

# 光るアンテナの振動共鳴の研究

北海道札幌南陵高等学校化学部

3年 倉持太和 1年 濱野正太 遠藤雄大 中山喜博

## 1. はじめに

私たちは身の回りからの音を耳で聞きとります。またラジオやテレビからも音が流れてきます。音は空中を伝わる電波や導線中の電気信号に変換され、さらに空気の振動が鼓膜から内耳に入り、情報を受け取っています。しかし、音も電波も同じ原理によって伝わります。その共通の現象は「共鳴(きょうめい)」です。

「電波の共鳴」(光るアンテナ)は新しいテーマですが、「共鳴」という現象では共通の現象であることに興味を持ち研究をしました。

## 2. 「電波の共鳴」の実験装置

### ア. 実験周波数の選択

電波の共鳴装置についての事前調査では、次のことがわかりました。私たちの使用する携帯電話は800～850メガHz付近の領域と1.5ギガおよび2ギガHz付近に各社の電波の使用領域が割り当てられています。またPHSのトランシーバモードは1.9ギガが割り当てられている。携帯電話は通信中に出力の変化がみられ、特にCDMAタイプでは場所により変化するなど実験に向かないため、共鳴の実験はPHSの1.9ギガの周波数帯の電波を利用した。

イ. 電界強度を計る手頃な計測器がないので「光るアンテナ」を利用した。それを自作して実験を進めました。

## 3. 電波の共鳴器の作成と実験準備

準備するものと回路図は次の通り

- ア 高輝度発光ダイオード  
(数百mcdと輝度の高いもの)
- イ ショトキーバリアダイオード  
(高周波用1SS99)
- ウ はんだゴテ、はんだ、
- エ アンテナ(被膜銅線、裸銅線、鉄線)
- オ 携帯電話(1.5G)(PHS1.9G)

カ 定規(30cm)

作成方法

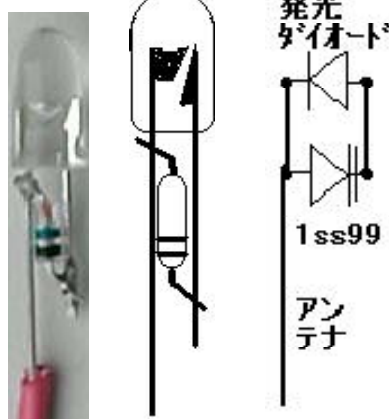


図1 写真 回路図と実体配線図

回路は非常にシンプルで部品さえ手に入れば、はんだ付け作業の経験者であれば誰でも簡単に作成できます。購入部品の原価は1つ百円程度です。

図と写真のように部品をはんだ付けし、アンテナの長さを使用電波の1/4λにすれば完成します。

## 4 電波の共鳴 実験1

携帯電話の電波で発光ダイオードが光ります。その使用電波帯域の種類により、携帯電話のメーカーや型番により反応するアンテナの長さ異なると予想しました。

### 実験結果

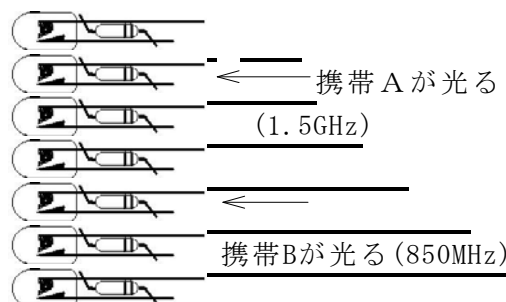


図2

携帯電話は種類により、携帯電話Aは1.5G(ギガ)、携帯電話Bは850M(メガ)のように電波の周波数が異なりました。高い周

波数では短いアンテナが反応し、低い周波数で長いアンテナが反応しました。

いくつかの思考をした結果、電波の受信と発光させるための電流変化は下記のように考えました。図では3倍振動モードの振動共鳴を想定しました。

ショットキーバリアダイオードは電流を片方向に整流し、その位置の電流値の振幅が大きければよく光ることになります。電流と電圧は位相が $\pi/4$ ことなり、図4のようになっていると考えられます。

(ショットキー及び高輝度発光ダイオードの先の部分だけでも携帯電話の電波で光ます。)

光るアンテナ

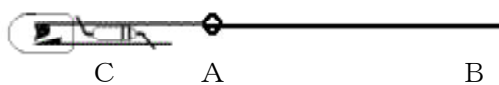


図3 (Bは半田接合点 C図の回路 A Bは接合したアンテナ全長)

