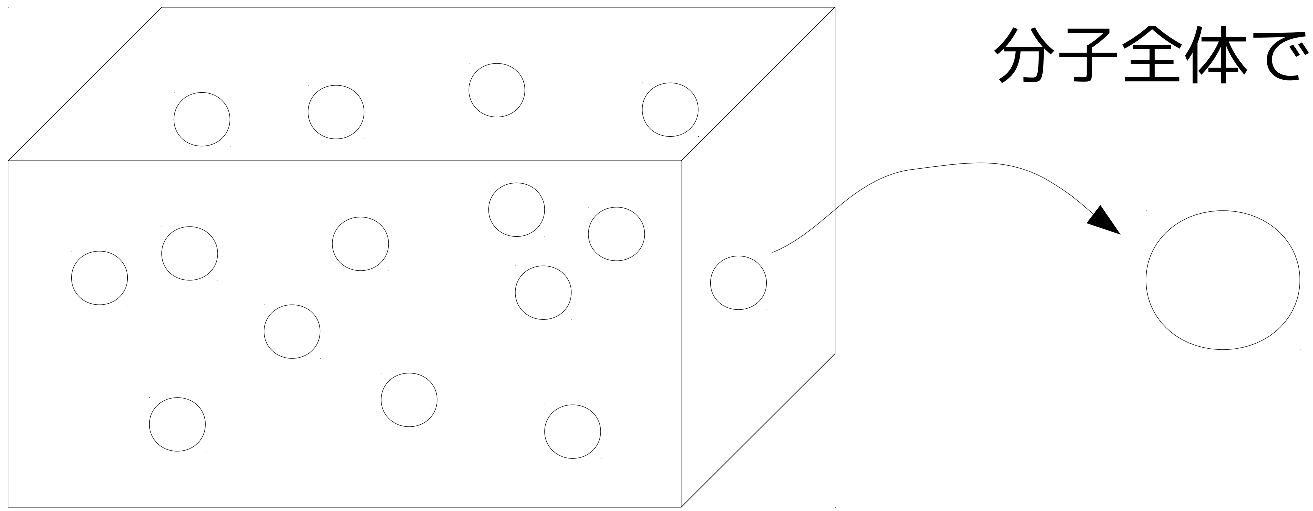
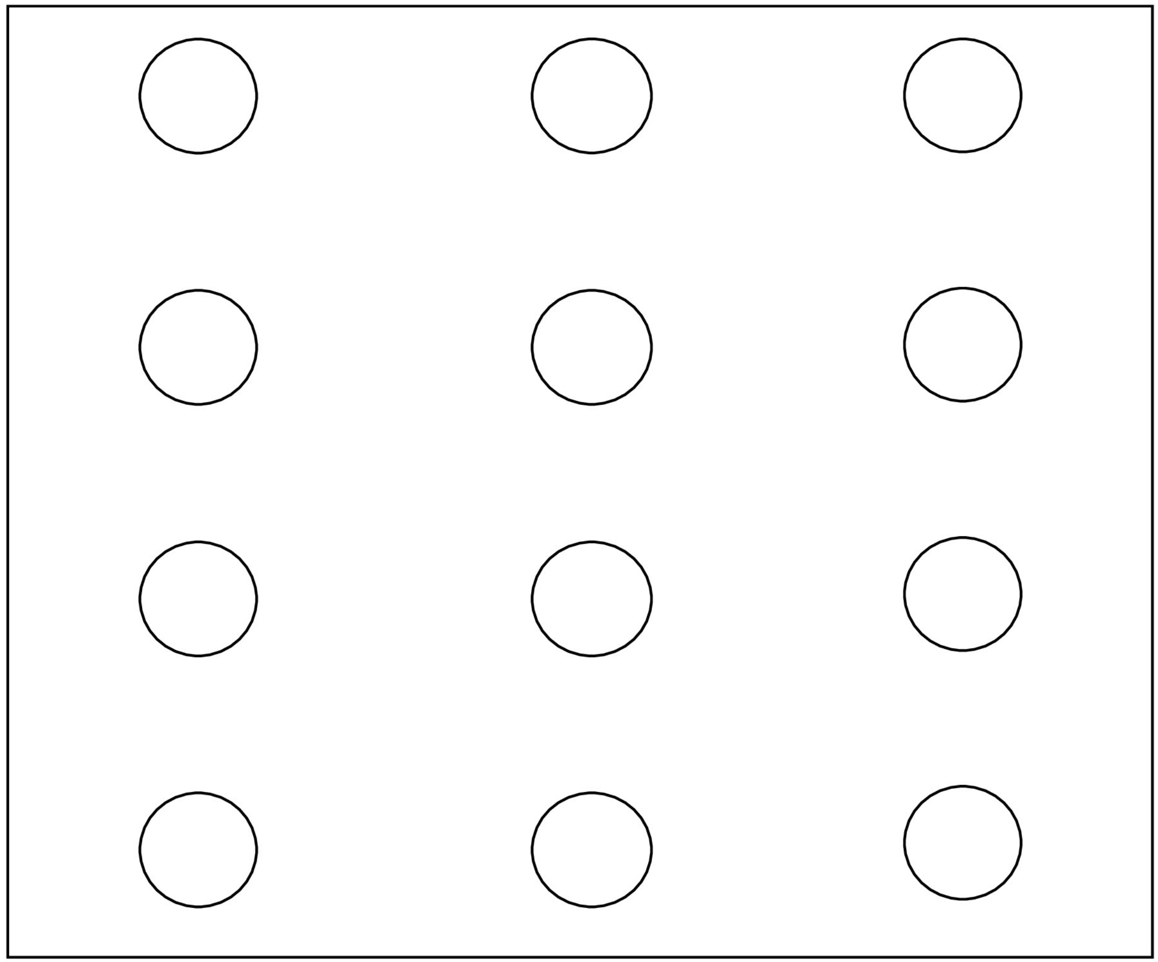
不導体＝誘電体（高分子化合物など）



