

## 電荷と箔検電器

本時の内容

以下の操作を行い、その後の電荷の様子を図示し、各現象を説明する。

説明文は簡潔で良いが、主語・述語をしっかりと書いて、誰が読んでも分かるようなものにする。

[A] 導体球

- ① 毛皮で塩ビ(塩化ビニル)棒をしっかりと摩擦し、塩ビ棒を[ ]に帯電させる。
- ② 帯電した塩ビ棒を導体球にゆっくり近づける(接触させない)と、導体球はどうなるか?
- ③ 帯電した塩ビ棒を導体球にゆっくり近づけていき、導体球に接触させるとどうなるか?
- ④ ③の後、帯電した塩ビ棒を導体球にゆっくり近づけていくとどうなるか?

[B] はく検電器

- ① イオン放射装置を用いて、金属板にイオンを放射させると箔はどうなるか?  
※イオン放射装置の銀色のレバーを押すと陽イオンが放射されるので、イオン放射装置を近づけてレバーを押せばよい。ただし、レバーを押したままイオン放射装置は金属板から遠ざける(レバーを戻すときは陰イオンが放射される)。箔の変化がない場合はイオンの放射を数回繰り返す。ただし、イオン放射装置を金属板に近づけすぎないように注意をする。
- ② [ ]に帯電させた塩ビ棒を金属板にゆっくり近づけると箔はどうなるか?
- ③ ②の後、金属板に手で触れる(塩ビ棒は近づけたまま)と、箔はどうなるか?
- ④ ③の後、金属板から手を離し、さらにその後に塩ビ棒を遠ざけると、箔はどうなるか?
- ⑤ ④の後、金属板から塩化ビニル棒を遠ざけ、さらにその後に手を離すと、箔はどうなるか?

## 導体球が引っ付くときと引っ付かないときの違いは？

導体球に帯電した塩ビ棒を接触させたとき、離れるときとくっつくときがあった。  
条件を変えて実験をして、なぜそれが起こるか予想してみよう。

## 力場とポテンシャル場

問1 質量 $M$ の太陽の周りの太陽の中心から距離 $r_V$ のところに質量 $m_V$ の惑星がまわっている。また、距離 $r_E$ のところに質量 $m_E$ の別の惑星がまわっている。それぞれの惑星にはたらく万有引力の大きさを求めよう。

問2 問1をもう少し考えると、そもそも太陽は空間にどのような影響を及ぼしていると考えられるか？また位置エネルギーについても同様なことが言えるだろうか？その場合、空間にどのような影響を及ぼしているだろうか？

○力場とポテンシャル（場）

問3 地球上では、重力場と重力ポテンシャルはどのようになっているだろうか？

---

## 電場・電位

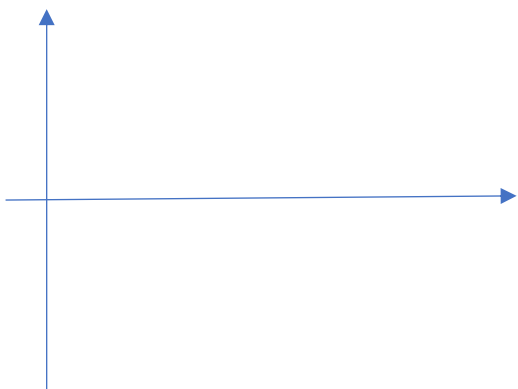
### 電場

電荷の周りに発生する力場

### 電位（静電ポテンシャル）

電場の周りに発生するポテンシャル場

問1 大きさ  $E$  一様な電場  $\vec{E}(\vec{x}) = (E, 0)$ がある。この空間上に生じている電位  $\phi(\vec{x})$ を求めよ。基準は適当にとって良いが、どこにすると都合が良いだろうか？



