

# 電力システム解析論

第4回 送電線路のインダクタンス3

キャパシタンス1

平成26年10月28日

# 多条導体送電線

- 導体束xの素導体aのインダクタンス $L_a$ (H/m)
  - 流れる電流が $I/n$ (A)より

$$r'_a = \epsilon r_a = r_a e^{-\frac{1}{4}}$$

$$L_a = \frac{\psi_a}{I/n} = n \log_e \frac{\sqrt[m']{D_{aa'} D_{ab'} D_{ac'} \cdots D_{am'}}}{\sqrt[n]{D_{aa} D_{ab} D_{ac} \cdots D_{an}}} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$r'_a = D_{aa}$$

とする

- 導体束xの素導体bのインダクタンス $L_b$ (H/m)

$$L_b = \frac{\psi_b}{I/n} = n \log_e \frac{\sqrt[m']{D_{ba'} D_{bb'} D_{bc'} \cdots D_{bm'}}}{\sqrt[n]{D_{ba} D_{bb} D_{bc} \cdots D_{bn}}} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$r'_b = D_{bb}$$

とする

- 導体束xの素導体のインダクタンス平均値 $L_{av}$ (H/m)

$$L_{av} = \frac{L_a + L_b + L_c \cdots + L_n}{n}$$

# 多条導体送電線

- 導体束xのインダクタンスL<sub>x</sub>(H/m)
  - 全ての素導体が等しいインダクタンスL<sub>av</sub>(H/m)を持つ
  - n本の素導体の並列接続
  - 総インダクタンスは平均インダクタンスL<sub>av</sub>の1/n

$$\begin{aligned}
 L_x &= \frac{L_{av}}{n} = \frac{L_a + L_b + L_c \cdots + L_n}{n^2} \\
 &= \frac{1}{n} \left\{ \log_e \frac{\sqrt[m']{D_{aa'} D_{ab'} D_{ac'} \cdots D_{am'}}}{\sqrt[n]{D_{aa} D_{ab} D_{ac} \cdots D_{an}}} + \log_e \frac{\sqrt[m']{D_{ba'} D_{bb'} D_{bc'} \cdots D_{bm'}}}{\sqrt[n]{D_{ba} D_{bb} D_{bc} \cdots D_{bn}}} + \cdots \right\} \times 2 \times 10^{-7} \\
 &= \log_e \frac{\sqrt[m'n]{(D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am'}) (D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm'}) \cdots (D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm'})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \cdots D_{an}) (D_{ba} D_{bb} \cdots D_{bn}) \cdots (D_{na} D_{nb} \cdots D_{nn})}} \times 2 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

# 多条導体送電線

- 分子

- 導体xのn個の素導体から導体yのm個の素導体への距離の積のmn乗根
  - 導体xと導体y間の幾何学的平均距離 $D_m$ (GMD: geometrical mean distance), 二導体間の相互GMD

$$D_m = \sqrt[m'n]{(D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am'})(D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm'}) \cdots (D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm'})}$$

- 分母

- 導体xのn個の素導体から各素導体への距離の積の $n^2$ 乗根
  - 素導体自身間の距離 $D_{ii}$ は実効半径 $r'a$
  - 導体xの幾何学的平均半径 $r'$ (GMR: geometrical mean radius), 導体の自己GMD: $D_s$

$$D_s = \sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \cdots D_{an})(D_{ba} D_{bb} \cdots D_{bn}) \cdots (D_{na} D_{nb} \cdots D_{nn})}$$

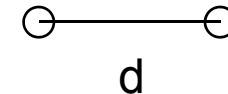
$$L_x = \log_e \frac{D_m}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

# 送電線の多導体化

- 送電線の等価半径(GMR)を大きくしてコロナ放電を防ぐ

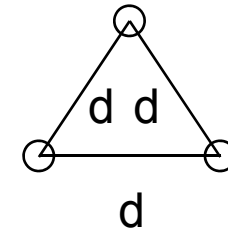
- 二導体 GMR

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s d)^2} = \sqrt{D_s d}$$



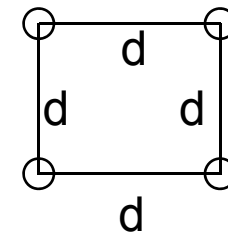
- 三導体GMR

$$D_s^b = \sqrt[9]{(D_s d d)^3} = \sqrt[3]{D_s d^2}$$



- 四導体GMR

$$D_s^b = \sqrt[16]{(D_s \sqrt{2} d d d)^4} \cong 1.09 \sqrt[4]{D_s d^3}$$



# 三相送電線のインダクタンス 等間隔配置

- a相の鎖交磁束 $\psi_a$ (WbT/m)  $D_s$ :GMR

$$\psi_a = \left( I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D} + I_c \log_e \frac{1}{D} \right) \times 2 \times 10^{-7}$$