1. 分子は、力が働くと変形する。

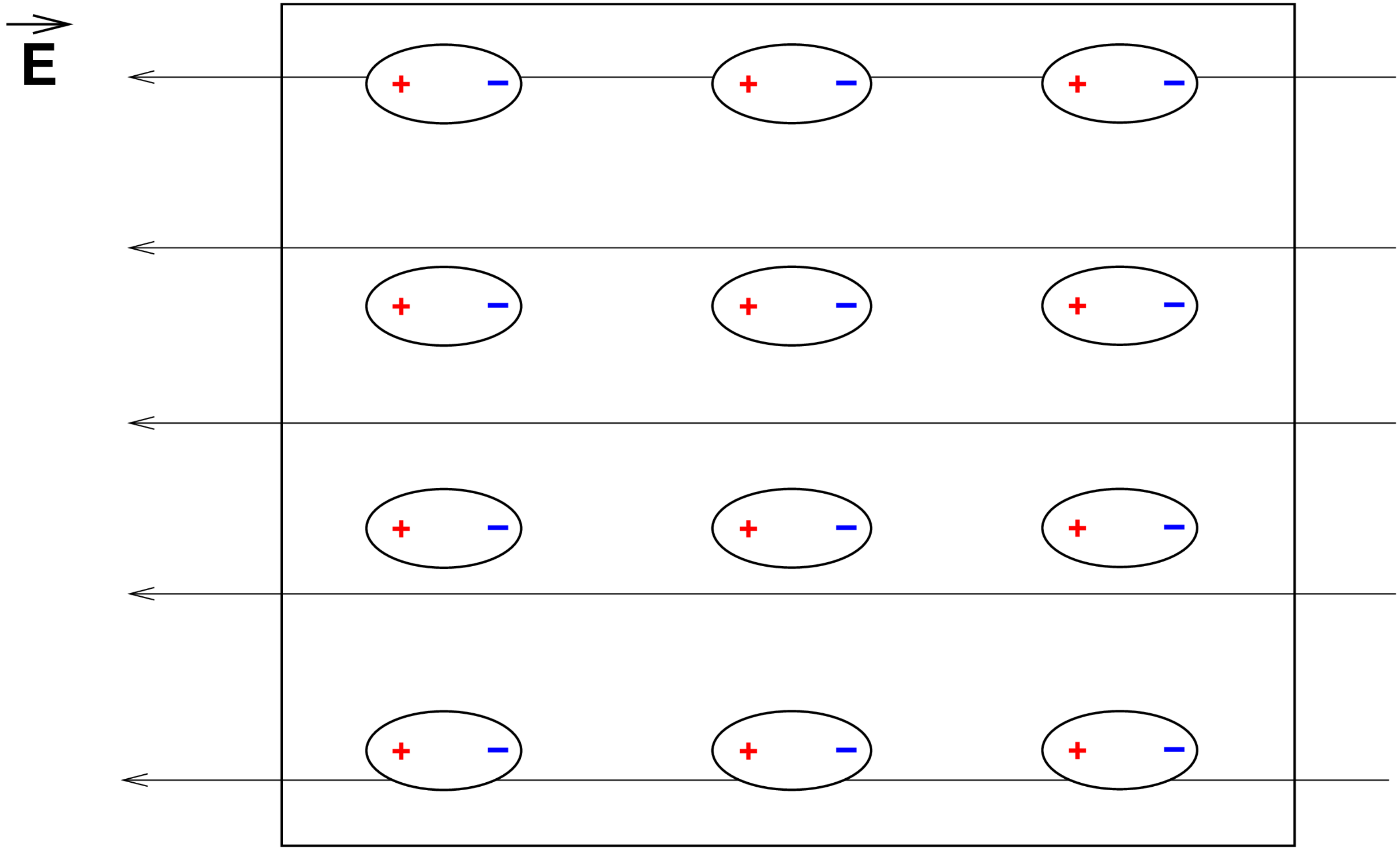
2. 電子は、分子内部では
動くことが出きるが、
分子の外には出られない。

電場と誘電体分子



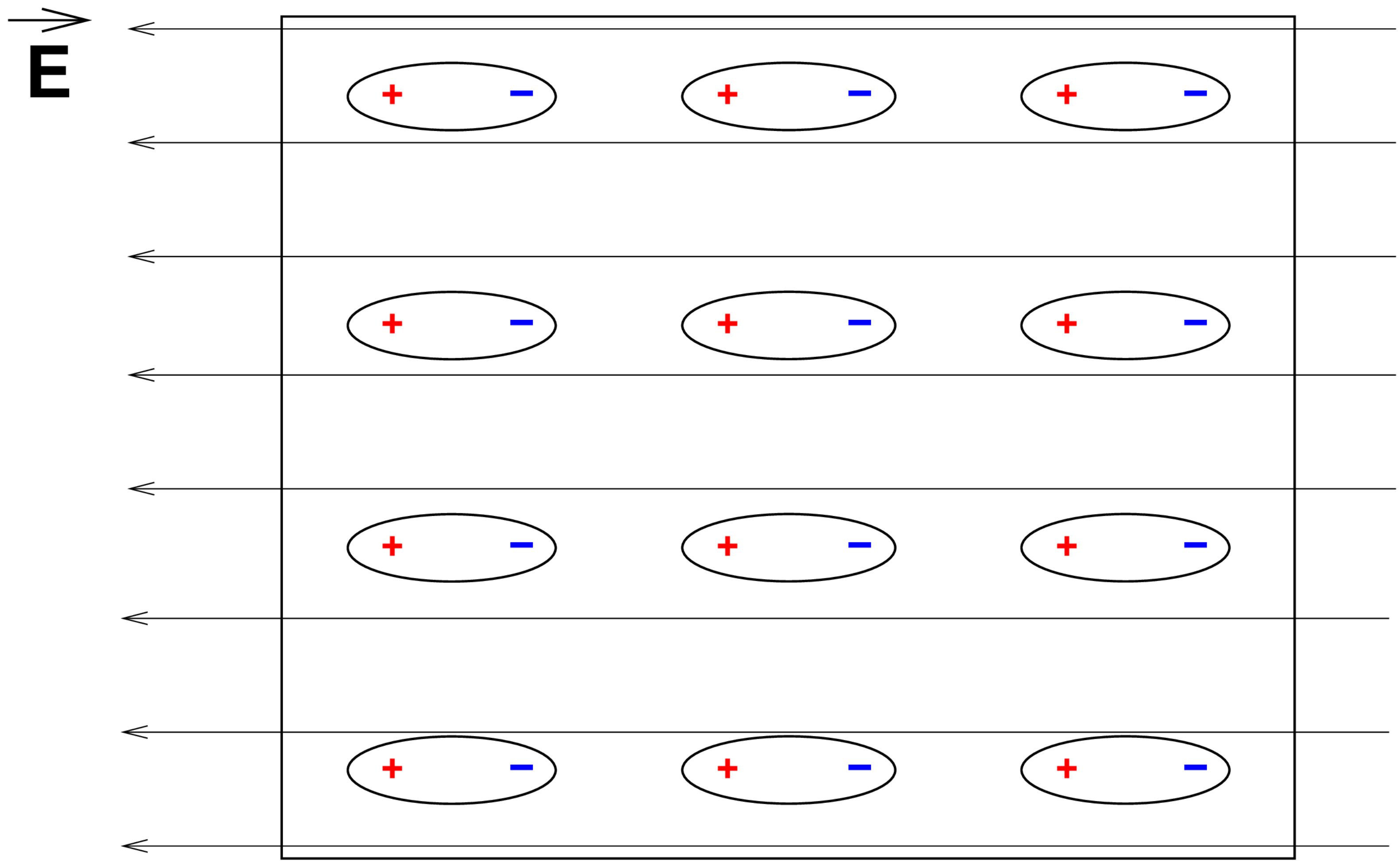
分子の中の電荷は、特に局在していない。

電場と誘電体分子



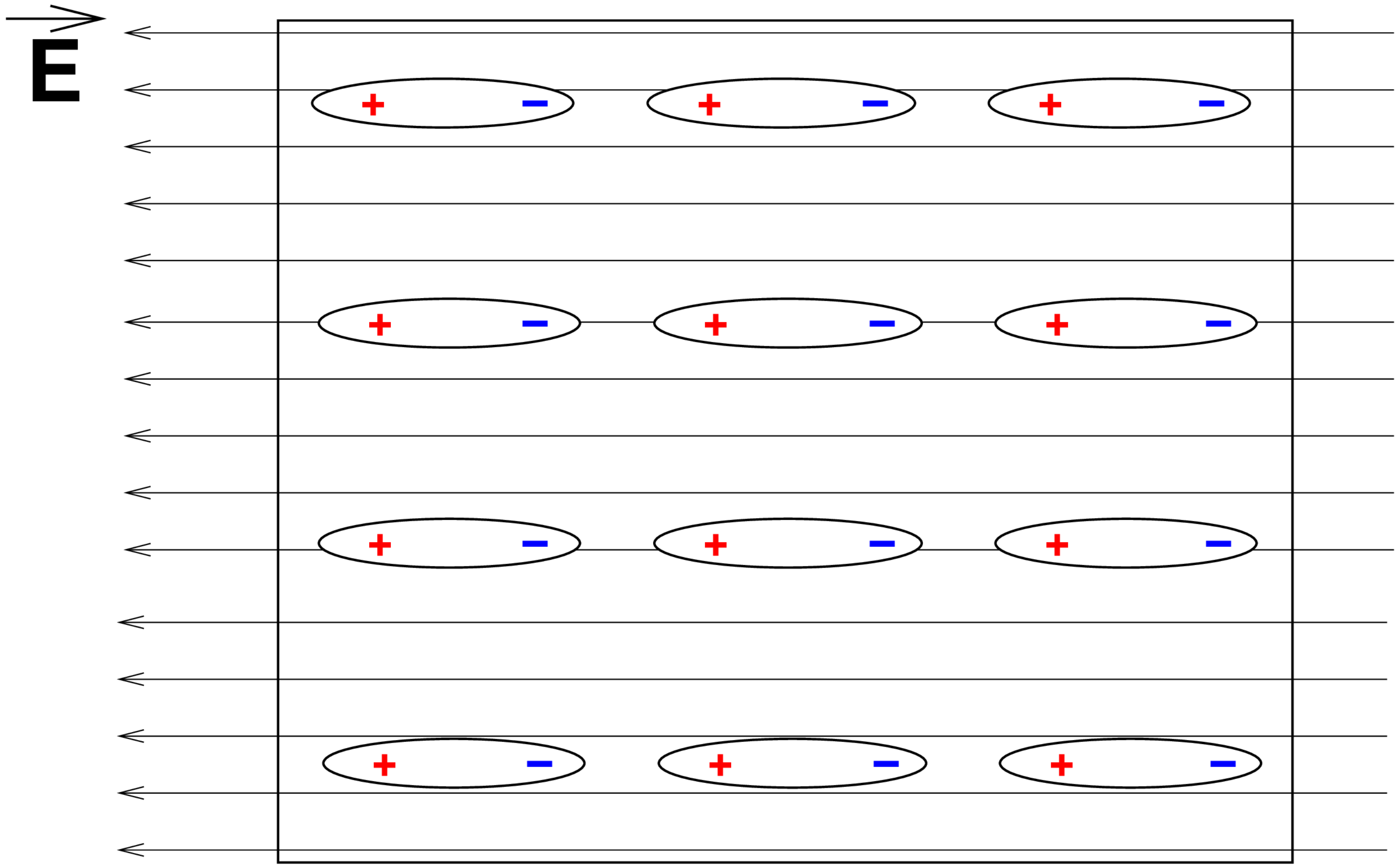
分子の中の電荷が局在しはじめる（分極）

