

現役合格への 軌跡

2026 年度 神戸大物理 第 2 問〔問題編〕

今回は 2026 年度の神戸大の第 2 問（電磁気問題）について解説します。コンデンサーを含む回路問題で、テーマ自体は目新しいものではありません。さて、合格点を取るためにはどのようなことに気をつければよいのでしょうか？まずは問題にチャレンジしてみましよう。

Ⅱ 電磁気

図 1 の回路が真空中に置かれている。抵抗 R の抵抗値を R ，コイル L の自己インダクタンスを L ，電池 E_1 ， E_2 の起電力をそれぞれ E_1 ， E_2 ，コンデンサー C_0 ， C_1 ， C_2 の電気容量をそれぞれ C_0 ， C_1 ， C_2 とする。はじめスイッチ S_1 ， S_2 ， S_3 は全て開いており，コンデンサー C_0 ， C_1 ， C_2 に電荷は蓄えられていないものとする。また，点 A ， B ， X ， Y を図 1 のようにおく。以下の問 1～4 に答えなさい。問 1～3 は，解答の導出過程も示しなさい。導出過程で必要な物理量があれば，それらを表す記号は全て各自が定義して使用してよいが，答えには与えられた物理量のみを用いなさい。（配点 25 点）

問 1 スイッチ S_1 を閉じ，十分に時間が経過した。このときコンデンサー C_1 の点 A 側の極板上の電気量 Q_1 を求めなさい。また，この間に電池 E_1 がした仕事 W_1 を求めなさい。

問 2 問 1 の状態からスイッチ S_2 を閉じ，十分に時間が経過した。このときコンデンサー C_1 の点 A 側の極板上の電気量 Q'_1 ，およびコンデンサー C_2 の点 B 側の極板上の電気量 Q'_2 をそれぞれ求めなさい。また，点 X を基準とした点 Y の電位 V'_0 を求めなさい。

問 3 問 2 の状態からスイッチ S_1 を開き，次にスイッチ S_2 を開いた。この状態で，コンデンサー C_0 の極板と同じ形状の面を持ち，極板間の厚みと同じ厚みを持つ比誘電率 $\epsilon_r(>1)$ の誘電体を，コンデンサー C_0 の極板間に静かに完全に挿入した。このとき外力がコンデンサー C_0 にした仕事を求めなさい。その際， V'_0 を用いて解答してもよい。

問 4 問 3 の操作ののちスイッチ S_3 を閉じた。この時刻を $t=0$ として，点 X を基準とした点 Y の電位 V の時間変化の概略を図示しなさい。その際，電位の最大値および最小値と，それらを与える時刻を明示しなさい。

