

# 物理学基礎 I

担当 理学研究科 三浦裕一

## 物理法則の実例の紹介

基礎的な「力学」の教科書に沿って授業を進め、物理法則を理解する。そして、基本的な問題に法則を適用して計算できるようにする。その際、理解を深めるために、いくつか実例を挙げて解説する。以下に身近な物理現象の一部を紹介するので、自分で考えてほしい。括弧内は、関連するキーワードである。関連する電磁気学も少し含めた。( All photo. by Y. Miura)

### (1) 鉄道架線の張力 (力のつり合い、力のモーメント; **the Turning moment, tension**)



1-1; 電車の架線の切り替え(a relay of the electric string cables, @ JR-Kozoji Station.

最後尾車両からの撮影、

電車の架線には常に一定の張力 (約 500kgW) を加える必要がある。熱膨張や塑性変形で架線が伸びて緩むと、架線が切れて事故が起きる。一定の張力を加える最も単純な方法は何か？

ちなみに、架線は始発駅から終着駅まで一本で済ますことはできない。架線自体の電気抵抗や、多数の列車が電力を使うために電圧が低下するためである。そのため、一定の距離ごとに架線をリレーのように切り替える。上の写真は、右側から新しい架線が合流する様子であり、一時的にパンタグラフは左右両方の架線に接して、両側から電力を供給されている。



1-2(a); 電車の架線の張力は約 500kgW( Torque, Leverage) , @ JR-Ozone Station.  
An electric string placed under a tension of 500kgW.



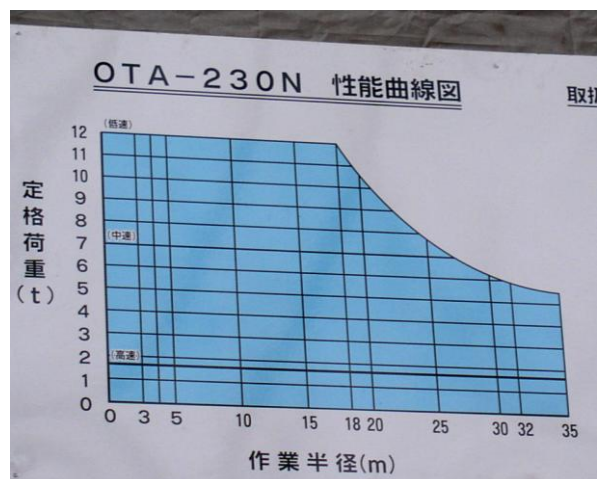
1-2(b); 大きな張力を加える方法(a Leverage system) , @ JR-Ozone Station.  
500kgW の張力をかけるには、外側の輪に吊るす重りは何 kg 必要か？  
ここで、力の単位の「kgW(キログラム重)」はメートル法の単位ではない。  
1 kgW は、何ニュートン (N) に相当するか？

1-3; a Climbing Crane ( Torque )



機械名称	クライミングクレーン	
規格・型式	OTA-230N	
作業半径	18M	35M
定格荷重	12T	5.5T

Load 12 ton/18 m, 5.5 ton/35 m.

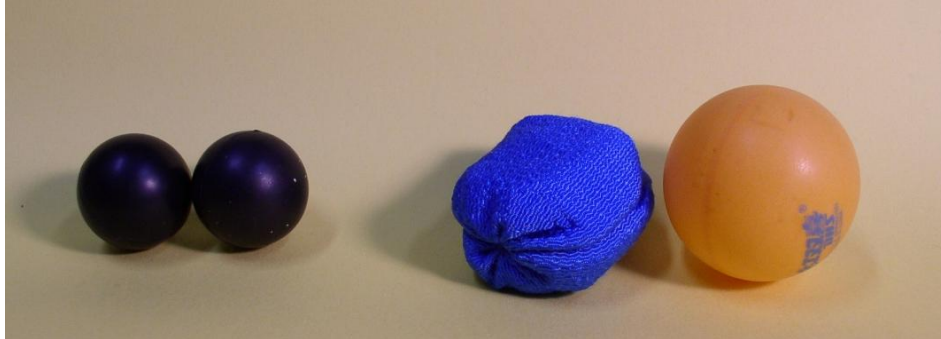


**A load-capacity vs. a Working Radius**

an under-construction new Campus, @ Nagoya University, Feb. 2011.

