



一般的な指示: 実験試験

実験試験は5時間で合計20点です。

試験の開始と終了は試験監督が指示します。試験開始の指示の前に問題の入っている封筒などを開けてはいけません。開始から1時間ごとの経過時間、終了15分前、および終了時は、試験監督からアナウンスされます。

試験中:

- 提供されたペンのみを使用してください。図/スキーム（構想、計画を図にしたようなもの）/グラフの下書きに鉛筆を使っても構いませんが、その場合は、答案のスキャンが上手くいくように、最終版では、アウトラインをペンでなぞるようにしてください。
- 専用のアンサーシート（A マーク）は、最終的な解答を記入したり、グラフを描いたりするために用意されています：問題文にあるように、必要な観測値を適切な表やボックスに記入し、対応するグラフを描いてください。詳細な作業を行うために、白紙のワーキングシート（W マーク）が用意されています。ワーキングシートを使用するには、必ず小問番号を明記し、現在取り組んでいる大問のワーキングシートを使用してください（上部（ヘッダー）の大問の番号を確認すること）。採点されたくないことを書いた部分には、× を付けてください。すべてのページの表側のみを使用し、境界線の外側には何も書かないでください。
- 白紙のシートが足りない場合は、試験監督者に求めてください。支給されたシートのヘッダーには、国コードと学生コード（ワーキングシートと同じもの）、大問番号、小問番号、ページ番号を明記してください。
- 解答はできるだけ簡潔に書いてください：できるだけ数式や論理演算子、スケッチなどを使って自分の考えを説明してください。長い文章は避けてください。
- 誤差（不確かさ）の計算は、明確に要求されていない限り必要ありません。ただし、数字を記載する際には、適切な有効数字の桁数で記載してください。また、データポイントの数や測定のリターン回数、特に指示がない限り、自分で決めてください。
- 前の問題を解かなくても、後の問題が解けることがあります。
- 試験中はすべて録画されています。許可なくその場を離れることはできません。トイレに行きたくなったり、その他の支援（余分なシートやペン、水やスナックの追加）が必要な場合は、試験監督に伝えてください。

試験終了時:

- 試験終了のアナウンスがあったら、すぐに筆記を止めなければなりません。
- 終了後、各大問ごとに対応するシートを次の順序で重ねてください：一番上にカバーシート、その下にアンサーシート（A）、ワーキングシート（W）の順に重ねてください。さらにその下に白紙や余ったシートをまとめてください。これらのシートは、試験監督によってスキャンされ、サーバーにアップロードされます。
- 1つの大問に属するすべてのシートを同じ封筒または書類フォルダーに入れてください。ただし、この一般的な指示シート（G）と問題シート（Q）は、封筒または書類フォルダーに入れずに直接、机の上に置いてください。
- 試験監督から許可が出たら、試験会場から外へ出ることができます。試験会場から何も持ち出してはいけません。

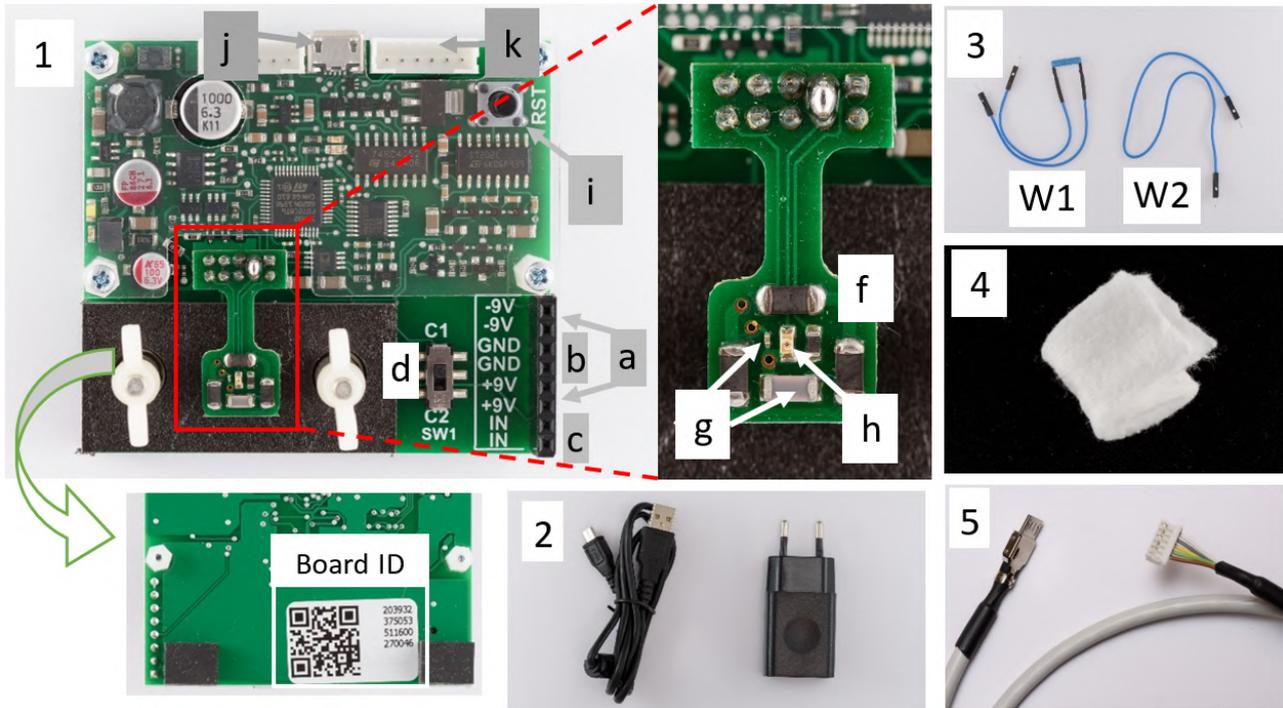


実験試験 - 全体のガイド

実験試験は5時間で、10点ずつの2つの実験問題から成る。装置の一部は2つの実験問題に共通なので、実験を開始する前にこの指示をよく読むこと。

装置のリスト:

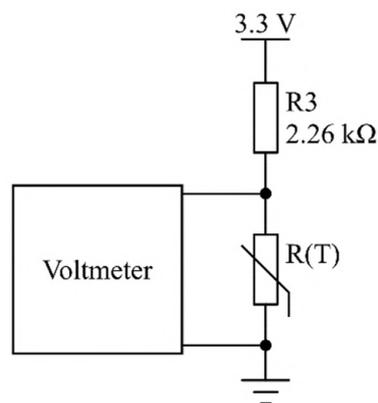
- 測定とサンプル回路には以下が含まれる：
 - +9Vと-9Vの定電圧電源(それぞれに2つの等価な端子が付いている),
 - 2つの等価な接地端子,
 - 2つの等価なコンデンサ端子,
 - コンデンサの選択スイッチ(C1もしくはC2に設定可能),
 - 低入力電流の電圧計(ボード内),
 - ヒーターと温度センサーを備えた温度調節器(ボード内),
 - コンデンサーサンプルC1とC2,
 - 定電流源と電圧計に接続されたLED,
 - リセットボタン,
 - USB電源ポート,
 - タブレット端末接続用6-PINデータポート.
- USB Micro-B端子を備えたボード用電源
- ジャンプワイヤー-W1(100 M Ω 抵抗R1を内部に備える)とW2(0 Ω).
- サーモスタット用断熱材.
- ボードとタブレットの接続ケーブル。タブレット側がUSB Micro-B端子プラグとなる。
- IPhO2021実験アプリの動作するタッチスクリーンタブレット(アプリのユーザーマニュアルは下で提供される)。
- 温度計(試験室で入手できる)。



