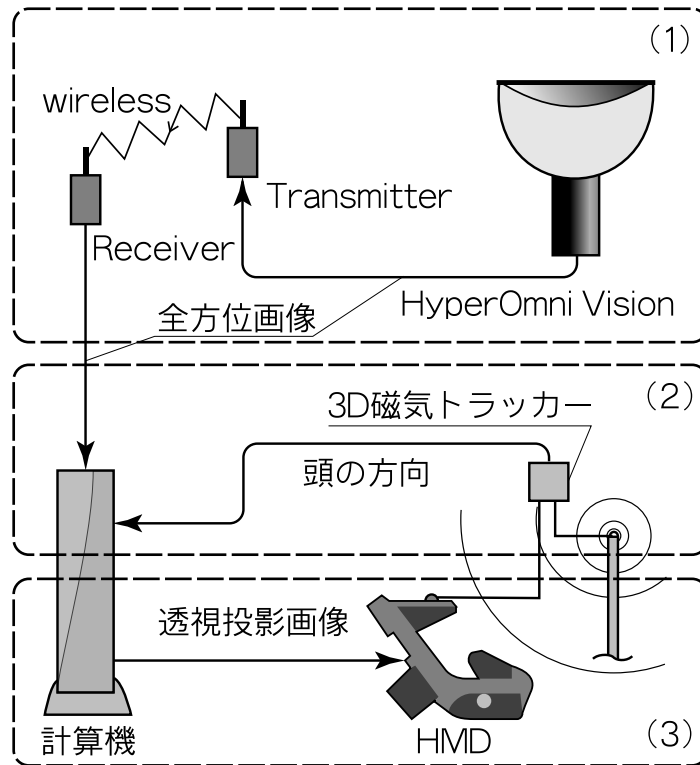


図 11 HMD を用いた任意方向注視型システムの構成

表 3 HMD を用いた任意方向注視型システムの使用機器

全方位視覚センサ	HyperOmni Vision ver.2
画像無線送受信器	Premier Wireless CS-200
計算機	SGI Indigo2 + Maximum Impact Video (R4400, 250MHz)
磁気トラッカー	POLHEMUS 3SPACE FASTRAK
HMD	OLYMPUS Mediamask

