

## Q &amp; A

Q: 雷の色が黄色でないときがあったのですがなんですか。

A: 面白い質問ですね。雷の色のイメージは確かに黄色ですが、例えばGoogleで雷で画像検索すると、下のような写真がでてきます。色は白色からすみれ色といったところ。このように見栄えのする、近くの激しい雷はこのような色ですが、遠くの雷や雲中の雷はもう少し黄色っぽい色をしています。それは、夕焼けと同じで、光が大気中や雲中を長い距離進むと青い光は散乱されて黄色っぽくなるからです。



危機一髪、雷がわずか5メートル横に落ちて直...  
gigazine.net



雷 - Wikipedia  
ja.wikipedia.org



雷様は稲の妻? 七十二候「雷乃発声(かみな...  
tenki.jp



関東で10000近い雷 東京都内で70mm超は2...  
weathernews.jp



第15回 | カデゴリ | 雷対策...  
otowadenki.co.jp



関東など太平洋側は8月が雷のピーク 雷はどこに...  
news.yahoo.co.jp



ヨーロッパで落雷被害多発 雷から身を守るには(...  
news.yahoo.co.jp



雷に打たれると人はどうなるのか? - GIGAZINE  
gigazine.net



世界仰天ニュースの1秒に1回雷が落ちるオロ...  
trend1128.com



Q: シャボン玉は蒸発して割れると先生は言いましたが、そんなに常温で蒸発しやすいのですか？

A: 何でも鵜呑みにするのではなく、このように自分で考える姿勢は大事ですね。シャボン玉の膜の厚みは  $2\text{ }\mu\text{m}$  程度とたいへんに薄いです。例えば 30 秒で膜厚が半分になって割れるとすると、蒸発の速さは、1分で  $2\text{ }\mu\text{m}$  です。1 時間では  $0.12\text{ mm}$ 、1日では約  $3\text{ mm}$  です。お皿に張った水の深さが、1日で蒸発により  $3\text{ mm}$  程度小さくなるのは、そんなにおかしな値ではありません。

Q: 中間試験はいつですか(11/15は基礎有機化学の中間)

A: 11月の終わりか12月の始めかなと思っています。11/29に生体有機化学の中間試験があるようですが、その翌週12/6(木)はどうですか？出席表に希望など書いて下さい。

アメリカの写真家 Tom Storm さんが、シャボン玉に映った世界の様々な美しい風景を撮っているようです。その幾つかを紹介します。どんな風に反射して映っているかは、やっとわかりました。機会をあらためて話します。わかった人いますか？

他にも質問がありましたが、明日に回します。

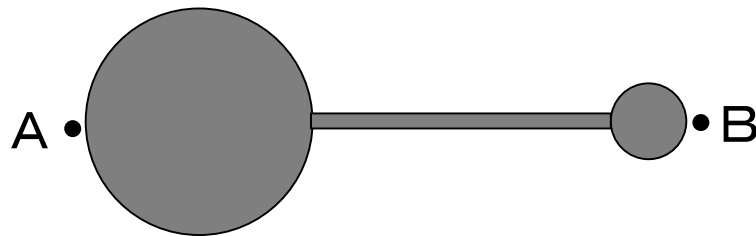
問題: 金属球の電位  $V$ 、表面の電場の強さ  $E$ 、金属球の半径  $R$  の関係式を求めよ。⑧

ヒント: スライド⑤⑥参照

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{V}{R} \quad \text{答: } \underline{E = \frac{V}{R}}$$

電位が同じとき、半径が小さいものほど、表面での電場が強い。

問題: 下のような導体がある。点Aと点Bではどちらの電場が強いか？



答:           B          

注: この問題で上の議論(金属球の半径と電場と電位の関係)は概ね当てはまるが、球ではないので、上の式がそのまま適用できるわけではない。

導体が孤立して存在している場合

曲率半径

の小さい尖った部分の表面の電場が強い

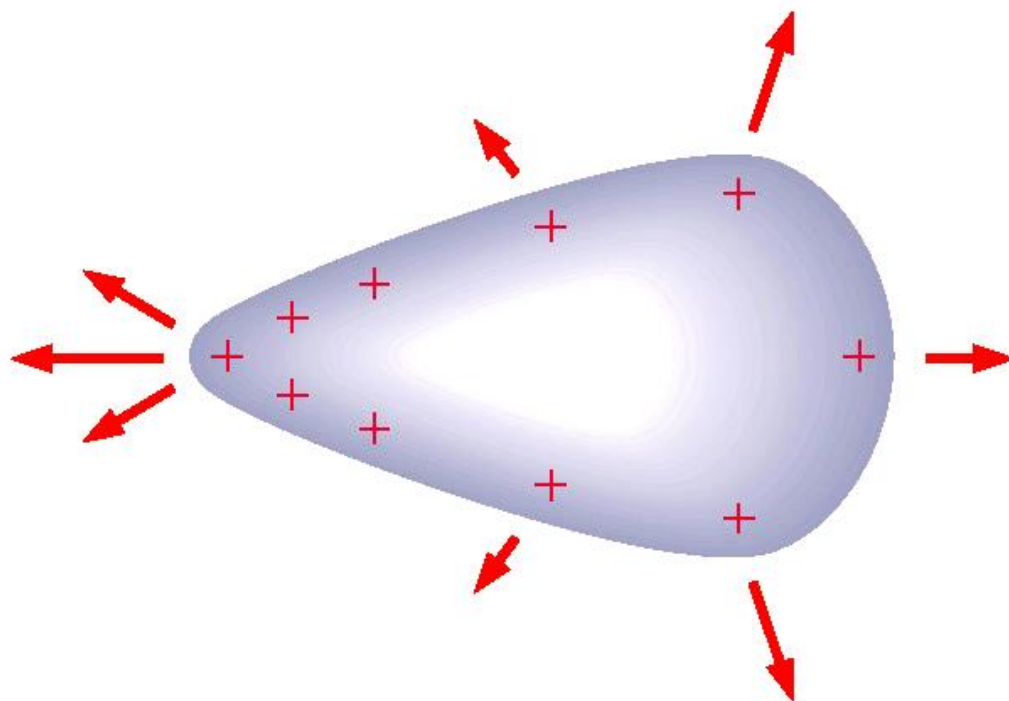


図 17.8

また、 $\sigma =$

$$\epsilon_0 E$$

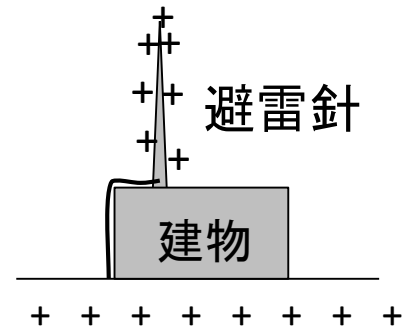
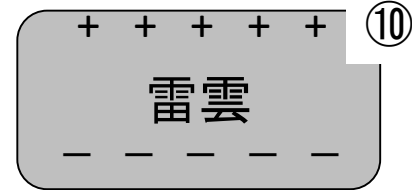
なので(導体の性質④)、尖った部分の表面電荷密度が大きい。

