

ヘロンの風車オルガン

-その挿絵から製作と試奏まで-

特別会員 松本 文雄

1、はじめに

アレクサンドリアのヘロン(Heron of Alexandria、紀元前2年～後3年、生没年不詳)は、古代ローマ属州エジプトのアレクサンドリアで活躍したギリシャ人の物理学者、工学者、数学者と言われている。彼のヘロンの公式は多くの人の知るところであるが、アイオロスの球と言われる蒸気タービン、自動扉、聖水の自動販売機など、初期の自動機械の種となる多くのアイデアを挿絵で残している。その中でヘロンの風力オルガンは世界初の風力機械のひとつとされて、今日でも多くの出版物等でその挿絵(図1, 2)が紹介されている。

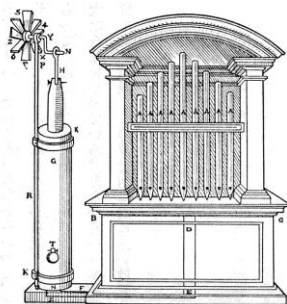


図1 ヘロンのオルガン挿絵 a

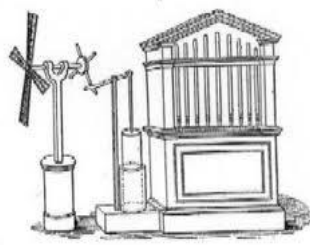


図2 ヘロンのオルガン挿絵 b

私は、風車に関心を持った頃から、この挿絵を見る機会があり大変興味を持っていた。現在にいたるまで写本から写本へ何度も書き写されたため、当初の原図がどれであったか分からなくなった部分も多いが、このアイデアを想像で補い具現を試みたいと思うようになった。文献などを探したが、このオルガンが実際に製作して演奏されたという挿絵や記述には今まで出会わなかった。そこで古代の技術に思いを巡らし製作・試奏したまでのお話である。

2、オルガン小史

楽器のオルガンは、紀元前264年にアレクサンドリアに住むクテシビオスが、水力によって空気を送り込み、手で弁を開閉させることによって音を出す楽器「水オルガン」(ヒュドラウリス (Hydraulis))を製作したと言われている。水オルガンは青銅と木でできており、その起源は、南米の各地に残る“パンの笛”のように複数の笛を束ねて吹くものや、中国や日本の雅楽の“笙”も同族の楽器と見なされる。(図3, 4)

これらは、吹口を笛に合すことや、指で笛を選択していたが、キー(鍵盤)を押すことによって、演奏を容易にし、また笛に送る空気も、奏者の呼吸に頼

らずポンプや鞆で送気するように改めた。これが初期のオルガンの姿であったようだ。



図3 南米の笛パン



図4 中国や日本の笙

中世までは全て、水オルガンと呼ばれるもので人力のポンプで空気を送り奏でるオルガン(図5)でありそれを表している挿絵である。

ヘロンの風車オルガン構想もこの水オルガンを基礎としたものであろう。この“水”という意味には後程にも触れることになるが、挿絵を見ると、水槽の中に空気溜の部屋(チャンバー)があることが分かる。この挿絵ではポンプがあるので、手押か足踏みかは不明であるが人力によって、空気室に空気を送り込み、水槽を満たしている水の重力でポンプから

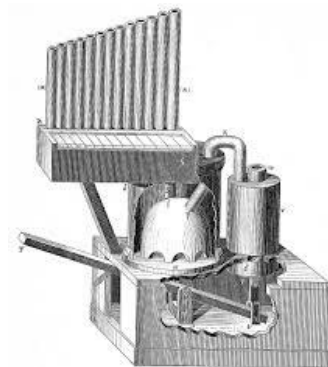


図5 水オルガンの挿絵 a

送る空気圧の脈動を水圧によって平滑に近くして、オルガンの空気室に送る。また過剰な圧力を水泡として逃がした状況がうかがえる。

前述の文言にも使ったが”水力によって空気を送り”という解説が多く引用されるが、水は空気圧の調整に用いたために「水」という言葉がおおく名称に出るが、これは誤解を招きやすい。

前述のごとく、当時の運動エネルギー源としては人力、畜力、水力、風力程度が実用化されていて、火力を動力に変換する技術は中世までなかった。

人の指示に従って制御が簡単であり、傍人や奴隷の人力が室内で容易で手じかに使えるエネルギーであった。一方風車は変化する屋外のエネルギーであるため、ヘロンが発案した後も風車の出番がなかったのではと思われる。水車については、中世前後になってオルガンに使われた挿絵が残っている。

