

## 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

山澤 一誠<sup>†</sup>      八木 康史<sup>†</sup>      谷内田正彦<sup>†</sup>

#### Visual Navigation with Omnidirectional Image Sensor HyperOmni Vision

Kazumasa YAMAZAWA<sup>†</sup>, Yasushi YAGI<sup>†</sup>, and Masahiko YACHIDA<sup>†</sup>

あらまし ロボットをナビゲーションするには、ロボットの周囲の環境がどのような状況にあるかをセンサ情報から知る必要がある。本論文では、双曲面ミラーを用いた全方位視覚系 (HyperOmni Vision) を提案し、その特徴と、HyperOmni Vision を用いた視覚誘導方法について述べる。従来の全方位視覚系では、光学系の特性が中心射影でなかったため独自の視覚情報の獲得方法が必要だった。しかし双曲面ミラーを用いた全方位視覚系は、全方位の視野をもち、かつ中心射影の光学的特性ももつため、一般のカメラで直接とった画像などに変換できる。そのため処理に応じた画像に変換でき、独自の手法だけでなく従来の画像処理技術も利用できる利点がある。ここでは HyperOmni Vision の構成、特徴と光学系の特性、また HyperOmni Vision を用いた移動ロボットシステムとそのロボットのテンプレートマッチングによる移動量推定、障害物検出について報告する。

キーワード HyperOmni Vision, 2葉双曲面投影, 全方位視覚系, 移動量推定, 障害物検出

### 1. まえがき

近年移動ロボットに関する研究が盛んに行われている。ロボットを実際の環境内で誘導するためには、ロボットが移動環境下で、現在どのような状況にあるかを理解し、適切な判断を行う必要がある。そのためにはロボットにセンサを搭載し、このセンサ情報をもとに自律移動する必要がある。センサとしては、超音波センサ、レーザレンジファインダ、視覚センサなどがあるが、なかでも視覚センサはロボットの周辺状況を知る上で有効なセンサとして有望視されている。

ところでナビゲーションでは、移動経路の計画や興味ある物体の発見、未知物体との衝突回避等が重要な課題であり、そのためには分解能は粗くても環境全体の大局的情報が実時間で獲得できる必要があった。すなわち、誘導のためには全方位を実時間で観測することが望ましい。しかし従来視覚センサとしては、標準レンズを取り付けたカメラが多く利用されたため、この方法では観測視野がレンズの画角により制限さ

れ、環境全体の情報を実時間で観測することはできなかった。

これらの問題に対し、周囲360度の情報を一度に観測できるさまざまな全方位視覚センサが提案されてきた。以下に従来の全方位視覚センサを示す。

- カメラを回転する方法 [1]~[3]

Sarachik は、上下2台のカメラによるステレオ視で、室内を巡回走査することで、室の大きさ、形状を決定し、ロボットが自己の位置を同定するための視覚情報を獲得する方式を提案した [1]。最終目標は、オフィスなどの環境マップを構築するためであった。Zheng らや Ishiguro らは、1台のカメラを回転することで全方位画像 (パノラミックビュー) を得ている [2], [3]。いずれの方法にせよカメラを回転する方法は、解像度の高い全方位画像を得られるが、1シーンの撮像に時間を要するため、リアルタイムでの応答を必要とする衝突回避の問題には不向きである。

- 魚眼レンズを用いた方法 [4], [5]

魚眼レンズを利用する方法は、米国の Cincinnati 大学で研究されている [4], [5]。彼らの提案した視覚センサでは、魚眼レンズを鉛直上向きに取り付け、上方半球の視野領域を一度に撮像することができる。作業領

<sup>†</sup> 大阪大学基礎工学部システム工学科, 豊中市  
Faculty of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka-shi, 560 Japan

域にあらかじめLEDなどの光源を複数個取り付け、これらをランドマークとしてロボットの位置制御を行っている。しかし魚眼レンズで全方位の視野画像を得た場合、得られる画像情報は室内で言えば天井ばかりを観測することになりやすい。すなわち、必ずしも観測する必要のない上方の領域が多く、本来衝突回避に必要なロボット自身の側方の観測が不十分となりやすい欠点がある。

● 球面ミラーを用いる方法 [6]

図1 (b) に示すように球面のミラーとカメラから構成され、ミラーに写った環境を下からカメラでとる方法である。この方法は上記魚眼レンズを上下反転した場合の視野領域と類似し、天井などの代わりにカメラ自身の像や床面を画像に多く含み、側方の解像度が低い欠点をもつ。

● 円すいミラーを用いる方法 (COPIS) [7], [8]

円すいミラーを用いた方法 COPIS (COnic Projection Image Sensor) は、今まで我々が行ってきた全方位視覚系である。図1 (c) に示すように鉛直下向きの円すい面のミラーと鉛直上向きのカメラから構成され、側方中心の情報が実時間で観測でき衝突回避などには有効なセンサであるが、足元の情報を得るためには、光学系 (ミラーとレンズの関係) を十分考慮する必要がある。また、COPISでは、円すいミラーを用いることで全方位画像が得ることができ、垂直エッジが画像面上で放射状に射影される特徴があった。しかしその反面、他の直線エッジは、非線形な変換となりそれらの検出が困難となる。更に画像中心の近傍では、画像ひずみが大きく、角度分解能も低いため、画像理解の目的には不十分であった。

