



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」

問題



私たちが使っているスマートフォンには、歩数を計測するためなどに加速度センサーが入っています。このセンサーの位置を探してください。

次の文章を読み、下の問1に答えよ。

図1の太い点線で示す円周上を、反時計回りに等速で円運動している物体について考えよう。等速であっても、物体の運動の向きが刻々と変わるため、加速度は0ではない値となる。この等速円運動をしている物体について、中心からの距離（半径）を $r$ 、速さを $v$ とすると、加速度の大きさが $\frac{v^2}{r}$ （①式）で表されることは、理論的によく知られている。

この問題では、このことを実験から確かめ、応用的な実験にもチャレンジしなさい。なお、円周率は3.14として計算してよい。

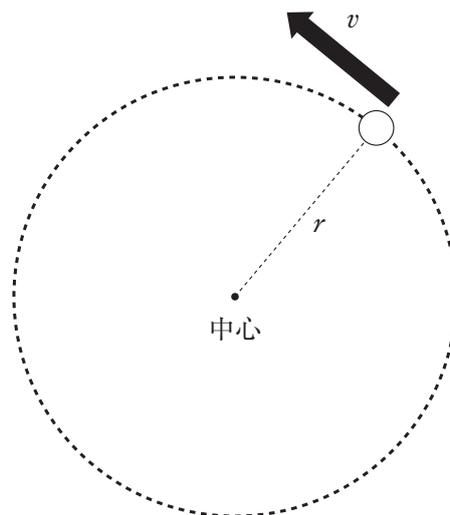


図1

問1 円運動している物体が、円を1周するのにかかる時間を「周期」という。たとえば、ある物体が半径10.0 cmの円を周期2.00 sで等速円運動しているとき、物体の速さと加速度の大きさを求めよ。



- (3) しばらく待つと、適切な番号であればアップピンが色づきデータ取得が開始される。  
 (うまくいかなければ、違う番号のポートをクリックし、やはりしばらく待つ)



- (4) X, Y, Z 軸の加速度がほぼリアルタイムに測定でき、測定値やグラフが表示される。

注意：測定がうまくいかない場合や、値がおかしいと感じた場合は、加速度センサー付きのマイコンボードをリセットして、Appin アプリの画面右上の **×** をクリックして閉じてから、Appin.exe をダブルクリックして再起動する。

**【加速度センサー付きマイコンボードのリセットのしかた】**

次のうちのどれかの操作を行う（a, b, cは**実験2**のみ。dは**実験3**のみ。）

- a マイコンボード上の極小のボタン「EN」を押してしばらく待つ。
- b アプリ画面上の **Reset** をクリック。
- c 4 番ピンから出ているピンの先端の金属部分を 6 秒程度、指でつまみ続ける。

※前ページ(1)マイコン写真参照

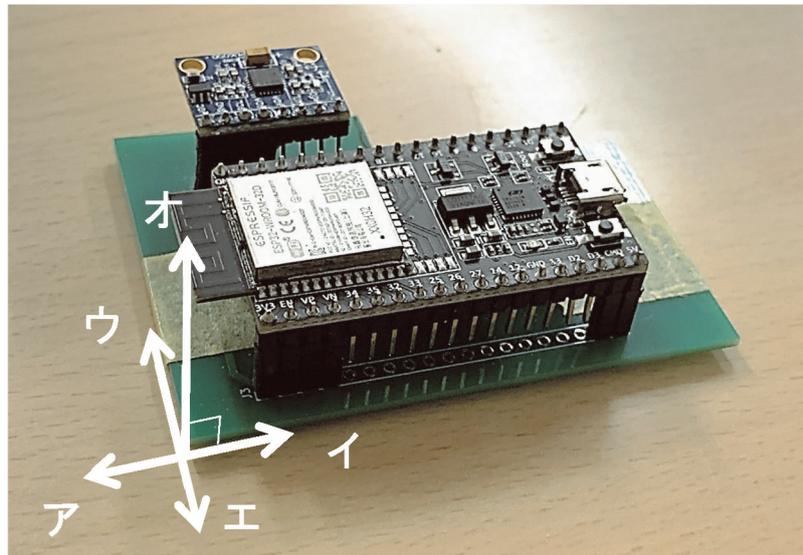
- d (**実験3**のときのみ使用する) B. Box の銅の部分 を 6 秒程度、指で触れ続ける。