(2) エネルギー保存則 (保存力、位置エネルギー、運動エネルギー、熱エネルギー)

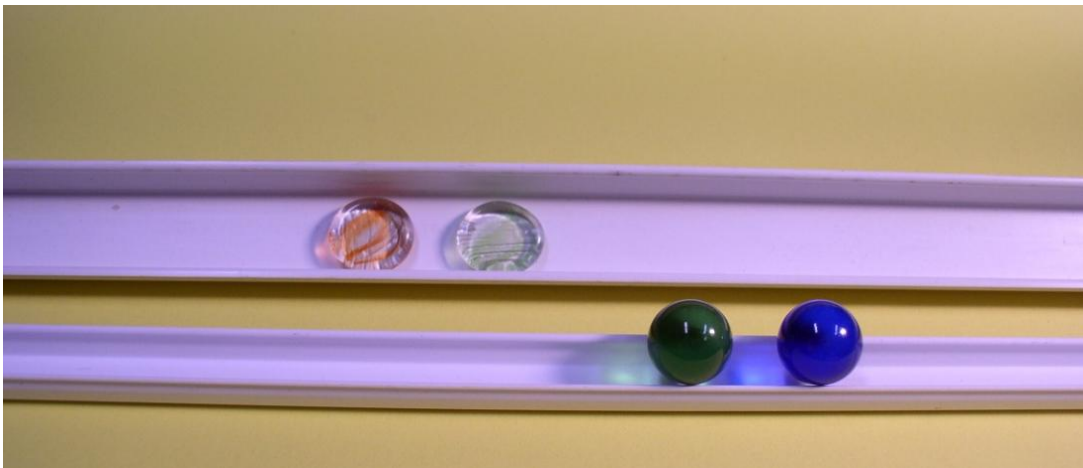
**Energy conservation Law ( Potential energy, Kinetic energy, Thermal energy)**



弾むボール・弾まないボール (左のペア) と「お手玉・ピンポン玉」 (右)  
Elastic Ball and inelastic Ball; What has a potential energy of an inelastic Ball been converted to ?

「弾むボールと弾まないボール」を同じ高さから落下させる。弾まないボールは台の上に静止するが、持っていた位置エネルギーはどこに行ったのか？エネルギーが消えることは、あり得ない。お手玉の内部構造に着目して考えること。

(3) 運動量保存則 (弾性衝突); **Momentum Conservation Law, Elastic Scattering,**



オハジキ (上)、またはビー玉 (下) を、レールの中で直線運動させ、衝突させる。

1-D scattering of the glass buttons (upper) and the glass spheres (lower).

静止した物体に、同質量の物体を速度  $v$  で衝突させる。衝突後の速度はどうなるか？

オハジキとビー玉では結果が異なるが、その理由を考えてみよう。



#### (4) 摩擦力の利用 (Use of Friction)



4-1; 摩擦力だけで 8 トンのパイルを吊りあげ、縦穴に入れる作業。なぜ滑り落ちないのか？

Lifting of a 8-ton Pile making use of Friction, @ Nagoya University.

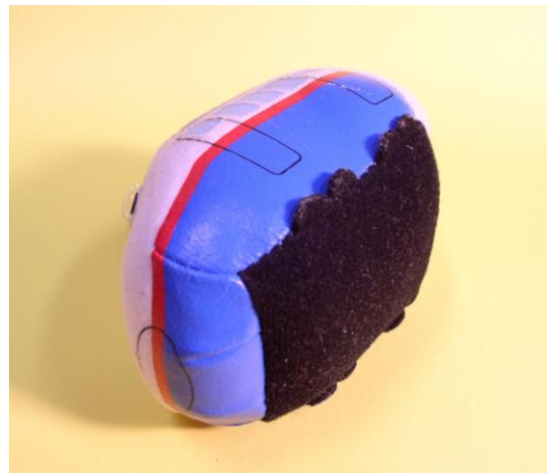


4-2; ワイヤの縛り方に「秘密」がある; Wiring a Pile.

重さが掛かると、パイルを締め付ける力はどうなるか？



4-3(a) ゼンマイ仕掛けでブルブル振動しながら前進する玩具;  
Super express " Hayate" , a Friction Toy.



4-3(b) 裏に車輪は無いのに、なぜ前進するのか?  
摩擦係数が前後方向で等しい場合、異なる場合、それぞれどうなるか、考えよう。  
Toy goes forward by a Vibration without wheels.

(5) 二体問題 (重心、回転中心や、換算質量) ; **Two-Body Problem**



5-1; 連星モデル; Double Star model, mass ratio = 1:1, 2:1, 3:1.

指で弾いて回転させると、回転中心の位置はどこになるか?

