



原稿見本

図解 古代・中世の超技術 38

小峯 龍男 著

本 PDF ファイルは校正前の最終原稿で、市販の出版物とは体裁が異なりますが、内容は同一です。

著作権は小峯龍男にあり、出版件は株式会社講談社に設定されています。

学校等における教育を目的とした使用は制限いたしません。

図面はすべて、小峯龍男の作図によるものです。原図を必要とする場合は、メールで可能な限りご協力いたします。

Tatsuo Komine 1999



目次
原稿見本

1	【神殿の自動ドア】燃え上がる炎が神殿の扉を開く。..... 2	
2	【砂時計と重力エネルギー】時を計る砂,砂の国のエネルギー調整術..... 8	
3	【聖水の自動販売機】古代にあった自動販売機..... 14	
4	【アルキメデスの揚水ポンプ】佐渡金山でも使われたアルキメデスの螺旋..... 20	
5	【アルキメデスの熱線砲】SF映画もびっくり,太陽光線で敵を破る。..... 24	
6	【古代の消火ポンプ】空気や水を動的に機械に利用した技術。28	
7	【ヘロンの球】何もつないでいない容器から噴き出る水..... 30	
8	【戒めの盃】欲張りは禁物,注ぎ過ぎるとすべてが流れ出てしまう盃。..... 36	
9	【自動噴水杯】水を注ぐと水が噴き出る!? 不思議な不思議な盃。44	
10	【古代ギリシャの空気銃】圧縮した空気が弾丸を発射させる。48	
11	【古代ギリシャのジェットエンジン】人々をあっと言わせたデモンストレーション。..... 54	
12	【古代ギリシャのタクシーメーター】古代のタクシー?もちろん馬車です。..... 62	
13	【ランプの芯の自動調節】勝手に芯を調節するランプです。.. 66	
14	【古代ローマのスパランド】古代ローマは温泉の都。..... 70	
15	【古代ローマの噴水】古代ローマは噴水の都,でもどうやって水を噴き出すの?..... 72	
16	【古代ローマの算盤】古代の計算法..... 80	
17	【半分しかない歯車?】半端?が作る。アッ!と驚くシンプルな機械。..... 84	
18	【機械式時計の脱進機】カチッカチッという音は,エネルギーを小出しに使う音..... 88	
19	【和時計の技術力】江戸時代の和時計は日本の技術力の証明 92	
20	【水運儀象台】中世中国のハイテク天文観測時計塔..... 96	
21	【ラチェット=つめ車】天才の機械はひと味違う,ダ・ヴィンチの巻き上げ機。..... 108	
22	【閘門式運河】山を抜け平原を進む運河計画。..... 112	
23	【中世のフルタイム4輪駆動車】プロトタイプ?の四輪駆動・四輪操舵..... 116	
24	【鉄はたたいて鍛える】弱点を長所とする逆転の発想。.... 120	
25	【猿を真似た橋造り・猿橋】甲斐の猿橋はアーチ橋の元祖です。124	
26	【五連アーチの錦帯橋】錦帯橋はプレハブ工法の元祖です。128	
27	【古代中国の計算尺】負の数と数直線を利用した計算機。.. 132	
28	【古代中国の地震計・地動儀】蛙の泣き声が地震を知らせる,世界初の地震計。..... 134	
29	【古代中国の見張り台】情報収集が勝利を呼ぶ,移動見張り台・軍用エレベーター。..... 138	
30	【ピラミッドの強さとかたち】緻密に作られた石造建築... 140	
31	【ピラミッドの建造技術】道具がなければ頭を使う,知恵こそ最大の道具です。..... 146	
32	【砂と石の構造】自分で自分を支える石組構造..... 154	
33	【ヴォールト】石やレンガで作ったかまぼこ屋根。..... 158	
34	【古代の音響警備システム】もぐらもびっくり,共振作用による古代の警報システム..... 162	
35	【5000年前のトラクター】..... 166	
36	【古代エジプトの車輪】「ナイルの賜物」は舟文化。..... 170	
37	【不定形の土地の面積を求める】三角形の面積の公式で所有権争いは治まった?..... 172	
38	【モアイの仮説】重いものを持ち上げることが機械の歴史。176	
39	【ふいごの技術】石器時代から鉄器時代へワープした日本。180	
40	【蒸気ポンプと爆発ポンプ】産業革命前夜の蒸気エネルギー革命 184	



原稿見本

原稿見本

1 【神殿の自動ドア】燃え上がる炎が神殿の扉を開く。

古代ギリシャ時代（A . C . 1世紀頃），ヘロンの有名な仕掛けです。

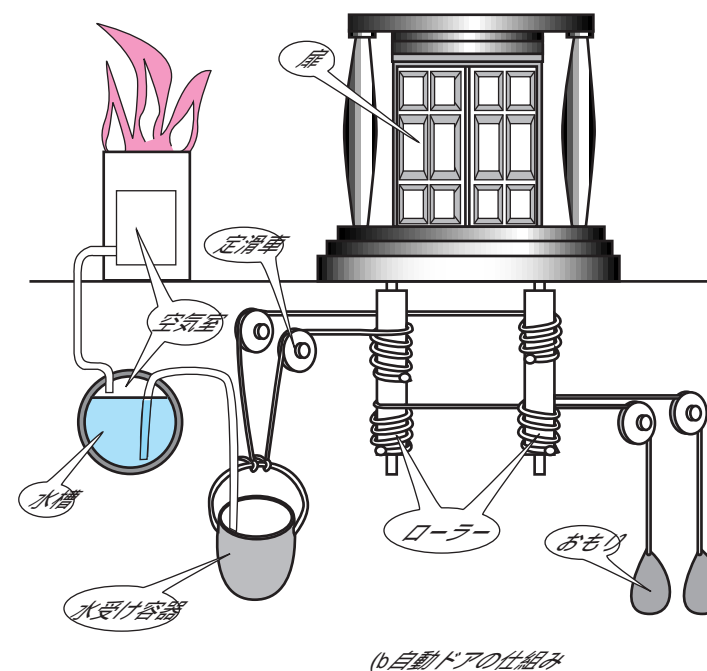
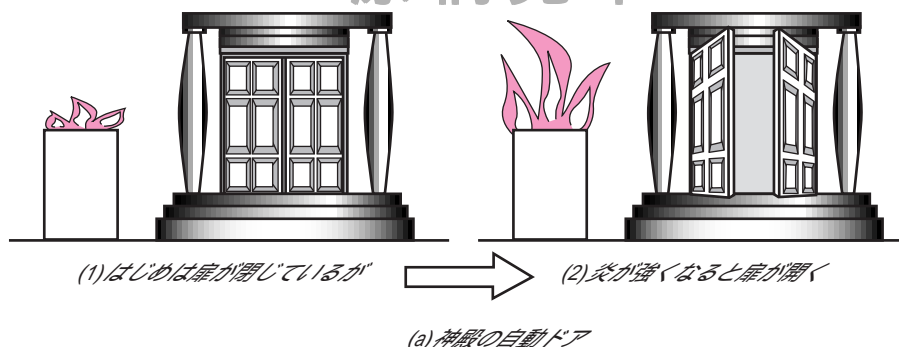
図（a）のように祭壇に備えられたかがり火を燃やして，その勢いが強まった頃，誰もいないはずの神殿の扉がひとりでに開くという，古代ギリシャの自動ドアです。さて，どのような仕組みが考えられますか。燃え上がる炎は関係するのでしょうか？

ヘロンの発明考案の中で，最も知られているものの一つです。燃え上がる炎が空気の体積を膨張させ，膨張する空気が密閉容器内の水を移動させ，その水がそれまで平衡していた扉のバランスを崩して扉を開けるといふものです。1962年に早稲田大学が原理模型を製作し，実際に動作させました。

ヘロンは，図（b）に示す舞台装置のように大掛かりな仕掛けを考えました。かがり火の燭台の中に大きな空気室を用意し，この空気室と密閉した水槽を気密を保った管でつないでおきます。さらにこの水槽から一本の管を水受け容器につなぎます。水受け容器は空の状態で，ローラーとおもりで作られた装置の一部となって平衡を保っています。ローラーの軸に扉がついていて，この平衡状態の時に扉がしまっているようにしておきます。