※ リセットすると自動的に 15 秒間, 加速度センサーのキャリブレーション (校正) を行うので, 水平な面の上にマイコンボードを静止させたままにしておくこと。キャリブレーション中に動かしたり, 水平な状態から外れた状態にしたりすると, 正しい加速度の値が出力されないので注意すること。そのような場合は, マイコンボードを水平な状態にしてもう一度リセットし, キャリブレーションをやり直すこと。

問2 この「設定」に関する「ある方向の加速度」はどちら向きで, どのくらいの値ですか。有効数字2桁で答えよ。

問3 下図の各方向は何軸に対応していますか。X, Y, Zの中から選んで答えよ。



問4 このことから, 次のようなことが考えられる。以下の空欄に入る言葉を答えよ。

「加速度センサーは, センサー自身が運動するときの加速度に,  を加えたものを測っているといえる。」

以上のことを踏まえて, 円運動の加速度が①式で表されることを検証しなさい。〈実験2〉を行うとともに後の問5～問8に答えよ。

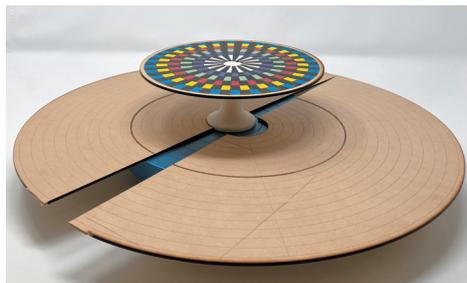
〈実験2〉 周期と加速度の関係

準備するもの：ロクロ、回転板、測定板、軸、加速度センサー付きマイコンボード（バッテリー付）、マイコン固定用テープ、定規、ノート PC、iPad



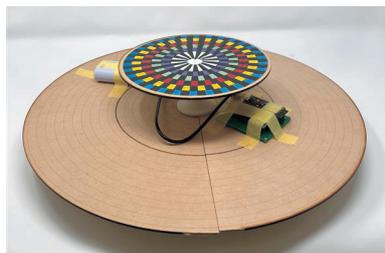
～準備～

- (1) ロクロと回転板とを軸を介して取り付け、さらに測定板を取り付け、ともに中心が回転の軸と一致して回転するようにする。



ロクロに回転板と測定板を取り付けたようす

- (2) 測定板の適切な位置にマイコンボードをテープで固定する。



～操作方法～

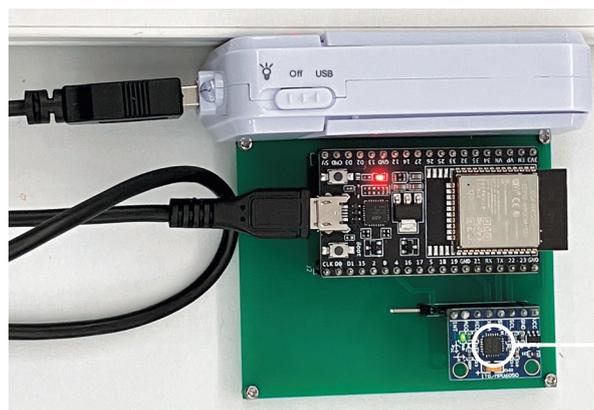
同心円状に6パターンの縞模様が描かれている回転板をロクロの上で一緒に回転させ、30 fps（毎秒30枚の撮影）のiPadのカメラで縞模様を観察する（測定板の太い線の内側を手で押しながら回すとよい）。ある程度高速で回転しているときは、6つのパターンすべてで、回転板が回転と同方向に回転しているのが観察できるが、回転が減衰してくると、先ず一番内側のパターン（白黒）のみが逆回転を始めるのが観察できる。その後、減衰するにつれて外側のパターンに逆回転が広がっていく。逆回転が観

察できる直前には、その色のパターンだけが止まって見える。そのときの回転板の回転数は次の表のようになってる。いずれかのパターンにおいて逆回転が始まる直前の加速度を計測する。

位置	パターン	1 s あたりの回転数	加速度
最も内側	白／黒	2.00	計測しない
内側から 2 番目	紫／黒	1.67	
内側から 3 番目	緑／黒	1.43	
内側から 4 番目	赤／黒	1.25	
内側から 5 番目	黄／黒	1.11	
内側から 6 番目	青／黒	1.00	

