振動現象学習用教材の開発　－基礎教育用－

瀧口　三千弘[*1]，丸山　真弘[*2]，藤原　滋泰[*3]，藤野　俊和[*4]

Development of Teaching Material for Motion and Vibration
－For Fundamental Education－

Michihiro TAKIGUCHI, Masahiro MARUYAMA,
Shigeyasu FUJIWARA and Toshikazu FUJINO

In learning the issue of vibration, it is important to know the essence of the various problems in resonance, natural frequency, natural vibration mode, and so on. However, it is really very hard to understand these phenomena. So, we started to develop the experimental equipment for the purpose of observing the vibration of mechanical systems.

In this study, we have developed the effective teaching materials for beginners on vibration problems. Specifically, they are an equipment for experiencing moments of inertia, various devices for learning simple harmonic motion (here, spring- mass system and simple pendulum), and an apparatus for clarifying the difference between series and parallel of synthetic springs.

KEYWORDS : teaching material, motion and vibration, fundamental education, moment of inertia, simple harmonic motion, series and parallel springs

１．まえがき

機械系の動力学問題とりわけ「振動問題」の学習において，固有振動数や固有振動モードといったこと等，問題の本質を知ることが重要であるが，実際にはなかなか理解しにくい。

こうしたことから，著者らは「解く・観る・わかる」をコンセプトに，この分野における学習用教材の開発を進めてきた。具体的には，教育用運動シミュレーションシステム（DSS）の開発 [1)~4)]や，運動や振動現象の観察（体験含む）を目的とした各種実験教材の開発 [5)]である。実験教材に関しては，既に運動や振動に関する幅広い教材 15 種類を開発し，広く公開するに至っている。市販化に繋げている教材もあり，その教育効果も認知されつつある [6),7)]。

本研究では，振動問題に関する学習の初期に有効と思われる教材開発について報告する。具体的には，慣性モーメントを体感する教材，単振動（ここでは，ばね-質量系と単振子）に関する教材および合成ばねの直列接続と並列接続の違いを学ぶ教材である。

*1 商船学科
*2 技術部
*3 一般教科
*4 東京海洋大学　学術研究院　海洋電子機械工学部門

令和元年11月18日受理

２．慣性モーメントを体感する教材

２．１　着眼点

物体の運動や振動問題を扱う際，その運動を表す運動方程式は，一般に次のように表わされる。

$$m\ddot{x} = F \quad \text{（並進運動の場合）} \tag{1}$$

$$I\ddot{\theta} = T \quad \text{（回転運動の場合）} \tag{2}$$

ここで，式(1)において，m は質量（kg），$\ddot{x}$ は加速度（m/s^2），F は力（N）であり，式(2)において，I は慣性モーメント（kg・m^2），$\ddot{\theta}$ は角加速度（rad/s^2），T はトルク（N・m）である。

上記物理量は，機械力学や振動工学等の動力学問題の学習者には比較的馴染みのあるものであるが，慣性モーメント I については，感覚的に理解できていない学習者が多いように思われる。こうしたことから，本章で示すような「慣性モーメント体感教材」の開発を試みた。

慣性モーメントは，ある固定軸周りの物の「回りにくさ」を示す指標であり，図 1 の計算モデルにおいては，次式で表すことができる。

$$I = \sum_{i=1}^{n}\left(m_i r_i^2\right) \tag{3}$$

今回開発した教材は，各質量までの距離（二乗で効く点に着目）をいろいろと変えることにより，慣性モーメントの値（回りにくさ）がどのように変わるかを体感しようというものである。なお，図 1 のモデルおよび式(3)は，m_i を質点として扱ったもので，実際の問題を扱う場合は剛体としての配慮が必要となり，慣性モーメントの考え方はもう少し複雑になる。実験教材の慣性モーメントの値を求める際は，その点も考慮して厳密に求める。

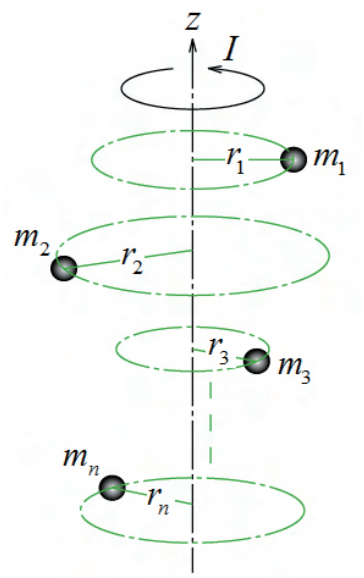


図 1　慣性モーメントの計算モデル

２．２　実験教材の内容

図 2 に，開発した実験教材の形状寸法を示す。本教材は，アクリル円板の中心から 50mm，100mm，150mm の位置に放射状（8 等分）に直径 23.5mm の穴を開け，それぞれの距離の穴に直径 30mm，質量 m が 0.1745kg の鋼球を 8 個置き，円板の中心にある回転棒を手で回したり・止めたり（静止状態から回転状態へ，回転状態から静止状態へ）することで，その回りにくさ（止めにくさ）が慣性モーメントであることを，指先を通して体感させようというものである。鋼球を穴に置くタイプとしたことにより，質量の位置決めが非常に簡単であることが大きな特徴である。なお，鋼球はしっかり穴にはまっており，使用中に鋼球が穴から飛び出ることはない。