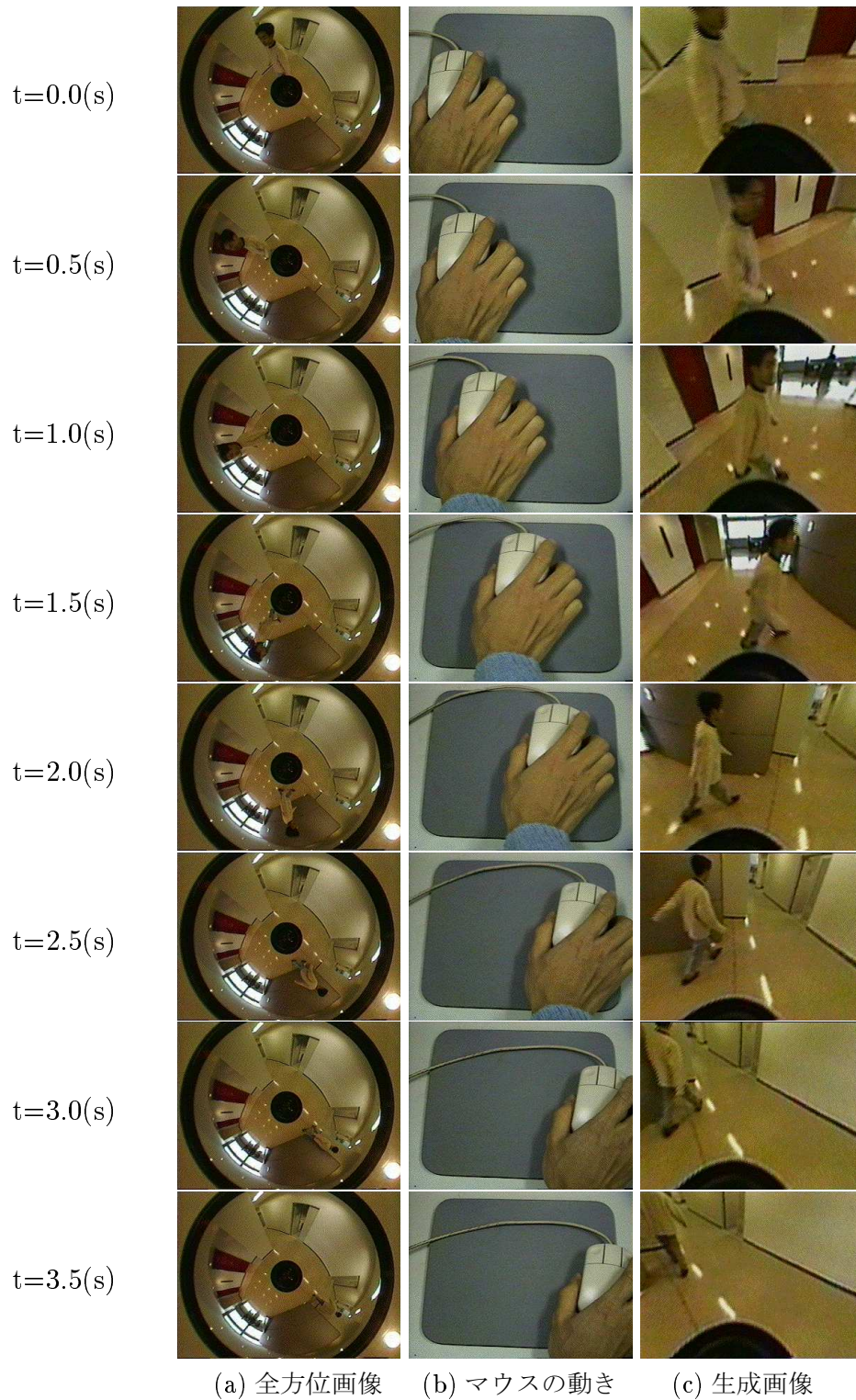


図 12 マウスを用いた任意方向注視型システム実行の様子

4.2 実験と結果

マウスによる注視したい方向の指示

マウスを用いた任意方向注視型システムの実行の様子を図 12 に示す。これらは 0.5 秒間隔の 8 枚の連続写真である。左列に得られた全方位画像を，中列にマウスの動きを，右列に得られた平面透視投影画像を示す。使用者は，マウスで指示を与えることによって，パン・チルトの 2 つの角度で生成される任意方向の平面透視投影画像を得ている。

このシステムの実行時間を図 13 に示す。画像計算時間は実測値であり，画像取り込み時間と画像表示時間は NTSC 信号の 1 フレームである $1/30\text{s}$ である。また，画像取り込みと画像計算のみ同期して行なわれている。まず，画像計算開始時のマウスの位置とそれより 33.3ms 前の画像が計算機に取り込まれる。それから， 9.9ms かかり格子点の対応計算・格子への画像張り込みが行なわれディスプレイへの表示が開始される。画像取り込み・画像生成・画像表示は並列に行なわれており，秒 30 枚の平面透視投影画像が得られている。