### 電気力線

電場を可視化したもの

### 等電位面

電位を可視化したもの

問2 電気力線と等電位面の間には、幾何学的な関係性がある。その関係性は何か？

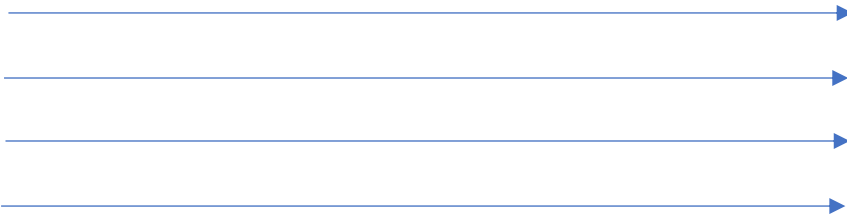
## ガウスの法則

ガウスの法則…電荷と、その周りに発生する電場の関係

電荷の周りがある閉曲面で囲んだ時、その閉曲面を垂直に貫く電場を足し合わせた値は電荷の値に比例する

$$\int (\vec{E} \cdot \vec{n}) ds = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

例 真空中に発生している一様な電場のケース



次の電場を、ガウスの法則を使って求めよ。

問1 電気量 $Q$ [C]の点電荷の周りに発生している電場

問2 線密度 $\rho$ [C/m]の直線電荷の周りに発生している電場

## ガウスの法則②

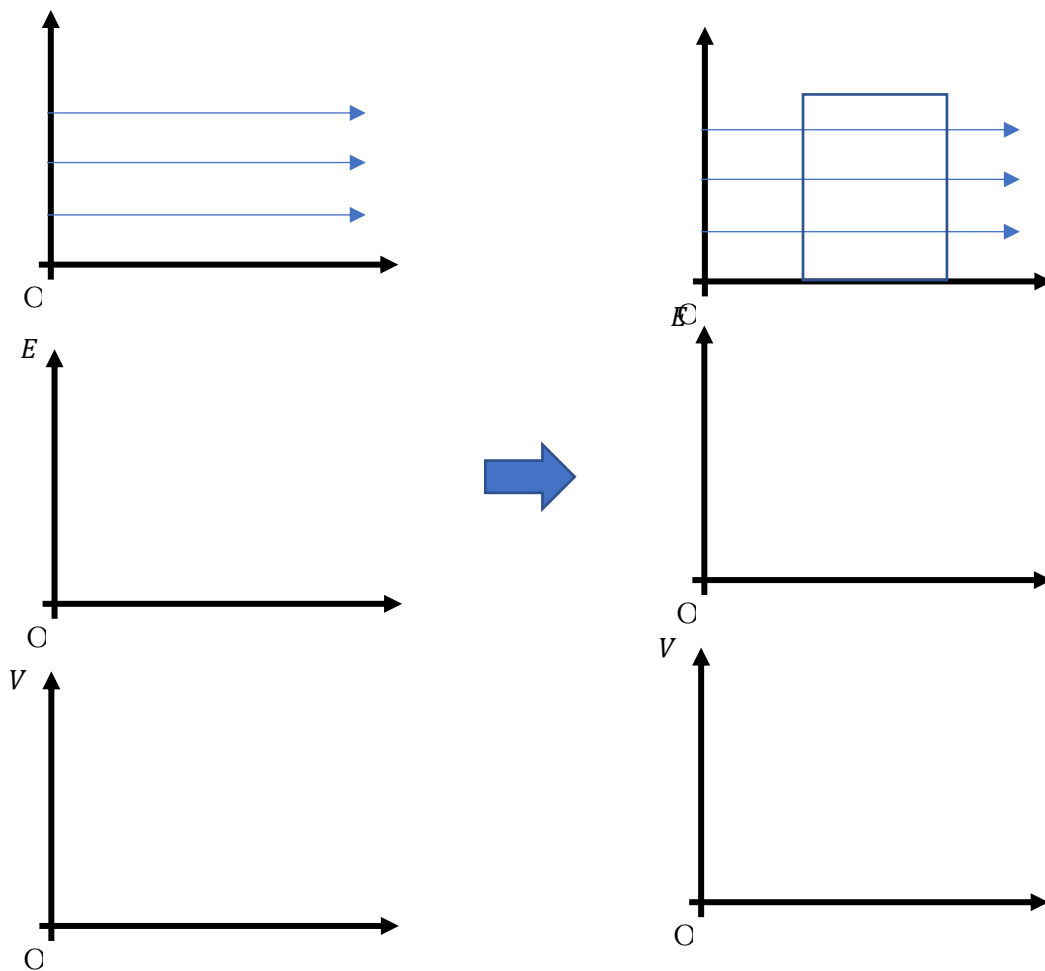
問1 単位面積あたりに $\sigma$ [C/m<sup>2</sup>]の電荷がたまっている無限に広い平面の周りに発生している電場

