

注意事項：実験試験 (20 点)

May 25, 2023

実験試験は 5 時間で、合計 20 点満点である。

試験開始前

- 試験開始の合図があるまでは、問題の入った封筒を開けてはいけない。
- 試験の開始と終了は、音で合図される。1 時間ごとに経過時間を伝えるアナウンスがあり、試験終了 (試験終了を知らせる音) の 15 分前にもアナウンスがある。

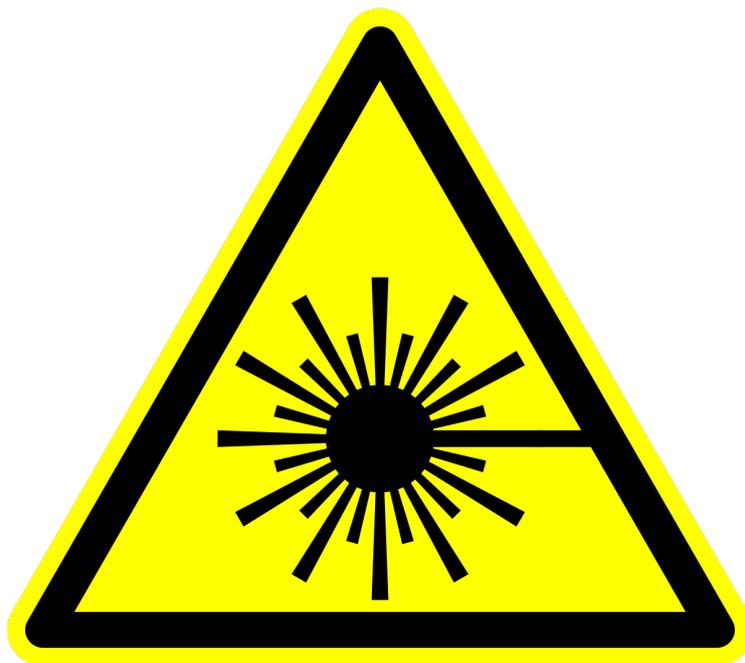
試験中

- 専用の解答用紙が用意されている。測定結果は、対応する解答用紙 (A と記載) の該当する表や解答欄、グラフに記入せよ。各問題には、細かい計算などを行うための白紙のワークシートが余分に用意されている (W と記載)。必ず現在取り組んでいる問題のワークシートを使うようにせよ (ヘッダーにある問題番号を確認すること)。採点されたくないことが書かれている場合は、該当箇所に線を引いたりバツを書いて消すこと。すべてのページは表側のみを使用すること。
- 解答はできるだけ簡潔に記すこと。可能な限り数式、論理演算子、スケッチなどを使って自分の考えを説明し、長文の使用は避けること。
- 誤差計算は特に指定がない場合に明示する必要はないが、数値を記述する際には有効桁数を適切に記載せよ。また、データ点の数や測定回数は特に指定のない限り、適切に決めよ。
- 前の問題が解けていなくても、後の問題を解くことができる場合がよくある。
- 許可なく作業場所を離れることは許されない。助けが必要な場合 (飲料水の補充、電卓の故障、トイレなど) は、パーテーションに付いているホルダーに 3 つの旗のうち 1 つを入れ、監督者へ知らせること ("Refill my water bottle, please", "I need to go to the toilet, please", もしくは "I need help, please")。

試験終了時

- 試験終了の合図があったら、直ちに筆記を中止すること。
- 問題ごとに、注意事項 (G)、問題 (Q)、解答用紙 (A)、ワークシート (W) の順に、対応するシートを並べ替えよ。
- 一つの問題に属するシートは、すべて同じ封筒に入れよ。また、注意事項が書かれたシート (G) を残りの別の封筒に入れよ。各封筒の窓から参加者コードが見えていることを確認すること。白紙のシートも提出せよ。試験会場から紙を持ち出すことは禁止されている。
- 封筒が回収されるまで、自分の席で待機すること。封筒がすべて回収されたら、ガイドから試験場から退出するよう案内がある。筆箱は出口で返却し、ペットボトルは持ち帰ること。

注意



LASER RADIATION HAZARD

レーザー光に注意すること。

レーザー光を覗き込まないこと。

レーザー光を直接目に入れないこと。

オシロスコープ (Siglent SDS 1152CML+) についての説明

1. まず、スクリーン上に波形を表示するため、プローブの BNC コネクター (A) を CH1 の入力に、フック (B) を 1 kHz の方形波出力端子に接続せよ。そこで、[Auto] ボタンを押すと、オシロスコープが自動的に波形を取り込む (図 1)。

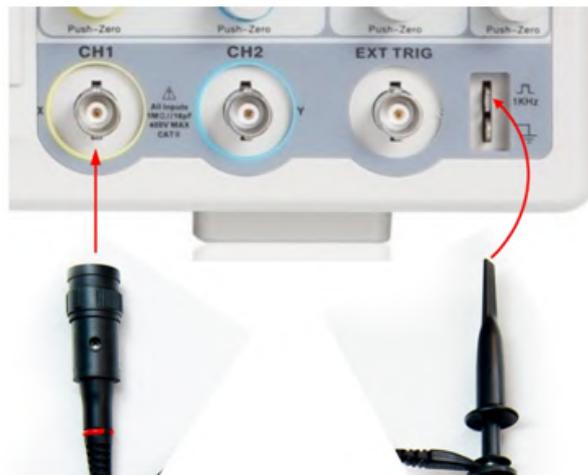


図 1

2. フック (B) を 1 kHz の方形波出力端子から外し、図 2 のコントロールボックスの CH1 端子に接続し、下側のスイッチを PHOTOGATE 側に倒せ。

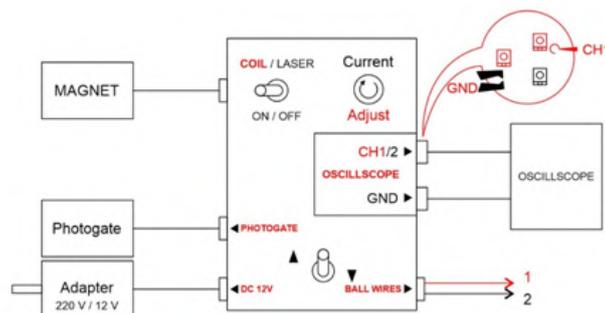


図 2

3. トリガー軸 (白色の T でスクリーン上に示されている) を、レベルのつまみによって水平軸に合わせよ。
 4. [Trigger Menu] を押してトリガー条件をチェックせよ。図 3 と同じでなければいけない。

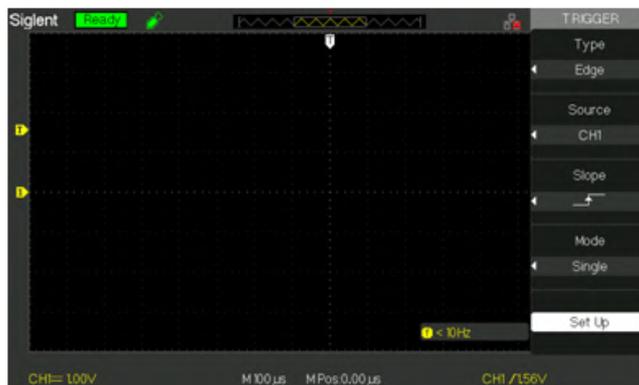


図 3

5. チャンネル1 (CH1) の Vertical のつまみを回して、電圧を 2 V にせよ。

6. 水平軸の Zoom のつまみを回して、時間スケールを 250 ms とせよ。

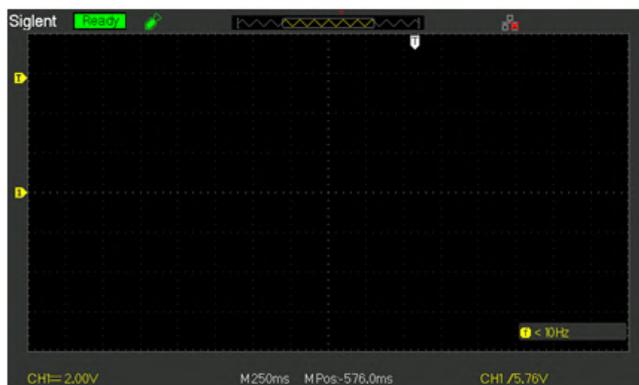


図 4

7. 球を電磁式球体ホルダーに取り付けた後、Run/Stop ボタンを押せ。ボタンの色が赤から緑に変わる。

8. スクリーンの左上の隅に緑色の“Ready”の表示が現れる (図 4)。

9. コントロールボックスのスイッチを切断し、電磁式球体ホルダーから球を離れさせ、測定を開始せよ (図 5)。

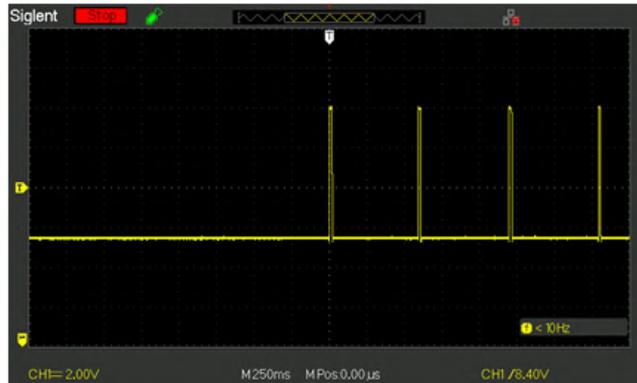


図 5

10. 3 番目のパルスを用い、11 から 12 の手順に従い、時間軸を拡大してパルス幅 Δt を有効桁数 7 桁で求めよ。

11. (Horizontal position) のつまみを回転させると、スクリーンの左下の隅に M Pos = 1.195550s. のように値が表示される (図 6)。

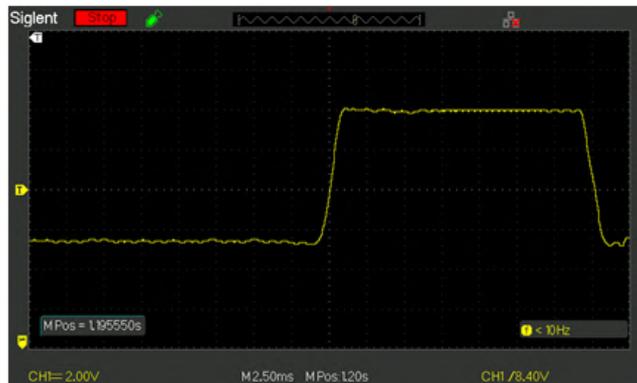


図 6

図 6 でスクリーンの左上の隅にある白い T のマークの矢印は左を向いている。これは、トリガーの位置がスクリーンの外にあることを示しており、トリガーの位置からスクリーンの中心までの時間が有効桁数 7 桁で測定されている。

12. オシロスコープの実験では最初のパルスは電磁式球体ホルダーによる磁化やワイヤーの聴力の影響を受けるため、そのパルス幅を測定すべきではない。したがって、2 番めと 4 番目、もしくは 3 番目と 5 番目のパルスを使って振り子振動の周期もしくは速さの測定を行わなくてはならない。

n 番目のパルスに対して時間測定を行うには、"time division" を 250 ms とする。次に "Horizontal position" のつまみを回し、n 番目のパルスを画面の中心に持ってくる。そこで "time division" を小さな値に変更し、パルスが画面上で幅広く表示されるようにする。パルス幅を測定するには、"Horizontal position" のつまみを回して信号の立ち上がりエッジの中心 (振幅が半分になる位置) が画面のちょうど真ん中にくるようにすると、ディスプレイにその点の正確な時間が表示される。さらに "Horizontal position" のつまみを回して立ち下がりエッジの中心 (振幅が半分になる位置) が画面の中心に来るようにし、その点の正確な時間測定をおこなう。立ち上がりと立ち下がりとの時間差が正確なパルス幅の値となる。

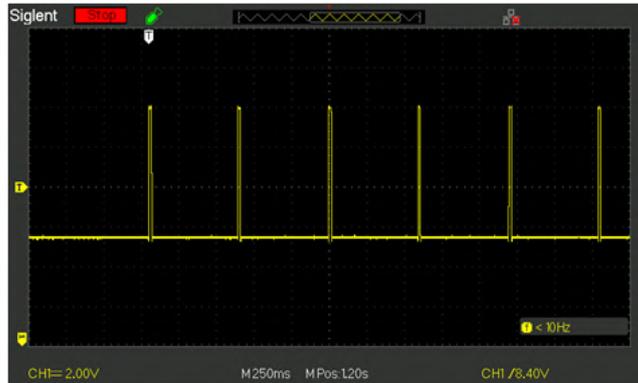


図 7

オシロスコープ (Siglent SDS 1202X-E) についての説明

1. オシロスコープの接続に関しては、前モデルのオシロスコープと同じである。
2. フォトゲートをオシロスコープの入力に接続し、ボールを振る。
3. 次に青い [Auto setup] ボタンを押すと、以下の画面が表示される。



図 8

パルス形状が不安定になる可能性がある。time division つまみを 20ms に合わせよ。画面上にパルスが発生したら、(Run/Stop) ボタンを押して、信号を凍結させよ。

4. vertical position のつまみと Volts/division のつまみを使って、信号を画面の中央に配置せよ。

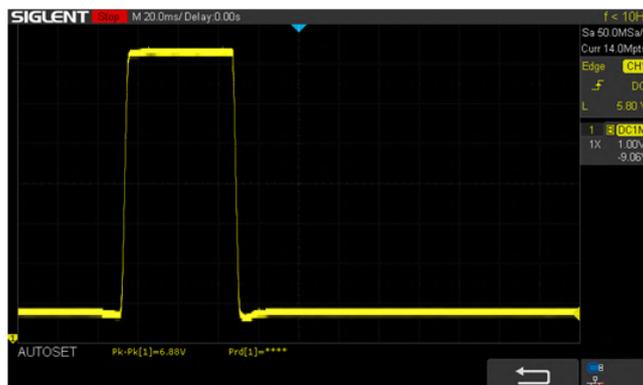


図 9

5. time division つまみの値を 500ms に変更せよ。ボールを電磁式球体ホルダーで保持し、[Single] ボタンを押すと、画面には何も見えなくなる。その後、コントロールボックスのスイッチを切断し、ボールを電磁式球体ホルダーから離せ。図 10 のようなフォトゲートからのパルスがオシロスコープのメモリに記録される。



