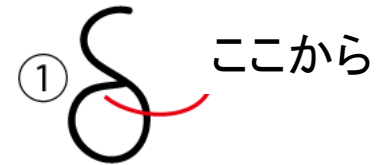


Q: 中間試験はいつ頃になる予定ですか？

A: 11月28日(木)2限というのでしょうか？

一筆書き



Q: デルタ  $\delta$  の書き方がわかりません。

Q: ハミルトンの電気飛車は、より高い電圧をかけたら速く回転するのでしょうか？

A: 実験してみましょう。

Q: 第6回②⑩の孤立導体球と平行板キャパシターの電気容量の比が  $d:R$  になるのがぴんとこなかった。 $d = R = 10 \text{ cm}$  にしたら同じということですか？

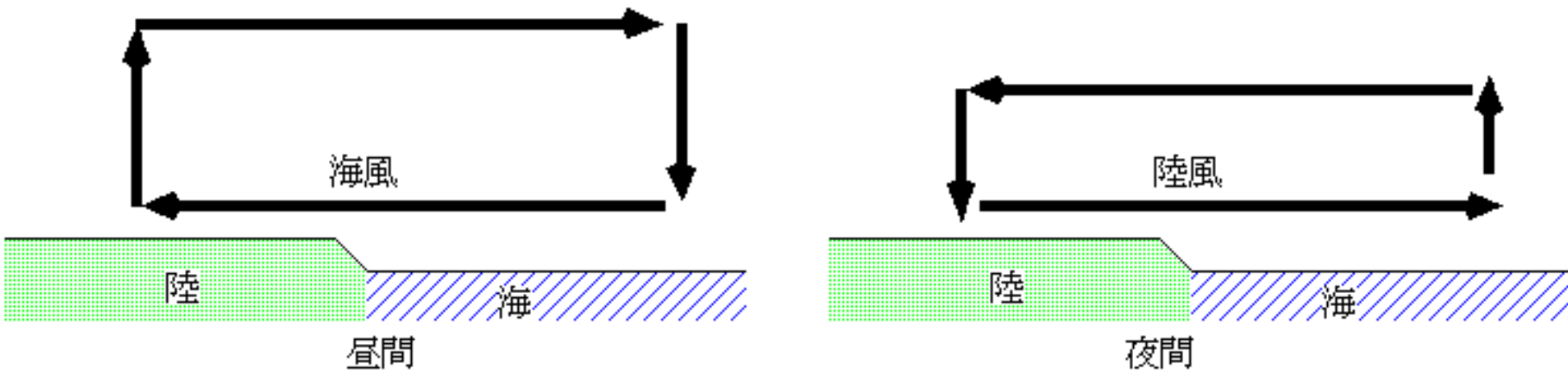
A: 半径  $10 \text{ cm}$  の球の表面積は約  $1260 \text{ cm}^2$  ですが、この場合、平行板キャパシターの極板は、 $35 \text{ cm}$  四方の正方形となります。一般的には、平行板キャパシターの極板間の間隔はその大きさより、十分に小さいことを想定していますので、間隔  $10 \text{ cm}$  は大きすぎです。これだけ大きいと、平行板キャパシターの電気容量の式  $C = \epsilon_0 A/d$  は厳密には成り立ちませんが、電気容量が同程度となるのはそうだと思います。

Q: 何故イルミネーションは冬にきれいに見えるのですか？

A: 青空の色は、春はかすんでいて水色ですが、秋や冬はキレイな青色です。冬は大気中の水分や塵が少なく、空気が澄んでいるので、イルミネーション(星も)がきれいに見えます。

Q: 北陸は太平洋側と逆で冬は湿度が高い代わりに夏はからっとしていると思って ②  
いましたが、なんでこっちは年中湿気が多いのですか？

A: 冬は北西の季節風が吹いて北陸の天気が悪いのは前回説明しました(前回スライド②参照)。夏は太平洋高気圧の勢力圏に日本全体が入り、特に南東風が吹くわけではありません。富山では(太平洋側や他の地域でも)晴れていれば、昼間は普通に海風(富山の場合は北風)が吹きます。

