

11. 2枚積層フィルムの Re 分離

2枚のフィルムの積層品を対象として、KOBRA で Re の波長分散特性を測定した場合について考えます。

1) 積層品の Re の波長分散特性の特徴

積層品の Re の波長分散特性には、以下の特徴があります。

- ① 2枚のフィルムの主屈折率の軸がそれぞれ平行あるいは直交のとき、観測される Re は2枚の Re の相加あるいは相減になる。
- ② 2枚のフィルムの主屈折率の軸が平行でもなく直交でもないときは、Re の分散曲線は歪になり、かつ見かけ上の配向角 ϕ も波長によって変わる。

実際に、表 1 の条件の PA, PP, PET 各フィルムを用いて PA+PET と PP+PET の積層品を測定すると、それぞれ図 1、図 2 のグラフが得られます。

表 1

	PA	PP	PET
Re (at $\lambda = 589.3\text{nm}$)	373.1	802.9	251.4
配向角 ϕ (°)	-55.1	1.5	-37.7

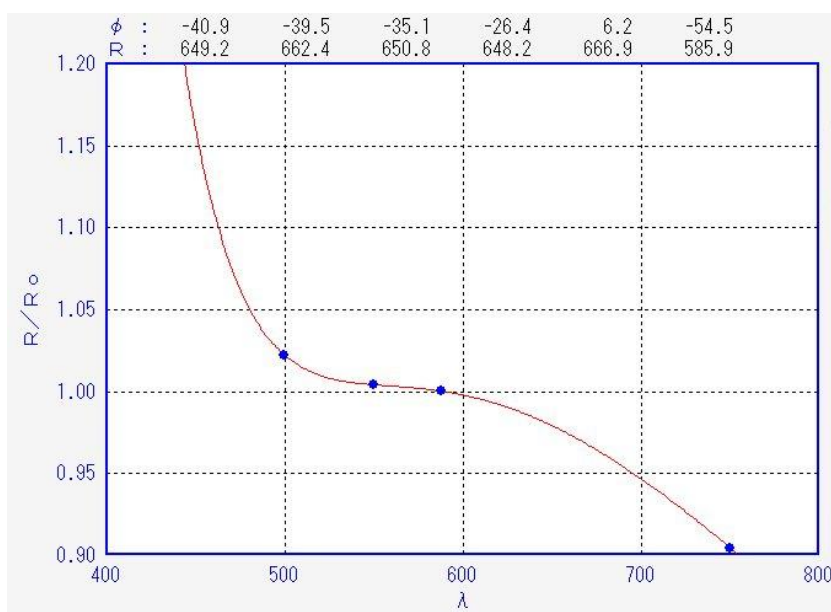


図 1 PA+PET の波長分散グラフ[実測] (貼合角 17.4°)

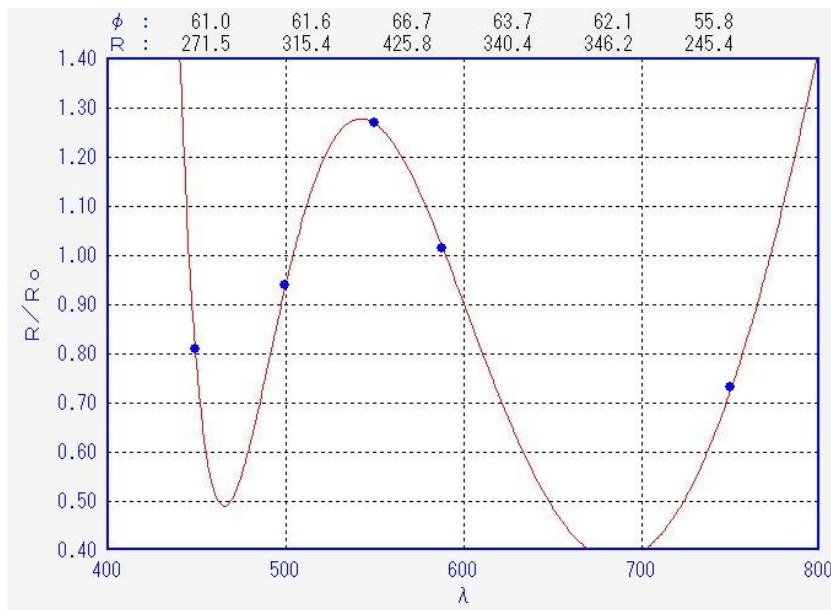


図2 PP+PETの波長分散グラフ[実測] (貼合角 39.2°)

