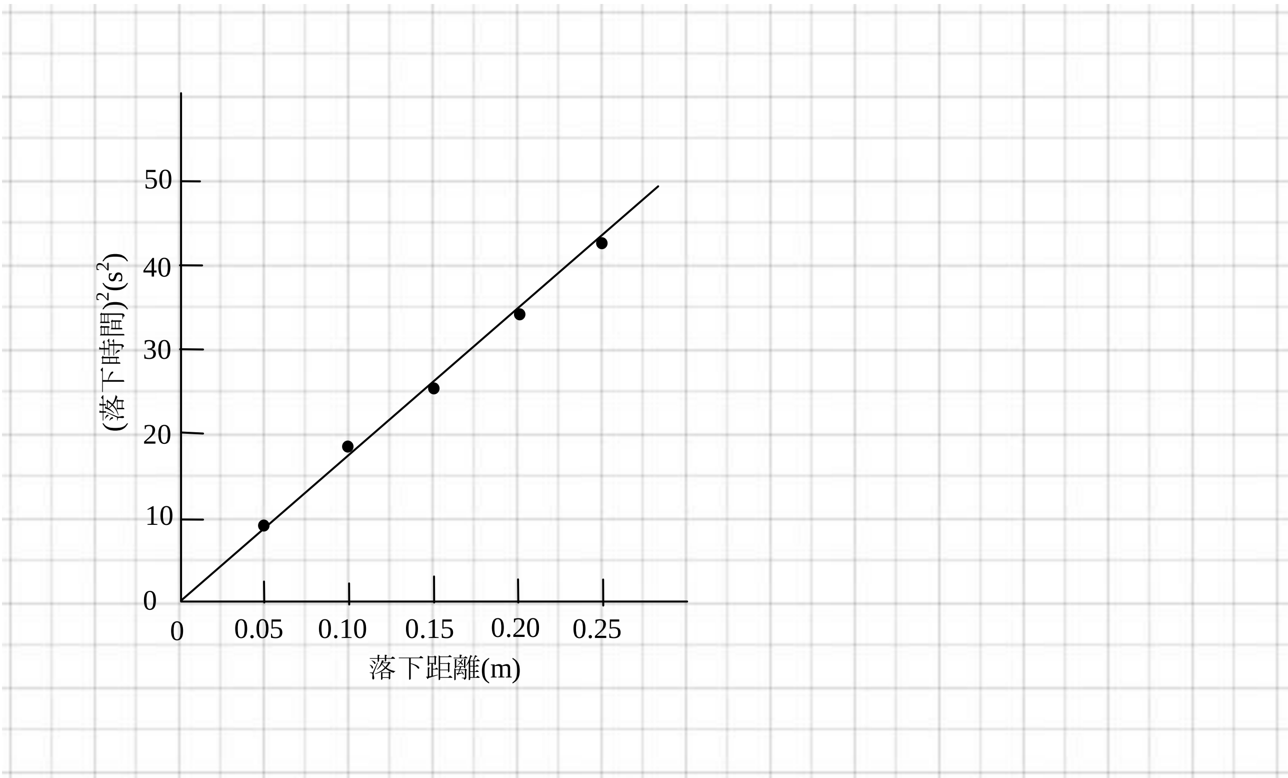
チャレンジ番号	氏　　　　名

課題１－１

表１－１

落下距離 h(m)	落下時間 t(s)				$t^2(s^2)$
	1 回目	2 回目	3 回目	平均値	
0.050	3.00	2.88	3.11	3.00	9.00
0.100	4.29	4.26	4.28	4.28	18.3
0.150	4.90	5.07	5.09	5.02	25.2
0.200	5.82	5.81	5.87	5.83	34.0
0.250	6.64	6.64	6.51	6.51	42.5