15世紀のオルガンの、演奏風景(図6)の挿絵の鍵盤の数や人物からみても、規模は小規模なものであったと思われる。これはポンプではなく、傍人が鞆を押している状況も示している。中世になると、規模も大きくなり、10台以上のポンプ、鞆を使った例もあるようだ。図7は中世の教会オルガンの例、図8は水車で4台の鞆を駆動している機構を表している。



図6 中世の演奏

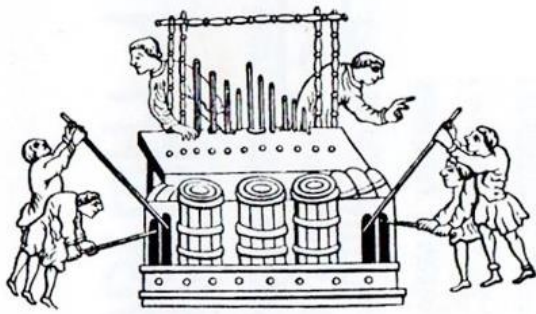


図7 中世の教会オルガン

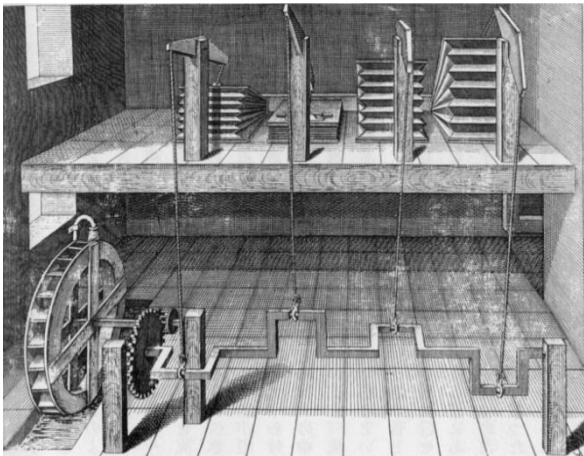


図8 水車で4台の鞆を駆動

今日の教会や大聖堂のパイプオルガンは勿論人力による送風ではなく電動機によるブロアーにより、また電磁駆動による鍵盤に連動する弁や機構の動作に、数10Kwの電力を使用するものであり、建物の一部を構成しているほどの規模である。パイプの発音構造は大きく分けて二種類あり、それぞれフルー管(flue)管とリード(reed)管と呼ばれる。フルー管はリコーダーと同じく歌口の空気の渦より発音するもので、リード管はクラリネットと同様のリードの振動による構造で発音する。古代のオルガンはフルー管のみであったことが挿絵からは想像できる。

3、ヘロンのアイデア具現

風車駆動をヘロンが考案した紀元前後時代の素材や技術を基にして作成をすることが、大切な要件であると考えて、今日の素材や技術を用いなくて再現することに努力した。

中世まで(18世紀)まで当時の材料と技術としては、素材(material)とは即ち木材(Wood)を意味したとあり、素材として使われるのは専ら木材であった。その名残が漢字の機構、機械などの文字が「木偏」であることから納得できる。青銅や鉄材はあったが、加工が難しく多用したとは思えない。

当時の素材、またその応用としては動物の皮の応用の鞆はなく、当時の木材によるシリンダー、ピストン、弁、パイプ、滑車等であったであろうという前提である。回転するブロアー等の送風装置は近代まででは使われなかったであろう。

ここで再び、ヘロン風車オルガンの挿絵c(図9)を見てその構成要素に分けると、風車部、ポンプ部、風圧調整部(挿絵のオルガンの台内)、そしてオルガン部によってできていると思われる。

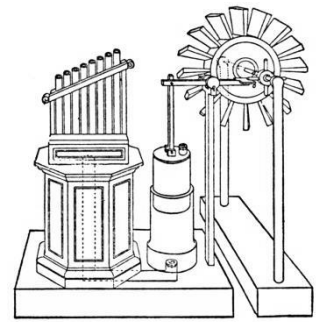


図9 ヘロンオルガン挿絵c

3-1 風車部

ヘロン挿絵a, b, cのいずれの風車も枚数が違うが木製のプロペラ型風車が画かれているが、当時はプロペラ型や多翼型は存在せず、地中海地方の風車は紀元前から用いられた帆船で実用化されていたセールを応用した風車であったと思われる。金属による18枚多翼風車も作成したが、前述のように紀元前後には不似合いであるので使っていない。従って、風車部分はポンプなどをするには適したトルクが大きく起動力のあるセール型風車(写真1)とした。

