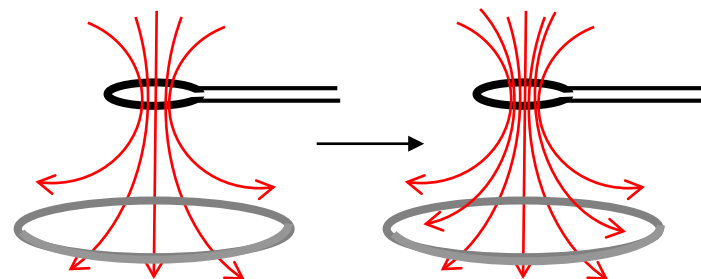
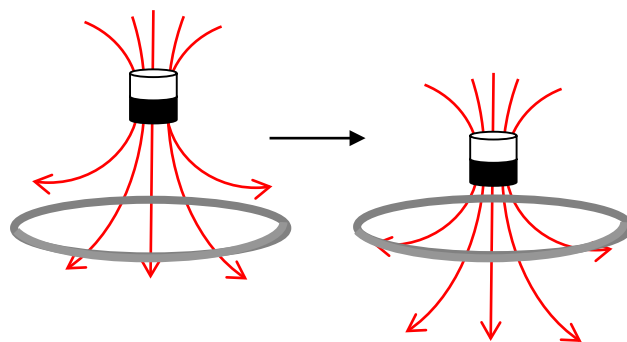


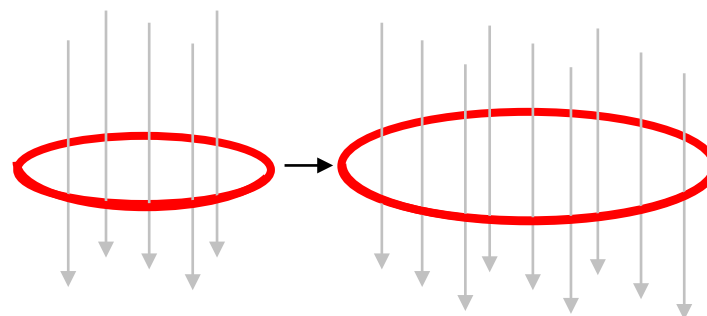
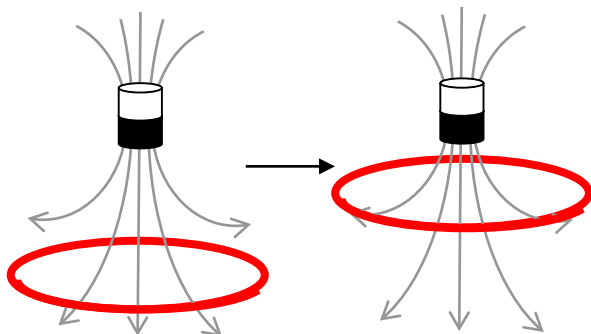
電磁誘導

