

“機械力学” への教育機器導入について

野 口 勉

On the Introduction of Educational Media to “Dynamics of Machinery”

Tsutomu NOGUCHI

要 旨

機械力学（振動工学）において従来行われてきた板書中心の講義に対して，教育効果を高めるべく，マイクロコンピュータやビデオテープレコーダなどの機器を導入し，学生に対して行ったアンケートや感想などを中心に，その効果を検討した。

その結果，マイクロコンピュータもビデオテープレコーダも，適切な利用により有効な教育手段と成り得ることが分った。

Abstract

In a lecture on “Dynamics of Machinery”, new educational media (micro-computer, video-tape-recorder and so forth) were introduced in order to improve in scholarship, as against the conventional method.

The author inquired into the effect according to the results of a questionnaires and to the student's thought in a report. As a result, it is seen that micro-computer and video-tape-recorder are able to effective method on proper use.

1. は じ め に

機械力学とは工科系大学，工業高等専門学校（以下高専とする）における機械工学科の専門科目の一つであり，広い意味では機構学と振動工学とを併せた科目，また狭義には単に振動工学として位置付けられ，普通は後者の意味において講義されている。

近年，機械構造物の小型・軽量・高速・大規模・緻密というような極端化が進み，加えて振動・騒音に対する住民意識の高揚する中で機械技術者への当該分野に関した知識の向上が要求されている状況にある。

また，著者の調べでは高専機械工学科における昭和 58 年度のカリキュラムにおいて 80%以上の学科が機械力学（振動工学）を必修科目として開講するまでに到ったが，ソフト・ハードを含めた情報関連分野の著しい発展に伴った科目開設の余

波を受け，その傾向が鈍化する場合も考えられる。

一方，教育の対象である学生について考えて見ると，機械力学の教科書向け書籍のほとんどが振動などの数学的な取扱いに対して非常に多くのスペースを割いているため学生の拒否反応が少なくないことが容易に想像される。事実，年度当初学生に対して行ったアンケートにより機械力学の基礎となる物理系科目と数学系科目との得意不得意を質問したところ下記の通りになった。

	得意	不得意
物理系科目	15%	20%
数学系科目	14%	44%

（注：普通と回答したものは除いた。）

このように，数学を不得意と感じている学生の非常に多いことが判った。

以上のように、機械力学に対する要求が増す一方、それを教授する、学生の資質も含めた、環境の劣化の中で教育効果を高めるべく行ったマイクロコンピュータ（以下、マイコンとする）による演習・実験、教室内に実験器材を持ち込み行った実験およびVTRを利用した実験についての試行結果を報告する。

なお、今回は週2時間通年の前期に行われるべき内容に限った。

2. マイコンを利用した演習について

実験1 調和振動の重ね合せ

2. 1 概要

式①で示される二つの調和振動を考える。

$$\begin{aligned} x_1 &= X_1 \cos \omega t, \\ x_2 &= X_2 \cos \{(\omega + \Delta\omega)t + \varphi\} \end{aligned} \quad ①$$

ここで、 X_1, X_2 ：振幅、 ω ：角振動数、 $\Delta\omega$ ：角振動数のずれ、 t ：時間、 φ ：初期位相角である。

式①の合成波 $x = x_1 + x_2$ は次式で示される。

$$\begin{aligned} x &= x_1 + x_2 \\ &= X \cos(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad ②$$

ただし、

$$X = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + 2X_1X_2\cos(\Delta\omega t)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{X_2 \sin(\Delta\omega t + \varphi)}{X_1 + X_2 \cos(\Delta\omega t + \varphi)} \right\}$$

である。この場合、二つの振和振動の角振動数が等しいときには合成波も振和振動となるが、角振動数のずれ $\Delta\omega$ が0でないときには合成波の振幅 X と位相角 θ が $\Delta\omega$ の関数となり $\Delta\omega$ の大きさに応じた様々な波形が作られる。

この調和振動の重ね合せは調和解析（フーリエ解析）と共に、以後一貫して論じられる調和振動に基づいた振動理論・防振原理を一般的な現象に適用する上で重要である。しかし、それらに対する演習を多く行うことにより、学生が機械力学の本筋を見失う心配があった。そこでマイコンを用いて調和振動の重ね合せを演習させることにより、種々の合成波形を見せ感覚的に理解させることを目的として第1回の実験を行った。