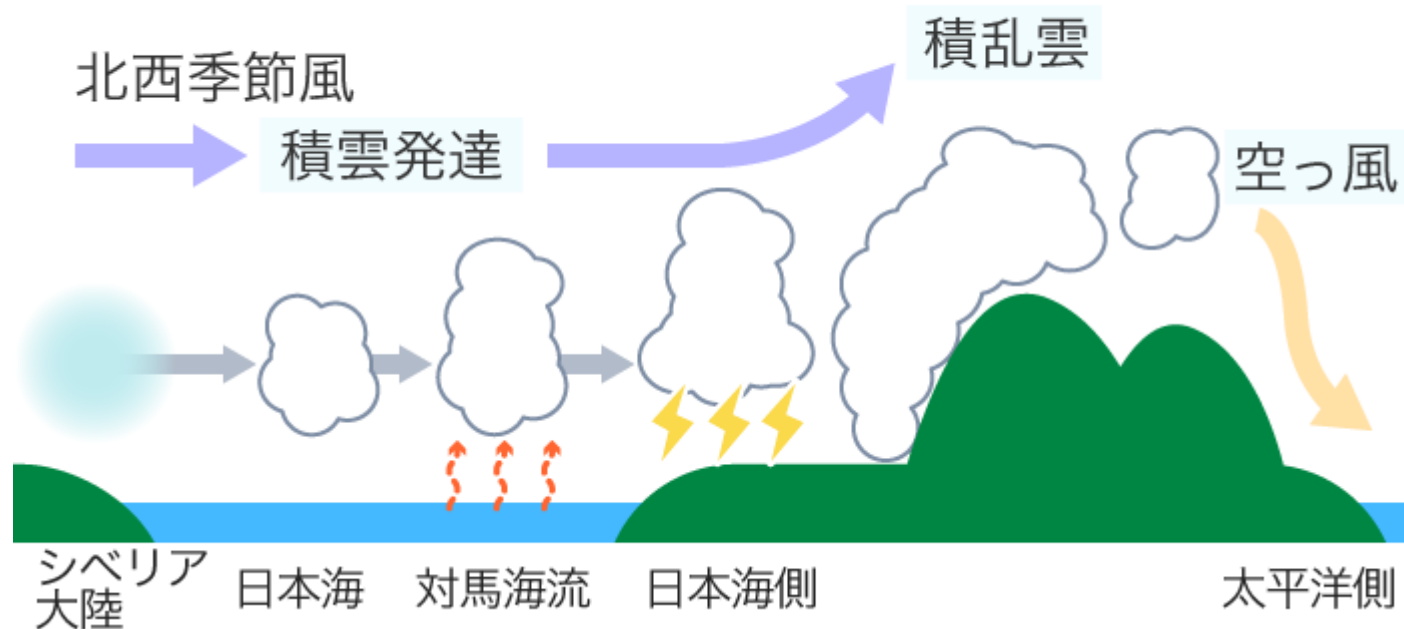
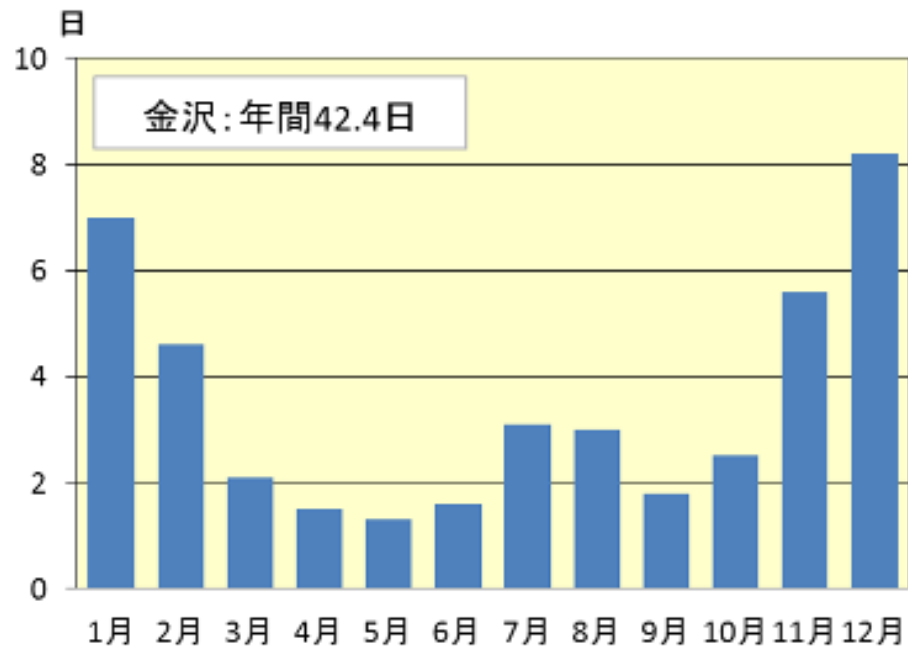
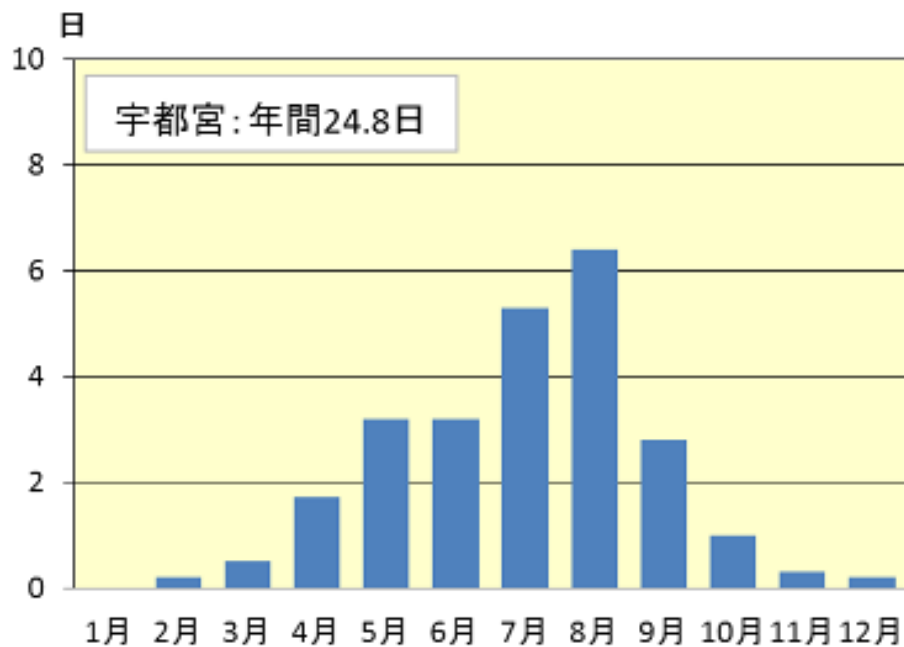


