

## 7 電波(マイクロ波)による波動実験

波長 1mm から 1m 程度の電磁波をマイクロ波という。電磁波の波動的性質を調べるためにマイクロ波を利用すると、実験のスケールが可視光の場合のミクロン単位からセンチメートル単位に変換されるので、分かりにくかった諸変数が容易に観測できたり、操作できたりする。ここでは、電波実験器(波長 2.85cm のマイクロ波)を用いて、定常波、偏向波、複スリットによる干渉などの波動的性質を調べる。また、干渉実験の応用としてマイケルソン干渉計を組み立て、干渉縞の移動からマイクロ波の波長を測定する。

【使用実験器機】マイクロウェーブ実験器

### § 1 はじめに

マイクロ波(microwave)は、波長 1mm から 1m 程度の電磁波で、短波長側には赤外線・可視光線・紫外線と続き、長波長側にはテレビ放送波・ラジオ放送波の無線周波電波が位置している。マイクロ波はこのように光と無線周波の中間に位置し、可視光に比べ  $10^3$  から  $10^6$  倍波長が長い(図 1)。

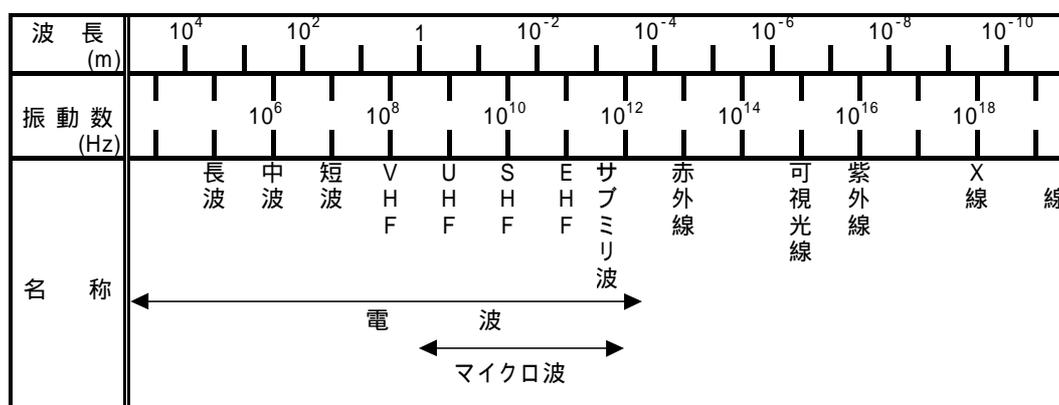


図 1 電磁波の波長による分類

電磁波の波動的性質を調べるためにマイクロ波を利用すると、実験のスケールが可視光の場合のミクロン単位からセンチメートル単位に変換されるので、分かりにくかった諸変数が容易に観測できたり、操作できたりする。ここでは、電波実験器(波長 2.85cm のマイクロ波送信器、 $1\times$  から  $30\times$  までの可変増幅機能をもつ受信器)を用いて、電磁波の波動的性質を調べる。また、応用としてマイケルソン干渉計による干渉縞の移動からマイクロ波の波長を測定する。以下、§2 で定常波、§3 で偏向波、§4 で複スリットでの干渉を調べ、最後に §5 でマイケルソン干渉計による波長測定を行う。

実験装置及び器具

マイクロウェーブ実験器、デジタル電圧計、オシロスコープ、接続ケーブル(2)

実験装置の組み立てと調整

- ・ 図2のような機器をそれぞれの実験に応じて組み立て使用する。
- ・ 実験器付属の取扱説明書では全て、受信器付設のメータで受信波の強さを計測することになっているが、より厳密な解析をするためには、受信器の出力端子とデジタル電圧計またはオシロスコープとを接続し解析の方が良い。実験に応じて2つを使い分ける。