著者の私見ではあるが、調和振動とそれらの合成振動との関係を感覚的に認識させ得れば、将来高速フーリエ変換器などを用いて調和解析する場合にその理論を理解する基礎となると考えている。

2. 2 検討

プログラムは附録を参照願いたい。BASIC で書かれた40行足らずの簡単なもので、入力に要した時間は、2、3度入力し直した学生でも40分ほどで出力可能な状態になった。

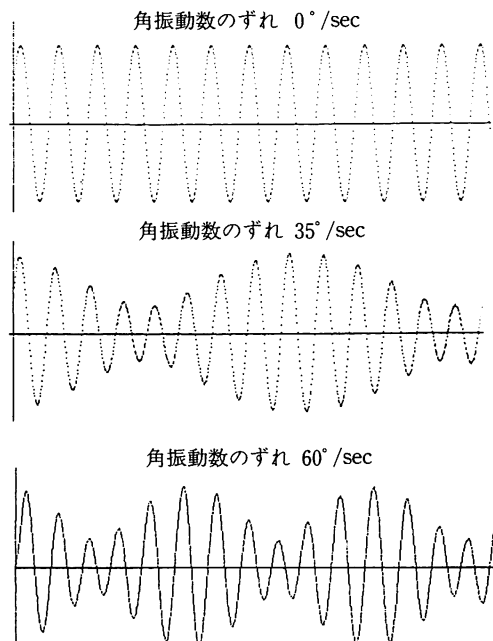


図1 合成波形

図1に出力結果をいくつか示した。著者の経験からすると図1に示した程度の合成波形であっても宿題として与えた場合、相当数の学生は一生をかけてもレポートの提出はしないであろう。それが、授業時間内に対象者全員が各自の目で合成波形を確認し、出力結果を手にし得たことはマイコンの大きな利点であろう。また、実施日1週間後のレポート提出としたが提出状況は非常に良かった。

今回の実験の前後でアンケートにより理解度を調べたのでその結果について述べる。

問) 講義のみを受けての理解度はどうか？

(a)理解できた (b)理解できない (c)判断できない
33.3% 21.2% 45.5%

問) マイコンの利用により理解度が増したと思うか？

(I)増した	(II)低下した	(III)変らない
35.5%	0.0%	64.5%

上記二つの集計結果を関連させてまとめると、

(a)			(b)			(c)		
(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
3.3	0.0	30.0	14.1	0.0	7.1	18.2	0.0	27.3
(%)								

という結果になった。ここで、講義のみでは理解できなかった(b)と答えた学生の中では理解度が増した場合が多い。また、全体で35%の学生がマイコン利用の効果を感じたことは注目できる。

学生の感想をレポートから拾い挙げてみると、「角振動数のずれの大きさによるうなりの変化を連続的に見ることができて良かった。」「マイコンを利用することによって、合成波形が速く分るといことはとても良いと思う。」という意見が多かった。

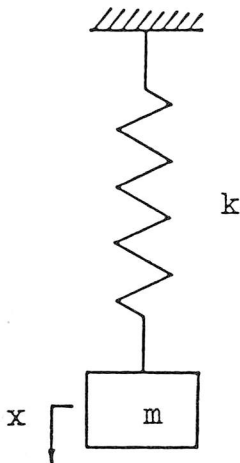


図2 不減衰自由振動系

3. 簡易器材を用いた実験について

実験2 1自由度系の不減衰自由振動

3. 1 概要

1自由度系の不減衰自由振動とはばね・質量モデルで示すと図2のような系である。この系の運動方程式は

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \quad (3)$$

となる。ここで m : 質量, k : ばね定数, x : 変位である。

これは機械力学において最初に出てくる最も単純な系であるが、以後

不減衰自由振動

→ 減衰自由振動

→ 強制振動

と進んで行く間には、単に式③へ減衰力、強制力などを付加していくに過ぎない。言い換えれば、図2に示した系についての確かな理解が、より高度な振動系へと学んで行く潤滑剤と成り得るということである。

今回は、おもりとばねなどを教室内に持ち込み、ばね振り子や単振り子の固有振動数を測定させ計算値と比較する実験を行った。授業風景を写真1に示す。実験の内容は附録に載せてある。



写真1 実験風景

3. 2 検討

この実験は目新しい教育機器など使用してはいないが、身近にある教材の利用が教育方法改善の第一歩と考え試みた。

実験結果などは割愛するが、長さや時間の測定を巻尺や腕時計などで行った割には実験と計算との差は大きくても5%ほどで、驚いていた学生も多かったようである。

今回は実験後にアンケートをとったところ集計結果は次のようになった。

問) 今回の実験は振動現象の理解に役立ったと思うか?

