

電磁波工学 第2回

米田仁紀

http://gt_ils.ils.uec.ac.jp/EM_wave_lec/

偏波、偏光

- 偏光、偏波の定義：電場の方向がどうなっているか？

直線偏光、円偏光、楕円偏光.....
無偏光

街にある種々のアンテナを見ると

地デジ

水平方向の偏波



携帯電話

鉛直方向の偏波



円偏波用アンテナ？

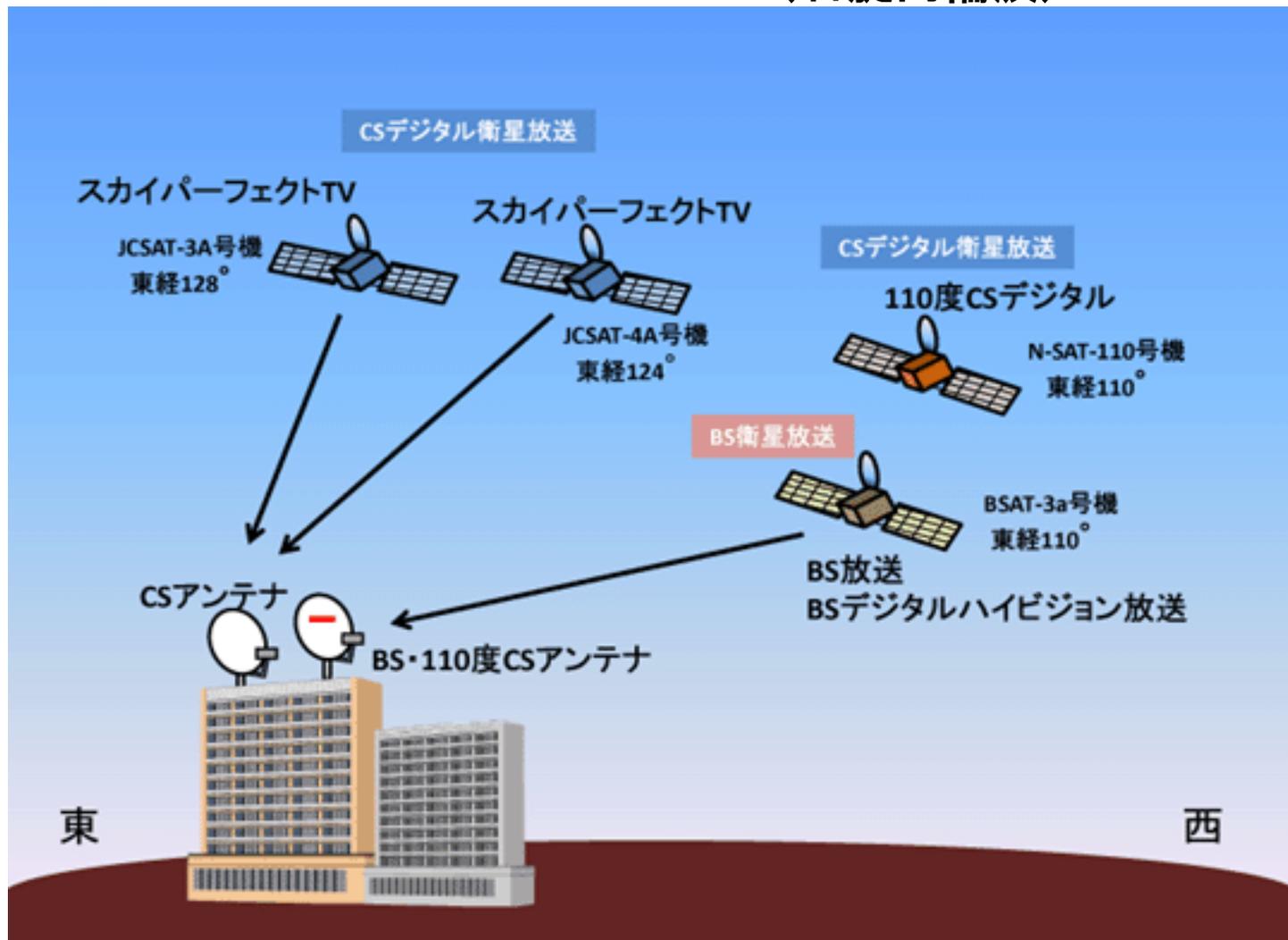


衛星放送

124度、128度のCSデジタル放送

(垂直偏波に奇数チャンネル、水平偏波に偶数チャンネル)

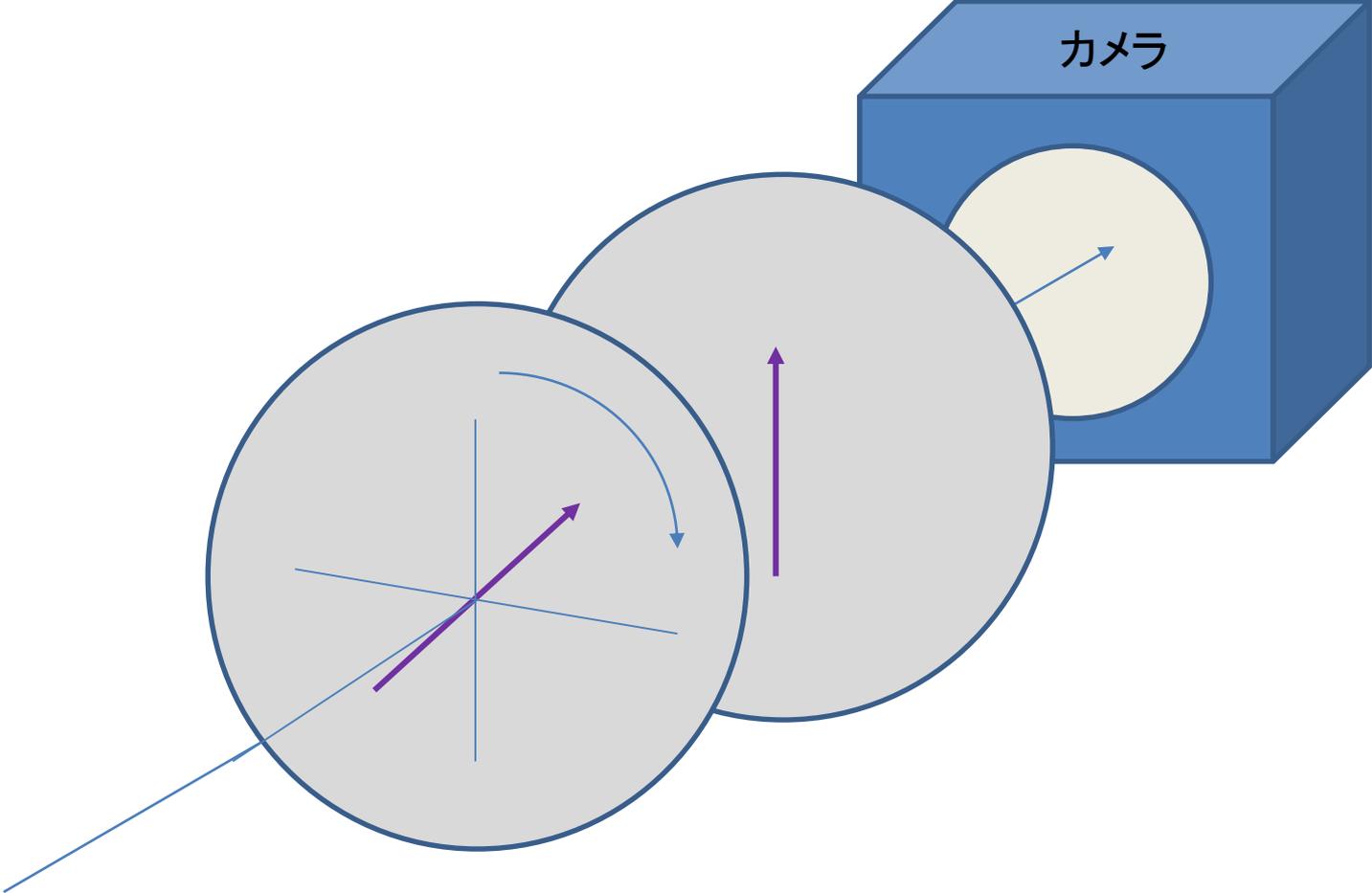
110度CSデジタル放送、BS放送
(右旋円偏波)



偏光を使った撮影技術

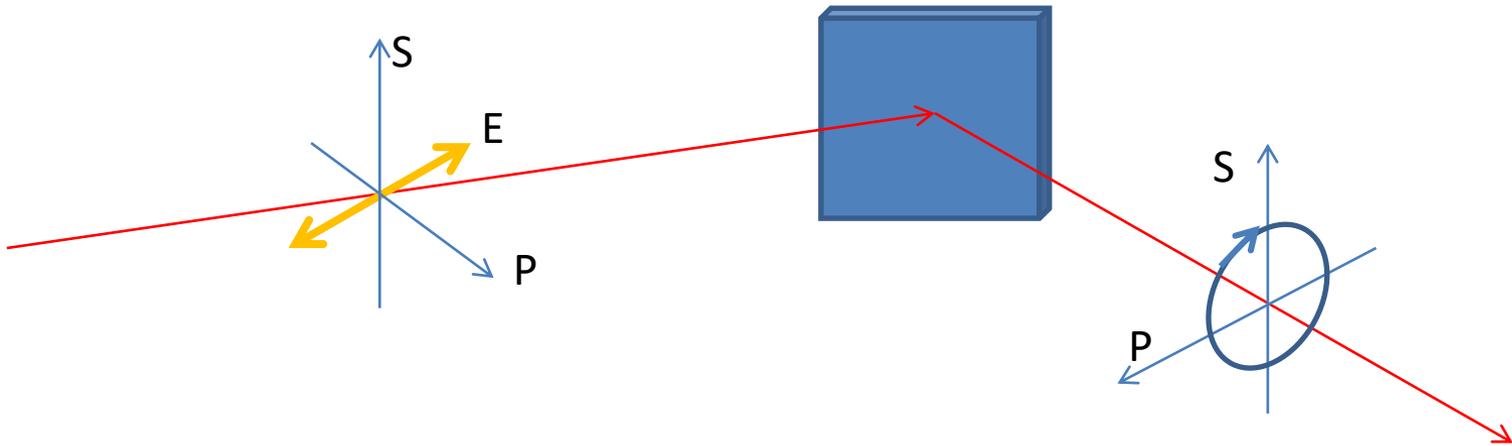


偏光子を使った連続的な光量調整



エリプソメトリ(楕円偏光解析法)

- 偏光面の回転を計測する。



同じ観測ラインを通った2つの光の差を検出する。比較する2つの状況が近ければ、それだけ高精度になれる。

=>エリプソメトリ

情報通信研究機構(NICT)の研究者による研究

【研究内容】

航空機等に搭載し高い高度から天候に関係なく地表面の状況を航空写真のように把握することができるレーダ(Pi-SAR※)技術の研究開発。

※Pi-SAR(Polarimetric and interferometric Synthetic Aperture Radar)・・・夜間や天候にかかわらず火山噴火、洪水、地震などの自然災害のモニタ、海洋油汚染の監視、船舶の救難などに役立つためにNICTが開発した航空機搭載高分解能マルチパラメータ合成開口レーダ

【研究成果】

- ◆悪天候や噴煙等の条件下でも観測が可能な高高度(1万メートル以上)から30cmの識別ができ、5キロメートル以上の領域を一度に観測できる航空機搭載レーダを開発。

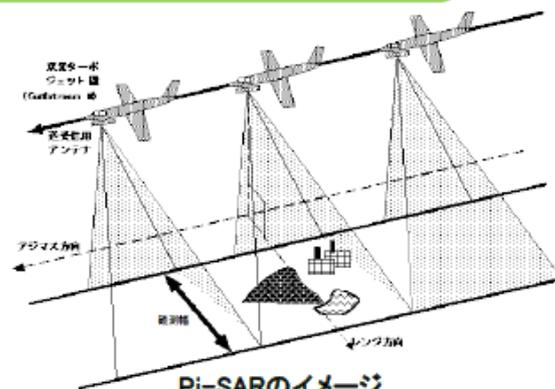
【社会への適用】

霧島新燃岳(平成23年)

火山活動の継続的な観測のため、3月9日に霧島新燃岳の様子を撮影しました。2月22日、26日の飛行で撮影した画像と比較した結果、火口内に新たな噴出口が確認できました。この画像は、国土交通省や気象庁など関連機関に提供し、火山活動の分析に活用されました。