温度調節器（サーモスタット）の温度はNTC（負の温度係数）のサーミスターで測定され、その抵抗は絶対温度 T (ケルビン単位) に次のように依存している:

$$R(T) = R_0 e^{B/T}, \quad (1)$$

$B = 3500 \text{ K}$, R_0 -定数は、加熱を始める前に周囲の温度から計算されなければならない。この定数の値は両方の実験で必要である。サーモスタットの温度は加熱電流を（アプリを介して）変化させることで制御される。加熱電流を変化させた後、安定な温度に到達するまで待つ必要がある。それに対して、部品（コンデンサ、NTC および LED）間の熱平衡はすぐに達成すると仮定されており、明確な遅れは観察されない。



より安定な温度条件を確保するため、サーモスタットの上に断熱材が1層置かれており、その上に小さなプラスチックプレートが2本のネジで押さえ付けられている。

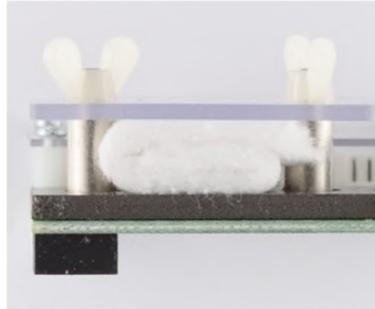
Experiment



IPhO Lithuania
2021

G1-3

Japanese (Japan)



注意:

ボードやその上のソケットを傷めないために、余分な力を加えずに全てを正しく接続すること。
液体は電気回路と共存できないので、液体（飲水のような）を実験装置の近くで取り扱う際には十分に気を付けること。誤って電気製品に液体がかからないようにすること。



IPhO 2021 実験アプリユーザーマニュアル

IPhO 2021 実験ソフトはタブレットのホームスクリーン（もしくはスクリーンを下から上へスワイプすることでアクセス可能なアプリのリスト）で IPhO のアイコンをタップすることで起動できる。



ボードで測定した値をタブレットに読み込むために:

1. USB チャージャーを用いてボードの電源を入れる;
2. 接続ケーブル（ボード側は 6-pin 端子，タブレット側は Micro-USB 端子）を用いてボードとタブレットを接続する;
3. USB のアクセスを確認してアプリの指示があったら 10 秒の間にボードをリセットする。

注意: 場合によって

- ボードが反応しなくなり，測定値を返さない (“Check state”もしくは Measurement mode で)，
 - 加熱/LED 電流値が変化しない（温度調節器が変化せず，LED の最大電流でも LED が点灯しない），
- ボードのリセットボタンを押し上のステップ 3 「USB のアクセスを確認して・・・」を行う

それでも改善しない場合:

- Back ボタンを 2 回タップしてアプリを終了する，
- ボードから配線を外す，
- アプリをもう一度開く，
- ボードを再接続して上のステップ 3 を行う。

Experiment



G1-5

Japanese (Japan)

コントロールとフィールド（番号は後の参照用）：



アプリのメインウインドウ。

- 1-このトグルをタップすることで測定セッションが始まる。もう一度タップすると測定が終了する。
- 2-このトグルが選択されると、スクリーンには現在（ライブ）の測定値が表示される。
- 3-セッティングを開く。
- 4-セッティングの短いまとめをポップアップする。
- 5-保存や消去される測定のタイトル
- 6-新しい測定もしくは選択した測定を新しい名前で保存。
- 7-選択した測定を消去。
- 8-以前保存した測定を選択。
- 9, 10, 11 -手動で加熱電流を入力するフィールド (9), LED 電流 (10), LED 電流パルス幅 (11) の値。何も入力されていなければ 0 を意味する。tL (LED 電流パルス幅) = 0 は一定電流の通電を意味する)。
- 12, 13, 14 -該当する値を変化させるシークバー（スライダ）（LED 電流は指数関数的に変化する!）
- 15 -関数エディターを開く。
- 16, 17, 18 -測定表の列に対する変数や関数を選択。
- 19 -測定表のエリア。
- 20 -チャートの測定値をマニュアルでプロットし直す。

- 21, 22 –X 軸の最小と最大の限界（マニュアルで入力後 replot ボタンを押す）。
- 23, 24 –Y 軸の最小と最大の限界。
- 25, 27 –チャートの Y および X 軸を選択。
- 26 –チャートにプロットする測定を選択。
- 28 –チャートのエリア。
- BB –アンドロイド OS のバックボタン（2 回タップするとアプリを閉じる）。

電流-電圧掃引曲線測定のセットアップ

メインウィンドウのセッティングボタン (3) をタップすることで、LAB 2 用の追加の LED 制御が可能。

開いたウィンドウ内で選択:

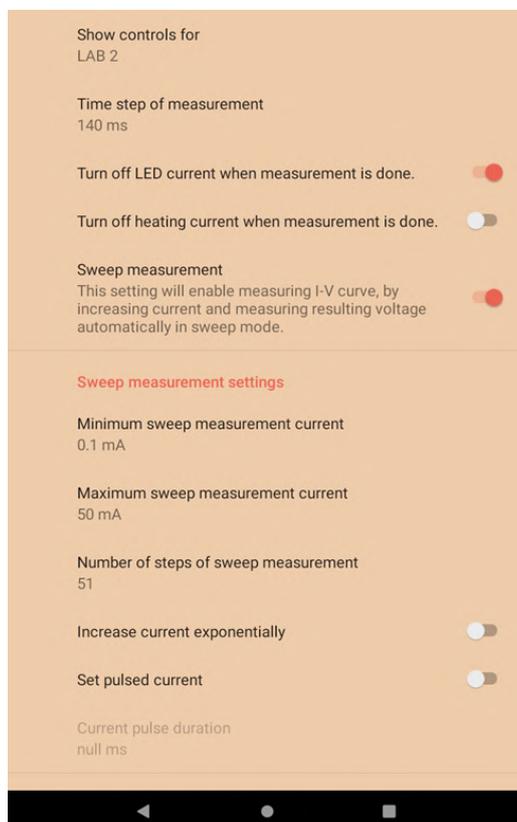
- ”Show controls for” セクションで”LAB 2” もしくは”ANY LAB”を選択。
- ”Sweep measurement” オプションを有効化。

他の設定は:

- ”Minimum...” (掃引測定電流の最小値) と ”Maximum sweep measurement current” (掃引測定電流の最大値) では掃引測定時の LED 電流の開始値と終了値をそれぞれ設定
- ”Number of steps of sweep measurement” (掃引測定のステップ回数) は何回の測定ステップを行うかを設定。
- 指数関数的に電流を増加させたいときには ”Increase current according to geometric progression” (指数関数的に増加) を選ぶ。
- LED 電流の時間を制限したパルスを用いて測定したいときには ”Set pulsed current” (パルス電流の設定) を選び, ”Current pulse width” (電流パルス幅) を設定。

例えば、ステップ回数が 51, ”Increase current according to geometric progression” (指数関数的に増加) はオフ、LED 電流を 0 mA から 50 mA まで変化させると設定すると、測定中の LED 電流は 0 mA, 1 mA, …49 mA, 50 mA となる。