### 電気力での説明

導体の表面の電荷は、同符号なので互いに反発力が働き、できるだけ他の電荷から遠ざかろうとする。尖った部分は、他の部分から遠いので、そこに電荷が集まる。

# 避雷針

＋－が逆の場合もある



効果① 落雷の時、雷雲からの電荷を導線を通して地面に逃がし、建物内に電流が流れないようにする。

効果② 雷雲によって地上に誘導された電荷を針先（電場が強く放電が起こりやすい）から放電（コロナ放電）で逃がし、落雷を起こりにくくする。また、起こっても一度に大量の放電が起こるのを防ぐ。

（注）避雷針の効果は現在もよくわかっていないことも多い。

## バン・デ・グラーフ発電機で確認

バン・デ・グラーフ発電機の電極に避雷針がある状態とない状態で、火花放電に違いがあるか観察する。

問題：バンデグラーフ発電機の電極はなぜ大きな球形をしているのか？

尖った部分があると、その部分の電場が強くなり、コロナ放電で溜まった電荷が逃げてしまう。

## セントエルモの火(コロナ放電)

⑪

悪天候時に尖った物体に発生する、青白いコロナ放電による発光現象。雷による強い電界が船のマストを発光させたりする。放電によるシューという音を伴う場合がある。見たこと(聞いたこと)ある人いる？



洋上で、帯電した雲が近くにあり、湿度が高く(霧雨が降っている程度)、その他条件がそろうと、指先から火が出たようにコロナ放電が起こります。20年近く洋上で働いてきましたが、初めて見ることができました。長時間露光すれば、もう少しきれいに撮れたかもしれませんが、周りで雷がどんどん落ちていたので、これにてあきらめました。

こぐれ りたろう

(木暮理太郎『山の憶い出』より)夜半に霰[あられ]の過ぎた後、急に山が鳴り出して無数の羽虫が花の咲く大木のまわりを飛びかう羽音のように聞こえ、近くの岩からもシュツシュツというような音が起った。それでコーモリ傘を背負って立ち上がると、背骨が火で焼かれるか針で刺されるような痛みを感じて、頭の毛は猪の怒り毛のように逆立ち、機関車が蒸気を噴き出す時のようにシューと音を立てた。殊に**背負っている傘の先端**が最もひどいように思った。

イノシシのいかりげ

**落雷の危険: 避雷針を背負っているようなもの**

(富士測候所記録『かんてら日誌』S12,10/31より)アンテナを支えている柱の四角な柱頭の各先端から、光の穂先が20ないし30センチの長さで、青い光が上に向かってのびている。あっ、煙突のさきも、頭の髪も、手のさきも、みんな青い光を放っている。頭髮は逆立ち、その先端についている水滴、霧滴が、ひとつひとつサファイアのように輝いている。そして、馬の背(地名)に目をやると、黒い岩の尖頂も、白い霧氷の先端も、青い光を放っていて、角という角のすべてに、百目ローソクを立てたように輝いている。「おう、岩がそら」と叫んで闇に手をさしのべた吉原は、「それ、君の手が」と言われて、あわてて手を引っこめて苦笑。濃霧のなかで回転する風速計も風向計も青く光って見える。このセントエルモの火は、約30分間で終わった。これは、たしかにまれに見る壮観なものであった。十月の最後の日、自然は山の観測者にすばらしい贈り物をしてくれた。

ひゃくめロウソク: 1本の重さが100もんめあるローソク

雷・セントエルモの火・コロナ放電等の体験あれば出席票に書いておいて下さい。

2012年の11月28日、オーストリアのホーハー・ゾンブリック山にある気象台で発生 ⑬  
し、撮影されたセントエルモの火の写真。写真は気象観測員のヘルマン・シェアー  
さんが撮影したもので、この現象は1時間あまり継続したとのこと。パチパチという  
ノイズが聞こえたり、撮影に使った三脚も光ったり、ヘルマンさんの髪の毛にも電氣  
を感じたりと、状況を聞く限り、周囲はかなり帯電していた。



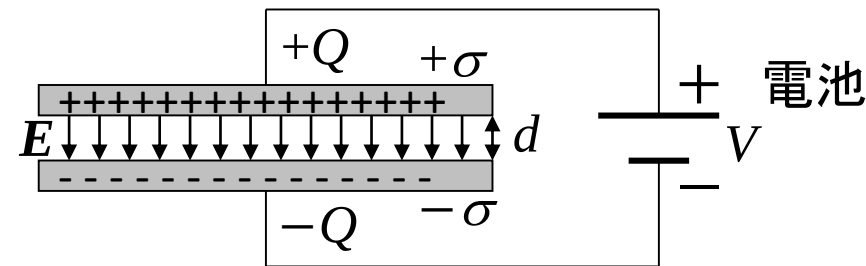






単体の物体に大量の電荷を蓄えるのは電荷が互いに反発するので難しい。  
2つの導体に向かい合わせにおいた装置は、大きな正負の電荷を対で、  
それぞれの導体に蓄えやすい。

## 平行板キャパシター



電池の起電力＝極板間の電圧＝ $V$  [V]  
 キャパシターの極板の面積＝ $A$  [ $\text{m}^2$ ]  
 各極板の電荷の面密度＝ $\pm \sigma$  [ $\text{C}/\text{m}^2$ ]  
 各極板の全電荷＝ $\pm Q$  [C]  
 極板間の距離＝ $d$  [m]  
 極板間の電場の強さ＝ $E$  [ $\text{V}/\text{m}$ ]

$\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

極板は、 $d$  が小さければ、  
無限に広い板と考えてよい。

極板の電荷  $\pm Q$  ( $=\sigma A$ ) が2倍 → 電場  $E$  も2倍、電位差  $V = Ed$  も2倍



$Q$  と  $V$  は比例関係にある  $Q = CV$

この比例定数  $C$ :

