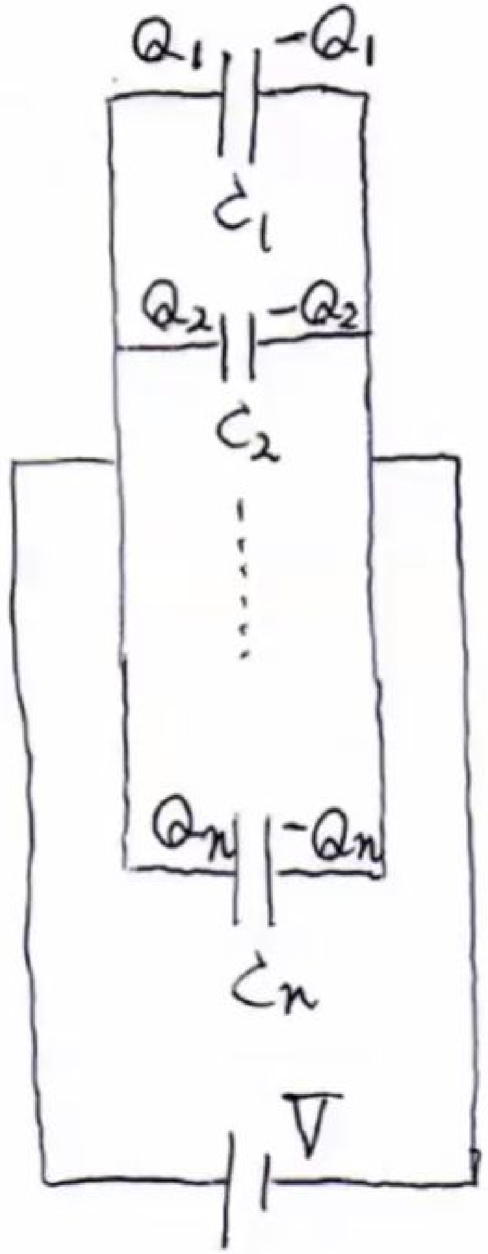
材料の物理1

第12回目

○ コンデンサーの接続（連結）

• 並列接続



全てのコンデンサーの電位差（電圧）は等しく、V。

i番目のコンデンサーに蓄えられる電荷は、$Q_i = C_i V$。

ゆえに、全体の電荷は、

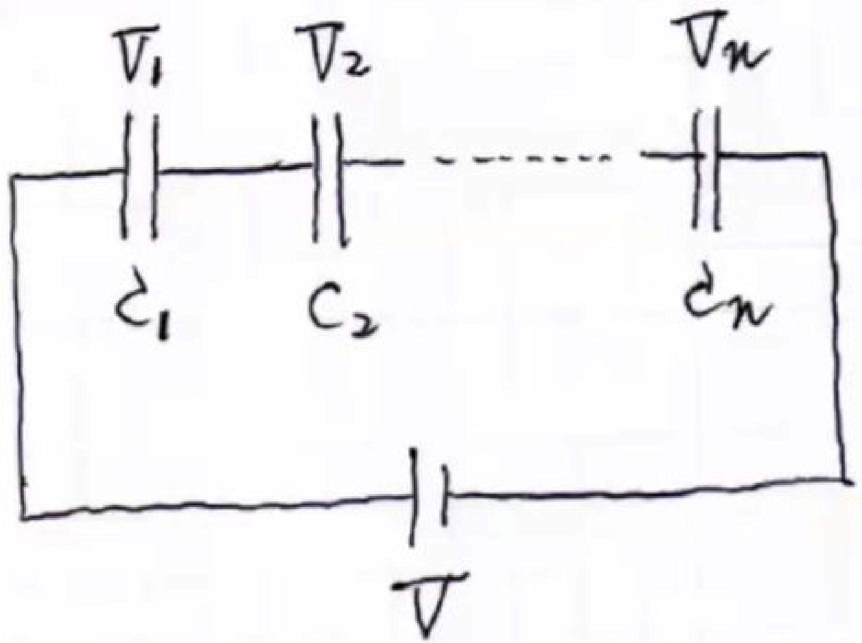
$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i = \sum_{i=1}^{n} C_i V 。$$