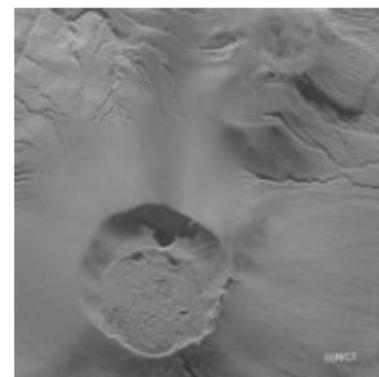
東北地方太平洋沖地震(平成23年)

平成23年3月11日(金)東北地方で発生した大地震翌日の午前7:30～午前10:45及び平成23年3月18日(金)正午～午後15:30に東北地方の太平洋沿岸及び主要道路付近を緊急観測しました。



Pi-SARのイメージ

・NICT開発のレーダが一度に観測できる幅は5km以上

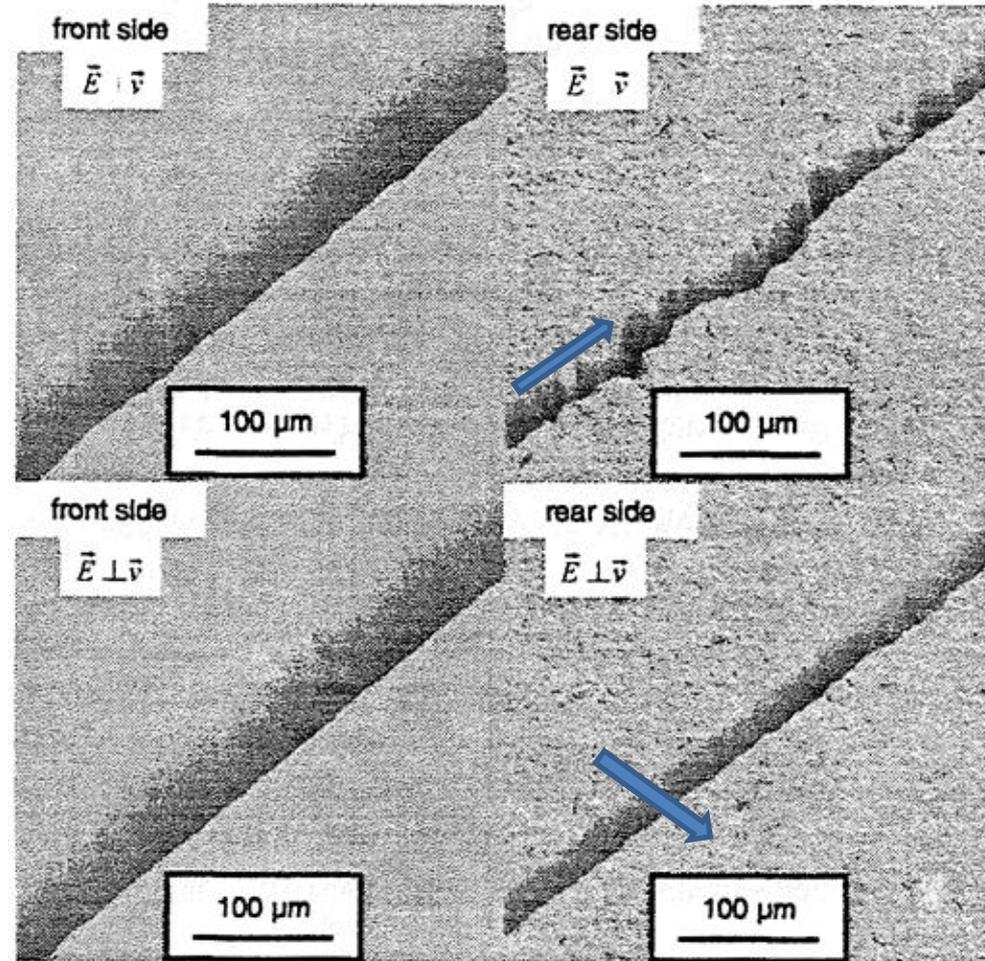
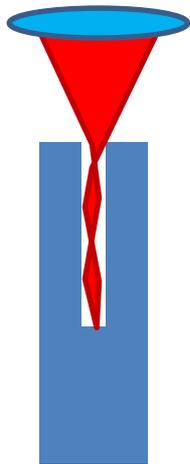
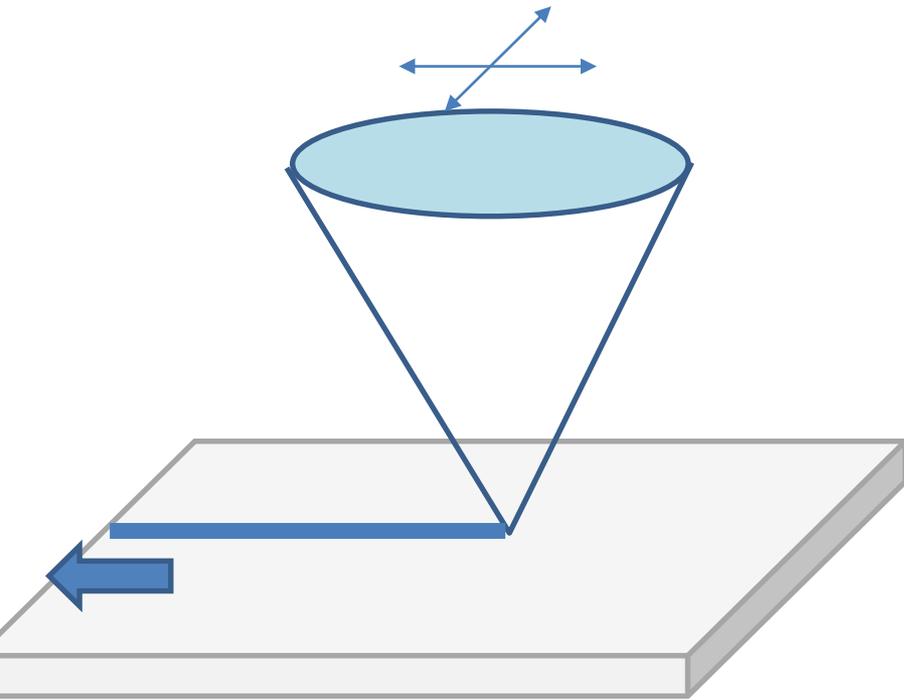


Pi-SARで観測した新燃岳の火山活動
・通常の写真撮影では、中心部の火口内部は噴煙に覆われて見えないが、Pi-SARで観測すれば火口内部の様子がはっきり確認できる。

