

## 真空ポンプによる10m超過揚水システム

信州大学工学部 正員○梅崎健夫  
 信州大学大学院 正員 塩野敏昭

### 1. はじめに

真空ポンプによる最大揚程は約10mが限界である。10m以上の揚程を必要とする場合は、真空ポンプとは作動原理が異なるうず巻きポンプ、往復ポンプやジェットポンプなどが用いられる。

本文では、真空が負荷される揚水パイプを簡単に改良することにより、そのままの真空ポンプだけで10m以上の揚水を断続的に行える新しい揚水システムを考案した。試作した本揚水システムを用いた11.3mの揚水試験の結果について報告する。

### 2. 真空ポンプによる揚水の原理

図-1は、真空ポンプによる揚水の原理を理解するためのパズル<sup>1)</sup>であり、「11mの高さの建物の3階から長いストロー（ただし、ストローはつぶれないとする）でジュースを飲めるか？」というものである。解答は「飲めない」である。ジュースを吸う力がたいへん強くて、たとえストローの中を完全に真空にできたとしても、大気圧（標準大気圧：760mmHg=1013.25hPa≈10.33tf/m<sup>2</sup>）によりジュースがストローの中を押し上げられる（吸い上げられるのではない）限界が約10mだからである。

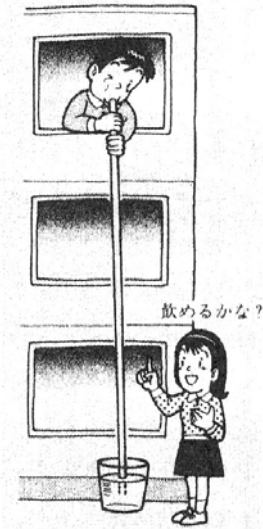
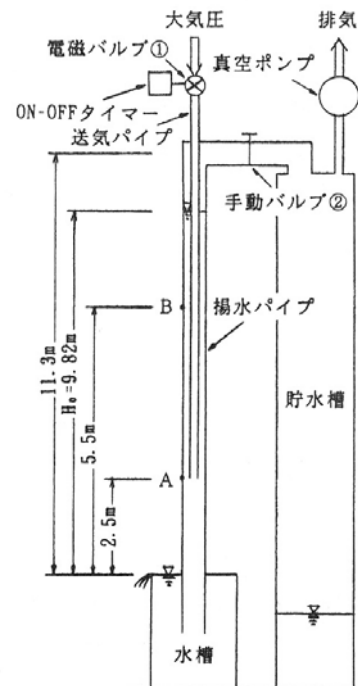


図-1 3階からジュースを飲めるか<sup>1)</sup>

### 3. 新しい真空ポンプ揚水システム

(1) システムの原理 図-2は、新しい真空ポンプ揚水システムの原理を示したものである。考案した揚水システムは、揚水パイプの途中まで送気パイプを挿入しただけの簡単なものである。バルブ①を開閉することにより、真空が負荷されて水で満たされている揚水パイプ内に送気パイプを通してごく短時間だけ大気圧を送り込むと、揚水パイプ内の水柱が吹き出された大気泡により分断され、吹き出す大気圧と送気パイプの出口位置（図中のA点：負圧が作用している）の圧力差によりA点の上方の水柱が10m以上の高さまで勢い良く押し上げられる。したがって、バルブ①の開閉を繰り返すことにより、真空ポンプだけで10m以上の揚水を断続的に行える。



(2) 揚水試験の方法 図-2は、試作した本揚水システムと11.3mの揚水試験の概要も示している。揚水パイプには硬質のサクションパイプ（内径 $\phi_1=24.6\text{mm}$ 、外径 $\phi_2=29.7\text{mm}$ ）を、送気パイプには軟質のビニルパイプ（内径 $\phi_1=9.4\text{mm}$ 、外径 $\phi_2=11.2\text{mm}$ ）を用いた。また、送気パイプのバルブ①には電磁バルブを用い、バルブの開閉はON-OFFタイマーで自動的に行った。真空ポンプの能力は、送気量50l/min、達成圧力 $7.5 \times 10^{-4}\text{mmHg}$ 、

図-2 新しい真空ポンプ揚水システムの原理と揚水試験の概要

消費電力200Wである。なお、貯水槽にも硬質のサクシオンパイプ（内径 $\phi_1=100.6\text{mm}$ ，外径 $\phi_2=113.2\text{mm}$ ）を用いた。