１－１－（３）



チャレンジ番号	氏　　　　名

課題１－１

１－１－（４）
物体 A の落下が等加速度運動であるといえるか，その根拠とともに述べなさい。

等加速度運動ならば、落下距離 h と落下時間 t との間には

$$h=\frac{1}{2}at^2$$

の関係が成り立っているはずである。

t^2 と h とのグラフより両者は比例関係にあることが読み取れるので、この運動は等加速度運動であるということができる。

加速度 a の値はいくらか。

a =1.2×10^{-2}m/s^2

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題１－２

１－２－（１），（２）

表１－２

M(kg)	b(m)	落下時間　t(s)				a(m/s^2)	I(kg·m^2)
		1回目	2回目	3回目	平均値		
0.025	0.0050	10.36	10.43	10.35	10.38	0.0046	0.00132
	0.0080	6.48	6.44	6.43	6.45	0.0120	0.00130
	0.0100	5.10	4.98	5.09	5.06	0.0196	0.00125
0.050	0.0050	7.09	7.07	7.05	7.07	0.0100	0.00122
	0.0080	4.38	4.37	4.38	4.38	0.0261	0.00120
	0.0100	3.52	3.50	3.48	3.50	0.0408	0.00120

１－２－（３）　Iの値がM，bの値に依存しないかどうかの検討

Iの値は1.2×10^{-3}～1.3×10^{-3}kg・m^{2}の間にあり、ほぼ一定である。このことから、Iの値はM、bの値に依存しないことがわかる。

課題１－３　課題1-2で求めたIの値の平均値と，$I_{BC} = 2mr^2$の値の比較

Iの値の平均値=1.3×10^{-3}kg・m^2

$I_{BC}=2mr^2=9.1\times10^{-4}$kg・m^2

これより、Iの値の平均値のほうがI_{BC}より少し大きいということができる。

チャレンジ番号	氏　　　名

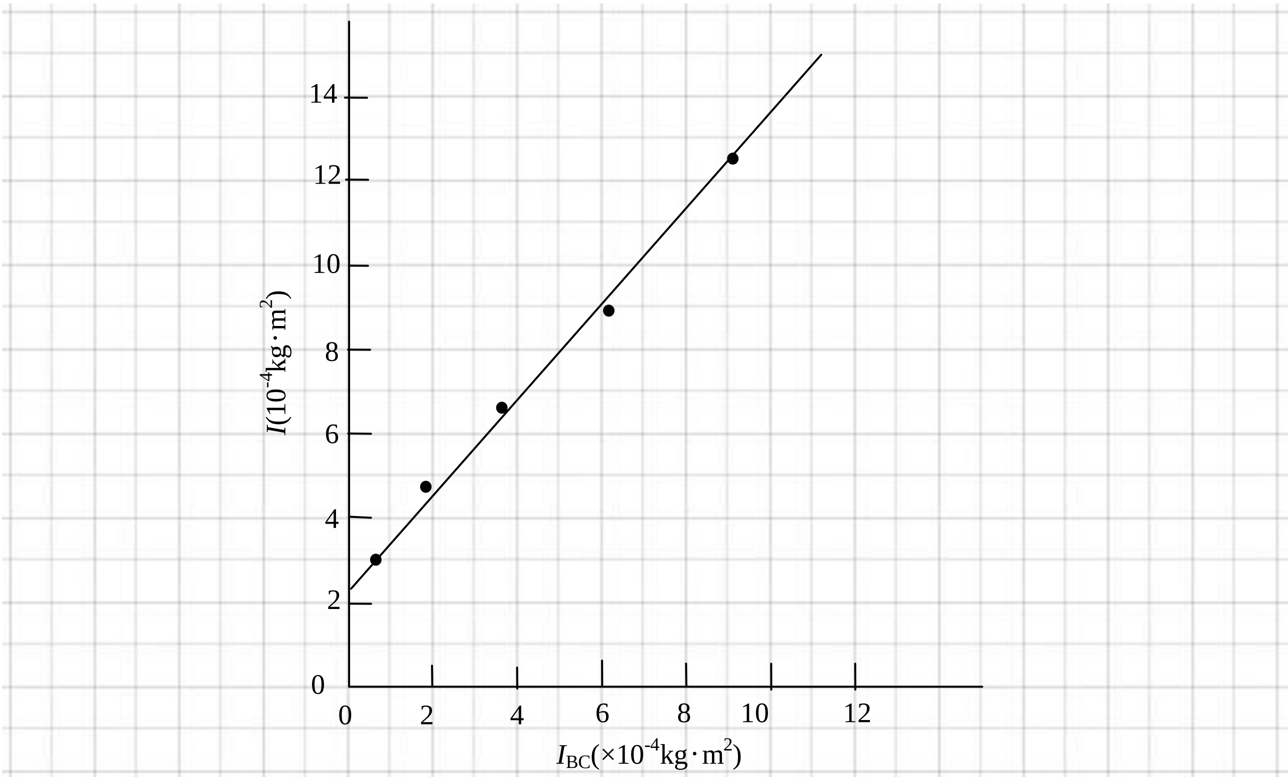
課題１－４

１－４－（１）

表１－４

r(m)	$I_{BC}=2mr^2$ (kg·m^2)	落下時間 t(s)				a(m/s^2)	I(kg·m^2)
		１回目	２回目	３回目	平均値		
0.110	9.1×10^{-4}	5.10	5.04	5.00	5.05	0.0196	0.00125
0.090	6.1×10^{-4}	4.24	4.30	4.20	4.25	0.0277	0.00088
0.070	3.7×10^{-4}	3.70	3.64	3.68	3.67	0.0371	0.00066
0.050	1.8×10^{-4}	3.12	3.13	3.08	3.11	0.0517	0.00047