なお、以上で述べた全方位視覚系は、カメラを回す方法を除き光学系の特性が中心射影でないため独自の画像変換を必要とし、利用できる特徴が制限された。

これらのセンサに対し、本論文では双曲面ミラーを用いた全方位視覚センサ (HyperOmni Vision) を提案する [9], [10]。図1 (a) に示すように HyperOmni Vision は、鉛直下向きの双曲面ミラーと鉛直上向きのカメラから構成され、従来のミラーを利用した全方位視覚センサと同じくセンサの周囲360度の画像を一度に撮像できる。更に、本センサは次に述べるように従来センサにおける視野および光学系に関する問題点を改善できる。

COPISでは側方中心の視野領域をもつ反面、足元を写すためには光学系に工夫が必要であった。それに

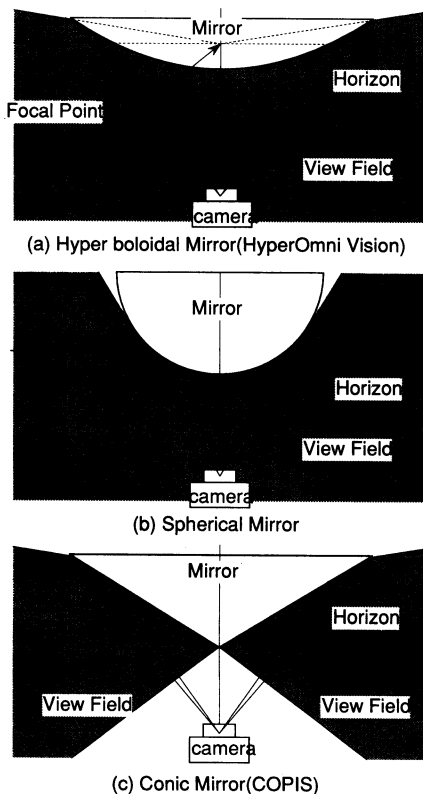


図1 全方位視覚センサの視野領域  
Fig. 1 View of Omnidirectional image sensor.

対し、本センサは上方視野は、COPISと同様に双曲の漸近面により制限されるが下方視野については、球面ミラーを用いた方法と同様に制限がない。従って、HyperOmni Visionは、側方中心でかつ足元視野も得られるという COPIS および球面ミラーを用いた両方法の視野における利点をもつ。

また HyperOmni Vision は、その光学特性が中心射影であるため入力画像をミラーの焦点から見た画像 (一般のカメラで撮像した画像) やカメラを鉛直軸周りに回転して得られる画像 (円筒状の全方位画像) に簡単に変換できる。そのため従来の全方位視覚センサと比べ多様な画像処理が可能となる。

本報告では、本センサの光学系とその性質ならびに試作した HyperOmni Vision について、また本センサを利用したロボットの移動量計測と障害物検出の方法について報告する。

## 2. HyperOmni Vision

### 2.1 HyperOmni Visionの構成

本センサでは双曲面として2葉双曲面を用いる。図2に示すように2葉双曲面とは双曲線を実軸(Z軸)周りに回転することで得られる曲面である。そして、以下の双曲線がもつ特徴も双曲面において保持される。

- (0, 0, +c) と (0, 0, -c) の二つの焦点をもつ。  
( $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ )

ここで図2に示すようにZ軸を鉛直軸とする3次元座標系O-XYZを考える。このとき2葉双曲面は次式で表せる。

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1 \quad (1)$$

なおa, bは双曲線の形状を定義する定数である。

本視覚系では、2葉のうちZ > 0の領域にある双曲面をミラーとして利用する。

全方位視覚センサHyperOmni Visionは、図3に示すように鉛直下向きに設置したZ > 0の領域にある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。このとき、ミラーの焦点O<sub>M</sub>およびカメラのレンズ中心O<sub>C</sub>は各々2葉双曲面の2焦点(0, 0, +c), (0, 0, -c)に位置し、画像面xyはXY平面に平行でカメラのレンズ中心O<sub>C</sub>からカメラの焦点距離fだけ離れた平面とする。ミラー面とその焦点O<sub>M</sub>、カメラのレンズ中心O<sub>C</sub>は次式で表される。

ミラー面  $\frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1$   
 ミラーの焦点O<sub>M</sub> (0, 0, +c)  
 カメラのレンズ中心O<sub>C</sub> (0, 0, -c) (2)

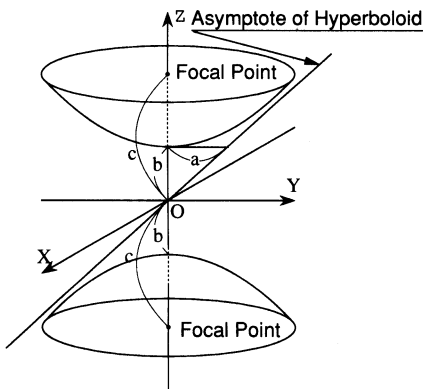


図2 2葉双曲面  
Fig. 2 Hyperboloid.

