

## スペクトラロン反射材料の物性および反射特性

By: Arthur W. Springsteen Ph.D  
James E. Leland  
Reflectance Research Staff Scientists



株式会社 システムズエンジニアリング

本 社: 東京都文京区小石川1-4-12 文京ガーデンザウエスト801 TEL:03-3868-2634  
西日本営業所: 大阪府大阪市淀川区宮原2-14-4 MF新大阪ビル3F TEL:06-6868-9790  
<https://www.systems-eng.co.jp> E-mail: [info@systems-eng.co.jp](mailto:info@systems-eng.co.jp)

スペクトラロンは、機械加工が可能で、高密度ポリエチレンとほぼ同程度の硬度のサーモプラスチックです。375℃以上の温度まで熱的に安定で、非常に強力な塩基、例えばナトリウムアミド、有機ナトリウムあるいは有機リチウム化合物を除くほとんどの物質に対し化学的不活性です。また、非常に優れた疎水性をもつので、石鹼と水による洗浄も可能です。さらに、表面の損傷や極度な汚れは、水を流しながら磨くことによって元の状態に戻ります。

表-1 SRS-99の物性特性

密度	:	1.25 - 1.50 g cm <sup>3</sup>
透水性	:	0.001%以下 (疎水性)
硬度	:	20 - 30 ショア D
熱的安定性	:	分解温度400℃以上
熱膨張係数	:	5.5 - 6.5 x 10 <sup>-5</sup> in/in ° F

### スペクトラロン SRS-99 の反射特性

スペクトラロンは、紫外-可視-近赤外のほとんどの領域で比較的フラットな分光特性を示します。標準的には、250nm~2.5 μの波長領域で5%以下の変動です。可視領域(360nm~740nm)だけに着目すると、変動量は0.5%以下となります。この分光特性は、酸化チタンなどの色素により紫外領域に強い吸収を示すほとんどの塗料にくらべて格段の進歩と言えます。また、スペクトラロンは疎水性に優れているため、硫酸バリウムの様な材料に見られる近赤外領域の水の上音バンドが除去されます。

表-2 SRS-99の標準的な反射率

波長 (nm)	反射率	波長 (nm)	反射率
250	.973	1400	.991
300	.984	1500	.990
400	.991	1600	.989
500	.991	1700	.986
600	.992	1800	.987
700	.992	1900	.976
800	.991	2000	.965
900	.992	2100	.948
1000	.993	2200	.966
1100	.992	2300	.968
1200	.992	2400	.948
1300	.992	2500	.955

## スペクトラロン白色材料の反射率と厚さの関係

スペクトラロンの厚さが6.0mm～7.0mm以下の場合、以下の通り反射率が低下します。

表-3 SRS-99の厚さと反射率の関係

	325nm	450nm	555nm	720nm	850nm	1060nm
1.0mm	.934	.937	.933	.928	.922	.916
1.5mm	.944	.951	.949	.948	.946	.942
2.0mm	.959	.962	.960	.958	.956	.954
2.5mm	.966	.969	.968	.967	.966	.964
3.0mm	.970	.973	.972	.970	.969	.968
3.5mm	.967	.973	.973	.973	.972	.971
4.0mm	.973	.977	.976	.976	.976	.974
4.5mm	.978	.988	.986	.984	.983	.982
5.0mm	.988	.992	.989	.988	.985	.986
5.5mm	.987	.992	.989	.988	.985	.987
6.0mm	.985	.991	.989	.987	.986	.986
6.5mm	.984	.990	.989	.988	.986	.987
7.0mm	.985	.991	.990	.989	.987	.988

