

GHz帯域電界強度計の教材化

ハンダなしで作成する電波受信素子による受信強度測定と八木アンテナの指向性の確認

北海道札幌南陵高等学校
菅原 陽

キーワード

光るアンテナ DMMのmV測定 ハンダなしで作成 八木アンテナの指向性 ノイズ対策

1. はじめに

簡易な電波受信素子(光るアンテナ)を作成して、携帯電話を電波発信源とする受信強度を測定することができる。その測定の工夫の変遷と、アンテナの種類による測定の例や水の影響等を考察した。さらに、ハンダを使わないで受信素子を作成する工夫を紹介する。mV測定可能なデジタルマルチメーターがあれば、その周辺のノイズ対策を施し電波受信強度を数値測定できる。

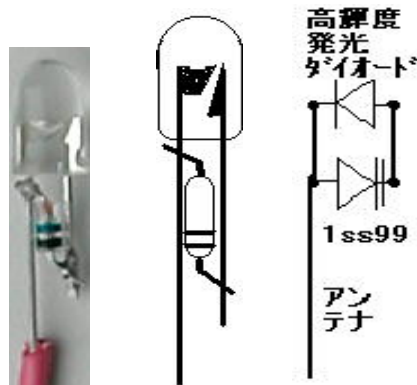


図1 写真 回路図と実体配線図

2. 「電波の共鳴」の実験装置

はじめに、電波の共鳴について報告する。

ア. 実験周波数の選択

電波の共鳴装置の実験に利用したのは、PHSのトランシーバモードの電波である。出力が安定していることが選んだ理由である。

イ. 電波の強度を計る方法

当初は「光るアンテナ」が光るかどうかを利用したが、後半は「光るアンテナ」のダイオード電圧をデジタルマルチメーターで計測できることに気づき実験を進めた。

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 (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

回路は非常にシンプルで、はんだ付け作業は簡単である。(ハンダなしで作成する工夫も最後に紹介する。) 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波長の $1/4\lambda$ にすれば完成する。

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る。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。

実験結果

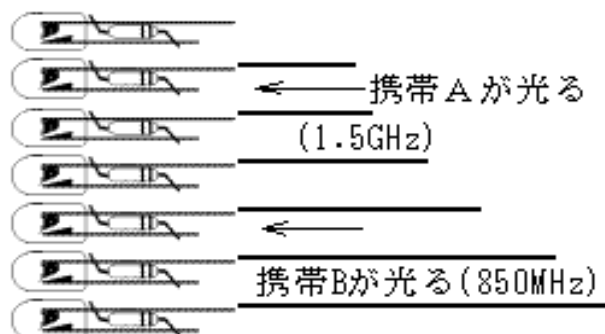


図2 異なるアンテナ長の反応

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た。図では3倍振動モードの振動共鳴を想定した。

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る。電流と電圧は位相が $\pi/4$ 遅れるので、図4のようになっていると考えられる。

(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る。)

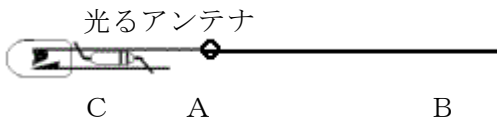


図3 (Cはショットキバリアダイオードと半田接合点 A Bは接合したアンテナ全長)