のコンデンサーの構造ってどうなっているのか？

A: 今日、授業である程度説明します。

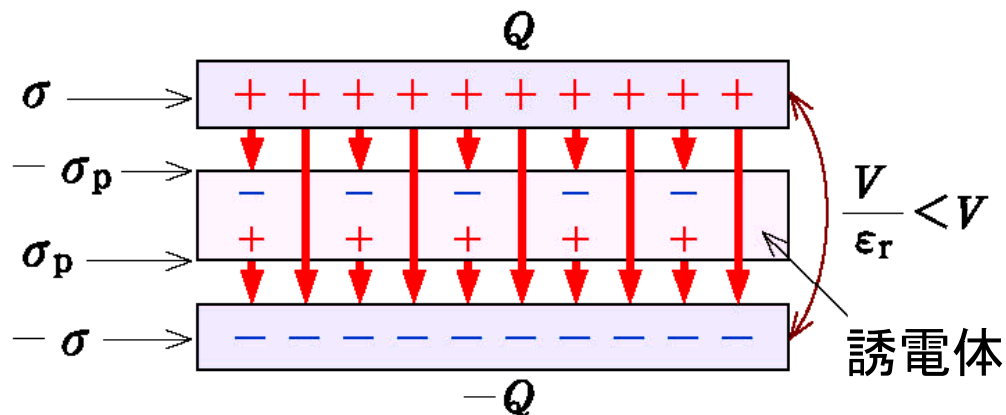
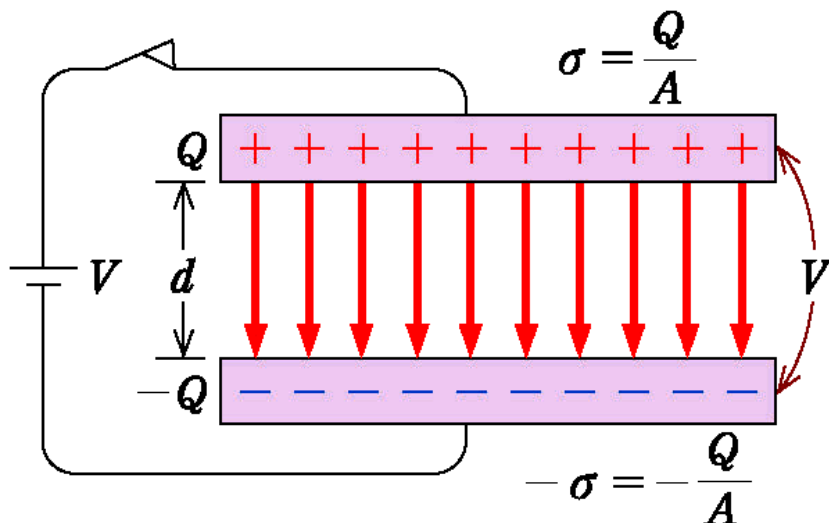
以前のQ: テストでは、章末問題のBは出題されますか？

A: 断言はできませんが、良い問題ならAでもBでも出題します。



# 誘電体を平行板キャパシターの隙間に入れると...

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  
 不変  $\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma}$  倍 (1以上)

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

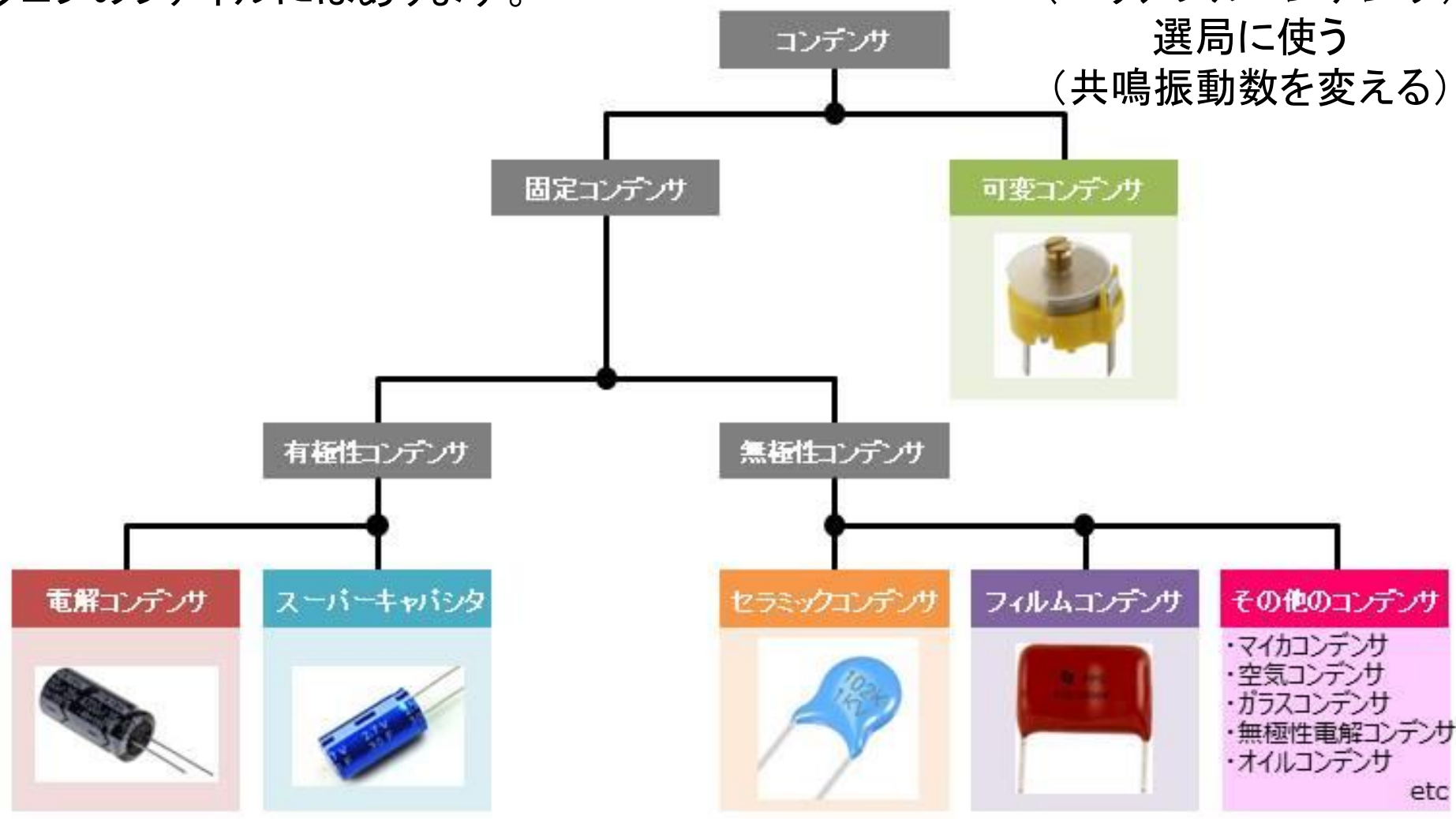
$$\epsilon_r = \frac{\sigma}{\sigma - \sigma_p}$$