0.030	0.67×10^{-4}	2.49	2.60	2.50	2.53	0.0781	0.00031

１－４－（２）I,　I_{BC} のグラフ



チャレンジ番号	氏　　　　　名

課題１－４

１－４－（２）I の値と $I_{BC} = 2mr^2$ の値の関係が，式 (1-6) を満たしているか

グラフより、I は I_{BC} の１次関数であり、直線の傾きはほぼ１であることがわかる。
したがって I の値と I_{BC} の値は式(1-6)を満たしている。

１－４－（３）棒＋糸巻の部分の慣性モーメント I_0 の予測値

I_0 =2.5×10^{-4}kg・m^2

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題１－５

M(kg)	b(m)	落下時間　t(s)				a(m/s^2)	$I_0^{(ex)}$(kg·m^2)
		1回目	2回目	3回目	平均値		
0.025	0.0050	4.52	4.34	4.54	4.47	0.0251	0.00024
	0.0080	2.72	2.79	2.76	2.76	0.0658	0.00024

棒＋糸巻の部分の慣性モーメントの実測値 $I_0^{(ex)}$と，課題 1-4 で求めた I_0 の予測値との比較

$I_o^{(ex)}=2.4\times10^{-4}\mathrm{kg\cdot m^2}$

$I_o=2.5\times10^{-4}\mathrm{kg\cdot m^2}$

実測値 $I_o^{(ex)}$ と予測値 I_{o} はほぼ等しい。

課題１－６

棒の慣性モーメント I_{bar} の算出，および I_0，$I_0^{(ex)}$ との比較

$I_{\mathrm{bar}}=\dfrac{1}{12}\times0.0344\mathrm{kg}\times(0.27\mathrm{m})^2=2.1\times10^{-4}\mathrm{kg\cdot m^2}$

I_{bar} の値は、I_{o}、$I_{\mathrm{o}}^{(ex)}$よりも少し小さい。（差は糸巻き部分の慣性モーメントに相当する）

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題２－１

$I_0 = 5.42 \times 10^{-5}\ \mathrm{kg{\cdot}m^2}$

表 2-1

	回転体 A	回転体 B	回転体 C
r (m)	0.025	0.040	0.053
m' (kg)	0.1504	0.1504	0.1504
I' (kg·m^2)	9.40×10^{-5}	2.41×10^{-4}	4.22×10^{-4}
I (kg·m^2)	1.48×10^{-4}	2.94×10^{-4}	4.76×10^{-4}
k (m)	0.0280	0.0395	0.0502

