

# 物質中でのマイクロ波の波長測定実験

5年B組 寺川 峻平

指導教員 米田 隆恒

## 1. 要約

私は数年前から電磁波の性質に興味を持ち、マイクロ波実験装置の製作に取り組んでいる。その実験装置を使用し、マイクロ波の波長測定実験を行った。マイクロ波が物質を透過する際、物質と空気との境界面で一部のマイクロ波は反射する。それらの経路差により、物質の厚さに対応して透過後のマイクロ波の強度が変化する。これを利用し、物質の厚さを段階的に変えてマイクロ波の受信強度を調べることで物質中の波長を測定した。その結果、紙中においては約3%の誤差で波長を測定できた。水中においてはデータの分析方法を現在研究中である。

キーワード マイクロ波、実験装置、多重反射、干渉、波長、薄膜干渉

## 2. 研究の背景と目的

私たちの生活は電磁波の活用によって支えられている。しかし、身近なはずの電磁波のことを私はよく知らなかった。そこで、実験を通して電磁波の基本的な性質を理解するため、まずは物質中でのマイクロ波の波長を測定することにした。

しかし本校には波動実験を行う電波実験装置がなかったため、実験装置を自作し、それを使用した。よって、今回はこの実験装置を用いた波長測定実験の手法や考え方を確立することを目標として研究を行った。

## 3. 研究内容

紙・水(水道水)の中でのマイクロ波の波長を調べた。

製作したマイクロ波(10.5GHz)実験装置は、出力信号の電圧からマイクロ波の受信強度を判断するものである。

文献[1]による比誘電率 $\epsilon_r$ から計算した

それぞれの物質の波長 $\lambda$ は以下のとおりである。

$$c = \lambda f = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$
$$\lambda = \frac{1}{f\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{f\sqrt{\epsilon_r\epsilon_0\mu}}$$

紙 …  $\epsilon_r = 2.0$  ,  $\lambda = 18$  [mm]

水 …  $\epsilon_r = 80$  ,  $\lambda = 2.9$  [mm]

### 3.1 仮説

マイクロ波実験装置の送信機と受信機を向かい合わせて設置し、それらの間に波長測定を行う物質を置く。物質の厚みを変えると、その変化にあわせてマイクロ波の受信強度が周期的に変化する(簡易実験にて確認)。この現象を利用し、受信強度の変動から物質中でのマイクロ波の波長を測定できると考えた。

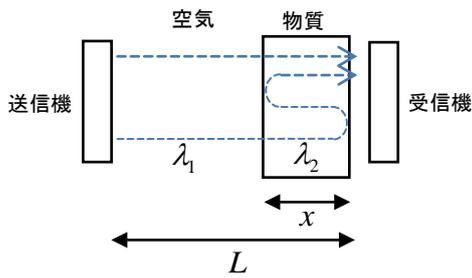


図1 波長測定簡略図

空気中のマイクロ波の波長を $\lambda_1$ 、物質中の波長を $\lambda_2$ 、物質の厚みを $x$ 、送信機と受信機との距離を $L$ とする。

いま、厚みが $x$ のときに受信強度が極大になったとする。物質の厚さを増やしていく、 $x + \delta$ で再び極大となったとすると、

$$3x - x = \lambda_2 m \quad (m : \text{整数})$$

$$3(x + \delta) - (x + \delta) = \lambda_2 (m + 1)$$

となり、これらの差を求めると、

$$2(x + \delta) - 2x = \lambda_2$$

$$\therefore \delta = \frac{\lambda_2}{2}$$

よって物質の厚みを $\lambda_2/2$ 変化させるごとに極大があらわれることになる。

この予測のもと、物質に紙と水を用いてそれぞれ測定を行った。

### 3.2 紙中の波長測定

<実験方法>

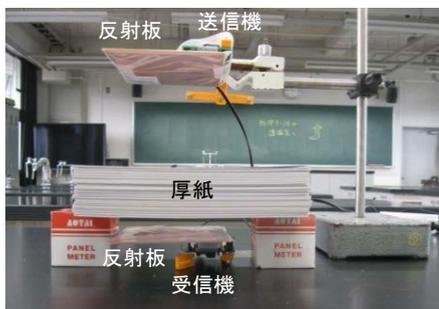


図2 実験装置

(1)送信機と受信機に反射板を取り付け、鉄柱スタンドで図2のように固定する。このとき、出力電圧が飽和(約8.5Vで振りきれ)ないように気をつけながら、できるだけ送信機と受信機を近づける。

