

SETUP DRILL 14

# 電磁誘導と交流 設定別ドリル

誘導の設定を6つに分けた。

起電力が生じる原因はいつも一つ —— 回路を貫く磁束が変化したこと。

向きはいつも一つ —— 変化を打ち消す向き。

そして誘導起電力は電池と同じように扱ってよい。ここを6回確かめる。

## 使い方

**1周目** 設定の見出しと公式を読んでから5問続けて解く。

**2周目** 向きを答える前に「磁束は増えているか減っているか」を口に出す。

**3周目** 見出しを隠して、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  か  $vBL$  かを言ってから解く。

回路の抵抗は指定がなければ  $R$  とする。

### 1章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

### 2章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

### 3章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

### 4章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

### 5章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

### 6章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

# 問 題 編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

磁束の増減を先に判断すること。

# 磁束の変化と誘導起電力

## 記号の約束

$\Phi$  回路を貫く磁束  $B$  磁束密度  $S$  回路の面積  $V$  誘導起電力  $N$  コイルの巻数

## この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「磁場を強くした」「コイルを近づけた」「面積を変えた」
2.  $\rightarrow \Phi = BS$  のどこが変わったかを見る
3.  $\rightarrow$  変化率が起電力、向きは変化を打ち消す向き

## この設定で使う公式

- $\Phi = BS$  ( $B$  が面に垂直のとき)
- $V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  (大きさは  $N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ )
- レンツ: 増えたら減らす向き、減ったら増やす向きの電流が流れる

### 1-1 基本 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

面積  $S$ 、巻数  $N$  のコイルを、磁束密度  $B$  の一様な磁場の中に、面が磁場と垂直になるように置いた。時間  $\Delta t$  の間に磁束密度を  $B$  から  $2B$  に増やした。

1. はじめと後のコイルを貫く磁束を求めよ。
2. 誘導起電力の大きさを求めよ。

**1-2** レンツ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

コイルに棒磁石の N 極を近づけた。

1. コイルを貫く磁束は増えるか減るか。
2. コイルに流れる誘導電流はどんな磁場をつくるか。
3. コイルと磁石は引き合うか反発するか。

**1-3** 面積を変える ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

磁束密度  $B$  の一様な磁場の中に置いた1巻きの回路の面積を、時間  $\Delta t$  の間に  $S$  から  $2S$  に広げた。

1. 誘導起電力の大きさを求めよ。
2. 回路の抵抗が  $R$  のとき、流れる電流を求めよ。

**1-4** 向きを変える ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

面積  $S$  の1巻きコイルを、磁束密度  $B$  の一様な磁場の中で、面の法線が磁場と角  $\theta$  をなすように置いた。

1. コイルを貫く磁束を求めよ。
2.  $\theta = 90^\circ$  のとき磁束はいくらか。
3. コイルを  $\theta = 0$  から  $\theta = 90^\circ$  まで時間  $\Delta t$  で回すときの平均の起電力を求めよ。

**1-5** 渦電流 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

金属板を磁石の間で動かすと、動きにくくなる。

1. 金属板の中で何が起きているか。
2. なぜ動きにくくなるのか。
3. この現象は何に使われているか。

## SETUP 02

# レール上を動く導体棒

### 記号の約束

$L$  導体棒の長さ    $v$  棒の速さ    $R$  回路の抵抗

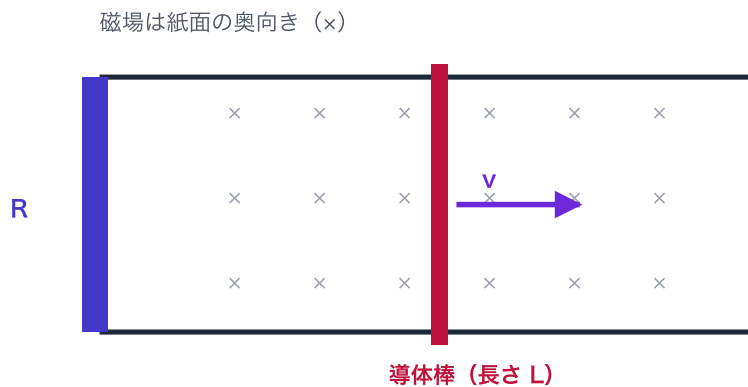
### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「レール」「導体棒を速さ  $v$  で動かす」
2.  $\rightarrow V = vBL$  ( $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  の言い換え)
3.  $\rightarrow$  棒を起電力  $vBL$  の電池だと思って回路を解く