## 中間赤外領域におけるスペクトラロンの反射特性

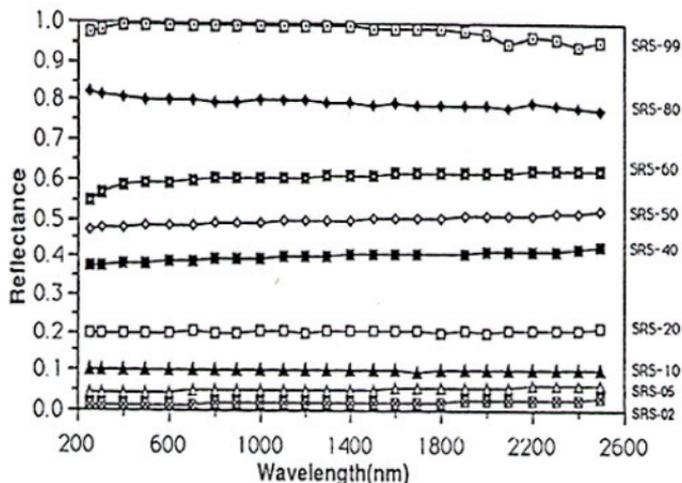
スペクトラロン（SRS-99）は2.8 $\mu$ 、3.9～4.3 $\mu$ に吸収があり、5.4～8.0 $\mu$ にはさらに強い吸収（反射率20%以下）があるため、中間赤外の反射材料としては適していません。

## 灰色材料としてのスペクトラロン

スペクトラロンに黒の色素を注入することによって、波長反射率特性がフラットな灰色標準を作ることができます。その様な灰色標準は、スペクトラロンの白色板と同様の物性的あるいは分光的特性を示します。異なるグレースケールの灰色標準を用いて、血液分析、CCDアレイ、暗視装置、色標準などの様な種々の光学装置を校正できます。

スペクトラロン灰色標準は、個別またはセットで販売されています。4種類および8種類のセットがあり、各々、99/75/50/2%、及び、99/80/60/40/20/10/5/2%の反射率の灰色標準が含まれます。また、反射率の分光特性は次のページの通りです。

スペクトラロン灰色標準の反射率



### 入射角度と反射率の関係

光の入射角度をファクターとして、トータルの半球反射率を測定しました。試料としては2%~99% (入射角度8°で測定)のスペクトラロン灰色標準を用い、入射角度45°と61°で測定しました。黒の色素をより多く含む低反射率のものは比較的大きい偏差を示しました。この測定はパーキン・エルマー社製λ9分光計にラプスフェア社製の反射/透過測定用積分球を組み合わせて行ないました。また、積分球の中央の回転式試料ホルダを各々の角度に合わせ、2枚のSRS-99 (反射率99%)を使ってバックグラウンド補正を行ない、標準としてはNBSのSRM 2019aと2021を使用しました。

表-4 反射率と入射角度との関係

波長 (nm)	SRS-99 (反射率99%)		SRS-60 (反射率60%)	
	ΔR/R (45°)	ΔR/R (61°)	ΔR/R (45°)	ΔR/R (61°)
300	+0.009	+0.010	+0.026	+0.064
600	-0.006	-0.005	+0.021	+0.050
900	-0.002	+0.001	+0.033	+0.051
1200	-0.002	-0.003	+0.027	+0.042
1500	-0.003	-0.002	+0.024	+0.042
1800	-0.004	0.000	+0.020	+0.040
2100	+0.015	+0.013	+0.029	+0.040
2400	+0.022	+0.015	+0.040	+0.042

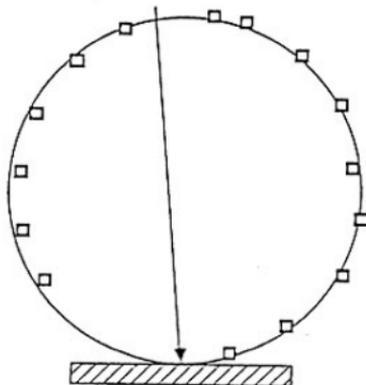
波長 (nm)	SRS-20 (反射率20%)		SRS-02 (反射率2%)	
	$\Delta R/R$ ( $45^\circ$ )	$\Delta R/R$ ( $61^\circ$ )	$\Delta R/R$ ( $45^\circ$ )	$\Delta R/R$ ( $61^\circ$ )
300	+0.021	+0.051	+0.021	+0.031
600	+0.021	+0.051	+0.017	+0.023
900	+0.028	+0.059	+0.008	+0.015
1200	+0.024	+0.056	+0.007	+0.014
1500	+0.022	+0.055	+0.004	+0.011
1800	+0.020	+0.061	+0.004	+0.010
2100	+0.023	+0.050	+0.008	+0.014
2400	+0.023	+0.052	+0.013	+0.022