これで、Back ボタンを押してメインウィンドウに戻った後、電流-電圧曲線の測定を開始できる。



関数編集

メインウィンドウで (15) ボタンをタップすると関数編集ウィンドウが開く。

作成された関数は、ボード上で直接測定されたいくつかの変数（およびその微分）を受け入れることができる。

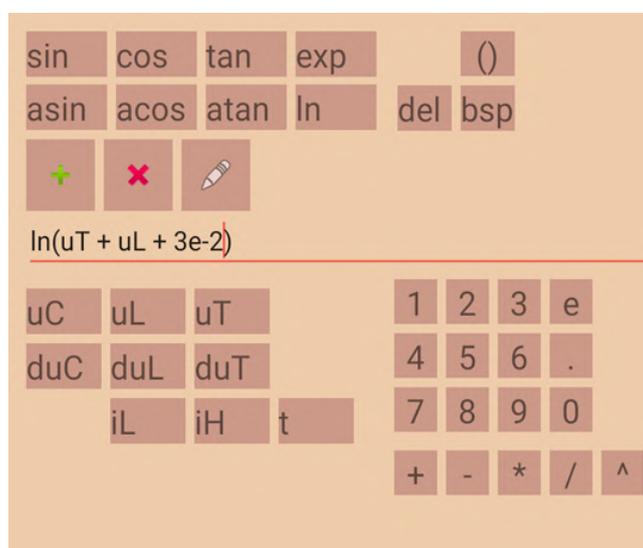
それらは:

- 電圧 (V 単位):
 - u_C - 選択したコンデンサーでの (C1 もしくは C2);
 - u_T - サーミスターでの;
 - u_L - LED での;
- それらの時間に対する微分 (dy/dt) (V/s 単位):
 - du_C
 - du_T
 - du_L
- 電流 (mA 単位):
 - i_L - LED で (mA 単位);
 - i_H - 加熱電流 (mA 単位);
- 時間 t (s 単位).

これらの変数や（ヘルパーボタンもしくは標準の 안드로이드 キーボードを利用して）選択した数学関数を用いて作成した新たな関数（カスタム関数）を入力し，その後で**緑色の +** ボタンを押すことによりそれを保存することができる．保存された関数はグラフの軸もしくは測定表の列として使用可能である．鉛筆ボタンは既存の関数を選択する．選択された関数は**赤色の x** のボタンを押すことで消去できる．

数字には，通常的小数点形式（例えば **25.02**）と科学形式（例えば **2.502e+1**）の両方の形式が許容される．

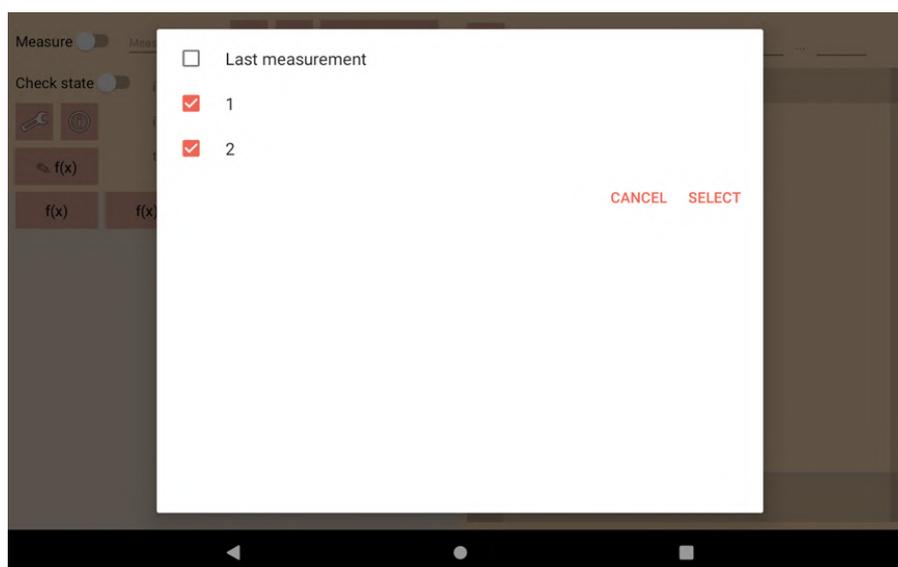
- * は積の演算子，
- / は商の演算子，
- ^ は指数の演算子．



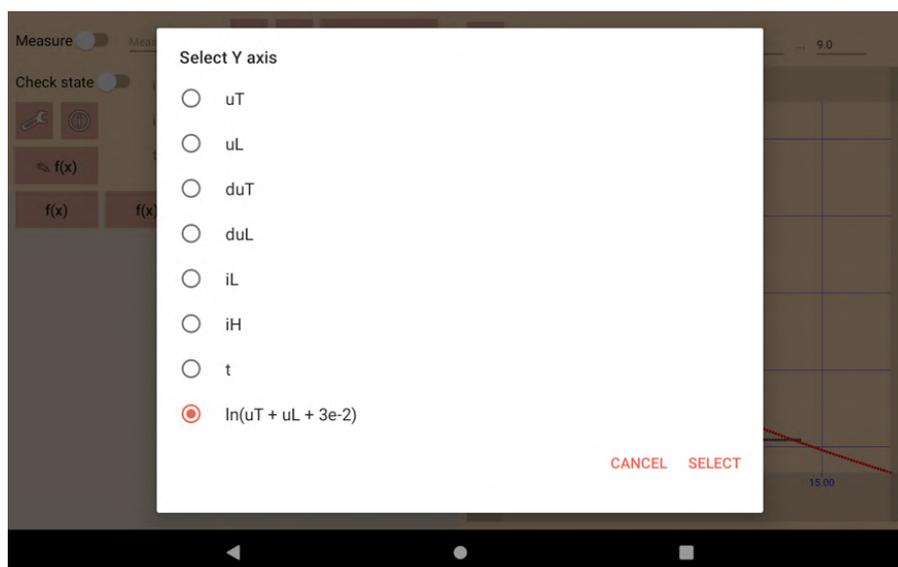


測定の表示

終了した測定は、メインウィンドウの (5) のフィールドに名前を入力し、近くの緑色の + ボタン (6) を押すことで保存できる。生の測定データが保存され、後で他の軸の上に表示可能である。保存された測定は、チャートの左下隅付近のエリア (26) をタップすることで、チャート上に表示できる。



チャートの平行移動と拡大縮小が可能である。さらに適当な点でタップすると、(もしタップされた点の近くに測定点が存在しなければ) 最も近くの測定点あるいは測定点そのものが強調表示され、その軸が表示される。



軸は既存の軸のラベルをタップすることで選択できる。(チャートエリア 25 と 27)。



理想的でないコンデンサ (10 点)

この実験はコンデンサの性質を調べることを目的にしている。

コンデンサの静電容量 (以下この問題では静電容量といえば微分静電容量のことを常に指すものとする) は、抵抗 R_1 を経由した充放電における電圧の時間変化 $U(t)$ のグラフに基づいて定まる。回路に依存するが、微分静電容量を決定するためには、コンデンサの充放電電流の電圧依存性 $I(U)$ を知る必要がある。

$$C(U) = \frac{dq}{dU} = \frac{Idt}{dU} = \frac{I(U)}{dU/dt} \quad (1)$$

この実験において与えられた電気回路は図 1.1 に示されている。ボード上のスイッチ S1 を切り替えることで、コンデンサ C1 とコンデンサ C2 を切り替えることができる。スイッチ S1 の真ん中の位置はこの問題において意味を持たないため、使わないように注意せよ。