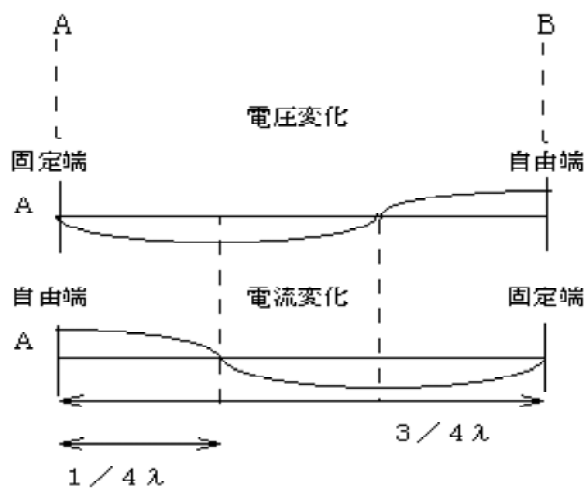


図4 電圧と電流変化の予想図

### 5. 電波の共鳴 実験2

アンテナを長くして発信電波の位置をずらして実験すると光らない所、光る所がある程度一定間隔になることも観察できます。

光る 光る 光る 光る

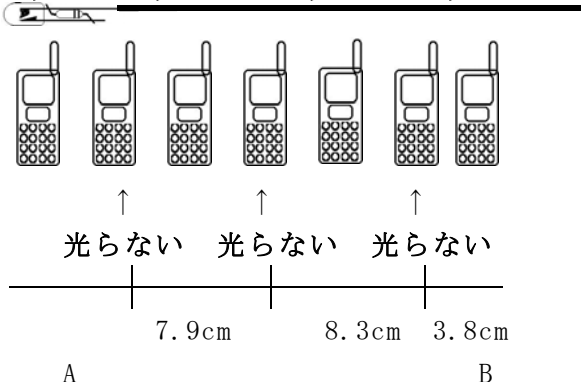


図5 (全長20cmアンテナ)

この場合、この電波(1.5ギガ)の半波長の $1/2\lambda$ が7.9cmと8.3cmと解釈されますが、2つの値にズレがあります。また3.8cmは $1/4\lambda$ と考えられますが、これらの値は線の長さで変化しました。そこで、さらに多くの長さのアンテナの長さで行ないましたが、共鳴電波の波長はこの方法では一定になりませんでした。そこで測定方法を検討し、いくつか試行錯誤をし次の実験に入りました。

### 6 電波の共鳴 実験3

#### (1) 受信強度マップの作成

光るアンテナを電波強度測定器として利用しPHSのトランシーバーモード(1.9G)の電波を使って、光るアンテナを光る状態と光らない状態の境目の位置をはかることによりアンテナ周辺の受信エリアの形を決定する実験を行ないました。実験方法は下図のように行ないました。



図6 PHSでの実験方法

方眼紙の上にアンテナを固定し、PHSを平行移動してオンオフの境を測定した。測定幅は5ミリで、発光ダイオードのレンズ正面を鏡で見て、光るかどうかのぎりぎりの状態で平面図に印を付けました。すると、次の図になりました。

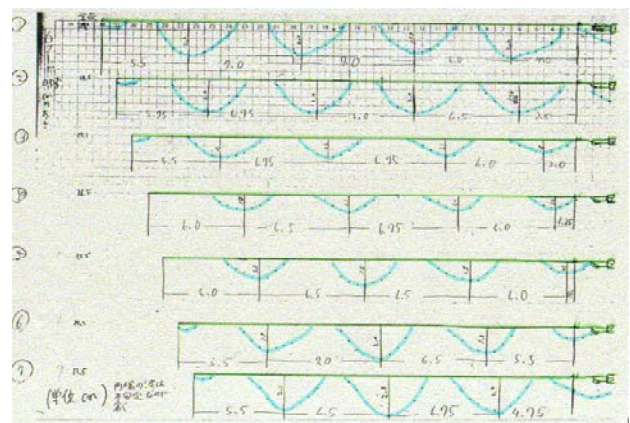


図7 実際の測定マップ  
アンテナ番号1~7

29.5 cmの接合線のから測定し、長さを10 mmずつ短くしながら30回の測定した。)