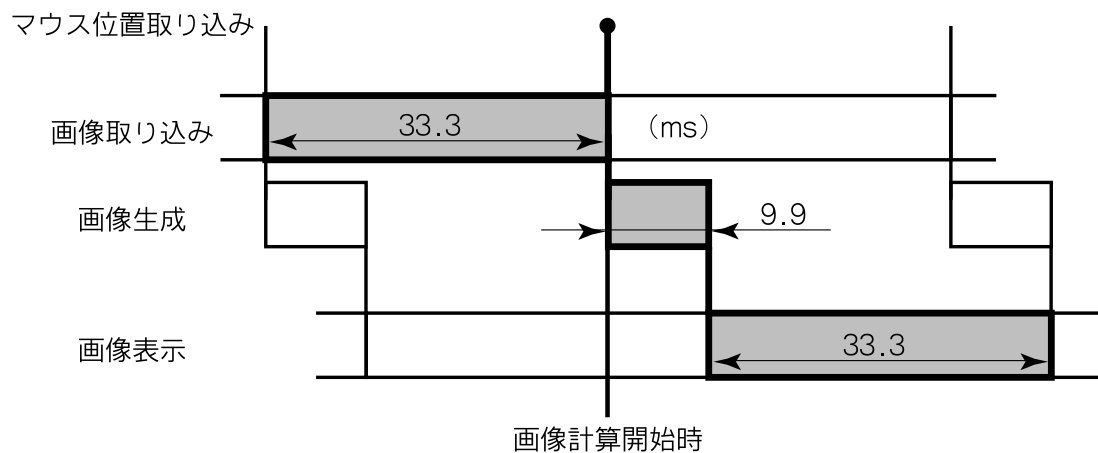
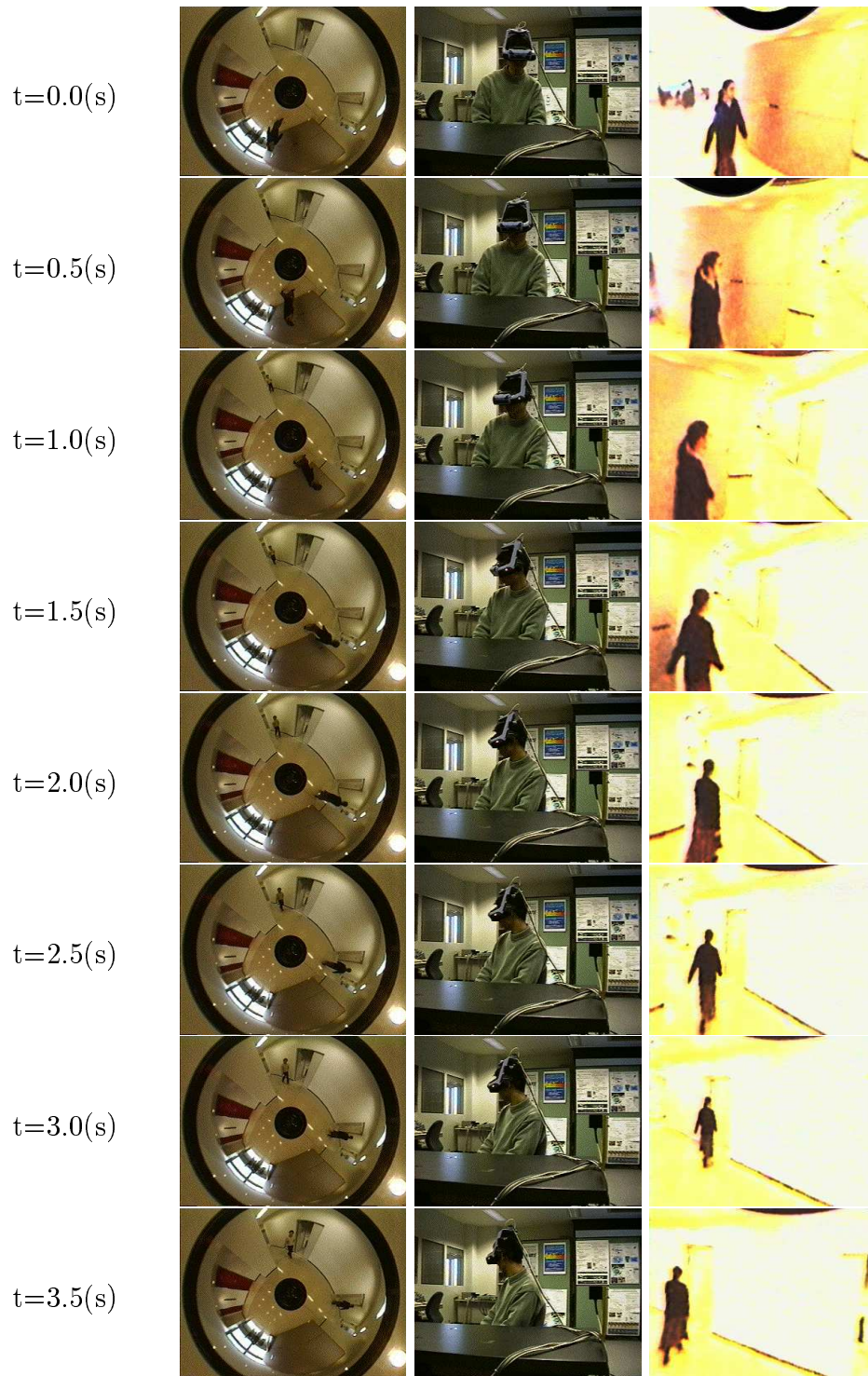


図 13 マウスを用いた任意方向注視型システムの実行時間



(a) 全方位画像 (b) 使用者の様子 (c) 生成画像

図 14 HMD を用いた任意方向注視型システム実行の様子

HMD の方向による注視したい方向の指示

HMD を用いた任意方向注視型システムの実行の様子を図 14 に示す。これらは 0.5 秒間隔の 8 枚の連続写真である。左列に得られた全方位画像を、中列に使用者の様子を、右列に得られた平面透視投影画像を示す。このシステムは、使用者の被る HMD に取りつけた磁気トラッカでパン・チルト・ロールの 3 つの回転角を検出し、その方向の平面透視投影画像を生成・提示している。

このシステムの実行時間を図 15 に示す。画像計算時間は実測値であり、画像取り込み時間・画像表示時間は NTSC 信号の 1 フレームである $1/30\text{s}$ である。また視線取り込み時間は使用した機器のカタログスペックである。また、画像取り込みと画像計算のみ同期して行なわれている。まず、画像計算開始時より 33.3ms 前の画像と 8.3ms 前の頭の方法が計算機に取り込まれる。それから、9.9ms かかり格子点の対応計算・格子への画像張り込みが行なわれ HMD への表示が開始される。視線取り込み・画像取り込み・画像生成・画像表示は並列に行なわれており、マウスを用いたシステムと同様に秒 30 枚の平面透視投影画像が得られている。

