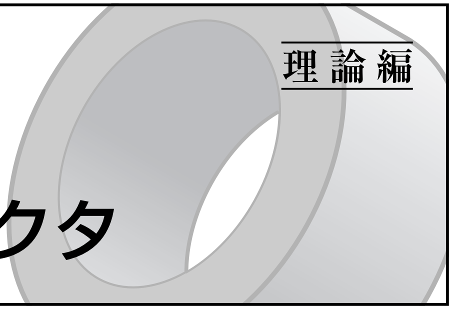


理論編

第1章　インダクタ

インダクタは，自己インダクタンスをもつ素子として定義されます．電流は磁界を誘起し磁束を生じますが，これらを関係づける基本的な物理量の一つが自己インダクタンスです．コイルを部品として使いこなすには，電圧や電流，その他の量との関係を知ることが大切なので，これらについても正確を期して考えていくことにします．

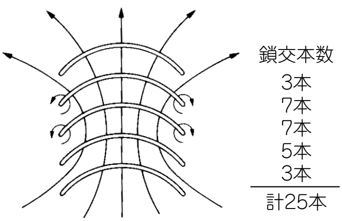
1.1　インダクタについて

1 自己インダクタンス

導線に電流を流すと，導線の周囲には磁力線，すなわち磁束が生じます．磁束は必ずループを構成して閉じています．導線に交差する磁束の数を鎖交磁束数と呼び$\varPhi$で表します．このとき，この回路の自己インダクタンスをL，電流をIとすると，$\varPhi = LI$の関係で示されます．

図1.1の回路で考えてみます．導線を流れる電流により磁束が生じています．導線一巻きについて鎖交する磁束を数えて合計します．この図では25本です．これが鎖交磁束数に相当します．もしこのとき，導線に流れる電流が1〔A〕なら，この25本の鎖交磁束数がこのコイルの自己インダクタンスに相当します．

磁束の数は巻線に流れる電流の大きさに比例するので，鎖交磁束数も電流の大きさに比



［図1.1］コイルと磁力線
磁力線がコイルと交差する回数からインダクタンスがわかる．
自分の作った磁力線に自分自身が交わるから，自己インダクタンス．

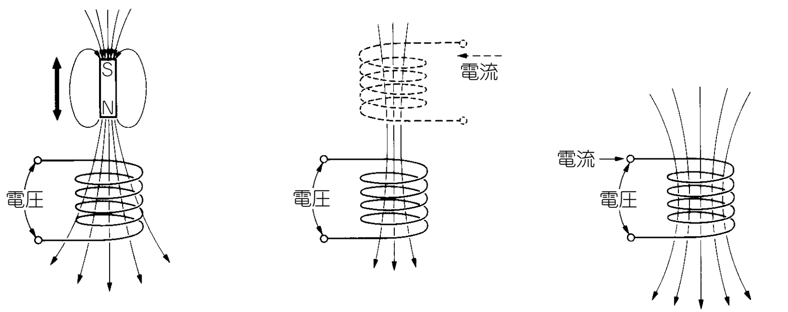
例します．自己インダクタンスは$L=\Phi/I$で表されるので，コイル周囲の環境が変わらない限りインダクタンスは変化しません．

直流に対するコイルの電気抵抗は導線の抵抗そのものなので，小さな値です．しかし，電流の変化に対しては，コイルの内部には磁束数を変化させまいとする作用が生じます．これはコイルの両端の電圧の発生という形で現れます．

この電圧の発生は，**図1.2**のようにコイル内の磁束数の変化に起因します．コイル内の磁束が変化すると，コイルの両端子間に電圧を生じますが，これはコイルに流れている電流がコイル内の磁束数を変化させることにより，コイルの両端子間に電圧が生じるのです．自分の作る磁束により自分自身に電圧を発生することから，この現象を自己誘導（self induction）と呼びます．

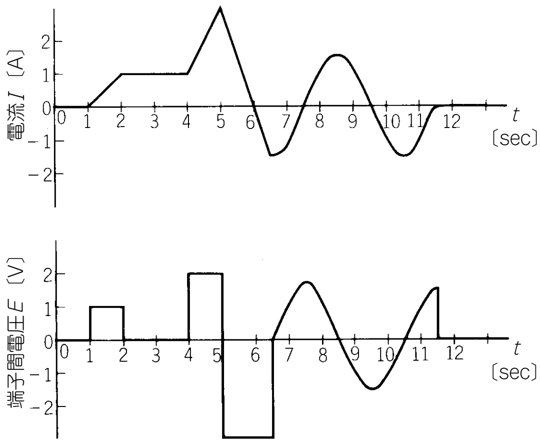
毎秒1〔A〕の電流の変化に対し，1〔V〕の電圧を生じるインダクタンスが1〔H〕(Henry；ヘンリー)です．これが，具体的なインダクタンスの定義です．数式でいうと，電圧は電流の微分で表され，その係数がインダクタンスとなります．電流$I(t)$に対し，電圧$E(t)$は，$E(t)=L\dfrac{dI(t)}{dt}$で，Lがインダクタンスです（**図1.3**）．電流が正弦波で$I(t)=I_0\sin\omega t$と表されるとすると，電圧$E(t)$は$E(t)=L\dfrac{d}{dt}I_0\sin\omega t=LI_0\omega\cos\omega t$となって，電流は電圧よりも90度位相が遅れていることがわかります．コイルに電圧を加えるときには，この微分関係が成り立つような電流が流れます．