作成した6枚セール風車は直径700mmの小さなものであるが、これで2台のポンプを駆動することにした。精緻な出力の計算はしていないが、4m/sの風速で可能であろうという推定で作成した。駆動軸は8φのシャフトで支持し、傘歯車で、等速か1/2に減速選択ができるようにし、クランク軸を駆動する直交軸をネジ歯車を介し動力伝達している。風圧で帆の形が変わるようバネで帆を張り変形できるように工

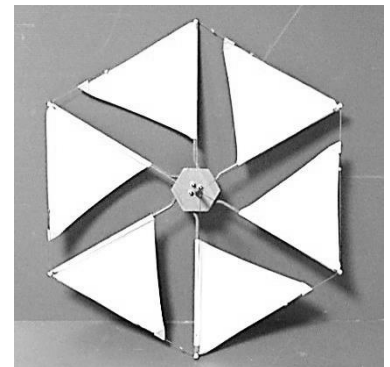


写真1 700φセール風車

夫をを施してある。

3-2 空気ポンプと駆動部

ヘロンの挿絵からはポンプの詳細な構造はわからないが、たぶん木製の筒などを用いるアイデアであったろう。そのポンプのピストンの駆動方法は、風車の回転軸を曲げてクランク動作や跳板を使った状況が画かれている。但し風向追従機能は挿絵にない。

作成したものは写真2の通り架台は木製である。TOP部分にはヨーベアリングで風向に向けられる。このために風車で駆動する軸を垂直にして更に水平軸を駆動し、取り付けられたクランクホイールを回してクランクシャフトを駆動する。これをリニアベアリングとリニアシャフトで垂直に50mmの上下運動にするよう変換している。クランク軸上180°位相差で駆動する2台のポンプを駆動している。

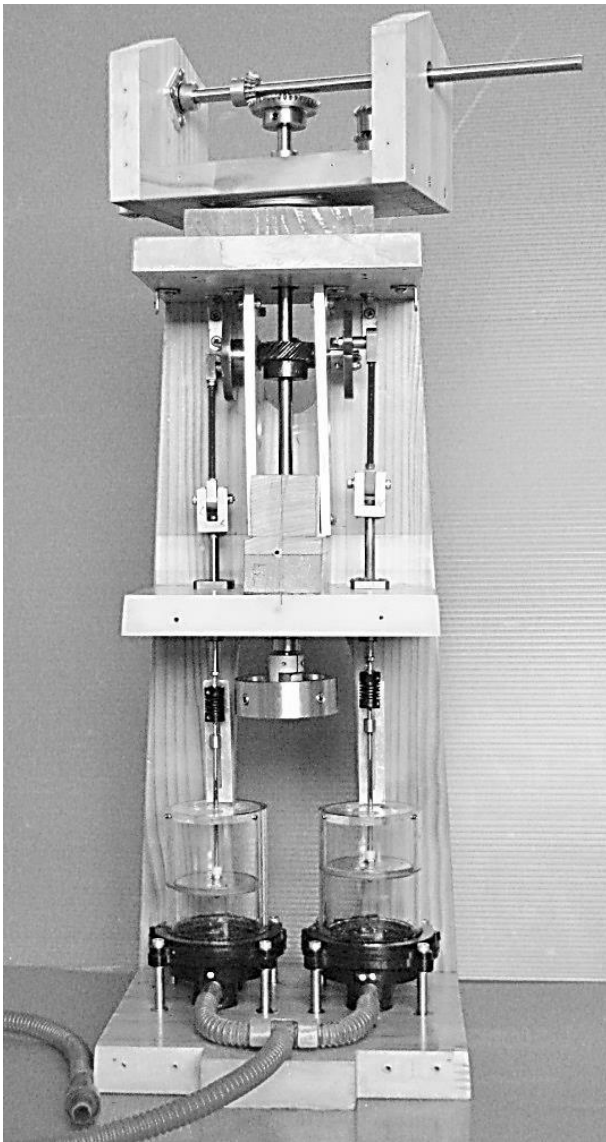


写真2 風車シャフトからポンプ駆動

下に見えるポンプはボア50mmである。従ってポンプの一往復で50φ×50mm(約100cc)の空気を排出する。両ポンプは排出口でパイプによって合流して1本の出力ホースで、空圧調整器に送出される。