偏光で状況を把握する



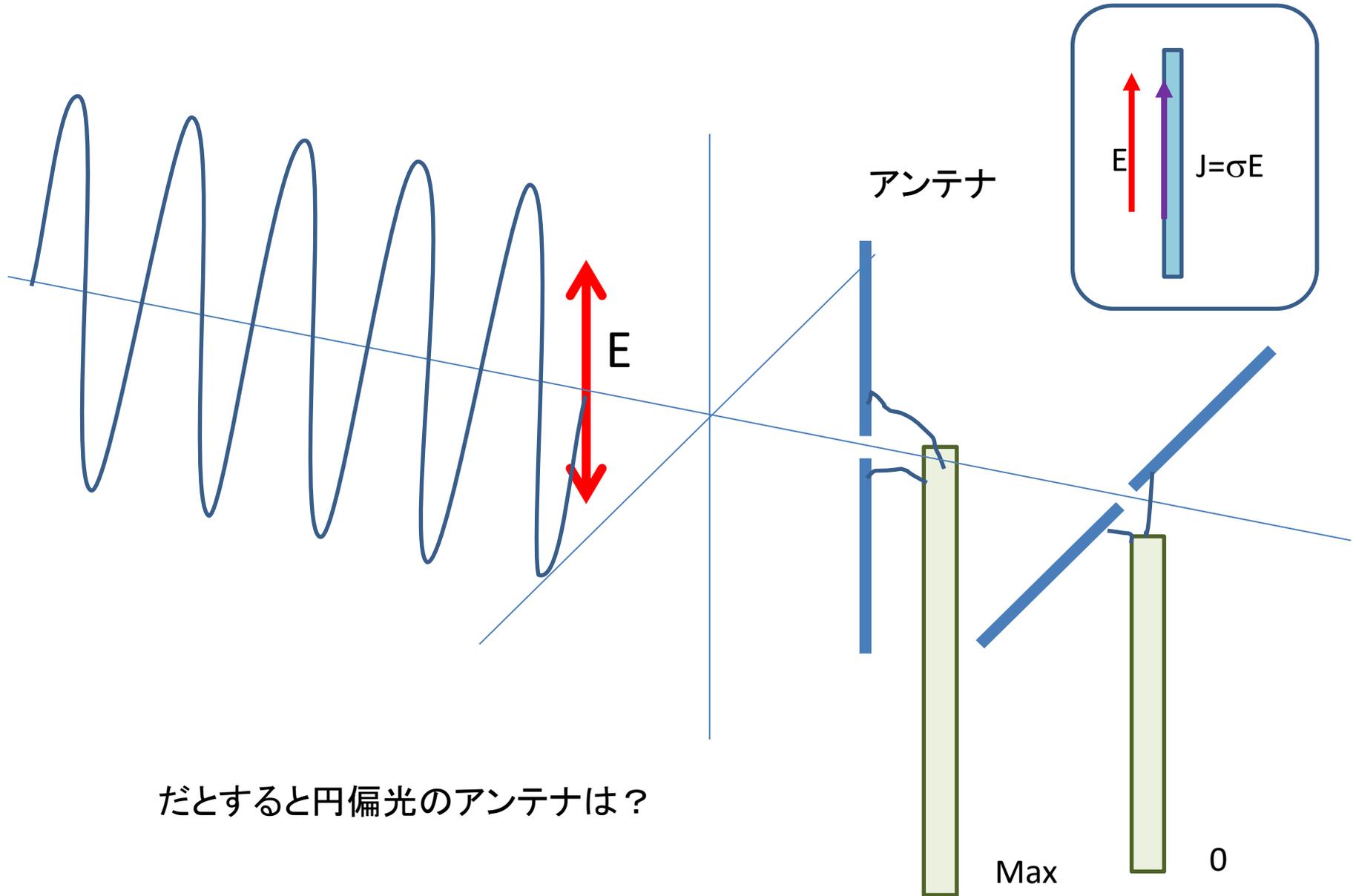
偏光によりレーザー加工で差が出る



偏光、偏波を考えれば

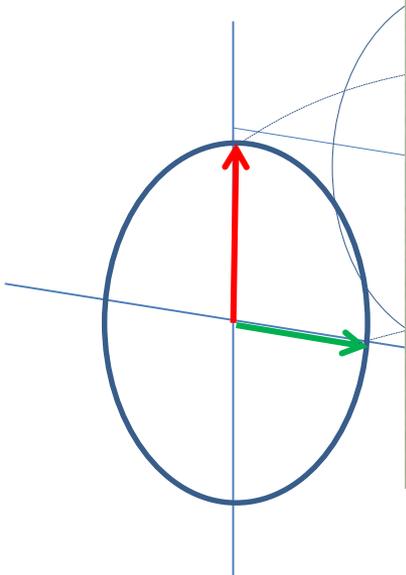
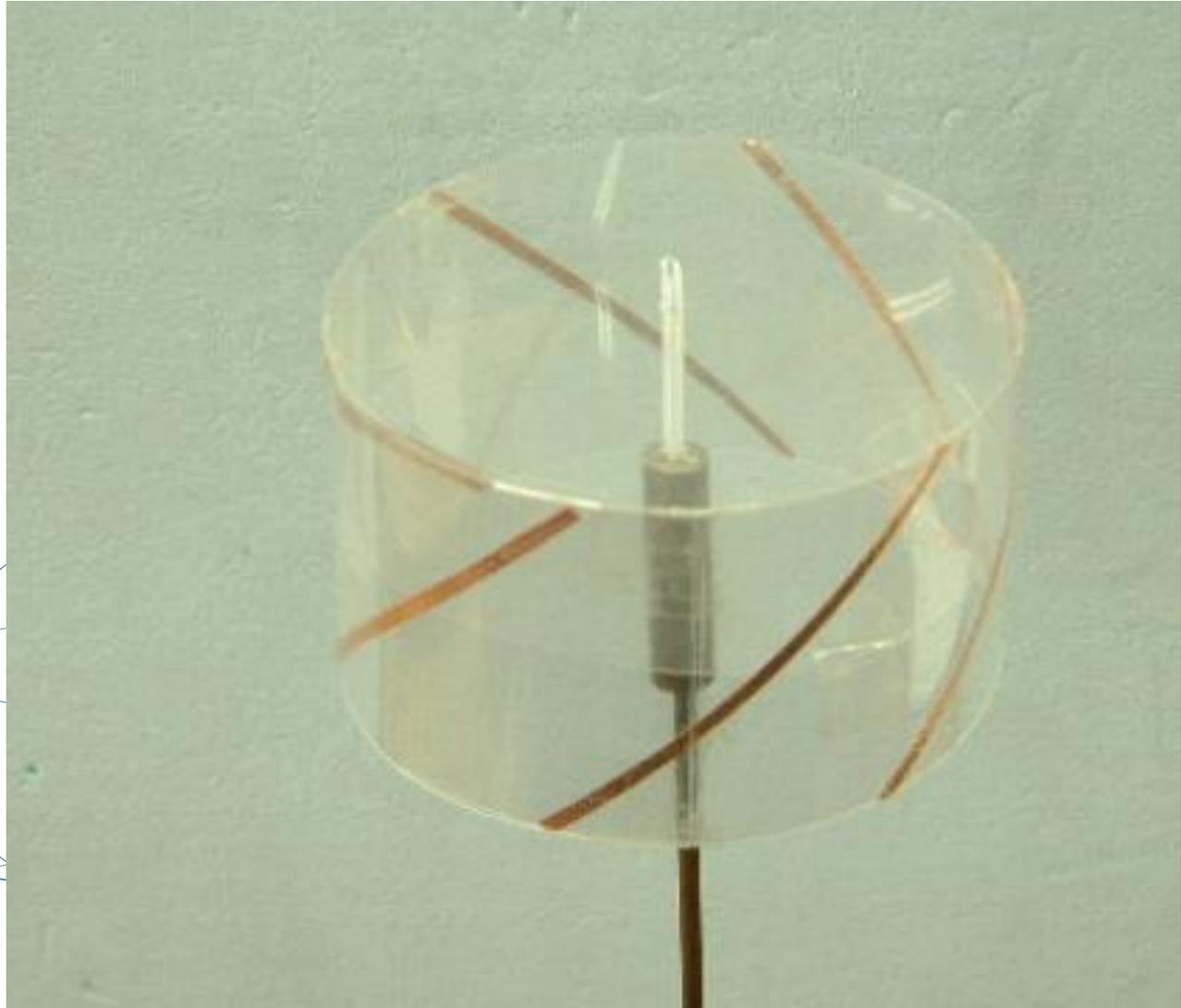
- 検出・探査・観測
- 通信手段の有効化
- 物質変化の測定
- 光、電磁波制御
- 加工の制御
-

例えば直線に偏波した電波検出



だとすると円偏光のアンテナは？

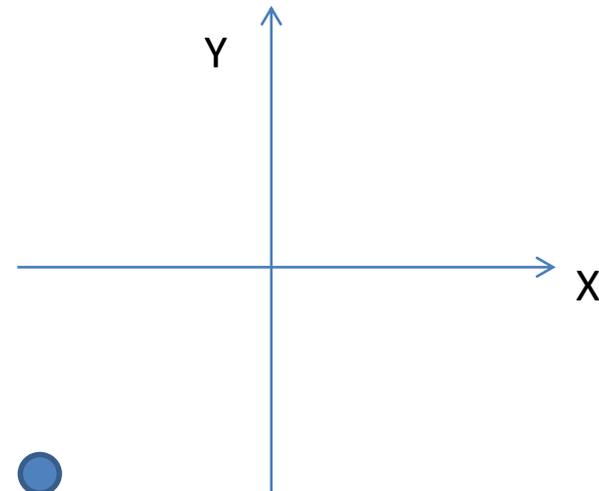
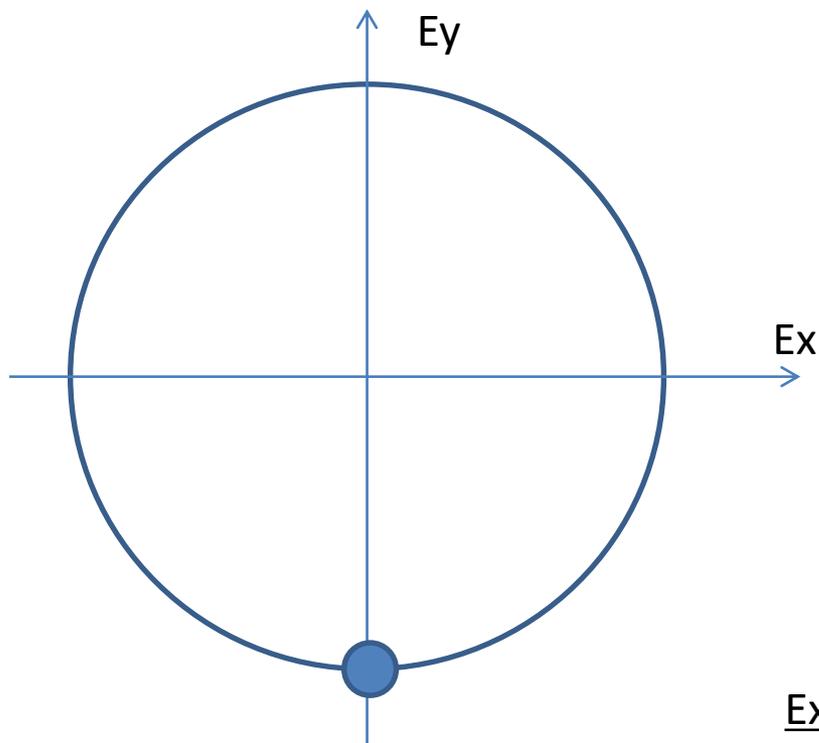
円偏波用アンテナ？



2つの偏波成分の合成 $\vec{E} = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y$

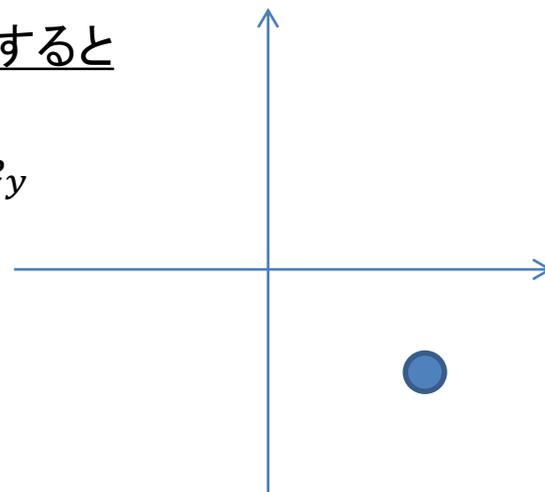
ExとEyが同位相だとすると

$$E = \sin \omega t e_x + \sin \omega t e_y$$



ExとEyが逆位相だとすると

$$E = \sin \omega t e_x - \sin \omega t e_y$$

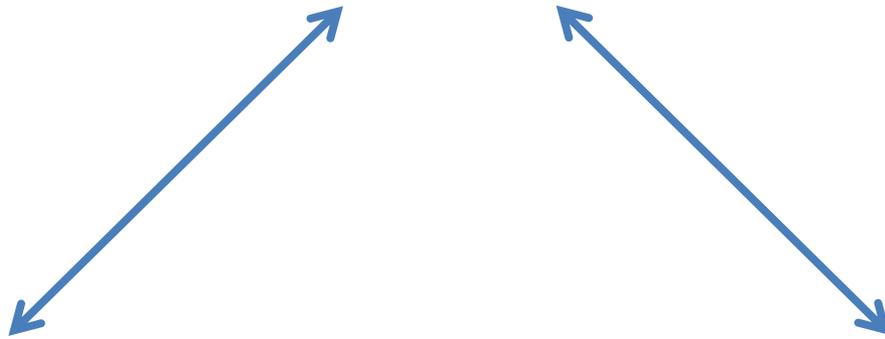


ExとEyが $\pi/2$ 位相差があると

$$E = \sin \omega t e_x + \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) e_y$$

$$E = \sin \omega t e_x + \cos \omega t e_y$$

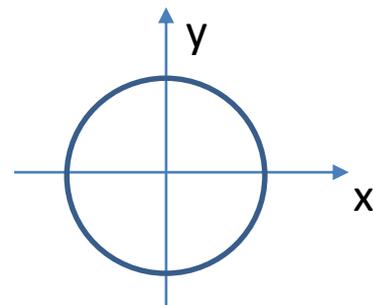
円偏波アンテナ



2つの信号の位相差を $\pi/2$ とすれば、円偏波成分が測れる。

円の方程式の再確認を

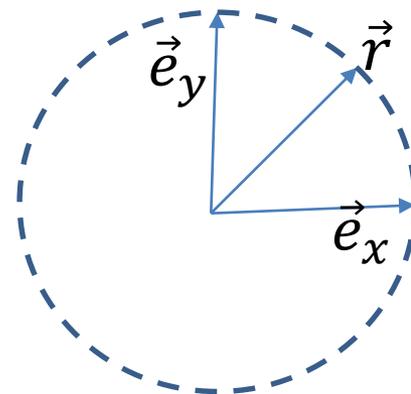
$$x^2 + y^2 = r^2$$



$$\vec{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y$$

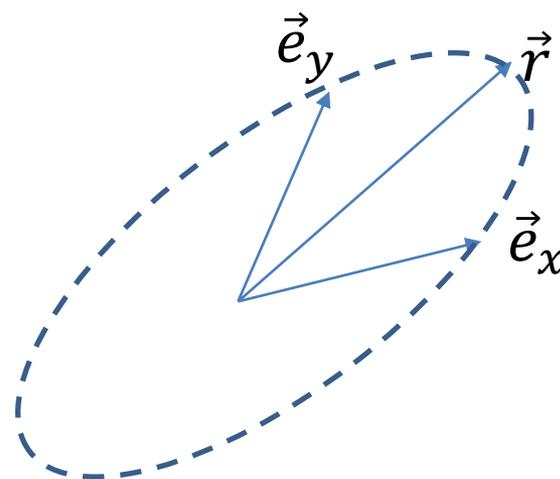
$$x = \sin t, \quad y = \cos t$$

媒介変数で表示



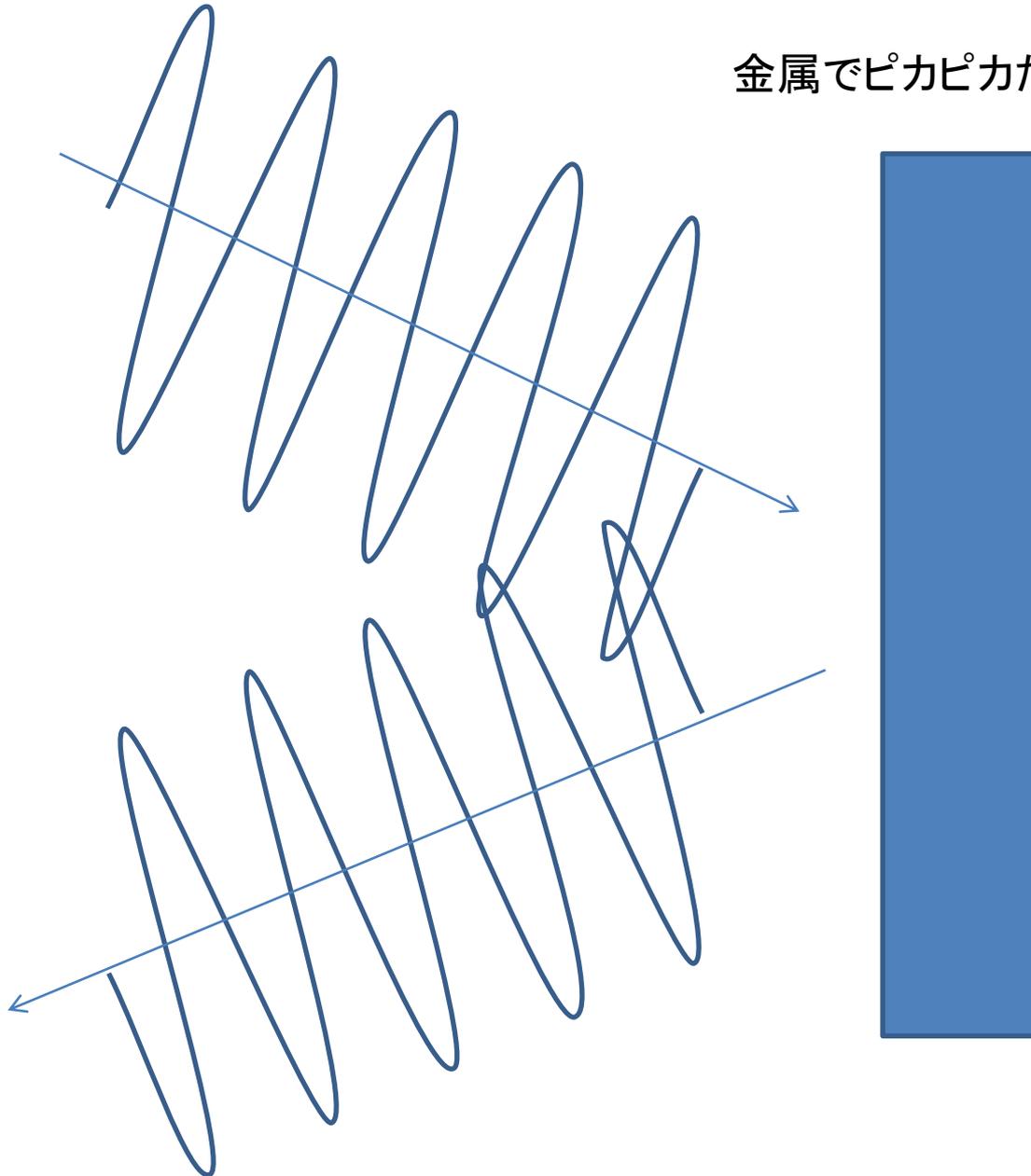
$$x = \sin t, \quad y = \sin(t + \varphi)$$