合成電気容量Cは、

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

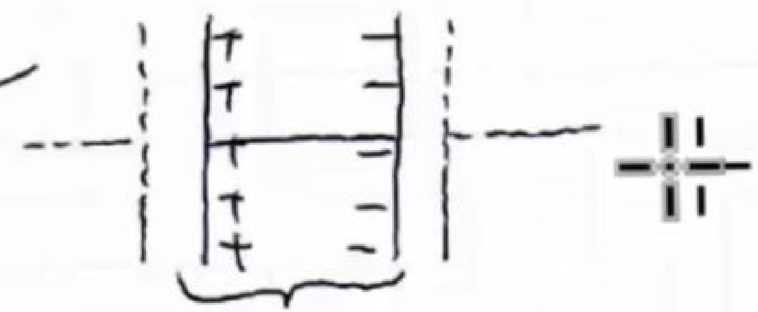
//（並列）

• 直列接続



$$V = \sum_{i=1}^{n} V_i 。$$

隣り合うコンデンサーの極板の電荷は互いに打ち消し合うので、$Q_i = Q$ で全コンデンサーに共通。



$$V_i = \frac{Q_i}{C_i} = \frac{Q}{C_i} \text{ より、}$$

$$V = \sum_{i=1}^{n} V_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q}{C_i}$$

よって、合成電気容量は、

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \quad // \text{(直列)}$$

6.2 誘電体

- 電流を流さない絶縁体

  ↳ 電気的に不活性か？ ⇒ No!

⇓

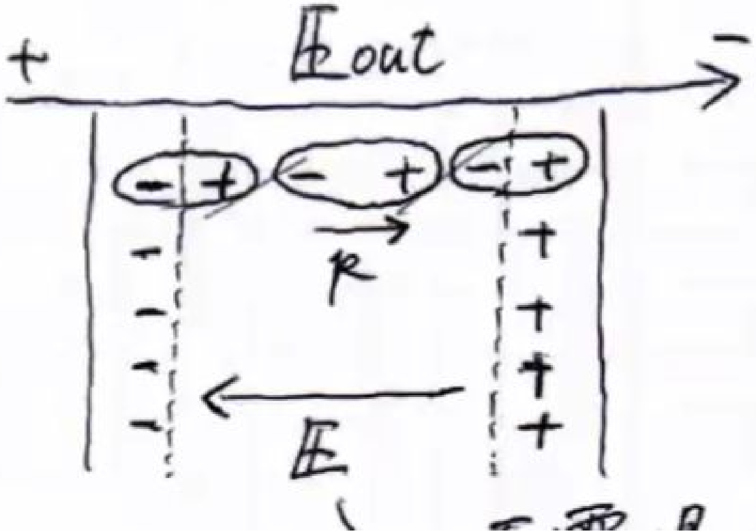
電場により電気分極が生じる（変化する）

↳ 分極電荷により電場が生じる（変化する）

※両者のつじつまを合わせる必要あり

↳ 電束密度（電気変位）という場の導入

絶縁体 ⇒ "誘電体"