本教材は，支持台（1.225kg，軸受位置決め板含む）の上にスラスト針状ころ軸受（0.032kg）を，その上に回転円板（アクリル，0.9125kg）を重ねただけの構造で，さらにその上に鋼球 8 個（合計質量 1.396kg）を載せて使用する。回転棒と回転棒を回転円板に固定するジグも含めた総質量は 3.6kg である。

図 3 に，教材の外観を示す。(a)が鋼球を r =50mm の位置に置いた場合，(b)が鋼球を r =150mm の位置に置いた場合である。

本教材の慣性モーメントは，次式により求める。

$$I = I_R + \sum_{i=1}^{8}\left(I_0 + m_i r_i^2\right) \tag{4}$$

ここで，I_R は回転円板の慣性モーメント（1.242×10^{-2} kg・m^2），I_0 は鋼球の中心を通る回転軸周りの慣性モーメント（2.138×10^{-5} kg・m^2），m_i は鋼球の質量，r_i は質量の回転半径である。鋼球を r=50mm, 100mm, 150mm それぞれの位置に置いた場合の慣性モーメントを計算すると，次のようになる。

$$I_{(r=50)} = I_R + 8(I_0 + m\cdot 0.05^2) = 0.0161 \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$I_{(r=100)} = I_R + 8(I_0 + m\cdot 0.10^2) = 0.0266 \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$I_{(r=150)} = I_R + 8(I_0 + m\cdot 0.15^2) = 0.0440 \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

以上のことから，本教材の慣性モーメントの比は，$I_{(r=50)} : I_{(r=100)} : I_{(r=150)}$ ＝1：1.65：2.73 となる。軸受の摩擦による影響は，ここでは考慮していない。

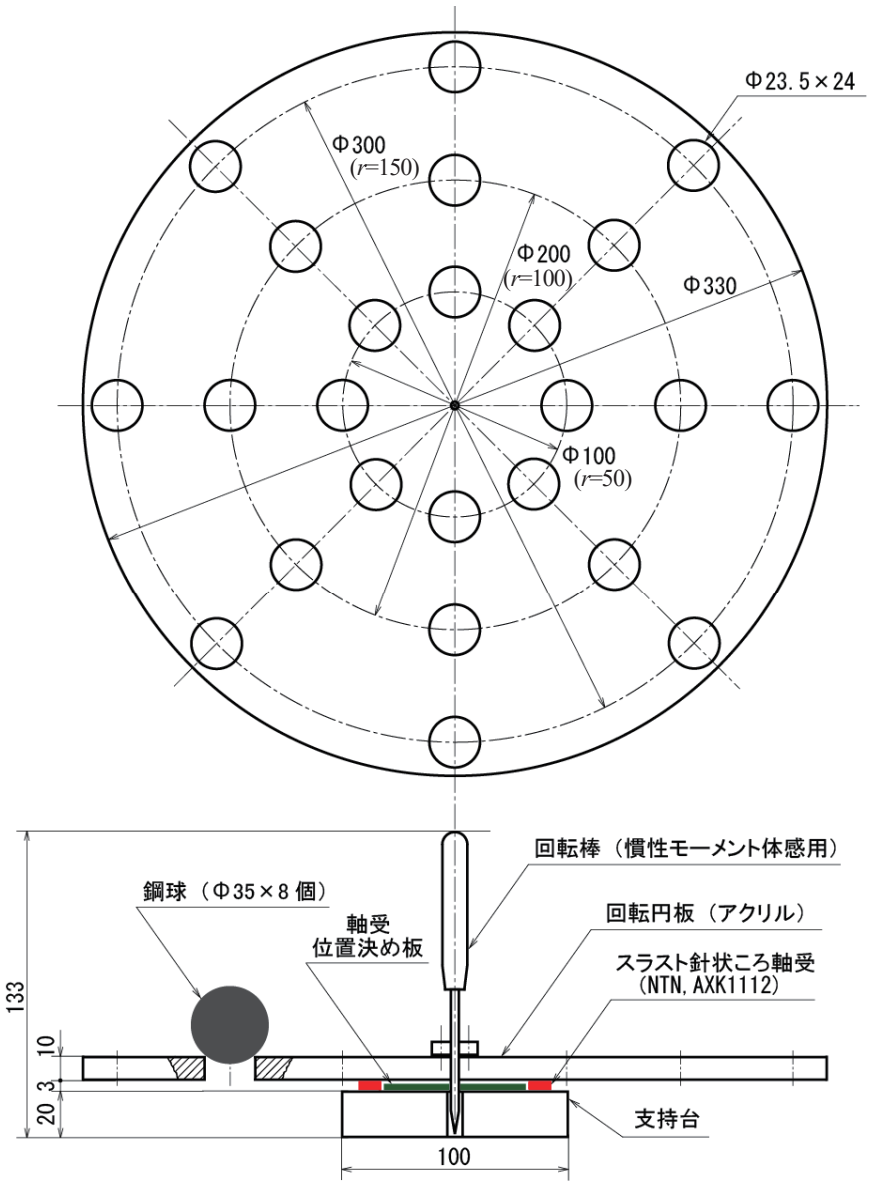
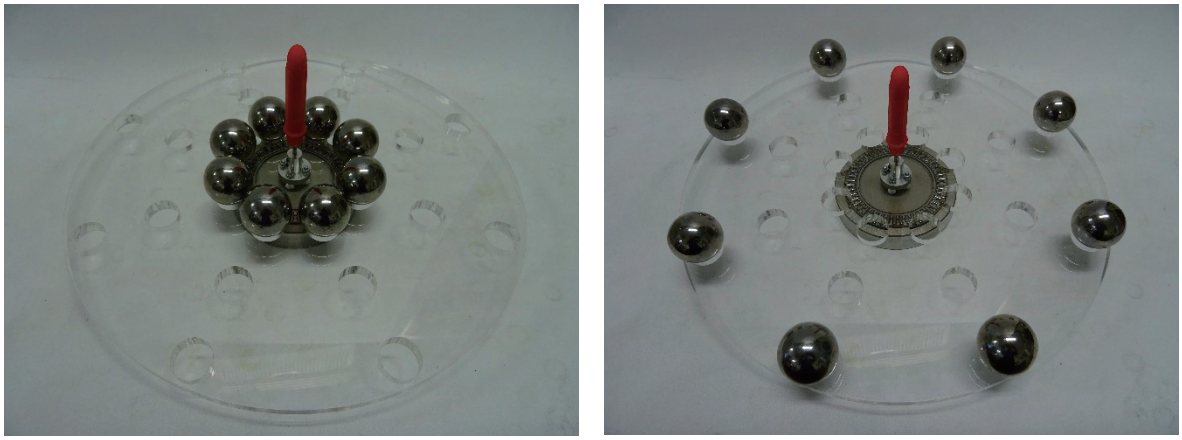