$$\vec{e}_x \not\perp \vec{e}_y$$



偏光で反射状況が変化する=>そもそも反射とは？

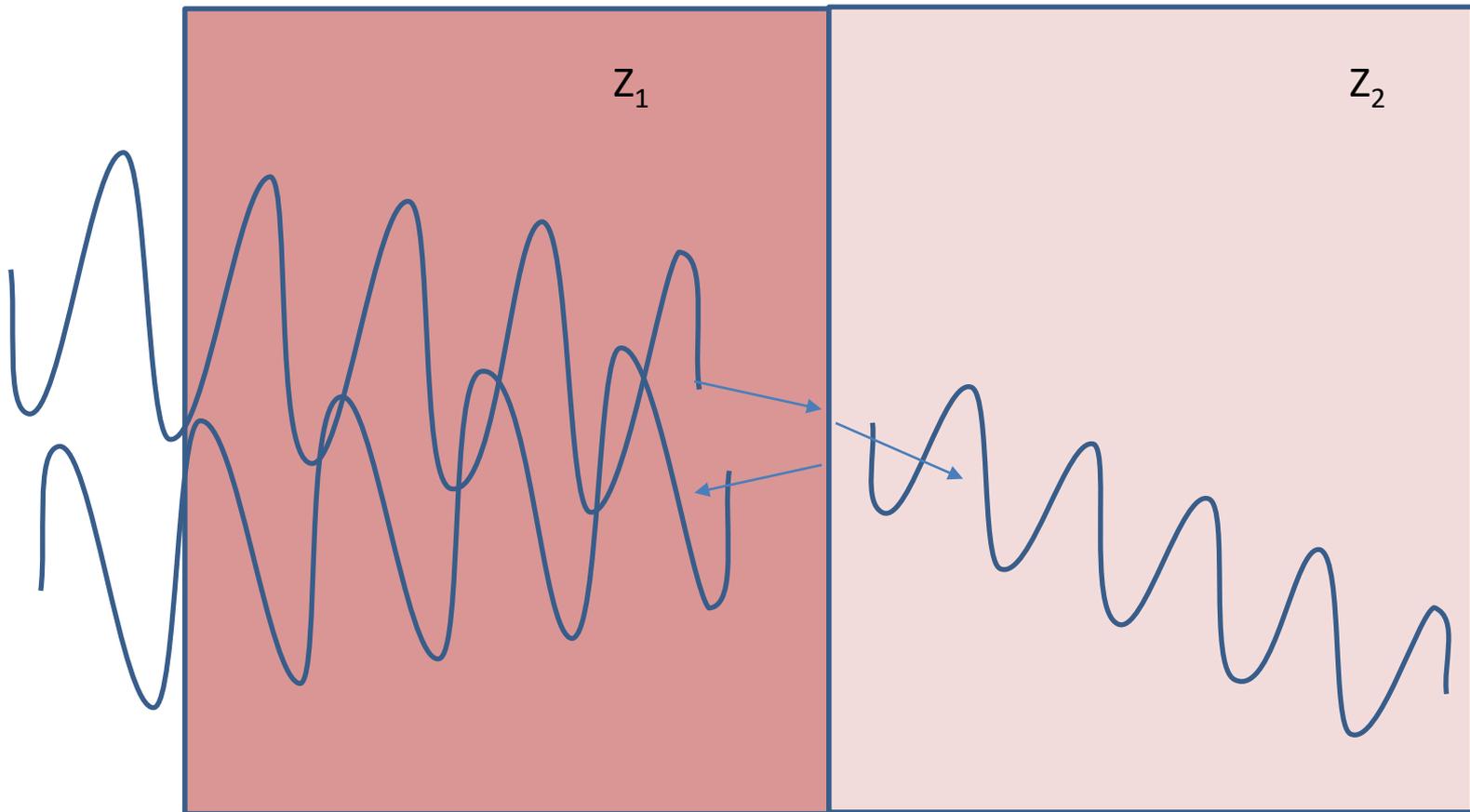
金属でピカピカだから反射する??



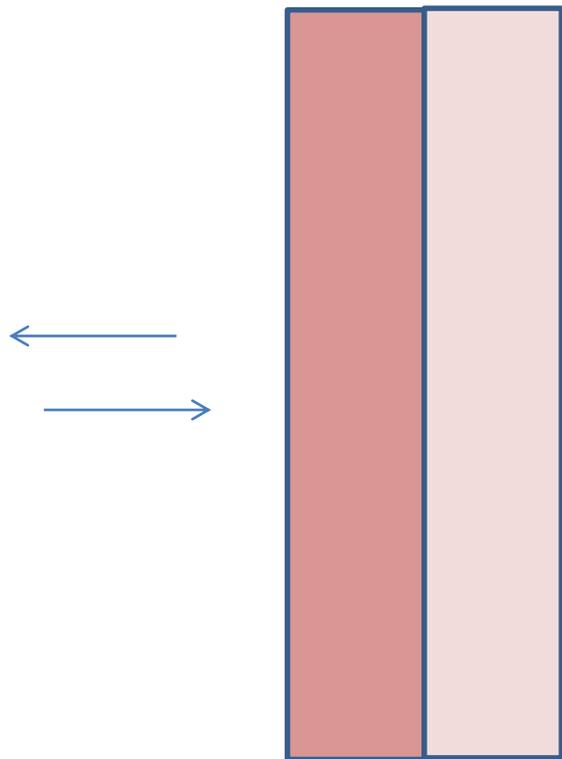
インピーダンスという考え方

$$Z_0 = E(r, t) / H(r, t) = E_0 / H_0$$

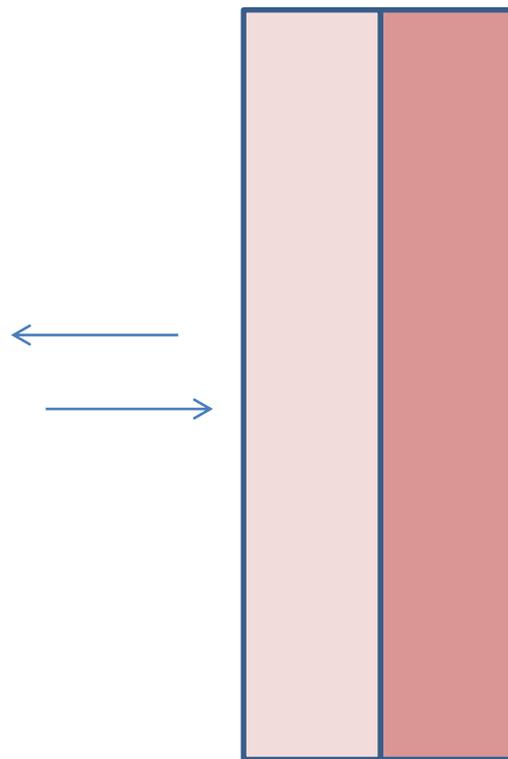
= 376.7 Ω : 真空のインピーダンス



$Z_1 > Z_2$



$Z_1 < Z_2$

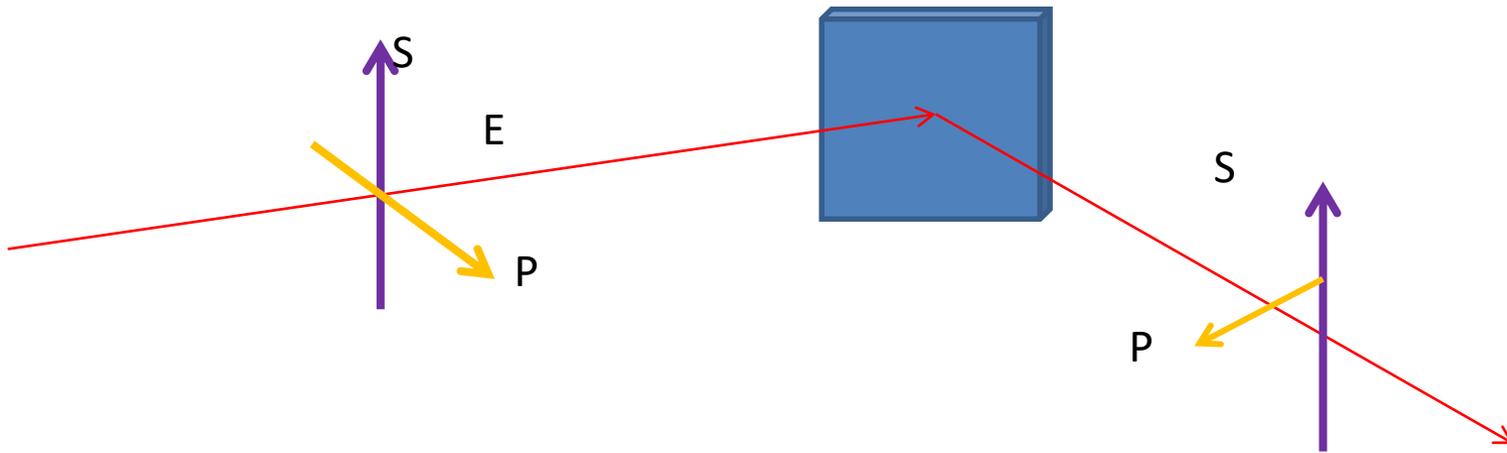


直入射の振幅反射率は

$$r_{12} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

角度がつかくと複雑に 偏光による振幅反射率が変化

- #反射率が偏光により違う
- #反射の位相差が偏光により違う



複素反射率を用いると便利

$$\hat{r} = r e^{i\delta}$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{r}_s \\ \tilde{r}_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_s e^{-i\delta_s} \\ r_p e^{-i\delta_p} \end{pmatrix}$$

反射に対する簡単な式

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{Snell's law}$$

$$r_s = -\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad r_p = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

複素数でも使える。

複素数の三角関数？

$\sin(a+bi)$ の求め方は？

$$\sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

n が複素数 $\Rightarrow \theta$ が複素数 $\Rightarrow r$ (振幅反射率)が複素数

複素数の三角関数で振動だけでなく減衰も

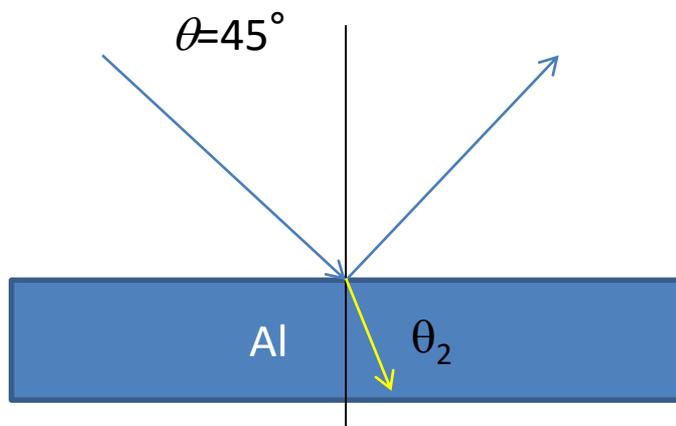
$$\sin\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$

オイラーの公式を使えば



$$\sin(\alpha + \beta i) = \frac{e^{i(\alpha + \beta i)} - e^{-i(\alpha + \beta i)}}{2i}$$