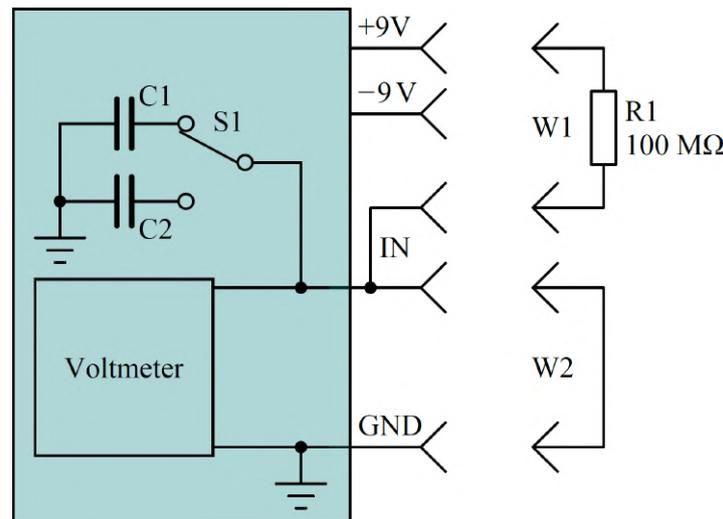


図 1.1. この実験における電気回路

注意： 標本コンデンサのうちの一つは、コンデンサにかかる電圧の変化率に依存した誘電率を持つ誘電体を含んでいる。できる限りこの変化率を安定に保つため、正の電圧についての測定の際は 9V から -9V へと変化させるようにし、負の電圧についての測定の際は -9V から 9V へと変化させるようにせよ。測定された静電容量はコンデンサの直前の状態の影響を受けうるため、測定の前に少なくとも 10 秒はコンデンサを測定開始時の電圧に保っておくこと。

パート A. 室温でのコンデンサ (4.0 点)

室温において、電圧に対するコンデンサ C1 と C2 の静電容量を測定しそのグラフを描け。ただし、すべてのグラフは同じ軸上に示すこと。

- | | | |
|-------------------|--|--------------|
| <p>A.1</p> | <p>-7V から 7V の範囲で $C_1(U)$ と $C_2(U)$ を測定しそのグラフを描け。また、アンサーシートに 0V, 3V, 6V のときの C_1 と C_2 を記せ。生の測定データから静電容量を計算するのに用いた式を記せ。さらに、ボードの ID と室温も記せ。</p> | <p>2.3pt</p> |
|-------------------|--|--------------|

A.2 コンデンサの静電容量の電圧に対する相対変化 $\left(\frac{dC(U)}{C(U)dU}\right)$ が最大となるような電圧 $U_{\text{max change}}$ を求めよ。アンサーシートに C1 と C2 のどちらのコンデンサが最大の相対変化を示したか記し、そのときの電圧を記せ。 0.5pt

A.3 6V のとき、コンデンサ C1 と C2 に蓄えられた電荷 q_1 と q_2 を求めよ。 1.2pt

パート B. NTC サーミスタの校正 (1.0 点)

NTC (Negative Temperature Coefficient; 負温度係数) サーミスタの室温 (試験場の温度計により既知である) における電圧を測定せよ。 ”実験試験 - 全体のガイド” に示してある、抵抗対温度の関係式 (1) とその回路図を参照せよ。

B.1 NTC サーミスタの定数 R_0 を求めよ。 1.0pt

パート C. 種々の温度でのコンデンサ (3.0 点)

C.1 40 °C, 65 °C, 85 °C の温度において、-7V から 7V の範囲で $C_1(U)$ と $C_2(U)$ を測定しそのグラフを描け。 1.3pt

C.2 0V と 6V のときの静電容量の、室温から 85 °C までの温度依存性 $C_1(T)$ と $C_2(T)$ をグラフに示せ。 0.5pt

C.3 電圧が 0V, 6V のときの比率 $C(85^\circ\text{C})/C(40^\circ\text{C})$ を、コンデンサ C1 と C2 両方について求めよ。 1.2pt

パート D. 測定誤差の原因 (2.0 点)

この実験のこれまでの課題では、初期状態に長く保つという条件の下で行われてきた。より短い充放電時間 (0.1 - 10 s) にした場合を考えて見ると、複数の誤差要因が存在しうると考えられる。

- リーク電流
- 経過時間のスケールに依存する誘電率として表現される、コンデンサの誘電体媒体の分極特性

注意: 断熱材が空気中の水分を吸収して導電性を持つようになっているかもしれない。漏れ測定をする際には取り除くこと。

C1 と C2 の測定誤差の主要因を決定せよ。コンデンサの漏れ電流や電圧計の入力電流は電圧に依存するので、9V 付近の電圧における誤差を推定せよ。これらの質問に答えるために、どのような補助的な測定をどのような条件の下で行うべきかを考えよ。以下の D.1 及び D.2 の問題に対する回答においては、以下の表で例示されているように、測定の条件やどのような量を測定したか、測定に基づいてどのような結論が得られたかを示すと良い。

補足: これらはどのように測定の概略を描写すれば良いかの一例でしかない。測定の適切な条件は自分自身で決定する必要がある。



設問 D.1 及び D.2 に対する回答例を以下に示す。

例 1.

測定回路に接続された C1 の電圧変化率は 9V のときの方が 0V のときよりも大きいことを示す。

可能な S1 の位置：C1, C2

可能な IN の接続先：+9V, -9V, GND, Free

初期設定：

S1 の位置	IN の接続先
C1	9V

測定過程：

番号	S1 の位置	IN の接続先	測定時間, s	測定した量
1	C1	Free		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		$ duC(t) /dt$

確かめられたこと： $|duC(t)|/dt|_1 > |duC(t)|/dt|_3$

例 2.

9V における C1 の電圧変化率は、0V から始めた 1000 秒間の平均の電圧変化率よりも大きいことを示す。

可能な S1 の位置：C1, C2

可能な IN の接続先：+9V, -9V, GND, Free

初期設定：

S1 の位置	IN の接続先
C1	9V

測定過程：

番号	S1 の位置	IN の接続先	測定時間, s	測定した量
1	C1	Free		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		uC
4	C1	Free	1000	
5	C1	Free		uC

確かめられたこと： $|duC(t)|/dt|_1 > (uC|_3 - uC|_5)/1000$

D.1 C₁(9V) を測定する際の誤差の主要因は何か？ 測定の手順を表で示せ。

1.0pt

Experiment



IPhO Lithuania
2021

Q1-4
Japanese (Japan)

D.2 $C_2(9V)$ を測定する際の誤差の主要因は何か？ 測定の手順を表で示せ.

1.0pt



発光ダイオード (LED) (10 点)

この実験では LED の熱的，電気的な性質を調べる．PCB の温度測定に当たっては，問題 1 の B.1 で得られた係数を用いること．この実験で用いられる電気回路は図 2.1 に示されている．装置のガイドについては，問題 1 の説明を参照すること．

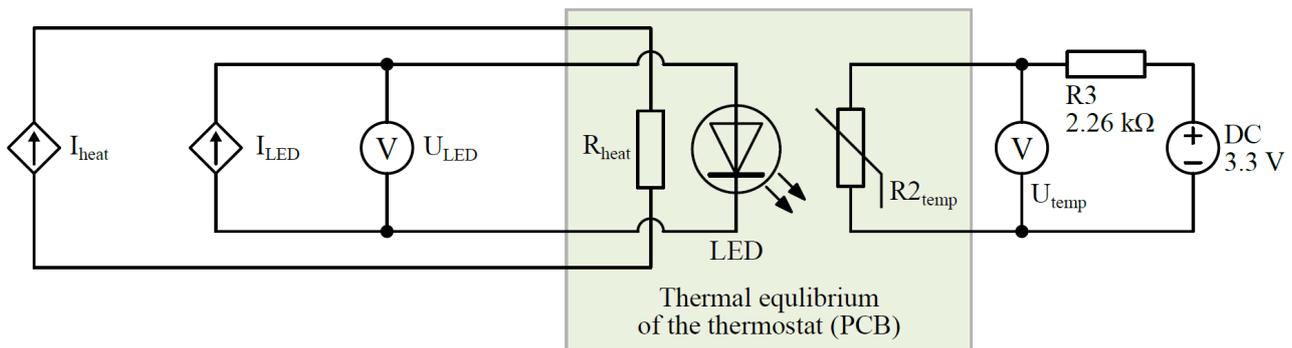


図 2.1. LED 実験のセットアップ．LED は定電流 (連続的もしくはパルスモード) で動作し，高インピーダンス電圧計で順方向の電圧を測定する．加熱や温度測定の部分は実験 1 と同様である．PCB(printed circuit board: プリント回路ボード) 上のすべての部品は熱平衡状態にある．