**電気容量**

単位:

**ファラド**

[F],[C/V]

この値が大きいほど、同じ電圧でもたくさんの電荷が(対で)たまる

(つづき)

$$Q = CV \rightarrow C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{\overset{\sigma A}{\varepsilon_0 Q}}{\underset{\frac{\sigma}{\varepsilon_0}}{\sigma d}} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

電気容量 $C$ は 極板の面積に比例  
極板の間隔に反比例

問題： 極板が1辺 20 cm の正方形、極板間の隙間が、1.0 mm の時、

①平行板キャパシターの電気容量を求めよ。ただし、 $\varepsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12}$  [F/m] とする。

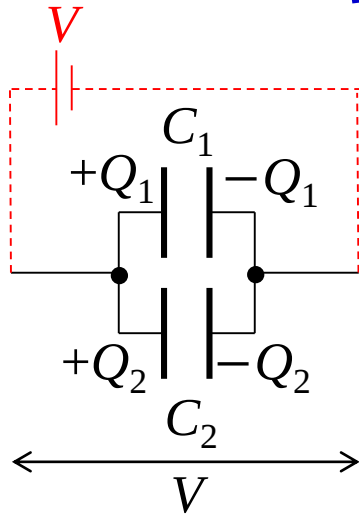
|            |            |
|------------|------------|
| T テラ       | $10^{12}$  |
| G ギガ       | $10^9$     |
| M メガ       | $10^6$     |
| k キロ       | $10^3$     |
| m ミリ       | $10^{-3}$  |
| $\mu$ マイクロ | $10^{-6}$  |
| n ナノ       | $10^{-9}$  |
| p ピコ       | $10^{-12}$ |

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = 3.56 \times 10^{-10} \text{ [F]} \div 3.6 \times 10^{-10} \text{ [F]} = 360 \text{ [pF]}$$

②上記のキャパシターに 10 V の電圧をかけて充電したとき、  
どれだけの電荷を蓄えることができるか？

$$Q = CV = 3.6 \times 10^{-10} \times 10 = 3.6 \times 10^{-9} \text{ [C]}$$

# キャパシタの接続(合成容量)①並列



1と2にかかる  
電位差(電圧)は等しい

蓄積される電荷の総量を  $Q$  とすると

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_1 + Q_2 && + Q_3 \\
 Q &= C_1 V + C_2 V && + C_3 V \\
 Q &= (C_1 + C_2) V = C V
 \end{aligned}$$

全体を1つのキャパシタと考えたときの電気容量

$$\text{合成容量 } C = C_1 + C_2 + C_3$$



同じキャパシタの場合  
極板の面積が2倍になるので  
容量も2倍になる。

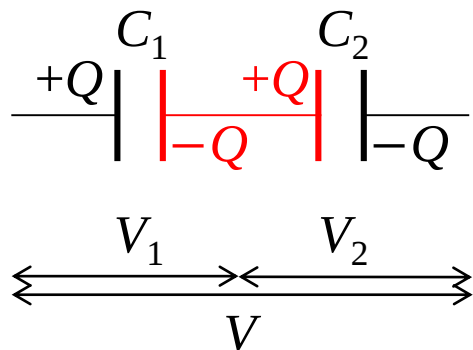
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

並列: 容量増える

3つ以上の場合: 合成容量  $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$

# キャパシターの接続(合成容量)②直列

⑪



1と2に蓄えられる  
電荷は等しい

赤色の部分は孤立しており  
電荷の総量は0

同じキャパシターの場合

上の図で2つの  
キャパシターの  
間隔を0にすると



極板間の距離が2倍になるので  
容量は2分の1になる。

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

厚さの無視できる金属板を差し込んでも  
極板間の電場(電位差も)は変化しない。

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad Q = CV$$

$$V = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) Q$$

$$V = \frac{1}{C} Q \text{ なので}$$

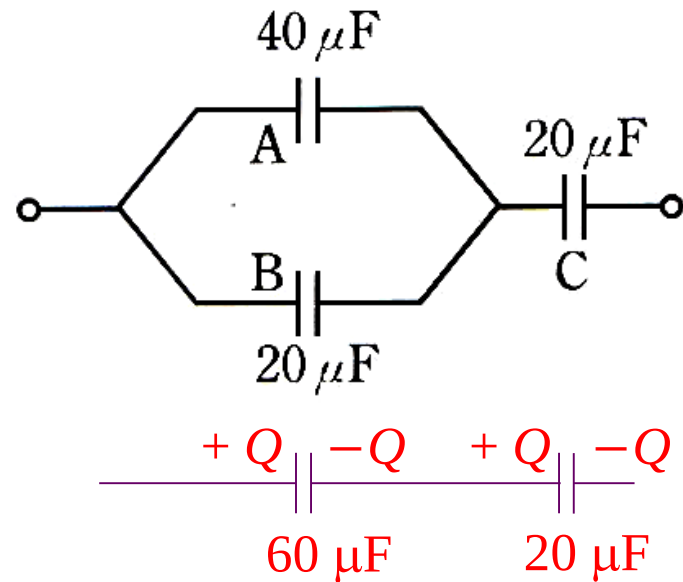
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}$$

逆数をとって

$$\text{合成容量 } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\text{3つ以上: } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots$$

問題: キャパシター A, B, C を下の図のようにつないだときの合成容量はいくらか ⑮  
 両端に 10 V の電位差を与えたとき、キャパシター A, B, C に蓄えられる電荷量と  
 極板間の電位差(電圧)はいくらか?



合成容量:  $15 \mu\text{F}$  ①

Aの電荷量:  $100 \mu\text{C}$  ⑤

Aの電位差:  $2.5 \text{ V}$  ④

Bの電荷量:  $50 \mu\text{C}$  ⑤

Bの電位差:  $2.5 \text{ V}$  ④

Cの電荷量:  $150 \mu\text{C}$  ②

Cの電位差:  $7.5 \text{ V}$  ③

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{60 \times 10^{-6}} + \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = \frac{4}{60 \times 10^{-6}}$$

$$C = 15 \times 10^{-6} \text{ ①}$$

$$Q_C = Q = CV = 15 \times 10^{-6} \times 10 = 150 \times 10^{-6} \text{ ②}$$

$$Q_C = C_C V_C \Rightarrow 150 \times 10^{-6} = 20 \times 10^{-6} \times V_C$$

$$V_C = 7.5 \text{ ③}$$

$$V_A (=V_B) + V_C = 10$$

$$V_A (=V_B) + 7.5 = 10$$

$$V_A (=V_B) = 2.5 \text{ ④}$$

$$Q_A = C_A V_A = 40 \times 10^{-6} \times 2.5 = 100 \times 10^{-6} \text{ ⑤}$$

# 孤立導体球の電気容量

問題: 半径 10 cm の導体球の電位が 10 V のとき(無限遠の電位は 0 V)、導体球にはどれだけの電荷が帯電しているか?