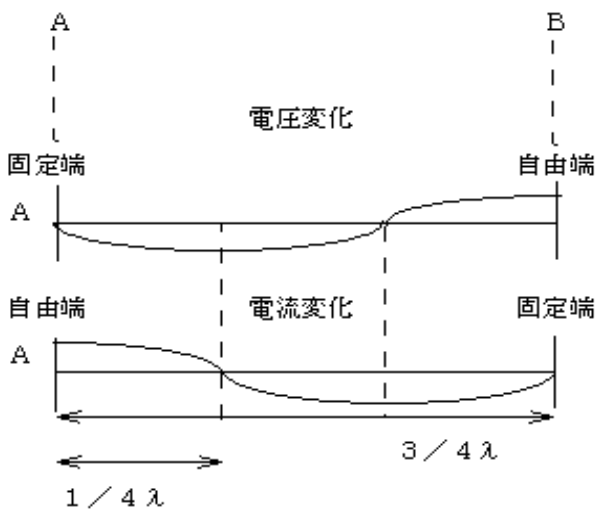


図4 電圧と電流変化の想定図

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、光る所があることも観察できる。

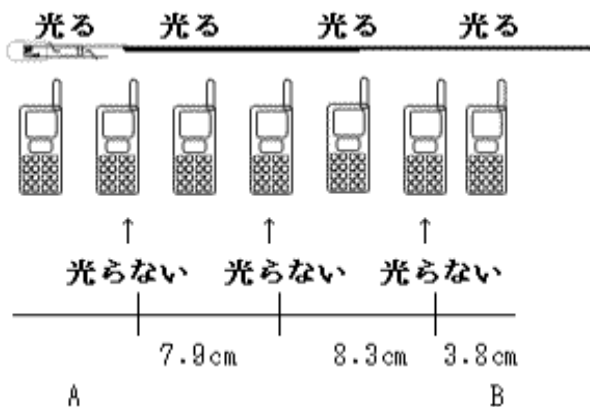


図5 (全長20cmアンテナ)

この場合、この電波(1.9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 $1/4\lambda$ と考えられるが、これらの値は線の長さで変化したが、さらに多くの長さのアンテナの長さで行なったが、共鳴電波の波長はこの方法では一定にならない。

6 電波の共鳴 実験3

(1) 受信強度マップの作成

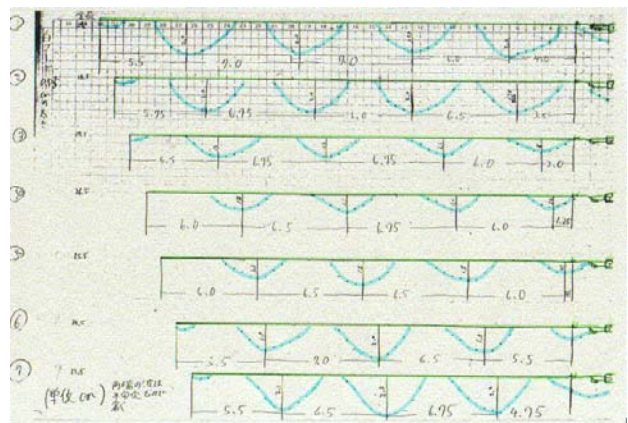
光るアンテナを電波強度測定器として利用しPHSのトランシーバーモード(1.9G)の電波を使って、光るアンテナを光る状態と光らない状態の境目の位置をはかることによりアンテナ周辺の受信エ



リアの形を決定する実験を下図のように行なった。

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、次の図



になった。(右端は発光ダイオード)

図7 実際の測定マップ

アンテナ番号1~7

29.5cmのアンテナを、10mmずつ短くし30回の測定をしました。図の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る。

太枠内の平均は 6.54cm

アンテナ番号	ピーク間距離					全長
	1	2	3	4	5	
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を整理し表にしたもの)

この表では中心部の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 $1/2\lambda$ を示してると考えた。これをさらに短くし測定を続けた。次の図のようにアンテナがかなり短くなるまで行った。

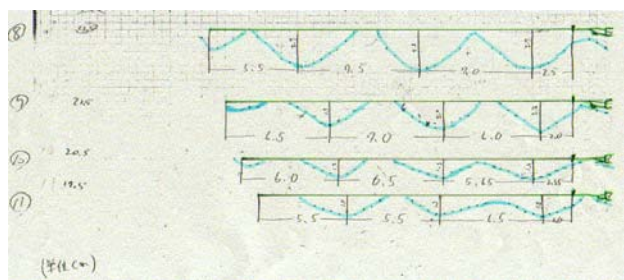


図9 アンテナ番号 8 ~ 11

図10 アンテナ番号 12 ~ 14 省略

図11 アンテナ番号 15 ~ 19 省略

図12 アンテナ番号 20 ~ 24 省略

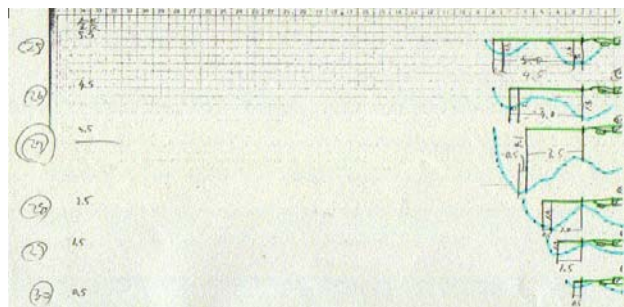


図13 アンテナ番号 25 ~ 30

それぞれの図からは、図7と同様に、 $1/2\lambda = 6.6\text{cm}$ からずれた値もでてきて戸惑うこともある。ここまでの実験から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。

(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で振幅の最大幅を表にしました。最大幅は受信強度を示し、その変化