図 2　慣性モーメント体感教材の形状寸法



(a) 鋼球を r =50mm の位置に置いた場合　　(b) 鋼球を r =150mm の位置に置いた場合

図 3　慣性モーメント体感教材の外観

２．３　結果と考察

本教材は，質量（鋼球）を置く位置（回転中心から質量までの距離）の違いによる慣性モーメントの違いを体感し，慣性モーメントを理解することを目的に開発したものである。前節で述べたように，本教材においては慣性モーメントの比が，$I_{(r=50)}$：$I_{(r=100)}$：$I_{(r=150)}$ ＝1：1.65：2.73 であることから，慣性モーメント（円板の回りにくさ，止めにくさ）が鋼球を置く位置によって異なることは十分体感できるものと思われる。授業で用いた際の学生の反応は，６章に示すように良かった。しかし，２．１節で述べたように，回転中心から質量までの距離の比が 1：2：3 である場合，図 1 のモデルおよび式(3)の理論イメージからすると，慣性モーメントの比は，$I_{(r=50)}$：$I_{(r=100)}$：$I_{(r=150)}$ ＝1：4：9 となるが，本教材ではその比が，1：1.65：2.73 である。よって，慣性モーメントが質量までの距離の二乗で効いてくることを体感させたことにはならないので，今後改良が望まれる。

３．単振動（ばねー質量系）教材

３．１　着眼点

図 4 に，単振動の基本である，ばねー質量系モデルを示す。ここで，k は，ばね定数（N/m），m は質量（kg）である。本モデルの運動方程式は，式(1)をもとに立てると，

$$m\ddot{x} = -kx \qquad (5)$$

となり，整理すると，

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \qquad (6)$$

となる。ここで $\omega_n{}^2 = k/m$ とすると，式(6)は次式で示される。

$$\ddot{x} + \omega_n{}^2 x = 0 \qquad (7)$$

式(7)は 2 階の定数係数線形常微分方程式であり，教科書的にはここからは微分方程式を解く（一般解を求める）ことが主たる作業になる。

ω_n は固有円振動数（rad/s）と呼ばれるもので，$\omega_n = 2\pi f_n$ の関係から，固有振動数 f_n（Hz）は次式で求まる。

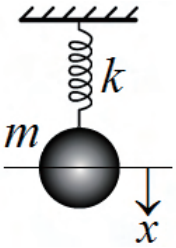


図 4　ばねー質量系モデル

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (8)$$

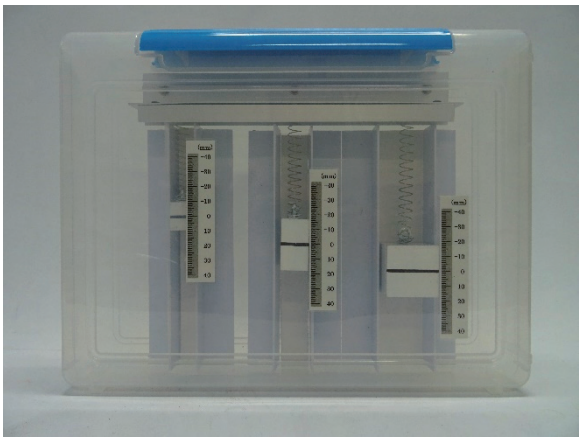
k が大きくなれば f_n も大きくなり，m が大きくなれば f_n は小さくなる。今回開発した教材は，この k と m の大きさの違いが f_n に及ぼす影響を，観察（可視化）するためのものである。