図1.4のような回路を用意し，スイッチを電源側から抵抗へと切り替えることを考えます．電源から供給されていた電流が停止すると，その電流値を維持するような起電力がコイルに発生し，抵抗を通して電流が流れます．この抵抗に供給されたエネルギーは，もともと電源からきたものであり，一時的にコイルに磁束の形で蓄えられていたものです．イ



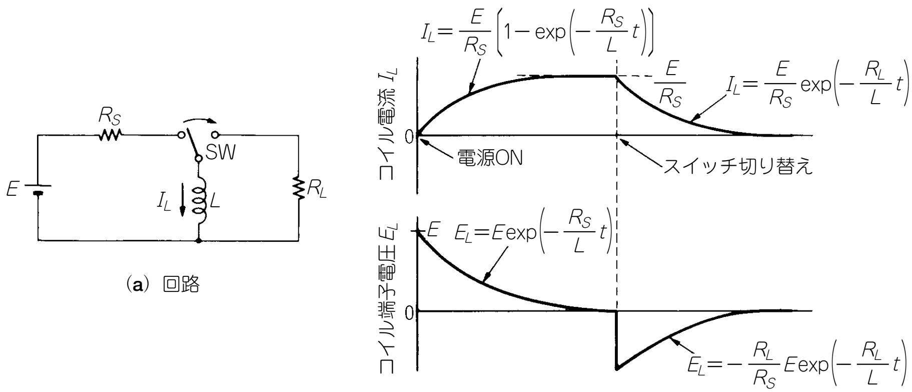
(a) 磁束の変化による電圧の誘起　(b) 磁束を発生する源は何であってもよい　(c) 自分の作った磁束の変化で電圧を誘起する

［図1.2］自己誘導の発生原理



［図1.3］コイルに流れる電流 I と両端子間電圧 E との関係

$E = L\dfrac{dI}{dt}$ の関係がある．$L = 1$〔H〕と想定．



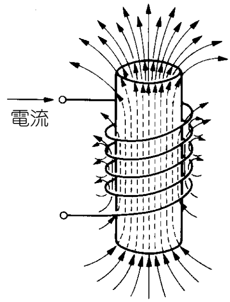
(**a**) 回路

(**b**) 電圧-電流の関係

［図1.4］スイッチされたコイルの電圧と電流の関係

抵抗 R_L は電源に接続されてはいないが，コイル L を仲介にして電源からエネルギーを受け取ることができる．すなわち，コイルはエネルギーを蓄積することができる．

ンダクタンスはエネルギーを一時的に蓄積し，また，放出することができます．この意味で，電界の形でエネルギーを蓄えるコンデンサと対比することができます．コイルに蓄えられたエネルギーは $E = (1/2)LI^2$ です．インダクタンスはエネルギーを消費しません．



［図1.5］コア入りコイルの磁束
コアが真空中より磁束を生みやすい性質を持つものだとすると，コア内には大きな密度で磁束が生じる．磁束は必ず閉じたループになる．

2 コア入りのインダクタ

前出のコイルのインダクタンスを計算で求めるのは非常にたいへんです．鎖交磁束数の計算例からもわかるように，コイルの中央を貫く磁束は多くの巻線と鎖交するのでインダクタンスに対する寄与が大きく，巻線近くの小さなループを描く磁束は寄与が小さいので，これらの磁束とインダクタンスの寄与の様子を明確に把握していないと，インダクタンスを計算することはできません．

図1.5のようなコア入りのコイルを考えてみます．磁束はコア内を通るものが多くを占め，インダクタンスはだいたいこの磁束で計算できるようになります．コア材が磁束を生みやすい性質をもつものであるほど，コア外の磁束数は少なくなり計算がしやすくなります．

この議論は，電磁石における考察そのものです．コア内外の磁束，すなわち磁力線が描く形は，棒状の永久磁石のそれと同じです．巻線が生む磁束は，すべてがコイルを貫くわけではありませんが，コアが十分長く，かつ磁束を生みやすい性質のものであれば，生じた磁束ϕはすべての巻線と鎖交し，巻数をNとすれば，鎖交磁束数Φは，$\Phi = N\phi$に近似することができます．

真空中よりどれだけ磁束を生みやすいかを示す係数を比透磁率と呼び，μ_sの記号で表します．真空の透磁率をμ_0とすると，コアの透磁率は$\mu = \mu_s \mu_0$で表すことができます．μ_sが十分大きければ，$\Phi = N\phi$に近似の議論が成り立ちます．

3 ソレノイドからトロイドへ

今まで考察した筒状のコイルをソレノイド（solenoid）と呼びます．コア入りソレノイドでは，コアの両端から出る磁束がコア軸と必ずしも平行でないため，コアが十分長くないとインダクタンスは簡単な形に近似されません．また，コイルに生じる磁束はコアの形状の複雑な関数であるため，コイルおよびコアの形状からインダクタンスを求めるのは，やはりたいへんです．