図からピークからピークを読み取ると、6.0 6.5 7.0 の値が中心部で読みとれます。発光ダイオードに近い右端の4.0や3.5などの値は、回路の影響と考えました。もう一方のアンテナの端の5.5などのは電波の受信強度が極端に弱くなり、これも回路の特別な場合と考えました。電波の反射も、気柱振動の開口端補正や片持ちハリの振動のようにきれいに1/4λにならないのかもしれませんが。

太枠内の平均は 6.54cm						
アンテナ番号	ピーク間距離					全長
1	5.50	7.00	7.00	6.00	4.00	29.50
2	5.75	6.75	6.00	6.50	3.50	28.50
3	5.50	6.50	7.50	6.00	2.00	27.50
4	6.00	6.50	7.00	5.50	1.50	26.50
5	6.00	6.50	6.50	6.00	0.50	25.50
6	5.50	7.00	6.50			24.50
7	5.50	6.50	7.00			23.50

図8 図7を表に整理

この表ではピーク間の平均距離は6.54 cmです。この値はこのアンテナ電線の中の定常波の1/2λを示してると考えました。これをさらに短くしていき測定を続けました。

次の図のようにアンテナがかなり短くなるまで測定しました。

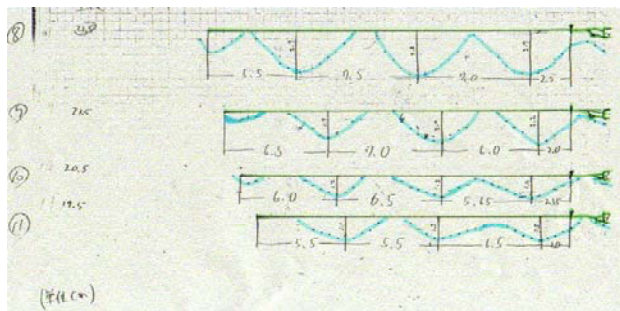


図9 アンテナ番号8～11

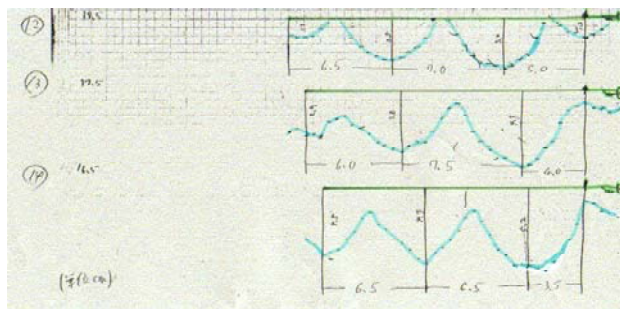


図10 アンテナ番号12～14

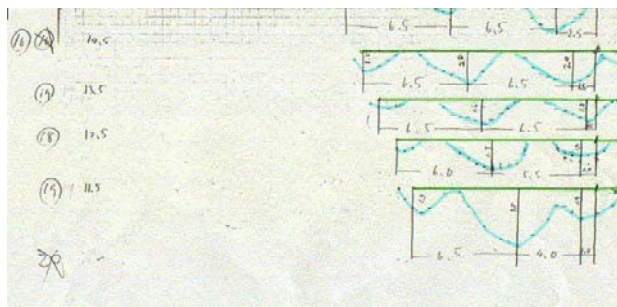


図11 アンテナ番号15～19

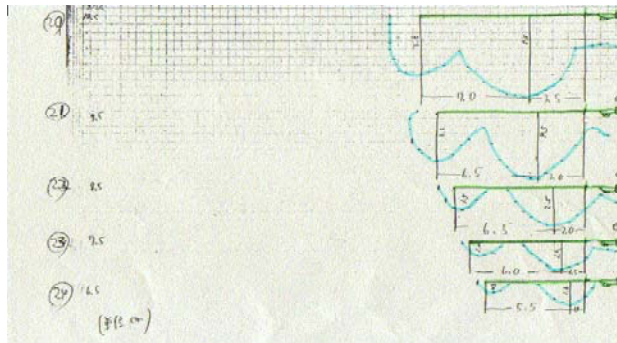


図12 アンテナ番号20～24

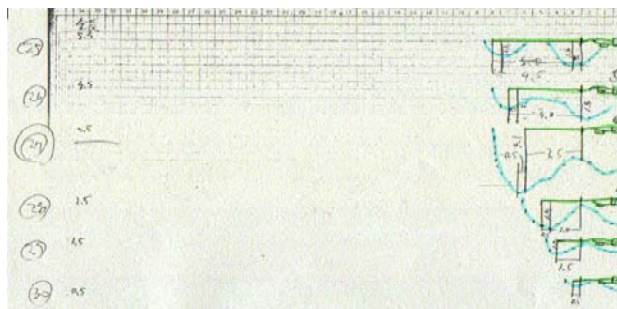


図13 アンテナ番号25～30

それぞれの図からは、図7と同様に、1/2λ = 6.6cmからずれた値もでてきて戸惑うこともあります。

ここまでの実験での図の解釈を次のように考えました。

アンテナ受信強度分布を横に見ると6～7 cmの間隔で受信強度は周期的に変化している。

- \*ただし値に変動がある。
- \*両端は波の反射の位相のずれなど何かの理由で受信強度が弱い。

## (2) 受信強度マップの分析

次に振幅についての変動に注目しました。アンテナの長さを1 cm短くした強度マップから振幅の変化を読みとりグラフ化しました。

それぞれのアンテナ番号と長ささと振幅の最大幅を表にしました。

