

時間的に変動する場

電磁気その4

時間的に変動する場

時間的に変化する場
電磁場の力学

電場の時間変化
磁場の時間変化

磁場
電場



電磁誘導

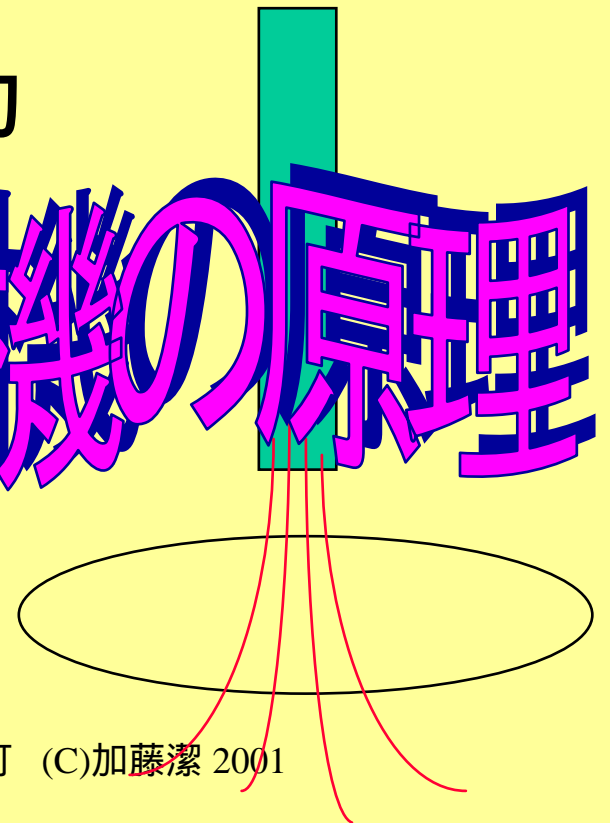
磁場の時間的变化 電場

回路を通る磁束の時間変化

= 回路に生じる起電力

$$\frac{d\Phi}{dt} = -V$$

発電機の原理



ファラデーの法則

$$\text{磁束} = \Phi = B \cdot S$$

精密化
回路

閉曲線 C

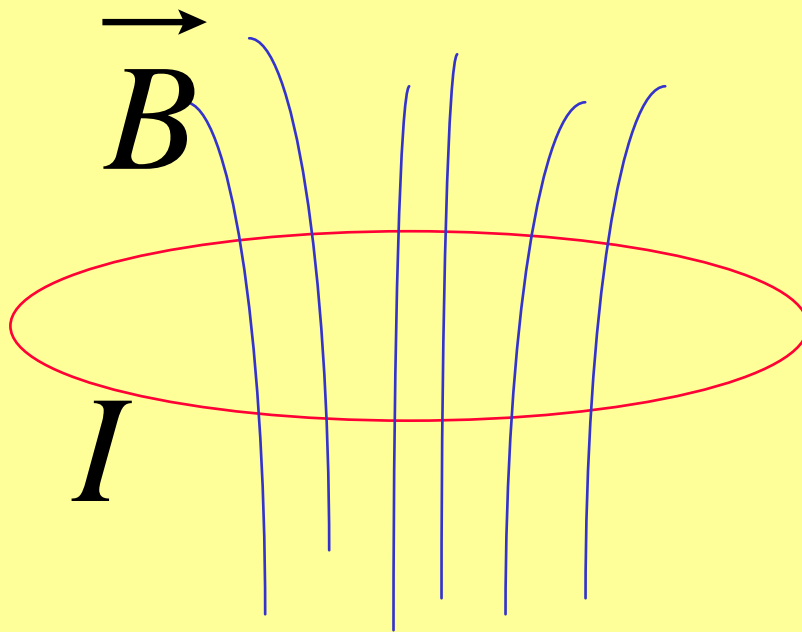
$$\sum \frac{dB_n}{dt} \Delta S = - \sum E_t \Delta S$$

