

# 偏光とポアンカレ球表示に関して

1. 偏光と複屈折に関して
2. 『ポアンカレ球』について

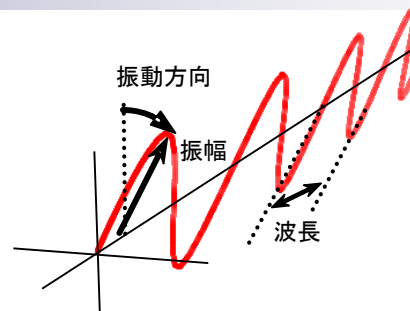
株式会社フォトニックラティス

# 1. 偏光と複屈折について

# 偏光について

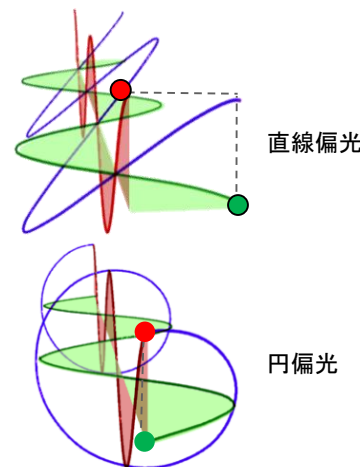
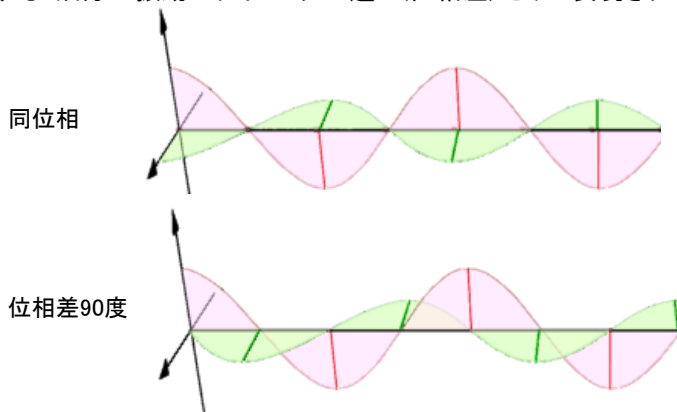
## ◆ 偏光：光の振動方向

光の波としての基本的性質には、  
 振幅(明るさ)、波長(色)に加えて振動方向(偏光)がある。  
 これらの中でも、偏光は肉眼で直接識別できない為、直感的に理解しにくが、  
 液晶モニターの基本原理に活用されるなど、利用範囲は広い。



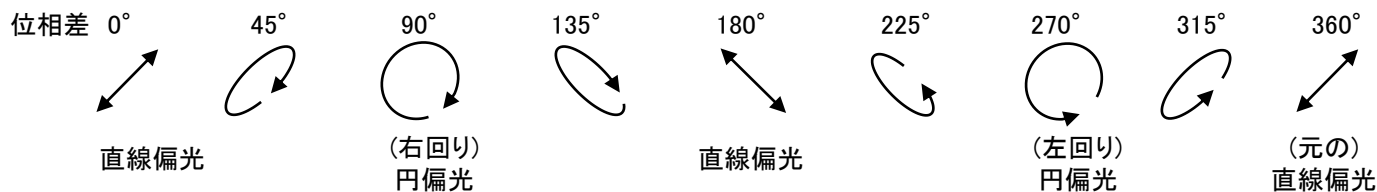
## ◆ 偏光成分の位相差とTotalの偏光状態

・偏光状態は、一平面内を振動する単純な直線偏光のほかに、円偏光、楕円偏光がある。  
 これらは直交する2成分の振動のタイミングの違い(位相差)だけで表現される。



※その他の位相差の場合→ 楕円偏光

※位相差量の表示単位に、距離を用いる場合と角度を用いる場合がある。  
 これらは以下の様に換算できる。  
 (距離の単位)1波長=(角度の単位)360° = 2π(ラジアン)



