【17 コンデンサー】

・コンデンサーの基本公式

$$Q = CV$$

・一様な電場と電位の関係式

$$V = Ed$$

・電気容量　　ε：誘電率　ε_r：比誘電率　ε_0：真空中の誘電率

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d} \ [\mathrm{F}]$$

・コンデンサーの合成容量

並列：$C = C_1 + C_2$

直列：$\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$

・コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー

$$U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C} \ [\mathrm{J}]$$

(　　)年　(　　)科　(　　)組　(　　)番　名前(　　　　　　　　　　　　)

5 コンデンサー

A コンデンサーの充電

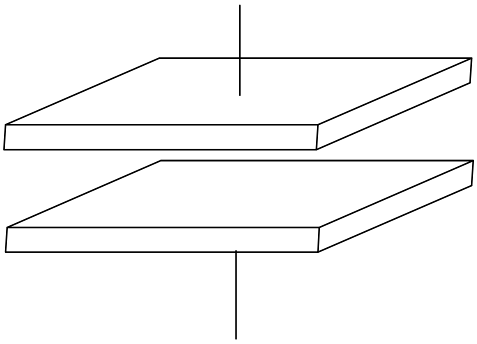
そもそもコンデンサーとは何なのか？

→コンデンサーとは「　　　　　　　　　」装置のことです。しかも、仕組みはとてもシンプルで、

「　　　」の「　　　　　」を「　　　　　」に配置するだけです。このときの金属板のことを

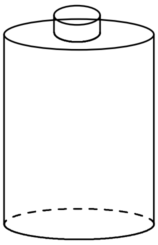
「　　　」といって、極板同士が平行なコンデンサーを特に「　　　　　　　　　　」といいます。

・コンデンサー



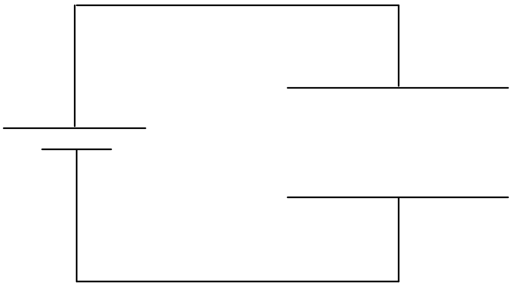
記号

・電池



記号

・回路図



Q：コンデンサーの電気量 [C]
C：コンデンサーの電気容量 [F]
V：極板間の電位差 [V]

接頭語

ミリ	マイクロ	ナノ	ピコ
m	μ	n	p
10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

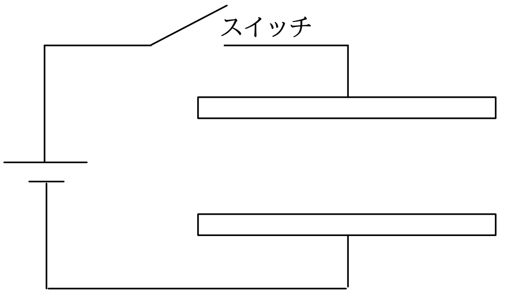
※コンデンサーは電池の電圧と同じになります。電池にはさからえないと思ってください。
また、導体(導線)内は等電位なので、『つながっているところは等電位』になります。

【コンデンサーの基本公式】

コンデンサーの充電のしくみ

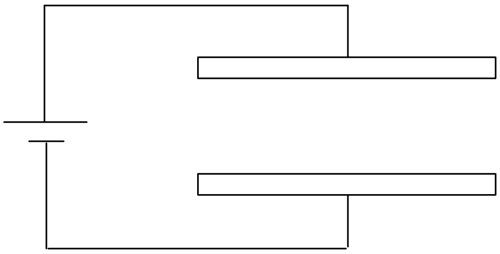
　このページを理解するのとしないのとでは、今後大きな差が出ます。いわゆる「電荷の動きのイメージ」を習得できるかどうかにかかってくるのです。何度も読み返して理解しましょう。

Ⅰ.スイッチを入れる前



① 金属は普段電気を帯びていません。しかし、電気を帯びていないだけで、正と負 同じ量の電気量を持っています。電気的に中性(±0)なだけです。

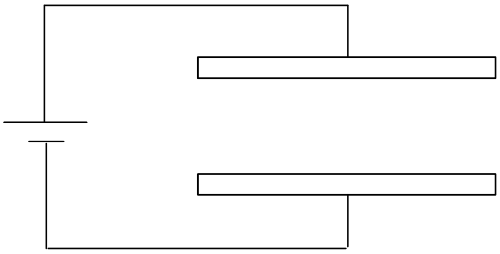
Ⅱ.スイッチを入れて電池とつないだ瞬間



② 電池は＋極側につながっている金属板から－極側につながっている金属板に「　　　　　」を移動させます。
（※電池からは何も出てこない！！）

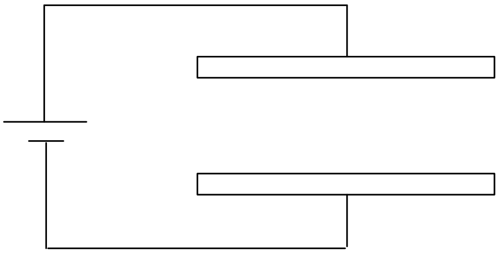
【よくある勘違い】
電池からは、なにも出てきません！
電池ってのはあっちからこっちに電子を運ぶだけです！