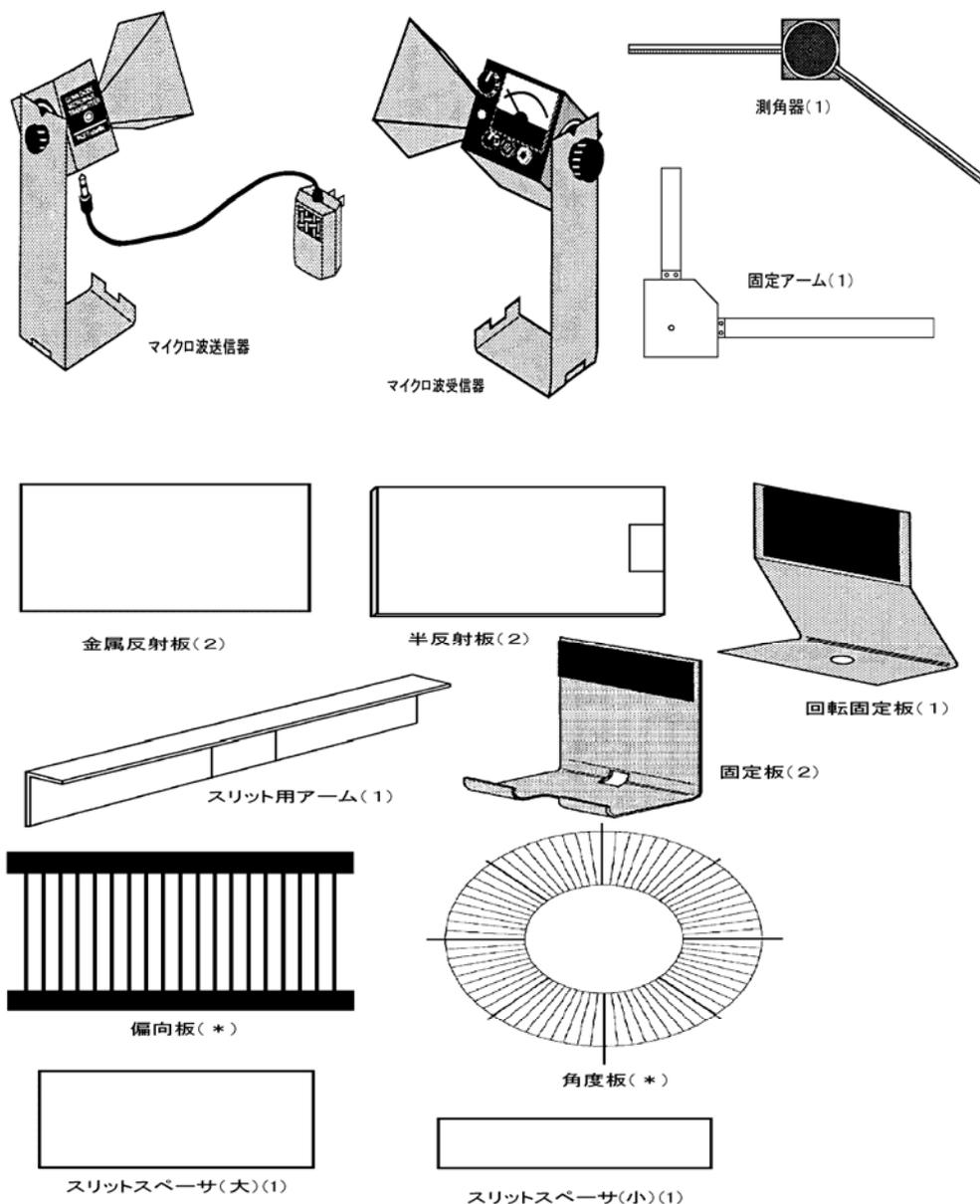


図2 マイクロ波実験器 (実験 で使用するもの)  
(\*) は自作したもの

【参考】マイクロ波技術は第二次世界大戦時にレーダー (radar) として用いられ、急速な進歩を遂げて以来、今日では地上における商業用通信網に、また宇宙からの情報通信などに活用されている。

§ 2 実験 : 定常波 - マイクロ波の波長測定 -

1 解説

互いに進行方向が逆で同じ振動数の波が重なり合ったとき、空間的に進行しない波が生まれる。これを定常波(定在波)という。たとえば、振幅が同じで、進行方向が反対の2つの正弦波(角振動数  $\omega$ ) が重なったとすると、

$$\begin{aligned} \psi &= A\sin(\omega t - kx + \alpha_1) + A\sin(\omega t + kx + \alpha_2) \\ &= 2A\sin(\omega t + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2})\cos(kx + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}) \end{aligned} \quad \dots(1)$$

となる。したがって、

$$kx + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} = m\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \text{ のとき} \quad -2A \leq \Psi \leq 2A \quad \dots(2)$$

$$kx + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \text{ のとき} \quad \Psi = 0 \quad \dots(3)$$

となる。(2)の条件を満たす位置  $x$  では、振幅が最大(元の波の2倍の振幅)となり、このような位置を腹、(3)の条件を満たす位置  $x$  では、振幅が0(媒質が静止している)となり、このような位置を節と言う。一方、任意の位置  $x$  では、媒質は振幅

$$2A\cos(kx + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2})$$

の単振動をすることがわかる(図3)。

また、定常波は、進行波が境界面で反射され生じた反射波との干渉により生まれることも多い。たとえば、音波の場合、音叉の共鳴箱や弦楽器の胴体の内部でこのような定常波が見られる。

ここでは、定常波からマイクロ波の波長を求める実験を行う。送信器と金属反射板との間に定常波をつくり、節と節の間隔を測定する。その値を2倍することによりマイクロ波の波長を求めることができる。

2 実験

(1)実験装置及び器具

マイクロ波送信器、マイクロ波受信器、測角器、金属反射板、固定板(2)、オシロスコープ、マイクロウェーブ検出プローブ(ME-9319)

