

"A Treatise on the Steam Engine", by John Farey (1827)

第 1 章 火により駆動される機械の起源について

(邦訳 S. Yamauchi)

2019 年 12 月 2 日

目次

1	はじめに	2
2	17 世紀における哲学的発見	4
3	大気圧の発見, 1643	9
4	ウスター侯爵の火の水道設備, 1663	12
5	サミュエル・モーランド卿の火の力の原理, 1682	14
6	パパンの発明, 1688 および 1690	17
7	キャプテン・セイヴァリの蒸気機関, 1698	23
7.1	トマス・セイヴァリによる簡単な描写	25
7.2	機関の動作方式	26
7.3	パパンの蒸気機関 1707	33
7.4	セイヴァリ機関のデサグリエによる改良	34
7.5	デサグリエにより改良されたセイヴァリ機関の動作	37
7.6	セイヴァリの火の機関の適用、その長所および欠点について	40
7.7	セイヴァリ機関の建造における改良	42
7.8	揚水して水車を回すセイヴァリの原理による蒸気機関の記述	45
7.9	セイヴァリ機関における燃料消費について	47

1 はじめに

蒸気の膨張力は、アイオロスの球 (エオリパイル; Æolipile) と呼ばれる単純な器具の動作により、古代の人々に知られていた。それは薄い金属の中空ボールに、そこから出てくる細長いパイプつまり注ぎ口がつながったものであり、その先端は非常に狭い口金となっている。事実上、それは金属製のレトルト (訳注: 通常ガラス製の蒸留用容器) である。エオリパイルの球が部分的に水で満たされて火にかけられると、中の水が急速に沸騰して蒸気が発生する。まもなく、熱い蒸気が口金から連続的に流れ出て、激しい勢いと音を伴って噴出する。さらに熱が加えられると、口金が非常に小さいために、生成される水蒸気は逃げるのが追いつかず、蒸気の噴出はより激しくなるであろう。そのために蒸気は球内に蓄積してその弾性が十分に大きくなり、口金から蒸気を速さを増して押し出し、水から発生する速さと同じ速さで蒸気を噴出するようになるであろう。

エオリパイルは、その動作中には蒸気が膨張力を持つことを示し、そしてまた、冷却による蒸気の凝縮が真空を作り出すことも、同じ器具を使うことで経験される。なぜなら、球が強く加熱されて蒸気で満たされているとき、球を水で満たす通常の方法は、それを冷たい水に浸すことである。そのとき、冷却は球の中に含まれている蒸気を凝縮し、蒸気は非常に小さいスペースへ収縮して、球の中に真空を残す。そして、注ぎ口の開口部は非常に小さいので、他の方法で水を入れることはできないであろうが、外気の圧力により、開口部から冷水が直ちに球内へ押し込まれる。

この器具の動作の真の原則は、それを記述した古代の著者たちにはほとんど理解されていなかった。火の上に置かれたときにそれから噴出する蒸気は、水の分解によって作られる空気であると一般に考えられていて、ある人たちは、このエオリパイルを炉に送風するために使うことを提案した。

運動を生み出すために蒸気を使うという最初のアイデアは、エオリパイルから流出する流れを用いようというものであった。紀元前 130 年のアレクサンドリアの哲学者ヘロンの著作では、古代人が力学の主題に関して持っていた知識のいくつかの考えが記述されている。「スピリタリウム (Spiritarium)」と題する彼の著書の一つでは、空気と水の圧力で動作する多くの機械が記述されている。しかし一般に、それらは実用に供するというより、好奇心に基づくものである。(その著書の) 命題 50 と 71 のなかで記載されている二つの器具は、密閉された蒸気または加熱された空気の噴出により動かされるものである。これらの最初のものは、蒸気が花瓶または骨壺のような形の容器の中で生成され、直立した管を通して上へ上っていく。その先端の注ぎ口は水平に曲がり、そこに、その注ぎ口を軸として回転できるように取り付けられた回転球が、取り付けられている。こうして蒸気が球の内部へ導入され、2 本の突き出たアームを通して、(横に曲がった) その先端から空気中へ流出し、その蒸気の流出により球は花火の車輪と同じように回転する。これらの考案品は実際の用途に用いられるような性質のものではなく、それらは哲学的な玩具と見なされなければならない。

(p.82) ローマ帝国の衰退に続く無知と迷信の暗黒時代の間、ヨーロッパではすべての芸術と科学が無視されていた。古代の哲学者の書物の小さな遺物は修道士らにより保存され、彼らはその真の意味を理解することなく、読んで複写した。しかし彼らはそれを、魔法、占星術、錬金術、論理などの彼ら自身の幻想に合うように、しばしば誤用した。このことからスコラ学派 (school) のばかげた教義が生まれ、それが長年の間人間の知性の行使を窮屈にした。学者たちの研究は、古代の人々がさまざまな主題について抱いた考えの発見に限定され、彼らは事実の探求を怠った。野蛮な無知が長く経過した後、一般大衆の職人により実践された有用な芸術や貿易が進歩し、科学が最初に培われたアラビアからヨーロッパへ、多くの発見が輸入された。次第に、スコラ学派の無駄な学習と哲学は評判が悪くなり始め、文明の進歩は、無学な人々によりなされたいくつかの重要な発明により促進された。それが、帆船の羅針盤、火器、航海術、建築、油絵、彫刻、印刷などの起源である。

