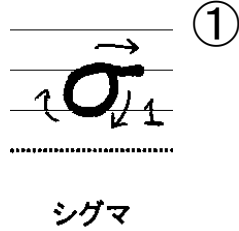


Q & A



Q: σ (シグマ)の書き方がわかりません。

A: ギリシャ文字には決まった書き順はないようですが右のように書きます

Q: 雷は夏と冬ではどちらが発生しやすいのでしょうか？

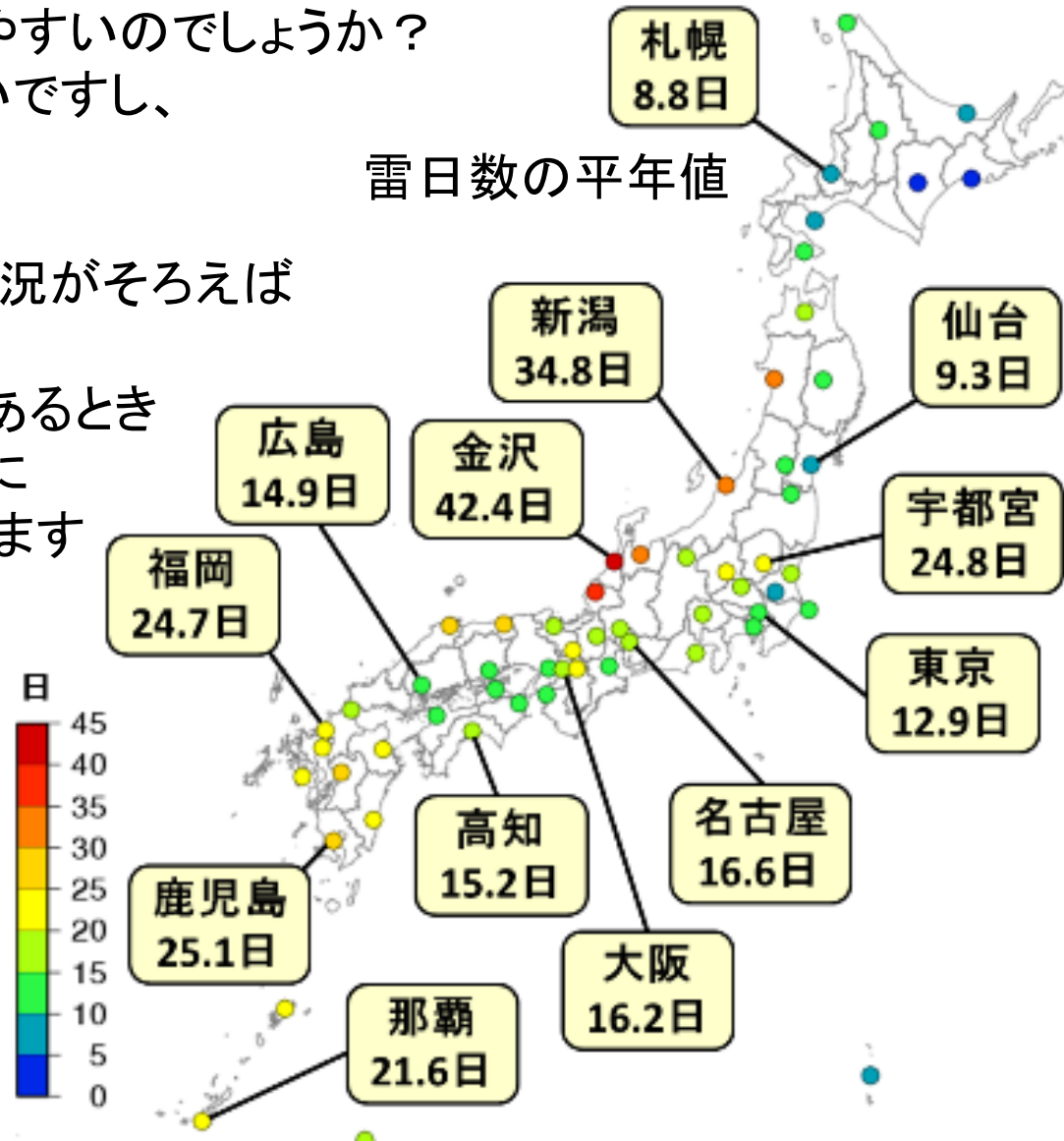