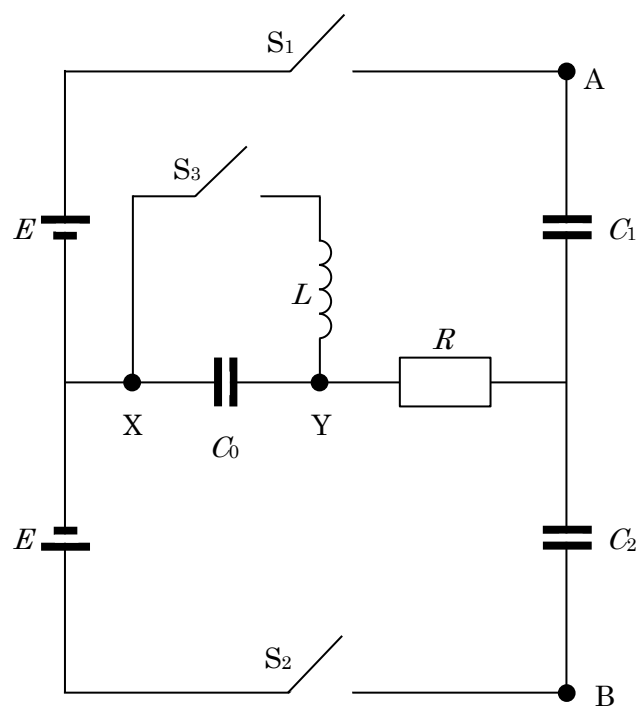


図 1

【解答】

問 1 コンデンサー C_0 の点 Y 側の極板上の電気量を Q_0 とする。キルヒホッフの第 2 法則より、

$$E_1 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_0}{C_0}$$

電荷保存より、

$$0 + 0 = (-Q_1) + (+Q_0)$$

2 式より、

$$Q_0 = Q_1 = \frac{C_0 C_1 E_1}{C_0 + C_1}$$

電池を通過した電気量は $Q_0 (= Q_1)$ であるから、

$$W_1 = Q_0 E_1 = \frac{C_0 C_1 E_1^2}{C_0 + C_1}$$

問 2 コンデンサー C_0 の点 Y 側の極板上の電気量を Q_0' とする。キルヒホッフの第 2 法則より、

$$E_1 = \frac{Q_1'}{C_1} + \frac{Q_0'}{C_0}$$

$$E_2 = \frac{Q_2'}{C_2} + \frac{Q_0'}{C_0}$$

電荷保存より、

$$0 + 0 + 0 = (-Q_1') + (-Q_2') + (+Q_0')$$

3 式より、

$$Q_0' = \frac{C_0(C_1 E_1 + C_2 E_2)}{C_0 + C_1 + C_2}$$

$$Q_1' = \frac{C_1\{(C_0 + C_2)E_1 - C_2 E_2\}}{C_0 + C_1 + C_2}$$

$$Q_2' = \frac{C_2\{-C_1 E_1 + (C_0 + C_1)E_2\}}{C_0 + C_1 + C_2}$$

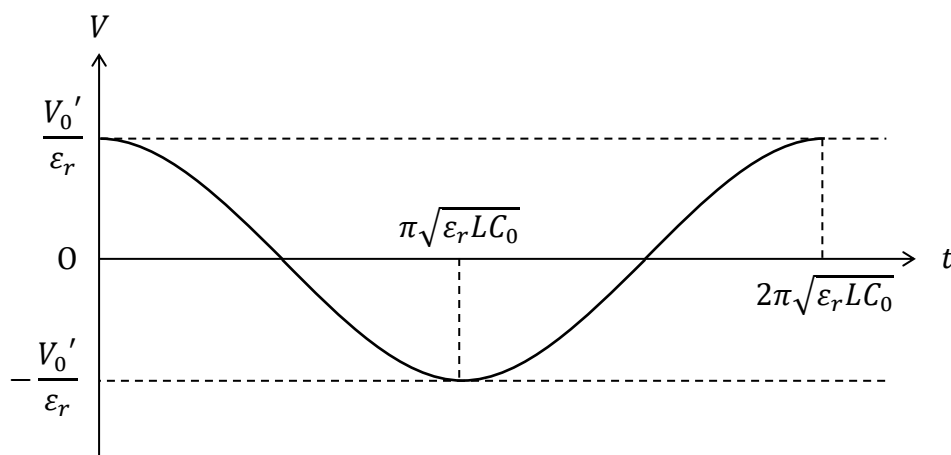
よって、

$$V_0' = \frac{Q_0'}{C_0} = \frac{C_1 E_1 + C_2 E_2}{C_0 + C_1 + C_2}$$

問 3 求める仕事を W_0' とする。回路のエネルギー関係より、外力がコンデンサー C_0 にした仕事は C_0 の静電エネルギー変化に等しいので、

$$W_0' = \frac{Q_0'^2}{2\varepsilon_r C_0} - \frac{Q_0'^2}{2C_0} = -\frac{(\varepsilon_r - 1)Q_0'^2}{2\varepsilon_r C_0} = -\frac{(\varepsilon_r - 1)C_0 V_0'^2}{2\varepsilon_r}$$

問 4 下図の通りである。



【解説】

問 1 いつものように、問 1 は基本問題と言ってよいレベルの問題ですので、確実に得点したいところですね。本問はコンデンサーを含む回路に関する問題です。よって、コンデンサーの電気量を求める場合の鉄板の解法は「キルヒホッフの法則」と「電荷保存の法則」です。確実に使えるようになっておきましょう。なお、「電荷保存の法則」を立てる際には「孤立部分＝電気が移動できる部分」に注目しましょう。本問では、「コンデンサー C_0 の右側の極板＋コンデンサー C_1 の下側の極板」の部分で電気が移動できますから、この部分の電気量の合計が保存されるわけです。解答例の通り、コンデンサー C_0 の電気量も設定して上記 2 式を素早く立てて解きましょう。また、電池がした仕事は（電池を通過した電気量）×（電池の電圧）で計算されますので、「電池を通過した電気量＝コンデンサー C_1 の上側の極板の電気量変化＝ $(Q_0 - 0)$ 」であることをしっかりとチェックしておきましょう。

なお、コンデンサーの電気量を求める別解として「合成容量」を用いるものがあります。本問においてはコンデンサー C_0 と C_1 が一直線につながっていて、かつ孤立部分（ C_0 の右側の極板＋ C_1 の下側の極板の部分）の電気量の和が 0 ですので、直列の合成容量