### 2.2 HyperOmni Visionの特徴

空間内の任意の点P(X, Y, Z)に対する画像上での写像点をp(x, y)としたとき、点Pの方位角θは次式で表される。

$$\tan \theta = Y/X = y/x \quad (3)$$

すなわちY/Xで定まる点Pの方位角θは、y/xで定まる写像点pの方位角θを算出することで得られる(図4)。このように360度パノラマ状の領域内にある対象物体の方位角θが、その物体の画像面上の写像の方位として直接現れる。

また図5のように点PとZ軸を含む鉛直断面を想定すると、点Pと写像点pの間には次式の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{X^2 + Y^2} \tan \alpha + c \\ \alpha &= \tan^{-1} \frac{(b^2 + c^2) \sin \gamma - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \gamma} \\ \gamma &= \tan^{-1} \left( \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

すなわちミラーの焦点O<sub>M</sub>からの点Pの方位角θ

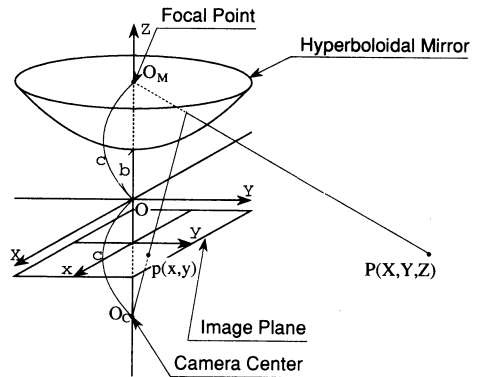


図3 視覚系の構成  
Fig. 3 HyperOmni Vision configuration.

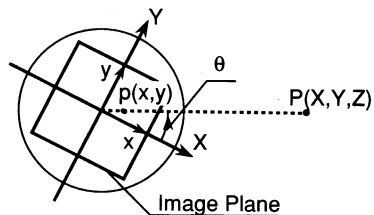


図4 点の射影水平方向  
Fig. 4 Invariability of azimuth angle.

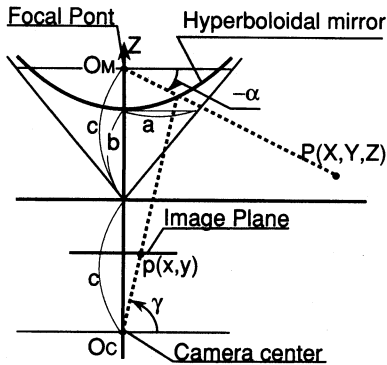


図5 点の射影鉛直方向  
Fig. 5 Linear relation of tilt angle.

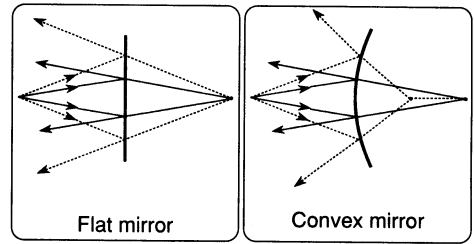


図6 球面収差  
Fig. 6 Spherical aberration.

および伏角  $\alpha$  は、カメラのレンズ中心  $O_C$  を双曲面の焦点位置にすることで、写像点  $p(x, y)$  より、一意に求まる。このとき、ミラーの焦点  $O_M$  は固定なため、入力画像をミラーの焦点  $O_M$  から見たカメラを鉛直軸周りに回転して得られる画像や一般のカメラの画像に変換できる。

### 3. HyperOmni Vision の光学特性

HyperOmni Vision は双曲面ミラーとカメラからという簡単な構成であるが、曲面ミラーを介して見た画像は平面ミラーと違い一点に虚像を結ばず、ぼけが生じる。その原因として以下に示す球面収差および非点収差が挙げられる。

球面収差とは、図6に示すように光線の広がる方向により結像する位置がずれるために生じるぼけである。一般にこのぼけはミラーの曲率を小さくするかカメラの口径比を大きくすることにより少なくできる。

非点収差とは、図7に示すようにミラーの断面の曲率が断面の方向により違うために生じるぼけである。このぼけは各断面の曲率差を小さくするかカメラの被写界深度（対象物がぼけない範囲）を深くすることにより少なくできる。ここで、被写界深度を深くするとは、口径比を大きくすることと比例関係にあり、一般に口径比は、焦点距離  $f$  と口径  $D$  とから、 $f/D$  で表現される。従って1) カメラの絞りを絞り込むすなわち  $D$  を小さくすること、ならびに2) 焦点距離  $f$  を短くすることで口径比を大きくすることができる。

以上まとめると、両収差によるぼけの影響を軽減する方法としては、カメラの絞り、ミラー曲率、焦点距離を調整する方法が考えられる。一般にカメラ絞りを絞り込むことは、撮像面への入射光量が減り、像面の

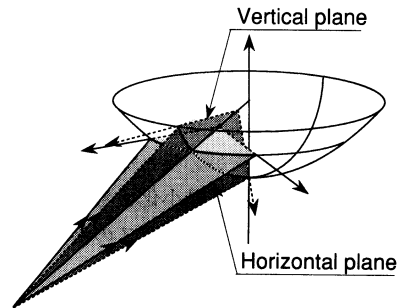


図7 非点収差  
Fig. 7 Astigmatism.