このようにバランスのとれた状態で，燭台の炎が燃え上がるとどのような現象が生じるかを考えてみましょう。はじめに，空気室の空気と水槽内の空気とは密閉された管でつ

1 【神殿の自動ドア】古代ギリシャ時代（A . C . 1世紀頃）





原稿見本

ながれているので一体として、これを実質的な空気室の空気と考えます。このように考えれば、

燃え上がる炎が空気室内部の空気を加熱することにより、内部の空気は圧力が高まると同時に体積を膨張させようとしします。

水槽は外部へ解放された一本の管を除いて密閉されているので、膨張しようとする空気がこの管から水を押し出します。

押し出された水は水受け容器に溜まり、おもりと平衡を保っていた容器に水の重量が加えられることにより容器とおもりの平衡は崩れて、容器が下降します。

容器が下降するとき、滑車を経由して結ばれたロープが回転軸を回転させ、軸に付けられたドアが開きます。

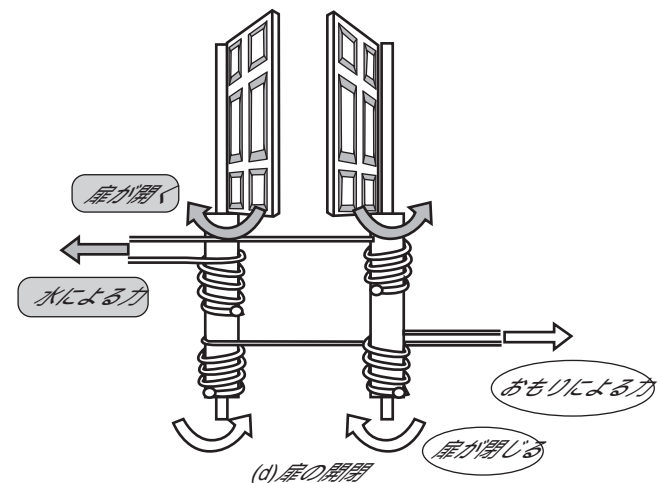
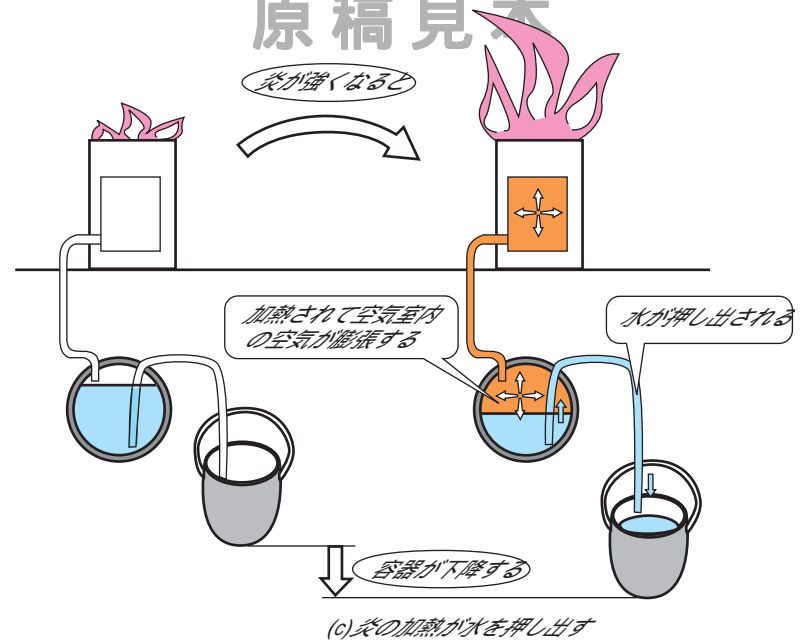
このようにして、燃え上がる炎を使って扉を開くことができます。

古代ギリシャで神事を司る神官の権力は大きなものだったに違いありません。人心をつかむには、人のもたない特別な力を見せつける事が一番説得力があります。神官の操る祭壇に焚かれた炎が燃え上がるに連れ、誰もいないはずの神殿のドアが勝手に開いたとすれば、神官の力を見せつける最大の演出になるはずで、「祭壇に設けられたかがり火が燃え上がると、神殿のドアがひとりで開く。」という演出は、古代の人々を畏敬させるには十分な不思議事だったでしょう。

さて、扉を閉める場合にはどうするのでしょうか？扉を閉めるためには、水受け容器の水を排出して、おもりよりも軽

1 【神殿の自動ドア】古代ギリシャ時代（A.C.1世紀頃）

原稿見本





原稿見本

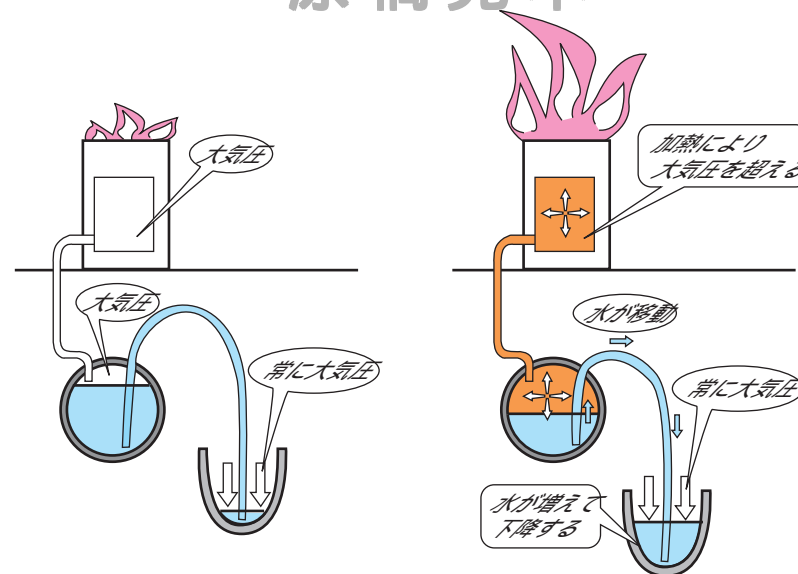
くることが必要になります。となれば、水受け容器の水をこぼせば、扉は元へ戻ります。しかし、それでは水槽の水が無くなってしまい、次に扉をあける前に密閉された水槽の中に水を入れておくという作業が必要になります。これではあまりスマートな考案とはいえません。自動機械には再現性が必要とされます。この仕掛けに再現性を持たせるためには、空気室と水槽と水受け容器を結ぶ一連の水路の密閉が完全で、水が水槽と容器の間を往復できればよいのです。

図(e)のように、水槽と水受け容器をつなぐ管に水が満たされ、水受け容器にわずかな水が入っていて、水受け容器側の管の口が水中に浸かっているときに扉が閉まるように調整しておきます。さらに、空気室の空気が水槽の水を押し出して水受け容器が下がり始めても管の口が常に水中にあるようにしておくと、一連の水路の密閉が確保されます。このようにした装置で、空気室内の空気を炎で加熱すると、空気室内の空気は大気圧より圧力が高くなるので、水を押し出して水受け容器が下降しはじめます。次に炎を弱めて加熱をやめると、空気室内の高温の空気の温度が下がり、体積が収縮すると同時に空気室内の圧力が下がります。その結果、密閉された水路中を水受け容器から水槽へ向けて水が吸い戻され、水受け容器はおもりの作用で上昇することになります。空気室内の圧力が常に大気圧と等しい圧力になるように動作するために、水が水槽と水受け容器の間を往復できるのです。

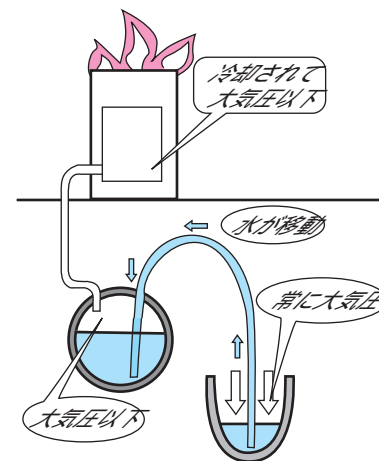


1 【神殿の自動ドア】古代ギリシャ時代（A.C.1世紀頃）

原稿見本



(1) 加熱の始めは圧力がつり合っている (2) 空気室の圧力が上がって水槽から水受け容器へ



(3) 空気室が冷却されて水受け容器から水槽へ水が戻る

(e) サイフォン作用により往復する水





3 【聖水の自動販売機】古代にあった自動販売機

古代ギリシャ時代（A . C . 1世紀頃）、ヘロンの紹介した実用の道具です。

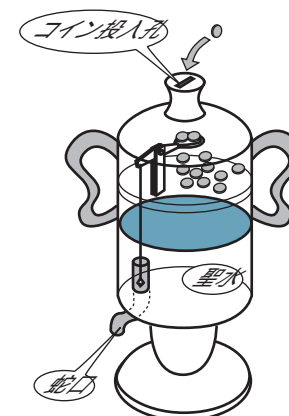
ヘロンの活躍したアレキサンドリアはエジプトにあったギリシャの植民都市です。エジプトの神官の発想で5ドラクマ硬貨を入れると聖水が出てくるといふ道具をアレキサンドリアの技術者が製作しました。

図(a)はヘロンの著書で紹介された聖水販売機で、コイン投入口からコインを投入すると一定量の聖水が出てくるといふものです。聖水は、現在の清涼飲料水のように喉の渇きを潤すためのものではないでしょうから、コップに一杯を必要とすることはないでしょう。指先に授かったほんのわずかな聖水をありがたく頂くという程度の量であれば、コインの重みとてこの作用で十分な機能を発揮したに違いありません。

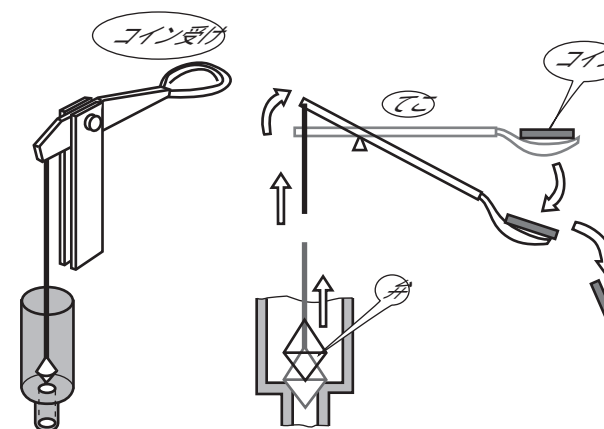
図(b)に、この装置の最も中心となる、てこと弁を示します。細部については、伝えられる記録から筆者の想像した図面です。

コインが投入され、うまく具合に、てこのコイン受けにコインが乗れば、コイン受けの部分が下がり、支点を介して弁の取り付け側が上昇して弁が引き上げられます。一枚のコインの自重でてこを動作させるには、てこによる力の比を大きくすることが必要で、てこの力の比を大きくすることで、弁の移動量はきわめて小さなものになり、流れ出る聖水