(2)送信機と受信機の上に厚紙を重ねて置く。

(3)受信機だけ電源を入れ、受信強度0でのオフセット電圧を記録する。

(4)送信機の電源を入れ、紙を一枚ずつ取り除いてゆき、受信機出力電圧を記録する。

※(1)反射板を取り付けるのは、未使用のアンテナを無効にするためである。送信機は受信アンテナを、受信機は送信アンテナをふさぐように取り付ける。

※(4)重ねて揃えられた状態から紙を取り除いてゆくことで、一枚一枚積み上げるよりも厚紙同士の隙間を小さくできると考えたためこのような方法をとった。

<結果>

グラフの極大-極大間の距離より、

$$\delta \text{ の平均} = 9.41 \text{ [mm]}$$

$$\lambda_2 = 18.8 \text{ [mm]}$$

となり、理論値に非常に近い値が得られた。

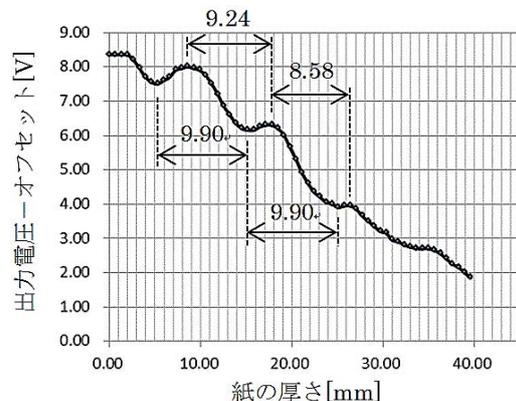


図3 紙の測定結果

厚み [mm]	電圧-オフセット [V]		
39.60	1.85	19.14	6.00
38.94	2.00	18.48	6.20
38.28	2.15	17.82	6.30
37.62	2.25	17.16	6.30
36.96	2.40	16.50	6.25
36.30	2.55	15.84	6.15
35.64	2.65	15.18	6.15
34.98	2.70	14.52	6.20
34.32	2.70	13.86	6.35
33.66	2.70	13.20	6.60
33.00	2.75	12.54	6.85
32.34	2.80	11.88	7.20
31.68	2.90	11.22	7.50
31.02	2.95	10.56	7.75
30.36	3.15	9.90	7.90
29.70	3.20	9.24	7.95
29.04	3.35	8.58	8.00
28.38	3.50	7.92	7.95
27.72	3.65	7.26	7.90
27.06	3.85	6.60	7.70
26.40	3.95	5.94	7.60
25.74	3.95	5.28	7.50
25.08	3.90	4.62	7.55
24.42	4.00	3.96	7.70
23.76	4.05	3.30	7.95
23.10	4.20	2.64	8.20
22.44	4.35	1.98	8.35
21.78	4.60	1.32	8.35
21.12	4.90	0.66	8.35
20.46	5.30	0.00	8.35
19.80	5.65		

電圧計は 15V レンジで測定を行い、最小目盛は 0.5V である。

### 3.3 水中の波長測定

<実験方法>



図 4 実験装置

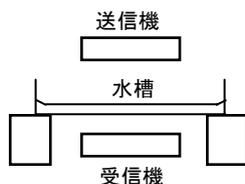


図 5 配置

- (1)送信機と受信機に反射板を取り付け、鉄柱スタンドで図 4、図 5 のように固定する。水中ではマイクロ波が非常に減衰しやすいため、送信機と受信機を水槽に接触しないようにしてできるだけ近づける。
- (2)受信機だけ電源を入れ、受信強度 0 のオフセット電圧を記録する。
- (3)送信機の電源を入れる。送信機と受信機の上に水槽を置き、受信強度が 0 になるまで水を入れていく。このとき、表面張力によって水槽壁面付近の液面が平らにならないことがあるので、ときどき水槽を揺らして壁面をしっかりと濡らす必要がある。
- (4)ピペットで水を水槽から約 1 ml ずつ取り出していく。取り出した水は電子天秤に乗せたメスシリンダーに移し、電圧計の値とともに、取り除いた水の質量も記録する。この操作を水槽の底面の一部が乾いて島のようなまで繰り返す。

