LMT LICHTMESSTECHNIK GMBH BERLIN

LMT RT500

反射・透過測定システム

取扱説明書



日本総代理店
旭光通商株式会社
www.kyokko.com

RT500 Operation Manual
Version : 2005-10

1. 材料の測光特性測定装置の説明..... 3
1.1 積分球..... 3
1.2 光源..... 5
1.3 測定コンソール..... 9
1.4 付属品ケース..... 13

2. 操作手順..... 13

3. 反射率ρおよび拡散反射率ρdの測定.....14
3.1 反射率ρの測定.....14
3.1.1 測定原理..... 14
3.1.2 測定方法..... 14
3.2 拡散反射率ρdの測定..... 16
3.3 ρdの評価例..... 18

4 平面鏡および凸面鏡の反射率ρの測定..... 20
4.1 測定原理..... 20
4.2 測定方法..... 20
4.3 ρおよびρdの評価例.....22

5. 透過率τと拡散透過率τdの測定..... 23
5.1 透過率τの測定..... 23
5.1.1 測定原理..... 23
5.1.2 測定方法..... 23
5.2 拡散透過率τdの測定.....24
5.3 τおよびτdの評価例.....26

6. 拡散光入射時における透過率 τdif の測定..... 28
6.1 測定原理..... 28
6.2 測定方法..... 28

7. ρ、ρd、τ、τd、τdifの評価に関する簡単な手順.....30

8. ヒント..... 31

1. 材料の測光特性を測定するための装置の概要

1.1 積分球

直径500mmの積分球はアルミニウム製で、安定したアルミニウム製の台座に設置されています。

積分球の内壁には、拡散反射特性を持ち、波長にほとんど依存せず分光反射率ρ(λ) ≈ 0.8を示す、LMTフォトメーター専用の塗料が塗布されています。この積分球の構造は、DIN 5036第3部およびISO 5740-1982に準拠しています。

積分球には6つの開口部があり、それぞれ1から6までの番号が付けられています。

開口部1は試料挿入口です。

開口部2は代替開口部です。

試料台はこれらの開口部の前に設置されます。

反射率測定の場合、ρ光源からの光線は開口部3または6を通って球体内に入射します。開口部4または5には、ρ_dまたはτ_dの測定用に直径10mmの光トラップが設置されます。

開口部1の真下には、V(λ)特性に合わせて補正されたシリコン光検出器(受光素子)が設置されています。この受光素子の手前には、積分球の内壁に拡散材が固定されています。

試料用開口部(1)と光検出器の拡散材との間には、小さな遮光板が設けられています。これにより、試料からの光が直接拡散材に当たらないようになっています。

積分球の内壁への埃の付着を防ぐため、測定終了後は、付属品ケースに同梱されているキャップを使用して開口部1および2を塞いでください。

各開口部の位置および積分球を構成する部品については、図2を参照してください。

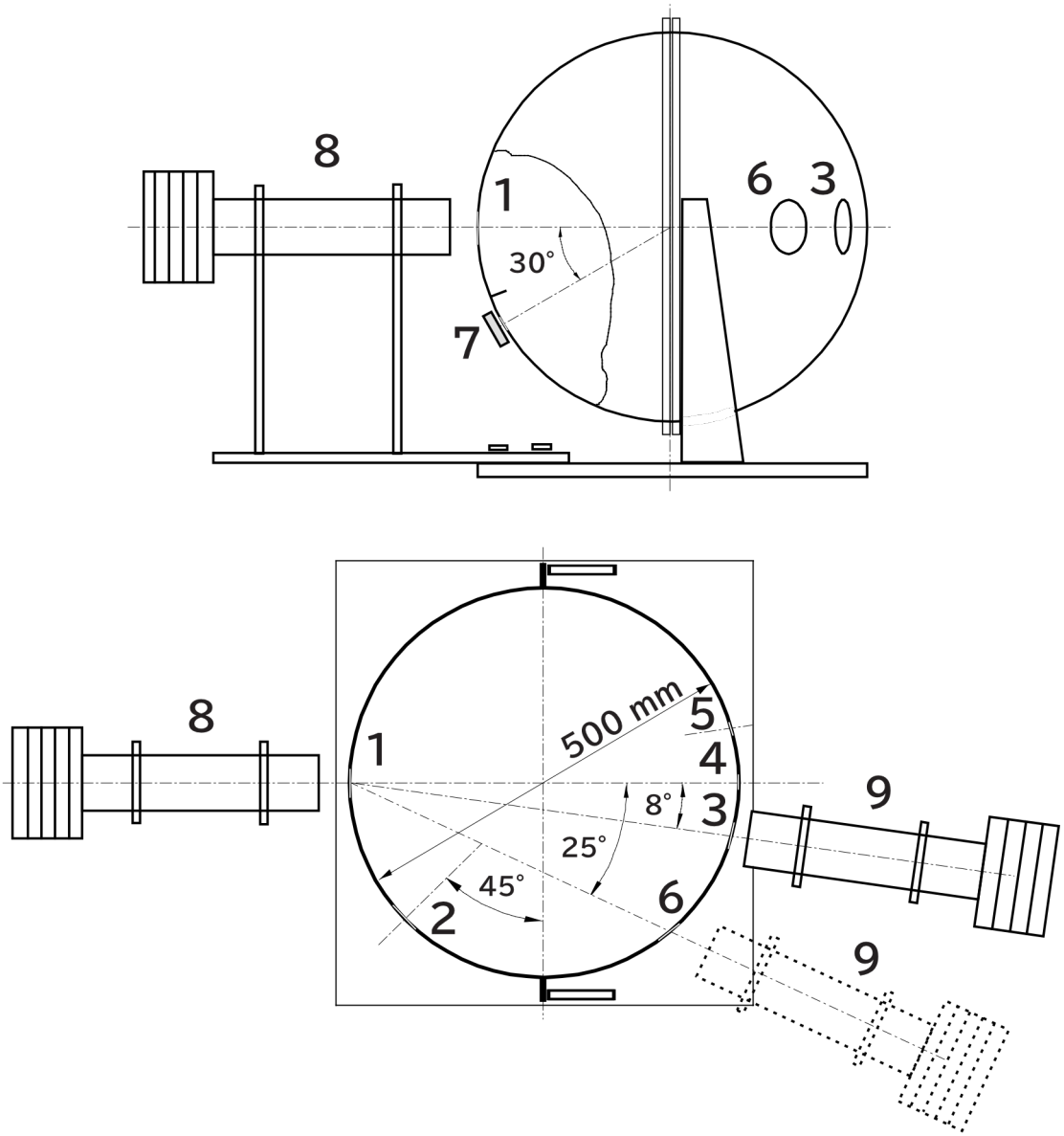


図2:構成要素の概略図

1　試料開口部
2　代替開口部
3　開口部3
4　開口部4
5　開口部5
6　開口部6
7　測光ヘッド
8　τ - 光源
9　ρ - 光源

日本総代理店
旭光通商株式会社
www.kyokko.com

1.2 光源

ρ（反射率）およびτ（透過率）の測定に使用する光源には、いずれも6V/10Wのハロゲン白熱電球（OSRAM 64 225）が搭載されています。

また、これらの光源にはシリコン光電素子（Siフォトセル）が組み込まれています。この素子はビームスプリッターの背後に配置されており、ハロゲン電球の光束を一定に保つための電子制御に使用されます。

電源および制御回路は、RT500（測定コンソール）に統合されています。電源電圧が±10%の範囲で変動しても、ハロゲン電球の光束の変化は0.1%未満に抑えられます。電球は、標準光源A（色温度2856K）に相当する色温度になるよう調整されています。

