2－1 キャパシタ

キャパシタ（capacitor）は電荷を蓄えることができる素子で、コンデンサとも呼ばれます。キャパシタの回路記号と電荷と電圧のイメージを図２－１に示します。

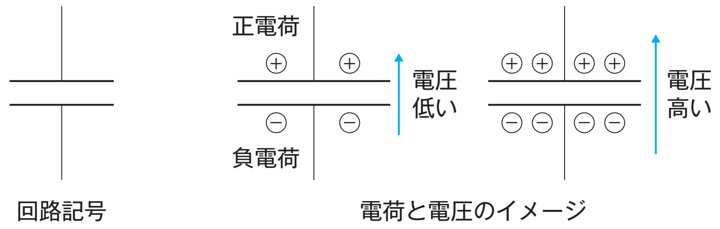

図２－１　キャパシタの回路記号と電荷と電圧のイメージ

キャパシタは、電荷の量に比例して電圧が変化し、電荷を q [C]、電圧を v [V] とすると次式が成り立ちます。

$$q = Cv \quad [\mathrm{C}] \qquad (2-1)$$

ここで、比例定数の C [F] を**キャパシタンス**または**静電容量**（capacitance）と呼びます。キャパシタンスは、キャパシタの「器の大きさ」を表します。図２－２にキャパシタンスのイメージを示します。同じ電荷を貯める場合、キャパシタンスの小さい方が電圧が高くなります。また、同じ電圧の場合、キャパシタンスの大きい方が多くの電荷を貯めることができます。

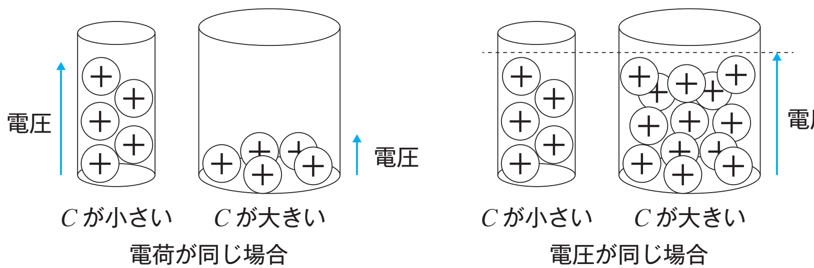

図２－２　キャパシタンスと電荷・電圧の関係

［例題２－１］

静電容量が20 μF のキャパシタに100 V の電圧を印加した場合、キャパシタに蓄えられる電荷を求めなさい。

［解答］

$q = Cv$ に代入すると、$q = 20\ [\mu\mathrm{F}] \times 100\ [\mathrm{V}] = 2\ [\mathrm{mC}]$

答：２ mC

［例題２－２］

図２－３のキャパシタについて、電流 i [A] と電荷 q [C] の関係から、キャパシタの電圧 v [V] と電流 i [A] の関係を、キャパシタンス C [F] を用いて求めなさい。

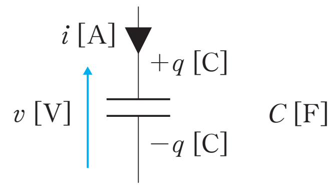

図２－３　キャパシタの電圧、電流、電荷、キャパシタンス

［解答］

電流 i [A] と電荷 q [C] の関係式は、

$$i = \frac{dq}{dt} \quad [\mathrm{A}] \qquad (2-2)$$

です。式（２－１）の両辺を微分すると、

$$\frac{dq}{dt} = C\frac{dv}{dt} \qquad (2-3)$$

となるので、式（２－２）の関係より次式が得られます。

$$i = C\frac{dv}{dt} \qquad (2-4)$$

答：式（２－４）

2－2 インダクタ

インダクタ（inductor）は、コイルまたはリアクトルとも呼ばれ、キャパシタと同じようにエネルギーを蓄える素子です。キャパシタと異なり、インダクタの動作はイメージしづらいかもしれませんが、インダクタはキャパシタと対となる関係にあると考えるとわかりやすくなるかと思います。

