

シミュレーション②…動画で ゲイン/摩擦係数/振り子長さ調整

川村 聡

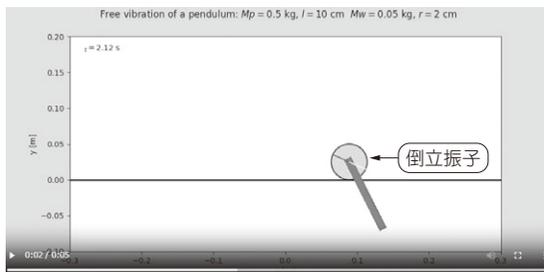


図1 リスト1を実行して出力されたアニメーションGIFファイルを再生している様子

本稿では、第1部 第2章で作成した倒立振り子モデルのシミュレーション結果をより直感的に分かりやすくするために、Matplotlibを使ってアニメーションで表示します。その後、実際に制御則を導入して、倒立振り子モデルを使ったシミュレーションを行います。シミュレーションの動画を次の本誌サポート・ページで確認できます。

(編集部)

https://interface.cqpub.co.jp/202504_1b

準備…

Matplotlibでアニメーション表示

リスト1は、振り子が自重で倒れるアニメーションを表示するプログラムです。なおリスト1は、第1部 第2章のリスト2の53行目以降にあるグラフ表示を、アニメーション表示に置き換えたものなので、単体では動作しません。

● 早速アニメーション動画を出力してみる

リスト1を実行すると、アニメーションGIFファイルが出力されます。この様子を図1に示します。動画は、本誌ウェブ・ページの動画1として再生できます。

動画では、振り子が倒れると同時にそれと逆方向に車輪が回転し、しばらくぶらぶらと下側で左右に振れた後、やがて振動が減衰して停止します。このように、同じ出力データを動画にただで、現実的でいかにもそれらしい動きをしていることが分かります。グラ

フで波形を見るよりも直感的に分かりやすいので、物理シミュレーションにおいて、アニメーション出力は必ず実装すべき機能と言えるでしょう。

● コードの内容

リスト1の中身を解説します。2～3行目でNumPyの解析結果データから角度データを取り出しています。次の5行目で車輪の角度データから車輪のX位置を計算しています。これを車輪の付いた振り子のアニメーションに渡します。

▶ アニメーション描画

7行目以降はプロットするグラフ・エリアの設定を行っています。20行目から具体的に地面の線分、振り子の線分や車輪の円を描画するコードが記述されています。車輪は回転しながら左右に移動し、振り子は車輪の中心軸周りに回転させます。アニメーションにおける車輪の回転角 ϕ はグローバル座標系に対して定義していますが、解析の際は振り子の角度 θ を基準にした相対的な回転量で定義していたので、3行目で別途 θ を足す処理を加えています。

実際のモデルでは、振り子の角度が $\pm\pi/2 + a$ を超える範囲では振り子の先端が地面に接触して強制的に停止してしまいますが、今回は衝突を検出できないため、振り子が地面を通り抜けるように見えます。

▶ 動画の再生・出力

動画はJupyterLab環境で動画や音声の変換ツールであるFFmpegを通じてアウトプット・ウィンドウ内で再生できる他、GIFファイルに出力もできます。FFmpegの実行に際しては、別途インストールが必要です。OSごとにインストールしてPathの設定を行うか、コマンドラインから次のようなコマンドを入力してインストールを実行します。

```
pip install ffmpeg-python
```

アニメーションのトータル時間(=解析時間)は、リスト1の44行目の $t_end=5$ の値を変えることで変更できます。また、リスト1の52行目`animation.FuncAnimation`関数の中にあるフレームを切り替える時間[デフォルト=($t[1] - t[0]$) * 20