原稿見本



(a) 外観



(b) てこと弁の動き



3 【聖水の自動販売機】

原稿見本

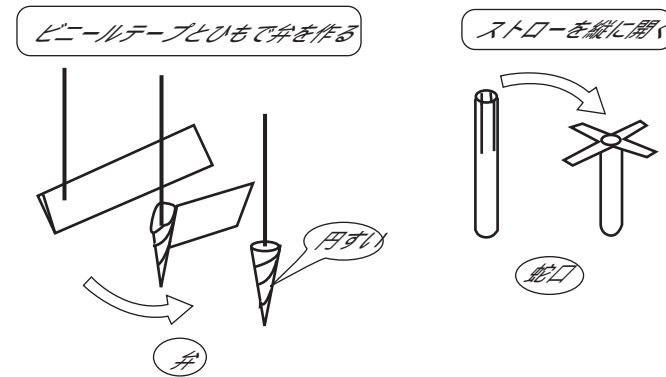
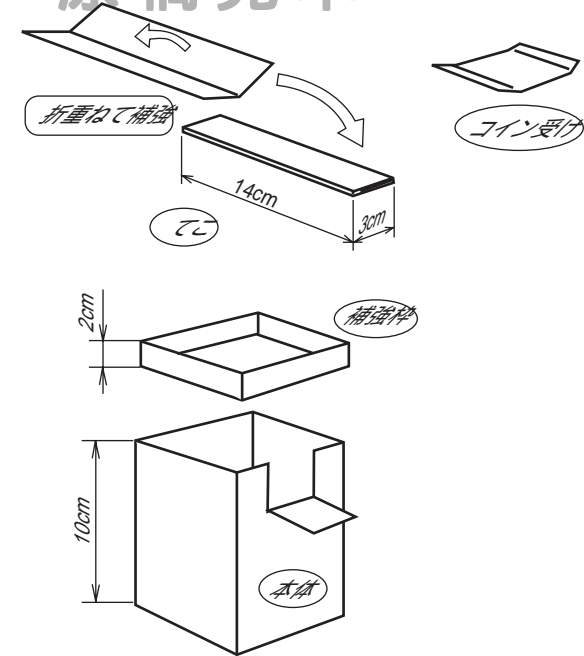
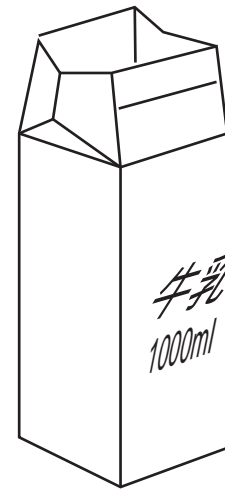
の量も丁度適量になるといえます。

図(c)のように、どこの家庭にもある材料で簡単に実験したところ、確かにコインを乗せることで水を出すことができました。使用したものは1000mlの牛乳パック、ストローとビニールテープ、それにはさみと接着剤などです。いろいろと考えながら、20分程度で作ったこの簡単な工作では弁の動作が頼り無いので、コインを乗せないときもポタポタと水が漏れてしまいましたが、てこと弁が確実に動作することは確かめられました。皆さんも少し時間をかけて弁の部分を工夫して工作してみてくださいはいかがですか？図の寸法は参考値です。

初めに本体になる部分を10cmほどの高さで切断します。本体がフニャフニャと柔らかいので、補強のために2cmほどの高さの枠を切取っておきます。残りの材料で、てことコイン受けを作ります。てこは2重に折曲げて補強し、コイン受けは適当な大きさにします。本体にてこの幅で切込みを入れてこれをてこの支点にします。蛇口に使うストローには縦に切込みを入れて、四方に開いておきます。ビニールテープを斜めに巻き、円すいの中心にひもを入れて固めて弁にします。準備はこれで終わりです。

組み立ては、本体の底に穴を明けて、内側からストローの蛇口を差し込み、四方に広げた部分をビニールテープで押さええます。これだけでは漏れてしまうので、外側を接着剤で固めておきます。ストローにビニールテープで作った弁を差し込み、本体の切込みを入れた折り返し部分にてこを乗

原稿見本



(c) 牛乳パックで工作



3 【聖水の自動販売機】

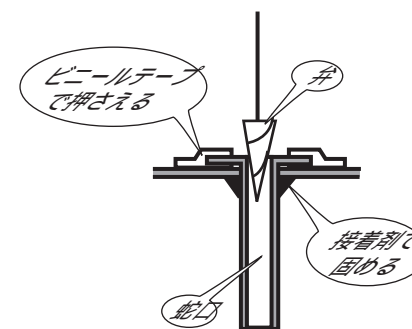
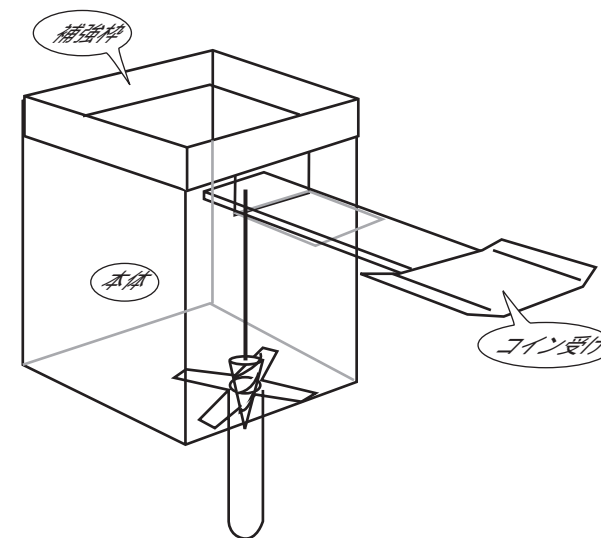
原稿見本

せて、弁のひもをてこにかけます。これはテープで固定する程度で構いません。コイン受けもテープでてこに固定して組み立て終了です。

本体に水を入れて試したところ、コイン受けの位置や弁を引くひもの長さを適当に調整する必要がありましたが、テープでの固定ですから簡単に調整ができて、動作させることができました。

工作が簡単なので、完全に水を止めることはできなくともこの器具のイメージは十分に楽しめます。

この器具を発案したのは、神殿を司る神官だということから、古代の人々が熱心に神殿へ参拝したことが想像できません。



(d)組立図





8 【戒めの盃】 欲張りは禁物，注ぎ過ぎるとすべてが流れ出てしまう盃。

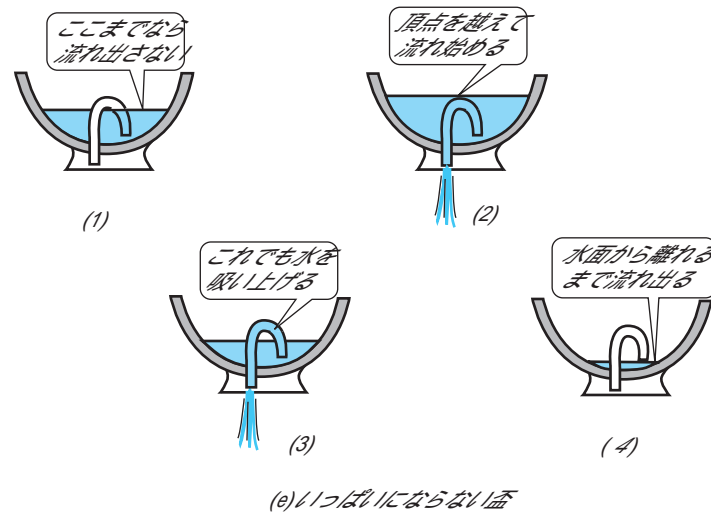
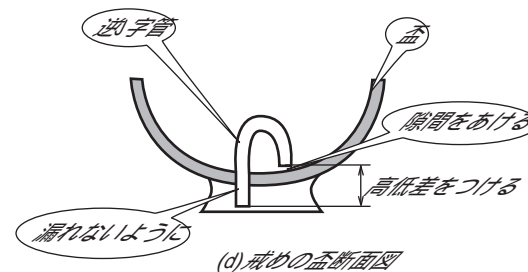
古代ギリシャ時代（A.C. 1世紀頃），ヘロンが明かすサイフォンの正体。

図(a)のように盃に液体を注ぎます。もう少し，もう少しと欲張って注ぎ過ぎると，注いだ液体が図(c)のように盃の底からどどんと流れ出てしまいました，，，ヘロンが紹介した，欲張ってはいけないという教訓を教える戒めの盃です。ところで，中身はどうなっているのでしょうか？

神官が差し出した杯を受け取り，お酒を注いでもらいます。神官が7分目ほど注いだところで「もういいですか？」と尋ねられたあなたが「いっぱいになるまで」と言ったら，さあ大変。注いでもらったはずのお酒が全て流れ出てしまいました。そこで，神官が一言「欲張りは禁物ですよ。」これは欲張りを戒める杯です。

盃の断面を図(d)のように考えてみましょう。J字型に曲げた管を逆さにして，吸込み口と盃の底とにわずかに隙間をもたせ，吐出し口を吸込み口よりも低くなるようにして盃に差し込み，液体がもらないようにしておきます。これだけの仕組みで，この盃にお酒やジュースなどの液体を注ぐとどのような事が起こるのでしょうか？図(e)を見て順に考えてみましょう。

(1)のように液面が低いうちは，盃の中の液体はたまって行きます。このとき，逆さにさしたJ字管の中にも，液体が吸込み口から入り，盃と逆J字管の中の液面が同時に上昇し