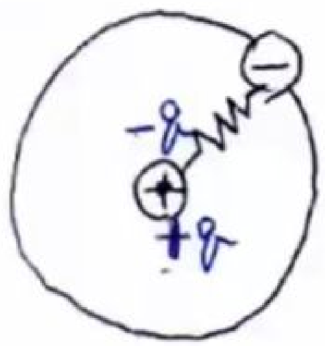
cf. 導体は外部電場を完全に打ち消す

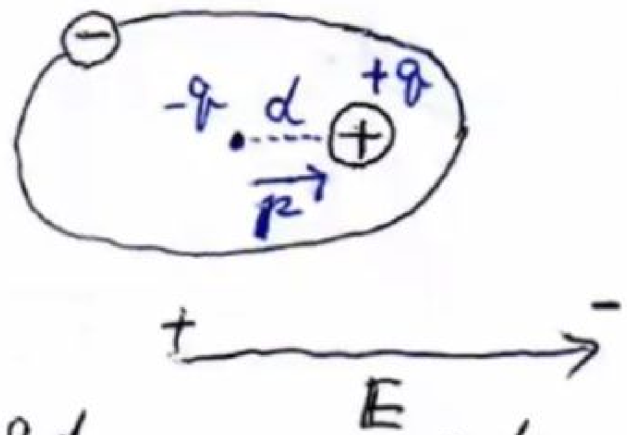
↳ 導体内は $E=0$

○電気分極

・絶縁体(誘電体) → 自由に動ける電荷なし

原子内





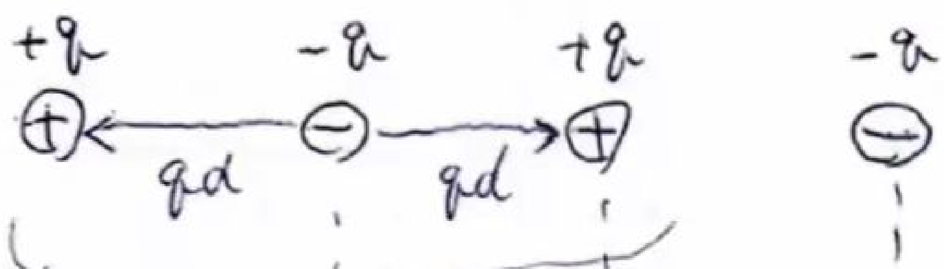
：電子分極

$E \simeq 0$

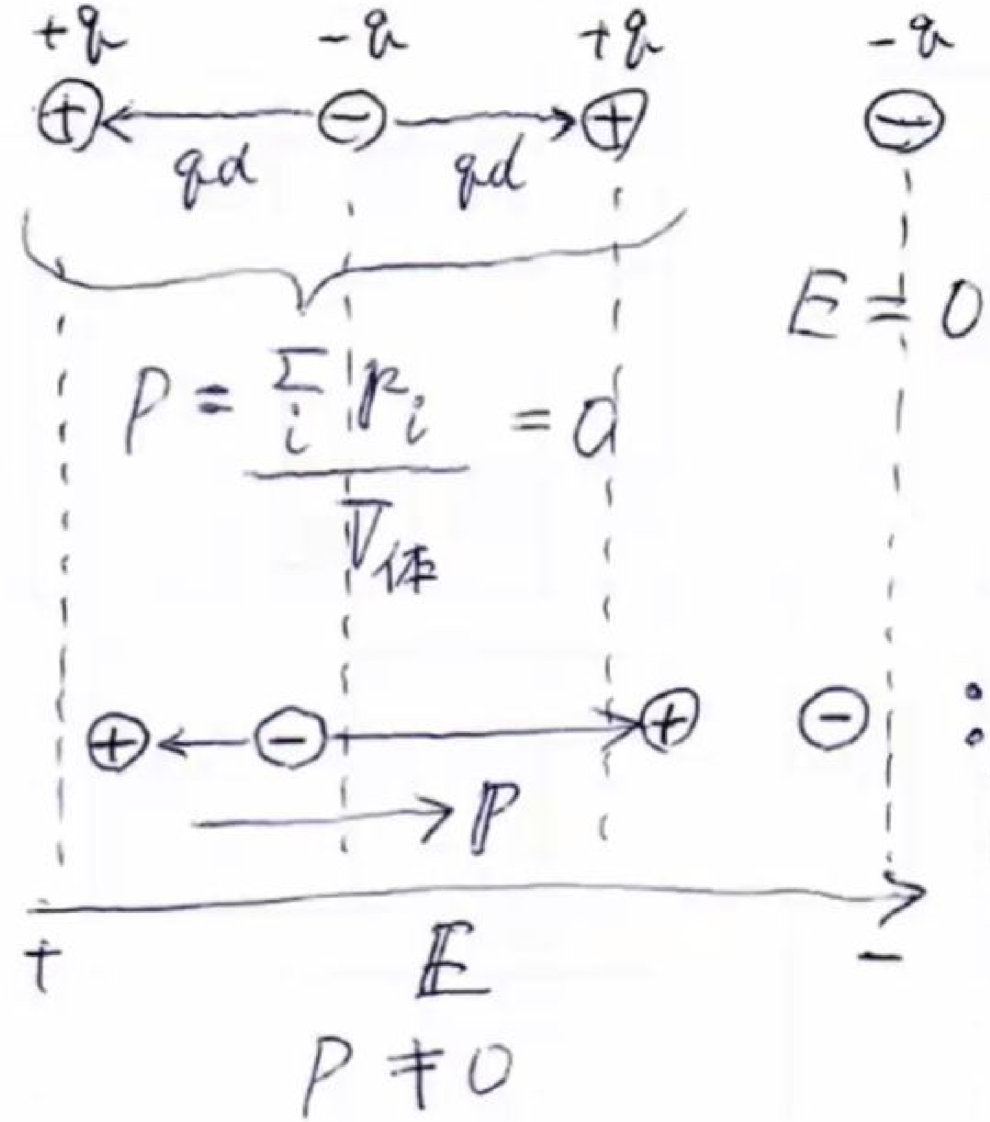
双極子モーメント：$p = qd$
$= 0$

$p = qd$
$\neq 0$

イオン結晶
(例 Na^+Cl^-)