各光源には、接続ケーブル用の4ピンLEMOソケットが備わっています。

使用する光源を、接続ケーブルを介してRT500の「Lamp」ソケットに接続します。

3段階の切り替えスイッチが用意されており、

- ρ（ρ測定用）
- τ（τ測定用）
- τ_{dif}（τ_{dif}測定用：オプション）

上記の中から、使用する光源に応じた位置に設定する必要があります。

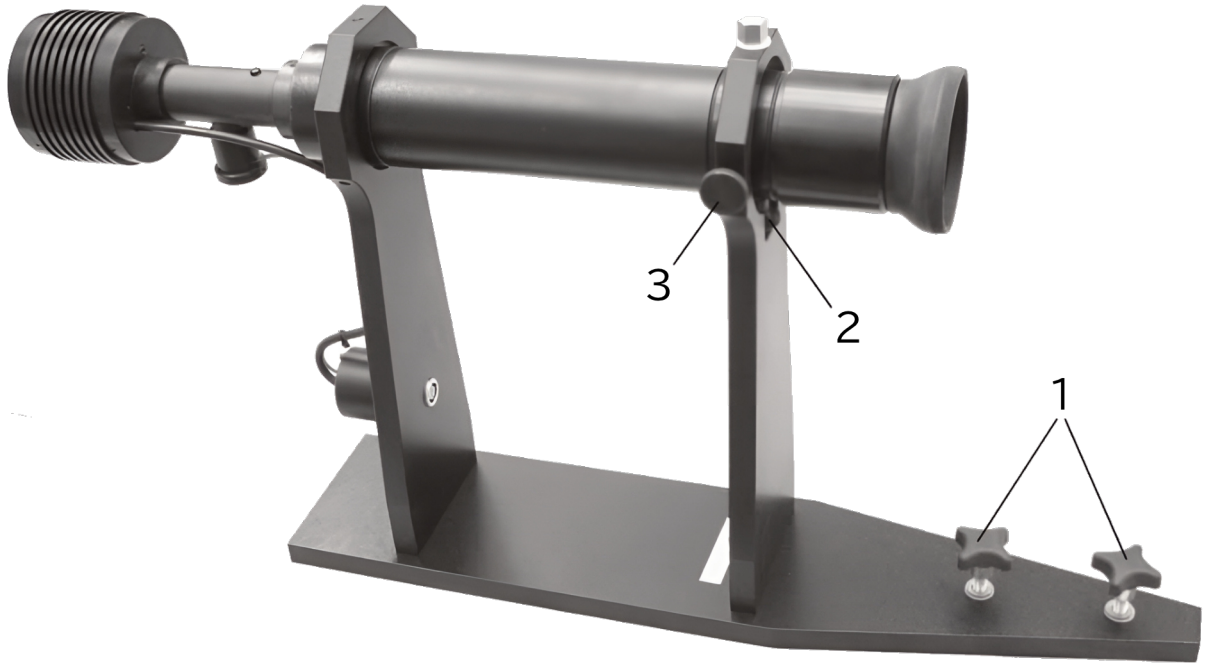


図3：τ測定用光源

使用する光源は、関連する開口部の前にある積分球のベースに2本のローレットねじ(1)で固定されます。

光源の光軸は、ネジ(2)と(3)を使用して開口部の中心に合わせて調整できます(図3を参照)。

ρ光源またはτ光源のランプハウスに取り付けられたハロゲンランプを交換するには、3本のネジ(1)を緩めてヒートシンクを取り外す必要があります。ネジ(2)を緩めるとランプを交換できます。次に、ミラーを使用して慎重に調整する必要があります。

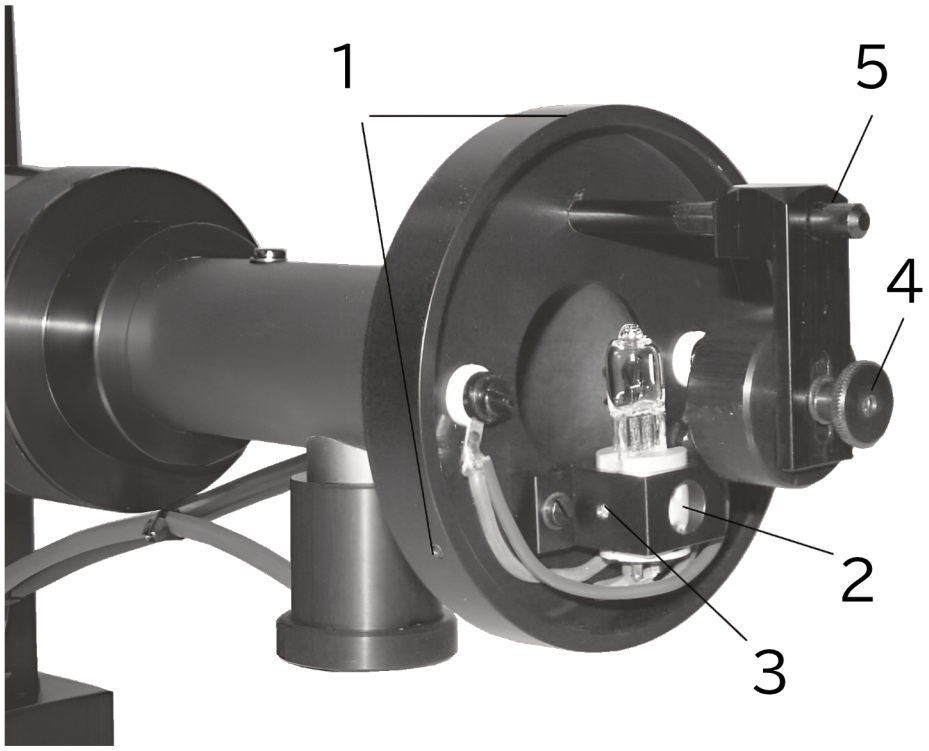


図4:ランプハウス

この目的のため、光学系の前面レンズから約105cm(ρ光源の場合)または55cm(τ光源の場合)の距離に、光源からの光束が当たる白い面を配置することが推奨されます。

ランプのフィラメントおよびその鏡像が、この白い面上に投影されます。

通常、ランプは、そのフィラメントの像が図5の「画像1」に示すような状態になるように容易に配置することができます。

この方法でランプを調整できない場合は、ネジ(3)を緩めてランプソケットを正しい位置に移動する必要があります。

フィラメントの鏡像を調整するには、まずミラーホルダーのローレットネジ(4)を緩める必要があります。画像を適切な高さに移動できます。

ミラースライド(5)のネジを緩めた後、ミラーをランプに向かって動かすことができ、鏡像(図5の2)のサイズを調整できます。

ミラーをその軸を中心に回転させると、鏡像を正しく配置できます(図5の3)。

ランプハウスの前述の部品を図4に示します。

ランプのガラス球は指で触れないでください。触れない場合は、脂肪溶解クリーナーを使用して注意深く掃除する必要があります。

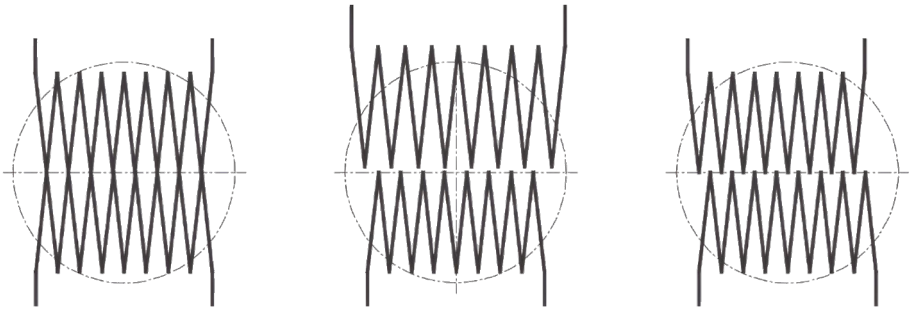


図5:ランプフィラメントの調整

1 正しい

2 フィラメントの鏡像が大きすぎる

3 フィラメントの鏡像がずれている

τ_{dif}測定用の拡散照明装置は、直径250mmの積分球の半分で構成されており、4本のタングステンハロゲンランプ(6V/4W、フィリップスHM04型)によって照射されます。

半球の輝度は、積分球内部に配置されたシリコンフォトダイオードによって制御されます。

挿入されたハロゲンランプは特別な調整を必要としません。

図6に従って交換できます。

まず、ネジ1を緩めてランプホルダー2とランプを取り外します。次に、古いランプ3を新しいランプに交換します。ガラス球を指で触れた場合は、脱脂用洗剤(またはアルコール等)で清掃してください。