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

後から追加したスライドなので  
プリントにありません。  
ウェブのファイルにはあります。

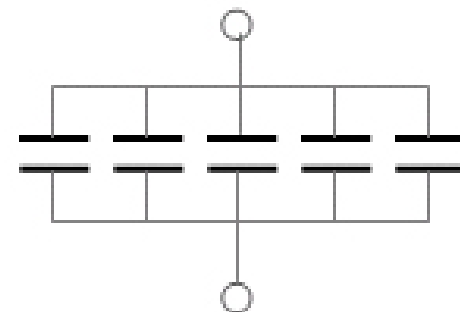
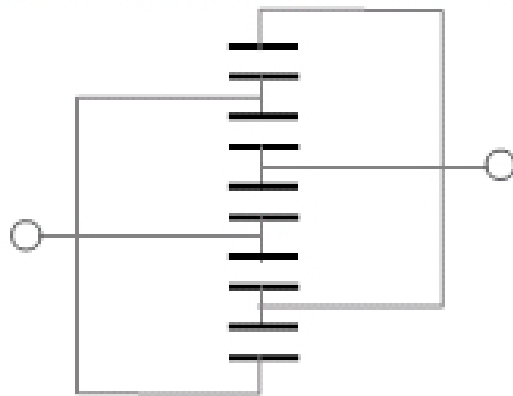
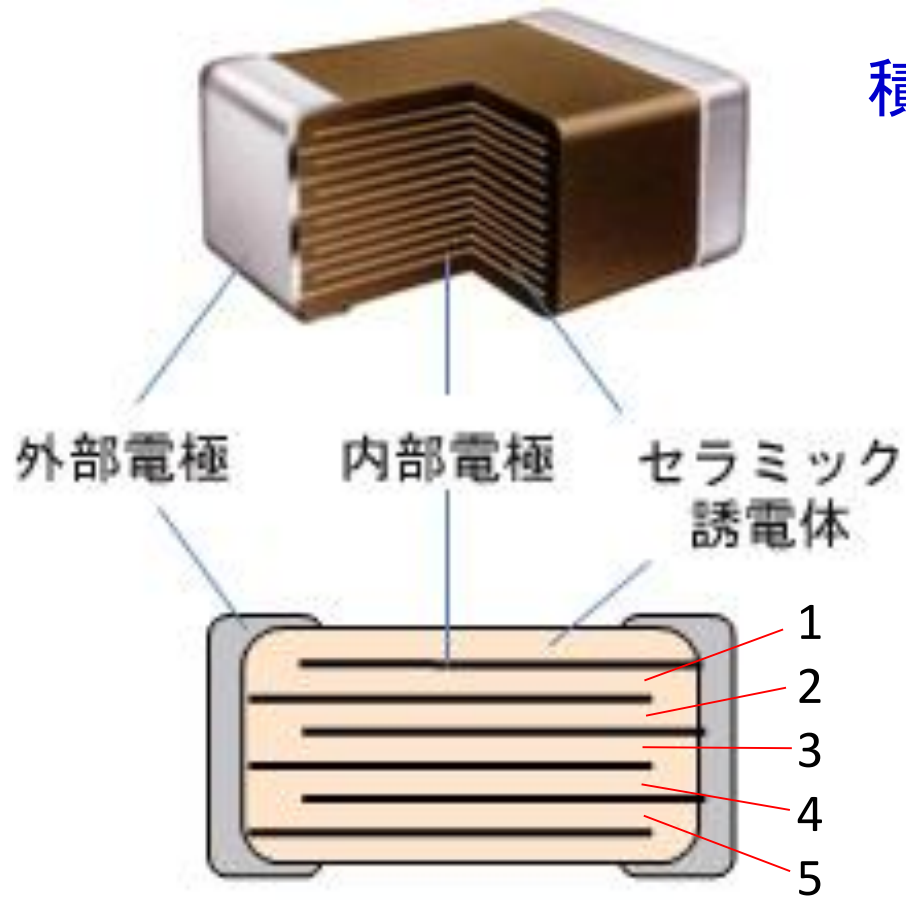
ラジオのバリコン等  
(バリアブルコンデンサ)  
選局に使う  
(共鳴振動数を変える)