これらの発明はヨーロッパの状態に大きなそして普遍的な革命をもたらし、そして世界のあらゆる地域で人類の状態を驚異的に改善した。

ヨーロッパの芸術と科学の復活は、ドイツとスペインの皇帝チャールズ 5 世、フランスのフランシス 1 世、イギリスのヘンリー 8 世、そしてイタリアの教皇シクストゥス 5 世の時代以降に遡る。数学、天文学、および航海術はこの頃から培われて大成功を収め、そして力学は多くの才能ある人々に好まれる研究になった。16 世紀の間のこの主題に関する主な著述家は、1555 年に死去したドイツのアグリコラ、1578 年のフランスのヤコブ・ベッソン (Jacob Besson)、1588 年のイタリアの アウグスティノ・レメリ (Augustino Ramelli) であった。彼らの著作には多種多様な機械の説明と銅版画が含まれていて、発明の大きなレディネス (readiness) を示しているが、機械学の数学的原理において非常に不十分である。これらの著作やそれほど注目されていないその他のものを注意深く調べた結果、火または蒸気により動かされる機械のアイデアを、彼らが持っていたようには見えない。

2 17 世紀における哲学的発見

17 世紀の初めからヨーロッパのすべての国で実験哲学が、大いなる熱狂のもとで遂行された。大気圧から、および蒸気から力学的パワーを引き出す可能性が、何人かの才能ある哲学者の注意を引いたようであり、彼らは自然のさまざまな現象の原理を調べ始めた。そして、彼らが強力な作因 (agency) を探り当てたとき、その運用が人類に役立つような方法を考案することに着手した。これらの哲学者によって敷設された原理と、彼らの最初のアイデアとヒントとは、それ自身では便利な機械を作るには不十分であったにもかかわらず、下層階級の多くの勤勉な思索家に雇用を提供し、彼らは実践を理論と組み合わせることにより、彼らの労働を高次元の哲学者の労働と同等に有益なものにした。

(p.83) 言及するに値する最初の人物は、フランス国王ルイ 13 世の技術者兼建築家のサロモン・ドゥ・コー (Salomon de Caus) である。彼は、国王ジェームズ 1 世の娘と結婚した選帝侯パラティーナ (Electeur Palatine) の奉仕で、1612 年にイングランドへやって来た。ドゥ・コーは、プリンス・オブ・ウェールズのリッチモンドにある邸宅の庭園の装飾に雇われていた。そしてそこにいる間に、彼は遠近法の著作を著し、1612 年にロンドンで出版された。日時計作成に関するもう一つの著作は、1624 年にパリで印刷された。彼のもっとも重要な仕事は 1615 年のハイデルベルクでなされ、その後フランス語でパリで出版された。それは、下記の表題がつけられている。「運動する力と、有用で快適な種々の機械 (Forces, Mouvantes, avec diverses machines tant utiles que plaisantes)。サロモン・ドゥ・コー、王室の技術者兼建築家、1623、二つ折り判」

これは奇妙な著作であり、四つの要素、火、空気、水、および土の定義から始まっている。空気は冷たく、乾いた、そして軽い元素であると定義され、圧縮されて非常に激しい状態になる。続いて、彼は以下のように述べている。

「火によって水が空気中に吐き出されてその空気が閉じ込められるとき、その激しさは強大となる。例えば、直径 1 または 2 フィートで厚さ 1 インチの銅の球が、小さな穴から水で満たされて、空気も水も逃げられないように栓で強く止められているとき、その球を大きな火の上に置いたならば、それは非常に熱くなって、非常に激しい圧縮 (compression) を引き起こし、ベタード (城門破壊用爆発火器) のような音と共に、球はばらばらに破裂するであろう。」

定理 I : 要素の各部は時間がたつと互いに混ざり合い、それぞれはそれぞれの場所に戻る。

「この件に関して、ここに一つの例がある：銅の球形の容器の周囲をはんだ付けして閉じ、1 本の管を取り付ける。その管は下端が容器底面近くまで入り、他端は容器外へ出てストップコックが付けられる。また、容器の頂部近くに穴を開けて、それをプラグで塞ぐ。この容器に 3 ポットの水を入れることができる場合、中へ 1 ポットの水を注ぎ、穴を開いたままその容器を約 3 から 4 分間火にかける。それから容器を火からおろし、少し時間を置いて穴から水を注ぎ出すと、その水の一部が火の熱により蒸発していたことがわかるであろう。それから、前と同じように 1 ポットの水を注ぎ込んで穴とコックを閉じ、以前と同じ時間容器を火にかける。それからそれを火からおろして、栓を開かずにそのまま冷やす。そしてそれが完全に冷えた後その水を注ぎ出すと、その量は中へ注入したのと正確に同じ量であることがわかるであろう。このようにして、(最初の例で容器が火にかけられた時のように、) 蒸発した水は、二度目の例のように蒸気が容器内で遮断されてそれ自体が冷却されたとき、水に戻されることがわかるであろう。

