



第14回
科学の甲子園 全国大会

実技競技① 「スマホのセンサー」

解答例と解説

(解答例)

問 1

(速さ)

式

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2 \times 3.14 \times \frac{0.10}{2.00} = 0.314$$

答え 0.314 m/s

(加速度の大きさ)

式

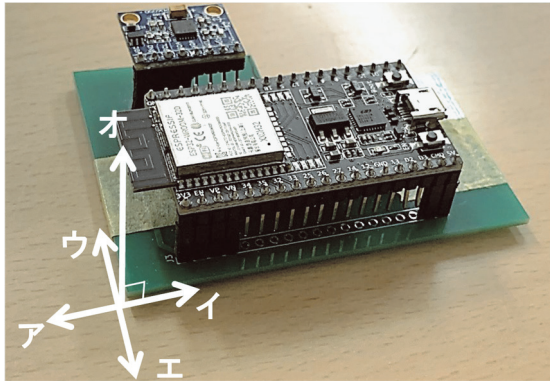
$$a = \frac{(2\pi r)^2}{rT^2} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4 \times 3.14^2 \times \frac{0.10}{(2.00)^2} = 0.9859$$

答え 0.986 m/s²

問 2

Z 軸 (正 ・ 負) の向きに 9.8 m/s² 程度

問 3



アの向き / イの向き : X 軸 ウの向き / エの向き : Y 軸

オの向き / オと逆の向き : Z 軸

問4

重力加速度

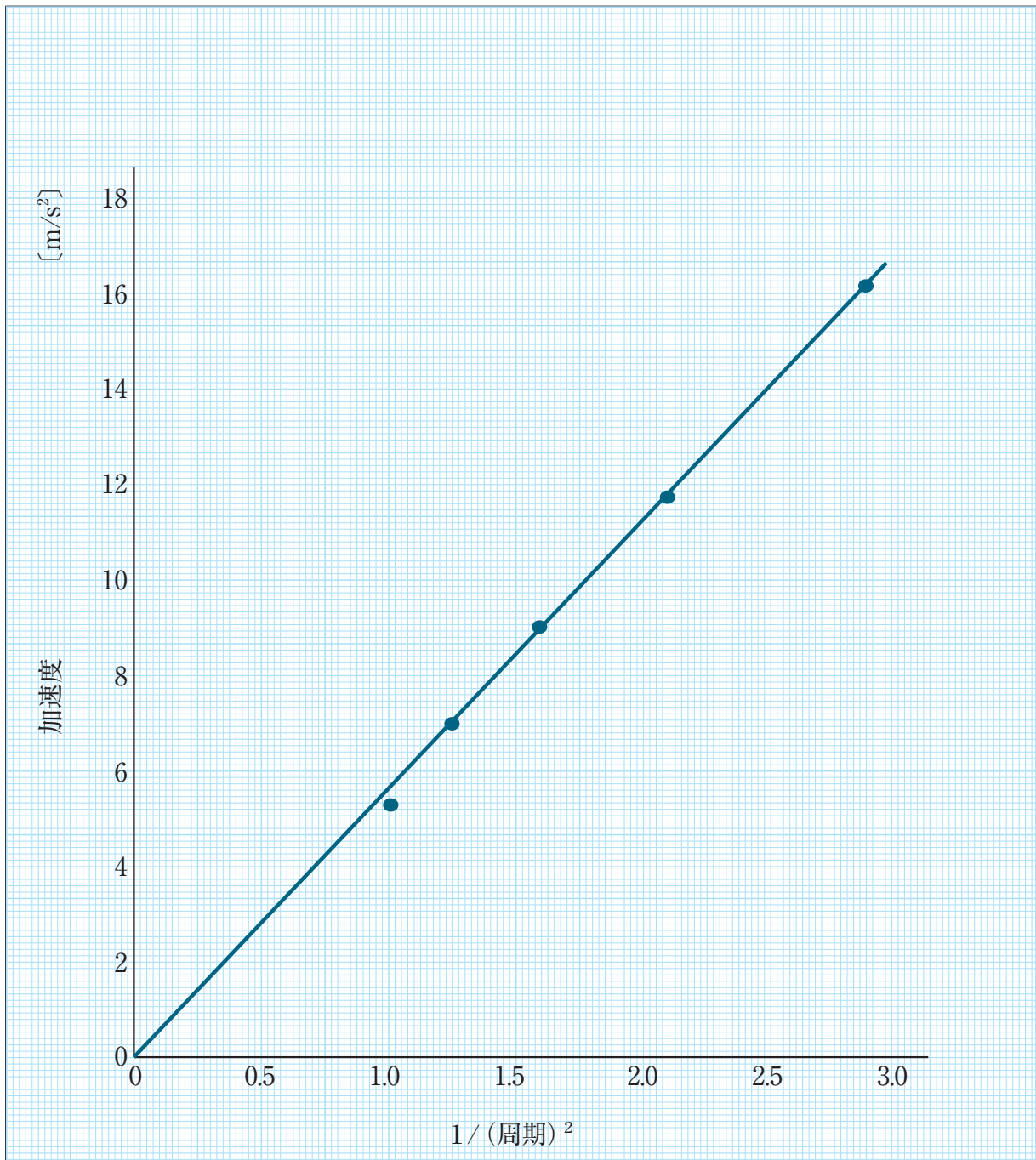
問5

(回転に沿った向き ・ 中心に向かった方向と平行な向き)

問6

	測定データ 1	測定データ 2	測定データ 3	測定データ 4	測定データ 5
半径 [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
周期 [s]	0.598	0.699	0.800	0.901	1.00
加速度の x 成分 a_x [m/s ²]	16.1	11.7	9.0	7.0	5.3
加速度の y 成分 a_y [m/s ²]	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3
加速度の 大きさ [m/s ²]	16.1	11.7	9.0	7.0	5.3

問7



理論的に示しなさい。

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (\text{①式}) = \frac{1}{r} \times \left(\frac{2\pi r}{T} \right)^2 = 4\pi^2 r \times \frac{1}{T^2} \quad \text{より上のグラフを作成。}$$

