

# 岡山天体物理観測所反射鏡のお化粧直し

小矢野久 国立天文台 岡山天体物理観測所

## I. はじめに

国立天文台 岡山天体物理観測所(以後岡山観測所と記述する。)は1960年に開所し、それ以来、毎年鏡の再蒸着を行ってきた。写真1.の白抜き文字は当初からで、黒文字は最近増えた施設です。188cm、91cm、30cm、65cm等の主鏡と、それに付随する多くの小さな鏡、

- ・188cm 望遠鏡 (8 枚)
- ・91cm 望遠鏡 (2 枚)
- ・30cm 望遠鏡 (2 枚)
- ・65cm 太陽クーデ望遠鏡 (9 枚) のざっと21枚を超える物を、直径約2mの蒸着釜で毎年6月頃に5釜の蒸着作業を重ねてきた。主鏡



写真1.

鏡の焦点距離は9.15m F/4.9で材質はピレックス材(ピルキントン社)である。厚みは約27cm、重量1.7トン、形状は放物面である。鏡とする為、純度99.999%のアルミニウム(以下アルミと記述する。)をガラスの表面に蒸着して100nm(0.1 $\mu$ m)の薄膜を作っている。反射率は蒸着直後は約92%もあるが、1年間使用すると、埃や湿気や酸化により60~70%に落ちてしまう。そこで毎年6月頃、お化粧を落とすように古いアルミを剥がし、開所以来50年以上もこの再蒸着作業を繰り返している。又近年は約月一回の鏡面洗浄を行い、反射率の回復作業を行っている。これらをお化粧直しとして報告する。

## II. 蒸着

蒸着とは、金属薄膜を作製する方法のひとつで、薄膜の材料となる金属が温度上昇で沸点を超えると蒸発が起きる。この時蒸発した金属が周りに発散して金属薄膜を生成する。我々の場合は、アルミ薄膜を作製する為に、タングステン製のフィラメントを使用している。36本のタングステンフィラメントに、純度99.999%のアルミを溶かし込んで、真空度約 $6 \times 10^{-6}$ torrの真空蒸着釜の中でアルミを蒸発させて100nm(0.1 $\mu$ m)の薄膜を鏡に張り付ける。アルミの融点は660.37 $^{\circ}$ C、沸点は2520 $^{\circ}$ C、一方タングステンの融点は3407 $^{\circ}$ Cである。電気抵抗による発熱で、アルミをタングステンフィラメントに溶かし込む。当岡山観測所の真空蒸着釜は写真2.に示すように縦型で、タングステンフィラメントに逆U字状のアルミチップをぶら下げて、この釜で溶かし込む作業をしていた。しかし、この時蒸発しないで溶けて塊のまま落下する物が有ると、飛沫が鏡の上に飛び散り、やり直しになる。そこで近年は蒸着前に、予め別の小型蒸着釜でブリュエットフィラメントを作っておく事にした。鏡の蒸着に至るには以下のII-1~4の作業が必要である。



写真2.

## II-1. プリウエット作業

蒸着作業の効率化と飛沫防止の為、予めタングステンフィラメント（品名 W6-A2-Φ0.7）に純度 99.999% のアルミを溶け込ませたものを作っておく必要が有る。これをプリウエットフィラメント（写真 3.）と呼び、下記装置で製作する。（写真 4.）

### 【作業手順】

- タングステンのフィラメントをアルコールで十分超音波洗浄する。（写真 5.）
- 乾燥させた後に重量を 1/100g 単位で測定する。
- 〈フラッシング〉フィラメントを真空釜にセットし、電気加熱で水分蒸発やゴミ焼却等を行う。（写真 6.）
- 希塩酸やアルコール等による高度の洗浄を施した適量のアルミ（これを怠るとアルミがフィラメントにうまく溶け込まないで落ちてしまう。）を、ビンセットで慎重に差し込んでいく。（写真 7.）
- 〈ウェットティング〉その後真空引きし、フィラメントに電気を送り電圧と継続時間をパラメータとして、1本のフィラメントに 0.2g~0.3g のアルミを溶かし込み完成品とする。（写真 8.）現在の歩留まりは 100% に近くになっている。
- 作業終了後に重量を計測し、溶け込んだアルミの量を記録する。（計算上で膜厚を推定する。）
- プリウエットフィラメント 1 本ずつに、番号と溶け込んだアルミの重量を記録、ビニル袋に収納し蒸着作業時まで保管する。中型蒸着釜は 36 本必要なので、1 工程 8 本仕上で、予備 4 本を含めて 40 本を 1 単位とする。