- 三相交流

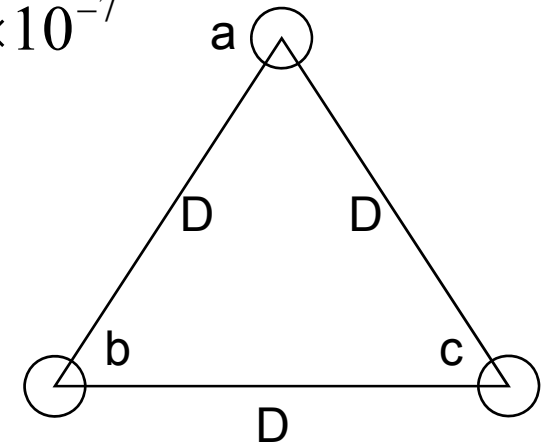
– 電流条件  $I_a + I_b + I_c = 0$

$$I_a = -(I_b + I_c)$$

- a相のインダクタンス $L_a$ (H/m)

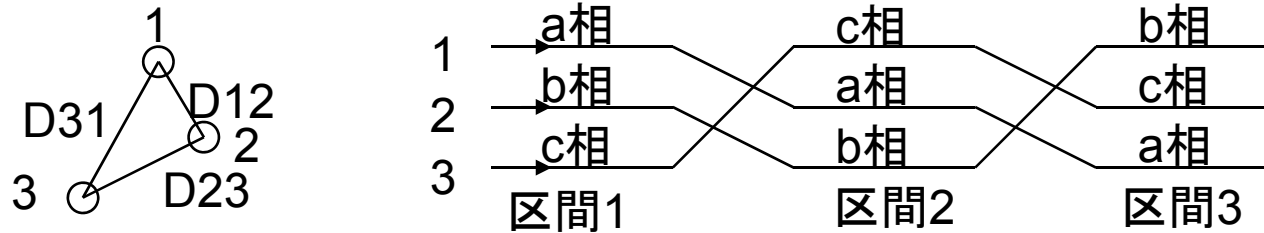
$$\psi_a = \left( I_a \log_e \frac{1}{D_s} - I_a \log_e \frac{1}{D} \right) \times 2 \times 10^{-7} = I_a \log_e \frac{D}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$L_a = \log_e \frac{D}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$



# 三相送電線のインダクタンス 不等間隔配置・撚架

- 鉄塔に送電線を配置する場合，不等間隔配置となる



– a相の鎖交磁束

- 区間1  $\psi_{a1} = \left( I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{12}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{31}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$
- 区間2  $\psi_{a2} = \left( I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{23}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{12}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$
- 区間3  $\psi_{a3} = \left( I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{31}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{23}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$

# 三相送電線のインダクタンス 不等間隔配置・撚架

- a相の鎖交磁束平均値

$$\psi_a = \frac{\psi_{a1} + \psi_{a2} + \psi_{a3}}{3}$$

$$= \left( 3I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} \right) \times \frac{2 \times 10^{-7}}{3}$$

- 三相交流  $I_a = -(I_b + I_c)$

$$\psi_a = \left( 3I_a \log_e \frac{1}{D_s} - I_a \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} \right) \times \frac{2 \times 10^{-7}}{3}$$

$$= I_a \log_e \frac{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$\text{GMD} \quad D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$



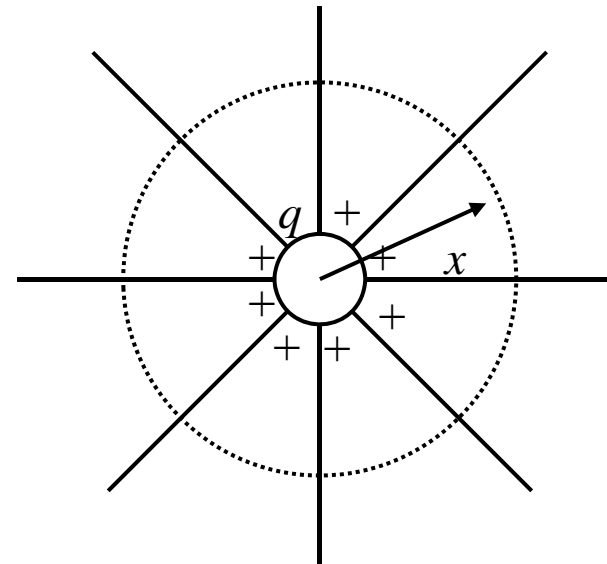
# 送電線路の静電容量 円柱導体の電界

- 一様媒体中の十分に長い真直ぐな円柱導体
  - 導体上に電荷が一様分布
  - 電束は放射状に伸びる
  - 円柱表面上の電位は同じ
  - 表面の電束密度同じ
- 中心から距離 $x$ の位置における電束密度(単位長あたり)

