

このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座-理論と実際-第1巻」の一部分の見本です。内容・購入方法などにつきましては是非以下のホームページをご覧ください。
<http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/79/79711.htm>

一般基礎1 電磁気学の基礎のまとめと異種媒質間の境界条件

ここではとくに電磁波を理解するのに必要なアンペアの法則とファラディの法則に関する電磁気学の基礎をまとめる。まず電磁気学の歴史的発展を順を追って述べ次にアンペアの法則及びファラディの法則を中心に種々の法則の関係をまとめて述べる。そして最後に異なる媒質間の境界面の条件を述べる。

1 電磁気の歴史

電気、磁気、光が別々の時代

- 電気があること : ギリシャ時代に知られていた。
こはくのような樹脂と毛皮をこすり合わせると小さなものを引きつける。
- 磁気があること : 磁石をつかって航海を古くから行っていた。
- 光があること : 火を使って生活をしていた古代から光の存在を知っていた。

電荷と電荷

- クーロン (C.A.de Coulomb, 1736~1806) により正と負の電荷の間に力が働く事を見いだした。クーロンの法則

電気 → 磁気の発生

- エルステッド (H.C. de Oersted, 1777~1841) が導線電流のまわりの磁石が動くことを発見し、始めて電気と磁気とに関係ある事を見出した。
- アーペール (A.M.Ampere, 1775~1862) はエルステッドに数ヶ月おくれて2本の平行導線電流間にも力が働くことを発見した。
- ビオ (J.B. Biot, 1774~1862) とサヴァール (F.Savart, 1791~1841) は電流要素と観測点の磁界の間の関係式を作り出した。

磁気 → 電気の発生

- ファラディ (M. Faraday, 1791~1867) が磁界の変化する中のコイルに起電力が発生する事を発見した。
- マクスウェル (J.C. Maxwell, 1831~1879) は上記のことを結びつける関係を導き出し定式化した。そして電磁波があることを予言し、また光は電磁波の1つの形態であることを予言した。この課程で電界の変化に伴って変位電流があり、導性電流と共にアンペールの法則（電流→磁界の発生）に寄与することを提案した。またここで電場 E と磁場 H の概念を導入した。
- ヘルツ (H. Herz, 1857~1894) が火花放電の実験で電磁波が存在することを確認めた。また電磁波は横波であることも確認された。
- 1900 年より電波（電磁波）を用いた通信（線がないから無線通信と呼ばれる）が急速に進歩し、ラジオ、テレビ、電話などに用いられ最近では衛星放送やマルチメディア無線伝送に発展してきた。また電磁波のもつエネルギーを用いた工業応用（電子レンジ、工業応用、医用など）や将来の宇宙発電の電力輸送にも利用されようとしている。

2 電磁気学のまとめ

1. で述べたように歴史的な発見に基づいた結果をまず最初にまとめる。ところが、これらの間の関係は全てアンペールの法則とファラディの法則に関連づけられ、これからスタートして説明すると体形としてわかり易い。ここではまず前者から説明する。

(イ) 歴史的な発見の順序での説明

- 電荷の間に働く力 → 電場の概念の導入 → ガウスの法則

◇クーロンの法則：1785 年 C.Coulom が電荷間の力の法則

$$\left. \begin{aligned} F &= k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad , \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = \text{比例定数} \\ F : \text{力}, q_1, q_2 : \text{電荷}, r : \text{電荷間の距離} \\ q_1, q_2 \text{ が同符号なら反発、異符号なら引力となる。} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

を確立した。（図のねじり秤で定量的に測り (1) 式を得た。）

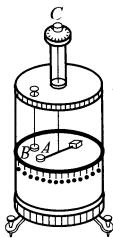


図 1 クーロンの用いたねじれ秤

斥力 (反発)	← ⊕ ⊕ →
	← ⊖ ⊖ →
引力	⊕ ↔ ⊖

表 1 クーロンの力の方向

Q_1 、 Q_2 と質量 m_1 、 m_2 にすると万有引力の法則と同じ形式になる。

◇場と力線概念の導入（ファラデー）

電荷（例えば Q_2 の大きさ）に力が働くのはそこに何らかの場があるからと考える。その場を電界又は電場と呼ぶ。いまこの電界は表 1 の如く方向をもち、また (1) 式で示すような大きさをもつ。従って電界はベクトルである。いまこのベクトルを $\boldsymbol{E}$ で表すと (1) 式より、

$$|\boldsymbol{E}| = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2}$$

(2)

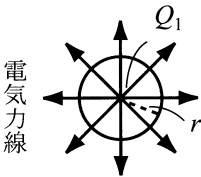


図 2

でなければならない。従って、 Q_1 の電荷から半径 r にある球面上では一定の値である。この球面の面積は $4\pi r^2$ であるから、電荷 Q_1 から

$$N_1 = \frac{Q_1}{\epsilon}$$

だけの力線が出ているとすると、この力線の密度は電界の強さとなる。この力線の事を電気力線と呼ぶ。

◇ガウスの法則

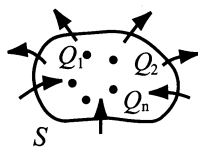


図 3

従って閉曲面 S 内の電荷を $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ とすると S から外に出る電気力線の数を N とすると (3) 式となる。

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\epsilon} \quad (3)$$

力線密度は電界の強さであるから (3) 式は (4) 式となる。

$$\left. \begin{aligned} \iint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} ds &= \frac{Q}{\epsilon} \\ \text{但し } Q &\text{ は } S \text{ 内の電荷の総和} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

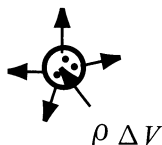


図 4

S 内の体積を ΔV 、電荷密度を ρ とし、 ΔV を限りなく小さくすると (4) 式より (5) 式をうる。(後で学ぶ)

$$\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\iint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} ds}{\Delta V} = \operatorname{div} \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (5)$$

div は発散と呼ばれる量で後で学ぶ。

● 電流が磁界を作る事を見出し → 電流と磁界との関係の法則を確立