Ⅲ.充電中



③ 充電中は、「　　　　　　　　」向きの「　　」向きに「　　　　　」が流れます。

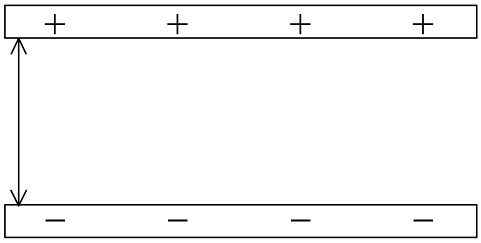
Ⅳ.充電完了(十分時間が経過したあと)



④ やがて、
「　　　　　　　　　　　　」と
「　　　　　　　　　　　　」が
等しくなったときに電子の移動がとまり、電流も流れなくなります。これで充電が完了します。
※ 電池は繋がっている部分を必ず自身の電圧と同じにする絶対的能力を持っていると思ってください。そして、導線部分は等電位なので、やはり『つながっているところは等電位』です。

B コンデンサーの電気容量

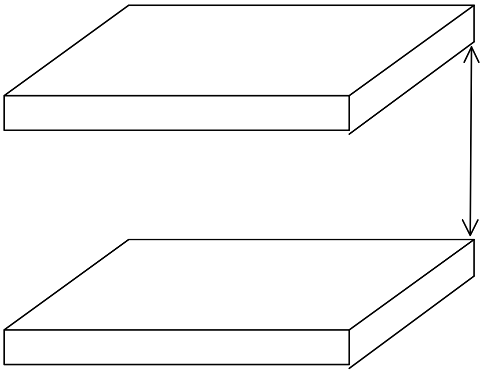
図のように、コンデンサーの上の極板に$+Q$ [C]、下の極板に $-Q$ [C] の電気量があるときを考えます。ガウスの法則より、 $+Q$ [C] の帯電体からは「　　　　　　」本の電気力線が出ることになるので、それぞれ上下に「　　　　　　」本の電気力線を書き込みます。



コンデンサーの外側の電気力線は打ち消しあうことになるため、結局、コンデンサーの間のみ電気力線が存在することになります。1m^{2}あたりを貫く電気力線の本数がその場の電場という定義なので、極板の面積をS [m^2]とすると、

$E =$ ―――――――　となります。

また、コンデンサーの極板間は一様な電場とみなせるので、コンデンサーの電位差をVとすると、



=

=

=

ここで、$\frac{1}{4\pi k} = \varepsilon$　とすると、

=

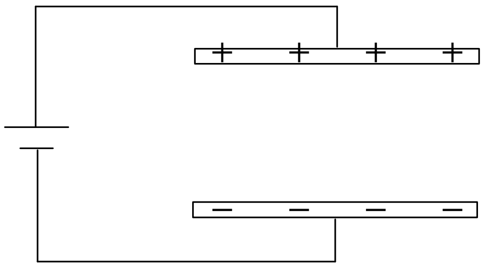
$Q = CV$ と比較すると、　**【電気容量】**

電気容量は、面積 S に比例し極板間隔 d に反比例する！

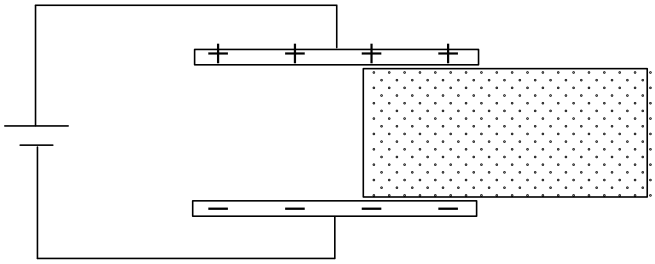
C コンデンサーと誘電体

誘電体のはたらき

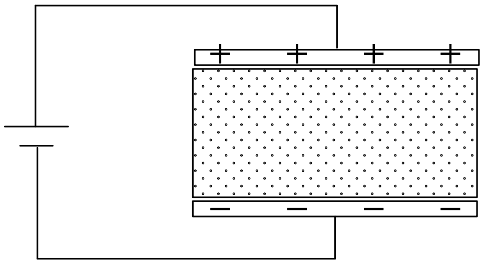
① コンデンサーを充電したらこのように正電荷と負電荷が上下の極板にたまります。



② 誘電体を入れると誘電分極により、極板と接する誘電体の表面に極板と反対の符号の電荷が現れます。すると、コンデンサーに充電されていたいくつかの電荷が打ち消されたようになります。(しかし、消えるわけではないのがミソ。)



③ 電場が弱まり電位差も小さくなります。すると、電池は自分の電位差と同じにするため、さらに電荷を移動させます。その結果、通常よりも多い電気量を蓄えることになります。つまり、電気容量が増えたことになるわけです。



【コンデンサーの電気容量の式】　＝　　＝

日本語に注意！　「誘電率」は、そのまま $C=\varepsilon\frac{S}{d}$ に代入する。

「比誘電率」は、真空中に『比』べてという意味なので、$C=\varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{d}$ に代入する。