白熱電球では定電圧が用いられるのと対照的に，LED は定電流で駆動されるのが一般的である．測定される LED の電圧は，設定電流や半導体の温度に依存する．電圧-電流特性の数学的な表現は複雑であり，物理的，技術的な (多くの場合不明な) パラメータに依存する．そこで，この実験では電圧対 LED 電流，LED 温度 T_J の 2 次元的な関係 (以下の式) を調べる．

$$U_{LED} = \text{function}(I_{LED}, T_J).$$

LED 半導体と PCB との間の熱抵抗は，(いくつかの電流値 (I_{LED}) において) 以下のように電力 P と関係している：

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{(T_J - T_{PCB})}{P}.$$

注意： LED は連続的電流もしくは短いパルス電流で駆動できる．後者においては，LED の自己発熱を無視できるようにパルス幅が十分短いことが仮定され (例えば，1 ms のパルス幅で，最低でも 100 ms の間隔を開けて測定)，そのような駆動方法においては $T_J = T_{PCB}$ と考えられるものとする．連続的な操作においては $T_J > T_{PCB}$ であり，熱抵抗 $\frac{\Delta T}{P}$ が計算できる．

パート A. 異なる温度における電圧-電流特性 (5.0 点)

実験 1, 2 における加熱の物理的仕組みは同じである．そのため，実験 1 で得た結果を使ってサーミスタの電圧と温度とを関係付けることができる．もしくは，以下の近似的な関係を用いてもよい：

$$T(U) = \frac{3500}{9.9 - \ln(\frac{1}{U} - 0.3)},$$

ただしここで T はサーミスタの温度を単位をケルビンとして表記したものであり， U はサーミスタの電圧をボルトを単位として表記したものである．



LED において、温度を室温から 80 °C まで変化させたときの電流対電圧の関係をパルスモードで測定しグラフにする。

A.1 $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ を 3 mA から 50 mA までの範囲で、室温, 40, 60, 80 °C で測定せよ。全ての曲線と同じグラフに描くこと。 2.5pt

A.2 駆動電流 $I_{\text{LED_pulsed}}$ が 3, 10, 20, 40 mA, また温度が室温, 40, 60, 80 °C のとき, 対応する $U_{\text{LED_pulsed}}$ の値をアンサーシートの表に記せ。 1.0pt

A.3 $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ の主要な点 (問題 A.2 でリストにしたもの) をグラフにし, 3, 10, 20, 40 mA において電圧の温度への線形依存の係数 $(\Delta U(I)/\Delta T)$ を (グラフを用いて近似的に) 計算せよ。 1.5pt

パート B. 連続的駆動電流を用いたときの LED の電圧-電流特性の測定 (3.5 点)

B.1 連続的駆動を用い, ヒーターを切った状態で, 3 mA から 5 mA の範囲で $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ を測定し, グラフにせよ。またその際, アンサーシートの表に 3, 10, 20, 40 mA における以下の値を記入せよ。 $U_{\text{LED_continuous}}$, PCB (サーモスタット) の温度 T_{PCB} , 電圧の差 $\Delta U = U_{\text{LED_pulsed}} - U_{\text{LED_continuous}}$ 。 1.5pt

B.2 LED の抵抗は定数ではない (電流に依存する) ことから, 動的抵抗という用語が用いられ, $\frac{dU}{dI}$ と表現される。B.1 のグラフを用いて, LED の動的抵抗の逆数 $1/(\frac{dU}{dI}) = \frac{dI}{dU}$ を推定せよ。アンサーシートに 3, 10, 20, 40 mA における $\frac{dI}{dU}$ の値を記せ。またグラフ上の各点 (3, 10, 20, 40 mA) において $\frac{dI}{dU}$ を傾きとする接線を描け。 0.5pt

B.3 連続的操作を行っている半導体の温度 (T_J) と PCB の温度 (T_{PCB}) との温度差 $\Delta T(P)$ を (3, 10, 20, 40 mA における) 電力の関数として計算し, グラフにせよ。LED の線形熱抵抗 $\frac{\Delta T}{P}$ を (グラフを用いて近似的に) 計算し, アンサーシートに記せ。補足: LED により消費される全ての電気的なエネルギーは熱に変換され, 光として放出されるエネルギーは無視できるものとする。 1.5pt

パート C. 温度による LED 電流の変化 (1.5 点)

イントロダクションでも述べられているように, LED は通常, 定電圧ではなく定電流で駆動される。ここでは, 名目上では 20 mA の電流で LED を駆動するとしつつ, 実際には定電圧, 具体的には実験 B.1 の 20 mA で測定した電圧を用いて LED を駆動した場合を考える。

C.1 パート B で計算した LED 特性を用いて, もし電圧が一定に保たれ (具体的には, B.1 で測定した $U(20\text{mA})$), PCB の温度が 0 °C, 40 °C だった場合に, LED を実際に流れる電流を推定せよ。 1.5pt

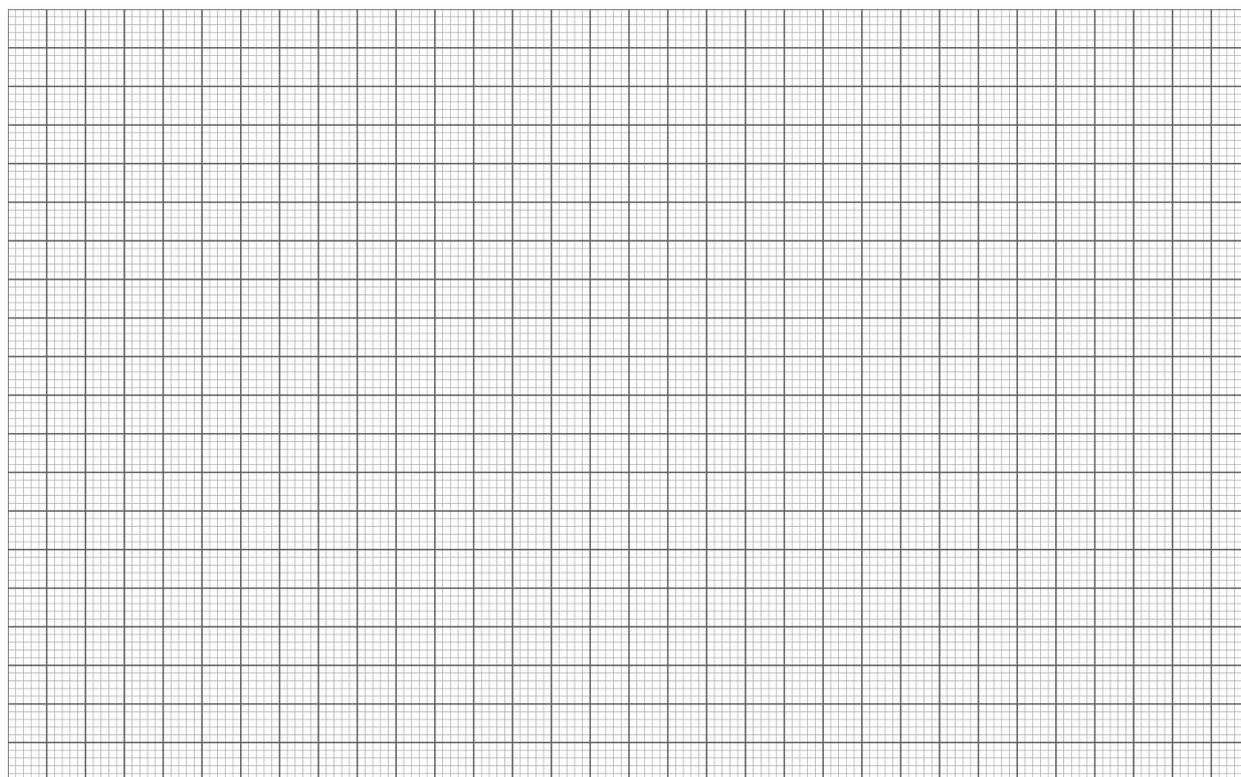


理想的でないコンデンサ (10点)