問2 面積  $S$ [m<sup>2</sup>]の2枚の平面の板に、それぞれ $Q$ [C]と $-Q$ [C]電荷がたまっていて、向かい合っているとき  
(端の影響は無視してよい)

ヒント：2枚の板両方を平曲面で囲むと…？

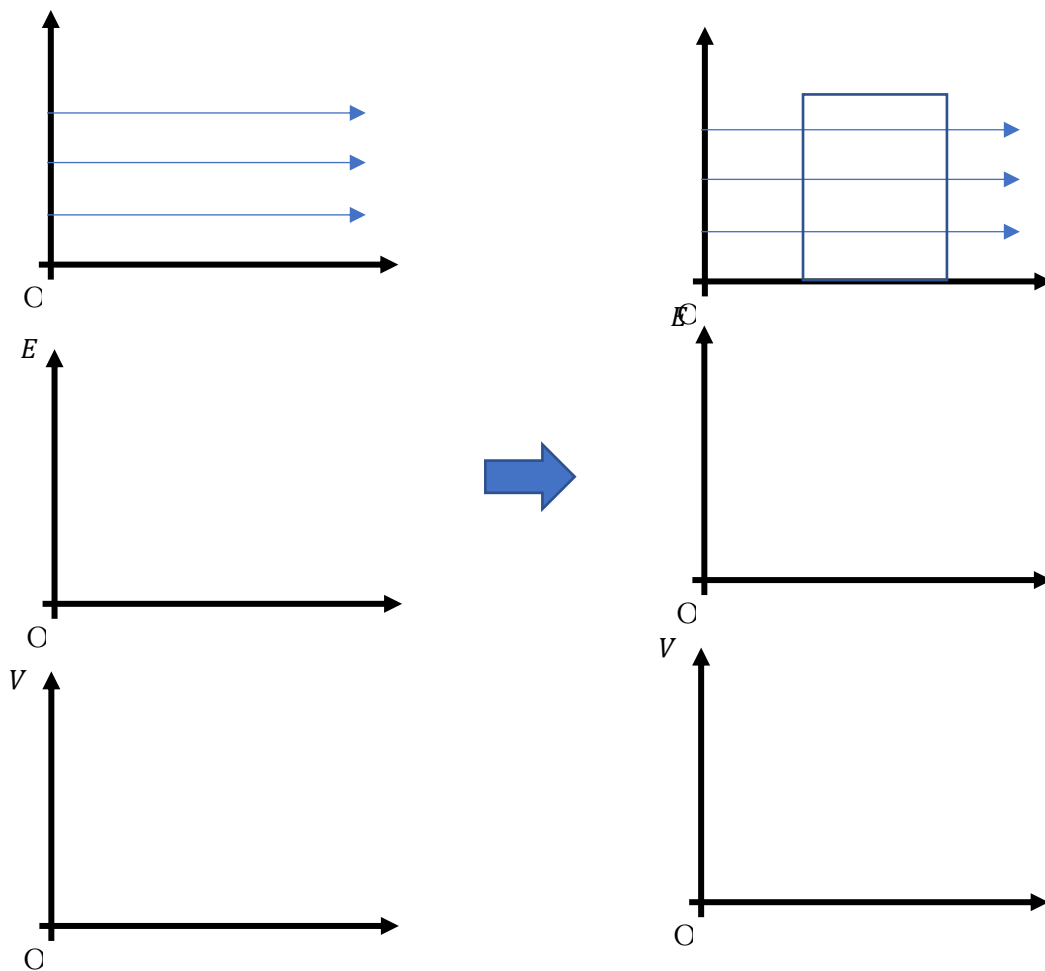
## 静電誘導

問 図のように $x$ 軸に平行な一様な電場がある。この中に図のように導体が置かれた場合、電場・電位はどのようなになるだろうか？グラフと図で示せ。また、なぜそうなると考えられたか、説明せよ。



## 誘電分極

問 図のように $x$ 軸に平行な一様な電場がある。この中に図のように不導体が置かれた場合、電場・電位はどのようなになるだろうか？グラフと図で示せ。また、なぜそうなると考えられたか、説明せよ。





## 電気回路

### 電気回路

電気回路を構成する代表的な素子はどのような役割を果たしているだろうか。詳しく調べよう。

(回路内での役割・性質・仕組み・記号 etc.)