実物参照

誘電体: セラミック プラスチックフィルム  
チタン酸バリウム等

# 積層セラミックチップコンデンサ

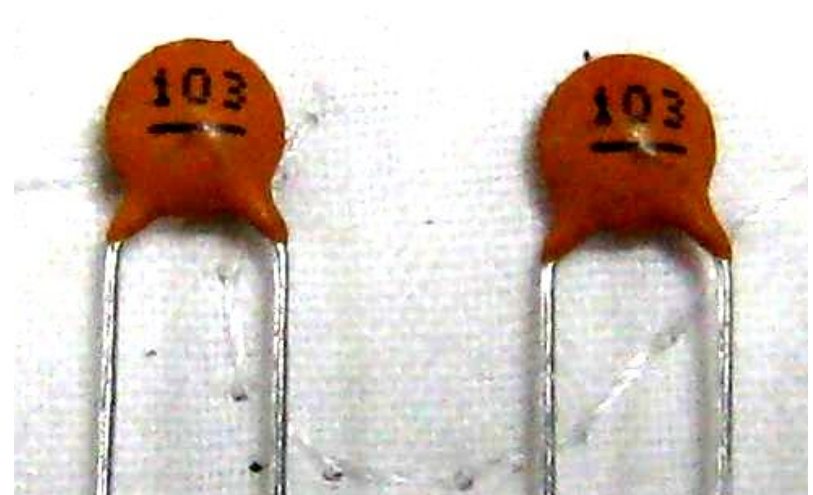


複数のコンデンサを並列  
統合したものと同等

# 様々な物質の比誘電率

|             |          |
|-------------|----------|
| 真空          | 1        |
| 空気(20℃,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





← 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。

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

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

# 手作りキャパシターで実験①

③

実験①: 実際にテスターで容量を測定してみる。 $7 \times 10^{-10}$  F

問題①: バン・デ・グラフで充電するにはどうすればよいか?