パート A. 室温でのコンデンサ (4.0点)

A.1 (2.3 pt)

この方眼紙に $C_1(U)$ と $C_2(U)$ のグラフを描け：



対応する値を表に記入せよ：

U	C_1	C_2
0V		
3V		
6V		

$C(U) =$

実験条件：

ボードの ID =

$T_{\text{room}} =$



A.2 (0.5 pt)

$U_{\text{max change}} =$

どちらのコンデンサでかチェックせよ： C1 C2

A.3 (1.2 pt)

$q_1 =$

$q_2 =$

パート B. NTC サーミスタの校正 (1.0 点)

B.1 (1.0 pt)

数式：

$R_0 =$

数値：

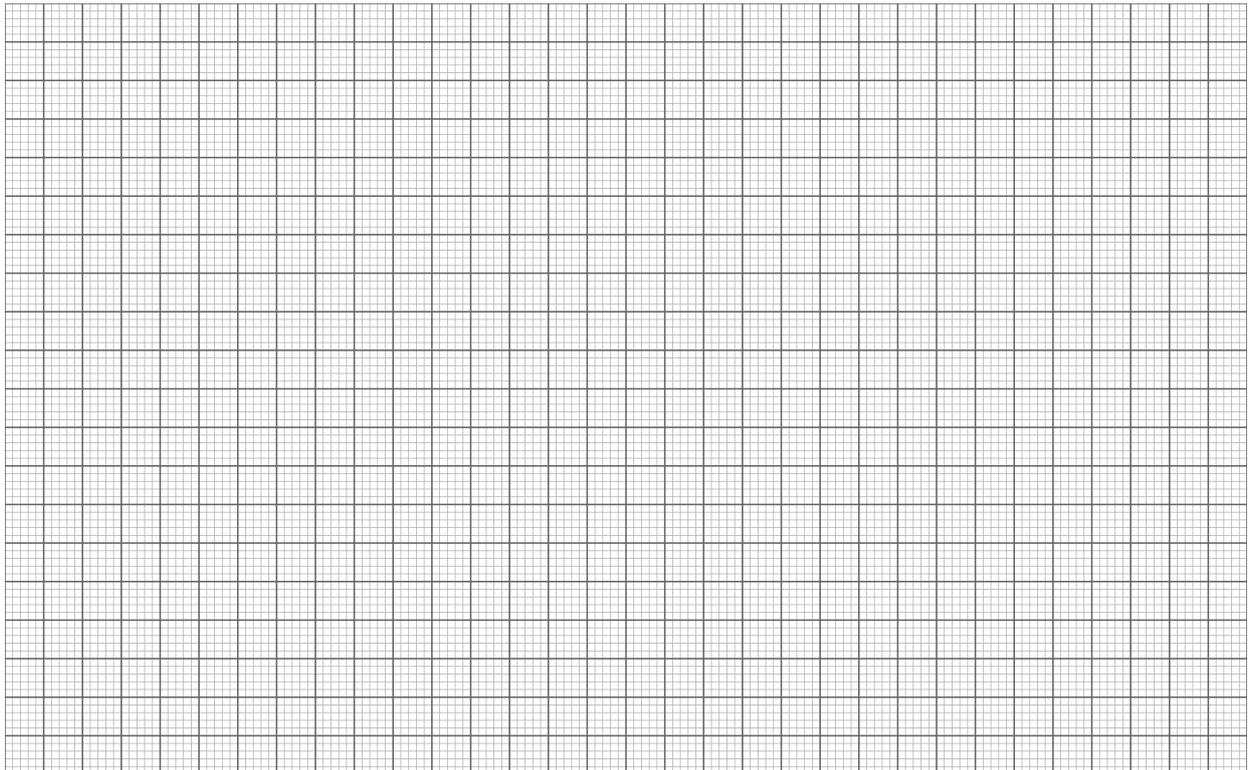
$R_0 =$ Ω



パート C. 種々の温度でのコンデンサ (3.0 点)

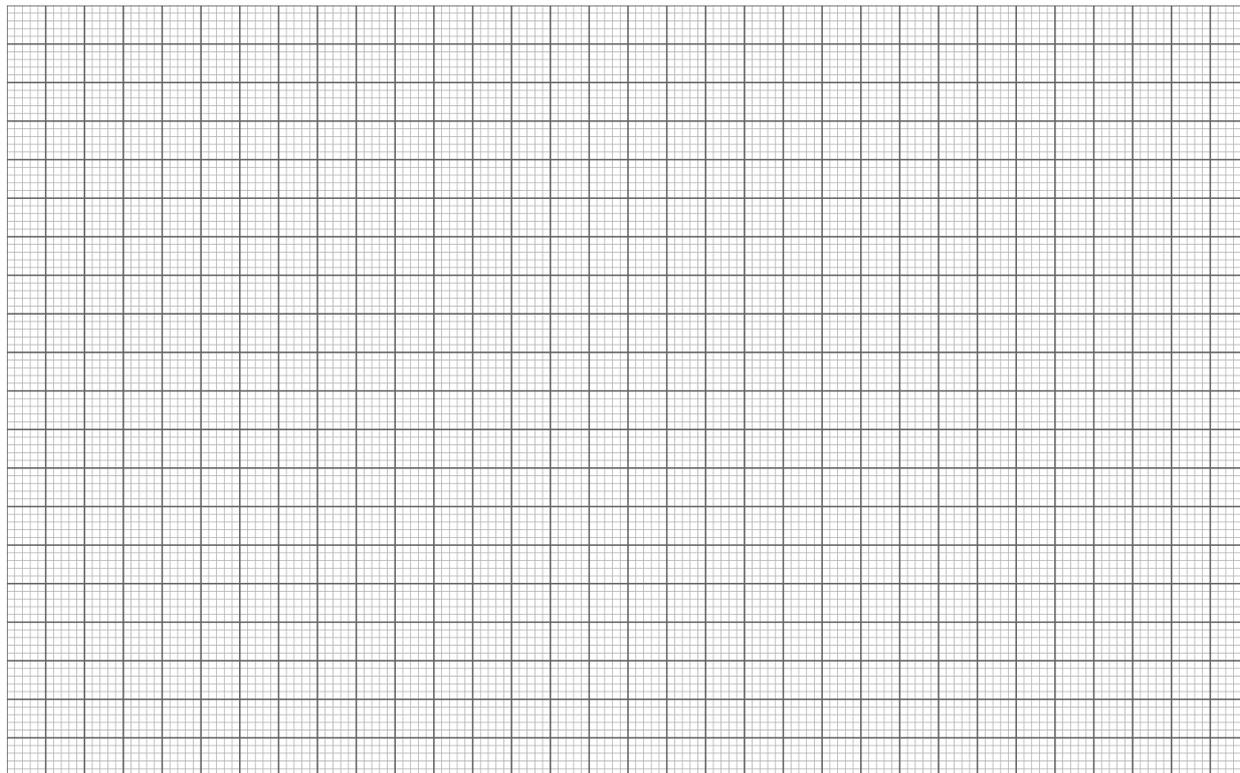
C.1 (1.3 pt)