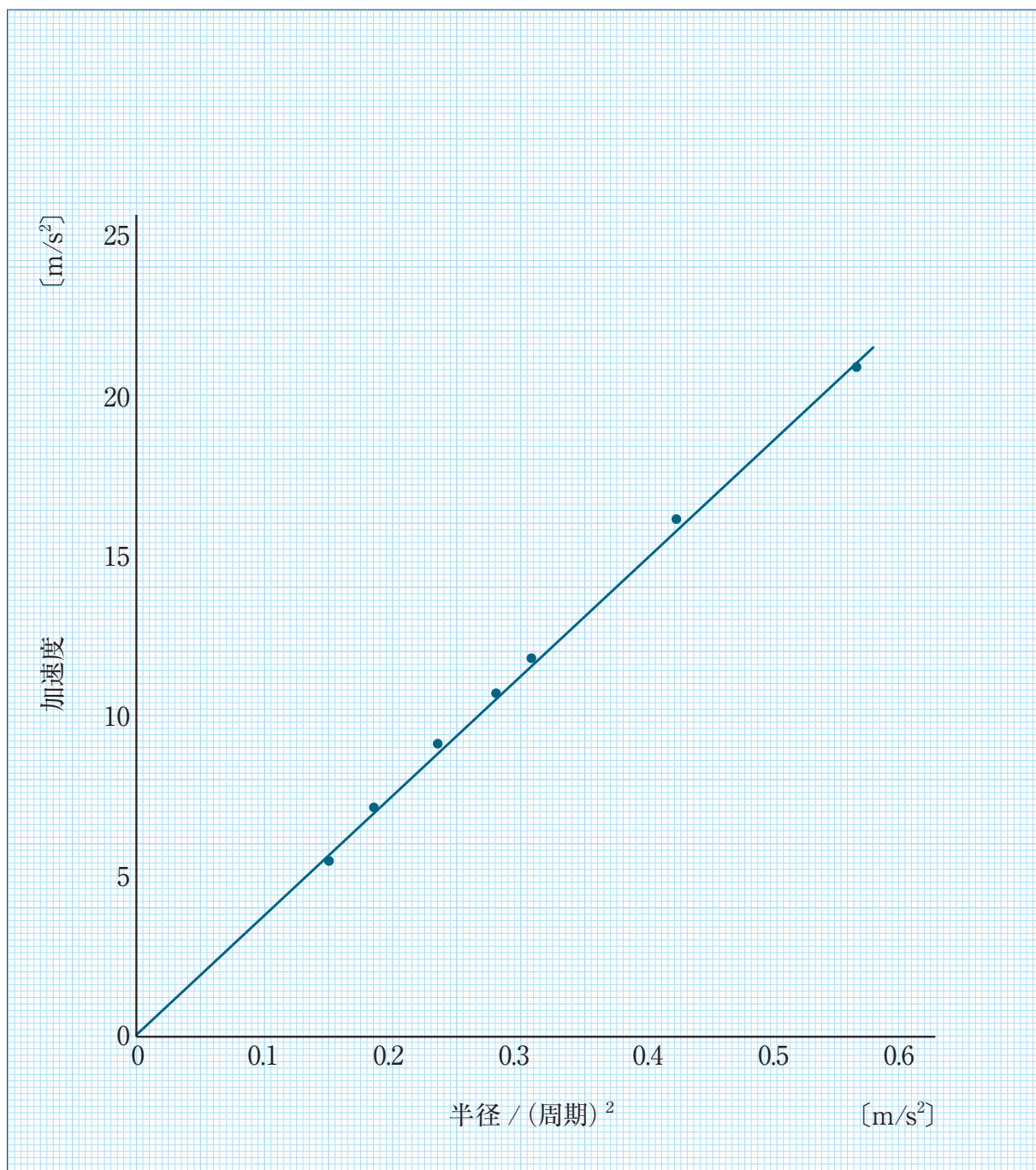
$$\text{上のグラフより傾きは } \frac{16.1}{2.80} = 5.75$$