アンテナ番号	アンテナ長	最大振幅
1	29.50	2.00
2	28.50	2.00
3	27.50	1.30
4	26.50	1.10
5	25.50	1.50
6	24.50	2.00
7	23.50	2.30
8	22.50	2.80
9	21.50	2.00
10	20.50	2.20
11	19.50	1.50
12	18.50	3.00
13	17.50	4.70
14	16.50	5.20
15	15.50	3.40
16	14.50	2.00
17	13.50	1.60
18	12.50	1.70
19	11.50	3.50
20	10.50	5.50
21	9.50	4.50
22	8.50	2.50
23	7.50	1.90
24	6.50	1.60
25	5.50	1.00
26	4.50	2.10
27	3.50	4.10
28	2.50	1.90
29	1.50	1.00
30	0.50	X

図14 アンテナ番号 長さ 最大振幅  
グラフ化したのが次の図です。

アンテナの長さ と受信強度マップの最大振幅

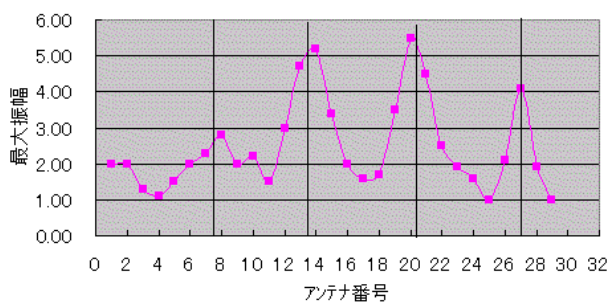


図15 受信強度の変化

(図14をグラフ化したもの)

図15の縦の線はグラフからおよそのピークを推定して引きました。その間隔の平均が6.5cmです。(縦線の7.5と25の差は19.5 / 3 = 6.5)

よって受信強度も約6.5cmで周期的に変化していることが読みとれます。

## 実験結果

今回測定した被膜線をアンテナにした場合、アンテナの中で共鳴する定常波の波長をλとすると

$$1/2\lambda = 6.5 \sim 6.6 \text{ cm}$$

である となりました。

## 7 電波の共鳴 実験4

次に実験の測定中に次の疑問が浮上したことについて追跡しました。

① 光るアンテナは実験台(木製)の上に直接接地して光らせると、なかなか光らず受信強度が弱い。

② 実験台から離すとよく光るようになる。

その原因は木材に内包する水分ではないかと推測し、先の実験ではこの問題が生じたため机から5cmほどプラスチック板で空間を作って実験を進めた経緯がありました。

そこで、水は1.9ギガHzの電波を吸収するかというテーマで実験を進めました。

実験方法は光るアンテナの受信強度を水を満杯に入れた2リットルのペットボトルから7mm厚の発泡樹脂を6枚まで重ね受信強度マップを作成するというものです。1.9ギガHzの電波を吸収するかどうかを調べます。16.5mmのアンテナを使用する理由は、図14から受信強度が良いアンテナであり長さもペットボトルにのるからです。