この方眼紙に $C_1(U)$ と $C_2(U)$ のグラフを描け：



**C.2** (0.5 pt)

この方眼紙に $C_1(T)$ と $C_2(T)$ のグラフを描け：

**C.3** (1.2 pt)

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{0\text{V}} =$$

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{6\text{V}} =$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{0\text{V}} =$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{6\text{V}} =$$



パート D. 測定誤差の原因 (2.0 点)

D.1 (1.0 pt)

可能な S1 の位置 : C1, C2

可能な IN の接続先 : +9V, -9V, GND, Free

初期設定 :

S1 の位置	IN の接続先

測定過程 :

番号	S1 の位置	IN の接続	測定時間, s	測定した量

確かめられたこと :

主要な誤差要因にチェックせよ :

- リーク電流
- コンデンサの誘電体媒体の分極特性

**D.2** (1.0 pt)

可能な S1 の位置 : C1, C2

可能な IN の接続先 : +9V, -9V, GND, Free

初期設定 :

S1 の位置	IN の接続先

測定過程 :

番号	S1 の位置	IN の接続先	測定時間, s	測定した量

確かめられたこと :

主要な誤差要因にチェックせよ :

- リーク電流
- コンデンサの誘電体媒体の分極特性

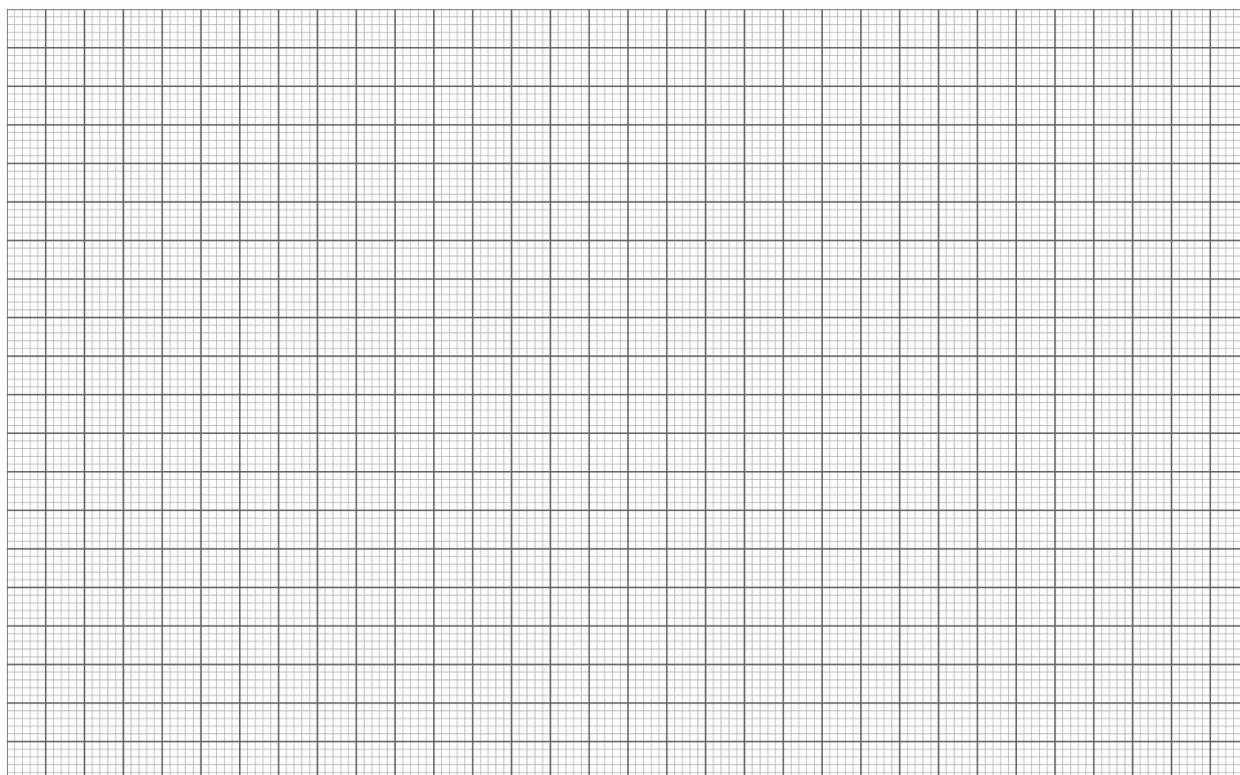


発光ダイオード (LED) (10 点)

パート A. 異なる温度における電圧-電流特性 (5.0 点)

A.1 (2.5 pt)

パルスモードを用いて、室温、40、60、80 °C での $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ を方眼紙に描け：



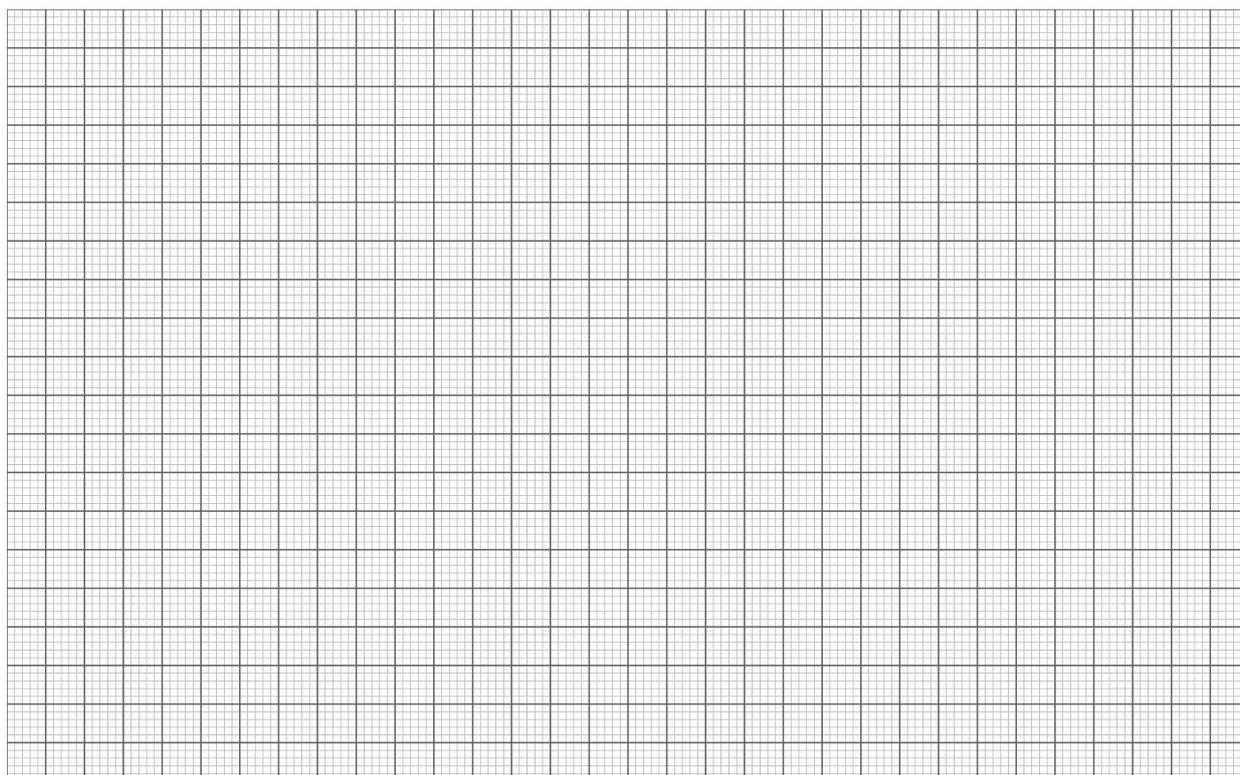
A.2 (1.0 pt)