揚水試験は、まず、バルブ①および②を閉じた状態で真空ポンプを稼働させて貯水槽の圧力が $p_0=-9.93\text{tf/m}^2$ と一定になった後にバルブ②を開放する。このとき、揚水パイプ内には高さ $H_0=9.82\text{m}$ までほとんど瞬時に揚水され、瞬時揚水のために、送気パイプ内は出口（図中のA点）付近まで大気で満たされている。この後、ON-OFFタイマー（開放時間：0.63sec，閉鎖時間：10.01secに設定）を作動させて、揚水パイプ内の大気の挙動および貯水槽に蓄えられる揚水量を測定する。なお、試験当日は、気圧977.6hPa，気温4.9℃，水温13.3℃であった。写真-1は、揚水試験の全景である。

#### 4. 試験結果および考察

バルブ①の開閉の繰り返しに伴って、貯水槽の圧力は、 $p_0=-9.93\text{tf/m}^2$ から、 $N=20$ 回（経過時間 $t=3.55\text{min}$ ）では $p=-9.55\text{tf/m}^2$ に、 $N=40$ 回（経過時間 $t=7.1\text{min}$ ）では $p=-9.40\text{tf/m}^2$ に真空度が少し下がったが、その後はほぼこの値を保持している。

1回のバルブ①の開放により送気パイプから吹き出された気泡は、図-2のA点（高さ2.5m地点）より下方に、高さ1.7~2.1m程度の地点まで一度下降し、その後、図-3に示すように、送気パイプの内径をほぼ占めるような砲弾形のスラグ流となって上昇する。スラグ流の先端の速度は、水面から高さ3.0~5.5m区間において $V_1=0.5\sim 0.6\text{m/sec}$ 程度、5.5~9m付近の区間において $V_2=0.8\sim 1.1\text{m/sec}$ 程度であり、揚水パイプ内の負圧が大きくなるにつれて速くなる。また、スラグ流の末端が水面より5.5mの点（図-2のB点）を通過するときのスラグ流の長さは、 $L=2.8\sim 4.0\text{m}$ 程度とかなり長い。

バルブ①の開閉回数 $N=70$ 回（経過時間 $t=12.41\text{min}$ ）において貯水槽に蓄えられた揚水量は63.4l（5.1l/min）であった。

#### 5. まとめ

真空ポンプによる10m超過揚水システムは、11.3mの揚水試験において有効に機能した。今回試作したシステムの揚水量は5.1l/minであり、揚水パイプと送気パイプの断面積、バルブ開閉の設定時間および揚水パイプへの送気パイプの挿入長さなどを検討することにより、考案した揚水システムは実用化への可能性が期待される。

また、3階から長いストローでジュースを飲むには、図-4に示すように、ストローの2階付近の高さの位置にバルブを取り付けて、バルブを閉じた状態でストローを吸ってジュースをバルブより高い位置まで押し上げておき、2階の窓から他の人にバルブを開けてもらうとよい。

#### 【参考文献】

- 1) 福島肇：パズル・物理の不思議入門，講談社ブルーバックス，pp. 29-30，1994.

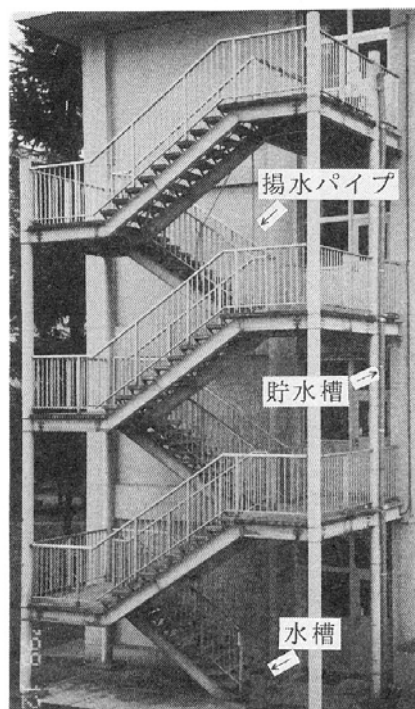


写真-1 揚水試験の全景

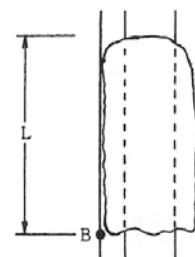


図-3 揚水パイプ内のスラグ流

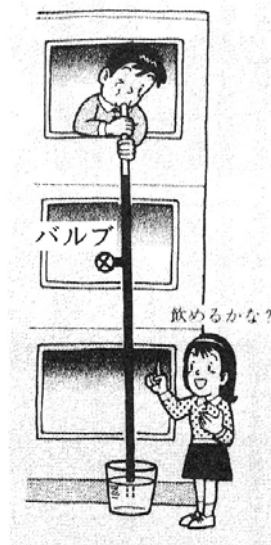


図-4 3階からもジュースは飲める（文献1）に加筆