図 10

画面中央上部にある青い三角形に注目せよ。これが時間の原点になる。Horizontal position つまみを回転させることで、3 番目のパルスを中心に置くことができる。2 番目と 4 番目のパルスも同様に使用できる。第 1 パルスは使用しないこと。電磁式球体ホルダーやワイヤーテンションの影響がある。

6. time division つまみの値を 100us に変更し、Horizontal position つまみを回転させ、信号の立ち上がりエッジが画面のちょうど真ん中にくるようにせよ。画面中央には、原点からの正確な時間の値が表示される。

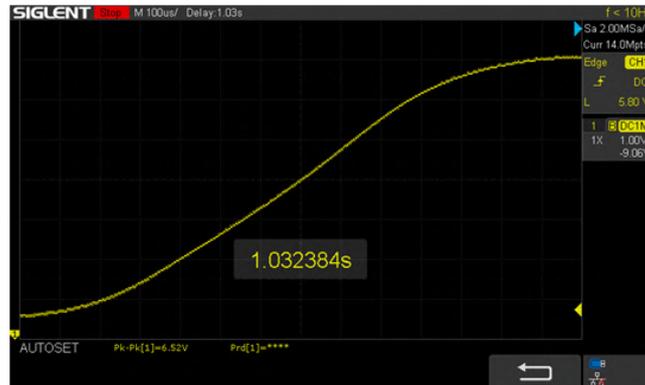
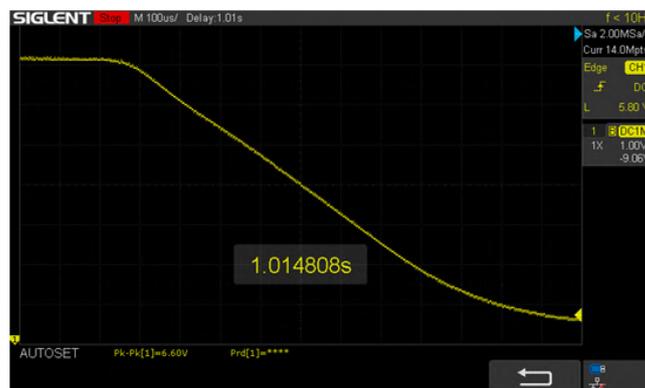


図 11

7. time division つまみを 20ms に戻した後、Horizontal position つまみを回転させてパルスの立ち下がりエッジを画面内に配置する。次に、time division つまみを 100us に戻し、信号の立ち下がりエッジ (振幅が半分となるタイミング) を画面中央に配置すると、別の正確な時間が得られる。つまり、これらの時間の差がパルス幅となる。



8. 同様に、5 番目のパルスの立ち上がりエッジを画面中央に配置することで正確な振動周期を測定することができる。

ヘルツ接触応力

この問題を始める前に注意事項を読みなさい。

イントロダクション

ヘルツ接触理論は接触力学の古典的な理論であり、技術者や研究者にとって非常に有用なツールである。理論の導出が比較的難しいにもかかわらず、最終的な解は、システムの特性と発生応力を関連付ける一連の単純な解析式となる。ヘルツ接触理論は、いわゆる半空間近似に基づく弾性理論方程式から解析的に導出される：

1. 表面の1つは無限に広がる半空間 (平面が3次元ユークリッド空間を分割するとき形成される2つの領域の1つ) である (図1)。
2. 圧力分布は(2)式で与えられると仮定する。
3. 無限に広がる半空間モデルは、同じ大きさの2つの球体、あるいは大きさの異なる2つの球体に適用することができる。

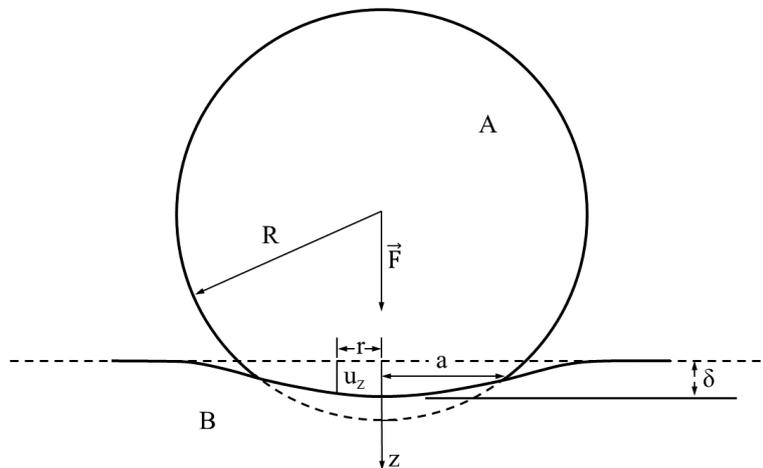


図1 (A - 球体, B - 無限に広がる半空間)

表面に垂直方向の力しか作用しない場合、圧力がかかったときの表面の弾性的なたわみ（へこみ）は、次の関係で与えられる。：

$$u_z(x, y) = \frac{2\pi}{E'} \iint \frac{p(x', y')}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} dx' dy' \quad (1)$$

ここで u_z は表面の弾性的なたわみを、 $\frac{1}{E'} = \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}$ は換算弾性率を、 ν_1, E_1, ν_2, E_2 はそれぞれ球体のポアソン比とヤング率を表す（これらの値は各球体毎に一定の値を持ち、課題 E.1 の計算で与えられる）。 $p(x, y)$ は接触圧である。

圧力分布が任意の値をとるとき、この式から解析解は得られない。しかし、ヘルツ接触理論による解は(2)式の圧力分布を仮定することで得られ、これは接触している球体、楕円体、円筒体に対して非常に良い近似となる：

$$p(r) = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 r は表面上の任意の点までの距離、 a はヘルツ接触半径として知られるパラメータである。この圧力の最大値となるパラメータ p_0 はヘルツ圧とも呼ばれる。これを式(1)のたわみの式に代入することで、ヘルツ圧は次の式の中で定義される：

$$u_z = \frac{\pi p_0}{4E'a} (2a^2 - r^2), r \leq a \quad (3)$$

この実験問題は2つのパートから構成される：大振幅振り子、2つのボールの衝突。

安全に関する注意事項

1. 電源コードの抜き差しは、必ず機器の電源を切ってから行うこと。破損する恐れがある。
2. 問題の指示がない限り、オシロスコープの設定を変更しないこと。
3. 飲料水を近くの電子機器や電源ソケットにこぼさないように注意せよ。
4. 実験が終了していない限り、最初の実験装置を分解しないこと。分解してしまうと、再び組み立てることができなくなる。

実験装置

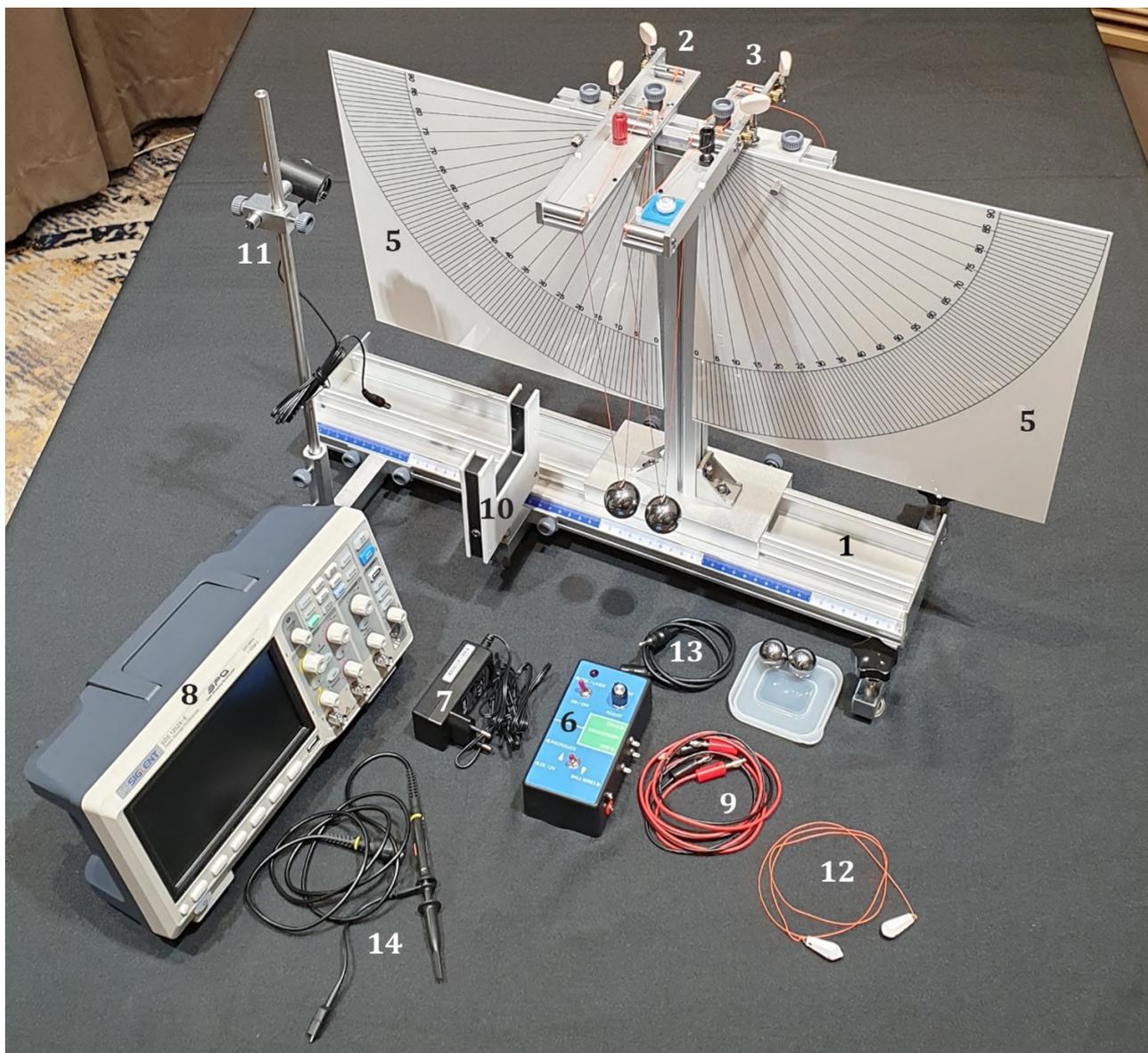


図 2

1. セットアップの土台となる光学レール (土台は両方の実験に使う)
2. 吊り金具付き振り子 1 (初めから吊るされている)
3. 吊り金具付き振り子 2 (初めから吊るされている)
4. 小球 2つ
5. 左右の角度測定用スクリーン。
6. コントロールボックス

7. 電源アダプター
8. 測定プローブ (14) 付きオシロスコープ.
9. 球体衝突測定で用いる接続ワイヤー。
10. 接続ケーブル (13) の付いた振り子用フォトゲート
11. 電磁式球体ホルダー (調整スタンド付)
12. 両端に錘が付いたワイヤー

パート A: 大振幅振り子 [1.4 points]

このパートでは、1つの球体の振り子の最大速度と角度振幅の関係を、振り子をできるだけ大きな振幅から小さな振幅まで振らせて確認しなさい。振り子を使用するには、球体の位置調整テクニックを理解する必要がある。各振り子ハンガーには弦調整ノブが2つある。これらは、球体位置の z 方向上下、 y 方向前後の調整に用いる。球体位置の x 方向左右の調整は、振り子ハンガーユニットを用いる (図3)。

この課題では、1つの振り子しか使わないので、すでに取り付けられているもう1つの球体は振り子ハンガーを固定しているボルトの上に退避させること。その際、振り子とのワイヤーが測定対象の振り子の運動の邪魔にならないよう気をつけること。

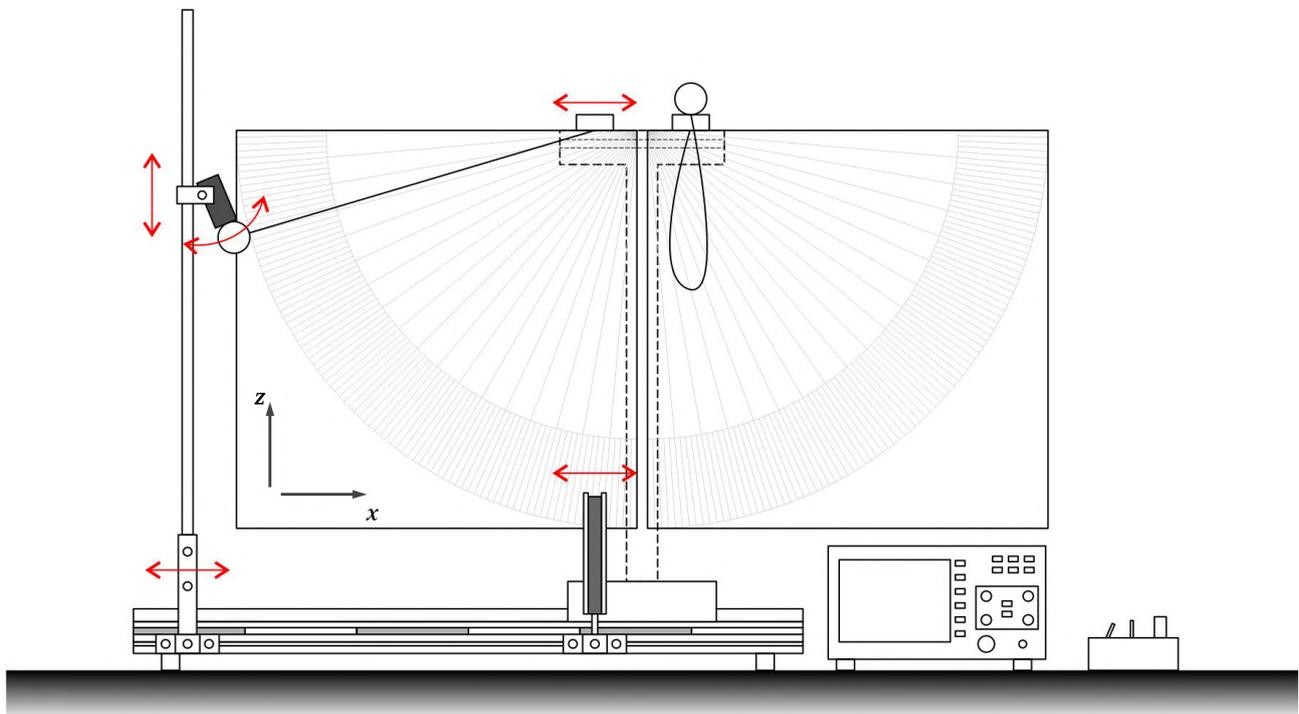


図 3

- A.1** $\sin \frac{\varphi_0}{2}$ に対する Δt^{-1} の傾斜 (傾き) を求めなさい。ここで φ_0 を振り子の初期振れ角 (角度振幅) とし、 Δt をフォトゲートを通過するのに要する時間とする。1.2pt
- 注意事項 1. デジタルオシロスコープで時間を正確に測るために、注意事項 (G) にある練習を行うことを勧める。オシロスコープと説明書きの型番に注意すること。時間節約のため課題 B.1 をこの課題と同時に行うとよい。球体が電磁ホルダーから解放される際、ワイヤーの弾性、球体の磁化が球体の初速に影響を与える可能性がある。そのため、フォトゲートからの初回の信号を使用してはならない。