思う	思わない	分らない
76.7%	0%	23.3%

このことから非常に興味を持って実験を行っ

ていたことが伺える。ただ、著者の観察では多人数相手の実験に有り勝ちならけた態度の学生が若干名いたようである。

学生の感想としては、

「ばね振り子と単振り子について机上における理論式の勉強に終らず、実際に実験をしてみると理論と一致して理解することが出来た。」

「機械力学の2回目の実験であったが教室で行うので実験のような気がしない。しかし振動を理解する上でとても分かり易い授業だと思う。」

「今回の実験によりばね－質量系の単振動及び単振り子の運動が、ばね剛さ、質量、振り子の長さなどの条件により、どのような変化をするのか、振動数にはどのような影響が出てくるのか、計算値と実験値との比較などを行い理解を深めることが出来た。」

という内容が多かった。

4. マイコンを利用した実験について

実験3 減衰自由振動

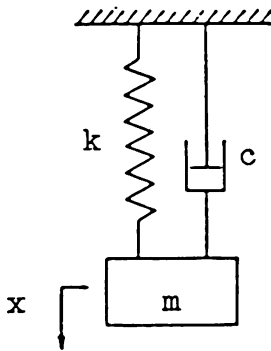


図3 減衰自由振動系

4. 1 概要

図3に減衰自由振動系のモデルを示し、式④に系の運動方程式を示した。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (4)$$

ここで、 c ：粘性減衰係数である。

粘性減衰係数 c の値によって図4に示した曲線が得られる。この実験においては“減衰作用”と“系の運動”との関連を理解することを主な目的

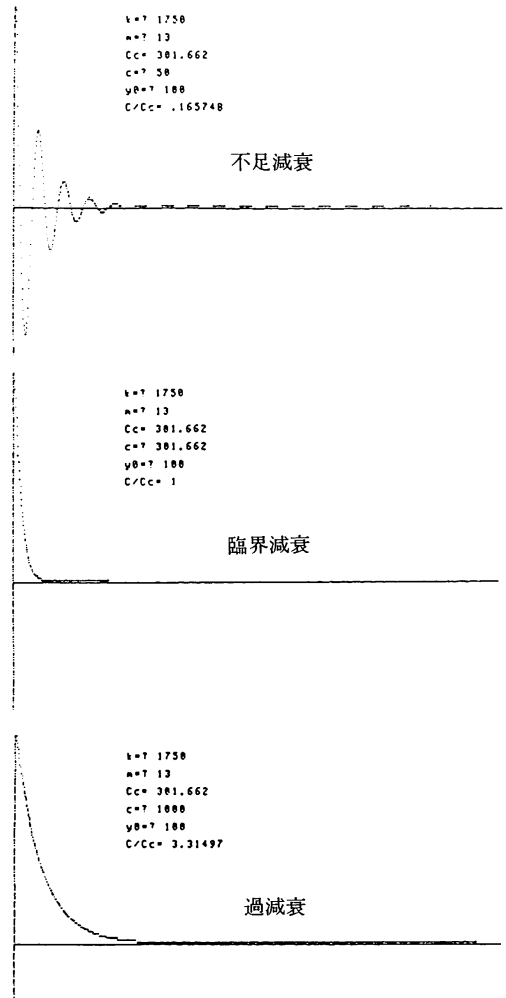


図4 減衰波形

としているため、粘性減衰係数 c を与え即座に系の運動を見ることが望ましい、などからマイコンが適していると考えた。

プログラムなどは附録に載せてある。ばね定数 k 、質量 m 、粘性減衰係数 c および初期変位を与えることにより臨界減衰係数 c_c 、減衰比 c/c_c の値を出力し、同時に対応する曲線が画面に表示される形となっている。これは文献1のプログラムを本実験の目的に合うように入出力部分などを作り替えたものである。授業風景を写真2に示す。