チャレンジ番号	氏　　　　　　名

課題２－２　（解答しない）

（１）

$$\tan\alpha_c = \frac{Y}{X} =$$

（２）

$$\mu =$$

（３）　(2-12)の関係式の証明

チャレンジ番号	氏　　　　名

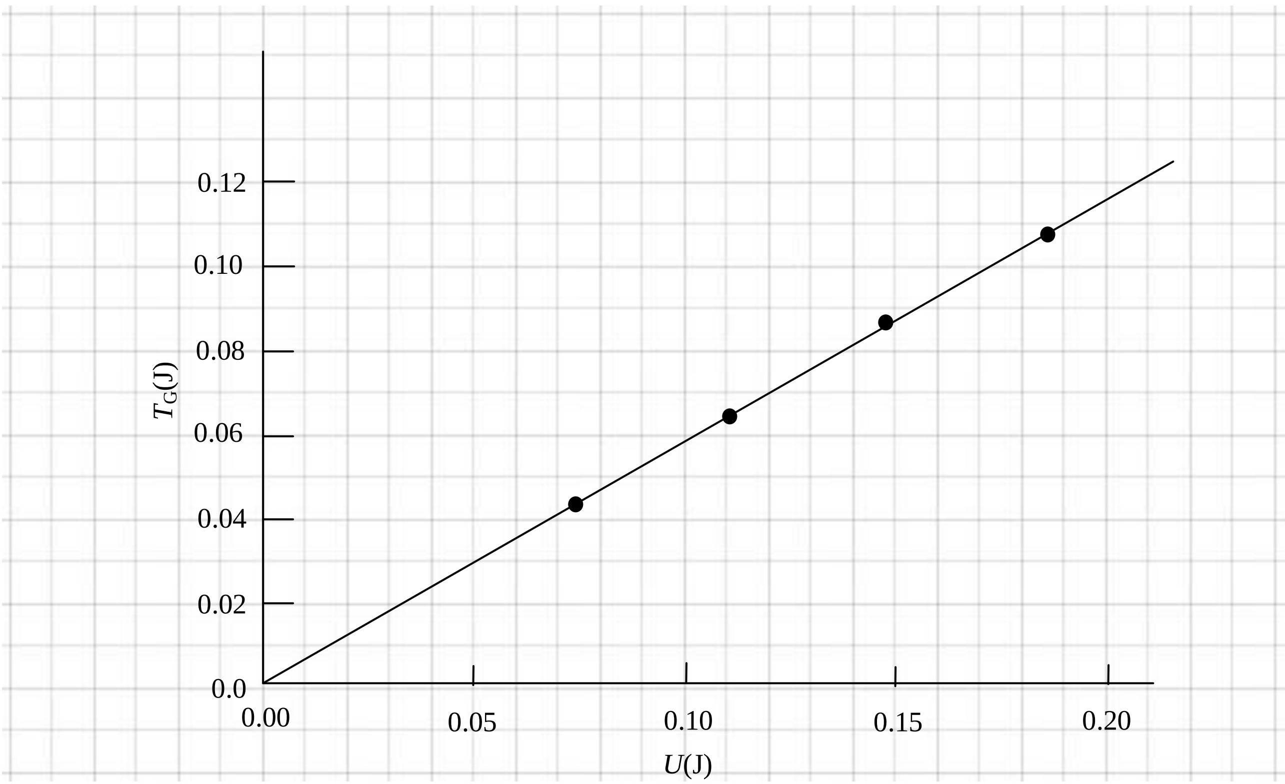
課題２－３

表２－２

		走行距離 1	走行距離 2	走行距離 3	走行距離 4
l (m)		0.20	0.30	0.40	0.50
v_G (m/s)	1 回目				
	2 回目				
	3 回目				
	平均値	0.679	0.832	0.960	1.074
T_G (J)		0.0435	0.0653	0.0870	0.1088
h (m)		0.040	0.060	0.080	0.100
U (J)		0.0740	0.1110	0.1480	0.185

課題２－４

２－４－（１）　原点を通り勾配 0. 59 の直線



チャレンジ番号	氏　　　　名

課題２－４

２－４－（２）データ点は原点を通る直線上にあることが予想される。それはなぜか，理由を記せ

すべらないので，　$v_G = b\omega$

重心運動の運動エネルギー：$T_G = \dfrac{1}{2} M v_G^2 = \dfrac{1}{2} M b^2 \omega^2$

回転運動の運動エネルギー：$T_R = \dfrac{1}{2} I \omega^2 = \dfrac{1}{2} M k^2 \omega^2$

エネルギー保存から，　$U = T_G + T_R = \dfrac{1}{2} M (b^2 + k^2) \omega^2$

よって，　$\dfrac{U}{T_G} = \dfrac{b^2 + k^2}{b^2} =$ 一定

２－４－（３）

$\dfrac{U}{T_G} = 1.70$

課題２－５　比 $\dfrac{U}{T_G}$ が一定であれば，斜面を下る剛体の重心は等加速度運動であるといえる理由。

一定である $\dfrac{U}{T_G} = \beta$ と置くと，$U = Mgh$，$T_G = \dfrac{1}{2} M v_G^2$ から，

$v_G^2 = \dfrac{2T_G}{M} = \dfrac{2T_G gh}{U} = \dfrac{2g}{\beta} h = \dfrac{2g\sin\alpha}{\beta} l$ となり，走行距離 l によらず，