ポンプとピストンはアクリル材で作った(写真3)。これは木材等では加工が難しく又動作が透視出来ないで透明なアクリルとした。ポンプの底部にある吸気弁、排気弁と支持台を支える部分は、振動ポンプを購入し解体し、弁の径を大きくして、吸排気弁を作直したが長期の動作ではこのゴム製の弁が最も

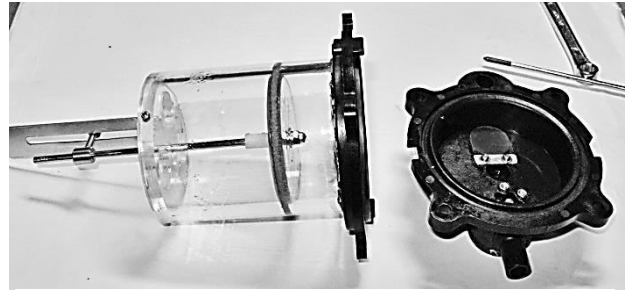


写真3 手作り空気ポンプの構造

脆弱な部品である。シリンダーとピストンの気密性を保つために、ピストンリングとして牛皮の紐を用いて、気密と潤滑のため稼働時はシリコン油を含浸させている。(余談であるが、日本鍛冶独特の箱型の鞆のピストンの気密は狸(タヌキ)の皮に限るといわれる。毎年旧暦11月8日の鞆祭りには、必ず狸の慰霊もする習わしがあると聞く。)鞆とポンプは共に空気を送る仕組みで、人力用では機構に大きな差はない。

3-3 風圧調圧部

180度の位相差で2台のポンプから送り出される空圧は、単相交流を全波整流した波形(図11-上)となる。

これをできる限り平坦に近い空気圧(図11-下)にしてオルガンの空気箱に送ることが必要である。古代のオルガンからこのために圧力を滑らかにした空気を得る仕組みとし、水槽と空気室を組み合わせ苦勞をした姿は前述したが、これが中世にいたるまで“水オルガン”と呼ばれ続けた所以であろう。

その仕組みは挿絵からはっきりとは読み取れないが、概念図は図12に掲げた。平滑動作の外にオルガンの操作を止めると空気圧は必要以上に高くなるので、水泡とし水槽から外に逃がした。(“水泡に帰す”という諺の語源にしても相応しい典型である。)

素材が木材と青銅のみしか身近にない当時の人の知恵と技術に敬服するばかりである。(気体の小さな部

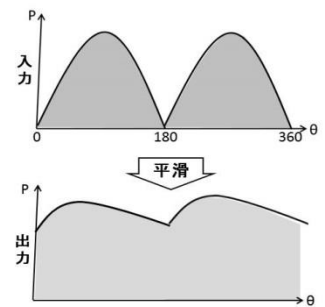


図11 調圧部の入/出力

屋をチャンバーと呼ぶ慣例で、以下空気の小室のことをチャンバーと呼ぶ。)

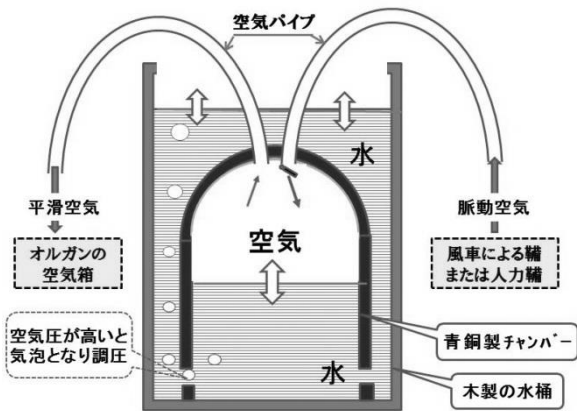


図 12 古代の空気圧調整器の概念図

水オルガンで別の挿絵 (図 13) には調圧器が示されているが挿絵の構造では充分機能しないこと確認した。困惑をしたのは、水槽の大きさ、チャンパー形状や大きさ、注水量、さらに送り込む空気量や空気圧、脈動の周波数 (風速、風車回転数や構造による)、そしてこれに演奏状態 (低音、高音、和音など) でのオルガンの空気の使用量な

