

# ヘロンの噴水

金野

2001年9月25日

## 1. 解説

古代ヨーロッパの学者ヘロンが考案したと伝承されている噴水装置を復元した。図1を用いてヘロンの噴水装置の解説をする。ヘロンの噴水装置は開放された容器(皿)と、密閉された2つの容器(上部槽と下部槽) それにこれらを図のように連結している3本の筒(水通し筒、空気通し筒、噴水筒)からできている。図中のハーフトーン部は水を示している。

最初、上部槽に水(できれば一杯)を入れ、下部槽は空気だけ(水が入っていても良い)としておく。この状態で装置は静止状態にある。この初期状態で、皿に水を外部から注ぎ入ると、噴水筒から水が噴出し始める。外部からの水の注ぎを止めても、噴水した水が皿の上にごぼれるようになっているので、このこぼれた水がその役割を担い、噴水状態は継続し、上部水槽の水がなくなるまで自噴し続ける。

皿から水通し筒を経由して下部槽に入った水は下部槽内の空気を圧縮するので、この空気が空気通し筒を経由して上部槽に流れ込む。そして、この空気は上部槽の水面に圧力をかけることになり、その圧力により上部槽内の水は噴水筒を経由して漏れ出すことになる。この圧力が小さければ、水はちょろちょろと噴水口から流れ出るだけであるが、圧力が大きいと勢いのある噴水となる。

図2を用いて定量的に解析してみよう。図1と同じく、図中のハーフトーンは水を意味している。外気圧を $P_0$ 、水の密度を $\rho$ とする。その他のパラメータは図のようにとる。第0近似として、空気を非圧縮性気体、水の粘性抵抗を0としてみる。圧力の釣り合いより、

$$\begin{aligned}P_1 &= P_0 + \rho g h_1, \\P_2 &= P_0 + \rho g h_2.\end{aligned}$$

上部槽と下部槽は空気通り筒で連結しているので、

$$P_2 = P_1,$$

つまり

$$h_2 = h_1.$$

皿からの噴水の高さは $h_3$ なので、次の関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned}h_2 &= h_3 + h_4, \\h_1 &= h_4 + h_5,\end{aligned}$$

これより

$$h_3 = h_5.$$

即ち、噴水の皿からの高さ $h_3$ は上部槽と下部槽内の水面の差 $h_5$ となる。噴水の高さはこれら2つの槽の配位で自在に変化することになる。実際には、空気は圧縮性気体であり、パイプによる水の粘性抵抗を無視することはできないが、一応これで説明ができる。噴水筒の径が太ければ、単位時間に流れ出す水量は多くなり、自噴の時間は短くなる。逆に径が細ければ、自噴時間を長時間にわたって維持できる。

図3に作り上げた装置の設計図を示している。下部槽、上部槽、皿は全て底面が正方形であ

る。容器の材料は3 mm 厚の亚克力板、筒の材料は直径8 mm と、3 mm (噴水筒) のスチロールパイプである。図中に2本の支え筒が描かれている。が、この図面での配置は図面を見やすくするため、実際の位置からずらして描いている。実際には1本は空気通し筒の向こう側、もう1本は水通し筒の手前にと、槽の4隅に配置している。

写真1、2が装置の外観である。写真2は噴水筒に細いパイプを着けたときである。試験動作で筒の強度が弱いことがわかった。3 mm 厚の亚克力板からL字アングルを作り、上部槽と下部槽の4隅に貼り付け、強度の増加をはかった。その様子は写真から見てとれよう。噴水筒は外形3 mm、内径2 mm のパイプである。上部槽と下部槽の上面に注水口(或いは排水口)として用いるための6 雌ねじを切った外形8 のパイプを取り付けている。栓として6 ボルトを用いた。

図で示している寸法で材料を切り出し、亚克力、スチロール専用の接着剤で接合をしたが、筒と板との間の接合の弱さのため水漏れが見られた。そのため、それらの箇所にはエポキシ系接着剤を塗布し、密閉の完全さをはかった。上部槽と下部槽の体積は同じで約2.8 Lである。

上部槽に水を入れ、2つの注水口を閉じ、皿に水を注ぎ入れ、動作を開始させると、皿からの高さ数cmの噴水が勢い良く吹き出すのが見られた。約30分前後の持続時間であった。少し噴水持続時間が短すぎるので、噴水筒の上部に外形2 mmの金属パイプを差し入れ、その上部に熱伸縮チューブを被せ、適当な細さに絞った噴水口も作った。これを用いると、高さ10 cm以上の細い噴水が得られ、噴水口の径及び噴水高さに依存するが、持続時間も3時間~5時間以上とすることができた。