### この設定で使う公式

- $V = vBL$
- 回路に流れる電流： $I = \frac{vBL}{R}$
- 棒が受ける力： $F = IBL = \frac{vB^2L^2}{R}$  (運動を妨げる向き)

間隔  $L$  の平行なレールの上に導体棒を垂直に置き、レール面に垂直な磁束密度  $B$  の一様な磁場の中で、棒を一定の速さ  $v$  で動かす。



レール上を動く導体棒

1. 時間  $\Delta t$  の間に回路の面積はどれだけ増えるか。
2. 磁束の変化を求めよ。
3. 誘導起電力を求めよ。

## 2-2 電流と力 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ設定で、回路全体の抵抗を  $R$  とする。

1. 流れる電流を求めよ。
2. 棒が磁場から受ける力を求めよ。
3. その向きを答えよ。

## 2-3 エネルギー収支 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ設定で、棒を一定の速さ  $v$  で動かし続ける。

1. 外力の大きさを求めよ。
2. 外力の仕事率を求めよ。
3. 抵抗での消費電力を求めよ。
4. 2つを比べよ。



鉛直なレールの上を、質量  $m$ 、長さ  $L$  の導体棒がなめらかに滑り落ちる。レール面に垂直に磁束密度  $B$  の磁場をかけ、回路の抵抗を  $R$  とする。

1. 速さ  $v$  のときの運動方程式を書け。
2. 加速度が 0 になる速さを求めよ。
3. その後の運動はどうなるか。

なめらかな水平レール上の導体棒に、抵抗ではなく容量  $C$  のコンデンサーだけをつないだ。棒を一定の加速度  $a$  で動かしているとする。

1. コンデンサーの電圧を求めよ。
2. 電気量を求めよ。
3. 流れる電流を求めよ。

## SETUP 03

# 自己誘導・相互誘導

### 記号の約束

$m$  棒の質量  $F$  外から加える力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「コイル」「自己インダクタンス  $L$ 」「スイッチを入れた直後」
2. → コイルは電流の変化を嫌がる
3. → 直後は電流 0（断線と同じ）、十分後は電圧 0（導線と同じ）

### この設定で使う公式

- 自己誘導： $V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
- 蓄えられるエネルギー： $U = \frac{1}{2} L I^2$
- コンデンサーとちょうど逆の振る舞い

### 3-1 直後と十分後 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

起電力  $E$  の電池に、抵抗  $R$  と自己インダクタンス  $L$  のコイルを直列につなぎ、スイッチを入れた。

1. 直後の電流を求めよ。
2. 十分に時間がたった後の電流を求めよ。
3. そのときコイルにかかる電圧はいくらか。

### 3-2 起電力の大きさ ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

自己インダクタンス  $L$  のコイルに流れる電流を、時間  $\Delta t$  の間に  $I_1$  から  $I_2$  まで一定の割合で変化させた。

1. 生じる誘導起電力の大きさを求めよ。
2. その向きはどちらか。

### 3-3 エネルギー ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

自己インダクタンス  $L$  のコイルに電流  $I$  が流れている。

1. 蓄えられているエネルギーを求めよ。
2. 電流を2倍にすると何倍か。
3. コンデンサーの式と比べよ。

**3-4** ソレノイドの  $L$  ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

断面積  $S$ 、長さ  $l$ 、全巻数  $N$ 、透磁率  $\mu$  のソレノイドに電流  $I$  を流す。

1. 内部の磁束密度を求めよ。
2. 1巻きを貫く磁束を求めよ。
3. 自己インダクタンスを求めよ。

**3-5** 相互誘導 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

2つのコイルを近づけて置き、一方の電流を時間  $\Delta t$  の間に  $\Delta I$  だけ変化させた。相互インダクタンスを  $M$  とする。

1. 他方に生じる起電力を求めよ。
2. 直流を流し続けたときはどうなるか。

## SETUP 04

# 交流の発生と実効値

### 記号の約束

$L$  自己インダクタンス  $U$  コイルに蓄えられるエネルギー

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「コイルを一定の角速度で回す」「実効値」
2. → 磁束が  $\cos \omega t$  で変化 → 起電力は  $\sin \omega t$
3. → 実効値 = 最大値  $\div \sqrt{2}$