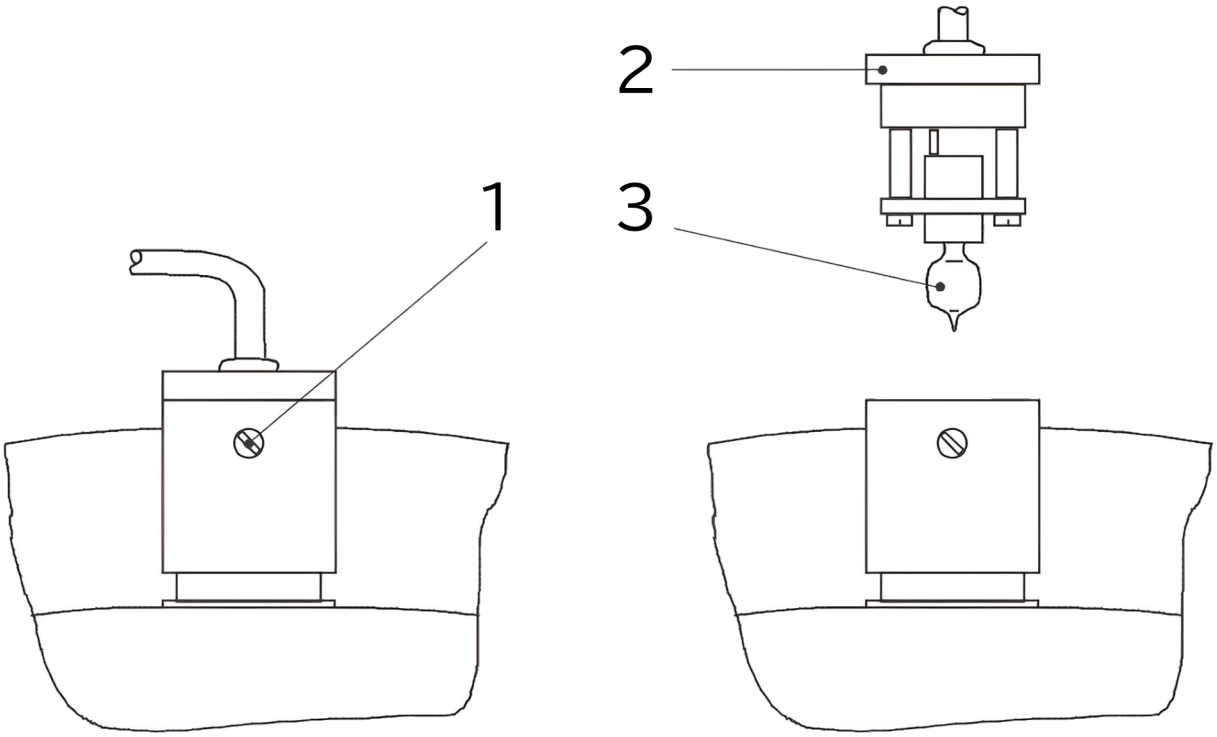


図6：τ dif ソースのランプ交換

厚さ0～80mmのサンプルの透過率を測定する場合、照明半球とサンプル開口部の間の距離をそれに応じて調整できます。

1.3 測定コンソール

測定コンソールには、電源、光源の光束制御回路、および測定信号を評価・表示するための電子回路が収められています。

使用する光源は、接続ケーブルを用いて、測定コンソール上の「Lamp」という記号が付いた4ピンソケットに接続する必要があります。

「Test」ボタンの下にあるスイッチを、使用する光源（τ_{dif}、τ、またはρ）に合わせて設定します（選択した光源は表示部に示されます）。光源が1種類のみの場合は、このスイッチは設けられていません。

積分球に組み込まれた測光ヘッドは、ケーブルおよび4ピンコネクタを介して、表示ユニットの入力ソケット「Input」に接続する必要があります。

受光器（測光ヘッド）は、フィードバック演算増幅器の入力部に接続されて短絡（ショートサーキット動作）を行うようになっており、これにより評価値の直線性が最適化されます。

受光器の光電流が測定され、最大3 $^1/_2$ 桁でデジタル表示されます。内蔵回路により、ポテンショメータ「Null」（「フォトゼロ」）を使用して迷光を補正できます。

使用している光源のランプは、「Test」ノブを押すことで消灯できます。

アッテネータ（10回転ポテンショメータ）を使用すると、読み出し値を反射率または透過率の値（%）に直接校正設定できます。

表示範囲は0.0%～100.0%です。デジタル表示の小数点位置は固定されています。周囲の照度に応じてディスプレイの明るさを「Dim」ノブで調整できます。

反射率測定の校正には、実用的な反射率標準が必要です。

光源の光束制御は、主電源電圧の変動やランプの経年変化を補償することにより、試料上の照度を一定に保ちます。

以下の理由により電子光束制御が範囲外になると、デジタル表示の最初の桁に「L」（ランプ警告）が点滅します。

- ランプの寿命、または

- ランプの調整不良、または

- ランプ電源回路の断線

「L」は「警告信号」を意味します。また、装置の電源を入れた際に、光源が装置に接続されていない場合にも表示されます。

RT500の背面パネルには、メインヒューズ（230V用はM0.5A、115V用はM0.8A）を備えた電源ソケット、アナログ出力、BCD出力、および機器のシリアル番号が配置されています。

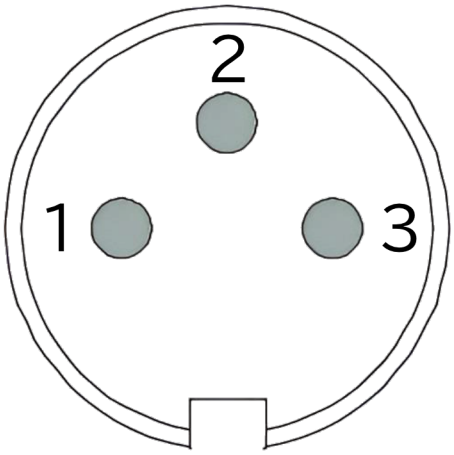
アナログ出力用のコネクタ（Amphenol-Tuchel社製 T3263B）は、BCD出力の近くに設置されています。

日本総代理店
旭光通商株式会社
www.kyokko.com

アナログ出力は、内部抵抗500Ω未満のバッファアンプを介して測定アンプから分離されています。

出力電圧は0～1Vで、0～100.0%に対応しています。

ピンの割り当ては以下の通りです。



（コンタクト側から見た図）

プラグソケット：
Amphenol
T3263B

1 ＝ + 測定電圧

2 ＝ ケース、ガード

3 ＝ - 測定電圧(GND)
（アナロググラウンド）

BCDデータ出力

BCD出力ソケットでは、測定値のデータ情報がピン5～18で利用可能です(ピンの指定を参照)。

選択した光源のデータはピン21～24で利用できます。ピン20は測定値の極性を示し、高レベル（≙+5V）は負の極性を表します。

選択した範囲の最大読み取り値を超えると(過負荷)、ピン19がHighレベルになります。この場合、ピン5～18の情報は無効になります。

各データ変換サイクルの終わりに、印刷パルスがピン27で生成されます。トレーリングエッジは外部システムへのデータ転送に使用できます。新しいデータ情報がBCD出力の出力ラッチに確定すると、印刷パルスがアクティブになります。このデータ情報は、次の印刷パルスが生成される直前まで有効です。

その後、新しいデータが保存されます。

ピン28（ホールド）は、測定値を保持するために使用できます。ピン28をピン36（グランド）に接続すると、実行中の変換サイクルが完了した時点で新しいデータが保存され、A/Dコンバータは停止します。その後、プリントパルスは生成されなくなります。

ピン28に短い正のパルスを入力するとコンバータが起動し、1回の変換サイクルが完了した後に、再びコンバータは停止します。

外部光源設定

ピン35（イネーブル）をピン36（グランド）に接続すると、測定単位の切り替えスイッチおよび「Test」ボタンが無効になります。この状態で他の接続を行わない場合、測定単位は自動的に「ρ（反射率）」に設定され、ランプは点灯状態となります。

測定単位の選択およびランプの消灯は、BCDコード化された3本のピン（34～32）を使用して行います。これらを有効にするには、以下の表に示すように、各ピンをグランド（Lレベル、ピン36）に接続する必要があります。

