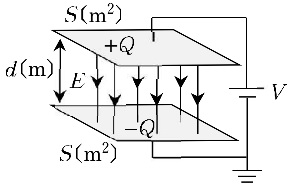
6章　コンデンサーⅠ

●平行板コンデンサー



一対の導体を用いて電荷を蓄える装置を**コンデンサー**または**キャパシター**といい，平行な金属板を極板とするものを**平行板コンデンサー**という。

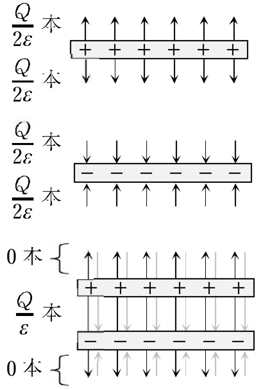
左図のようにコンデンサーの両端に電池を接続すると，極板間の電位差が電池の電圧と等しくなるまで電流が流れ，各極板にそれぞれ正負等量の電荷が蓄えられる。このようにコンデンサーに電荷をためることを**充電**という。電池の電圧をV(V)，極板の面積をS(m^2)，極板間距離をd(m)，蓄えられる電荷をそれぞれ，$+Q$(C)，$-Q$(C)，空気中の誘電率をεとすると，極板間には電気力線が $\dfrac{Q}{2\varepsilon}+\dfrac{Q}{2\varepsilon}=\dfrac{Q}{\varepsilon}$ 本 できる。(p50を参照)

よって極板間の電場の強さは，

$$E(\text{本/m}^2)=\frac{Q}{\varepsilon}(\text{本})\div S(\text{m}^2)=\frac{Q}{\varepsilon S}\cdots①$$

一方，極板間の電圧と電場の関係は，$E=\dfrac{V}{d}\cdots②$

①,②より，Eを消去すると，$\dfrac{Q}{\varepsilon S}=\dfrac{V}{d}$　よって，$Q=\varepsilon\dfrac{S}{d}V$



$Q=\varepsilon\boxed{\dfrac{S}{d}}V$

⇩

$Q=CV$

ここで，$C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$とおくと，$Q=CV$となる。このCはコンデンサーの**電気容量**といい，単位はF(ファラッド)と定義されている。

※$C=\dfrac{Q}{V}$ より，(F)＝(C/V)

※実際にコンデンサーの外側の電場の強さは0になっている。電気力線が金属板を透過していくと考えると，コンデンサーの外側の電場は打ち消し合って0になると考えられる。

暗記

電気容量：$C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$(F)　コンデンサーの公式：$Q=CV$

※Q：コンデンサーに蓄えられる電荷の電気量

※V：コンデンサーの金属板間の電位差

●比誘電率

物質名	比誘電率(ε_r)
真空	1.0
空気	1.00054
水	約80
パラフィン	2.2
クラフト紙	2.9
ポリ塩化ビニル	3.2〜3.6
雲母	7.0

比誘電率とは，実際の誘電率が真空の誘電率の何倍であるかを表した数である。真空の誘電率をε_0，比誘電率をε_rとすると，実際の誘電率εは次の式で定義されている。

暗記

$\boldsymbol{\varepsilon=\varepsilon_r\varepsilon_0}$　※$\varepsilon_0=\dfrac{1}{4\pi k}\fallingdotseq 8.9\times10^{-12}$

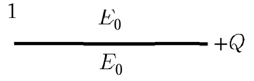
例　極板間をパラフィンで満たしたコンデンサーの電気容量　→　$C=2.2\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$(F)

※電気容量によく使われる単位：μ(マイクロ)$=10^{-6}$，p(ピコ)$=10^{-12}$　→ 1 μF$=10^{-6}$ F，1 pF$=10^{-12}$ F

誘電率についてはp50 注意1を参照

90　図1のように，真空中に面積S(m^2)の薄い金属平板にQ(C)($Q>0$)の電荷が一様に分布している。真空の誘電率をε_0(F/m)として，次の問いに答えなさい。

図1

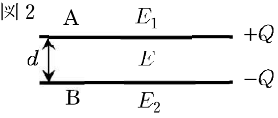


(1) 金属平板から出ている電気力線の総数を求めなさい。(　　　　)本

(2) 電気力線は金属平板に垂直であるとして，金属平板付近の電場の強さE_0(V/m)を求めなさい。　$E_0=$(　　　　)(V/m)

次に，図2のように，真空中に図1と同じ金属平板A，Bが間隔d(m)で平行に置かれ，それぞれ$+Q$(C)，$-Q$(C)の電荷が一様に分布している場合を考える。

図2



(3) このとき，Aの上方の空間の電場の強さをE_1(V/m)，Bの下方の空間の電場の強さをE_2(V/m)，AB間の空間の電場の強さをE(V/m)とする。E_1，E_2，Eをそれぞれ求めなさい。