- A.2** 方程式を導いて、振り子の任意の初期角度に対するボールの最大速度を求めよ。0.2pt

パート B: 振動の周期 [1.9 points]

角度振幅に対する振り子の周期は次の級数で与えられる。

$$T = T_0 \left(1 + \alpha \cdot \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \beta \cdot \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right) \quad (4)$$

ここで、 T_0 は振幅が小さいときの振り子の周期、 α と β は定数係数、 φ_0 は角度振幅である。

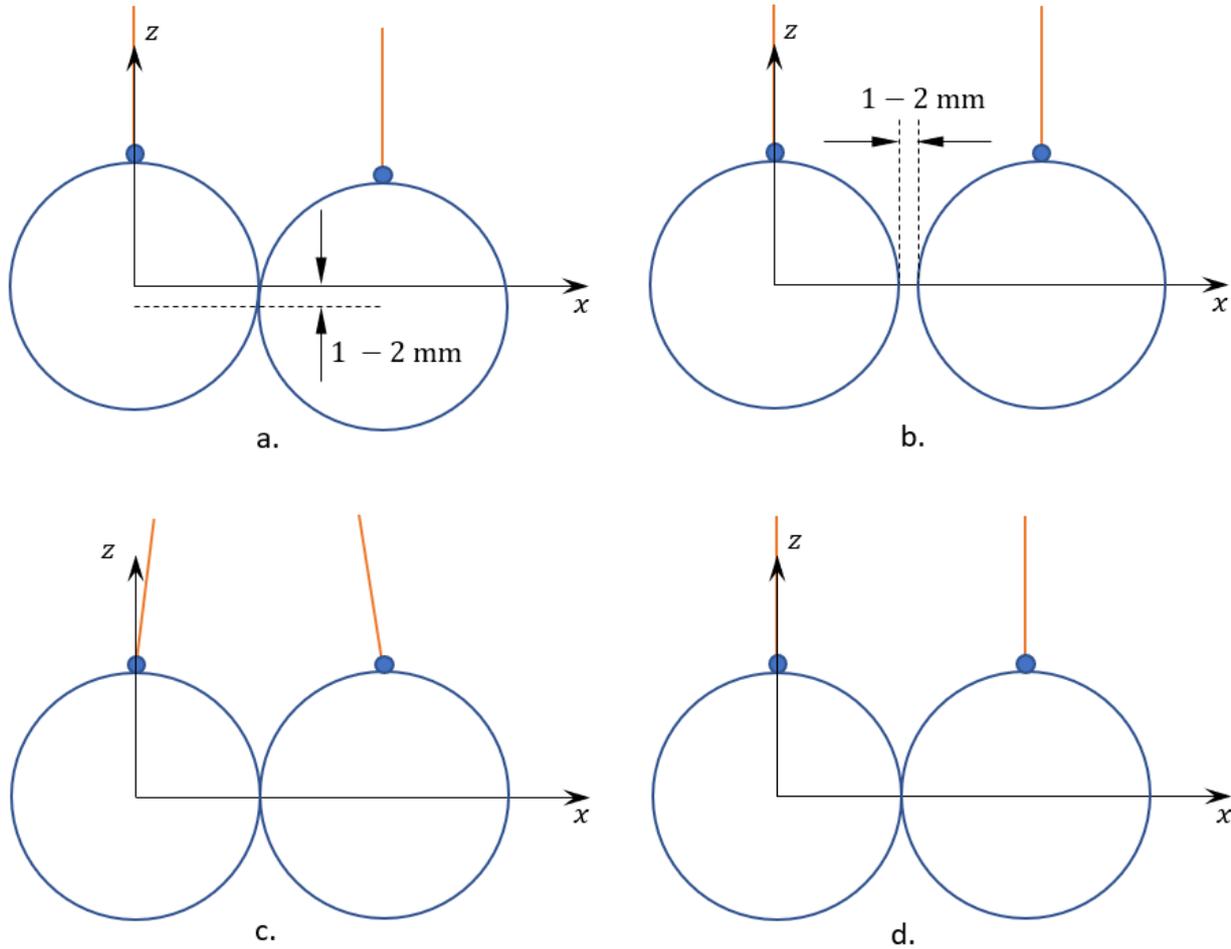
- B.1** 振動の周期を計測して、線形のグラフ $T = f(\varphi_0)$ を作成しなさい。適切な領域ごとに異なる線形化が必要になることに注意せよ。グラフから T_0, α, β を決定せよ。1.6pt
- 注意事項 2. デジタルオシロスコープで時間を正確に測るために、注意事項 (G) にある練習を行うことを勧める。オシロスコープと説明書きの型番に注意すること。

- B.2** 課題 A.1 で求めた傾きと課題 B.1 の T_0 を用いて、ウランバートルの正確な重力加速度の値を求めなさい。鉄球の直径は $d = 31.75\text{mm}$ である。0.3pt

パート C: 衝突時の挙動 [0.7 points]

2つの球体の初期位置と状態は、最初の衝突とその後の衝突プロセスに大きく影響する：衝突の位置、接触時間、球体上の接触位置。この課題を実行するには、球体位置の調整に注意を払うこと。

このパートでは、同じサイズの球体の衝突の挙動に及ぼす接触位置の影響を観察する。セクション C.1 ~ C.4 (図 4 の説明と対応) で説明されている各シナリオの衝突の動作を観察し、各課題に対してセットアップに対応する位置の時間依存グラフを図 5 から選べ。



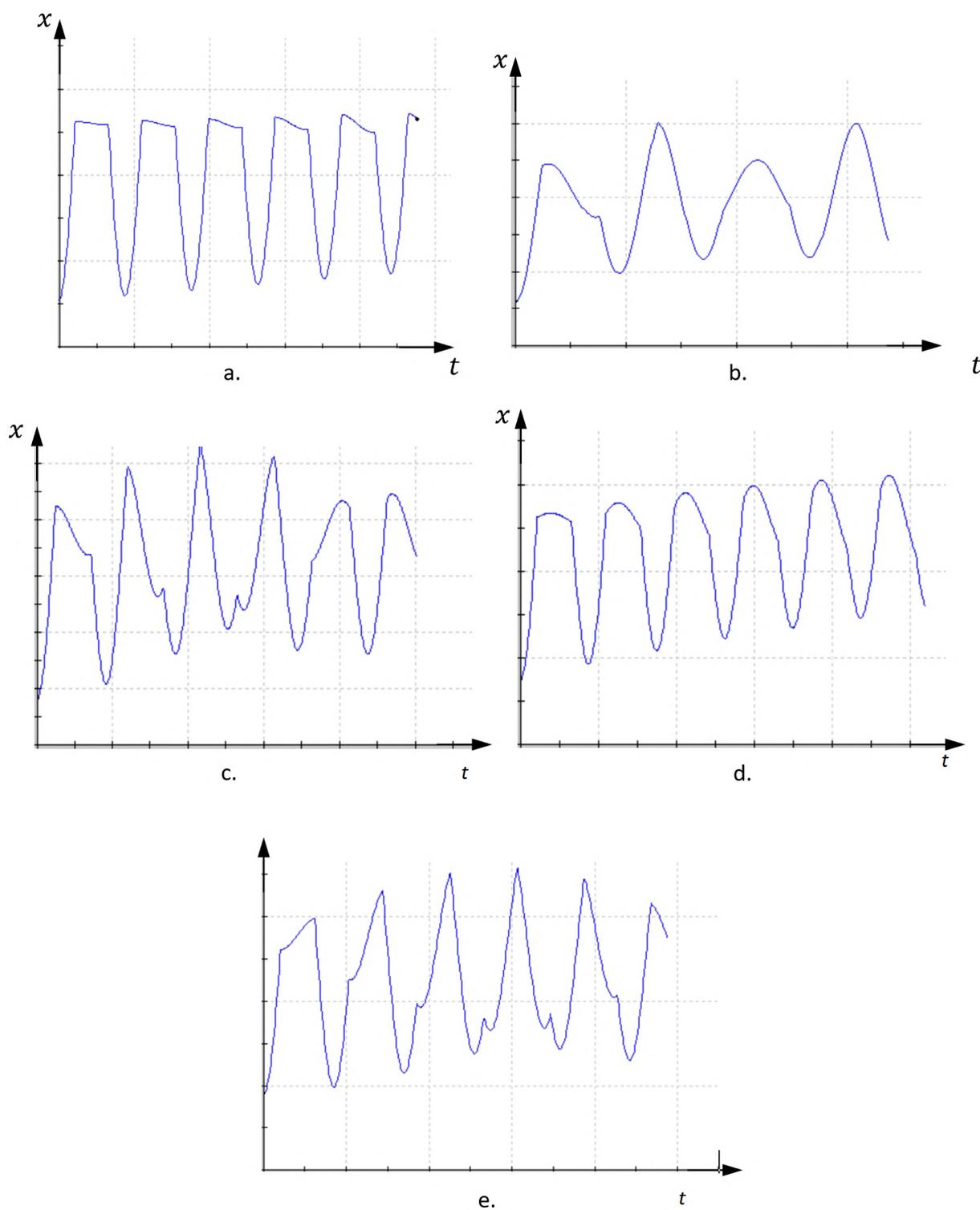


図5

- C.1** 平衡状態において、2つの球が吊るされて静止しているとき、最初に動かす左側の球（球1）の中心を座標系の原点にとる。0.2pt
 まず、2つ目の球（球2）の中心の位置を x 方向に $d_x = 2R$, y 方向に $d_y = 0$, z 方向に $d_z \approx 1 \sim 2 \text{ mm}$ とし、球を吊り下げるワイヤがほぼ平行になるように置く（図4a）。球2を平衡状態の位置に置き、球1の初期角度を 25° から 30° とし、初速度0で電磁式球体ホルダーから離して、同じ大きさの球の衝突の様子を肉眼で観察し、球1の座標の変化として適切なものを図5の中から選べ。
- C.2** 平衡状態において、 $d_x = 2R \approx 1 \text{ mm}$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ で、球を吊り下げるワイヤがほぼ平行になるように2つの球を置く。つまり、ボールを吊り下げているユニットを球1から離れる方向に 1 mm だけ動かす（図4b）。球2を平衡状態の位置に置き、球1の初期角度を 25° から 30° とし、初速度0で電磁式球体ホルダーから離して、同じ大きさの球の衝突の様子を肉眼で観察し、球1の座標の変化として適切なものを図5の中から選べ。0.2pt
- C.3** 平衡状態において、 $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ で、2つの球および球を吊り下げているユニットの両方が接触するように置く。この場合、ワイヤは平行ではなくなる（図4c）。球2を平衡状態の位置に置き、球1の初期角度を 25° から 30° とし、初速度0で電磁式球体ホルダーから離して、同じ大きさの球の衝突の様子を肉眼で観察し、球1の座標の変化として適切なものを図5の中から選べ。0.2pt
- C.4** 平衡状態において2つの球を接触するように置き、 $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ でボールを吊り下げているユニットを動かして、球を吊り下げるワイヤがほぼ平行になるように置く（図4d）。球2を平衡状態の位置に置き、球1の初期角度を 25° から 30° とし、初速度0で電磁式球体ホルダーから離して、同じ大きさの球の衝突の様子を肉眼で観察し、球1の座標の変化として適切なものを図5の中から選べ。0.1pt

パート D: 衝突時間 [3.0 points]

球が離れるのはヘルツ接触がある程度の時間続いた後である。パート D では、同じ大きさや異なる大きさの球を数回衝突させることによって、球のどのパラメータが衝突時間 (τ) に影響を与えるのかを調べる。

接触時間を調べるために図6に示された電気回路を用いる。ナイロンのワイヤを振り子振動のために用い、加えて細い金属のワイヤも球に接続し回路に用いる。球の交換の際には金属のワイヤが球に接触していることを確認すること。これを正しくおこなうために、木製のつまようじを用いて、金属のワイヤとナイロンのワイヤを、球を吊り下げるための筒に通して動かないように固定すること。ただし、筒の両側を塞がないこと。球を交換する際、固定しているつまようじを取り除く必要がある。このためにゼムクリップが用意されている（図7）。

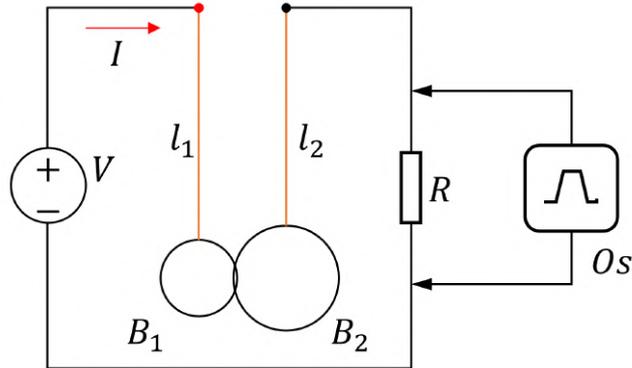
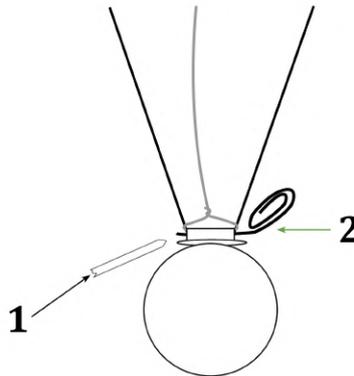
図6 (B_1 - 球1, B_2 - 球2, O_s - オシロスコープ)