- ①電池    ②コンデンサー    ③コイル    ④抵抗    ⑤ダイオード

## 磁場

磁極・磁気量：磁場を発生させるチャージ

NとSの2種類

$m[\text{wb}]$

磁場：磁極から生じる場

磁化：強磁性・常磁性・反磁性

単磁極が存在しない ⇒ 磁場の源としては、別のものがあるはず ⇒ 電流

問 直線電流が作る磁場・円形電流が作る場・ソレノイドが作る場をそれぞれまとめよ。

## 電流が磁場から受ける力

① 2本の直線電流が平行にあるとき、その2本の間には単位長さあたり (m)

$$F = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi r}$$

の力がそれぞれはたらく。(電流が同じ向き…引力 逆向き…斥力)

※昔のアンペアの定義は、ここからきていた

アンペアは、真空中に 1メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い二本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ 1メートルにつき  $2 \times 10^{-7} \text{N}$  の力を及ぼし合う一定の電流である。

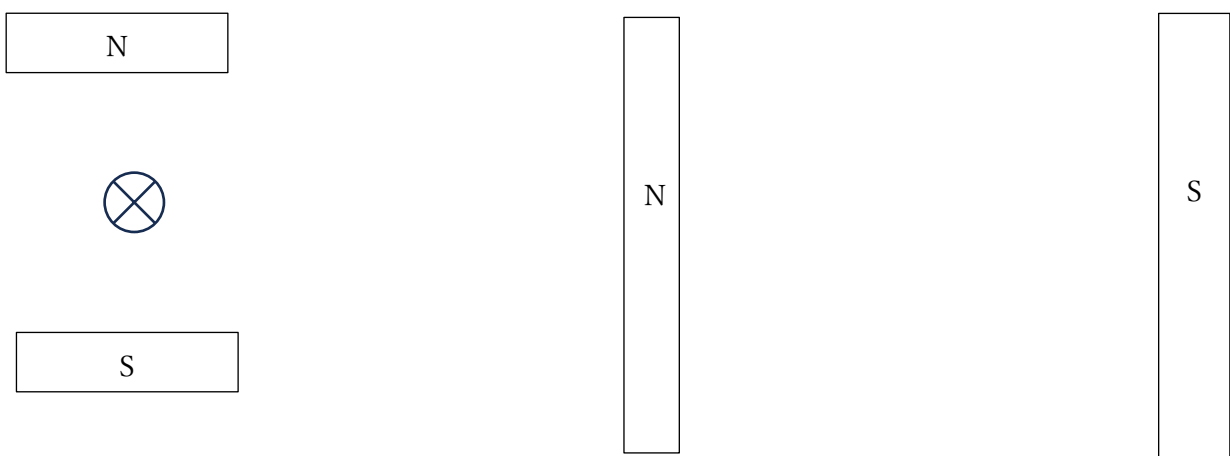
②直線電流の周りに発生する磁場の大きさは

問 ①、②より、電流が磁場から受ける力の大きさはどのようにあらわされると考えられるか？  
また、電子1個が磁場から受ける力はどうなると考えられるか？

## ローレンツ力

・ローレンツ力

問 ローレンツ力は、磁場の垂直成分のみが力に関与する。これは磁場の相互作用によるものと考えられる。磁場と荷電粒子の運動方向が垂直な場合と平行な場合で図を描いて、定性的に考えよう



問 一様な磁場の内部で、荷電粒子が運動する場合、どのような運動をするだろうか？  
またその運動の特徴を述べよ。



## 半導体・ホール効果

問1 半導体は p 型半導体と n 型半導体の 2 種類がある。その 2 種類について、それぞれまとめよう。

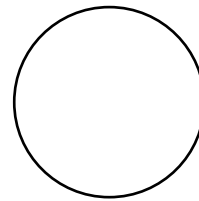
問2 半導体や導体電流を流して磁場をかけると、電流を流してる面と電流と磁場と垂直な面に電位差が発生する。この仕組みを説明しよう。また、n 型半導体、p 型半導体・導体で、どのように振る舞いの変化するだろうか？