電場と誘電体分子

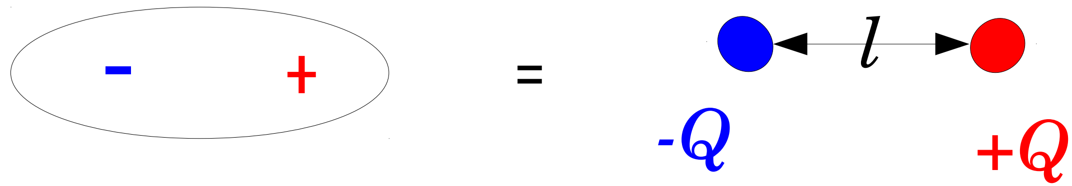


電場とともに **分極** が大きくなる。

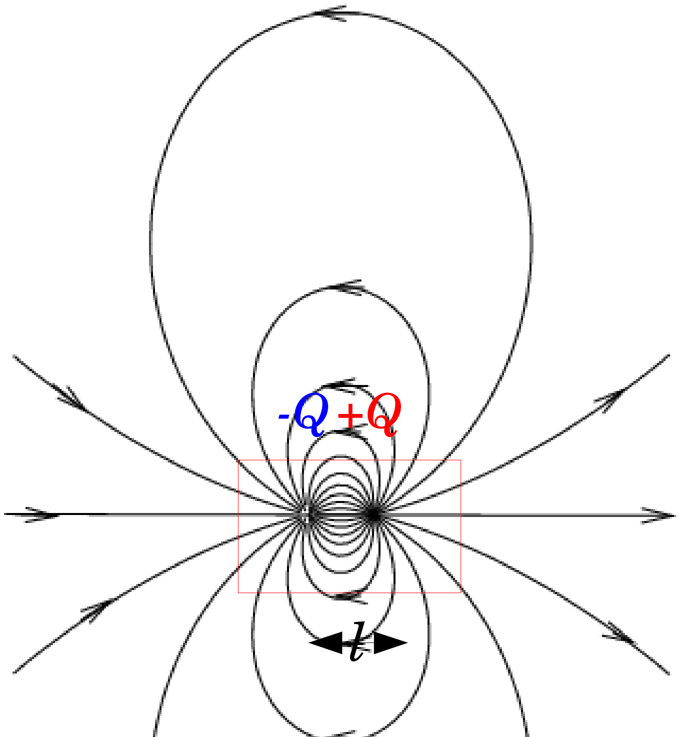
電場と誘電体分子



さらに電場が強くなると...



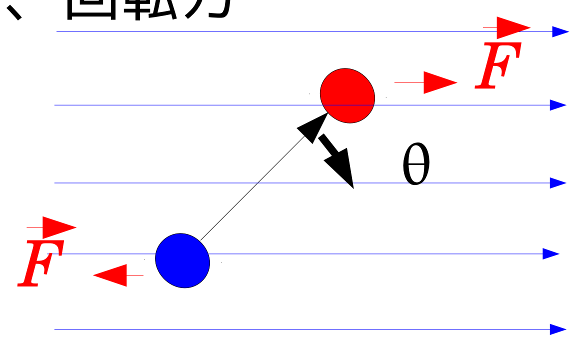
分極　　　　電気双極子



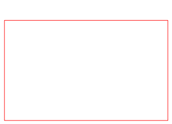