Pin 32 4	Pin 33 2	Pin 34 1	測定単位
-	-	-	ρ、ランプ点灯
-	-	L	τ、ランプ点灯
-	L	-	τ_{dif}、ランプ点灯 *)
-	L	L	NU
L	-	-	ρ、ランプ消灯
L	-	L	τ、ランプ消灯
L	L	-	τ_{dif}、ランプ消灯 *)
L	L	L	NU

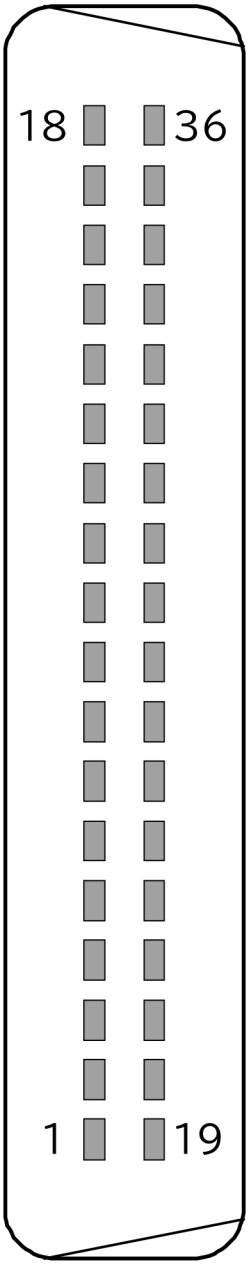
*) ≙ オプション

NU ≙ 未使用

L ≙ グランド（GND）に接続されるピン

- ≙ 未接続（オープン）、またはハイレベル（+5V）のピン

BCD - 出力ピン指定　RT 500



プラグ:
Amphenol 57-30360
端子面図

ピン番号	値	説明
1	⊥	⊥ ≙ グランド(GND)に接続
2	⊥	
3	⊥	
4	⊥	
5	.1	出力:
6	.2	
7	.4	
8	.8	測定値(%)
9	1	
10	2	
11	4	最大値:199.9
12	8	
13	10	
14	20	過負荷(オーバーロード):≥ 399.9
15	40	
16	80	
17	100	
18	200	
19	過負荷	出力:「H」≙過負荷(オーバーロード)
20	極性	出力:「H」≙マイナス(負の値)
21	ρ	出力:
22	τ	
23	τdif	光源
24	-	
25		
26		
27	プリント	出力:「Print」「データ準備完了(DATA READY)」
28	ホールド	入力:「L」≙ホールド
29		
30		
31	ランプ	ランプ警告:≙「L」
32	ランプオフ	入力:
33	2	有効信号が「L」の場合、外部光源を選択
34	1	
35	有効にする	
36	デジタルGND	デジタル・グランド

8-4-2-1コードによるBCD出力、正論理(「H」=論理「1」)、TTLファンアウト2、CMOS互換

1.4　付属品ケース

付属品ケースには、納品された反射標準（オプション）と、積分球の開口部を塞ぐためのキャップが収められています。

反射標準には、高品質な平面鏡、または拡散反射標準（セラミック製）があり、これらはDIN 5033の第9部に準拠して、白色反射標準を基準に校正されています。

各反射標準には、その反射値が記載された個別のLMT証明書が付属します。

反射値の不確かさは±1%です。

2. 操作手順

動作を開始するには、測定コンソールRT500を230Vまたは115V、50～60Hzの主電源に接続する必要があります。損傷を避けるために、適切な供給電圧が使用されていることを確認してください。電源ソケットの隣にあるヒューズコンテナを引き出し、180°回転させることで、主電源を230Vと115Vの間で変更できます。

線間電圧の±10%の変化は測定結果に影響を与えません。

積分球の受光器用ケーブルは、RT500のソケット「入力」に接続する必要があります。

たとえば、反射率を測定するには、ρ光源をRT500に接続する必要があります。入力ソケットは「ランプ」として説明されます。

「テスト」ボタンの下にあるスイッチは、使用する光源に応じて、τ_{dif}、τ、またはρのいずれかに設定する必要があります。

機器の電源を入れた後、測定を開始する前に、使用する光源とともに機器を約15分間ウォームアップします。

3. 反射率 ρ および拡散反射率 ρ d の測定

3.1 反射率 ρ の測定 3.1.1 測定原理

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

$\Phi e, \lambda = T_d = 2856$ K におけるタングステンフィラメントランプの分光放射束分布

$V(\lambda)$ = 人の目の分光視感効率

$\rho(\lambda)$ = 分光反射率

反射率 ρ は、入射光束 Φ に対する反射光束 Φρ の比です。

反射率には、正反射（ρr）、拡散反射（ρd）、あるいはそれらの混合があります。

$\rho = \rho r + \rho d$

3.1.2 測定

反射率pを測定する場合、光は開口部3から入射する必要があります。
開口部 4、5、6 は閉じられています。
p光源は開口部3の前に取り付けられています。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
反射率	ρ	3	N	P	-	+	+	+	E_N
			P	N	-	+	+	+	E_x
			-	N	-	+	+	+	E_f

開口部に関する記号の意味

P ≙ 開口部に試料あり

N ≙ 開口部に標準試料あり

＋ ≙ 開口部が閉じている

- ≙ 開口部が開いており、試料や標準試料は置かれていない

測定コンソール上の光源切り替えスイッチを「ρ」に設定する必要があります。積分球を通って開口部1（試料開口部）に8°の角度で入射する光束は、この開口部の中央に当たるように
調整しなければなりません。

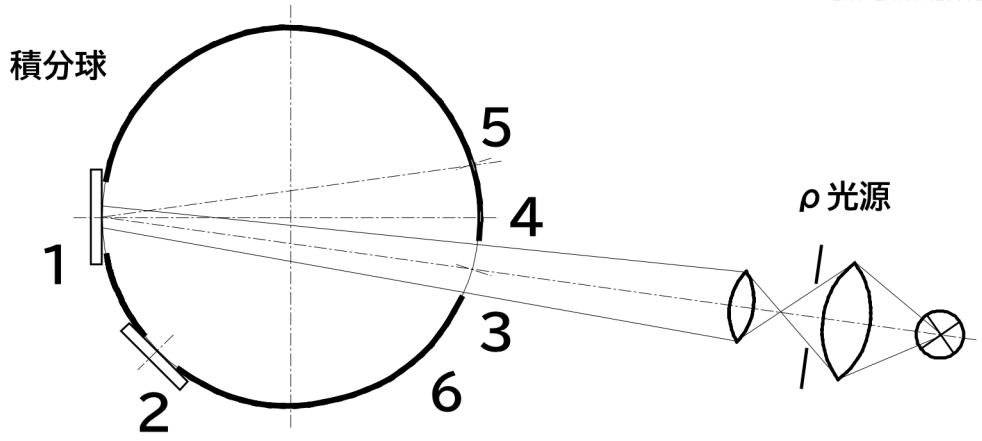


図7: 反射率ρの測定

開口部 1　　サンプル開口部
開口部 2　　サンプルまたは標準用として使用する代替開口部
開口部 3　　光入射用開口部
開口部 4　　閉じた状態
開口部 5　　閉じた状態
開口部 6　　閉じた状態

反射率ρの測定では、サンプルまたは標準のいずれかがサンプル開口部1にあります。開口部1での光入射により、受光部(フォトメータヘッド)の受光面上の相対照度が測定されます。

E_N：開口部1に反射率標準、開口部2に試料

E_x：開口部1に試料、開口部2に反射率標準

E_f：開口部1に反射率標準、開口部2に反射率標準 ≙ 迷光

反射率ρは次のように計算されます。

$$\rho = \frac{E_x - E_f}{E_N - E_f} \cdot \rho_N$$

ρ_N = 標準(セラミック)の反射率

ゼロ調整用ポテンショメータ「Null」を使用することで、迷光を補正できます。この際、試料開口部は何も塞がない状態にしておき、光束がこの開口部を妨げられることなく通過するようにします。もう一方の開口部(開口部2)は、キャップで塞いでおきます。
外部からの迷光を避けるため、以下の対策を講じます。

