

黒塗り処理材表面の可視光-近赤外線における分光反射率

広島大学・宇宙科学センター 秋田谷 洋

2012 年 4 月 16 日

2014 年 10 月 10 日改訂

概要

可視光から近赤外線までを同時に扱う天文観測装置においては、迷光防止の観点で、波長域全域にわたって光学系周囲の構造物の反射率が十分低いことが求められる。そこで、様々な黒塗り材について 400–2500 nm における分光反射率を比較測定した。通常の黒アルマイト処理表面は、反射率が可視光短波長側で 1% 以下と低い一方で 700nm 以上では最大で 15% 程度まで上昇するため、近赤外線波長域の減反射材としては不適切である。低反射率を謳う無電解ニッケルメッキや黒塗り塗料は、可視光～近赤外線全域にわたって、素材により数 %–数 $\times 0.1\%$ 程度の低い反射率を有し、広帯域の減反射材として優れている。

1 主要な黒塗り材の分光反射率

1.1 はじめに

可視光から近赤外線にわたる幅広い波長域を扱う天体観測装置においては、光学系の迷光防止の観点から、光学系の構成部品の表面に減反射表面処理を行うことが望ましい。その候補となる複数種類の黒塗り処理 (各種アルマイト処理、無電解ニッケルメッキ、塗料塗布) を施した表面の反射率を、可視光 400 nm ~ 近赤外線 2500 nm の波長域にわたって測定し、広帯域の減反射材としての性能を比較した。

1.2 測定

測定には、国立天文台三鷹・先端技術センターの分光光度計に絶対反射率測定装置を装着して用いた。反射光入射角は、 12° 、 45° の 2 条件とした (すなわち、反射角はそれぞれ倍の 24° 、 90°)。測定の諸元は以下の通りである。

日付 2012 年 4 月 9 日 (月)-10 日 (火)

場所 国立天文台 三鷹 先端技術センター (ATC) オプトショップ

測定器 島津製作所 SolidSpec 370

測定器オプション 入射角 12° 絶対反射率測定装置、入射角 45° 絶対反射率測定装置を併用

測定器設定 波長範囲: 400–2800 nm、スキャンスピード: 中速、サンプリングピッチ: 1nm、スリット幅: < 20 nm (自動可変)、検出器・回折格子切替波長: 850nm

実施者 秋田谷、宇井

また、測定した素材は以下の通りである。

- 黒アルマイト処理板 1; 2012 年 4 月に新規製作したコリメータレンズ用の A5052 板部品
- 黒アルマイト処理板 2; HOWPol 用の板部品
- 無電解ニッケルメッキ フォスブラック-III(旭プレシジョン)

- 無電解ニッケルメッキ ソルブラック (旭プレジジョン新商品)
- トピカ黒染スプレートップガード (東美化学); 銅板にスプレーで塗布
- ベルベットコーティング (3M); アルミ板にスプレーで塗布
- アストロブラック (日本ペイント); 古い HONIR 用検出器ボックス部品に塗られていたもの
- アルミ蒸着鏡面 (シグマ光機)

測定器の写真を図 1 に、測定サンプルの写真を図 2-5 に示す。

1.3 測定結果

各サンプルについて、入射角 12° の分光反射率を図 6 に、入射角 45° の分光反射率を図 7 に示す。

入射角 45° の分光反射率測定結果には、850nm 付近において factor 2 程度に相当する段差が生じている。これは、真の反射特性ではなく、分光光度計の検出器・回折格子切り替えをこの波長で行っていることによる系統的な誤差である^{*1}。よって、反射率の絶対値としては、この段差相当程度の系統誤差は含まれるとみなすべきである。

1.4 議論

反射率の程度は、入射角 12° と 45° で最大で 2 倍程度の相違はあるものの、オーダーとしては同程度であり、また、波長依存性の傾向も概ね同一である。よって、以下、入射角 12° の測定結果を元に、素材の減反射性能について比較する。

