

光変調に関する一考察

Study to PM-Type Modulation of Light

波々伯部 圭佑

Keisuke HOHKABE

福井工業大学

Fukui Institute of Technology

1. まえがき

大気伝搬による光通信においてFM型光変調は強度変調に比べて大気のゆらぎなどに影響されにくいと考えられる。例えば、電気光学結晶の変調器では光強度変調を行うが、伝搬中の光強度変動によって正確な情報の伝達に好ましくない影響を与える。一方、内部共振器型レーザではゼーマン効果を利用して2周波の左右円偏光の発振光を得ることができ<sup>(1)</sup>、これを計測に利用している例もある。本稿では、この2周波左右円偏光を電気光学結晶によって位相変調すると光強度に無線周波の位相変調波を乗せた形のFM型変調について考察したので報告する。

2. 2周波円偏光の変調

(1) 左右円偏光の直交する直交偏光への分離

レーザ発振器から周波数 $\nu_1$ の右円偏光と周波数 $\nu_2$ の左円偏光が発振しているとする。右円偏光についてみると、図1(a)のように光の進行方向が紙面に垂直で手前に向っている場合、大きさ $(1/\sqrt{2})a$ のベクトルが時計方向に回転していると考えられるので、もともと振幅が $a \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1)$ であった直線偏光を $x, y$ 座標軸に $45^\circ$ 方向に投影してできる $(1/\sqrt{2})a \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1)$ と、 $(1/\sqrt{2})a \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1 - \pi/2)$ に分離して考えられる。左円偏光についても同様に同図(c)のように $(1/\sqrt{2})a \exp j(2\pi\nu_2 t + \theta_2)$ 、 $(1/\sqrt{2})a \exp j(2\pi\nu_2 t + \theta_2 + \pi/2)$ と表わされる。

これらの左右円偏光を図1(b), (d)の $S, f$ に主軸を有する $\lambda/4$ 板を通過させると、 $S, f$ 方向の偏光成分の間に $\pi/2$ の位相差を生ずる。右円偏光では上記の各成分はいずれも $(1/\sqrt{2}) \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1)$ となる。

これらを $x$ 軸方向において合成すると、  
 $A_1 = a \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1)$   
 となる。

左円偏光については、

$$A_2 = (1/\sqrt{2})a (\exp j\pi - 1) \exp j(2\pi\nu_2 t + \theta_2) = -a \exp j(2\pi\nu_2 t + \theta_2)$$

とかけらる。

ここで、 $A_1$ と $A_2$ は図1(b), (d)のように、互いに直交した直線偏光となる。すなわち、左右円偏光を $\lambda/4$ 板を通過させることによって直交した直線偏光にできる。

(2) 電気光学結晶による位相変調

上述のようにして得られた直交した直線偏光をそれぞれの偏光方向に主軸をもつ電気光学結晶に入射させる場合を考える(図2参照)。

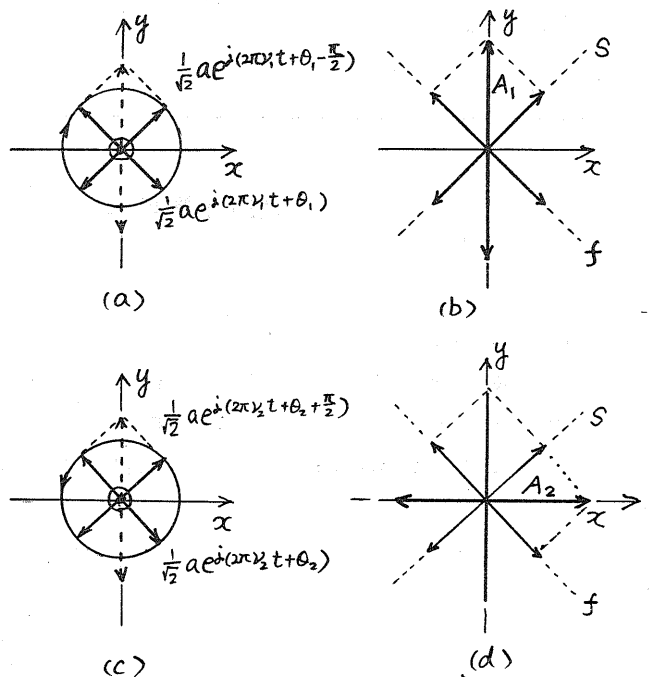


図1 円偏光と直線偏光への変換

このとき、右直線偏光は変調電圧  $v_m = V_m \sin 2\pi f_m t$  に比例した位相変調をうける。位相変調の大きさをそれぞれ  $\theta_1, \theta_2$  の主軸で、

