

LCD用光学フィルムの利用・開発 のためのツール

山口東京理科大学

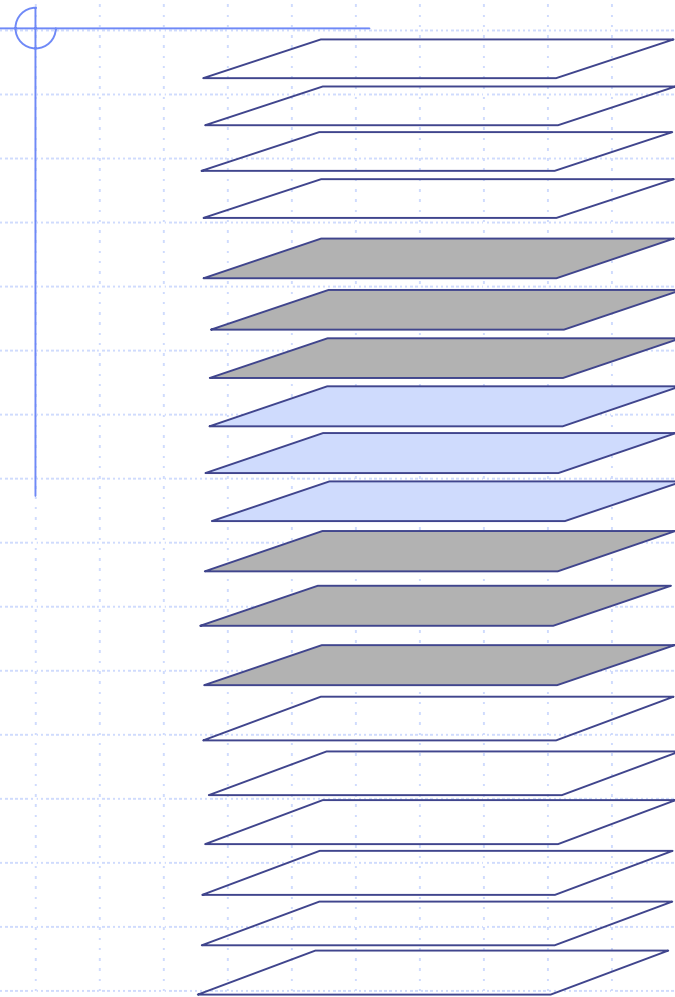
電子・情報工学科 液晶研究所

高頭 孝毅

目次

- ◆ポアンカレ球を用いた偏光解析
- ◆事例研究
 - 偏光板
 - VA
 - IPS
- ◆液晶シミュレーターの利用

LCDに用いられる光学フィルム等

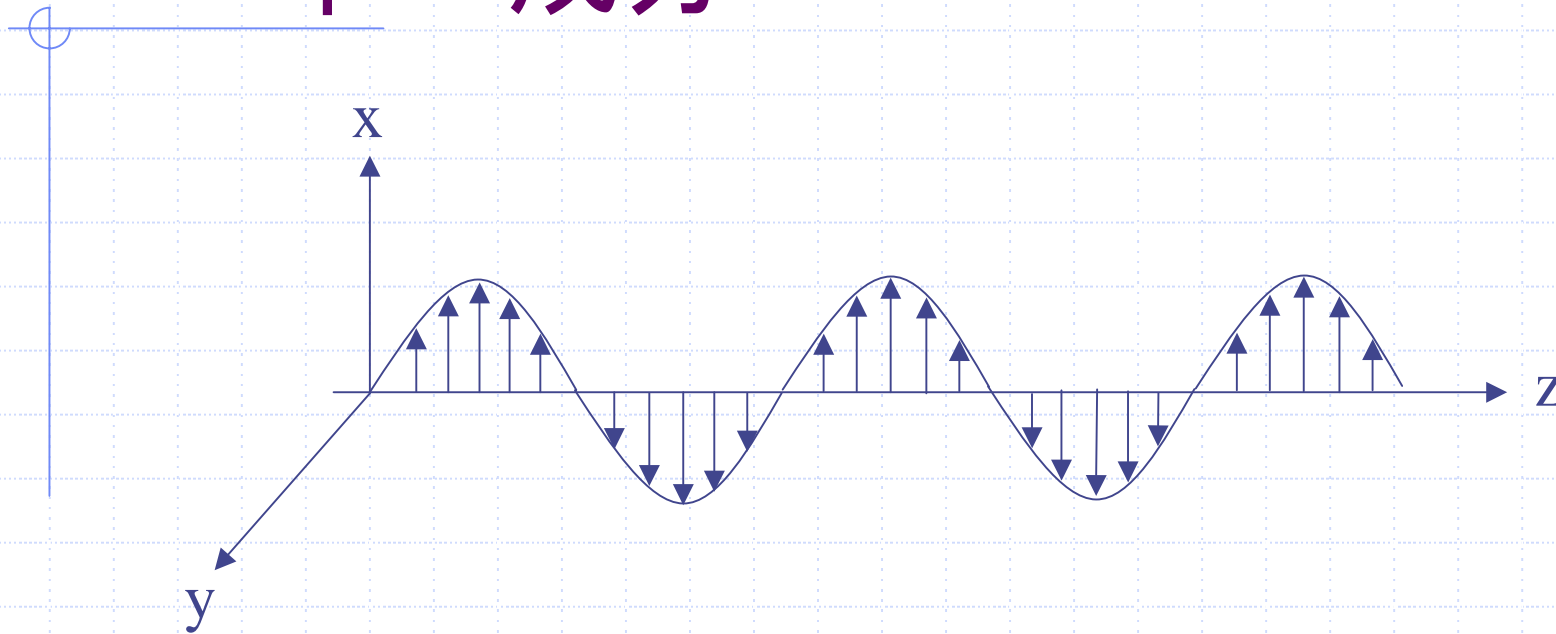


汚れ防止
反射防止・うつり込み防止
覗き込み防止
保護フィルム(TAC)
偏光子(PVA)
保護フィルム(TAC)
位相差板・視野角拡大フィルム
プラチック基板/FPC
液晶
プラチック基板/FPC
位相差板
保護フィルム(TAC)
偏光子(PVA)
保護フィルム(TAC)
輝度上昇フィルム
レンズシート
拡散シート
導光板
反射シート

ポアンカレー球を用いた偏光解析

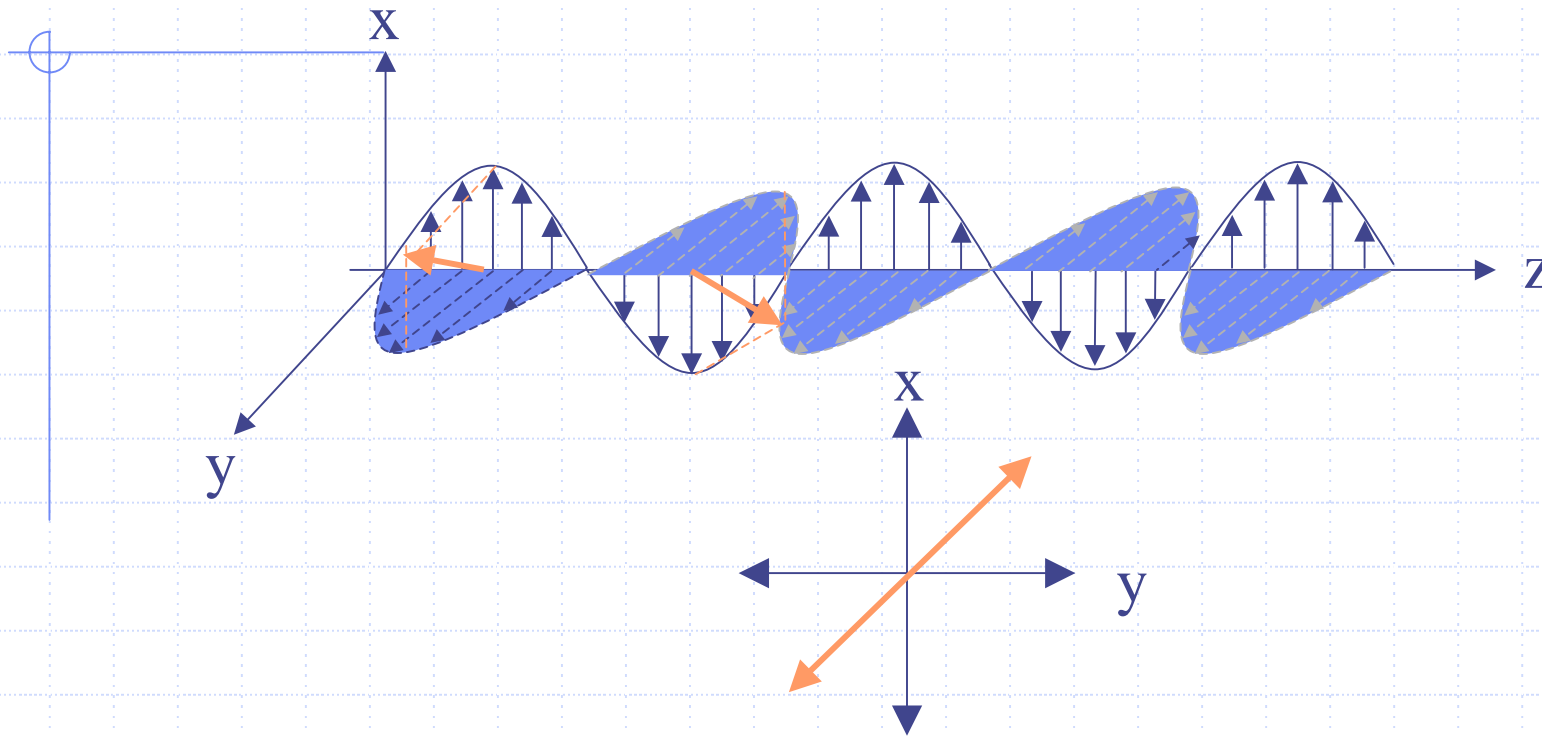
- ◆ 直線偏光・円偏光・楕円偏光
- ◆ ストークスパラメーター・ポアンカレー球による偏光の表示
- ◆ 位相差板
 - a-プレート $\lambda/2$ 板 $\lambda/4$ 板
 - c-プレート

偏光 単一成分



$$\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{u}A \sin\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - vt\right)\right]$$

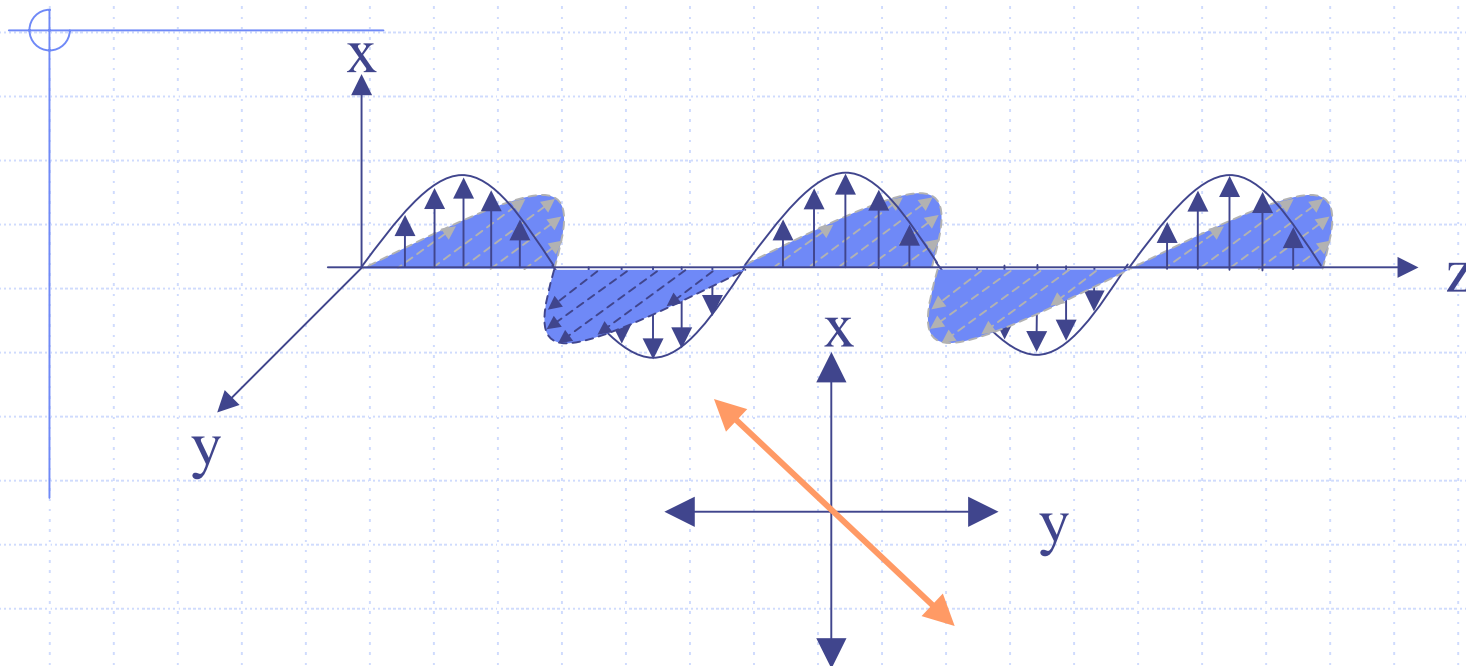
直線偏光(1)



$$\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{u}_x A_x \cos[kz - \omega t] + \mathbf{u}_y A_y \cos[kz - \omega t]$$

全ての直線偏光は直交する位相があった2つの直線偏光の和として表現できる。

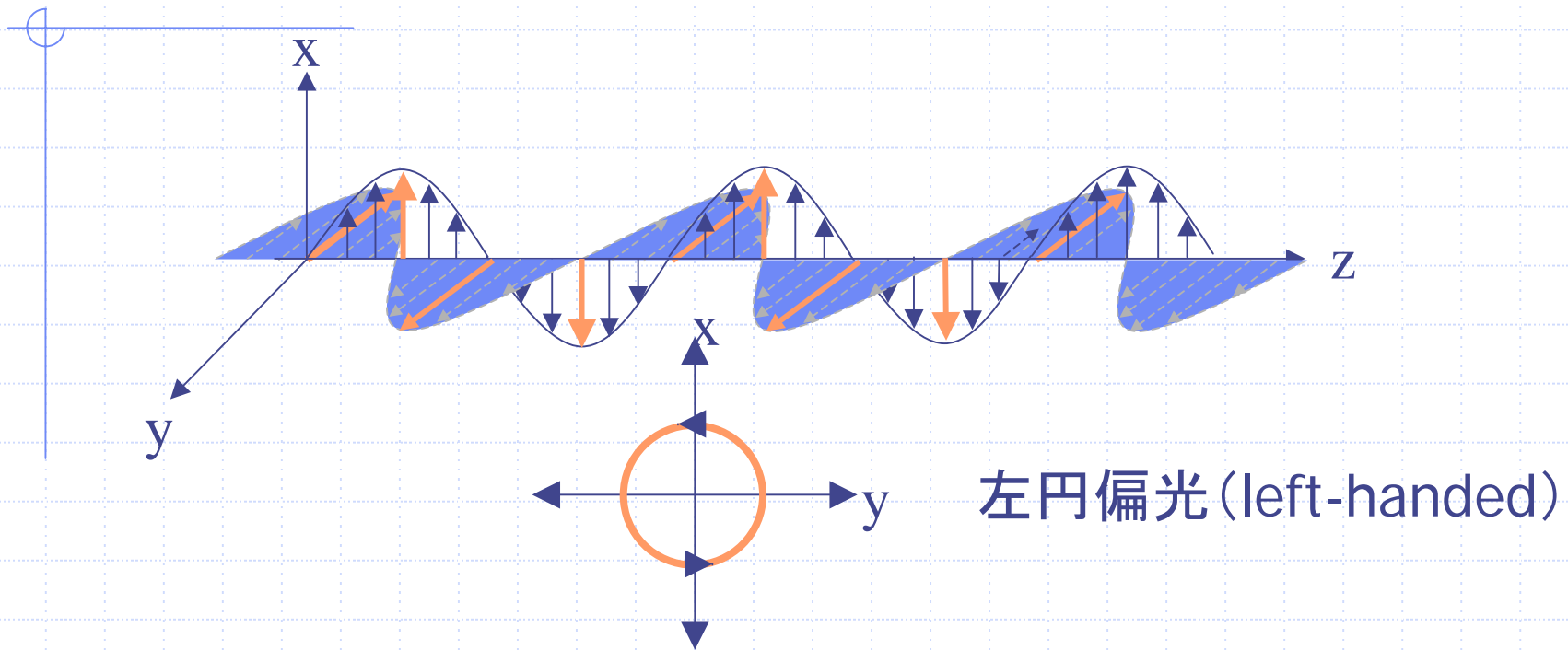
直線偏光(2)



$$\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{u}_x A_x \cos[kz - \omega t] + \mathbf{u}_y A_y \cos[kz - \omega t + \pi]$$