噴水の高さ、その持続時間は皿にある水の水面の高さにも強く依存する。皿に水が少なくなり、水通し筒内にその水面がある場合には噴水の高さは小さい。

## 2. 終わりに

製作して気が付いた点を列記しておく。

(1) この装置は全体を不透明の材料で作し、内部の水などが外から見えないようにしたものである。その様にしておき、皿の上におもむろに水を注ぐだけで、噴水を起こすのである。水を注ぐだけで何故噴水が起こるのであろうか? 見物人は????となる。少し理科を知っているものには、エネルギー保存即ち反しているのに何故か。というような疑問も提起する装置である。

当初不透明な材料で製作することも考えたが、科学教材としての意味考えるならば、内部構造がよく見えた方が教育効果があるであろうと考え、透明材料とした。

(2) 上部槽と下部槽の間隔約24 cm、水槽の体積約2.8 Lで2時間から5時間の噴水時間である。噴水の高さを低く抑えれば、持続時間は長くできる。どの程度の噴水の高さ、或いは噴水持続時間とすべきかは好みであろう。

(3) アクリル、スチロール材料は水を良くはじく。皿から水通し筒への水の流れがそのため滞ることが良くある。対策として水に合繊洗剤を少し垂らすことも良い。又は、皿の底面が少し傾斜し、水通し筒の入り口部分に水が集まるようにするのも良いであろう。

(4) 空気通し筒の内径は細くても太くてもよい。空気が通るだけであるので。が、水通し筒の内径の大小は噴水動作に影響を与える。本装置でこの筒の内径を5 mm から3 mm で変更してみたがこの程度では殆ど影響はわからない。

もし水通し筒の内径を大きくしたとする。皿に落下した水は水通し筒に落下し、径が大きいため図2で示している $h_1$ の上端は水通し筒内に位置することになる。こうなると $P_1$ は小さくなるので当然噴水の高さは小さくなるであろう。即ち、水通し筒の内径が大きくなれば、噴水の高さは小さくなる。

では水通し筒の内径を細くしたらどうなるであろうか。水の粘性及び表面張力のため、細くし過ぎると筒の中を水が通わなくなる。このあたりがトライアンドエラーである。

(5) 室内の飾り、或いは科学教室などでの展示品として陳列するには、噴水が長時間にわたる方が良いであろう。これに対する最良方法は上下の水槽の体積を大きくすることである。