これを示すもう一つの例は、一定量の水を容器に入れた後穴を閉じてコックを開き、容器を火にかけ

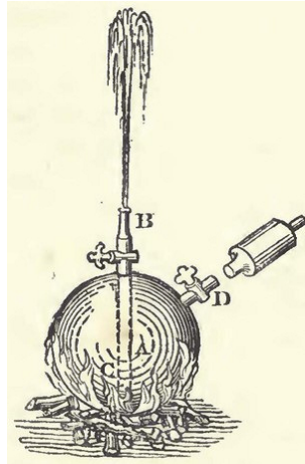


図1 ドゥ・コーの蒸気加圧噴水

てコックの下にポットを置く例である。そのとき、容器の水は火の熱によってそれ自身で上昇し、コックを通して流出するであろう。しかし、水を上昇させる蒸気の激しさはその水から生じているので、水の約 $\frac{1}{6}$ または $\frac{1}{8}$ の部分は無くなることはない。水が激しく流出した後、その蒸気がコックを通過して出て行く。また他の例として、生きている銀つまり水銀がある。それは液体の金属であるが、火により熱せられて蒸気となって発散して、一時的に空気と混ざり合う。しかし、その蒸気が冷却されると、最初の性質の水銀に戻る。水の蒸気はかなりより軽いので、より高くまで上って行く」等々。

(p.84) 定理 II：私たちが知るかぎり、真空は存在しない。その限りで、アリストテレスの意見に従い、エピクロスの見解に反対する。

「水はその高さより高い位置へ上げるための五つの方法があり、それぞれの方法にいくつかの異なる機械がある。

- (1) 真空を嫌うことにより。
- (2) 水自身の適切な手段により。
- (3) 火の助けにより。
- (4) 空気により。
- (5) 人または馬の力でさまざまに構成され動かされる機械により。」

彼はこれらのそれぞれについて、例を挙げ図で示している。

定理 III：「真空の欠乏により水が上昇するとき、それはそのレベル以下に下降するためである。」

定理 IV：「水はそれ自身がその水位以下に下降しない限り、それ自体の適切な手段で上昇することはできない。」

—これら二つの定理は、サイフォンの例を用いて示されている。

定理 V：水は火の助けにより、その高さより高い位置へ上げることができる。

この項目について、その著者は次のように説明している。

「水を上げる第3の方法は、火の助けによるものであり、それによってダイバー機械を作ることができる。私はここでその一つを説明しよう。すべての部分で良好にはんだ付けした銅の球 A を考える。中へ水を入れるための通気口 D を設け、また、球の頂部に管 B C をはんだ付けする。その管の下端 C はその底に触れない

程度に接近させる。この球を通気口から水で満たした後、それを閉じて火にかける。そして熱がその球を打ち、すべての水を管 BC を通して押し上げるであろう。」

これがドゥ・コーが蒸気の利用について我々に残したことの全てである。彼の書籍の残りの部分は力学的パワーに関する定理や多くの問題を含み、揚水、水時計 (clepsydra)、自動演奏器、およびオルガンなどの、さまざまな機械を説明している。その 12 番目の問題は、それ自体で動く機械を作ることである。これは、ある量の水が入り残りの空間が空気で満たされた容器の外面に太陽光の熱が作用することにより動作するものである。その空気は熱により膨張して容器から水を追い出し、円筒形の管の中へ押し上げる。その管内には軽い銅の球が浮いて上下し、このフロートが細い糸により小さな軸を回すように作られている。その軸の端には指針が取り付けられ、時計のように円形の文字盤に描かれた目盛りを指示している。この機械は指針の動きにより気候の熱を示すために提案されたものであり、事実上の空気温度計である。

ドゥ・コーは、太陽の熱で水を上げる機械でも同じ原則の適用例を示している。彼はこれを連続噴水と呼び、それはスペインやイタリアのような暑い国では大きな効果を持つであろうと言っている。この機械は、約 1 フィート角の銅製の立方体の容器 4 個で構成されている。それら容器は横一列に並び、1 本の配管がそれらの上を通り、分岐管がそれぞれの容器の中へ下りて底近くへ達している。この管はその水を汲み上げて、高所の水槽へ導くためのものであり、そしてその端部には弁が付いていて、水を上向きに通過させて逆に戻れないようにされている。容器はすべて、その深さの約 $\frac{1}{3}$ まで水で満たされている。その水は、4 個の容器すべての下を通る配管により、上へ分かれてそれぞれの容器底へ繋がる分岐管を通じて供給される。この配管の他端は、水を引き上げる泉の水に浸けられ、上方へ開く弁が取り付けられていて、水は上に上がることはできるが、逆戻りできなくなっている。その機械の動作は前述のものと類似であり、日中の太陽の熱により濃厚となった 4 個の容器の中の空気が、その中の水を上の分岐管と弁を通して押し出し、高所の噴水の水槽へ送る。夜間では、その空気は冷えて元の体積に戻り、下の分岐管と弁を通して、泉から淡水が容器内へ引き込まれる。別の問題として、彼は天日取りレンズ (凸レンズ; burning glasses) により、太陽光の効果を高めることを提案している。

(p.85) この機械は独創的ではあるが、実際に使用されるほどの十分なパワーを持たないであろう。しかし、その装置は非常にうまく配置されていることで、注目に値する。もし、その発明者が、空気の代わりに彼の最初の定理に従って蒸気を用い、そして太陽の熱の代わりに火の熱を用いることを考えていれば、それは揚水のための良い機関となっていたであろう。しかし、その動作原理と装置の適切な形態が、この著書の中で共に記載されているにもかかわらず、そのような応用がなされるまでには多くの年数が経過した^{*1}。