例えば金属の反射



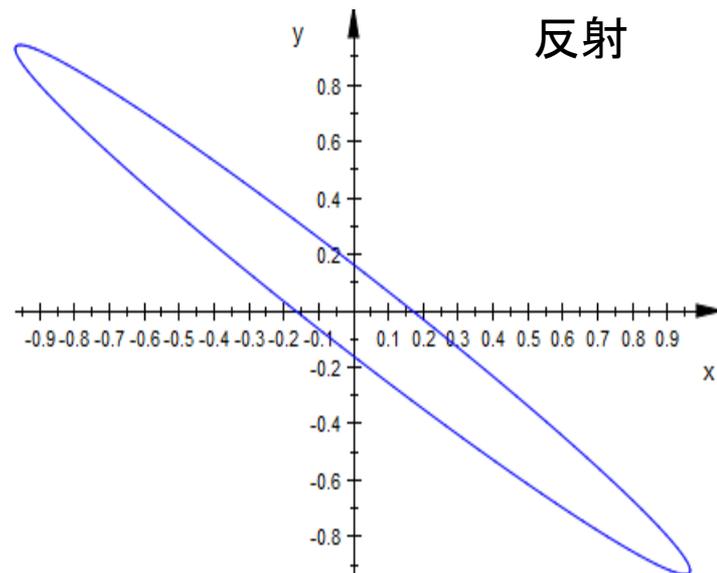
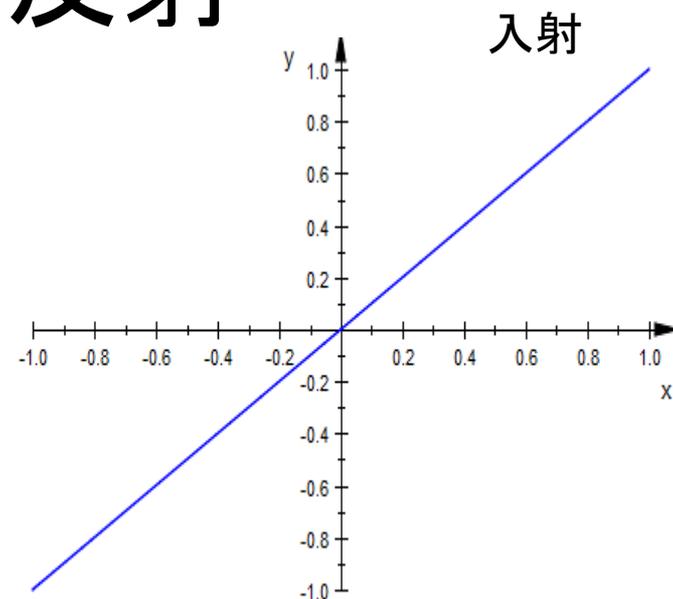
$$\tilde{n} = 1.47 + 7.79i \quad \text{at } \lambda = 650\text{nm}$$

