

2023年10月15日 Y P C例会 於神奈川県立大船高等学校

物理チャレンジ2023 第2チャレンジ 実験課題1

剛体の回転運動と角運動量の保存

東京学芸大学 右近修治

- 実験課題 1 : 剛体の回転運動と角運動量の保存

【課題の目的】

並進運動における運動量保存の法則に対応するものとして、回転運動には角運動量保存の法則がある。惑星の運動における面積速度一定の法則（ケプラーの第2法則）や、フィギュアスケートで手を広げてスピンしているスケーターが腕を縮めると回転が速くなるのはその例である。

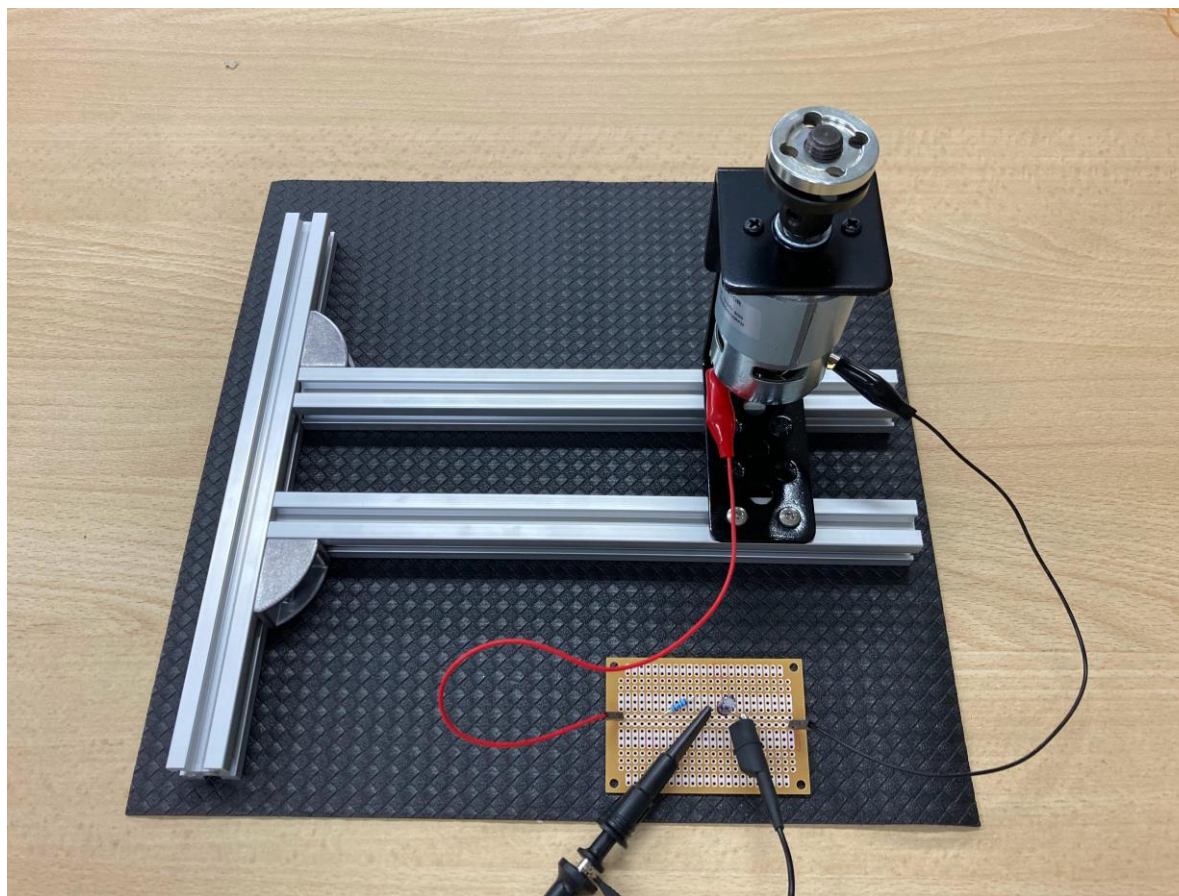
本課題では物体の固定軸の回りの回転運動について調べる。物体の並進運動において、質量は物体の動かしにくさや、止めにくさ（慣性）を表わす量であるが、物体の回転運動についても、回転させにくさや、止めにくさを表わす量があり、これを慣性モーメントと呼んでいる。モーターが回転すると起電力が発生することを利用してこの慣性モーメントを求めてみよう。また、角運動量が保存されることを実験的に確かめてみよう。