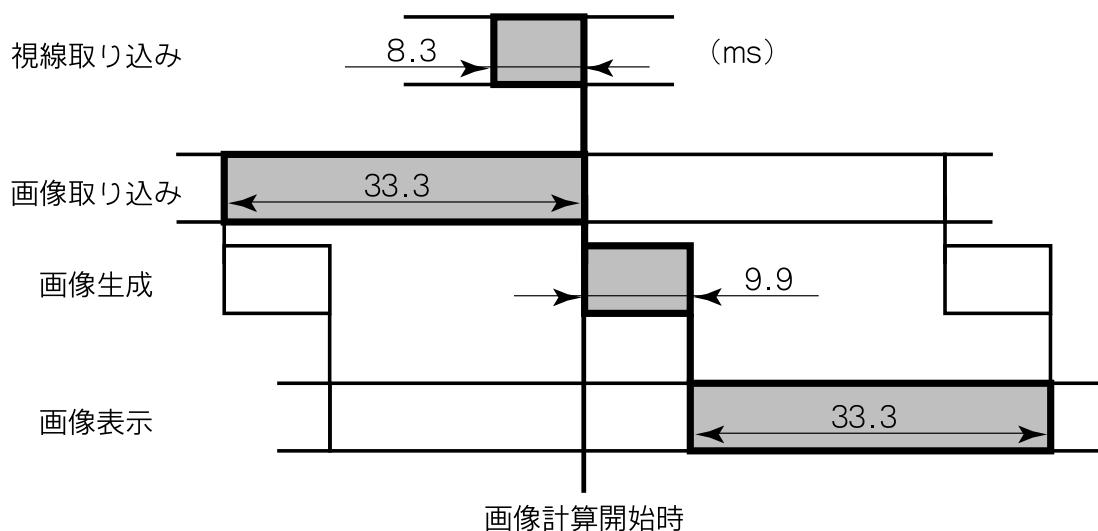


図 15 HMD を用いた任意方向注視型システムの実行時間

4.3 考察

この章では，本研究で作成した任意方向注視型透視投影画像提示システムについて述べた．本研究で作成したマウスやHMDを用いた任意方向注視型システムは見渡しに関する時間遅延が少なく，使用者は遠隔通信会議や監視システムにおいて任意方向の遠隔地画像を獲得できる．また，一枚の全方位画像を用いて複数の平面透視投影画像を作ることができるため，多人数がそれぞれ任意方向の遠隔地画像を獲得できるシステムにも拡張可能である．しかし，通信する距離が大きい場合，見渡しに関する時間遅延は少ないが通信時間の遅延がかかり，遠隔地に離れた使用者どうしの意思疎通に関しては問題がある．

本研究では一台のNTSC規格のビデオカメラで全方位の画像を撮影し，その一部分を変換して平面透視投影画像を提示しているため解像度には限界がある．より鮮明な画像を得るためには，全方位の画像を撮影するのに高解像度のカメラか複数台のカメラを用いる [15] 必要がある．

5. 移動物体注視型遠隔地画像提示システム

監視システムなどでは，遠隔地の画像を広範囲に獲得したいという要求とともに，新たに写った移動物体を常に注視しておきたいという要求がある．この要求を満たすため，移動物体を自動で注視するシステムを作成した．このシステムの特長として，周囲 360 度の広範囲にわたり自動で移動物体が注視できることや，移動物体の動く速度によらず必ず注視できることが挙げられる．

この章では，まず移動物体の注視方法について述べる．次に移動物体注視型監視システムの構成について述べる．そして，実際にそのシステムを構築しシステム実行時の遅延時間を計測した結果と，その考察について述べる．

5.1 移動物体の注視

移動物体を注視するためには，あらかじめ移動物体が存在しない時に撮影した背景画像 (図 16(a)) と入力画像 (図 16(b)) との差分を計算しその差分画像の重心 (図 16(c)) を注視する方法が考えられる．しかし，画像にノイズ等が存在するとその影響を受け，計算した重心が移動物体の中心とならない．本研究では安定して移動物体を注視するため以下の手順を踏んだ．

- (1) 全方位画像上で背景画像 (図 16(a)) と入力画像 (図 16(b)) の差分画像を生成する．
- (2) 連結性を考慮 [16] し，ステップ (1) で求めた差分画像のうち最大領域を抽出する (図 16(d))．
- (3) ステップ (2) で求めた抽出画像の重心 (図 16(e)) を求める．
- (4) ステップ (3) で求めた重心を中心とする平面透視投影画像を生成する．