イオン結晶
(例 Na^+Cl^-)

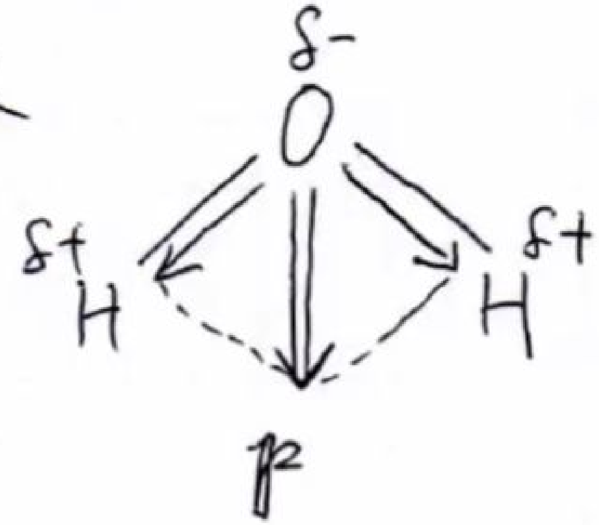


：イオン分極
(原子)

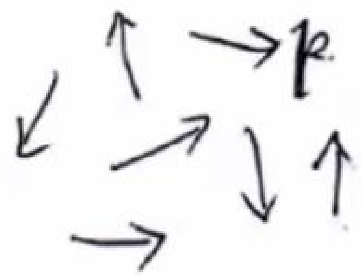
分子　例：水

→ 有極性分子

分子　例：水

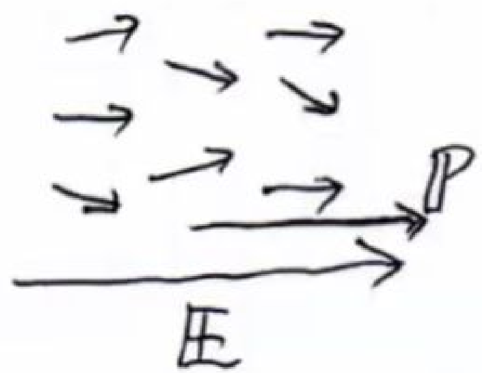


→ 有極性分子



$E = 0$

$P = 0$



$P \neq 0$

P ：配向分極

(双極子)