黒アルマイト処理の反射率は、700nm 以下の波長域では数 $\times 0.1\%$ と低い。一方で、700nm から 800nm にかけて反射率が急増し、以降は近赤外域にかけて広い範囲で最大 15% 程度の反射率を有する。よって、700nm 以降の近赤外線波長域においては、減反射を目的とした表面処理としては好ましくない。ただし、この波長域でも、完全なアルミ鏡面の反射率 ($\sim 90\%$) に比べると数分の 1 の程度である。なお、2 種用意した黒アルマイトサンプルの間で反射率の絶対値に若干の相違がみられる。これは被処理面の素材や状態、処理時間や染色の程度の相違など、様々考えうる処理条件の相違によるものであろう。

無電解アルミメッキのうち、フォスブラック-III の反射率は測定波長域全体にわたり 4-5% 以下である。近赤外線域では黒アルマイトより減反射特性が優れるが、可視域はむしろ黒アルマイトよりも反射率が高い。一方で、旭プレジジョンに新商品として紹介されたソルブラックは、近赤外線長波長側において反射率が 2-3% 以下と低く、かつ、約 1300nm から短波長側にかけて最小で 0.2% 以下まで著しく低下する。

黒塗り塗料としては、3 種の素材を比較した。いずれも測定波長域全体で数 % 以下の一様に近い反射率



図 1 測定に用いた分光光度計 (左) と測定サンプルを設置した絶対反射率測定装置の装着部 (右)

^{*1} 分光器切り替え波長を変更すると、この段差の発生する位置も対応して波長移動する。

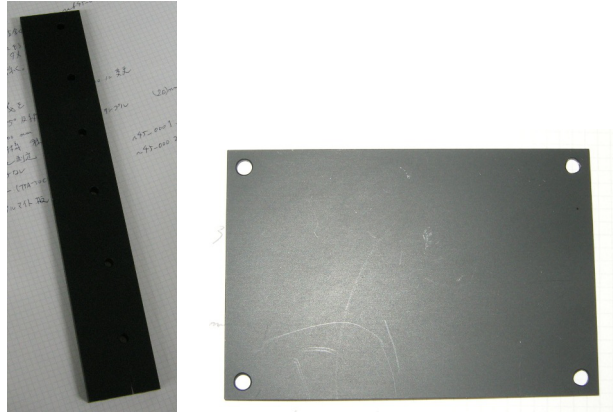


図2 黒アルマイト処理板。新コリメータ用板材 (左)、HOWPol 用板 (右)