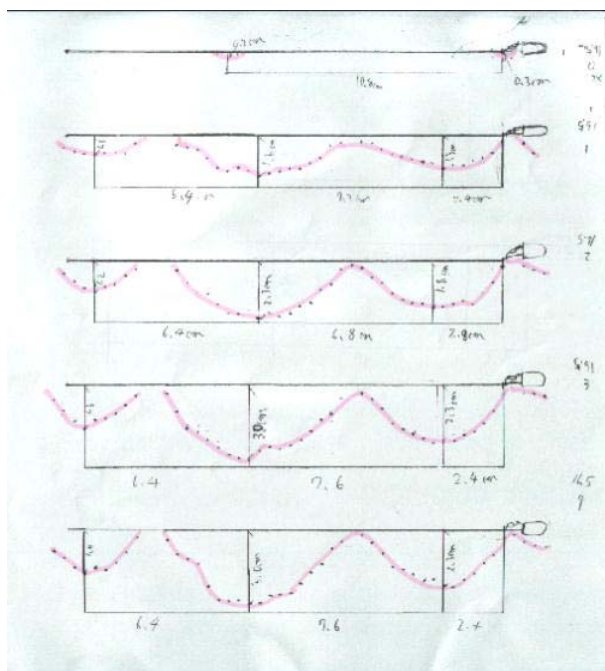


図16 水面とアンテナ受信強度分布1-4

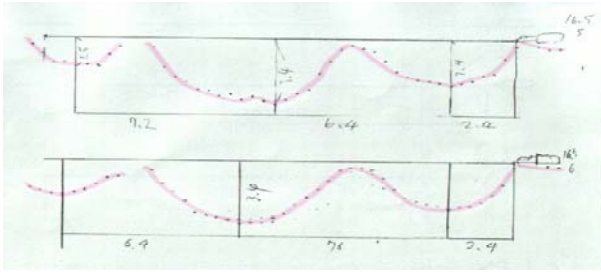


図17 水面とアンテナ受信強度分布5-6

板の枚数	水面からの距離	最大振幅長さ	アンテナ長
0	0.0	0.3	16.5
1	0.7	1.6	16.5
2	1.4	2.3	16.5
3	2.1	3.0	16.5
4	2.8	3.0	16.5
5	3.5	3.4	16.5
6	4.2	3.3	16.5

図18 水面からの距離と最大振幅表

水からの距離と光るアンテナ受信強度分布

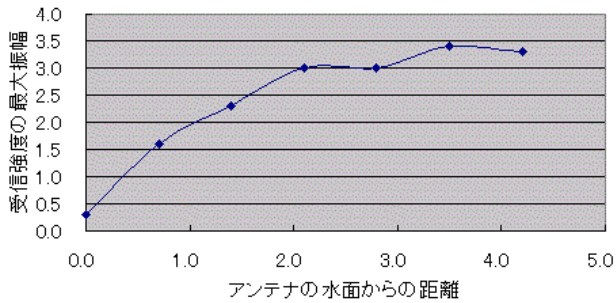


図19 水面からの距離と最大振幅

グラフから読みとれることは、

**水は1.9ギガHzの電波を吸収する**  
ということです。詳しく見ると

- ① 水面ぎりぎりの場合、水がエネルギーを吸収しアンテナを光らせることはできない。
- ② 水面から離れるにつれ吸収は弱くなりアンテナにエネルギーは伝わる
- ③ 水面からの距離が3.5cm以上になると水の影響はなくなる。ということがいえる。

## 8 電波の共鳴 実験5

作成した光るアンテナは、2ギガヘルツの電波検知器として利用できることが、これらの実験で明らかになりました。これを利用してPHSや携帯電話の帯域で八木-宇田アンテナを作成しその受信強度分布を調べてみました。

まず1. 2ギガHzのUHFアンテナデータを1.9ギガに変換して次のようなアンテナを作成しました。

1500MHZ	1200/1900=	0.7895	
	ホール長	ホール間	reへの距離
re	94.74	37.11	37.105
ra	87.63	34.74	71.842
d1	79.74	37.89	109.74
d2	77.37	34.74	144.47
d3	77.37	34.74	179.21
d4	77.37	34.74	213.95
d5	72.63	34.74	248.68
d6	72.63	34.74	283.42
d7	72.63	34.74	318.16
d8	71.05	34.74	352.89
d9	71.05	34.74	387.63
d10	67.89	34.74	422.37