レンツの法則

マイナス符号の意味 図9.23

- 外部磁場の変動
- 誘導電流の発生
- 誘導電流が更に磁場をつくる(アンペールの法則)
- この二次磁場は元の磁場の変化を妨げる向きに生じる

自己インダクタンス



$$\Phi \approx B \cdot S$$

$$\Rightarrow \Phi \propto I$$

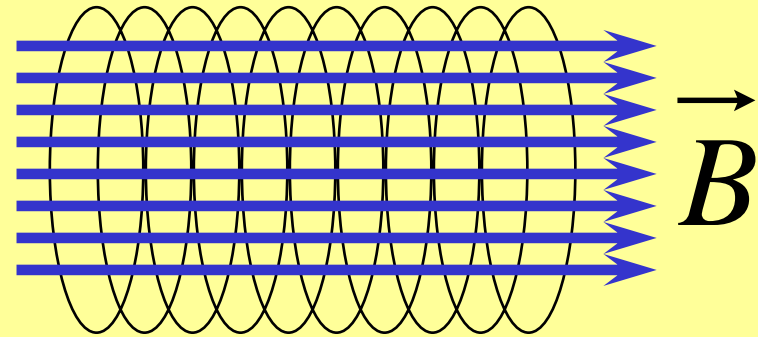
$$\Phi = L \cdot I$$

自己インダクタンス
[H](ヘンリー)

例) ソレノイドコイルの場合

アンペールの法則から
($n = \text{巻数} / \text{長さ}$)