加速度 $a = \dfrac{\sin\alpha}{\beta} g$ は一定であるから，等加速度運動である。

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題２－６

２－６－（１）

表２－３

		傾斜角 1	傾斜角 2	傾斜角 3
$\sin\alpha$		0.20	0.12	0.060
v_G (m/s)	1 回目			
	2 回目			
	3 回目			
	平均値	1.07	0.832	0.588
T_G (J)		0.109	0.0653	0.0326
h (m)		0.100	0.060	0.030
U (J)		0.185	0.111	0.0555
$\dfrac{U}{T_G}$		1.70	1.70	1.70

２－６－（２）斜面の傾きが回転体の運動に及ぼす影響についてどのようなことが分かるか説明せよ。

傾きが大きくなると，重心運動も回転運動も，両方とも，速くなるが，比 $\dfrac{U}{T_G}$ の値は変わらない。

チャレンジ番号	氏　　　　　名

課題２－７

表２－４

h =　0.10　m,　U =　0.185　J

		回転体 A	回転体 B	回転体 C
r(m)		0.025	0.040	0.053
I'(kgm^2)				
v_G (m/s)	1 回目			
	2 回目			
	3 回目			
	平均値	1.27	1.17	1.07
T_G (J)		0.152	0.129	0.109
$\frac{U}{T_G}$		1.22	1.43	1.70
I(kgm^2)		1.48×10^{-4}	2.94×10^{-4}	4.76×10^{-4}
I_0 (kgm^2)		5.42×10^{-5}	5.42×10^{-5}	5.42×10^{-5}

課題 2-1 で求めた CD2 枚と木製円柱 1 本を併せた部分の慣性モーメントの理論値

$$I_0 = 5.42 \times 10^{-5}\ \mathrm{kg\ m^2}$$

得られた CD2 枚と木製円柱 1 本を併せた部分の慣性モーメント I_0 の３つの値は互いに一致したか？

一致した

また，課題 2-1 で求めた I_0 の理論値と一致したか？

一致した

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題２－８

回転体が静止状態から，斜面を**滑りながら**転がり落ちた場合，回転体が得た重心運動の運動エネルギーT_G, 回転運動の運動エネルギーT_R, 失った位置エネルギーU の間の比 $\frac{T_G}{U}$ および $\frac{T_R}{U}$ は, それぞれ, 滑らずに転がり落ちた場合に比べ，増加するか，減少するか、推論とその理由を以下に記しなさい。

一定距離を落下する場合を考え，U は一定とする。傾きを増加していって，滑りが起こる直前と直後を比べる。

回転運動を引き起こすトルクの元になる力は，最大静止摩擦力から（それよりも小さい）動摩擦力に代わるので，T_R は減少する。

重心運動において重力の斜面方向の成分の効果を減殺する力は，最大静止摩擦力から（それよりも小さい）動摩擦力に代わるので，T_G は増加する。

滑らないときは，静止摩擦力は仕事をしないので，力学的エネルギーは保存され，$U = T_G + T_R$ が成り立つが, 滑るときは, 動摩擦力が仕事をするので，$U > T_G + T_R$ となる。

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－１

a.　回転子部分の振動数　（解答しない）

　前後方向の振動の計測結果と周期

　（　　　　　　）秒　　周期（　　　　　）秒

　左右方向の振動の計測結果と周期

　（　　　　　　）秒　　周期（　　　　　）秒

c.　回転子に円盤（CD）をとりつけ場合の振動周期

　前後方向の振動周期　（　約 0.5　）秒

　左右方向の振動周期　（　約 0.5　）秒

課題３－２

回転子（CD 盤つき）の，最初の電源設定における回転方向

回転方向　（　＋　または　－　）どちらかを〇で囲みなさい。解答者による（例は　＋とする）

課題３－３　（解答しない）

a.　回転子の回転数変化測定前のモータ電源電圧

（　　　　　　）V

b.

