

第8章 電気と神経・興奮伝導

電磁気と神経・興奮伝導

- 8.1 電磁気の基本
- 8.2 神経系の電気的性質
- 8.3 心電図
- 8.4 生体と電磁気

8.1 電磁気の基本

人体の中で電流が流れるのは、電解質溶液中をイオンが電荷の役割を果たし移動するため

➔ 電解質溶液：電解質が溶けた液体
食塩（NaCl）、塩酸（HCl）
（電気が流れる）

8.1 電磁気の基本 (1) 電流とオームの法則

オームの法則 $V = IR$

V : 電圧 (電位差) [V]

I : 電流 (電荷の流れている量) [A] [C/s]

R : 抵抗 (電流の流れにくさ) [Ω] [V/A]

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

図8.1

ρ : 抵抗率 (物質の固有値) [$\Omega \cdot \text{m}$]

8.1 電磁気の基本 (2) コンデンサー

コンデンサ：電荷を溜める装置

溜められる容量：電気容量 C

[C/V] [F]

溜めた電荷量 Q [C]

$$Q = CV$$



図8.3

8.1 電磁気の基本 (2) コンデンサー

コンデンサーの充放電

$$\text{時定数 } \tau = RC$$

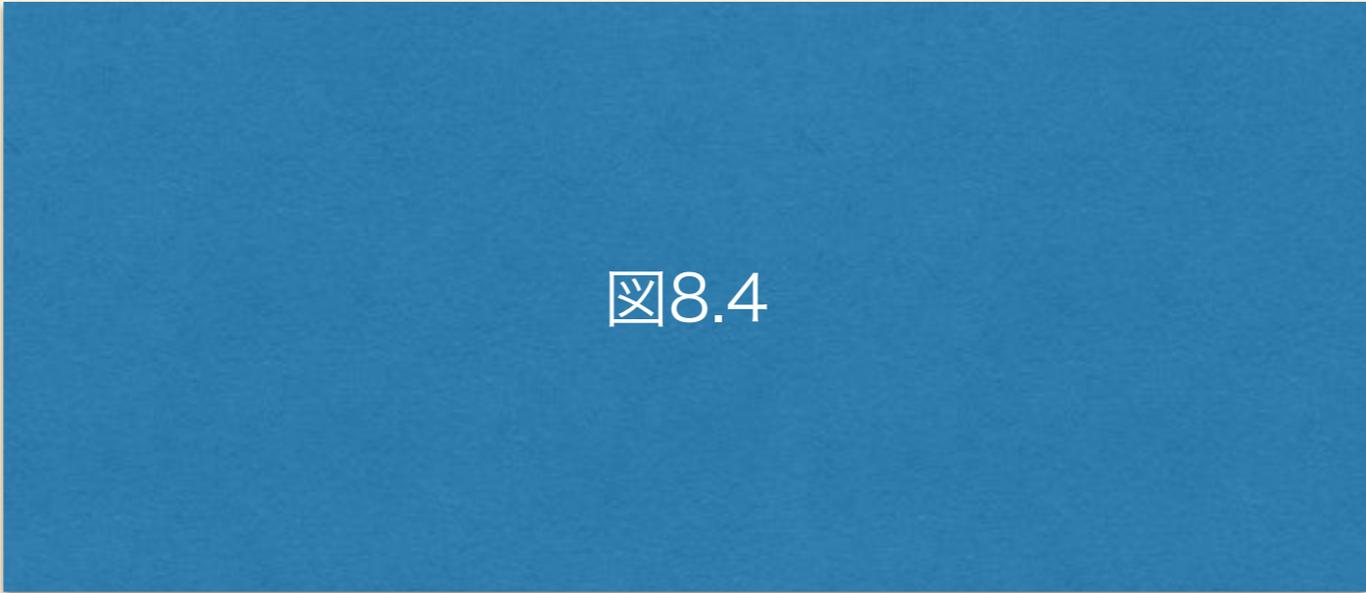


図8.4

CHAPTER8 電磁気と神経・興奮伝導

8.1 電磁気の基本 (3) 交流

電圧の向きが一定：直流 (DC: Direct Current) 電圧

電圧の向きが変化：交流 (AC: Alternative Current) 電圧



図8.5

8.1 電磁気の基本 (3) 交流

交流電圧 $V = V_0 \sin \omega t \quad (\omega = 2\pi f)$

実効値 $V_e = \frac{1}{\sqrt{2}} V_0 \quad I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0$