３．２　実験教材の内容

図 5 に，開発した教材の外観を示す。(a)が k の違いによる比較をするための教材，(b)が m の違いによる比較をするための教材である。本教材は，既に著者らが開発した加振装置（垂直方向加振）[5]に取り付けて使用した。いずれも，振幅 1mm で加振した。

図 5(a)に示す教材では，質量 m は 0.133kg で一定であり，ばね定数 k は，左から 186.7N/m，109.1N/m，68.9N/m である。

(a)　k の違いによる比較



(b)　m の違いによる比較

図 5　ばねー質量系教材の外観

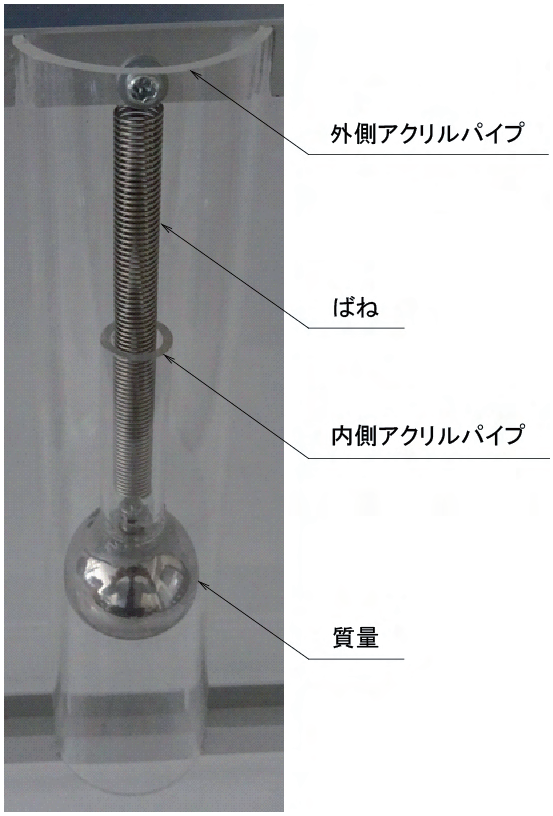


図 6　加振時にばねと鋼球が暴れないための工夫

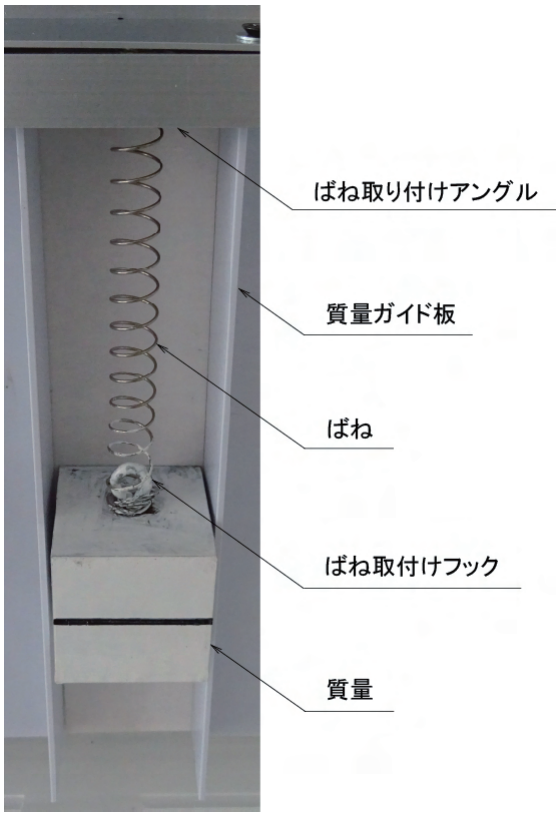


図 7　加振時にばねと鋼板が暴れないための工夫

なお，質量にはフック付き鋼球を，ばねには引張りコイルばねを使用した。ぶら下げるだけだと，加振時にそれぞれが暴れるので，図 6 に示すように外側と内側のアクリルパイプを使用して，それぞれが直線運動だけをするように工夫した。内側アクリルパイプと鋼球の接触部分は接着剤で固めた。また，引張りコイルばねは，最初ばね間の隙間がないため，いずれも少し伸ばして（70mm→83mm，塑性変形）使用した。

図 5(b)に示す教材では，ばね定数 k は 129N/m で一定であり，質量 m は，左から 0.0445kg，0.1825kg，0.367kg である。なお，質量には鋼板を，ばねには圧縮コイルばねを使用した。圧縮コイルばねの取り付けは，上部はアングルに穴を開け上板で挟み込み，下部は鋼板の上面に取り付けたフックを利用してそれぞれ固定した。加振時にばねと鋼板が暴れないように，図 7 に示すように質量ガイド板を鋼板の両側に配置した。