前頁の偏光に対してy方向の位相が 180° ずれた場合の直線偏光

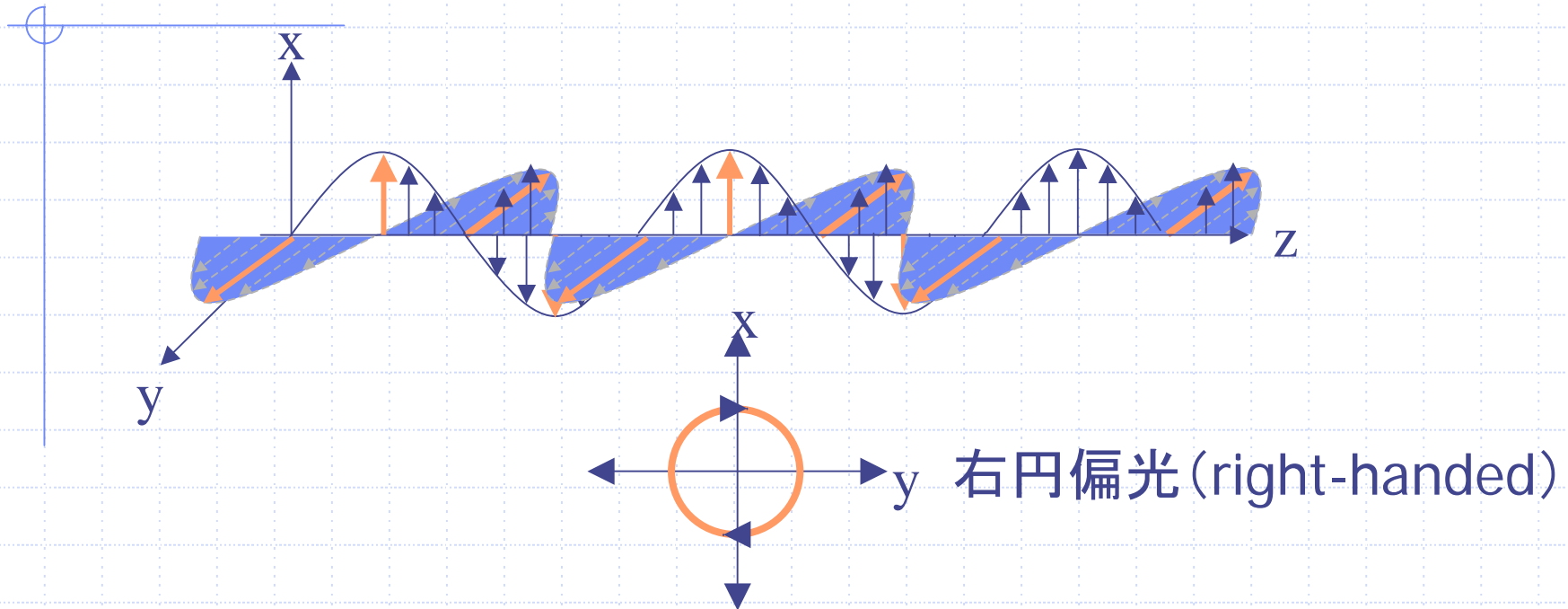
円偏光(1)



$$E(z, t) = u_x A \cos[kz - \omega t] + u_y A \cos[kz - \omega t - \pi / 2]$$

x, y 成分の位相が 90° ずれており、 $A_x = A_y$ の場合円偏光になる

円偏光(2)



$$E(z, t) = u_x A \cos[kz - \omega t] + u_y A \cos[kz - \omega t + \pi / 2]$$

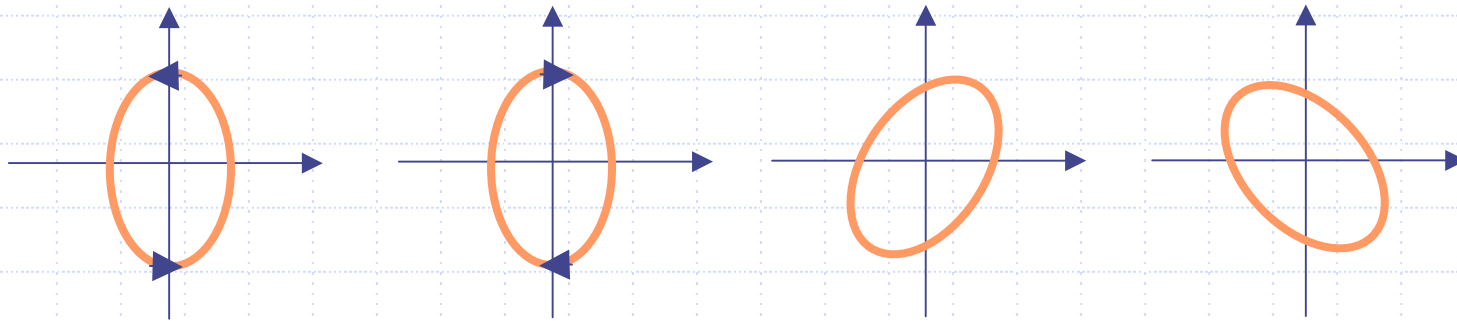
x, y 成分の位相が 90° ずれており、 $A_x = A_y$ の場合。前頁の左円偏光に対して 180° y 方向の位相がずれている。

楕円偏光

$$\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{u}_x A_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) + \mathbf{u}_y A_y \cos(\omega t - kz + \delta_y)$$

$$\text{left-handed} : 0 < \delta_y - \delta_x < \pi / 2$$

$$\text{right-handed} : -\pi / 2 < \delta_y - \delta_x < 0$$



直線偏光・円偏光以外の偏光は楕円偏光になる。楕円偏光にも左旋性・右旋性が定義できる。

ストークスパラメーターによる偏光状態の表現

- ◆ 偏光の状態は3つのストークスパラメーター S_1, S_2, S_3 で表現できる。
- ◆ S_1, S_2, S_3 は偏光の3つの傾向を示す。
 - S_1 : 水平 ($S_1 > 0$), 垂直 ($S_1 < 0$) の偏光である傾向
 - S_2 : $+45^\circ$ ($S_2 > 0$), -45° ($S_2 < 0$) の偏光である傾向
 - S_3 : 左旋性 ($S_3 > 0$), 右旋性 ($S_3 < 0$), 直線偏光 ($S_3 = 0$) の偏光である傾向
- ◆ 偏光は S_1, S_2, S_3 を軸とするポアンカレー球により表現できる。

ストークスパラメーターの数式による表現

$$\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{u}_x A_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) + \mathbf{u}_y A_y \cos(\omega t - kz + \delta_y)$$