*1 サンダーソン (Sanderson) 編集の "Rymer's Foedora", vol. xix, p.239 に、内閣の宮内官の一人のデイビッド・ラムゼイ (David Ramseye) 殿への、チャールズ 1 世による 1630 年の特許または特別領事のコピーが掲載されている。それは、彼が発明したと述べている以下の発明を實踐することに関するものである。

- (1) 広さ 4 エーカーの開いた土地で、我が領土に供するに十分な硝石を増殖生産すること。
- (2) 火により低い立坑から水をくみ上げること。
- (3) 風、重り、馬の助けを借りずに、あらゆる種類の水車を溜まり水の上で継続的に動かすこと。
- (4) この王国でこれまで使われていた織り機や市に他の方法を用いずに、あらゆる種類のタペストリを作ること。
- (5) 強い風と潮に対抗して進むボート、船、はしけを作ること。
- (6) 土地を通常よりも肥沃にすること。
- (7) これまで使用されていない新しい方法により、低地、鉱山、炭鉱から水をくみ上げること。
- (8) 硬い鉄を、この王国では使われていない程に、銅のように柔らかく、強靱にすること。
- (9) 黄ろうを非常に高速に白色にすること。

排他的特権は 14 年の期間とし、特許権者は王に、年間 3 ポンド 6 シリング 8 ペンス 支払うこと。1630 年 1 月 21 日付。

このラムゼイ氏は卸売プロジェクターであったようであり、彼はチャールズ 1 世から発明に対する他の助成金を受けていた。彼が火によって、どのようにして低い立坑から水を上げようとしていたのか、記録されていないが、1615 年に サロモン・ドゥ・コーにより書かれて 1623 年に出版された本から、借用されたものであったことは、非常に可能性が高い。

サロモン・ドゥ・コーは、彼が住んでいた時代を考えると、非常に正しい考えを持っていた発明家であり、彼の他の作品は、力学や水力学に対する知識に並んで、幾何学、天文学および音楽についての深い知識を示している。彼は、ディエップ (Dieppe) 出身の同じく技術者で建築家であったアイザック・ドゥ・コー (Isaac De Caus) とは区別されなければならない^{*2}。アイザックは二つ折り判の著書「水により動く機械により、水源以上に高く揚水するための新しい発明、およびその動作の説明 (Nouvelle Invention de Lever l' Eau plus haut que sa Source, avec quelque Machines mouvantes par le Moyen de l'Eau, et un Discours de la Conduite d'Icelle)」を表している。この著書には日付がないが、しかしその本文からすると、それはサロモンの 1623 年の本よりも古いようである。確かにサロモンはアイザックの第二の改良版のすべての特徴を持っていて、両方に記載されている図面と機械は全く同じである。動く力に関する章があり、両方とも太陽熱による継続的な噴水を含んでいるが、火により揚水することに関する定義と定理が含まれているのは、サロモンの著書の中だけである。サロモンの図版ははるかに良好に製版されていて、そしてその全体は、アイザックのものよりもはるかに優れたスタイルで製作されている。

蒸気の力を有用な目的に使用するという記録に残るその次の提案は、ロレット (Loretto) の技術者兼建築家であったジョバンニ・ブランカ (Giovanni Branca) によるものである。彼は、大きなエオリパイルから蒸気を噴き出して、車輪の周囲に固定された羽根に強制的に吹きつけることにより動作する、さまざまな種類の製粉機械を考案した。

ブランカは数多くの独創的な発明の著者であり、それらは彼が 1628 年にロレットの知事であったチェンチ (Cenci) 氏に捧げたものであり、翌年それらをローマで出版した。それは薄い四つ切り判であり、「アニメーション操作と同じくらい機知に富んで楽しい効果を生み出す、新しい形の機械および多くの工夫、Arichito の美しい図版付き。ローマ市民のジョバンニ・ブランカ、1629 年ローマ (Le Machine volume nuovo, et di molto artificio da fare effetti maravigliosi tanto Spirituali quanta di Animate Operatione, arichito di bellissime figure. Del Sig. Giovanni Branca, Cittadino Romano. In Roma 1629.)」

と題されている。この著書には、イタリア語とラテン語での記述と共に、63 枚の銅版画が含まれている。25 番目の銅版画に示されているエオリパイルは、燃えている木炭で満たされた火鉢の上に、人間の頭のような形の銅製の容器つまりボイラが置かれ、その口から、上掛け水車のようにバケットで囲まれた大きな水平車輪の円周方向へ、1 本のパイプが伸びている。これは水蒸気の強い吹きつけで高速で回転し、その運動を歯車でさまざまな機械へ伝達する。彼の提案した新しいパワーのいくつかの異なる応用が記載されている。つまり、火薬を作るために材料を粉碎するためのすり鉢 (mortar) と杵 (pestle)、およびそれを挽くための回転臼。バケットによる揚水、木材挽き、杭打ちなどのための機械類。等々。その著者は非凡の才能の人のようで、彼の発明は有用な作業を行うことを意図しており、そのいくつかはその後実際に用いられている。しかし彼がこのようにして蒸気から得たかもしれない力は、もし彼がそれを実際に実行したことがあるのであれば、全く取るに足りないものであったことがわかっていただろう。

(p.86) ウィルキンス主教は、1648 年に印刷された彼の「数学マジック」の中で、煙突の隅にエオリパイルを置いて車輪状のセールに煙道ガスを吹きつけることにより、肉をローストする串を回すことを記述している。しかし、彼はその後で普通のスモークジャックについて説明し、それをはるかに優れた機械であると呼んでいる。