(2)実験方法

図4のように配置する。

受信器の側面にあるオーディオコネクタに検出プローブのコネクタを差し込む。送信器からの波を直接受けないように、受信器のホーンを外側に向ける。

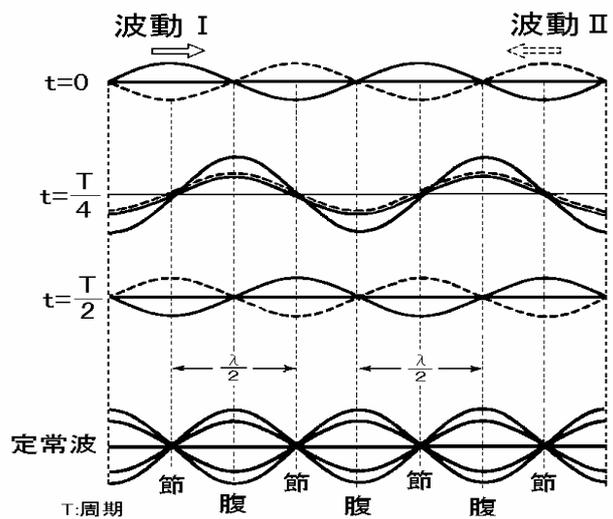


図3 定常波

受信器の感度を調整して観測に適当なレンジにする。  
 受信器の出力端子と、オシロスコープの入力端子を  
 ケーブルでつなぐ。

オシロスコープの値が最大となるように、アームに  
 沿って検出プローブを移動させる。

1~2cmの範囲内で移動すること。

同様にオシロスコープの値が最大となるように、今  
 度は反射板の位置を移動する。

1~2cmの範囲内で移動すること。

と の操作を繰り返し、メーターの値が最大にな  
 るように微調整する。

オシロスコープの値が最小になるまでプローブの位置を調整し、定常波の節を決定する。

この位置を、測角器のアーム上のメートル目盛りから読み取り、表に記録する。

プローブを移動させて、次の節を見つける。その位置を記録する。

順に移動させていながら、それぞれの節の位置を記録する。10個の節の位置を調べる。

節の間隔から波長を計算する。

受信器を移動する時、受信器の下に紙を敷くと摩擦を少なく出来るので、移動が容易に  
 なる。

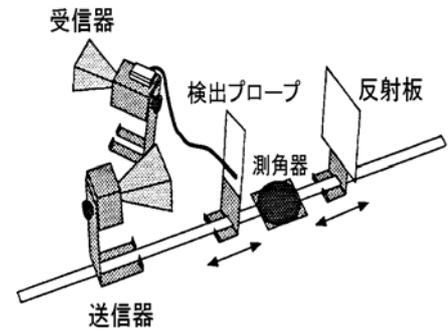


図4 配置図

### 3 実験結果と分析

(1) 次に 実験結果の一例を表1示す。

表1 定常波実験 (単位: cm)

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
節の位置	54.3	52.8	51.5	50.1	48.5	47.0	45.5	44.4	42.8	41.5
節の間隔 x		1.5	1.3	1.4	1.6	1.5	1.5	1.1	1.6	1.3
マイクロ 波の波長		3.0	2.6	2.8	3.2	3.0	3.0	2.2	3.2	2.6

節の間隔の2倍がマイクロ波の波長となる。

マイクロ波の波長の平均値: 2.84 cm

(2) 実験結果よりマイクロ波の波長を求めた過程は、次に示すことと結果的に同じである。

$$x_1 = 2(x_2 - x_1)$$

$$x_2 = 2(x_3 - x_2)$$

$$x_3 = 2(x_4 - x_3)$$

.....

$$x_8 = 2(x_9 - x_8)$$

$$x_9 = 2(x_{10} - x_9)$$

すなわち、

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum \lambda}{n} = \frac{x_{10} - x_1}{9} \times 2$$

となり、はじめの節の位置  $x_1$  と最後の節の位置  $x_{10}$  の間の距離を、通過した腹の数で割り2倍したものである。

よって、最初のプローブの位置と最後のプローブの位置からマイクロ波の波長を求めるこ

とができ、その実験例を次の表 2 に示す。(5 回実験した。)

表 2 定常波測定実験 2

(単位: cm)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
最初のプローブの位置 $x_1$	53.0	55.6	55.3	53.8	55.5
最終のプローブの位置 $x_2$	38.6	39.7	43.9	38.2	42.7
プローブの移動距離 $\Delta x =  x_1 - x_2 $	14.4	15.9	11.4	15.6	12.8
通過した腹の数 $n$	10	11	8	11	9
マイクロ波の波長 $\lambda = \frac{\Delta x}{n} \times 2$	2.88	2.89	2.85	2.84	2.84

隣り合った節と節の間隔の 2 倍がマイクロ波の波長 になる

マイクロ波の波長の平均値: 2.86 cm

(3) マイクロ波の振動数は、空気中のマイクロ波の伝達速度を  $3.0 \times 10^8$  m/s とすると、

$$v = \lambda \nu \quad \text{より} \quad \nu = \frac{v}{\lambda}$$

従って

$$\nu = \frac{3.0 \times 10^8}{2.86 \times 10^{-2}} = 1.05 \times 10^{10} \text{ Hz}$$

となる。

実験装置に付属の取扱説明書では、マイクロ波の振動数は  $1.0525 \times 10^{10}$  Hz である。実験はかなり良い精度であるといえる。

### § 3 実験 : 偏向波

#### 1 解説

送信器からのマイクロ波は、ガンダイオードの軸に沿って放出されるため、ダイオードの軸方向に偏向された波となす。すなわち、電磁波が空間を伝播するとき、電界がダイオードの向きに揃えられることになる(図 5)。電界の振動方向と電磁波の進行方向を含む平面を電界の振動面というが、このマイクロ波は振動面が 1 平面内に限られている直線(平面)偏向である。従って、送信器のダイオードと受信器のダイオードのなす角を  $\theta$  とすれば、受信器のダイオードに沿った電磁波の成分のみが有効となり検出されることになる(図 6)。例えば、 $\theta = 0$  のとき、メーター値は最大で、 $\theta = 90^\circ$  のとき 0 となる。

ここでは、波の偏向現象を調べるとともに、偏向板の影響などを考える実験を紹介する。

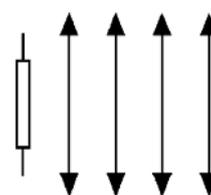


図 5 ダイオードの向きと電界

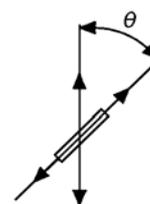


図 6 ダイオードの向きと電界

## 2 実験

### (1)実験装置及び器具

マイクロ波送信器，マイクロ波受信器，測角器，偏向板(1)，角度スケール(1)，デジタル電圧計，マイクロアンペア計(1)，鉄製スタンド(2)，糸，重り，ケーブル(2)