### スペクトラロンの拡散性

スペクトラロンの拡散性は各波長に於ける BRDF (Bidirectional Reflective Distribution Factor) を測定することにより決定されます。スペクトラロンは 250nm、351nm、1.06 $\mu$ 、10.6 $\mu$  でほぼ完全拡散面に近い性能を示します。また、光源として He-Ne レーザ (632.8nm) を用いた Toomay-Mathis CASI モデル C1 分光計での測定でも同様の結果を示します。

スペクトラロンの多孔性構造により、一次反射成分は少なく二次反射あるいはそれ以上の多重反射成分が多くなるために優れた拡散性を示すと考えられています。また、黒い色素を加えると多孔性構造に変化を起し、多重反射成分が減少するために拡散性が悪くなると考えられます。

図-2 BRDF (Bidirectional Reflective Distribution Factor)



SRS-99 スペクトラロンに He-Ne レーザ (632.8nm) を入射角度  $5^\circ$  で照射したときの散乱光強度と角度の関係を示します。□で示される点は測定値を示し、完全拡散面による理論値を円円で示されています。

Figure 3

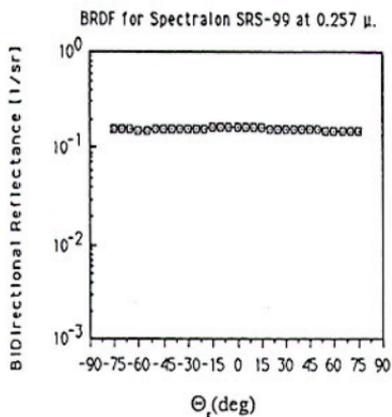


Figure 4

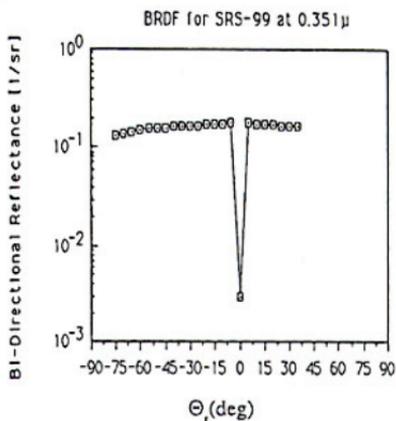


Figure 5

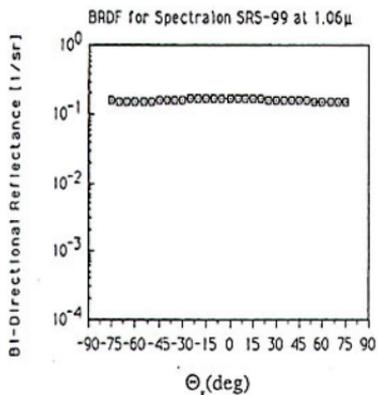
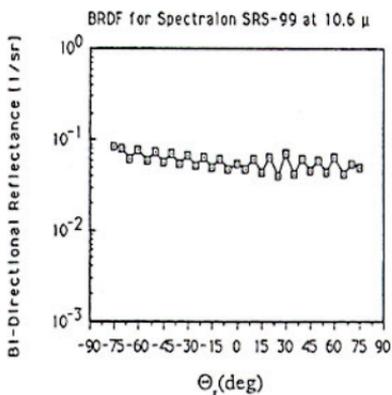


Figure 6



白色反射板よりは劣りますが、灰色反射板もかなりの拡散性を示します。しかし、反射率が低いものは入射角度 $50^\circ$ 以上で鏡面成分を示す傾向があり、一方、色素が少なくなる程、白色反射板に近い性質を示します。