宇宙には多くの「連星」が存在し、一方の明るい星の「揺れ」の観測から相棒の星の質量と軌道が計算できる。  
最近では、恒星の「揺れ」を高精度に観測することにより、惑星の存在まで分かるようになった。

(6) 単振動（固有振動数、共振、免震構造） a Natural Oscillation, Resonance, a Base Isolator



6-1; バネ定数と重りの質量から、固有振動数が決まる; a Natural Frequency;

この固有周期に合うようにバネを微小振動させると共振し、オモリの振幅が増大する。しかし、固有振動数より高い振動数でバネ上端を揺らすと、オモリの動きはどうか。

下の写真は、この原理を応用して地震の被害を防ぐ免振構造の実例である。





6-2; バネで支持された、重いバス・ターミナル; Example of a Base Isolator,  
Bus terminal sustained by Springs. Guide-way Bus Terminal @ Ozone, Nagoya.



6-3; 免振構造の例 ; 上の台と柱の間に見える黒い板が免振バネである,  
Example of a Base Isolator, Black Plate is the Rubber Spring,  
Bus Terminal @ Ozone, Nagoya.





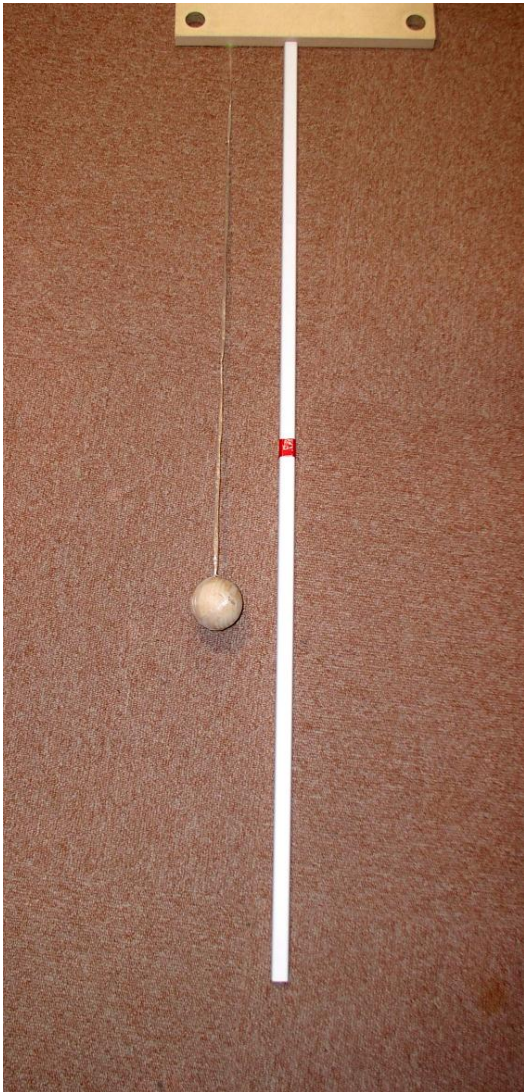
6-4; Example of a hard Spring, a Freight Train, @ JR-Ozone Station,  
貨物列車の硬いバネの例（鉄製のコイルバネ、これが無いと車輪と線路が損傷する）



6-5; Example of a soft Spring (Air Damper), a passenger car, @ JR-Kozoji Station,  
通勤電車の軟らかい空気バネ（ドアの下に見える円盤状の物）、固有振動数が低いので、  
線路からの振動が客室まで伝わり難い。

(7) 実体振り子の周期 (慣性モーメント、力のモーメント)

**a stiff pendulum (the Turning Moment, the Moment of Inertia)**



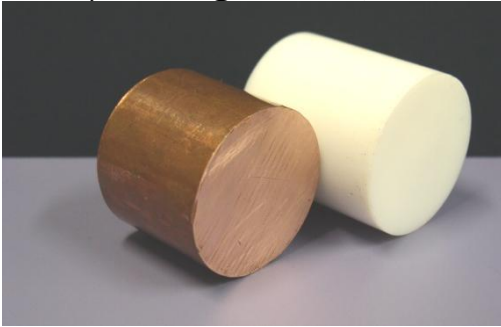
7-1; 実体振り子 (一様な棒) と単振り子を同時に振り、周期を比較する。

均一な棒の重心は中央の赤印の位置にある。重心までの長さの単振り子と周期を比較すると、異なることが分かる。棒と周期が同じになる、単振り子の紐の長さを計算しよう。

A red mark is a mass center of a stick. The two pendulums have the same periodicity.

(8) 斜面の転がり速度 (慣性モーメント、力のモーメント、回転エネルギー)

**The comparison of the rotational speed of the two rotators on a slope (a turning moment, a moment of inertia)**



8-1(a) 同じ直径で密度の異なる円柱の比較 ; テフロン(右)は軽い、銅は 5 倍も重い。  
Two rotators; the both radius are the same, but a density is different.



8-2(b) 直径の異なる円柱、直径の異なる球の比較  
Two rotators; The radius is different, but a shape is the same.