### (2)実験方法

#### [ 実験 A ] 送信器と受信器のみでの偏向実験

図7のように，送信器，測角器，受信器を直線上に配置する。送信器と受信器の間隔は適当でよい。

受信器のレベルを調整して，メーターがほぼフルスケールになるようにする。

受信器とデジタル電圧計を接続し最大値  $A_0$  を読み取る。

受信器の背面にある手動ネジをゆるめ， $5^\circ$  ずつ受信器を回転させ，それぞれの角度での電圧計の値を読み取り，表3を作る。

$A/A_0$ を計算し記入する。ここで， $A$  はそれぞれの回転角でのメーターの値， $A_0$ は回転角  $0^\circ$  での電圧計の値である。

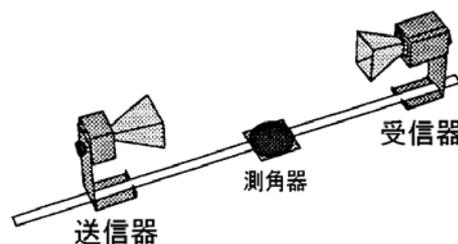


図7 配置図

#### [ 実験 B - 1 ] 偏向板スリットの特性を考える偏向実験

実験Aで用いた受信器の角度を  $0^\circ$  に戻す。(ホーンの長方形面の長い辺が水平になる状態)

糸を鉄製スタンドに取り付け，他端におもりを静かに吊るす。(糸は鉛直線を示す。)

このスタンドに，角度スケールを取り付けた偏向板スリット(図8)を備え付け，送信器と受信器の間に配置する。

糸の鉛直線と角度スケールとのなす角を順に  $5^\circ$  ずつ変えていきながら，電圧計の値を読み取り，表4を作る。

$A/A_0$ を計算し記入する。ここで， $A$  はそれぞれの回転角でのメーターの値， $A_0$ は回転角  $0^\circ$  でのオシロスコープの値である。

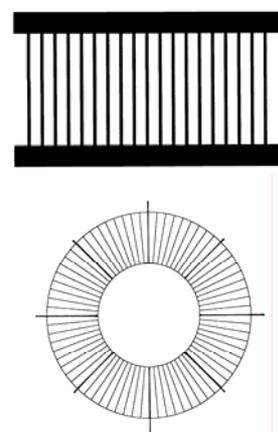


図8 偏向板と角度スケール

#### [ 実験 B - 2 ] 偏向板スリットの特性を考える偏向実験

偏向板スリットを取り除き，受信器を回転させ，角度を  $90^\circ$  (ホーンの長方形面の長い辺が鉛直になる状態)にする。

電圧計の代わりに，マイクロアンペア計を接続する。

偏向板スリットを元のように設置し，その角度を水平，直角， $45^\circ$  にしたときのマイクロアンペア計の値を読み取り，表5を作る。

## 3 実験結果と分析

### (1) 実験結果

次に、実験結果の一例を表3，4，5に示す。

表3 [実験A]の結果 (単位：V)

回転角	データ値	$\frac{A}{A_0}$	回転角	データ値	$\frac{A}{A_0}$
0°	2.11	1.00	95°	$3.10 \times 10^{-3}$	0.01
5°	2.09	0.99	100°	$1.50 \times 10^{-3}$	0.01
10°	2.02	0.96	105°	$3.00 \times 10^{-3}$	0.01
15°	1.87	0.89	110°	$1.20 \times 10^{-2}$	0.01
20°	1.69	0.80	115°	$3.05 \times 10^{-2}$	0.01
25°	1.44	0.68	120°	$6.80 \times 10^{-2}$	0.03
30°	1.17	0.55	125°	$1.35 \times 10^{-1}$	0.06
35°	$9.40 \times 10^{-1}$	0.45	130°	$2.46 \times 10^{-1}$	0.12
40°	$6.21 \times 10^{-1}$	0.29	135°	$3.96 \times 10^{-1}$	0.19
45°	$4.30 \times 10^{-1}$	0.20	140°	$6.03 \times 10^{-1}$	0.29
50°	$2.53 \times 10^{-1}$	0.12	145°	$8.62 \times 10^{-1}$	0.41
55°	$1.39 \times 10^{-1}$	0.07	150°	1.11	0.53
60°	$7.20 \times 10^{-2}$	0.03	155°	1.38	0.65
65°	$3.32 \times 10^{-2}$	0.02	160°	1.63	0.77
70°	$1.13 \times 10^{-2}$	0.01	165°	1.83	0.87
75°	$3.20 \times 10^{-3}$	0.02	170°	1.98	0.94
80°	$1.00 \times 10^{-3}$	0.00	175°	2.06	0.98
85°	$3.30 \times 10^{-3}$	0.02	180°	2.10	1.00
90°	$3.60 \times 10^{-3}$	0.02			

表4 [実験B - 1]の結果 (単位：V)

偏向板の角度	データ値	$\frac{A}{A_0}$	偏向板の角度	データ値	$\frac{A}{A_0}$
0° (水平)	6.41	1.00	50°	$3.92 \times 10^{-1}$	0.06
5°	5.42	0.85	55°	$5.60 \times 10^{-2}$	0.01
10°	4.37	0.68	60°	$2.30 \times 10^{-2}$	0.00
15°	4.22	0.66	65°	$1.14 \times 10^{-2}$	0.00
20°	3.32	0.52	70°	$1.5 \times 10^{-3}$	0.00
25°	2.72	0.42	75°	0.0	0.00
30°	1.58	0.25	80°	0.0	0.00
35°	$5.91 \times 10^{-1}$	0.09	85°	0.0	0.00
40°	$3.98 \times 10^{-1}$	0.06	90°	0.0	0.00
45°	$7.49 \times 10^{-1}$	0.12			

表5 [実験B - 2] 偏向スリットの効果実験

	データの値[ $\mu A$ ]
水 平	0.0
45°	4.4
垂 直	0.0

偏向板なしで受信器の角度を  $0^\circ$  にしたとき、マイクロアンペア計が  $100\mu A$  を示すように受信器の感度を調整した。

(2) 分析

[実験 A]