$p \equiv l \cdot Q$ ：電気双極子モーメント

l を $\vec{l}$ （負の電荷から正の電荷向かうベクトル）と置き換えることで、ベクトルとして定義することもできる。

電場の中で電気双極子に働く力は、回転力



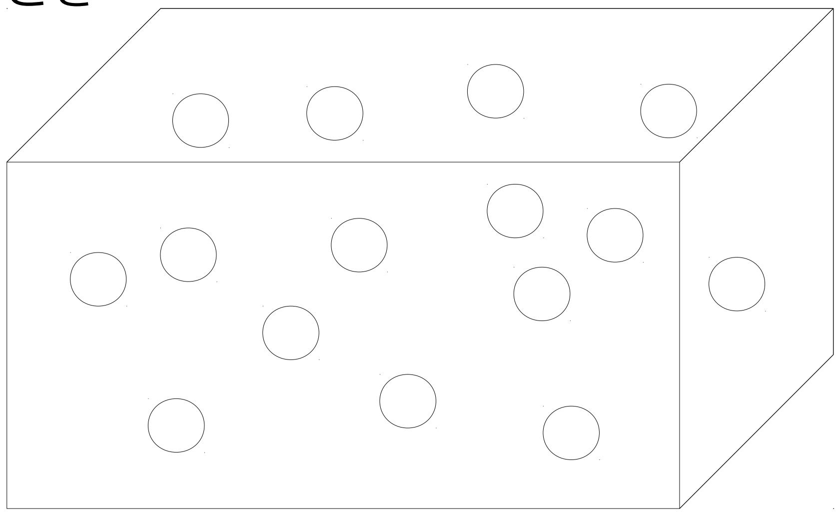
$$N = \sin\theta \cdot l \cdot F$$
$$= E \cdot [lQ] \cdot \sin\theta$$