図3 旭プレシジョン 無電解ニッケルメッキ。フォスブラック-III(左)、ソルブラック (右)。

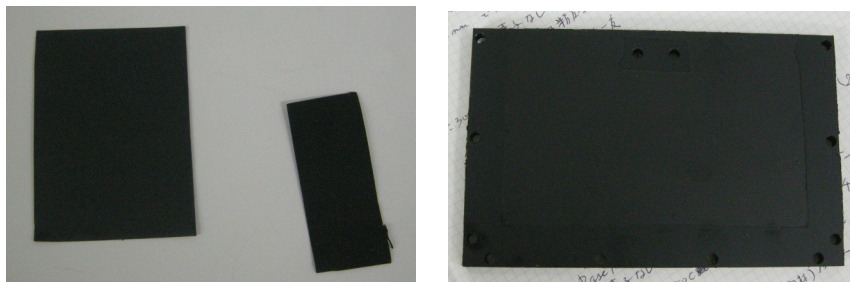


図4 黒塗り塗料。トップガード (左)、ベルベットコーティング (中)、アストロブラック (右)。



図5 アルミ蒸着鏡面

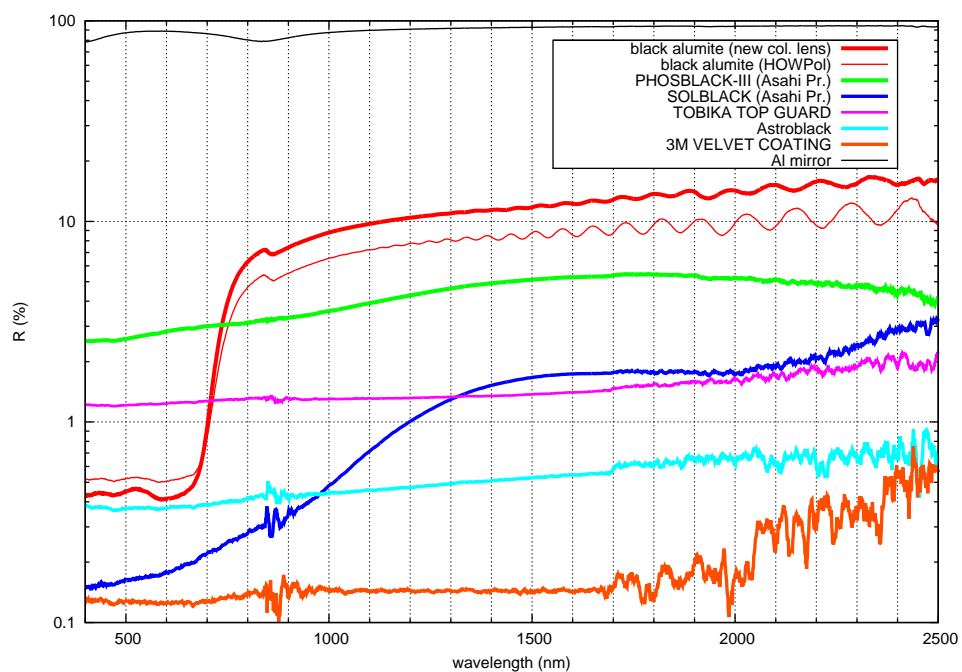


図6 入射角 12° の分光反射率。

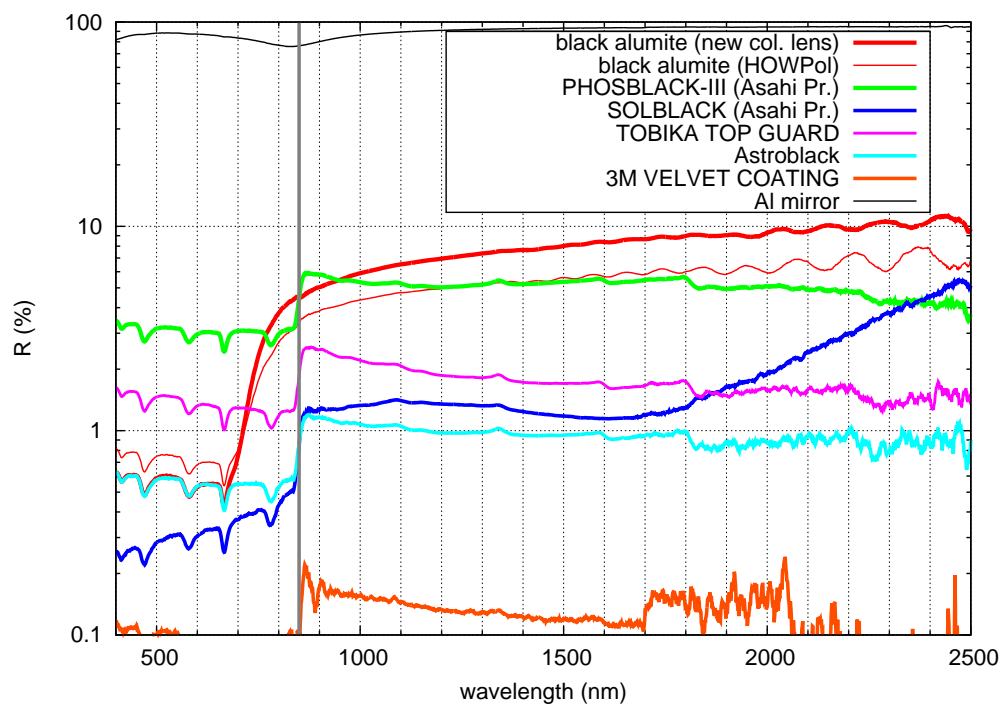


図7 入射角 45° の分光反射率。

分布を示し、減反射処理として優れている。トップガード、アストロブラック、ベルベットコーティングの順に反射率が低くなり、トップガードで 1-2% 程度、アストロブラックで 0.4-0.8% 程度、ベルベットコーティングでは、ほとんどの波長域で 0.2% 以下でありほぼ真っ黒といってよい。ただし、現在通常に入手可能な製品はトップガードのみであることに注意する必要がある。