$$\text{理論値は } 4\pi^2 r = 4 \times 3.14^2 \times 0.15 = 5.915$$

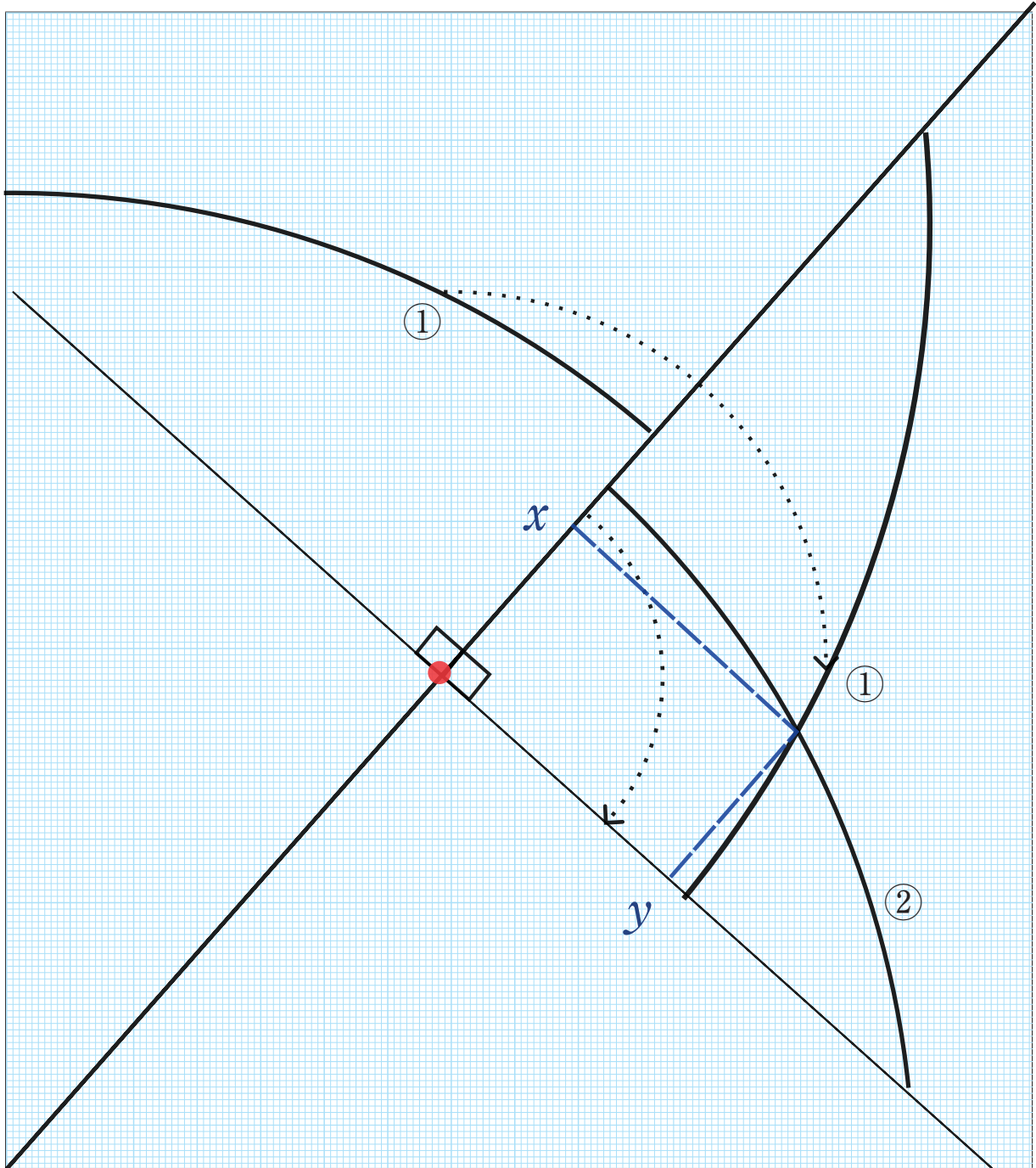
$$\text{グラフの傾き } 5.75 \quad \text{理論値 } 5.92$$

問 8

	測定データ 6	測定データ 7
半径 [m]	0.10	0.20
周期 [s]	0.598	0.598
加速度の x 成分 a_x [m/s ²]	10.6	15.4
加速度の y 成分 a_y [m/s ²]	0.1	14.1
加速度の 大きさ [m/s ²]	10.6	20.9



問9



- ① B.Box の x 軸を回転板の中心からの軸に合わせ、ある周期とそのときの加速度を計測する。問8のグラフを用いて半径を計算し、その半径で B.Box 上に円弧を引く。
- ② B.Box を原点を中心に回転させ、中心からの軸に y 軸を合わせて①と同様に測定し、半径を求め、その半径で B.Box 上に円弧を引く。
- ③ふたつの円弧の交点の x, y 座標を測定する。

(x, y) ; $x =$, $y =$

問 10

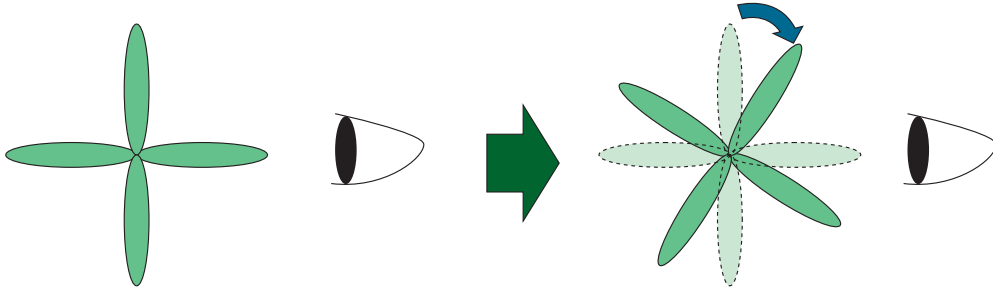
チャレンジ結果 (A ・ B ・ C ・ D) ※大会関係者が記入

x	y
-----	-----

(解説)