$$H = nI$$



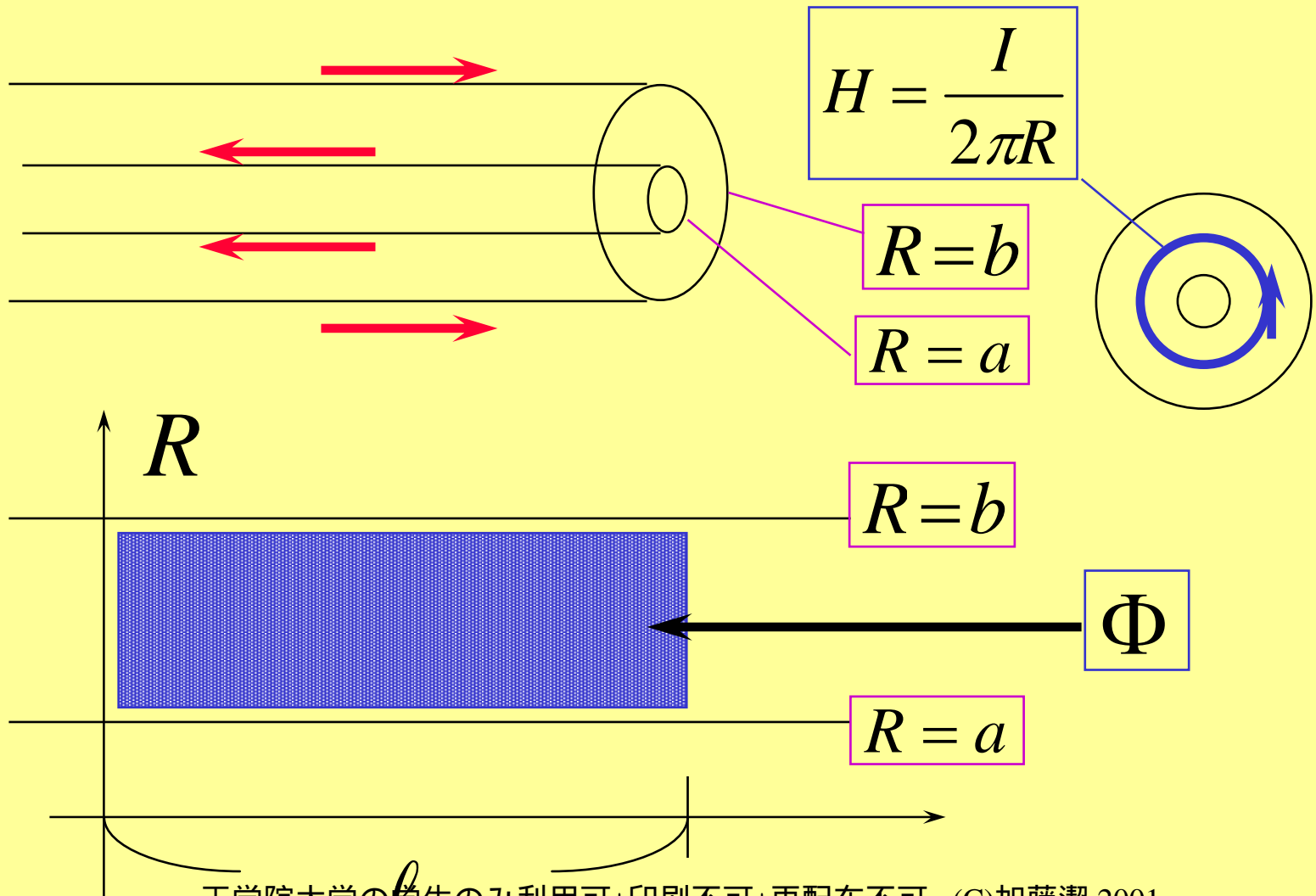
$$B = \mu_0 H$$

$$\Phi = BS$$

$$\Phi = \mu_0 nI \cdot S \cdot nl$$

$$\Rightarrow L = \mu_0 n^2 Sl$$

問9.11 同軸ケーブルの場合



問9.11 同軸ケーブルの場合

$$\begin{aligned}\Phi &= l \times \int_a^b \mu_0 H dR \\ &= \frac{l\mu_0 I}{2\pi} \log \frac{b}{a} \longrightarrow L = \frac{l\mu_0}{2\pi} \log \frac{b}{a}\end{aligned}$$

コイルに電流を流すのに要する仕事

$$\Phi = L \cdot I \quad \dots \text{これを時間で微分}$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = -V = L \frac{dI}{dt}$$

ファラデーの法則

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

このエネルギーはどこに貯えられるか？

磁場のエネルギー

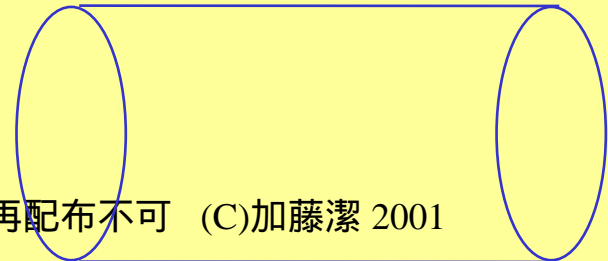
$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