手(0 V)で外側を握って  
内側の電極をバンデグラフの電極に接触

問題②: 静電気(摩擦電気)で充電するにはどうすればよいか? 例えば静電気で負に帯電した塩化ビニルの棒を使って

塩化ビニルの棒を内側の電極にこすりつける。

塩化ビニルは絶縁体なので、一部を触れただけでは、その周辺の一部の電荷しか、集まらない。机(0 V)に置いて行えば、キャパシターの外側は0 V

## 手作りキャパシターで実験②

④

実験②: 充電したキャパシターで火花と飛ばしてみる。火花が飛んだ距離: 1 mm

問題③: 上の結果から極板間の電位差を計算せよ。(3万V/cm) 3000 V

問題④: あまり大きな電位差にならないのはなぜか。

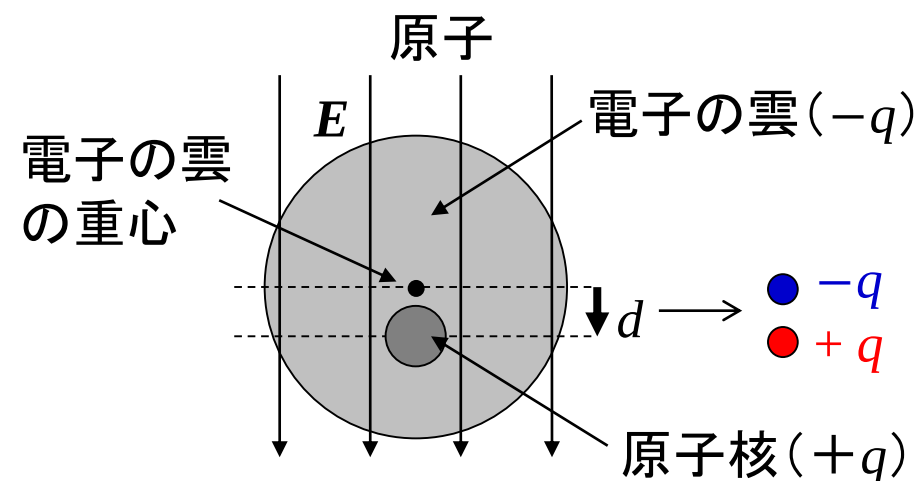
### コロナ放電で電荷が逃げる

問題⑤: 火花が飛ぶ前にキャパシターに蓄えられていた電荷を求めよ。  
キャパシターの電気容量は、③の測定値を使え

$$Q = CV = 7 \times 10^{-10} \times 3000 \div 2 \times 10^{-6} \text{ [C]}$$

問題⑥: 火花が飛ぶ前にキャパシターに蓄えられていたエネルギーを求めよ。

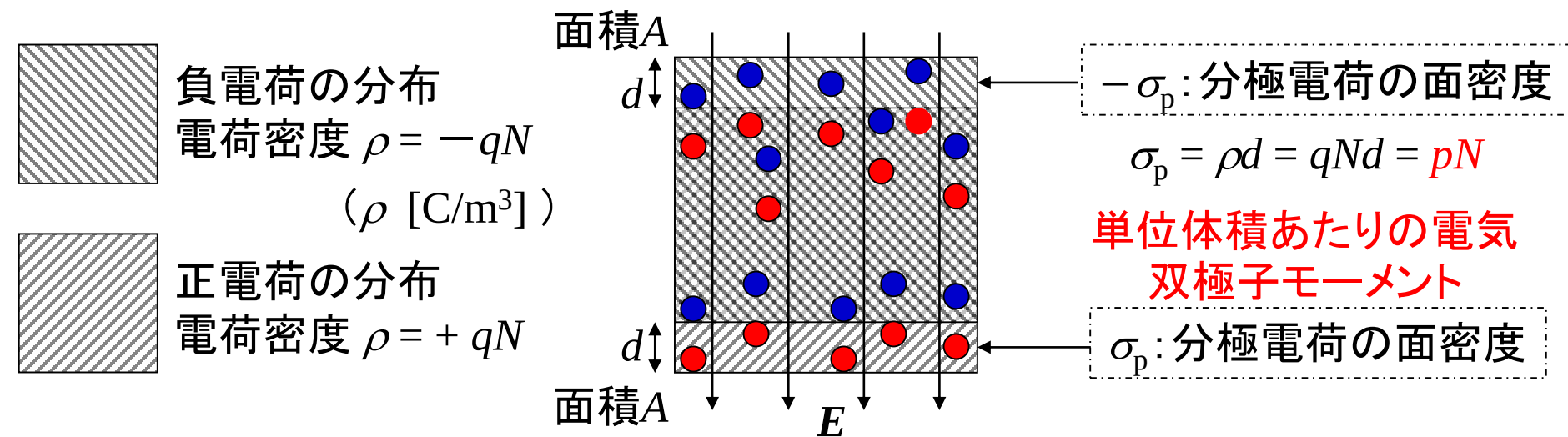
$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = 3 \times 10^{-3} \text{ [J]}$$

分極  $P$  (新しい物理量)

電場中の原子は電気双極子となる。

電気双極子モーメント:  $p = qd$

単位体積あたりの構造体数(分子・原子数)を  $N$  とすると ( $N$ 個/ $\text{m}^3$ )



分極

$P$ : 誘電体の単位体積中の電気双極子モーメント  $P = pN = \sigma_p$

## 誘電率

 $\epsilon_r$  $\epsilon_0$  $\epsilon$ 

ある物体の比誘電率と真空の誘電率との積をその物体の  
(電気定数)

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

誘電率

という

真空の比誘電率は 1 なので「真空」の「誘電率」は、 $\epsilon = 1 \times \epsilon_0 = \epsilon_0$  である。

極板間の物質の誘電率

極板間の物質の比誘電率

例：平行板キャパシタの容量  $C = \epsilon_r C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon A}{d}$

(誘電体有)

極板間が真空でも  
誘電体で満たされて  
いても成り立つ表現

極板間が真空の場合の電気容量  $C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

例：平行板キャパシタの極板間の電場の強さ  $E = \frac{E_0}{\epsilon_r} = \frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon}$

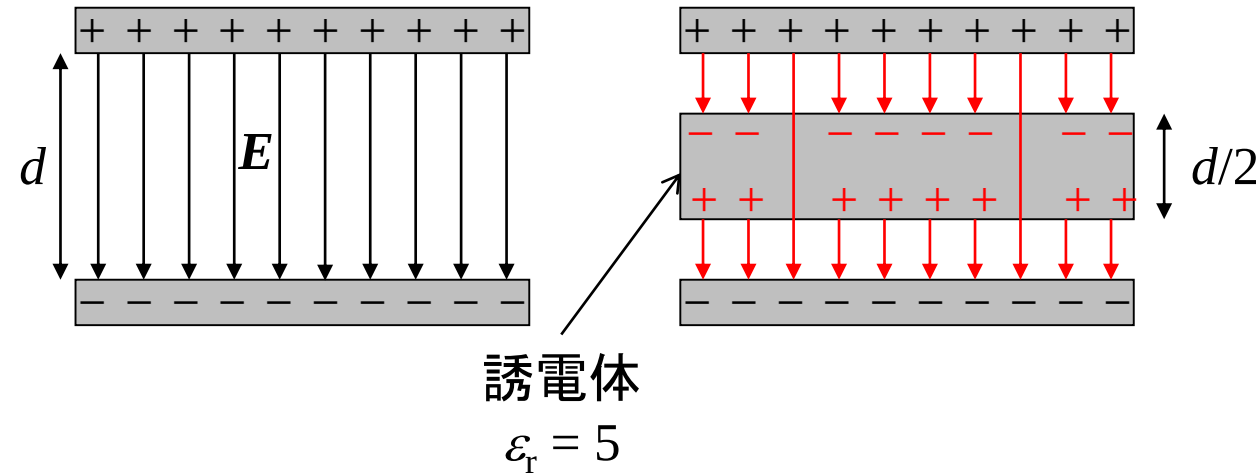
(誘電体有)

極板間が真空の場合の電場の強さ  $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

(電気定数)

$\epsilon_r$  は物体の誘電率の真空の誘電率に対する比なので、比誘電率という  $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$