4. 2 検討

学生の感想を挙げると次のようになった。

「コンピュータを用いたシミュレーションによって減衰自由振動の変化の様子が良く理解

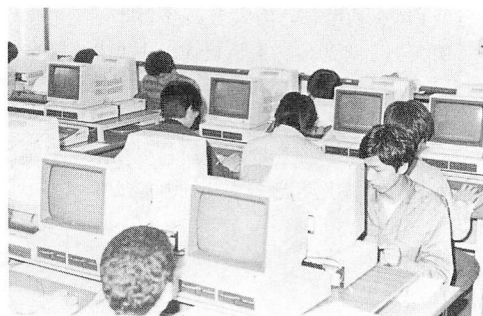


写真2 演習風景

出来た。」

「プログラムを打こんで、それを出力するのは問題なくスムーズにできたがプリンターの台数が少ないために、なかなか順番が回ってこなかったのが残念だった。しかし、いろいろな減衰自由振動について出力させることができたのでおもしろかった。」

「マイコンを使う事によって、より減衰振動についての理解が増したような気がしました。減衰振動の曲線を自分の手でグラフに書くのは容易なことではないので、この実験は良かったと思います。」

「今回の実験によって減衰自由振動における不足減衰、臨界減衰、過減衰の形を実際に自分で作ることができ、より理解を深めることが出来たと思う。」

以上、学生の感想などから概ね興味を持って取り組んだ様子が伺える。また、マイコンの操作などに慣れてくると周辺機器などの不備に不満を漏らす者も少なくなかった。

実験1とも考え合せると、マイコンおよび使用言語(BASIC)について知識を持たない者などは始めから軽い拒否反応を示すことがあったり、逆にマイコンに関してかなり熟知していると考えている学生は一人歩きを始め勝手な事をやり出したり、最悪の場合は他の学生が嫌気をさすような言動をする者もいた。しかし、これらの問題に対して適切な指導を加えることにより、充分有効な教育手段としてマイコンを利用することが可能であると考えられる。

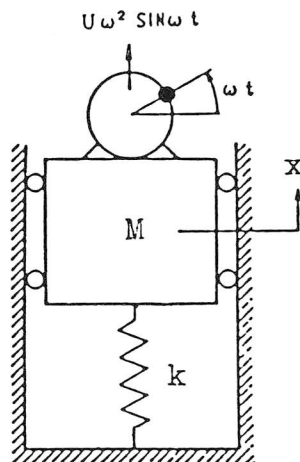


図5 強制振動系
(回転体が不つりあいを持つ場合)

5. VTR を利用した実験について

実験4 不つりあいロータをもつ機器の振動

5. 1 概要

機械力学は機械系に生ずる振動を好ましくないものとの立場から、振動絶縁あるいは防振すなわち振動伝搬防止対策と振動発生源対策に力点を置いている。ここで取り扱う不つりあいロータをもつ機器の振動はそのような意味で最も重要でかつ最も基本的な現象である。系のモデルを図5に運動方程式を式⑤に示した。

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = U \sin \omega t \quad (5)$$

ここで、 M ：振動体の全質量、 U ：不つりあい量である。

今回は、現在室蘭工業大学機械工学科において機械工学実験の一つとして行われている防振に関する実験の装置を使用させていただき、著者が実験を行いVTRで収録したものを学生に見せ、データを聞き取らせる形の実験とした。詳細は附録を参照のこと。

5. 2 検討

実験後に学生に対してアンケートを出したのでその結果について述べる。

問) “VTR を利用した実験”は強制振動(共振現象)を理解するのに役立ったと思うか?