$$D = \frac{q}{2\pi x} \quad C/m^2$$

- $q$ : 導体上の単位長あたり電荷
- 電界強度

$$e = \frac{q}{2\pi x \epsilon} \quad V/m$$



真空の誘電率 $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$

# 送電線路の静電容量

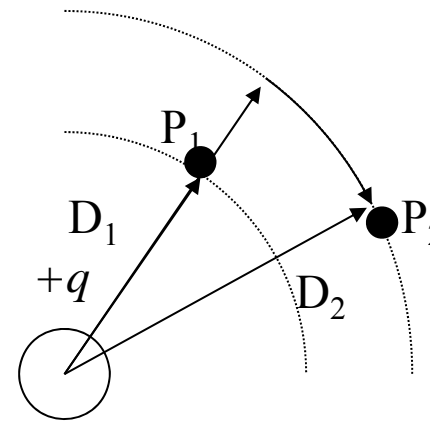
## 電荷による二点間の電位差

- 単位長当り電荷 $q$  C/mを持つ円柱導体
- 点 $P_1, P_2$ は各々導体の中心から $D_1, D_2$ 離れている
- $P_1, P_2$ 間の電位差

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} e dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi x \epsilon} dx$$

$$= \frac{q}{2\pi \epsilon} [\log_e x]_{D_1}^{D_2}$$

$$= \frac{q}{2\pi \epsilon} \log_e \frac{D_2}{D_1} \quad V$$



# 送電線路の静電容量

## 二線間の静電容量

- 二線間の静電容量の定義
  - 単位電位差あたりの導体上の電荷

$$C = \frac{q}{v} \quad F/m$$



- 二導体間の電位差

– 導体a上の電荷 $q_a$ による電圧降下  $V_a = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{D}{r_a} \quad V$

– 導体b上の電荷 $q_b$ による電圧降下  $V_b = \frac{q_b}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{r_b}{D} \quad V$

– 重ね合わせ  $V_{ab} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{D}{r_a} + \frac{q_b}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{r_b}{D} \quad V$

# 送電線路の静電容量

## 二線間の静電容量

- 二線が対になっている場合  $q_a = -q_b$

$$V_{ab} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{D}{r_a} - \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{r_b}{D} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{D^2}{r_a r_b} \quad V$$

- 線間の静電容量

$$C_{ab} = \frac{q_a}{V_{ab}} = \frac{q_a}{\frac{q_a}{2\pi\epsilon} \log_e \frac{D^2}{r_a r_b}} = \frac{2\pi\epsilon}{\log_e \frac{D^2}{r_a r_b}} \quad F/m$$

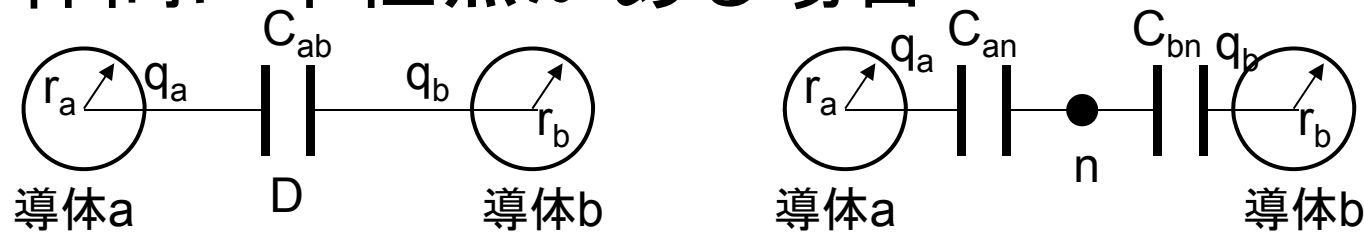
- 導体径が等しい場合  $r_a = r_b = r$

$$C_{ab} = \frac{2\pi\epsilon}{\log_e \frac{D^2}{r^2}} = \frac{2\pi\epsilon}{2 \log_e \frac{D}{r}} = \frac{\pi\epsilon}{\log_e \frac{D}{r}} \quad F/m$$

# 送電線路の静電容量

## 二線間の静電容量

- 導体間に中性点がある場合



$$C_n = C_{an} = C_{bn} = 2C_{ab} = \frac{2\pi\epsilon}{\log_e \frac{D}{r}} \quad F/m$$

- 周波数  $f$  におけるリアクタンス(比誘電率  $\epsilon_r=1$ )

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{2.862}{f} \times 10^9 \log_e \frac{D}{r} \quad \Omega m$$