可視～近赤外線全域にわたる減反射処理としての実用上の総合的な評価としては、塗布がしやすく塗料の脱落や塗布による寸法誤差が問題とならない部位に対しては、入手が容易で扱いやすいトップガードの塗布が良いだろう。もし、アストロブラック、または、ベルベットコーティングの残余を有する場合は、これらの方が減反射性能としてはさらに優れる。

一方で、レンズセルなど、塗料の塗布が難しい複雑な形状を有したり精密な寸法管理が必要な部位については、込み入った部位にも適用可能で処理厚の管理がしやすい無電解クロムメッキによる処理が良い。現行製品としてのフォスブラック-III が第一の候補であるが、もし適用が容易であれば、旭プレシジョン新製品・ソルブラックの方が減反射特性に優れておりより望ましい。

なお、いずれの表面処理についても可視・近赤外線観測装置に適用する場合には、液体窒素温度までの冷却サイクルへの耐性やアルコール等溶剤への耐性、真空容器中で用いる際のアウトガス特性などは、別途確認しておくべきである。

なお、ここで調査した素材の他に、「無電解黒色めっき カニブラック」(日本カニゼン(株))、「新黒色めっき 凄黒(すごくろ)」 「特殊形状ニッケルめっきウルトラブラック」(ともにエビナ電化工業(株)) 等、同様の性能を持つことが期待される素材がいくつかあるが、現段階では詳細な情報が得られていない。

2 表面観察

主要なサンプルの表面について、顕微鏡による拡大観察を行った。測定には、国立天文台先端技術センターオプトショップ常備の顕微鏡 Nikon MM-40 を用いた。

図 8-14 に顕微鏡による表面拡大像を示す。

多くの素材について、数 $10\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 程度の広がり大きな凹凸構造が見られている。これらの構造の高低差は数 μm の程度であった。また、大きな構造とは別に顕微鏡の分解能(数 μm) 程度のざらざらした表面構造を示すものが多い。素材によっては、このような複雑な表面形状による入射光の多重反射が大きな減光特性に寄与しているのかもしれない。

複雑で微細な表面形状は、真空容器内に封じた際に大きなアウトガス源となりうるため留意が必要である。

3 その他の部材の分光反射率

3.1 赤アルマイト板

赤色アルマイト処理された板(HONIR とかなた望遠鏡の接続用に用いているアダプタ板の端材; 図 15)の入射角 45° 分光反射率を測定し、黒アルマイト処理のものと比較した(図 16)。可視光短波長側で反射率が低く近赤外線側で反射率が高い傾向は両者とも変わらないが、赤アルマイト処理では反射率の立ち上がり波長が黒アルマイトの 700nm に対して 600nm と短い。すなわち $600\text{-}700\text{nm}$ で強く入射光を反射していることになる。これが、眼視にて表面が赤く見えている要因であろう。

3.2 アルミ合金粗面

適度に傷がついたアルミ合金 A5052A 板粗面(図 17)の入射角 45° の分光反射率を測定し、なめらかなアルミ鏡面と比較した(図 18)。なめらかなアルミ鏡面(図 5)では波長域全体に対して 70-90% の分光反射率を有するのにに対して、アルミ合金粗面の反射率は近赤外線 70% 以下であり、可視短波長側にかけて波長が短くなるにつれて反射率が大きく低下する。

