

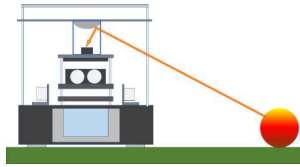
# 全周囲カメラにおける曲面鏡の製作

2956 兵庫県立三田祥雲館高等学校 三木一輝 角谷耕太郎 山崎隆一

## 1. 抄録・研究の背景と目的

本研究では、ロボカップジュニア（以下RCJJとする）サッカー競技において使用されるボール認識用全周囲カメラの主要部品である曲面鏡を独自に設計、製作した。さらに既成品である球面鏡との比較検証を行った。

水平面上を移動する機体より対象物の相対位置座標を測定するために全周囲カメラを導入している。昨年度は反射用の曲面鏡として既成品である球面鏡を利用していたが遠方にあるボールを認識することができなかった。そこで機体との相対角度及び相対距離を高い精度で測定できる曲面鏡を独自に設計し、製作した。



## 2. オリジナル曲面鏡の設計・製作

### 1. 相対位置座標の測定

目標追跡カメラ Pixy CMUcam5 の上に曲面鏡を設置し、カメラが持つ直交座標系 (0, 0) - (319, 199) を (159, 99) を中心とした極座標に座標変換を行う。また、正面より時計回りに相対角度を  $\theta^\circ$  とする。

$$\text{相対角度 } \theta^\circ = \tan^{-1} \frac{(y-99)}{(x-159)} \quad (\text{第1象限において})$$

相対距離を表す指標として三平方の定理による原点からの2乗距離を扱う。

$$\text{2乗距離 } r^2 = (x-159)^2 + (y-99)^2$$

### 2. オリジナル曲面鏡の設計

CADソフト (FUSION360) を利用し円錐曲線をベースとする曲面鏡 (双曲面鏡) の設計を行う。

#### 【設計ポイント】

- ①歪みの少ない滑らかな曲面を設計する。
- ②カメラは水平面より下方を写すようにする。(図1)
- ③画像中央に映る機体はできるだけ小さくするために、円錐曲線作成におけるRho値 (0 - 1.0) を調整する。(図2) Rho値は大きい方が鏡面下部が尖り映し出される機体は小さくなる。

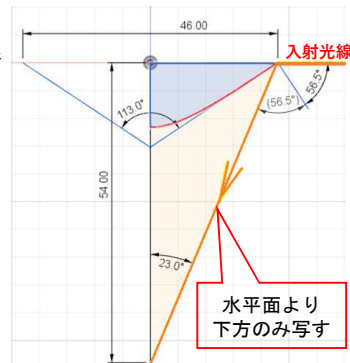


図1 設計図面

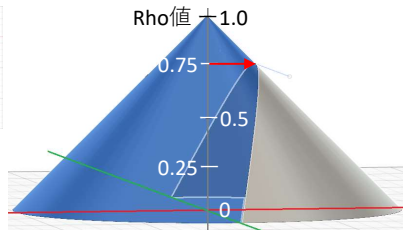


図2 円錐曲線におけるRho値の設定

### 3. オリジナル曲面鏡の製作

#### 【ヒートプレス成形】

- ①CNCフライス盤を用いて製作、研磨して型を作る。
- ②塩化ビニルミラーシート (厚さ0.5mm) を電熱器で加熱する。
- ③型に押し当てて曲面鏡を仕上げる。



図3 製作用具一式

### 4. 比較検証

効果を調べるために、曲面鏡を組み込んだカメラを計測用フィールド (図4) に設置し、全周囲カメラ画像および、機体からの距離 [cm] と計測された2乗距離を比較した。

#### 【計測用フィールド】

- ・180cm×180cm 白地黒線
- ・10cm間隔同心円を表示
- ・中心に機体 (直径21cm) を設置



図4 計測用フィールド

## 3. 結果・考察

### 1. カメラ画像比較

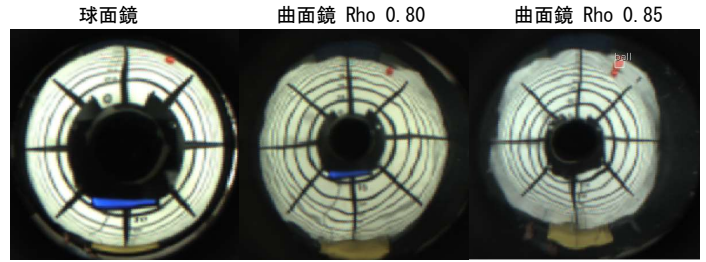


図5 全周囲カメラ画像

- ・既製品である球面鏡は、画像に歪みが少なく、相対角度を測定するには最適であると考えられる。50cmを超えると同心円を判別することができない。
- ・曲面鏡は、画像に歪みはあるが40cm以内では滑らかであり、相対角度の測定には影響はない。また機体の映り込みが小さいため、計測範囲を有効に使うことが出来る。Rho値は大きい方が、機体の映り込みが小さい。(図5)