### 【アルミの洗浄方法（超音波洗浄）】

- 10% 塩酸 10 分（表面が溶けて光沢がなくなる）
- 10% 塩酸 5 分（塩酸は入れ替え）
- 純水 5 分（すすぎ 3 回以上、水は入れ替え）
- 純水 5 分（すすぎ 3 回以上、水は入れ替え）
- エタノール 5 分
- チソガス乾燥

### 【タングステンフィラメントの洗浄方法（超音波洗浄）】

- アルコール 15 分以上
- 自然乾燥

## II-2. 鏡の取り外し

- 望遠鏡本体よりセルごと主鏡を取り外す。（写真 9.）
- セルより主鏡を取り出し 2 階に保管する。（写真 10.）

## II-3. 蒸着作業

### A. 剥し

水道水を流しながら、拭上用綿布を 2~3 枚持ち、鏡面を強く擦らない程度に埃を掃いて洗い流す。水酸化ナトリウム溶液を拭上用綿布に浸し、外側から内側に向かって軽く引きずるように刷いていく。しばらく



タングステンフィラメント(品名 W6-A2-Φ0.7)に純度 99.999% のアルミを溶け込ませたもの。

写真 3.



小型蒸着窯と制御装置

写真 4.



アルミチップ

フィラメント

写真 5.

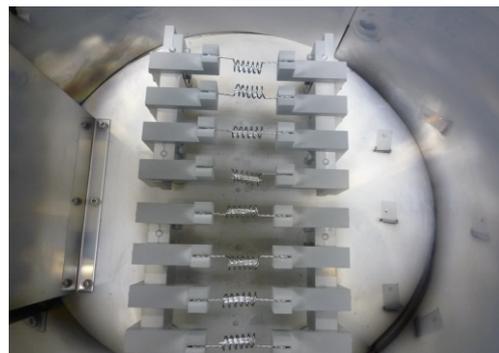


写真 6.

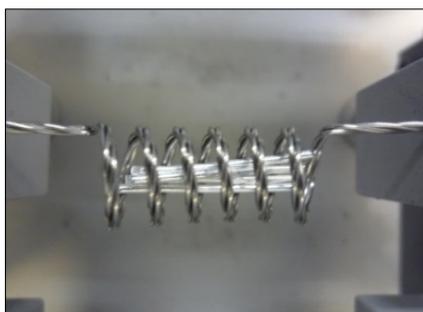


写真 7.

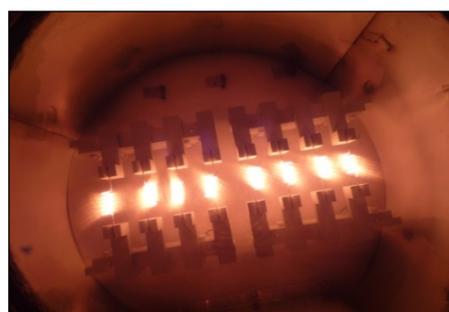


写真 8.

すると古いアルミが剥離するが、剥がれにくい所が有るので、拭上用綿布を置き、その上から水酸化ナトリウム溶液を垂らし留めて、剥離を促進させ完璧にアルミ除去を行う。(写真 11.)

### B. 磨き

重曹(重炭酸ナトリウム)を5~6箱分(1箱 500g)鏡面に振り掛け、純水でゲル状態にする。3~4人が薄いビニル手袋を使い、掌に力を込めて鏡面をまんべんなく擦っていく。その後純水で十分重曹を洗い流し、エチルアルコールで鏡面の水を置換する。(写真 12.)