図20 1.9G用八木-宇田アンテナデータ

作成は定規にカラーワイヤを上記データの通り切って接着剤で作成しました。

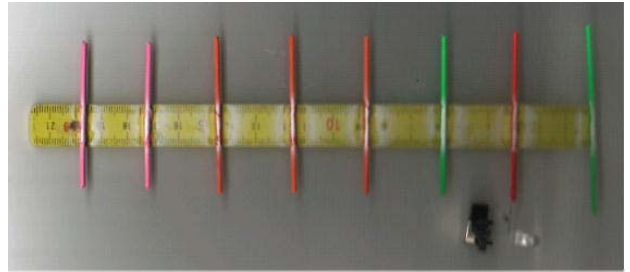


図21 作成した1.9G用八木-宇田アンテナ

図22は3素子での八木-宇田アンテナの受信強度分布を調べたものです。

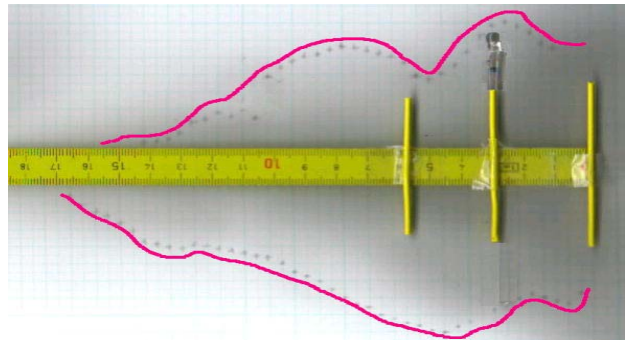


図22 1.9G PHSによる受信マップ

(3素子数の八木-宇田アンテナ)

実験結果は見たとおり指向性のある受信強度マップができました。一本だけの場合より数倍以上受信距離が伸びたこととなります。

## 9. 電波の共鳴の新しい測定方法

この間共鳴実験は、ダイオードが光かどうかを人の目で見て判定していた。つまり、発光ダイオードに敷居値である約2Vが発生したとき発光することを利用して、電界相対的強度を測定していた。そこで直接発光ダイオ

ードの+アノードとカソードーに直接デジタルマルチメータのmVレンジで受信状態を測定すると、下記のような2カ所にハンダ付けした小さな回路でも充分大きな電圧がでることに気づき、測定に利用することにした。

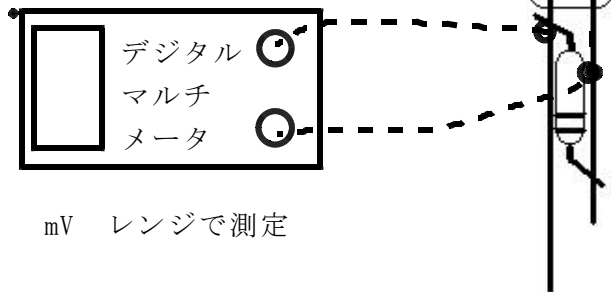


図23 結線の仕方

実際の測定に当たっては当初、値がふらついたので、下記の図のようにシールド線で結線した。デジタルマルチメータのその他の配線も丸ごとホイルのかごに入れシールドを行うと値は安定した。

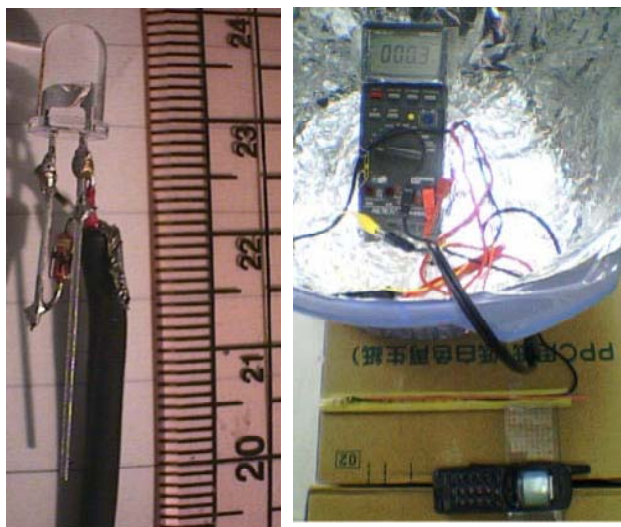


図24 結線の写真 図25 装置全体をシールド



図25 アンテナの先を定規に固定し、測定状態の安定化を図った。

簡単な回路でも高周波回路は至る所でノイズを拾い、測定までになかなか到達できなかったが、このような工夫により、測定が安定してきた。基礎データは1.9GHzのPHS電話（トランシーバーモード）で行った。