導体球に帯電している電荷を  $Q$  とする。

導体球の電位  $V$  は、点電荷  $Q$  から距離 10 cm の位置の電位に等しい。(球対称)

$$V = V(0.1) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \times 0.1} = 10 \text{ [V]}$$

$$Q = 4\pi\epsilon_0 \times 0.1 \times 10 \div 1.1 \times 10^{-10} \text{ [C]}$$

孤立導体球も電荷を蓄えるという意味で一種のキャパシターといえる。

$$V(r) = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

その場合の電気容量は半径を  $r$  とすると  $C = 4\pi\epsilon_0 r$  となる。

問題：孤立導体球と平行板キャパシターの電気容量の比を求めよ。ただし、平行板キャパシターの極板の面積は、導体球(半径  $R$ )の表面積と等しく、極板間の間隔は  $d$  とする。

孤立導体球

平行板キャパシター

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon_0 4\pi R^2}{d}$$

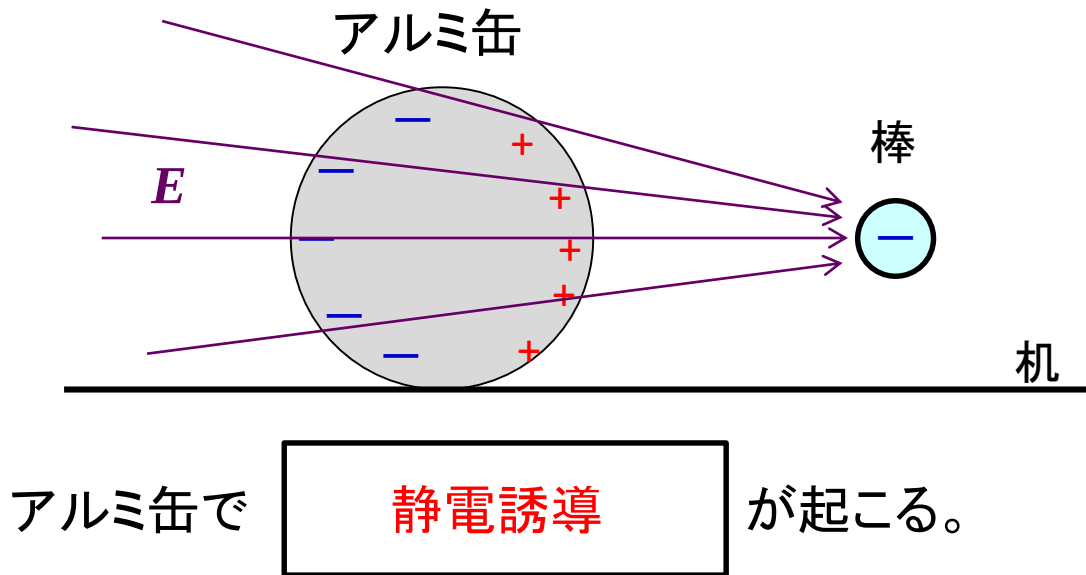
$$4\pi\epsilon_0 R : \frac{\epsilon_0 4\pi R^2}{d}$$

$$1 : \frac{R}{d}$$

孤立導体球：平行板 =  $\underline{\underline{d : R}}$

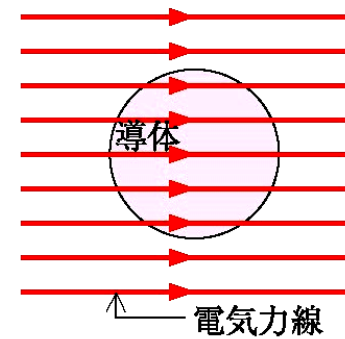
例：間隔  $d$  が 1 mm, 半径  $R$  が 10 cm とすると 1 : 100

実験・問題：静電気で負に帯電した塩化ビニルの棒をアルミ缶に近づけると、アルミ缶が棒に引き寄せられる現象を解説せよ。  
アルミ缶は導体で、机は完全な絶縁体と仮定して答えよ。

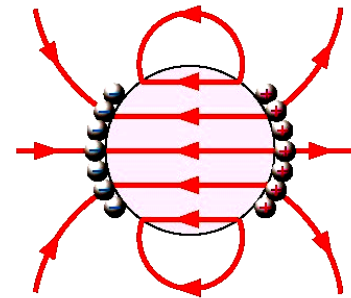


プラスに帯電した部分と棒の間には引力が働き、  
マイナスに帯電した部分と棒の間には反発力が働く  
電気力は距離の2乗に反比例するので、距離の近い引力が勝る。

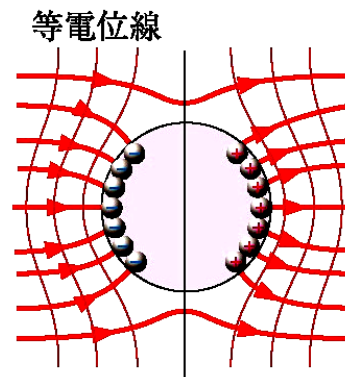
電場の形が少し違い、球でなく円筒だが、右図に似ている

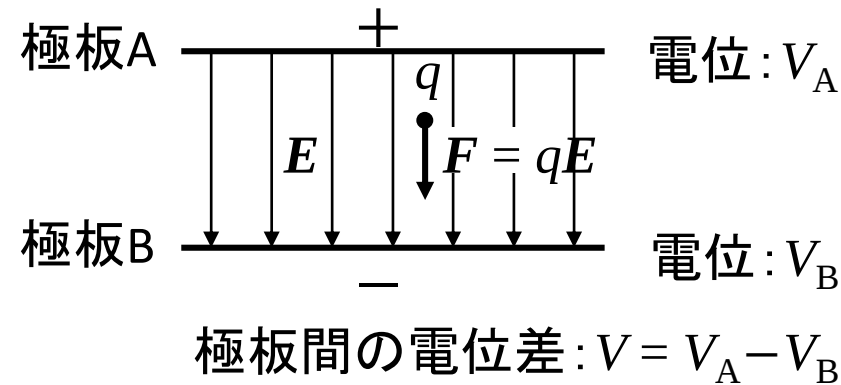


(a)