iPad の動画を活用して回転の速さが分かる理由

4 枚のプロペラが回っているとします。このとき、プロペラを見ている人が目を閉じ、ある頻度で瞬間的に短い時間だけ目を開けるようにしたら、その人にとってプロペラはどう見えるでしょうか？ また、プロペラが回っていないように見えることはあるでしょうか？



具体的な数値で考えてみましょう。まず、目を開ける頻度を「毎秒 2 回 (0.50 秒おき)」だとしましょう (つまり、0.50 秒ごと瞬間的に短い時間だけ目を開ける)。そして、プロペラの回転の速さを「毎秒 1 回転 (360° 回転)」だとします。このとき、この人にとって、プロペラはどう見えるでしょうか？

目を開けるたびに、プロペラは 180° 回転するはずなので、プロペラの羽は違ったとしても、4 枚の羽がまったく同じ羽ならば、毎回、同じ位置にプロペラの羽が存在しているように見えるでしょう。つまり、回転していないように見えるでしょう。では、回転しないように見えるプロペラの回転の速さは「毎秒 1 回転 (360° 回転)」しかないのでしょうか。

いいえ、そのような回転の速さはいくつもあります。例えば、「毎秒 2 回転」「毎秒 3 回転」…のように考えていくと、「毎秒 1 回転」のときと同じことになるので、速くなる分にはそのような条件を満たすものはいくらでもあるようです。

では、「毎秒 1 回転 (360° 回転)」からプロペラの回転を遅くしていくとどうでしょうか？ この場合は、毎秒 1 回転すらできないくらいの速さなので、回転数よりも回転角度で考えたほうが分かりやすそうです。何度回転したら、回っていないように見えるか、想像してみましょう。

これまでの考察から、「目を開けた瞬間」と「次に目を開けた瞬間」でプロペラの位置が変わっていなければよいと分かります。つまりこの場合は、「目を開け」てから「次に目を開け」るまでの間で、ちょうど 90°, 180°, 270°, 360° といった角度だけプロペラが回転し

ていけばよいということになります。この議論から、(速くなる分には条件を満たすものはいくらでもありましたが) 遅くなる分には下限があって、最も遅いプロペラの回転の速さは「毎秒 180° 回転 (0.2 回転)」だとわかります。

この議論をより一般化して、目を開ける頻度を「毎秒 f 回 $\left(\frac{1}{f}$ 秒ごと)」、プロペラの羽の枚数を「 N 枚」として考えてみましょう。このとき、回っていないように見えるための最も遅いプロペラの回転の速さを考えてみましょう。

目を開けてから次に目を開けるまでの時間を τ 秒とすると、 $\frac{1}{f}$ 秒と表せます。この時間が経過したときにプロペラの位置が同じであればよいので、条件を満たす最低の回転角度は $360^\circ \div N$ となります。

すなわち、プロペラは τ 秒間に $\left(\frac{360}{N}\right)^\circ$ 回転しているので、そのときの回転の速さ [1 秒当たり何度回転しているかという量] は、 $\left(\frac{360}{N}\right)^\circ \div \frac{1}{f}$ から、「毎秒 $f \left(\frac{360}{N}\right)^\circ$ 回転」ということになります。回転の度合いを「角度」ではなく「回転数」で表現すると、 360° で割ればよいので「毎秒 $\frac{f}{N}$ 回転」とも書けます。さらに、この回転の速さを“毎秒何度回転するか”という観点ではなく、“1 回転に何秒かかるか”という観点で表現し直すと、