A: 地域によります。北陸は冬に多いですし、太平洋側は夏に多いです。

Q: セントエルモの火はどのような状況がそろえば見られますか。

A: 地上と上空に大きな電位差があるときに起こるコロナ放電ですので、上空に帯電した雷雲等があるときに発生します

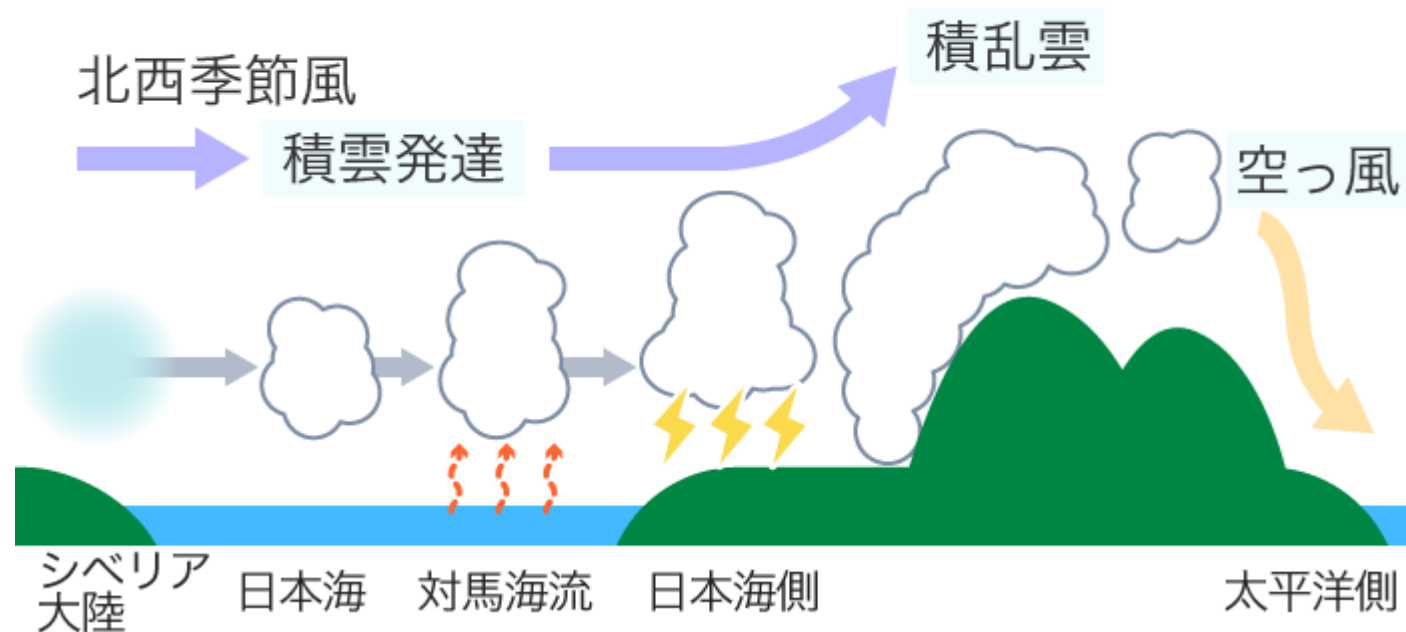