３．３　結果と考察

表 1 に，共振時の計算結果と実験結果の比較を示す。なお，表中の材料定数は，いずれも測定値である。また，α は，図 6 中に示した鋼球（質量）に接着剤で固定した内側アクリルパイプの質量であり，ばね定数の高い方から順に，0.006kg，0.0055kg，0.0045kg である。この値を 0.133kg に加えたものを実際の質量として計算を行った。なお，ばねの質量は考慮していない。本結果から，固有振動数 f_n については計算結果と実験結果がよく一致していることがわかる。教材として十分な精度であるものと評価できる。両者の差異については，ばね定数の測定誤差が主たるものであると考える。なお，加振時にばねと質量の暴れが心配されたが，図 6 と図 7 に示した工夫により，いずれの場合も多少の暴れは生じるものの，ほぼ問題なく直線運動（振動）することを確認した。この暴れが，共振周波数の測定に影響を及ぼすことはなかった。

表 1　共振時の計算結果と実験結果の比較

Material constants ＼ Natural frequencies			f_n (Hz) Cal.	f_n (Hz) Exp.
m= 0.133 + α (kg)	k (N/m)	186.7	5.83	5.86
		109.1	4.47	4.62
		68.9	3.56	3.43
k= 129 (N/m)	m (kg)	0.0445	8.57	8.49
		0.1825	4.23	4.28
		0.3670	2.98	3.00

４．単振動（単振子）教材

４．１　着眼点

図８に，単振子のモデルを示す。ここで，l は振子の長さ（m），m は質量（kg）である。本モデルの運動方程式は，式(2)をもとに立てると，

$$I\ddot{\theta} = -\left(mg\sin\theta\right)\times l \tag{9}$$

となり，整理すると，

$$I\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0 \tag{10}$$

となる。ここで，$I = ml^2$，$\sin\theta \approx \theta$（$\theta$ が比較的小さい場合）として，再度整理すると，

$$ml^2\ddot{\theta} + mgl\theta = 0 \tag{11}$$

となり，さらに，両辺を ml で除すると，

$$l\ddot{\theta} + g\theta = 0 \tag{12}$$

となる。ここで，$\omega_n{}^2 = g/l$ の関係を用いて上式を整理すると，

$$\ddot{\theta} + \omega_n{}^2\theta = 0 \tag{13}$$

となる。式(13)以降は，３章のばねー質量系でも述べたように，微分方程式を解く（一般解を求める）ことが主たる作業になる。

式(13)において，ω_n は固有円振動数（rad/s）であり，$\omega_n = 2\pi f_n$ の関係から，固有振動数 f_n（Hz）は次式で求まる。

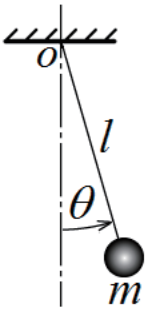


図８　単振子モデル

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}} \tag{14}$$

式(14)より，g は一定とすると，l が大きくなれば f_n は小さくなる。また，この式に m が入っていないことに注目したい。したがって，単振子の固有振動数は m に無関係である。しかし，式(14)を学習する前に，学生に単振子で m を大きくするとどうなるかという質問をすると，f_n は小さくなると答える学生が案外多い。今回開発した教材は，上述の点も踏まえて，この l と m の大きさの違いが f_n に及ぼす影響を，観察（可視化）するためのものである。

４．２　実験教材の内容

図９に，開発した教材の外観を示す。(a)が l の違いによる比較をするための教材，(b)が m の違いによる比較をするための教材である。本教材も，加振装置（水平方向加振）[5]に取り付けて使用した。いずれも，振幅 1mm で加振した。

(a)　l の違いによる比較

(b)　m の違いによる比較

図９　単振子教材の外観

図 9(a)は，厳密には単振子ではなく実体振子であるが，振子の長さ l の違いを比較するのにはこの構造で問題ないことと，作成が簡単であることから，図 9(a)に示す構成とした。振子にはアルミ角パイプ（12mm×12mm×1.5mm）を用い，それぞれの長さ L（質量 m）は，左から 0.05m（0.008kg），0.0992m（0.0155kg），0.1495m（0.0235kg）である。なお，式(14)における l（相当単振子長さ）は $(2/3)L$ として計算で求める。

図 9(b)に示す教材では，振子（アルミパイプ，ϕ

6×0.5）の長さ l は 0.1485m 一定である。これは，アルミパイプの質量（0.0035kg）と円柱おもりの質量および円柱おもりストッパーの質量を考慮して計算にて求め決定した。円柱おもりの質量 m（ストッパーの質量含む）は，左から 0.02kg，0.0315kg，0.059kg である。

４．３　結果と考察

表 2 に，共振時の計算結果と実験結果の比較を示す。表中の材料定数において，m は測定値であるが，l は全て相当単振子長さである。本結果から，固有振動数 f_n については計算結果と実験結果がよく一致していることがわかる。教材として十分な精度であるものと評価できる。