5.2 システム構成

移動物体を注視するには，まず全方位画像に現われた移動物体の重心を求め，その重心を中心とする平面透視投影画像を作成する必要がある．本研究ではこの

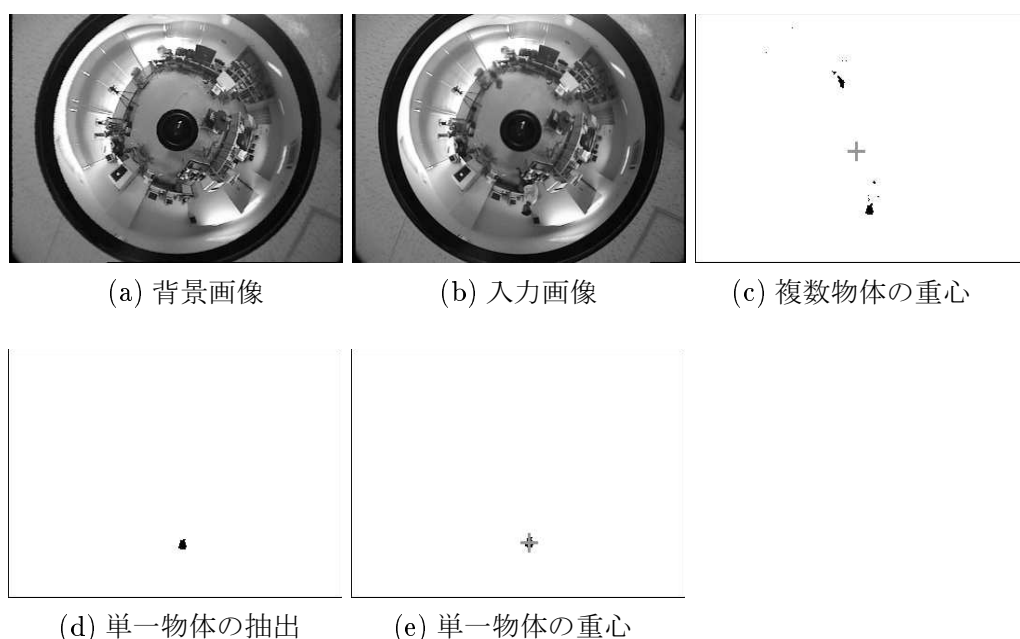


図 16 移動物体の抽出法

要求を満たすシステムを試作した．この任意方向注視型システムの構成を図 17に示し，実際に使用した機器を表 4に示す．このシステム全体の処理の流れは，以下の通りである．

- (1) 全方位視覚センサ HyperOmni Vision で撮影した全方位画像を無線伝送し，計算機 A と計算機 B に取り込む．
- (2) 計算機 A で物体を抽出し，その中心方向を計算機 B に伝送する．
- (3) 計算機 B でその方向に応じた平面透視投影画像を生成し表示する．

ここで，全方位視覚センサで得られた全方位画像と生成された平面透視投影画像の解像度はともに 720x486 である．また全方位画像の背景差分は入力画像を 360x243 で取り込んだあと，簡単なノイズを消去するため 2x2 ごとに論理積をとり 180x121 にして行なった．このシステムでは差分計算と透視投影画像の生成の 2つの処理を行なわなければならない．本研究では，この 2つの処理を可能な限り短時間で実行するために，2 台の計算機を用いた．

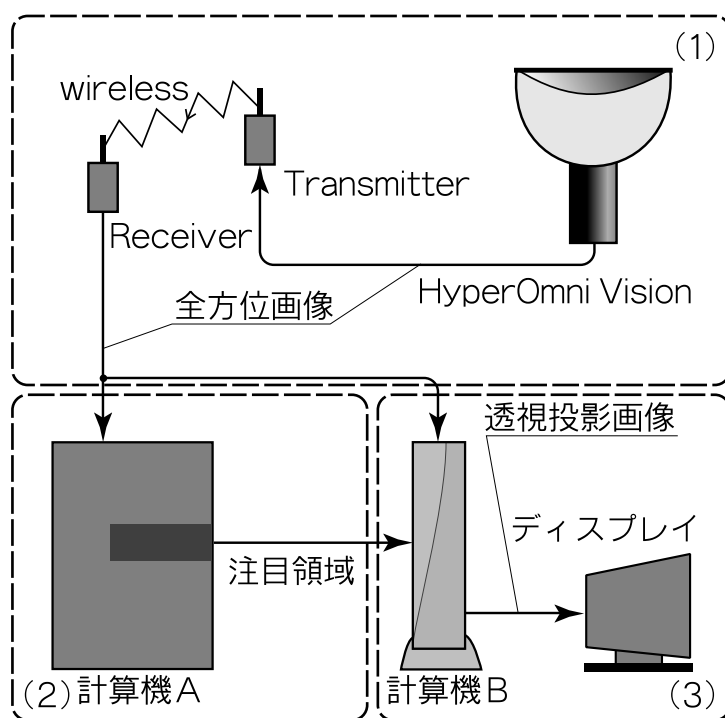


図 17 移動物体注視型システムの構成

5.3 実験と結果

この節では、前述のシステムを用いて行なった実験と結果について示す。背景の画像を図 18 に、実験の様子を図 19 に示す。これらは 0.5 秒間隔の 8 枚の連続写真である。左列に得られた全方位画像を、中列に差分画像とその重心を、右列に得られた平面透視投影画像を示す。このシステムでは、パン・チルトの 2 つ角度で生成される平面透視投影画像が得られる。