明るさが暗くなる。従って画像処理を行うなど実用面から考えると、ある程度（環境光に依存するが）以上絞り込むことはできない。ミラー曲率を小さくする、またミラーの各断面での曲率差を小さくする方法は、ミラーを平面化することを意味する。ミラー平面化は、結像の問題だけでなく、側方視野領域（仰角）を狭めることにつながるため、ミラー曲率を小さくする方法にはある程度限界がある。実際には、側方視野は、ミラー曲率とカメラレンズの関係で決定されるため、曲率の小さい双曲面ミラーを用いる場合は、ミラー曲率に合わせた広角のカメラレンズを用いることで側方に視野領域を確保することができる。また広角レンズの使用は、焦点距離を短くすることになり、結果として、被写界深度を深くすることにつながる。以上のことから、HyperOmni Vision では、曲率の小さい双曲面ミラーと広角のレンズ（焦点距離の短いレンズ）を用いることで、鮮明な全方位画像を結像させることができた。次章にて、試作した HyperOmni Vision の詳細について述べる。

### 4. HyperOmni Vision の試作

表1に試作した全方位視覚センサ (HyperOmni Vi-

表1 HyperOmni Vision パラメータ  
Table 1 HyperOmni Vision parameter.

カメラ	
焦点距離 $f$	3mm
撮像素子サイズ	1/2 inch
双曲面ミラー	
a	41.7mm
b	21.4mm
c	46.87mm
ミラーの直径	200mm

sion) のパラメータを示す。

図8が試作したHyperOmni Visionである。HyperOmni Visionでは、曲面ミラーをカメラの上部に固定するためにガラスの治具が必要となる。そこで本センサではガラス面での屈折を最小化するために、入射光がガラス面と直行するようにガラスの治具をミラー焦点  $O_M$  を中心とした球面にした。

図9はHyperOmni Visionの入力画像の一例である。この入力画像をカメラを鉛直軸周りに回転させて得られるパノラマ画像に変換したものが図10である。また入力画像の一部(図9左部)をミラー焦点  $O_M$  から見た画像に変換したものが図11である。一般のカメラで撮った画像と比べ解像度は落ちるが、視覚誘導の目的では十分な画像が得られたと考える。

試作したHyperOmni Visionは、ミラーの焦点  $O_M$  から見て水平より5度上まで見えるように設計した。これにより、式(4)の  $\alpha$  の有効範囲が-90度から5度となる。図12に仰角  $\alpha$  における角度分解能の関係を示す。図12の縦軸は角度分解能を対数で表現した。また、仰角  $\alpha$  については図5を参照されたい。なお、図12の放射方向の角度分解能は  $X$  軸または  $Y$  軸方向の画素数とミラーの焦点  $O_M$  から見たときの角度分解能との関係である。また、回転方向の角度分解能は中心からの距離を半径としたときの円周長(円周上の画素数)を概算し求めた。

球面ミラーを用いた場合は、放射方向については足元で分解能が高いが、側方では角度分解能が悪い。実環境を考えた場合、物体までの距離は、一般に足元では床面が最大長である場合が多く、側方の方が物体までの距離が遠い。従って、側方での分解能が悪いと言うことは、移動ロボット用としては不適切と言える。円すいミラーを用いたCOPISでは、放射、回転両方向とも視野の角度分解能は側方で高くなり、側方の物

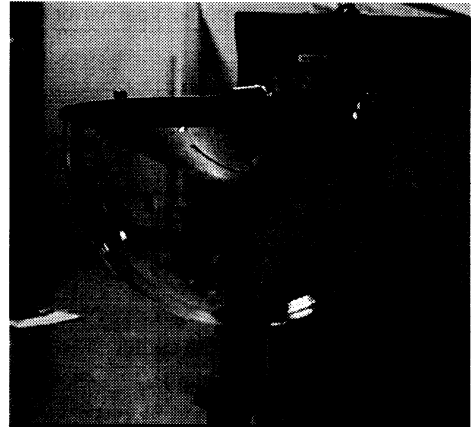


図8 HyperOmni Vision  
Fig. 8 HyperOmni Vision.

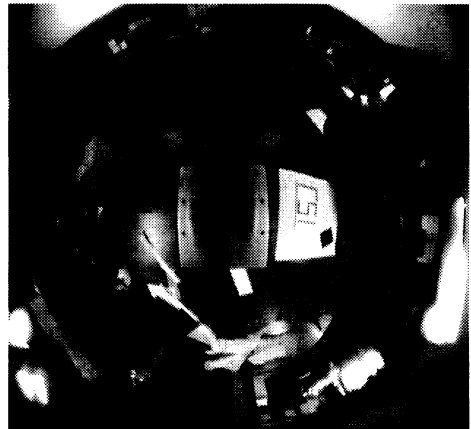


図9 入力画像  
Fig. 9 Input Omnidirectional image.