コイルに起きる起電力

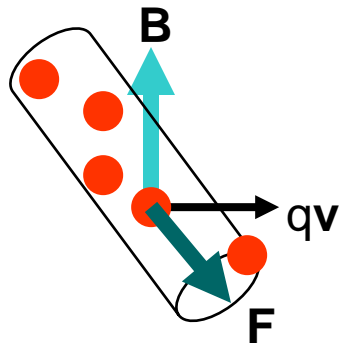
- 変動する磁場中にコイルを置く



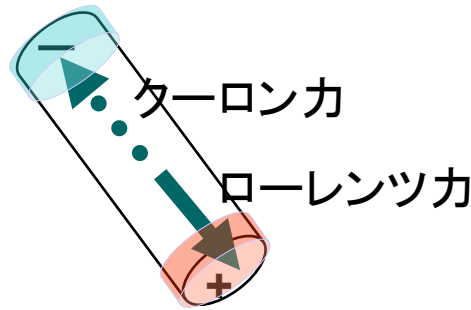
- 磁場中でコイルを動かす



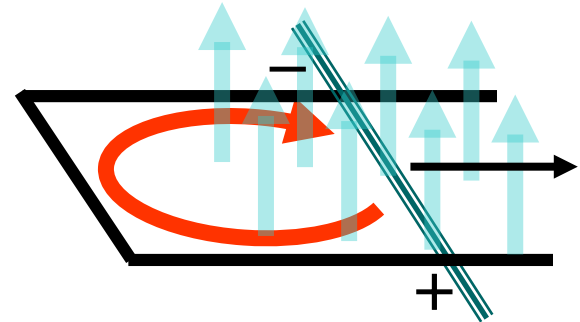
磁場中で導体を動かす



$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



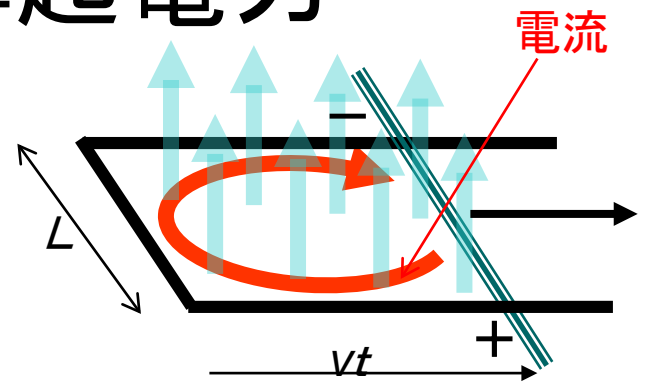
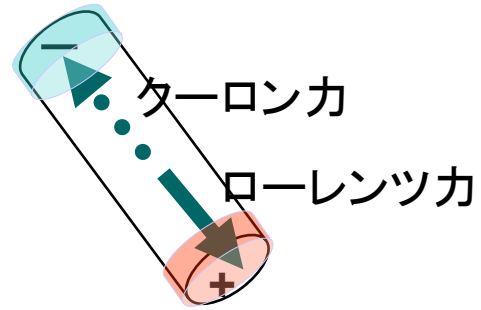
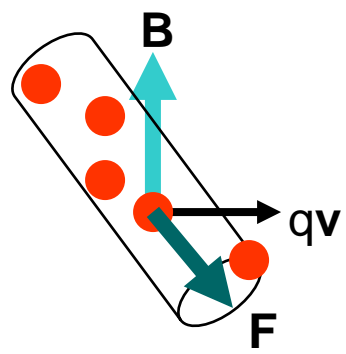
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



$$|V_{\text{emf}}| = EL = vBL$$

- 荷電粒子が導体とともに動き、ローレンツ力 F を感じる
- 荷電粒子は導線にそって移動し、電荷分布が生じる
- 電荷分布によるクーロン力とローレンツ力が相殺するまで、荷電粒子が移動する
→ ローレンツ力 $qv \times B$ を qE なる**仮想電場**に読み替える
- 外部に回路をつなぐと電流が流れる
- 移動する棒の部分が「電池」になる
- 「起電力 V_{emf} (棒の両端に起きる電位差)

磁束の時間変化と誘導起電力



長さ L の導体棒が等速度 v で動くとき
「コイル」の面積 S は

$$S = Lvt$$

$$|V_{\text{emf}}| = \frac{d}{dt}(vt)LB = \frac{d}{dt}(BS)$$

$$\Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} > 0$$

「コイル」を貫く磁束 Φ (磁力線の束)

磁束の単位: $T \cdot m^2$ (= Wb)

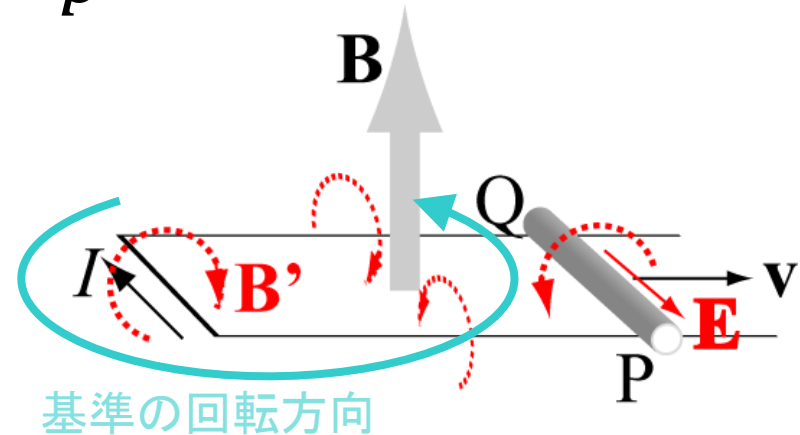
ウェーバー

$$V_{\text{emf}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

レンツの法則（自然界の安定性）

$$\vec{B} \cdot d\vec{S} > 0, \quad V_{\text{emf}} = \int_p^Q \vec{E} \cdot d\vec{r} < 0$$