2) 2枚積層品を平行ニコル回転法で測定したときの透過光強度の表現式の導出

図3のように座標をとり、振幅 A の直線偏光が入射するとして、各フィルムの主屈折率の軸方向に分解した振幅成分を順に考えます。

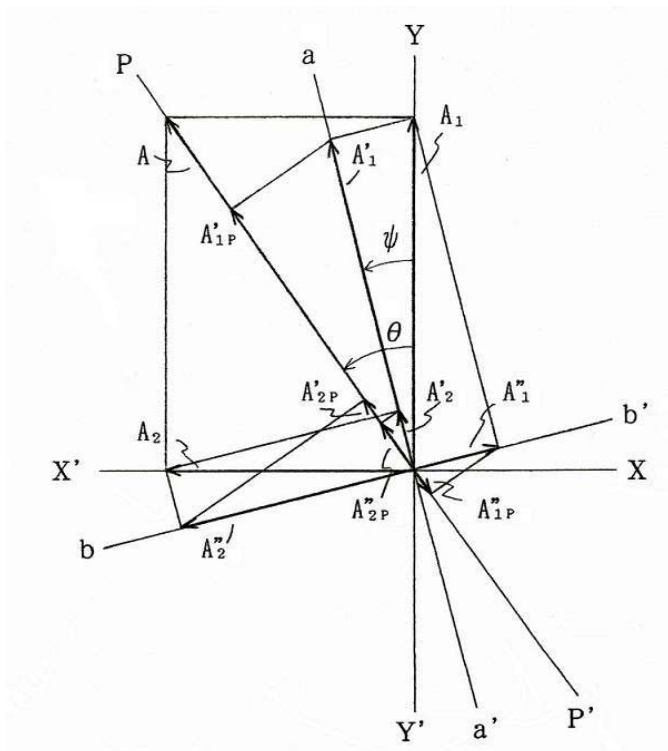


図3 2枚のフィルム中の振幅成分

XX' , YY' ; 1 枚目のフィルムの主屈折率軸
 aa' , bb' ; 2 枚目のフィルムの主屈折率軸
 PP' ; 偏光子・検光子の透過軸
 ψ ; 2 枚目のフィルムの主屈折率軸のなす角(貼合角)
 θ ; 偏光子・検光子の回転角
 $R1$; 1 枚目のフィルムのレターデーション
 $R2$; 2 枚目のフィルムのレターデーション

1 枚目のフィルム通過後の光の振幅を A_1, A_2 とし、2 枚目のフィルム通過後の光の振幅を A_1', A_1'', A_2', A_2'' とします。

$$\begin{aligned}
 A_1 &= A \cos \theta && \left. \begin{array}{l} \text{①} \\ \text{②} \end{array} \right\} \\
 A_2 &= A \sin \theta \\
 A_1' &= A_1 \cos \psi = A \cos \theta \cos \psi && \left. \begin{array}{l} \text{②} \\ \text{③} \end{array} \right\} \\
 A_1'' &= A_1 \sin \psi = A \cos \theta \sin \psi \\
 A_2' &= A_2 \sin \psi = A \sin \theta \sin \psi \\
 A_2'' &= A_2 \cos \psi = A \sin \theta \cos \psi
 \end{aligned}$$

A_1', A_1'', A_2', A_2'' の検光子通過後の各振幅をそれぞれ $A_{1p}', A_{1p}'', A_{2p}', A_{2p}''$ とします。

$$\begin{aligned}
 A_{1p}' &= A_1' \cos(\theta - \psi) = A \cos \theta \cos \psi \cos(\theta - \psi) \\
 A_{1p}'' &= A_1'' \sin(\theta - \psi) = A \cos \theta \sin \psi \sin(\theta - \psi) \\
 A_{2p}' &= A_2' \cos(\theta - \psi) = A \sin \theta \sin \psi \cos(\theta - \psi) \\
 A_{2p}'' &= A_2'' \sin(\theta - \psi) = A \sin \theta \cos \psi \sin(\theta - \psi)
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \text{④} \end{array} \right\}$$