図7 (1 - つまようじ, 2 - ゼムクリップ)

D.1 2つの球の衝突時間 τ は次式で与えられる。 $\tau = A \cdot x_1^{e_1} \cdot x_2^{e_2} \dots \cdot x_n^{e_n}$ 0.4pt
ここで、 A は定数、 x_1, x_2, \dots, x_n (n は整数) は衝突に関する物理的なパラメータである。これらの物理的なパラメータを全て決定せよ。指数 e_1, e_2, \dots, e_n の値はパート D.2 と D.3 で決定する。

D.2 実験により、D.1 の τ の式における指数の値を決めるのに適切な直線のグラフを描け。 1.2pt

D.3 次元解析を用いて D.2 のグラフから得られた指数の値を用いて、残りの指数の値を求めよ。 0.4pt

D.4 A の値を高精度 (少なくとも有効桁数 4 桁) で求めよ。 1.0pt

パート E: ヘルツ変形のパラメータ [3.0 points]

A.2 で書いた最大の速さの式と、D.2 で求めた実験結果を用いて、ある程度の初期角度の範囲で以下のパラメータ（図 1 参照）を求めよ。

($\nu = \nu_1 = \nu_2 = 0.3$, $E = E_1 = E_2 = 200$ GPa, $m_1 = 131.48$ g, $m_2 = 67.55$ g, $d_1 = 31.74$ mm, $d_2 = 25.42$ mm):

E.1	平均的な力 F_{av} に対する数式を求め、数値を計算せよ。	0.6pt
-----	-----------------------------------	-------

E.2	ヘルツたわみ δ に対する数式を求め、数値を計算せよ。	0.6pt
-----	------------------------------------	-------

E.3	ヘルツ接触半径 a に対する数式を求め、値を計算せよ。	0.6pt
-----	-------------------------------	-------

E.4	ヘルツ圧 P_0 に対する数式を求め、値を計算せよ。	0.6pt
-----	------------------------------	-------

E.5	平均圧力 P_{av} に対する数式を求め、値を計算せよ。	0.6pt
-----	---------------------------------	-------

実験 第 2 問: 熱変形表面 (thermos-deformation) によるレーザ光干渉

光が物質と相互作用するとき、様々な現象が生じる。本実験では、光変形させたアクリル (PMMA) 表面からの光の回折を調べることに焦点を当てる。

アクリルは、通常のガラスの 5 倍の強度を持つ有機材料であり、その主成分はメタクリル酸メチルの液体モノマーである。液体であるため、固体に比べて密度が低く、液体モノマーには様々な着色料や硬化剤が添加されている。熱成形の温度は 160~190°C となる。アクリルは、有害な化学物質を放出しないため、環境にやさしい素材であり、そのため子供のおもちゃや食器、備品のフレームなどによく使われる。また、水にも強い素材であることでも知られる。



実験器具:

1. 電圧調整器の付いたレーザー
2. 穴の開いたスクリーン
3. マルチメーター 2台 (それぞれ電流計と電圧計として用いる)
4. コネクトケーブル (レーザーと電源の接続)
5. コネクトケーブル (マルチメータ接続)
6. コントロールボックス
7. 電源アダプター
8. 位置調整スタンド付きアクリル (PMMA) ターゲット

実験のセットアップ

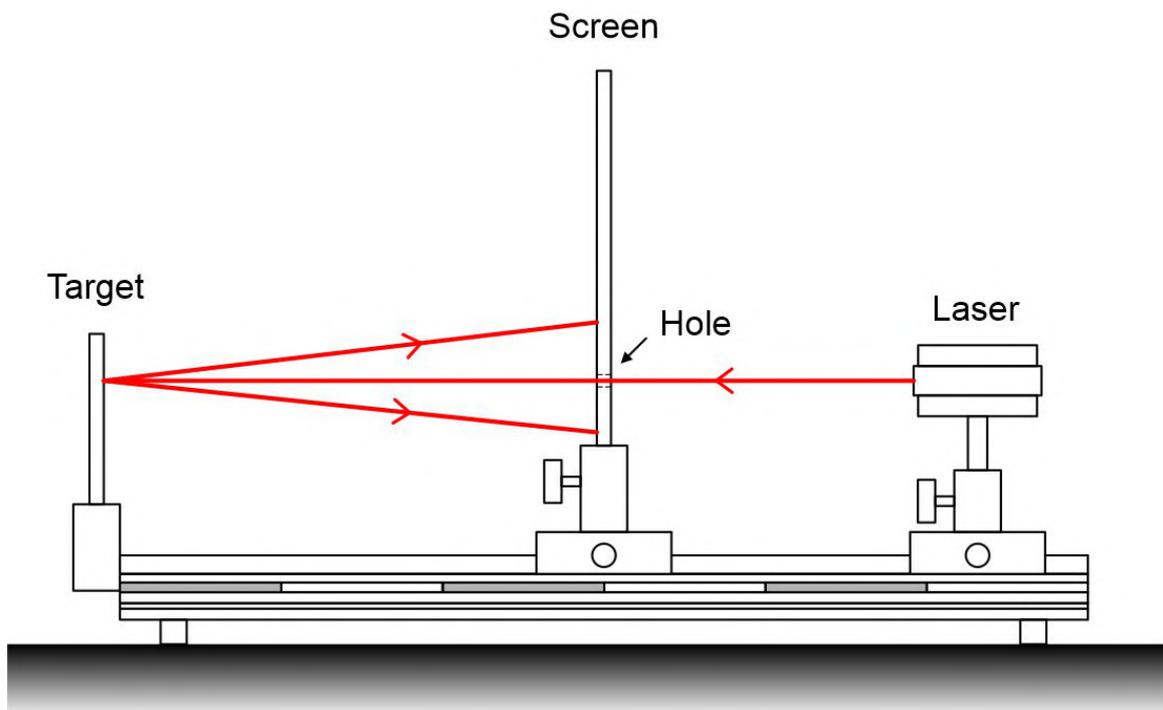


図 1a. セットアップの側面図。レーザービームはスクリーンの穴を通過した後ターゲットで直接反射され、その反射光による回折パターンをスクリーン上に作り出す。

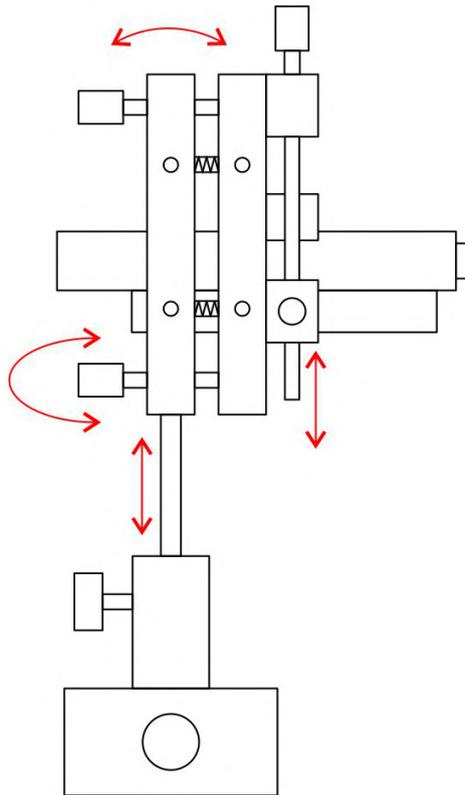


図 1b. レーザーの側面図。ネジと調節可能な軸方向の組を赤矢印で示している。

実験は2つのパートから構成される。第1部は、干渉縞の角直径と数、干渉縞間の角度幅などのパラメータを、レーザーに供給される電力（以下レーザー出力）の関数として調べる。

第2部では、干渉縞を発生させるアクリルの変形に関するパラメータ（直径、高さ、形状など）をレーザー出力の関数として調べることに重点を置く。さらに、基準となる変形のパラメーターも決定する。

実験器具と手順

1. 第1問で球を吊り下げていた紐を上部の金具にしっかりと巻きつけ、機械部分を取り外し、柔らかいマットの上に置く。
2. レーザー、スクリーン、アクリルベースを写真のように光学ベンチの上に置く。レーザービームを光学ベンチの軸に沿って同じ高さに配置し、ビームがスクリーンの穴を自由に通過できるようにする。このときビームがアクリル面に対してほぼ垂直であることを確認する。
3. アクリル板をマグネットホルダーで固定する。アクリル板の白い面は、ビームの焦点を合わせ、スポットの当たる座標をあらかじめ決めておくために使用する。

注1：レーザー光を照射する際は、低い設定から徐々にレーザー出力を上げていき、明るい光が直接目に入らないように注意せよ。

注2：アクリル表面が十分に清浄であることを確認しなさい。表面を拭く際は付属のレンズクリーニングワイプを用いる。アクリル面を雑巾で拭くと摩擦で帯電しやすく、ホコリを引き寄せやすいので注意すること。

4. 平板の反対面をレーザー光に向け、ステッカーを剥がし、焦点を当てるポイントを正確に決定する。表面が汚れていたり過度に明るい光が当たったりすると、干渉縞が歪んで楕円形になったり複数の干渉縞が形成されることがあったりするので注意すること。

5. 電源スイッチを”ON”へ切り替える。

6. レーザーダイオードにかける電圧を変えることで、光量を増やす。レーザー回路にマルチメータを接続し、直流電流と直流電圧を測定する。測定範囲を最高設定から最低設定まで調整しておく。電圧は最大 45V まで上げることができる。

7. 非透明で光沢のある平らなアクリル表面で、レーザービームを直接反射させる。光強度を徐々に上げていくと、ある強度値で表面が溶け始める。溶けたスポットは、視覚的に検出することができる。

8. レーザーの前にあるネジを回転させ、表面上の焦点を調整する。

9. 表面からの反射放射によって生じる光スポットを作成し、レーザーの後ろに配置したフラットスクリーン上で観察する。光の強度を上げたり下げたりすることで、スポットの形や大きさがどのように変化するかを観察する。

パート A [0.8 points]

得られるパターンは可逆性を示し、特定のレーザー出力値までは収縮する。降伏強度として知られる熱弾性範囲の上限値を決定する必要がある。

A.1	この降伏強度に相当するレーザー出力を決定せよ (p_{\max}) .	0.3pt
A.2	レーザー出力が降伏強度に相当するレベルに設定されているときの、最も外側の明るい干渉縞の直径を決定せよ。	0.5pt

パート B [3.5 points]

B.1	この実験で形成される最外の明るい干渉縞の直径ならびに干渉縞の数をレーザー出力との関係で測定し、結果を解答用紙の表に記録せよ。	1.5pt
B.2	スクリーン上の最外の明るい干渉縞の直径とレーザー出力との関係を示すグラフを作成せよ。	1.0pt
B.3	スクリーン上の干渉縞の数をレーザー出力の関数としてグラフに表せ。	1.0pt

パート C [3.7 points]

C.1	一定のレーザー出力で観察した時の、干渉縞の数に依存した、角度幅 (n 番目の干渉縞と $n+1$ 番目の干渉縞の間の角度) と暗い干渉縞の回折角 (n 番目の干渉縞と x 軸のなす角) を測定し、解答用紙の表に記録せよ。	1.2pt
------------	--	-------

C.2 回折角と干渉縞の次数との関係を表す線形のグラフをプロットせよ。 1.0pt

C.3 課題 C.2 のグラフの傾きと Y 切片の値を求めよ。 0.5pt

C.4 干渉縞の次数の関数として角度幅のグラフを作成せよ。 1.0pt

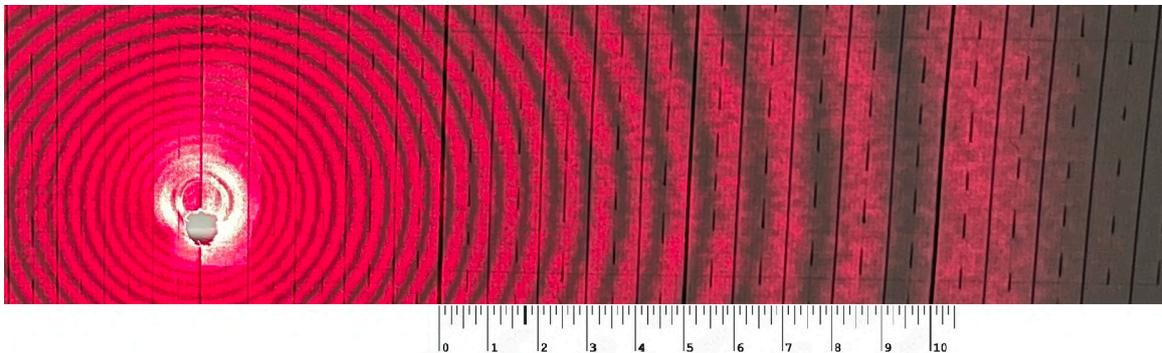
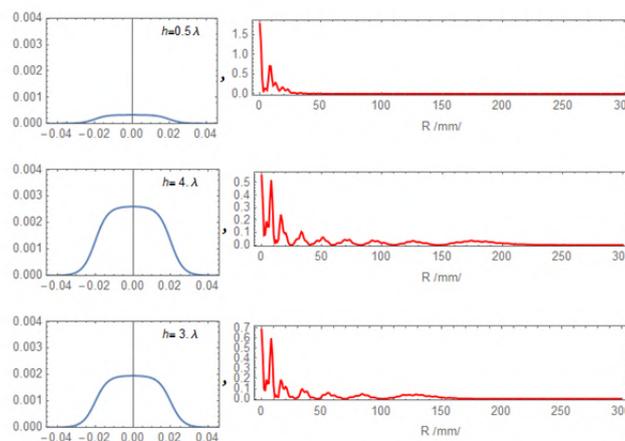


図 2. スクリーン上の干渉縞

パート D [2.0 points]

