L-4

加速度運動実験支援ソフトウェアを用いた力学的エネルギー保存則に関する実験への応用

Application for Law of Conservation of Mechanical Energy Using Accelerated Motion Experiment Support Software

○太田　祐貴 [1]，鈴木　聡太郎 [1]，星野　貴弘 [2]，浜松　芳夫 [2]
*Yuki Ota[1], Sotaro Suzuki[1], Takahiro Hoshino[2], Yoshio Hamamatsu[2]

Abstract:Middle and high school students learn about law of conservation of mechanical energy. Standard experiments of this law is carried out using a pendulum. It is difficult that students measure energy directly and observe energy dynamics in motion. We have developed AES (Accelerated motion Experiments Support software) in previous research. In this report, we update AES for experiments of this law and consider measurement result using AES.

1. はじめに

中学・高等学校の物理の単元では力学的エネルギー保存則を学習する．力学的エネルギー保存則の実験としては振り子を用いた実験方法 [1] や球を木片に衝突させ，球が持つエネルギーの大きさを木片の移動距離に対応させて求める実験方法 [2] がある．しかしこれらの方法は，運動過程を定量的に計測する装置を用いてないため，運動エネルギーを直接求めることができない．また運動開始時と終了時のエネルギーのみ求めているため運動中においてもエネルギーが保存されていることを観察することが難しい．

これまで筆者らは，中学・高等学校の加速度運動実験において授業時間の短縮，物理現象の直観的理解の促進を目的としてスマートデバイスを利用した加速度運動支援ソフトウェア (Accelerated motion Experiments Support software, AES) を開発してきた [3]．AES は運動中の各種物理量の計測が可能である．また測定結果をスマートフォンの画面上に即時表示できるためエネルギーの移り変わりを理解する上で役に立つと考えた．本研究では，AES の応用例として力学的エネルギー保存則に関する教育実験を行う上で，AES に追加した機能について報告する．また計測を行った結果について考察する．

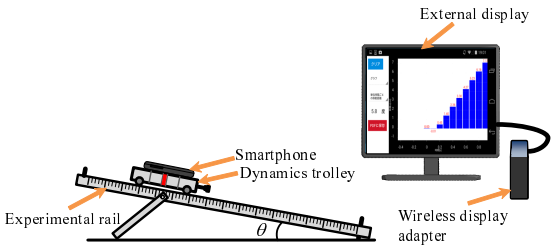

Fig. 1: Experiment system

2. 加速運動実験支援ソフトウェア (AES)

AES は，スマートデバイスに内臓されている加速度センサより加速度を測定する．また加速度から速度，移動距離に変換しグラフ表示させる．Fig.1 に AES を用いた実験システムを示す．AES を導入したスマートフォンを力学台車の上に固定し実験に使用する．スマートフォンの表示画面を外部ディスプレイに出力することで，生徒は力学台車の運動の様子とその際の運動量の変化を同時に観測することができる．これにより，グラフの理解を促す効果を期待する．

3. AES の追加機能

力学的エネルギー保存則の実験を行うために AES に新たに運動エネルギー，位置エネルギーそれぞれの表示機能を追加した．Fig.2 に追加機能を実装した AES のグラフモードを示す．画面左下に現在の角度を表示する．角度の上に測定項目を表示する．測定項目ボタンをタップすると各物理量のグラフを表示することが出来る．画面右上の詳細ボタンをタップするとグラフの各プロットの数値が表示される．また画面をピンチイン，ピンチアウトすることでグラフを拡大，縮小することもできる．現在，中学・高等学校で習う運動エネルギー E_k，位置

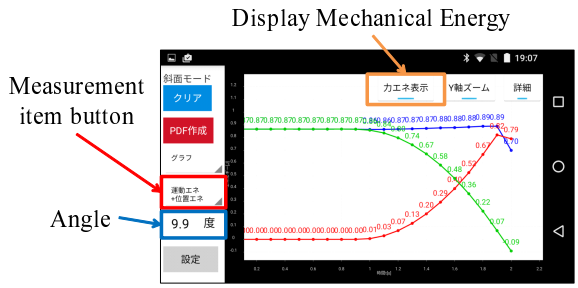

Fig. 2: Graph screen

1:日大理工・院 (前)・電気　2:日大理工・教員・電気

Fig. 3: Setting screen

エネルギー E_p は以下の式で表される．

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

$$E_p = mgh \tag{2}$$

上式において物体の質量を m，速さを v，物体が置かれている高さを h，重力加速度を g とする．また力学的エネルギーは運動エネルギーと位置エネルギーの和である．これらのエネルギーを表示するために新たに物体の質量と斜面の高さが必要となる．そこで AES の設定画面にユーザが物体の質量などを入力できるようにした．Fig.3 に設定画面を示す．斜面の高さは，ユーザによって入力された台車が滑走可能な斜面の長さ (実験台の全長-台車の長さ) とスマートフォンの傾きから AES 内で計算される．