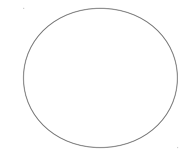
電場の強いところ

不導体＝誘電体（高分子化合物など）

電場が無いとき

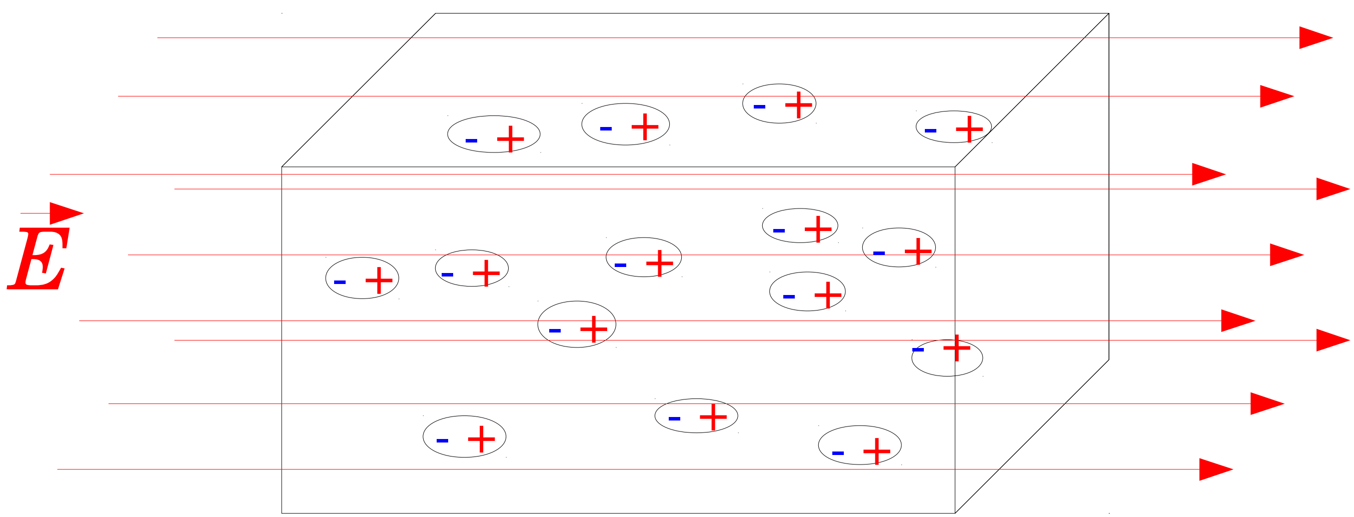


分子全体では
常に中性

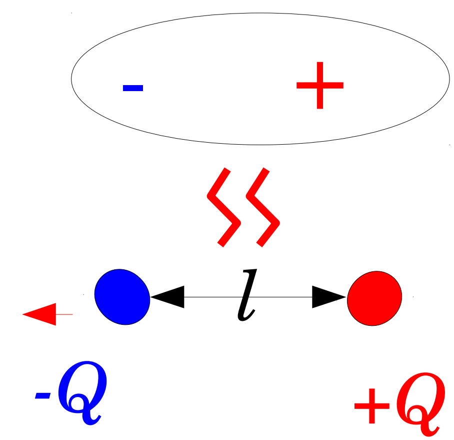


電荷の局在は無い

電場があると

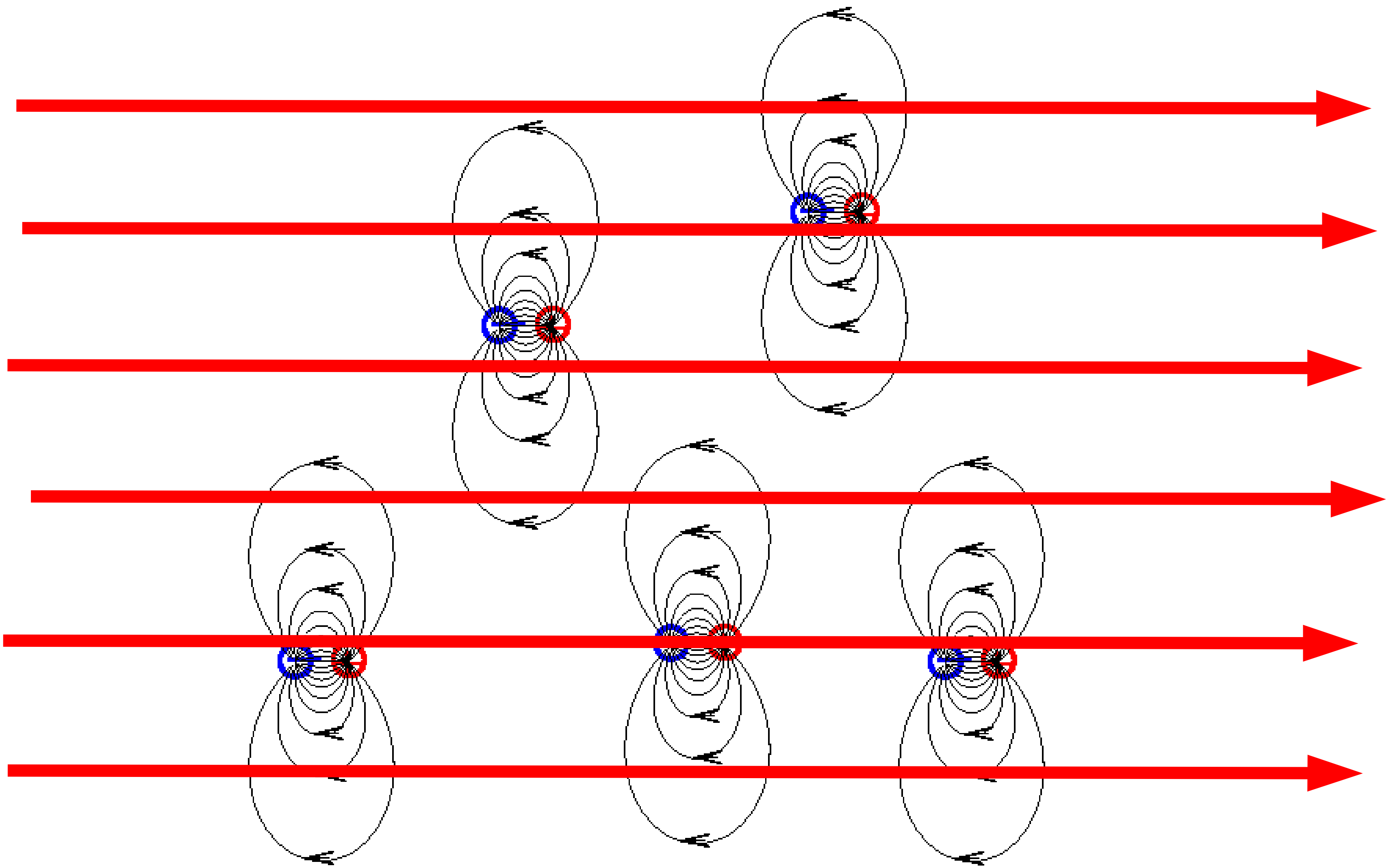


電場により分極



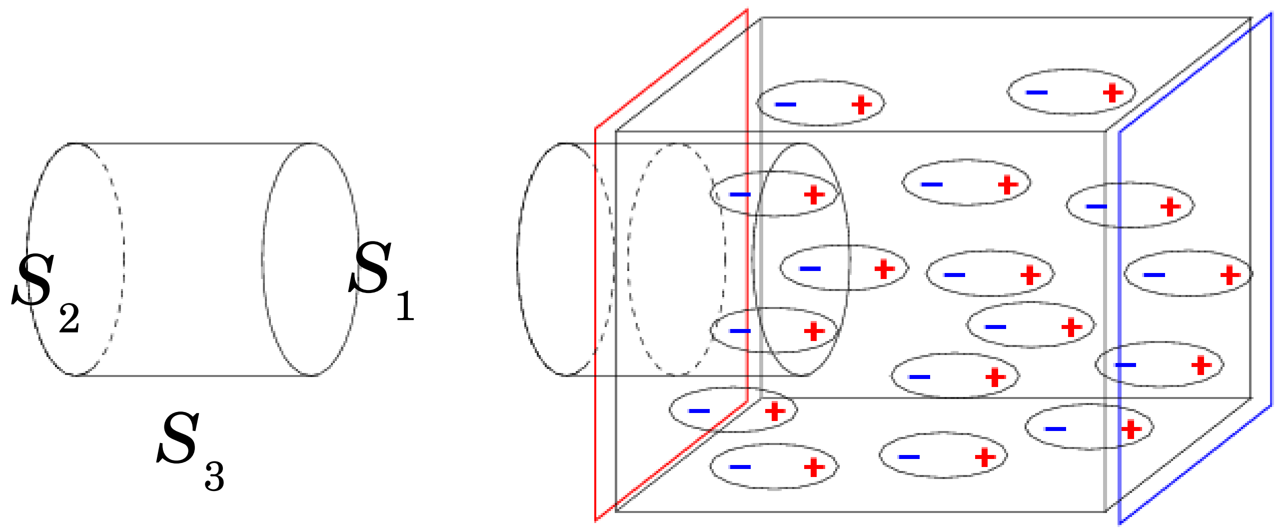
電気双極子

分極による電気双極子は外場と反対方向に電場をつくる。



電気双極子の作る電場(黒)は、
外から与えられた、電場(赤)を打ち消す方向
＝＝＞　与えた電場が弱められる！

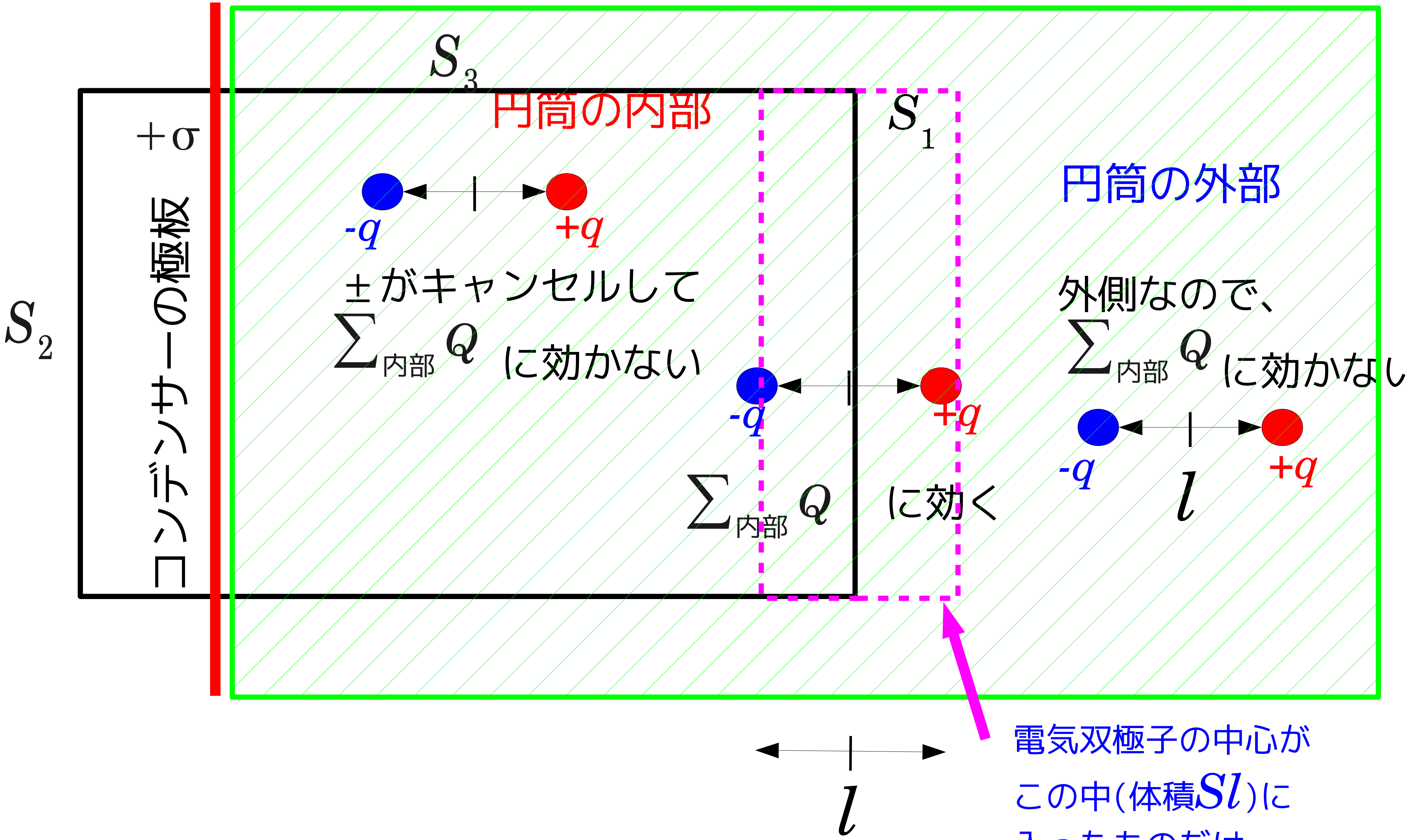
誘電体を挟んだコンデンサーにおいて、
ガウスの法則を考える。



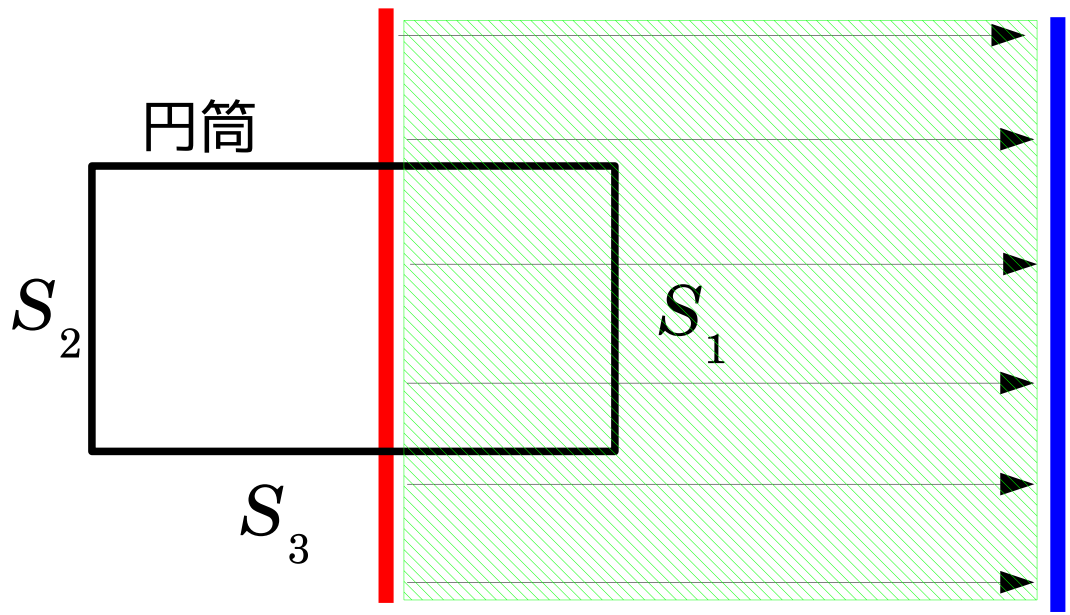
$$\int_{S1} \hat{n}\cdot\vec{E}\,dS + \int_{S2} \hat{n}\cdot\vec{E}\,dS + \int_{S3} \hat{n}\cdot\vec{E}\,dS = \frac{\sum_{\text{内部}} Q}{\varepsilon_0}$$

$$\sum_{\text{内部}} Q = \sum_{\text{内部}} Q_{\text{極版上}} + \boxed{\sum_{\text{内部}} Q_{\text{分極電荷}}}$$

（右辺）　$\sum_{内部} Q = \sum_{内部} Q_{極版上} + \boxed{\sum_{内部} Q_{分極電荷}}$