または、$C=\varepsilon_r C_0$ のように真空中のコンデンサーの電気容量の何倍と表す。

1　電気容量 2.0 μF のコンデンサーに 100 V の電池をつなぐとき，蓄えられる電気量 Q〔C〕を求めよ。

2　電気容量が 2.0 μF と 50 pF のコンデンサーにそれぞれ 30 V の電圧を加えるとき，コンデンサーの電気量はそれぞれ何 C になるか。

3　電気容量が 1.2 μF のコンデンサー A に対して，極板の面積を 2 倍，極板の間隔を半分にしたコンデンサー B の電気容量は何 μF か。

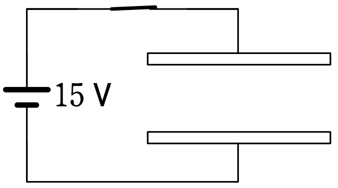
4　極板の面積が 5.00×10^{-4} m^2，極板の間隔が 2.50×10^{-3} m，極板間が真空の平行板コンデンサーの電気容量は何 F か。真空の誘電率を 8.85×10^{-12} F/m とする。

5　極板の対向面積が 1.0 m^2，極板間の距離が 2.0 mm の平行板コンデンサーの電気容量C〔F〕を求めよ。極板間のすき間は真空で，真空の誘電率は 8.8×10^{-12} F/m であるとする。

6　コンデンサーの極板の間に，比誘電率 5 の油を満たすと，電気容量は初めの何倍になるか。

7　極板間が真空で電気容量が 2.0 pF のコンデンサーの極板間に，チタン酸バリウム (比誘電率 5000) をすき間なく入れたときの電気容量を求めよ。

8　平行板コンデンサー (電気容量 30 pF) を電圧 15 V の電池で充電した。次の各場合について，問いに答えよ。



(1)　電池を外した状態で，極板の間隔を半分にした。このときの極板間の電位差 V' 〔V〕を求めよ。

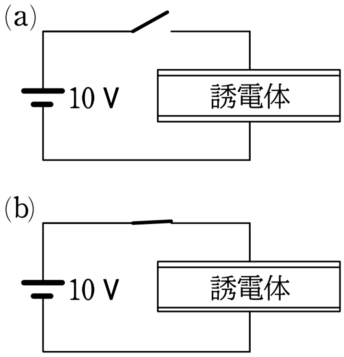
(2)　電池に接続した状態で，極板の間隔を半分にした。このときのコンデンサーの電気量 Q' 〔C〕を求めよ。

9　極板間が空気 (比誘電率 1.0) の平行板コンデンサー (電気容量 200 pF) を電圧 40 V の電池で充電した。次の各場合について，問いに答えよ。

(1)　電池を外した状態で，極板間を誘電体 (比誘電率 5.0) で満たした。このときの極板間の電位差 V' 〔V〕を求めよ。

(2)　電池に接続した状態で，極板間を誘電体 (比誘電率 5.0) で満たした。このときのコンデンサーの電気量 Q' 〔C〕を求めよ。

10　平行板コンデンサー（電気容量 20 pF）を電圧 10 V の電源で充電した。



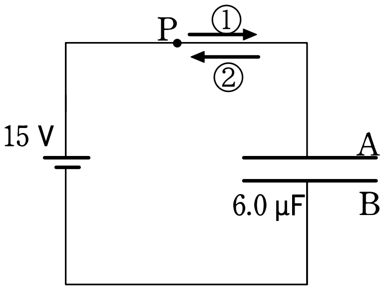
(1)　充電が完了したときの電気量 Q〔C〕を求めよ。

(2)　(1) のコンデンサーを次の状態で比誘電率 5.0 の誘電体で満たす操作を行う。

(a)　スイッチを切った状態で誘電体を挿入したときの，電気量 Q_1〔C〕と極板間の電位差 V_1〔V〕を求めよ。

(b)　スイッチを入れた状態で誘電体を挿入したときの，電気量 Q_2〔C〕と極板間の電位差 V_2〔V〕を求めよ。

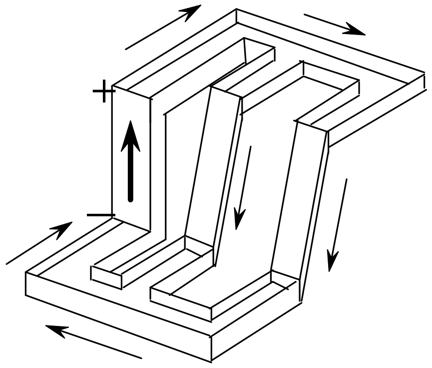
11　図のように，極板 A，B をもつ電気容量 6.0 μF の平行板コンデンサーが起電力 15 V の電池につながれている。



(1)　コンデンサーに蓄えられている電気量 Q〔C〕を求めよ。

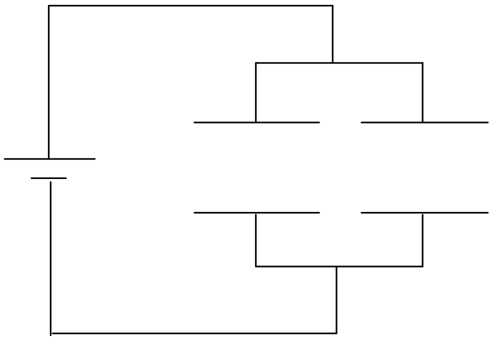
(2)　電池をつないだまま，極板の間隔を3倍に広げたとき，点 P に電流が流れた。この電流の向きは ① か ② のどちらか。また，このとき点 P を通過した電気量の大きさは何 C か。