このシステムの実行時間を図 20 に示す。新規物体注目にかかる時間と画像計算時間は実測値であり、画像表示時間は使用書に書かれていた理論値である。また、新規物体注目・画像計算・画像表示はそれぞれ非同期で行なわれている。まず、全方位画像が 67.3ms かかり計算機 A に読み込まれ、87.3ms かかり差分計算・最大領域の抽出・重心計算が行なわれた後、33.5ms かかって差分画像と重心位置が表示される。それから、計算機 B で 9.9ms かかり格子点の対応計算・格子への

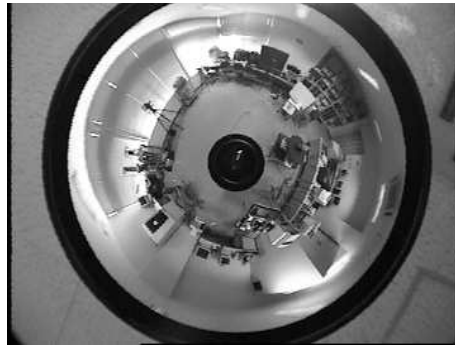
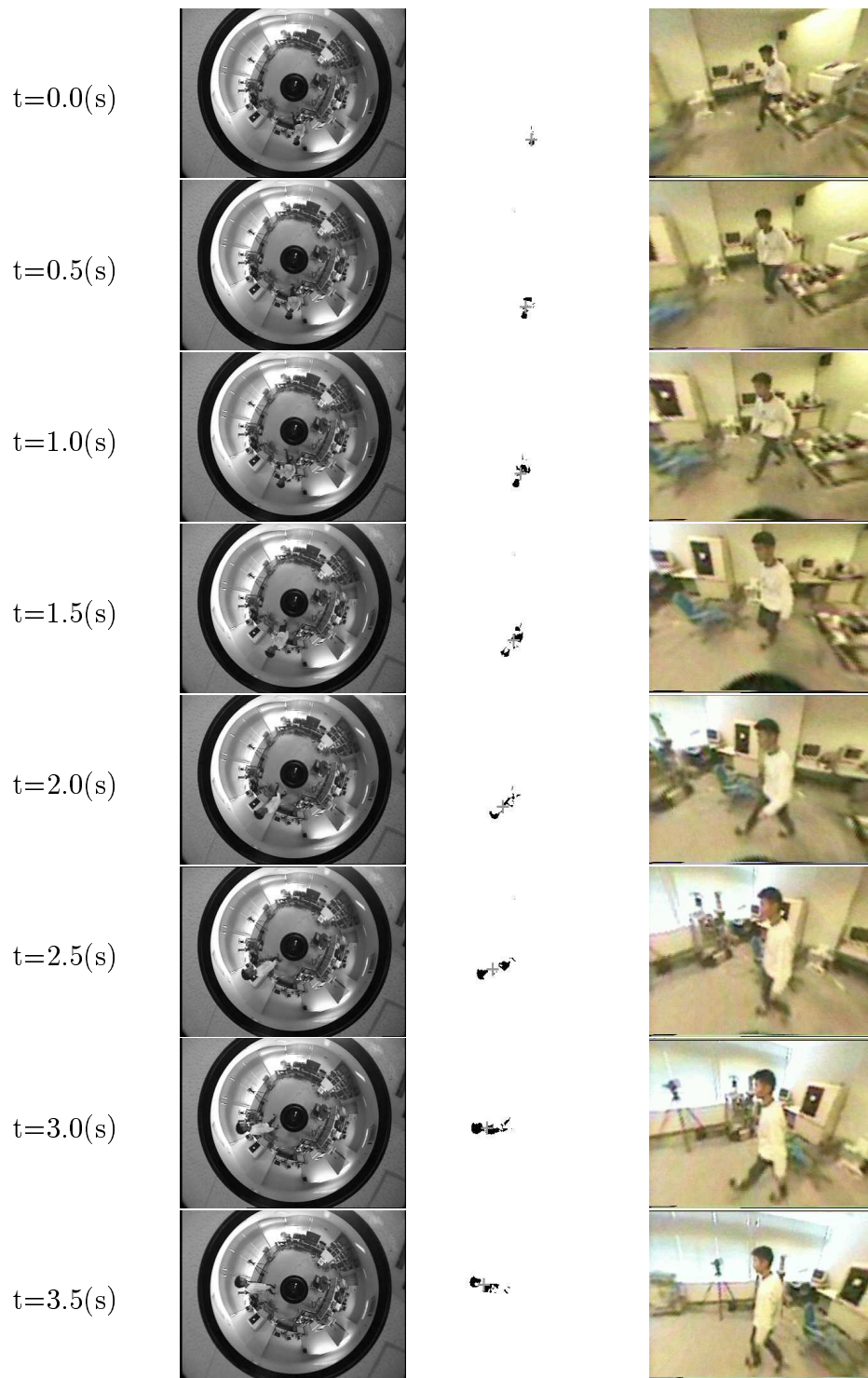