原稿見本

て行きます。

(2)そして、液面が逆J字管の最高部を越えるとJ字管の中の液体は低い側の吐出し口から流れ出します。

(3)一度流れ始めると、液体を注ぐのを止めても、J字管の太さが太すぎることなく適当な寸法であれば、水面がJ字管の頂点より低くなっても流れ続けます。

(4)そして、J字管の吸込み口が水面から離れるまで液体は流れ続けます。

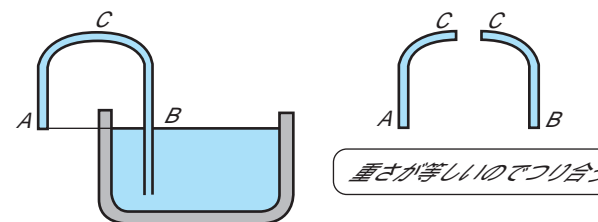
こうして、注いだ液体は流れ出すので、この盃はいつになってもいっぱいにはならないのです。逆J字管の最高部を越えないあたりで止めておけば液体は流れ出すことはないのですが、欲張りは禁物ということでしょうか。

皆さんの中には、一度流れ出した液体が逆J字管の最高部あたりで止まるのではないか？と思われる方がいるのではないのでしょうか。ポンプもないのに液体が液面よりも高い所へ上がるはずはないからです、この現象をサイフォンと呼びます。

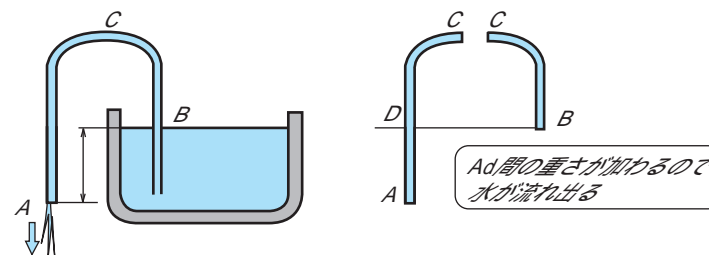
サイフォンの動きについて、ヘロンは次のように語っています。「図(f)1でサイフォンの外側の口Aが水面Bと同じ高さにあるときは、サイフォンに水がいっぱい詰まっても流れ出さない。それはACとBCとの間の水が天秤と同じようにつりあっているからである。しかし、図(f)2のように外側の口Aが水面より低くなるとAD間の水の重さが加わり、AC間の水の重さがBC間の水の重さよりも重くなるので、水は出口Aの側に引っ張られて連続して流れ出す。」これでサイフォンが水を吸い上げる仕組みが解りました。正体は



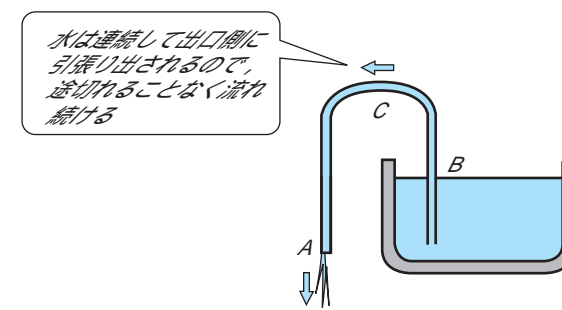
原稿見本



(1)水面が等しいと水は流れない



(2)出口側の水面が低いと水が流れ出す



(3)水は連続して流れる

(f)ヘロンの説くサイフォンの仕組み



原稿見本

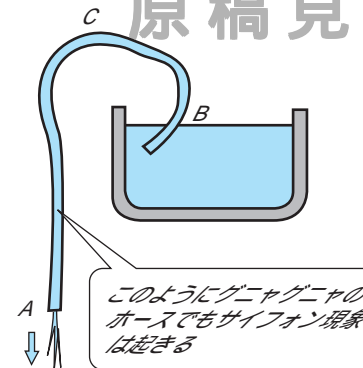
原稿見本

8 【戒めの盃】

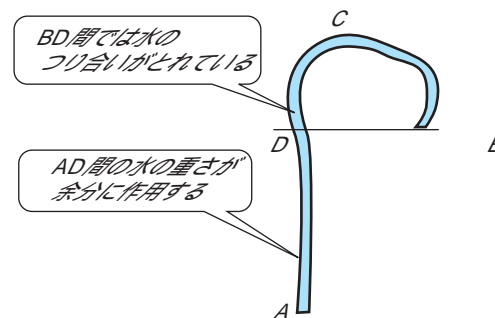
管の中の水の重さのつりあいだったのです。Bから下の部分はもともと管内にあるので、サイフォンの動きには関係しません。

しかし、図(f)のように頂点Cを中心として左右の管が対称に近い場合でなく、図(g)(1)のように不規則な形をした管でもサイフォン現象は起きるはずですが。これは図(2)のように考えます。管BD間では頂点がどこにあっても水のバランスは水平面BDで保たれるので、頂点Cが中心にある必要はないのです。そして、サイフォンの出口側の口が、バランスのとれている水平面BDよりも低くなれば、その分の重さが出口側に作用して水が流れ出すのです。

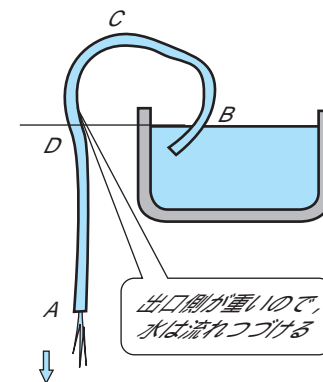
次にこの杯のJ字管に適切な太さが必要な理由を考えてみましょう。図(h)(1)のように太すぎた場合には、水を注いでも管の中を水で満たす事ができないために、水は頂点を乗り越えることができず、流れ出すことはできません。これは管の太さが適当であっても、水を注ぐ速度が非常に遅い場合にも同様な事が言えます。反対に管が細すぎた場合には、液体と管との間に毛細管現象が生じ、水などのぬれやすい液体の場合には図(2)のように水面が低くても吸い上げられでしょう。そして、出口では表面張力が作用して先端で球体を作り、口をふさいでしまうかもしれません。同じ毛細管現象でも、水銀などのぬれにくい液体の場合には、図(3)のように液面が押し下げられて頂点部分を乗り越えることができない場合が考えられます。このように、この杯が構想どおりに動くためには、適当な太さとあわせていくつかの条件が必要となります。



(1) これでもサイフォン現象は生じます



(2) 管の中の水の重さのバランスは？



(3) 出口側の水が重いので流れ続ける

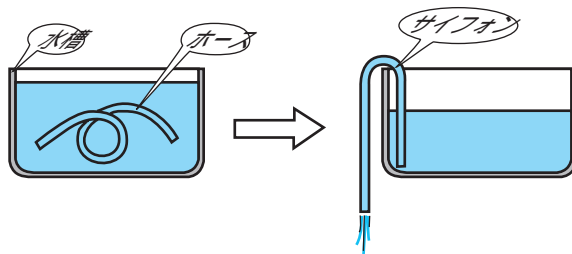
(g) ヘロンの説を補足すれば



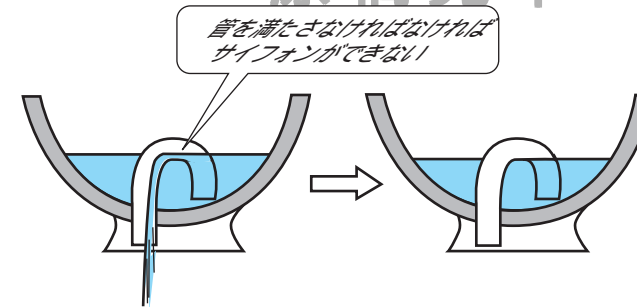
8 【戒めの盃】

原稿見本

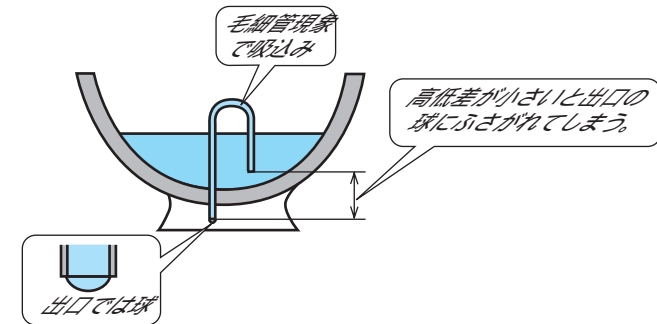
サイフォンの動きをじっくりと観察したい方は、お風呂に入るときに2m程度の長さのゴムホースを持ち込み、ホースを端からゆくりと浴槽のお湯の中につけてホース中の空気を押し出して、ホース全体にお湯を満たし、片側の口をしっかりと押さえてから浴槽の外に出し、お湯の表面より低いところで指を離せば、サイフォンができてあがります。あとは、ホース出口の高さをいろいろと変えて変化を試してみればいいでしょう。魚を飼育している方で、水槽の水を交換するときなどに、この方法を使っている方もいると思います。



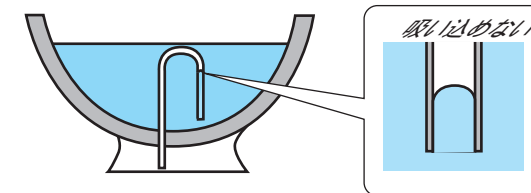
ホースで水槽の水をくみ出す



(1) 水すぎると管を越えられない



(2) 細すぎて、水などでは



(3) 細すぎて、水銀などでは

(4) 管の太さなどどのように影響する?