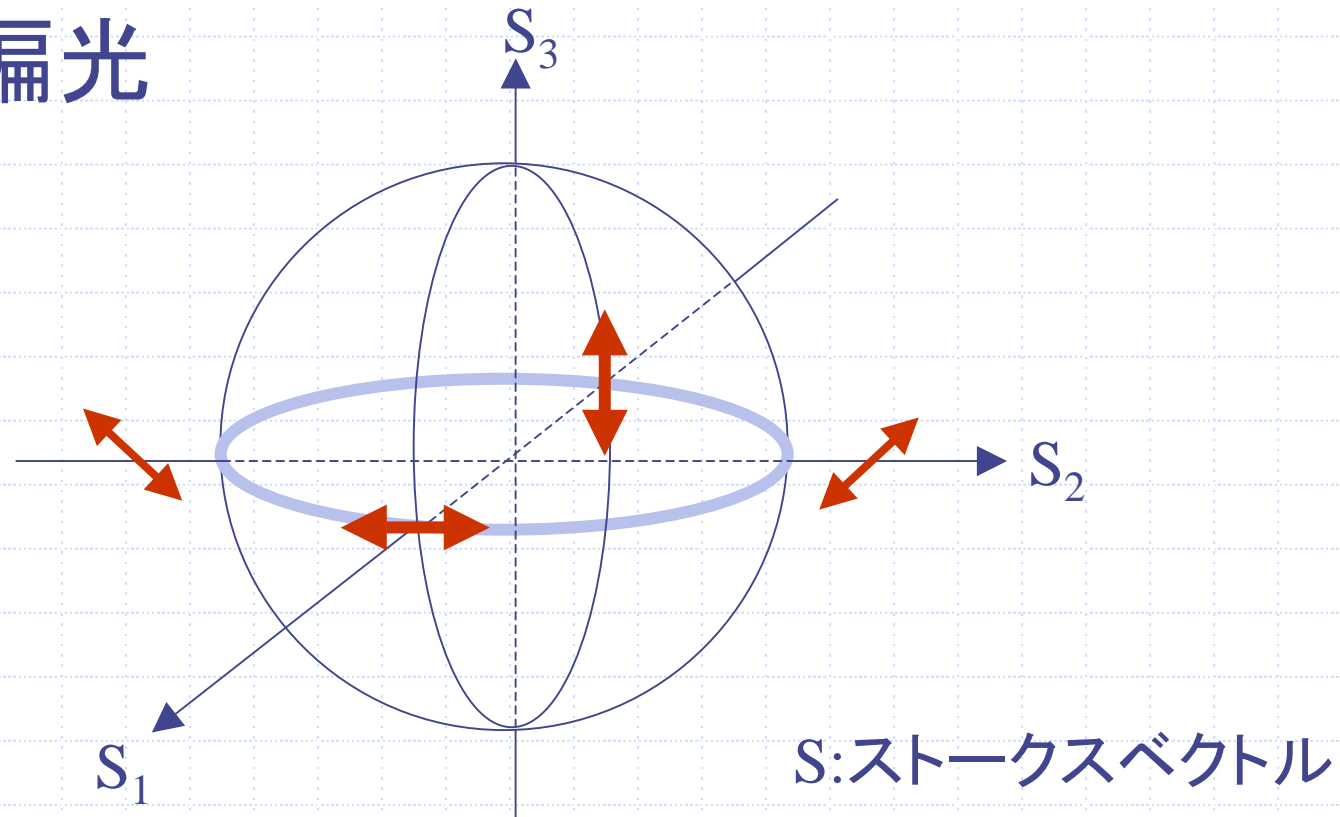
$$S_1 = \langle A_x^2 - A_y^2 \rangle$$

$$S_2 = 2 \langle A_x A_y \cos(\delta_y - \delta_x) \rangle$$

$$S_3 = 2 \langle A_x A_y \sin(\delta_y - \delta_x) \rangle$$

ポアンカレー球による偏光の表示

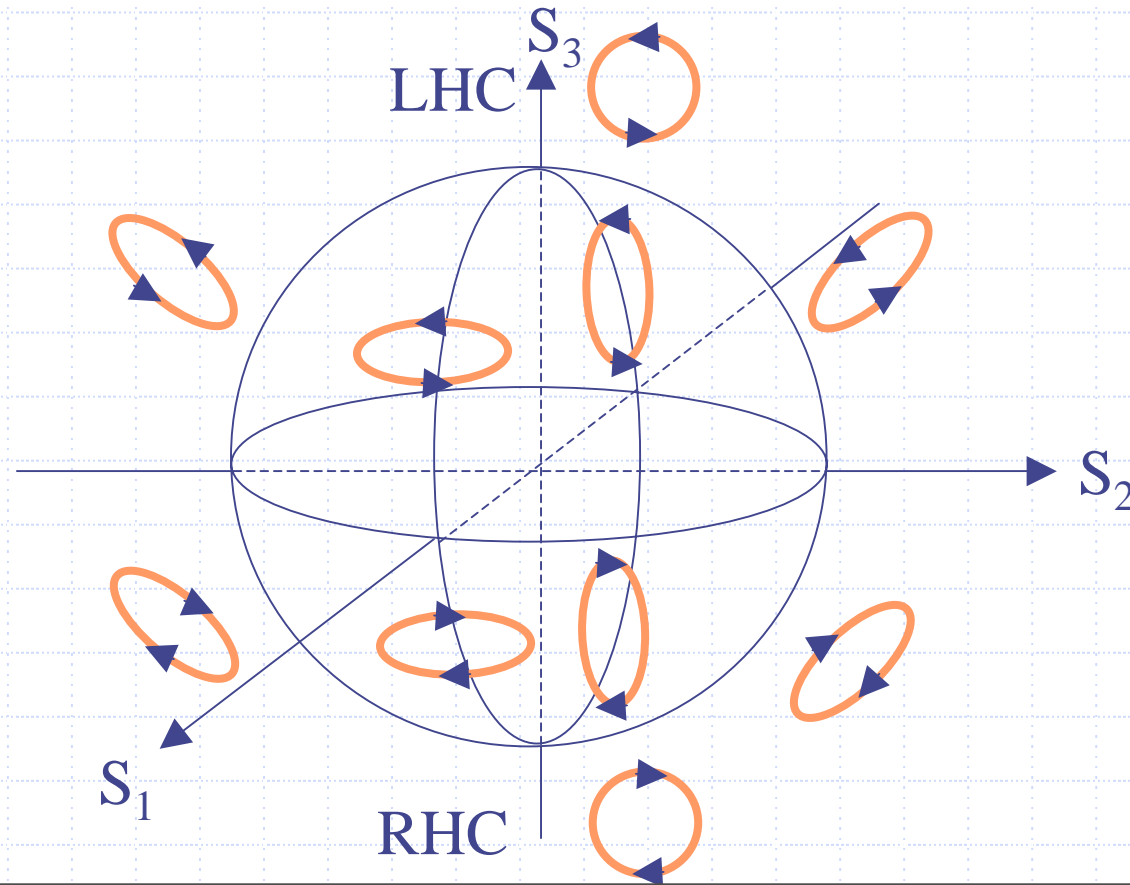
直線偏光



直線偏光はポアンカレー球の赤道上で表現される。

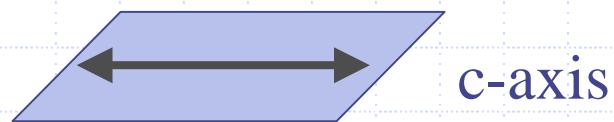
ポアンカレ球による表示

円偏光
楕円偏光

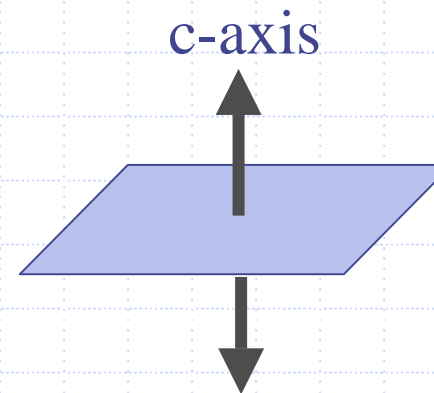


北極・南極で円偏光を、それ以外では楕円偏光を表す。

位相差板



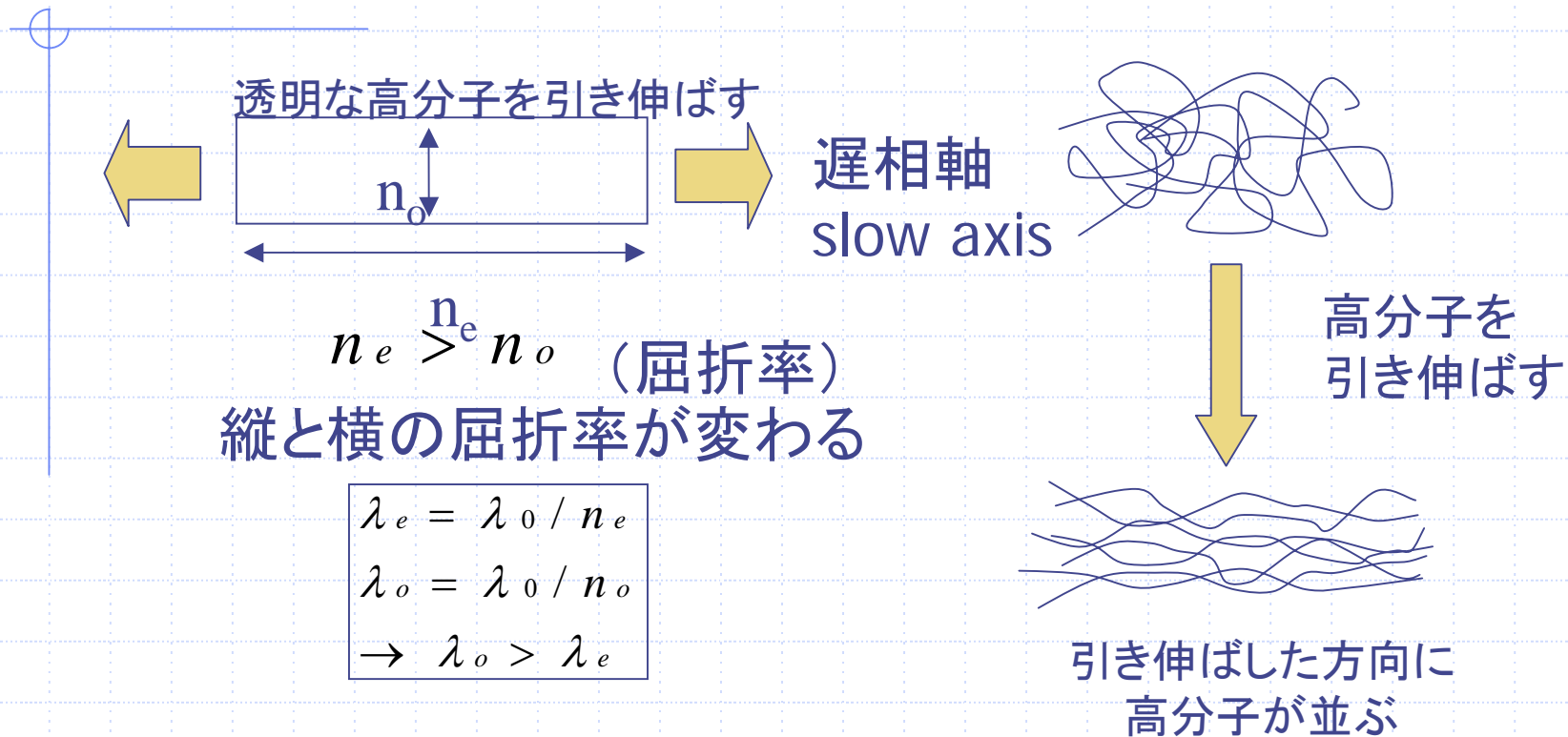
a-プレート



c-プレート

位相差板にはa-プレート、c-プレート、2軸位相差板、o-プレートと呼ばれるものがある。ここでは、a-プレート、c-プレートを紹介する。

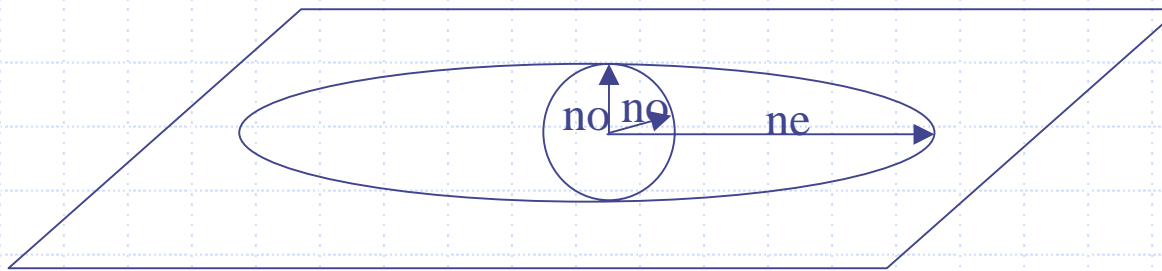
a-プレート(1軸性フィルム)



透明高分子フィルムを1方向に延伸して得られるフィルム。
平面内の屈折率の異方性を持つ。

a-プレート

屈折率楕円体によるa-プレートの表記



$$\Delta n = ne - no$$

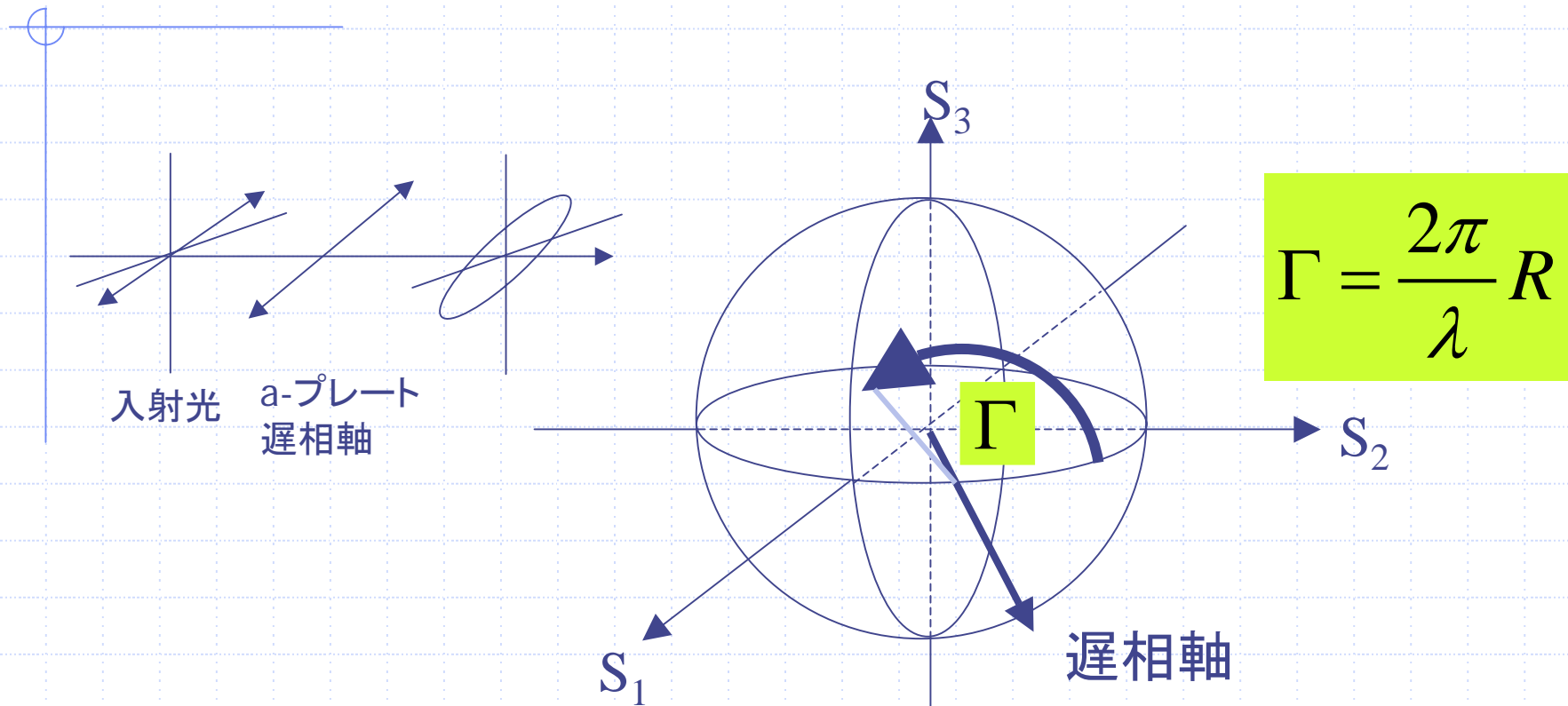
$$\Gamma = 2\pi\Delta nd / \lambda$$

$$R = \Delta nd$$

Δn 複屈折
 Γ 位相差
 R リタデーション

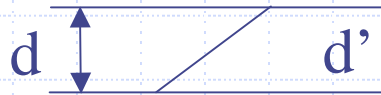
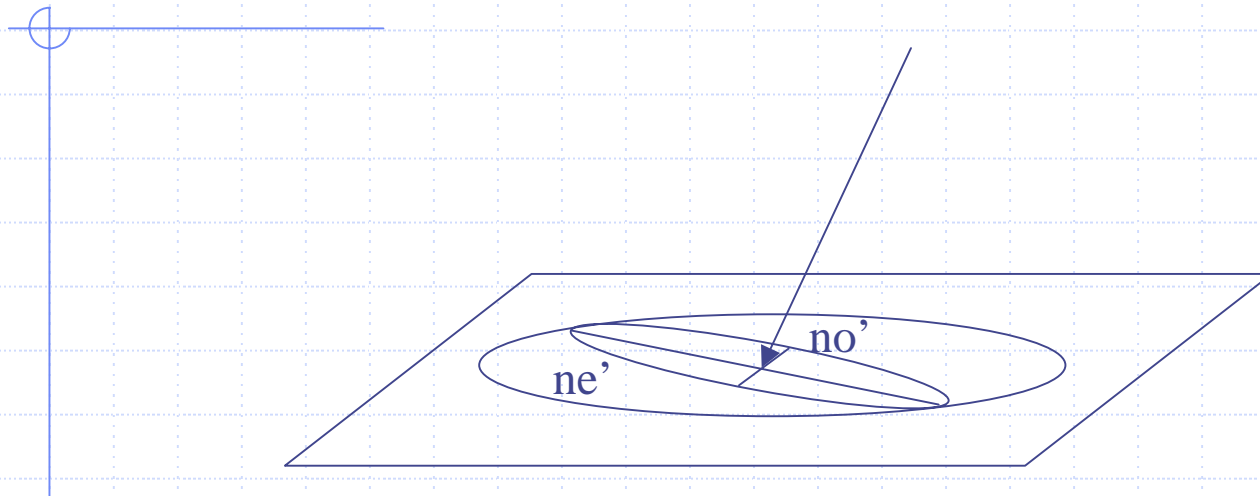
屈折率楕円体(3次元の屈折率 n_x, n_y, n_z を軸とする楕円体)はラグビーボールが長軸(遅相軸)を延伸方向に向けて置かれている形となる。

a-プレートを通過する場合の偏光の変換 ポアンカレ球の利用



a-プレートに入ってきた偏光はポアンカレ球上でa-プレートの遅相軸を中心にして位相差 Γ 分だけ回転する。得られたポアンカレ球上の点が、出射光の偏光の状態を示している。