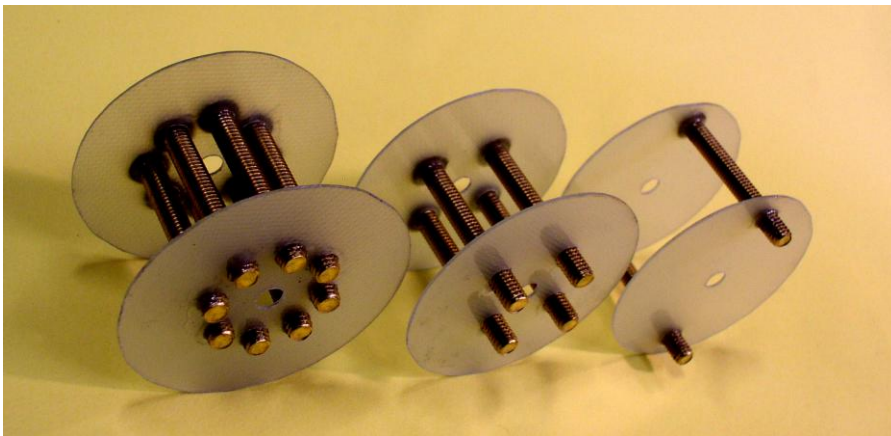


8-2(c) 直径が同じ円柱と球、直径が同じ円柱とパイプの比較  
Four rotators; A radius is the same, but a shape is different.

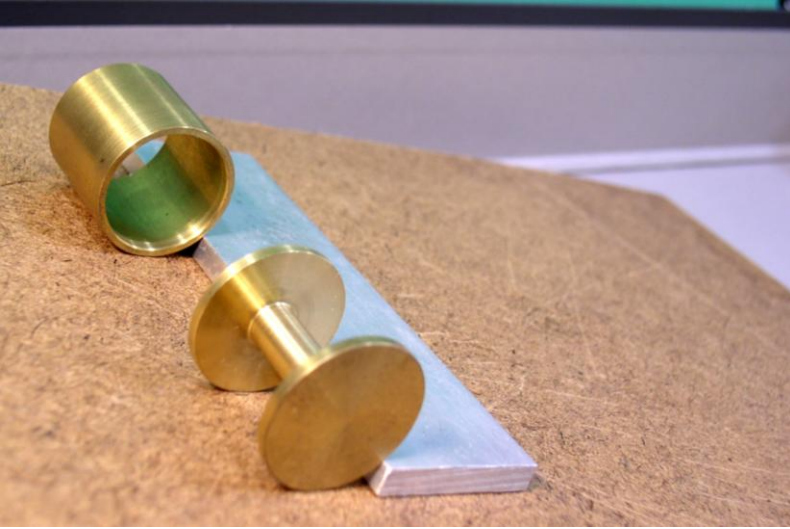




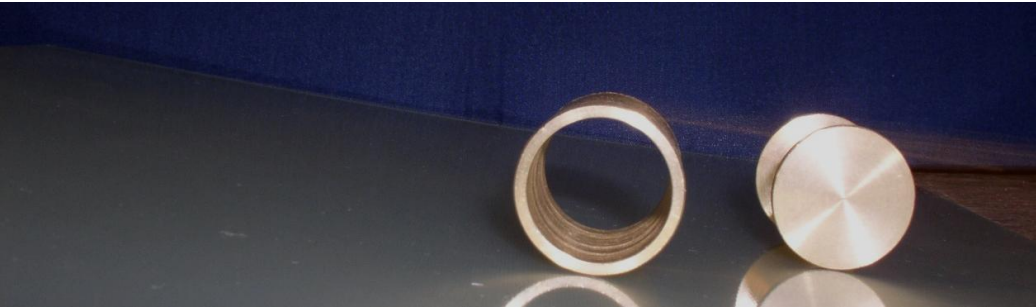
8-2(d) 大小の球、及び 同じ直径、同じ重さの「糸巻き」と「パイプ」の比較  
 Left; The radius of spheres are different.  
 Right; The radius of a Pipe and a Bobbin are the same.