$$\theta_2 = 0.0165 + 0.0875i$$

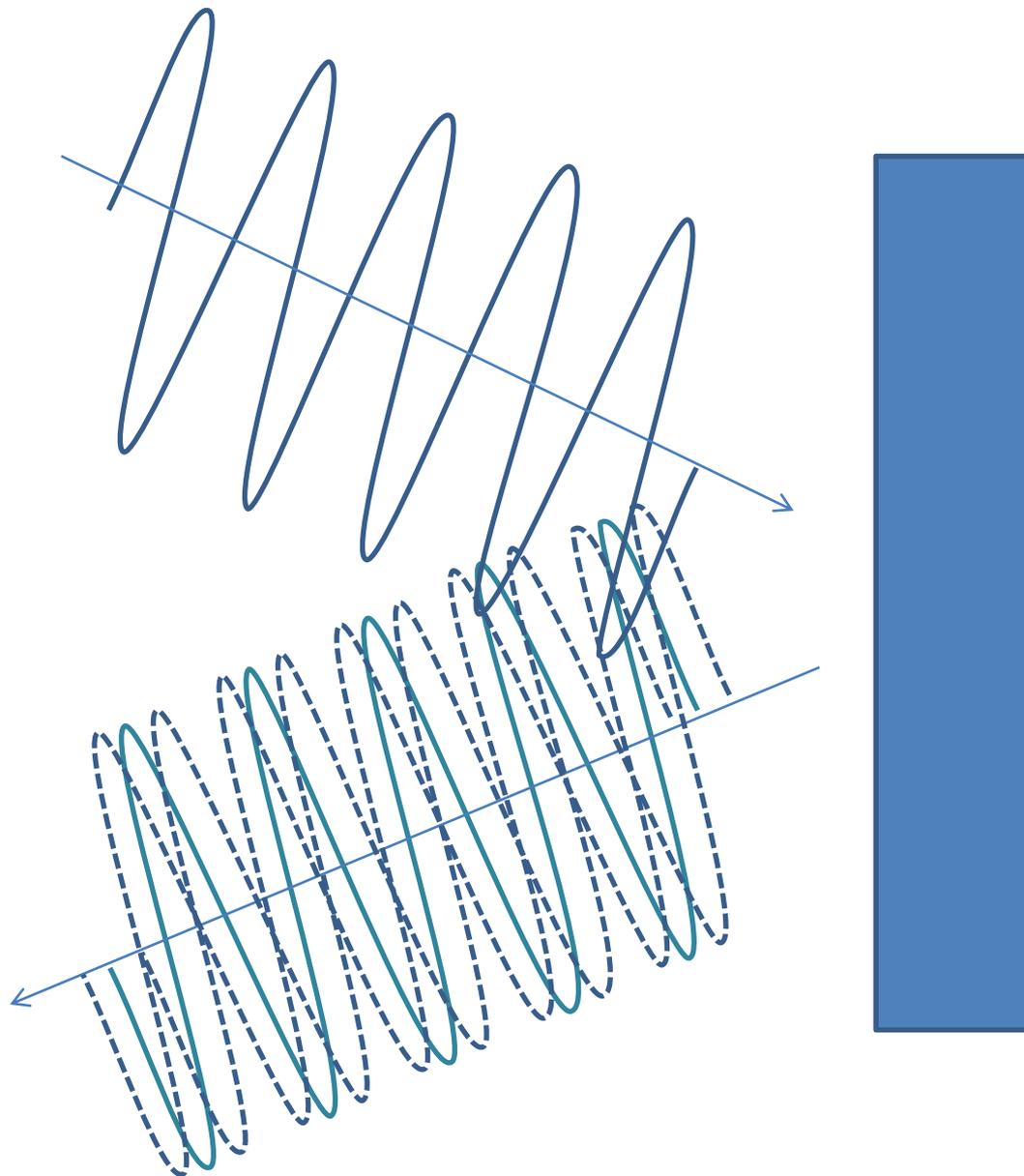
$$r_s = -0.9534 - 0.168i$$

$$r_p = 0.881 + 0.320i$$

$$R_s = 93.7\%, \delta_s = -2.97$$
$$R_p = 87.8\%, \delta_p = 0.349$$



反射波の位相は物質の屈折率の状態により異なる

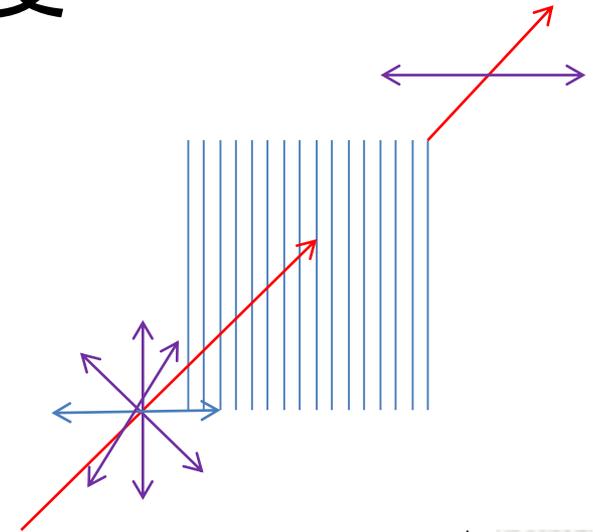


偏光・偏波を作る

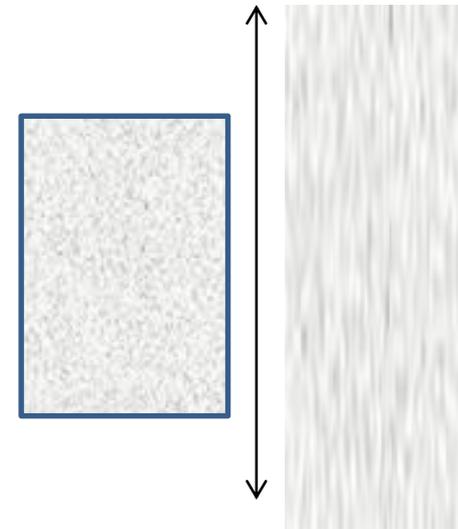
偏光子の精度

電波～中赤外光の場合：ワイヤーグリッド偏光子

消光比 : 100～500



偏光フィルム：(簡単なカメラ、偏光観測) 消光比: 1000程度



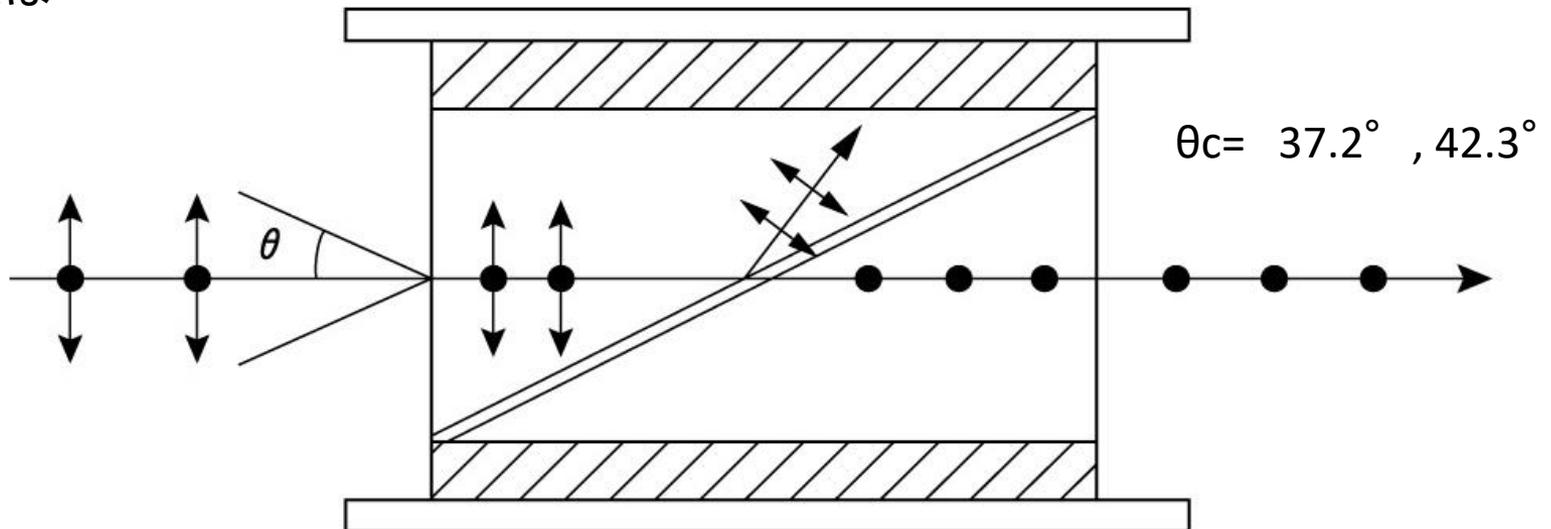
偏光プリズム

- グランテーラー
- グラントムソン
- グランレーザー
- ウォラストン

$$\sin \theta = \frac{1}{n}$$

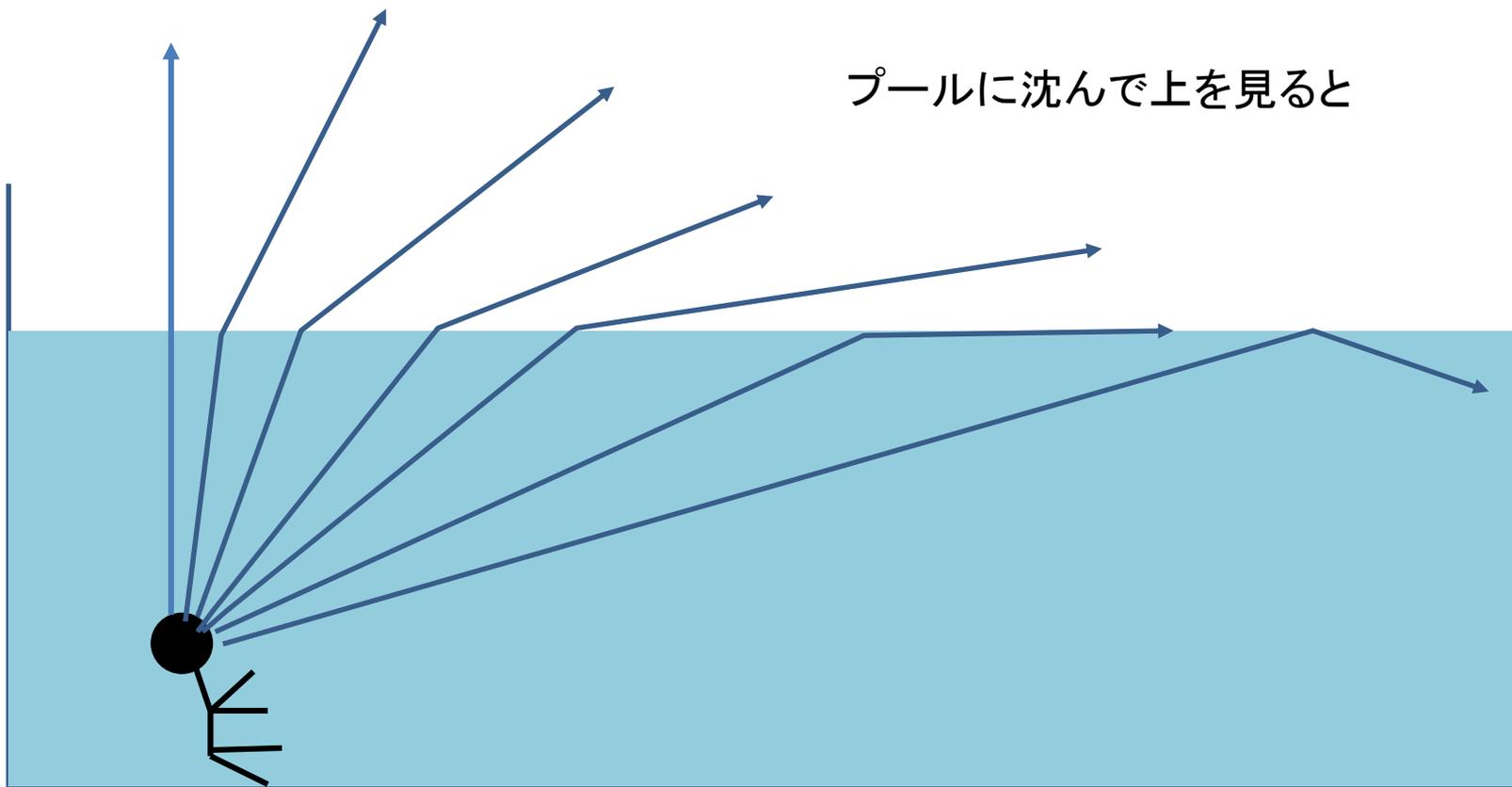
no = 1.6557, ne = 1.4852,

例えば

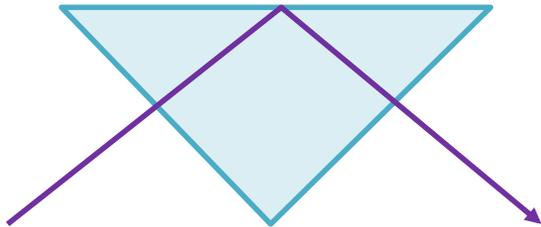


全反射

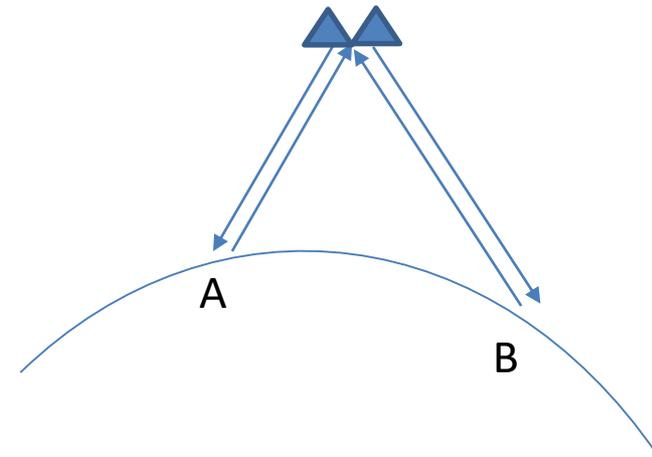
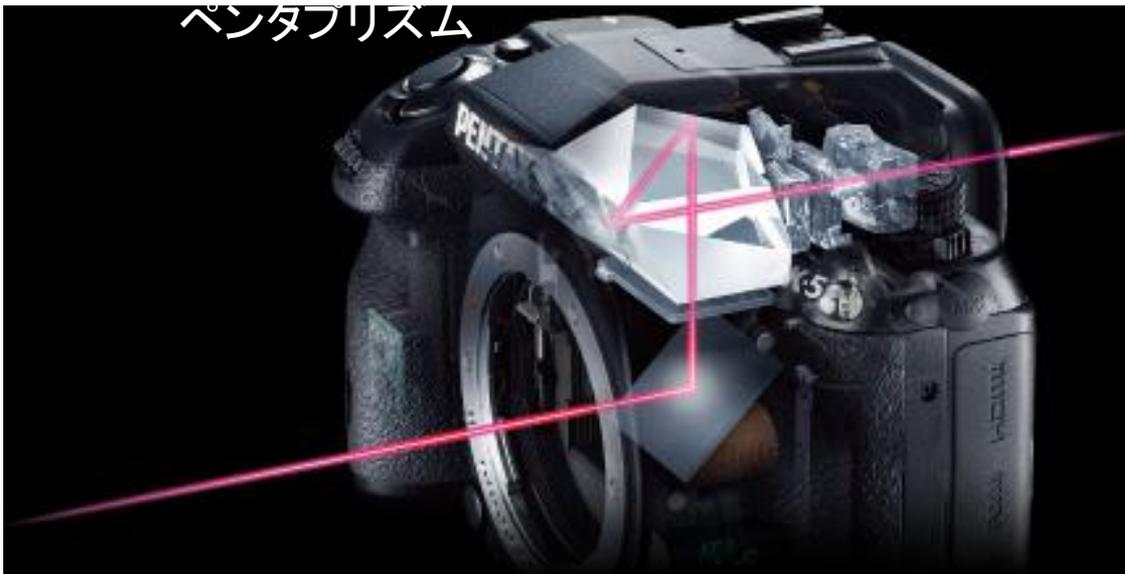
プールに沈んで上を見ると



全反射プリズム



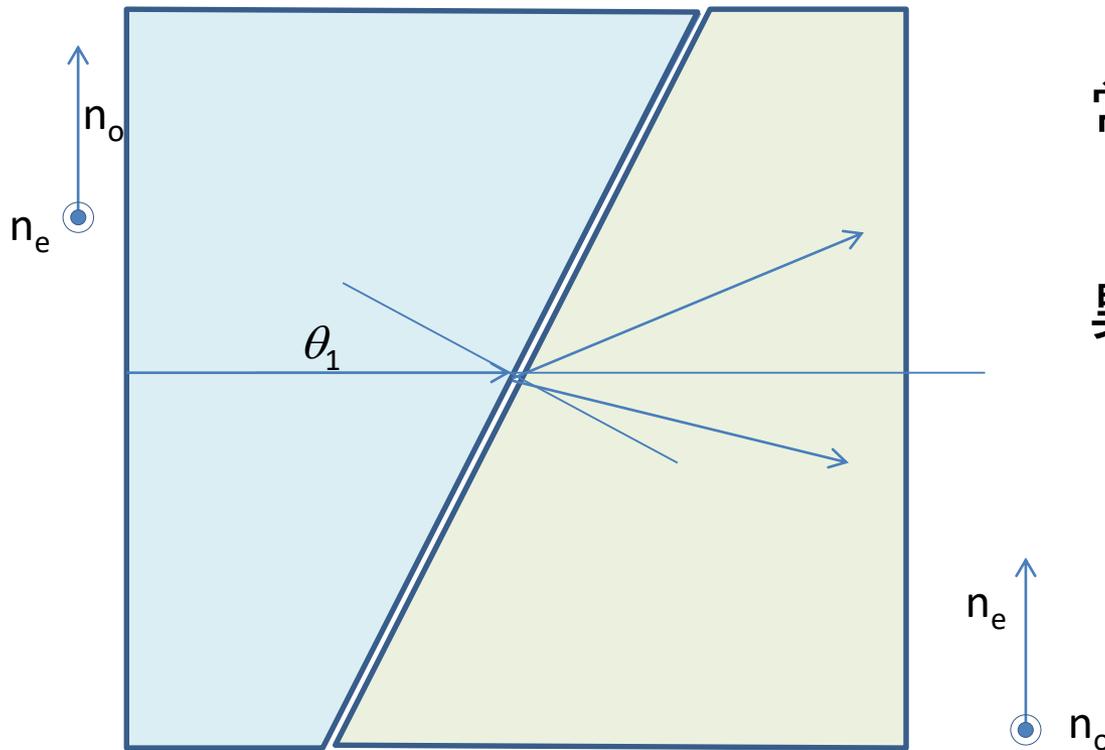
ペンタプリズム



ウォラストン偏光プリズム



$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$



常光線で入射の場合：

$$n_1/n_2 = n_o/n_e$$

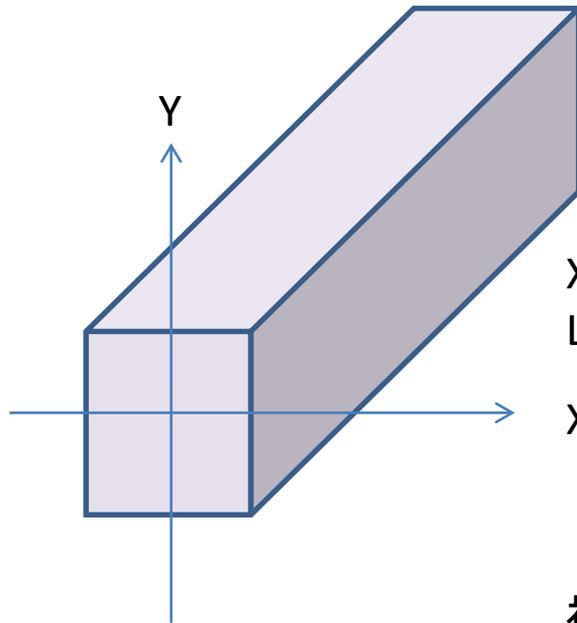
異常光線で入射：

$$n_1/n_2 = n_e/n_o$$

偏光を回転させる

$$E = \sin \omega t e_x + \sin(\omega t + \delta) e_y$$

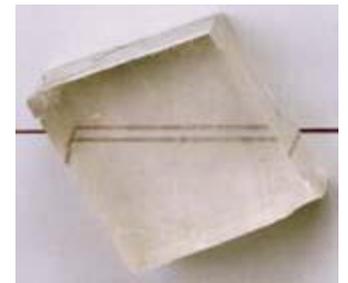
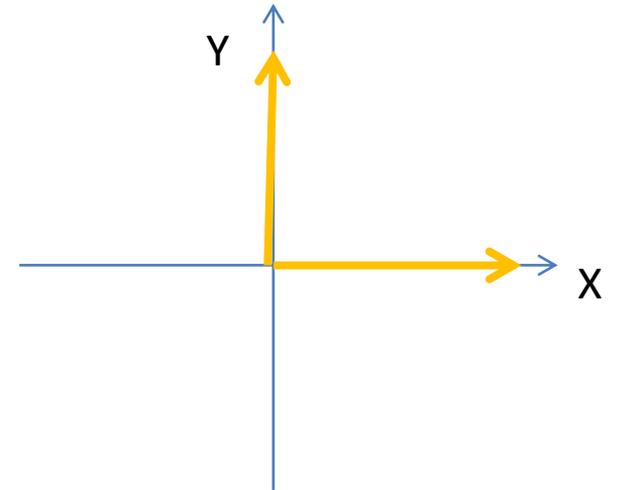
位相差を与える。