aプレートを斜め方向から見る場合



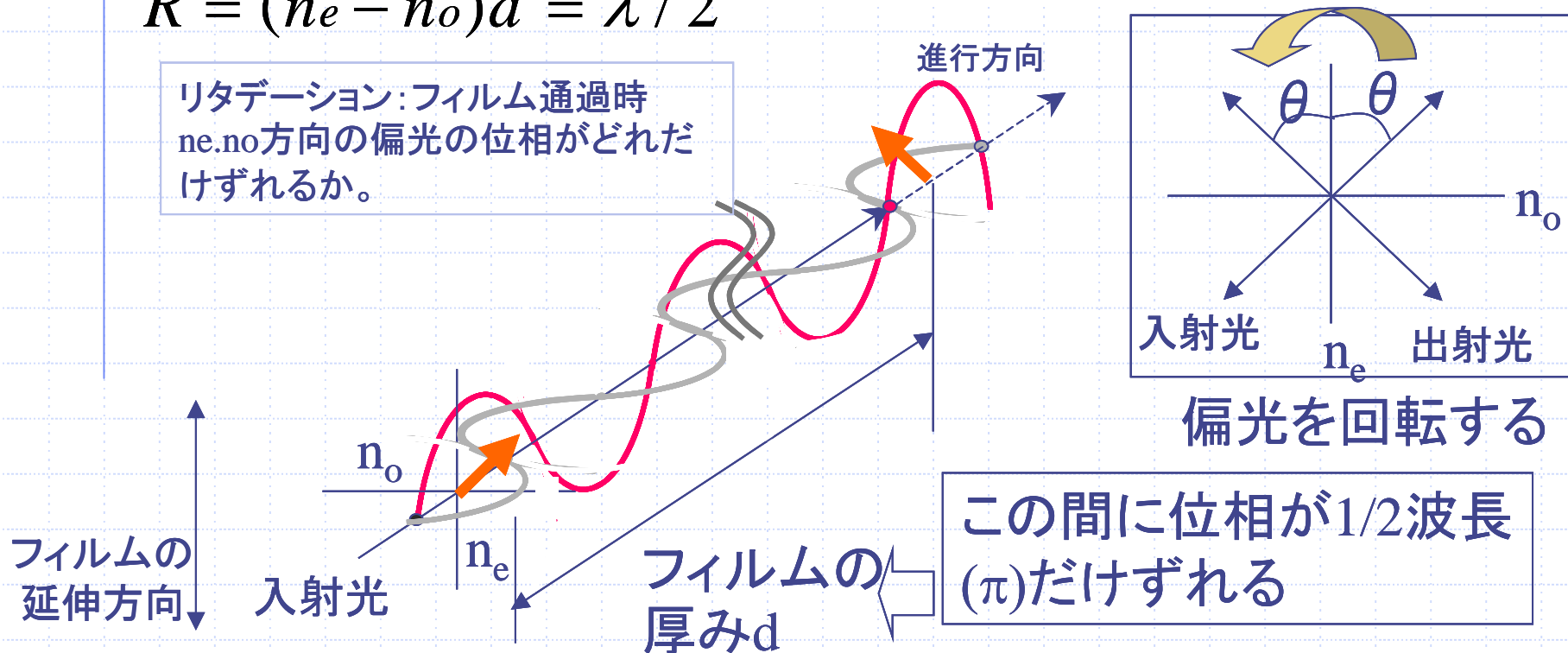
$$\Delta n' = ne' - no'$$

$$\Gamma = 2\pi\Delta n' d' / \lambda$$

(例) $\lambda/2$ 板による偏光の回転

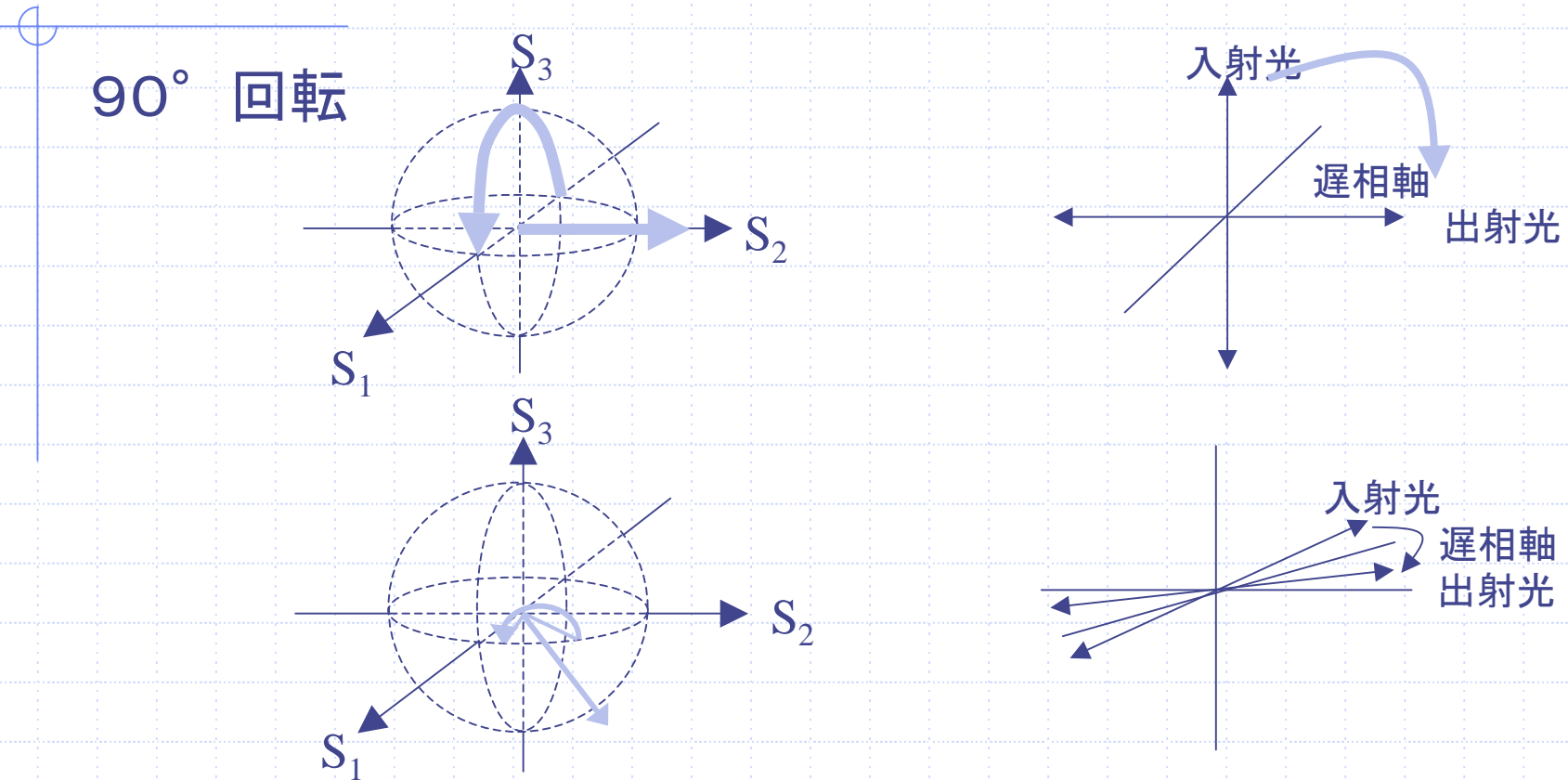
$$R = (n_e - n_o)d = \lambda/2$$

リタデーション: フィルム通過時
 n_e, n_o 方向の偏光の位相がどれだ
けずれるか。



n_e 方向の偏光成分が、 n_o 方向の偏光成分に対してフィルム通過時1/2波長遅れる。このため、上記のように偏光が回転する。市販のセロテープは550nm付近での $\lambda/2$ 板として振舞う。

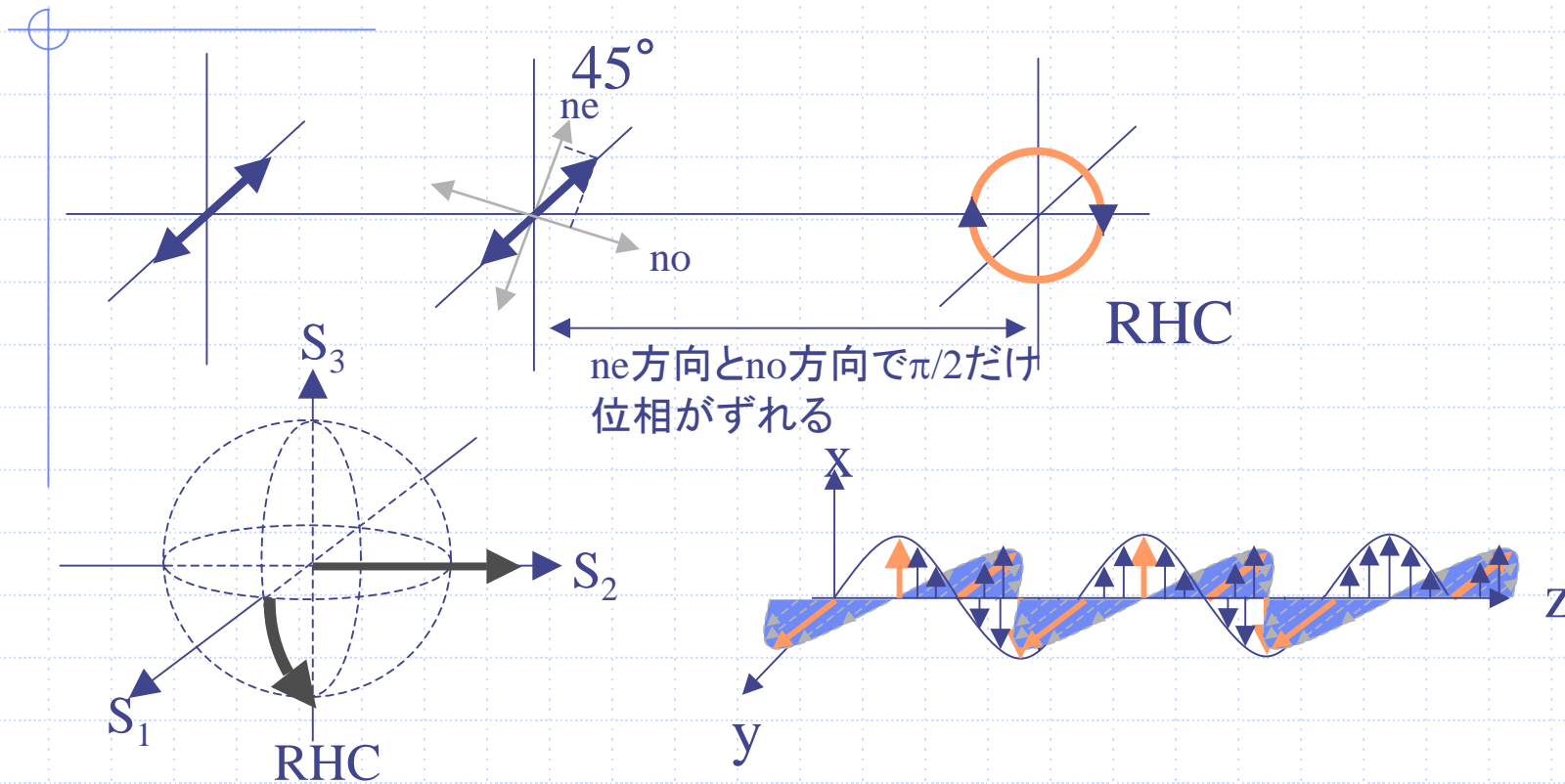
(例) $\lambda/2$ 板による偏光の回転 ポアンカレ球の利用



$\Gamma = (2\pi/\lambda')(\lambda'/2) = \pi$ で、遅相軸を中心に180°
回転する。

λ/4板の作用 (1)

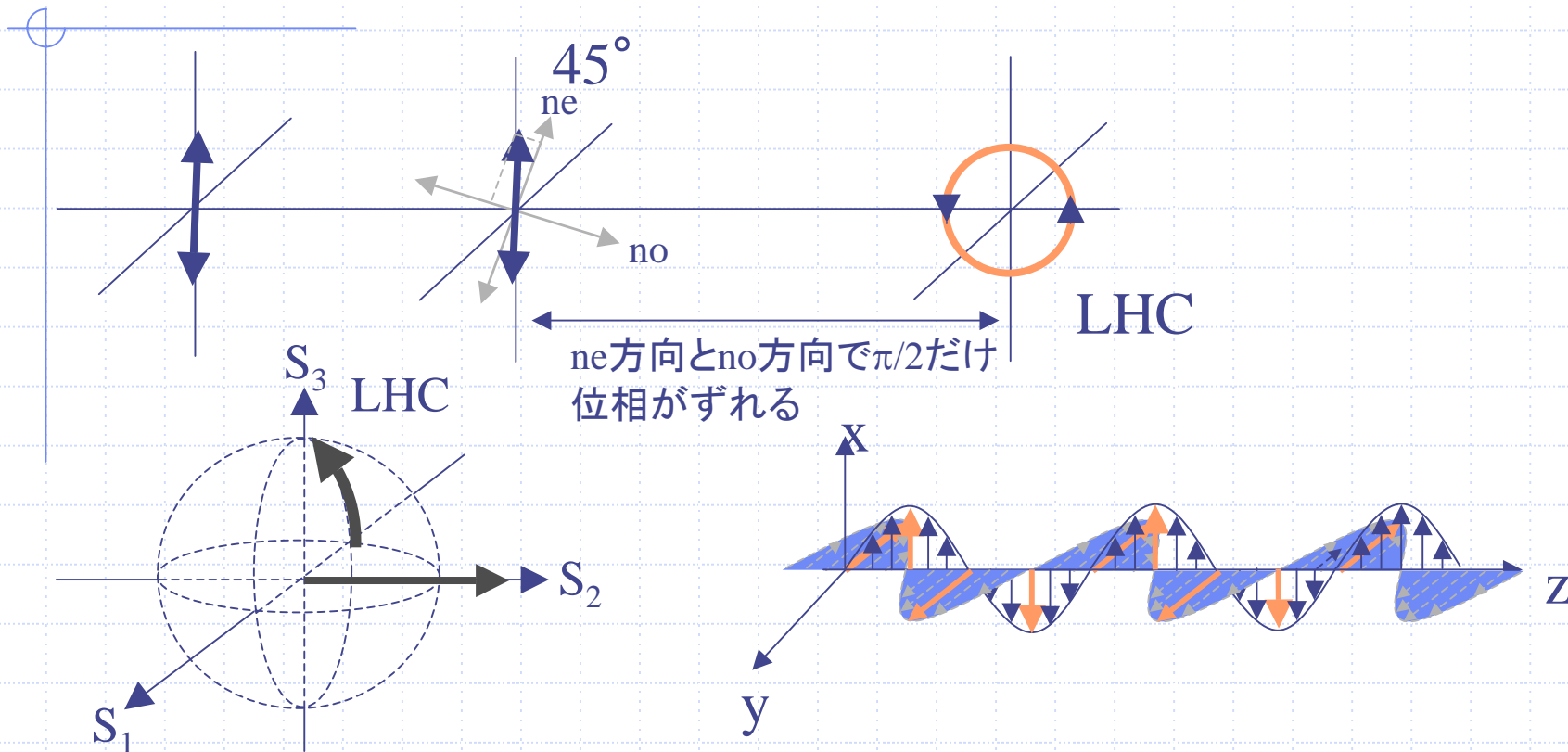
ポアンカレ球の利用



$\Gamma = (2\pi/\lambda')(\lambda'/4) = \pi/2$ で、ポアンカレ球の S_2 軸(+45°)に置いた遅相軸を中心に90°回転する。入射された偏光は赤道(+45°)から南極に移り、+45°の直線偏光が右旋性の円偏光に変換されることが判る。

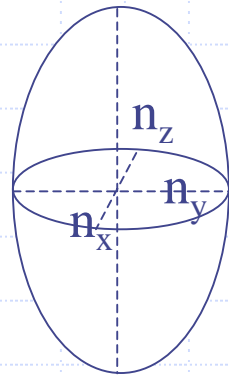
λ/4板の作用と表現 (2)

ポアンカレ球の利用



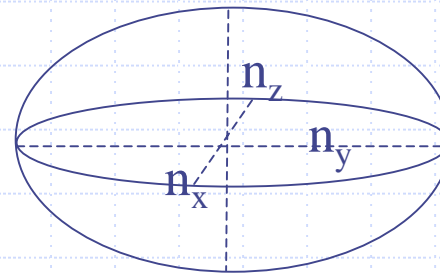
$\Gamma = (2\pi/\lambda')(\lambda'/4) = \pi/2$ で、ポアンカレ球のS₂軸(+45°)に置いた遅相軸を中心に90°回転する。入射された偏光は赤道(+45°)から北極に移り、-45°の直線偏光が左旋性の円偏光に変換されることが判る。

c-プレート



$$n_z > n_x = n_y$$

正のc-プレート

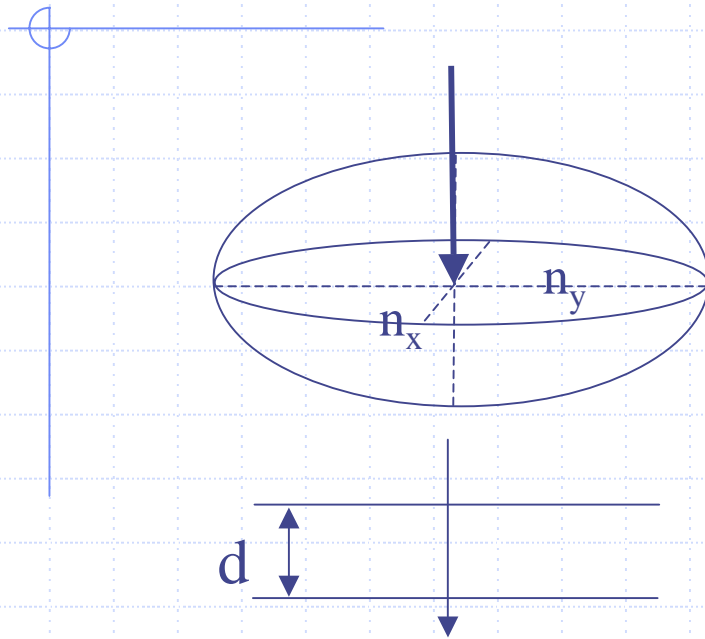


$$n_x = n_y > n_z$$

負のc-プレート

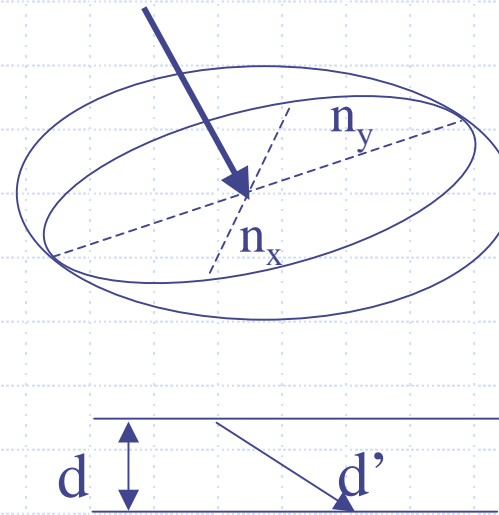
$n_z > n_x = n_y$ (正)、 $n_z < n_x = n_y$ (負)の屈折率をもつフィルムをc-プレートという。電圧無印加時のVA液晶は光学的に正のc-プレートに等しい。