対応する $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ の値を表に記せ：

	”室温” ____ °C	40 °C	60 °C	80 °C
3 mA				
10 mA				
20 mA				
40 mA				

**A.3** (1.5 pt)

主要な点で $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ (A.2) をグラフ用紙に描け。グラフ上で線形近似を用いることで $\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$ の値を求めよ：



グラフ上での線形近似：

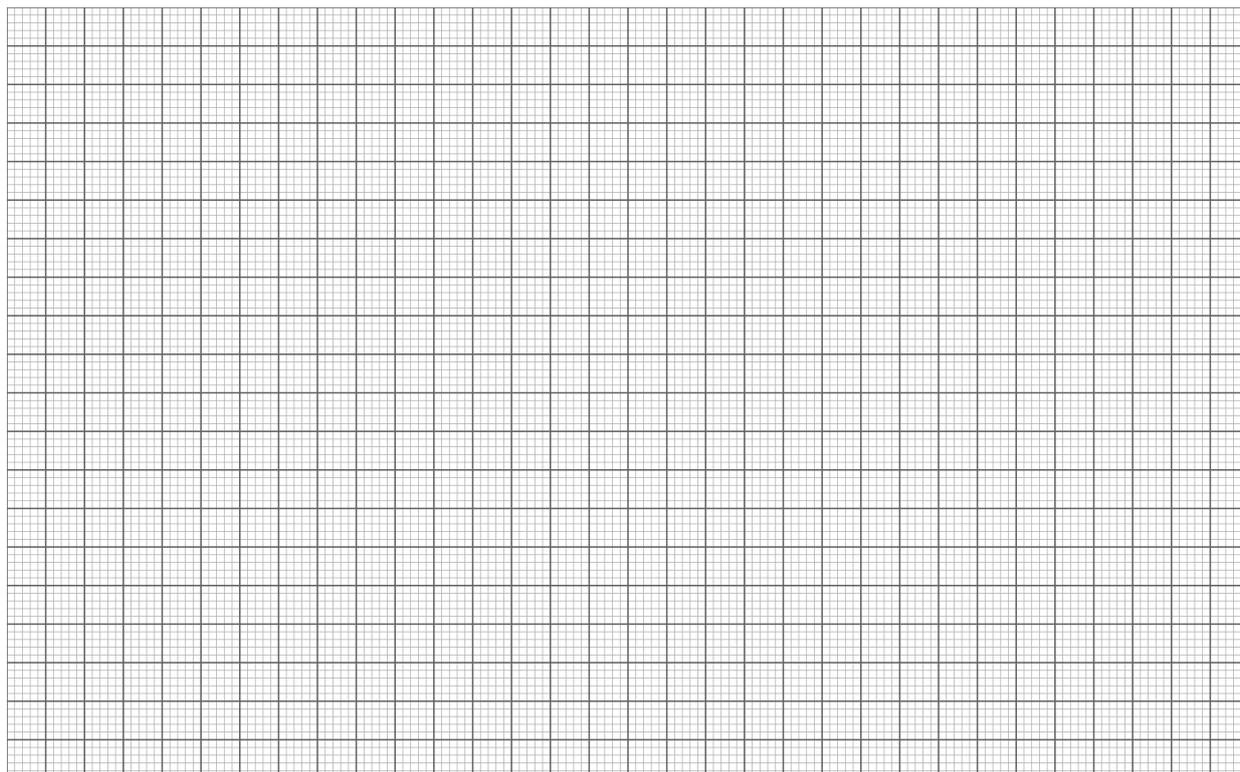
I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$				



パート B. 連続的駆動電流を用いたときの LED の電圧-電流特性の測定 (3.5 点)

B.1 (1.5 pt)

連続的電流モードを用いて，室温での $I_{\text{LED_continuous}}$ ($U_{\text{LED_continuous}}$) を方眼紙に描け：



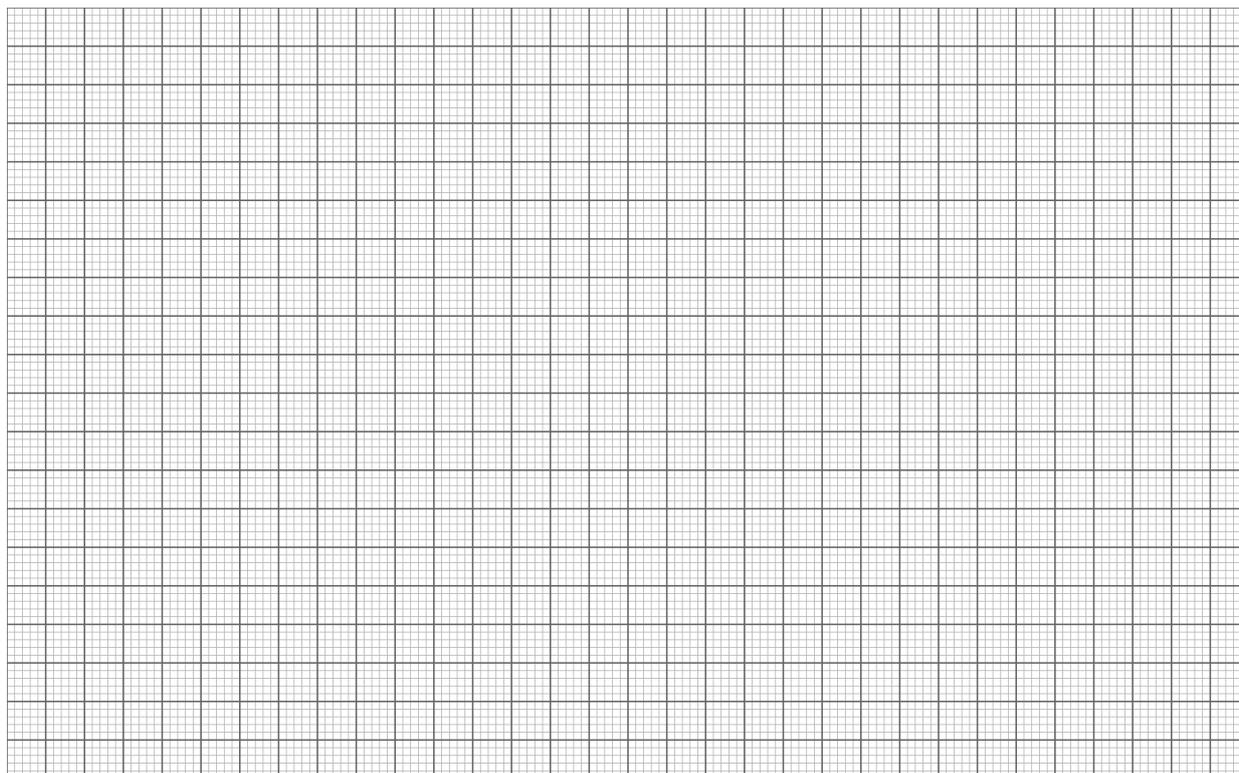
対応する値を表に記せ：

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}				
ΔU				
T_{J}				
T_{PCB}				


B.2 (0.5 pt)

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{dT}{dP}$				

B.3 (1.5 pt)

 $\Delta T(P)$ を方眼紙に描け：


対応する値を表に記せ：

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT				

 LED の線形熱抵抗 $\frac{\Delta T}{P}$:



パート C. 温度による LED 電流の変化 (1.5 点)

C.1 (1.5 pt)

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 0^\circ \text{C}) =$$

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 40^\circ \text{C}) =$$