### C. 拭き上げ

エチルアルコールとエチルエーテルの混合液を注射器で注入し、鏡のあらゆる小穴を置換掃除する。拭上用綿布2~4枚を半分に折り、折った中央にアルコールエーテルを少量付け鏡を拭き上げる。鏡中心穴から外側に向けて、小さく円を描くように拭き上げる。(写真 13.) 一度使用した拭上用綿布は二度と使わない。つなぎ服が鏡に当たらないように注意しながら、3~4人が二周り程度続行する。表面が終わったら中心穴の周りや鏡の側面も拭き上げる。最後にアルコールエーテルを付けずに、拭上用綿布で拭き上げる(空拭き)が、素手で触ったりしたら、その部分はアルコールエーテル作業からやり直す。かなりの力が必要で6月の時期と重なり、額や手足に大汗をかいてしまう。時には「ポテ！」と鏡に汗を落とす、「さあ！大変！やり直し！」ここが最大の難所で、この工程に不具合が発生すると大抵蒸着に失敗する。

### D. 蒸着

1. 先のプリウエットフィラメントを蒸着釜に取り付ける。
2.  $6 \times 10^{-6}$  torr 程度の真空度にしたら、蒸着工程に移る。  
蒸着作業の詳細は、語り尽くされているので割愛する。
3. 蒸着終了後、テープによる剥離テストを行う。(写真 14.)  
剥がれると剥がし作業からのやり直しになる。

### II-4. 鏡の取り付け

取り外しの逆行程なので説明は割愛する。

### III. 鏡面の洗浄

#### 【洗浄方法】

蒸着後 2~3 ヶ月過ぎたら鏡面洗浄を開始する。鏡周辺部を養生し(写真 15.) コンプレッサーで鏡面

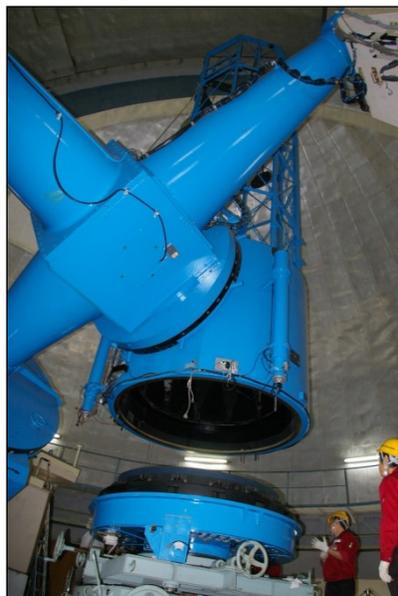


写真 9.

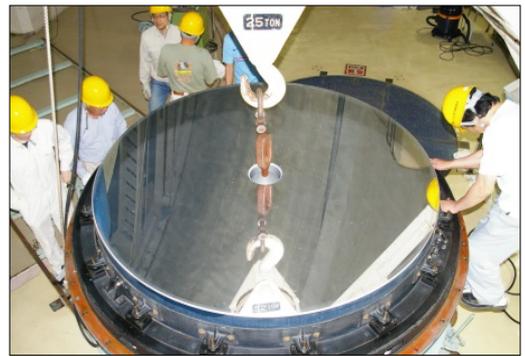


写真 10.



写真 11.



写真 12.

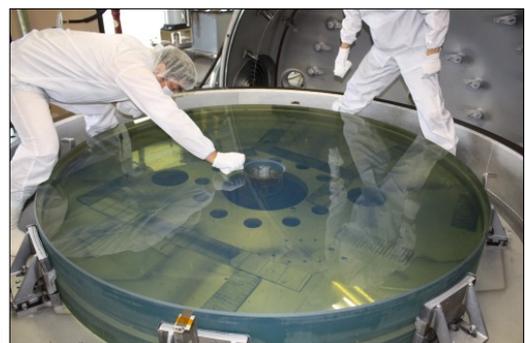


写真 13.



写真 14.



写真 15.