$$\theta_{m1} = \Delta\theta_1 \sin 2\pi\nu_1 t$$

$$\theta_{m2} = \Delta\theta_2 \sin 2\pi\nu_2 t$$

とすると、電気光学結晶を通過した後の直線偏光成分  $A_{1m}, A_{2m}$  は次のようにかける。

$$A_{1m} = a \exp j(2\pi\nu_1 t + \theta_1 + \Delta\theta_1 \sin 2\pi f_m t)$$

$$A_{2m} = a \exp j(2\pi\nu_2 t + \theta_2 + \Delta\theta_2 \sin 2\pi f_m t)$$

これらの直線偏光を検光子に通すと、検光子を射出する光の振幅  $A_m$  と強度  $I_m$  は次のようになる。

$$A_m = (1/\sqrt{2})(A_{1m} + A_{2m})$$

$$I_m = A_m A_m^* = a^2 \{1 - \cos(2\pi\nu_0 t + \theta_0 + \Delta\theta_m \sin 2\pi f_m t)\} = 2a^2 \sin^2\{\pi\nu_0 t + \theta_0/2 + (\Delta\theta_m/2) \sin 2\pi f_m t\}$$

ここで、 $\nu_0 = \nu_1 - \nu_2$ ,  $\theta_0 = \theta_1 - \theta_2$ ,  $\Delta\theta_m = \Delta\theta_1 - \Delta\theta_2$  である。

上式のように検光子から射出した光の強度は、無線周波における位相変調波と類似の形となる。通常の直交ニコル状態の電気光学変調器では変調光は  $I_m \propto I_0 \sin(\Delta\theta_m \sin 2\pi f_m t)$  となるが、これを上式の  $\sin^2$  の形と比べると、本方法ではレーザ光の2周波の差  $\nu_0$  が含まれている点がいちがいに異なる。  $\Delta\theta_m$  は位相差で、電気光学係数  $\sigma_{ij}, \sigma'_{ij}$  と変調電圧  $V_m$  を用いて次のようにかける。

$$\frac{\Delta\theta_m}{2} = \frac{\pi}{\lambda} (\sigma_{ij} - \sigma'_{ij}) V_m \frac{l}{d}$$

ここで、 $l$  は電気光学結晶の長さ、 $d$  は変調電圧を印加する方向の結晶の厚みである。

### (3) 変調光の受信

上述の変調光が大気中を伝搬した場合、光強度 ( $a^2$ ) は変動する。しかし、位相変調量  $\Delta\theta_m$  は直接影響を受けにくく、 $\nu_0$  モーザ発振が安定しておれば、受側でも一定である。

受信側では光強度の受光を行った後、 $\nu_0$  (無線周波領域) の位相変調波の検波技術を使うと復調が可能となる。

図3には変調光及び伝搬後の変調光の概略、復調回路の基本構成を示す。

### 3. おさらい

上述した光変調は2周波円偏光を電気光学結晶によって位相変調すると、無線周波の位相変調波を変調信号として光変調を行ったと同様の変調であるといえる。本方法によれば、大気伝搬による光強度の変動に影響をほとんど受けないレーザ通信が可能になると思われる。今後、詳細な検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- (1) A. Sasaki, S. Ushimaru & T. Hayashi, J JAP, 23, 5, 1984
- (2) 松崎陽一, 機械の研究, 第35巻, 第10号, p.145, 1983

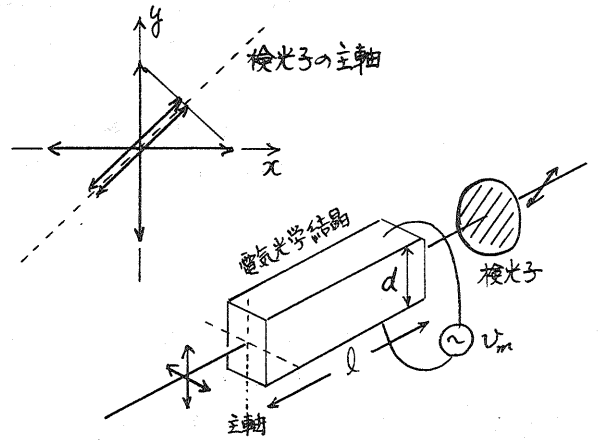


図2 変調器の基本構成

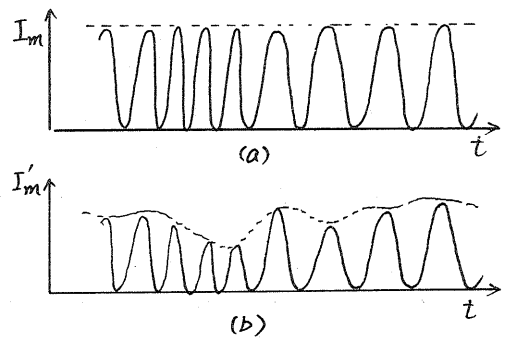


図3 変調光と復調回路

- (a) 変調光波形
- (b) 伝搬後の変調光波形
- (c) 復調回路の基本構成