図10 変換画像(1)  
Fig. 10 Transformed to cylindrical panorama image.

体を観測する上では有利であるが、足元(鉛直下向き)に近づくほど、分解能が下がるため、高さの低い物体や近くの障害物の検出精度が悪くなる。それに対し、本センサは、図12からもわかるように、側方に向かう

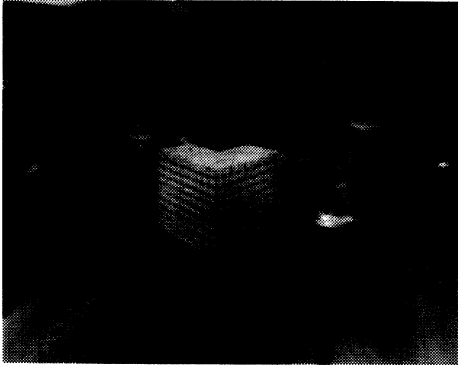
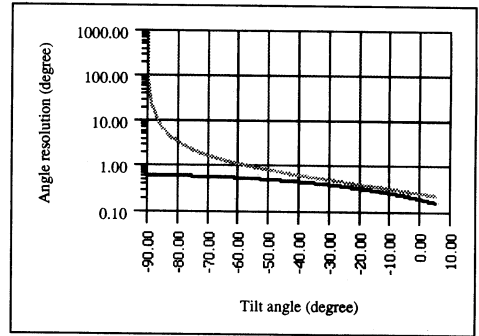


図11 変換画像 (2)

Fig. 11 Transformed to common perspective image.



— Radial direction      - - - Azimuth direction

図12 HyperOmni Visionの角度分解能

Fig. 12 Angle resolution of HyperOmni Vision.

に従い、画素に対し滑らかに分解能が上がるため、側方の物体ならびに足元の物体に対しても、ある程度均一な情報が得られる。従って、光学的に見ても、本センサが視覚誘導用として有用なセンサと言える。

なお、球面ミラーを用いた場合と円すいを用いた場合は、試作したHyperOmni Visionと同じテレビカメラと画像入力装置を使うと回転方向の角度分解能は同じになるが放射方向の角度分解能については両者とも光学系の特性が中心射影でないため比較できない。

## 5. ロボットの移動量推定と障害物検出

HyperOmni Visionを移動ロボットに搭載し、ロボットの移動量推定と障害物検出を行う手法について述べる。

一般に、時系列間での照合方法としては、テンプレートマッチングがある。テンプレートマッチングでは、画像間で特徴不変であるということを前提としている。しかし、ロボットが移動する場合、対象までの距離が変化するため、一般にはそのスケールが変わる。そこで本手法では、スケールが変化しないように、床面を静止環境の特徴量とし、この特徴量が時系列間で不変な画像、つまり床面と平行な画像面へ変換し、床面と平行な変換画像間で照合を行うことでロボットの移動量を推定する。更に移動量の推定結果を用い障害物の検出を行う。本手法はテンプレートマッチングの際にスケールが変化しては使えないため、ロボットの移動は平面上で、傾くような移動はしないと仮定している。

### 5.1 床面方向への変換画像

図13のように、変換画像面が床面と同一になるよ

うに、変換画像の光軸を鉛直下向きにし、床面からミラーの焦点までの距離  $H_r$  を変換画像の焦点距離とする。

このとき、変換画像面は式(3)、(4)で使われている座標系で  $Z = c - H_r$  で表せる面である。図14のように、変換画像面上の任意の点  $P(X, Y)$  に対する入力画像上での写像点を  $p(x, y)$  としたとき、式(3)、(4)より次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \tan \theta &= Y/X = y/x \\ R_P &= \frac{-(b^2 - c^2)H_r r_p}{(b^2 + c^2)f - 2bc\sqrt{r_p^2 + f^2}} \\ R_P &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ r_p &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ (R_P, \theta) &: P(X, Y) \text{ の極座標表現} \\ (r_p, \theta) &: p(x, y) \text{ の極座標表現} \end{aligned} \quad (5)$$

この変換式により床面方向への変換画像を作る。

### 5.2 ロボットの移動量推定

ロボットが移動しながら取り込んだ時系列画像を変換、変換画像間で静止物体の環境を照合、ロボットの移動量を推定する。

(1) ロボットは水平面上を移動するため、床面からの高さは一定である。そこで入力画像をミラー焦点  $O_M$  から鉛直下方を光軸とする変換画像に変換する。このとき、変換画像面は床面と並行になる。この変換画像上では、高さ一定のためロボットの位置にかかわらず床面は同一スケールで射影される。そこで時系列間の照合はこの変換画像間で行う。

(2) マッチングは変換画像を微分しエッジ間で行

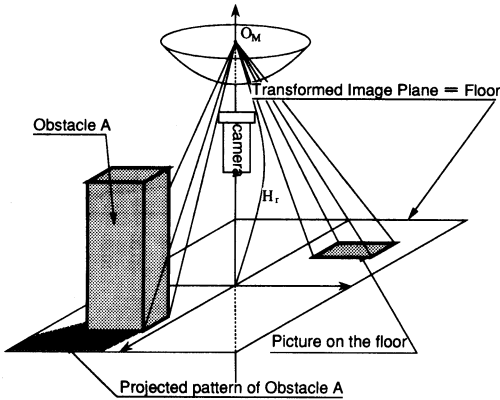


図13 床面方向への変換  
Fig. 13 Transformed to floor map.