Cプレートでの Γ



$$\Delta n = n_x - n_y = 0$$

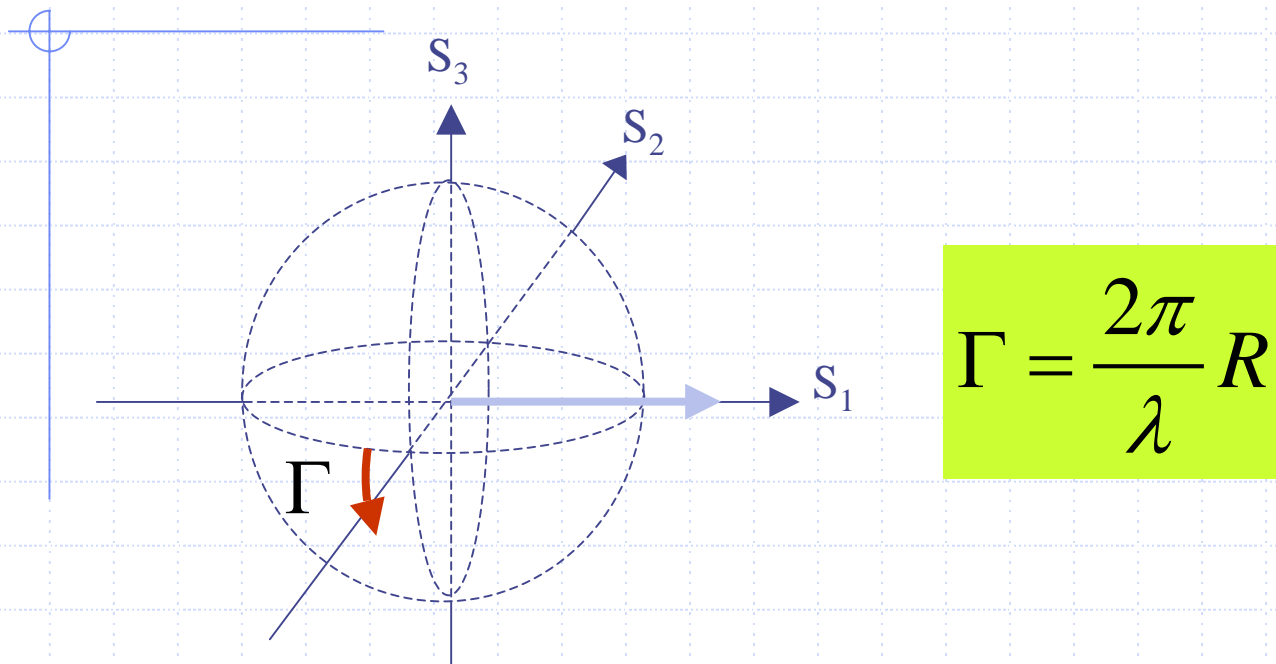
$$\Gamma = 0$$



$$\Delta n' = n_x' - n_y'$$

$$\Gamma = 2\pi\Delta n' d' / \lambda$$

C-プレートを通過する場合の偏光の変換 ポアンカレ球の利用

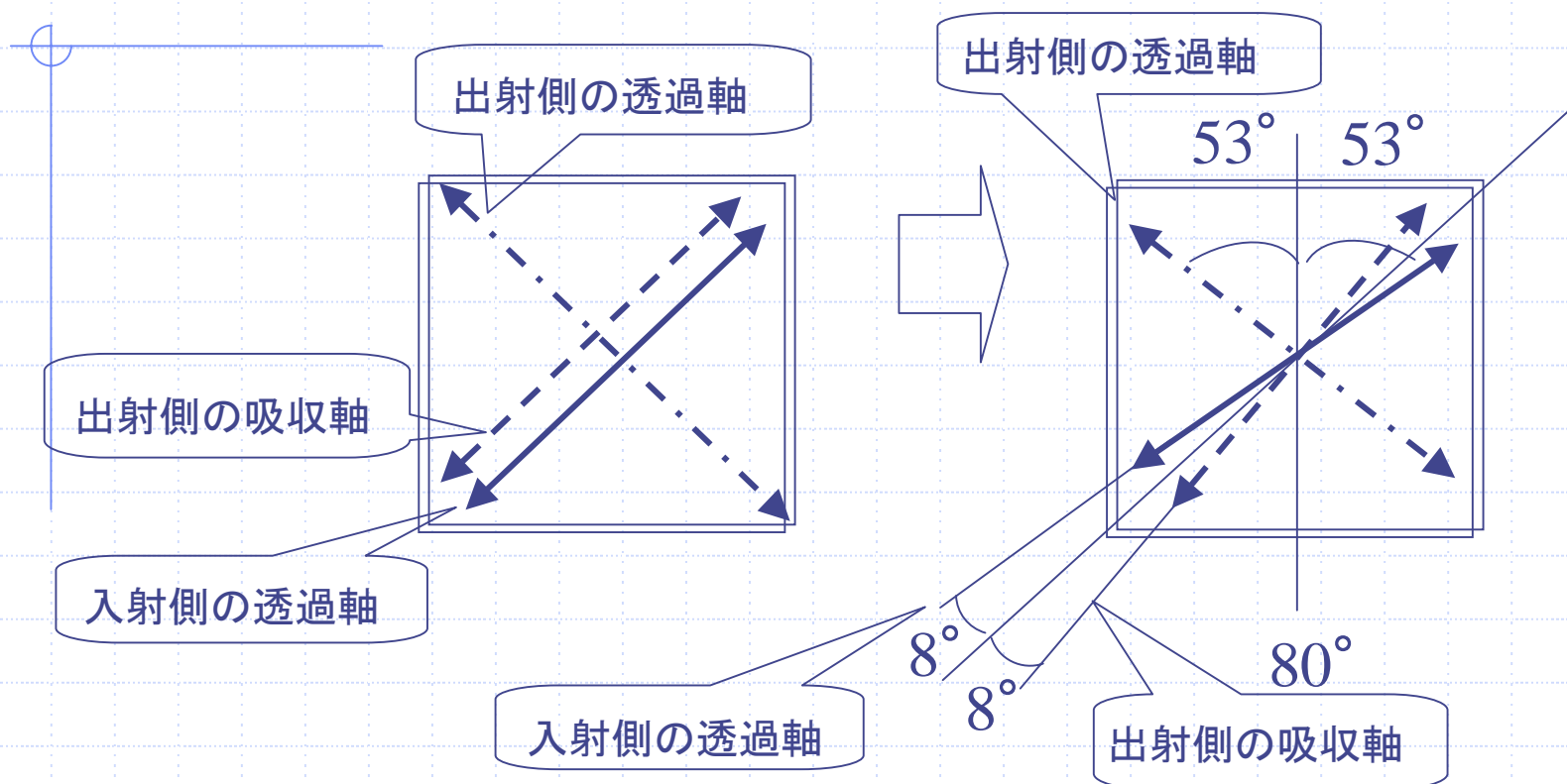


- C-プレートの平面は光学的に均一なため、正面からの偏光は変化しない。
- 斜めから入射した偏光は S_1 軸を中心に回転する。(正のc-プレートは北極に向かい、負のc-プレートは南極に向かう。)

事例研究

- 直交偏光板の光漏れ防止
- VA方式の光学補償
- IPS方式の光学補償

直交偏光板の光漏れ

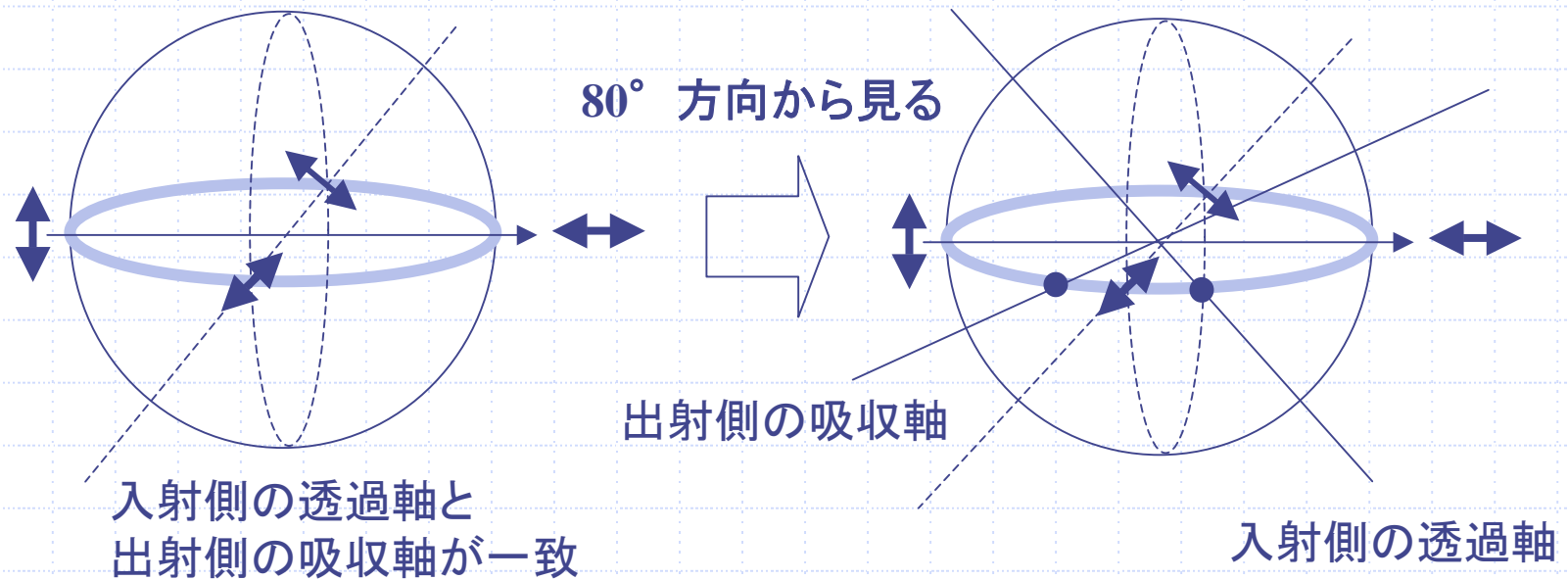


図のように 80° 傾けて見た場合、出射側の透過軸と入射側の吸収軸が 8° ずれることで光抜けが起こる。

P. Yeh, "Fundamentals of Display Optics" Short Course S-2, SID 2006, S-2/49 (2006)

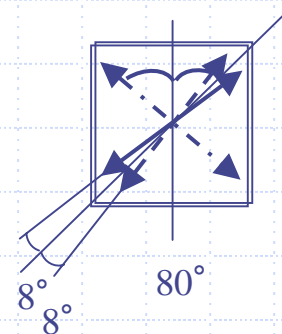
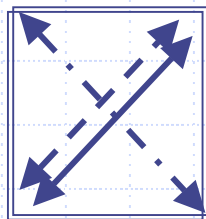
直交偏光板の光漏れ

ポアンカレー球での表現



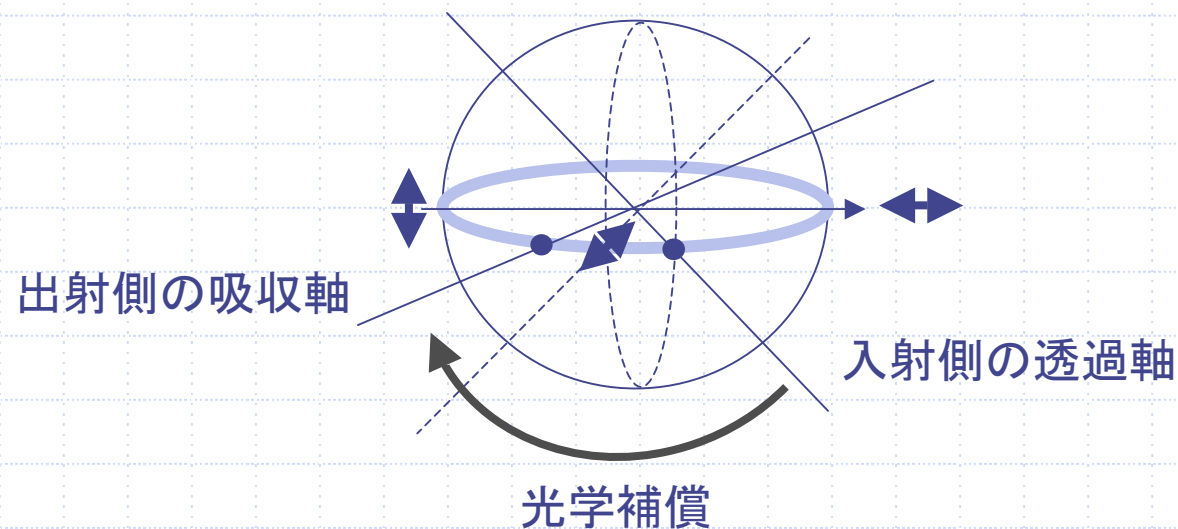
正面から見た場合

80° の方向から見た時



位相差板による光学補償

- ◆ 方位角 45° 極角 80° の方向から観察すると入射側の透過軸と出射側の吸収軸が 16° ずれている。
- ◆ この“ずれ”が光漏れとなりコントラストを減少させる。
- ◆ 位相差板を使用して“ずれ”を無くすことができる(光学補償)