9 【自動噴水杯】水を注ぐと水が噴き出る！？不思議な不思議な盃。

古代ギリシャ時代（A.C. 1世紀頃），空気を巧みに利用したヘロンの仕掛けです。

図(a)の容器の盃の部分に水を注ぐと，水が噴き出してくるという仕掛けです。しかも何度も何度も繰り返すことができますのです。電池もモーターも無い時代にどのような仕組みが考えられますか？

水は圧縮しても体積変化はほとんどおきません。空気は圧縮すると簡単に体積が減少して，常に元の体積に戻ろうとするばねのような働きをします。この元の体積へ戻ろうとする力をポンプに利用しているのです。

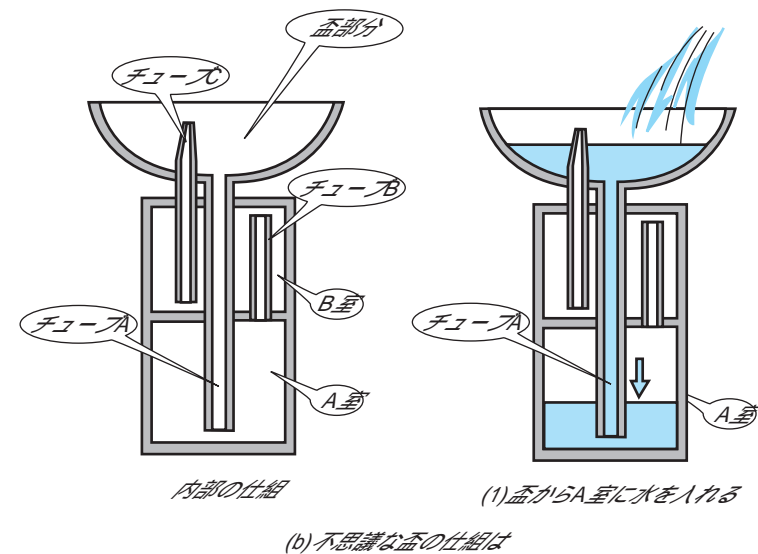
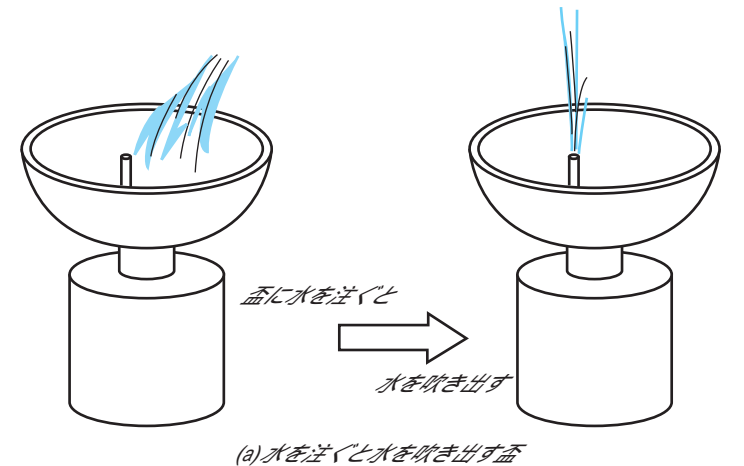
図(a)の容器の仕組みを図(b)のように考えます。AとBの2つの部屋とA, B, Cの3本のチューブを組み合わせたものです。これだけの仕組みで，自動噴水ができるのか？と不思議に思われる方がいらっしゃるのでは無いでしょうか。紀元前後の古代にこのような仕組みが考えられて，実際に作られたということに驚かされるほかありません。では，どのように動くのでしょうか？

(1)はじめに，盃の部分に水を注ぐと，チューブAを通過してA室に水が貯まります。

(2)次に容器を逆さまにして，チューブBを通してA室からB室へ水を移動させます。

(3)再び逆さにして元の位置に戻すと，盃もA室もともに空で，B室にだけ水が入っています。これで準備完了です。

原稿見本





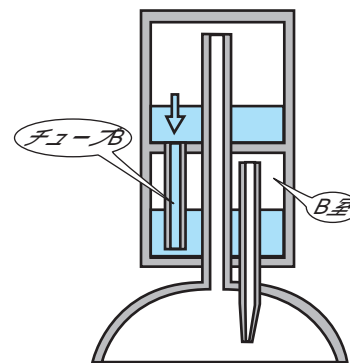
原稿見本

原稿見本

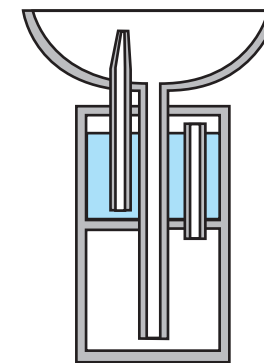
(4)最後に、盃の部分に水を注ぐとチューブAからA室へ水が流れ込み、A室の空気が圧縮されてチューブBからB室へ送り込まれ、B室内の水はチューブCを通して大気へ噴き出すこととなります。

この一連の動作が終わったときには、(1)の状態と同様にA室に水が入っているので、再び(2)、(3)の操作を行うと、次の自動噴水の準備ができることになるのです。まるで、手品の仕掛けを見ているようです。

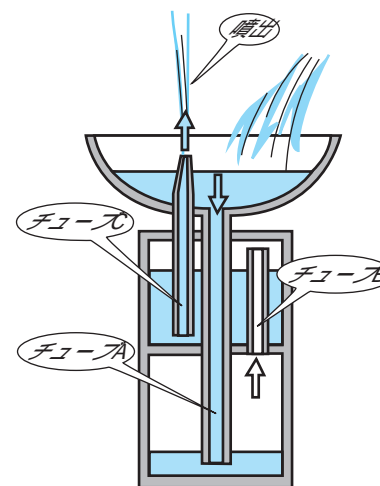
何故、このような事ができるのでしょうか？水と空気はどちらも自由に形状を変えることのできる流体で、どのような形状の容器にもなじむことができます。この点では同じような性質をもっているのですが、次のように大きく異なる点があります。水（液体）は圧縮されても体積がほとんど変化しない流体ですが、空気（気体）は圧縮すると簡単に体積が減少する流体ということです。そして、圧縮された空気は常に元の体積に戻ろうとする膨張する力をもっているため、B室内部の圧力よりも低い大気圧の側に向かって、水を押し出すことができます。



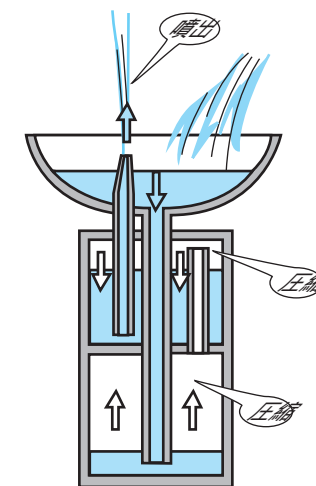
(2)逆さにしてB室へ水を移動させる



(3)元に戻すとB室だけに水が入り準備完了



(4)再び盃からA室に水を入れると、水が吹き出る



流入する水によりA室の空気が圧縮され、B室へ流れ込み、B室の空気が圧縮されるので、水が大気へ噴き出す。





10 【古代ギリシャの空気銃】圧縮した空気が弾丸を発射させる。

古代ギリシャ時代（紀元前後）、ヘロンの師クテシピオスの作品です。

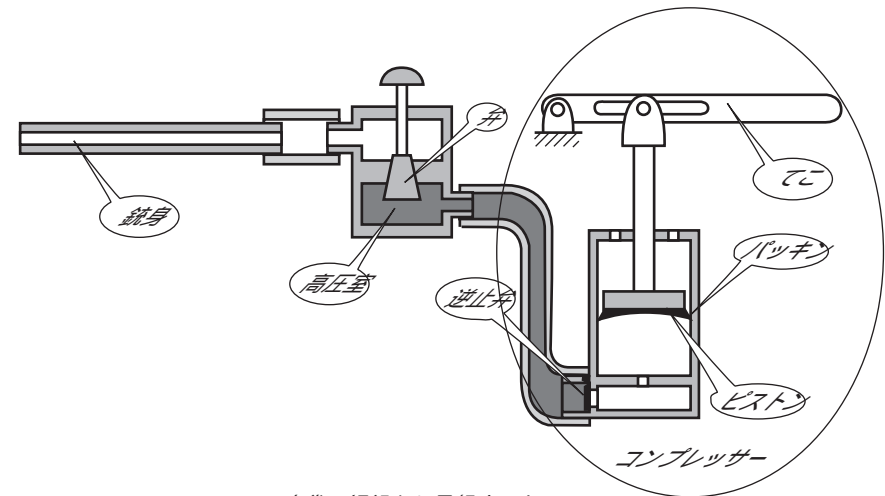
ギリシャの紀元前後には、空気や液体や水蒸気などの力を動的に使った装置が盛んに工夫されたと言われます。これは「クテシピオスの空気銃」と呼ばれる仕掛けです。

アレクサンドリアの技術者で、ヘロンの師と言われるクテシピオスの業績に次のようなものがあります。「金属製の円筒の中の空気が、てこの作用でピストンによって圧縮され、急に圧力をとくことで弾丸を発射する道具」このように言い伝えられているのですが、皆さんは、どのような仕組みを想像しますか？

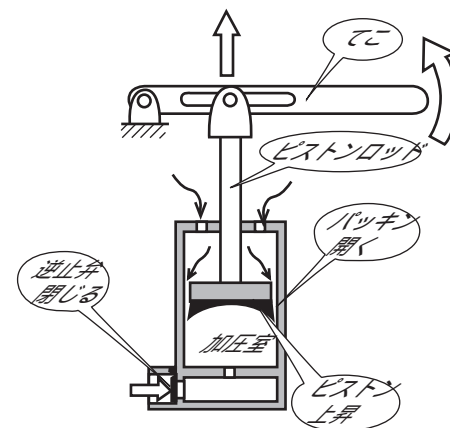
筆者は前述の記録から、単純に図(a)のような仕組みを考えました。

「空気を圧縮するための金属性の円筒とピストン」はコンプレッサーを示します。円筒の中をピストンが往復しても吸気弁と排気弁の役目をするものが無ければ空気を圧縮することはできないので、図(b),(c)に示すコンプレッサーの吸気弁と排気弁を考えました。吸気弁には最も単純なパッキンを考え、吐出し弁には一方にだけ流体を通過させる逆止弁を考えました。これは自転車の空気入れなどに用いられている方法で、ピストンが上昇するときには、逆止弁が閉じ、パッキンがしぼんで加圧室に空気を吸入します。ピストンが下降するときにはパッキンが押し広げられて空気