### この設定で使う公式

- $\Phi = BS \cos \omega t \rightarrow V = \omega BS \sin \omega t$
- 実効値:  $V_e = \frac{V_0}{\sqrt{2}}, I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$
- 平均の消費電力:  $P = V_e I_e = \frac{V_0 I_0}{2}$

### 4-1 発電の式 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

磁束密度  $B$  の一様な磁場の中で、面積  $S$ 、巻数  $N$  のコイルを角速度  $\omega$  で回す。時刻  $t = 0$  でコイルの面が磁場と垂直だったとする。

1. 時刻  $t$  の磁束を求めよ。
2. 誘導起電力を求めよ。
3. 最大値を求めよ。

**4-2** 実効値 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

最大値  $V_0$  の正弦波の交流電圧について答えよ。

1. 実効値を求めよ。
2. 抵抗  $R$  につないだときの平均の消費電力を求めよ。
3. 実効値という量を使う理由を述べよ。

**4-3** 抵抗だけ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

抵抗  $R$  だけに、電圧  $V = V_0 \sin \omega t$  の交流をかけた。

1. 流れる電流を書け。
2. 電圧と電流の位相の関係を述べよ。
3. 消費電力の平均を求めよ。

**4-4** 周波数 ★3周チェック ☐ ☐ ☐

周波数  $f$  の交流について答えよ。

1. 角周波数を求めよ。
2. 周期を求めよ。
3. コイルを1秒間に  $f$  回転させたときの起電力の周波数はいくらか。

**4-5** 平均 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

正弦波の交流電圧について答えよ。

1. 1周期にわたる電圧そのものの平均はいくらか。
2. 1周期にわたる消費電力の平均は 0 か。
3. なぜ違うのか。



## SETUP 05

# コイル・コンデンサーの交流での性質

### 記号の約束

$\omega$  角周波数  $V_0$  電圧の最大値  $V_e$  実効値

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「交流をコイル（コンデンサー）に流す」「周波数を変える」
2. → リアクタンス（交流での抵抗のはたらき）を出す
3. → コイルは高い周波数を通しにくく、コンデンサーは通しやすい

### この設定で使う公式

- コイル： $X_L = \omega L$ （周波数が高いほど大きい）
- コンデンサー： $X_C = \frac{1}{\omega C}$ （周波数が高いほど小さい）
- どちらも電力を消費しない（位相が  $\frac{\pi}{2}$  ずれる）

#### 5-1 リアクタンス ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

自己インダクタンス  $L$  のコイルと、電気容量  $C$  のコンデンサーに、角周波数  $\omega$  の交流をかける。

1. コイルのリアクタンスを求めよ。
2. コンデンサーのリアクタンスを求めよ。
3. 周波数を上げるとそれぞれどうなるか。

**5-2** 直流と交流 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

直流 ( $\omega \rightarrow 0$ ) の場合を考える。

1. コイルのリアクタンスはいくらか。
2. コンデンサーはどうか。
3. この結果は直流回路の知識と合っているか。

**5-3** 位相 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

交流をコイルとコンデンサーにかけたときの、電圧と電流の位相について答えよ。

1. コイルでは電流は電圧に対してどうずれるか。
2. コンデンサーではどうか。
3. どちらも平均の消費電力が 0 になる理由を述べよ。

**5-4** 共振 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

コイル  $L$ 、コンデンサー  $C$ 、抵抗  $R$  を直列につなぎ、周波数を変えられる交流電源につないだ。

1. 電流が最も大きくなる条件を書け。
2. そのときの角周波数を求めよ。
3. そのとき回路のインピーダンスは何になるか。

**5-5** 電気振動 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

充電したコンデンサー  $C$  とコイル  $L$  だけをつないだ回路（抵抗なし）を考える。

1. 振動の周期を求めよ。
2. エネルギーはどのように移り変わるか。
3. 力学の何と同じ構造か。

## SETUP 06

# 変圧器と送電

### 記号の約束

$X$  リアクタンス  $f$  周波数  $N_1, N_2$  変圧器の巻数

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「変圧器」「一次コイル・二次コイル」「巻数比」
2. → 電圧は巻数に比例、電流は反比例
3. → 電力は変わらない（損失を無視すれば）