コンデンサーの並列接続

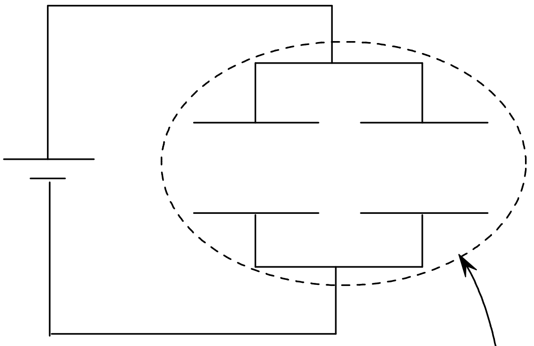


２つのコンデンサーがあっても考え方は同じです。電池とつながった瞬間、電池の電位差と同じになるまで極板の電子がこっちからあっちに運ばれます。このとき「つながっているところは等電位」ルールにより２つのコンデンサーの電位差は同じになります。（↑これが重要。水路図のイメージがあるといい。）

充電中



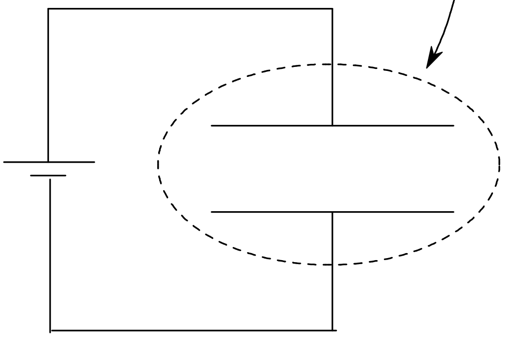
充電完了



ただし、電位差は同じになりますが、蓄えられる電気量はそのコンデンサーの電気容量によって変化するため注意が必要です。そのため Q はそれぞれの値となります。
各コンデンサーで$Q=CV$を立てると、

{　　＝
　　＝

①+②より

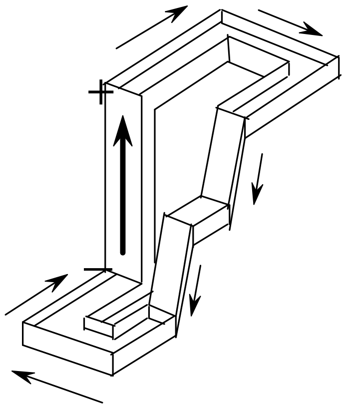


とすると、 C_1+C_2 [F] という電気容量のコンデンサーに、 Q_1+Q_2 [C] の電気量がたまっているとみなすことができ、あたかも１つのコンデンサーとして計算することができます。これをコンデンサーの合成といいます。

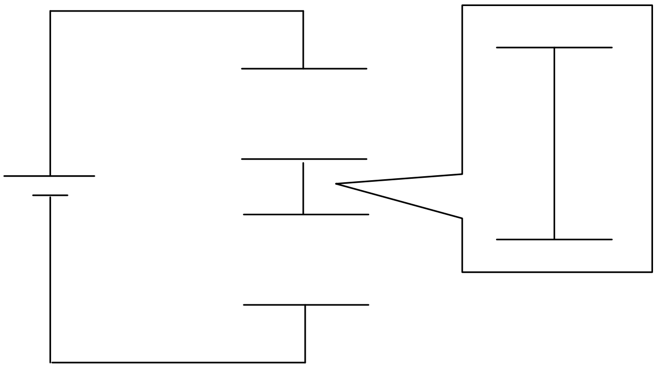
【並列接続の合成容量】

コンデンサーの直列接続

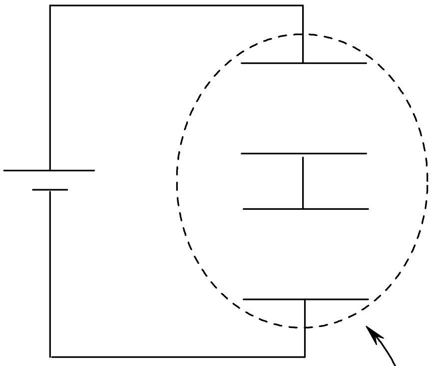
　直列も考え方は同じです。電池とつながった瞬間、電池の電位差と同じになるまで極板の電子がこっちからあっちに運ばれます。ただし、「つながっているところは等電位」ルールにより電池とつながっている一番上の極板と一番下の極板が等電位になります。そして真ん中の離れ小島の部分は静電誘導によって自動的に充電されます。そのため２つのコンデンサーの電気量は同じになります。(←これ重要)