面積分(ガウスの法則の左辺)の評価



$\vec{E}$ も分極の方向も $\hat{n}_1$ に平行 $\int_{S1} \hat{n}_1 \cdot \vec{E}\, dS = \boxed{<E> \cdot S_{1,}}$

左辺はこれだけが生き残る

コンデンサーの外側なので、 $\int_{S2} \hat{n}_2 \cdot \vec{E}\, dS = 0,$

$\vec{E}$ も分極の方向も $\hat{n}_3$ に垂直 $\int_{S3} \hat{n}_3 \cdot \vec{E}\, dS = 0$

（右辺の続き）

$$\sum_{\text{内部}} Q_{\text{極版上}} = \sigma \cdot S_1$$

$$\boxed{\sum_{\text{内部}} Q_{\text{分極電荷}}} = -\ [\text{体積}\ S_1 \cdot l\ \text{の中の分極の数}] \cdot q = -\rho_d \cdot S_1 \cdot l \cdot q$$

ρ_d：分極による電気双極子の密度

結局、ガウスの法則は

$$< E > \cdot S_1 = \frac{\sum_{\text{内部}} Q_{\text{極板}} + \sum_{\text{内部}} Q_{\text{分極}}}{\varepsilon_0}$$

$$< E > \cdot S_1 = \frac{(\sigma \cdot S_1 - \rho_d \cdot S_1 \cdot l \cdot q)}{\varepsilon_0}$$

$$< E > = \frac{(\sigma - \rho_d \cdot \boxed{l \cdot q})}{\varepsilon_0}$$

電気双極子モーメント

得られた結果の解釈

電気双極子モーメント

$$P \equiv \rho_d \cdot \boxed{l \cdot q}$$

を分極(ここでは、現象ではなく物理量)と呼ぶ。
すなわち分極現象による、電気双極子モーメントの密度の事

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

は、誘電体の無いときの(つまり真空での)
電場の強さであることに注意する。

通常、平均された電場 $<E>$ を、ただ E と書くので、

$$E = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0}$$

ベクトルの関係として

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}$$

すなわち、電場の中に誘電体が置かれたとき、
分極(現象)により、誘電体内部では
分極(物理量)だけ、電場が弱められる。

さらに、

$$\vec{P}=\varepsilon_0\chi_e\vec{E}$$

（χ_e を分極率と呼び、実験で求める）

を、仮定すると、物質がなかったとき(真空)の電場は、

$$\vec{E}_0=\vec{E}+\frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}=(1+\chi_e)\vec{E}$$

と計算できる。物質がなかったとき(真空)の電場を残しておくと便利なので、少し形を変えて、

$$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}_0=\varepsilon_0(1+\chi_e)\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$$