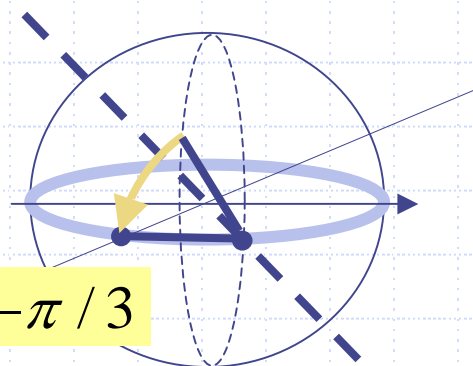


位相差板による光学補償

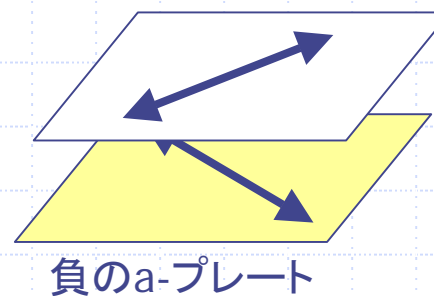
80° で観察した場合

出射側の吸収軸
⊥ a-プレートの遅
相軸

$$\Gamma = -\pi / 3$$



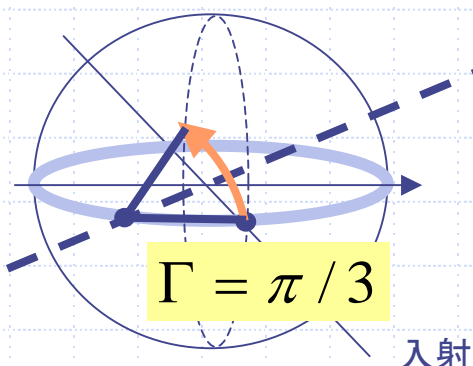
吸収軸



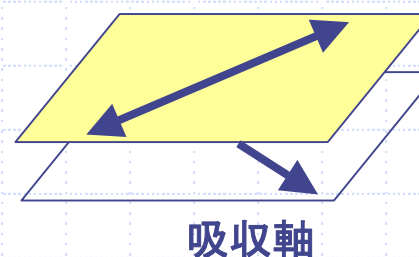
負のa-プレート

入射側の吸収軸
⊥ a-プレートの遅
相軸

$$\Gamma = \pi / 3$$



正のa-プレート



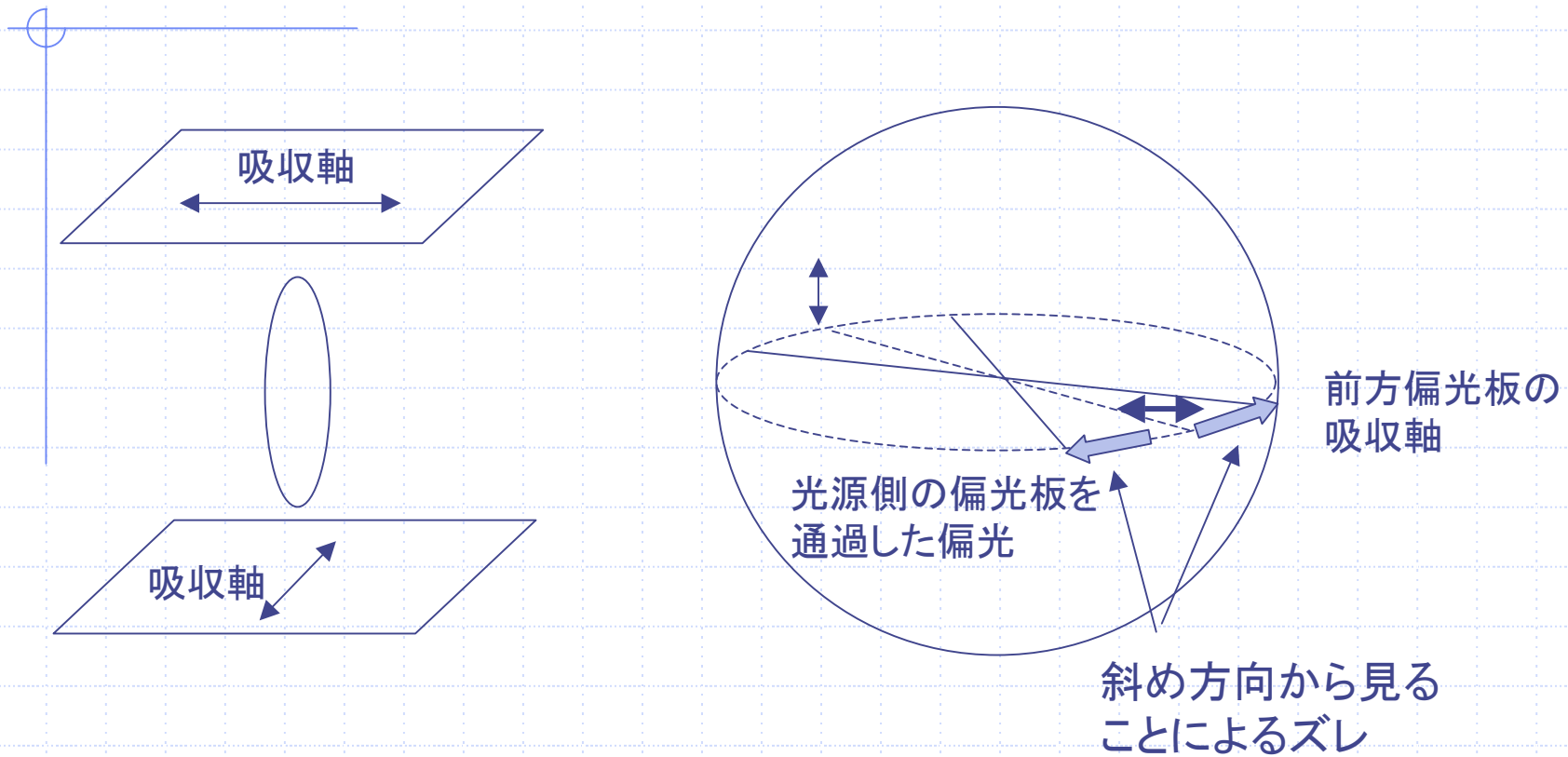
吸収軸

出射側の吸収軸

入射側の透過軸

出射側・入射側吸収軸に垂直な方向に遅相軸が来るように、 $\Gamma = \pi / 3$ and $-\pi / 3$ の a-プレートを配置する。X.Zhu and S-T Wu, SID 05 DIGEST 1164 (2005)