このセクションでは、干渉パターンを使用して熱変形のパラメーターを決定する。レーザーで表面を加熱すると変形が生じ、下の図に示すようにスクリーン上に干渉縞パターンが形成される:



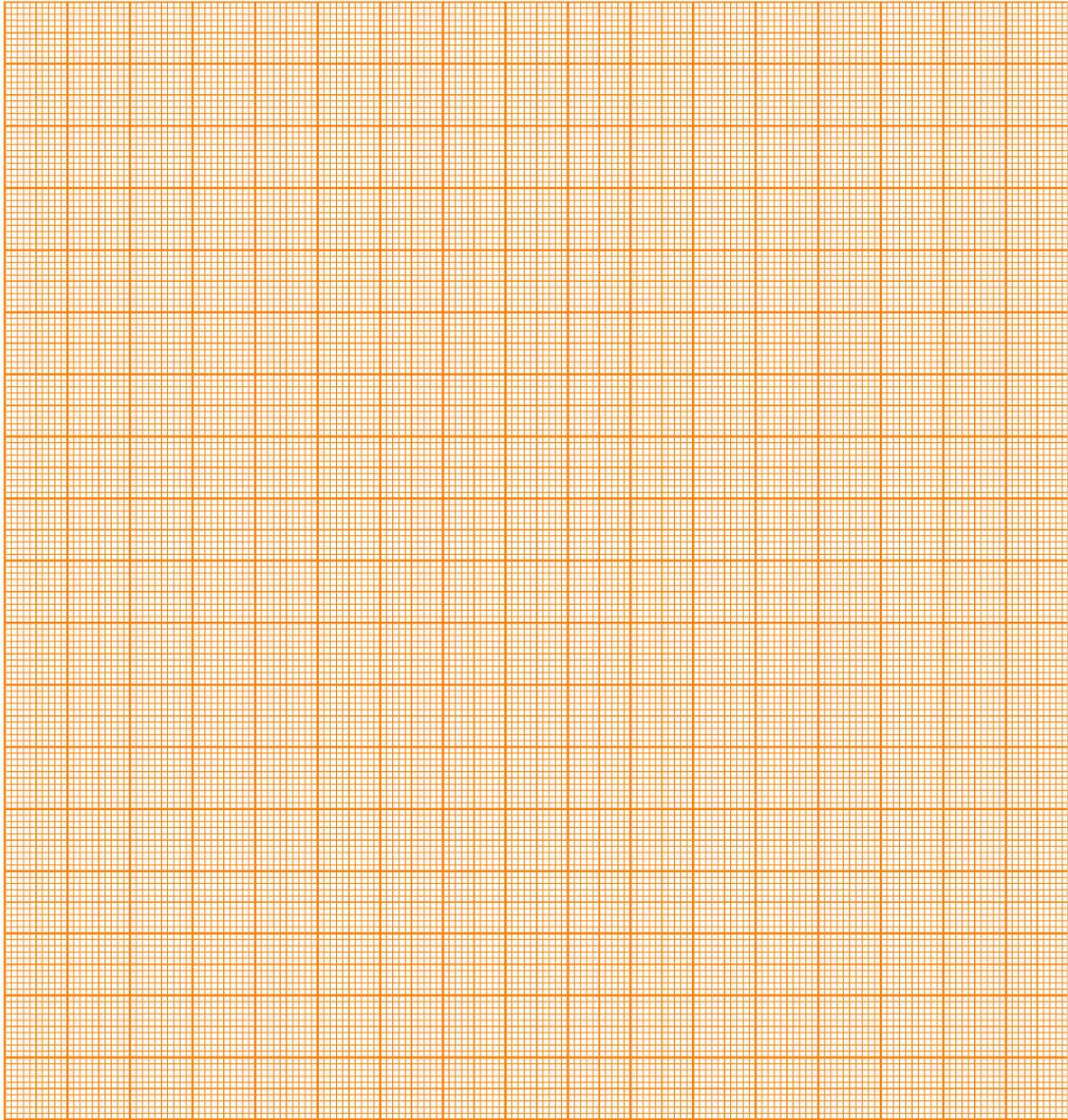
青色のグラフは変形プロファイルの断面を示す。赤色のグラフは干渉縞の中心からの変位に対する光強度を示す。照射レーザー出力を増加すると、変形の高さは増大し、明るい干渉縞の数も増加する。図からわかるように、高さと同数の間には経験的な関係がある。すなわち、 $m = 2h/\lambda$ である。

D.1 干渉縞の数を数えることによって、干渉縞の最高次数を決定することができる。熱変形の高さ（レーザー波長を単位として）をレーザー出力の関数として決定せよ。測定したデータはグラフに示せ。ヒント: データに 200 mW から 400 mW の出力範囲が含まれるようにせよ。 1.4pt

D.2 次の入力レーザー出力に対する熱変形高さはいくらか? レーザー波長を単位として答えよ。 0.6pt

- 200 mW
- 300 mW
- 400 mW

A.1 (cont.)



Experiment

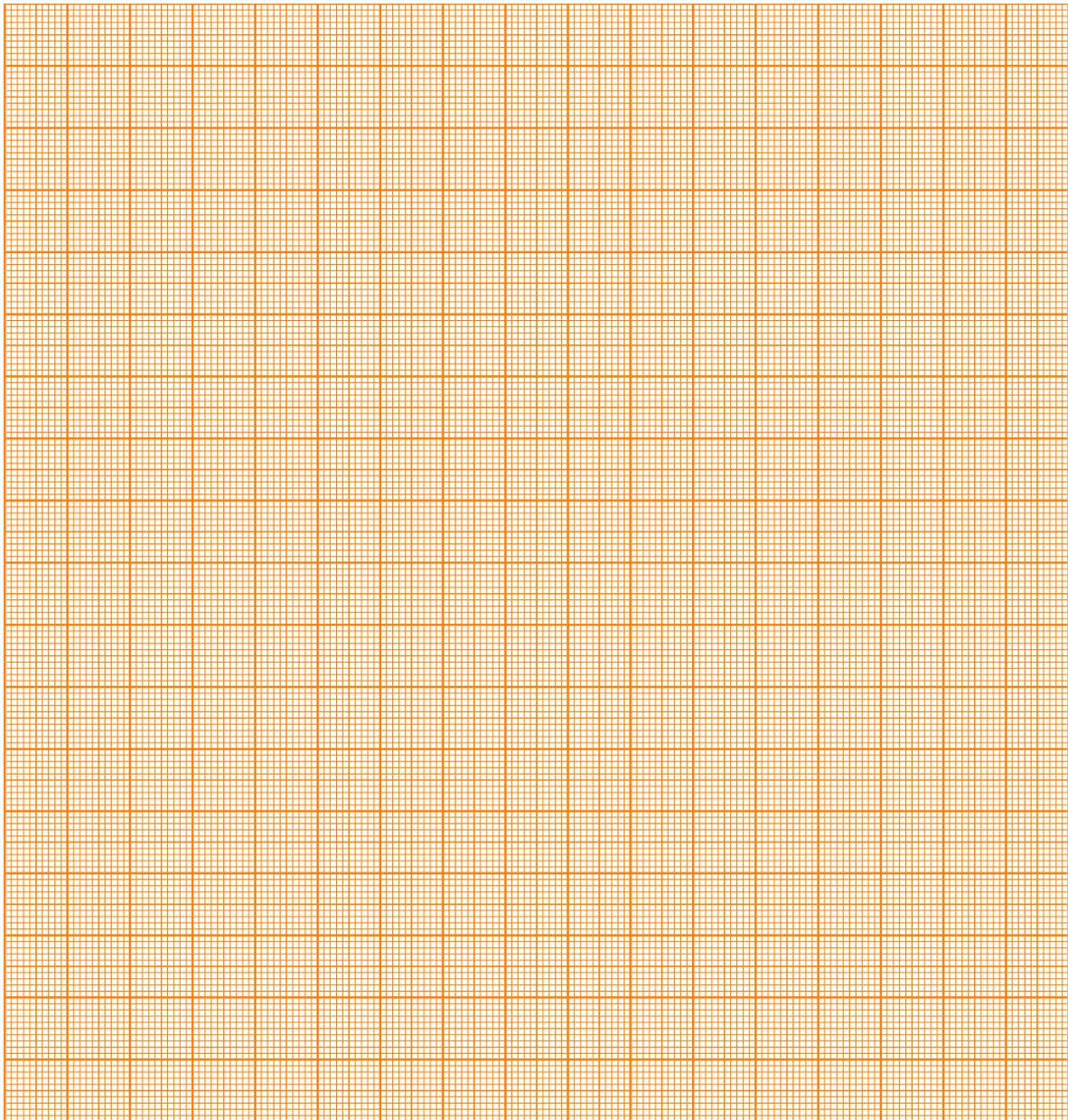


A1-3
Japanese (Japan)

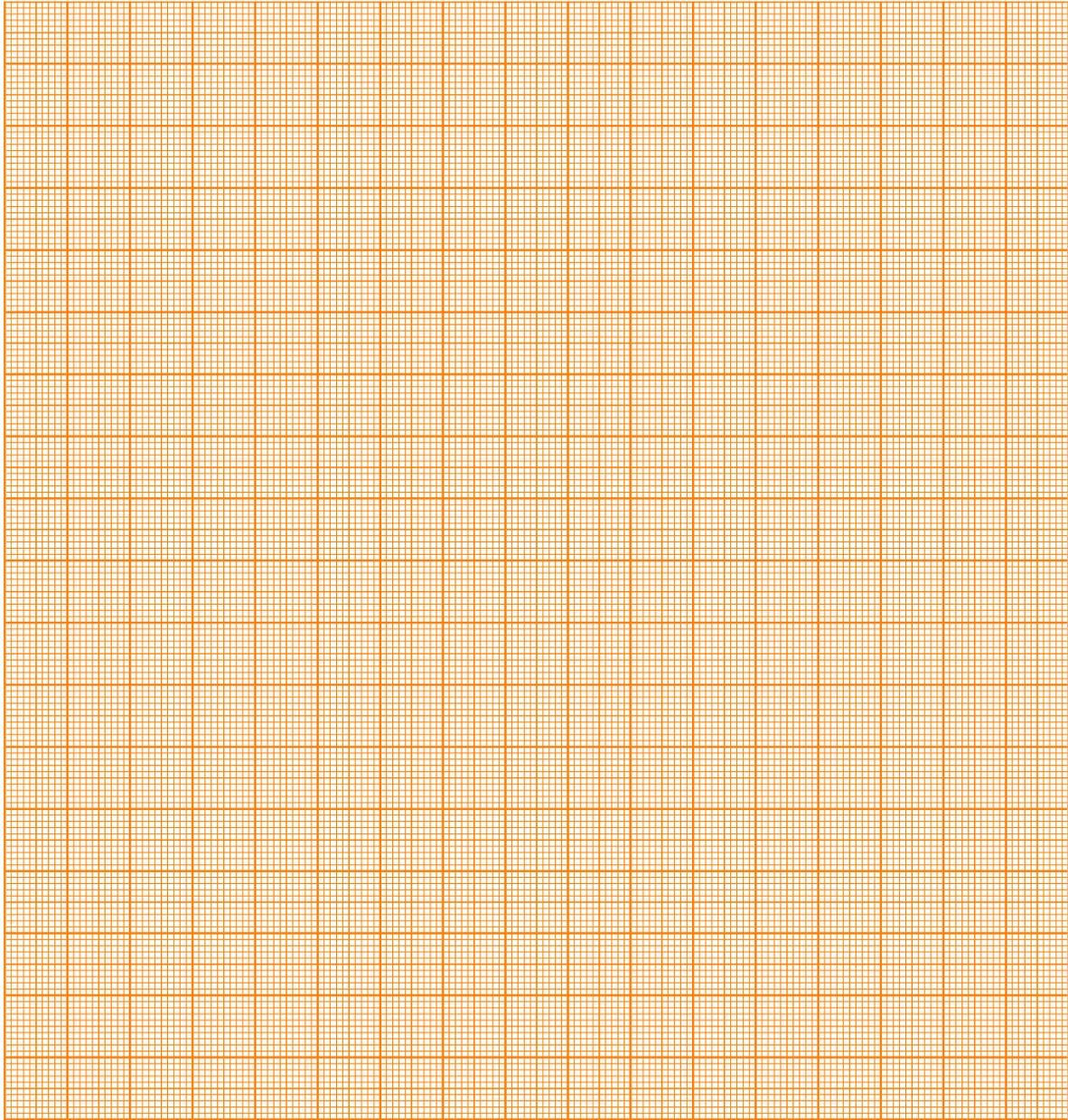
A.2 (0.2 pt)

パート B: 振動の周期 [1.9 点]

B.1 (1.6 pt)



B.1 (cont.)