は受信強度の変化と考えた。

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	×

図14

アンテナ番号と長さ最大振幅

図14をグラフ化したのが次の図15である。

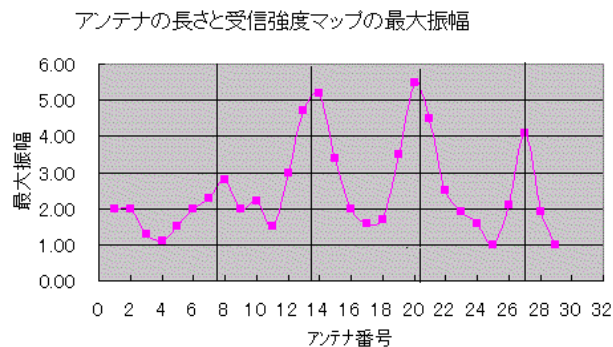


図15 受信強度の変化

図15の縦の線はグラフからおよそのピークを推定した。その間隔の平均が 6.5 cm となる。

(縦線の 7.5 と 25 の差は $19.5 / 3 = 6.5$)

よって受信強度も約 6.5 cm で周期的に変化していることが読みとれる。

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 $1/2\lambda = 6.55\text{cm}$ となる。

7 電波の共鳴 実験4

次に実験の測定中に浮上した次の疑問について追求した。

① 光るアンテナは木製の実験台の上に直接接地すると、なかなか光らず受信強度が弱い。

② 台から離すとよく光るようになる。

原因は木材に内包する水分であると推測した。

そこで、水は1.9 GHzの電波に影響するかとテーマで実験を進めた。

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した。1.9 GHzの電波に道影響するかどうかを調べた。

(図16 水面とアンテナ受信強度分布 1-4 省略)

(図17 水面とアンテナ受信強度分布 5-6 省略)

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

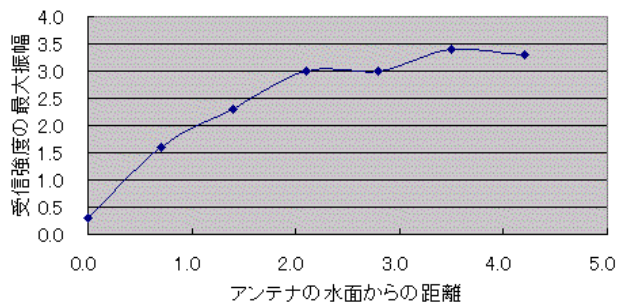


図19 水面からの距離と最大振幅

グラフから読みとれることは、

水は1.9 GHzの電波受信強度を小さくするということである。詳しく見ると

- ① 水面ぎりぎりの場合水の影響で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

次に八木-宇田アンテナの1.2 GHzのUHFアンテナデータを1.9 GHzに変換して作成した。

1900MHZ	1200/1900=	0.6316	
	ホール長	ホール間	re~の距離
re	75.79	29.68	29.684
ra	70.11	27.79	57.474
d1	63.79	30.32	87.789
d2	61.89	27.79	115.58
d3	61.89	27.79	143.37
d4	61.89	27.79	171.16
d5	58.11	27.79	198.95
d6	58.11	27.79	226.74
d7	58.11	27.79	254.53
d8	56.84	27.79	282.32
d9	56.84	27.79	310.11
d10	54.32	27.79	337.89

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とおり切って接着剤で作成した。

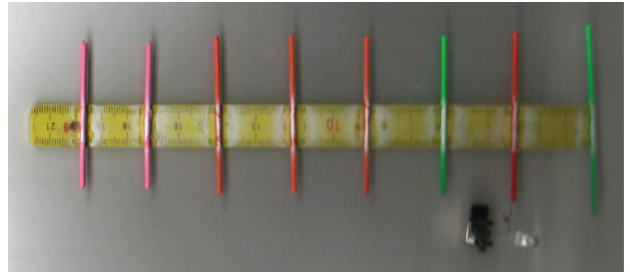


図21 作成した1.9G用八木-宇田アンテナ

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。

この図はこの素子が光るぎりぎりの位置をプロットしたものである。実際の測定にはその判定にかなり苦労した。

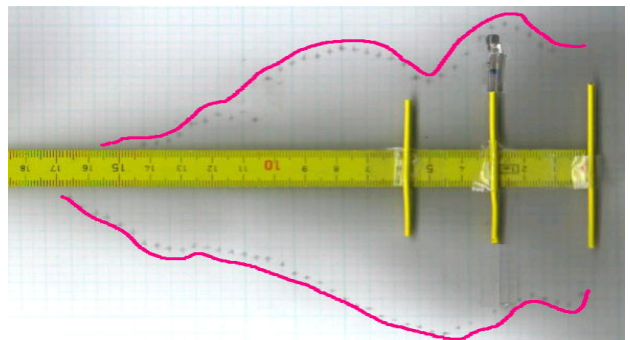


図22 1.9GPHSによる受信マップ

(3素子数の八木-宇田アンテナ)