問題：右のキャパシターの電気容量は、左のキャパシターの何倍か？  
また、右の図に分極電荷と電気力線を数を考慮して書き込め。



比誘電率  $\epsilon_r = 5$  の  
誘電体中の電場の  
強さは5分の1

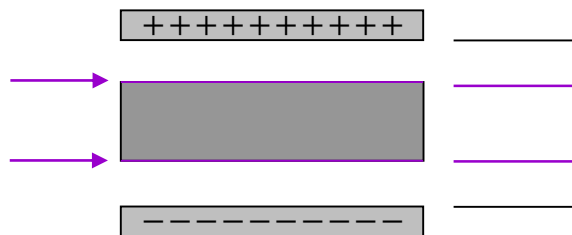
極板間の電位差:  $Ed$

極板間の電位差:  $E \times \frac{d}{2} + \frac{E}{5} \times \frac{d}{2} = \frac{3}{5} Ed$

極板上の電荷  $Q$  は右と同じで、

$$Q = CV$$

極板間の電位差  $V$  は  $\frac{3}{5}$  倍  $\rightarrow$  電気容量  $C$  は  $\frac{5}{3}$  倍

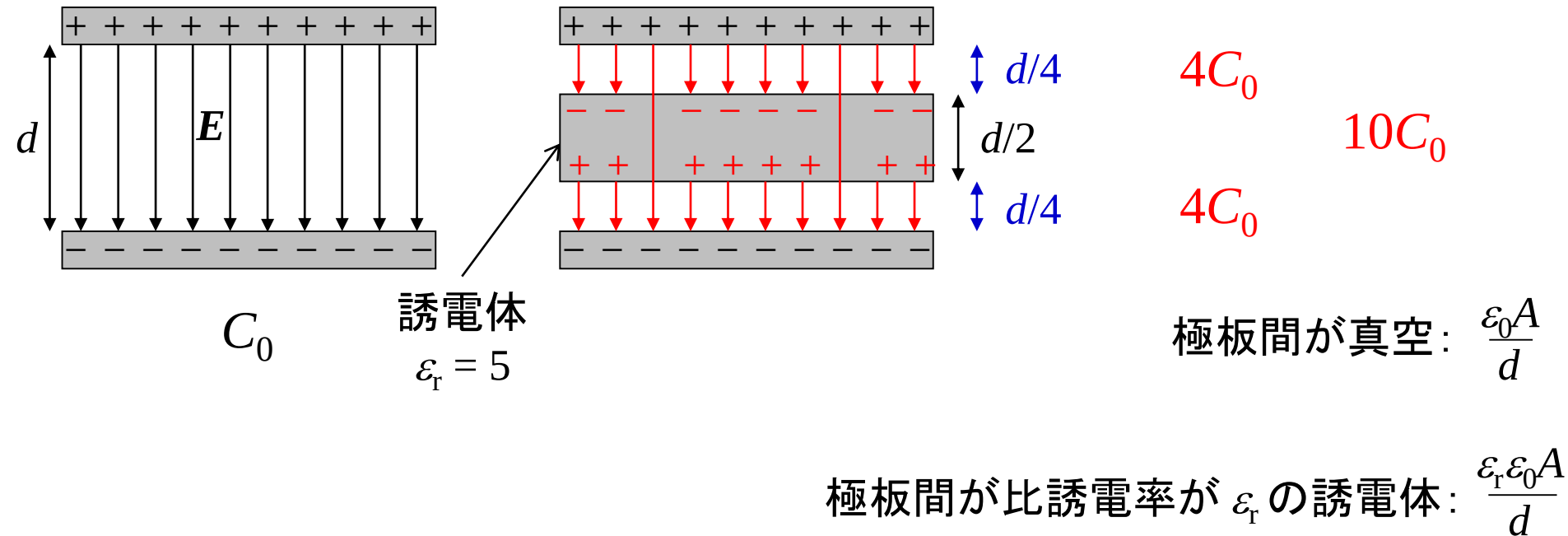


空気のキャパシター  
誘電体のキャパシター  
空気のキャパシター

この3つのキャパシターの  
直列と考えることもできる。

薄い金属を入れても容量は変化しない

問題：右のキャパシターの電気容量は、左のキャパシターの何倍か？  
3つのキャパシターの直列として導け。



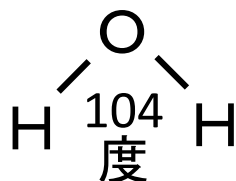
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{4C_0} + \frac{1}{4C_0} + \frac{1}{10C_0} = \frac{5+5+2}{20C_0} = \frac{3}{5C_0}$$

$$C = \frac{5}{3} C_0$$

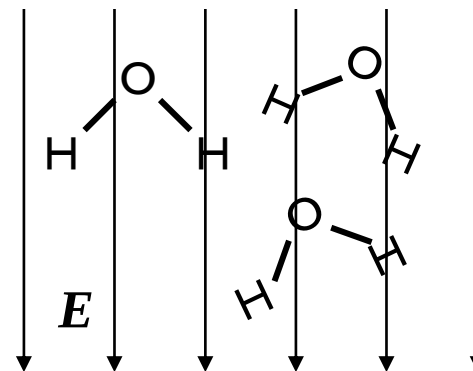
この方法は、 $d/4$  なら有効だが、きりの良くない数値の場合は面倒。⑦の方法はOK