$$V_{\text{emf}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$



起電力によって流れる電流*I*がつくる磁場*B'*は磁束の増大（従って起電力の増大）を妨げる

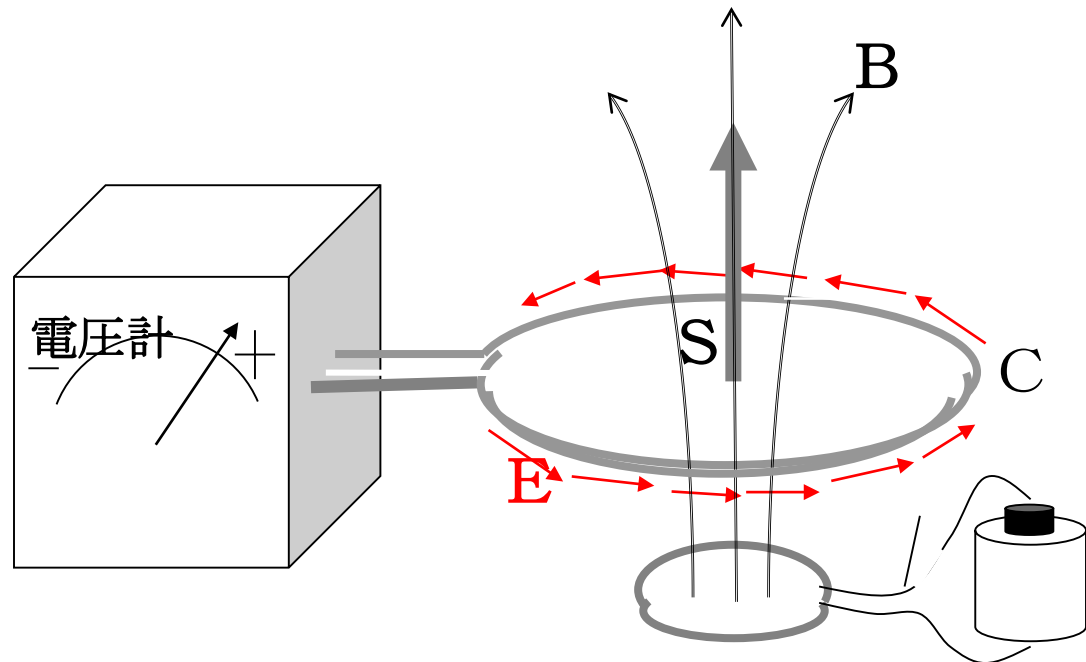
電磁誘導の法則

時間的に変化する磁場と誘導起電力(新たな発見)

ファラデーの電磁誘導の法則

$$V_{\text{emf}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

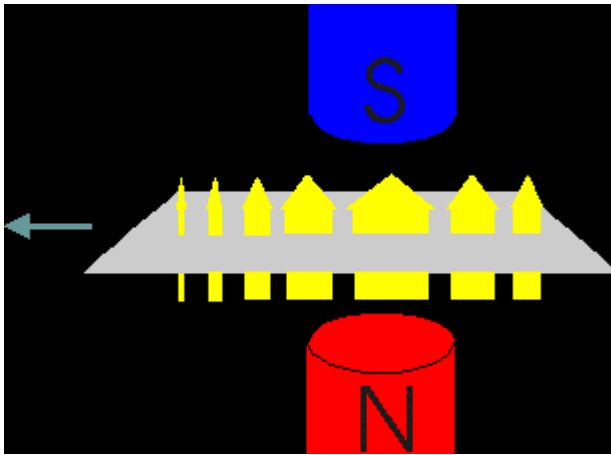
$$V_{\text{emf}} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r}$$



「コイル」は E を検出するための道具、いたるところに E

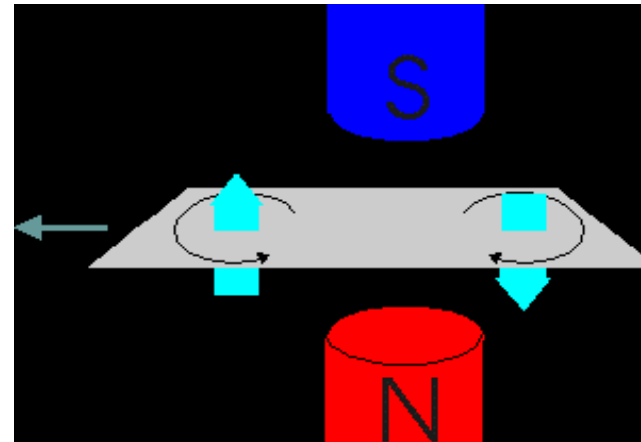
$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