Figure 7

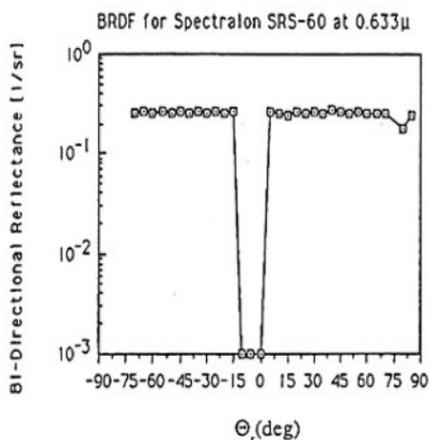


Figure 8

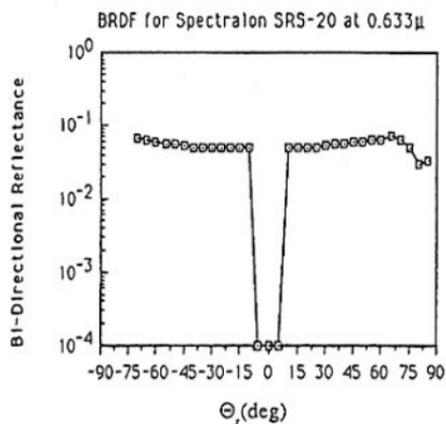
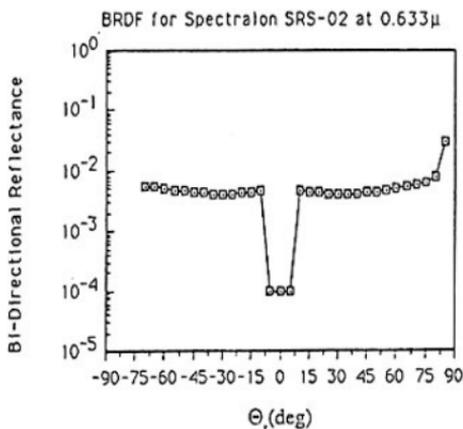


Figure 9



## スペクトラロンのその他の特徴

スペクトラロンの優れた拡散性は、表面及び表面付近の構造によりもたらされます。サーモプラスチックのこの多孔性構造は表面から数100 $\mu$ の領域で多重反射を起こします。しかし、このことはスペクトラロンが疎水性を示す反面、無極性溶剤や油を吸収し易いという欠点でもあります。もしその様な溶剤が不純物を含んでいたとすると簡単には取り除くことはできません。従って、スペクトラロンの性能を長く維持するためにはそのような汚染源から遠ざけておく必要があります。

## 環境試験／耐候試験

SRS-99（反射率：約99%）及びSRS-02（反射率：約2%）を試料とし、屋外に最長2年間設置して老化試験及び耐候試験を実施し、約3ヶ月毎に、各々の試料の反射率の変化を調べました。実験室に持ち込まれた試料を、まず石鹼水で洗い、次に水道水を流しながら耐水性の布やすりでいねいに磨いて表面を再生しました。そして、再生された試料の可視域に於ける反射率を50nm毎に測定しました。測定の結果、反射率にほとんど変化は見られませんでした。

表-5 SRS-99 耐候性試験結果

波長 (nm)	当初反射率	1ヶ月後	4ヶ月後	18ヶ月後
400nm	0.988	0.987	0.988	0.986
450	0.990	0.988	0.988	0.990
500	0.989	0.985	0.987	0.985
550	0.986	0.983	0.987	0.986
600	0.987	0.984	0.988	0.988
650	0.987	0.985	0.988	0.988
700	0.986	0.983	0.988	0.987

次に、同じ試料を用い、海水に対し長期間浸し試験を行ないました。6ヶ月浸した後で、何れの試料についても反射率の変化は見られませんでした。この時、特に表面を処理する必要はありませんでした。