真空冷却容器内への輻射による熱流入を詳しく評価する際には、容器表面の emissivity の値が重要とな

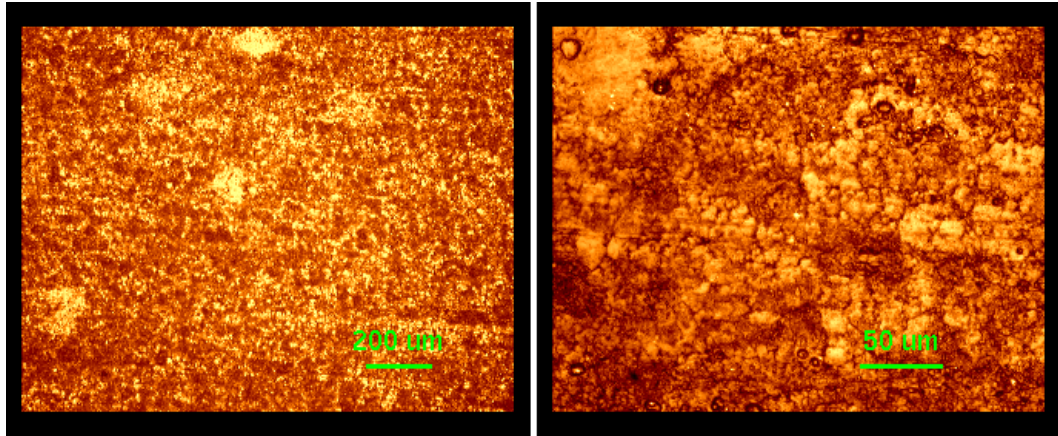


図 8 表面拡大観察: 黒アルマイト処理板 (新コリメータ用板材)。対物レンズ 10 倍 (左)、対物レンズ 50 倍 (右)。

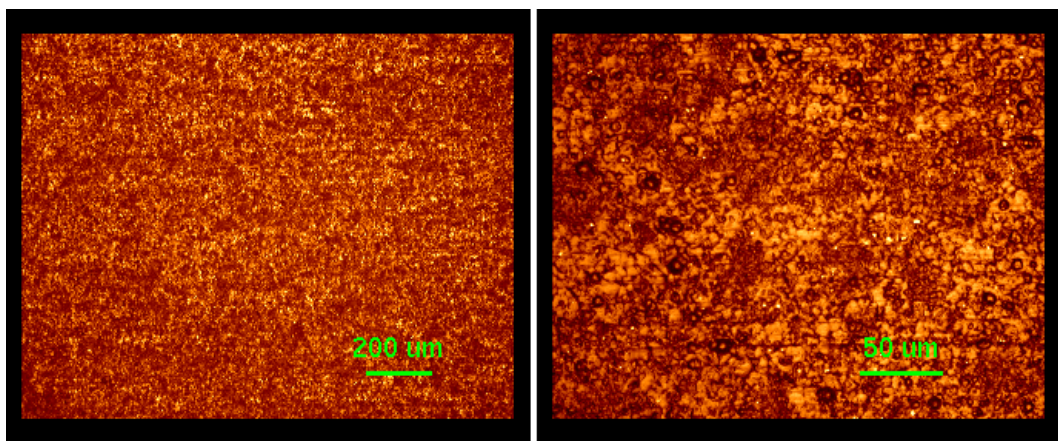


図 9 表面拡大観察: 黒アルマイト処理板 (HOWPol 用板材)