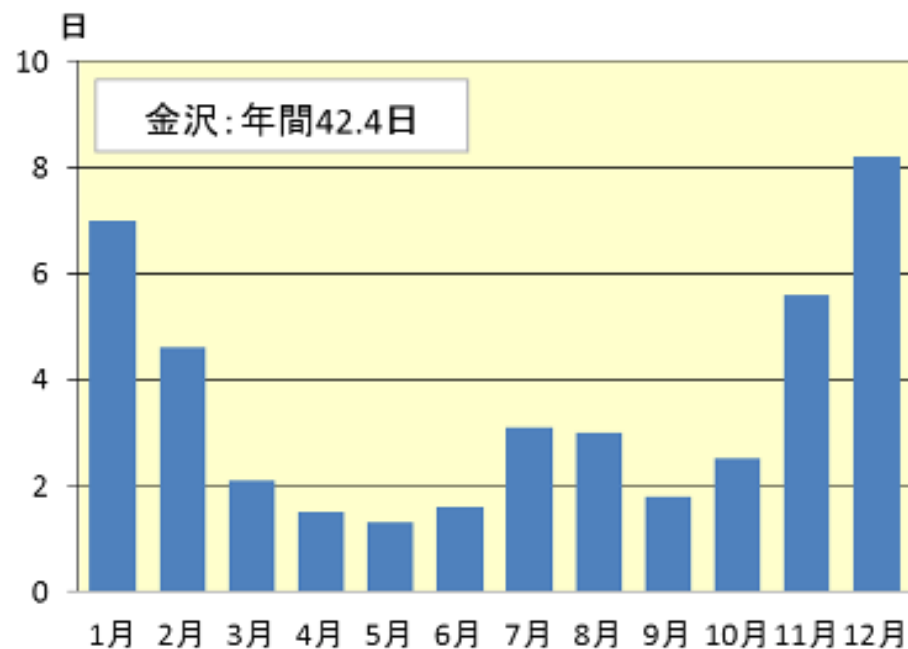
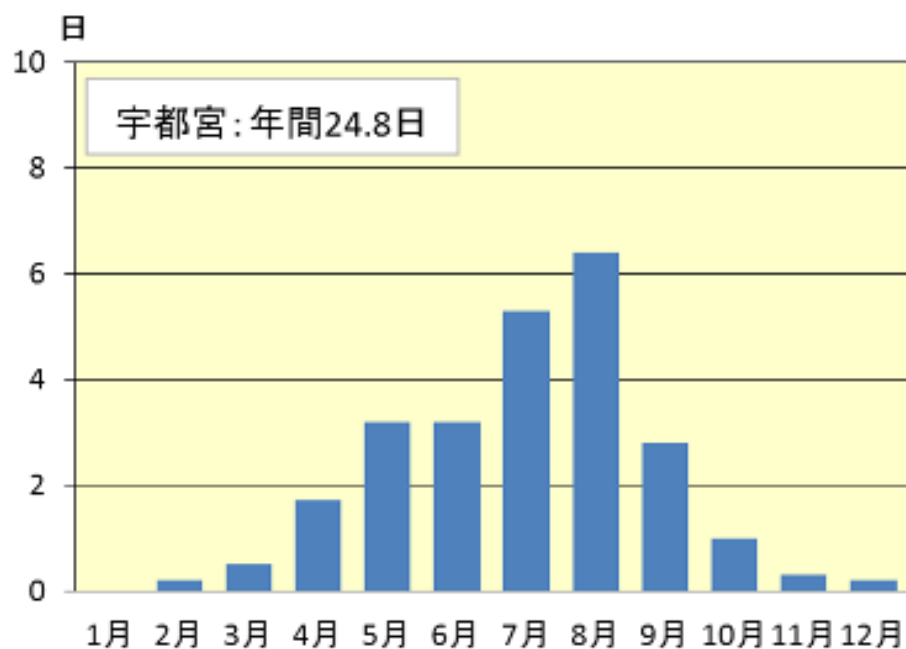
Q: 夏の夜に雨が降っているとき、雲の色は見えないのに、雪が降っているときのような寒い日の夜の雲はうすい黄色に光っているのはなぜ