1.　回転数表示が 50，80，100，110，115 になる時間

50（　　）秒，80（　　）秒，100（　　）秒，110（　　）秒，115（　　）秒

2.　スタートして 30 秒後の回転数

回転数表示　（　　　　　）

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－３　（解答しない）

３－３－ｃ（１）　回転数変化のグラフ

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－３　　（解答しない）

ｃ－（２）　真の回転数と測定表示が異なる理由（記述）

ｃ－（３）回転数時間変化測定後の回転子電源電圧

（　　　　　　　　　）V

ｃ－（４）　測定で注意するべきと考えられる点

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－４

電源赤＋，黒 - の場合の

回転方向は＋，－のどちらか　（　＋　）解答者によって異なる．

安定回転状態の回転数，回転数は　（　　　）

電源電圧は　（　　　）V

１．回転子の減衰する歳差運動

歳差運動の向き　（　－　）

歳差運動の周期の概略値　（　5~6　）秒

歳差運動測定後の電源電圧　（ 2.8~3.0 ）V

回転子の真の回転数　（　約 60 Hz ）

２．電源を逆転した歳差運動

歳差運動の向き　（　＋　）

歳差運動の周期の概略値　（　5~6　）秒

歳差運動測定後の電源電圧　（　2.8~3.0 ）V

回転子の真の回転数　（　約 60 Hz ）

３．電源電圧を　1.5V に減らした場合

歳差運動の向き　（　－　）

歳差運動の周期の概略値　（　約３　）秒

歳差運動測定後の電源電圧　（　1.4~1.5　）V

回転子の真の回転数　（　約 30 Hz　）

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－４

４．測定結果と公式との関係に関する考察

公式（３－７）では　歳差運動の角振動数Ωが回転子の毎秒回転数の ２π倍であるωに逆比例する。実際の測定では，電源電圧を減少させることで，回転子の回転周波数は約半分となるが，これにより，歳差運動の周期は半分となり角振動数はほぼ倍となる。このω，Ωとの大きさの関係は公式と一致する。

５．回転子の角速度 ω および歳差運動の角速度 Ω の符号の間の関係

観測された ω および Ω の符号の間の関係：　互いの回転方向の符号は反対になる

理由：　ωの回転方向は，Ωと逆になるのは，重力によるトルクが（回転軸の鉛直方向からの角度）θを減少させるように働くためである。通常のコマの場合は，軸の回転方向と歳差運動の回転方向は一致する（重力によるトルクは回転軸の鉛直方向からの角度を増加させる）。このことは角運動量の時間変化はトルクに等しいという関係は，角運動量ベクトルの大きさだけではなく，方向に関してもなりたつことによる。

６．歳差運動が減衰する原因

歳差運動は，力の働く方向と，移動方向は垂直なので仕事をせず，エネルギーは保存される。しかし，支持点が理想的ではなく，摩擦があると，運動のエネルギーを減少させる。また，回転子と空気との摩擦も減衰の原因となる（回転数が大きい回転子の場合）。このことは支持点の摩擦を減らす工夫をすると歳差運動の減衰が少なくなることからわかる。また，後者は粘性の異なる気体中の動作を見ると確認できる。

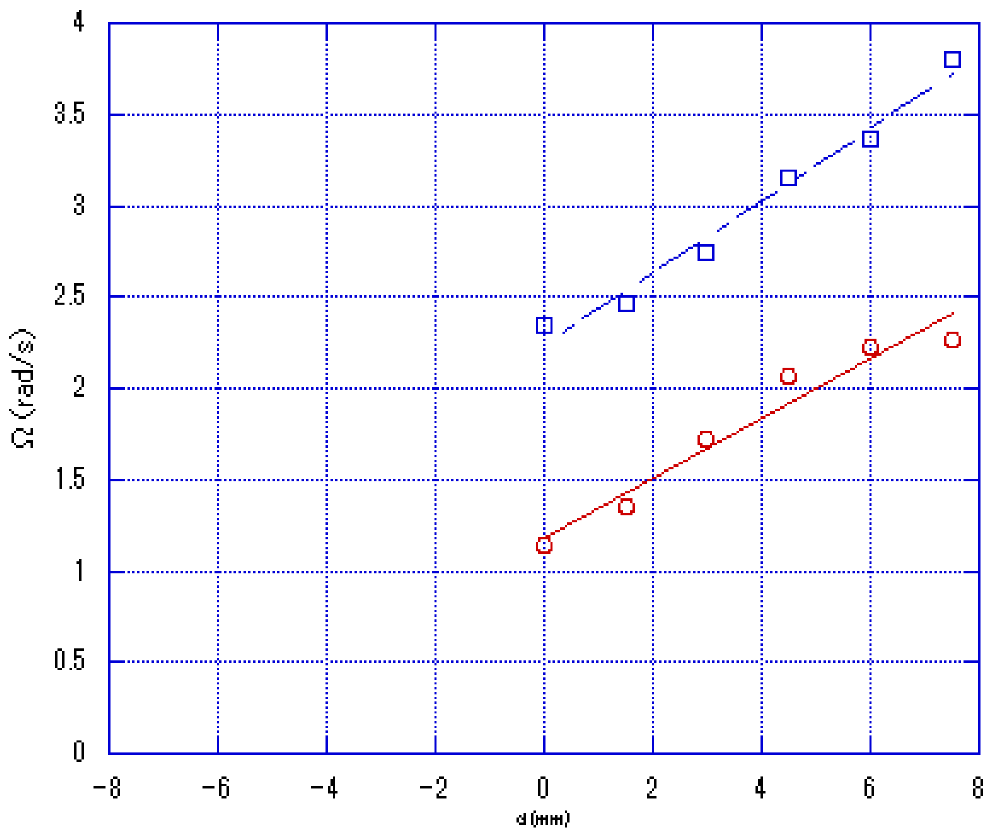
チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－５

