

第6回 導体と誘電体, 静電誘導

問2. 半径 R_1 と R_2 の2個の導体球を(1個の導体球の電荷分布や周囲の電場は, 孤立した導体球があるのと同じと見なせるように)十分に遠くまで離し, 導線で接続する. 片側に電荷 q を帯電させ, 十分に時間が経過したとき接続を解除した. 各導体の帯電がそれぞれ q_1 と q_2 となった ($q = q_1 + q_2$). ① q_1 と q_2 を求めよ. ②導体表面の電荷密度 σ_1, σ_2 はどうか.

Q. $\phi_1(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{|x-r_1|}$ の x はどこからきたのですか.

A. まず, 原点に点電荷 q があるとき, 座標 x の電位を x の関数 $\phi(x)$ として表すと, 原点からの距離が $|x|$ だから

$$\phi(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|x|}$$

である. つぎに, 座標 r_1 (負も許す)に点電荷 q_1 があるとき, 座標 x の位置の電位は, 2点間の距離が $|x - r_1|$ だから

$$\phi_1(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{|x - r_1|}$$

となる.

問3. 半径 R_1 の導体球に電荷 $q > 0$ を帯電し, その外側を内半径 $R_2 (> R_1)$, 外半径 R_3 の同心の導体の球殻(帯電なし)で覆った. 球殻の内表面および外表面の帯電の状態を記せ..

Q. 解答に図を加えて説明してください.

A. 教科書の例題 6.1 を参照!

解答にさらに解説をつける:

①内側の導体球の内部も, 外側の球殻の内部にも帯電しない.

<<内部導体は最初に電荷 q を与えて帯電した. もし仮に内部に帯電したとすると, その帯電した電荷の周囲に電場が生じるので, 自由に動ける荷電粒子が移動を続け電流が流れ続けることになるが, 静的な状態ではありえない. したがって内部には帯電しない. 外側の球殻は, 最初に帯電していなかったもので, 内側の球の電荷により静電誘導が起きる. しかし外側の球殻の内部にも帯電しないのは, 内球の場合と同じ理由である. >>

②電場は両者の間の空間(内側の空間)と, 球殻の外側の空間(外側の空間)だけにある.

<<導体内部は電場が0なのだから, 電場があるとすれば導体の存在しない空間である>>

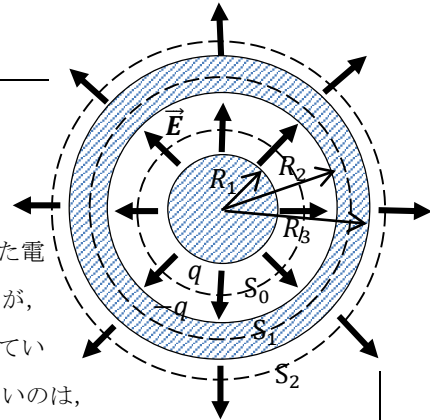
③内側の空間の電場は球表面から球殻内表面に向かい, 球対称性から放射状である.

<<導体球の配置は同心であり, 表面の電荷分布は球対称すなわち球面上に均一な分布をする. それによる電場も球対称すなわち電場の大きさは球の中心から等距離の球面上でどこも等しく, 向きは球の中心から出る半径方向である. ただし, 中心からの距離が異なると電場の大きさが異なる可能性は排除しない. >>

④ガウスの法則を適用すると, 球殻内表面には総電荷 $-q$ が誘起して均一に分布する.

<<電場が球対称であるため, 同心球面 S_0, S_1, S_2 などの閉曲面にガウスの法則を適用すると, 内部にある電荷の総量から閉曲面上の電場の大きさを知ることができる. 逆に, 電場の面積分がわかれば, 内部の電荷の総量が分かる. S_1 (球殻内部)にガウスの法則を適用する. 導体内の電場が0だから S_1 上の電場の面積分も0となり, S_1 内部の総電荷が0である. S_1 内部には内球の電荷 q が含まれているので, それ以外の場所に $-q$ があるはずである. S_1 内部で電荷が存在しうるのは, 内球の表面以外は, 球殻の内表面だから, 球殻内表面に $-q$ があると結論できる. 電荷分布には球対称性があるので, 均一な分布である. >>