### この設定で使う公式

- $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$
- $V_1 I_1 = V_2 I_2$ （電力が保存）
- →  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

#### 6-1 巻数比 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

巻数  $N_1$  の一次コイルに電圧  $V_1$  の交流をかけた変圧器がある。二次コイルの巻数は  $N_2$ 。

1. 二次コイルの電圧を求めよ。
2.  $N_2 = 2N_1$  のとき電圧は何倍か。
3. そのとき電流は何倍か。

**6-2** なぜ交流か ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

変圧器について答えよ。

1. 直流を入れると二次側に電圧は生じるか。
2. 理由を述べよ。
3. スイッチを入れた瞬間はどうか。

**6-3** 送電 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

発電所から電力  $P$  を、抵抗  $r$  の送電線で送る。送電電圧を  $V$  とする。

1. 送電線を流れる電流を求めよ。
2. 送電線での損失電力を求めよ。
3. 変圧器で電圧を10倍にすると損失は何倍か。

**6-4** 総まとめ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

電磁誘導の問題を解く手順を整理せよ。

1. 最初に確認することは何か。
2. 起電力の大きさはどう出すか。
3. 向きはどう決めるか。

**6-5** 対応表 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

コイルとコンデンサーの性質を対比せよ。

1. 蓄えるエネルギーの式をそれぞれ書け。
2. 直流の定常状態でどう扱うか。
3. 高周波を通すのはどちらか。

# 解説編

各問の冒頭に磁束がどう変化したかを書いてある。

## 設定 1 磁束の変化と誘導起電力

### 1-1 変化率を取る

■(1) はじめ  $\Phi_1 = BS$ 、後  $\Phi_2 = 2BS$

■(2)  $|V| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{NBS}{\Delta t}$

磁束そのものではなく、その変化率が起電力になる。

強い磁場の中に置いてあっても、変化しなければ起電力は 0。

答 (1)  $BS$  と  $2BS$  (2)  $\frac{NBS}{\Delta t}$

### 1-2 打ち消す向き

■(1) 増える。

■(2) 増加を打ち消す向き、つまり近づいてくる磁束と逆向きの磁場。

コイルの磁石側が N 極になるような向きに電流が流れる。

■(3) N 極どうしが向き合うので 反発する。

近づければ反発、遠ざければ引き止める。

つねに動きを妨げるのがレンツの法則。

答 (1) 増える (2) 逆向きの磁場 (3) 反発する

### 1-3 $S$ が動く

$$\blacksquare(1) |V| = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = \frac{BS}{\Delta t}$$

$$\blacksquare(2) I = \frac{V}{R} = \frac{BS}{R\Delta t}$$

$\Phi = BS$  のどちらが変わってもよい。

$B$  を変える /  $S$  を変える / 向きを変える、の3通りがある。

$$\text{答 (1)} \frac{BS}{\Delta t} \quad (2) \frac{BS}{R\Delta t}$$

### 1-4 $\cos$ が入る

$$\blacksquare(1) \Phi = BS \cos \theta$$

$$\blacksquare(2) \cos 90^\circ = 0 \text{ なので } 0$$

(磁場が面と平行になり、1本も貫かない。)

$$\blacksquare(3) |V| = \frac{BS - 0}{\Delta t} = \frac{BS}{\Delta t}$$

面に垂直な成分だけが磁束になるので  $\cos$ 。

$$\text{答 (1)} BS \cos \theta \quad (2) 0 \quad (3) \frac{BS}{\Delta t}$$

### 1-5 板でも起きる

$\blacksquare(1)$  板を貫く磁束が変化するため、板の中に渦を巻く誘導電流が流れる。

$\blacksquare(2)$  その電流が磁場から力を受け、動きを妨げる向きにはたらくから。

レンツの法則が板の中で起きている。

$\blacksquare(3)$  電磁ブレーキ (電車・ジェットコースター)。

接触しないので摩耗しない。

IH 調理器も同じ渦電流の発熱を使っている。

$$\text{答 (1)} \text{渦電流} \quad (2) \text{動きを妨げる向きに力を受けるから} \quad (3) \text{電磁ブレーキ・IH}$$