### 2. 機体からの距離と2乗距離比較

表1 機体からの距離と2乗距離比較

- ・認識できた最長距離は、球面鏡は90cm、曲面鏡は150cmと160cmであり、曲面鏡は約1.7倍遠方まで位置座標を計測することが出来る。(表1)
- ・相対距離の指標となる2乗距離の最大値は10000であるが、球面鏡では機体の映り込みが大きいため計測範囲を有効に利用することができない。(表1)
- ・曲面鏡ではRho値が大きいくほど計測範囲を有効に利用しており、より精度の高い2乗距離の計測が期待される。(図6)

機体からの距離(cm)	球面鏡	曲面鏡 0.80	曲面鏡 0.85
10	6121	2561	1258
20	7541	3869	2089
30	8285	4597	2768
40	8912	5161	3893
50	9333	5536	4688
60	9565	5882	5105
70	9684	5965	5689
80	9881	6082	5987
90	9972	6304	6290
100		6445	6449
110		6653	6610
120		6673	6773
130		6905	6938
140		6905	7332
150		7012	7445
160			7618

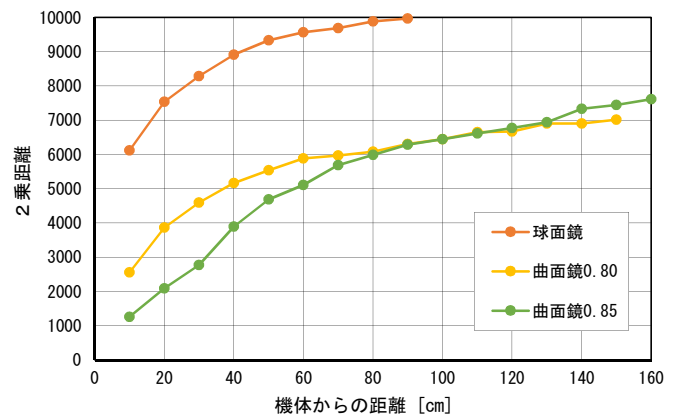


図6 機体からの距離と2乗距離比較

## 4. 結論

RCJJ公式フィールドは1.8m×1.2mである。今回研究においてほぼ全域を認識できる曲面鏡を製作することができた。オリジナルの型及び曲面鏡を製作するには時間を有することを学んだ。

- より精度の高い曲面鏡を製作するためには、
  - ①曲面鏡口径 (前提条件46mm) を大型化する。
  - ②カメラ本体及びレンズ構成の見直す。
  - ③曲面鏡を製作する手法を見直す。
- など考えられる。よりよいものを製作していきたい。

#### 【参考文献】

Fusion 360 マスターズガイド ベーシック編 小原 照記、藤村 祐爾 著 ソーテック社

#### 【キーワード】

全周囲カメラ 円錐曲線 カラートラッキング ロボカップジュニア

## A. 先行研究（カラーボール追跡システム）

本校は2013年より【ロボカップジュニアジャパンサッカーチャレンジ】に参加し、6年連続全国大会出場を果たした。

サッカーオープン 2014年：6位 2018年：4位 2019年：5位

2017年より競技規定の一部が変更され、赤外線パルス発光ボールに変わってパッシブボール（オレンジ色に着色されたボール）が試合球として採用された。このことから、ボールの位置を特定する手法を赤外線センサーからカメラ画像による**カラー-tracking法**に変更した。（先行研究 2017/8）

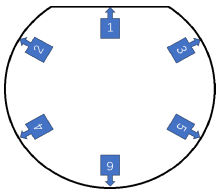


図 A 赤外線センサー配置

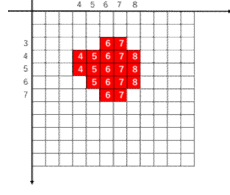


図 B カラーtracking概念図

曲面鏡による反射を利用した**自作全周カメラ (omnidirectional camera)** 画像を解析、**極座標に変換した相対角度と認識面積を相対距離**の指標とし位置座標を測定した。（先行研究 2018/4）

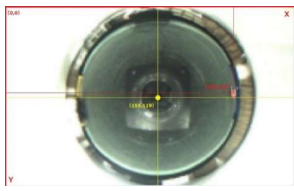


図 C カメラ画像

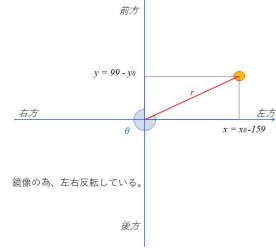


図 D 極座標変換

光源からの角度が変動する試合においては等距離であっても認識面積が異なり機体制御が不安定となった。

相対距離の指標を認識面積から、**三平方の定理による r の 2 乗距離**に変更した。また、**曲面鏡には球面鏡が適切かどうか**について検証を行った。（先行研究 2019/1）