8-2(e) 直径と質量分布を変えた回転体 ; 「半径/質量」は左から,  
 Rotators; Radius/Mass=  $r/8m$ ,  $r/4m$ ,  $2r/2m$ .  
 転がり速度を予想してほしい。ただし円板は薄く、その質量は無視できる。

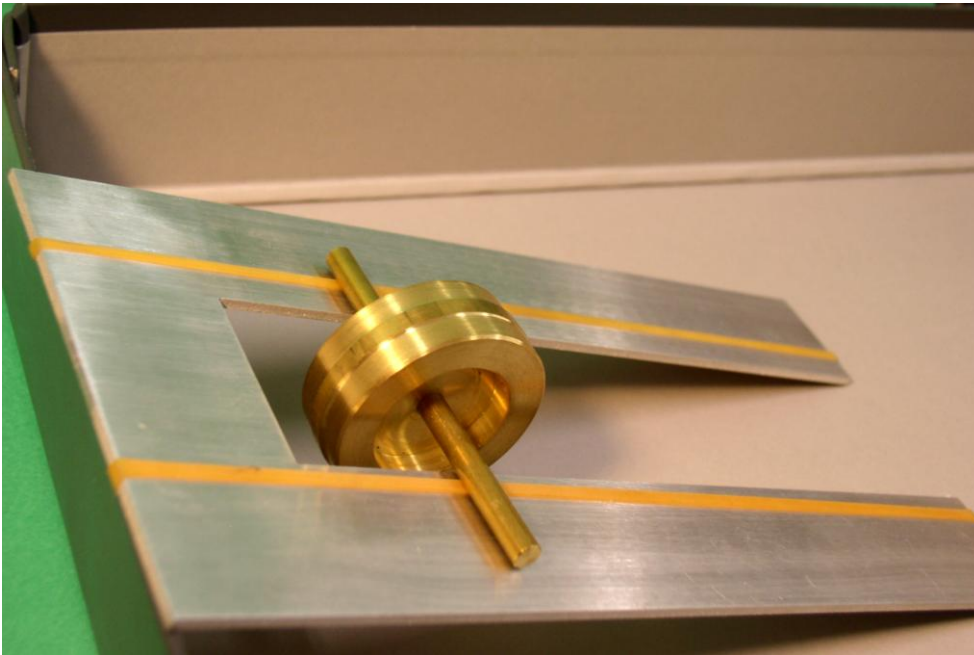


8-2 (f); Ready,



8-2 (g); Go !

(9) 回転エネルギー; **Rotation energy**



軸で支えた円板は回転速度を増しながらゆっくり斜面を下る。  
円板が床に着地した瞬間に、円板の中心の速度はどう変わるか？

(10) ビルの耐震補強 (弾性変形と応力) ;  
**Shore up a Building (an Elastic deformation, a Stress)**

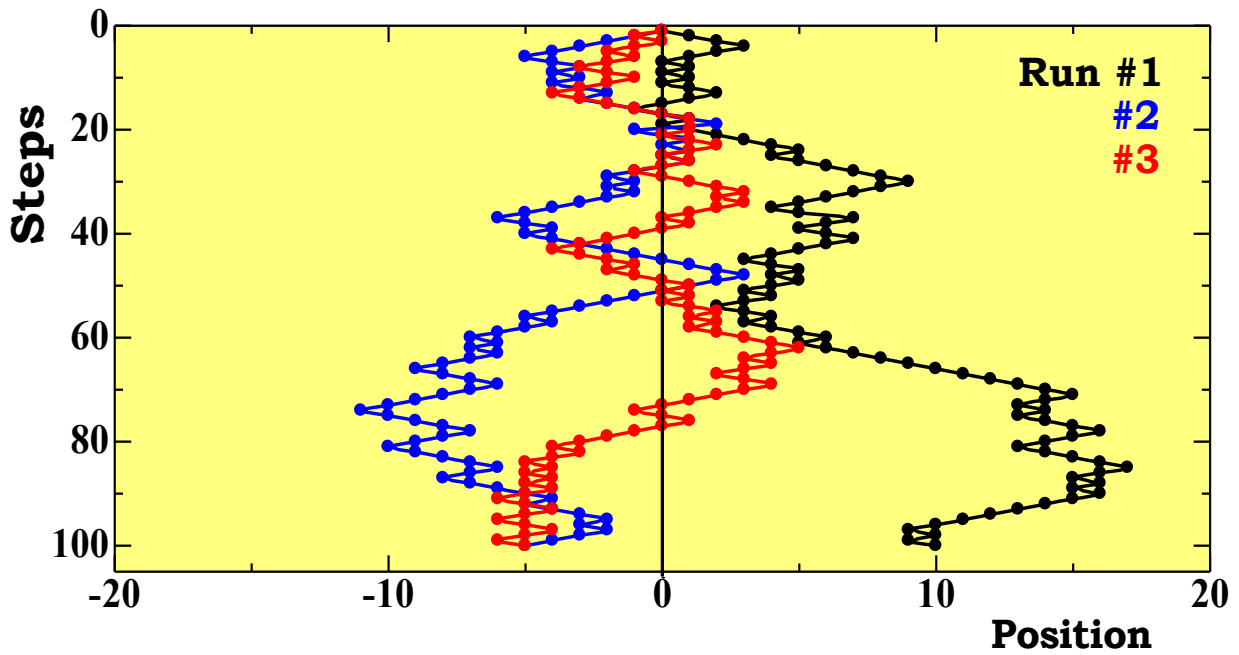


耐震補強の位置と方向から、建物に加わる応力の強さと方向が分かる (6階建て、名大工学部)  
@ Nagoya University.