## 設定 2 レール上を動く導体棒



### 2-1 $vBL$ の由来

■(1) 棒は  $v\Delta t$  だけ動くので  $\Delta S = Lv\Delta t$

■(2)  $\Delta\Phi = B\Delta S = BLv\Delta t$

■(3)  $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = vBL$

$vBL$  は  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  の特別な場合。

覚えるのは1本でよい。

答 (1)  $Lv\Delta t$  (2)  $BLv\Delta t$  (3)  $vBL$

### 2-2 電池だと思ふ

■(1)  $I = \frac{vBL}{R}$

■(2)  $F = IBL = \frac{vB^2L^2}{R}$

■(3) 運動を妨げる向き (棒の速度と逆向き)。

レンツの法則から必ずこうなる。

だから等速で動かし続けるには外力が要る。

答 (1)  $\frac{vBL}{R}$  (2)  $\frac{vB^2L^2}{R}$  (3) 運動と逆向き

### 2-3 仕事＝発熱

■(1) 等速なので磁気力とつり合う  $F_{\text{外}} = \frac{vB^2L^2}{R}$

■(2)  $P_{\text{外}} = F_{\text{外}}v = \frac{v^2B^2L^2}{R}$

■(3)  $P_{\text{熱}} = \frac{V^2}{R} = \frac{(vBL)^2}{R} = \frac{v^2B^2L^2}{R}$

■(4) 完全に一致する。

外力がした仕事は、そのまま抵抗の熱になっている。

発電のエネルギーの流れがこれで見える。

答 (1)  $\frac{vB^2L^2}{R}$  (2)(3) ともに  $\frac{v^2B^2L^2}{R}$  (4) 一致する

## 2-4 つり合いで止まる

### ■(1) 下向きを正として

$$ma = mg - \frac{vB^2L^2}{R}$$

### ■(2) $a = 0$ において

$$v_f = \frac{mgR}{B^2L^2}$$

### ■(3) この速さで等速になる（終端速度）。

速くなるほど妨げる力が強くなるので、必ずここに落ち着く。

空気抵抗を受けて落ちる物体とまったく同じ構造。

答 (1)  $ma = mg - \frac{vB^2L^2}{R}$  (2)  $\frac{mgR}{B^2L^2}$  (3) 等速になる

## 2-5 妨げ方が違う

### ■(1) 棒の起電力がそのままかかる $V = vBL$

### ■(2) $Q = CvBL$

### ■(3) 電流は電気量の変化率

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = CBL \frac{\Delta v}{\Delta t} = CBLa$$

速度が変わらなければ電流は流れないのがコンデンサーの場合の特徴。

抵抗のときは  $v$  に比例したが、ここでは  $a$  に比例する。

答 (1)  $vBL$  (2)  $CvBL$  (3)  $CBLa$

## 設定 3 自己誘導・相互誘導

### 3-1 2つの極端

#### ■(1) 0。

コイルは電流の変化を妨げるので、いきなりは流れない。

#### ■(2) 電流が一定になれば $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ で起電力も 0

$$I = \frac{E}{R}$$

#### ■(3) 0（ただの導線と同じ）。

コンデンサーと正反対：

コンデンサーは直後が導線・十分後が断線、コイルはその逆。

答 (1) 0 (2)  $\frac{E}{R}$  (3) 0

### 3-2 変化率に比例

■(1)  $|V| = L \frac{|I_2 - I_1|}{\Delta t}$

■(2) 電流の変化を妨げる向き。

増やそうとすれば減らす向き、減らそうとすれば増やす向きに起電力が生じる。

スイッチを切った瞬間に火花が出るのは、

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$  が非常に大きくなって高い電圧が生じるため。

答 (1)  $L \frac{|I_2 - I_1|}{\Delta t}$  (2) 変化を妨げる向き

### 3-3 $\frac{1}{2}LI^2$

■(1)  $U = \frac{1}{2}LI^2$

■(2)  $I^2$  に比例するので 4倍

■(3)  $\frac{1}{2}CV^2$  と同じ形。

コンデンサーは電圧の2乗、コイルは電流の2乗。

コンデンサーは電場に、コイルは磁場にエネルギーを蓄えている。

答 (1)  $\frac{1}{2}LI^2$  (2) 4倍 (3)  $\frac{1}{2}CV^2$  と同じ形

### 3-4 形から出す

■(1)  $B = \mu \frac{N}{\ell} I$

■(2)  $\Phi = BS = \frac{\mu NSI}{\ell}$

■(3) 全体の磁束の合計は  $N\Phi$ 。これが  $LI$  に等しい

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{\mu N^2 S}{\ell}$$

巻数の2乗に比例する。

$C$  が形だけで決まったように、 $L$  も形と材質だけで決まる。

答 (1)  $\frac{\mu NI}{\ell}$  (2)  $\frac{\mu NSI}{\ell}$  (3)  $\frac{\mu N^2 S}{\ell}$