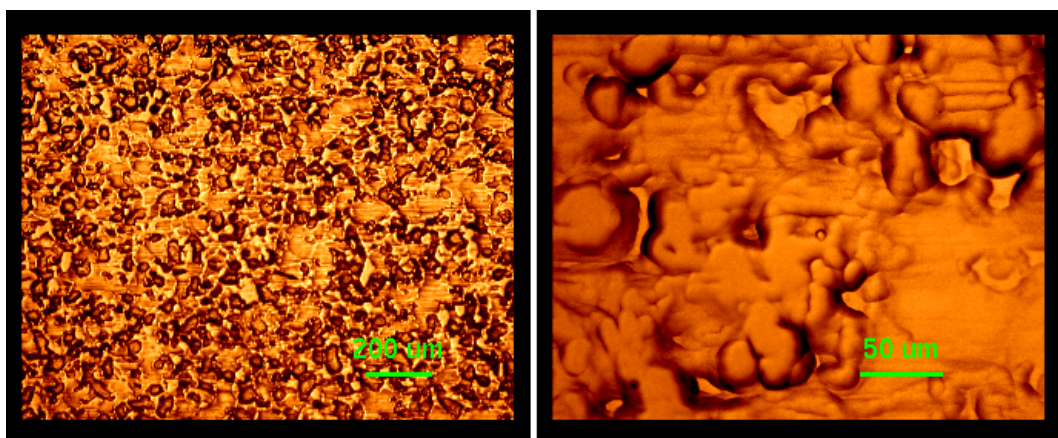


図 10 表面拡大観察: フォスブラック-III

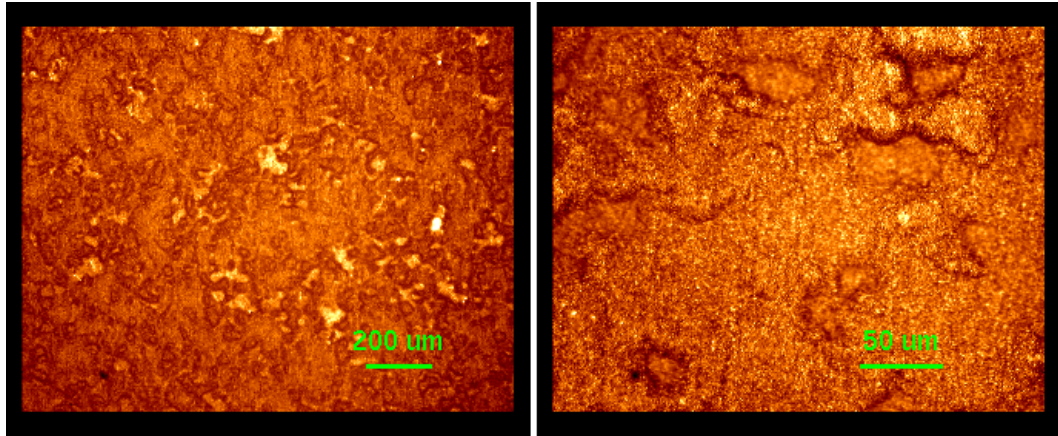


図 11 表面拡大観察: ソルブラック

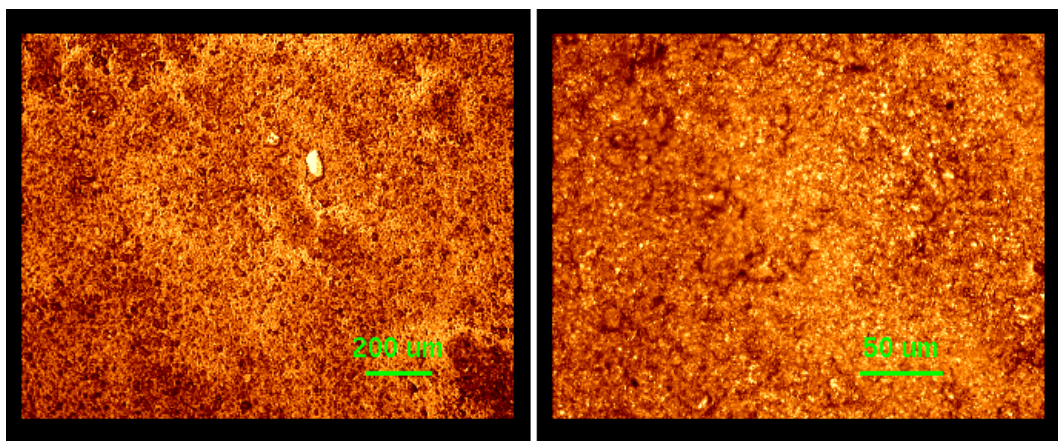


図 12 表面拡大観察: トップガード

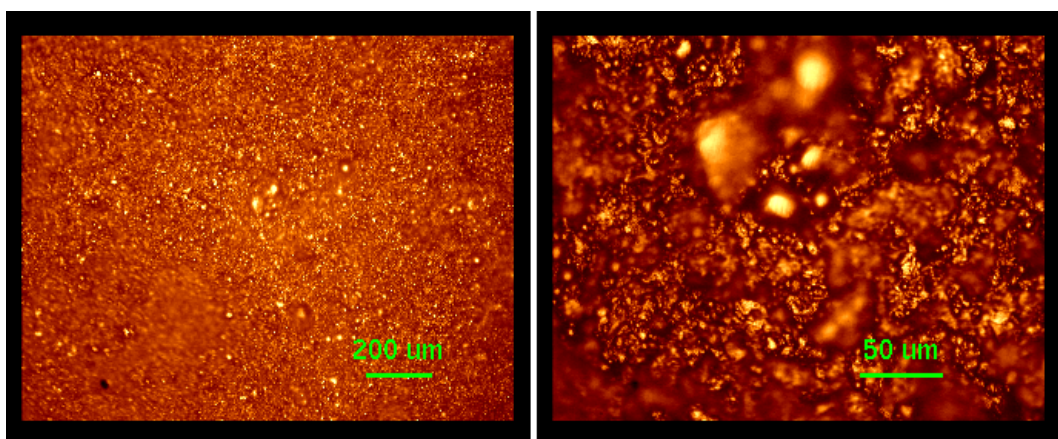