E_1：(　　　　)(V/m)　E_2：(　　　　)(V/m)　E：(　　　　)(V/m)

(4) AB間の電位差をV(V)とするとき，(3)のEをd,Vを用いて表しなさい。また，Qをε_0, d, S, Vを用いて表しなさい。

$E=$(　　　　)

$Q=$(　　　　)

(5) 金属平板A，Bからなるコンデンサーの電気容量Cをε_0, d, Sを用いて表しなさい。　$C=$(　　　　)(F)

(6) (4),(5)の結果より，QをCとVで表しなさい。　$Q=$(　　　　)

(7) 金属平板AB間に比誘電率ε_rの誘電体を隙間なく挿入したとき，金属平板A，Bからなるコンデンサーの電気容量C'(F)をε_r,ε_0, d, Sを用いて表しなさい。　$C'=$(　　　　)(F)

(8) 真空の誘電率ε_0は$\varepsilon_0=\dfrac{1}{4\pi k}$と定義されているが，この$k$はある法則の比例定数を表している。それは何の法則か。　(　　　　)の法則

91　次の問いに答えなさい。

(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)を求めなさい。　$Q=$(　　　　)C

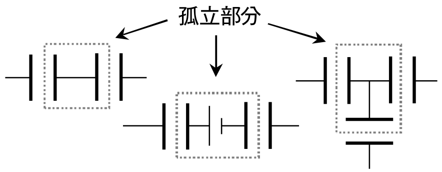
(2) 一辺が10 cmの正方形の金属板2枚を1.0 mm離して，その間に比誘電率8.0の白雲母を隙間なく入れて平行板コンデンサーを作った。このコンデンサーの電気容量C(F)を求めなさい。ただし，真空の誘電率は8.9×10^{-12} F/mとし，有効数字は2桁で答えること。

$C=$(　　　　)F

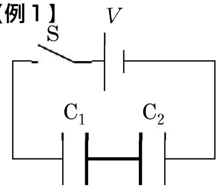
(3) 平行板コンデンサーの極板面積を2倍，極板間隔を$\dfrac{1}{2}$倍にすると，コンデンサーの電気容量は初めの何倍になるか。　(　　　　)倍

●電気量保存の法則

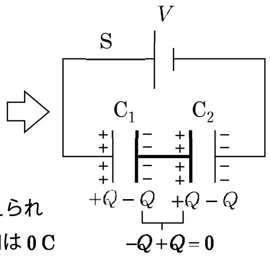
電子は導線伝いにしか移動しないため，孤立した導線部分の電気量の総和は一定である。これを**電気量保存の法則**という。



【例1】

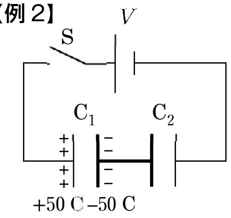


初め C_1,C_2 には電荷が蓄えられていない→孤立部分の総和は0 C

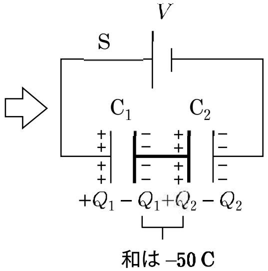


【例1】の場合，スイッチSを入れて時間が十分たった後，C_1 に蓄えられる電荷を左から $+Q$(C)，$-Q$(C)とすると，**孤立部分の電荷＝0 C**が保たれるので，C_2 に蓄えられる電荷は左側から $+Q$(C)，$-Q$(C)となる。

【例2】



初め C_1 だけに50 C蓄えられている
→孤立部分の総和は−50 C

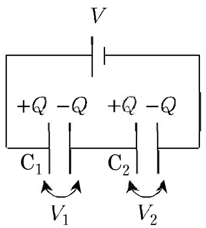


【例2】の場合，初め C_1 のみに50 Cの電荷が蓄えられている。スイッチSを入れて時間が十分たった後，C_1 に蓄えられる電荷を左から$+Q_1$(C)，$-Q_1$(C)，C_2 に蓄えられる電荷を左側から $+Q_2$(C)，$-Q_2$(C)とすると，**孤立部分の電荷＝−50 C**が保たれるので，$-Q_1+Q_2=-50$ が成り立つ。

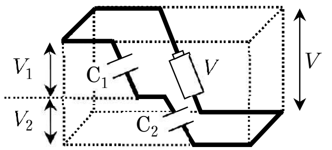
●コンデンサーと電位

コンデンサーを含む回路においても，次のキルヒホッフの第2法則が成り立つ。

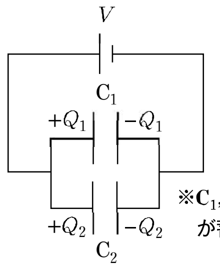
【キルヒホッフの第2法則】 回路網上で任意の閉じた環状回路をたどるとき，回路中の電源電圧の総和と電圧下降の総和は等しい。