# 複屈折と位相差と内部ひずみについて

## ◆ 複屈折:材料の特性

### ◇複屈折と光弾性係数

内部応力(歪み)があると複屈折が発生する。同じ応力でも、材料によって発生する複屈折量(屈折率の差)は異なる。

ポリカーボネートなどの樹脂は一般に大きく、ガラスは小さい。

材料	光弾性係数 ( $10^{-12}/\text{Pa}$ )
石英	3.5
ポリカーボネート	75
アクリル樹脂	6
一般的な光学ガラス	0.5
鉛ガラス	0.005

$$\text{位相差 } \delta (\text{nm}) = \beta \cdot \text{厚さ } d (\text{cm}) \cdot \text{応力 } F (10^5 \text{ Pa})$$

~  $\beta$  は光弾性係数 [ $10^{12}/\text{Pa}$ ]

例えば、厚さ1mmの石英に  
1MPa( $10^6\text{Pa}$ )の応力で発生する位相差は

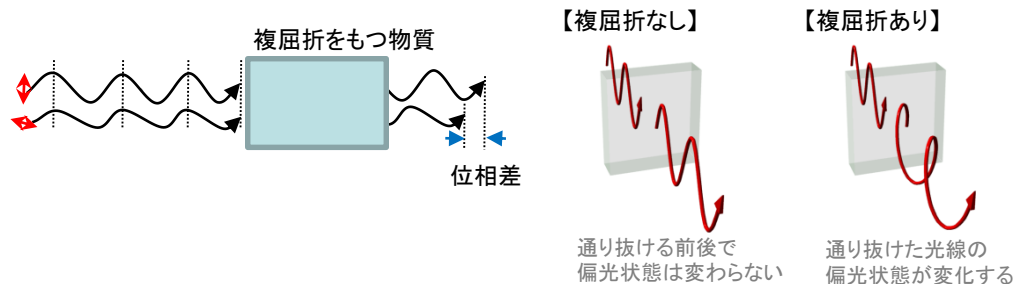
$$3.5 \times 0.1 \times 10 = 3.5 \text{ nm} \quad \text{と計算できる。}$$

### ◇複屈折と位相差と偏光について

複屈折をもつということは、偏光成分によって屈折率が異なることを意味し、従って透過後に偏光成分によって進みや遅れが生じる。これを『位相差』と呼ぶ。

位相差は、偏光成分を重ね合わせた全体の偏光状態を変化させる。

逆に、偏光状態の変化を計測することで、位相差量が分かり、内部応力を推定することが可能になる。



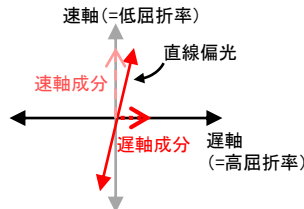
### ◇偏光変化の例

直線偏光が、同じ軸を持つ複屈折性物質を通り抜けても、偏光状態に変化しない。

円偏光は、どの方向の軸を持つ複屈折性物質でも偏光状態を変化させる。(右図参照のこと)