消費電力 $P = V_e I_e = \frac{1}{2} V_0 I_0$

商用100V $V_e = 100 \text{ [V]}$

50 / 60 Hz $V_0 = 100 \times \sqrt{2} = 141 \text{ [V]}$

8.1 電磁気の基本 (3) 交流

交流電圧 $V = V_0 \sin \omega t \quad (\omega = 2\pi f)$

電流 $I = I_0 \sin(\omega t - \alpha)$

α : 電圧と電流の位相差

インピーダンス
(直流での抵抗相当) $Z = \frac{V_0}{I_0} \quad [\Omega]$

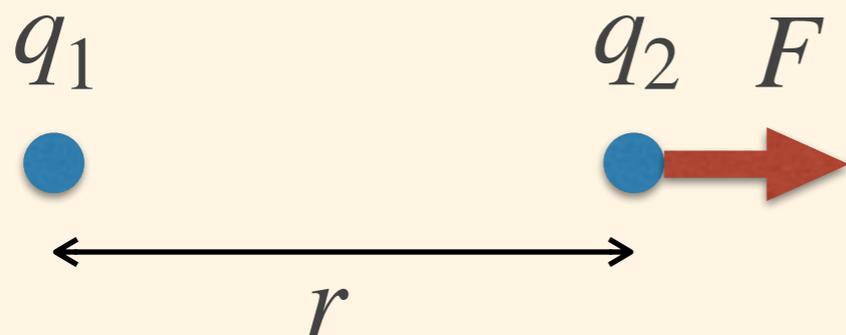
コンデンサに交流電圧を掛けると？

⇒ 電圧が反転するたびに充電/放電を繰り返す

8.1 電磁気の基礎 (4) 電荷と電場

クーロンの法則

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



電荷 q_1 [C]、 q_2 [C]