(b)





電荷  $q$  を極板 B から極板 A に  
移動させるのに必要な仕事  
 $W = Fd = qEd = q(V_A - V_B) = qV$

↑  
電気力と同じ大きさで逆向きの力

(エネルギー)  
 $q$  [C] の電荷を電位が  $V$  [V] 高い場所に移動させるには  $qV$  [J] の仕事が必要  
1 [C] の電荷を電位が 1 [V] 高い場所に移動させるには 1 [J] の仕事が必要

物体を高い位置に移動するのにエネルギー(仕事)が必要なものと同じ

問題: 陽子1つを電位が 1 V 高い位置に移動させるのに必要な仕事(エネルギー)はいくらか。

$$qV = e \times 1 = 1.602 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

イメージ  
物を持ち上げる

(参考) このエネルギーを 1 電子ボルト = 1 eV という(教科書p310)

問題: 陽子1つが電位が 1 V 低い位置に移動する時に電気力がする仕事はいくらか。

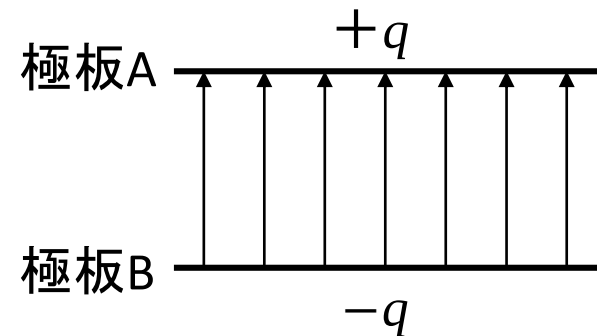
$$1 \text{ eV } (= 1.602 \times 10^{-19} \text{ [J]})$$

イメージ: 自由落下

電気容量  $C$  の平行板キャパシタの

極板A,Bに電荷  $q, -q$  が蓄えられているとき

極板間の電位差:  $V = \frac{q}{C}$  ( $q = CV$ )



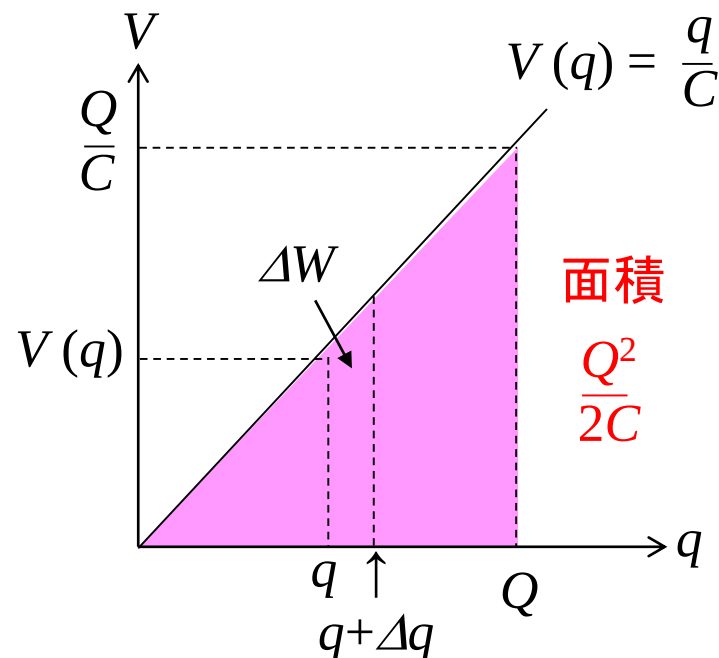
極板Bから電荷 $\Delta q$ を極板Aに移動(充電)する  
のに必要な仕事を $\Delta W$ とすると

$$\Delta W = V(q)\Delta q = \frac{q\Delta q}{C} \quad (\text{右図参照})$$

充電の際は通常外部の導線を通して行われる

電荷を移動して極板の電荷量を0から $\pm Q$ にするために必要な仕事  $W$  は、

$$W = \int_0^Q \frac{q dq}{C} = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{1}{C} \left[ \frac{q^2}{2} \right]_0^Q = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \quad (Q = CV)$$



キャパシタに蓄えられるエネルギー  $U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2$

充電の際にした仕事 $W$ の分、放電の際に仕事できる。(エネルギー:仕事をする能力)

$$U = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 (Ad)$$

$\uparrow$        $\nwarrow$   
 $\frac{\epsilon_0 A}{d}$        $Ed$

平行板の内部の体積は  $Ad$  なので、単位体積あたりのエネルギー  $u_E$  は、

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (\text{電場のエネルギー})$$

平行板キャパシタのエネルギーは、電場のエネルギーとしてキャパシタ内の空間に蓄えられていると考えることもできる。

スライド⑮の問題： 極板が1辺 20 cm の正方形、極板間の隙間が、1.0 mm の時 ④  
①平行板キャパシターの電気容量を求めよ。ただし、 $\varepsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12}$  [F/m] とする。

$$C = 3.6 \times 10^{-10} [\text{F}] = 360 [\text{pF}]$$

②上記のキャパシターに 10 V の電圧をかけて充電したとき、どれだけの電荷を蓄えることができるか？

$$Q = CV = 3.6 \times 10^{-10} \times 10 = 3.6 \times 10^{-9} [\text{C}]$$

③上のキャパシターに蓄えられているエネルギーを求めよ。スライド⑭の3つの方法で求めよ

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} VQ = \frac{1}{2} CV^2 = 1.8 \times 10^{-8} \text{ J}$$

④極板間の単位体積あたりの電場のエネルギー  $u_E$  を求めよ。

$$u_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \times 8.9 \times 10^{-12} \times (10^4)^2 = 4.45 \times 10^{-4} [\text{J/m}^3]$$

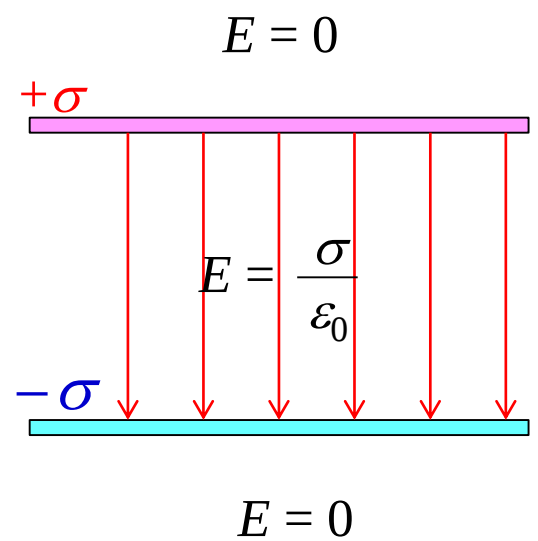
$$V = Ed \quad 10 = E \times 10^{-3} \quad E = 10^4 [\text{V/m}]$$