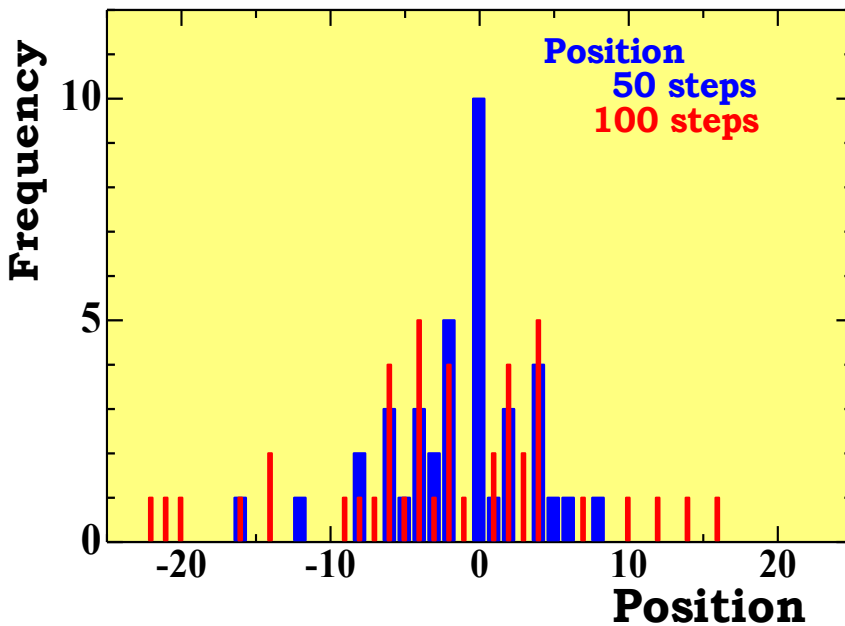


(1 1) 統計力学, **Statistical mechanics**

11-1; I次元のブラウン運動 (確率過程、人カシュミレーション) ;  
**Symulation of a 1D-Brownian Motion by a coin toss.**



11-1; コインを放り、毎回、50%の確率で左右に1単位だけ移動する。  
図は、0から出発して百回繰り返した軌跡を示す。



11-2; 50回目と、100回目の位置と人数の関係。

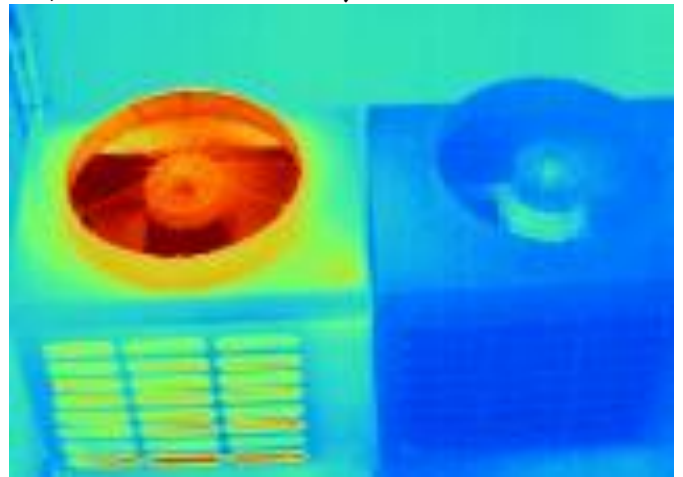
Position after 50 and 100 steps, and the number of students.

まだ、ばらつきが多いが、人数を増やすとどんな関数になるか？ 各自、試してみることに。

**11-3; 熱機関の例 ; ヒートポンプ型エアコン、水飲み鳥など (熱の移動と機械的な仕事)  
Examples of the Heat Engine (Heat transfer, a Mechanical Work)**



11-3(a); a Heat exchanger of a Heat Pump.  
@ Nagoya University.