(6) 一度噴水動作が完了したならば、そのまま装置全体を逆立ちさせる。水は下部槽から上部槽に流れ込む。逆流が終了したならば、正上位に戻す。図1の初期状態となる。

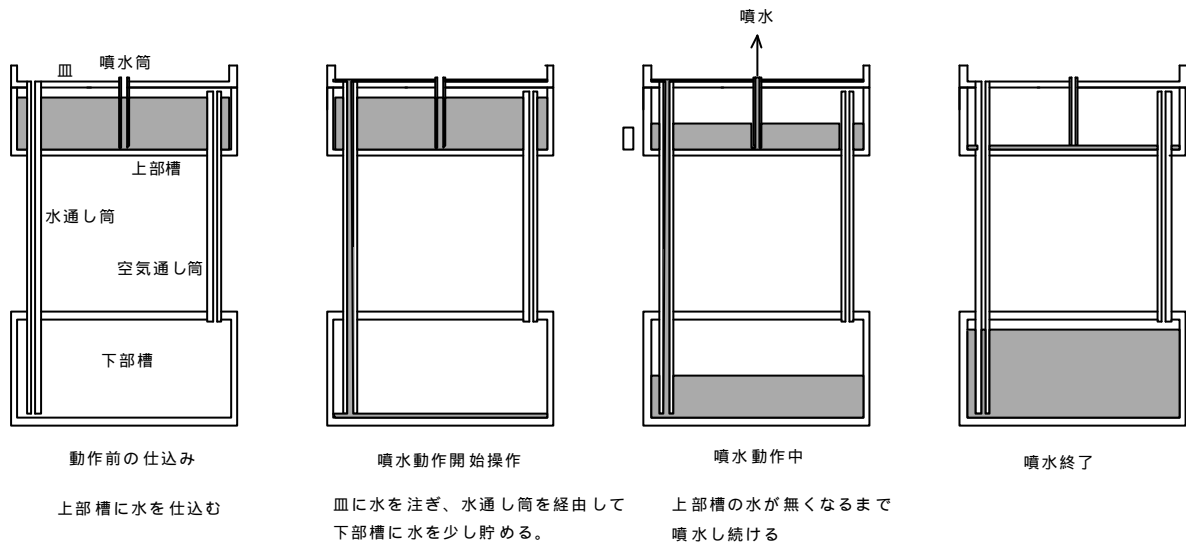


図1 ヘロンの噴水

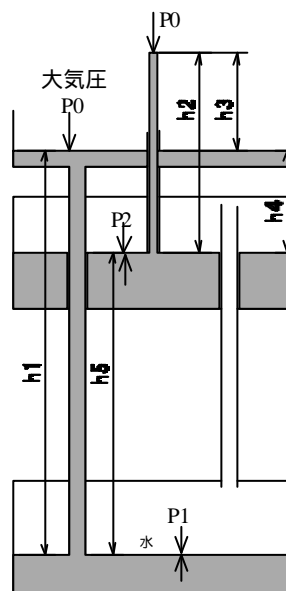


図2 解析図

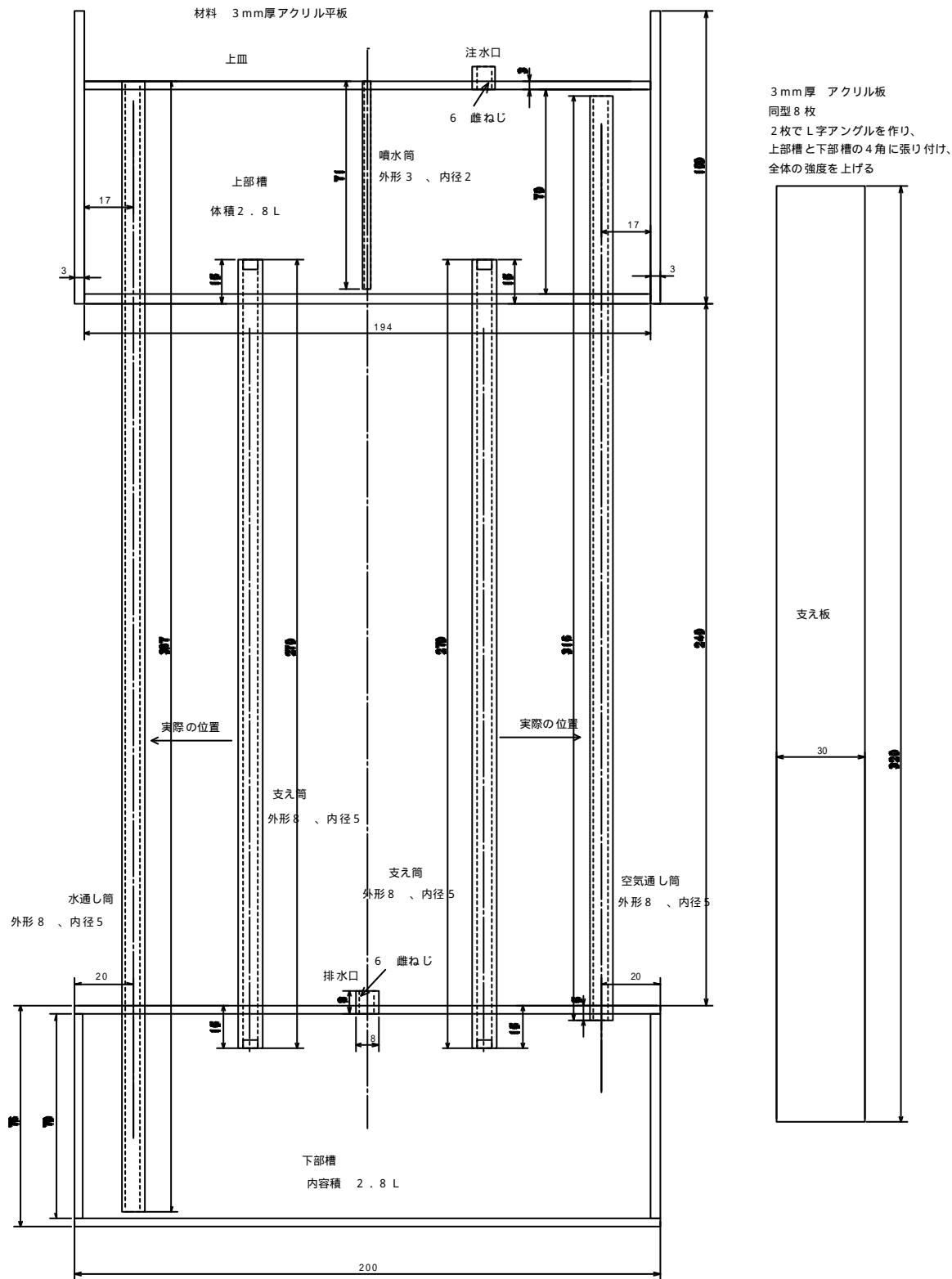


図 3 設計図



写真 1



写真 2