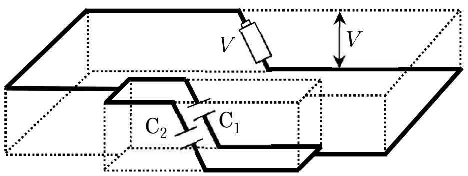
※初め C_1,C_2 には電荷が蓄えられていないものとする
※ C_1,C_2 の両端の電圧を V_1,V_2 とする



$$V=V_1+V_2 \quad Q=C_1V_1=C_2V_2$$

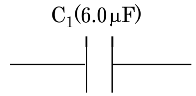


※ C_1,C_2 に Q_1,Q_2 が蓄えられたとする



$$Q_1=C_1V \quad Q_2=C_2V$$

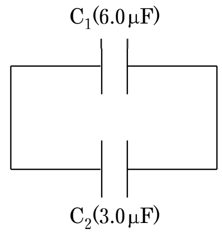
92 電気容量 6.0 μF のコンデンサーC_1 を，極板間の電圧が 300 V になるまで充電した。次の問いに答えなさい。



(1) C_1 に蓄えられる電気量 Q(C)を求めなさい。

$Q=$(　　　　　)C

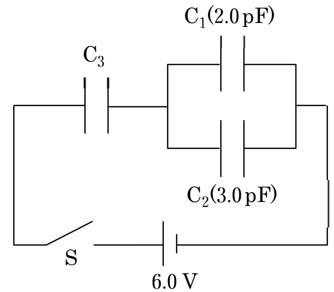
さらに充電された C_1 に，電気容量 3.0 μF の充電されていないコンデンサー C_2 を導線で並列に接続して，十分時間がたった後の C_1，C_2 に蓄えられている電気量を Q_1(C)，Q_2(C)とし，C_1 の両端の電圧を V(V)とするとき，次の問いに答えなさい。



(2) Q_1,Q_2,V の3元連立方程式を立てることによって，Q_1，Q_2，V をそれぞれ求めなさい。

$Q_1=$(　　)C　$Q_2=$(　　　　)C　$V=$(　　　　)V

93 図のように電気容量が 2.0 pF，3.0 pF のコンデンサー C_1，C_2 と，電気容量が未知のコンデンサーC_3，及び 6.0 V の電源とスイッチ S を導線で接続する。初め，どのコンデンサーにも電荷は蓄えられておらず，スイッチ S を入れて時間が十分たった後，C_1 には 4.0×10^{-12} C の電荷が蓄えられた。このとき，次の問いに答えなさい。



(1) C_1，C_2，C_3 の両端の電位差 V_1,V_2,V_3 を求めなさい。

$V_1=$(　　　　)V　$V_2=$(　　　　)V　$V_3=$(　　　　)V

(2) C_2 に蓄えられた電気量 Q_2 は何 C か。　$Q_2=$(　　　　　)C

(3) 電気量保存の法則より，C_3 に蓄えられた電気量 Q_3 を求めなさい。

$Q_3=$(　　　　　)C

(4) C_3 の電気容量 C_3 は何 pF か。$C_3=$(　　　　　)pF

●コンデンサーの合成容量

複数のコンデンサーを１つのコンデンサーとみなしたコンデンサーを**合成コンデンサー**といい，その電気容量を**合成容量**という。

図１

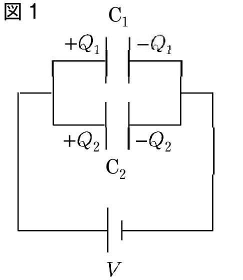


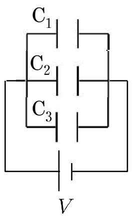
図１のように並列接続されたコンデンサーの合成容量 C を求めてみよう。$\mathrm{C_1, C_2}$ に蓄えられる電荷をそれぞれ Q_1〔C〕，Q_2〔C〕とすると，合成コンデンサーには合計で，

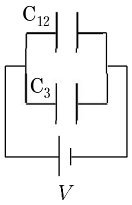
$Q = Q_1 + Q_2$ …① の電荷が蓄えられたことになる。$\mathrm{C_1, C_2}$ の両端の電位差はどちらも V であるので，公式より，

$$Q = CV \ \cdots② \qquad Q_1 = C_1V \ \cdots③ \qquad Q_2 = C_2V \ \cdots④$$

②,③,④を①に代入すると，$CV = C_1V + C_2V$

この両辺を V で割ると，$C = C_1 + C_2$





同様にして，並列接続された $\mathrm{C_1, C_2, C_3}$ の合成容量 C を求めてみよう。$\mathrm{C_1}$ と $\mathrm{C_2}$ の合成容量を C_{12} とすると，$C_{12} = C_1 + C_2$