真ん中のカラー針金の鉄と被覆部分の間に、受信素子(光るアンテナ)を差し込んでいる。

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た。一本の場合と異なり指向性が生じ受信距離は数倍以上伸びた。

9. 電波の共鳴の新しい測定方法

これまでダイオードが光るかどうかを人の目で見て判定したが、デジタルマルチメータでダイオードの両端の電圧を測定すると、下記のような回路でも充分大きな電圧がでることに気づき、測定に利用した。

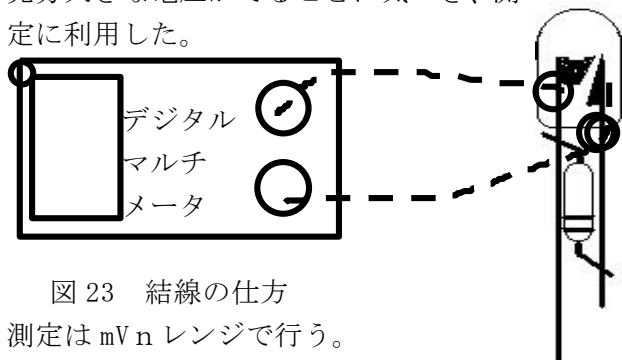


図 23 結線の仕方

測定は mV n レンジで行う。

(図 24 結線の写真 省略)

(図 25 装置をシールドした様子 省略)

はじめは至る所でノイズを拾い、測定できなかったが、装置のシールドの工夫により、測定が安定した。基礎データは 1.9GHz の PHS 電話 (トランシーバモード) で行った。

(図 26 距離による電圧の変化 省略)

その対数グラフはおおよそ直線になった。

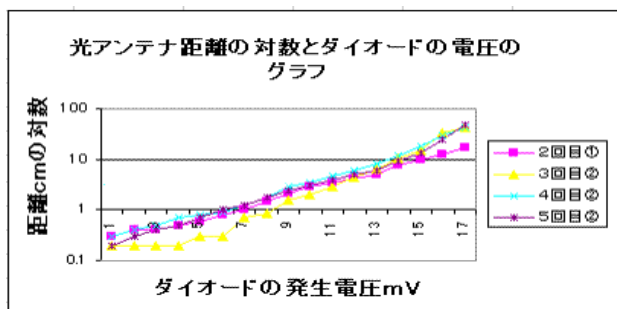


図 27 距離の対数グラフ

10. 新しい方法での測定実験

先の「電波の共鳴 実験 3」と同様の実験をこの新手法で 30 cm のアンテナを 5 mm ずつ短くしながら電波の強度を測定し実験した。

結果は下記のグラフになった。

鉄アンテナの長さ と 受信電圧

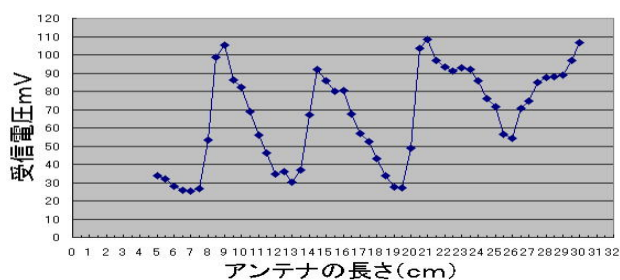


図 28 鉄アンテナ ($\phi=0.9\text{mm}$) の受信強度
ビニールで被覆された鉄針金のアンテナはこの

グラフから共振する波の長さは 6.5 cm となる。これは図 15 から読み取った値と同じである。1 波長 13 cm で電波が共鳴していると解釈できる。

次に銅のアンテナで実験を行った。

銅アンテナの長さ と 受信電圧

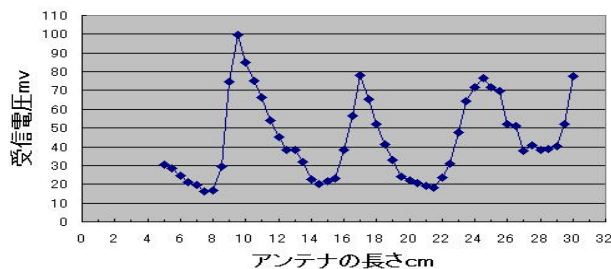


図 29 銅アンテナ ($\phi=0.9\text{mm}$) の受信強度

銅のアンテナでは同様に銅アンテナの共振する電波の波の長さは 7.25 cm 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の測定