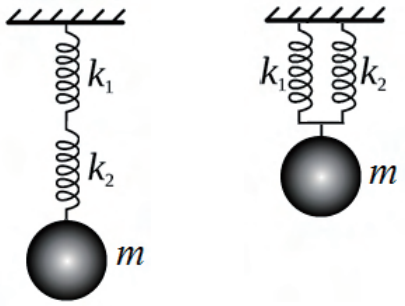
表 2　共振時の計算結果と実験結果の比較

Material constants \ Natural frequencies				f_n (Hz) Cal.	f_n (Hz) Exp.
l (m)	0.0333	m (kg)	0.0080	2.73	2.58
	0.0661		0.0155	1.94	1.91
	0.0997		0.0235	1.58	1.56
l= 0.1485 (m)		m (kg)	0.0200	1.29	1.30
			0.0315	1.29	1.30
			0.0590	1.29	1.30

５．合成ばねの直列接続と並列接続の違いを学ぶ教材

５．１　着眼点

図 10 に，合成ばねのモデルを示す。(a)が直列接続の場合，(b)が並列接続の場合である。ここで，k_1 と k_2 は，ばね定数（N/m）であり，m は質量（kg）である。



(a) 直列接続の場合　　(b) 並列接続の場合

図 10　合成ばねのモデル

図 10 のそれぞれの合成ばね定数を k とすると，図 10(a)の直列接続の場合は，次式のように，

$$\frac{1}{k}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2} \tag{15}$$

図 10(b)の並列接続の場合は，次式のように求まる。

$$k=k_1+k_2 \tag{16}$$

式(15)と式(16)は，電気分野でいうところの合成抵抗の関係と全く逆の関係であり，学生は時々混乱する。本教材はこの点に着目したものであり，全て同じばね定数の引張りコイルばねを使い，直列接続の場合と並列接続の場合の固有振動数を可視化することにより比較することを目的とする。

なお，固有振動数 f_n は，式(8)により求めた。

５．２　実験教材の内容

図 11 に，開発した教材の外観を示す。右が直列接続の場合，左が並列接続の場合（同図では 1 本のばねに見えるが，奥方向にばねが並列に配置されている）である。本教材に使用したばねは，k_1=k_2=113.88 N/m，鋼球の質量は 0.177kg である。それぞれの合成ばね定数 k は，直列接続の場合が 56.94N/m，並列接続の場合が 227.76N/m である。なお，質量にはフック付き鋼球を，ばねには引張りコイルばねを使用した。図 5(a)と同じ方法である。また，加振時に質量とばねが暴れるのを抑えるために，図 6 に示したものと同様な構造とした。ここでは，引張りコイルばねは，最初に伸ばすことなく，そのまま使用した。本教材も，加振装置（垂直方向加振）[5]に取り付けて使用した。いずれも，振幅 1mm で加振した。

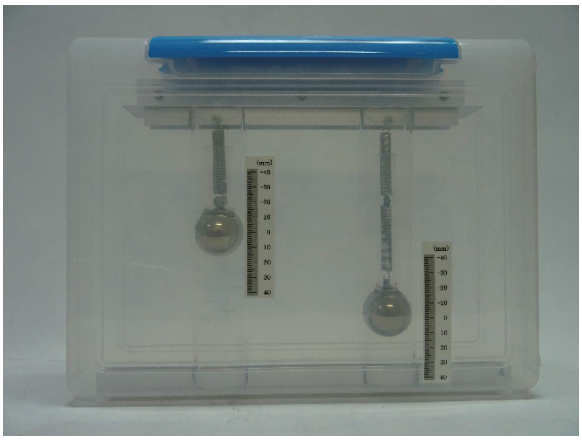


図 11　合成ばね実験教材の外観

５．３　結果と考察

表 3 に，共振時の計算結果と実験結果の比較を示す。なお，表中の材料定数は，いずれも測定値である。α は，ばね暴れ防止用のアクリルパイプの質量であり，直列用が 0.0035kg，並列用が 0.005kg である。本結果から，固有振動数 f_n については計算結果と実験結果がよく一致していることがわかる。教材として十分な精度であるものと評価できる。

表 3　共振時の計算結果と実験結果の比較

Material constants			Natural frequencies	f_n (Hz) Cal.	f_n (Hz) Exp.
Series	$m-0.177$	k (N/m)	56.94	2.83	2.83
Parallel	$+\alpha$ (kg)		227.76	5.63	5.63

６．教育効果

２章～５章で示した教材を，本校商船学科機関コース 3 年生（20 人）および 4 年生（22 人）の授業（90 分，参加者合計 42 人）で実際に使用した。それぞれの教材については，最初に理論式の説明を行い，次に教材の使用目的を示した後に，学生に使用させた。時間の関係もあり，数人の代表学生による使用となったが，その都度感想等も聞き，教材の使用を全員で共有できるよう配慮した。そして，授業終了後にアンケート調査を行った。いずれの学年も，振動問題についてはまだ深く学習していない段階であり，結果に大差がなかったので，両者を併せて集計した。

(1) アンケート内容：①どの教材に興味が持てましたか（興味が持てた項目全てにチェックをしてください）。②慣性モーメント体感教材によって，慣性モーメントについての理解が深まりましたか。③ばねー質量系の二つの単振動教材によって，単振動（ばねー質量系の場合）についての理解が深まりましたか。④単振子についての二つの教材によって，単振動（単振子の場合）についての理解が深まりましたか。⑤合成ばねの直列接続と並列接続による違いを学ぶ教材によって，その違いについての理解が深まりましたか。⑥振動問題に関する学習において，今回開発したような基礎教育用教材は役立つと思いますか。⑦意見・感想など。