A: 雪で街明かりが反射して、雲を照らしているからだと思います。



月別雷日数の平年値

②



電場のエネルギー p221

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

$\uparrow$ $\nwarrow$
 $\frac{\epsilon_0 A}{d}$ 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⑲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。

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

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

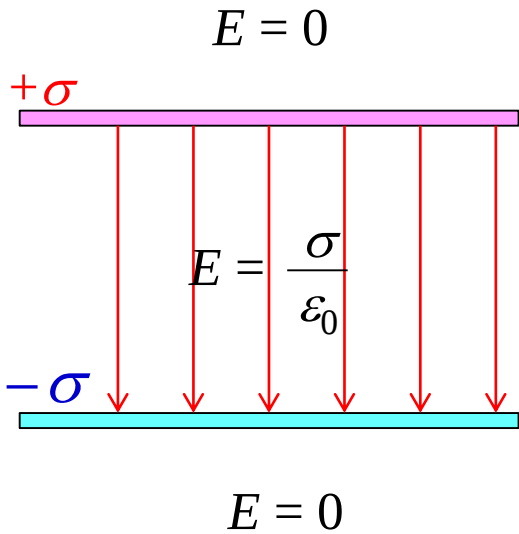
⑤極板間の空間に蓄えられている電場のエネルギー U を求めよ。

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

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

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。

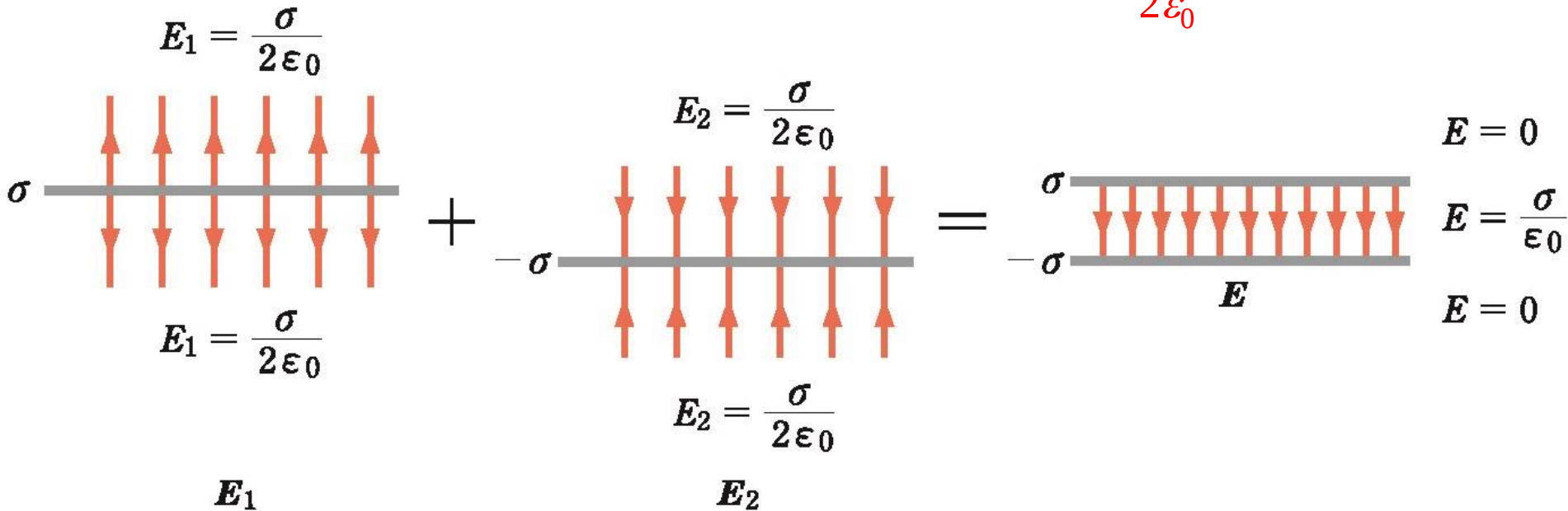
同じ極板内の電荷間で作用する電気力は完全に打ち消しあう。(足し算するとゼロになる。)
これは、作用・反作用の法則より明らか。