蒸気は密度が非常に小さいので、それが動く速度が巨大であったとしても、衝突により生み出される最大限

^{*2} (訳注) Isaac De Caus(1590-1648) は Salomon De Caus(1576-1626) の弟である (en:Wikipedia)。

の効果は非常に微小である。エオリパイルまたは沸騰するやかんの口から出る蒸気の吹き出しは、非常に大きな力で飛び出しているように見えるので、一見したところでは、その力をより大きな規模で用いれば、自然の風の流れに代わって機械を動かすのに適用できると仮定されるかも知れない。しかし、さらに詳しく調べると、蒸気は普通の空気の比重の半分以下であるため、その動きは周囲の空気により大きな抵抗を受けて妨げられ、蒸気に含まれる質量つまり重さはほとんどないために、固形の物体に衝突したとき、その勢い (impetus) つまり震動 (concussion) により、なんら影響力のある力を伝えることはできない (p.19 を参照)。また、水蒸気の力はそれが含む熱に完全に依存していると考えねばならず、そのため、その熱がそれ自身で空気中または周囲の物体へ散逸するのに比例して、蒸気は凝縮し消失する。これは、これまでに例に挙げてきたやかんで見ることができる。注ぎ口の開口部でこのような活力を持つように見える蒸気は、数インチの距離で単なる霧になり、動きやエネルギーを失ってしまう。そして、もし蒸気の吹き出る流れが何らかの種類の羽根に向けられて衝突するならば、それから運動を取り出すという点で、蒸気はさらにより急速に凝縮するであろう。なぜなら、そのような羽根の物質は空気よりもより急速に蒸気の熱を吸収するからである。

これらの理由により、外気中での蒸気の運動からは何も期待できず、実際、蒸気の力の有用な応用はすべて、それを密閉容器の中で動作させることによるものとなっている。

3 大気圧の発見, 1643

現代の蒸気機関の動作は、主として真空つまり何も無い空間を作ることに依拠している。昔の哲学者やスコラ学者は、すべての空間はある種の物体で満たされるものと考えていたので、真空は不可能だと言い、我々の空間の概念は物質の概念と不可分であると主張した。真空を作り出すためには、人間のすべての力あるいは悪魔さえをも超越した全能の手を必要とすると、彼らは頑なに固執していた。なぜなら、彼らが言うには、自然は真空に嫌悪を持っているのであった。このような考えが、アリストテレスの時代から現在の2世紀前までの考え方であった。これはもっとも学識のある哲学者たちの主流の意見であった一方で、彼らの信者たちの間では、不条理以外の何も期待できなかった。しかし、17世紀の中頃にアリストテレスの教義の残骸の上に真の哲学が確立され、その足取りを辿るとき、これらの原則が蒸気機関の中でいかに早く重要に使われ始めたかを見ることは、うれしいことである。

(p.87) あの著名なガリレオは初めて、真空に対する自然の嫌悪は部分的またはある限度内に限られているのではないかと疑った。イタリアのフィレンツェの大公フェルディナンド2世の別荘において、非常に深い井戸から水を引き上げるために設計されたポンプが、水を吸引しても32フィート以上の高さへ引き上げることができず、もしそれより高くしようとすると、管の上部は空隙となって残されることがわかった。この問題は、ガリレオに報告された。彼は、そのような予期しない結果の原因について一連の再考を行うようになり、1640年頃フィレンツェで多くの実験を行った。そのことは、スコラ学派の教義は根拠のないものであるとの彼の疑念を確認するのに役立った。1642年の彼の死の直前に彼が行った研究の過程から推測すると、何も物質のないあらゆる空間へ空気が入って満たそうとする継続的な圧力または効果の真の原因を、彼は発見していたであろうと推測できる十分な根拠がある。スコラ学者が自然の憎悪または嫌悪感と呼んだものは、単に地球の上に置かれている空気の重さの影響であろうと、彼は考えたのである。

ガリレオの研究は彼の弟子トリチェリにより続けられ、トリチェリは1643年に外部の大気圧を発見した。彼はその効果を、ちょうど自身が考案した気圧計により十分に示した。彼は1647年に死去したが、彼の発見のニュースはヨーロッパのすべての国に広まり、この興味深い主題はすべての哲学者の注目を集め始めて、数年のうちにすべての教育ある人々により一般に理解されるようになった。

フランスでは、フランスがかって生んだもっとも高次でもっとも独創的な天才であるブлез・パスカル(Blaise Pascal)が、気圧計を用いて最大の成功を収めた。アリストテレスの教義をもっとも敵意ある頑強さで維持していたイエズス会の、非常に偏狭な反対にもかかわらず、パスカルはトリチェリたちの発見した真理を確立することに成功した。パスカルは、1647年の流体の平衡に関する彼の研究を基に力学的パワーを発明し、それはその後、ブラマー(Bramah)氏により有効に実用化されて、水圧プレスと呼ばれるようになった。パスカルは、彼の発見と実験の説明を次の表題の優れた著書に書いている。「液体のつり合いと空気の重さについて(Traitez de l'Equilibre des Liqueurs, et de la pesanteur de la Masse de l'Air)、M. パスカル、パリ、1698年、12月」。それは、彼の死後まで出版されなかった。