(ε を(物質の)誘電率と呼ぶ)

と、新しい場:D(電束密度)を定義しておく。すると、

$$E_0\cdot S_1=\frac{\sum_{内部}Q_{極板}}{\varepsilon_0}$$

だから、

$$D\cdot S_1=\sum_{内部}Q_{極板}$$

Dは極板上の電荷だけと関係する。

結局、誘電体があることにより、何が変わるか。

1,公式は真空中のものと同じで、真空の誘電率が、物質の誘電率で、置き換わる。　（物質の誘電率は、実験で求める）

$$\varepsilon_0 \to \varepsilon$$

2，ガウスの法則は、電場($\boldsymbol{E}$)よりも、電束密度($\boldsymbol{D}$)に対して簡単に書ける。（分極電荷を無視して良いため）

$$\int_{[閉曲面]} \vec{E} \cdot \hat{n}\, dS = \frac{\sum_{[内部]} Q_{極板上} + \sum_{[内部]} Q_{分極}}{\varepsilon_0}$$

$$\to \quad \int_{[閉曲面]} \vec{D} \cdot \hat{n}\, dS = \sum_{[内部]} Q_{極板上}$$

3，力、電位差を計算する時は、物質中の(平均)電場 $\boldsymbol{E}$ を用いる。電束密度($\boldsymbol{D}$)は仮想的な場である。

今日の問題

１，電場の中に置かれた導体の内部の電子は、どのように移動できるか？
２，結果として、導体内部の電場はどのようになるか？

３，電場の中に置かれた不導体（誘電体）の中の電子は、どのように移動できるか？
４，結果として、不導体（不導体）内部の電場はどのようになるか？

今日の問題

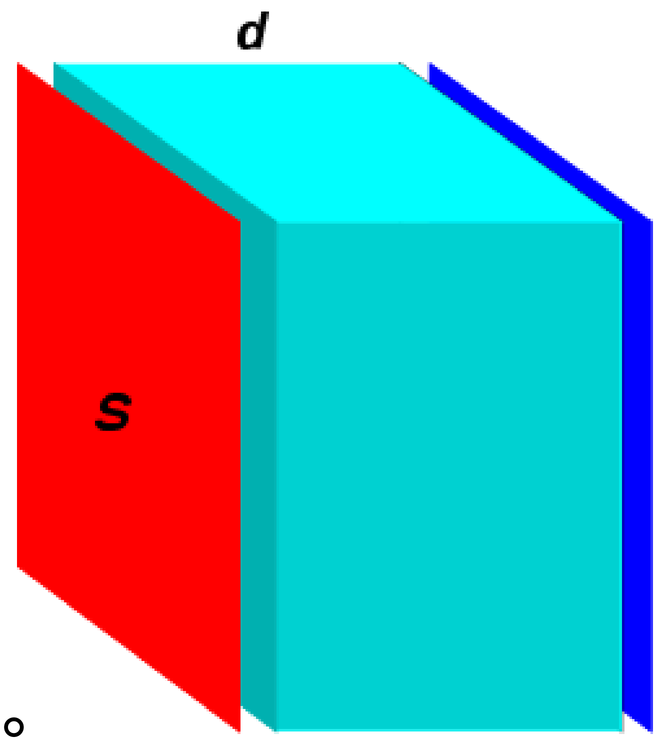
真空中のコンデンサーの極板間の電場の強さは、$E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0} = \dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$

極板間の電位差は　$V = \dfrac{d}{\varepsilon_0 S} Q$

コンデンサーの容量は　$C \equiv \dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$

である。

極板間が誘電率　ε　の物質で満たされた時に、これらはどう書き換えられるか示せ。



物質のある時、力や電位差には、物質中の電場を用いる。

コンデンサーの極板の電位差は、

$$V=\boxed{E}\cdot d=\frac{1}{1+\chi_e}E_0 d=\frac{1}{1+\chi_e}\frac{Q}{\varepsilon_0 S}d$$

また

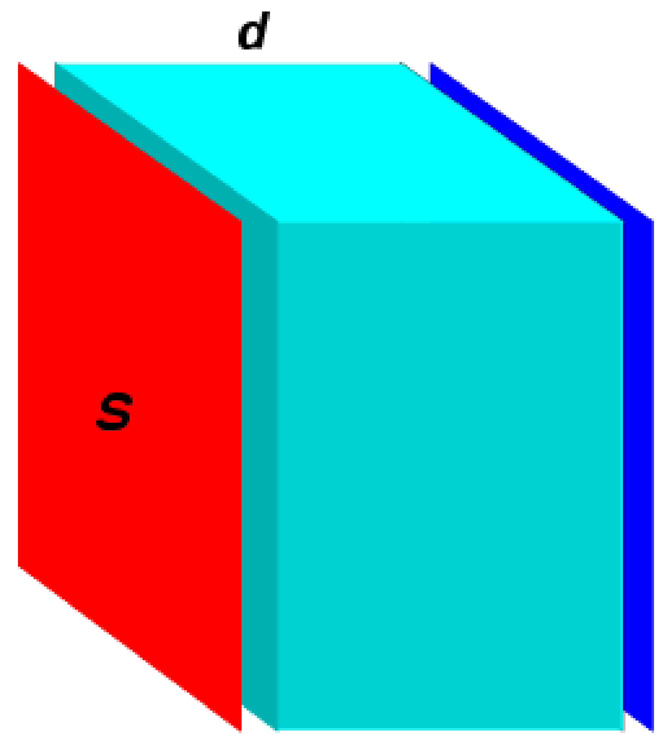
$$\varepsilon=\varepsilon_0(1+\chi_e)$$

より、

$$V=\frac{Q}{\varepsilon S}d$$

したがって、コンデンサーの容量は

$$C=(1+\chi_e)\frac{\varepsilon_0 S}{d}=\frac{\varepsilon S}{d}$$



と $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}=1+\chi_e$ 倍される。（ε_0 が ε に置き換わる）