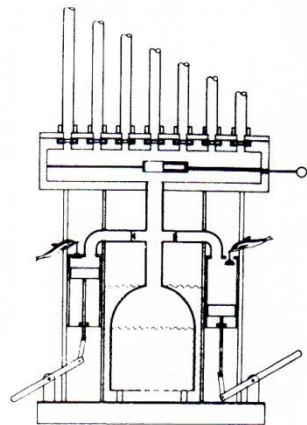


図 13 水オルガンの挿絵 b

ども変化しあまりにも与件が多く、又どの程度の平滑度で演奏上使用に耐えるのかは、まったくの手探りで、水槽とチャンパーの作製を繰り返した。選択肢の多さには暫くは呆然とするばかりであった。

製作した初期の調圧器 (写真 4) と数作目の現在の調圧器 (写真 5) を示すが左が水槽、右がチャンパーであるが使用時には、水槽に水を張り中にチャンパー



写真 4 初期の調圧器

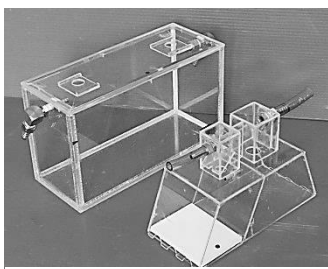


写真 5 最近の調圧器

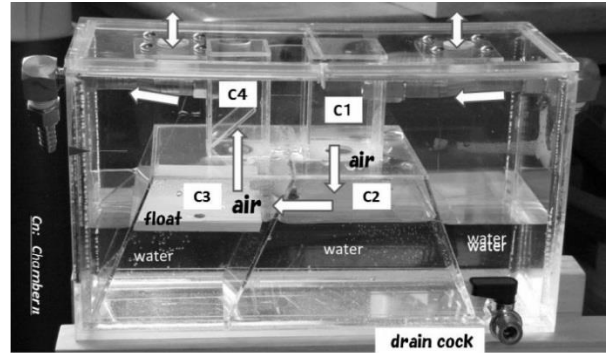


図 14 使用時の空気の経路図

を沈めて右から空気を送り、左からは平滑した空気を取り出す仕組みであり、図 14 は 4 個のチャンパーを経由してゆく空気の流れを示した図である。

供給される空気圧の高低により、水面が上下し、一定以上に空気圧が高くなると、前述の仕組みで、水泡となった空気は水槽上部の穴から放出される。

改造を重ねつつも、目標に収斂する道筋は不明であるが、今後も調圧器の試作を透視できるアクリル材で続けるつもりである。

3-4、オルガン部

この作業の目的は楽器を制作することが狙いではなく、風車で楽器に送風を行うことが主眼である故に、ハーモニカに鍵盤の付いた幼年向け教育楽器として普及している吹奏楽器 (商品名: ピアニカ等) の分解し鍵盤とリード部分を取り出し使用した。(勿論この部分を手作りすることは、容易はない。) 写真 6 は、鍵盤とリード部分を取り出してオルガンの体裁に作り直したもので、従って前面に立っているパイプは、音の出口としての装飾でありフルー管ではなくて笛の機能はしない単なる管である。

リードと鍵盤の集まる空気室には、左に空気入口があり、これに調圧器からの調圧空気をパイプを経由して送る。

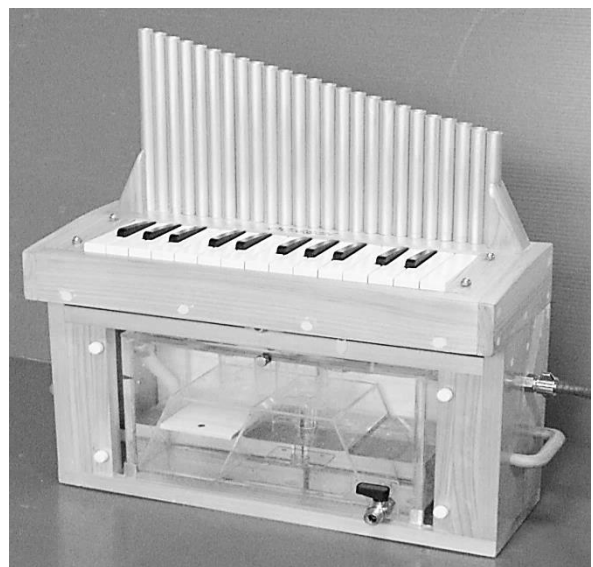


写真 6 簡易オルガンと架台

27 個の鍵盤で 2・1/2 オクターブ音域をカバーして、音色はハーモニカに近いものであり、従って音域の広い名曲の妙なる演奏を楽しむことは難しい。紀元前後のオルガンとは発音方法は違うが、挿絵から想像すると規模は近いものであったろう。