クーロン定数

$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2\text{]}$$

q_1, q_2 同符号

⇒ 斥力(反発力)
 $F > 0$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

q_1, q_2 異符号

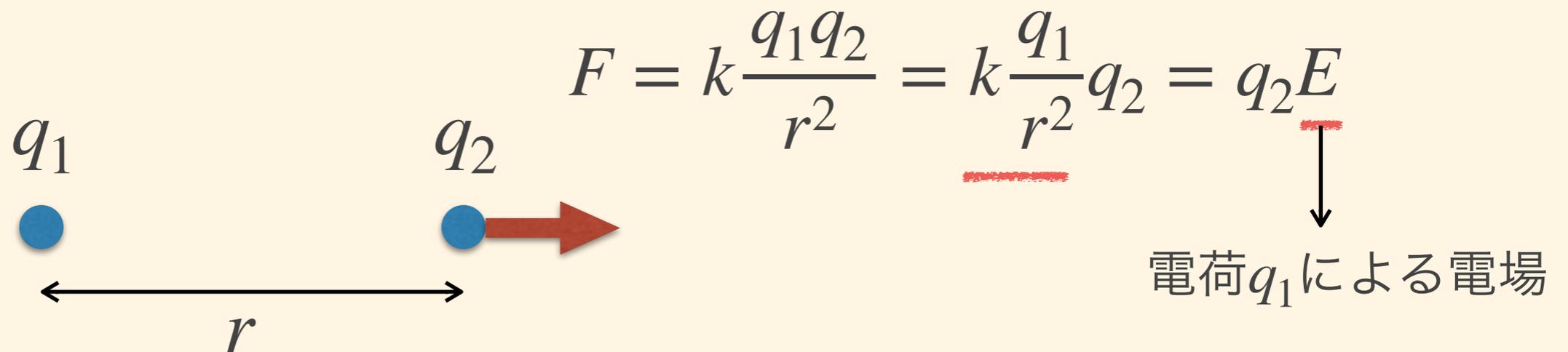
⇒ 引力 $F < 0$

$$(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ [F/m]})$$

8.1 電磁気の基礎 (4) 電荷と電場

電場と電気力線

電場：電荷の存在により形成され、
他の電荷は電場を通じて力を受ける
(クーロンの法則の一般化)


$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1}{r^2} q_2 = q_2 E$$

電荷 q_1 による電場

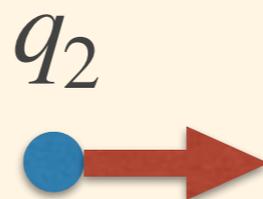
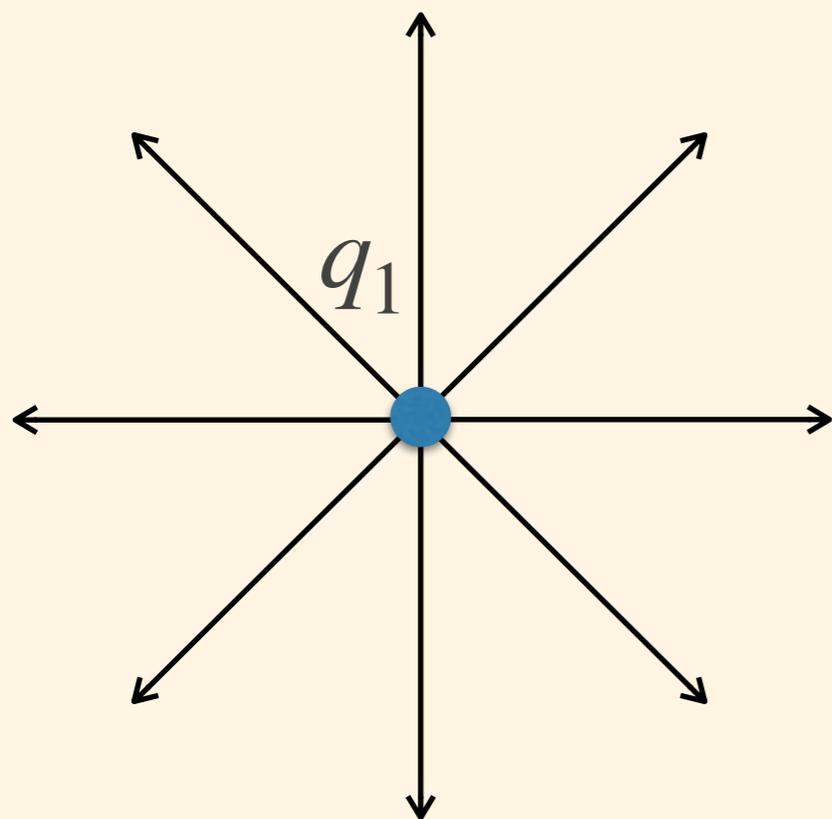
- ・ 電場の大きさは、電場の基となる電荷の大きさと場所に応じて異なる
- ・ 電場から受ける力は、力を受ける電荷の大きさに応じて異なる

$$F = qE$$

8.1 電磁気の基礎 (4) 電荷と電場

電場と電気力線

電気力線：電場から正の電荷が受ける力の向き
(電場の向き)