充電中

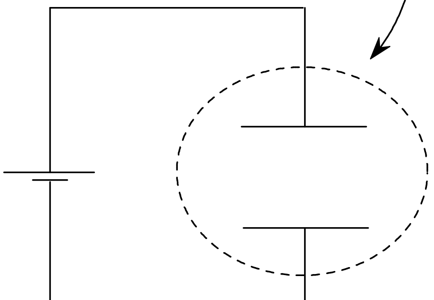


充電完了



　電気量は同じになりますが、各コンデンサーにかかる電圧はそのコンデンサーの電気容量によってかわるので注意が必要です。そのため V はそれぞれの値となります。
各コンデンサーで$Q=CV$を立てると、

$$\begin{cases} \quad = \\ \quad = \end{cases}$$



$V_1+V_2=V$ より

ここで $Q=CV$ を変形して $Q\cdot\dfrac{1}{C}=V$ と比較すると

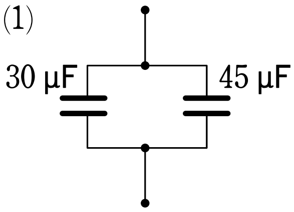
【直列接続の合成容量】

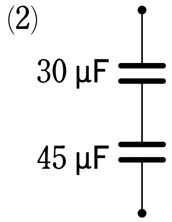
1　電気容量が 3.0 μF，6.0 μF の 2 つのコンデンサーを，並列接続および直列接続したときの合成容量 C_A〔μF〕，C_B〔μF〕を求めよ。

2　電気容量が 30 μF と 45 μF の 2 つのコンデンサーがある。

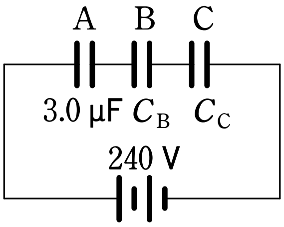
(1) コンデンサーを並列接続したとき，合成容量は何 μF か。

(2) コンデンサーを直列接続したとき，合成容量は何 μF か。

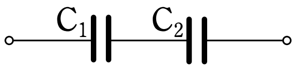




3　電気容量 3.0 μF のコンデンサー A と，電気容量が未知のコンデンサー B，C の 3 個を図のように直列に接続し，両端に 240 V の電圧を加えたら，3.0 μF のコンデンサーの両端の電圧は 48 V，B の両端の電圧は 72 V であった。B，C の電気容量 C_B〔μF〕，C_C〔μF〕を求めよ。最初，コンデンサーに電荷はないものとする。



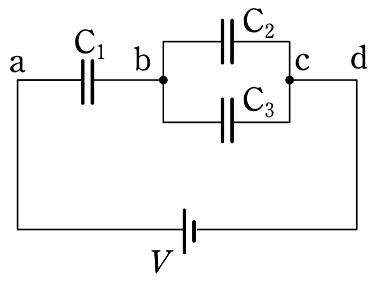
4　電荷を蓄えていない，2.0 μF のコンデンサー C_1 と 6.0 μF のコンデンサー C_2 を直列に接続してその両端に 16 V の電圧を加える。



(1)　合成容量は何 μF か。

(2)　各々のコンデンサーに加わる電圧と，蓄えられる電気量を求めよ。

5　電気容量がそれぞれ C_1，C_2，C_3 の3個のコンデンサー C_1，C_2，C_3 と起電力が V の電源により，図のような回路をつくる。$C_1 = 3.0$ μF，$C_2 = 2.0$ μF，$C_3 = 4.0$ μF，$V = 3.0 \times 10^2$ V のときに，次の値を求めよ。



(1)　ad 間の合成容量 C

(2)　ab 間の電位差 V_1

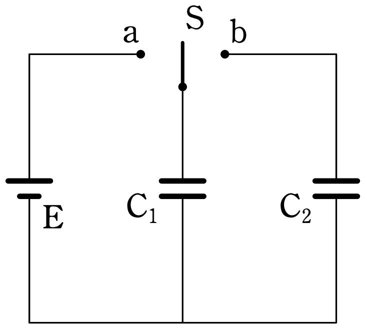
(3)　bc 間の電位差 V_2

(4)　コンデンサー C_1，C_2，C_3 のそれぞれに蓄えられる電気量 Q_1，Q_2，Q_3

6　図でEは6.0 Vの電池，Sは切りかえスイッチ，C_1，C_2 はそれぞれ1.0 F，2.0 Fのコンデンサーで，最初 C_1，C_2 に電荷はないものとする。

(1)　Sをa側に倒す。十分に時間がたつと C_1 が蓄える電気量 Q は何Cか。

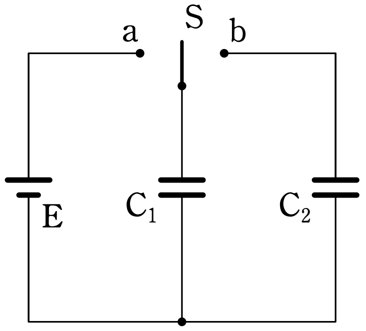
(2)　続いてSをb側に倒して十分に時間がたったとき，C_1 が蓄える電気量 Q_1 は何Cか。



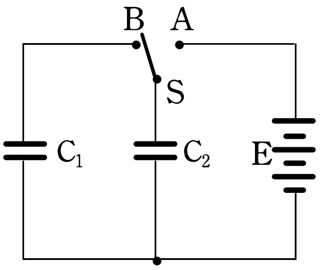
7　図のように，コンデンサー C_1，C_2 (電気容量 C_1，C_2〔μF〕) と電池E (電圧 V〔V〕)，切りかえスイッチSを接続した。最初Sは開いており C_1，C_2 に電荷は蓄えられていないものとし，$C_1 = 3.0$ μF，$C_2 = 4.0$ μF，$V = 21$ Vのとき，次の (a)，(b) に答えよ。

