

1つのマジックミラー

- 2枚の放物面鏡を利用した物体の空間実像の形成 -

金野茂男

1. はじめに

本年度の学園祭に、写真1に示している1つのマジックミラーを製作し、展示した。2枚の放物面鏡を組み合わせることで、空中に実物体の実像が結像される装置である。写真では見えていないが、実物体は赤丸である。その実像が下の放物面鏡の焦点近傍に見えている。なを、装置の横寸法は約70cm長である。学生や来客の受けは好調であった。本ミラーシステムは科学教材としては結構なもの1つとなろう。製作も容易である。材料がそろえば、1人で1日でできよう。

実はこのミラーシステムは昨年度製作を試みたのであったが、失敗で終わったものである。本年度新たに挑戦し、完成させることができた。

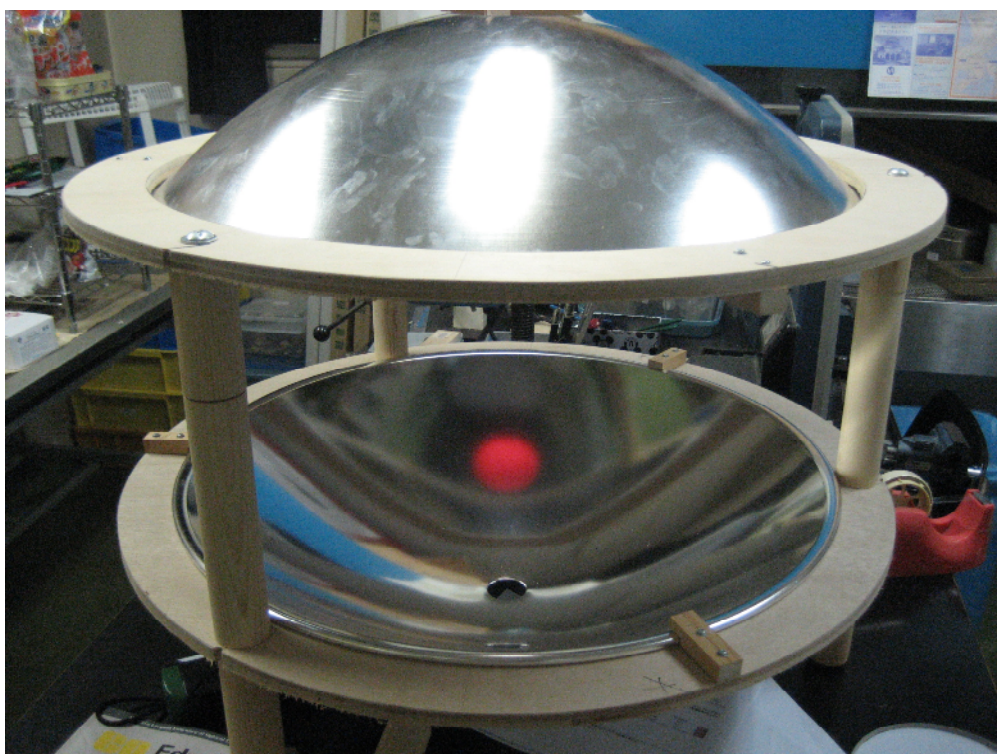


写真1 赤い玉の像が空中に浮かんでいる。手でつかめそう。

2. 製作

昨年度の製作の話をしてしよう。昨年度は衛星放送受信用のパラボラアンテナを放物面鏡として使用し、2枚を組み合わせ、空中に実像を形成する装置を作ること考えた。一般家庭で使用されているパラボラアンテナの多くはオフセット式であり、これは使えない。オンセット式のパラボラアンテナを使用する。オンセット型とは、焦点位置がパラボラ（放物面）の主軸上にあるものである。ブースタ受信器がアンテナの前方の下にあるものではなく、アンテナの中心線上にあるアンテナである。電子科棟の屋上に、使用済の大小幾つかのパラボラがあった。これを使用することにしたのである。グラインダー、その他の研磨器を用いて、塗装を剥がしていき、内面の鏡面化を行った。ペンキを剥がし、下地であるアルミを鏡面研磨していった。部分的に鏡面になった所で物体の反射像を観察してみると、反射像のゆがみが大きい。これらパラボラの面は予想外に凸凹していることに気が付いた。このパラボラはマイクロ波帯のパラボラである。mm程度の凸凹は当初から問題とならない。それに、また研磨が足りないのであろう、反射率が小さいのである。学園祭まで残りの日数が少なくなってきた。元々研磨、特に鏡面研磨には時間がかかるものである。もう、間に合いそうもない。ということで、中途で製作を断念した。