１．測定結果の表

おもり位置	1	2	3	4	5	6
データ１	5.48	4.79	3.66	2.98	2.86	2.85
データ２	5.50	4.44	3.78	3.12	2.79	2.73
データ３	5.62	4.68	3.52	3.00	2.84	2.72
平均周期 (s)	5.53	4.63	3.65	3.03	2.83	2.76
Ω (rad/s)	1.14	1.36	1.72	2.07	2.22	2.28

（１）、（２）d - Ω の関係を示すグラフ



チャレンジ番号	氏　　　　名

課題３－５

２．回転子の電源が単三電池一本のときの測定結果

おもり位置	1	2	3	4	5	6
データ１	2.44	2.34	2.22	1.98	1.83	1.63
データ２	2.84	2.63	2.43	2.00	1.89	1.64
データ３	2.76	2.68	2.22	1.99	1.88	1.68
平均周期 (s)	2.68	2.55	2.29	1.99	1.87	1.65
Ω (rad/s)	2.34	2.46	2.74	3.16	3.36	3.81

３．重りが最上部にあるときの重心位置（ナットの厚さ 8 mm）

実験から推定される重心からのおもりの位置　（　1.5~1.9　）cm

装置を直接測定した結果から推定される重心の支点からの概略距離（　3.0　）cm

４．３．の結果の違いの原因に関する考察

装置の質量は実際にはおもりだけではなく CD，直流モーター，支持部などから構成されており，おもり以外の部分の重心が，支持位置から，ほんの少しでもずれていればトルクとして働く。この課題の装置では，ほぼ，おもり以外のトルクが無視できるように調整されているが，運動や運搬とともにずれた可能性がある。この場合モーター質量の効果が大きい。精度よく求めるには この例では，6 点をおもり一回転ごとのデータを 6 点とっているが，回転範囲全体を使い，2 回転ごとにデータをとるほうがよい。

５．慣性モーメントへの寄与する部分

CD からの寄与がもっとも大きい。CD そのものの質量はあまり大きくないが，回転中心からの距離が大きい部分をもつ。前問からの解説や実験結果からわかるように，慣性モーメントは質量とその位置の回転軸からの距離の二乗に比例するからである。実際，CD をはずして歳差運動の実験をすると CD の寄与が大きいことがわかる。残りの部分はモーター内部の回転子の寄与である。

チャレンジ番号	氏　　　　名

課題４－１

M =0.110kg

I_G =1.12×10^{-3}kg·m^2

k_G =0.101m

課題４－２

表４－１

l (m)	0.010	0.020	0.040	0.060	0.080
振動回数 n	5	5	10	10	10
時間 t (s)	10.26	7.53	11.14	9.86	9.21
T(s)	2.05	1.51	1.11	0.99	0.921
$T^{(th)}$(s)	2.04	1.46	1.09	0.96	0.91

周期の実測値は理論的予測値と一致したと言えるか？結論を記せ。

路論的予測値と実測値のずれは最大でも３％であり、両者はほぼ一致すると結論づけることができる。