ドイツでは、興味をそそるメカニズムの機器を好んで製作していたマクデブルクの裕福な行政長官、オットー・ゲーリケ(Otto Guericke)により、大きな発見がなされた。彼はポンプにより木の樽から空気を抜くという考えを思いつき、多くの失敗の後、真空を得ることに成功した。彼は、それ以前のトリチェリの実験については知らなかったが、1650年頃にその方法により大気圧を見出した。空気ポンプを用いた様々な実験により、ゲーリケは大気圧に関する非常に完全な知識を身につけ、また彼の前任者の誰よりもより力学的な素質を持ち合わせていたので、その大気圧の力で動くいくつかの強力な機械を考案して製作した。彼はこれら

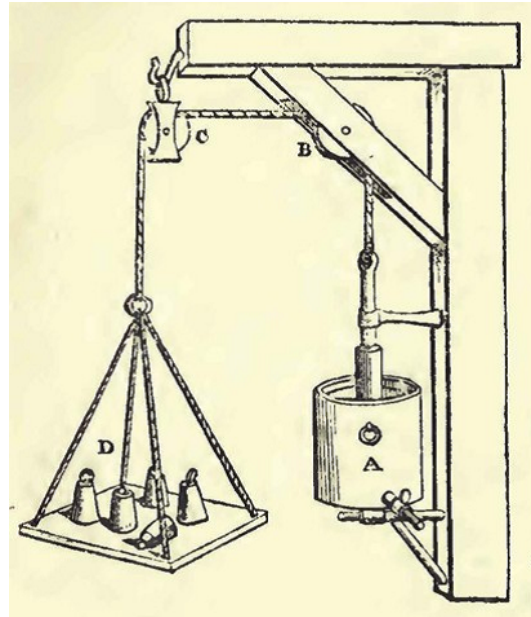


図2 オットー・ゲーリケの実験

を、1654年にラティスボン (Ratisbon ; レーゲンスブルク) の議会に召集されたときに、ドイツ帝国の王子の前で披露した。

(p.88) これらすべての機械の主演は小型の空気ポンプであり、それを用いて中空容器から空気を抜き取ることができた。ゲーリケはまた、大きな中空シリンダ A と、それに正確に合うピストンをも所持していて、小型ポンプでそのシリンダから空気を抜いたときに、ピストンを押す大気の重さにより驚異的なことが生じることを実験して見せた。ある実験では、このシリンダのピストンに強力なロープを結び、プーリ B C の上に渡して、そのロープの端に大きな重りを満載した秤 D に結び付けた。一人の人間が空気ポンプを動かすと、その重りはすべて地面から持ち上げられた。空気ポンプはシリンダの下部のコックまたは開口部につながれて、ピストンの下から空気を抜き取り、ピストンの上面に常に作用する空気の重量が、ピストンをシリンダの中へ押し下げて、ロープにより重りを載せた秤を引き上げた。

この実験は、大きなガラス球つまり瓶を用いるように変更され、その瓶のネック部にはストップコックがセメント付けられ、その口を自由に開閉できるようにされた。この瓶は空気ポンプで空気を排出されてコックが閉じられ、ポンプから外された。そして、コックの口が前述の大きなシリンダ下部の口に接続され、コックが開かれると、シリンダに含まれる空気の一部が急激に瓶の中へ移動し、瞬時にシリンダを部分的に排気して、ピストンの上の大気の圧力により重りを引き上げた。この方法ではすべての空気をシリンダから抜き出すことはできないので、部分的な真空だけしか得られず、そのため持ち上げる重りは前の場合よりも少なかった。しかし、その効果が瞬時に生み出されたので、それはより衝撃的であった。別の実験では、重りと秤がロープから外されて、20人の男性が雇われて全力でロープの端を引いたが、シリンダが排気されるとすぐに、ピストンの力が彼らを合わせた力を凌駕した。

同じ時にゲーリケにより実演された別の実験は、それ以来、マクデブルクの実験と呼ばれているものである。それは互いに密着する二つの半球を組み合わせて中空の球を作るものであり、それらの結合端は互いに非常に正確にはめ合うように作られ、その接合部の間に一枚の濡れた革が挟まれ、きつく締めつけられて空気の

侵入を防いだ。しかし、二つの半球は単純に重ね合わされて、繋ぎ止めるものは何もなく、その球内の空間から空気がポンプで引き出されているだけである。半球の外側の大気の圧力はその内側に残された圧力と不均衡になるために、二つの半球を一緒に固く固定し、それらを分離するには巨大な力が必要である。発明者がラティスボンで実演した半球は、それぞれ 12 頭の馬から成る二つのチームの力でも、分離することなく維持された。馬はハーネスで二つの半球に取り付けられて反対方向へ引っ張ったが、真空が続いている限り半球を引き離すことはできなかった。しかし、球に小さなピンホールが開けられて空気が入れられると、二つの半球はその自重によって分離された。これらの実験の説明は、ガスパール・ショット (Gaspard Schottus) により 1664 年に、著書「好奇心をそそる技術 (Technica Curiosa)」により出版された。その著者はその後、「オットー・ゲーリケ、いわゆる新しいマグデブルクの実験、真空空間 (Ottonis de Guericke, Experimenta Nova ut vocantur Magdeburgica, de Vacuo Spatio)、アムステルダム、1672 年」と題するラテン語の四つ切り判書籍を出版し、多くの優れた銅版画と共に彼自身の発明を発表した。