ここで、2枚の放物面鏡によってつくられたマジックミラーシステムで、空間に実像が形成される事を説明しよう。適当な本、或いはインターネットで検索することにより、このマジックミラーシステムの解説等を簡単に参考することできよう。

焦点距離の異なっている2つの放物面鏡を、図1に示しているように、向い合わせに配置する。図

1は側面図である。放物面鏡2の焦点距離 f_2 は放物面鏡1の焦点距離 f_1 より大きいものが望ましい。放物面鏡1の中心部分はある程度大きな穴とする。放物面鏡1の焦点位置に、放物面鏡2の原点が位置するのが望ましい。この位置に実物体を置く。図中の塗りつぶし赤丸である。実物体の実像は放物面鏡2の焦点位置に結像する。図中の斜線付きの赤丸である。この位置が放物面鏡1の上の空間位置にあるのが望ましい。

2つの放物面鏡の大きさがほぼ同じで、焦点距離が、図1での2つの放物面鏡の配置に適合するようには、ほぼ100%特注して入手しかないであろう。実際、手の平サイズの、この方式のマジックミラーは市販されている。自作で、この方式を実現するのは、放物面鏡を自作することになるので、極めて難しい。が、ステンレスなどのパラボラ擬き鏡面を持っている調理用ボール、鍋や蓋等を探し出し、試行錯誤で組み合わせを行えば、できるかも知れない。

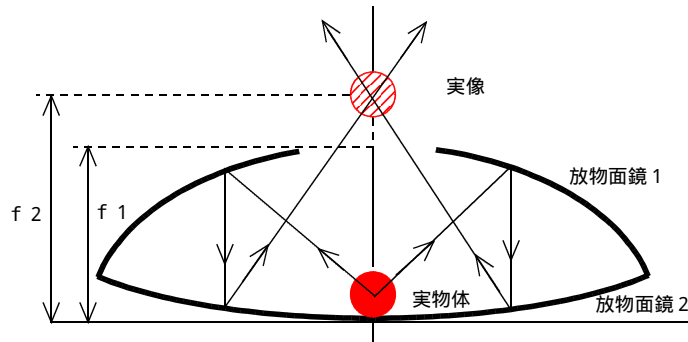


図1 焦点距離の異なる2枚の放物面鏡の組み合わせ。側面図。

パラボラアンテナから、放物面鏡をつくる方法はあきらめた。が、太陽光集光用のパラボラリフレクターをエドモンド社 (URL <http://www.edmundoptics.jp>) が販売していることお思いだし、購入することにした。放物面鏡として利用できるのではないかと考えたのである。カタログには大きさで、大(口径61cm、焦点距離152mm)、中(口径46cm、焦点距離114mm)、小(口径31cm、焦点距離76mm)の3種類のリフレクターが掲載されていた。まず大のリフレクターを1枚選ぶことにしたが、これを図1の放物面鏡1として使えば、放物面鏡2に相当するものがない。どうしようかと思案しているうちに、図2のような放物面鏡の組み合わせが頭に思い浮かんだ。これをやってみることにして、大型リフレクターを2枚購入した。図2の配置における光路図を、図中に描いている。焦点に置いた実物体からの光線は放物面鏡1で反射されると主軸に平行に反射し、放物面鏡2に到達する。ここで反射された光線は、放物面鏡2の焦点に達する。光線の流れは図1と全く同じである。図1では、上の放物面鏡の上あたりの空間に、図2では、下の放物面鏡の焦点近傍の空間に、実像が得られるはずである。