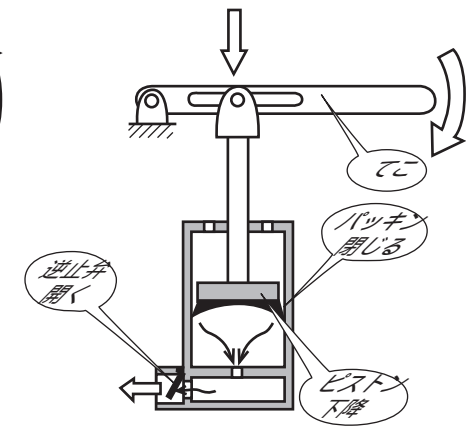
原稿見本



(a) 古代の記録から予想すると



(b) 加圧室に空気を吸入する



(c) 加圧室内の空気を圧縮する



原稿見本

10 【古代ギリシャの空気銃】
原稿見本

を圧縮し、逆止弁が開いて高圧室へ圧縮空気を送り出します。ところで、現代でパッキンといえば、当然ゴム製のものを連想するでしょうが、紀元前後の時代に現在のゴムパッキンのようなものは無かったと考えるので、ここでは動物の皮革を考えています。

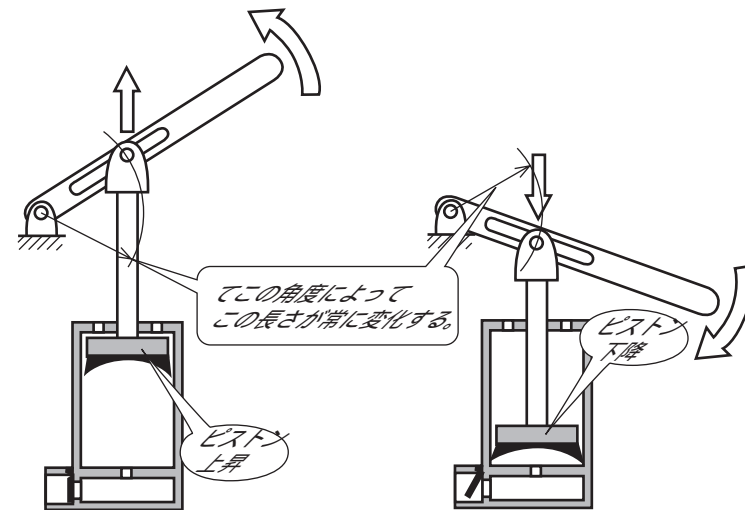
「てこの作用」は、てこによる「倍力装置」を用いて、空気を圧縮するのに必要とする操作力を軽減するための工夫です。図(d)で、てこは支点を中心とした円周の一部を往復する円弧運動を行うので、支点からピストンロッドとてこの連結点までの長さが常に変化するため、長だ円の細窓を使ってピストンを直線的に往復させるよう考えました。てこの作用はアルキメデス(287 ~ 212 B.C.287)の力学についての著書で説明されています。

「急に圧力をとく」ためには気密を維持するための弁が必要になります。図(e)の円すい状の孔と弁体の組合せは、弁体に力が加えられることにより弁の気密性が一層高まるもので、現在の家庭の中でも洗面台や浴槽や流し台の栓などに見ることができます。

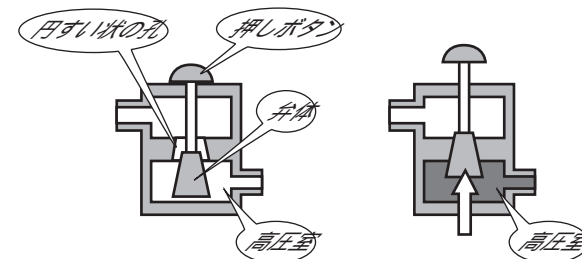
そして「弾丸を発射する」ためには銃身が必要になります。これらを組合せたものが図(a)の装置です。

この考案を「クテシピオスの空気銃」と呼ぶところから、もう少し空気銃らしくしたものが図(f)です。現代のわたしたちの考える「銃」をイメージして、コンパクトに組合せたもので、これも筆者の想像です。

ところで、圧縮した空気の力を使った道具の例は、人類が何らかの加工を施して作った最古の道具の一つといわれる



(d) てこの円弧運動とピストンの直線運動をつなぐ細窓



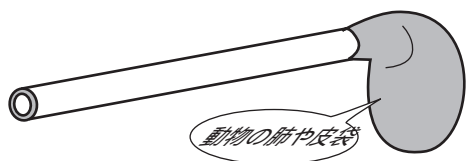
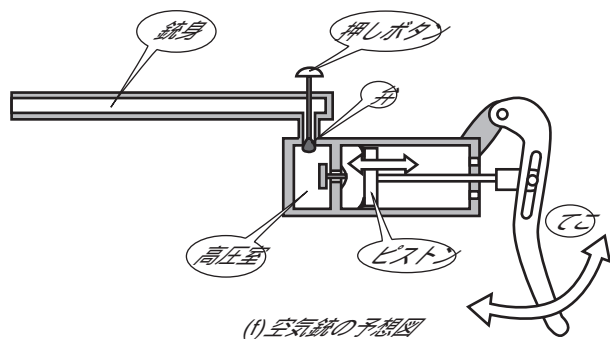
(e) 円すい状の弁は圧力がかかるほど強く閉まる





「吹き矢」に見ることができます。吹き矢には、人間の吐く息の力で矢を飛ばすだけのものから、革袋などを使って圧縮した空気を用いて矢を飛ばす道具などが考えられたといわれます。

10 【古代ギリシャの空気銃】
原稿見本





原稿見本

11 【古代ギリシャのジェットエンジン】

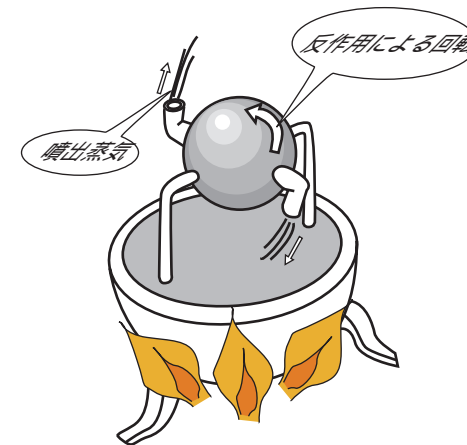
人々をあっと言わせたデモンストレーション。

古代ギリシャ（A.C. 1世紀頃）、ヘロンの実演器具

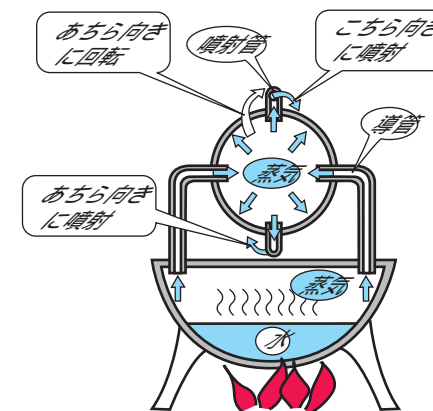
「これこそが現代のジェットエンジンの原型です。」といわれる有名な汽力球です。ヘロンがこの汽力球を具体的に何かの動力に使ったという記録は残っていません。蒸気のもつ力を多くの人に知らせる実演器具として、この装置を作ったのだと言われています。

図(a)がヘロンの「エオリアの球」と呼ばれ、蒸気の反作用力を示すための実演器具と考えられています。蒸気が吹き出すときの反作用力で球を回転させる装置で、現在の反動タービンと呼ばれる流体機械の原理そのものです。ヘロンは彼自身の考案や、彼より以前の蒸気力を用いた多くの装置を「気体学」という書物に著し、この装置もその中で紹介されています。構造は図(b)のように、水を入れた釜の上部を密閉し、その釜のふたから導管を出します。導管は球体の内部と釜の内部とをつないでいます。また、球体は導管を中心軸として自由に回転できるように支持されています。球体の円周には外部へ向けて直角に曲げられた2本の噴射管が設けられています。

この釜の中に入れた水を炎で加熱すると、蒸気は2本の導管から球体へ送られ、球体側面の2本の噴射管から噴出され



(a)エオリアの球



(b)内部と動き



原稿見本

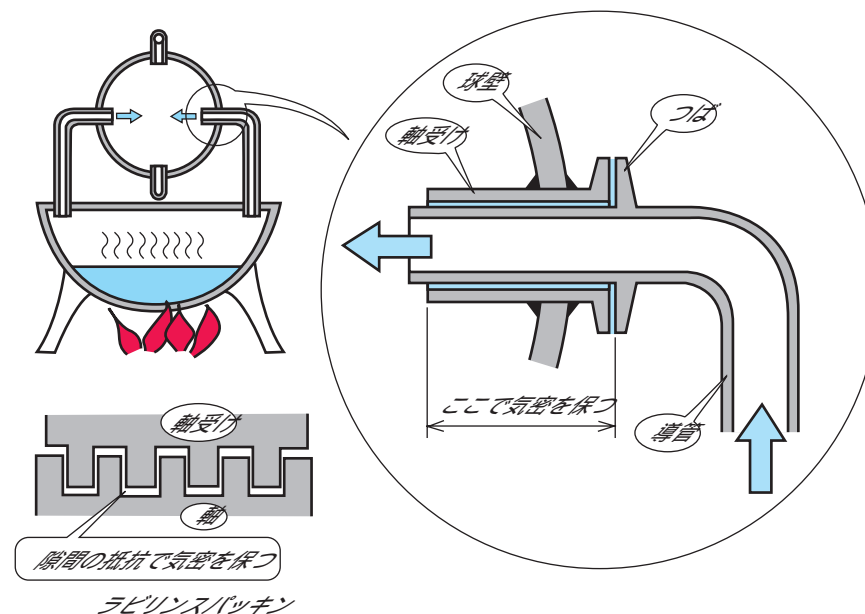
ます。このときの噴出蒸気の勢いの反作用力で、球体は回転します。これは、現在使用されている蒸気や水等の流体が流れるときの反作用力を用いて動力を得る反動タービンの原理です。ヘロンのエオリアの球は、くるくると回転するだけで、この回転力を何かの動力に使ったということは記録にはありません。そのため、理科の実演実験のように多くの人々に蒸気のもつ力をアピールするためのデモンストレーションの器具だったと言われるのです。