B.2 (0.3 pt)

パート C: 衝突時の挙動 [0.7 点]

C.1 (0.2 pt)
空欄を埋めよ

図 4a

C.2 (0.2 pt)
空欄を埋めよ

図 4b

C.3 (0.2 pt)
空欄を埋めよ

図 4c

Experiment



A1-7

Japanese (Japan)

C.4 (0.1 pt)
空欄を埋めよ

☒ 4d	
------	--

パート D: 衝突時間 [3.0 点]

D.1 (0.4 pt)

D.2 (1.2 pt)

D.3 (0.4 pt)

D.4 (1 pt)

パート E: ヘルツ変形におけるパラメーター [3.0 点]

E.1 (0.6 pt)

E.2 (0.6 pt)

E.3 (0.6 pt)

E.4 (0.6 pt)

Experiment



A1-10
Japanese (Japan)

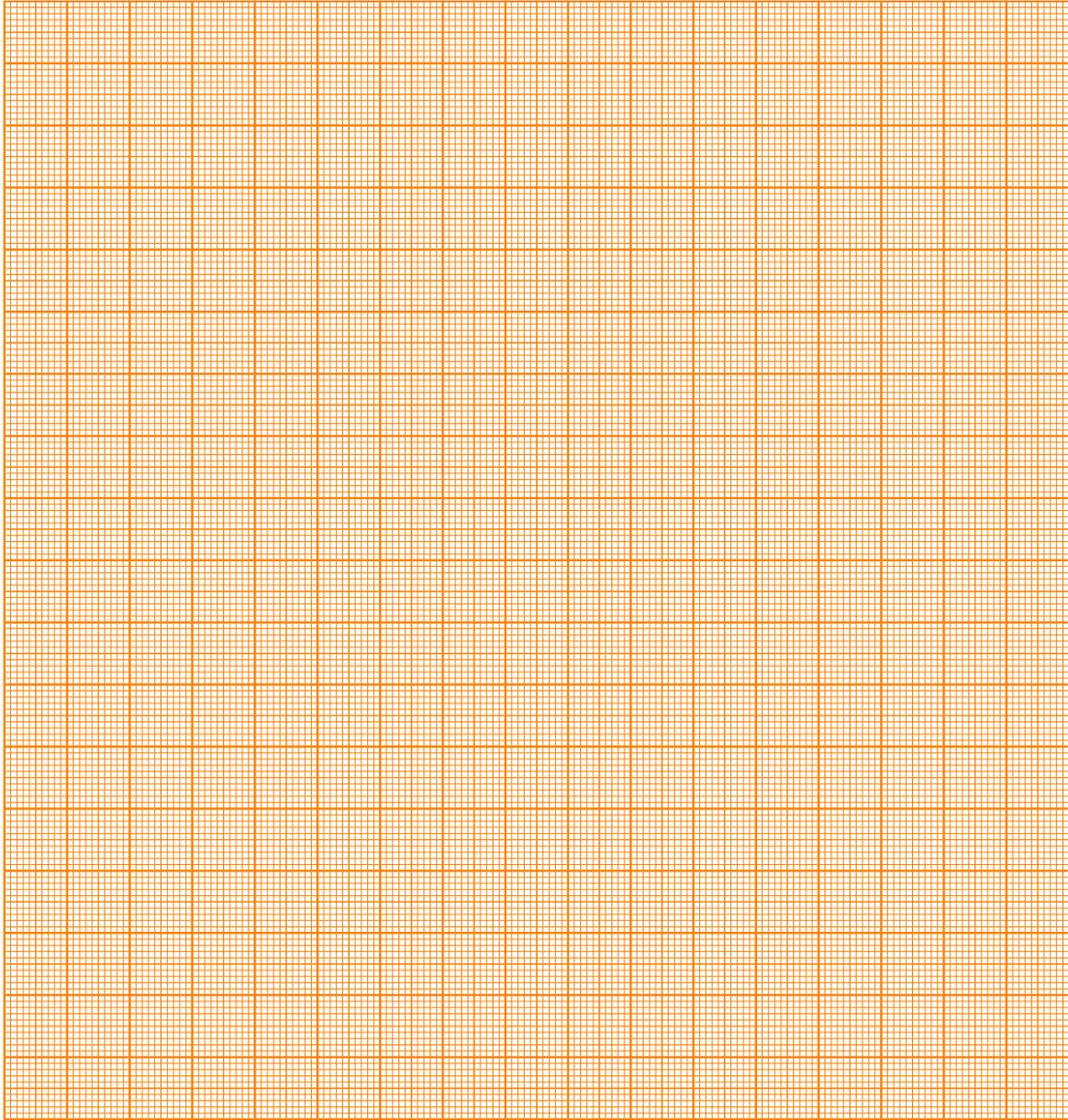
E.5 (0.6 pt)

Experiment



A1-11
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙

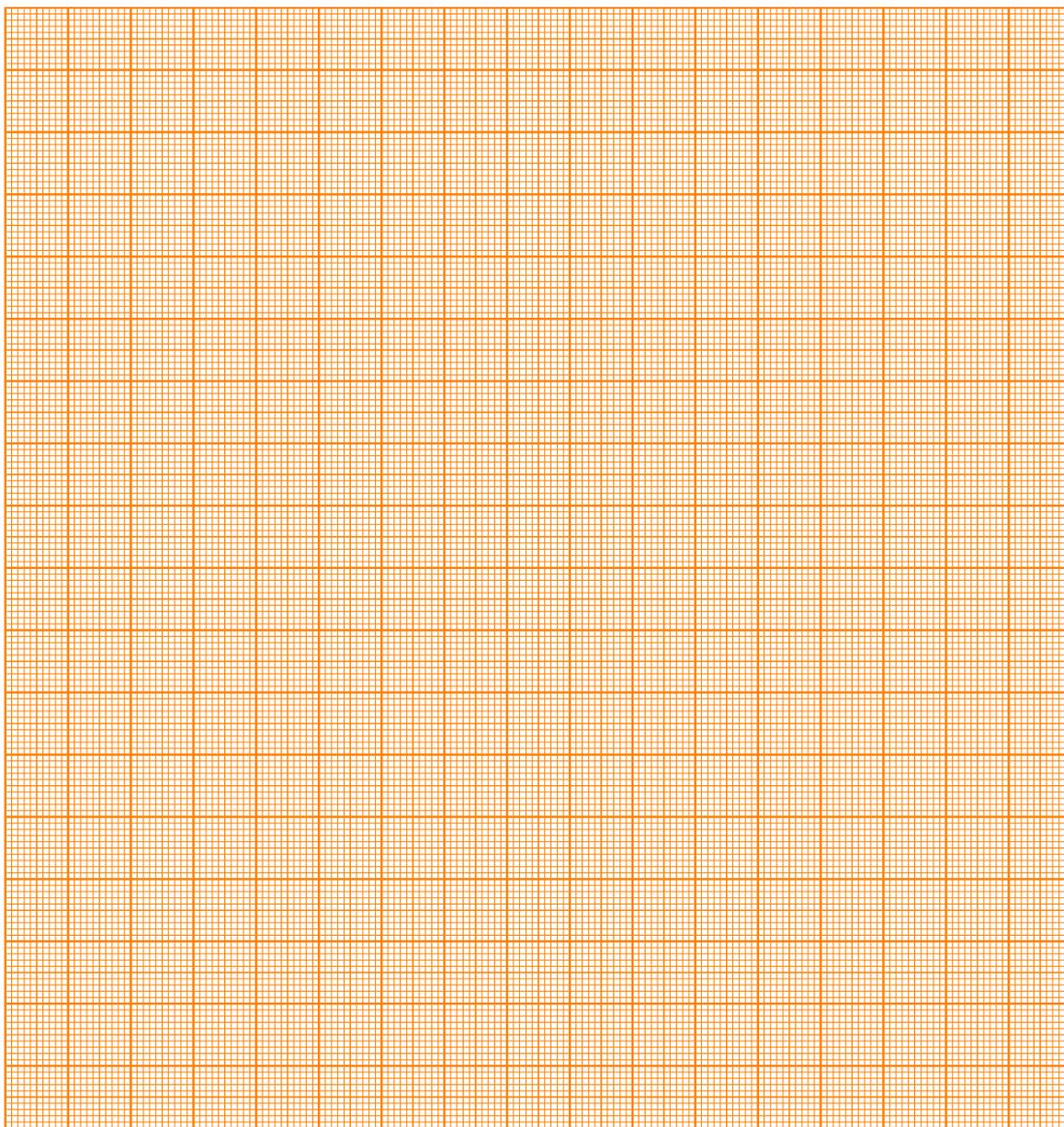


Experiment



A1-12
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙



Experiment



A2-1
Japanese (Japan)

実験 第2問: 熱変形表面 (thermos-deformation) によるレーザ光干渉

パート A [0.8 点]

A.1 (0.3 pt)

Experiment



A2-2
Japanese (Japan)

A.2 (0.5 pt)

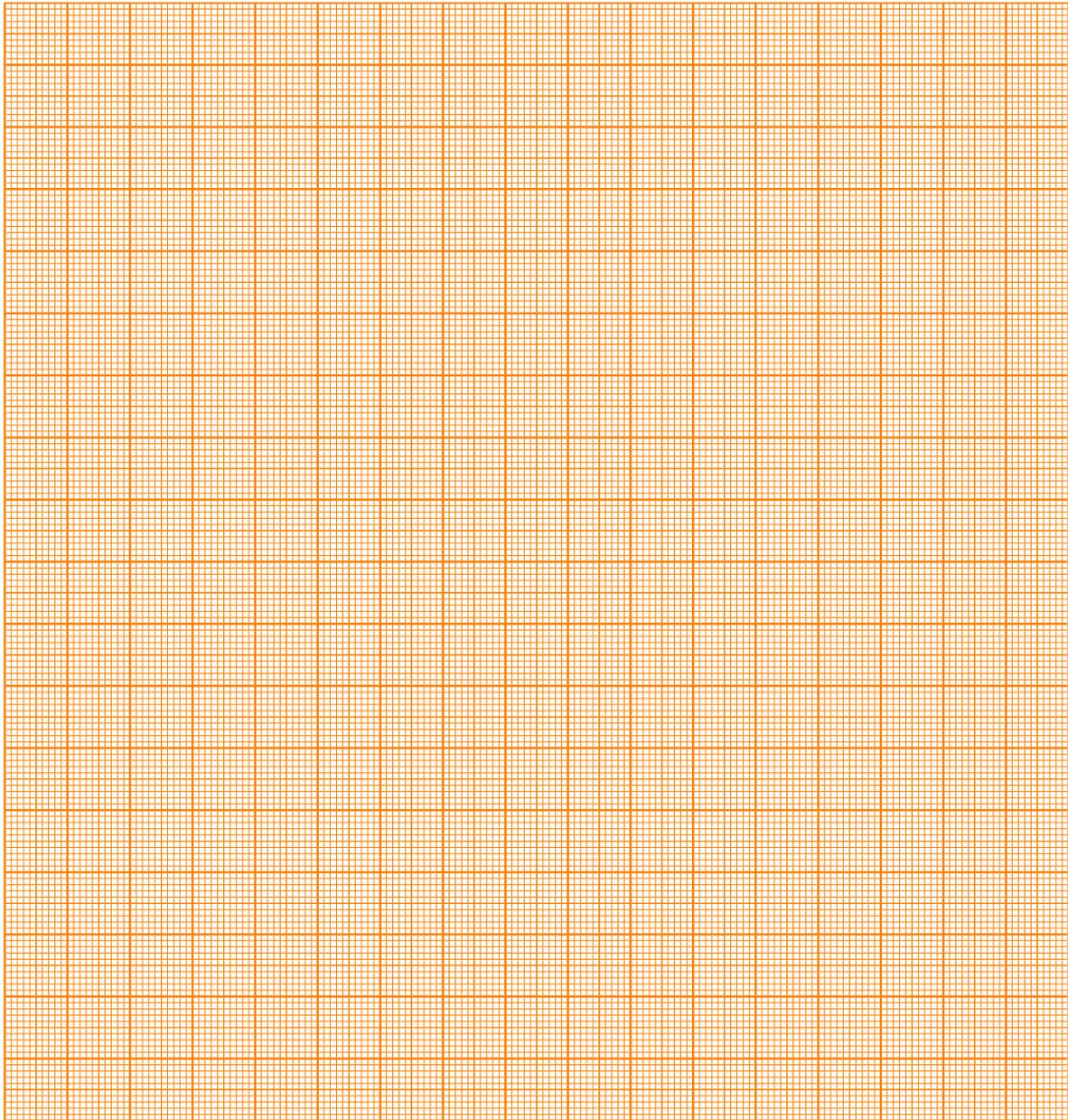
パート B [3.5 点]

B.1 (1.5 pt)

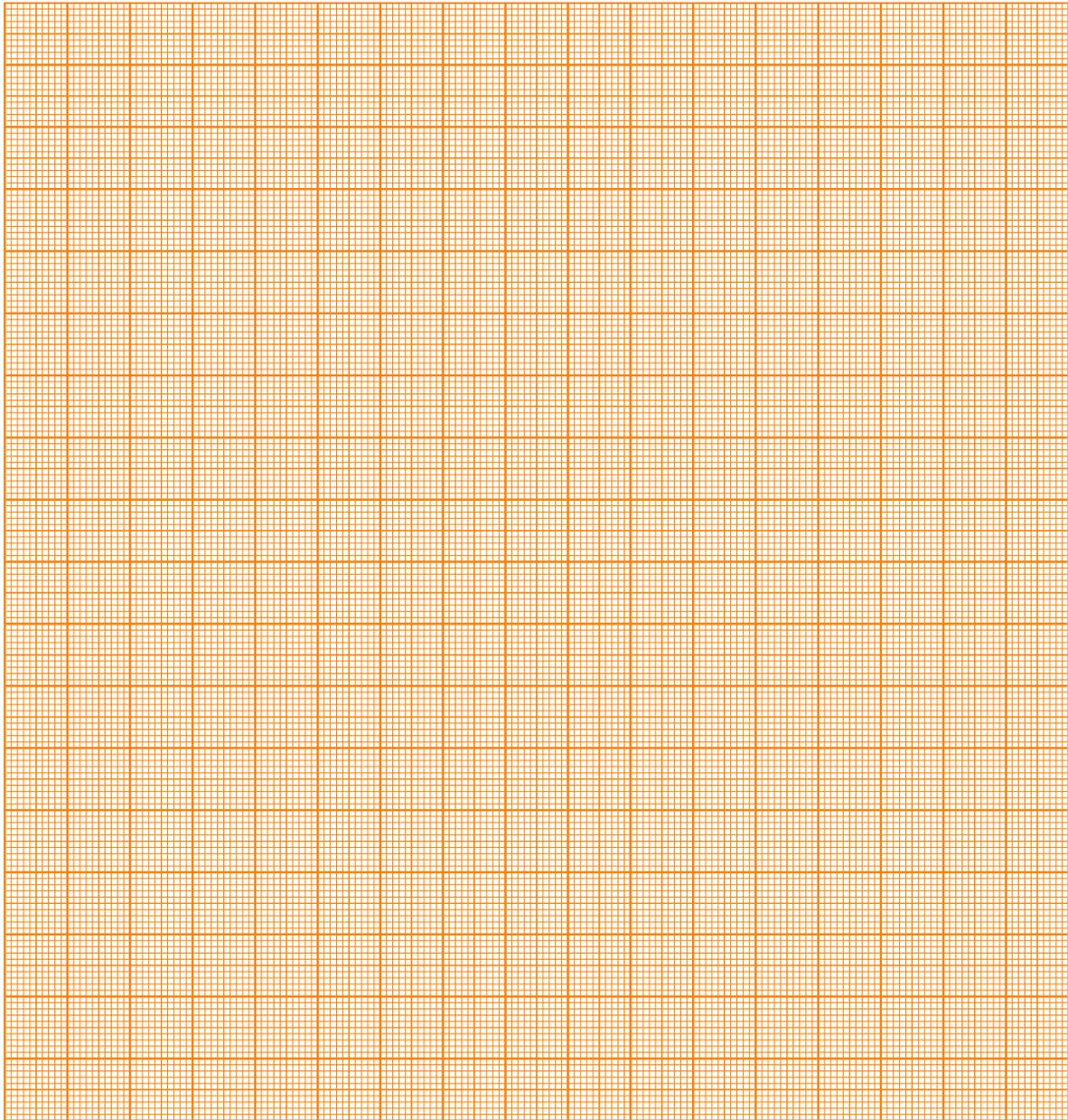
$p < p_{max}$ を満たす範囲内で測定しなさい.