⑤外側の空間で球殻を覆う閉曲面についてガウスの法則を適用すると, その面の内側の総電荷は内球の電荷のはずだから, 球殻外表面の電荷は q となる. 球殻の内表面と外表面にそれぞれ $-q$ と q が均一に分布する. <<説明は不要だろう>>



問5

Q 分極電荷が現れるとは、どんな現象なのか、何故なのか知りたいです。

A. 教科書 § 6.2 で説明しているが、どのあたりが分かりにくだろうか？説明不足と感じるところを知らせてほしい。

●誘電体の微視的な構造について

誘電体を構成する分子 1 個に注目すると、正負等量の電荷をもっていてその総量は 0 である。分子内部の正電荷の分布の中心（正確には「重心」と負電荷の分布のそれが丁度重なっているとき、分子は電気双極子モーメントを持たない。正負電荷の中心がずれているとき、分子は電気双極子となる。

●誘電体の分子の電気的な特性

電気双極子をもたない分子であっても、電場が加わると内部の正電荷と負電荷は電場に引っ張られて移動し、電場の方向にならうように電気双極子が生じる。はじめから電気双極子を持つ分子は、電場がなければそれぞれの分子がランダムな方向を向いているが、電場のもとで分子の向きが電場の方向にそろう。

●誘電体の巨視的な電気的な特性

一様な電場の中におかれた誘電体の分子には、電場の向きに方向のそろった電気双極子が生じる。電場に垂直な誘電体表面には、電気双極子の「頭」と「尻尾」が出ているが、内部では一個の双極子の頭と次の双極子の尻尾が接している。頭には正電荷、尻尾には負電荷が見えるので、表面には正電荷と負電荷が浮き出して見える。内部では正負の電荷が打ち消しあっている。電場の中に置いた誘電体の表面に正と負の電荷が浮き出して見える状態は、金属の静電誘導と似ているので、誘電体の静電誘導と呼んでいる。表面に現れた電荷を分極電荷と呼ぶ。

●真電荷と分極電荷

導体の伝動電子のように、自由に移動でき蓄えることができる電荷を真電荷という。これに対して、誘電体の静電誘導で現れる電荷は、自由に移動できないし、正と負にわけて蓄積することもできない。誘電体の分子の電気双極子の一方の電荷が見えていただけであり、分極電荷という。

Q. 「分極電荷による真電荷の遮蔽」というのが理解できません。

A. たとえば、平行板コンデンサーの正負の電極に

電荷密度 $\pm\sigma$ の一様な電荷分布

があるとしよう（これは真電荷である）。つぎに、電極の電荷をそのままにして、電極間を誘電体で埋め尽くす。正負の電極間の電場により誘電体の分子には電気双極子が発生する。1 個の分子についてみると、コンデンサー負電極に近い側に正電荷が、正電極に近い側に負電荷があるという電気双極子である。正電極に接する誘電体表面には、分子の電気双極子の負の側が接している（負の分極電荷が生じた）。負電極に接する誘電体表面には正の側が接している（正の分極電荷が生じた）。

誘電体表面に現れた分極電荷の密度を $\mp\sigma_p$

とする。電極表面は誘電体表面が接しているので、この位置の電荷密度は、真電荷と分極電荷を合わせたものになる。正電極の表面では $\sigma - \sigma_p$ 、負電極の表面では $-\sigma + \sigma_p$ の総電荷密度が生じる。結局、分極電荷が生じたために真電荷の何割かが見えなくなったと考えることができる。この状況を「分極電荷による真電荷の遮蔽」と呼ぶ。

平行板コンデンサーでなくても分極電荷による真電荷の遮蔽が起きる。たとえば、誘電体中に帯電した導体球があるとすると、導体球の表面の真電荷が分極電荷により遮蔽される。

問 6 ② :

Q $\mp\sigma_{1p} = \mp(\kappa_1 - 1)\epsilon_0 E_1$ はどこから出てきたのですか？

A 問 5②で学んだものと同じ。