ソレノイドコイル
 $H = nI$

$$L = \mu_0 n^2 Sl$$

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 H^2 \times Sl$$

磁場のある空間の体積



磁場のエネルギー

$$\frac{1}{2} \mu_0 \overrightarrow{H}^2$$

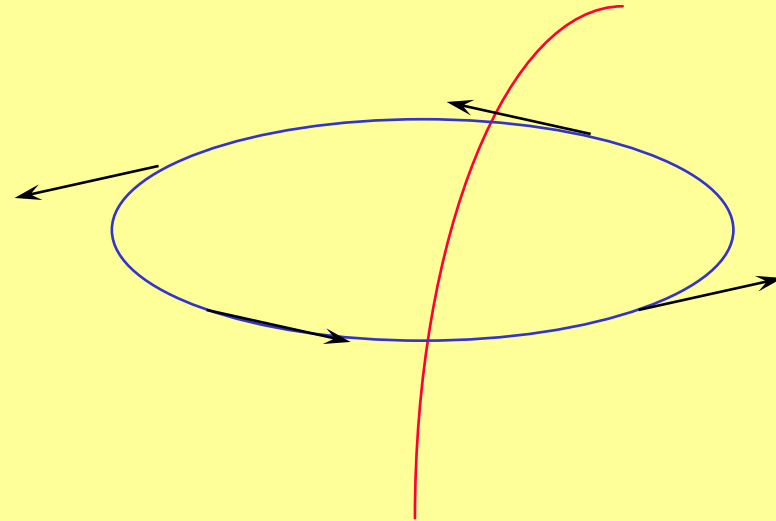
磁場のエネルギー密度

変位電流

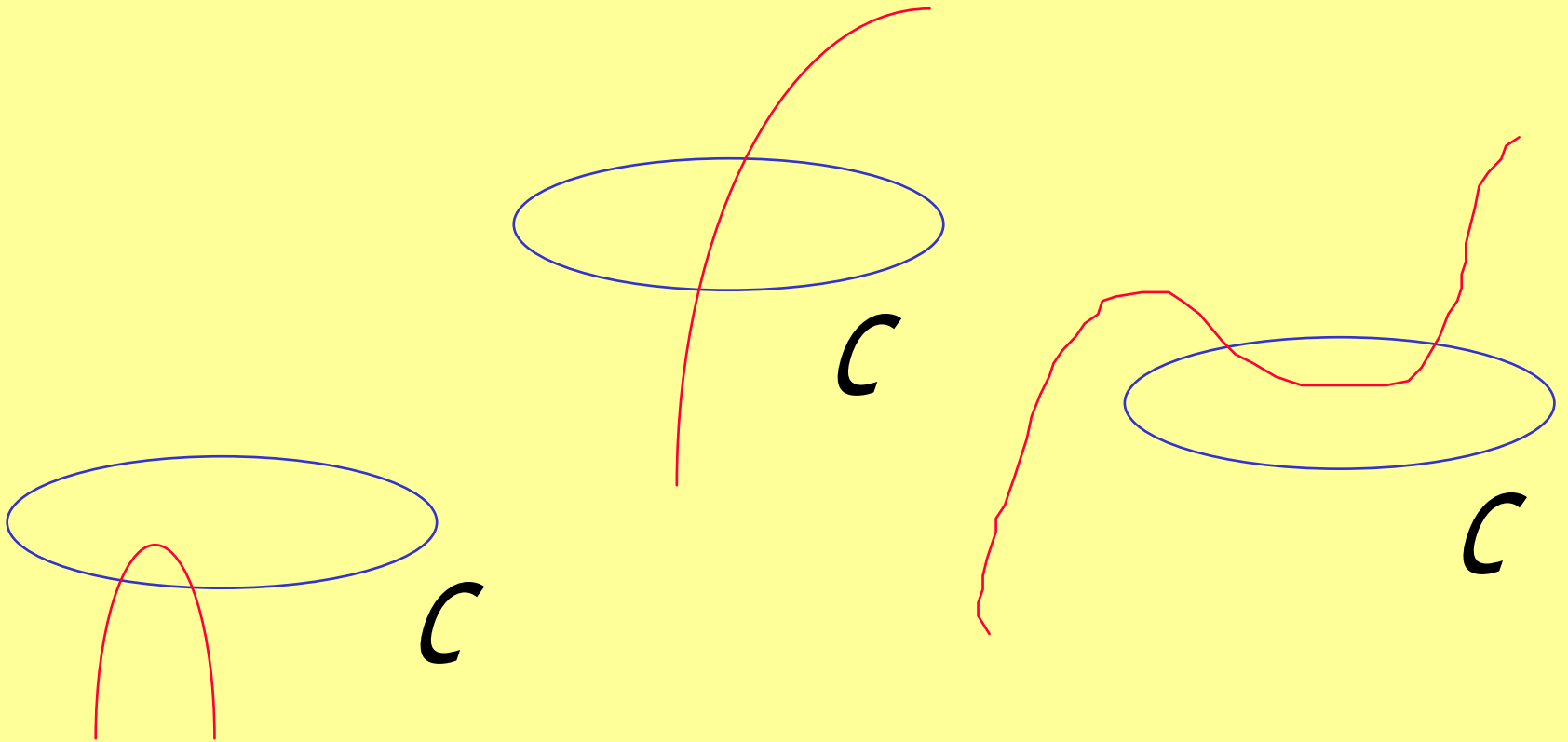
電場の時間的变化 磁場

- アンペールの法則は「**法則**」か？