- 実験室の照明を消します
- 窓のカーテンを閉めます
- 積分球の周囲に黒いカーテンを設置します

表示値が 00.0 % または -00.0 % になるまで、ゼロ調整ねじを回します。このとき、反射率ρを算出するための式は、次のように簡略化されます。

$$\rho = \frac{E_x - E_f}{E_N - E_f} \cdot \rho_N$$

標準試料を測定口1にセットした状態で、標準試料の校正証明書に記載された値になるまでアッテネータを調整します。

通常の測定を開始するには、標準試料を測定対象物と入れ替えます。これで、測定値として試料の反射率(ρ値)が表示されます。

3.2 拡散反射率ρdの測定

拡散反射率ρdを測定する前に、その試料の反射率ρを評価しておく必要があります。つまり、3.1.2項に従って反射率ρの測定をあらかじめ完了させておく必要があります。

次に、図8に従ってセットアップを変更し、光トラップを測定口5に取り付けます。また、鏡面反射標準試料を測定口1に取り付けます。

測定口2を開けて積分球の内部を確認し、光束全体が光トラップの開口部を完全に通過するように、反射率測定用光源の向きを調整します。

注:光トラップを使用する際は、外部からの迷光が積分球内部に入り込まないようにしてください。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
拡散反射	ρd	3	N	P	-	+	F	+	E_N
			P	N	-	+	F	+	E_d
			-	N	-	+	F	+	E_f
			S	N	-	+	A	+	E_s

開口部の記号の意味
P ≙ 開口部に試料
N ≙ 開口部に標準
S ≙ 開口部にミラー標準
＋ ≙ 開口部が閉じている
- ≙ 試料または標準なしで開口部が開いている
F ≙ 開口部に光トラップ
A ≙ 開口部に光トラップがあり、0.8・d未満の光線で照射されている

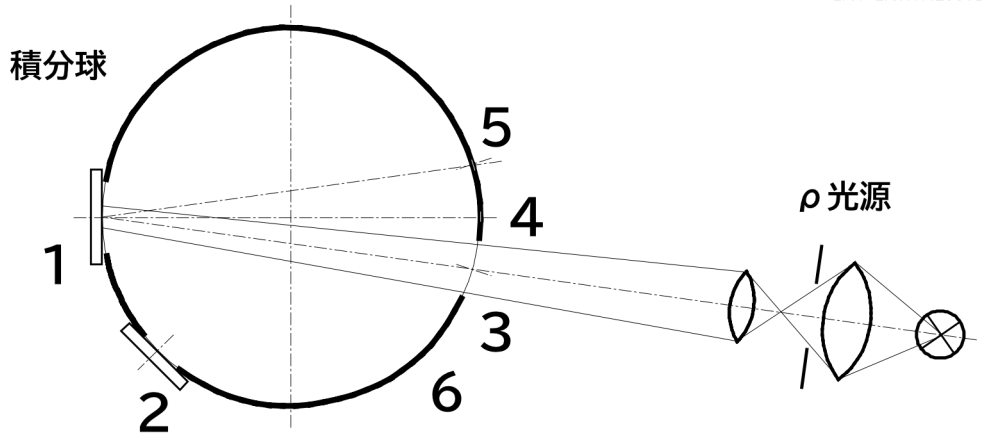


図8:拡散反射率 ρd の測定

開口部1:試料用開口部

開口部2:試料または標準試料用として使用する予備開口部

開口部3:光入射用開口部

開口部4:閉鎖

開口部5:光トラップを設置

開口部6:閉鎖

開口部 1 での光の入射により、受光器の感光面上の相対照度が測定されます。

E N:開口部1に反射標準白板、開口部2に試料を配置した場合

E d:開口部1に試料、開口部2に反射標準白板を配置した場合

E f:開口部1を開放し、開口部2に反射標準白板を配置した場合(=迷光に相当)

E s:開口部1に反射標準鏡面、開口部2に反射標準白板を配置した場合

反射率 ρd は、以下のように算出できる。

$$\rho_d = \frac{E_d - E_f - \rho(E_s - E_f)}{E_N - E_f - \rho_N(E_s - E_f)} \cdot \rho_N$$

3.3 ρとρdの評価例

拡散反射率 ρd を評価する前に、この試料の反射率 ρ を最初に評価する必要があります。

a) 反射率ρの評価

ρ光源は開口部3の前に取り付けられています。開口部4、5、および6は閉じられています。

試料開口部1が空の状態であり、実験室が暗くなっている状態で、ゼロ設定「Null」を調整して、コンソールの表示値を 00.0 または -00.0 に設定します。これにより、迷光Ef が補正されます。次に、作業用反射率標準試料を開口部1に設置し、コンソールの減光ポテンショメータを調整して、標準試料の証明書に記載された値(例:ρN = 85.0 %)が表示されるようにします。この際、試料は開口部2に設置されている必要があります。この手順により、装置の校正が完了します。

測定を行うには、試料を開口部1に、標準試料を開口部2にセットする必要があります。すると、表示値から直接、分解能0.1%の反射率ρが得られます。
例:

試料 1	表示値 91.0	ρ1 = 0.91	または 91 %
試料 2	表示値 80.0	ρ2 = 0.80	または 80 %
試料 3	表示値 65.0	ρ3 = 0.65	または 65 %
試料 4	表示値 90.0	ρ4 = 0.90	または 90 %

b)　拡散反射率 ρ_d の評価

光トラップを開口部5に固定します。迷光E_f に対する補正値は変更してはなりません。変更する場合は、この項についても測定を行う必要があります。

室内の迷光が光トラップを通って積分球内に侵入する可能性があるため、実験室は暗くしておく必要があります。

まず、表面鏡標準を開口部1に設置し、必要に応じてρ光源の方向を調整して、光束全体が光トラップの開口部を通るようにし、鏡の迷光値 Es(例:00.5 %)を読み取ります。

次に、測定対象の試料を開口部1に固定し、白色標準を開口部2に設置して、表示値(例:11.5 %)を読み取ります。

次に、白色標準を開口部1に、測定対象の試料を開口部2に固定し、表示値(例:84.9%)を記録します。

反射率ρdは、以下の式で計算できます:

$$\rho_d = \frac{E_d - E_f - \rho(E_s - E_f)}{E_N - E_f - \rho_N(E_s - E_f)} \cdot \rho_N$$

E_f をゼロに設定すると、以下のようになります:

$$\rho_d = \frac{E_d - \rho \cdot E_s}{E_N - \rho_N \cdot E_s} \cdot \rho_N$$

ρ　=　試料の反射率、例:91 %

ρ_N =　白色標準板の反射率、例:85.0 %

E_N　=　白色標準板を用いた測定値、例:84.9 %

E_f　=　開口部1が空の状態での迷光、ゼロに調整済み = 00.0 %

E_s　=　表面鏡標準を用いた測定値、例:00.5 %

E_d　=　試料を用いた測定値、例:11.5 %

$$\rho_d = \frac{11.5 - 0.91 \cdot 0.5}{84.9 - 0.85 \cdot 0.5} = 0.111$$

$$\rho_d = \quad 0.111 = 11.1\ \%$$

4. 平面鏡および凸面鏡であるバックミラーの反射率ρの測定

4.1 測定原理

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Φ e,λ = Td ≈ 2856 K におけるタングステンフィラメントランプのスペクトル出力分布
V(λ) = 人間の目の相対分光視感度
ρ(λ) = 分光反射率

反射率ρは、プローブの入射光束Φに対する反射光束Φρの比です。

4.2 測定

平面および凸面バックミラーの反射率ρを測定するには、光は開口部 6 から入射する必要があります。
開口部 3、4、5 は閉じられています。
ρ光源は開口部6の前に取り付けられます。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
反射	ρ	3	N	P	+	+	+	-	E_N
			P	N	+	+	+	-	E_x
			-	N	+	+	+	-	E_f

開口部の記号の意味

P ≙ 開始時の試料
N ≙ 開口部の標準
＋ ≙ 開口部が閉じています
－ ≙ 試料または標準なしで開口部が開いた状態

測定コンソールの光源スイッチをρに設定する必要があります。積分球を通って開口部1(試料開口部)に25°の角度で入射する光線は、この開口部の中心に調整される必要があります。