## 極性分子の場合(例:水 $\epsilon_r = 80@20^\circ\text{C}$ )

共有結合電子は酸素原子に  
引き寄せられているので  
酸素原子は－に帯電



水素原子は＋に帯電

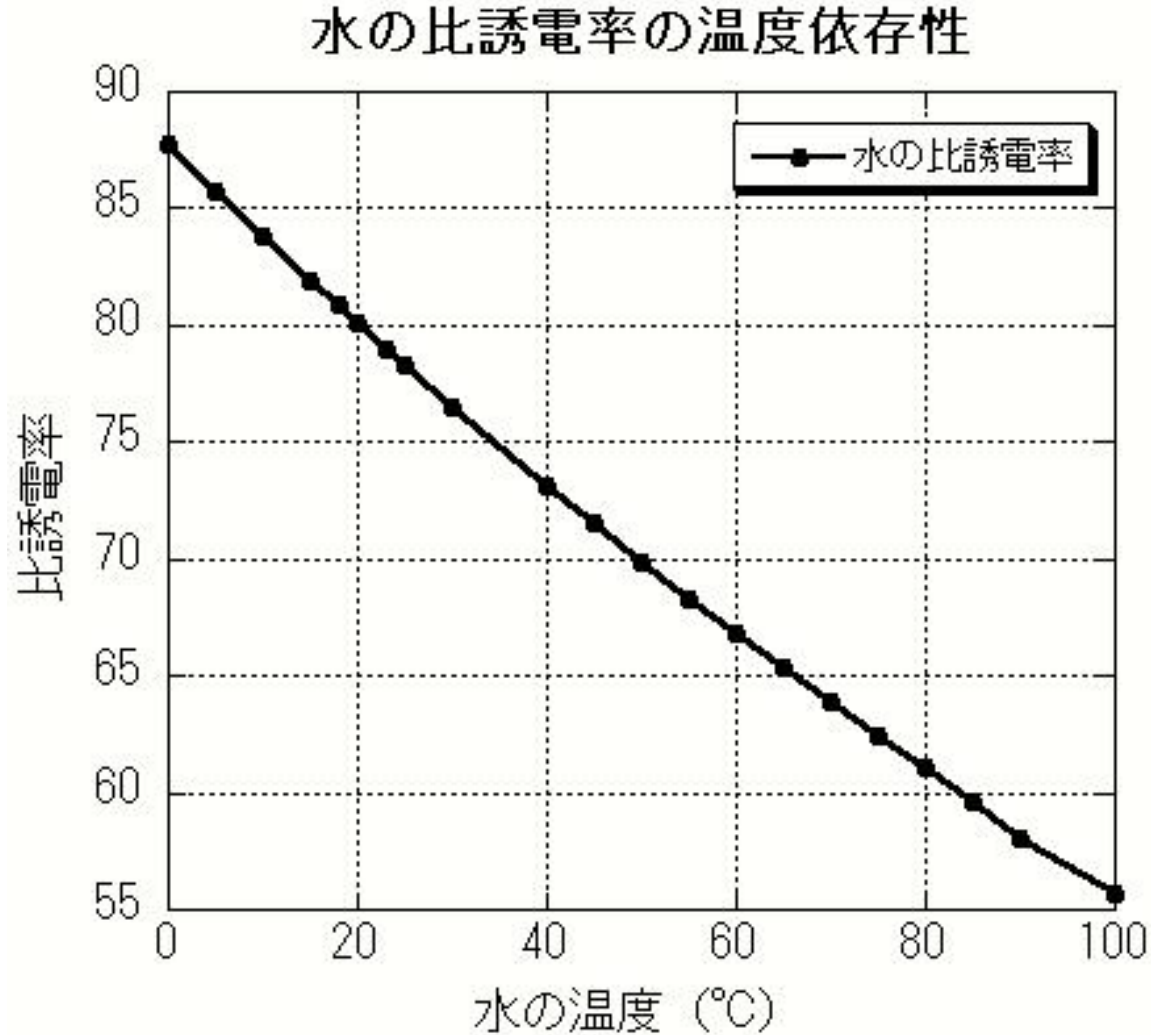


水も無極性分子の場合と同様に、電子雲と原子核の  
位置関係が電場でずれることによって分極するが、  
右図のように分子が整列する効果の方が大きい



問題: 水の比誘電率は、図のような温度変化をする。温度が上がると比誘電率が下がる原因を推理せよ。ヒント: 温度は分子運動の激しさ

温度が高い  
↓  
分子の整列が乱される



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(復習)  
多くの物質の比誘電率は、温度に大きく依存しない。(水は極性分子で例外的)

静電気(摩擦電気)で帯電させた棒を流れ落ちる水に近づけてみる。

### 動画参照

水流に帯電した物体を近づけると、動画のように面白い程よく曲がります。  
このとき、何が起きているかは、なかなか難しいです。

- ①水道水はイオンも含むので静電誘導が起きているのかもしれませんが、
- ②誘電分極が支配的かもしれません。

このときの水流や棒の付近の電場や電位がどうなっているのかも含め、  
難しい問題です。私もよくわかりません。

みなさんも考えてみて下さい。

また、この問題に関して①or②の判別方法のアイデアや  
何か意見、情報等があれば出席票に書いておいて下さい。

この実験は、皆さんも簡単にできます。家で実験してみてください。



# ウィムズハースト式誘導起電機

Wimshurst

2枚の円板が向かい合って設置しており、それぞれ逆方向に回転するようになっている。各円板には、写真のように電極が多数ついている。それぞれの円板には**円板内の反対側の電極同士を導通させる棒**がある。**電荷を回収する電極**も2つある。回収した電荷はライデン瓶(コンデンサ)に貯める。原理は、次回以降に