次に八木アンテナの反射板として 0.9mm の鉄の針と銅線を配置して調べた。

アンテナと PHS の距離は 10 cm に固定しデータを得た。

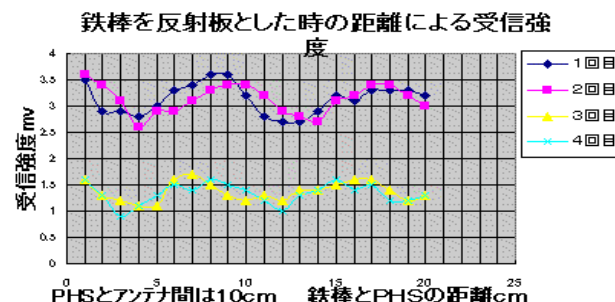


図 30 0.9mm 鉄針金を反射板とした場合

同じ実験だが、時間をおいて 2 回ずつ測定しました。強度が異なるのは微妙にアンテナの向きが変わり環境変化があったからと考える。(ピーク間距離は 9 cm と読める)

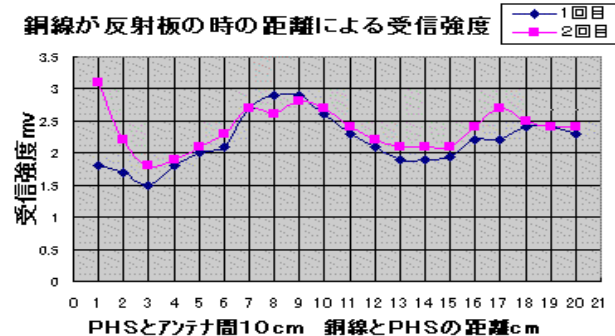


図 31 0.9mm 銅線が反射板の場合

このデータからも、1.9GHz の電波では、ピーク間

距離は約9cmとなり、鉄でも銅でも反射板としては同じ結果である。

12. 水の影響の測定

図19で測った水の影響についても測定した。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測定した。

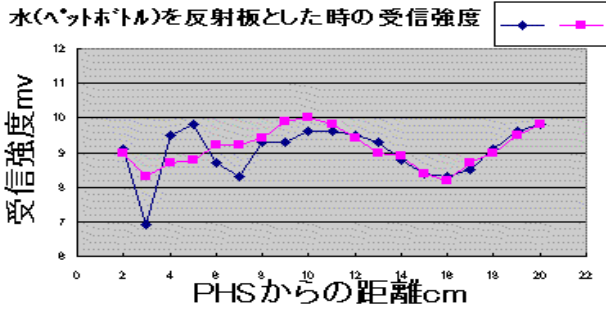


図32 ペットボトル水の影響

3cmでは強度が低く、受信強度の変化から八木アンテナの反射板の機能もあることが判ります。

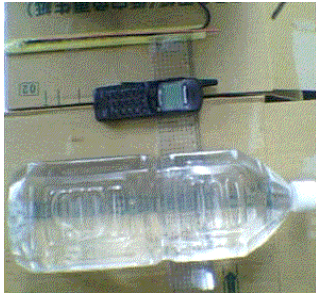


図33 ペットボトルの水の影響を測定する時の写真

13 ハンダなしで作成する光るアンテナの作成

科学の祭典などで「光るアンテナ」の作成ブースを運営することもあるが、ハンダなしで作成し、ストローの中に収納する方法を紹介する。このことにより実験室から離れて、一般教室での作成と実験も可能である。

準備するもの 作り方

作成方法は写真で解説します。

図と写真のように部品をつなげます。

1 回路点検 携帯で確かめる



2 ハンダ付けの代わりにねじる



3 もう一方もねじる



(ストローにはいるように変形する)



4 導線に向いて線を返す

5 銅線部分に足をきつく巻く



6 ストローに穴を開ける



7 ストロー内部にセットする



結目はストローの穴にロックされ、回路は外力に強く安定に動作する。

今回の素子の部品総額は 約20円 である。

DMM測定器の数が準備できれば、学生実験の費用もかなり軽減できる。