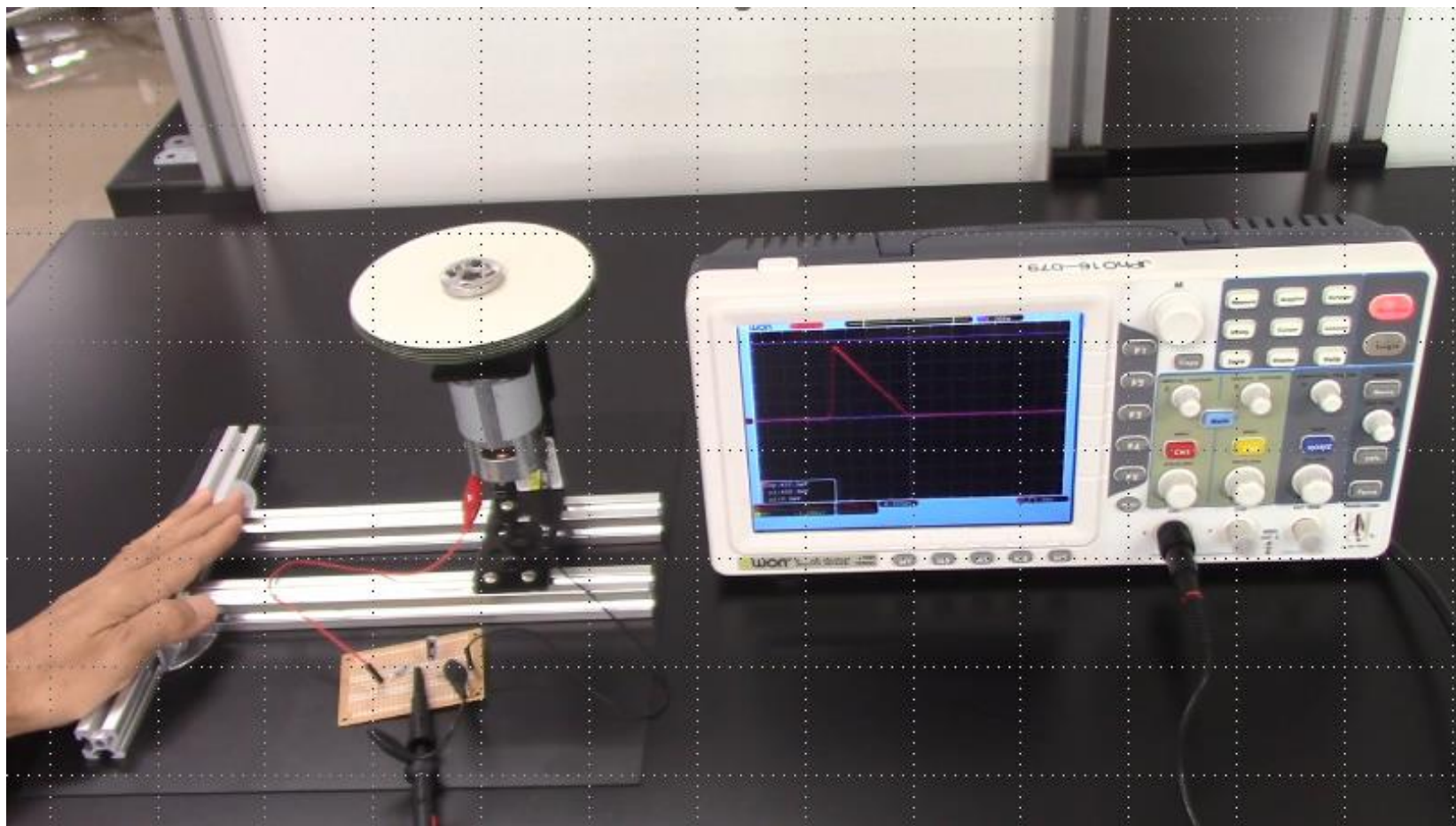
テーマは剛体の回転運動

慣性モーメントの測定、角運動量保存の法則の検証

課題 1 - 1 慣性モーメントの測定

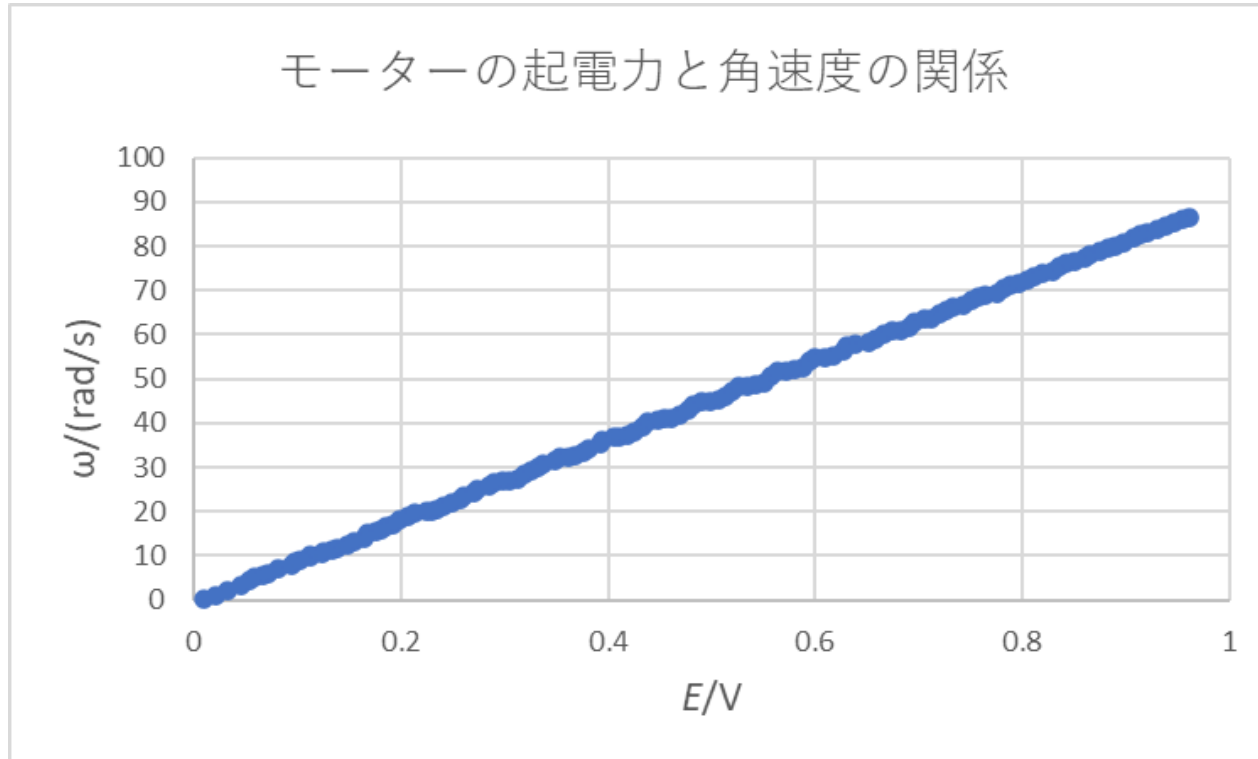
装置全体の写真です。
直流モーターの先にコネクティングロッドが固定してあり、ここにCDを取り付け、手を使って回転させます。モーターは発電機にもなりますので、このとき生じる誘導起電力をオシロスコープで測定します。手前にあるのは発生する誘導起電力を平滑化するためのRC回路基板です。