## ファラデーの電磁誘導の法則

実験 コイルに磁石を遠ざけたり近づけたりすると、コイルに電流が流れる。流れ方について「磁束密度」に着目してまとめよう。まとめよう。

### ファラデーの電磁誘導の法則



※ 誘導起電力は、任意の平曲線上に生じている

問 次の回路に生じる誘導起電力を求めよう。

① 面積  $S$  の回路が静止、磁束密度が  $B(t) = B_0 t$

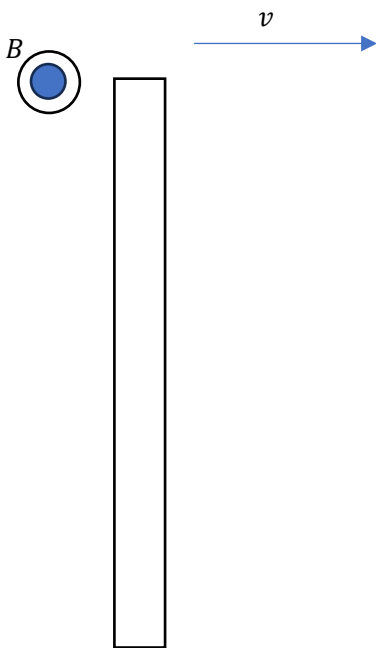
② 磁束密度が  $B$  で一定、長方形の回路の一边が速さ  $v$  で一定の方向に移動するとき  
(ヒント  $dS$  がどのように表されるか?)

## ファラデーの電磁誘導の法則②

### ファラデーの電磁誘導の法則

2 項目（面積変化による寄与）はローレンツ力で理解できる。

問 長さ  $l$  の導体棒が磁束密度  $B$  中を速さ  $v$  で運動している。導体棒中の電子にはたらくローレンツ力に着目して、導体棒の両端に生じる電位差  $V$  を求めよ。



1 項目（磁場の変化による寄与）は、既存の知識では理解できない  
⇒磁場と電場の性質と考えるしかない。

磁束密度が変化すると、その周辺に電場が発生する（その電場を足し合わせると、誘導起電力になる）

## コイル（電気回路）

問

(1) 断面積 $S$ 、単位長さあたりの巻き数 $n$ 、長さ $l$ のコイルに電流 $I$ が流れている。このコイルの内部に生じている磁場を求めよ。

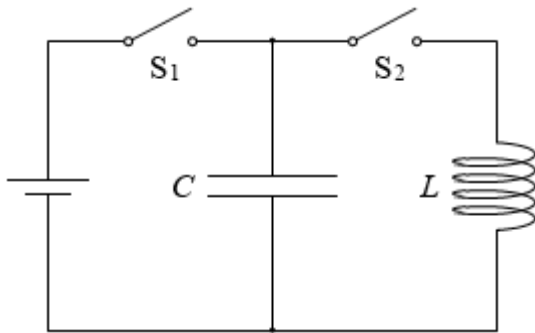
(2) このコイルに流れる電流が $\Delta t$ の間に $I$ から $I + \Delta I$ になる場合を考える。このときコイルにはどのようなことが起きると考えられるか、特に磁場に注目して考察せよ。

(3) 自己インダクタンス $L$ のコイルに起電力 $V$ の電池と抵抗値 $R$ の抵抗を直列につないだ。この回路に流れる電流の時間変化のグラフを描け



## コイルとコンデンサーを含む回路

次のような回路を考える



- ① スイッチ  $S_1$  を閉じて十分時間がたった時、コンデンサーにたまっている電荷を求めよ。
  
- ② ①のあと、 $S_1$  を開けて  $S_2$  を閉じると、コンデンサーからコイルに電流が流れる。コイルに流れ込む電流が  $I(t)$  のとき、コイルに生じる誘導起電力を求めよ。
  