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = q_2 E$$

電荷 q_1 による電場

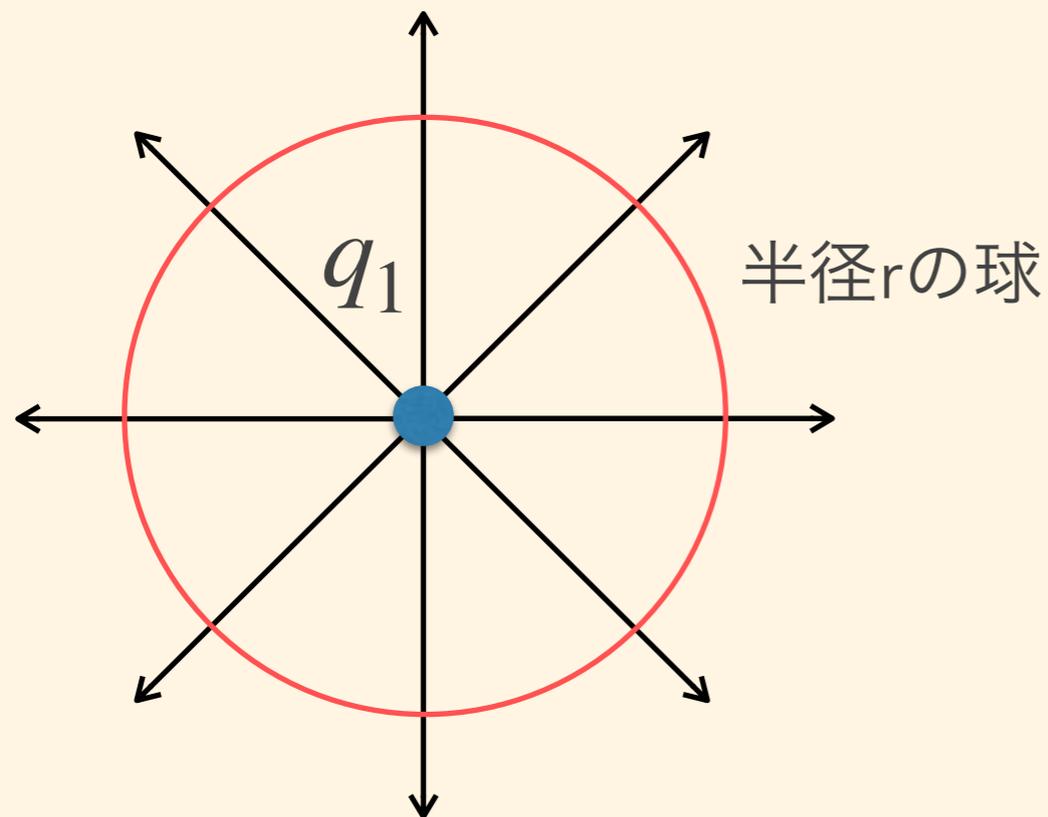
図8.6

8.1 電磁気の基本 (4) 電荷と電場

ガウスの法則：電気力線の本数 N を考える

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = q_2 E \quad \longrightarrow \quad E = k \frac{q_1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{q_1}{\epsilon_0}$$

半径 r の球の表面積



$$N = \frac{q_1}{\epsilon_0} \text{ [本]}$$

電荷が球の中に沢山あるとすると

$$N = \frac{q_1 + q_2 + \dots}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0} \text{ [本]}$$

8.1 電磁気の基本 (5) 電流と磁場

電流が作る磁場

線電流の作る磁場(距離 r において) $H = \frac{I}{2\pi r}$ [A/m]

円電流の作る磁場(円中心において) $H = \frac{I}{2r}$ [A/m]

コイル (円電流の和) の作る磁場(円中心において) $H = \frac{nI}{2r}$ [A/m]