(a)　Sをa側に倒した。C_1 の電気量 Q_1〔C〕を求めよ。

(b)　次にSをb側に倒した。C_1，C_2 の電気量 Q_1'，Q_2'〔C〕をそれぞれ求めよ。



8　図で C_1 は電気容量 4.0 μF のコンデンサー，C_2 は同じく 8.0 μF のコンデンサー，S はスイッチ，E は電圧 3.0×10^2 V の直流電源である。初め C_1，C_2 に電荷はないとする。

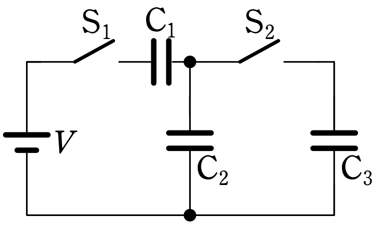


(1)　スイッチ S を A 側に倒し，C_2 を充電する。このとき，C_2 に蓄えられる電気量 Q_2〔C〕を求めよ。

(2)　次に，スイッチ S を B に切りかえた。C_1 の両端の電圧 V_1〔V〕を求めよ。

(3)　再びスイッチ S を A に切りかえ，充電した後 B に倒した。C_1 の電圧 V_2〔V〕を求めよ。

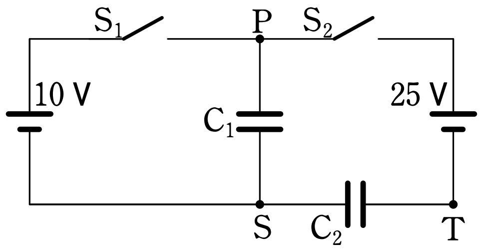
9　図のように，電気容量がそれぞれ C，$2C$，$3C$〔F〕のコンデンサー C_1，C_2，C_3 と，電圧 V〔V〕の電池，スイッチ S_1，S_2 を接続した。最初 S_1，S_2 は開いており，C_1，C_2，C_3 に電荷は蓄えられていないものとする。



(1)　S_1 のみ閉じたとき，C_2 に加わる電圧 V_2〔V〕を求めよ。

(2)　次に，S_1 を開いてから S_2 を閉じた。C_2 に加わる電圧 V_2'〔V〕を求めよ。

10　図のように，電気容量がそれぞれ 2.0 μF，1.0 μF のコンデンサー C_1，C_2 と，2 つの電源，スイッチ S_1，S_2 を接続した。まず，スイッチ S_1 のみを閉じ，PS 間の電位差が 10 V になるまでコンデンサー C_1 を充電した。

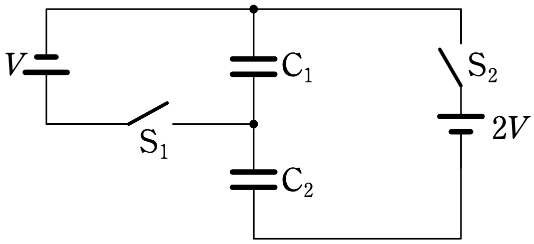


⑴　C_1 の P 側の極板上の電気量 Q〔C〕を求めよ。

次に，スイッチ S_1 を開き，S_2 を閉じて，電源で PT 間の電位差が 25 V になるようにした。コンデンサー C_2 は，初め充電されていないものとする。

⑵　S と T の電位はどちらが何 V 高いか。

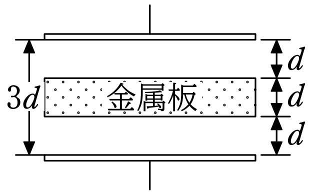
11　コンデンサーC_1，C_2と起電力V，$2V$の2つの電池，および2つのスイッチS_1，S_2を図のように接続した回路がある。コンデンサーC_1およびC_2の電気容量はいずれもCであり，初め，スイッチS_1，S_2は開いており，2つのコンデンサーには電荷が蓄えられていない。



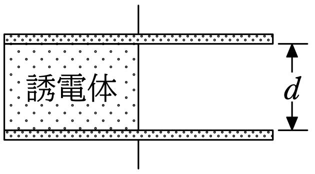
(1)　スイッチS_1を閉じて十分時間が経過した後のコンデンサーC_1に蓄えられた電気量を求めよ。

(2)　次に，スイッチS_1を開いてからスイッチS_2を閉じた。十分時間が経過したのち，コンデンサーC_1およびC_2に蓄えられた電気量をそれぞれ求めよ。

12　極板の面積 S〔m^2〕, 極板の間隔 $3d$〔m〕, 極板間が真空の平行板コンデンサーを考える。極板と同じ面積で厚さ d〔m〕の金属板を，極板間の中央に，極板と平行にして入れる。このコンデンサーの電気容量 C〔F〕を求めよ。真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。



13　極板の面積 S〔m^2〕, 極板の間隔 d〔m〕, 極板間が真空の平行板コンデンサーの，極板間の半分を比誘電率 ε_r の誘電体で満たした。このコンデンサーの電気容量 C〔F〕を求めよ。真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。