写真 6 の下部はオルガンの脚台と調圧器 (300×150×100mm) を収納する場所を兼用している。水位により特性が変わるので、右下にあるドレンコックから水の注水や排水を行い水槽の水位が調整できる。

4、全体の組立てと試奏

6 枚翼のセール風車とポンプ駆動部はシャフトのロックネジで固定する。また架台の TOP 部は 360 度回転できるヨーフリー構造なので、風車は Upwind 型にして一方向の風を受けるようにロックすることも、またロックを解除して、フリーヨーの Downwind 型としても運転可能である。これら二つの方法では風車の回転方向は風上から見て前者では CW、後者で

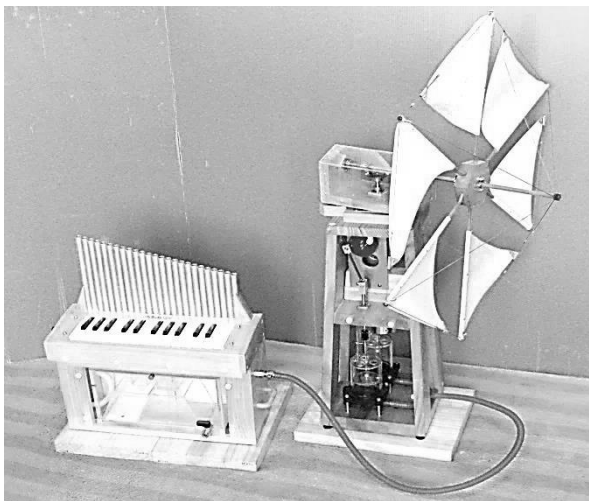


写真 7 風車、ポンプ、オルガン全体

CCW 回転と反対になるが、傘歯車以降クランク、ポンプ駆動までは同方向回転となるためにポンプの動作は同じである。これらは表裏対称のセールウイング風車の特質とうまく融合している結果であり、他の水平軸風車の形式では困難である。

試奏は、自然の風の吹きわたる海浜、草原を探したが満足な風景に巡り合えなかった。奏者は少女という設定で、帰省中の孫娘にお願いをした。曲は「ローレイ (Lorelei)」として動画に納めた、動態を確認するには、**YouTube** の WEB サイトで「ヘロンの風車オルガン」と検索すれば 1 分程度の動画が見える。

風の強弱や、完全にポンプの脈動が平滑器で取り除かれないことに私は気になるが、『Vibration としていいのでは・・・』との奏者の慰めの言葉に出会い、大いに助けられた思いである。

『風が止んだら、どうするの』との問いかけには、『吹くまで待つ、それが風なのだ』と答える、だからこのヘロンの風力オルガンは二千年を経過しても誰も作るうとはしなかったのだろう。紙面の文字や記号である科学が、技術に依り形となり動き始めた



写真 8 屋外での試奏風景

ときに、輝きも影も確かめることができる。これが技術の素晴らしいことであると歴史は語っている。

5、おわりに

風車の出力は、電力に変換してしまえば、それ以後は今日の技術の所産で、目的にあった素材・部品や構成要素が簡単に入手できるが、本題のように当時の技術状態が解らないときは想像で補うしかない。

今回の調圧器のように与件の多い物を、解析的に紙面の上で設計することは至難の業であろう。遅々ではあるが CUT&TRY で進めるのが、近道でありまたクラフトマンには楽しい対応であると自認している。

参考文献では、1) で水オルガンや挿絵、およびヘロンの幅広い人なりと、各種機械の発明貢献、2) でヘロンと中世以前の風車水車の技術状態と挿絵、そして 3) でヘロンを含む古代からの道具や機械に対する人々の対応と考え方などを学んだ。但しヘロンの直筆の「大気学」等の訳文には出会うことはできなく、12, 3 世紀に転記 (写) されたものが多く、曖昧さの多い書であった。調圧器などの構造についても直接解説されたものはなく残念であったが、当時の素材や技術状態を想像するために大いに役立った。

【参考文献】

- 1、機械発明史、A. B. アッシャー著 p132~135 1941 岩波書店
- 2、技術の歴史、地中海文明と中世 III p539~549 筑摩書房
- 3、ものと人間の文化史 18 「機械」第七章 道具と技術、吉田光邦著 p 196~222 1974、法制大学出版会



風伝：ヘロンの肖像画