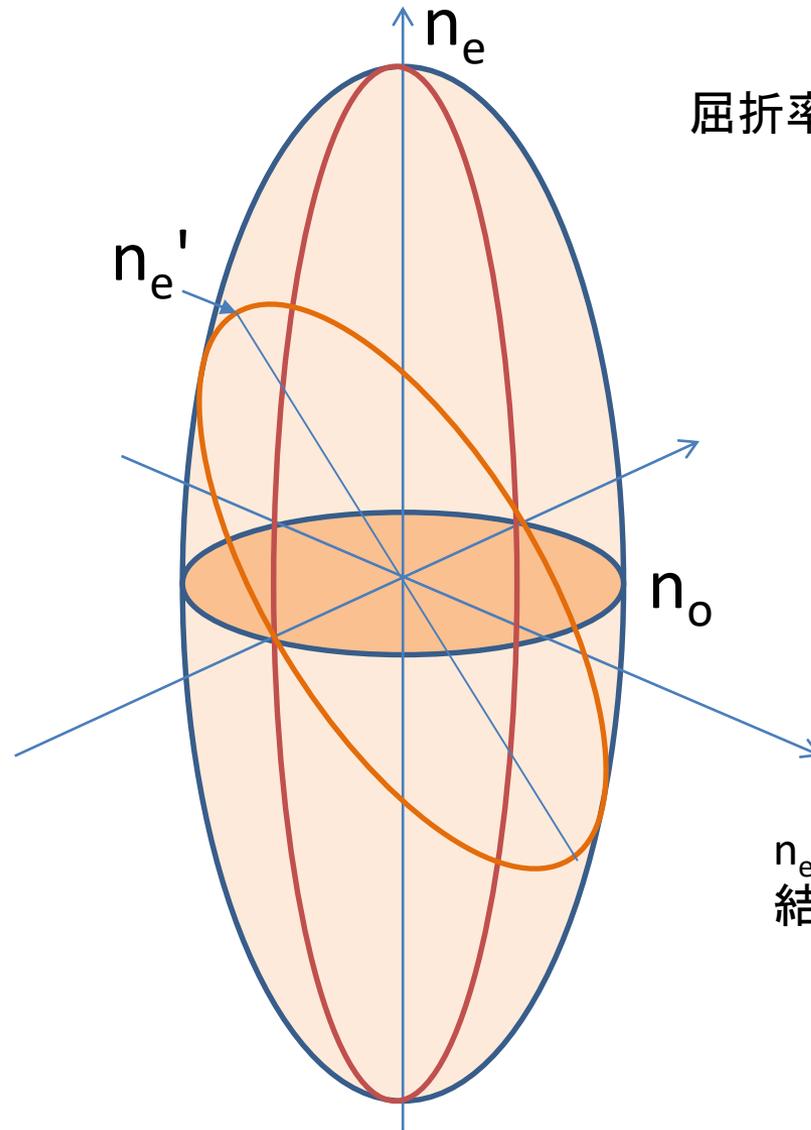
X, Y で位相速度(v_x, v_y)が違うものを持つてくる。
Lの長さで、 $L/v_x - L/v_y$ 分だけ δ がのる

複屈折な物質を利用する。
(例えば 方解石)