図 13 表面拡大観察: ベルベットコーティング

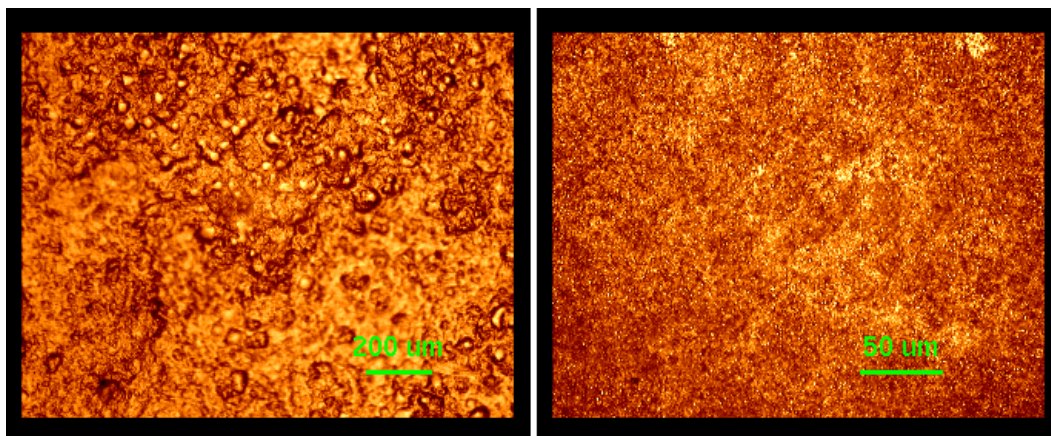


図 14 表面拡大観察: アストロブラック



図 15 赤アルマイト処理板

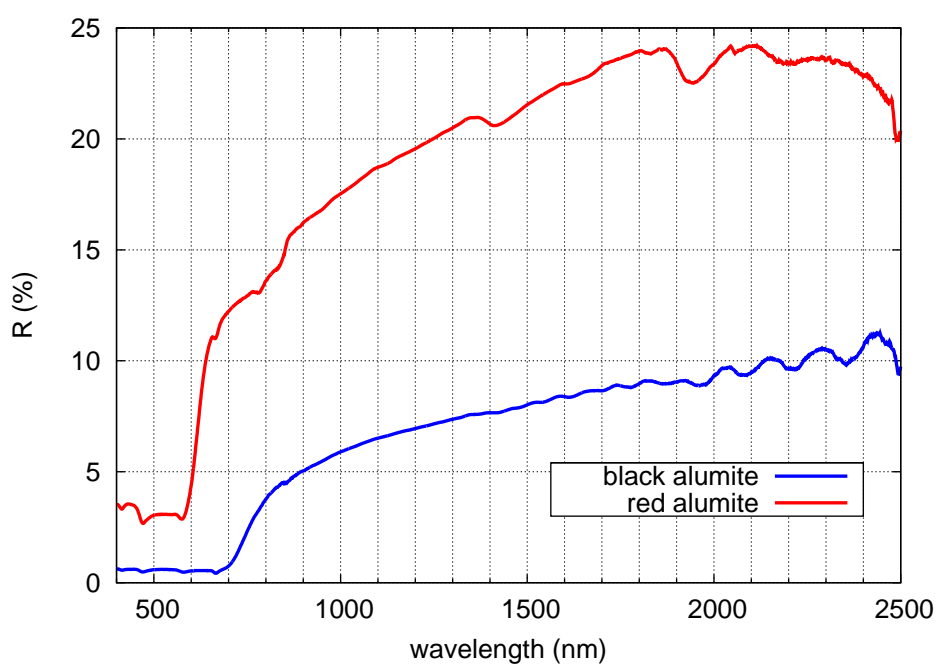


図 16 赤アルマイト処理板と黒アルマイト処理板の分光反射率比較

る。さまざまな表面粗さのサンプルを作成して同様の分光反射率を測定し比較することは興味深い。