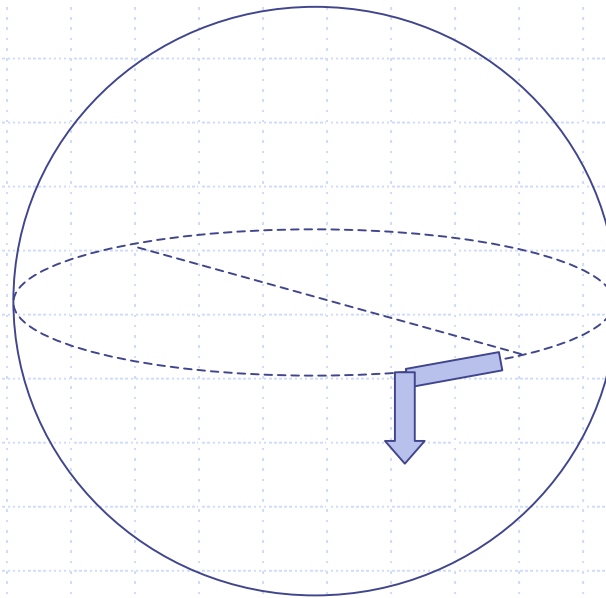
VA液晶の光学補償



斜めから見る事により、光源側の偏光板を通過した偏光の方向と前方の偏光板の吸収軸の方向がずれる。

VA液晶 光学補償がない場合

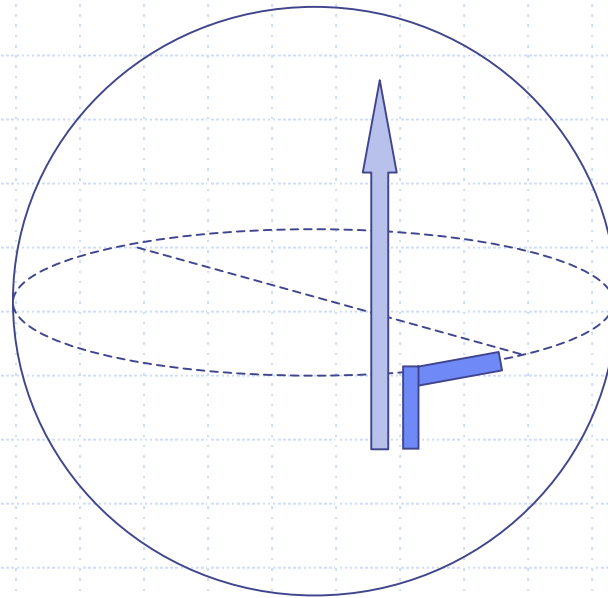
偏光子
TAC
VA
TAC
偏光子



TAC(偏光板の補助フィルム)がネガティブCプレートとして作用する。

VA液晶 光学補償がない場合

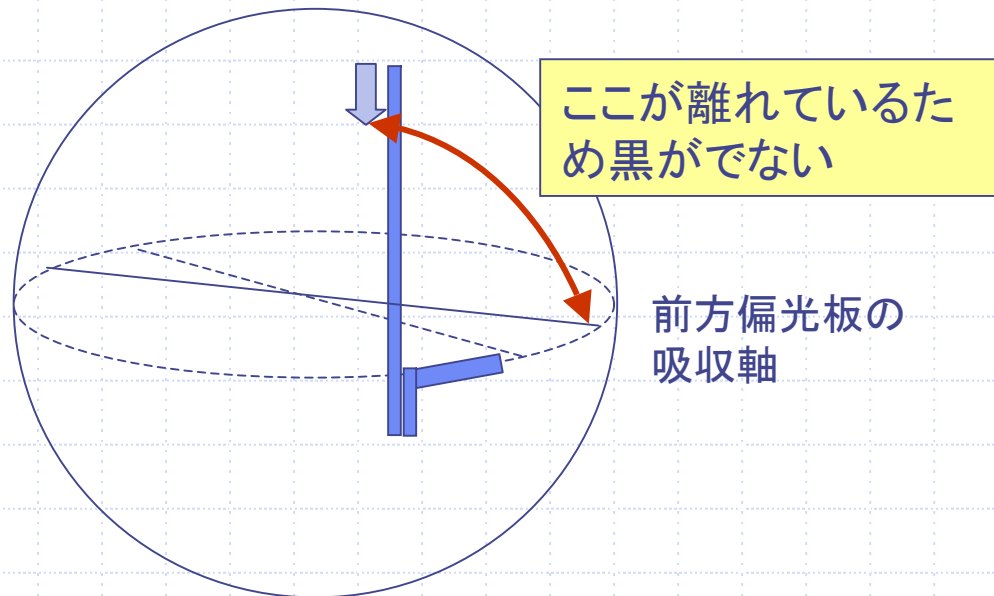
偏光子
TAC
VA
TAC
偏光子



VA液晶がポジティブCプレートとして作用する。

VA液晶 光学補償がない場合

偏光子
TAC
VA
TAC
偏光子

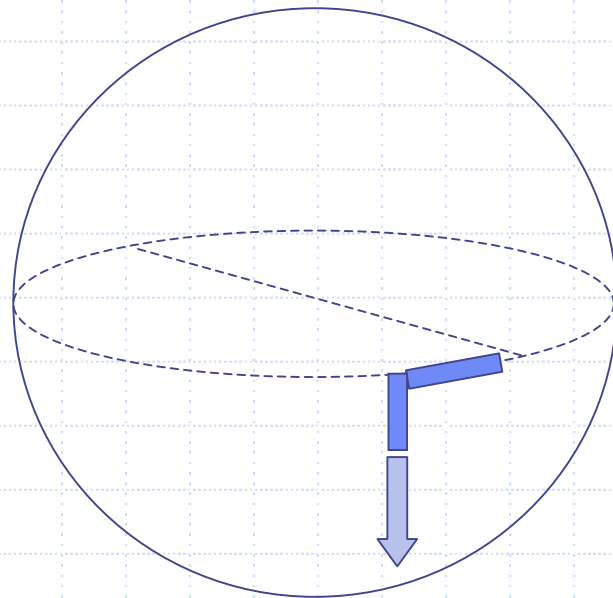


TACがネガティブCプレートとして作用する。

VA液晶の光学補償

c-プレートとa-プレートの組み合わせ

偏光子
TAC
Aプレート
VA
Cプレート
TAC
偏光子

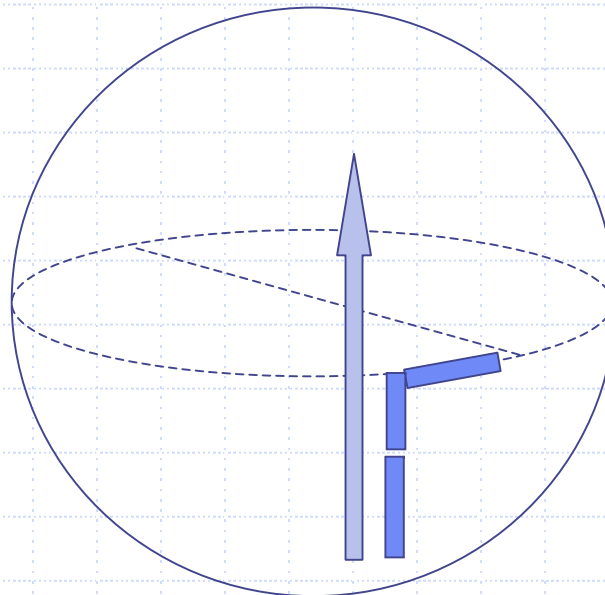


ネガティブCプレートの作用。

VA液晶の光学補償

c-プレートとa-プレートの組み合わせ

偏光子
TAC
Aプレート
VA
Cプレート
TAC
偏光子

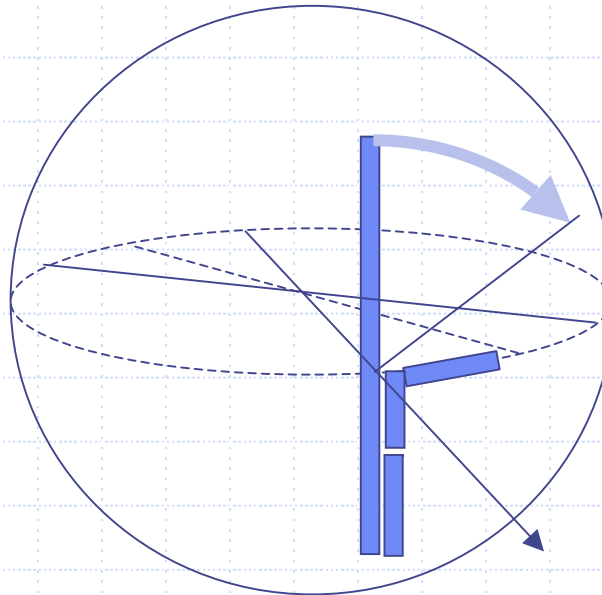


VA液晶がポジティブCプレートとして作用する。

VA液晶の光学補償

c-プレートとa-プレートの組み合わせ

偏光子
TAC
Aプレート
VA
Cプレート
TAC
偏光子

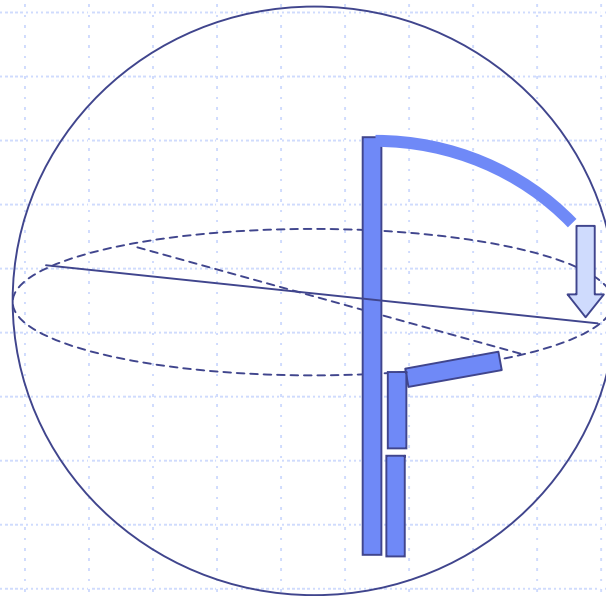


Aプレートによる偏光状態の変換。

VA液晶の光学補償

c-プレートとa-プレートの組み合わせ

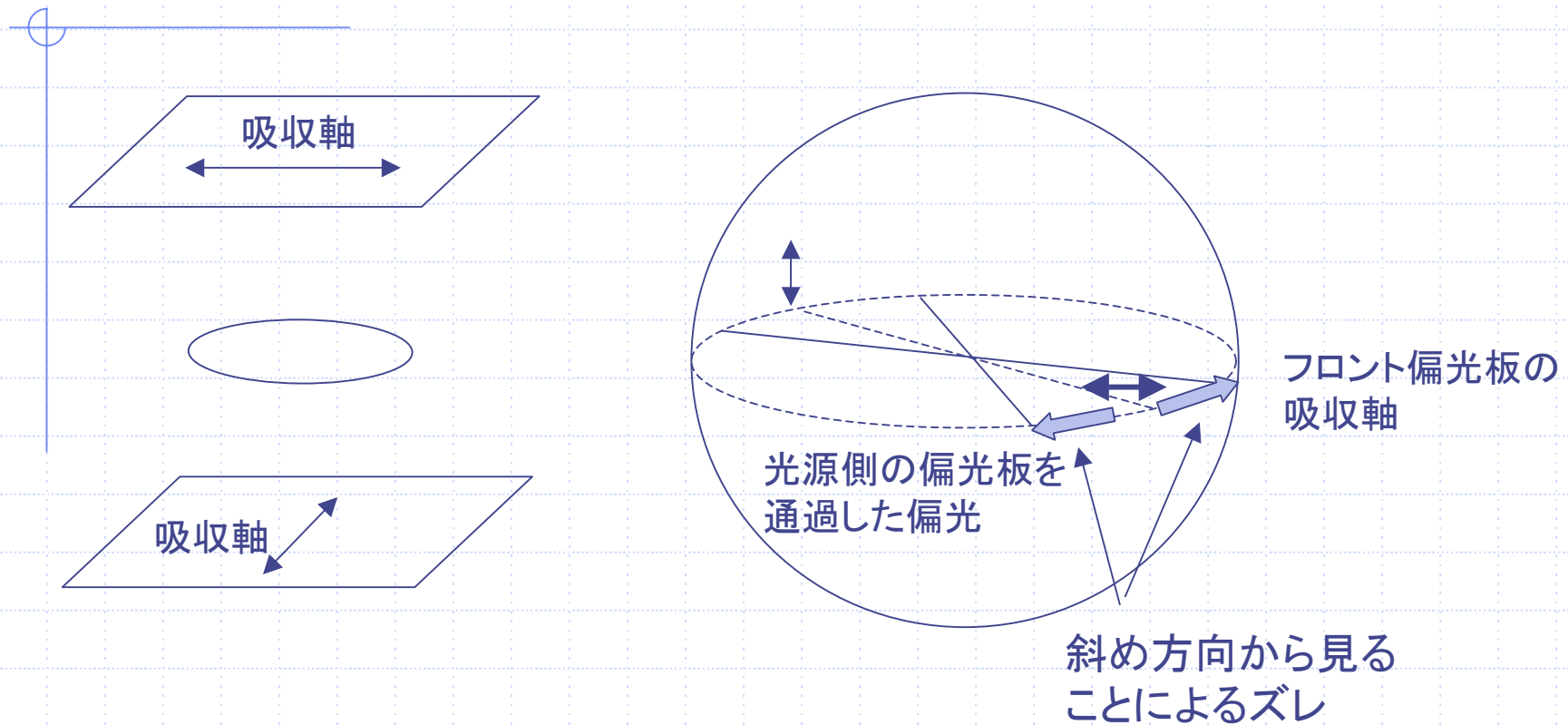
偏光子
TAC
Aプレート
VA
Cプレート
TAC
偏光子



TACがネガティブCプレートとして作用。

出射光が直線偏光となり、かつ前方偏光板の吸収軸の方向と等しくなり、黒の表示での斜め方向からの光もれがなくなる。

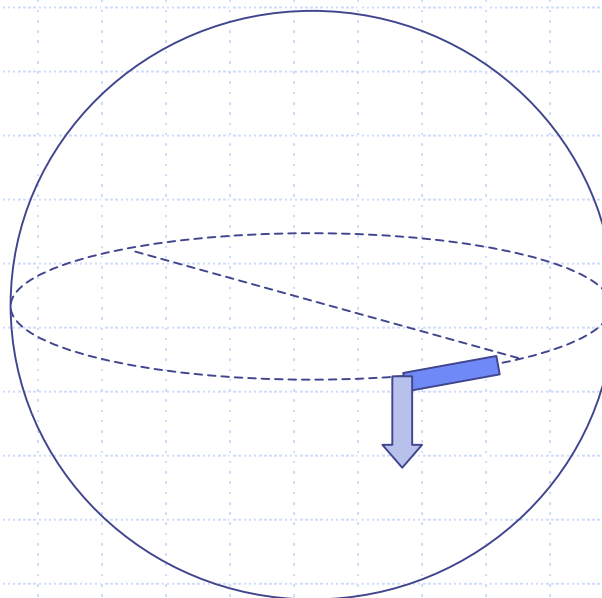
IPS液晶の光学補償



斜めから見る事により、光源側の偏光板を通過した偏光の方向と前方の偏光板の吸収軸の方向がずれる。

IPS液晶 光学補償がない場合

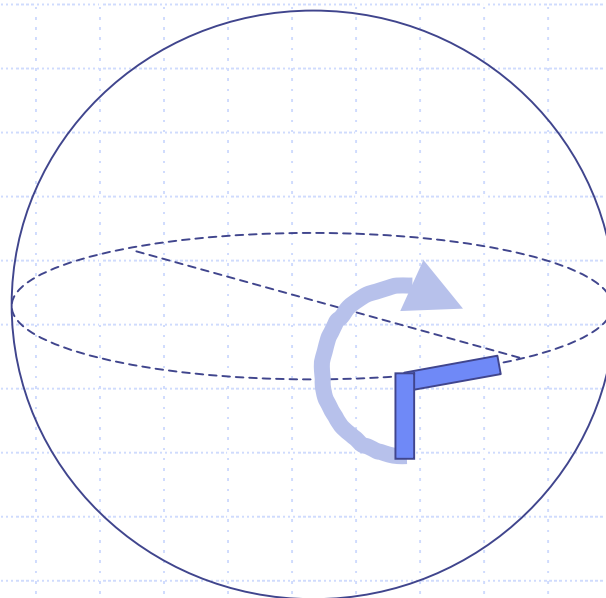
偏光子
TAC
IPS
TAC
偏光子



TAC(偏光板の補助フィルム)がネガティブCプレートとして作用する。

IPS液晶 光学補償がない場合

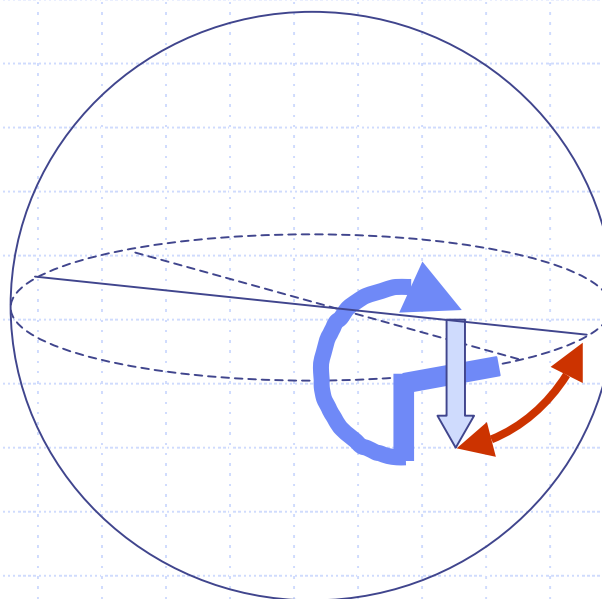
偏光子
TAC
IPS
TAC
偏光子



液晶層(IPS)がAプレートとして作用する。

IPS液晶 光学補償がない場合

偏光子
TAC
IPS
TAC
偏光子



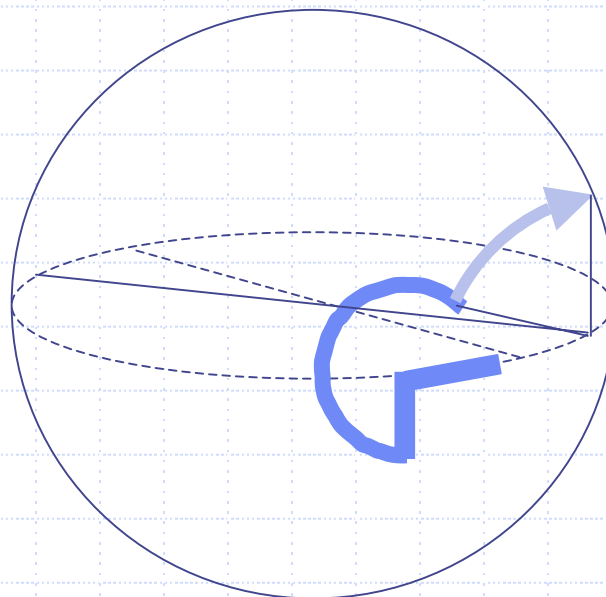
ここが離れているため黒がでない

TAC(偏光板の補助フィルム)がネガティブCプレートとして作用する。

IPS液晶の光学補償

2軸補償フィルムの利用

偏光子
TAC
光学補償板
IPS
TAC
偏光子

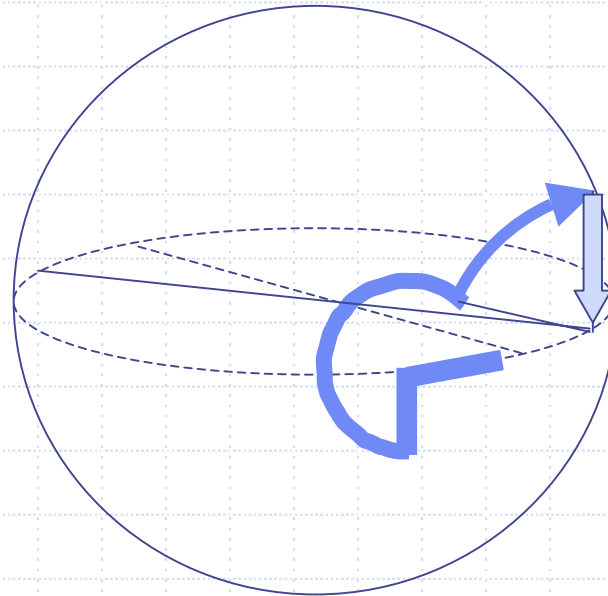


光学補償フィルム(2軸補償フィルム)による変換

IPS液晶の光学補償

2軸補償フィルムの利用

偏光子
TAC
光学補償板
IPS
TAC
偏光子



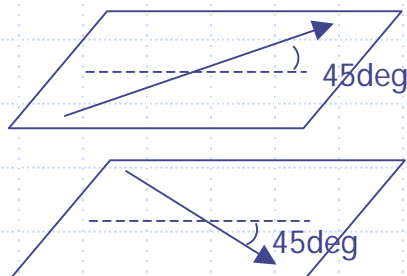
TACがネガティブCプレートとして作用。
出射光が直線偏光となり、かつ前方偏光板の吸収軸の方向と等しくなり、黒の表示での斜め方向からの光もれがなくなる。

液晶シミュレーターの利用

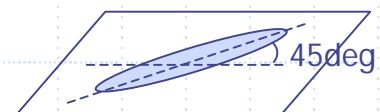
- 液晶シミュレーター LCD Master(シンテック株式会社)を利用することにより、光学補償フィルムの機能をシミュレーションすることができる。
- 同シミュレーターの拡張機能を用いることにより、ポアンカレ球表示による偏光状態の解析も可能になる。
- 光学補償フィルムの光学特性は n_x, n_y, n_z により定義する。

計算例

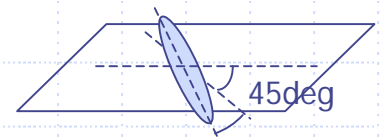
液晶素子



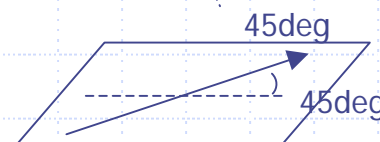
光学補償無



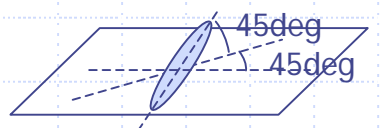
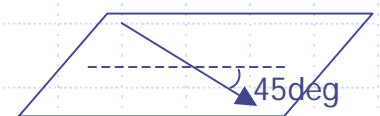
位相差板1



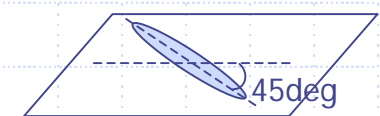
位相差板2



液晶素子



位相差板3



位相差板4

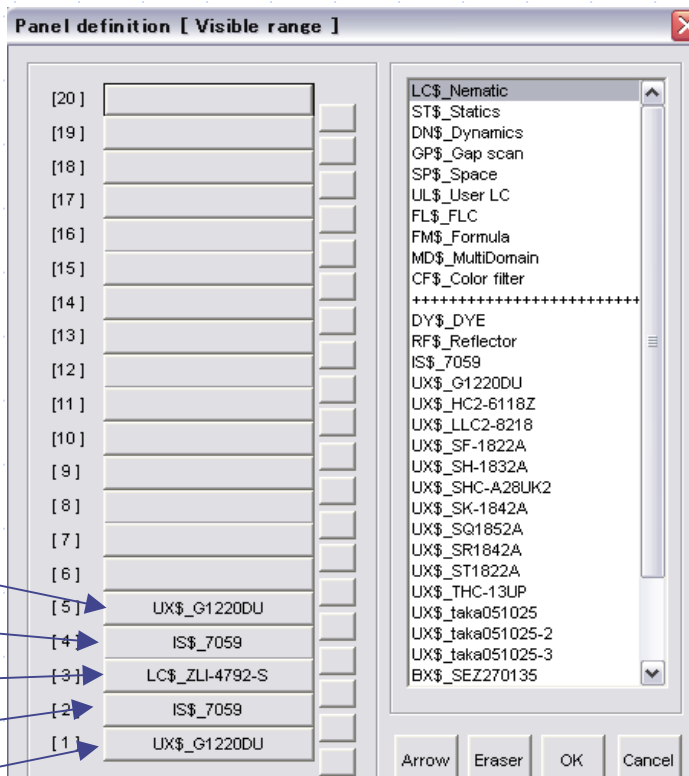
光学補償有

通常のTN液晶と、TN液晶で光学補償を行った場合のモデル計算により、光学フィルムの機能のシミュレーション方法・ポアンカレ球での表示方法を説明する。

計算例 シミュレーターの設定 パネル構成の設定(1)