$\mathrm{C_{12}}$ と $\mathrm{C_3}$ の合成容量が C なので，

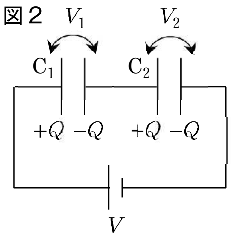
$$C = C_{12} + C_3 = C_1 + C_2 + C_3$$

よって，この計算を繰り返すことにより，$\mathrm{C_1, C_2, \cdots, C_n}$ の合成容量 C は次の式で表すことができる。

暗記

並列接続の場合の合成容量：$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$
※C に蓄えられる電荷は $Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n$

図２



※孤立部分の電気量は初め0なので，$\mathrm{C_1}$ の右側に蓄えられる電荷が $-Q$ なら，$\mathrm{C_2}$ の左側に蓄えられる電荷は $+Q$ とおける。

次に**図２**のように電荷が蓄えられていない同じコンデンサーを直列に接続した場合の合成容量 C について考えてみよう。$\mathrm{C_1, C_2}$ の両端の電圧を V_1, V_2 とすると，キルヒホッフの法則により，

$$V = V_1 + V_2 \ \cdots⑤$$

また，電気量保存の法則によって $\mathrm{C_1, C_2}$ に蓄えられる電荷は等しく，その電荷を Q〔C〕とすると，

$$Q = C_1V_1 \ \cdots⑥ \qquad Q = C_2V_2 \ \cdots⑦$$

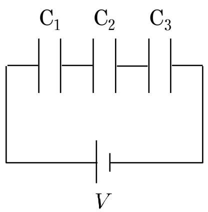
ここで合成コンデンサーC は，$\mathrm{C_1}$ の左側の極板と $\mathrm{C_2}$ の右側の極板からなるコンデンサーとみなすことができるので，C にも Q〔C〕の電荷が蓄えられる。よって，$Q = CV$ …⑧

⑥,⑦,⑧より，

$V_1 = \dfrac{Q}{C_1}, V_2 = \dfrac{Q}{C_2}, V = \dfrac{Q}{C}$ となり，これらを⑤に代入すると，

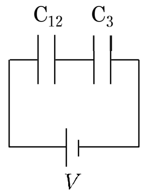
$\dfrac{Q}{C} = \dfrac{Q}{C_1} + \dfrac{Q}{C_2}$ となり，両辺を Q で割ると，$\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$

が得られる。



さらに直列接続された $\mathrm{C_1, C_2, C_3}$ の合成容量 C を求めてみる。

$\mathrm{C_1}$ と $\mathrm{C_2}$ の合成容量を $\mathrm{C_{12}}$ とすると，$\dfrac{1}{C_{12}} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$



$\mathrm{C_{12}}$ と $\mathrm{C_3}$ の合成容量が C なので，

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

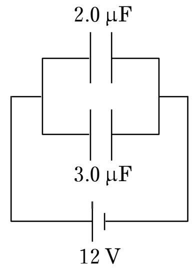
よって，この計算を繰り返すことにより，$\mathrm{C_1, C_2, \cdots, C_n}$ の合成容量 C は次の式で表される。

暗記

直列接続の場合の合成容量：$\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \cdots \dfrac{1}{C_n}$
※ C 及び $C_1, C_2, \cdots C_n$ に蓄えられる電荷はすべて等しい
※ 初め孤立部分の電荷が0でないとき，この公式は使えない

！注意 初め孤立分部の電荷が０でなければ各コンデンサーに蓄えられる電荷は等しくないため，⑥⑦⑧式は同じ Q を用いることができず，上記公式を導くことはできない。

94 電気容量が $2.0\,\mu\mathrm{F}, 3.0\,\mu\mathrm{F}$ の２つのコンデンサー $\mathrm{C_1, C_2}$ を並列に接続して両端に $12\,\mathrm{V}$ の電源をつないで十分時間がたったとき，次の問いに答えなさい。

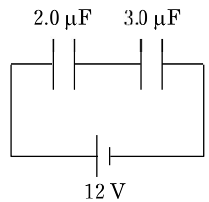


(1) $\mathrm{C_1, C_2}$ の合成容量を求めなさい。また，$\mathrm{C_1, C_2}$ の合成コンデンサーに蓄えられる電荷は何Cか。　(　　　　)μF　(　　　　)C