それにしても、導管と球体の接続部分は密閉と同時に球体の回転支持も必要とされるのですから、難しい加工といえます。現代でも回転部分の支持や流体の密閉には、高度な加工が必要とされるほどなのです。筆者の想像では、図(c)のように球壁に軸受けを取付けて、その軸受けに導管を通せば、軸の回転を滑らかにすることができ、さらに、この軸受けと導管に「つば」を設けておけば、球体の横方向の移動を防ぐとともに気密を保つ役割も果たすものと考えます。軸受けと導管とつばの部分にできるほんのわずかな隙間に入り込んだ蒸気が、回転による遠心力で軸と直角方向に広がり、蒸気の抵抗で蒸気自身の漏れを防ぐ効果が生まれるものと考えます。ただし、これは現代の高速回転を行う軸に使用されているラビリンスパッキンや流体シーリングと呼ばれる技術から推測しているもので、実際のところは定かではありません。このような点を完全に克服していたとすれば、古代ギリシャの技術レベルは大変優れたものだといえます。

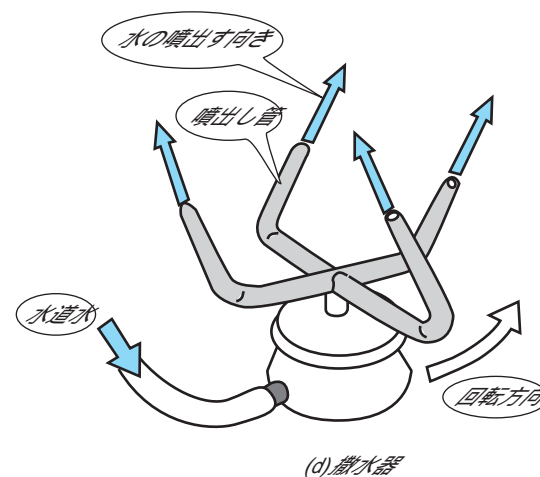
蒸気がシューシューと吹き出しては危険ですが、芝生や砂地のグラウンド等で勝手に水を振りまいている撒水機を

11 【古代ギリシャのジェットエンジン】

原稿見本



(c) 気密を保つ軸受け



(d) 撒水器



原稿見本

見たことがあるでしょう。図(d)のように圧力をもった蒸気の代わりに、水道から送られてくる水を、回転できる三つ又や四つ又の吹き出し口をもった器具に接続して放出すると水の吹き出る反作用力で吹き出し口がクルクルと回って水が撒かれるという仕掛けです。

家庭内のできる簡単な工作でこれを試してみました。

材料は、図(e)に示す 500ml の PET ボトル、ストロー、ひもです。道具は、鋏とカッターとビニールテープです。

(1)PET ボトルの下部四隅にカッターで同じ向きに開くような切込みをいれます。

(2) ,(3)そこへ 2cm 程に切ったストローを差し込み、ビニールテープでしっかりと押さえ付けます。丁寧に作るならば、この部分を接着剤で固定します。

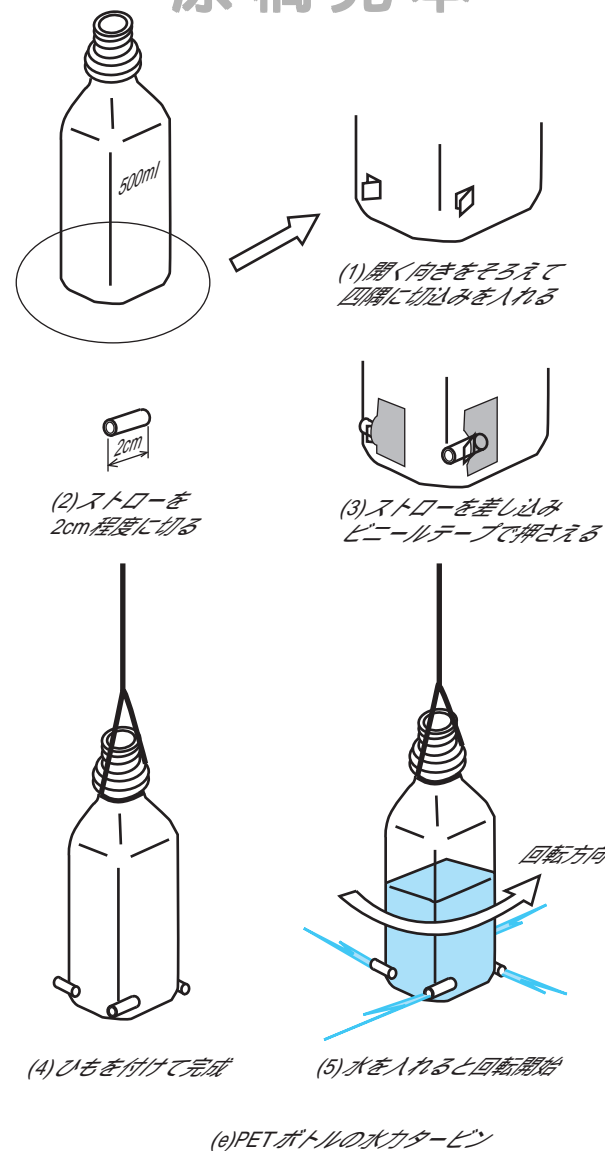
(4)ボトルの口の部分の凹凸を利用して、重心が取れるように調整しながらひもを結びます。これで、水タービンの完成です。

(5)ひもの中央を持ち、ボトルのバランスを取りながら口から水を入れると、下部のストローから水が噴出してその反動でボトルがクルクルと回転します。

どうしても蒸気タービンを作りたいという場合は、図(f)のように海苔やお茶など蓋付きの小さな金属缶を用意します。ただし、水を沸騰させるので、火傷などしないよう十分に注意して下さい。蓋の中央に小さな穴を開け、ここに裏から針金を通して回転支持軸とします。缶の上部円周上にキリで8箇所の小さな穴を開け、蒸気の噴出方向を揃えるために同じ方向に盛り上がりを作っておきます。私は、さらに蒸

11 【古代ギリシャのジェットエンジン】

原稿見本



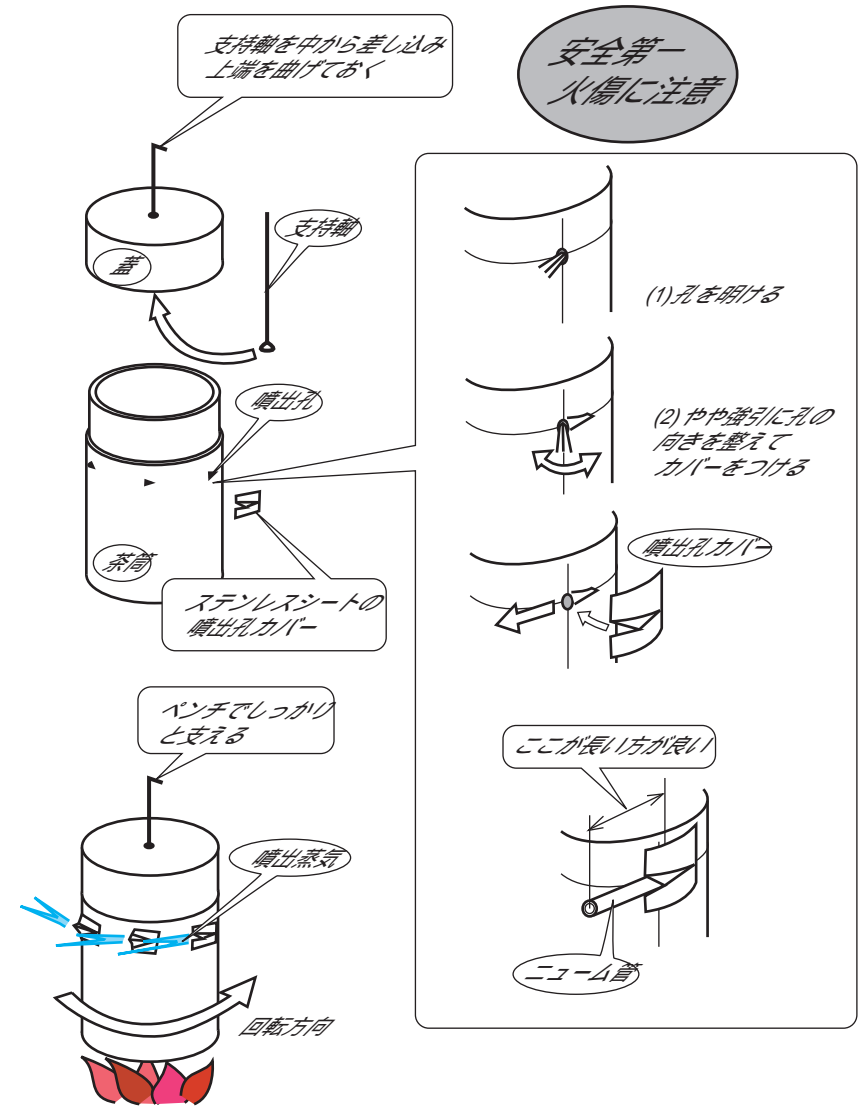


11 【古代ギリシャのジェットエンジン】

原稿見本

気を絞るために、糊付きの耐熱ステンレスシートをこの穴の上に貼って噴出孔にしました。容器に1/3程水を入れてガスレンジで沸騰させ蒸気が噴出するのを待ってから支持軸を持ち上げると金属缶は回転を始めます。雑な工作なので回転が頼りないのですが、噴出孔に模型屋さんなどで売っているアルミニウム管を使ったり、管を吊るす方法に工夫を加えれば、より一層軽快に回るものと思います。