※(4)水中ではマイクロ波が減衰しやすいため、できるだけ浅い水深で実験を行う必要がある。しかし、水を滴下していくと、水量が少なく水深が浅いときに、表面張力によって水が水槽の底面に広がらない恐れがあると考えたため、水を増やすのではなく減らしていく方法にした。

水 1 ml を 1 g と考えて体積及び水の厚さを求める。

<結果>

極大-極小間で変化した厚さを  $\delta/2$  と考えると、 $\delta = 0.53 \times 2 = 1.06$  [mm]

よって、水中での波長 $\lambda_2$ は

$$\lambda_2 = 2.12 \text{ [mm]}$$

となった。

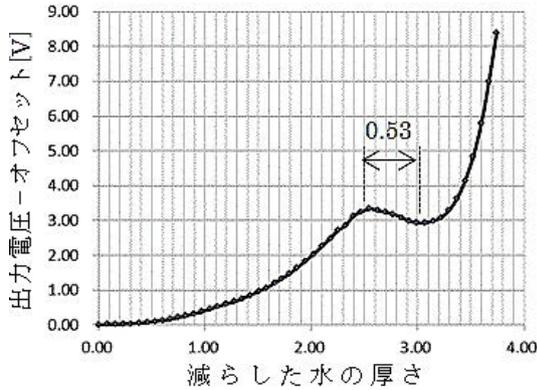


図6 水の測定結果

減った水深[mm]		電圧-オフセット[V]	
0.00	0.01	1.94	1.83
0.08	0.02	2.02	2.03
0.16	0.02	2.10	2.26
0.23	0.03	2.18	2.49
0.30	0.04	2.25	2.72
0.38	0.05	2.32	2.86
0.46	0.08	2.40	3.14
0.53	0.11	2.47	3.24
0.60	0.13	2.54	3.34
0.68	0.17	2.62	3.29
0.74	0.22	2.70	3.24
0.82	0.26	2.77	3.19
0.89	0.32	2.85	3.09
0.97	0.38	2.92	2.99
1.05	0.46	2.99	2.94
1.12	0.53	3.07	2.94
1.20	0.60	3.15	2.99
1.28	0.67	3.22	3.09
1.35	0.76	3.29	3.29
1.43	0.86	3.37	3.64
1.50	0.96	3.44	4.14
1.58	1.07	3.52	4.84
1.65	1.20	3.60	5.79
1.72	1.33	3.67	6.99
1.79	1.47	3.74	8.39
1.87	1.64		

3V  
15V

電圧計は3Vレンジと15Vレンジを途中で切り替えて測定を行い、最小目盛はそれぞれ0.1Vと0.5Vである。

#### 4. 考察・今後の課題

境界面での反射を利用して、紙中のマイクロ波の波長を測定することができた。実

際には図1で表したものの以外にも反射は起きるはずであるが、位相の変化が物質の厚みの変化によらなかつたり、伝搬によって減衰し影響が小さくなると考えられる。

水中の波長測定では極大-極小間で変化した厚さを $\delta/2$ とみなしたが、これによって誤差が大きくなった可能性がある。紙中の波長測定結果をみると、極大-極小間に変化した厚さと極小-極大間に変化した厚さが異なっている。このため、どちらかを二倍しても極大-極大間に変化した厚さとして扱うことができない。

マイクロ波の減衰が大きい物質においては紙に対して行ったような実験で波長測定ができるようになった。

今後の課題は、水のように減衰が大きく極大(極小)点が観測しづらい物質でも波長測定ができるような方法を考えることである。

#### 5. 参考文献

[1]誘電率表

[http://www.rkcinst.co.jp/ep1/yudenritsu\\_hyou.htm](http://www.rkcinst.co.jp/ep1/yudenritsu_hyou.htm)

#### 6. 謝辞

今回の研究において、顧問の米田先生をはじめ、多くの方々にアドバイスをいただきました。この場をお借りして、深くお礼申し上げます。