

# 高等学校物理における探究的な活動を実現するための教材の提案

## 1 はじめに

平成 21 年 3 月に告示された高等学校学習指導要領では、物理に関係した科目として「物理基礎」と「物理」が設定されている。これらの二つの科目には、大項目ごとに「探究活動」が設けられており、観察、実験などを行い、物理学的に探究する方法を習得させ、報告書を作成させたり、発表を行う機会を設けたりすることが求められている。

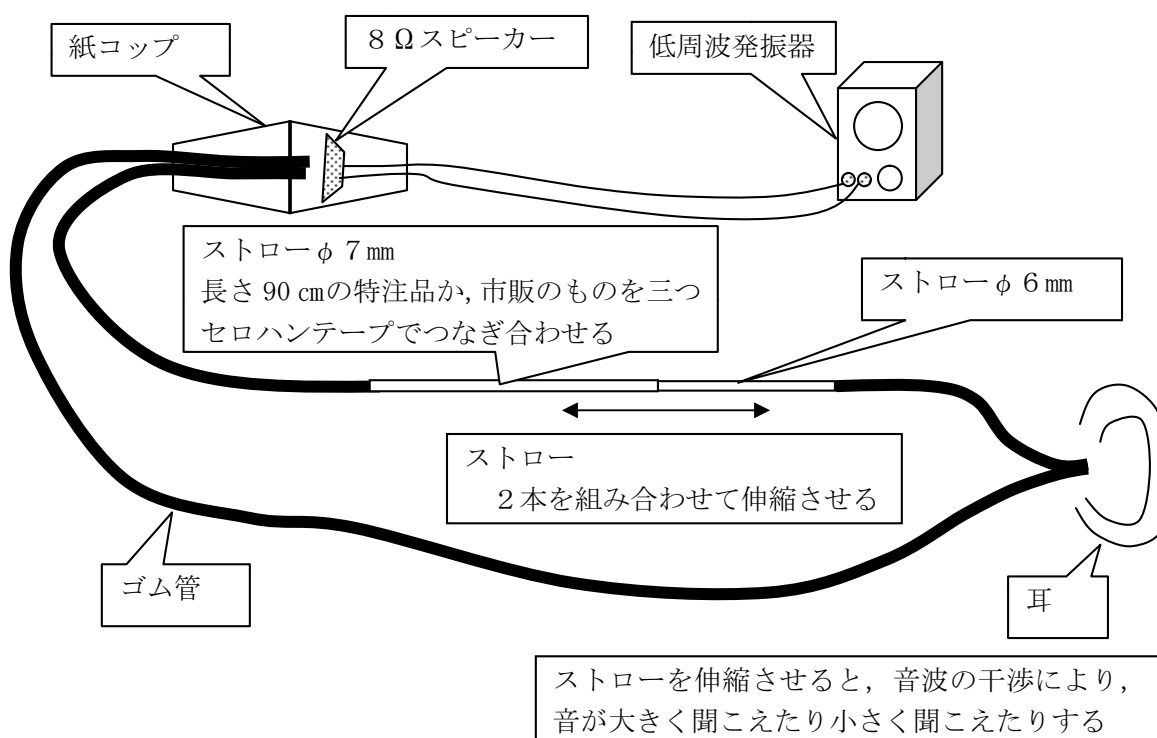
本稿では、波動（音波）と電磁気（電界）の二つの単元について、探究的な活動に活用できる教材及び観察、実験の手法をそれぞれ一つずつ理論とともに紹介する。ここで紹介する教材は、次の二つの特徴を持っている。

- ①観察、実験に際して、柔軟な条件設定が可能となる自由度を持っている。
- ②コンピュータシミュレーションの結果と、実際の観察、実験の結果とを対比できる。

高等学校で平成 24 年度から実施される新しい科目「物理基礎」「物理」の参考にいただければ幸いである。

## 2 吉備高原式音波干渉装置（吉備音管）の作製とその理論

同じ音源から出る音波を、二つの異なるルートに分け、再び合流させると干渉が生じる。二つのルートの差が音波の波長の整数倍であれば、強め合って大きく聞こえ、波長の半整数倍であれば弱め合って弱く聞こえる。この現象を低周波発振器、8 Ω のスピーカー、ストロー（φ 7 mm と φ 6 mm）、ゴム管を用いた装置で確認することができる。