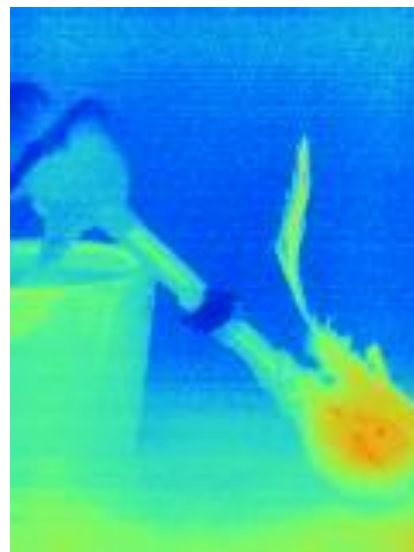
11-3(b); Thermal Images;  
Exhaust-heat mode (left) Temp. = 22.3 C,  
Adsorb-heat mode (right) = -3.1 C,  
Air Temp. = 3.7 C (Dec. 2010, @ Nagoya Univ.).



11-4; Car Engine; Bonnet Temp. = 21.4 C, Air  
Temp. = 2.1 C, (Author's Car, Dec. 2010).



11-5 (a) Drinking Bird as a Heat Engine



11-5 (b) Head Temp. = 15.1 C,  
Body and Air Temp. = 19.0 C,

**11-6; 秩序状態と無秩序状態の違い（エントロピーと自由エネルギー）；  
Order-disorder state (Entropy and a Free-energy)**

「乱れ」を整えるためには、エネルギーが必要である。



11-7(a) 1st; 初期状態、集合している (Ordered State; 秩序状態)



11-7(b) 2nd; 揺らすと位置が乱れる (Disordered state; 無秩序状態)

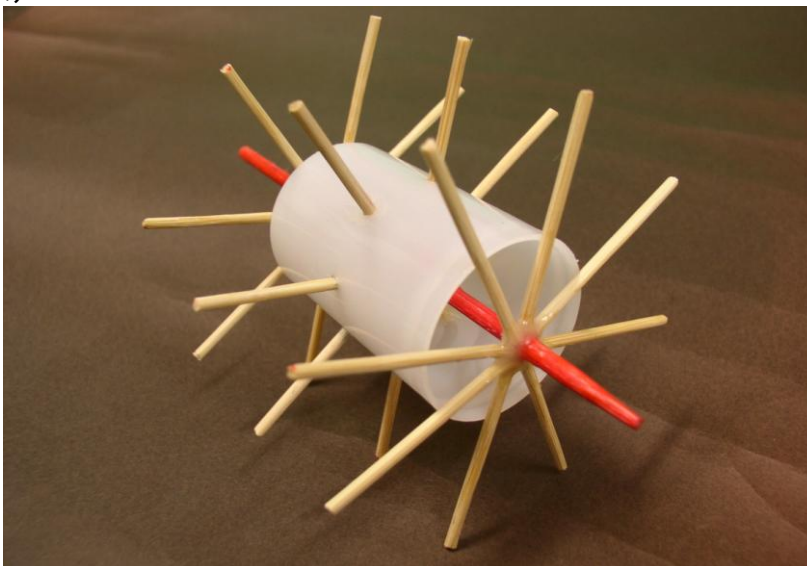


11-7(c) 3rd; 集合させるため、台を傾ける。つまり、秩序を回復させるために、位置エネルギーを使用した。  
The ordered State is made by using a Potential energy.