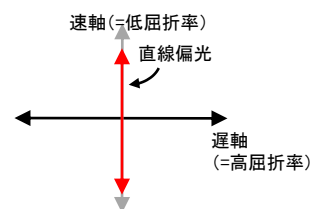
直線偏光の軸 ≠ 速軸or遅軸の場合

速軸/遅軸の各成分を持つため、位相差に応じた偏光変化を起こす。



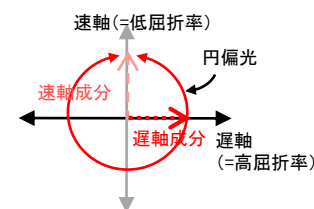
直線偏光の軸=速軸or遅軸の場合

速軸or遅軸の成分しかない為、位相差に拘わらず直線偏光のまま。



円偏光の場合

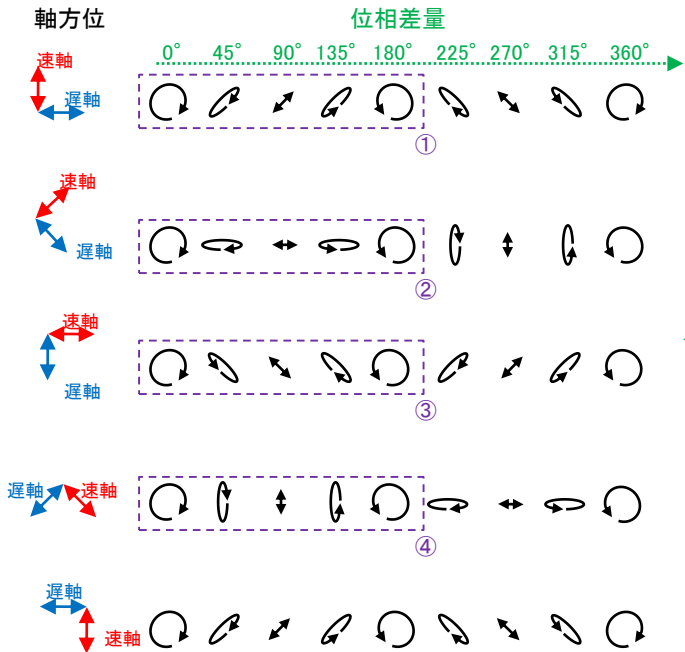
常に等量の直交偏光成分をもち、あらゆる方位の位相差の影響を受ける。



## 2. 『ポアンカレ球』について

## ◆位相差を持つ物質を透過後の円偏光の変化

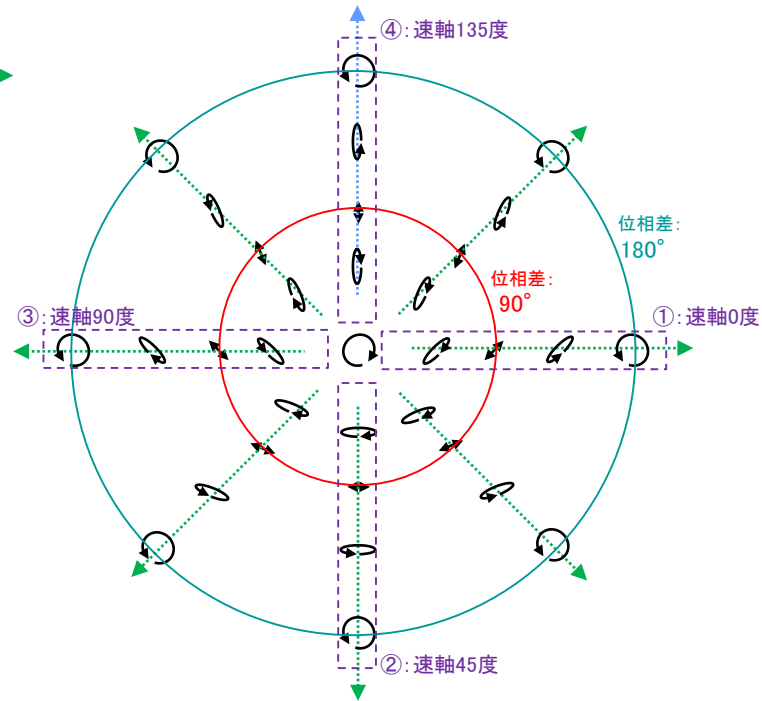
位相差の軸方位と量で、透過後の偏光状態が決まる。



- いずれの方向へも、 $360^\circ$  (= 一波長) の位相差で元に戻る。
- 速軸  $180^\circ$  は  $0^\circ$  と同じ。