渦電流



磁力線を通し、かつ
電流が流れる金属

不均一な磁束密度



金属あるいは磁石を動かす、交流磁場も使う

誘導起電力が発生
(たいてい)渦状に電流が流れる

渦電流が抵抗で熱を発生する
渦電流が「電磁石」になる

コイルの性質を表す量 「インダクタンス」

コイル1に電流 I_1 を流す

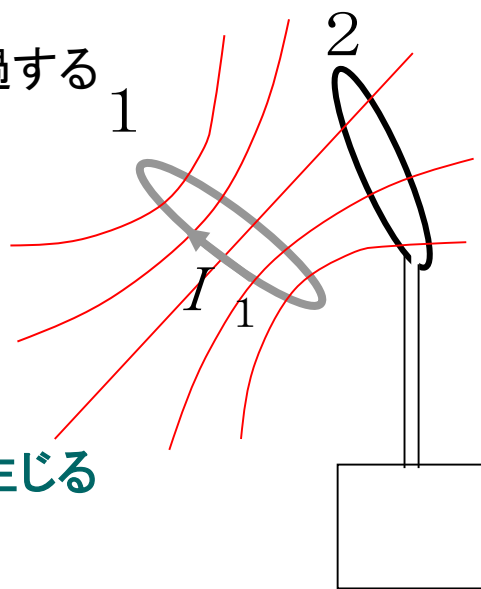
↓
磁場ができる

↓
磁場はコイル2を通過する

電流 I_1 が変化すると

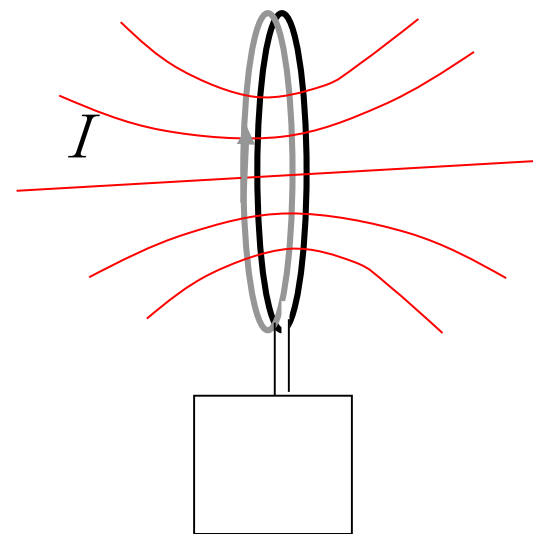
↓
コイル2を貫く磁束が
変化する

↓
コイル2に起電力が生じる



1つのコイルに電流を流す
磁場はそのコイルを通過する

流れる電流の変化を妨げる
ように起電力が起きる



N回巻コイルの自己インダクタンス L

1回巻コイルの自己インダクタンス \tilde{L} : $\tilde{\Phi} = \tilde{L}I$

1回巻コイルの起電力 \tilde{V}_{emf} : $\tilde{V}_{\text{emf}} = -\tilde{L} \frac{dI}{dt}$



N回巻 \Rightarrow 磁場をつくる能力がN倍
 \Rightarrow 起電力が直列でN倍
 \Rightarrow N^2 倍

N巻ならば



$$V_{\text{emf}} = N^2 \tilde{V}_{\text{emf}} = -N^2 \tilde{L} \frac{dI}{dt}$$

ソレノイドコイルの自己インダクタンス

長さ ℓ , 断面積 S , 巻き数 N , 単位長さあたりの巻き数 $n = N/\ell$