**問5** 実験データから、等速円運動をしている物体の加速度の向きは、物体と中心を結んだ線の向き、その線に垂直な線の回転面の向きのどちらだといえるか。

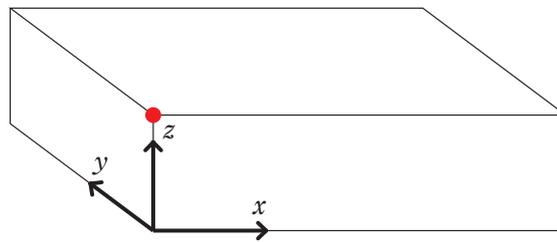
**問6** 測定板上のマイコンの位置を加速度センサーの位置が 15.0 cm になるように固定して回転させ、iPad のカメラで動画を確認し、減衰するにつれて外側のパターンに逆回転が広がっていくのを観察する。そのときの周期と加速度の大きさを測定し、表にまとめなさい。なお、表にまとめる際、加速度の大きさ  $a$  については加速度の  $x$  方向の成分  $a_x$  と  $y$  方向の成分  $a_y$  より  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$  で求めることとし、小数第 1 位まででよい。



**問7** この表の値をそのままグラフにプロットするだけでは、「半径が一定のときに周期と加速度の大きさがどのような関係にあるか」を表すのには不十分である。横軸を工夫して適切なグラフを作成することによってその関係を表しなさい。なお、直線や円などの図形をグラフ内に書き込む場合は、傾きも含めた特徴的なものの値を単位付きで付記し、その量の意味があれば、それも記しなさい。また、その関係が①式（加速度の表式）を満たしていることを理論的に示しなさい。

**問8** 今度は**問6**で測定した 15.0 cm 以外の2つの半径に変えた場合のデータをそれぞれ測定（周期は自由）しなさい。これによって、**問6**で測定した5つのデータとあわせて、これまで7つのデータを測定したことになります。これらの7つのデータをすべて用いて、加速度の大きさが①式で表されることを確かめられるような適切なグラフを描きなさい。なお、グラフの横軸と縦軸には、どのような量を取って確かめたのか、わかるようにしなさい。

以上のことを踏まえて、加速度センサー付きマイコンボードが内蔵された B. Box（ブラックボックス）の中の加速度センサーの位置を推定しよう（このボックスをスマホに見立てている）。なお、加速度センサーの Z 軸と B. Box（下図）の z 軸の向きが一致するように、加速度センサー付きマイコンボードは B. Box 内部で任意に固定されている。



B. Box

### 〈実験3〉 センサーの位置の測定

準備するもの：ロクロ, B. Box, 固定用テープ, 定規, ノート PC, iPad

～操作方法～

- (1) P.4 を参考にマイコンボードをリセットし、Appin アプリを再起動をする。
- (2) ロクロの測定板に B. Box を固定し、適切な条件で加速度や周期などを測定する。
- (3) 同様に様々な条件で複数回実験する（実験回数については各自考えて設定）。

※ 動作がうまくいかなくなった場合は、B. Box の銅の部分を 6 秒程度、指で触れ続けることでリセットできる。

※ 測定板や B. Box に鉛筆でしるしなどを書きこんでもかまわない。B. Box を落としてしまったり、強い衝撃を与えてしまったりした場合は、監督の先生に申し出ること。

**問9** B. Box の 1 頂点（赤の印を原点とする）をもとに、加速度センサーの x 方向と y 方向の位置を推定しなさい。また、その推定に至る実験方法や測定結果・解析（表やグラフ、計算式など）について、流れがよくわかるように書きなさい。

## 〈特別ボーナス〉

問 10 問 9 までのすべての問いに解答したチームで、推定した位置に確信が持てたら、1 度のみ「チャレンジ」ができます。チーム全員が専用の「チャレンジブース」に行き、位置を書いた専用紙を提出してください。その場で次に示す基準によって評価を発表します。

- ・正しい位置から  $\pm 1.5$  cm (A),  $\pm 2.0$  cm (B),  $\pm 3.0$  cm (C), それ以外 (D) でランキングに応じて、以下の得点を付加します。

A … 50 点    B … 30 点    C … 20 点

- ・「チャレンジ」は各チーム 1 度のみで、再度チャレンジできません。ただし、その判定をもとに測定をやり直して、問 9 の結果や記述を改善することはできます。(チャレンジで申告した「位置」の値と、最終的に提出する問 9 の「位置」の値が異なってもかまいません)

問題は以上です。