図 18 移動物体注視型システムに用いた背景画像

画像張り込みが行なわれ表示が開始される．これらの処理は並列に行なわれており，秒 5.3 枚の平面透視投影画像が得られている．

5.4 考察

この章では，本研究で作成した移動物体注視型透視投影画像提示システムについて述べた．本研究で作成した移動物体注視型システムは，自動で移動物体を追従できるため，監視カメラなどには有用である．現在のシステムでは最も大きな物体が注視されているが，これでは単一物体しか注視できない．複数物体をそれぞれ追従することができるシステムの構築は今後の課題である．解像度の問題としては任意方向注視型システムのところであげたように，全方位の画像を撮影するのに高解像度のカメラか複数台のカメラを用いる [15] 必要がある．



(a) 全方位画像

(b) 差分画像と
最大領域の重心

(c) 生成画像

図 19 移動物体注視型システム実行の様子

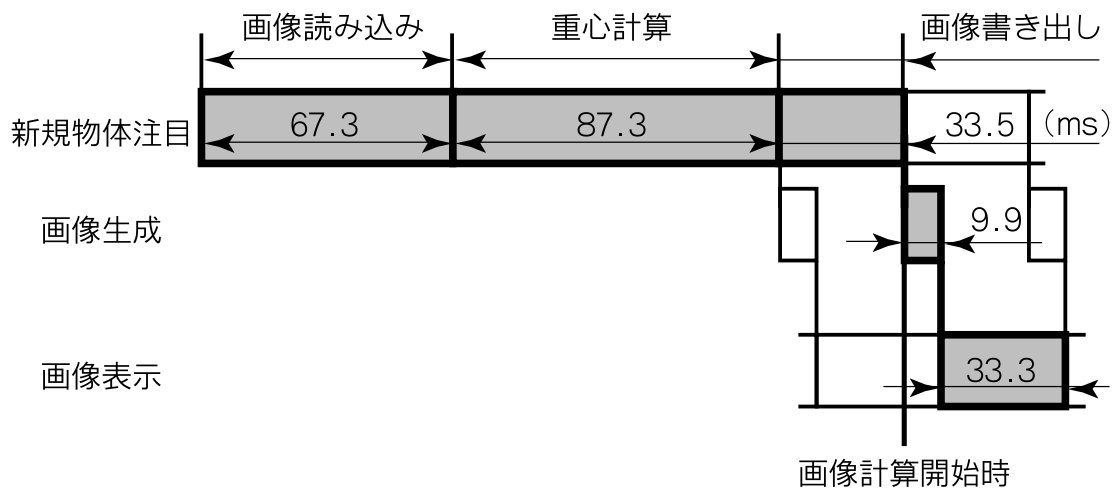


図 20 移動物体注視型システムの実行時間

表 4 移動物体注視型システムの使用機器

全方位視覚センサ	HyperOmni Vision ver.2
画像無線送受信器	Premier Wireless CS-200
計算機 A	SGI Onyx RE2 + Sirius Video (R4400, 150MHz)
計算機 B	SGI Indigo2 + Maxmum Impact Video (R4400, 250MHz)
ディスプレイ	SGI 21 インチカラー CRT ディスプレイ

6. おわりに

本論文では，全方位視覚センサで得られた全方位画像から，任意方向の平面透視投影画像を実時間で生成できる簡易生成手法を開発した．また，その手法を応用して，マウスの位置または頭の向きを検出することで使用者の注目したい方向の平面透視投影画像の注視が可能なシステムと，背景差分により移動物体を検出し自動で注視可能なシステムを作成した．これらのシステムでは任意の方向の画像を得るためにカメラを機械的に動かす必要がなく，また，画像を通信する必要がない．したがって，任意方向の画像を 9.9ms という短時間で獲得可能である．本論文ではこれらのシステムの稼働に要する時間について調べた．

前者のシステムにより，遠隔通信会議などで参加者は遠隔地の様子を違和感少なく手に入れることができる．このシステムでは，使用者の注視したい方向の画像が 1/30s の更新間隔で 51.5ms 以内に見渡せる．また，一枚の全方位画像を用いて複数の平面透視投影画像を作ることができるため，多人数がそれぞれ任意方向の遠隔地画像を獲得できるシステムにも拡張可能である．