電流 I が流れる中空のソレノイドコイル内部 $\Phi = BS = \mu_0 nIS = \mu_0 NI \frac{S}{\ell}$

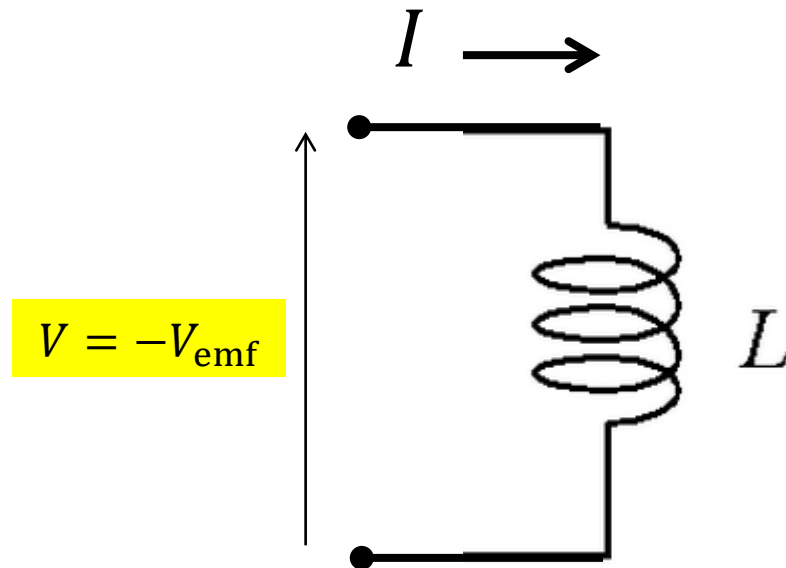
$$V_{\text{emf}} = -\frac{d\Phi}{dt} \times N = -\mu_0 \frac{S}{\ell} N^2 \frac{dI}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

→ 自己インダクタンス $L = \mu_0 \frac{S}{\ell} N^2$

インダクタンスの単位 H (ヘンリー)

$$\begin{aligned} \text{H} &= \frac{\text{V}}{\text{A/s}} \quad \dots \quad V_{\text{emf}} = -L \frac{dI}{dt} \\ &= \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \quad \dots \quad \Phi = LI \end{aligned}$$

回路に組み込まれたコイルの動作



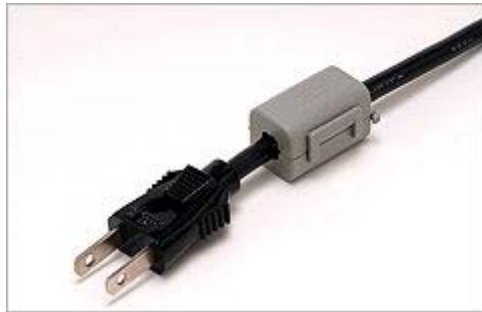
$$V = -V_{\text{emf}}$$

$$V_{\text{emf}} = -L \frac{dI}{dt}$$

コイルに加える電圧 V と、
流れる電流 I の時間変化が比例

$$L \frac{dI}{dt} = V$$

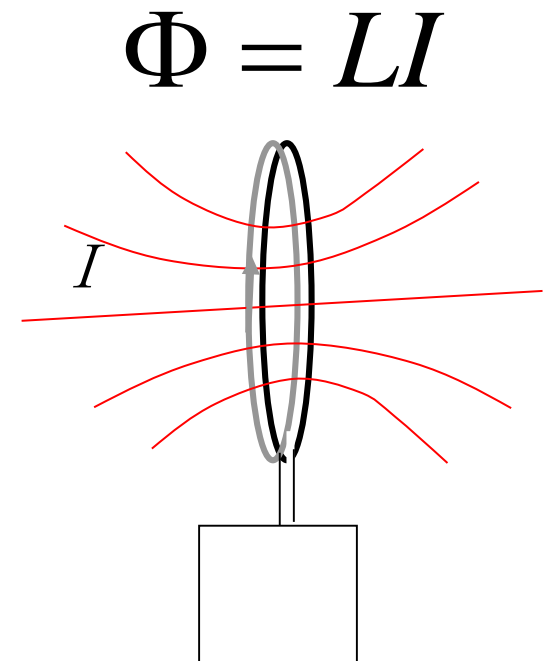
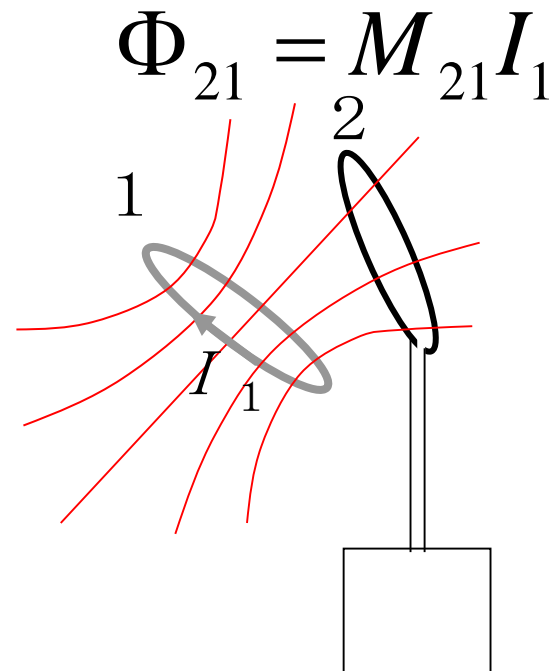
ノイズフィルター