(2) アンケート結果：図 12～図 17 に，上記アンケート①～アンケート⑥に対する集計結果を示す。

(3) 教育効果についての考察：図 12 に示すアンケート①の結果から，慣性モーメント体感教材の評価（ここでは人気）が良かったことがわかる。これは，慣性モーメントについては 2 年次の工業力学の授業で既に学習はしているものの，質量と違ってわかりにくい物理量であったことから，十分に理解できていなかったことが要因として考えられる。そして，本教材を使って慣性モーメントを体感する中で，その意味が良くわかったからだと思う。慣性モーメントを教える際，板書による意味や公式の説明，さらには例題を解くといった指導方法だけでなく，こうした教材を使えば，さらに教育効果が上がることは間違いないと考える。

次に評価（人気）が高かったのは，合成ばね（直列接続と並列接続）教材であった。５．１節でも述べたように，合成ばねの関係が，電気分野でいうところの合成抵抗の関係と全く逆の関係であることも含めて，両者の違いの観察は学生にとって興味深かったものと思われる。

単振動教材（ばねー質量系，単振子）は，他の教材と比べて評価（人気）があまり高くはなかった。その理由として考えられることは，慣性モーメント体感教材や合成ばね教材のような新鮮かつ驚き的な要素がなかったためであろう。すなわち，これらは各振動系の定数を変えると（式(8)中の k と m，式(14)中の l と m【m は式中にはない要素であるが，本当に振子の固有振動数は m に関係しないのかを確認するため】），固有振動数がどう変わるのかという点にだけ着目して開発した教材だからであろう。

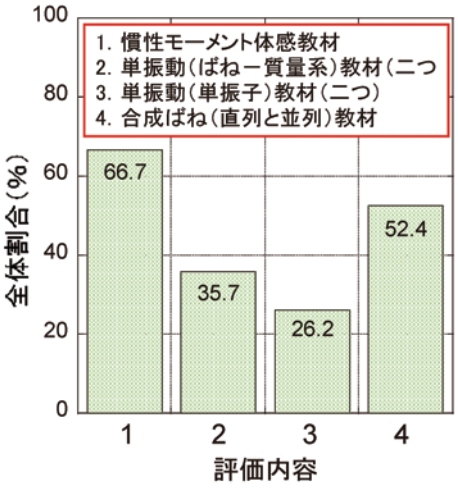


図 12　アンケート①の結果（興味が持てた教材）

アンケート②～アンケート⑤は個々の教材の評価であるが，図 12 に示した結果に反して，いずれもその教材を用いて理解が深まったという高評価が得られた。それぞれ，理解が「とても深まった」と「深まった」を合計すると，②慣性モーメント体感教材 : 88.1%，③二つの単振動（ばねー質量系）教材 : 76.2%，④二つの単振動（単振子）教材 : 81.0%。⑤合成ばね（直列接続と並列接続）教材 : 81.0%であった。この数値は，多くの学生がこれらの教材が学習の助けになると思ったことを意味している。

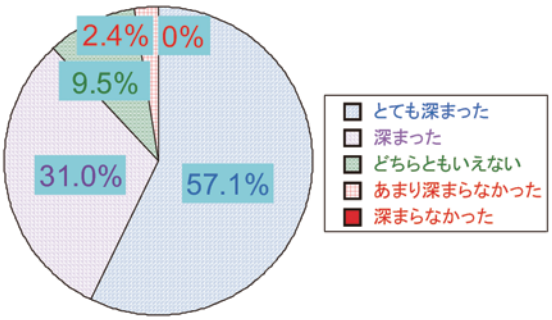


図 13　アンケート②の結果
（慣性モーメント体感教材）

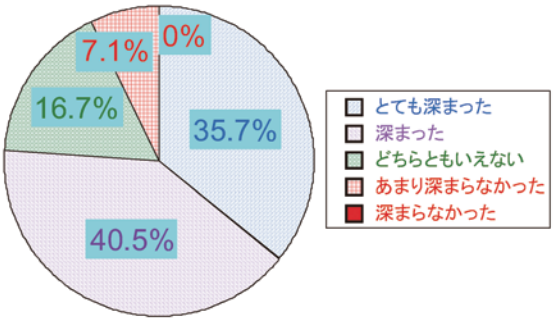


図 14　アンケート③の結果
（二つの単振動（ばねー質量系）教材）

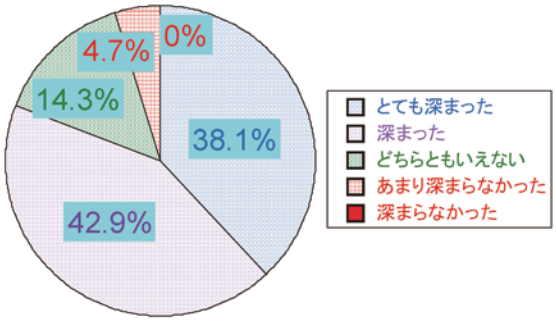


図 15　アンケート④の結果
（二つの単振動（単振子）教材）

アンケート⑥は「今回開発したような基礎教育用教材は役立つと思うか」という質問に対する結果であるが，「とても役立つと思う」が，47.6%，「役立つと思う」が 35.7%で，合計すると 83.3%という高評価が得られた。大多数の学生が，可視化教材は役立つと感じていることがわかった。