(2) $\mathrm{C_1, C_2}$ に蓄えられる電荷はそれぞれ何Cか。

$\mathrm{C_1}$：(　　　　)C　$\mathrm{C_2}$：(　　　　)C

95 電気容量が $2.0\,\mu\mathrm{F}, 3.0\,\mu\mathrm{F}$ の２つのコンデンサー $\mathrm{C_1, C_2}$ を直列に接続して両端に 12 V の電源をつないで十分時間がたったとき，次の問いに答えなさい。ただし，コンデンサーには，初め電荷は蓄えられていないものとする。



(1) $\mathrm{C_1, C_2}$ の合成容量を求めなさい。(　　　　　)μF

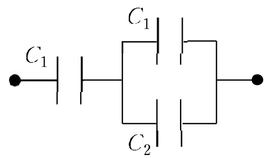
(2) $\mathrm{C_1, C_2}$ に蓄えられる電荷はそれぞれ何 C か。(1)の結果を利用して，求めなさい。(有効数字２桁で答えること)

$\mathrm{C_1}$：(　　　　　)C　$\mathrm{C_2}$：(　　　　　)C

(3) $\mathrm{C_1, C_2}$ の両端の電位差 V_1, V_2 はそれぞれ何Vか。

V_1：(　　　　)V　V_2：(　　　　)V

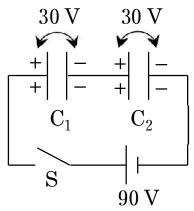
96 電気容量がそれぞれ C_1(F)，C_2(F)のコンデンサーを図のように接続したときの合成容量 C を求めなさい。



$C =$ (　　　　　　　　　　)(F)

6章

例題 1　図のように，起電力 90 V の電池，及びスイッチ S，30 V に充電された 2 つのコンデンサー C_1 (10 μF) と C_2 (20 μF)，からなる回路がある。スイッチ S を閉じて十分時間がたった後，C_1, C_2 に蓄えられる電気量，及び C_1, C_2 の両端の電位差を求めなさい。



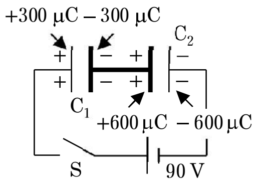
!注意　$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$ は C_1, C_2 が充電されていないときに使える公式であって，今回のように<u>初めに充電されている場合は，この公式は使えない。</u>

スイッチ S を閉じる前，C_1, C_2 に蓄えられている電荷をそれぞれ q_1, q_2 とすると，

$q_1 = 10\ \mu\text{F}\times 30\ \text{V} = 300\ \mu\text{C}$　$q_2 = 20\ \mu\text{F}\times 30\ \text{V} = 600\ \mu\text{C}$

よって，右図太線の孤立部分の電荷の和は，

$-300+600=300\ \mu\text{C}$　スイッチ S を閉じた後の C_1, C_2 に蓄えられている電荷をそれぞれ Q_1(μC)，Q_2(μC)，両端の電位差を V_1(V)，V_2(V)とすると，



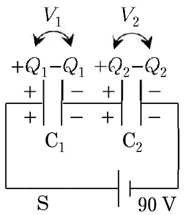
電気量保存の法則より，$-Q_1+Q_2=300\ \mu\text{C}$ …①

キルヒホッフの法則より，$V_1+V_2=90$ …②

それぞれのコンデンサーで公式 $Q=CV$ を適用すると，

$Q_1 = C_1V_1 = 10\ \mu\text{F}\times V_1 = 10V_1$ …③

$Q_2 = C_2V_2 = 20\ \mu\text{F}\times V_2 = 20V_2$ …④



③,④を①に代入して，$-10V_1+20V_2=300$ …⑤

②,⑤を解くと，$V_1=50\ V, V_2=40\ \text{V}$ …(答)

これを③,④に代入して，

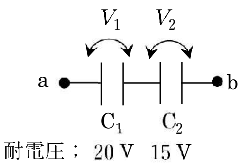
$Q_1 = 10\times 50 =$ **500** μC，$Q_2 = 20\times 40 =$ **800** μC…(答)

●コンデンサーの耐電圧　コンデンサーに大きな電圧を加えると絶縁が破壊されるため，ある一定の電圧よりも大きな電圧を加えることができない。この一定の電圧を**耐電圧**という。

例題 2　電気容量が 3.0 μF，耐電圧 20 V のコンデンサー C_1 と電気容量が 2.0 μF，耐電圧 15 V のコンデンサー C_2 を直列接続するときの合成コンデンサーの耐電圧を求めなさい。

直列接続のため，図の ab 間に電圧をかけたときに，各コンデンサーに蓄えられる電荷は等しいので，その値を Q(μC) とし，また，C_1, C_2 の両端の電位差を V_1, V_2 とすると，

