

導体系と静電容量1

電気情報工学科* 3年 基礎電気磁気学

2015年10月7日(水)

第16回

概要

複数の導体が存在する系において、導体に帯電する電荷量とそれぞれの導体における電位の関係について説明する。

1 導体系

真空中に複数の導体が存在するとき、このような空間を導体系という。複数の導体のうち、ある導体に電荷が与えられた場合、この電荷によって周辺の電位は変化し、他の導体にも静電誘導によって電荷が誘起され、電位が変化する。このように導体系では、複数の導体に帯電する電荷と空間の電位は互いに影響を及ぼし合う。ここでは、導体系における電位と電荷にどのような関係があるかを考える。



図1: 複数の導体からなる導体系

複数の導体が存在する複雑な系においても、重ね合わせの原理を用いて考えていく。まず、導体1に電荷が1[C]帯電し、導体2,3,4には帯電していない場合、各導体における電位を、

$$p_{11}, p_{21}, p_{31}, p_{41}$$

とする。一番目の添字がどの導体における電位かを意味しており、二番目の添字が導体1が帯電していることを意味している。このようにすると、全てのケースは、

$$\text{導体2に1[C]で1,3,4はゼロ} : p_{12}, p_{22}, p_{32}, p_{42}$$

$$\text{導体3に1[C]で1,2,4はゼロ} : p_{13}, p_{23}, p_{33}, p_{43}$$

$$\text{導体4に1[C]で1,2,3はゼロ} : p_{14}, p_{24}, p_{34}, p_{44}$$

となる。

まず、簡単のため2つの導体がある系を考える。ここで、電荷と電位の関係を考えてみる。これまでに学習してきたように、電荷がある点に作る電位は、その電荷量に比例する(電荷量と電位は線形関係にある)。つまり、電荷量が1[C]ではなく Q_1 [C]であるとき、導体1における電位 V'_1 および導体2における電位 V'_2 と導体1に帯電している電荷量 Q_1 との関係はそれぞれ、

$$V'_1 = p_{11}Q_1, \quad V'_2 = p_{21}Q_1 \quad (1)$$

と表現することができる。同様に導体2が Q_2 [C]に帯電し、導体1と導体2に作る電位との関係は、

$$V''_1 = p_{12}Q_2, \quad V''_2 = p_{22}Q_2 \quad (2)$$

である。重ね合わせの原理を用いると、導体1および導体2に同時にそれぞれ Q_1, Q_2 [C]の電荷が帯電している場合は、

$$V_1 = V'_1 + V''_1 = p_{11}Q_1 + p_{12}Q_2 \quad (3)$$

$$V_2 = V'_2 + V''_2 = p_{21}Q_1 + p_{22}Q_2 \quad (4)$$

となる。一般に n 個の導体が存在する場合、導体 i における電位 V_i は、

$$V_i = \sum_{k=1}^n p_{ik}Q_k, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

となる。

2 静電遮蔽 (しゃへい)

帯電した導体は他の導体に影響を与えるが、導体の位置関係によっておもしろい現象があらわれる。その現象のひとつが静電遮蔽(しゃへい)である。教科書[2]p.41の図3・

3(a)のように帯電した導体1によって帯電していない導体2は静電誘導によって電荷が局在した状態となる。次に(b)のように新たに導体3を導体2を取り巻くように置くと、導体3の内側での電場はゼロとなり、導体2と導体3は同電位となる。逆に(c)のように導体1を導体3で取り巻くと、静電誘導の連鎖によって導体2にも電荷の局在があらわれる。(d)のように導体3を接地した場合、導体3の外側に静電誘導によって現れた正の電荷に等しい量の自由電子がアースから流れ込んでくるため、導体3の外側における電荷分布は見かけ上ゼロとなり、導体2に静電誘導はおきない。

このように(d)の状態では導体1に帯電した電荷量と導体2における電位は全く無関係となり、導体1からの影響は完全に遮蔽(しゃへい)されている。この現象を静電遮蔽(しゃへい)と呼ぶ。

3 演習問題

- [練習1] 教科書 p.44 図 3.6 のような同心導体球がある。この時の同心導体球1および2の電位係数を求めなさい。
(復習のため球内外における電位をガウスの法則から求めること)

参考文献

- [1] 安達三郎, 大貫繁雄 基礎電気・電子工学シリーズ1”電気磁気学” 森北出版株式会社
- [2] 大貫繁雄/安達三郎 演習基礎電気・電子工学シリーズ”演習 電気磁気学” 森北出版株式会社
- [3] 山田直平, 桂井誠 ”電気磁気学問題演習詳解” 電気学会大学講座 電気学会