謝辞

本測定試験は、国立天文台先端技術センターの支援を受けて実施した。測定に使用したフォスブラック-III サンプル、および、ソルブラックサンプルは、ともに (株) 旭プレシジョンから提供を受けたものである。



図 17 アルミ合金 A5052 粗面サンプル

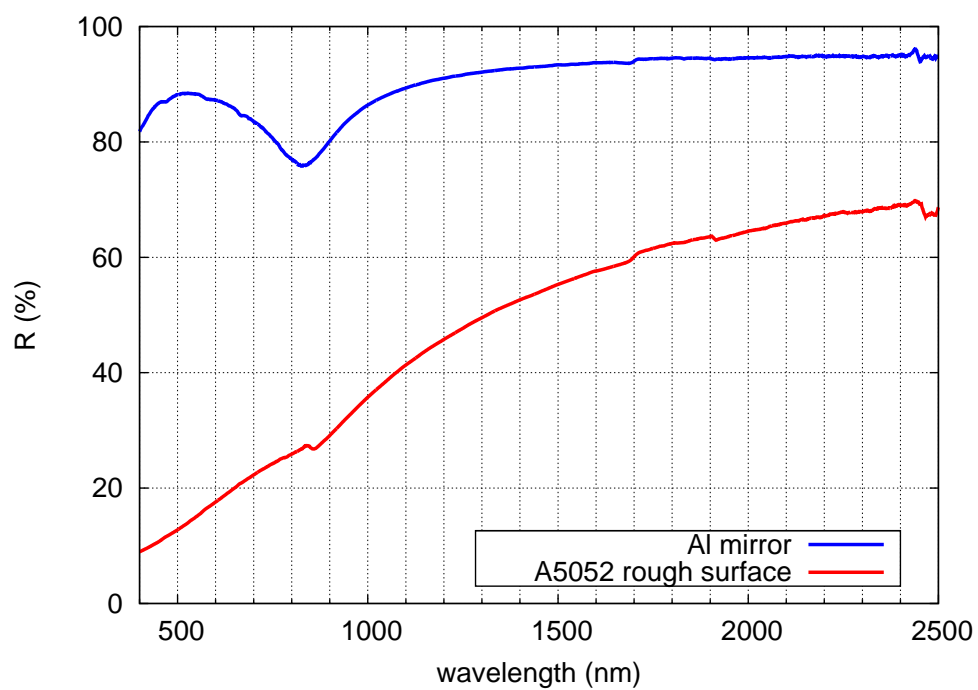


図 18 アルミ合金 A5052 粗面となめらかなアルミ鏡面の入射角 45° 分光反射率