⑤極板間の空間に蓄えられている電場のエネルギー  $U$  を求めよ。

$$\text{体積} = 0.2 \times 0.2 \times 0.001 = 4 \times 10^{-5} [\text{m}^3]$$

$$U = u_E \times \text{体積} = 4.45 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-8} [\text{J}]$$

問題: ⑭(2)の上の極板の単位面積あたりに作用する電気力の向きと大きさを求めよ。



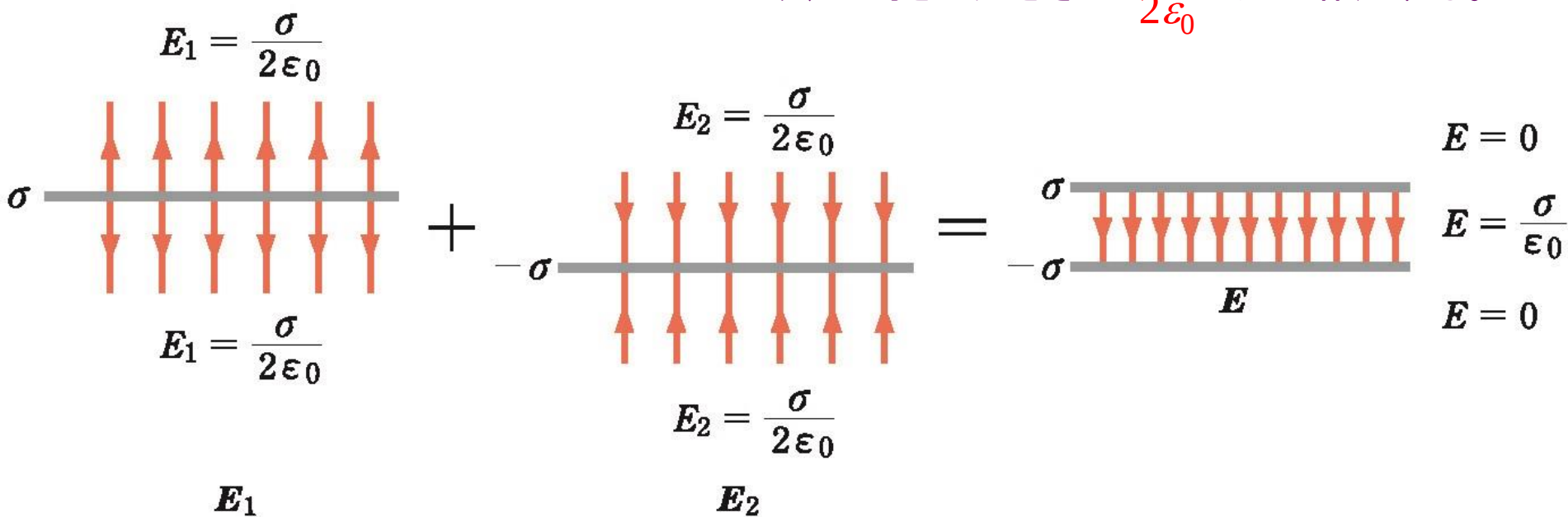
同じ極板内の電荷間で作用する電気力は完全に打ち消しあう。(足し算するとゼロになる。)  
これは、作用・反作用の法則より明らか。



上の板の単位面積上の電荷  $\sigma$  には  
下の板の電荷のつくる電場  $E_2$  により

$F = qE = \sigma E_2$  の電気力が作用する。

つまり、下向きで大きさが  $\frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$  の力が作用する。



(つづき)⑥それぞれの極板全体に作用する電気力の大きさはいくらか。

また、それは引力か反発力か。極板間の電場  $E$  の強さは  $10^4$  [V/m]。

ヒント：一方の極板の電荷が他方の極板の位置につくる電場の強さ 5000 V/m

$$F = QE = 3.6 \times 10^{-9} \times 5000 = 1.8 \times 10^{-5} \text{ N} \quad \text{引力}$$

⑦：一方の極板を固定し、他方の極板を動かして間隔を少しずつ小さくしていき、2枚の極板が接触した。このとき、上の電気力がした仕事はいくらか。

$$W = Fs = 1.8 \times 10^{-5} \times 0.001 = 1.8 \times 10^{-8} \text{ J}$$

これは③、⑤の答えと同じである。キャパシターに蓄えられたエネルギーは、

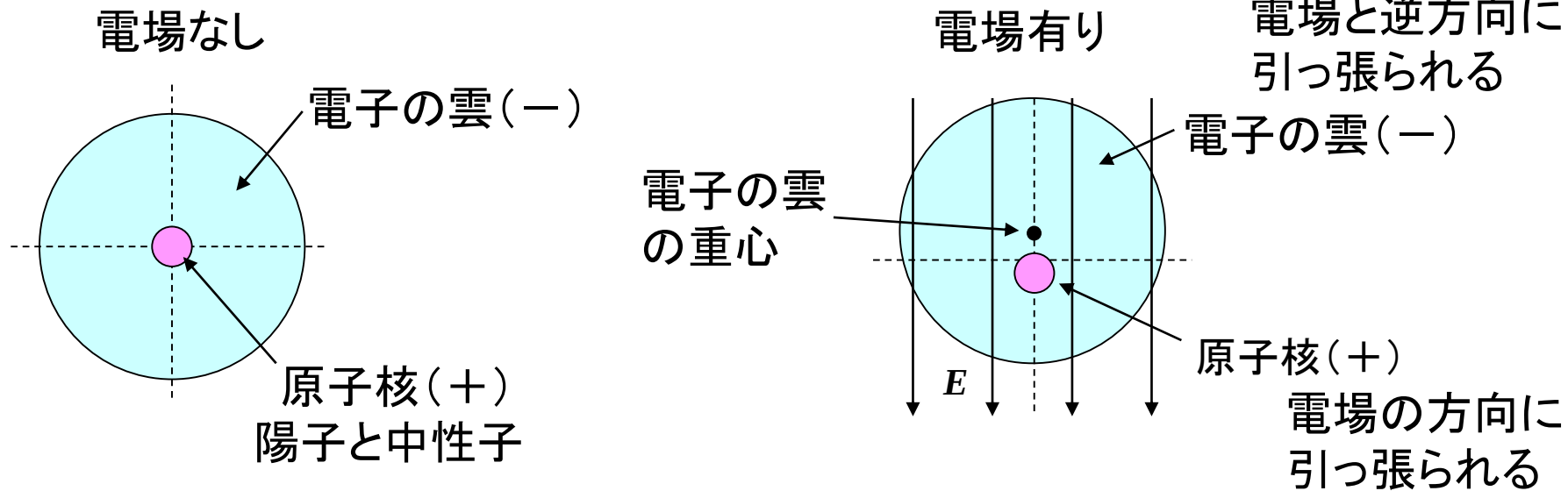
③： $\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} Q^2/C$  でもよいし、⑤電場のエネルギー： $u_E \times \text{体積}$  でもよいし、