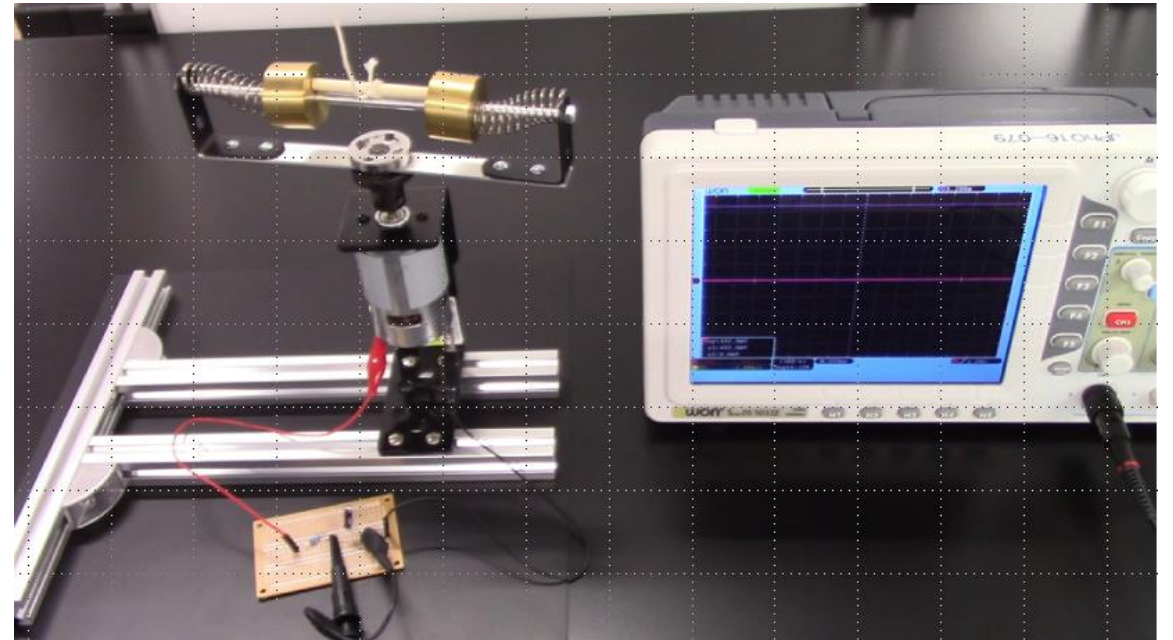
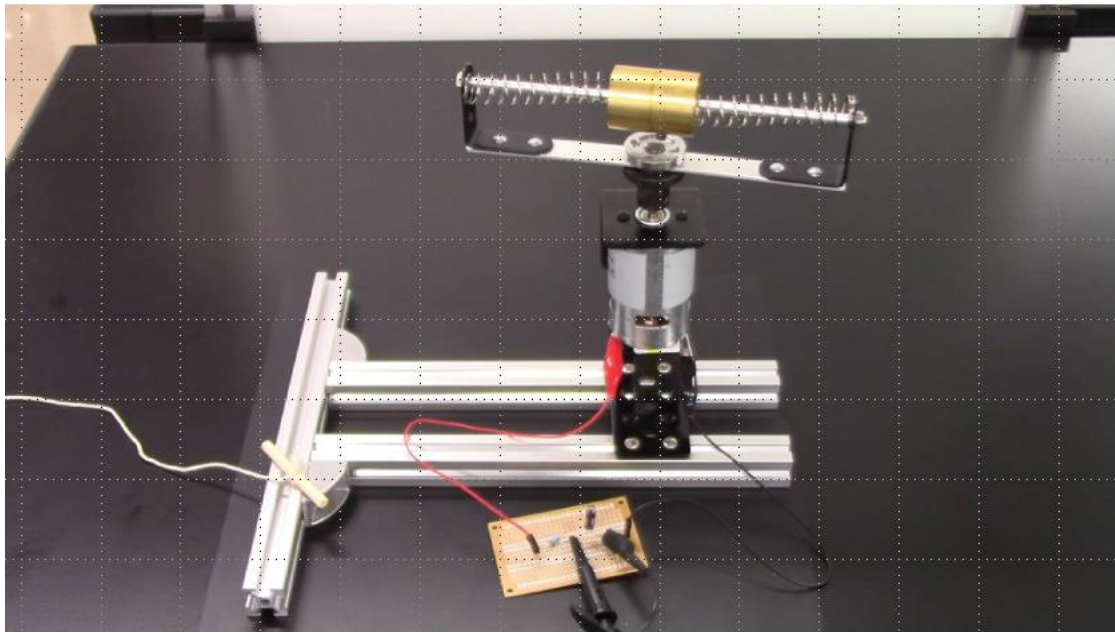
起電力の時間変化のデータは容易に取り出すことができます。
適当なところで、オシロ画面を止めます。オシロ画面の縦の1マスが100 mV、横の1マスが500 msになっていますので、約2 sの間に起電力が400 mVから0 mVに変化していることがわかります。

モーターの起電力と角速度の関係



モーターの回転の角速度 ω と、生じる起電力 E の関係は、別に測定しています。実験では、この関係が全てのモーターに成り立つとしています。先の起電力の時間変化から回転の角加速度がわかります。CDの枚数を変えて回転の角加速度を求めることにより、回転体全体の慣性モーメントと角加速度の関係がわかります。

課題 1 - 2 角運動量の保存



課題1の2は角運動量の保存です。

コネクティングロッドからCDを外し，回転アームを取り付け，スムーズに回転することを確認します。おもりの間に割り棒を挿入し，回転体全体の慣性モーメントを大きくしておきます。

角運動量保存の法則

回転体を回転させ、途中で割り棒を引き抜くと、回転体全体の慣性モーメントが小さくなり、角速度が突然増加します。割り棒引き抜きの直前、直後の起電力を読み取れば、直前、直後の角速度がわかります。また、引き抜き前後での起電力グラフの傾きから、前後での慣性モーメントがわかります。これより引き抜き直前直後での角運動量 $L = I\omega$ を求めることができます。これが割り棒引き抜き前後で変わらない、というのが角運動量保存の法則です。この実験ではこれを定量的に確かめることができます。



$$L = I\omega = \text{一定}$$

$$I_i\omega_i = I_f\omega_f$$

I_i : 初めの慣性モーメント

ω_i : 初めの角速度

I_f : 終わりの慣性モーメント

ω_f : 終わりの角速度

角運動量保存の法則は外部から余計なトルクを受けないときに成り立ちます。
ところで、割り棒引き抜き前後で、回転の運動エネルギーはどうなっているのでしょうか。回転の運動エネルギーは増えているのでしょうか？減っているのでしょうか？それとも変わらない？また、ばねの弾性力による位置エネルギーを含めた全力学的エネルギーは変わらないのでしょうか？これが発展問題となっています。