図9は、表3のデータを、横軸に回転角、縦軸に  $A/A_0$  をとってグラフにプロットしたものである。

もし、受信器のメーターの値  $A$  が、軸方向の電界成分  $E$  に正比例するとするならば、図6から、 $A = A_0 \cos\theta$  となる。比較のため、図9には、この関係を  $|\cos\theta|$  の値でプロットした。一方、偏向された電波の強さ  $I$  は電界  $E$  の2乗に正比例する ( $I = kE^2$  ,  $k$  : 比例定数) ので、もし、受信器の値  $A$  が入射したマイクロ波の強さ  $I$  に比例するとするならば、 $A = A_0 \cos^2$  の関係が成立する。図9には、 $\cos^2$  を でプロットした。

これらのグラフを比較すると、受信器のメーターは、電界の強さよりも、電波の強さに関係していることが分かる。

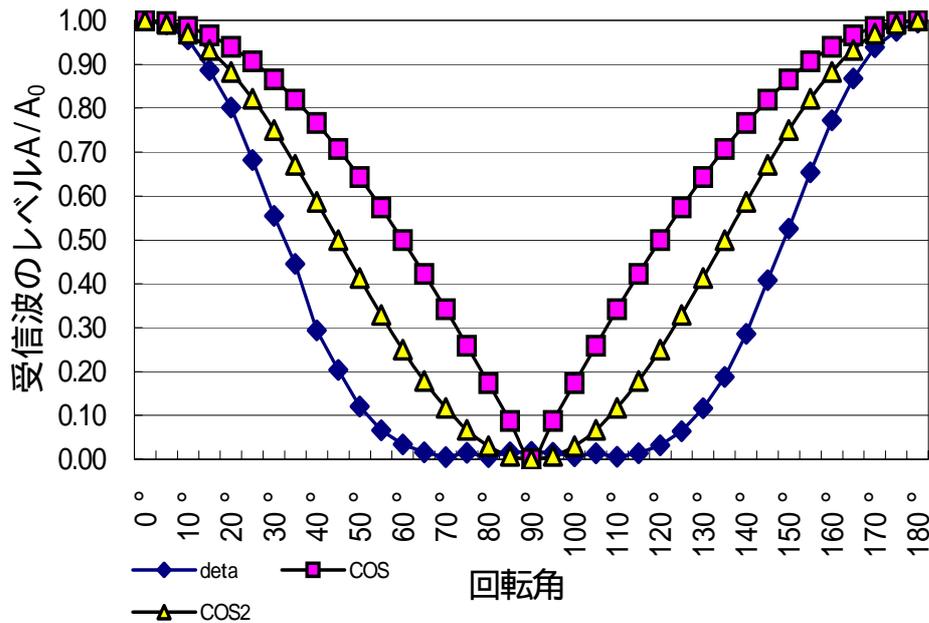


図9 回転角に対する受信波のレベル

[実験 B 1]

表4のデータをプロットしたのが図10である。このグラフより、偏向板は、偏向板に平行な成分だけ通過させることが分かる。

[実験 B 2]

表5の測定データから、送信器と偏向板が  $0^\circ$  と  $90^\circ$  の時、電波は完全に遮断されるが、偏向板がそれ以外の角度 (実験では  $45^\circ$ ) の時は、受信器に対し平行な電波の成分は伝わる事が分かる。

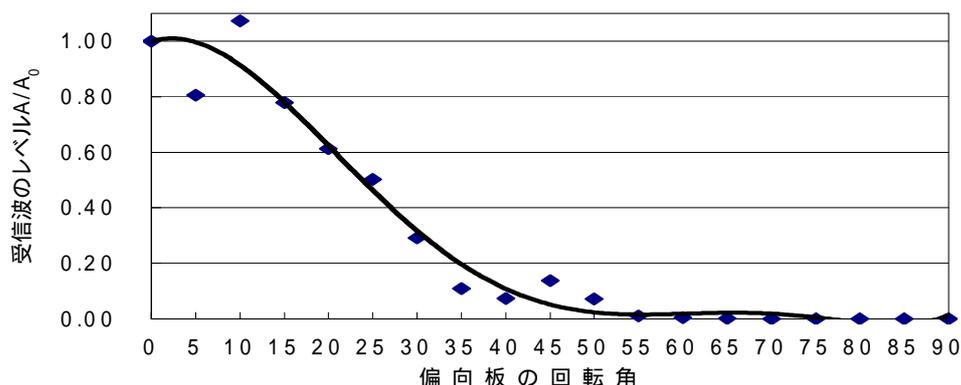


図 10 偏向板の回転角に対する受信波のレベル

## § 4 実験 : 複スリットでの干渉

### 1 解説

1807年ヤング(T.Young)は、複スリットによる光の干渉実験を初めて行った。これは、光の波動説を裏付ける画期的なものであった。ここでは、マイクロ波を利用して、この実験を検証する。

送信器から放出されたマイクロ波は2つのスリット $S_1$ 、 $S_2$ により分けられ、スリットを通過した空間で再び重なり干渉を起こす。そして空互いに強め合ったり弱め合ったりして、電界ベクトルの極大点や極小点を生み出す。図11のような複スリットの場合、スリットを通過した波の強さは、検出器の角度によって異なる。2つのスリットの間隔を $d$ とすると、スリットを通過した後の波の道のりの差 $d \sin \theta$ が干渉縞を決定する。すなわち、条件

$$d \sin \theta = m \quad (m: \text{任意の整数})$$

を満たすとき、強度が極大となる点が現れる。ここで、 $\theta$ はスリット通過後のマイクロ波の進行方向(検出器の角度)、 $\lambda$ はマイクロ波の波長である。