インダクタは電流によって生じる磁場のエネルギーを蓄えます。インダクタの回路記号と磁気エネルギーのイメージを図２－４に示します。インダクタに電流が流れると**右ねじの法則**（Ampere's right hand rule）に従って磁束 ϕ [Wb] が生じます。ここで、インダクタの巻数を N とすると、磁束 ϕ に巻数 N を乗じた値を**磁束鎖交数**（flux linkage）ψ [Wb] と呼び、

$$\psi=N\phi \quad [\mathrm{Wb}] \qquad (2-5)$$

と表します。この磁束鎖交数とインダクタンス L [H] と電流 i [A] の関係式は天下り的ですが、式（２－６）で表されます。

$$\psi=N\phi=Li \quad [\mathrm{Wb}] \qquad (2-6)$$

この式は、キャパシタの式（２－１）に対応しています。つまり、インダクタは、電流 i [A] に比例して磁束鎖交数 ψ [Wb] という値を蓄えていると考えることができます。キャパシタは電荷を使って説明できるので理解しやすいですが、この電荷に相当するものがインダクタでは磁束鎖交数となります。

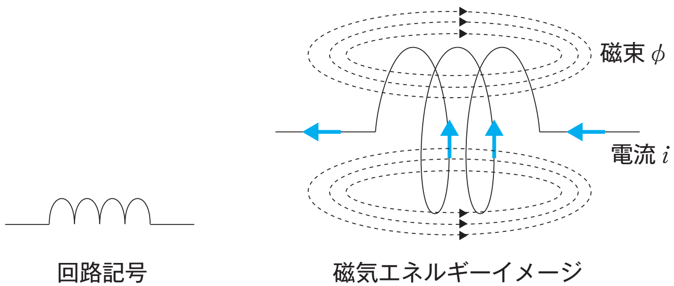

図２－４　インダクタの回路記号と磁気エネルギー（磁束）のイメージ

2－3 電圧と電流の関係

抵抗 R [Ω] に流れる電流 i [A] と抵抗の両端にかかる電圧 v [V] の関係は、次式のオームの法則で表されます。

$$v=Ri \quad [\mathrm{V}] \qquad (2-7)$$

同様に、インダクタとキャパシタについても、電圧と電流の関係式があります。キャパシタンス C [F] のキャパシタの電圧 v [V] と電流 i [A] の関係は、例題２－２で求めたように微分を用いて次式で表されます。

$$i=C\frac{dv}{dt} \quad [\mathrm{A}] \qquad (2-8)$$

電流源（current source）にキャパシタ C と負荷抵抗 R が並列に接続している回路を図２－５に示します。電流源は、電流 i_{in} を常に流し続けています。式（２－８）は、この回路においてキャパシタが「負荷抵抗の電圧 v の変化を妨げる」ように動作することを示しています。例えば、負荷抵抗 R の値が小さくなった場合、キャパシタが接続していなければ式（２－７）より抵抗に比例して電圧 v は下がります。しかし、キャパシタが接続されている場合は、R の値が小さくなって電圧が下がると式（２－８）の右辺の dv/dt が負となります。そのため、キャパシタ電流 i も負となり、キャパシタ C から抵抗 R に電流が流れます。このように、キャパシタ C に蓄えられていた電荷が抵抗 R に供給されることで負荷電圧 v が緩やかに下がります。また、キャパシタンス C が大きいほど電圧の変化は緩やかになります。

同様に、インダクタンス L [H] のインダクタの電圧 v [V] と電流 i [A] の関係は、微分を用いて次式で表されます。

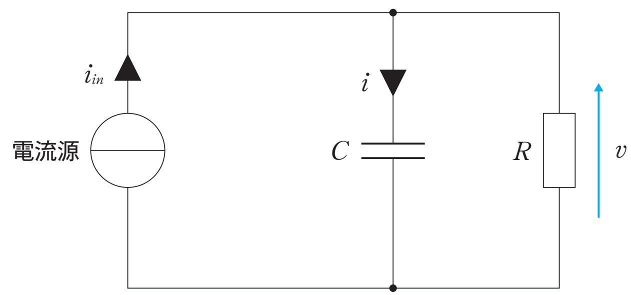

図２－５　キャパシタと負荷抵抗が並列接続した回路

$$v = L\frac{di}{dt} \quad [\mathrm{V}] \qquad (2-9)$$

インダクタが負荷抵抗と直列に接続している回路を図２－６に示します。式（２－９）は、この回路においてインダクタが「電流 i の変化を妨げる」ように動作することを示しています。例えば、負荷抵抗 R の値が小さくなった場合、インダクタ L が接続していなければ式（２－４）より抵抗に反比例して電流 i は大きくなります。しかし、インダクタが接続されている場合は、R の値が小さくなって電流が増えると式（２－９）の右辺の di/dt が正となります。そのため、インダクタ電圧 v_L も正となり、負荷抵抗 R には電圧源 v_{in} からインダクタの起電力 v_L を引いた値が加わります。その結果、負荷電流 i が緩やかに大きくなります。また、インダクタンス L が大きいほど電流の変化は緩やかになります。