14　V〔V〕の電池をつないだ電気容量 C〔F〕の平行平板空気コンデンサーがある。次の (1)，(2) のように，両極板間に比誘電率 ε_r の誘電体を入れた場合について，コンデンサーに蓄えられる電気量をそれぞれ求めよ。

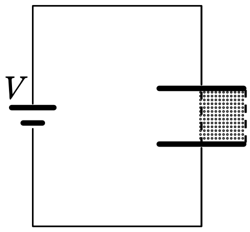


図１

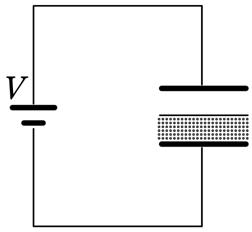


図２

(1)　図１のように，極板間の右半分を誘電体で満たした場合の電気量 Q_1〔C〕

(2)　図２のように，極板間の下半分を誘電体で満たし，その誘電体の上面を厚さの無視できる金属板でおおった場合の電気量 Q_2〔C〕

15　極板間の距離 d〔m〕，電気容量 C〔F〕の平行板コンデンサーを起電力 V〔V〕の電池につないだ。このとき，極板間の電場の強さは［ア］〔V/m〕である。次に，極板と同じ面積で厚さ $\frac{d}{2}$〔m〕の金属板を両極板間に平行に入れる。この場合，金属板内の電場の強さは［イ］〔V/m〕，極板と金属板間の電場の強さは［ウ］〔V/m〕となり，コンデンサーの電気容量は［エ］〔F〕となる。

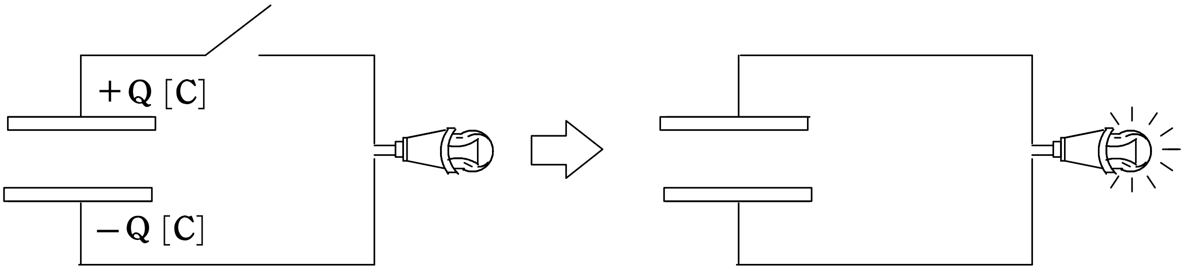
16　電気容量 4.0 μF，耐電圧 3.0×10^2 V のコンデンサー A と，電気容量 1.0 μF，耐電圧 6.0×10^2 V のコンデンサー B がある。

(1)　A と B を並列に接続したときの全体としての耐電圧 V_1〔V〕を求めよ。

(2)　A と B を直列に接続したときの全体としての耐電圧 V_2〔V〕を求めよ。

E コンデンサーの静電エネルギー

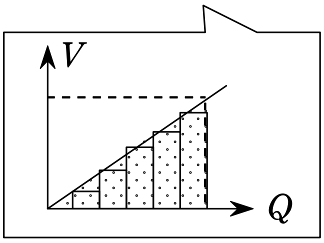
　充電したコンデンサーを導線でつなぐと、電子が導線をつたって正の極板の方へ移動し、±0 の状態になろうとする。これを（　　　　　　）という。
充電したコンデンサーに電球をつけてスイッチを入れると一瞬だけ点灯する。これはコンデンサーがエネルギーを蓄えていて、それが光エネルギーになったと考えられる。コンデンサーが持つエネルギーのことを（　　　　　　　　）という。



電池がする仕事　　コンデンサーに蓄えられたエネルギー（静電エネルギー）　　回路で発生するジュール熱

[　　　　] ＝ [　　　　] ＋ [　　　　]

電池は合計 Q [C]の電気量を電位差 V[V]だけ移動させるので、$W=QV$ の仕事をする。



※電池のする仕事のうちの半分が静電エネルギーとして蓄えられて、半分が熱エネルギーとして失われます。どんな回路（抵抗を含まない回路）でも、導線などで必ずジュール熱が発生するため、電池がする仕事を１００％コンデンサーに蓄えることはできません。

【コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー】

U＝　　　　＝　　　　＝　　　　　[　]

$Q=CV$ で変形する

1　電気容量が 2.0 μF のコンデンサーを 50 V に充電する。このとき，コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー U〔J〕を求めよ。

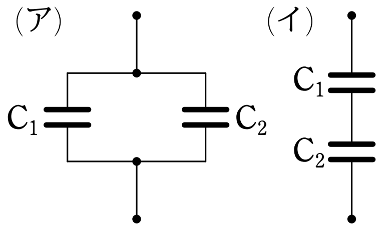
2　次の各場合について，コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは何 J か。

(1)　コンデンサーを電圧 12 V で充電し，電気量 4.0×10^{-5} C 蓄えているとき

(2)　電気容量が 2.0 μF のコンデンサーを電圧 3.0×10^{2} V で充電したとき

(3)　電気容量が 10 μF のコンデンサーが電気量 2.0×10^{-4} C 蓄えているとき

3　右図のコンデンサー C_1，C_2 の電気容量 C_1，C_2 には，$C_2=2C_1$ の関係がある。(ア)，(イ) の端子間にともに電圧 V を加えたとき，それぞれ，C_2 の静電エネルギーは C_1 に蓄えられた静電エネルギーの何倍か。