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1} \quad \therefore C = \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$$

を用いることができます。すなわち、

$$Q_0 = Q_1 = C E_1 = \frac{C_0 C_1 E_1}{C_0 + C_1}$$

となります。

問 2 解法は問 2 と同様ですが、問題状況がやや複雑になり、計算が煩雑となります。本問で差がついたかもしれませんね。まずは落ち着いて状況把握をしましょう。スイッチ S_2 も閉じられたため、コンデンサー C_2 にも電気量が蓄えられることとなりますが、問題状況から、コンデンサー C_2 の上側の極板に現れる電気量は、コンデンサー C_0 の右側の極板やコンデンサー C_1 の下側の極板から供給されることとなります。すなわち、「コンデンサー C_0 の右側の極板＋コンデンサー C_1 の下側の極板＋コンデンサー C_2 の上側の極板」の部分で電気量の移動が起こることになりますから、この部分の全電気量が保存することになるわけです。これが把握できれば、あとは解答例の通り、各コンデンサーの電気量を設定して「キルヒホッフの法則」と「電荷保存の法則」の法則を立てて解くだけです。解答例のように「キルヒホッフの法則」2 つと「電荷保存の法則」1 つの式を立てた場合、「キルヒホッフの法則」の 2 つの式の両方に Q_0' がありますので、「電荷保存の法則」の式から $Q_0' = Q_1' + Q_2'$ としてこれを「キルヒホッフの法則」の 2 つの式に代入して Q_0' を消去すればよいです。奇をてらわず、基本に忠実に解いていくのが最も確実で実戦的です。

問 3 さて、問 3 です。実はこの問 3 は、先の問 2 が解けていなくても解くことができます。なにやら前回紹介した力学問題と似ていますね。このように、前の小問が解けていなくても解くことのできる問題形式が、最近の神戸大の物理の問題では増加しているように感じます。ということで、解けない小問が現れたときでも次の小問を確認する、ということが大事ですね。希望を捨てずに取り組みましょう！

さて、問 2 が解けていなくても問 3 が解ける理由は、問題文の「 V'_0 を用いて解答してもよい。」という指定があるからです。 V'_0 とは問 2 における点 X を基準とした点 Y の電位のことで、これはすなわち問 2 におけるコンデンサー C_0 の電位差です。言い換えると、コンデンサー C_0 の電気量が $C_0 V'_0$ と与えられた、ということになります。本問はスイッチをすべて切ったため、コンデンサー C_0 は孤立しましたから、この電気量に変化はありません。このことをしっかりと把握しておきましょう。

さて、本問の具体的な解法は「仕事とエネルギーの関係」です。孤立したコンデンサー C_0 に誘電体を完全に挿入したのですから、挿入するために外力がした仕事分だけ、コンデンサー C_0 の静電エネルギーが変化することになります。素直な発想ですが、これを用いることになります。なお、静電エネルギーが変化する理由は、誘電体を挿入したことによって電気容量が変化するからです。コンデンサー間にすきまなく挿入されると、される前と比較して電気容量は ϵ_r 倍となりますね。電気量が変わらず電気容量が変化することになるので、静電エネルギーが変化することになるのです。

以上のすべてを把握すると、

$$W'_0 = \frac{(C_0 V'_0)^2}{2\epsilon_r C_0} - \frac{(C_0 V'_0)^2}{2C_0} = -\frac{(\epsilon_r - 1)C_0 V'_0{}^2}{2\epsilon_r}$$

と計算できます。計算は問 2 よりもずいぶん楽ですね。

問 4 さて、最終問題です。問 3 の状況からスイッチ S_3 のみを閉じます。これにより、コンデンサー C_0 とコイルが接続されることとなりますね。ということで、「コンデンサー C_0 とコイルをつなぐ回路で電気振動が発生する」ことに気づくことが最も重要です。これに気づけば、「電気振動において電位差は時間の三角関数で表されること」「スイッチを入れた直後は（コイルの電流の連続性より）電流が 0 であるので、コンデンサーの電気量や電位差の大きさが最大であること」「電気振動の周期は公式 $2\pi\sqrt{L \times \epsilon_r C_0}$ であること」を用いてグラフを描く形になります。

以上、いかがだったでしょうか？今回は設定自体は難しくありませんでしたが、問 2 に代表されるように、状況の把握と計算を正確にすることが重要でした。過去問を解くときには常に意識すべきことですね。ここまで読んでいただいた皆さん、ありがとうございました。次回は 2026 年の神戸大第 3 問の解説をします。