$n_o = 1.6557, n_e = 1.4852,$



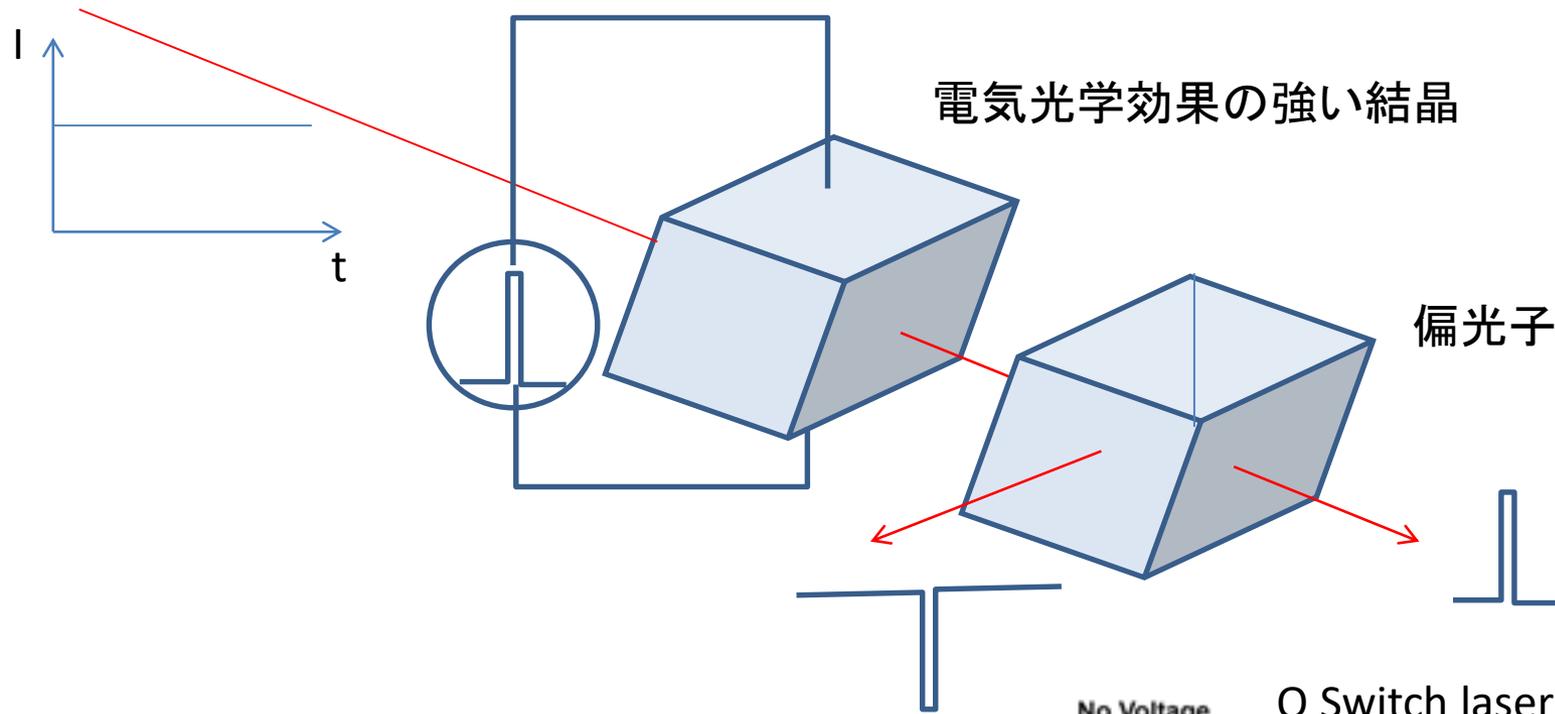
屈折率楕円体という異方性媒質の考え方



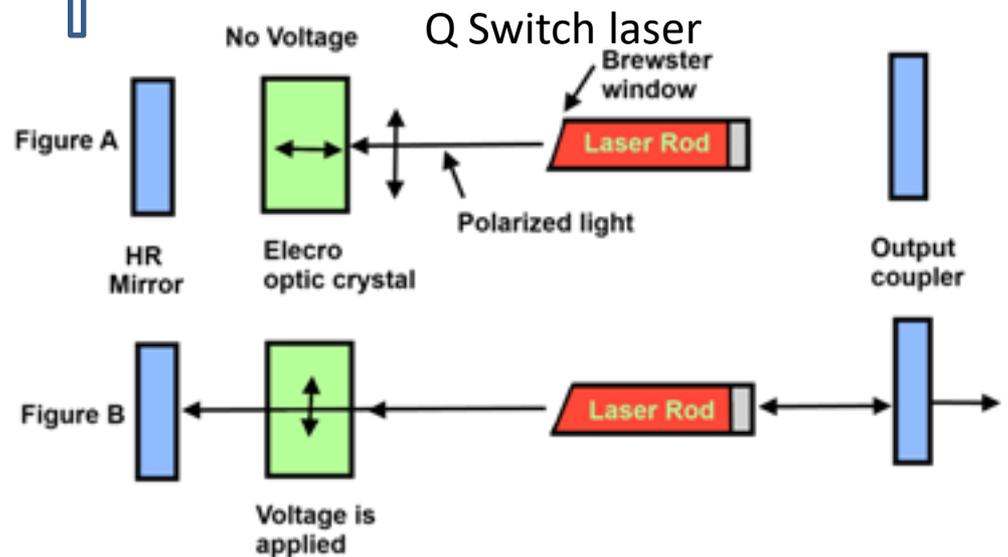
屈折率の異方性は1軸方向のみ

$n_e \sim n_o$ の様々な値を
結晶の角度で作ることができる

偏光で光を制御する



ポッケルス効果



発生時にも偏光する

フィルタリングではなくて

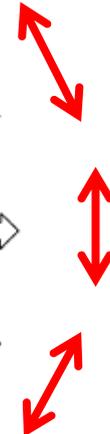
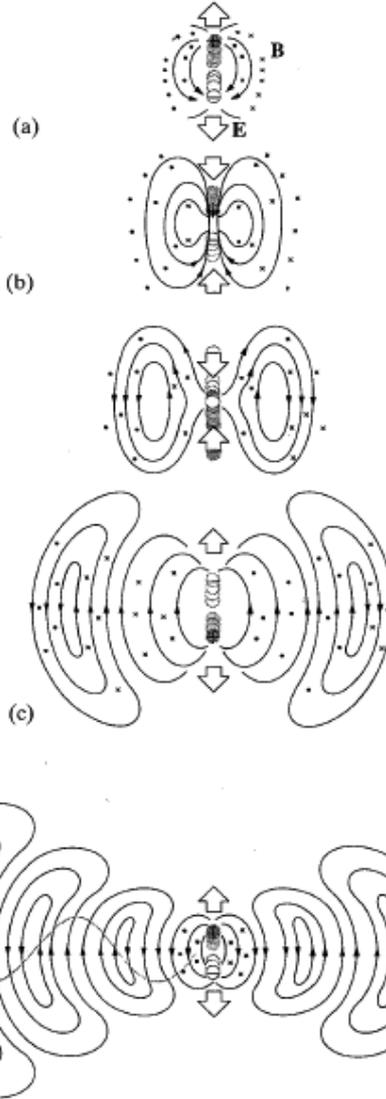
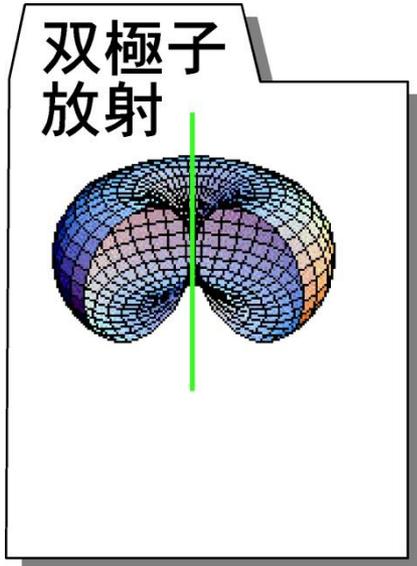
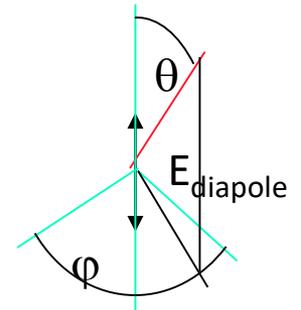
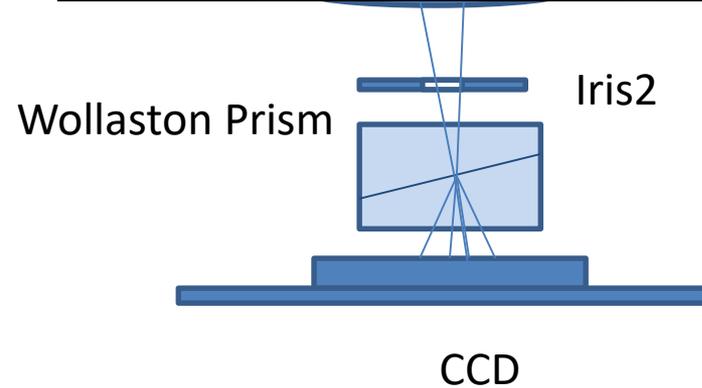
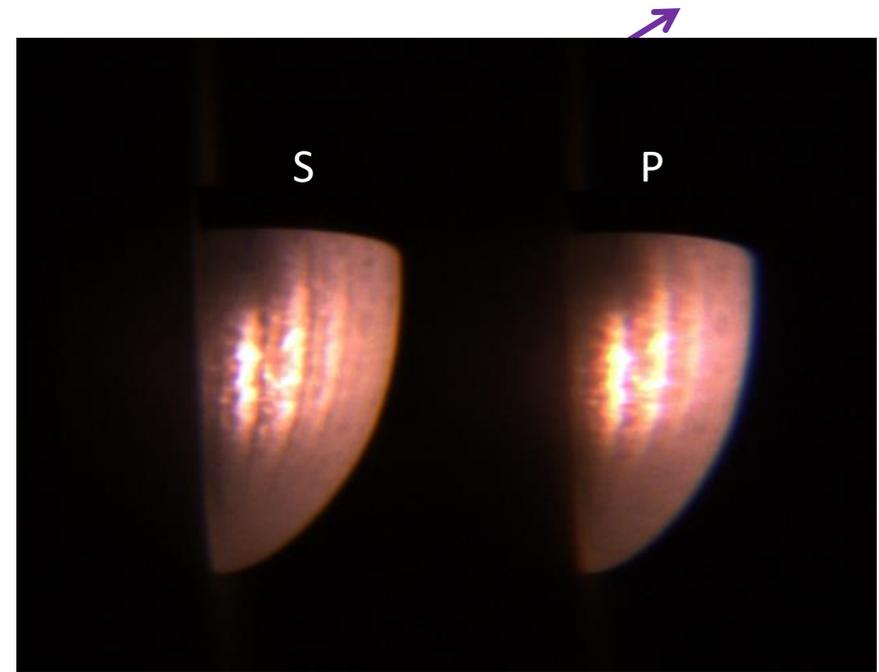
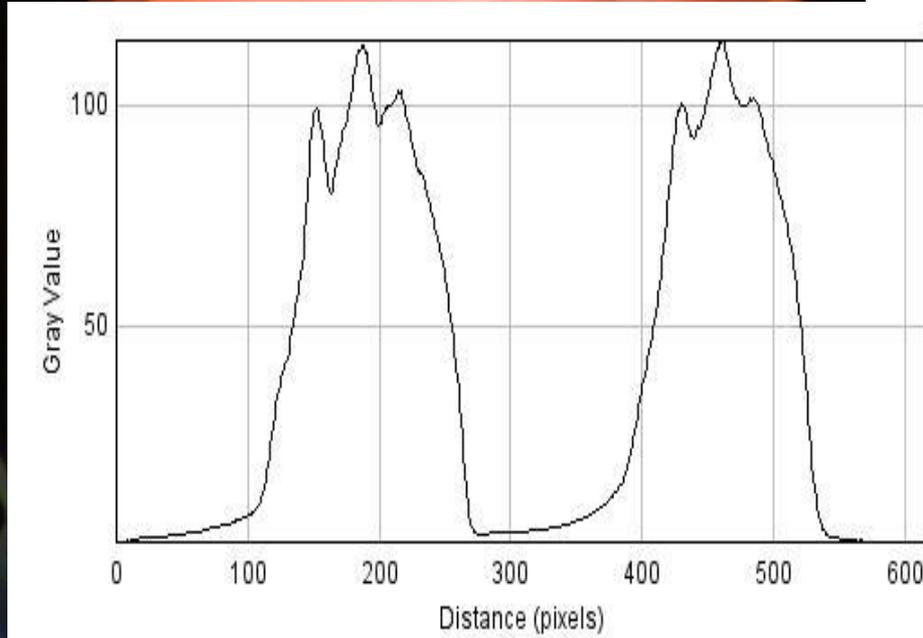
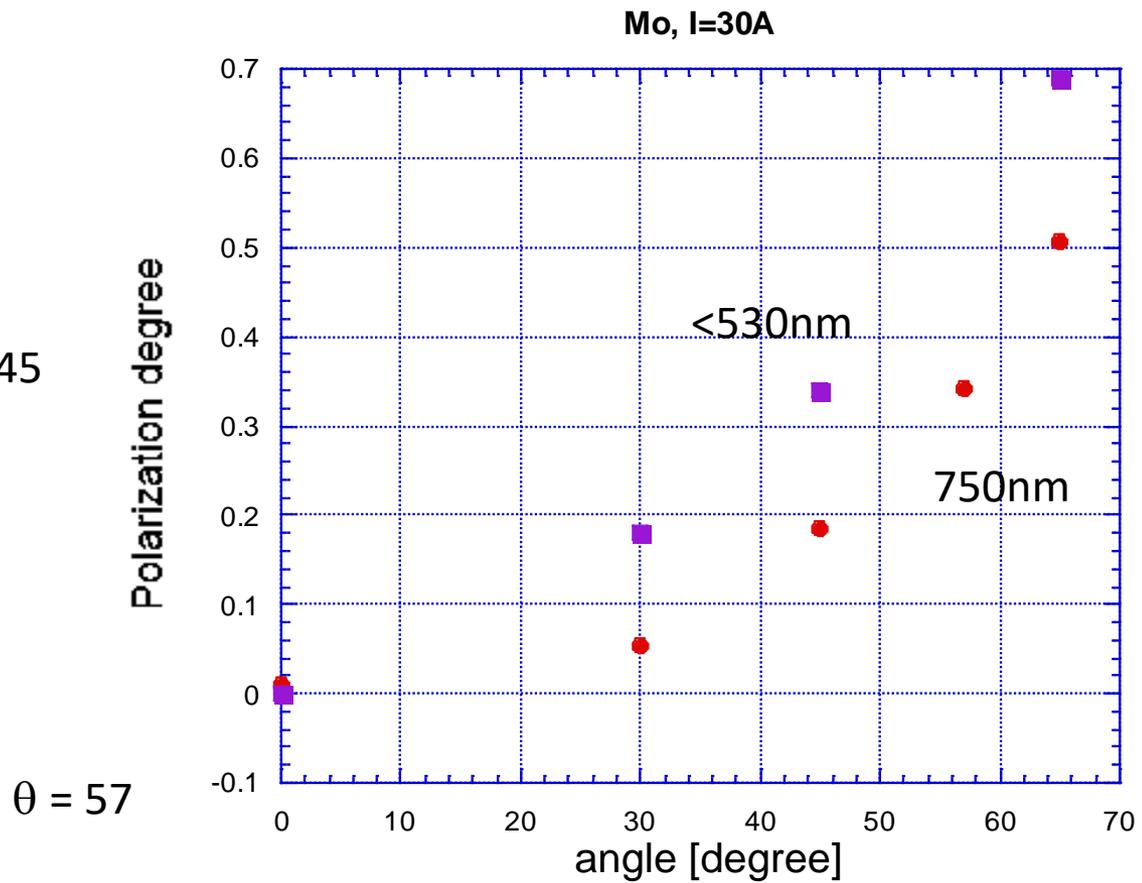
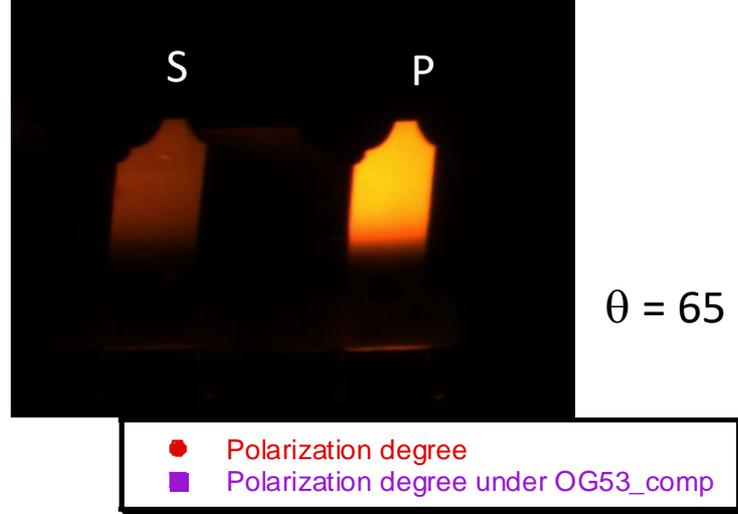
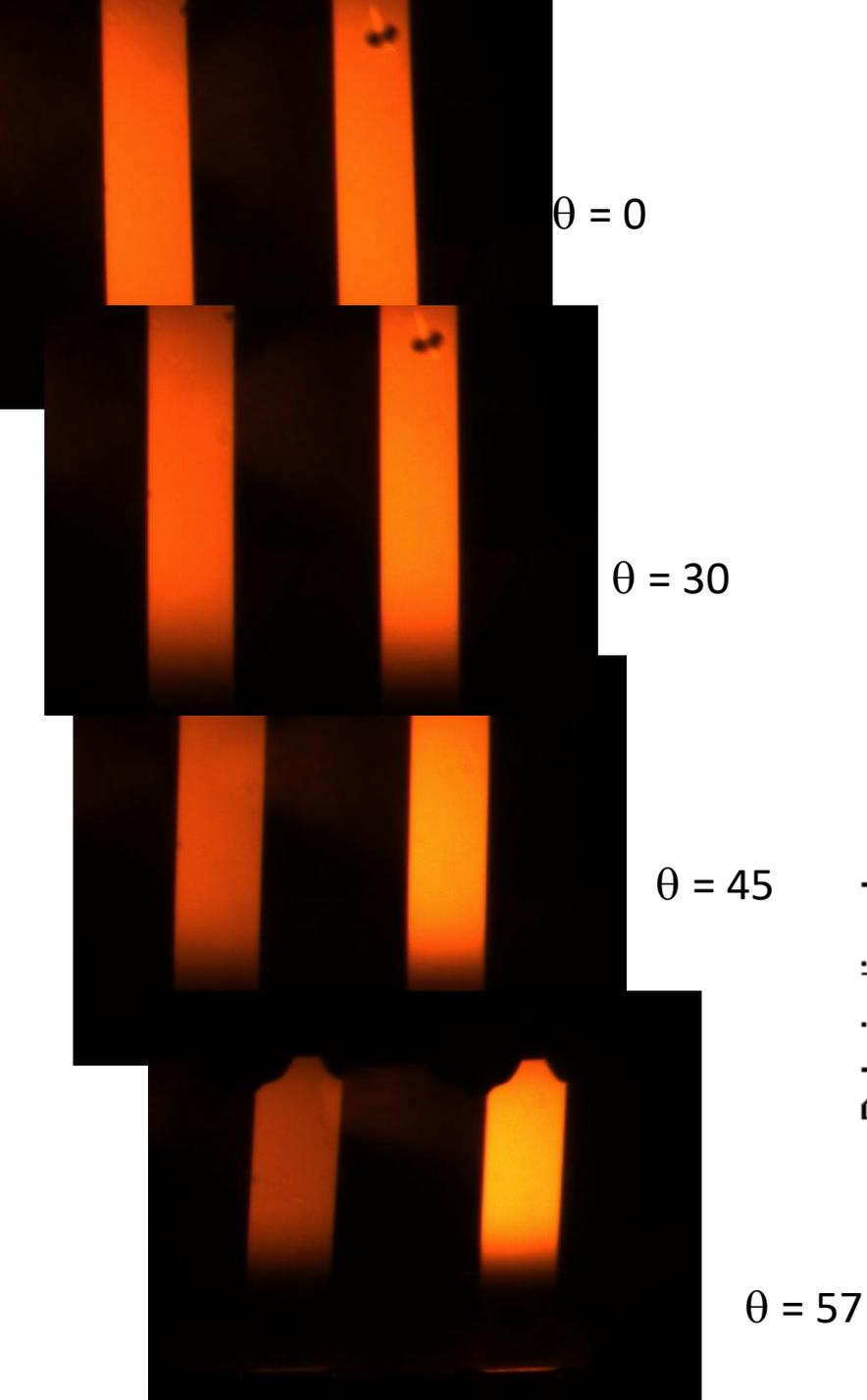


Figure 3.21 The E-field of an oscillating electric dipole.

電球からの光でさえ偏光





今日の宿題

学籍番号:

氏名:

宿題2-1 三角関数の複素数計算

$$\theta = \frac{\pi}{2}(2 + i)$$

$\sin(\theta)?$

$$\theta = \frac{\pi}{2}(2i)$$

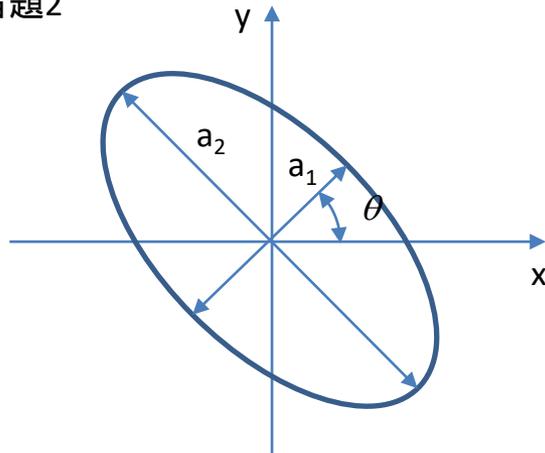
$$\theta_1 = \frac{\pi}{2}(1 + i)$$

$\sin(\theta_1) + \sin(\theta_2)?$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2}(1 - i)$$

$\sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2)?$

宿題2



$$a_1 : a_2 = 1 : 2$$

$$\theta = \frac{\pi}{4}$$

左の楕円の方程式は？