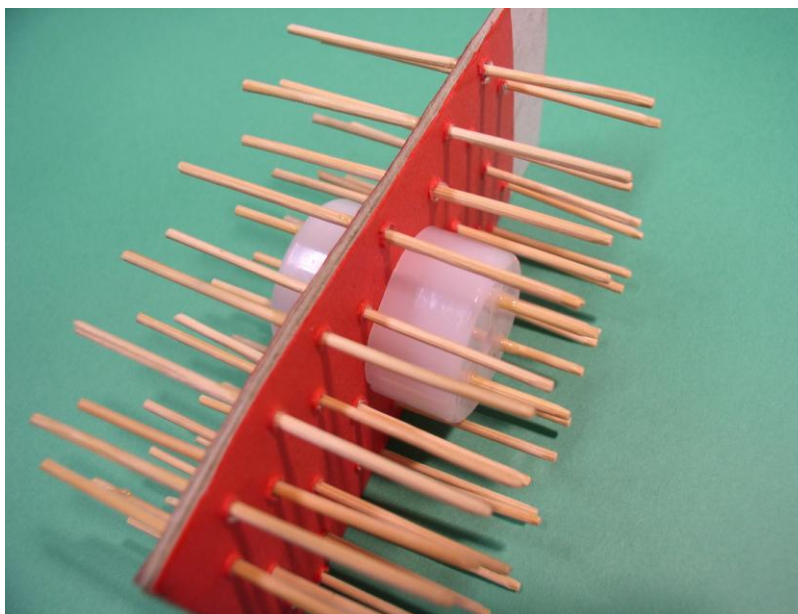


## (12) 電磁気; **Electro-Magnetism**

### 12-1; ガウスの法則; **Gauss's Theorem**

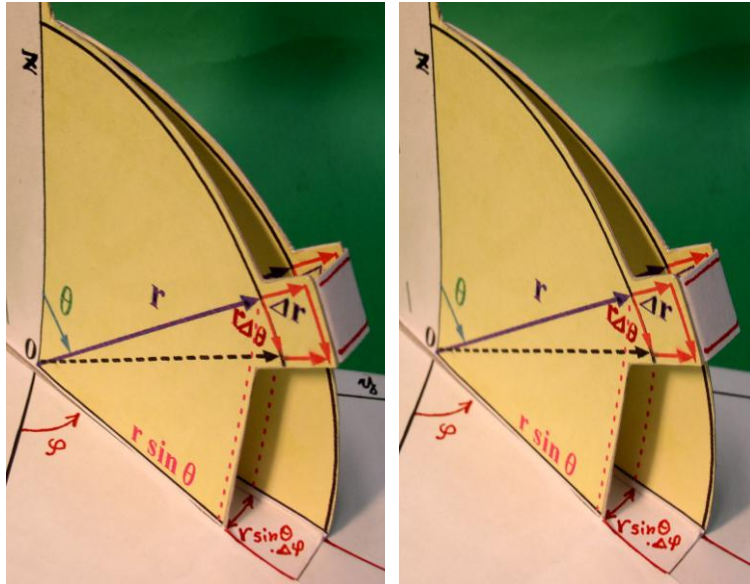


12-1(a) 直線上に電荷（赤色）が分布した場合の電場、円筒で積分する。電場は円筒の側面を貫く。  
**Field of a Charged line**



12-1(b) 平面状に電荷が分布した場合の電場、円筒で積分する。電場は円筒の上面と底面を貫く。  
**Field of a Charged plane**

12-2; 極座標 (体積要素、極座標での微分、積分) ; **Polar coordinate**



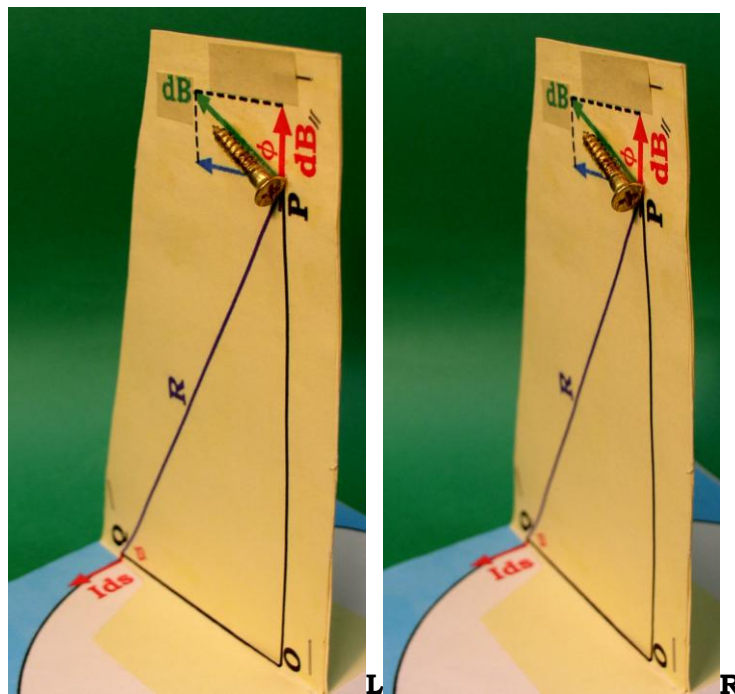
Left - Right ; (Stereo-photo.)

極座標の立体写真 (中央に白紙を立てると立体視しやすい)

極座標における微小変位と微小体積、 $r, \theta, \varphi$  方向の微分と積分を理解する。  
円弧から突き出た微小体積が積分要素に対応している。

※写真の幅が 4~5cm になるよう、表示を調整してご覧ください。

12-3; 円形電流による磁場; **Magnetic field from circular current,**



Left - Right (Stereo-photo.)

ビオ・サバルの法則 (立体写真) 磁場は右ネジの方向;  
**the Biot-Savart Law, Magnetic field from circular current,**

※写真の幅が 4~5cm になるよう、表示を調整してご覧ください。

### 13; 波の干渉; Interference ( Phase, wave)



網による干渉縞の例

**Interference fringes;** an under-construction new Campus, Feb. 2011 @ Nagoya University.

重なった網の微小な変位により、干渉縞のパターンは大きく変動する。

同じ原理で、レーザー光の干渉縞を利用してナノ・メートルサイズの変位も測定できる。