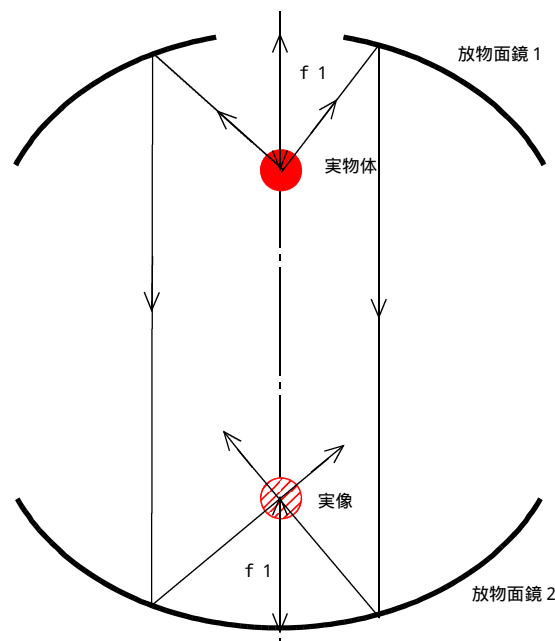


図2 同型2枚の放物面鏡の配置

放物面鏡が納品されると直ぐに、仮配置で試してみた。空間中に実像が浮かんで見えることが確認できた。実物体の大きさ、色、反射率、実物体の固定位置、等々色々な試行錯誤を繰り返し、当面の最良の結果が写真1である。

以下に製作に使用した主材料などを記載する。図3に、本ミラーシステムを、側面から見た概略寸法図を示している。

主材料

(1) 放物面鏡 販売先 「エドモンド オプティクス・ジャパン株式会社」

<http://www.edmundoptics.jp>

品名 「大型パラボラリフレクター - 610mm」 2枚購入

価格 ￥11130円/枚×2枚=￥22260円

パラメータ

外形 610mm

焦点距離 152mm

中心孔径 38mm

(2) ベニヤ合板 ホームセンターで購入

厚さ×縦×横 12mm×80cm×80cm 2枚

(3) 自作木製テーブル用丸棒足 ホームセンターで購入

直径 4cm

長さ適当 本数適当 が3組

放物面鏡1の方では、明り採り用のため、中央の穴は直径10cmの大きな穴とした。実物体が明るいほど、実像が明瞭となるからである。ベニヤ板から、同形の2枚のドーナツ板を切り出す。孔径は、放物面鏡が綺麗に納まるように決める。ドーナツ板に放物面鏡を3箇所固定する。写真1，写真2，図3を参考にして、3箇所に脚を、3箇所に柱を立てて、全体をしっかりと固定する。

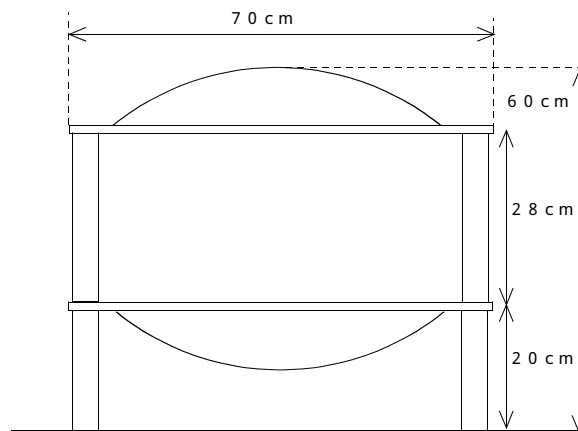


図3 本マジックミラーの概略寸法図。側面図。

写真2は、写真1で示している本システムを簡単に分解したものである。2つの棒物面鏡とも、同形のベニヤ円形リングに3箇所固定している。上の方の放物面鏡の中心部の穴は大きくしている。