ストローを徐々に伸ばして音の大きさを詳細に調べていくと、音の大きなところがしばらく続いた後、突然小さくなり、またすぐに大きくなるという現象が確認できる。したがって波長の測定に当たっては、極大の位置を特定することが難しいので、極小の位置で測定することが望ましい。この現象は、二つの経路（長さ  $l_1$  と  $l_2$ ）を通ってきた音波の大きさがそれぞれ異なっていることに起因する現象である。このことは、それぞれの音波を数式で表し、数学的に合成することによって理解することができる。次に、その数式を示す。

二つの経路（長さ  $l_1$  と  $l_2$ ）を通ってきた音波の振幅をそれぞれ  $A_1$ ,  $A_2$ , 音波の角周波数を  $\omega$ , 波長を  $\lambda$  とすると、合成波  $y$  は次のように表される。

$$y = A_1 \sin(\omega t - 2\pi \frac{l_1}{\lambda}) + A_2 \sin(\omega t - 2\pi \frac{l_2}{\lambda})$$

ここで  $L_1 = 2\pi \frac{l_1}{\lambda}$ ,  $L_2 = 2\pi \frac{l_2}{\lambda}$ ,  $x = \omega t$  とおくと

$$y = A_1 \sin(x - L_1) + A_2 \sin(x - L_2)$$

$$= A_1 (\sin x \cos L_1 - \cos x \sin L_1) + A_2 (\sin x \cos L_2 - \cos x \sin L_2)$$

$$= (A_1 \cos L_1 + A_2 \cos L_2) \sin x - (A_1 \sin L_1 + A_2 \sin L_2) \cos x$$

ここで  $\alpha = A_1 \cos L_1 + A_2 \cos L_2$ ,  $\beta = A_1 \sin L_1 + A_2 \sin L_2$  とおくと

$$y = \alpha \sin x - \beta \cos x$$

$$= \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sin(x - \gamma) \quad \text{ここで } \tan \gamma = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = (A_1^2 \cos^2 L_1 + 2A_1 A_2 \cos L_1 \cos L_2 + A_2^2 \cos^2 L_2)$$

$$+ (A_1^2 \sin^2 L_1 + 2A_1 A_2 \sin L_1 \sin L_2 + A_2^2 \sin^2 L_2)$$

$$= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 (\sin L_1 \sin L_2 + \cos L_1 \cos L_2)$$

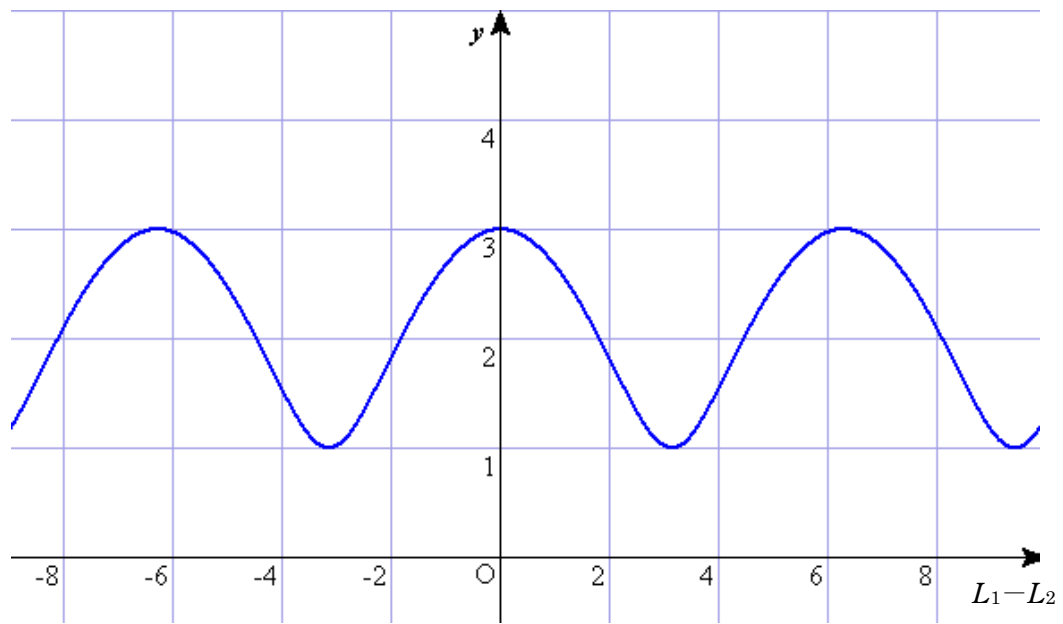
$$= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(L_1 - L_2)$$