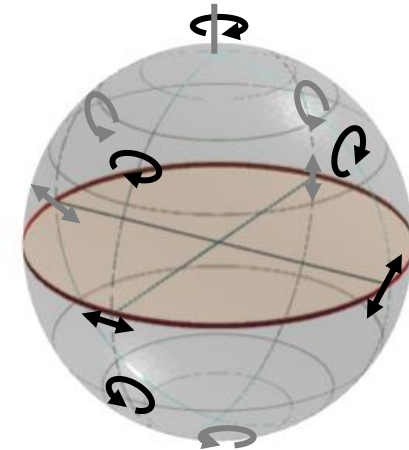
## ◆一つのマップ上に図示

左図を、元の円偏光を中心に配置し直した図。



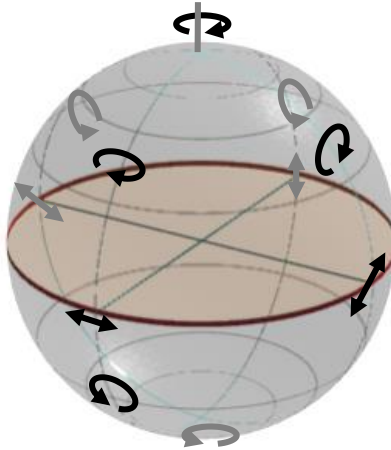
## ◆球面座標に変換

左図を、球面に変形した図。  
これがポアンカレ球。

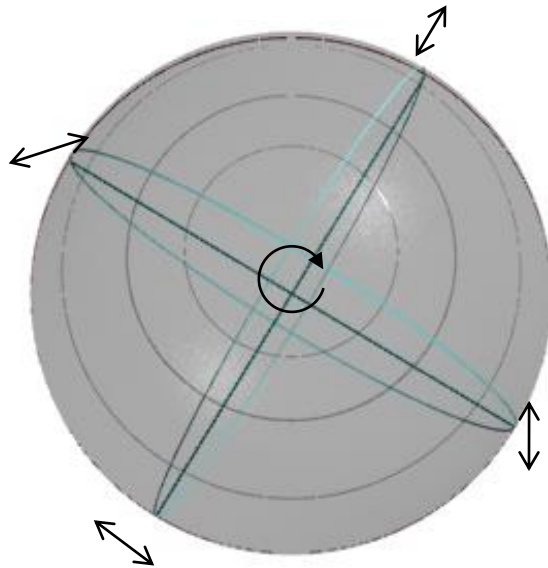


ポアンカレ球とは、偏光状態を球面座標上に表示したもの。

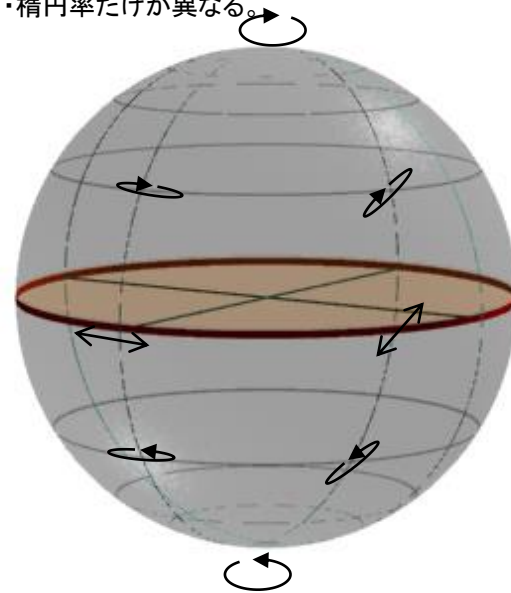
## ◆ポアンカレ球表示における基本ルール



- ・赤道上に直線偏光が配置される
- ・中心を挟んで対向する直線偏光は互いに直交する



- ・同じ経線上の偏光状態は、主軸方位が同じ。
- ・楕円率だけが異なる。



## ◆ポアンカレ球表示の便利な使い方

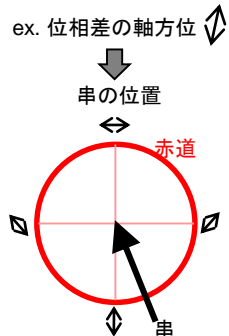
ポアンカレ球は、位相差のある物質を透過した際の偏光状態の変化を、直感的に把握する際に威力を発揮します。  
ある位相差量、軸方位を持つ物質により、どのような偏光変換が行われるかを、球面座標上での操作として覚えることが容易です。

### 【位相差による偏光状態の変化】

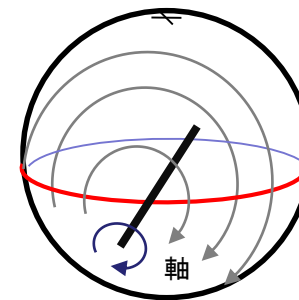
以下のルールでポアンカレ球上の座標変換を行うことで透過後の偏光状態が分かる。

- ①位相差軸と一致する透過軸を持つ直線偏光の点(赤道上)からポアンカレ球中心に向けて串を刺します(右図参照)。
- ②位相差の大きさに応じて位相差軸を時計回りに回す。  
 位相差  $\lambda$  → 回転角  $360^\circ$   
 位相差  $\lambda/2$  → 回転角  $180^\circ$   
 位相差  $\lambda/4$  → 回転角  $90^\circ$
- ③串を軸に回すことで移動した点が表す偏光状態が、サンプル透過後の偏光状態を表す。