### 3-5 隣のコイルへ

■(1)  $|V| = M \frac{\Delta I}{\Delta t}$

■(2) 起電力は生じない。

変化しない電流は磁束を変化させないから。

変圧器が交流でしか働かない理由がこれ。

答 (1)  $M \frac{\Delta I}{\Delta t}$  (2) 起電力は生じない

## 設定 4 交流の発生と実効値

### 4-1 $\cos$ を微分

■(1) 法線と磁場のなす角が  $\omega t$  なので

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

■(2)  $V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \omega BS \sin \omega t$

■(3)  $V_0 = N \omega BS$

速く回すほど、巻数が多いほど大きい。

$\cos$  の変化率が  $\sin$  になるので、

磁束が最大のとき起電力は 0、磁束が 0 のとき起電力が最大。

答 (1)  $BS \cos \omega t$  (2)  $N \omega BS \sin \omega t$  (3)  $N \omega BS$

### 4-2 $\sqrt{2}$ で割る

■(1)  $V_e = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$

■(2)  $P = \frac{V_e^2}{R} = \frac{V_0^2}{2R}$

■(3) 直流と同じ式で電力を計算できるようにするため。

$\sin^2$  の 1 周期の平均が  $\frac{1}{2}$  なので、

$\frac{V_0}{\sqrt{2}}$  の直流と同じ発熱になる。

家庭のコンセントの 100 V も実効値。最大値は約 141 V。

答 (1)  $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$  (2)  $\frac{V_0^2}{2R}$  (3) 直流と同じ式で電力が計算できるから

#### 4-3 位相がそろう

■(1)  $I = \frac{V_0}{R} \sin \omega t$

■(2) 同位相（同時に最大、同時に 0）。

■(3)  $P = V_e I_e = \frac{V_0^2}{2R}$

抵抗だけなら直流とほぼ同じ扱い。

コイルやコンデンサーが入ると位相がずれる。

答 (1)  $\frac{V_0}{R} \sin \omega t$  (2) 同位相 (3)  $\frac{V_0^2}{2R}$

#### 4-4 $\omega = 2\pi f$

■(1)  $\omega = 2\pi f$

■(2)  $T = \frac{1}{f}$

■(3)  $f$ 。1回転で1周期の波ができる。

発電機の回転数がそのまま周波数になる。

答 (1)  $2\pi f$  (2)  $\frac{1}{f}$  (3)  $f$

#### 4-5 0 と実効値の違い

■(1) 0。正の半周期と負の半周期が打ち消し合う。

■(2) 0 ではない。

■(3) 電力は  $P = \frac{V^2}{R}$  で、 $V$  が2乗されているから。

電圧が負でも  $V^2$  は正になるので、電力はつねに正。

だから平均を取るのに  $\sqrt{2}$  乗の平均（実効値）を使う。

答 (1) 0 (2) 0 ではない (3) 電力は電圧の2乗に比例するから

### 設定 5 コイル・コンデンサーの交流での性質

### 5-1 周波数依存

■(1)  $X_L = \omega L$

■(2)  $X_C = \frac{1}{\omega C}$

■(3) コイルは大きくなる（通しにくくなる）、

コンデンサーは小さくなる（通しやすくなる）。

コイルは高周波を止め、コンデンサーは高周波を通す。

答 (1)  $\omega L$  (2)  $\frac{1}{\omega C}$  (3) コイルは増え、コンデンサーは減る

### 5-2 $\omega \rightarrow 0$

■(1)  $X_L = \omega L \rightarrow 0 \rightarrow$  ただの導線

■(2)  $X_C = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \infty \rightarrow$  断線

■(3) 合っている。

直流回路の定常状態で「コイルは導線、コンデンサーは断線」と扱ったのと同じ結論。

リアクタンスの式はそれを含んでいる。

答 (1) 0 (導線) (2) 無限大 (断線) (3) 合っている

### 5-3 $\pi/2$ ずれる

■(1) 電流は電圧より  $\frac{\pi}{2}$  遅れる。

(コイルは電流の変化を嫌がるので、立ち上がりが遅れる。)