A_{1p}' と A_{1p}'' 、 A_{2p}' と A_{2p}'' それぞれの合成波の振幅を A_{1p} 、 A_{2p} とします。

$$\begin{aligned}
 A_{1p}^2 &= A_{1p}'^2 + A_{1p}''^2 + 2A_{1p}'A_{1p}'' \cos \delta_2 \\
 A_{2p}^2 &= A_{2p}'^2 + A_{2p}''^2 + 2A_{2p}'A_{2p}'' \cos \delta_2
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \text{⑤} \end{array} \right\}$$

$$\text{ただし、} \delta_2 = \frac{2\pi R_2}{\lambda} \quad \text{⑥}$$

合成波 A_{1p}, A_{2p} の位相をそれぞれ η_1, η_2 とすると、次のように表されます。

$$\left. \begin{aligned} \tan \eta_1 &= \frac{A_{1p}'' \sin \delta_2}{A_{1p}' + A_{2p}'' \cos \delta_2} \\ \tan \eta_2 &= \frac{A_{2p}'' \sin \delta_2}{A_{2p}' + A_{2p}'' \cos \delta_2} \end{aligned} \right\} \textcircled{7}$$

検光子透過光強度 $I(\theta)$ は A_{1p} と A_{2p} の合成波ですので、次のように表されます。

$$I(\theta) = A_{1p}^2 + A_{2p}^2 + 2A_{1p}A_{2p} \cos \eta \quad \textcircled{8}$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} \eta &= \delta_1 - \eta_1 + \eta_2 - \pi & (0 \leq \theta < \pi/2) \\ \eta &= \delta_1 - \eta_1 + \eta_2 & (\pi/2 \leq \theta \leq \pi) \end{aligned}$$

$$\delta_1 = \frac{2\pi R_1}{\lambda} \quad \textcircled{9}$$

演算途中の角度の場合分けには注意が必要ですが、式①から式⑨を用いれば $I(\theta)$ の図を描くことができます。その図は、1枚のフィルムを平行ニコル回転法で測定したときと同様になり、2枚積層品を1枚に置き換えたときの Re と配向角 ϕ を得ることができます。さらに、複数の波長で測定すれば図1あるいは図2のような分散グラフが得られます。

3) 2枚積層品の Re 分離結果

予め2枚のフィルムの分散曲線(分散比率)は既知であるとして、レターデーション R_1, R_2 と貼合角 ψ とをそれぞれ適当な範囲を適当な刻みで変化させながら、測定した複数の波長について $I(\theta)$ を計算し、その $I(\theta)$ から $\text{Re}(\lambda i)$ と $\phi(\lambda i)$ を求めます。多数の計算結果の中から、測定値(入力値)に最も近くなるときの R_1, R_2, ψ を探し出します。

図1および図2の測定結果をもとに、**計算ソフト LAMIK1** を用いて Re の層分離計算を行うと表2の結果が得られ、表1の各フィルムの Re および貼合角に近い数値になっていることがわかります。

表2

	<i>PA+PET</i>	<i>PP+PET</i>
Re (at $\lambda = 589.3\text{nm}$)	$R_1=372, R_2=255$	$R_1=797, R_2=254$
貼合角 ψ (°)	18.1	38.4