客観性・一意性

内容： 空間内の閉曲線
曲線に沿った磁場と
曲線を通りぬける**電流**の関係



「閉曲線Cを通り抜ける電流」とは 一意的ではない？



方針変更

「閉曲線 C を縁とする面 S を通り抜ける電流」
と定義する

新たな問題 : 面 S は一意的でない

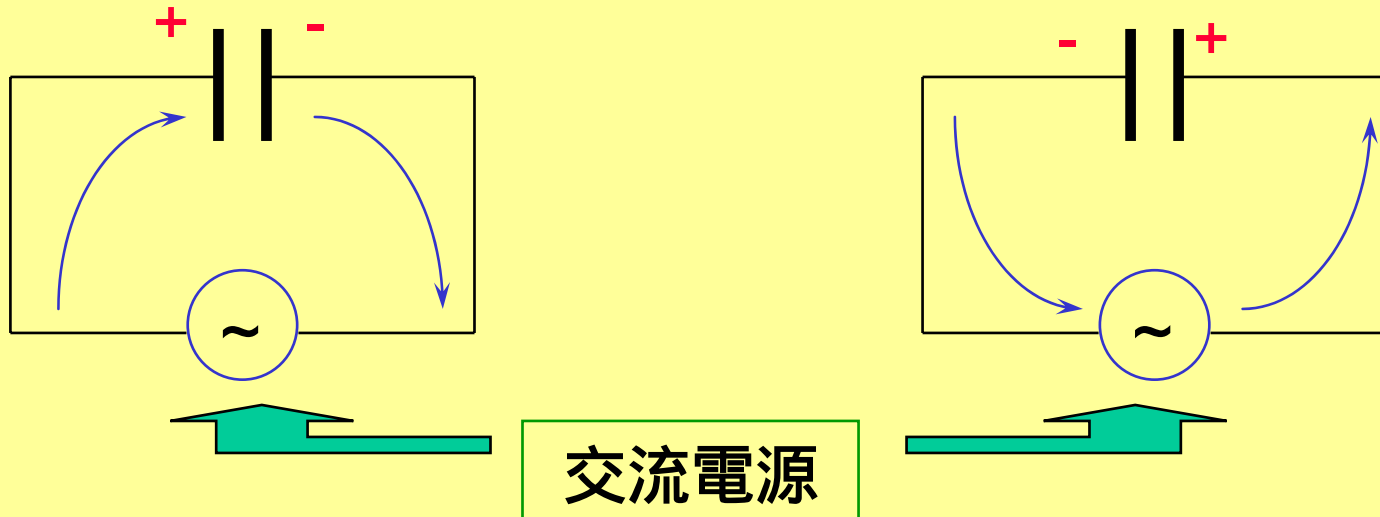
> テキスト : p. 172 図 9.27

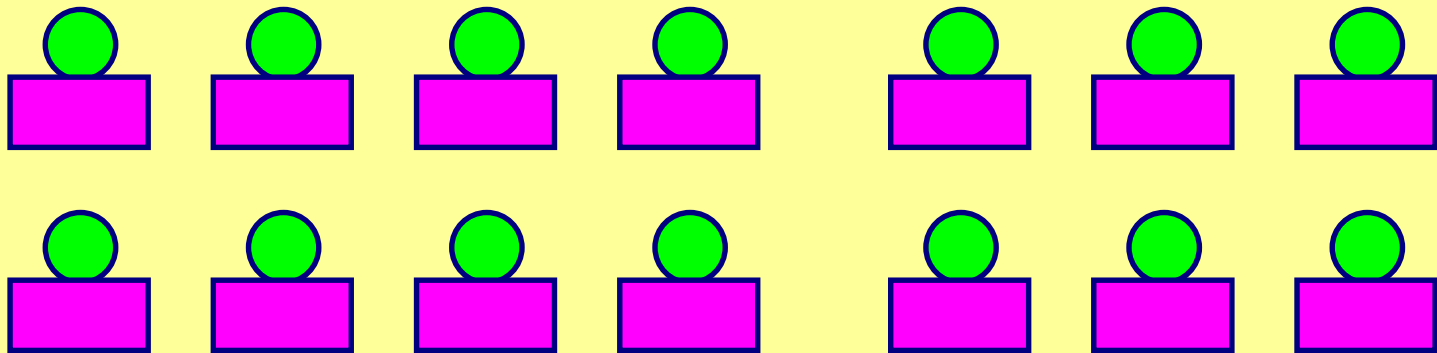
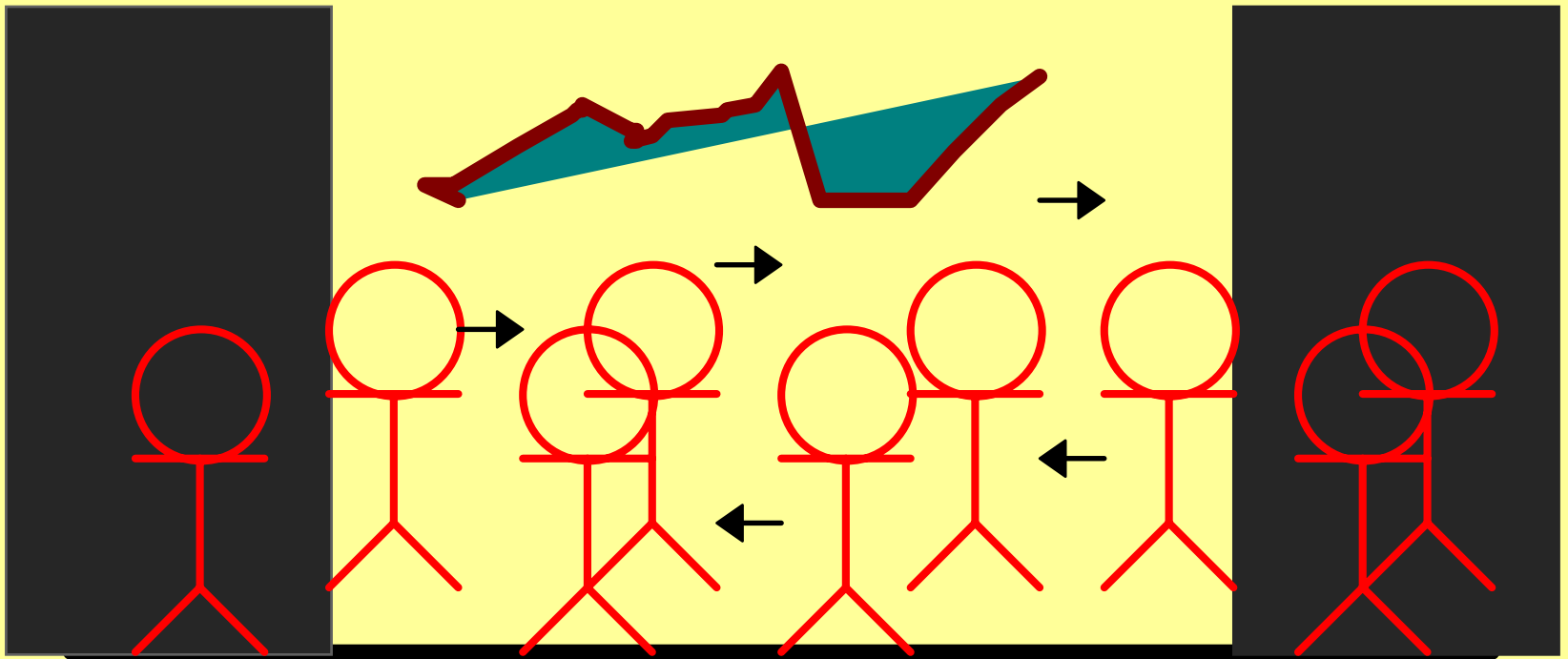
しかし、「通り抜ける電流」は一意的だから OK