■(2) 電流は電圧より  $\frac{\pi}{2}$  進む。

(充電の電流が先に流れ、あとから電圧が上がる。)

■(3) 位相が  $\frac{\pi}{2}$  ずれると、

$VI$  の1周期の平均が0 になる。

半周期はエネルギーを受け取り、半周期は返しているだけ。

熱にならないのがリアクタンスと抵抗の決定的な違い。

答 (1)  $\pi/2$  遅れる (2)  $\pi/2$  進む (3) 受け取った分をそのまま返すから

**5-4**  $X_L = X_C$ 

■(1) コイルとコンデンサーの効果が打ち消し合うとき

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

■(2)  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

■(3)  $R$  だけになる (最小)。

だから電流が最大になる。これが共振。

ラジオの選局は、 $C$  を変えて聞きたい放送の周波数に共振させている。

答 (1)  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$  (2)  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  (3)  $R$  だけ

**5-5** 単振動と同じ形

■(1)  $T = 2\pi\sqrt{LC}$

■(2) コンデンサーの電場のエネルギー  $\frac{Q^2}{2C}$  と

コイルの磁場のエネルギー  $\frac{1}{2}LI^2$  の間を行き来する。

合計は一定。

■(3) ばね振り子。

$$\frac{Q^2}{2C} \leftrightarrow \frac{1}{2}kx^2, \frac{1}{2}LI^2 \leftrightarrow \frac{1}{2}mv^2$$

$Q$  が位置、 $I$  が速度、 $L$  が質量、 $\frac{1}{C}$  がばね定数に対応する。

$T = 2\pi\sqrt{m/k}$  と  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  が同じ形なのはそのため。

答 (1)  $2\pi\sqrt{LC}$  (2) 電場と磁場のエネルギーが入れ替わる (3) ばね振り子

## 設定 6 変圧器と送電

**6-1** 電圧は比例

■(1)  $V_2 = \frac{N_2}{N_1}V_1$

■(2) 2倍

■(3) 電力が変わらないので  $\frac{1}{2}$  倍

電圧を上げれば電流は下がる。

エネルギーが増えるわけではない。

答 (1)  $\frac{N_2}{N_1}V_1$  (2) 2倍 (3) 1/2 倍

## 6-2 変化が必要

■(1) 生じない。

■(2) 一次側の電流が一定だと磁束が変化しないから。

誘導起電力は磁束の変化率で決まる。

■(3) その瞬間だけ生じる。

電流が 0 から立ち上がる間は磁束が変化するため。

変化しているあいだだけが誘導のすべて。

答 (1) 生じない (2) 磁束が変化しないから (3) 瞬間だけ生じる

## 6-3 高電圧が有利

■(1)  $I = \frac{P}{V}$

■(2)  $P_{\text{損}} = rI^2 = \frac{rP^2}{V^2}$

■(3)  $\frac{1}{V^2}$  に比例するので  $\frac{1}{100}$  倍

これが交流を使う最大の理由。

変圧器で自由に電圧を変えられるのは交流だけ。

答 (1)  $\frac{P}{V}$  (2)  $\frac{rP^2}{V^2}$  (3) 1/100 倍

## 6-4 手順を言う

■(1) 回路を貫く磁束が何によって変化しているか。

$B$  が変わるのか、 $S$  が変わるのか、向きが変わるのか。

■(2)  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

棒が動く設定ならその特別な形の  $vBL$ 。

■(3) レンズの法則。変化を打ち消す向き。

この3つで電磁誘導は全部片づく。

答 (1) 磁束が何によって変化しているか (2)  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  (3) レンズの法則



### 6-5 コイルとコンデンサー

■(1) コイル  $\frac{1}{2}LI^2$  (磁場)、コンデンサー  $\frac{1}{2}CV^2$  (電場)

■(2) コイルは導線、コンデンサーは断線。

■(3) コンデンサー。

$X_C = \frac{1}{\omega C}$  は周波数が高いほど小さいから。

2つはあらゆる点で正反対。

片方を覚えれば、もう片方はひっくり返すだけ。

答 (1)  $\frac{1}{2}LI^2$  と  $\frac{1}{2}CV^2$  (2) 導線と断線 (3) コンデンサー