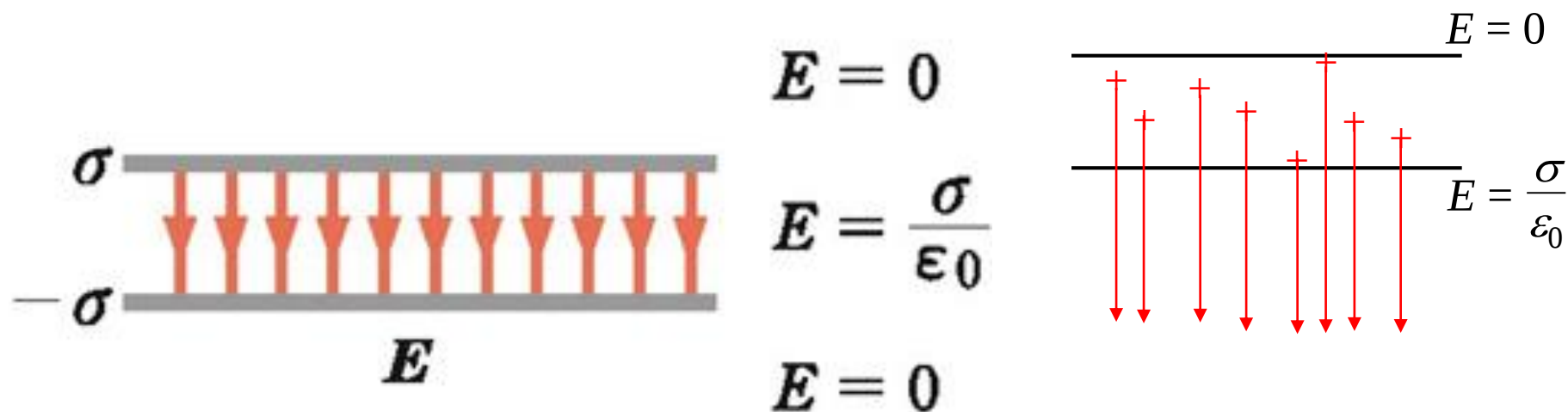
上の板の単位面積上の電荷 σ には
下の板の電荷のつくる電場 E_2 により

$F = qE = \sigma E_2$ 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。



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。(別の方法)



上の極板内では、電場が 0 から $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ まで連続的に変化しており、
平均すると、電場は下向きに $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ である。

この電場中に単位面積あたり σ [C] の電荷があるので、
その電荷に作用する電気力 ($F = qE$) は下向きに $\frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$ である。

(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、

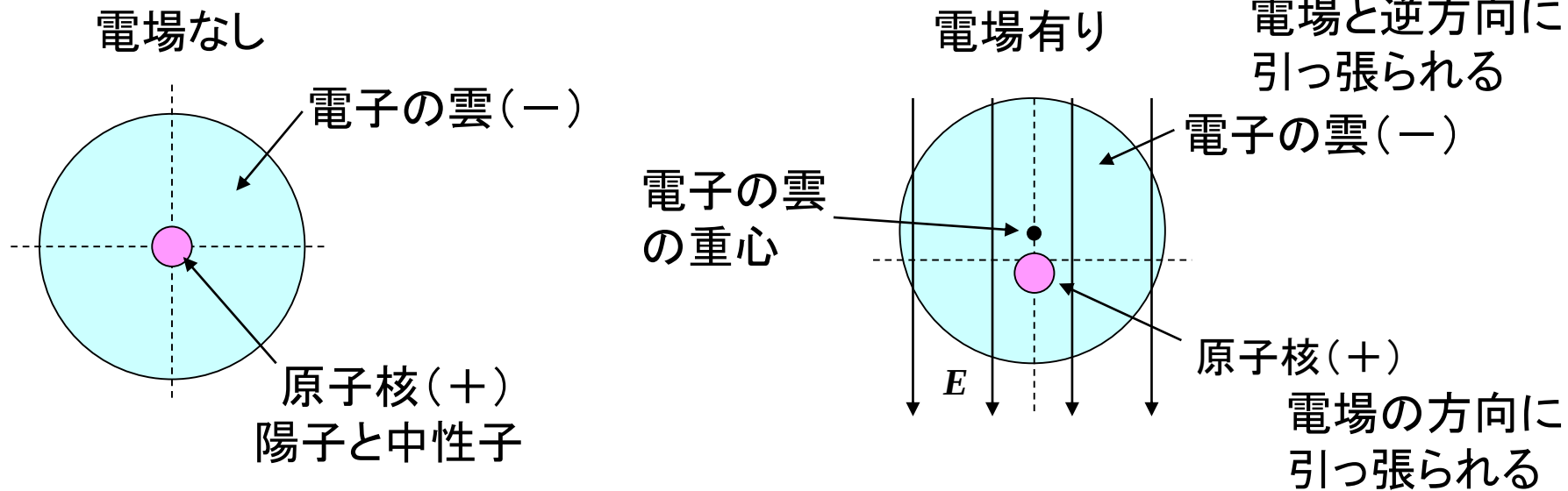
③： $\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} Q^2/C$ でもよいし、⑤電場のエネルギー： $u_E \times \text{体積}$ でもよいし、