- ③ ②のとき、コンデンサーにたまっている電荷を  $q(t)$  とすると、コンデンサーの両端の電圧を求めよ。
  
- ④ 電流の向きに注意して、電流  $I(t)$  と、電荷  $q(t)$  の関係を求めよ。
  
- ⑤ ②～④を使って、 $I(t)$  を計算せよ。

## 交流回路

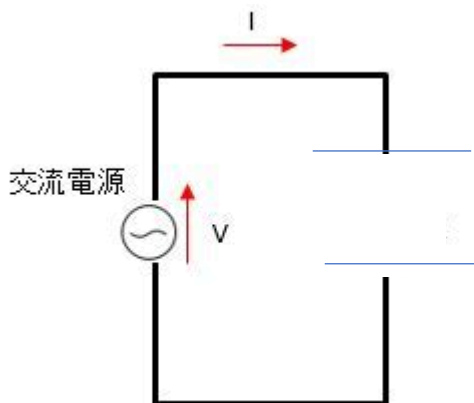
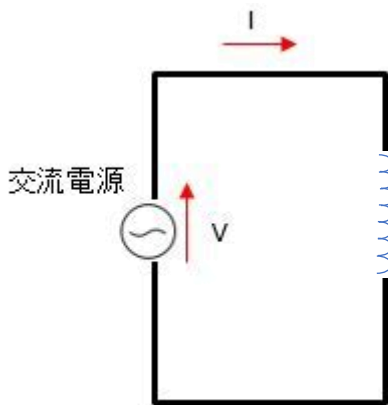
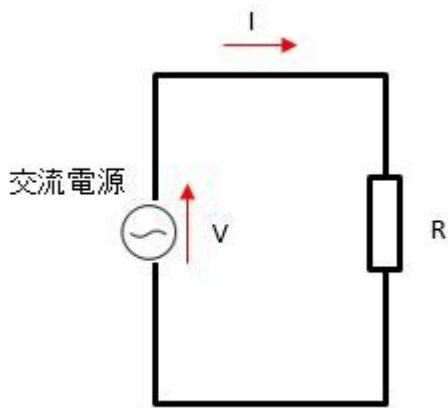
交流…時間的に変動する電流・電圧  
一般的に

$$V = V_0 \sin(\omega t + \theta)$$

$$I = I_0 \sin(\omega t + \theta)$$

### 交流回路と電気素子

交流電源に抵抗 $R$ 、自己インダクタンス $L$ 、電気容量 $C$ の回路にそれぞれ直列につないだとき、①回路を流れる電流②各素子の消費電力を求めよ。

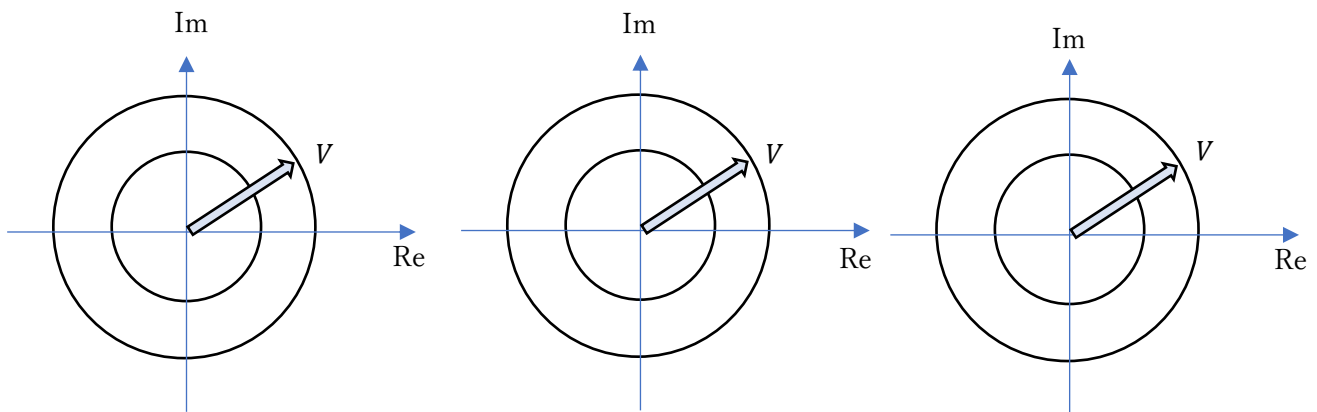


## 交流回路②

### 交流の複素数表示

- 交流は三角関数で表される ⇒ 複素数で表せる  
⇒ 実際の電流・電圧は複素数の虚部 or 実部を取り出せばよい

問 抵抗・コイル・コンデンサーの両端の電圧が  $V = V_0 e^{j\omega t}$  と表される場合、それぞれの素子に流れる電流はどのように表されるか。計算し、それを下の複素数平面に矢印で書き込め。