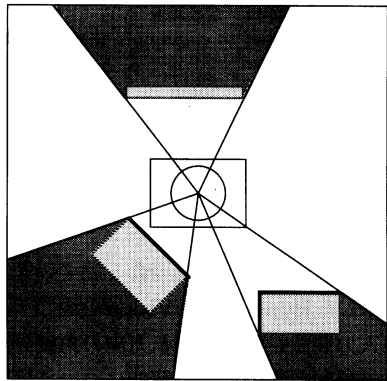
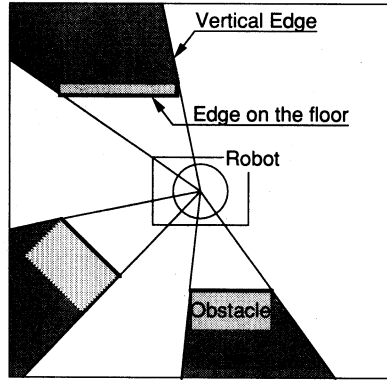


図15 鉛直下方を光軸とする変換画像  
Fig. 15 Transformed to floor maps.

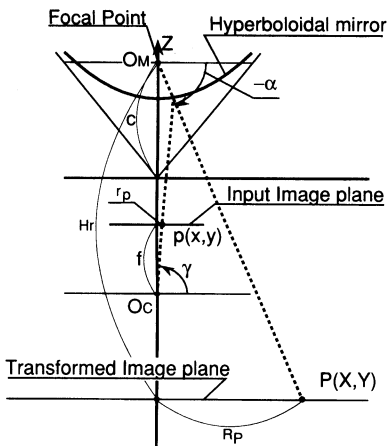


図14 床面方向への変換 (鉛直断面)  
Fig. 14 Transformed to floor map of tilt angle.

う。このとき、図15のように床面上のエッジは高さ一定のため、テンプレート照合により一致するが、その他のエッジはスケールが異なり一致しない。その他のエッジとして代表的なものに床面に垂直なエッジがある。この床面に垂直なエッジは変換画像中では放射状に現れる。そこでマッチングの信頼性を上げるため、テンプレート照合は放射方向に1次微分し、垂直エッジを除去した画像間で行う(図16)。

(3) 微分した2枚の画像を二値化しテンプレートマッチングを行う。マッチングには2枚の画像を重ねた領域の XOR を計算する。マッチング度が最大の位置を照合位置として、ロボット移動量を推定する。なお、マッチング度は次式で計算する。

$$1 - \frac{\text{XORにより1になった領域の面積}}{2 \text{枚の画像の重なった領域の面積}} \quad (6)$$

また、照合位置は最急降下法により探索する。

### 5.3 障害物の検出

微分画像間で照合し推定されたロボットの移動量をもとに障害物を検出する。この障害物検出は、Storjohannにより報告された両眼視から得られた2枚の画像を逆透視変換することで障害物を検出する方法[11]を、ロボット移動に伴う全方位時系列画像に応用した方法である。

ロボットにとって障害物とは高さのある物体である。床面の模様と違い、高さのある物体は、変換画像上では違う位置に投影される。図17に示すように、この障害物の高さを  $H_{obj}$  とし、床面からミラーの焦点までの距離を  $H_r$ 、ロボットの移動量を  $M_r$  としたとき、変換画像上での投影される位置のずれ  $M_{obj}$  は次式で表される。

$$M_{obj} = \frac{H_{obj}}{H_r - H_{obj}} M_r \quad (7)$$

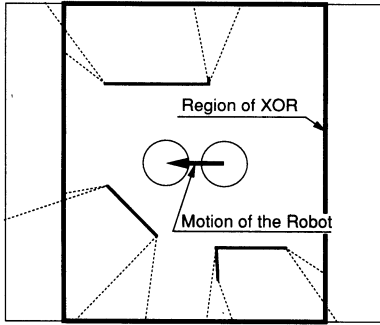


図16 ロボットの移動量推定方法  
Fig.16 Estimation of robot movement.

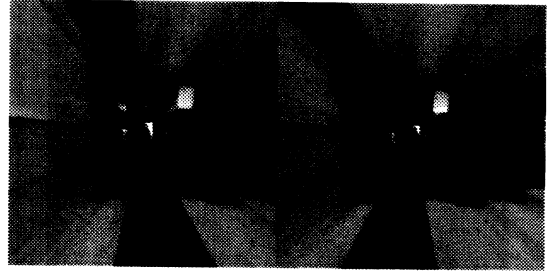


図18 真下を向いた画像に変換  
Fig.18 Transformed to floor maps.