したがって  $L_1 - L_2 = 0$  のとき合成波の振幅  $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$  は最大となる。

$A_1 = 1, A_2 = 2$  とすると合成波の振幅は、 $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = \sqrt{5 + 4 \cos(L_1 - L_2)}$  となる。

このときの合成波の振幅をグラフにすると、次のようになる。このグラフから、極大の幅よりも極小の幅の方が狭いことが分かる。

このグラフの縦軸  $y$  は合成波の振幅で、横軸は二つの経路の位相差  $L_1 - L_2$  である。



### 3 電界

導電紙を用い、等電位線を描く実験があるが、この等電位線を表計算ソフトウェアを用いてシミュレートすることが可能である。ワークシートを平面（導電紙）とみなし、任意の位置（2か所）の電位を指定することにより、等高線の作図機能を使って、その平面上の電界の様子（等電位線）を知ることができる。（3）では、この結果を実際の導電紙で確かめるための実験を紹介する。

(1) ラプラス方程式の差分化（微分方程式を足し算に）

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} = 0 \quad \text{1次元の場合は } \frac{d^2u}{dx^2} = 0 \text{ で, } \frac{du}{dx} = c \quad \text{つまり傾きが一定であることを示している。}$$

$$\text{ここで, } \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{\frac{du(x+h,y)}{dx} - \frac{du(x-h,y)}{dx}}{2h}$$

$$= \frac{\frac{u(x+2h,y) - u(x,y)}{2h} - \frac{u(x,y) - u(x-2h,y)}{2h}}{2h}$$

$$= \frac{u(x+2h,y) + u(x-2h,y) - 2u(x,y)}{4h^2}$$

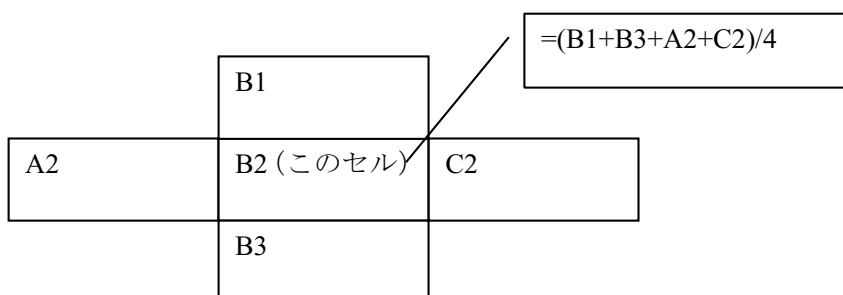
$$\text{同様に, } \frac{d^2u}{dy^2} = \frac{u(x,y+2h) + u(x,y-2h) - 2u(x,y)}{4h^2}$$

$$\text{よって } \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} = 0 \quad \text{は,}$$

$$\frac{u(x+2h,y) + u(x-2h,y) - 2u(x,y)}{4h^2} + \frac{u(x,y+2h) + u(x,y-2h) - 2u(x,y)}{4h^2} = 0$$

$$u(x,y) = \frac{u(x+2h,y) + u(x-2h,y) + u(x,y+2h) + u(x,y-2h)}{4}$$

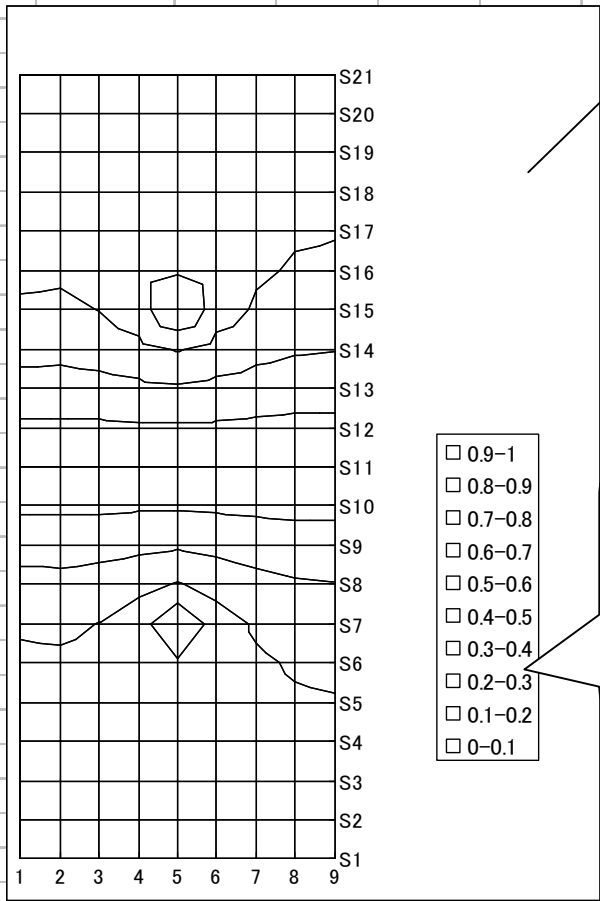
表計算ソフトウェアでの計算は、それぞれのセルの値は、上下左右のセルの値を足して4で割った値となる。