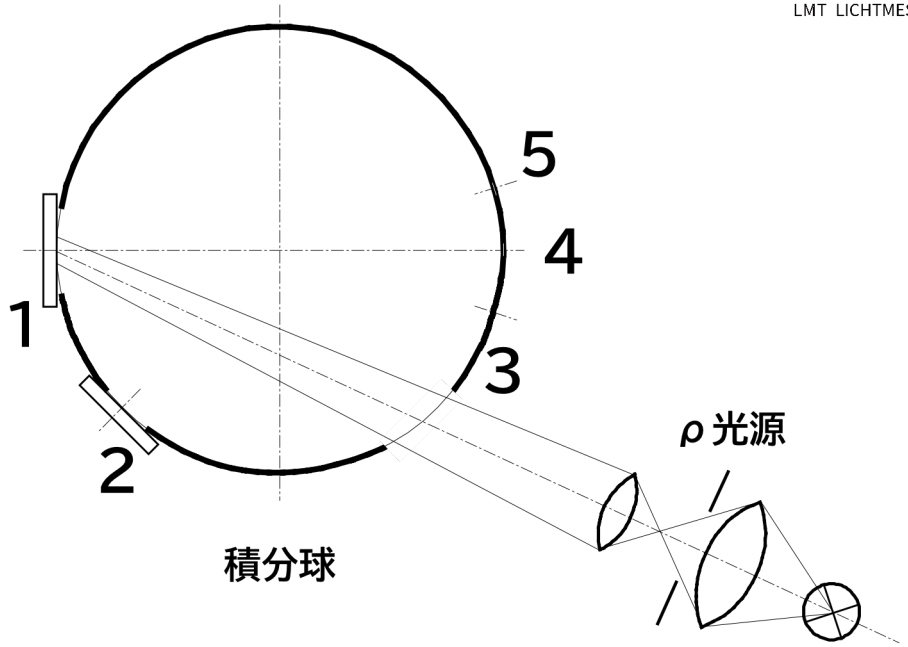


図 9: 反射率ρの測定

開口部1　試料開口部
開口部2　試料または標準品に使用するための代替開口部
開口部3　閉じた状態
開口部4　閉じた状態
開口部5　閉じた状態
開口部6　光入射用開口部

反射率ρの測定では、試料または標準のいずれかが試料開口部1にあります。開口部1での光入射により、受光器の感光面上の相対照度が測定されます。

E_N　開口部1における反射率標準と開口部2における試料
E_x　開口部1における試料と開口部2における反射率標準
E_f　開口部1開放、開口部2における反射率標準 ≙ 迷光

反射率ρは以下のように計算されます。

$$\rho = \frac{E_x - E_f}{E_N - E_f} \cdot \rho_N$$

ρ_N = 標準(セラミック)の反射率

ゼロ調整用ポテンショメータ「Null」を使用することで、迷光を補正できます。この際、試料開口部は開放したままにし、光束がこの開口部を妨げられることなく通過するようにします。もう一方の開口部(開口部2)は、キャップで塞いでおきます。

外部からの迷光を防ぐため、以下の対策を講じてください。

- 実験室の照明を消す
- 窓のカーテンを閉める
- 積分球の周囲に黒いカーテンを設置する

$$\rho = \frac{E_x}{E_N} \cdot \rho_N$$

ゼロ調整ネジを 00.0 % または -00.0 % になるまで回します。反射率ρを計算する項は次のように簡略化されます。

動作している標準が開口部1にあるときに、標準証明書に記載されている値に達するまでアッテネータを回します。

定期的な測定を開始するには、対象物ごとに標準を交換します。ここで、読み出し値は試料の反射率ρ値を示します。

4.3 ρの評価例

ρ光源は開口部6の前に取り付けられています。開口部3、4、および5は閉じられています。

試料開口部1が空の状態であり、実験室が暗くなっている状態で、ゼロ設定「Null」を調整して、コンソールの表示値を 00.0 または -00.0 に設定します。これにより、迷光E_fが補正されます。次に、作業用反射率標準試料を開口部1にセットし、コンソールの減光ポテンショメータを調整して、標準試料の証明書に記載された値(例:ρ_N = 85.0%)が読み取り値として表示されるようにします。この際、試料は開口部2に設置されている必要があります。この手順により、装置の校正が完了します。

測定を行うには、試料を開口部1に、標準を開口部2に設置する必要があります。すると、表示値から直接、分解能0.1%の反射率ρが得られます。例:

試料1	表示値 91.0	$\rho 1$ = 0.91	または 91%
試料2	表示値 80.0	$\rho 2$ = 0.80	または 80%
試料3	表示値 65.0	$\rho 3$ = 0.65	または 65%
試料4	表示値 90.0	$\rho 4$ = 0.90	または 90%

5. 透過率τおよび拡散透過率τdの測定

5.1 透過率τの測定

5.1.1 測定原理

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} = \frac{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Φ e,λ = タングステンフィラメント電球の分光放射束(Td ≈ 2856 K におけるもの)

V(λ) = ヒトの目における分光視感効率

τ(λ) = 分光透過率

透過率 τ とは、試料を透過した放射束 Φ_τ と、試料に入射した放射束 Φ との比です。透過率には、正透過率(τr)、拡散透過率(τd)、あるいはそれらが混在したものがあります。

$$\tau = \tau_r + \tau_d$$

4.1.2 測定

透過率を測定する際は、開口部1から光を入射させる必要があります。開口部3、4、5、および6は閉じておきます。開口部1の前面に、τ測定用の光源を設置します。測定コンソール上の光源切り替えスイッチを「τ」に設定します。光源からの光束は、開口部1の中心を通過するように入射させる必要があります。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
透過	τ	1	- P	P -	+ +	+ +	+ +	+ +	E_o E_x

開口部を示す記号の意味

P ≙ 開口部に試料を配置
＋ ≙ 開口部を閉鎖
－ ≙ 開口部を開放(試料や標準試料は配置しない)

測定を開始する前に、コンソールのゼロ設定を確認し、必要に応じて「00.0」または「-00.0」に調整してください。その際、光源をオフにし(「Test」ボタンを押す)、外部からの迷光が積分球内に入り込まないよう、実験室を暗くしてください。

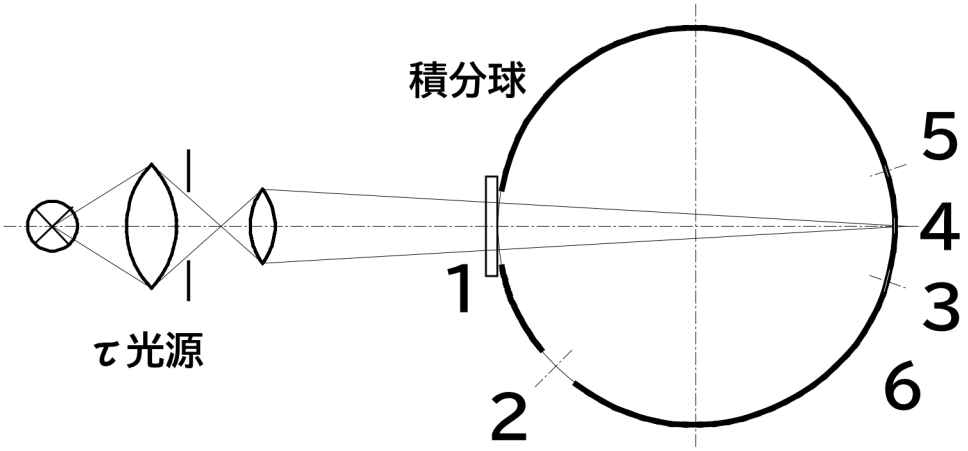


図10: 透過率τの測定

開口部 1 試料開口部
開口部 2 試料または開放で使用するための代替開口部
開口部 3 閉じた状態
開口部 4 閉じた状態
開口部 5 閉じた状態
開口部 6 閉じた状態