はじめに断わったように、もし試してみようと思えるならば、十分に安全に心掛けて行って下さい。



(1) 金属缶の蒸気タービン





18 【機械式時計の脱進機】カチッカチツ

という音は，エネルギーを小出しに使う音

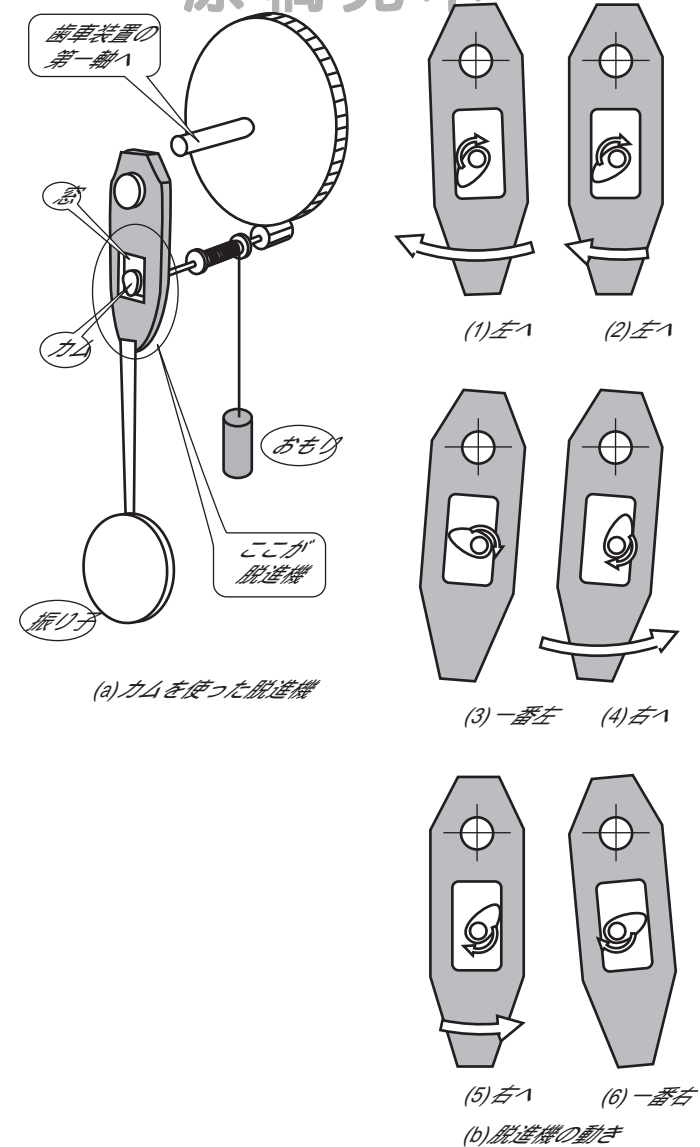
中世ヨーロッパ（A.C.13世紀），エネルギーを制御する脱進機

機械の歴史で，「エネルギーを常に一定の割合で解放する機械時計こそ近代工業の鍵となる発明である。」といわれます。機械式時計は，蓄積したエネルギーの放出を制御した初めての機械であるという観点からこの様にいわれるのです。

純粋な機械式時計では，ゼンマイやおもりなどに蓄積されたエネルギーを利用して歯車装置を駆動しています。このとき，ゼンマイなどのエネルギーを直接歯車装置に供給したのでは，あっという間に連続的にエネルギーが放出されてしまい，常に一定の割合で時計を駆動することができません。時計にはエネルギーを均一に放出する装置が必要で，これを脱進機と呼びます。機械式時計の脱進機はエネルギーを断続的に均一に放出するので，「カチッカチツ」という動作を行うのです。

図(a)は最も簡単な振り子式機械時計の脱進機部分の概略図です。この図では，時計の歯車装置を動かすエネルギーに落下するおもりを使っています。おもりがストーンと落ちてしまっても，時間を刻むことはできず，一気に歯車が回転してしまうので，常に落下しようとするおもりを制御して断続的に落下させる脱進機が必要になります。おもりは常に重力により下方に引き寄せられているため，歯車装置の第一軸を回転させようとしています。図(b)で，第一軸の先端

原稿見本





に付けたカムは常に右回りに回転しようとしませんが、振り子の腕に押さえられて自由に回転することはできません。振り子が揺れ動くのに連れて、腕に開けられた細窓の角度が変わるので、それに合わせて(1)~(6)のようにカムが回転して、おもりの落下が制限されるのです。

図(c)は(a)のカムのタイプとは異なり、振り子の軸に取り付けた平板状のストッパーAとBが、振り子が揺れることにより交互に冠歯車の回転をとめて脱進機の動作を行わせるものです。

図(d)のように、この冠歯車には、常に回転するように、おもりやゼンマイなどのエネルギーを作用させておきます。

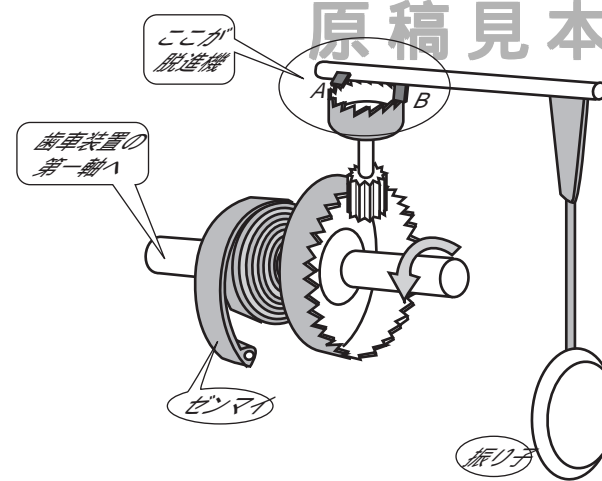
(1)は振り子が一番左にあるときで、ストッパーBが歯車の回転を止めています。

(2)で振り子が戻るときに、ストッパーBが右側に振れるので、歯車も回転します。

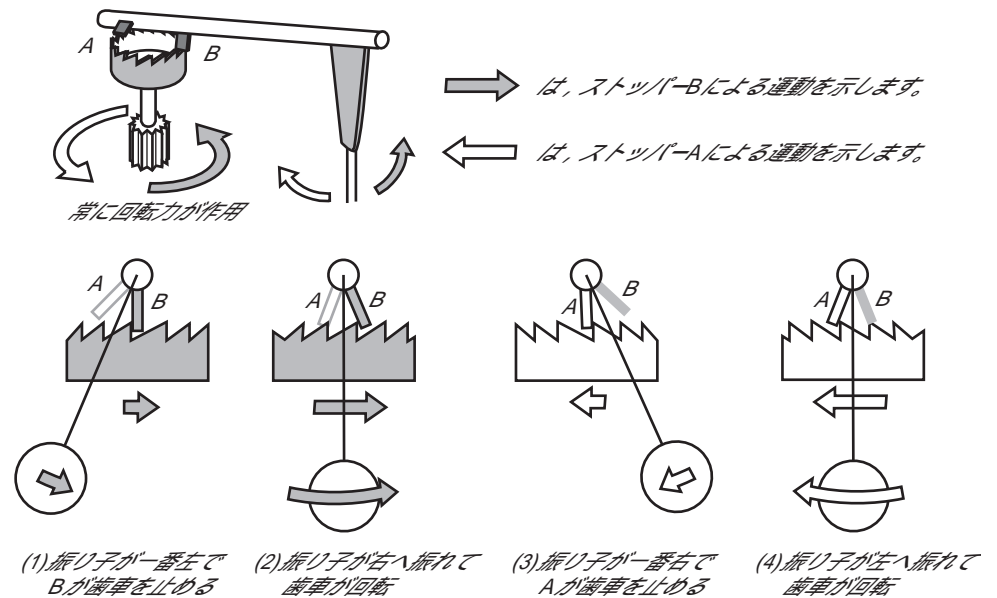
(3)はストッパーAが歯車の反対側に付けられているので、歯車の歯の向きが逆になり、振り子が一番右で、ストッパーAが歯車を停止させています。ストッパーBは外れています。

(4)で振り子が左向きに振れているので、歯車が回転しています。この後、(1)~(4)の状態がゼンマイなどのエネルギーの続く限り、くり返されるのです。

これらのように、常に軸を回転させようとする力を制御して断続的な歯車の回転を得る装置を脱進機(エスケープメント)と呼び、脱進機の有無が機械時計を定義づける必要条件になります。



(c)2枚のストッパーを使った脱進機



(1)振り子が一番左でBが歯車を止める (2)振り子が右へ振れて歯車が回転 (3)振り子が一番右でAが歯車を止める (4)振り子が左へ振れて歯車が回転

(d)脱進機の動き