$Q=3.0V_1=2.0V_2$ より，$V_1=\frac{Q}{3}, V_2=\frac{Q}{2}$ より，



$V_1 : V_2 = 2:3$ …①　C_1 の両端に，可能な限り大きい電圧がかかるとすると，①式より，

$V_1=20\ \text{V}, V_2=30\ \text{V}$ となり，V_2 は C_2 の耐電圧を超えてしまう。

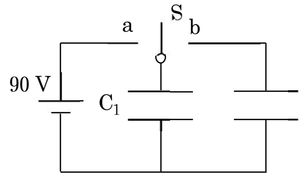
C_2 の両端に，可能な限り大きい電圧がかかるとすると，①式より，

$V_1=10\ \text{V}, V_2=15\ \text{V}$ となり，V_1 は C_1 の耐電圧を超えない。よって，ab 間には

$10+15=25$ V まで電圧をかけることができる。つまり，求める耐電圧は **25 V** …(答)

6章

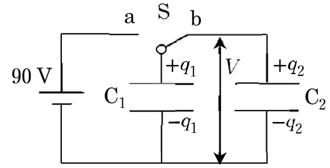
97　図のように，電荷が蓄えられていないコンデンサー C_1 (1.0 μF) と C_2 (2.0 μF)，起電力 90 V の電池，及びスイッチ S からなる回路がある。この回路について次の問いに答えなさい。



(1) スイッチ S を a につなぎ，十分時間がたったとき，コンデンサー C_1 に蓄えられる電荷 Q は何μC か。

$Q=$(　　　　　　)μC

(2) その後スイッチ S を b につなぎ，十分時間がたったとき，コンデンサー C_1, C_2 にそれぞれ蓄えられる電荷 q_1, q_2 は何μC か。また，C_2 間の電位差 V は何 V か。

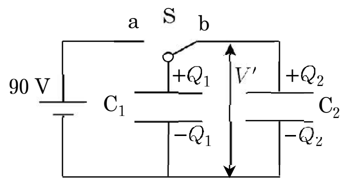


$q_1=$(　　　　)μC　$q_2=$(　　　　)μC　$V=$(　　　　)V

(3) さらにスイッチ S を a につなぎかえ，十分時間がたったとき，コンデンサー C_1 に蓄えられる電荷 Q' は何μC か。

$Q'=$(　　　　)μC

(4) 再びスイッチ S を b につなぎ，十分時間がたったとき，コンデンサー C_1, C_2 にそれぞれ蓄えられる電荷 Q_1, Q_2 は何μC か。また，C_2 間の電位差 V' は何 V か。



$Q_1=$(　　　)μC　$Q_2=$(　　　)μC　$V'=$(　　　)V

98　電気容量が 4.0 μF，耐電圧 300 V のコンデンサー C_1 と，電気容量が 1.0 μF，耐電圧 600 V のコンデンサー C_2 を直列接続，並列接続するときの合成コンデンサーの耐電圧をそれぞれ求めなさい。

直列接続：(　　　　　　)V　並列接続：(　　　　　　)V

6章

●コンデンサーの静電エネルギー

電池で充電されたコンデンサーは，電池を外しても極板間に蓄えられている正負の電荷は互いに引き合っているため，もとのまま残っている。実際に充電されたコンデンサーに，右図のように電球を接続すると，電球は点灯し，徐々に暗くなってしばらくすると消える。これは，極板 B から A へ自由電子が移動し，電流が流れたためである。(電流の流れは A から B) このような自由電子の移動を**放電**という。このときコンデンサーは電球に対して仕事をしたため，充電されたコンデンサーはエネルギーを蓄えていたと考えられる。このエネルギーを**静電エネルギー**という。

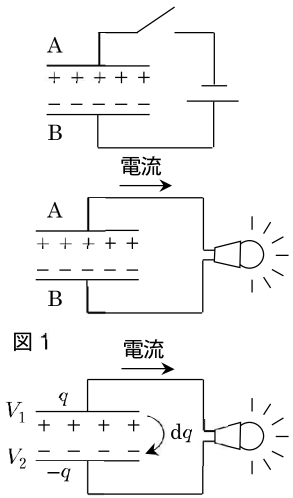


図1

では，C(F)のコンデンサーにQ(C)の電荷が蓄えられているときの，コンデンサーの静電エネルギーを計算してみよう。放電されている最中の極板の正電荷がq(C)（$0<q<Q$）であるとき，極板間の電位差をVとすると，

公式 $q=CV$ より，$V=\dfrac{q}{C}$ …①

このとき**図1**のように，極板の電位をそれぞれV_1, V_2，微小な電荷 dq が電位がV_1からV_2の位置まで運ばれるときの電場がする微小な仕事を dW とすると，