思う	思わない	分らない
83.9%	3.2%	12.9%

この集計結果においては、役立ったと考えた者が83.9%と非常に多かった。しかし、一連の試みの中で始めて否定的な考えを持った者がいることを重視しなければならないだろう。

この問の他に“この実験に対して改善すべき点を書け”という記述式の質問を出した。この回答を要約すると、「説明が少ない。」、「面画・音声の不鮮明である。」、「測定数が少ない。」、「現象だけでなく、計器も同時に写してほしい。」というものが多かった。これらはすべてビデオテープの製作上の問題であり、今後改善することにより前出の否定的な考えは無くなると考える。また、「実際に実験をすべきだ。」との要望もあったが、もちろん著者自身も現物を目前にし実験を行った方が良いと思う、それができない時に有効な手段であることを充分認識させて今後取り組んでいきたいと思う。

学生の感想をいくつか挙げると、

「校内では実験装置が無く出来ない実験でもVTRを活用すれば現象を見ることができるので大変便利であると思った。」

「教科書の応答曲線を見ただけではあまり良く理解出来なかった現象がVTRの実験を見ることにより現象が良く理解出来た。」

「講義を受けただけでは不つりあいロータによる振動（ほかの殆ど全てについて）の数学的なことは理解できるが、現象的には不十分であった。しかし、今回の実験のようにVTRにより現象を見ることができて、より一層の理解を得ることができた。」

「今回の実験によって不つりあい量をもつ振動についてより深く理解できました。これからもVTRなどの機材をフルに使って学生の学力向上に役立てて下さい。」

「VTRを利用した実験というのはとても良い案であると思う。装置自体が小さく大勢では見ることが出来ないものについてはとても有効だ。しかし、実験はやはり目の前でやって自分達でデータを取り検討して初めて実験だと思うので私自身あまり好きではない。」

という感想が多く、理解を助けるのには十分役立ったと考える。

6. お わ り に

この一連の試みを終えて、教育機器の導入に対して学生が非常に敏感に様々な反応を示したことに、ある種の喜びと不安を感じた。それは教育効果があればあるほど逆効果が当然予想されるであろう心配だと思う。その辺を的確に見極める目を養うことが機器を利用する側の責任だと考える。

本報においては、終始学生からの反応や著者の所見による定性的な検討に終えていたが、今後このような試みが学力へどのように反映するかを調べて行こうと考えている。

最後に、実験装置や実験器具を使用させて頂いた室蘭工大機械工学科機械力学講座並びに苫小牧工業高等専門学校一般教科物理実験室の諸先生および技官の方々に對し深く謝意を表します。

また、実験1で用いたプログラムの素案は苫小牧工業高等専門学校機械工学科岩瀬谷正男技官に作って頂いたことを付記し、同氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 平田邦男：BASICによる物理，共立出版，p 36～p 38，1983

(昭和59年11月30日受理)

附録一学生へ配布した資料

機械力学実験 1

～調和振動の重ね合せ～

この実験は、マイクロコンピュータを用いて調和振動の重ね合せをすることにより、種々の条件（振幅、角振動数、角振動数のずれ、初期位相角など）を変化させた場合における、重ね合せられた振動の形態を理解することが目的である。

吉小牧工業高等専門学校
機械工学科 野口 勉

～プログラムについて～

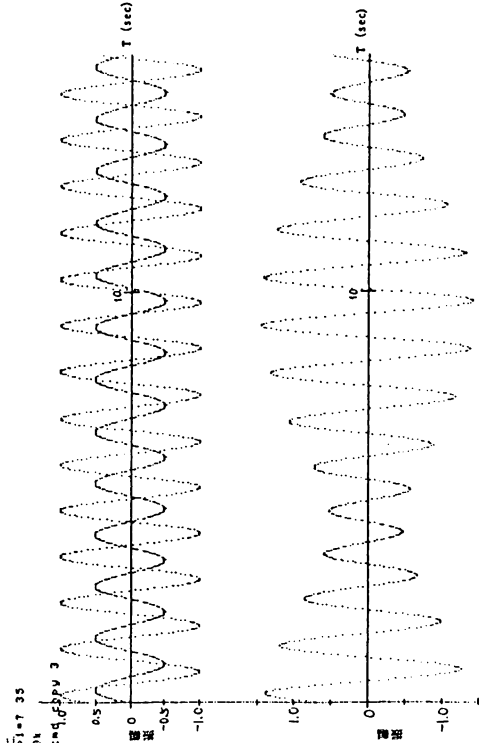
```
10 'sin カブ ノ カマ アフセ (フナリノ カクシヤフ)
20 CONSOLE 0,25,0,0 : CMD SCREEN 0,0,7
30 CMD CLS 3 : WIDTH 80,25
40 DIM YK(900),YB(900)
50 CMD LINE(40,10)-(40,480)
60 CMD LINE(35,50)-(639,50)
70 CMD LINE(35,150)-(639,150)
80 '
90 INPUT "pi=";PI : PI = PI/180*3.14159
100 F1=PI/180*3.14159
110 A=.5 : B=1 : W=3 : F=.5 :-----
120 '
130 FOR I=1 TO 2
140 FOR X= 0 TO 897
150 T=X/180*3.14159
160 IF I=1 THEN COSUB 360 : GOTO 180
170 IF I=2 THEN COSUB 370 : GOTO 210
180 YK(X) = 50-Y1*30
190 YB = YK(X)
200 GOTO 230
210 YB(X) = 50-Y1*30
220 YB = YB(X)
230 X1 = 2*X/3+40
240 COSUB 380
250 NEXT X
260 NEXT I
270 '----- カマ アフセ -----
280 FOR X = 0 TO 897
290 YY = YK(X)+YB(X)
300 YB = YY+50
310 X1 = 2*X/3+40
320 COSUB 380
330 NEXT X
340 END
350 '----- SUB -----
360 Y1 = A*SIN(W*T) : RETURN
370 Y1 = B*SIN(W*T+PI) : RETURN
380 CMD PSET(X1,YB) : RETURN
```