$$1 \text{ 秒} : \frac{f}{N} \text{ 回転} = ? \text{ 秒} : 1 \text{ 回転}$$

という関係から、「1 回転につき $\frac{N}{f}$ 秒」という言い方もできますね。

次に、この「回っていないように見える」状態から、少しだけプロペラの速さを速くしていった場合のことを考えてみましょう。これまでは、目を開けるたびに同じ位置にいたプロペラの羽が、今度はその位置から少しだけ回転方向にずれた位置に見えるので、本来の速さよりもゆっくり回っているように見えるでしょう (本来の回転方向と同方向)。一方、「回っていないように見える」状態から、少しだけプロペラの速さを遅くしていった場合は、目を開けるたびに少しだけ回転と逆方向にずれた位置にプロペラの羽が見えるので、本来の速さよりもゆっくり回るのは同じですが、その回転方向は逆に見えるでしょう。

さて、以上の現象を今回の実験に応じて次のように読み替えてみましょう。

- ・ 人が「毎秒 f 回 $\left(\frac{1}{f}$ 秒ごと）」目を開ける
 - iPad が「毎秒 30 回」写真を撮る（これをつなげたのが「iPad の動画」）
- ・ プロペラの羽が「 N 枚」
 - 回転板の黒い部分が「15 個」, 「18 個」, 「21 個」, 「24 個」, 「27 個」, 「30 個」



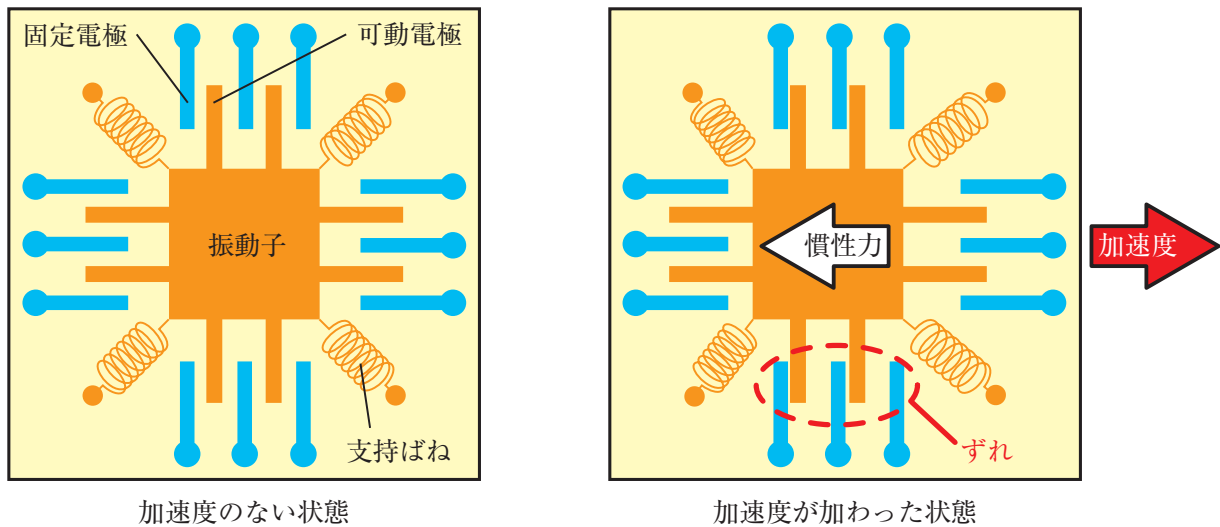
このように考えると、今回の実験においてロクロの回転が少しずつ遅くなっていく中で、「iPad の動画上で一瞬回転が止まって見え、その後は逆回転しているように見える」という現象を確認することで、そのときの回転の速さが測定できるということも納得できると思います。回転が止まって見える条件は複数あるので、一意に決まらないのではないかと思います。ですが、今回の実験の場合は、実際に操作を行ってみると、回転の速が遅くなっていく中で、最も中央に近い「白 / 黒」部分の回転が止まって見えた後、他の色の部分が止まって見える現象はそれぞれ 1 度しか訪れませんでした。つまり、この「止まって見えた瞬間」が条件を満たす速さのうち「最も遅い回転の速さ」だったとわかります。