セルに数式を埋め込んでゆくと、循環参照となるので、あらかじめ[ツール]-[オプション]-[計算方法]で、「自動計算」のチェックをはずし、「手動」に切り替える。さらに、「反復計算」にチェックを入れておく。[F・9]キーで再計算が実行される。

(2) 実際のワークシート

C6	=(D6+C7)/2 下と右のセルの値の平均値(4隅は同様)				G6	=(F6+H6+2*G7)/4 左右のセルの値と、下のセルの値を2倍したもの足して4で割る				
D7	0.166	0.166	0.166	0.1663	0.1674	0.1695	0.1722	0.1743	0.1751	S1
=(D6+D8+C7+E7)/4 上下左右の四つのセルの値の和を4で割る	0.166	0.1661	0.1659	0.1658	0.1668	0.1693	0.1724	0.175	0.1759	S2
	0.1671	0.1681	0.1656	0.1644	0.1648	0.1683	0.1732	0.1772	0.1787	S3
	0.1671	0.1681	0.1656	0.1613	0.1598	0.166	0.175	0.1819	0.1845	S4
	0.1712	0.1734	0.1673	0.1555	0.1469	0.1611	0.1787	0.1911	0.1953	S5
	0.1831	0.187	0.1747	0.1463	0.1114	0.1525	0.1878	0.2082	0.2148	S6
	0.2116	0.2169	0.1983	0.1436	0	0.1498	0.2117	0.2393	0.2474	S7
	0.2665	0.2705	0.2582	0.2296	0.1945	0.2351	0.2698	0.2898	0.2962	S8
	0.3382	0.3404	0.3343	0.3223	0.3133	0.3263	0.3426	0.3539	0.3578	S9
	0.4177	0.4186	0.4162	0.4121	0.4099	0.4142	0.4206	0.4254	0.4271	S10
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	S11
	0.5823	0.5814	0.5838	0.5879	0.5901	0.5858	0.5794	0.5746	0.5729	S12
	0.6618	0.6596	0.6657	0.6777	0.6867	0.6737	0.6574	0.6461	0.6422	S13
	0.7335	0.7295	0.7418	0.7704	0.8055	0.7649	0.7302	0.7102	0.7038	S14
	0.7884	0.7831	0.8017	0.8564	1	0.8502	0.7883	0.7607	0.7526	S15
	0.8169	0.813	0.8253	0.8537	0.8886	0.8475	0.8122	0.7918	0.7852	S16
	0.8288	0.8266	0.8327	0.8445	0.8531	0.8389	0.8213	0.8089	0.8047	S17
	0.8329	0.8319	0.8344	0.8387	0.8402	0.834	0.825	0.8181	0.8155	S18
	0.8339	0.8335	0.8344	0.8356	0.8352	0.8317	0.8268	0.8228	0.8213	S19
	0.834	0.8339	0.8341	0.8342	0.8332	0.8307	0.8276	0.825	0.8241	S20
	0.834	0.834	0.834	0.8337	0.8326	0.8305	0.8278	0.8257	0.8249	S21



[グラフ]-[等高線]-  
[ワイヤーフレーム 等高  
線グラフ]

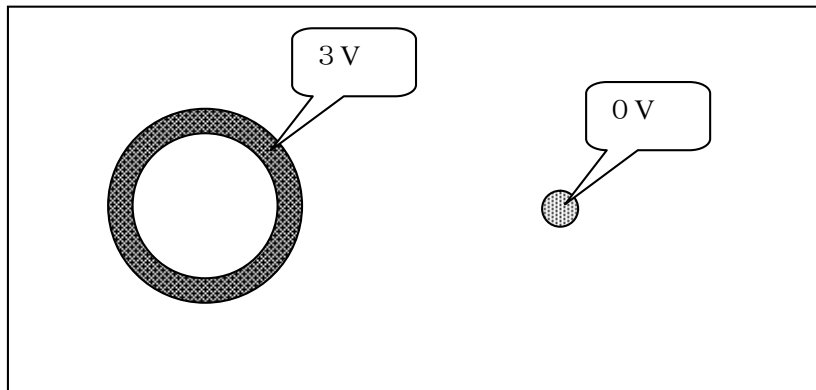
- 0.9-1
- 0.8-0.9
- 0.7-0.8
- 0.6-0.7
- 0.5-0.6
- 0.4-0.5
- 0.3-0.4
- 0.2-0.3
- 0.1-0.2
- 0-0.1