$E = 0$ のとき $P = 0$

$E \neq 0$ 〃 $P \neq 0$

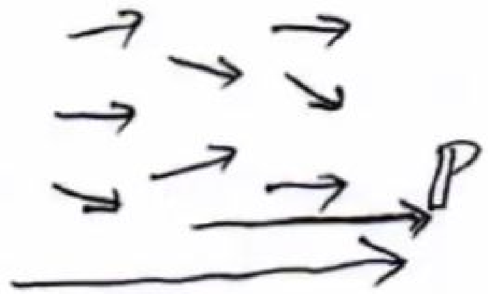
⇒ 常誘電体

→ P は E に比例する。

$$P = \varepsilon_0 \chi E$$

$\mathbf{E} = 0$

$P = 0$



$\mathbf{E}$

$P \neq 0$

：配向分極

（双極子）

$\mathbf{E} = 0$ のとき $\mathbf{P} = 0$

$\mathbf{E} \neq 0$ 〃 $\mathbf{P} \neq 0$

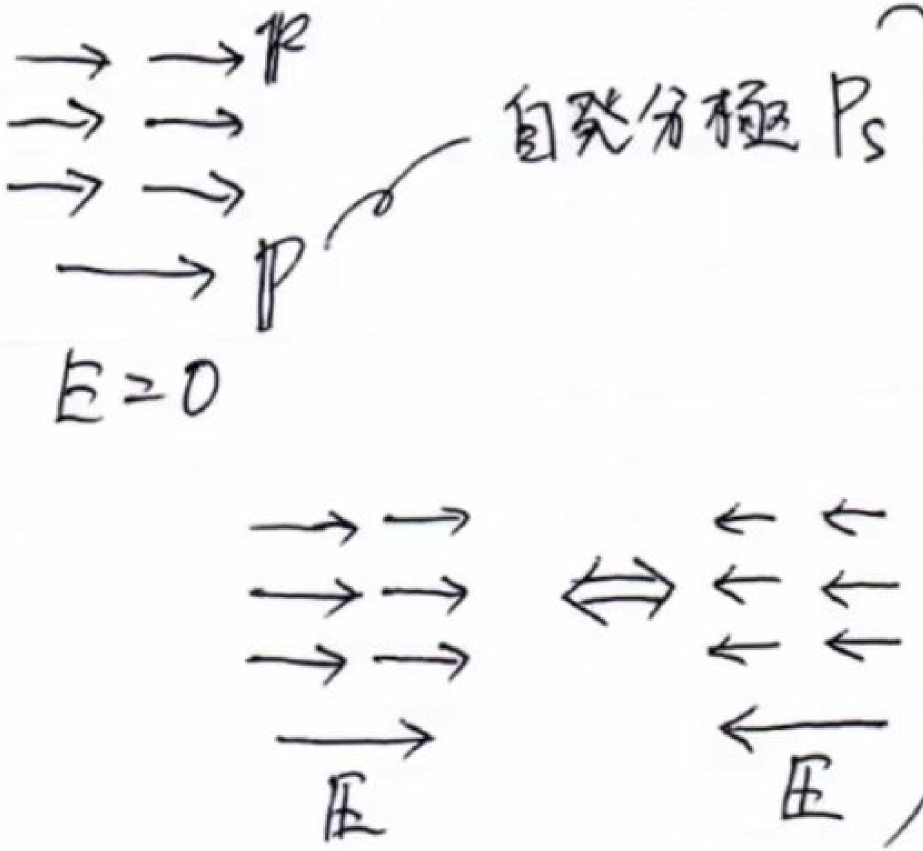
⇒ 常誘電体

$\mathbf{P}$ は $\mathbf{E}$ に比例する。

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi \mathbf{E}$$

電気感受率

• $E=0$ でも $P \neq 0$ の物質あり



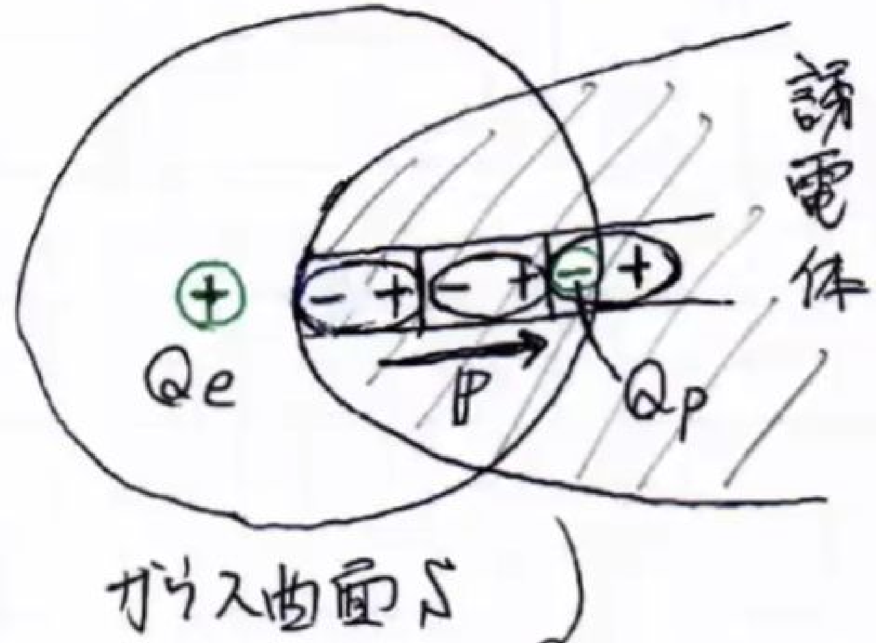
P_s をもち、その向きを E で反転できる物

⇓

強誘電体

○ ガウスの法則と電束密度

○ガウスの法則と電束密度



誘電体が存在する空間の中に閉曲面Sを考える。

⇓ ガウスの法則

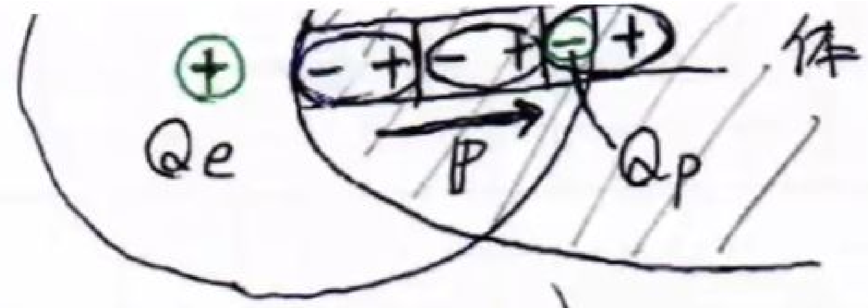
$$\varepsilon_0 \int_S \underbrace{E_n}_{\text{外部電場}+\text{反電場}} dS = \underbrace{Q_e}_{\text{S内の外部電荷}} + \underbrace{Q_p}_{\text{S内の分極電荷}}$$