電場(保存力)がする仕事＝(初めの位置エネルギー)－(後の位置エネルギー)であるので，

$\mathrm{dW}=\mathrm{d}qV_1-\mathrm{d}qV_2$

$\quad=\mathrm{d}q(V_1-V_2)V_1-V_2=V$ より，

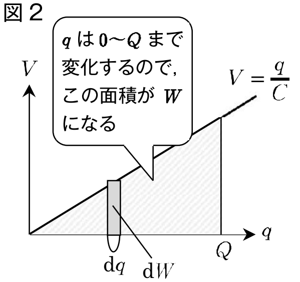
$\mathrm{d}W=V\,\mathrm{d}q$　　①式より V を消去すると，

$\mathrm{d}W=\dfrac{q}{C}\mathrm{d}q$　これは**図2**に示す微小な長方形の面積であり，qは0〜Qまで変化するため，コンデンサーが電球にした仕事Wはグラフの斜線部分の面積と考えられる。

よって，

$$W=\int_0^Q\frac{q}{C}\mathrm{d}q=\left[\frac{q^2}{2C}\right]_0^Q=\frac{Q^2}{2C}$$

図2



つまり，コンデンサーには $\dfrac{Q^2}{2C}$(J)のエネルギーが蓄えられていたことになる。よって，C(F)のコンデンサーにQ(C)の電荷が蓄えられているとき，コンデンサーの静電エネルギーは$U=\dfrac{Q^2}{2C}$

また，$Q=CV$よりQを消去すると，

$U=\dfrac{1}{2}CV^2$，Cを消去すると，$U=\dfrac{1}{2}QV$

が得られる。

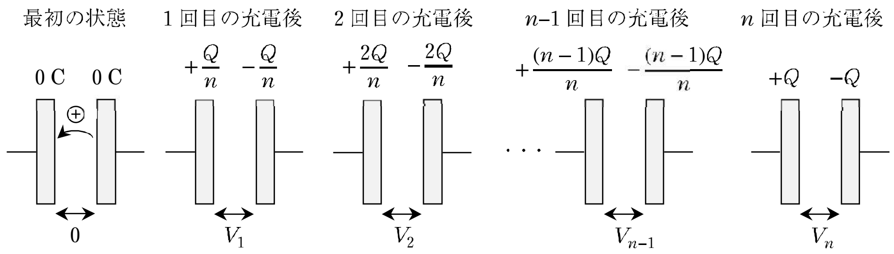
暗記

静電エネルギー：$U=\dfrac{Q^2}{2C}=\dfrac{1}{2}CV^2=\dfrac{1}{2}QV$

※どれか1つを暗記すれば，残りは$Q=CV$より導くことができる

99 電気容量 2.0 μF のコンデンサーを 3.0×10^2 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)を求めなさい。　(　　　　　)J

100 電気容量がC(F)の平行板コンデンサーにQ(C)の電荷が蓄えられるまでの仕事を考える。1 回の充電によって$\dfrac{Q}{n}$(C)（$Q>0$, n は整数)の微小の電荷が片方の電極から他方の電極に運ばれ，n 回目でQ(C)の電荷が蓄えられるとする。1 回目の充電は 0 V の電位差のところを$\dfrac{Q}{n}$(C)の電荷が運ばれるので，1 回目の仕事W_1は 0 J であるとして，次の問いに答えなさい。



(1) 1 回目の充電後の極板間の電位差V_1をn, Q, Cで表しなさい。　$V_1=$(　　　　)

(2) 2 回目の充電はV_1(V)の電位差のところを$\dfrac{Q}{n}$(C)の電荷を運ぶものとする。2 回目の仕事W_2をn, Q, Cを用いて表しなさい。　$W_2=$(　　　　)

(3) 2 回目の充電後の極板間の電位差V_2をn, Q, Cで表しなさい。　$V_2=$(　　　　)

(4) 3 回目の移動はV_2(V)の電位差のところを$\dfrac{Q}{n}$(C)の電荷を運ぶものとする。3 回目の仕事W_3をn, Q, Cで表しなさい。　$W_3=$(　　　　)

(5) n−1 回目の充電後の極板間の電位差V_{n-1}をn, Q, Cで表しなさい。

$V_{n-1}=$(　　　　)

(6) n 回目の移動はV_{n-1}(V)の電位差のところを$\dfrac{Q}{n}$(C)の電荷を運ぶものとする。n 回目に$\dfrac{Q}{n}$(C)の電荷を運ぶ仕事W_nをn, Q, Cで表しなさい。

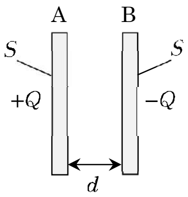
$W_n=$(　　　　)

(7) $W=W_1+W_2+W_3+\cdots+W_n$とする。$1+2+3+\cdots+(n-1)=\dfrac{n(n-1)}{2}$であることを利用して，$W$を$n, Q, C$で表しなさい。　$W=$(　　　　)