結果は下記の通り。

距離cm	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
50	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
45	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3
40	0.25	0.4	0.2	0.5	0.4
35	0.3	0.5	0.2	0.7	0.5
30	0.4	0.6	0.3	0.8	0.7
25	0.5	0.8	0.3	0.9	1
20	0.5	1	0.7	1.2	1.2
15	0.7	1.5	0.85	1.8	1.8
12	0.85	2.1	1.6	2.9	2.4
10	1	2.9	2	3.5	3.1
8	1.2	3.4	2.9	4.6	3.9
6	1.5	4.2	4.5	5.9	4.9
4	1.55	5	6.4	8	6.1
2	1.1	7.5	10.2	12.1	9.4
1	0.75	10.1	14.9	18.6	13.3
0.5	0.4	12.5	32.5	29	25
0	0.8	17.3	42.9	43.7	47

図26 一定の電波に対する距離による電圧の基礎データ

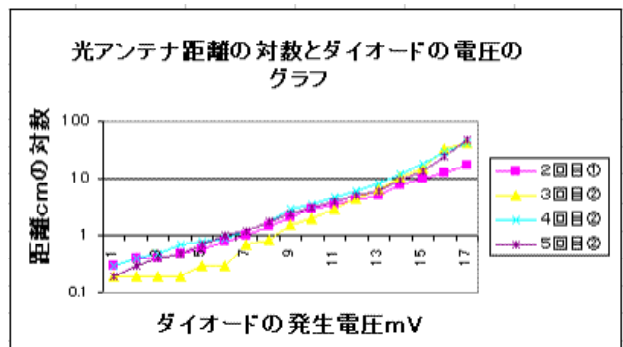


図27 距離の対数グラフ

距離により対数的に強度が減少している。

## 10. 新しい方法での測定実験

先に「電波の共鳴 実験3」の実験を新手法で実験を試みた。30cmのアンテナを5mmずつ短くしながら電波の強度を測定した。結果は下記のグラフになった。

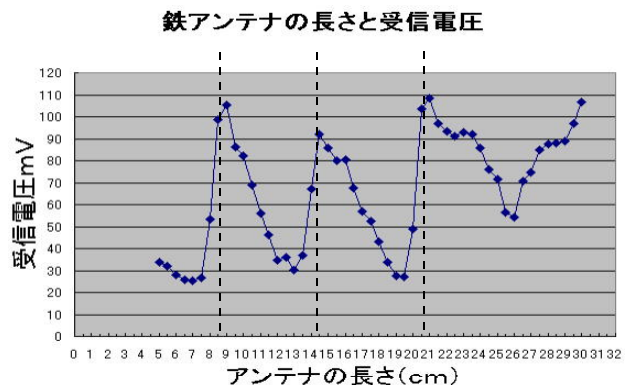


図28 鉄アンテナ（φ=0.9mm）の受信強度  
ビニールで被覆された鉄の針金（カラーハ

リガネという製品) をアンテナにし測定したグラフである。

この周期的変化を読み取ると、鉄アンテナの内部での共振する電波の波の長さは6.5cmとなる。これは図15から読み取った値と同じである。つまり、このアンテナの中では1波長13cmで電波が共鳴していると考えられる。

次にどうアンテナを作製し同様の実験を行う

### 銅アンテナの長さとう受信電圧

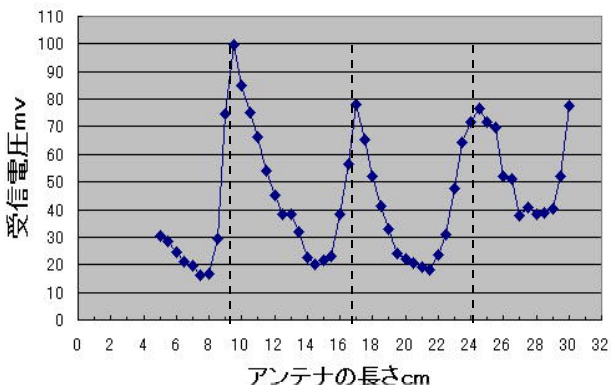


図29 銅アンテナ ( $\phi=0.9\text{mm}$ ) の受信強度  
銅のアンテナでは同様に銅アンテナの内部での共振する電波の波の長さは7.25cmとなった。銅の方が電界速度が速いという結果である。