図8.8, 図8.9

8.1 電磁気の基礎 (5) 電流と磁場

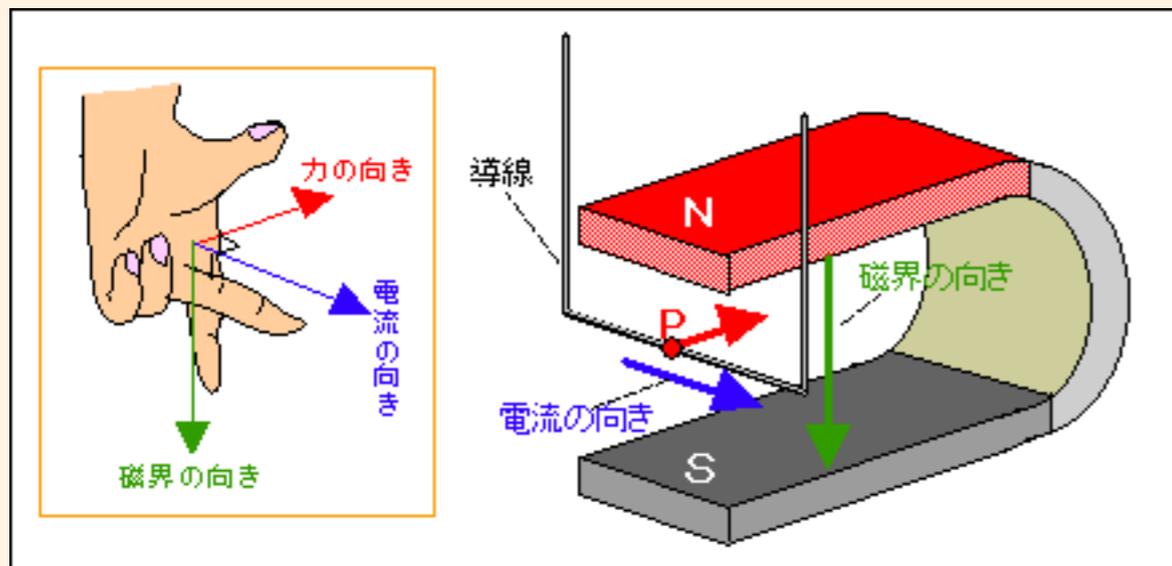
電流が磁場から受ける力

磁束密度(磁場) B と 磁場(磁場の強さ) H の違いと関係

記号	名称	単位	意味・特徴
B	磁束密度 (磁場)	テスラ (T)	実際に働く磁気の強さ。ローレンツ力などに直接関与
H	磁場 (磁界の強さ)	アンペア毎メートル (A/m)	磁場を生じさせる「電流源」に対応する場

$$B = \mu_0 H \quad \text{真空の透磁率 } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [N/A}^2\text{]}$$

- 電流 I が流れる長さ l の電線が磁束密度 B から受ける力



$$F = lIB$$

電流は電荷の流れなので、

$$F = qvB$$

ローレンツ力 (電磁力)

CHAPTER8 電磁気と神経・興奮伝導

8.2 神経系の電気的性質 (1) 神経系の構成

神経系

生体内で情報の受信・処理・伝達・応答を行うシステム。

中枢と末梢に分かれる。

分類	構成要素	主な働き
中枢神経系	脳、脊髄	情報の処理・統合
末梢神経系	脳神経、脊髄神経、自律神経など	中枢と体の各部をつなぐ

ニューロン

神経系の基本単位で、電気信号（活動電位）を伝える細胞

部位	役割
じゅじょうとつき 樹状突起	他の細胞からの信号を受け取る
細胞体	核を含み、代謝や情報処理を行う
じくさく 軸索	電気信号を長距離に伝える
じくさくしゅうまつ 軸索終末	シナプスを形成し、信号を次の細胞へ伝える
しょう ゆうずいしんけい ミエリン鞘 (有髄神経)	絶縁体のように働き、信号の高速伝導を可能にする (跳躍伝導)

8.2 神経系の電気的性質 (1) 神経系の構成



図8.11

[感覚器] ⇒ 感覚ニューロン ⇒ [中枢] ⇒ 運動ニューロン ⇒ [筋肉や腺]

ニューロン同士の繋がり部分：シナプス

8.2 神経系の電気的性質 (1) 神経系の構成

化学シナプス：神経伝達物質（例：ドーパミン）で信号を伝える

電気シナプス：イオンが直接流れて高速伝達（例：心筋）

電流⇒ $V=IR$ より電位が生じる