後者のシステムにより，監視カメラなどで監視人がカメラの方向を制御することなく移動物体を注視できる．後者のシステムでは移動物体が 1/5.3s の更新間隔で 231.3ms 以内に注視できる．

本システムでは，全方位の画像を一台の NTSC 規格のカメラで取得してその一部分を拡大しているために，生成される画像の解像度には限界がある．今後の課題として，使用するカメラを高解像度のものに替えて全方位を撮影する手法や，複数台のカメラを用いて全方位の画像を撮影する手法の研究が挙げられる．また，本論文の移動物体注視型システムにおいては，単一物体しか注視できないことが問題点として挙げられる．監視カメラなどに用いることを考えれば，複数の物体も追従できることが望ましい．したがって，複数物体をそれぞれ追従可能なシステムの構築は今後の課題である．

謝辞

本研究を進めるにあたり，終始暖かくご指導を頂いた ソフトウェア基礎講座 横矢 直和教授に厚く御礼申し上げます．また，本学での研究におけるあらゆる面で，多大なご助言，ご協力を賜りましたことを深く感謝致します．

副指導教官としてご助言を頂いた 像情報処理講座 千原 國宏教授，ならびに，ソフトウェア基礎講座 竹村 治雄助教授に深く感謝致します．

さらに，本研究へのご助言や研究環境の整備にご協力を頂いた ソフトウェア基礎講座 山澤 一誠助手，ならびに，ソフトウェア基礎講座 岩佐 英彦助手に深く感謝致します．

また，日々の研究室の活動を支えて下さった，ソフトウェア基礎講座 事務補佐員 福永 博美女史，元事務補佐員 村上 和代女史に感謝致します．

そして，ソフトウェア基礎講座の 清川 清氏をはじめとする先輩方，二年間様々な面で御協力をいただいた同輩方，一年間ではありますがお世話になった後輩方に，感謝の意を表します．

私は，二年間，本学で研究ができたことを幸せに思います．どうもありがとうございました．

参考文献

- [1] S. E. Chen: “QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation”, *Proc. of SIGGRAPH 95*, pp.29–38, 1995.
- [2] M. Hirose, K. Yokoyama, S. Sato: “Transmission of Realistic Sensation: Development of a Virtual Dome”, *Proc. of Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 125–131, 1993.
- [3] D. Coombs, C. Brown: “Real-time Smooth Pursuit Tracking for a Moving Binocular Robot”, *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.23–28, 1992.
- [4] T. Uhlin, P. Nordlund, A. Maki, J. -O. Eklundh: “Towards an Active Visual Observer”, *Proc. of Computer Vision*, pp.679–686, 1995.
- [5] S. Rougeaux and Y. Kuniyoshi: “Velocity and Disparity Cues for Robust Real-Time Binocular Tracking”, *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1–6, 1997.
- [6] Z. L. Cao, S. J. Oh and E. L. Hall: “Dynamic omnidirectional vision for mobile robots”, *J. of Robotic Systems*, 3, 1, pp.5–17, 1986.
- [7] 八木, 川戸: “円錐ミラーを用いた全方位視覚センサによる位置情報の獲得”, 信学論 (D-II), J74-D-II, 1, pp.19–26, 1991.
- [8] Y. Yagi, Y. Nishizawa and M. Yachida: “Estimating location and avoiding collision against unknown obstacle for the mobile robot using omnidirectional image sensor COPIS”, *Proc. of Intelligent Robots and Systems*, pp.909–914, 1991.
- [9] J. Hong, X. Tan, B. Pinette, R. Weiss and E. M. Riseman: “Image-based homing”, *Proc. of Robotics and Automation*, pp.620–625, 1991.
- [10] 山澤, 八木, 谷内田: “移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案”, 信学論 (D-II), Vol.J79-D-II, No. 5, pp.698–707, 1996.
- [11] 尾上, 山澤, 横矢, 竹村: “全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス”, 信学技報, PRMU97-20, pp.151–158, 1997-05.
- [12] 尾上, 山澤, 竹村, 横矢: “全方位画像センサを用いた実時間テレプレゼンスと画像表示遅延に関する実験的評価”, 信学技報, グラフィクスと CAD 86-10, pp.49–54, 1997-08.

- [13] S. K. Nayar: “Catadioptric Omnidirectional Camera”, *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.482–488, 1997.
- [14] J. Neider, T. Davis, M. Woo: *OpenGL Programming Guide*, Addison-Wesley, 1993.
- [15] 川西, 山澤, 岩佐, 竹村, 横矢: “六角錐ミラーを用いた全方位ステレオ画像センサによる高解像度ステレオパノラマ動画像の作成”, 信学技報, PRMU97-118, pp.51–58, 1997-10.
- [16] 画像処理サブルーチン・パッケージ : *SPIDER USER'S MANUAL*, 電子技術総合研究所, 1980.