⑦：極板全体に作用する電気力ができる仕事の量で考えることもできる。

導体を電場中に置くと、自由電荷の移動が起こり、  
導体表面に電荷が現れる( **静電誘導** )

絶縁体を電場中に置くとどうなる？自由電荷はない。

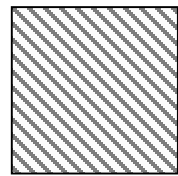
原子を電場中に置くと



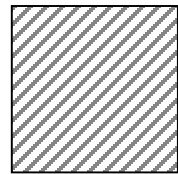
原子は **電気双極子** になる。

# 絶縁体を電場中に置くと(電気双極子のイメージで)

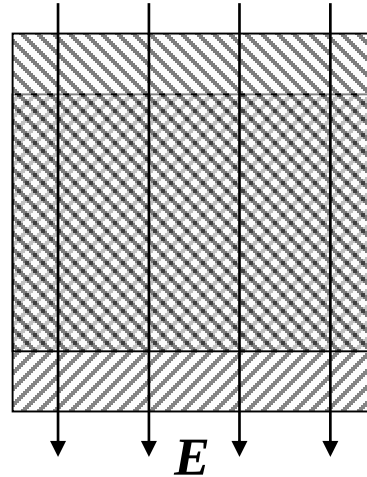
⑦



マイナス電荷の分布  
(電子)



プラス電荷の分布  
(原子核)



表面付近にマイナスの  
電荷が現れる

( **分極電荷** )

$-\sigma_p$ : 分極電荷の面密度

電荷密度は0。+と-の  
電荷が打ち消す

表面付近にプラスの  
電荷が現れる(**分極電荷**)

$\sigma_p$ : 分極電荷の面密度

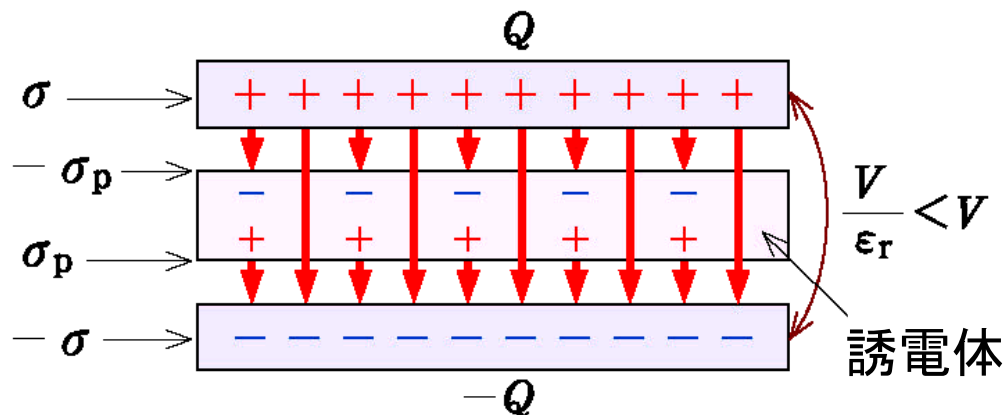
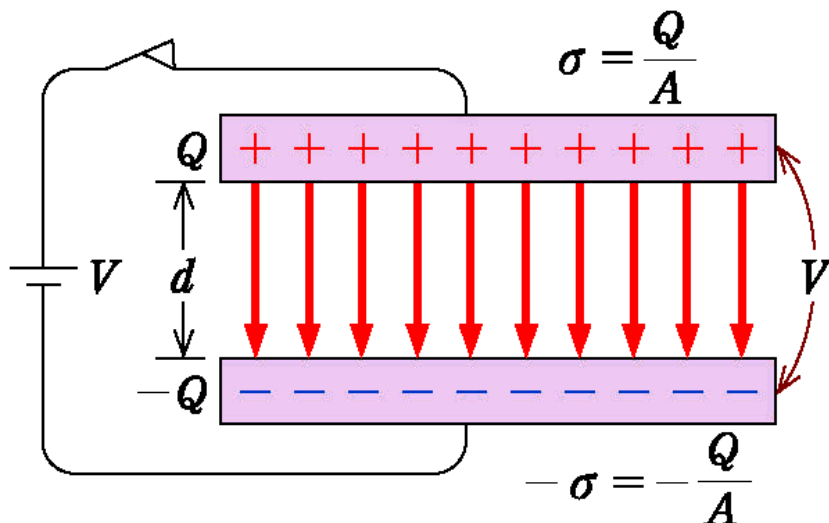
p: polarization(分極)

このような現象を **誘電分極** という。

誘電分極が生じることによる電気的な性質を議論するとき、  
絶縁体(不導体)を **誘電体** と呼ぶ。

# 誘電体を平行板キャパシタの隙間に入れると・・・

絶縁体より誘電体が適切



金属の静電誘導に似ている

金属(静電誘導)では金属内の電場は完全に打ち消されるが  
誘電体(誘電分極)では誘電体内の電場は完全には打ち消されない

分極電荷の量は物質・温度で違う

誘電体を(真空の)極板間に隙間なく入れると・・・(電池はつないでない)

極板間の電場  $E$  :  $\frac{\sigma}{\epsilon_0} \rightarrow \frac{\sigma - \sigma_p}{\epsilon_0}$

$\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma}$  倍になる

(1以下)

(つづき)

極板間の電位差  $V$  : (  $V = Ed$  )なので  $\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma}$  倍になる