・重要な部分には、定数名（単位）などを示してある。

1-1

1-2

～出力結果の一例～



1-3

・プログラムが実行可能な状態になったら、まず最初に振幅、角振動数、初期位相角、角振動数のずれ、あるいは SIN を COS などに、変化させて実行することにより全体を把握せよ。

・次に下記の課題をせよ。

課題

1. 同一の角振動数を有する調和振動の重ね合せを行い、その結果が調和振動となることを示せ。又その式を示せ。（例えば $x = 1/4 \sin(4t + 0.3)$ ）
2. 角振動数が異なる場合における調和振動の重ね合せを行い、その結果が「うなり」になることを示せ。又その式を示せ。（前述の例と同様な形で）
3. 「うなり」の振動数を、計算及び結果の図から求めて比較せよ。
4. 角振動数のずれの大きさにより、「うなり」の状況がどのように変化するかを実験的に求め検討せよ。

以上

※なお、レポートの提出については担当者の指示に従ってください。

1-4

機械力学実験 2

— 1 自由振動の不減衰自由振動 —

この実験は、ばね-質量系の単振動及び単振り子の運動を実際に観察し、ばね剛さ・質量・振り子の長さ等の条件を変化させた場合に起こる運動の差を理解すると共に、振動数などについて実験値と計算値との比較検討を通して理解を深めることが主な目的として行われるものである。

苫小牧工業高等専門学校
機械工学科 野口 勉

2-1

1. ばね振り子 (ばね-質量系の振動)

(1) 使用器具

ばね (2本)、錘り (2個)、スタンド (1本)
クランプ (1個)、ストップウォッチ (1個)

(2) ばね剛さの測定

まず、ばねをスタンドに吊して、ばねの自然長を測定します。次に、錘り (質量既知) をばねに吊して、その伸びを測定します。測定は錘りを表えて、3回行ってばね剛さの平均値を求めてください。

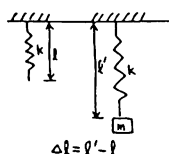


図. 1

表. 1 ばね剛さを求めるためのデータ表

	1	2	3
重量 (N)			
伸び (m)			
ばね剛さ (N/m)			

(3) 実験

振動数の測定は、10往復の時間を測定して振動数に換算する方法をとります。

(a) 単一のばね-質量の場合

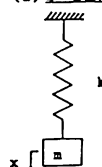


表. 2 データ (1)

質量 (kg)			
10往復の時間 (sec)			
振動数 (Hz)			

2-2

(b) ばねを2本直列にした場合



表. 3 データ (2)

質量 (kg)			
10往復の時間 (sec)			
振動数 (Hz)			

(c) ばねを2本並列にした場合

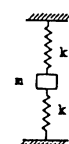


表. 4 データ (3)

質量 (kg)			
10往復の時間 (sec)			
振動数 (Hz)			

(4) 課題

振動数の実験値・計算値の比較を行いなさい。また、系の違いによる運動の差を調べよ。

2-3

2. 単振り子

(1) 使用器具

ナイロン糸、その他ばね振り子の場合と同じ。

(2) 実験

ばね振り子の場合と同様に、10往復の時間から振動数を求めます。



表. 5 データ (4)

