

# 魚眼レンズを用いた室内空間計測システムの開発 魚眼レンズの校正

田嶋勝一

大分大学 工学部 技術部

室内における音響指標の実測と数値解析においては室内形状の把握が必要で、設計図書は現状と一致しない場合が多く有り対象ごとにレーザー距離計を用いて実寸の計測を行っている。単純な部屋形状の把握なら問題ないが、より詳細な検討を行う場合、相互の位置情報が必要になる、これをレーザー距離計を使って精度を保持して測るには限界があり効率よく精度よく行える測定手法の検討が必要となる、当初はWEBカメラを用いた距離計測システム（図1）を試作したが、問題点として連続する画像を一致する特徴点により合成するが特徴点はカメラの角度でわずかに変化しそれが誤差となって1周分では大きな誤差を含む可能性がある。その改善策として、今回は「魚眼レンズを用いた計測システムの開発」への検討を行った。図2は実際に魚眼レンズを用いて床面から天井へ向けて撮影した画像で画角が180°以上有る為、天井四隅やドア、窓位置など上記システムの1周分のデータを一度に撮影できるメリットがあり、つなぎ合わせる誤差も無くなる。実際の距離計測では魚眼画像よりひずみのない透視投影画像へ変換する必要があるが、変換には魚眼レンズの理想式（式1）を使用する。この式は製造過程で発生する誤差などを含んでいない為、実際にはそれを修正するためのキャリブレーションが必要になる。



図1.計測システム

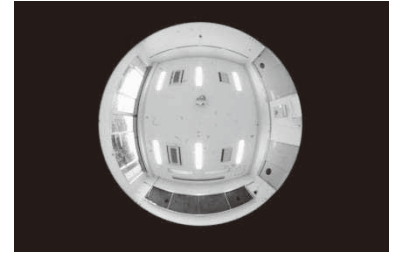


図2.魚眼レンズにて撮影した画像

魚眼レンズ校正の計算式

$$r = 2f \sin(\theta/2) \quad \dots (1)$$

$$r = k_1\theta + k_3\theta^3 + k_5\theta^5 \quad \dots (2)$$

$$\varphi = \arctan(y, x) \quad \dots (3) \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots (4)$$

$$\theta = 2 \sin^{-1} \left( \frac{f_0}{2f} \left( \frac{r}{f_0} + a_1 \left( \frac{r}{f_0} \right)^3 + a_2 \left( \frac{r}{f_0} \right)^5 + \dots \right) \right) \quad \dots (5)$$

$$p = [\sin \theta \cos \varphi \quad \sin \theta \sin \varphi \quad \cos \theta] \quad \dots (6) \quad n = [n_x \quad n_y \quad n_z]^T \quad \dots (7)$$

$$n \cdot P = n_x \sin \theta \cos \varphi + n_y \sin \theta \sin \varphi + n_z \cos \theta = 0 \quad \dots (8)$$

$$n_l = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \frac{P_{1k} \times P_{2k}}{\|P_{1k} \times P_{2k}\|} \quad \dots (9)$$

目的関数の最小化

$$\xi = \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^{Pl} (n_l \cdot P_p)^2 \quad \dots (10)$$

実験機材と設定

[Camera] : SONY SLT-A58M

[Camera lens] : シグマ 4.5mm F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE HSM

[Image size] : 5456 x 3632 pixel(約 2000 万画素)

しま模様パターン 180cm×16.5cm 白黒幅 15mm (図3)

レンズからしま模様パターンまでの距離 25mm (図4)

撮影設定 絞り F22 シャッター速度 5 秒 ISO 感度 100

(被写界深度を深くして全領域でのピンボケを防ぐ)

式1は魚眼レンズの理想式で製造誤差を含まず式2はそれを考慮したもの、まず単位位置ベクトル（式6）を求めるには $\theta$ と $\varphi$ が必要で $\varphi$ は式3より求め、 $\theta$ は式2より求めたいが5乗式を含むので参考文献2より式5を用いて $\theta$ と $\varphi$ を確定する。式7は単位法線ベクトルで、式8は $n \cdot p$ の内積で垂直に交わる場合は0になる。これを利用して式10の内積は誤差を含むので0にはならないが、出来るだけ $\xi$ が最小になるように $a_1$   $a_2$ のひずみ係数を調整して計算を繰り返し目的関数の最小化を行う。



図3.縞模様パターンとカメラの配置



図4.レンズ距離 25mm



図5.回転ホルダー

**校正画像の撮影** 図3～5の装置で撮影した画像（図6）は互いに90度角度を付けている、キャリブレーションはこの2枚で完了できる。



図6.キャリブレーション用画像

**エッジ処理** ラインの測定点抽出を容易に行うため Matlab の Image Processing Toolbox の edge コマンドを利用して単線化処理を行う、だが光の加減で複数ライン出現する場合もあり、直接、精度に影響する部分で慎重に検討する必要がある。