干渉縞は何本でも現れるのではなく、多少周期的な変動をしながら弱くなり、ついには観測されなくなってしまう。この干渉縞の現れる範囲は、 $S_1$ 、 $S_2$ の各スリットの幅 $w$ によって決まる。 $w$ を小さくすると干渉縞の現れる幅が広くなり、結果として使用した波の波長などを求める精度が向上する。しかし、通過する光のエネルギーが小さくなり、この少ないエネルギーが広い範囲に分布され、縞の平均的明るさは急激に減少する。したがって、 $w$ はやたらに小さく出来ない。

### 2 実験

#### (1) 実験装置及び器具

マイクロ波送信器、マイクロ波受信器、測角器、固定板、金属反射板(2)、スリット用アーム、スリットスペーサ(小)、スリットスペーサ(大)、オシロスコープ、ケーブル(2)

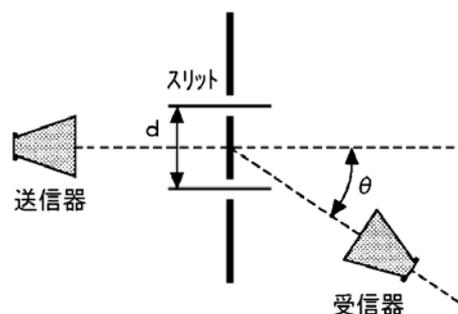


図 11 複スリットの干渉

## (2)実験方法

図 12 のように送信器,受信器を測角器上に直線的に配置し固定板上に複スリットを作る。複スリットはスリット用アーム,反射板2枚,スリットスペーサ(小)を用いて,スリット幅が1.5cm ぐらいになるようにする。スリットは正確に一直線上に並べ,できるだけ対称形になるようにすること。

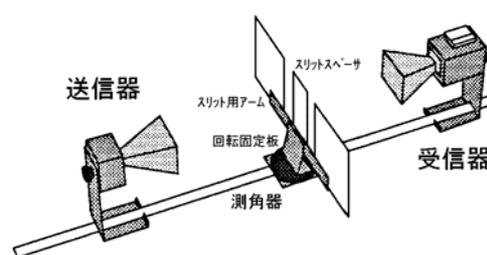


図 12 配置図

送信器と受信器を共に垂直偏向になるようにし,出来るだけ最低の増幅度で,受信器のメータがフルスケールを示すように調節する。受信器の出力端子とデジタル電圧計とを接続し,受信器が配置されたアームをゆっくりと回転させ,値の変化を観測する。

移動させた全範囲において値が読み取れるように,適当なレンジにオシロスコープをあわせる。

受信器が送信器の正面になるようにアームを元に戻し,デジタル電圧計の値を読み取り,これを基準値  $A_0$  とする。

表 6 に示しているような角度にアームを移動し,それぞれの角での値を測定し記録する。ただし,示した角度と角度の間でかなり大きく変化するような場合は,極大点を示す角度での値を求めるとよい。

スリットスペーサを小から大に替え,スリットとスリットの間隔を大きくする。ただし,スリットの幅は同じにしておくこと。

スリットスペーサ(大)は(小)よりも 50%大きいので,マイクロ波がスリット上で相対的に同じ強さになるように送信器を 50%スリットから遠ざける。

同様にそれぞれの角度での受信器の値を測定し,表を作る。

## 3 実験結果と分析

## (1)実験結果

次に実験結果の一例を表 6, 7 に示す。測定値の単位は(V)である。

表 6 回転角に対する受信波のレベル(スリットスペーサ[小])

角 度	データ	$A/A_0$	角 度	データ	$A/A_0$	角 度	データ	$A/A_0$
0.0 °	0.33	1.00	22.5 °	0.16	0.49	45.0 °	0.05	0.16
2.5 °	0.28	0.85	25.0 °	0.18	0.53	47.5 °	0.07	0.21
5.0 °	0.17	0.52	27.5 °	0.11	0.34	50.0 °	0.07	0.20
7.5 °	0.06	0.18	30.0 °	0.06	0.19	52.5 °	0.06	0.18
10.0 °	0.01	0.03	32.5 °	0.01	0.04	55.0 °	0.05	0.14
12.5 °	0.00	0.01	35.0 °	0.00	0.00	57.5 °	0.03	0.09
15.0 °	0.03	0.08	37.5 °	0.00	0.00	60.0 °	0.02	0.05
17.5 °	0.15	0.45	40.0 °	0.01	0.03			
20.0 °	0.19	0.56	42.5 °	0.03	0.10			

表7 回転角に対する受信波のレベル(スリットスペーサ[大])

角 度	データ	A/A <sub>0</sub>	角 度	データ	A/A <sub>0</sub>	角 度	データ	A/A <sub>0</sub>
0.0 °	0.065	1.00	22.5 °	0.017	0.26	45.0 °	0.000	0.00
2.5 °	0.061	0.94	25.0 °	0.004	0.06	47.5 °	0.003	0.05
5.0 °	0.032	0.50	27.5 °	0.002	0.03	50.0 °	0.008	0.12
7.5 °	0.022	0.34	30.0 °	0.016	0.25	52.5 °	0.013	0.20
10.0 °	0.014	0.22	32.5 °	0.031	0.48	55.0 °	0.016	0.25
12.5 °	0.043	0.66	35.0 °	0.055	0.85	57.5 °	0.020	0.31
15.0 °	0.053	0.81	37.5 °	0.035	0.54	60.0 °	0.019	0.29
17.5 °	0.061	0.94	40.0 °	0.017	0.26			
20.0 °	0.039	0.60	42.5 °	0.007	0.11			