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。

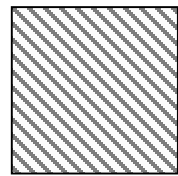
原子を電場中に置くと



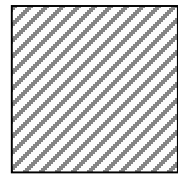
原子は **電気双極子** になる。

絶縁体を電場中に置くと(電気双極子のイメージで)

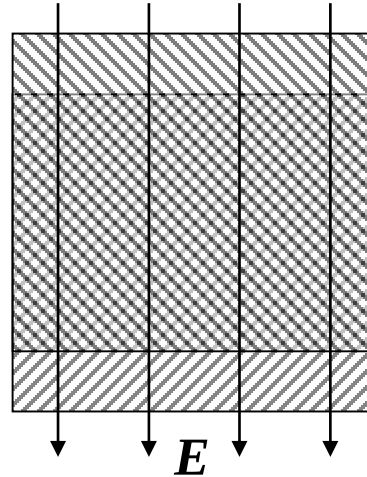
⑦



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**)

σ_p : 分極電荷の面密度

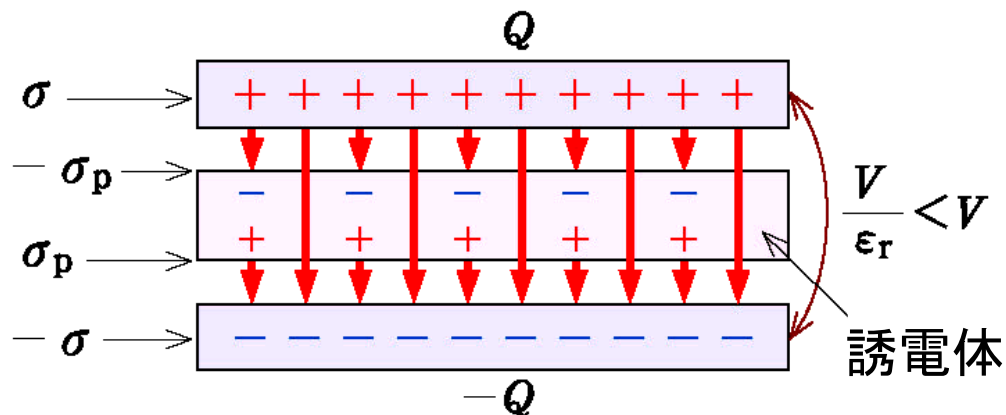
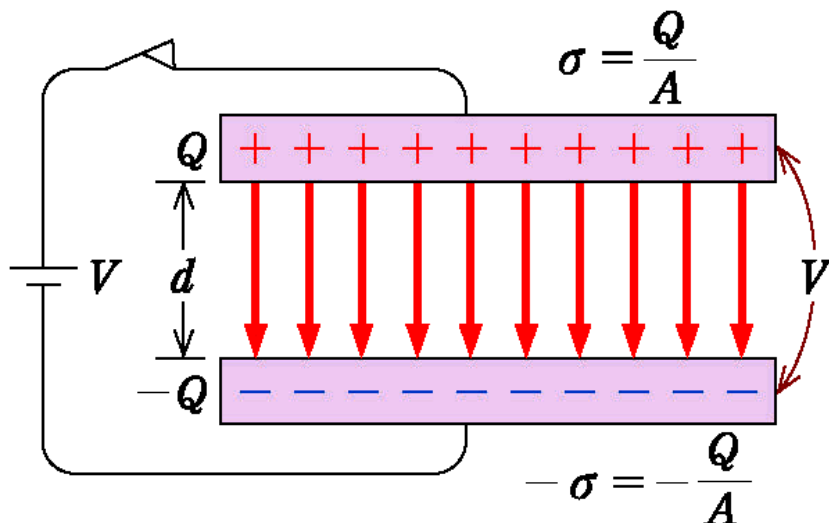
p: polarization(分極)