振り子の長さ (m)			
質量 (kg)			

(Hz)

(3) 課題

振り子の長さによる影響、質量による影響を調べよ。重力加速度を $9.8(\text{m/sec}^2)$ とした時、実験値と計算値との差を調べよ。また、実験により得られた値から重力加速度を逆算すると、どの程度になるか。

2-4

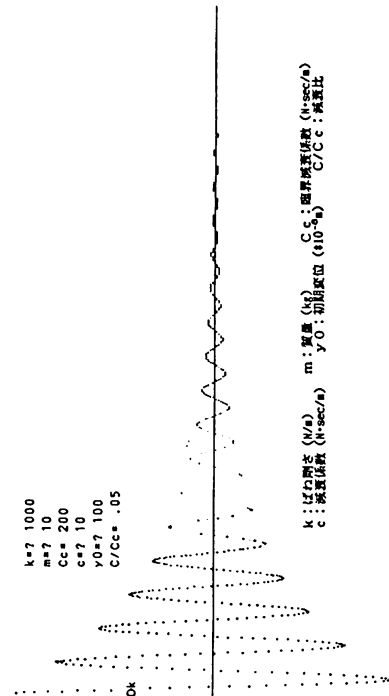
機械力学実験 3
減衰自由振動 (1自由度系)
(Damped Free Vibration)

・この実験は、減衰自由振動の現象をマイコンによりおこなひ、ばね剛さ・質量・減衰係数などを変化させた時の様子を調べる。また、不足減衰・臨界減衰、及び過減衰における現象の差違を比較・検討し、これを工業上応用し得る感覚を養う、などを主な目的として行う。

苫小牧工業高等専門学校
機械工学科 野口 勉

3 - 1

-出力結果-



3 - 2

-プログラムについて-

```
10 'Damped Free Vibration
20 CONSOLE 0.25,0.1 : SCREEN 0.0,0.1
30 CLS 3 : WIDTH 80,25
40 LINE(0,0)-(0,398),5
50 LINE(0,95)-(638,95),3
60 '
70 LOCATE 15,1 : INPUT "k=":K : LOCATE 15,2 : INPUT "m=":M
80 CC=2*SQR(M*K)
90 LOCATE 15,3 : PRINT "Cc=":CC
100 LOCATE 15,4 : INPUT "c=":C : LOCATE 15,5 : INPUT "y0=":Y0
110 U=C/CC
120 LOCATE 15,6 : PRINT "C/Cc=":U
130 V0=0 : E=50 : F=1 : DT=.01
140 W=SQR(K/M)
150 KK=C/M
160 Y = Y0 : V = V0
170 A=-KK*V-W*W*Y
180 V=V+A*(DT/2)
190 Y=Y+V*DT : T=T+DT
200 T1=T+E : Y1=Y+F
210 IF T1 > 635 THEN END
220 PSET(T1,-Y1+95)
230 A=-KK*V-W*W*Y
240 V=V+A*DT
250 GOTO 190
```

k:ばね剛さ (N/m) m:質量 (kg) Cc:臨界減衰係数 (N・sec/m)
c:減衰係数 (N・sec/m) y0:初期変位 (10⁻³m) C/Cc:減衰比

一 課題 -

1. 自分の身長 (mm単位) をばね剛さ、出席番号を質量 (一桁の番号は10倍) として、不足減衰・臨界減衰及び過減衰の場合の結果を出力せよ。
初期変位は100*10⁻³m程度にせよ。

2. 振動を減衰させるという立場からすると、上記3種の現象を比較検討せよ。
(例えば、どの現象が、どうだから良い、という形で)

3. ばねのばね剛さ、質量の場合に自分の体重 (kg単位) の減衰が作用した場合の現象を出力せよ。また、このとき出力結果の図から減衰比を求め計算値と一致することを確かめよ。

3 - 3

機械力学実験 4

不つりあいロータをもつ機器の振動 (1自由度系)

この実験は、VTRの利用により不つりあいを
持つ回転体の振動を観察し、強制振動および共振
現象のより深い理解をめざして行うものである。

苫小牧工業高等専門学校
機械工学科 野口 勉

協力 富田工業大学 機械工学科 機械力学講座

4 - 1