### 11. 八木・宇田アンテナの基礎

次にこのアンテナが八木アンテナとして機能するかを調べた。PHS電話の発信に対して、後方から反射板として0.9mmの鉄の針金、及び銅線を配置して調べた。

アンテナとPHSの距離は1cmと10cmに固定して、2つのデータを得た。

### 鉄棒を反射板とした時の距離による受信強度

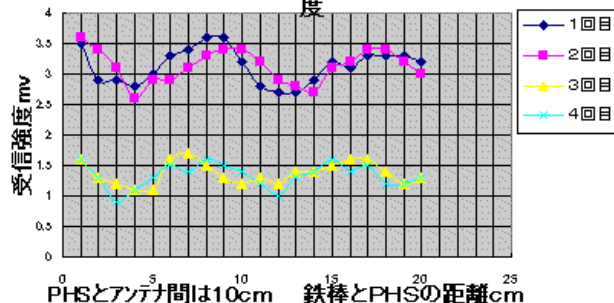


図30 0.9mm鉄針金を反射板とした場合  
同じ実験であるが、時間をおいて2回ずつ測定した。強度が異なるのは微妙にアンテナの向きが変わるとか環境変化があったからと思われる。(ピーク間距離は4.5mmと読める)

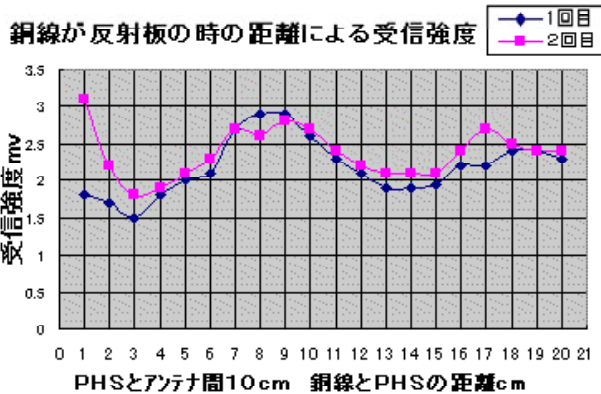


図31 0.9mm導線を反射板にした場合  
ややピークが不鮮明であるが、その位置により受信強度が大きくなることが確認できる。(この場合もピーク間距離は4.5cm)  
このデータから、今回の材料を利用したとき、1.9GHzの電波では、八木アンテナの放射版と反射板の距離は4.5cmとなった。

### 12. 水の影響の測定

図19で測った水の影響についても再度測定した。測定方法は発信PHSの後方からペットボトルを近づけ、距離による受信電圧変化を見た。測定方法は図32に図示。



図32 ペットボトルの影響を測定する時の写真

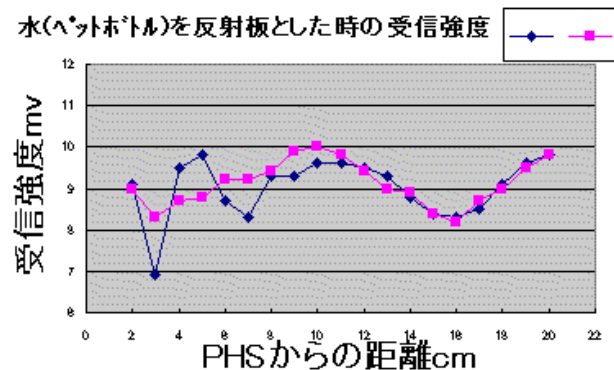


図32 ペットボトルの影響  
周期的な変化があるが、判ることは水は受信強度を低くする傾向にあることである。

### 13. 終わりに

光るアンテナは携帯電話のアクセサリとして手軽に自作できたが、どうすれば良く光らせることができるか工夫を試みるうちに、アンテナが電波を受信する仕組みに興味を持ち、その受信強度を調べることにした。

まずダイオードの発光強度で受信マップを作製し、その後発光ダイオードの電圧をデジタルマルチメータで測り研究を進めた。この方法は効率的に測定ができたので、棒アンテナと八木アンテナの受信強度を調べた。

1.9GのPHSの電波は真空中で $30/1.9=15.8\text{cm}$ の波長の電磁波であるが、反射板の位置により受信強度が増し八木アンテナとして機能することを確かめた。

また、水による電波の吸収があることが判ったがその位置によりその強度が周期的に変化するという結果が出た。

携帯電話の受信強度は、人間の顔や頭あるいは手の水分の反射吸収により、その位置を適正にすると受信強度を増すことができる。また八木アンテナも簡単に作製でき受信強度の弱い場所で役に立つことが判った。

この光るアンテナは携帯電話などの電波を受信し光のエネルギーに変換するから、このアンテナを網目状にし、ペースメーカーを持つ人が付ければ、電波を吸収しトラブルを防ぐことができるし、電波源を検知できると思う。