微小領域全体がSの内側にあるものは、打ち消し合って分極電荷は0。

⇓

Sによって切断された部分の分極電荷が残る。

$$\longrightarrow Q_p = \underbrace{-}_{Q_e\text{と逆}} \int_S \underbrace{P_n}_{\text{分極(電荷密度)}} dS$$



閉曲面Sを考える。

$\Downarrow$ ガウスの法則

ガウス曲面S

$$\varepsilon_0 \int_S \underbrace{E_n}_{\text{外部電場＋反電場}} dS = \underbrace{Q_e}_{\text{S内の外部電荷}} + \underbrace{Q_p}_{\text{S内の分極電荷}}$$

微小領域全体がSの内側にあるものは、
打ち消し合って分極電荷は0。

$\Downarrow$

Sによって切断された部分の分極電荷が残る。

$$\longrightarrow Q_p = \underbrace{-}_{Q_e\text{と逆}} \int_S P_n \, dS$$

P_n：分極(電荷密度)

(PのSに対する外向き法線方向の成分)

よって、

$$\int_S (\varepsilon_0 E_n + P_n)\, dS = Q_e$$

$\varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P} \equiv \mathbb{D}$ ：電束密度（電気変位）

$$\int_S D_n\, dS = Q_e$$

- 真空中では $\mathbb{P} = 0 \longrightarrow \mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E}$

(常)誘電体では $\mathbb{P} = \varepsilon_0 \underbrace{\chi}_{\text{電気感受率}} \mathbb{E} \longrightarrow \mathbb{D} = \varepsilon_0 (1+\chi) \mathbb{E}$

$$= \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathbb{E}$$

$$= \varepsilon \mathbb{E}$$

ε：物質の絶対誘電率

$\varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$：真空に対する比

$\longrightarrow$ 比誘電率

Sによって切断された部分の分極電荷が残る。

$$\longrightarrow Q_p = -\int_S P_n \, dS$$

Q_eと逆

分極(電荷密度)

($\mathbb{P}$のSに対する外向き法線方向の成分)

よって、

$$\int_S (\varepsilon_0 E_n + P_n) \, dS = Q_e$$

$\varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P} \equiv \mathbb{D}$: 電束密度(電気変位)

$$\int D_n \, dS = Q_e$$

よって、

$$\int_S \underbrace{(\varepsilon_0 E_n + P_n)}\, dS = Q_e$$

$\varepsilon_0 \mathbb{E} + \mathbb{P} \equiv \mathbb{D}$: 電束密度(電気変位)

$$\int_S D_n\, dS = Q_e$$

- 真空中では $\mathbb{P} = 0 \longrightarrow \mathbb{D} = \varepsilon_0 \mathbb{E}$

(常)誘電体では $\mathbb{P} = \varepsilon_0 \underbrace{\chi}_{\text{電気感受率}} \mathbb{E} \rightarrow \mathbb{D} = \varepsilon_0 \underbrace{(1+\chi)}_{\varepsilon_r} \mathbb{E}$

$$= \underbrace{\varepsilon_0 \varepsilon_r}_{\varepsilon} \mathbb{E}$$

$$= \varepsilon \mathbb{E}$$

ε : 物質の絶対誘電率

$\varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$: 真空に対する比

$\longrightarrow$ 比誘電率

(相対)

(常)誘電体では $\mathbb{P} = \varepsilon_0 \underbrace{\chi}_{\text{電気感受率}} \mathbb{E} \to \mathbb{D} = \varepsilon_0 (1+\chi) \mathbb{E}$

$$= \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathbb{E}$$

$$= \varepsilon \mathbb{E}$$

ε：物質の絶対誘電率

$\varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$：真空に対する比

→ 比誘電率
(相対)

- ガウスの法則

$\mathbb{D} = \varepsilon \mathbb{E}$ より、

$$\int_S D_n \, dS = \varepsilon \int_S E_n \, dS = Q_e$$

※真空中のガウスの法則の ε_0 を ε に代えただけ