	電圧 V / V	電流 I / mA	電力 $P = V \cdot I / mW$	干渉縞の直径 / mm	干渉縞の数
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

B.2 (1.0 pt)



B.3 (1.0 pt)



パート C [3.7 点]

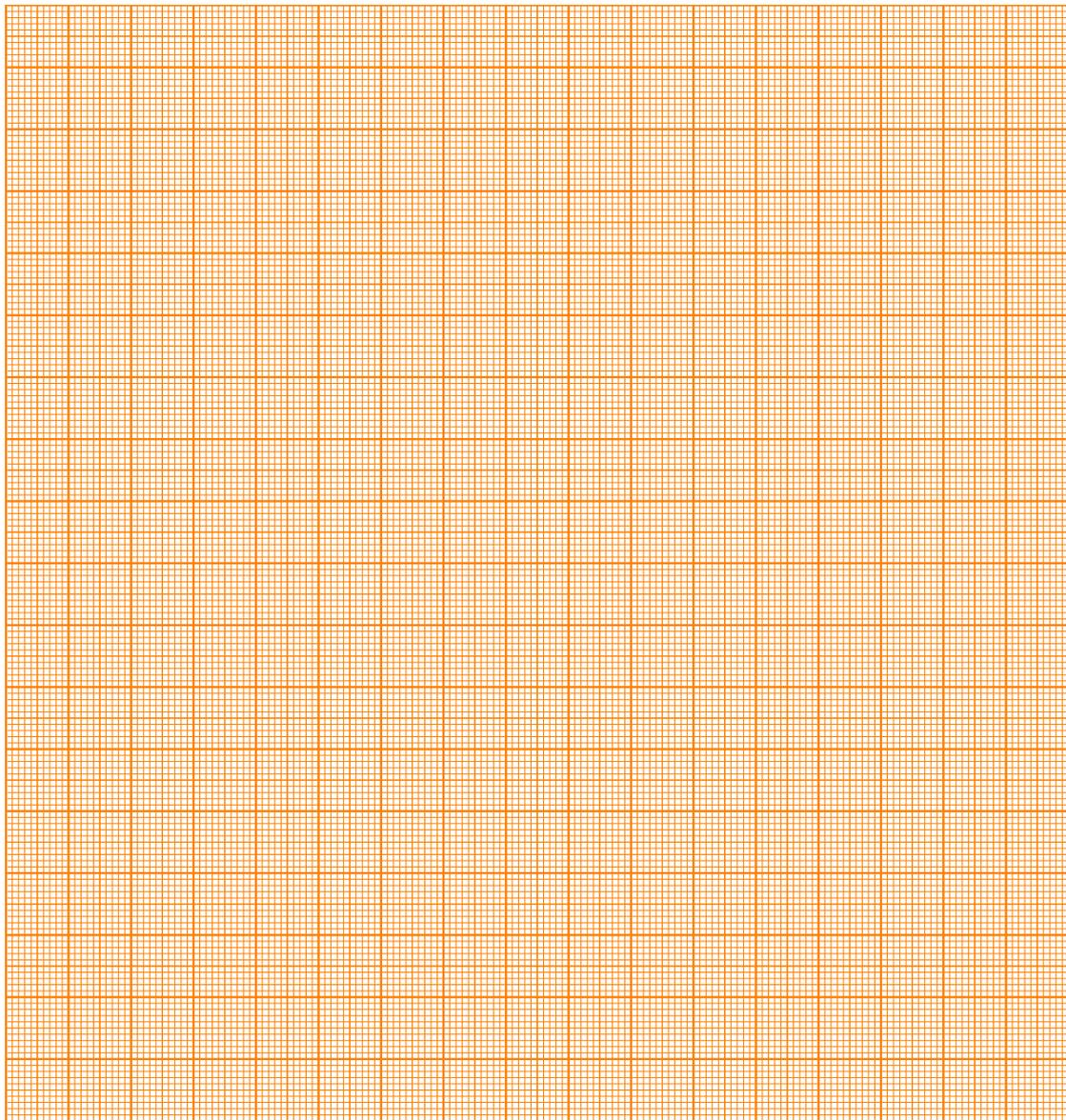
C.1 (1.2 pt)

$P =$

1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

C.2 (1.0 pt)

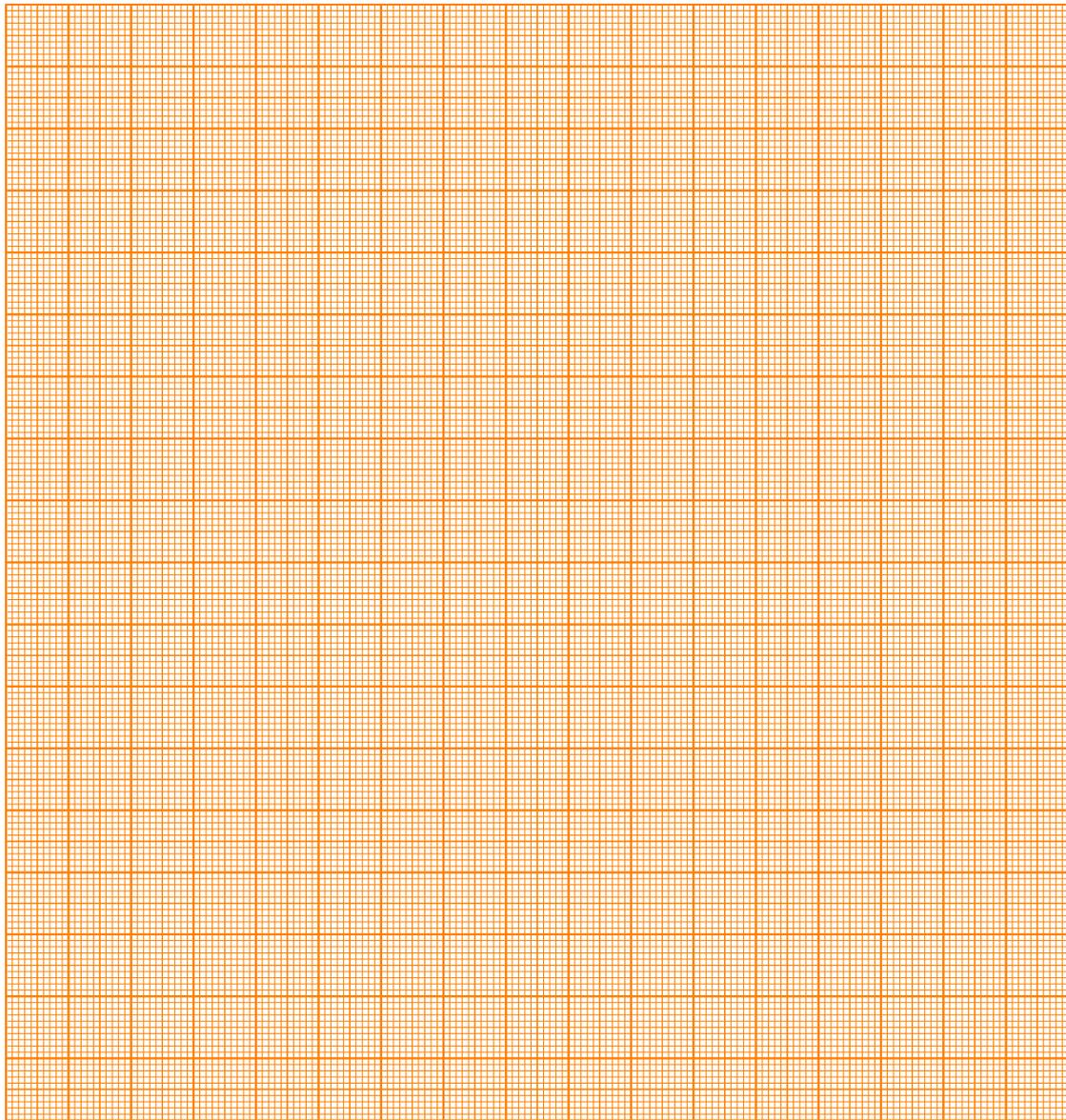
干渉縞の数が判別できる箇所で角度に関する線形のグラフを書くこと。



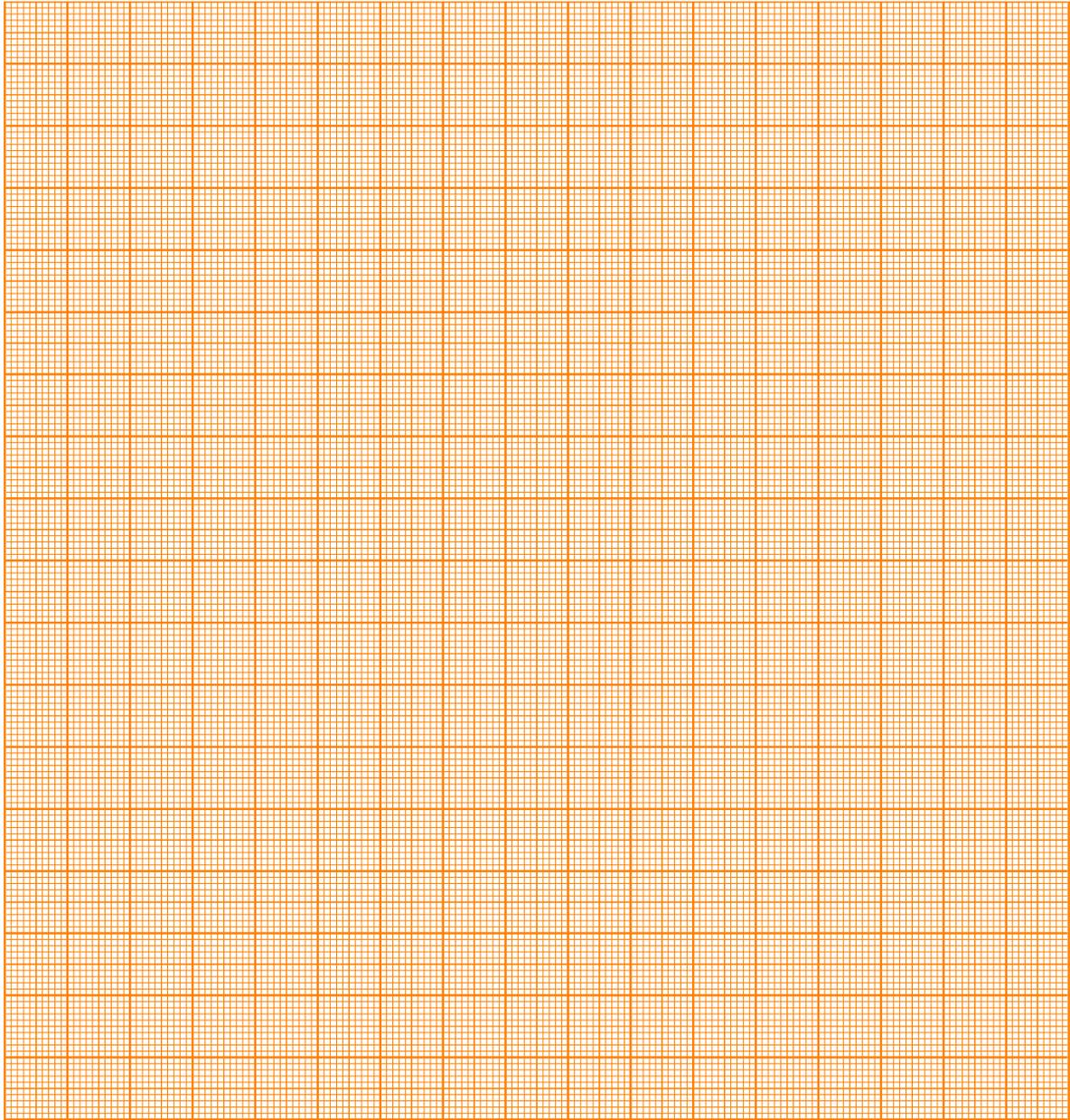
C.3 (0.5 pt)

C.4 (1.0 pt)

干渉縞の数の関数としての角度幅のグラフを作成する。



D.1 (cont.)