また、このときの2枚積層品の入力値と計算結果の比較は図4、図5のようになり、両者はよく一致していると言えます。

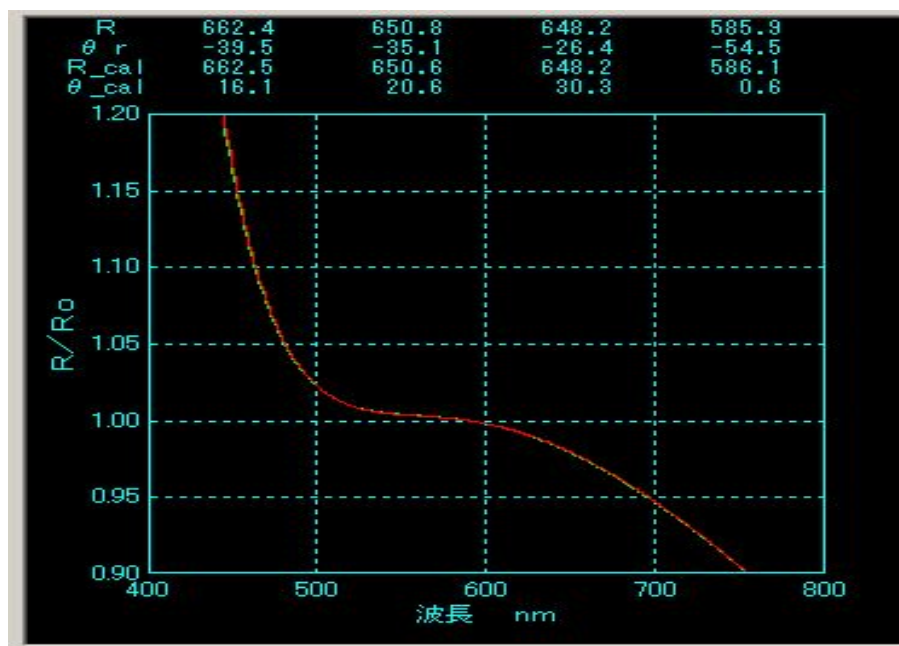


図4 PA+PETの入力値と計算結果 (—入力、—計算)

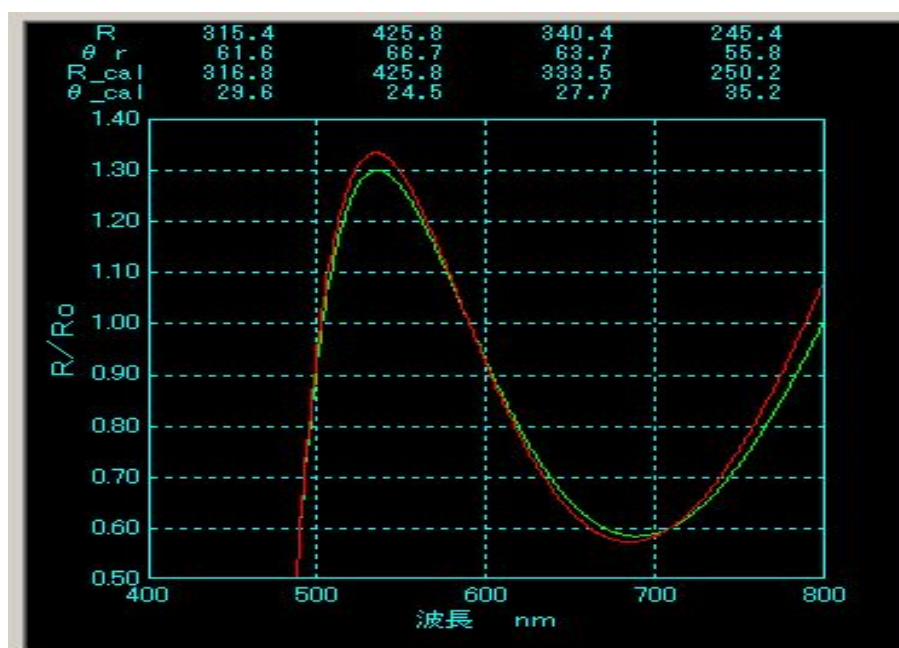


図5 PP+PETの入力値と計算結果 (—入力、—計算)

LAMIK1 ソフトには4波長分の Re と ϕ を入力しますが、層分離計算をうまく行うには入力する数値に以下の注意が必要です。

- ① Re が $\lambda/2$ の整数倍になっている波長の数値は採用しない。
- ② Re が λ の整数倍になっている波長の ϕ は採用しない。

たとえば図1の測定結果の場合、次の表3の中の赤文字が上記の①あるいは②の条件に該当し、その波長の測定値は層分離計算のための入力値としては採用しません。

表3

波長 (nm)	448.8	499.6	549.5	587.8	627.7	749.4
Re (nm)	649.2	662.4	650.8	648.2	666.9	585.9
ϕ (°)	-40.9	-39.5	-35.1	-26.4	6.2	-54.5