#### ①串の位置の決定

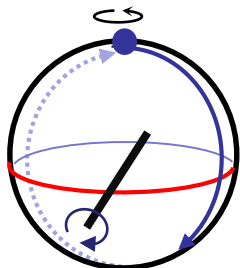


#### ②串を軸とした回転



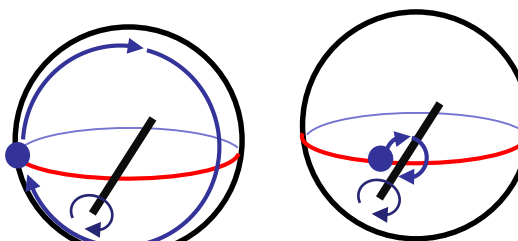
#### ex1. 円偏光からの変化

円偏光 → 直線偏光 → 円偏光 → ……



#### ex2. 直線偏光からの変化


直線偏光の透過軸と串の方向が近いほど、偏光の変化は小さくなる。

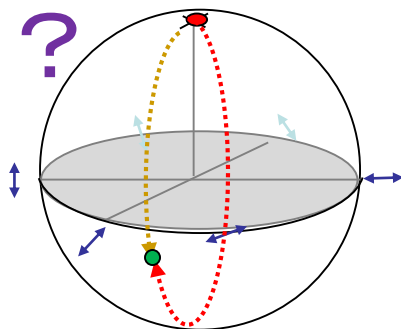




# ◆ポアンカレ球を用いた、WPAシリーズの測定範囲の拡張の原理説明


PA/WPAシリーズの光源は円偏光であり、ポアンカレ球の極点に相当します。  
 サンプル透過後の偏光状態を取得し、この情報をポアンカレ球上にプロットしてから、どの方向の串で何度回転させた変換に相当するかを判断し、位相差を算出します。

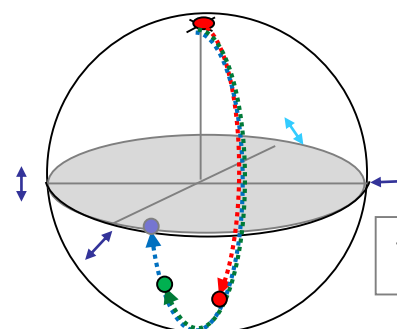
【単一波長測定モード】 



一つの波長だけの測定結果では、 $\lambda/2$ 以上の位相差は、反対周り(軸方位は直交)と判別不能。  
 上図では、赤線と黄色線を判別不能。従って、測定上限を $\lambda/2$ と限定して、常に最小の回転角となる方向(上図では黄色側)を選択することになる。

→ 測定範囲  $< \lambda/2$

【3波長測定モード】 

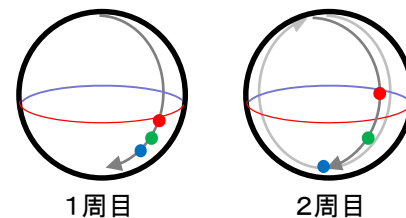


長い波長の測定データは、同じ串で回転量が小さくなる

複数波長の点が並ぶ方向で、どちら周りに回転したかが判別可能。⇒測定可能範囲  $> \lambda/2$

更に、3波長の点の広がり方で、何周目かが推定可能(下図参照)。

→ 測定範囲  $> \lambda$



複数波長を利用すると、測定上限が一波長よりも大きくなる原理をポアンカレ球を用いて簡単に説明できます。

ポアンカレ球によって、  
『位相差によって偏光状態がどのように変化するか？』  
を直感的に推定することができます。

株式会社フォトニックラティス

URL: <http://www.photonic-lattice.com>

e-mail: [info@photonic-lattice.com](mailto:info@photonic-lattice.com)