(p.89) これ以降、哲学者たちは流体と空気の圧力について正しく推論するようになった。パスカルとゲーリケにより作られた機械は、ピストンを備えたシリンダにより驚くほどの力の蓄積が可能になることを示したに違いない。それらの機械が新しい発見であった時期に、もし、それらがそれ以降に論じられてきた以上に多く議論されて、サロモン・ドゥ・コーにより敷かれた原理と組み合わせられたならば、疑いなく蒸気機関の発明に貢献していたであろう。

実験哲学の研究は、1626 年に死去したベーコン卿によりイングランドで始められた。しかし、それは、ボイル氏とフック博士の時代まで一般的には受け入れられていなかったようである。両氏は 1658 年にオックスフォードで空気ポンプを製作し、様々な改良と発見を行い、まもなく英国の哲学者たちの一学派を生み出し、1666 年に王立協会 (Royal Society) が設立された。

4 ウスター侯爵の火の水道設備, 1663

最初の実際の蒸気機関はウスター侯爵、エドワード・サマセット (Edward Somerset) ^{*3}により発明された。彼は、チャールズ 2 世の時代の 1663 年に、次のタイトルの小冊子を出版した。「ウスター侯爵の発明の名称と細部の世紀 (A Century of the Names and Scantlings of the Marquis of Worcester's Inventions)、(執筆 1659 年)」。

この小冊子は国王と議会に提出され、神秘的なスタイルで列挙した 100 件のプロジェクトを遂行するために、議会の奨励を得ることを視野に出版されたが、その発明を実行に移せるための十分な記述はなかった。火の機関の彼の記述は、その構造を明確に表すには簡単過ぎるが、それなりに正確であり、40 年前にサロモン・ドゥ・コーが「運動する力と、有用で快適な種々の機械」として出版したものとよく似ていた。侯爵はその本を読んでいた可能性が高い。

No. 68. 火の水道設備 — 「火を用いて揚水する素晴らしいそしてもっとも強力な方法 ; この方法は、哲学者が「球の中の活力 (intra sphaeram activitatis)」と呼んだ、(ある高さだけ) 水を引き上げたり吸い上げたりする従来の方法によるのではない。この方法は、容器が十分に強力であれば限界がない。私は一端が破裂した大砲の砲身を用いて、その全体の $\frac{3}{4}$ を水で満たし、破裂した端を止めてネジで閉めて点火口とし、その下を火であぶり続けた。24 時間以内にそれは爆発して大きな発射音を生じた。そのようにして複数の容器をその内部の力により強化し、一方を充填した後、他方を充填すると、水が絶えず噴水の流れのように 40 フィート高さまで噴出するのを私は見た。火により希薄になった容器 1 杯の水が 40 杯の冷水を押し出した。作業を行う一人の人は、容器一杯の水が消費されるように二つのコックを回すだけであり、他の者が冷水で再充填を開始し、これを繰り返す。火が常に一定に維持されるのであれば、上記のコックを回す操作の合間に、同一人が同じように十分に操作することができる。」^{*4}

この一説は確かに蒸気の膨張力により揚水する機関の描写を含んでいる。彼の記述では、蒸気に変換された一杯の水が 40 杯の冷たい水を 40 フィートの高さに持ち上げることができる。おそらく彼は、動く模型を用いて実際に実験しているであろう。

(p.90) 侯爵は彼の小冊子「発明の世紀」の最後で、別途後世のために書籍を残すと約束し、その中で、彼の発明を実行に移すための手段を各見出しのもとに図版を交えて説明するとして、締めくくった。しかし、この本は登場しなかったため、この小冊子によって彼の可能性を判断することしかできない。彼は、多くの知識を持つ創意工夫の人であったように見える。しかし、彼のこれらの発明の曖昧で謎めいた説明は、ドゥ・コー、パスカル、およびオットー・ゲーリケの著述とのもっとも際立った対比である。侯爵は、世界に驚嘆を巻き起

^{*3} (訳注) 第 2 代ウスター侯爵エドワード・サマセット (1603-1667)

^{*4} (原文) No. 68. A fire water-work. — "An admirable and most forcible way to drive up water by fire ; not by drawing or sucking it upwards, for that must be as the philosopher calleth it, *intra sphaeram activitatis*, which is but at such a distance. But this way hath no bounder, if the vessel be strong enough ; for I have taken a piece of whole cannon, whereof the end was burst, and filled it three-quarters full of water, stopping and screwing up the broken end, as also the touch-hole, and making a constant fire under it ; within twenty-four hours it burst, and made a great crack ; so that having a way to make my vessels, so that they are strengthened by the force within them, and the one to fill after the other, I have seen the water run like a constant fountain stream forty feet high : one vessel of water, rarefied by fire, driveth up forty of cold water. And a man that tends the work is but to turn two cocks, that one vessel of water being consumed, another begins to force and refill with cold water, and so successively; the fire being tended and kept constant, which the self-same person may likewise abundantly perform in the interim, between the necessity of turning the said cocks."