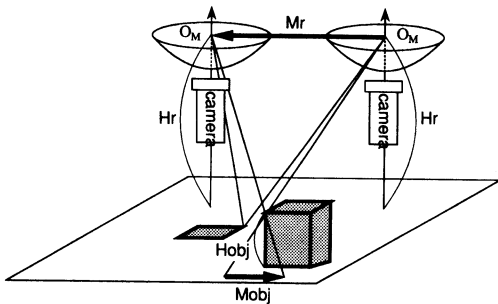


図17 障害物検出方法  
Fig.17 Detection of obstacle.



図19 放射方向に微分  
Fig.19 Differential images.

このとき、図13のようにロボットにとって障害物とならない高さ  $H_{obj} = 0$  の物体は、 $M_{obj} = 0$  となり変換画像上での投影される位置のずれがない。

そこで、前節で推定したロボットの移動量分2枚の変換画像をずらし、差分をとることにより障害物を検出する。

#### 5.4 実験結果

図18から図22で、実験結果を示す。図18はロボットが前方に30cm移動した前後での入力画像を鉛直下向き画像に変換した結果である。それぞれの画像の真中にロボット自身が写っている。また、右がロボットにとって前方である。障害物としてロボットの前、右側方、左側方に障害物をおいた。左前方、右前方の、白黒の長方形は床面の模様である。図19に図18を放射方向に1次微分した結果を示す。図20に両画像間でのマッチング結果を示す。真値が  $(x, y) = (33, 0)$  に対し  $(x, y) = (33, 1)$  の位置で、マッチングが最大値 (0.954888) となった。なお、マッチングは回転も考えて行ったが、図20には回転運動が0のときのマッ

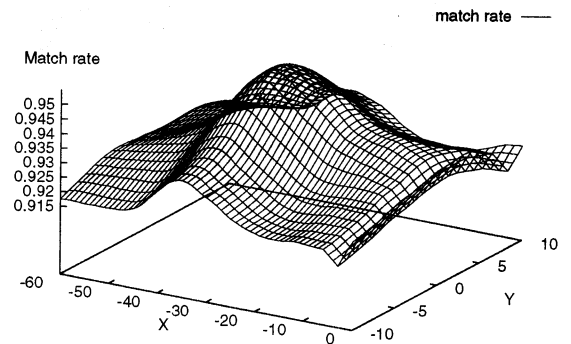


図20 マッチング度  
Fig.20 Matching score.

グ結果のみを示す。図21にマッチング度が最高のときの XOR を示す。図22に障害物の検出の結果を示す。(a) が2枚の画像を差分した結果、(b) がその画像を二値化した結果である。前方、右側方、左側方の高さのある物体は検出できた。図中右中央に床面への環境照明光 (蛍光灯) の映込みが検出されたが、マッチングをとったあとの位置関係で両画像からオプティカルフローを計算し、検出された領域内のオプティカルフ



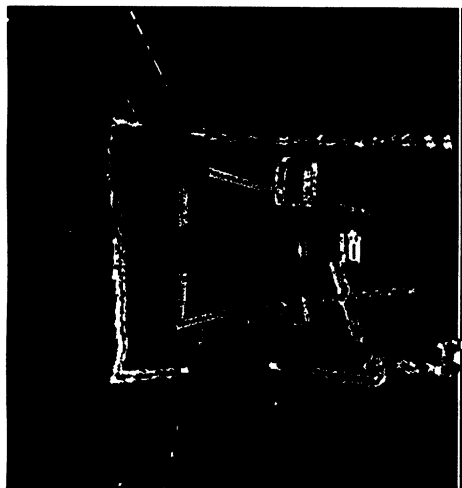


図21 2枚の画像間の相関 (XOR)  
Fig. 21 Matching results.



(a) 差分画像 (b) 二値化画像

図22 障害物検出結果

Fig. 22 Extracted regions of unknown obstacles.

ローの方向がロボットの進行方向に対して、前方に出ているかそれとも後方に出ているのかを評価することで、床面に対し、検出領域が上方か下方かの評価を行えば、床面への映込みと障害物が識別できるものと考ええる。

本手法は、床面がある程度の大きさ(広さ)で画像面内に投影されている必要があるため、COPISのようにその視野領域が側方中心のセンサでは、視野領域が遠方また側方となり、十分な精度でテンプレート照合を行うことが困難になる。従って、本センサは、側方だけ、下方だけの情報に対して処理しやすいのではなく、すべての情報を有効に利用できるため、障害物検出、自己位置同定、ランドマーク検出など複数のタスクがある視覚誘導の目的に対しては、有用なセンサと考える。