電流の連続性

しかし...

時間的に変化する電流は「連続」でなくても
「流れる」ことができる





変位電流の導入

このままではアンペールの法則が崩壊してしまふ???

対策: コンデンサーの極板の間にある変動電場にも、電流と同じ役割をになわせる

電流の連続性の復活

電流 = 真の電流 + 変位電流

電流が連続的に流れる

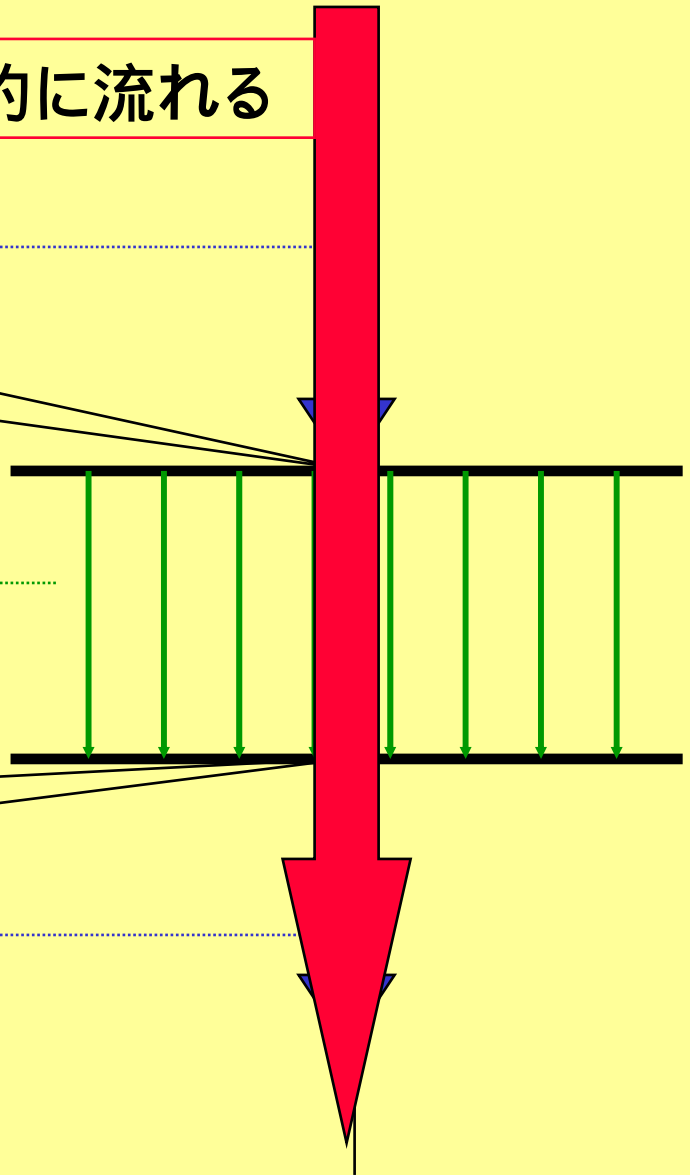
真の電流(電荷の流れ)