**測定点の抽出** 基準点から均等に角度をつけて放射状に線を引き、その赤線と各ラインとの交点を測定点として選定し1ライン分のデータを作成する、基準点は各測定点よりほぼ同距離になるように配置し、測点数は曲率の大きい周辺各4本は40点、中心4本は35点に設定した。確認の為、測定点50点で再取得したが近似曲線の精度はほとんど変化せず40点でも十分と思われる。

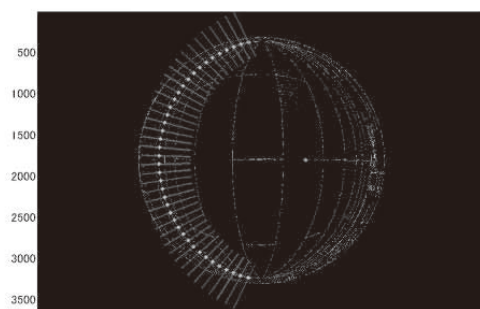


図7.放射方式による測定点の抽出

**近似曲線の計算** 測定点(上記40点・35点)は手動で取得しているため誤差を含む、誤差最小化の為に matlab の polyfit 関数を用いて滑らかな曲線として近似しその曲線より密な測定点を算出する、1ラインあたり40点から約700点へ増やし精度を向上させる。polyfit 関数は係数 n により近似結果が変わる為、係数 n を変化させて誤差の比較を行った。結果は図8のグラフで最少は係数19個、誤差206ピクセル1点当たり0.44ピクセルの誤差となった。計算結果の近似曲線と実測点を図9に示す。

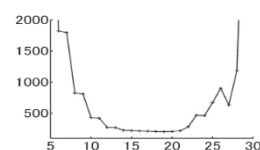


図8.係数 n と誤差の比較

**消失点・光軸点の決定** 消失点は図10の12本の近似曲線が交わる部分で左右2ヶ所存在する、光軸点は2枚の画像（図6）の消失点同士を結ぶ線の交差する部分になる。消失点の決定方法は12本の近似曲線を延長して誤差が無ければ1点で交わるが測定点には誤差を含むため図11のように交わらない、確

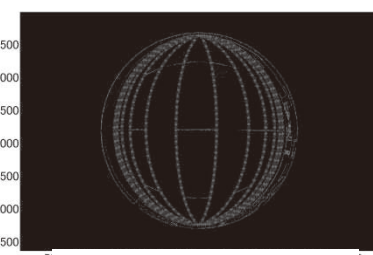


図9.測定点と近似曲線

定法として x 値を固定し各線の y 値の標準偏差を取って最小部分を消失点とした、この問題点として中心部分の近似曲線は直線に近く誤差が少ないが、周辺ではカーブが大きく（特に消失点周辺）フィッティング関数で捕捉できない為、実際の消失点より外側に線を結んでしまう。最終的には曲がりの少ない中央4本で消失点を確定した。

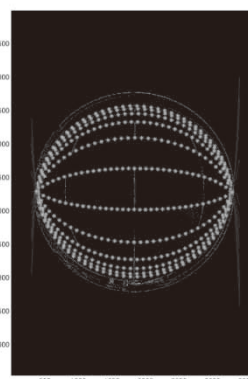


図10.近似曲線と延長線

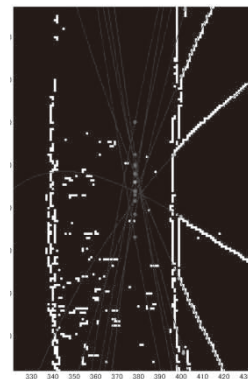


図11.左消失点部分を拡大

### ひずみ係数の決定

式10の目的関数の最小化は MATLAB の fminsearch 関数を利用。

**0.025659 0.073622 -0.036399 0.016576 0.0051099 ひずみ係数**

FVAL = 0.0022 の値

OUTPUT = iterations: 1832 最適化回数

**ひずみ係数の評価** 測定点の単位位置ベクトルより平均の単位法線ベクトルを求め、その画像面への逆投影を行い測定点と逆投影点の距離により評価する。図12は観測点と逆投影点を表示したもので右下部分（紫）は誤差の大きい部分になる、平均誤差は参考文献1とほぼ同じ値になり計算行程は正しいと思われる。

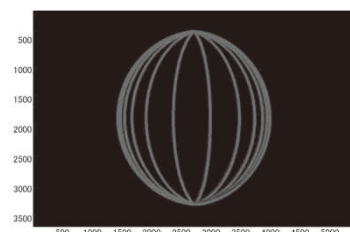


図12 測定点と逆投影点

### 参考文献

1. 球面モデルに基づくしま模様パターンを用いた魚眼カメラの校正 中野誠士 李 仕剛 千葉則茂  
電子情報通信学会論文誌 D Vol.J90-D No.1 pp.73-82 2007
2. 帯状パターンによる魚眼レンズカメラの高精度な校正 森安亮太 中村遼平 金谷健一  
情報処理学会研究報告. CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア] 2011-CVIM-176(21), 1-8, 2011-03-10