(8) $\displaystyle\lim_{n\to\infty}W$を$Q, C$で表しなさい。　$\displaystyle\lim_{n\to\infty}W=$(　　　　)

★章末問題★

101　次の文中の空欄を埋めなさい。



k をクーロンの法則の比例定数とするとき，$+q$(C)($q>0$)の電荷からは，$4\pi kq$(本)の電気力線が出ている。また，$-q$(C)の電荷には $4\pi kq$(本)の電気力線が入り込む。さらに電場の強さは，単位面積を垂直に貫く電気力線の本数に等しい。面積 S(m^2)の金属板 A に $+Q$(C)($Q>0$)の電荷を帯電させると，A の両面からは一様に電気力線が出ているので，片面から出る電気力線の本数は①(　　　)(本)である。よって，A がつくる一様な電場の強さは，E_A = ②(　　　)で与えられる。同様にして，A と同じ形の金属板 B に電荷$-Q$を帯電させ，図のように A と B を距離 d(m)だけ離して平行板コンデンサーを作る。

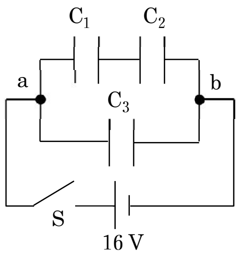
このコンデンサーの極板間及び両極板の外の電場の強さ E は，A,B がつくる電場の重ね合わせによって決まるので，極板間では E = ③(　　　)，両極板の外では E = ④(　　　)となる。また，極板間の電位差 V は E と d を用いて V = ⑤(　　　)と表される。

また，コンデンサーの電気容量 C は $Q=CV$ の関係が成り立つように定義されているので，E = (③) ,V = (⑤) より，電気容量 C を k, S, d で表すと C = ⑥(　　　)となる。さらに，誘電率は ε = ⑦(　　　)と定義されているので，C を ε, d, S を用いて表すと，C = ⑧(　　　)となる。

① (　　　　) ② (　　　　) ③ (　　　　) ④ (　　　　) ⑤ (　　　　)

⑥ (　　　　) ⑦ (　　　　) ⑧ (　　　　)

102　コンデンサー C_1, C_2, C_3 の電気容量はそれぞれ 6.0 pF，2.0 pF，3.0 pF で，図のように起電力 16 V の電池とスイッチ S によって接続されている。どのコンデンサーにも，初め電荷は蓄えられていないものとして，次の問いに答えなさい。



(1) ab 間の合成容量は何 F か。（　　　　　　　）F

(2) スイッチ S を入れて十分時間がたった後の C_1, C_2 の両端の電位差 V_1, V_2 はそれぞれ何 V か。

V_1 = (　　　　) V　V_2 = (　　　　) V

(3) スイッチ S を入れて十分時間がたった後の C_1, C_2, C_3 に蓄えられる静電エネルギー U_1, U_2, U_3 を有効数字 2 桁で求めなさい。

U_1 = (　　　　) J　U_2 = (　　　　) J　U_3 = (　　　　) J

6
章

103　次の問いに答えなさい。

(1) 極板間に何も満たされていない C(F)のコンデンサーの，両極板の面積を x 倍，極板間隔を y 倍にし，さらに比誘電率が z の誘電体を極板間に隙間なく満たすとき，このコンデンサーの電気容量は C の何倍になるか。

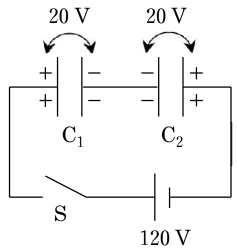
(　　　　　　)倍

(2) 耐電圧が 100 V のコンデンサー C を 2 つ直列につないだ場合，及び並列につないだ場合の合成コンデンサーの耐電圧をそれぞれ求めなさい。

直列：(　　　　　) V　並列：(　　　　　) V

(3) 誘電率 ε の単位を F ともう 1 つの単位を用いて表しなさい。（　　　　）

104　図のように，20 V に充電された 2 つのコンデンサー C_1 (10 μF)と C_2 (20 μF)，起電力 120 V の電池，及びスイッチ S からなる回路がある。スイッチ S を閉じて十分時間がたった後，C_1，C_2 それぞれに蓄えられる電気量 Q_1(μC)，Q_2(μC)，及び C_1, C_2 それぞれの両端の電位差 V_1(V)，V_2(V)を求めなさい。ただし，コンデンサーは初め，図のように負の電荷が蓄えられている極板が導線で接続されているものとする。



Q_1 = (　　　) μC　Q_2 = (　　　) μC　V_1 = (　　　) V　V_2 = (　　　) V

6
章