14　電磁気学の法則 (その３)

ファラデーの電磁誘導法則. 静止した閉回路 C に対し, その中を貫く磁束 (磁束密度 $\boldsymbol{B}$ を C の囲む曲面 S にわたって積分したもの) を変化させると, 回路に誘導電流が生じる. この現象は, 磁束密度の変化により電場 $\boldsymbol{E}$ が出現し, それにより回路内の電荷に力が働くことによるものだと説明される. このときの単位電荷に働く力 ($=\boldsymbol{E}$) を回路に沿って積分したものは誘導起電力と呼ばれる. 磁束の変化とそれによって生じた誘導起電力の関係を式で表すと次のようになる:

$$\int_C \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{r} = -\frac{d}{dt}\int_S \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{S}.$$

ここで, 誘導起電力は磁束の変化を妨げようとする向きに生じるため, 右辺に負号がついている. この式を 微分形に直せば次と同値である:

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}.$$

これは磁束密度の変化に伴い電場が出現することを直接的に表している.

マックスウェル方程式. 前回のアンペールの法則は定常電流によって出現する磁場の法則を表したものだが, 電場が時間的に変化する場合 (コンデンサの過渡現象など) にはそのままでは適用できない. そこで, マックスウェルは法則を修正して式

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{B} = \mu_0\left(\boldsymbol{j} + \varepsilon_0\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}\right)$$

を得た. ここで, 右辺の修正項 $\varepsilon_0\dfrac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$ は変位電流密度と呼ばれ, 電荷の移動を伴って発生するものではないが, 磁場との関係においては電流密度と同じような役割を果たす.

　ここまでに出てきた次の四つの方程式

(1) $\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$　　(ガウスの法則),

(2) $\nabla \times \boldsymbol{E} = -\dfrac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$　　(ファラデーの電磁誘導法則),

(3) $\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0$　　(磁荷の非存在),

(4) $\nabla \times \boldsymbol{B} = \mu_0\left(\boldsymbol{j} + \varepsilon_0\dfrac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}\right)$　　(アンペールの法則の修正)

は電磁気学における基礎方程式で, あわせてマックスウェル方程式と呼ばれる.