Experiment



A2-12
Japanese (Japan)

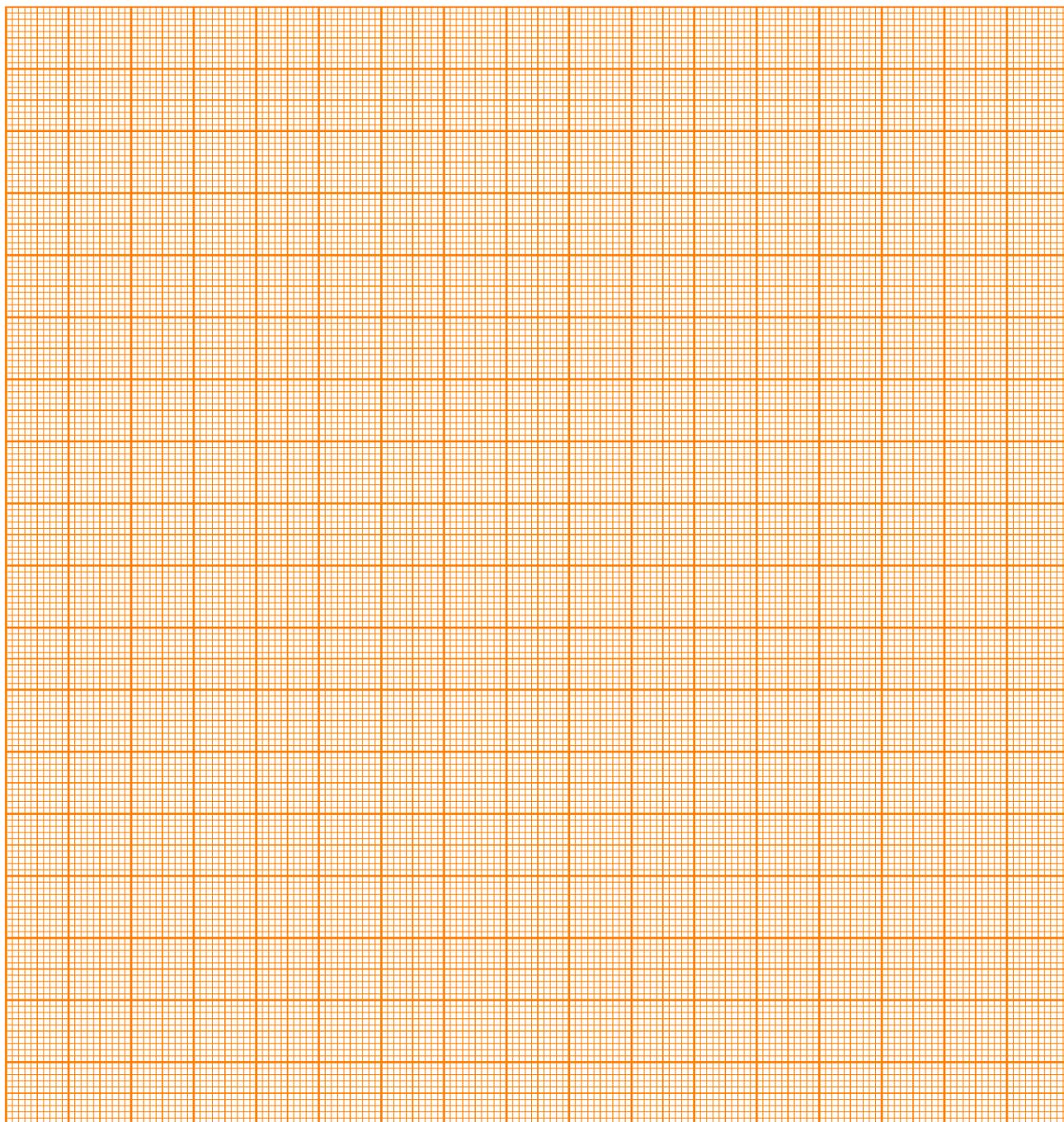
D.2 (0.6 pt)

Experiment



A2-13
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙

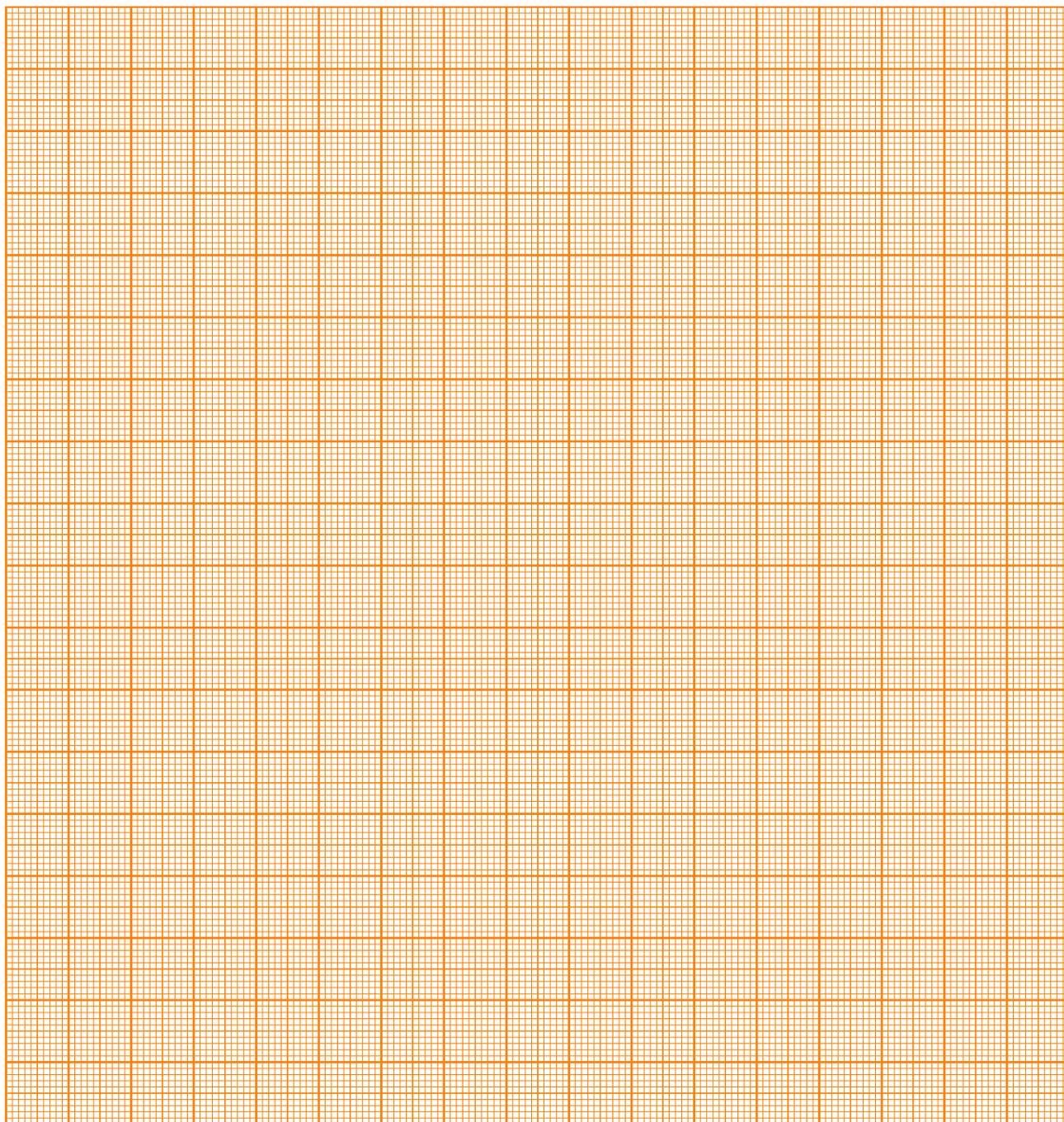


Experiment



A2-14
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙

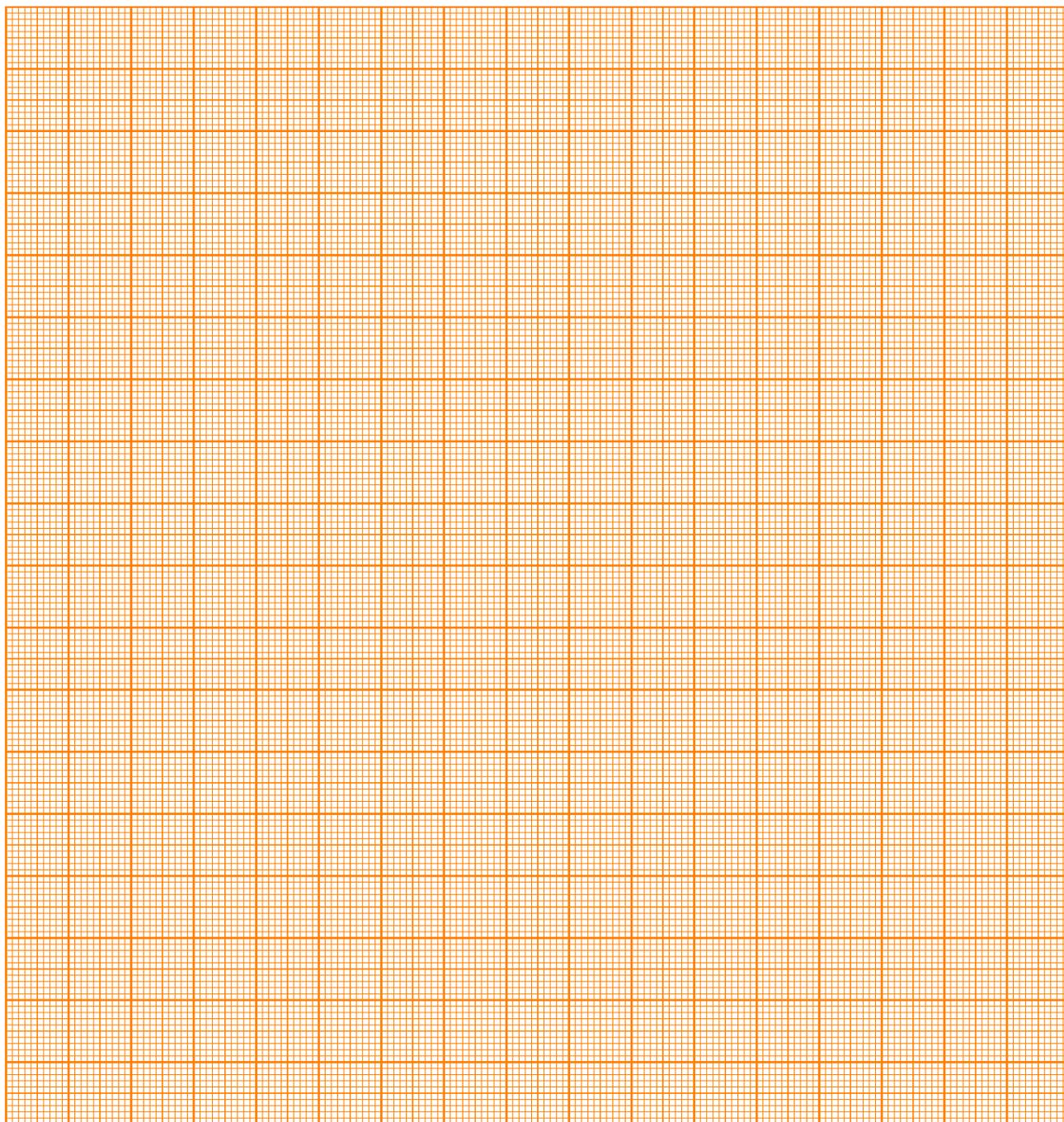


Experiment



A2-15
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙

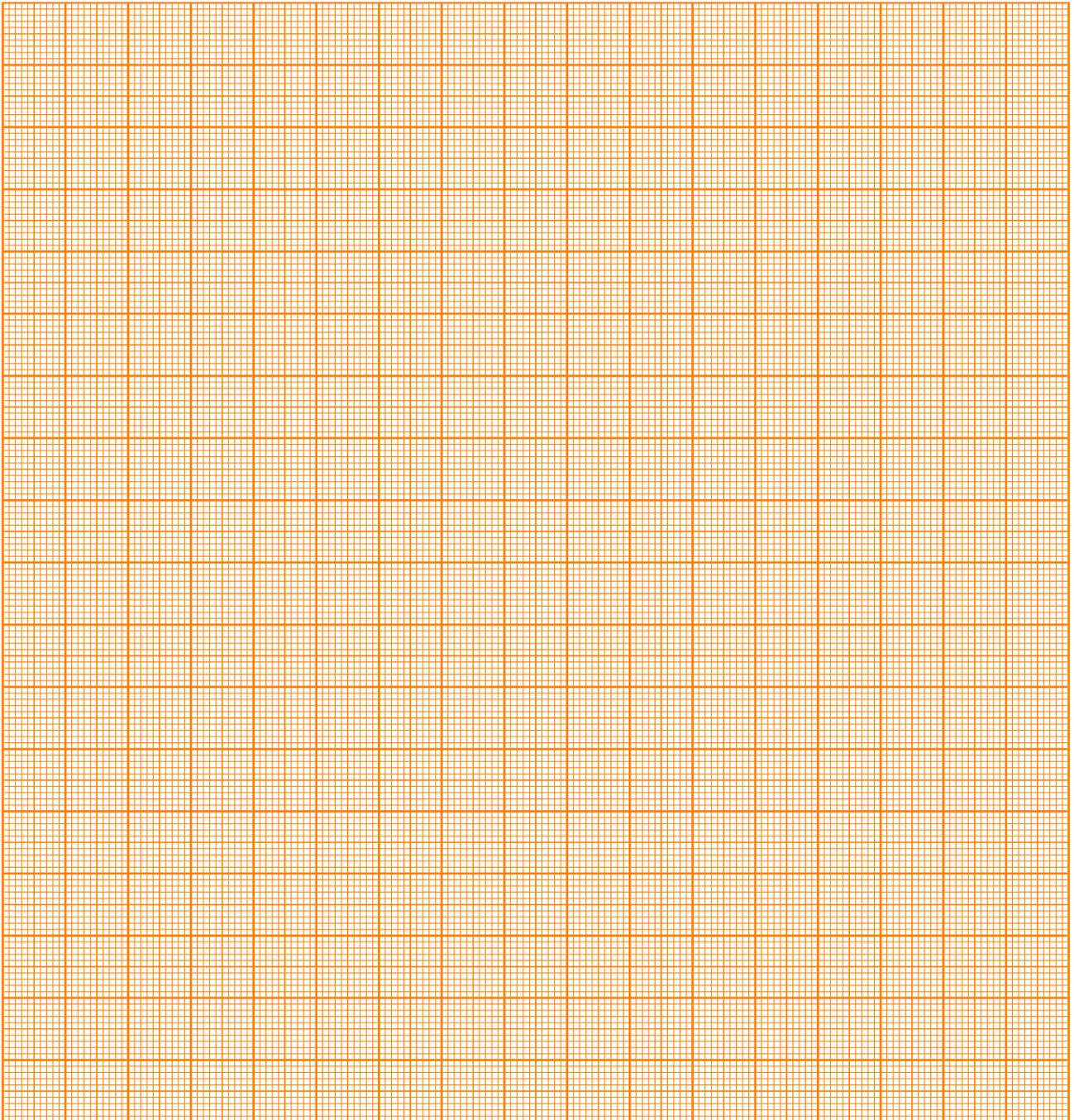


Experiment



A2-16
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙



Experiment



A2-17
Japanese (Japan)

予備のグラフ用紙