4　間隔 d だけ離れた極板 A，B からなる電気容量 C の平行板コンデンサー，起電力 V の電池とスイッチ S からなる図 1 のような回路がある。

スイッチ S を閉じた。

(1)　コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U を求めよ。

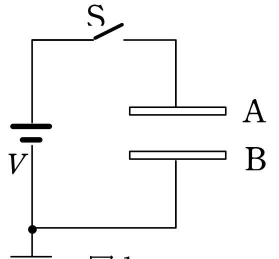


図 1

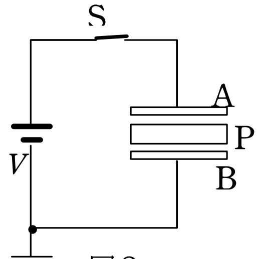


図 2

次に，スイッチ S を閉じたまま，厚さ $\frac{d}{2}$ の金属板 P を図 2 のように極板 A，B に平行に極板間の中央に挿入した。

(2)　極板 A，B 間での，極板 A からの距離と電位の関係を表すグラフをかけ。

(3)　また，このとき極板 A に蓄えられた電気量 Q を求めよ。

さらに，スイッチ S を開いた後，金属板 P を取りさった。

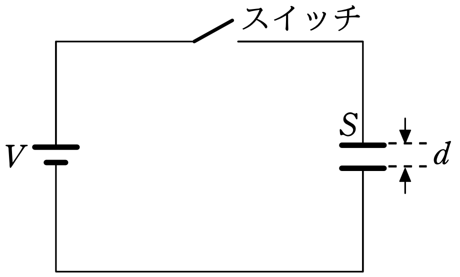
(4)　このときの極板間の電位差 V' を求めよ。

5　2つのコンデンサー C_A，C_B があり，電気容量はそれぞれ 6.0 μF，4.0 μF である。これらのコンデンサーは，それぞれ Q_A，Q_B の電気量をもち，また，両極間の電圧はそれぞれ V_A，V_B であるとする。次の [　　] を正しく埋めよ。

$V_A = 10$ V のとき，$Q_A =$ [ア] C であり，また，$V_B = 20$ V　のとき，C_B に蓄えられたエネルギーは [イ] J である。

今，この状態のままで C_A と C_B の正の電極どうし，負の電極どうしを導線でつなぐと，これらのコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの和は，C_A と C_B が導線でつながれる前に蓄えられていた静電エネルギーの和より [ウ] J だけ減少する。

6　図のように極板面積 S，極板間隔 d の平行板コンデンサーが電圧 V の電池にスイッチを介して接続されている。極板間は真空であり，真空の誘電率を ε_0 とする。初めの状態は，スイッチが閉じて十分時間が経過している。



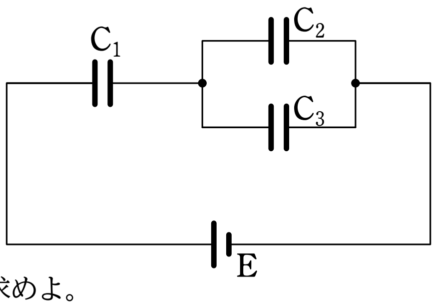
(1)　スイッチを閉じた状態で極板の間隔を 3 倍にすると，極板間の電場の強さは初めの状態の何倍になるか。

(2)　(1) のとき，コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは初めの状態の何倍になるか。

(3)　初めの状態にもどしてスイッチを開き，その後極板の間隔を 3 倍にした。極板間の電場の強さは，初めの状態の何倍になるか。

(4)　(3) のとき，コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは初めの状態の何倍になるか。

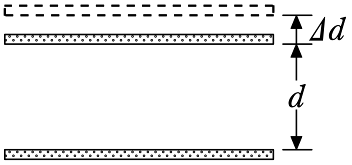
7　電気容量がそれぞれ 9.0 μF，1.5 μF，3.0 μF のコンデンサー C_1，C_2，C_3，および 6.0 V の直流電源 E を，図のように接続した。各コンデンサーは，電源 E を接続する前は電気量を蓄えていないものとする。



(1)　接続した 3 個のコンデンサーの合成容量 C〔μF〕を求めよ。

(2)　各コンデンサーに蓄えられる電気量 Q_1，Q_2，Q_3〔μC〕を求めよ。

(3)　コンデンサー C_3 に蓄えられる静電エネルギー U〔J〕を求めよ。



8　極板面積 S〔m^2〕，極板間隔 d〔m〕，極板間が真空のコンデンサーに Q〔C〕の電荷を与える。真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。

(1)　コンデンサーが蓄えている静電エネルギー U〔J〕を求めよ。

(2)　極板上の電荷が逃げないようにして，極板間隔を $\varDelta d$〔m〕だけゆっくりと広げるとき，静電エネルギーの増加量を求めよ。

(3)　2 枚の極板は正負に帯電しているので，引力を及ぼしあっている。この引力に逆らって極板を引き離すために，外から加えた力のした仕事が (2) の静電エネルギーの増加になったと考えられる。外力の大きさがこの引力の大きさに等しいとして，この引力の大きさ F〔N〕を求めよ。

「不屈不撓の物理ホームページリンク」

パスワード　○○○○