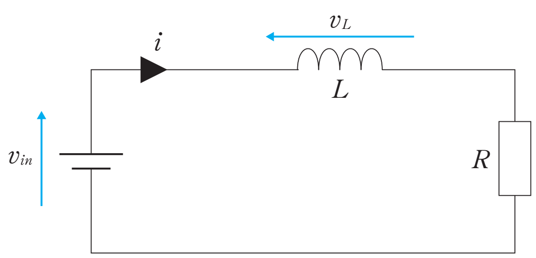

図２－６　インダクタと負荷抵抗が並列接続した回路

この動作を図２－７に示す水管の中にあるらせん状の水車で説明します。水管の中の水流に比例して水車が回転しているとします。ここで、水車には質量（慣性）があり、回転による摩擦がないとします。水流の速度に変化がなければ、水車はただ回転するのみで上流と下流の水圧は同じです。次に、下流にある弁が開かれて下流の流量が多くなった場合を考えます。水車には慣性がありますので、水車の回転速度はすぐには変わらず、これまでと同じ水量を流し続けようとします。そのため、下流の水圧が低くなり、水車の上流と下流の間に水圧差が生じます。その後、水車の回転速度は緩やかに上昇し最終的に一定となります。その結果、上流と下流の水圧は等しくなります。反対に、下流の流量が少なくなった場合は下流の水圧が上流よりも高くなり、水車の回転数と流速は緩やかに減少することになります。電気回路におけるインダクタは、この水車のように流れの変化を妨げるような動作をします。

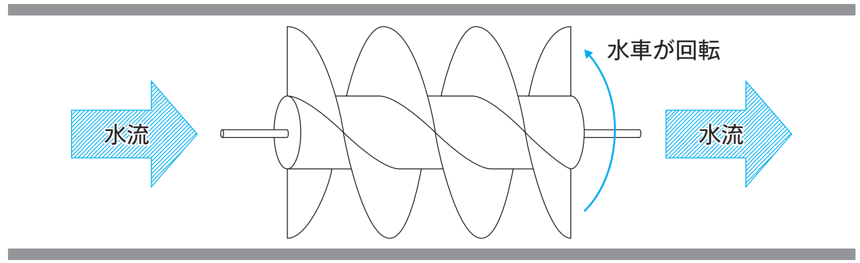

図２－７　水管の中のらせん状の水車

［例題２－３］

図２－７において、電流を水流に置き換え、インダクタを水車に置き換えて考えた。それでは、電気回路における電圧、インダクタンス、インダクタに蓄えられるエネルギーは、それぞれ水管の中の何に置き換えて考えることができるか。

［解答］

まず、電気回路における電圧は、水管内の水圧に置き換えることができます。例えば、水車の上流の水圧を高くした場合、水流が増え水車の回転数が上がり水車の下流の水圧は上昇します。やがて、水車の上流と下流の水圧は等しくなり、水流が一定となります。これは、インダクタにおける電圧と電流の変化に対応します。

インダクタのインダクタンスは、水車の慣性モーメント（回転方向の慣性）に対応します。慣性モーメントが大きいと、水圧に対する水車の回転の変化が遅くなりますので、水流の変化も遅くなります。インダクタも、インダクタンスが大きいほど電圧に対する電流の変化が緩やかになります。

インダクタに蓄えられるエネルギーは、水車の回転のエネルギーに対応します。

答：電圧は、水圧。インダクタンスは、慣性モーメント。
インダクタのエネルギーは、水車の回転エネルギーに
それぞれ置き換えることができます。

電気回路において、式（２－７）～（２－９）の３つの式は大変重要で、キルヒホッフの電流則・電圧則と併せて回路方程式を立てることで受動素子（抵抗・キャパシタ・インダクタ）と電源（電圧源・電流源）で構成される電気回路の各素子の電圧・電流を求めることができます。