## 6. むすび

本報告では双曲面ミラーを利用した全方位視覚センサ HyperOmni Vision を提案し、プロトタイプを試作した。

HyperOmni Vision には以下に示す特徴がある。

- HyperOmni Vision は COPIS や球面ミラーによるものと同じく実時間でセンサの周囲 360 度の観測ができる。

- HyperOmni Vision は COPIS と同様に側方中心の視野領域をもち、更に下方視野については球面ミラーを用いた方法と同じように制限なく写る。このように、HyperOmni Vision は COPIS と球面ミラーを用いた方法の二つの視野における利点をもつ。

- HyperOmni Vision は入力画像をミラーの焦点  $O_M$  から見た、カメラを鉛直軸周りに回転して得られる画像や一般のカメラの画像に簡単に変換できる。

また、本センサを搭載した自律移動ロボットシステム (HOVI) を試作し、変換画像を用いた処理の一例として、ロボットの移動量推定ならびに障害物の検出方法を提案した。実験結果から、本センサは側方だけでなく下方視野も有効に利用できた。従って、視覚誘導用として本センサが有用であることが示されたといえる。

今後は、垂直エッジ更に水平エッジなどを特徴として利用した処理と融合することで、信頼性のある視覚誘導方法を構築する予定である。最後に、ロボットの誘導など実時間性また広範囲の観測を必要とする目的に対しては、全方位視覚は有効なセンサであり、工場内の搬送および巡視点検ロボット、宇宙ロボット、家庭用ロボット、車載用ナビゲーションなど幅広いニーズがあると確信する。しかし実利用のためには、高速処理、高信頼性に加え、小消費電力、軽量、コンパクトさは重要な課題である。小型化等に関しては、今後の課題としたい。

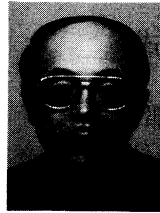
謝辞 本研究の一部は、文部省科学研究費一般研究 (B)06452255 ならびに奨励研究 (A)06750460 の補助を受けた。

## 文 献

- [1] K. B. Saraclik, "Characterizing an indoor environment with a mobile robot and uncalibrated stereo," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.984-989, 1989.
- [2] J.Y. Zheng and S. Tsuji, "Panoramic representation of scenes for route understanding," Proc. of the 10th

- Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.161-167, 1990.
- [3] H. Ishiguro, M. Yamamoto, and S. Tsuji, "Omnidirectional stereo for making global map," Proc. IEEE 3rd Int Conf. Computer Vision, 1990.
- [4] Z. L. Cao, S. J. Oh, and E. L. Hall, "Dynamic omnidirectional vision for mobile robots," J. Robotic Systems, vol.3, no.1, pp.5-17, 1986.
- [5] S.J. Oh and E.L. Hall, "Guidance of a mobile robot using an omnidirectional vision navigation system," Proc. Mobile Robots II, pp.288-300, SPIE 852, 1987.
- [6] J. Hong, X. Tan, B. Pinette, R. Weiss, and E.M. Rise-man, "Image-based homing," Proc. IEEE, Robotics and Automation, pp.910-915, 1991.
- [7] 八木康史, 川戸慎二郎, "円すい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), vol.J74-D-II, no.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. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Osaka, Japan, pp.909-914, Nov. 1991.
- [9] 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦, "双曲面投影による全方位視覚系の提案 - hyperomni vision -, " Proc. 第3回ロボットシンポジウム, pp.145-150, March 1993.
- [10] K. Yamazawa, Y. Yagi, and M. Yachida, "Omnidirectional imaging with hyperboloidal projection," Proc. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Yokohama, Japan, pp.1029-1034, July 1993.
- [11] K. Storjohann, T. Zielke, H.A. Mallot, and W. von Seelen, "Visual obstacle detection for automatically guided vehicles," Proc. Robotics and Automation, pp.761-766, 1990.

(平成7年3月16日受付, 7月31日再受付)



谷内田正彦

昭46阪大大学院工学研究科修士課程了。同年同大基礎工学部制御工学科助手。同助教授を経て同学部情報工学科教授。平6同学部システム工学科教授。昭42~43デンマーク原子力研究所留学。昭47~48米イリノイ大学にて Research Associate。昭55~56西独ハンブルグ大学 Research Fellow。昭57米ミネソタ大学 CDC Professor。情報処理学会, ロボット学会, 人工知能学会等会員。著書ロボットビジョン(昭晃堂), コンピュータビジョン(丸善, 編著)等。コンピュータビジョン, 画像処理, 人工知能, 移動ロボットなどの研究を行っている。工博。



山澤一誠 (正員)

平4阪大・基礎工・情報卒。平6同大大学院基礎工学研究科制御工学科博士課程前期了。同年同大博士課程後期進学。現在同課程在学中。ロボットビジョンの研究に従事。日本ロボット学会会員。



八木康史 (正員)

昭58阪大・基礎工・制御卒。昭60同大大学院修士課程了。昭60三菱電機(株)入社。平1大阪大学基礎工学部情報工学科助手。現在, 同学部システム工学科助教授。ロボットビジョンの研究に従事。工博, IEEE, 日本ロボット学会, 情報処理学会, システム制御

情報学会各会員。