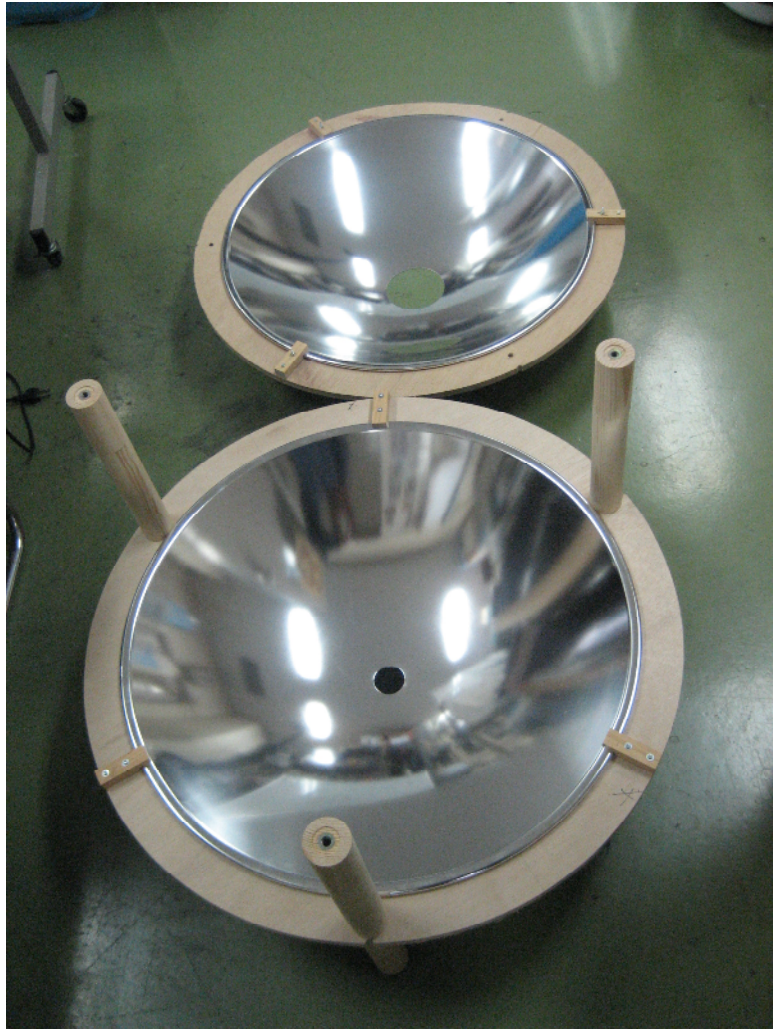


写真2 装置の分解状態

4. 終わりに

製作、その他において気が付いたことを列記する。

(1) 実物体は明るく照らしていると、実像もよく見える。室内での展示においては、放物面鏡1の穴の上部に懐中電灯を置いて実物体を照らした。懐中電灯の代わりに、室内蛍光灯の真下に置くのも一案である。放物面鏡1の中心部の穴径は直径10cmとした。もっと大きくしても良さそうであるが、大きくしたが、余計に結像が悪くなってしまう可能性が捨てきれない。切り取ってしまうと元へ戻せないの、決断を要する。と書いているうちに気が付いた。直径10cmの穴の開いた大きめ円形リングを紙から切り出す。これを上の放物面の中央部に貼り付ける。紙で覆われた部分では、像からの光の反射は、鏡面の時と比較すれば、極端に悪くなる。このようにしても結像に劣化が見られなければ、上の外直径部分の大きさまで、放物面鏡1に穴が開けられるであろう。これにより、実物体に、より多くの光が差し込むことになる。なを、市販されている手の平大のマジックミラーでは、上のミラーの中心部には、放物面鏡の大きさと比較すると、結構大きな穴が開いている。

(2) 放物面鏡として利用したパラボラリフレクターは、カタログによれば、太陽光の集光、光源の平行化に使用されることを目的とした商品のようなものである。従って、面精度は反射望遠鏡の放物面鏡の精度とは比較にならない。が、鏡としてはそれ程悪いものではない。色々なものを実物体として、実像の出来具合を試験をしてみた。実物体が大きすぎると、ピンぼけが大きくなる。暗いとやはり実像は暗くなる。写真1に示した程度の大きさが、一番良さそうである。

(3) 購入したパラボラリフレクターの外形と焦点位置の関係を図4に示している。このパラボラでは外縁を閉じた平面のあたりに、焦点が位置している。これでは図1のような放物面鏡の組み合わせは、元々不可能であることがわかって。なを、エドモント社の他の中、小レフレクタの焦点の位置もこの大レフレクタと同じような位置関係にある。

(4) 写真2からわかるように、鏡面の精度は「極めて」良いものではない。像のピンぼけ、像のゆがみが見て取れる。が、この程度のパラボラ鏡でも、空間に実像を結ばせることができた。面精度が

良くなれば、極めて明瞭な実像が得られることは確かであろう。

(5)「極めて」良い面精度で、かつ焦点距離も選択できる放物面鏡は販売されてもいる。反射型天体望遠鏡の放物面鏡である。天体の像を結像させるのであるから、面精度の良いこと、かつ反射率の良いことは請け合いである。が、価格のことを考えれば、本システムにミラーとして使用するのはお金の無駄遣いであろう。博物館などの常設の展示品の1つとしておくならば、無駄ではないかも知れない。

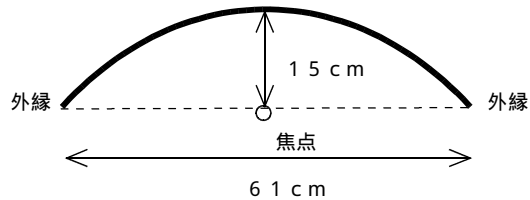


図4 パラボラリフレクターの外形と焦点位置の関係図

(2010年11月 5日)