に付着しているゴミ類を吹き飛ばす。その後、レンズクリーナー (OLYMPUS EE-3310) を鏡面に噴霧しながら、脱脂綿布(コットンシーガル) (写真16.)を使い軽くたたくようにして、慎重に鏡面のゴミ・油分等のこびり付いた汚れをふき取る。(写真17.)鏡面を擦ってしまうとアルミ面に細かなキズを作り、散乱光を増やす事になる。洗浄の前後には反射率を測定して、変化を調べている。(写真18.)反射率測定には可搬型の反射率測定装置の $\mu$ Scanを使用している。(写真19.)2008年6月~2009年6月の鏡面反射率を図1.に示す。洗浄により数%反射率が改善し、年間を通じて反射率の低下を、1割程度に抑える事に成功している。



脱脂綿布 (コットン シーガル)

写真 16.



写真 17.



写真 18.



写真 19.

#### IV. まとめ

下記図1.の破線が従来の1年間放置した場合の反射率低下の軌跡です。折れ線はその都度、鏡洗浄し数%回復した様子です。点状の矢印は近年始めたオーバーコート (SiO<sub>2</sub>) した、主鏡以外の鏡の反射率変化の結果です。いずれの鏡も上下の矢印で示すように、汚れも復元力も非常に強く反射率は90%近くを維持し、劣化もほとんど感じられない。ここ数年経過しているが傾向は変わらない。多少の欠点は有るが、事お化粧直しにとっては非常に有効である。この様に毎年の再蒸着では90%近辺に戻し、月ごとの洗浄では80%近くに抑えている。コーティングに関しては大変成績良く、蒸着時の90%近くに復元している。但し、全体としてはやはり右下りの傾向は否めず、再蒸着は必要である。このように岡山天体物理観測所は鏡のお化粧直しによって反射率を回復し、可能な限り高い反射率を維持する作業を行っている。お化粧直しの後は、ハルトマンテストや光軸調整等の光学系の調整や各種装置と設備の保守・点検・整備が1カ月ほど続き、次の共同利用観測へと旅立つ事になる。

#### V. 課題

##### 【湿気の課題】

これをクリア出来れば鏡面洗浄の作業効率が大幅に改善されるものと思っている。実は2010年のエジプトコッタミア天文台の188cm望遠鏡(岡山と姉妹機)の修理作業中に、水だけによる洗浄を行った。写真20の左が長年放置された主鏡で、右が水だけによる洗浄結果です。新品同様の見事な姿でした。砂漠のど真ん中でのかなりの乾燥地帯ですが、これほどまでとは思っていませんでした。岡山観測所の湿気によるこびり付いた汚れは、洗浄剤でも拭き取る事は難しい。今後は湿気問題に取り組んでいきたいと思っている。

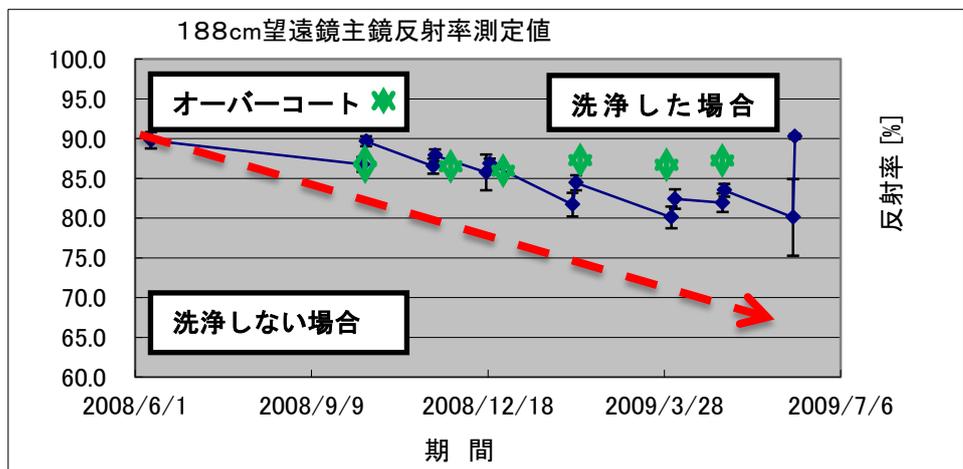


図.1



写真 20.