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)
 $\nearrow$ 不変 $\nearrow$ $\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma}$ 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 ϵ_r 倍になったとき、 ϵ_r をこの誘電体の **比誘電率** という

比誘電率 ϵ_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

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

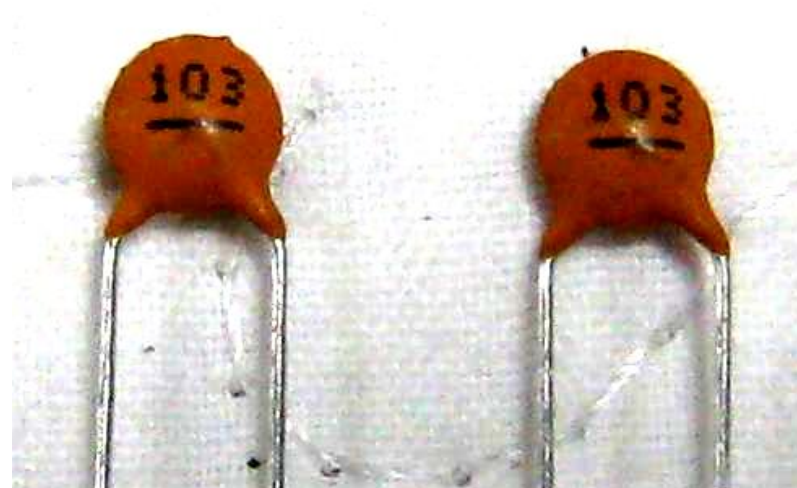
まとめ問題: 極板間を比誘電率が ϵ_r の誘電体で満たすと... (電池はつないでない)

電気容量 C : ϵ_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

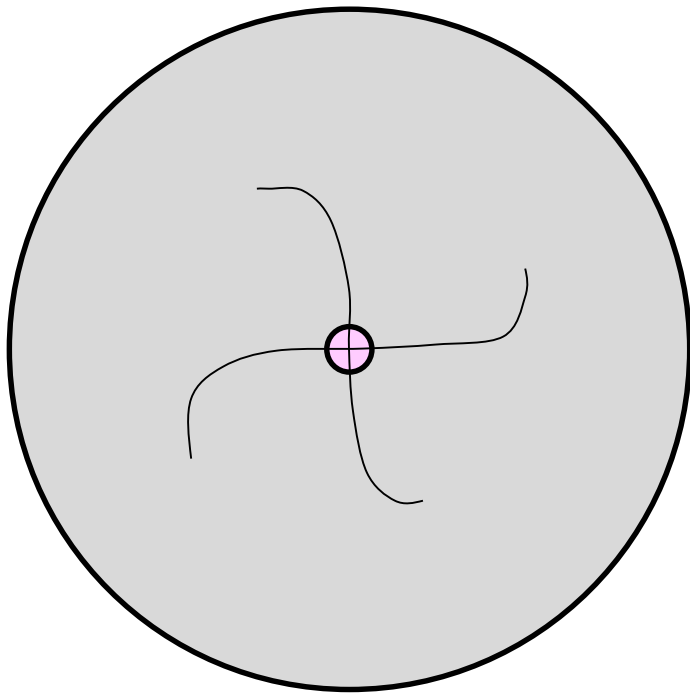
問題： ① コップの形状は半径____cm
長さ____cmの円筒として、底面は無視し、外側のアルミ箔と内側のアルミ箔の間は、厚さ1 mm のポリスチレン（比誘電率は2.5）で満たされているとして、このキャパシターの電気容量を求めよ。

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

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

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。(②と同じこと)
- ③ 針金の先端を背にして回転する。