## (2)分析

測定したデータを,スリットスペーサ(小)の値は図13に,(大)の値は図14にプロットする。

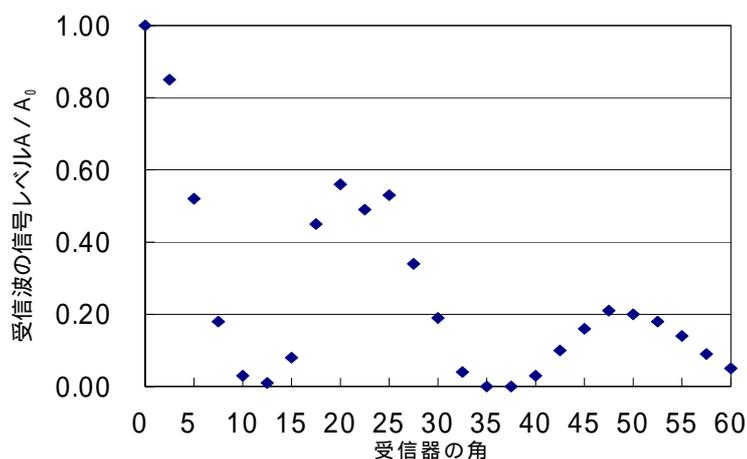


図13 受信器の角に対する受信波の信号レベル(スリットスペーサ[小])

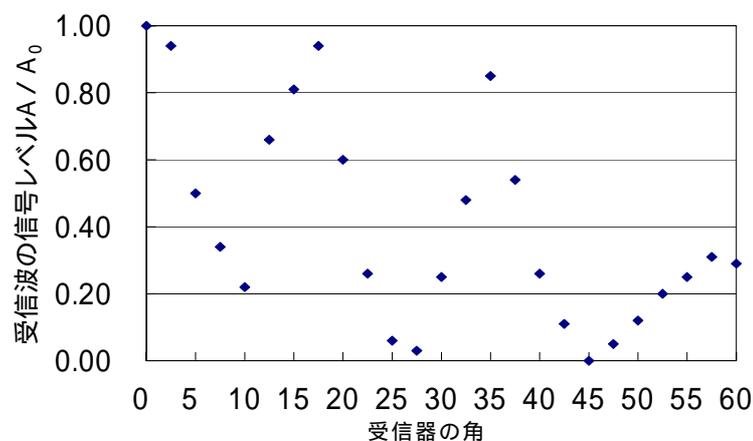


図14 受信器の角に対する受信波の信号レベル(スリットスペーサ[大])

図 13, 図 14 のグラフから, 干渉が極大, 極小となる角度を読み取ると表 8 のようになる。

表 8 受信レベルの極大・極小の角度(実験)

スリットスペーサ [小]			
極大	0°	22°	48°
極小	13°	38°	
スリットスペーサ [大]			
極大	0°	17°	36°
極小	10°	28°	46°

一方, 標準的な 2 つのスリットにおいて, 回折パターンが極大となる角度を  $d \sin \theta = m \lambda$ , 極小となる角度を  $d \sin \theta = (m + 1/2) \lambda$  より理論的に求めると, (マイクロ波の波長を 2.85cm とする。)

$$\begin{aligned} \text{極大} : \sin \theta &= m \times \frac{2.85}{d} & \text{極小} : \sin \theta &= (m + \frac{1}{2}) \times \frac{2.85}{d} \\ & & (m &= 0, 1, 2, \dots) \end{aligned}$$

より, 表 9 のようになる。ただし, スリットの幅を 1.5cm とすると, スリットスペーサが小のとき,  $d = 7.5\text{cm}$ , スリットスペーサが大のとき,  $d = 10.5\text{cm}$  である。

表 9 受信レベルの極大・極小の角度(理論)

スリットスペーサ [小] ( $d = 7.5\text{cm}$ )			
極大	0.0° ( $m=0$ )	22.3° ( $m=1$ )	49.5° ( $m=2$ )
極小	11.0° ( $m=0$ )	34.8° ( $m=1$ )	
スリットスペーサ [大] ( $d = 10.5\text{cm}$ )			
極大	0.0° ( $m=0$ )	15.7° ( $m=1$ )	32.9° ( $m=2$ )
極小	7.8° ( $m=0$ )	24.0° ( $m=1$ )	42.7° ( $m=2$ )

表 8 と表 9 の比較より, 実験の値はほぼ理論値に近いと考えられる。

## § 5 実験 : マイケルソン干渉計

### 1 解説

マイケルソン (A.A.Michelson) が考案した干渉計 (1881 年) は, 現在でも使われており, また相対性理論の一つの根拠となったと言われるマイケルソン・モーリー (Michelson Morley) の実験にも使われ歴史的にも有名なものである。

図 15 に示すように, 光源 S から出た光は半透明鏡 M で反射する光と透過する光に分けられる。これら 2 つの光線は, それぞれ別の経路をたどって反射鏡 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> で反射され, 半透明鏡に戻る。前者のうち, M を通過した光と, 後者のうち, M で反射された光がレンズ L を通ってその像面で重なり合い, 2 つの光路の光路差により干渉縞ができる。反射鏡 R<sub>1</sub> 及び R<sub>2</sub> を移動させたとき, 干渉縞のずれの数から数から光の波長が精密に測定できる。マイケルソンは, この方法で 1893 年にカドミウムの赤線