ここをダブルクリックし、[凡例の書式設定]-[目盛]-[目盛間隔]で、数値を変えて等高線の間隔を変えることが可能

(3) 応用例

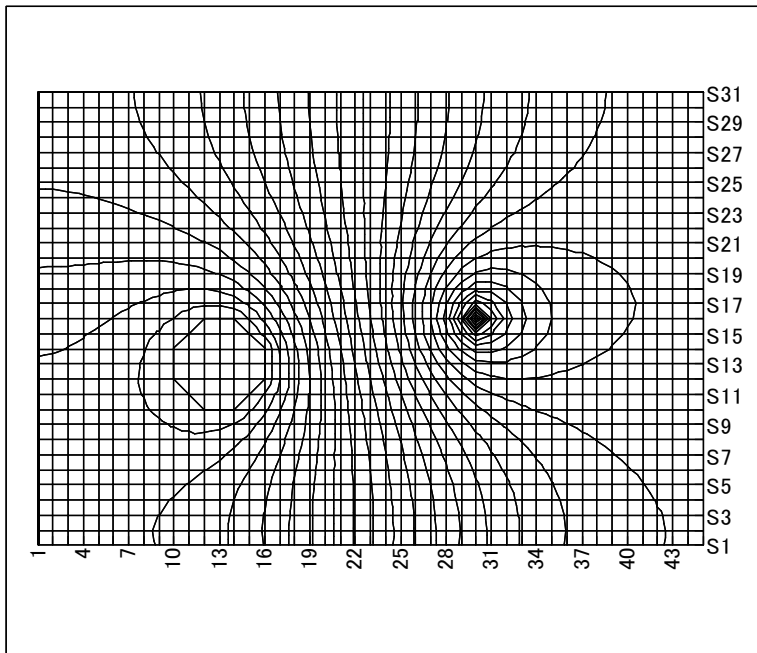
(2) のワークシートの行と列を増やして広く使い、セルの幅と高さをほぼ同じ長さにする、任意の電位の分布を指定し、その周りの電位の様子をを知ることができる。次の図は、導電紙上の左側の電極を 3V に、右側の電極を 0V にしたときの例を表している。