### フェーザ表示

計算で必要なのは、位相のずれと振幅 ⇒ そこだけ取り出して計算すればよい

## <<実験>> RLC 直列回路

### ◆ 目的

RLC 直列回路における各素子の両端の電圧を測定し、交流回路における電位と電流を考察する。

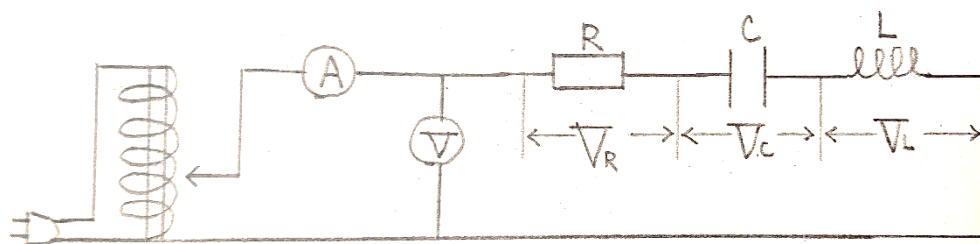
### ◆ 準備

60W 白熱電球、電球台、コンデンサー 2 種類、コイル（蛍光灯安定器）、交流電流計、交流電圧計、単巻き可変変圧器（スライダック）、テスター、導線

### ◆ 方法

\* 本実験は高電圧を用いるので、電流が流れているときは回路に絶対に触れないこと \*

① 下図のような RLC 直列回路を組む。※ コンセントにはまだ挿さない。



② 単巻き可変変圧器のダイヤルが 0 になっていることを確認し、コンセントを挿す。  
白熱電球の両端の電圧と白熱電流に流れる電流値を測定する。

③ 単巻き可変変圧器のダイヤルを調整し、電圧計の値が 100V になるようにする。

④ ③のときの電流計の値を読み取り、さらに電球、コイル、コンデンサーそれぞれの両端の電圧をテスターで測定する。

⑤ 単巻き可変変圧器のダイヤルを 0 にし、コンセントを抜く。

⑥ その後、コンデンサーを変えて、①～⑤をもう一度行う。

### ◆ 結果

(1) コンデンサー A  $47\mu\text{F}$

| 電圧計の値 $V$<br>(供給電圧) | 電流計の値 $I$ | 電球 (抵抗 $R$ )<br>の両端の電圧 $V_R$ | コイル ( $L$ )<br>の両端の電圧 $V_L$ | コンデンサー ( $C$ )<br>の両端の電圧 $V_C$ |
|---------------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                     |           |                              |                             |                                |

(2) コンデンサーB  $10\mu\text{F}$

| 電圧計の値 $V$<br>(供給電圧) | 電流計の値 $I$ | 電球 (抵抗 $R$ )<br>の両端の電圧 $V_R$ | コイル ( $L$ )<br>の両端の電圧 $V_L$ | コンデンサー ( $C$ )<br>の両端の電圧 $V_C$ |
|---------------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                     |           |                              |                             |                                |