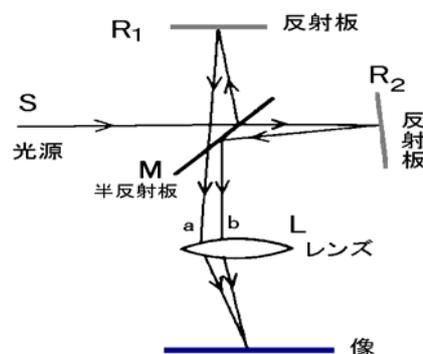


図 15 マイケルソン干渉計

の波長を精密に測定した。そのほか、マイケルソン干渉計は、屈折率の測定、干渉縞の可視度の測定によるスペクトル線幅と形状の決定などに幅広く応用されている。

ここでは、マイクロ波を用いてその波長を求める実験を説明する。

## 2 実験

### (1) 実験装置及び器具

マイクロ波送信器、マイクロ波受信器、測角器、固定板(2)、固定台、固定アーム、金属反射板(2)、半反射板(1)

### (2) 実験方法

図 16 のようにそれぞれの機器を配置する。

受信器の出力端子とオシロスコープを接続する。

金属反射板 A を測角器のアームに沿って移動 (1~2cm 程度) させ、オシロスコープの値の最大値、最小値が同じレンジ内で確認できるように調節する。

金属反射板 A をオシロスコープの値が最大となる場所に配置し、その位置を測角器上の目盛りから読みとる (読み取り値  $X_1$ )。

メーターの値を観測しながら、金属反射板 A を半反射板からゆっくりと遠ざける。そして、オシロスコープの値が最小となる点を約 10

回通過させた後、再び最大となる位置で固定する。通過した最小点の個数とこの時の金属反射板 A の位置を測角器上の目盛りから読みとる (読み取り値  $X_2$ )。

得られたデータからマイクロ波の波長 を計算する。

から の過程を 5 回繰り返して、平均してマイクロ波の波長 を決定する。

受信器を移動する時、受信器の下に紙を敷くと、摩擦を少なく出来るので移動が容易になる。

### 3 実験結果と分析

次に実験結果の一例を表 10 に示す。ただし、§2 定常波での実験で述べたように、反射板 A の最初の位置と最後の位置からマイクロ波の波長を測定する方法をとった。

表 10 実験結果

(単位: cm)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
最初の反射板の位置 $x_1$	51.5	52.9	49.9	51.4	48.5
最終の反射板の位置 $x_2$	37.3	38.6	35.7	41.3	37.1
反射板の移動距離 $\Delta x =  x_1 - x_2 $	14.2	14.3	14.2	10.1	11.4
通過した最少点の数 $n$	10	10	10	7	8
マイクロ波の波長 $\lambda = \frac{\Delta x}{n} \times 2$	2.84	2.86	2.84	2.89	2.85

隣り合った最大の点の間隔の 2 倍がマイクロ波の波長 になる

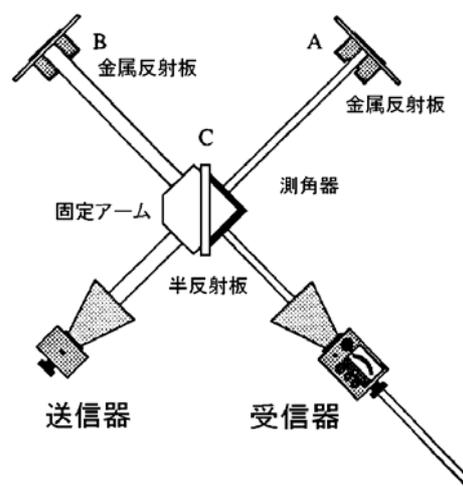


図 16 配置図

マイクロ波の波長の平均値： 2.86 cm

この実験結果は §2 の定常波の実験結果と同じ値で， §2 で示した分析と同様，高い精度の結果が得られた。

#### その他の実験

この実験装置を使えば，他に次のような実験ができる。

反射　プリズムによる屈折　ロイドのミラー　ファブリー・ペロー干渉計  
ブルースター角　プラグ回折　ファイバー光学  
( 実験装置に付属の取扱説明書を参照 )

**【参考】** この実験で使ったマイクロ波送信器，受信器の基本的事項を示す。

#### 1 ガンダイオードマイクロ波送信器

マイクロ波は普通の真空管ではなかなか発振できない。それは電極間の静電容量や電極間を電子が走る時間などが，このような高い周波数では無視できなくなるからである。マイクロ波の発振管として，クライストロン(klystron)，マグネトロン(magnetron)，灯台管(light housetube)，進行波管(traveling-wave tube)，ガンダイオード(Gunn diode)などの特殊管が使われている。ここで紹介する実験では，出力 15mW，波長 2.85cm のコヒーレント(可干渉性)の直線偏向したマイクロ波を発振するガンダイオードマイクロ送信器を利用する。このユニットは，10.525GHz の共振器内にあるガンダイオード，出力されるマイクロ波を外に向ける電磁ホーン，及び機の表面での反射を減らすための高さ 18cm のスタンドから構成されている。ガンダイオードは，マイクロ波帯域で振動する非線形抵抗として作動し，出力波はダイオード軸に沿って直線偏向され，ホーンからはその軸の中心に沿ってマイクロ波の強いビームが放出される。

#### 2 マイクロ波受信器

マイクロ波受信器は，低い振幅の信号レベルでは，入射するマイクロ波信号の強さにほぼ比例する値を読み取るメーターをもっている。送信器のものと全く同一の形をした受信器のホーンは，マイクロ波信号を集め，10.525GHz の共振器内にあるショットキーダイオードに導く。このダイオードは，ダイオードの軸にそって偏向されたマイクロ波信号の成分のみに応答し，マイクロ波信号の強さと比例して変化する直流電圧を発生する。

#### 【参考文献】

- [1] 「電波実験器 WA-9316S」取扱説明書(島津理化器械(株))
- [2] 物理学辞典編集委員会「物理学辞典(縮刷版)」(1992, 培風館)
- [3] 岩波「理化学辞典」(1983, 岩波書店)