キャパシタの電気容量  $C$  :  $Q = CV$  なので  $\frac{\sigma}{\sigma - \sigma_p}$  倍になる  
 (1以上)  
 不変  $\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma}$  倍

誘電体を平行板キャパシタの(真空の)極板間に隙間なく入れると電気容量が  $\epsilon_r$  倍になったとき、 $\epsilon_r$  をこの誘電体の **比誘電率** という

比誘電率  $\epsilon_r$  はつねに 1 より大きく、物質の種類と温度 だけで決まる定数

$$\epsilon_r = \frac{\sigma}{\sigma - \sigma_p}$$

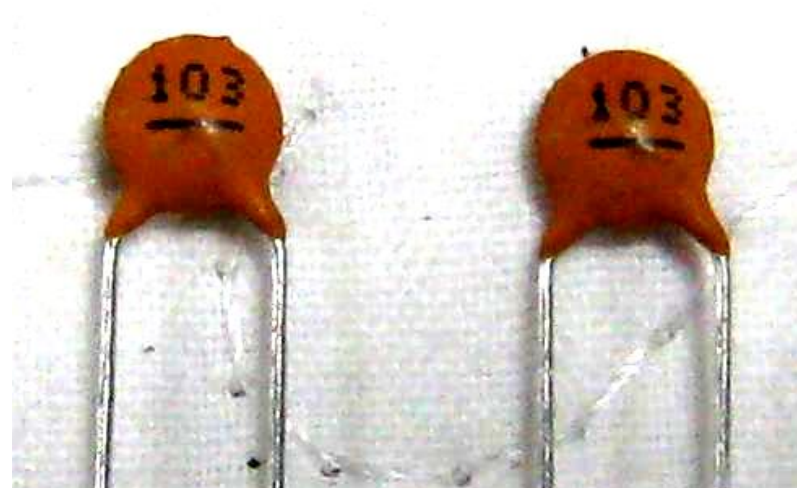
まとめ問題: 極板間を比誘電率が  $\epsilon_r$  の誘電体で満たすと... (電池はつないでない)

電気容量  $C$  :  $\epsilon_r$  倍, 電場  $E$  :  $\frac{1}{\epsilon_r}$  倍, 極板間の電位差  $V$  :  $\frac{1}{\epsilon_r}$  倍

# 様々な物質の比誘電率

|              |          |
|--------------|----------|
| 真空           | 1        |
| 空気(20°C,1気圧) | 1.000536 |
| 水            | ~80      |
| ポリエチレン       | 2.3~2.4  |
| ポリスチレン       | 2.4~2.6  |
| 石英ガラス        | 3.5~4    |
| ソーダガラス       | 7.5      |
| チタン酸バリウム     | ~5000    |

真空に対する比なので1  
(真空と同じと考えてよい)  
(後で解説)



セラミックキャパシター(右図)  
チタン酸バリウム等の比誘電率の  
大きな誘電体を電極ではさんである

参考: キャパシターに書いてある3桁の数字の意味: 例103  $10 \times 10^3 \text{ pF} = 10000 \text{ pF}$   
(テストにはできません)

問題: 上のキャパシターの極板は、一辺が3 mmの正方形とし、隙間はチタン酸バリウム( $\epsilon_r = 5000$ とする)で満たされているとして、極板の間隔を計算せよ。

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad d = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{C} = \frac{5000 \times 8.9 \times 10^{-12} \times 0.003^2}{1.0 \times 10^{-8}} \div 4.0 \times 10^{-5} = 40 \mu\text{m}$$

参考: 20cm × 20cm × 1mm(真空): 360 pF

# 手作りキャパシター

⑪



← ポリスチレン製の使い捨てコップの外側にアルミ箔を巻いたものを2個重ねる。内側のアルミ箔には電極を付けてある

問題： ① コップの形状は半径\_\_\_\_cm  
長さ\_\_\_\_cmの円筒として、底面は無視し、外側のアルミ箔と内側のアルミ箔の間は、厚さ1 mm のポリスチレン（比誘電率は2.5）で満たされているとして、このキャパシターの電気容量を求めよ。

$$\text{面積 } A = 2\pi \times 0.04 \times 0.13 \div 0.033 \text{ [m}^2\text{]}$$

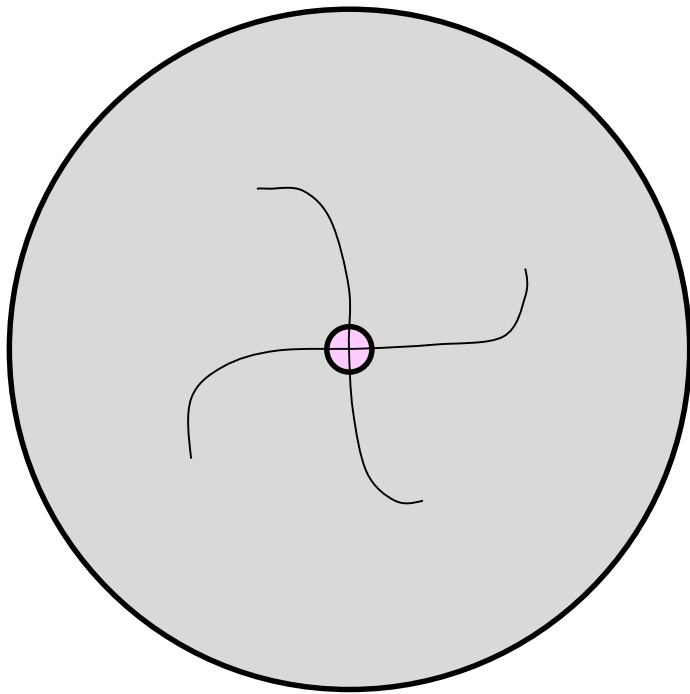
$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} = \frac{2.5 \times 8.9 \times 10^{-12} \times 0.033}{0.001} = 7.3 \times 10^{-10} \text{ F}$$

# ハミルトンのはずみ車(電気飛車)の解説

⑫

バン・デ・グラフ発電機の電極の上に図のような形状の回転可能な針金を置く

上から見た図



この場合、時計周りに回転する

- ① 針金の先端は尖っている(曲率半径が小さい)ので電場が大きく、コロナ放電が起こる。(電子が飛び出す。)
- ② 電子を放出する反作用で針金の先端は逆向きに力を受ける。
- ② 飛び出した電子と針先に集まっている電子の間に反発力が働く。
- ③ 針金の先端を背にして回転する。