【導電紙と電極】

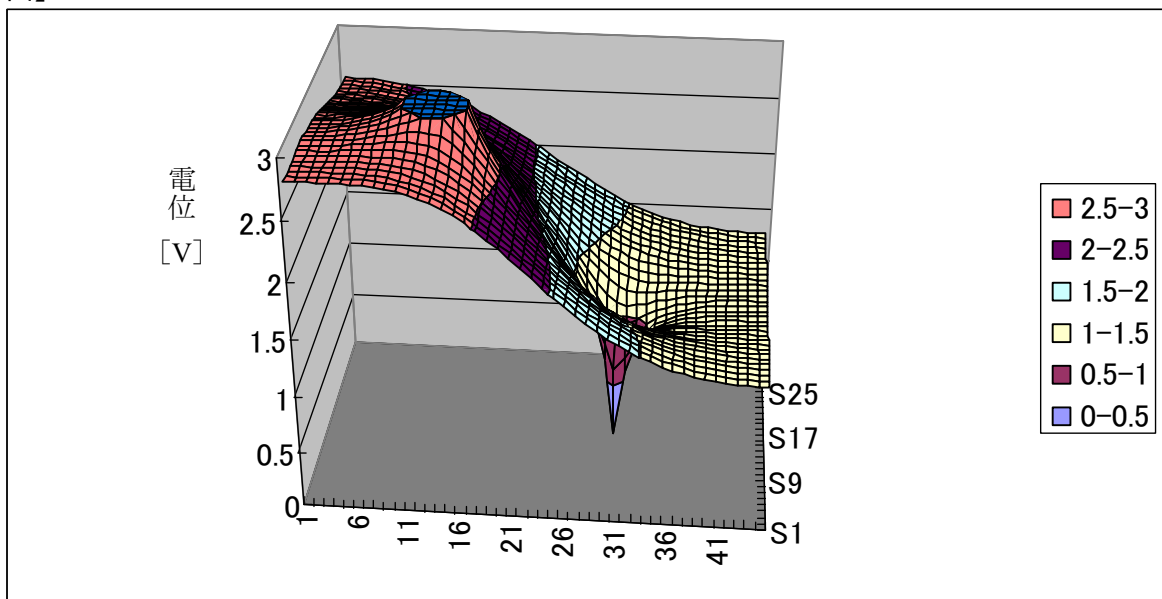


【ワークシート上の等電位線】

縦軸と横軸にはセルの位置を表す記号・番号を示してある。



【立体図】



#### (4) 導電紙を用いた実験

導電紙の上に電極を設けることにより、(3)のシミュレーションによる結果を実際に確かめることができる。

ここでは、次の二つの方法を紹介する。

- ① 導電紙の上に導電テープを適当な形にはり付け、その上にアルミニウムはくをはり付ける(図1)。
- ② 銅線(φ1.6mmのIV線のビニル被覆をはいだもの)を適当な形にしてセロハンテープで上からはりつける(図2)。図2の右側の電極には、分銅を用いている。

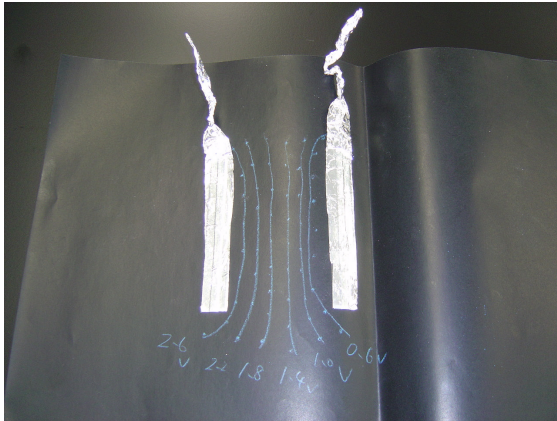


図1 平行な電極

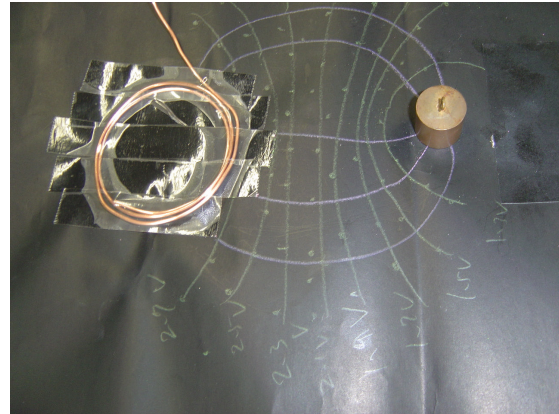


図2 円形の電極

電極に電池2個(3V)を接続し、デジタルマルチメータで等電位の所を探り、クーピーで印を付ける。印を付けた等電位のところを滑らかな線で結ぶ。等電位線に直交するように電気力線をかき加える。図2は、(3)の応用例に近い形となっている。

図2で描いた等電位線(電極を含む)を、OHPシートに1本ずつ絵取る。これらのシート(計10枚)を、工作用紙で作った高さ1cmの枠をはさんで重ねたものが図3である。この作業によって、電界を直感的に立体的にとらえることができる。

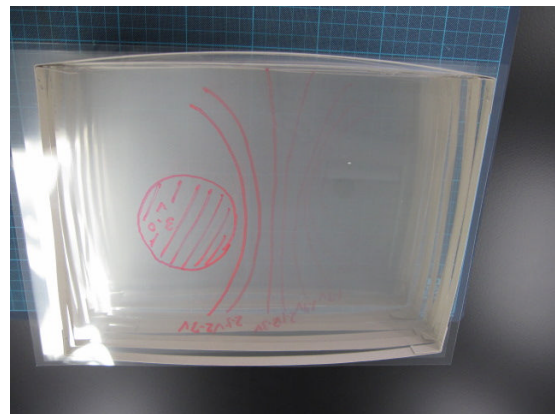


図3 等電位線を描いた OHP シートを重ねたもの

#### 【参考文献】

- ・白田昭司他著「Excelで学ぶ理工系シミュレーション入門」(CQ出版, 2003)