表E 認識面積と2乗距離比較

距離	右 認識面積	左 認識面積	右 2乗距離	左 2乗距離	参考前 2乗距離
10cm	264	308	5801	5345	5330
20cm	96	99	6938	6749	6890
30cm	45	72	7573	7594	7748
40cm	21	45	8101	8297	8282
50cm	21	28	8465	8658	8653
60cm	21	18	8650	8840	9026
70cm	9	18	8836	9041	9220

## B. 曲面鏡の製作方法

- ・金属を研磨する。
- ・ガラス面に対して、銀メッキ（真空蒸着）を行う。

◎平面鏡を変形させる。（ヒートプレス成形など）

【製作方法】

①型の製作

◎CNCフライス盤による切削+研磨（図 F）

・3Dプリンター出力+パテ埋め+研磨（図 G）



図 F KitMill SR420 ORIGINALMIND

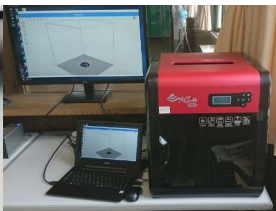


図 G ダヴィンチ 1.0 Pro XYZ PRITING

②ヒートプレス成形

電熱器で数分間加熱、柔らかくなった塩化ビニルミラーシート（0.5mm）を型に押し当てて成形する。（図 H）

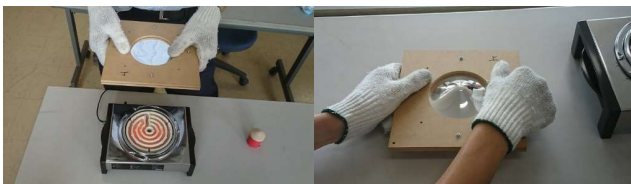


図 H ヒートプレス成形

※ 型の素材選定、加熱具合・押し当てる時間の加減が難しい。

参考Web【Yunit-tech】<http://yunit.techblog.jp/archives/70016697.html>

## C. 反射鏡（曲面鏡）に関する考察

### RoboCupJunior Soccer-Rules (8. 2. 2 Limitations)

A single robot can use **only one camera**. All commercial omnidirectional lenses/cameras are not permitted. Only omnidirectional lenses/cameras **made by students** are permitted. (Omnidirectional is defined as having a field-of-view of more than 140 degrees horizontally or more than 80 degrees vertically.)

### 反射鏡の形状について

- ・平面 カメラ画角以上には視野は広がらない。
- ・円筒 前方及び後方（1方向はカバーできるが平面には不適）
- ・**円筒+平面** 広範囲（1m竹定規の内側）を計測することができる。

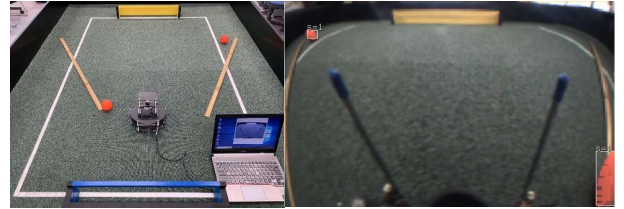


図 I 円筒+平面鏡

- ・**球面**（既製品）全周位を映し出せるが、遠距離を計測しにくい。



図 J 球面鏡

- ・円錐面 接合部等に歪みのない曲面を作る手法が判らず、製作せず。
- ・**双曲面** パラメーターにより測定範囲を変化させることができる。（オリジナル曲面）



図 K オリジナル曲面鏡

## D. ロボカップジュニア サッカーチャレンジ

### 【競技規定 概要】

<http://www.robotcupjunior.jp/>

- ・122cm×184cmのグリーンカーペットを敷いたフィールドにおいて、1チーム2台までの自律制御型ロボットが、オレンジボールを捕捉し、相手ゴールへシュートし、また相手からの攻撃を防ぐ。
- ・ロボットが白線を越えフィールド外に出た場合は、30秒間のペナルティー（退場）が命じられる。ボールがフィールド外より戻らないと判断された場合、直近の中立点（5カ所）に戻される。
- ・試合時間は前後半ともに5分間とし、5分間の休憩がある。プレイ中は、ロボットを操作したり触れることもしてはならない。
- ・使用するロボットは、直径22cm高さ22cm重さ2.4kg以内とし、2.5cm以上ボールを捕捉してはならない。また、ボールのすべての自由度をなくしホールドしてはならない。電圧は15V以内とし、故意に相手ロボットに損傷をあたえてはならない。
- ・ロボットの製作およびプログラミングはすべて、学生チームメンバーのみで行うものとする。



図 L サッカーフィールド