このような現象は「ワゴンホイール効果」と呼ばれ、走行している車の車輪の動画を撮影したときにそのように見えた経験のある人も多いと思います。

今回のように、直接ストップウォッチなどを用いなくても、ある周期の定まった現象（ここでは iPad の撮影の時間間隔[おもに毎秒 30 枚の頻度 → 30 fps といいます]）があれば、様々な測定上の工夫を施す（今回は「ワゴンホイール効果」）ことで、それをもとに他の現象の頻度や周期などを定量的に求めることができます。周期を合わせることを「同期」と言い、このような考えは、この実験のみならず、多くの場面で用いられています。

スマートフォンの中に加速度センサーがある

皆さんにとって身近な存在になったスマートフォン。この中に加速度センサーが内蔵されているのはご存じですか？ このセンサーは、下図のようなしくみになっています。



加速度センサーの原理（静電容量方式）

スマートフォンが力を受けて加速すると、振動子の部分はその位置にとどまろうとする（慣性）ので、スマートフォンとともに加速して動く固定電極などに対して「ずれ」が生じます（スマートフォンの立場から見れば、みかけの力〔慣性力〕がはたらいているように見える）。この「ずれ」はスマートフォンが加速している（速度が変化している）ときに生じ、その「ずれ」による静電容量の変化から加速度が測定できるというしくみになっています。

また、スマートフォンが加速していない状態であっても、重力によってその方向に振動子が動き、やはり「ずれ」が生じるので、重力の向きや大きさを測定することもできます。これが、実際の加速度のほかに重力加速度も測定できてしまう理由です。本当の加速度ではないので、一見、邪魔な情報かと思ってしまうかもしれませんが、これによって、スマートフォンの向きがわかるのです。寝ながらスマートフォンを見ていると画面が勝手に回転してしまった、という経験はありませんか？あるいは、スマートフォンで動画を見ようとして、意図的にスマートフォンを横に傾け、自動的に画面を回転させたという経験を持っている人も多いと思います。これまでの議論で想像がついたかもしれませんが、スマートフォン内蔵の加速度センサーで重力の向きを調べることで、スマートフォン自身がどちらに傾いているかを判断できるのです。

他にも、レースゲームなどをする際にスマートフォンを動かして動作させるときや、万歩計機能、VR/ARなど、幅広い用途に加速度センサーの情報が用いられています。

今回はスマートフォンを模した箱を用いた実験でしたが、学校に帰ったら、ぜひ本物のスマートフォンを用いて、今回の実験方法を活用して、実際のスマートフォンの加速度センサーの位置を見つけてみてください！ スマートフォンであれば、「phyphox」といったアプリを活用すれば、今回のように PC は不要で、回転させているスマホそのものに加速度の値を表示させることができますから、もっと簡単に測定できるでしょう。ただし、くれぐれも激しく回転させ過ぎて、スマートフォンを壊してしまわないように注意してください。

スマートフォンの中にはセンサーがいっぱい

スマートフォンには、加速度センサーのほか、様々なセンサーが内蔵されています。どんなものがあるか、具体例（一部）を見ていきましょう。

- ・ジャイロセンサー – スマートフォンの回転角速度を測定する（加速度センサーと組み合わせることで、より高精度の姿勢推定などが可能になる）
- ・地磁気センサー – 磁場を測定する（地球の磁場を測定することで北向きがわかるようになるので、地図アプリなどで役立つ）
- ・光センサー – スマートフォンの周囲の明るさを測定する（スマートフォンの画面の明るさを自動的に調整し、目への負担やバッテリー消費を抑える）
- ・気圧センサー – 気圧を測定する（高さによって気圧が変化することを用いて、スマートフォンのある位置の高さ方向の情報を得る）

などなど。