透過率τを測定する際、試料は光源と開口部1の間に配置されます。開口部1に光が入射した状態で、受光器の感光面における相対照度を測定します：
E_x　試料を開口部1に配置、開口部2は開放
E_o　開口部1開放、開口部2は開放または試料あり
したがって、透過率τは次のようになります：

$$\tau = \frac{E_x}{E_o}$$

E_o測定のためにコンソールの読み取り値を100.0 %に設定すると、試料の透過率tが%単位で直接表示されます。これは、あらかじめゼロ調整が行われている場合にのみ正しい値となります。

5.2 拡散透過率τ_dの測定

拡散透過率τ_dを測定する前に、まず試料の透過率τを評価する必要があります。つまり、5.1.2に従って透過率τの測定を先に行う必要があります。その後、図11に示すように測定装置のセットアップを変更し、光トラップを開口部4に固定します。開口部2から覗き込みながら、光束全体が光トラップの開口部を通過するように、τ光源の方向を調整します。

注:光トラップを使用しているため、外部からの迷光が積分球内に入射しないように注意してください。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
拡散透過	τ_d	1	- - P	P P -	+ + +	+ A F	+ + +	+ + +	E_o E_f E_d

開口部の記号の意味

P ≙ 開口部に試料あり
＋ ≙ 開口部が閉じている
－ ≙ 開口部が開いており、試料も標準もない
F ≙ 開口部に光トラップあり
A ≙ 開口部に光トラップあり、光束が 0.8d 以下の光で照らされている

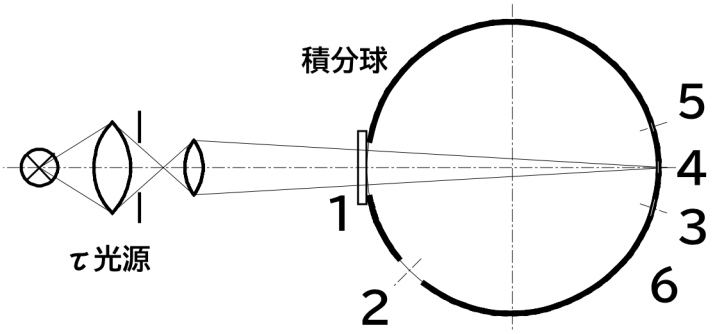


図 11: 拡散透過率 τ_d の測定

開口部１　試料開口部
開口部２　試料または開放用として使用する開口部
開口部３　閉じた状態
開口部４　光トラップ設置
開口部５　閉じた状態
開口部６　閉じた状態

開口部1から光が入射した場合、受光器の感光面における相対照度が測定されます。

E_d開口部1に試料、開口部2は開放、開口部4に光トラップ
E_o開口部1は開放、開口部2に試料、開口部4は閉鎖
E_f開口部1は開放、開口部2に試料、開口部4に光トラップ ≙ 光源からの迷光

拡散透過率τdは、以下の式から計算できます。

拡散透過率τdは、以下の式から計算できます。

$$\tau_d = \frac{E_d - \tau \cdot E_f}{E_o - E_f}$$

5.3 τおよびτdの評価例

拡散透過率τdを評価する前に、まず試料の透過率τを評価しておく必要があります。

a） 透過率τの評価

開口部1の前に光源を設置します。開口部3、4、5、および6は閉じておきます。次に、光源をオフにした状態(「Test」ボタンを押す)で、かつ室内を完全に暗くした状態で、ゼロ調整用つまみ「Photonull」を操作し、コンソールの表示を00.0または-00.0に合わせます。

続いて、開口部2に試料をセットし、開口部1から光束を積分球内部に入射させます。この状態で、減衰用ポテンショメータのつまみを回してコンソールの表示を100.0%に調整します。こうしておけば、試料を開口部1にセットした際に、その透過率が直接表示されるようになります。
例:
試料１　表示値 91.0　τ1 = 0.91　または 91%
試料２　表示値 80.0　τ2 = 0.80　または 80%
試料３　表示値 65.0　τ3 = 0.65　または 65%
試料４　表示値 90.0　τ4 = 0.90　または 90%

b) 拡散透過率 τ_d の評価

a)による機器の校正設定は変更してはなりません。つまり、試料が開口部2にあり、光ビーム全体が開口部1を通って閉じた開口部4に当たる場合、読み取り値は 100.0 % になるはずです。

次に、光トラップを開口部4に取り付け、光束全体が光トラップの開口部を通過するように、必要に応じて τ 光源を調整します。この時点で、計器の表示には、光束から発生する迷光 E_f(例:00.6)が表示されます。

その後、試料を開口部1にセットし(開口部2は開放、開口部4には光トラップを取り付けた状態)、E_d の値を読み取ります。例:

試料 1　測定値　12.0
試料 2　測定値　28.0
試料 3　測定値　45.0
試料 4　測定値　60.0

拡散透過率 τ_d は、次のように計算できます:

$$\tau_d = \frac{E_d - \tau \cdot E_f}{E_o - E_f}$$

τ　個々の試料の透過率。例:0.91、0.80、0.65、0.90
E_o　測定値 100.0
E_f　光源の迷光。例:00.6

試料 1　$\tau_{1d} = \frac{12.0 - 0.91 \cdot 0.6}{100.0 - 0.6} = 0.115 = 11.5\%$

試料 2　$\tau_{2d} = \frac{28.0 - 0.80 \cdot 0.6}{100.0 - 0.6} = 0.277 = 27.7\%$

試料 3　$\tau_{3d} = \frac{45.0 - 0.65 \cdot 0.6}{100.0 - 0.6} = 0.449 = 44.9\%$

試料 4　$\tau_{4d} = \frac{60.0 - 0.90 \cdot 0.6}{100.0 - 0.6} = 0.598 = 59.8\%$

6. 拡散光入射時の透過率τdifの測定

6.1 測定原理

$$\tau_{dif} = \frac{\Phi_{\tau dif}}{\Phi}$$

透過率τdifは、試料の入射光束Φに対する透過光束Φτdifの比です。

6.2 測定

光の拡散入射時の透過率τdif を測定するには、光の入射は開口部1を通らなければなりません。開口部3、4、5、6は閉じられています。τdif光源は前面に取り付けられています。測定コンソールの光源スイッチはτdif に設定する必要があります。

特性	記号	開口部における光の入射	以下の設定による開口部						測定値
			1	2	3	4	5	6	
拡散光入射時の透過率	τdif	1	- P	P -	+ +	+ +	+ +	+ +	E_o E_x

開口部の記号の意味(設定値)

P ≙ 開口部に試料あり
＋ ≙ 開口部閉鎖
－ ≙ 開口部開放(試料または標準物質なし)

測定を開始する前に、コンソールのゼロ設定を確認し、必要に応じて 00.0 または -00.0 に調整する必要があります。そのため、光源をオフにし(「Test」ボタンを押す)、外部からの迷光が球体内に侵入しないよう実験室を暗くする必要があります。

拡散入射光下での透過率τdif を測定する場合、試料は光源と開口部1の間に配置します。厚さの異なる試料(0～80 mm)を測定する場合は、光源を適宜調整することができます。

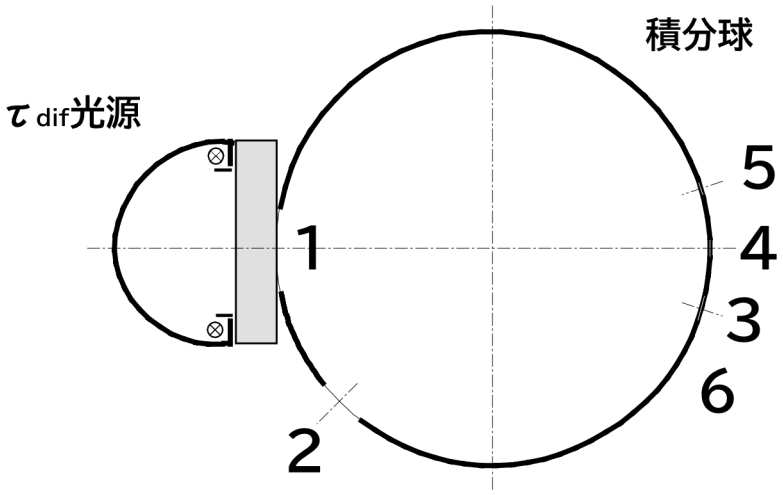


図12： τ dif測定の概略構成

開口部１　試料開口部
開口部２　試料用または開放用の代替開口部
開口部３　閉鎖
開口部４　閉鎖
開口部５　閉鎖
開口部６　閉鎖

開口部1に光が入射した状態で、受光器の感光面における相対照度を測定します：

E_x　開口部1に試料を配置、開口部2を開放
E_o　開口部1を開放、開口部2に試料を配置

すると、拡散入射光における透過率 τ dif は次のようになります：

$$\tau_{dif} = \frac{E_x}{E_o}$$

E_o測定のためにコンソールの読み取り値を100.0 %に設定した場合、サンプルがスロット1(Ex測定)にセットされていれば、試料の透過率 τ dif が%単位で直接表示されます。