4. 計測結果

新しく追加した機能を用いて斜面角度を 4[deg] で測定した各エネルギーを Fig.4, に示す．赤色のプロットは運動エネルギー，青色のプロットは位置エネルギー，黒色のプロットは力学的エネルギーの AES による測定値で，破線は理論値を示している．計測は 5 回行い，計測回ごとにグラフのプロットの種類を変えた．理論値は設定画面より入力された重さと斜面の長さの値から (1)，(2) 式を計算した値である．グラフより測定値と理論値の特性は概ね等しいことがわかる．しかし，測定値のばらつきが多くなってしまった．これはセンサ自体の感度や台車の振動による影響が考えられる．このばらつきを抑えるために以下の式を用いて加速度センサーの値にローパスフィルタ処理を行った．

$$S(t) = \alpha\ Y(t-1) + (1-a)S(t-1) \tag{3}$$

α は平滑化係数であり，$(0 < \alpha < 1)$ の値で任意に設定する．この α の値は AES 内の設定項目より設定できる．また $Y(t)$ は時点 t における加速度センサ値である．$S(t)$ は時点 t におけるローパスフィルタ処理後の値である．Fig.4 は $\alpha = 1.0$，すなわちフィルタ処理をしない場合の測定結果である．Fig.5 は α の値を 0.2 に設定した時のグラフである．グラフより $\alpha = 1.0$ の時よりも測定値のばらつきを抑えることができた．しかし，時間

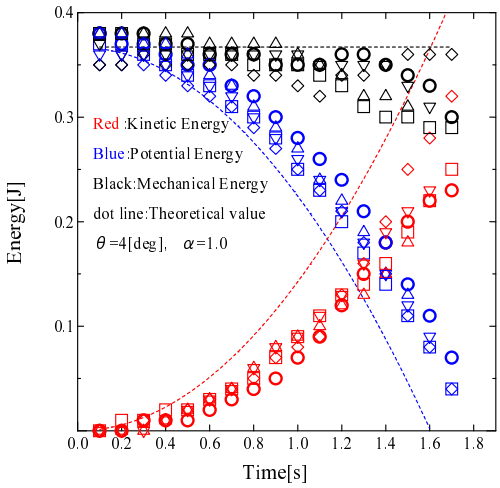

Fig. 4: Result of a measurement 4[deg]

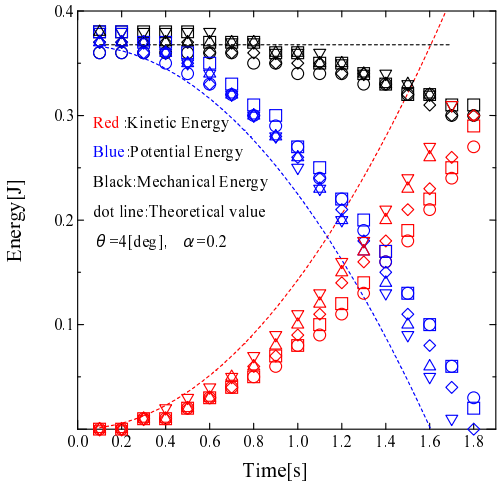

Fig. 5: Result of a measurement 4[deg], α =0.2

が経つにつれて力学的エネルギーの値が下がっていることがわかる．これはデバイスのセンサ感度や，斜面と力学台車の間の摩擦力などにより加速度が理論値より低くなっているためであると考えられる．これらの誤差原因の考察も重要な学習項目の一つである．

5. まとめ

本研究では今まで開発してきた AES を用いた応用例として力学的エネルギー保存の法則の実験を行うためにいくつかの機能を追加した．また追加した機能を用いて斜面での測定を行い，教育実験において利用可能であることを確認した．今後の課題としては，具体的な実験方法の考案や測定条件を変えた時の利用可能性について検証していきたい．

参考文献

[1] 池本義夫:「物理実験事典」， 講談社 (1973)
[2] 宮内・山口編著，浅井・江崎・中村・兼・荘司・宮本・牧野著:「中学校理科 3 年板書とワークシートで見る全単元・全時間の授業のすべて 1 分野」，東洋館出版社 (2009)
[3] 星野・小室・浜松・鈴木・三ツ堀:「教育利用を目的とした加速度運動支援ソフトウェアの開発とその評価実験」，電気学会教育フロンティア研究会，pp.27-32（2015）