光学補償無

偏光板
ガラス
液晶
ガラス
偏光板



本計算例はシンテック(株)殿の許可を得て、LCDマスターに標準で付けられているデータベースを使用しています。

計算例 シミュレーターの設定 液晶の設定

The screenshot shows the 'Nematic' settings window. Annotations include:

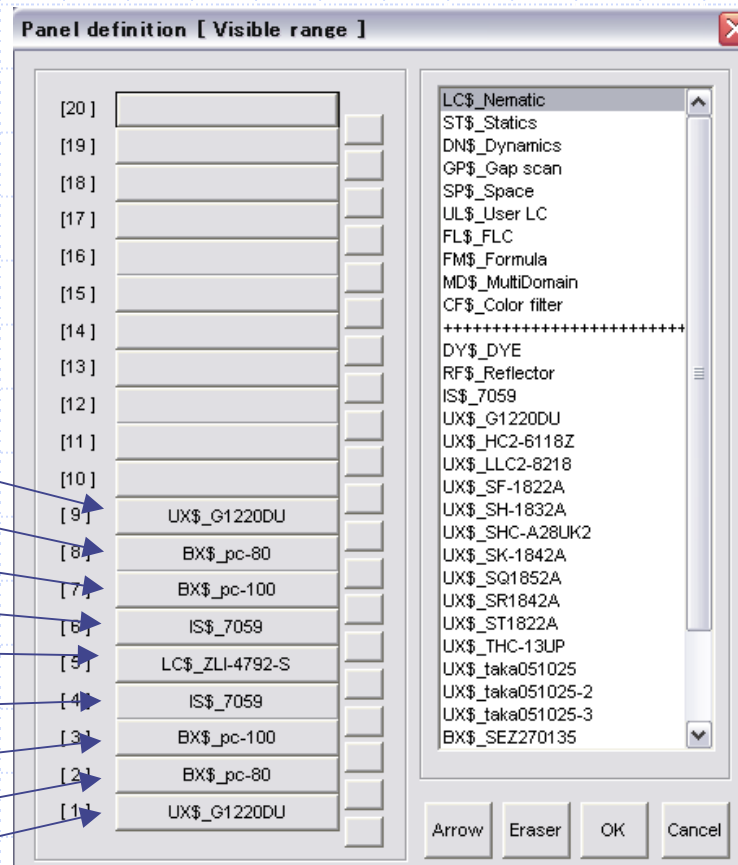
- 液晶材料** (Liquid crystal material) pointing to the 'ZLI-4792' dropdown menu.
- セルギャップ** (Cell gap) pointing to the '5' value in the 'Cell gap' field.
- ツイスト角** (Twist angle) pointing to the '90' value in the 'Twist' field.
- ラビング方向** (Rubbing direction) pointing to the '45' value in the 'Pretwist' field.
- ピッチ** (Pitch) pointing to the '100' value in the 'Helical pitch' field.

前頁の液晶部分を設定する。ラビング処理の方向と、光学フィルムの遅相軸の関係性を正確に再現する。

計算例 シミュレーターの設定 パネル構成の設定(2)

光学補償有

- 偏光板
- 位相差板(1)
- 位相差板(2)
- ガラス
- 液晶
- ガラス
- 位相差板(3)
- 位相差板(4)
- 偏光板

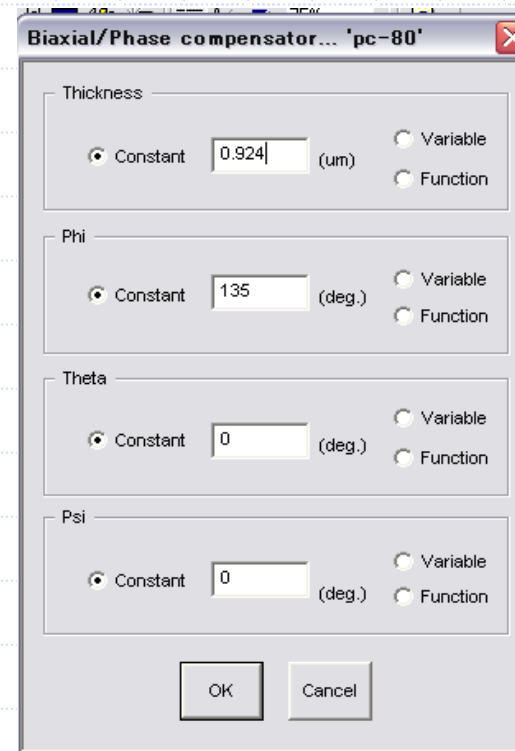
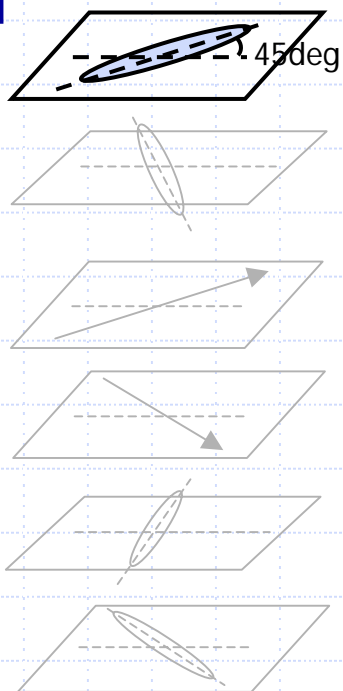


通常のTN液晶に位相差板(1)~(4)を追加する。

計算例 シミュレーターの設定

パネル構成の設定 位相差板の置き方

位相差板1

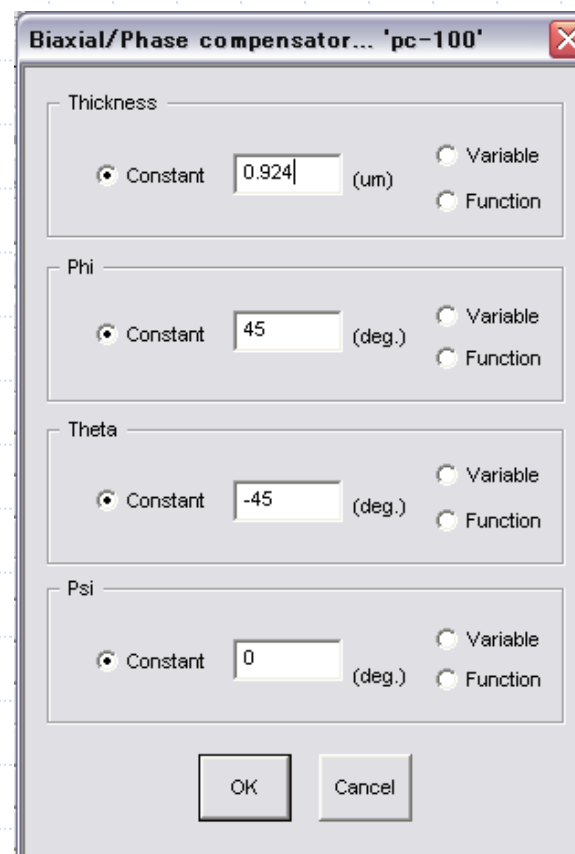
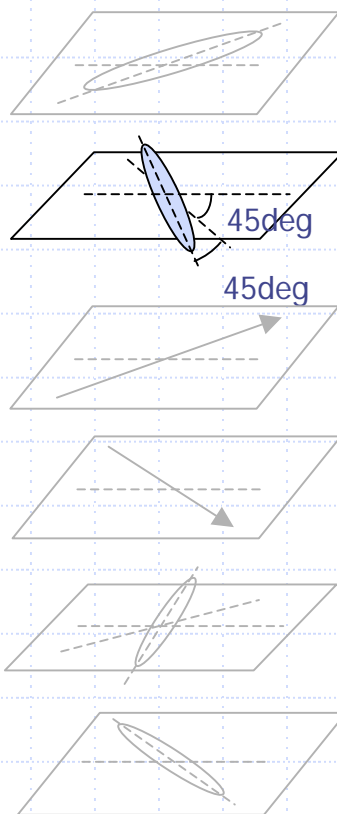


位相差板の屈折率楕円体の方向、及び位相差板の厚みを設定する。

計算例 シミュレーターの設定

パネル構成の設定 位相差板の置き方

位相差板2



位相差板の屈折率楕円体の方向、及び位相差板の厚みを設定する。

計算例 シミュレーターの設定 位相差板の設定(1)

Biaxial/Phase compensator... (edit) [pc-100]

Thickness : (um)

Wavelength	nx	kx	ny	ky	nz	kz
380	1.5	0	1.5	0	1.4	0
390	1.5	0	1.5	0	1.4	0
400	1.5	0	1.5	0	1.4	0
410	1.5	0	1.5	0	1.4	0
420	1.5	0	1.5	0	1.4	0
430	1.5	0	1.5	0	1.4	0
440	1.5	0	1.5	0	1.4	0
450	1.5	0	1.5	0	1.4	0
460	1.5	0	1.5	0	1.4	0
470	1.5	0	1.5	0	1.4	0

Inter P Plot Text OK Cancel

1軸位相差板は各波長での n_x, n_y, n_z と膜厚で定義される。

計算例 シミュレーターの設定 位相差板の設定(2)

	(1)	(2)	3
Wavelength(nm):	400	500	600
nx:			
ky:	0	0	0
ny:			
kz:	0	0	0

2もしくは3波長の n_x, n_y, n_z を入れると、他の波長での値を自動計算により入力することができる。

n_x, n_y, n_z の測定は、RETS-100(大塚電子)等を用いて行うことができる。

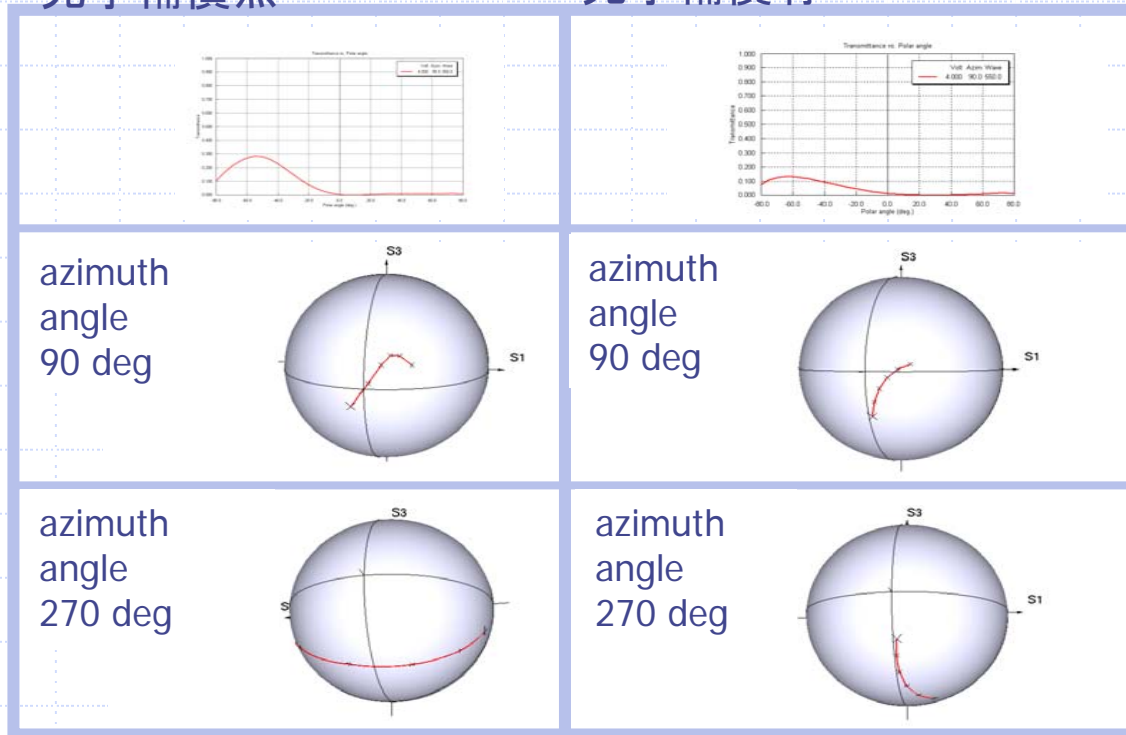
RETS-100: 回転検光子法で、正面及び傾斜させたリタレーション測定データからフィッティング法で演算して求める。

計算例 得られた偏光のポアンカレー球表示

4V polar angle: 20,30,40,50deg

光学補償無

光学補償有

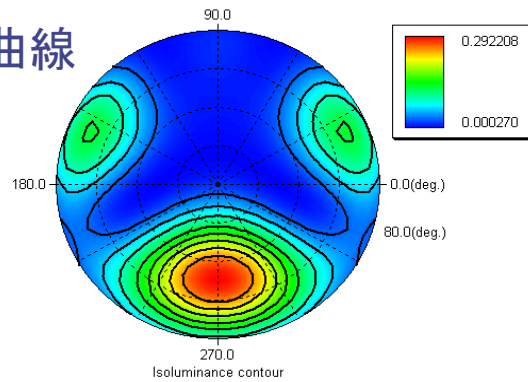


LCDマスターの拡張機能1を用いることにより、計算結果をポアンカレー表示させることができる。

計算例 等輝度曲線表示と等コントラスト曲線表示

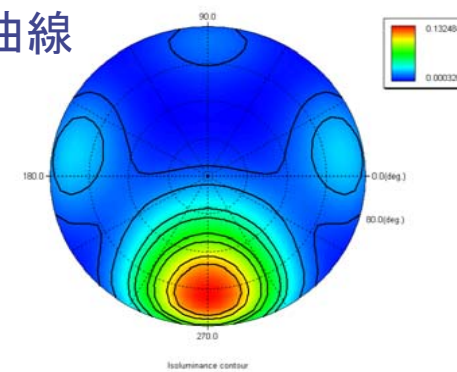
光学補償無

等輝度曲線
4.0V

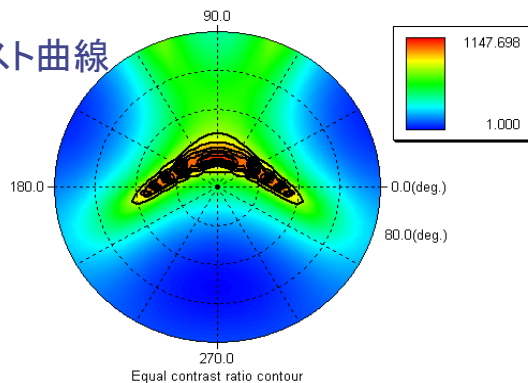


光学補償有

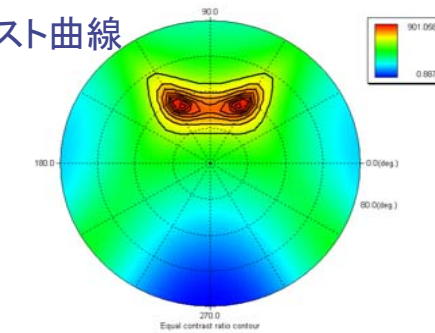
等輝度曲線
4.0V



等コントラスト曲線
4.0V



等コントラスト曲線
4.0V



御静聴ありがとうございました

山口東京理科大学 高頭 孝毅
takatoh@ed.yama.tus.ac.jp
homepage: www.e-lcdinfo.com
(LCD技術者のポータルサイト)