図 13～図 17 において特筆すべきことは，こうした教材を用いた結果として，理解が「深まらなかった」，こうした基礎教育用教材は「役立たない」と否定的な回答をした学生が一人もいなかったことである。

アンケート⑦は，本教材や本教材を用いた授業に対する意見・感想である。いくつか紹介しておく。

- どの教材にも工夫があり，興味深かった。
- 理論だけでは実際の現象をイメージしにくいが，教材で見ることでよく理解できた。
- 一つのケースの中に定数の違うものがいくつか並んでいたので，比較しやすかった。
- みんなが実際に物に触れ，体験できたので良かった。

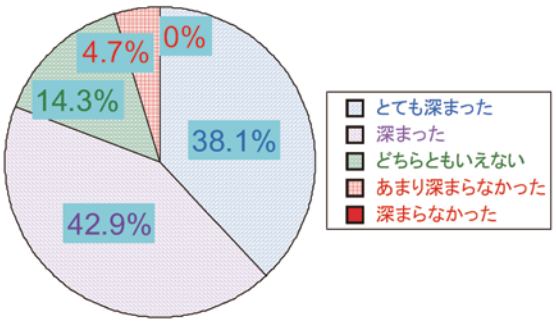


図 16　アンケート⑤の結果
（合成ばね（直列接続と並列接続）教材）

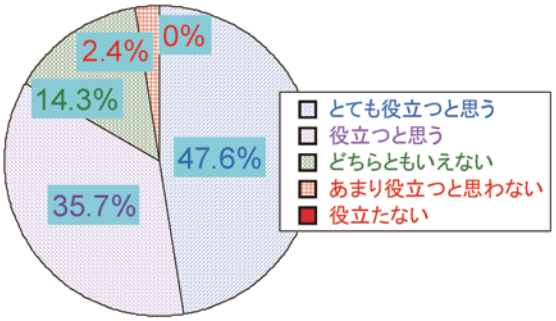


図 17　アンケート⑥の結果（今回開発したような基礎教育用教材は役立つと思うか）

7．あとがき

本研究により得られた主な結論は，以下のとおりである。

(1) 慣性モーメントを体感する教材，単振動に関する教材（ここでは，ばね-質量系と単振子），合成ばねの直列接続と並列接続の違いを学ぶ教材を，それぞれ開発した。

(2) 慣性モーメント体感教材は，鋼球を置く位置によって，その比が，$I_{(r=50)}:I_{(r=100)}:I_{(r=150)}=1:1.65:2.73$ であった。本教材を用いて，慣性モーメントの違いによって，円板の回りにくさ，止めにくさを十分体感できることがわかった。

(3) 単振動に関する教材，合成ばねに関する教材については，固有振動数の値が計算結果と実験結果でよく一致し，いずれも教材としての精度は十分であることを確認した。

(4) 開発した全ての教材を，本校商船学科機関コース 3 年生と 4 年生の授業で使い，終了後にアンケート調査を行い，教育効果の検証をした。学生の反応はとても良く，本教材を用いることによって教育効果が高まることを確認できた。

(5) 開発した教材の中で最も評価が高かった（人気があった）のは，慣性モーメントを体感する教材であった。物理量の中には学生に馴染みのないものも多い。慣性モーメントもその一つと思われる。こうした教材の大切さを再認識した。

謝辞

本研究は，日本学術振興会 2019 年度科学研究費補助金・基盤研究（C）（課題番号：17K01004）の助成を受けて行われたものである。

参考文献

1) 瀧口三千弘：教育用運動シミュレーションシステム(DSS)の開発とそれを用いた学習指導例，平成８年度東レ理科教育賞受賞作品集，第 28 回，pp.38-40(1997)
2) 瀧口三千弘：機械系の動力学問題学習用教材の開発，論文集「高専教育」，第 22 号，pp.97-105(1999)
3) 瀧口三千弘：機械系の動力学問題学習用教材（DSS）の開発 －簡易アニメーション機能の追加－，平成 24 年度工学教育研究講演会講演論文集，pp.552-553(2012)
4) 瀧口三千弘：機械系の運動・振動学習用ソフトウェアの開発，日本機械学会 2015 年度年次大会 DVD 講演論文集，J2010202(5p)(2015)
5) 瀧口三千弘・藤原滋泰・藤野俊和：機械系の運動・振動問題学習用教材の開発と教育実践，工学教育，66-3，pp.41-47(2018)
6) 瀧口三千弘・島岡三義・多田博夫・竹島敬志・藤原滋泰・藤野俊和：機械系の運動・振動問題学習用教材の普及活動－計画－，平成 30 年度工学教育研究講演会講演論文集，pp.46-47(2018)
7) 瀧口三千弘・島岡三義・多田博夫・竹島敬志・藤原滋泰・藤野俊和：機械系の運動・振動問題学習用教材の普及活動－成果－，2019 年度工学教育研究講演会講演論文集，pp.12-13(2019)