これは、前述の方法でゼロ調整が行われている場合にのみ正しい値となります。

7. ρ、ρd、τ、τd および τdif の評価に関する簡単な手順

特性	記号	開口部における光の入射	設定された開口部 1	2	3	4	5	6	測定	計算式
反射率	ρ	3	N P -	P N N	- - -	+ + +	+ + +	+ + +	E_N E_x E_F	$\rho = \frac{E_x - E_f}{E_N - E_f} \cdot \rho_N$
拡散反射率	ρd	3	N P - S	P N N N	- - - -	+ + + +	F F F A	+ + + +	E_N E_d E_F E_s	$\rho_d = \frac{E_d - E_f - \rho(E_s - E_f)}{E_N - E_f - \rho_N(E_s - E_f)} \cdot \rho_N$
バックミラーの反射率	ρ	6	N P -	P N N	+ + +	+ + +	+ + +	- - -	E_N E_x E_F	$\rho = \frac{E_x - E_f}{E_N - E_f} \cdot \rho_N$
透過率	τ	1	- P	P -	+ +	+ +	+ +	+ +	E_o E_x	$\tau = \frac{E_x}{E_o}$
拡散透過率	τd	1	- - P	P P -	+ + +	+ A F	+ + +	+ + +	E_o E_f E_d	$\tau_d = \frac{E_d - \tau \cdot E_f}{E_o - E_f}$
拡散光入射時の透過率	τdif	1	- P	P -	+ +	+ +	+ +	+ +	E_o E_x	$\tau_{dif} = \frac{E_x}{E_o}$

開口部の記号:

P ≙ 開口部での試料
N ≙ 開口部での標準
＋ ≙ 開口部が閉じている
－ ≙ 開口部が開いており、試料も標準もない
S ≙ 開口部での平面鏡標準
F ≙ 開口部での光トラップ
A ≙ 開口部での光トラップ。光トラップの開口部が、ビーム幅が0.8d以下の光源によって照らされています

8. ヒント

測定装置の電源を入れた後、完全な精度に達するまで約15分間ウォームアップしてください。

ゼロ設定と校正設定の調整による迷光の補正は、装置の電源を入れるたびにチェックし、必要に応じて再調整する必要があります。

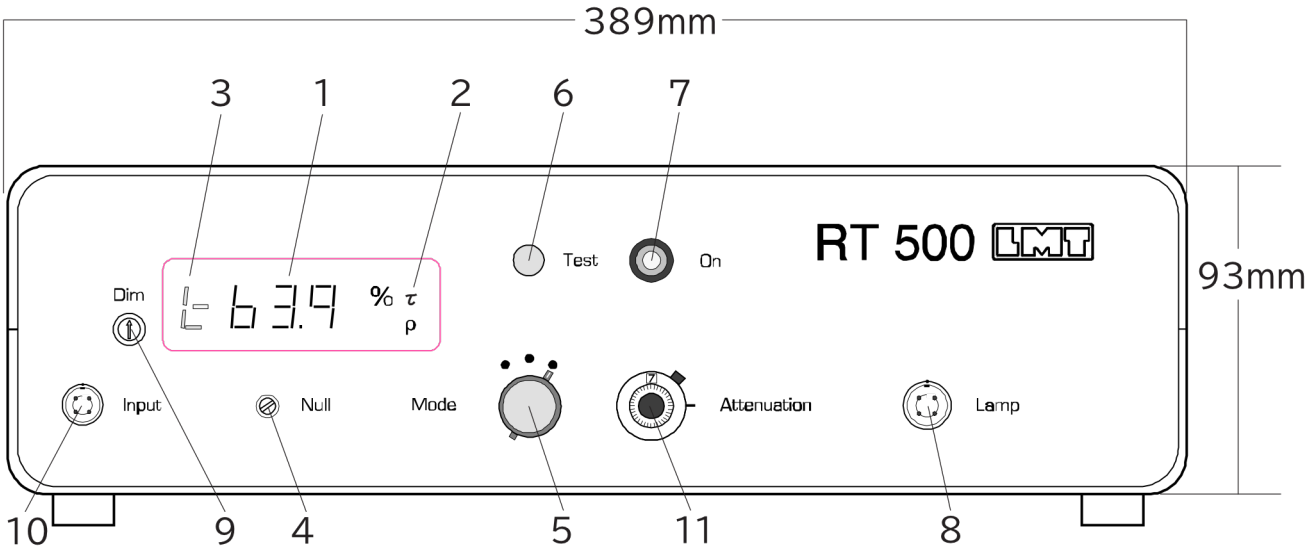
測定中、特に光トラップが使用されている場合、または開口部の1つが開いたままの場合、周囲光（実験室の照明器具など）が積分球に入らないようにする必要があります。

高精度測定を行う場合、測定対象試料（開口部2）による装置の校正設定は、試料の特性が異なる場合、試料ごとに行う必要があります。その理由は、標準と試料を交換する方法によって満たされる球面の平均反射率が一定である必要があるためです。

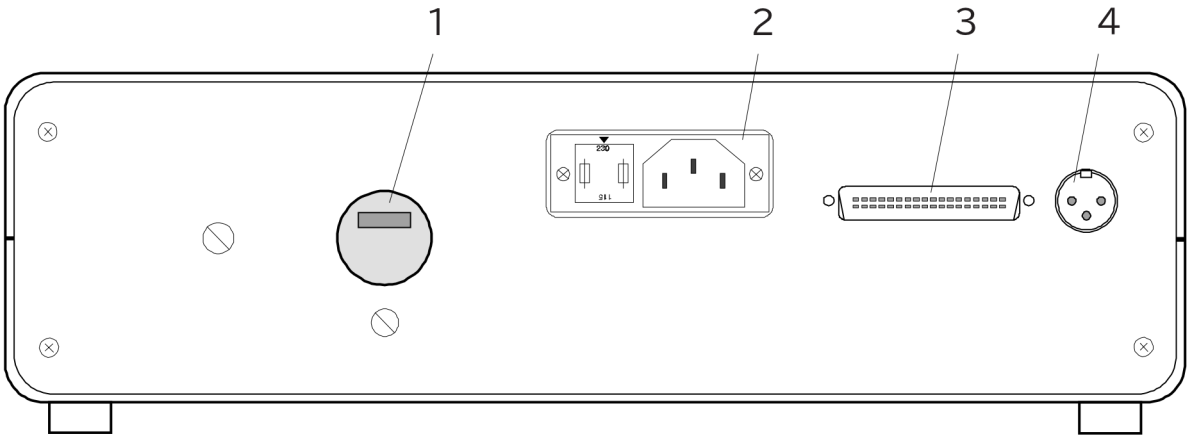
精度に対する要求がそれほど高くない場合は、開口部2をキャップで閉じたままにし、すべての校正と測定を開口部1のみを使用して実行できます。

日本総代理店
旭光通商株式会社
www.kyokko.com

RT 500 のフロントパネルとリアパネル



1 デジタル表示
2 測定単位の表示
3 ランプ警告
4 ゼロ調整「Null」
5 測定単位切り替えスイッチ
6 ランプ消灯用押しボタン「Test」
7 メインスイッチ「On」
8 光源接続用ソケット
9 表示の明るさ調整用回転ノブ
10 受光器用入力ソケット「Input」
11 10回転アッテネータ用ファインダイヤル（100 %～0）



1 シリアル番号が記載された銘板
2 主ヒューズと電圧セレクタを備えた電源ソケット
3 BCD出力
4 アナログ出力