バトンタッチ

電場がある 変動電場
が「電流」の役割をする

バトンタッチ

真の電流(電荷の流れ)



$$q = CV = \frac{\epsilon_0 S}{d} \times Ed$$

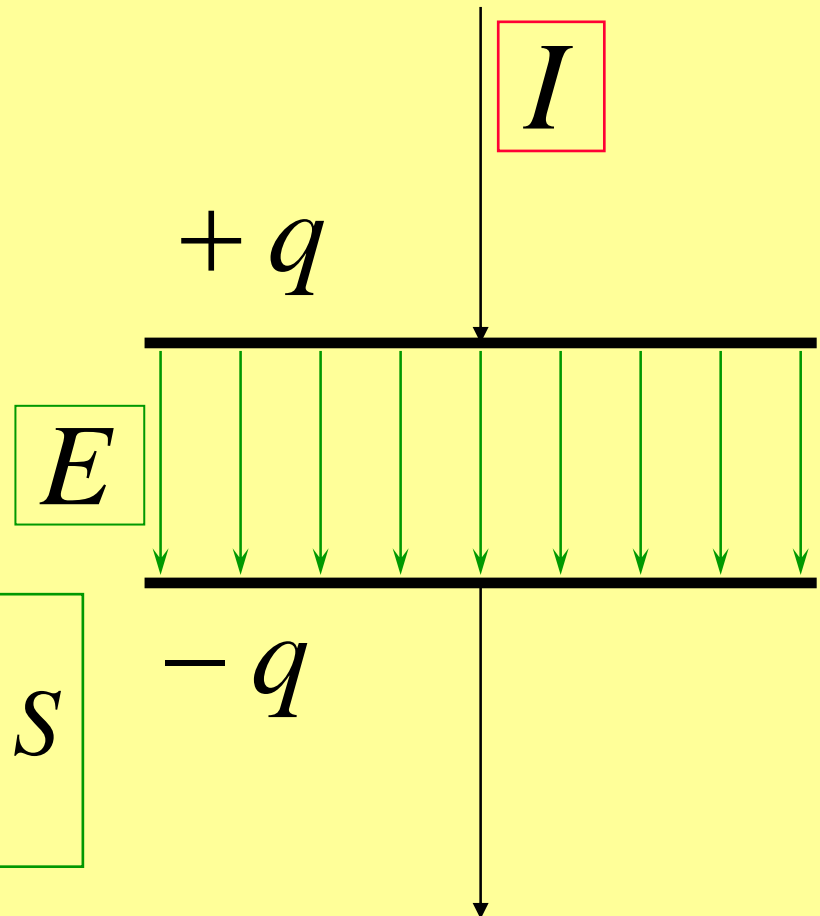
$$= \epsilon_0 SE$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

真の電流

$$\Rightarrow \left(\epsilon_0 \frac{dE}{dt} \right) \cdot S$$

変位電流



アンペールの法則 (修正版)

電流 = 真の電流 + 変位電流

どちらも同様に磁場の源となる

$$\sum H_t \Delta s = \sum I + \sum \frac{dD_n}{dt} \Delta S$$

$$(\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E})$$