$$V_{\text{emf}} = -L \frac{dI}{dt}$$

電流が急激に変化すると、
その電流を流さないように
電圧(逆起電力)が生じる

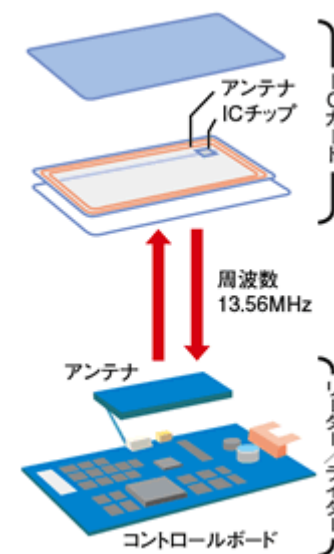
コイルの巻き数と相互インダクタンス



$$V_{\text{emf},2} = -(N_1 N_2) \tilde{M}_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

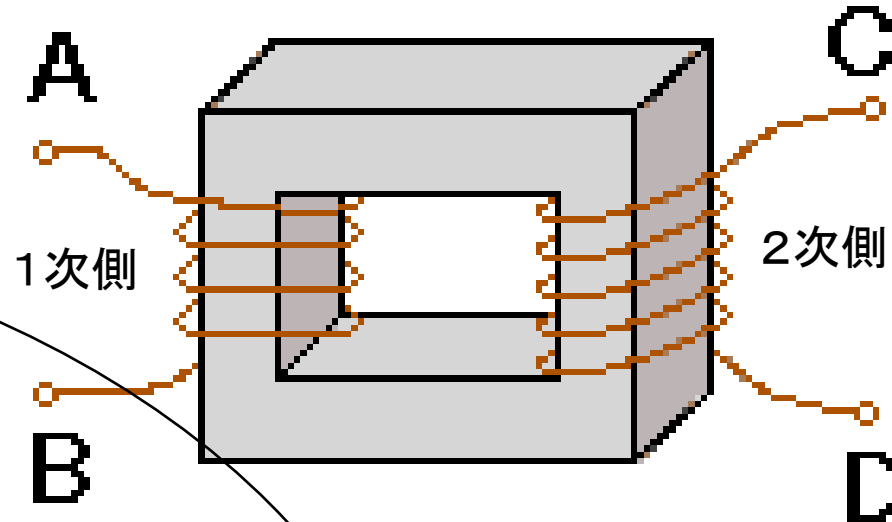
非接触ICカード (Felica)

- 電池無しで情報交換
- 電磁誘導方式 (別方式 = 電波方式もある)
 - リーダーのコイルに時間変化する電流が流れる
 - 電磁誘導によりカードのコイルに電流が流れる
 - カードのCPUとメモリーが動作する
 - カードのコイルに信号を乗せた電流が流れる
 - 電磁誘導によりリーダーのコイルに電流が流れる
 - リーダーで情報処理
 - カード検出 → 相互認証 → 情報R/W
 - 通信速度 212 kbps, 搬送波 13.56 MHz
- Suica, Pasma, Edy, ...



変圧器

巻数の比で昇(降)圧



$$V_{\text{emf},2} = -(N_1 N_2) \tilde{M}_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

$$V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} = N_1^2 \tilde{L}_1 \frac{dI_1}{dt}$$

- 1次側に加える電圧 V_1
 - 自己インダクタンスは巻数 N_1 の二乗に比例
 - 電流の変化 dI/dt を電圧で表すと N_1 の二乗に逆比例

$$V_{\text{emf},2} = -\frac{N_1 N_2 \tilde{M}_{21}}{N_1^2 \tilde{L}_1} V_1 = -\frac{N_2}{N_1} \frac{\tilde{M}_{21}}{\tilde{L}_1} V_1$$

コイルに蓄えられたエネルギー

□電流を増やしていくには

- 誘導起電力に打ち勝つ電圧:

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

- 必要とする電力が変化する:

$$P = VI$$

- 電力の時間積分 = 蓄積したエネルギー

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{dI}{dt} \frac{dU}{dI} = \frac{dI}{dt} L I = VI$$

磁場のエネルギー密度

- ソレノイドコイル中の一様な磁場で考える

$$L = \mu_0 n^2 l S \longrightarrow U = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 l S I^2$$

$$B = \mu_0 n I$$

$$u = \frac{U}{lS} = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$