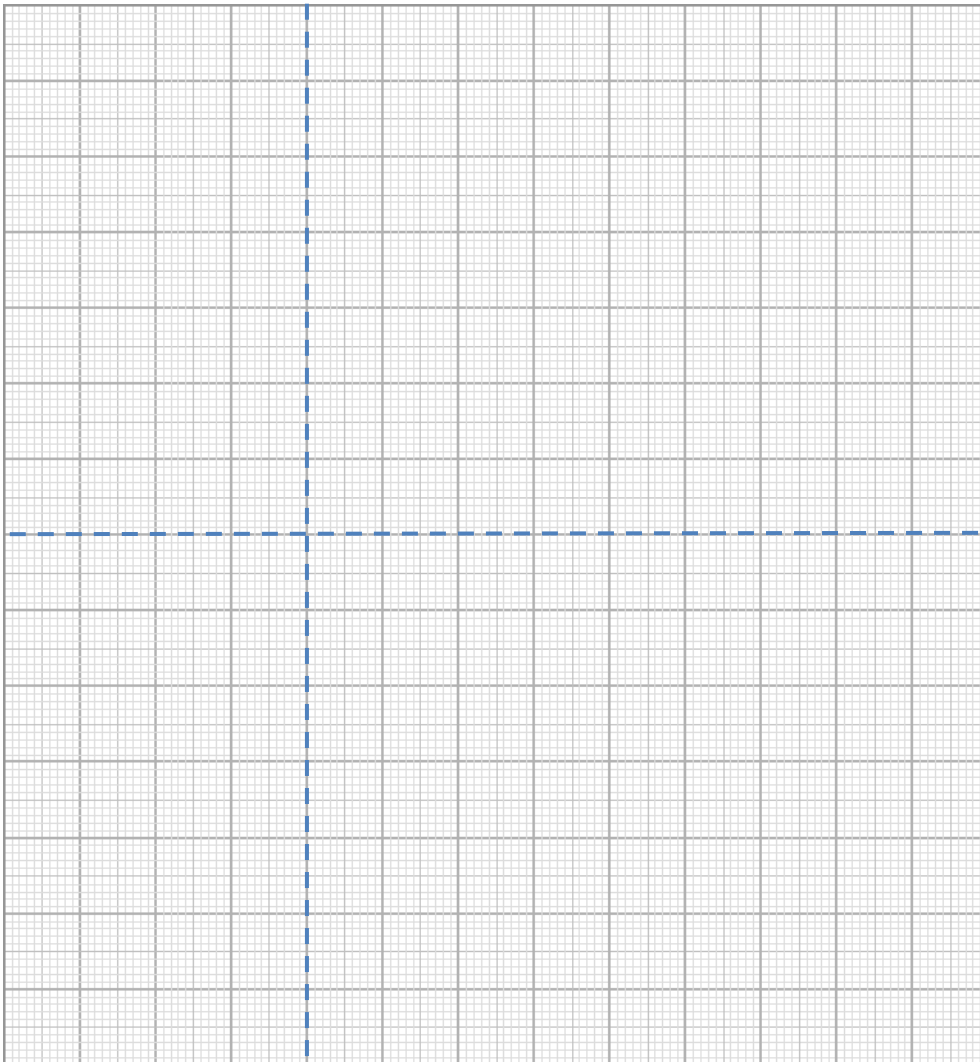
◆ 考察

① (1) コンデンサーA、(2) コンデンサーBのそれぞれのときのRLC直列回路のインピーダンス(回路全体の抵抗のようなはたらき)を実験結果から計算せよ。

(1) コンデンサーA  $47\mu\text{F}$

(2) コンデンサーB  $10\mu\text{F}$

② 供給電圧が100Vのとき、 $V_R + V_L + V_C = 100\text{V}$  とならない理由を下の方眼紙を用いて説明せよ。



③ 電球の抵抗値を  $R$ 、コイルの自己インダクタンスを  $L$ 、コンデンサーの電気容量を  $C$  とすると、RLC 直列回路のインピーダンスを求めよ。ただし、電源に用いた交流電源の角周波数を  $\omega$  とする。

④ その他、本実験から確認できたことを述べよ。

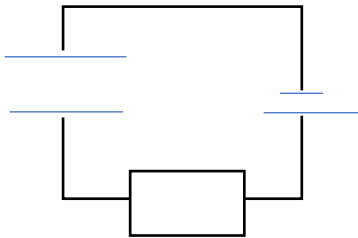
## 直流回路とコンデンサー

直流回路…電源の電圧の向きが変化しない回路

キルヒホッフの法則…直流回路に関する法則

- ① ある点に流れ込む電流と電圧は等しい
- ② 閉回路のある点から 1 周電圧を足し合わせると、0 になる。(抵抗だけでなく、全ての素子について言える)

コンデンサー…物理的に電荷をためる装置



## レポート課題

### ①コンデンサーの基本

コンデンサーとはどのような物か、自分自身でできるだけ詳しく述べよ。

②  $1\text{F}$  のコンデンサーに充電できる電荷の量を実験で求めよ。その際、どのような手法で求めたかを明確に示せ。

締切：7月4日（火）23:59 厳守

授業：6/15・16・19・22・27・30 7/3

## 電気回路ブラックボックスの作成

作業1 次のルールに従って電気回路ブラックボックスを作ろう

ルール1 端子は6つ

ルール2 端子間を直接接続するときに挟む素子は1つ

ルール3 使用できる素子は（発光）ダイオード、 $100\Omega$ の抵抗

ルール4 ループが作られてもよい。

作業2 答えを作成しよう。

作る過程で、ダイオードの性質などを適宜調べること。

作業3 挙動を確認しよう。

作業4 他の人に解いてもらおう。