こすこと以上に、世界を教育する意図は持っていなかったようであり、そして彼の発明の有用さと重要性に関する彼の賞賛は、最高度に法外なものである。貴族の愛国心に基づく交信というより、自己宣伝している商人の吹聴に似ている。ウスター侯爵は確かに立案者であり、公共の奨励に対する志願に際して非常に執拗であり、神秘的であった。彼の本の序文でのいくつかの表現から、彼は既に、彼の計画により自身の財産を使い果たしており、議会の援助により彼の状況を取り戻すことを望んだものと結論づけることができる。

高貴な発明家は、彼の目的において成功したようにも、また、彼の主題に対して公的な奨励が与えられたようにも見えない。彼はその序文の中で、いくつかの水指令機関 (water commanding engine) に対して、議会の報酬が与えられたと告げており、その機関について、四つ折り判 22 ページの小冊子の中で尊大な説明を出版している。その冊子の表題は、「(称賛敬服に値する) エドワードサマセット閣下侯爵ウスター卿により発明され、主君である尊厳王チャールズ 2 世に捧げられた、もっとも驚くべき水上指令機関の正確で真の定義 (An exact and true definition of the most stupendous water commanding engine, invented by the Right Honourable (and deservedly to be praised and admired,) Edward Somerset, Lord Worcester marquis, and by his lordship himself presented to his most excellent Majesty King Charles the Second)」であった。立案者としての彼の性格と、そのような気質の人々が日々さらされている多くの失敗は、彼に対する偏見を引き起こして、おそらくそのことが彼のプロジェクトに対するすべての関心を妨げた。

沸騰する水の蒸気は火薬の力に等しい力を及ぼすことができる、と述べた発明が無視されたことは驚くべきことと思えるが、この冊子「発明の世紀」の中の多くの事項は手品の早わざ的なスタイルであり、蒸気以外のその他の事項は確立された科学のあらゆる規則に反反していて絶対に不可能であることを考えると、そのすべてが無視されたことは驚くことではない。たとえば、その「発明の世紀」の 99 番は次のとおりである。「1 ポンドの重りで 100 ポンドの重りを 1 ポンドの重りが落ちると同じ高さへ上げ、なおかつ、100 ポンドの降下で 100 ポンドが及ぼす以上の効果を生み出す方法」*5。同じ特徴のものが他に 3 ないし 4 件ある。

これらのプロジェクトは真の科学が経験主義に取って代わり始めた時期に出版された、ということも考慮する必要がある。なぜなら、「発明の世紀」はポイル氏、フック博士、ウォリス博士、クリストファー・レン卿、アイザックニュートン卿、およびその他の計算や力学の独創的な部分に同様に熟練した人たちの時代に、王立協会が設立された直ぐ後に登場したのである。

これらの状況は、「発明の世紀」がなぜ冷たく受け取られねばならなかったのかを十分に説明しているし、その蒸気機関は、それに付随していた不思議さと誤謬のために不明瞭である、と宣告されたと結論することができる。

火の機関は彼の「発明の世紀」に含まれる唯一の価値ある発明であると述べることは、ウスター侯爵の名声に対して公平ではない。逆に、彼の時代以降にいくつかのものが再発明され使用されてきた。例えば、速記記述法、電信、浮く浴槽、言葉をしゃべる像、御し難い場合に馬を取り外すことのできる馬車、コンビネーション鍵、盾形紋地の秘密の鍵、キャンドルの鋳型、彼の奇抜なドア、やすりがけ機、砂利機関、等々。

他のものはまだ完成されていないが、その大部分はとても信じられない不思議なものである。彼の火の水道設備の明示的な説明以外、何も公表しなかった方が、我々の高貴な著者の名声のためには望ましかったであろう。彼は、他の発明がなかったとしても、その火の水道設備によって彼の名前を不滅のものにしていたであろう。

*5 (原文) "How to make one pound weight to raise an hundred as high as one pound falleth, and yet the hundred pounds descending doth, what nothing less than one hundred pounds can effect."

5 サミュエル・モーランド卿の火の力の原理、1682

(p.91) 引き続いて、蒸気機関の発明者の間で記録に値する次の人物は、サミュエル・モーランド卿である。彼の父親はチャールズ 2 世の熱心な支持者であり、その国王の亡命中に行った奉仕により、准男爵に列せられた。その息子は彼の時代では著名な人物であり、船のドラム・キャブスタン、言葉を話すトランペット、プランジャー・ポンプなど、多くの独創的な発明が彼によるものとされた。1680 年に彼は国王チャールズ 2 世に Master of the Works に任命され、翌年、フランス国王ルイ 14 世のための水道事業を行うためにフランスへ派遣された。

フランスにいる間の 1683 年に、彼は次の表題のフランス語の小さい本を書いた。「あらゆる種類の機械による揚水、測定、計量、つり合い。枢密院室の一般紳士、そして大英帝国国王の機械学の師である、シュバリエ (勲爵子)・モーランドによりフランス国王陛下へ献上 (Elevation des Eaux, par toute sorte de Machines, reduite à la Mesure, au Poids, et à la Balance. Présentée à sa Majesté très Chrestienne, par le Chevalier Morland, Gentilhomme Ordinaire de la Chambre Privée, et Maistre des Méchaniques du Roi de la Grande Bretagne)、1683」。この本は、大英博物館の Harleian Collection に写本として保存されていて、それはベラム (上質皮紙) に書かれていて、わずか 38 ページで構成されている。それは寸法と重さ、シリンダの内容積と様々な水柱の重さを計算するための定理、異なる水柱の圧力を維持するために必要な鉛パイプの厚さの表を含んでいる。また、ヘロンの噴水と呼ばれる水力学的機械つまりクレムニッツ機械のスケッチと簡単な説明も含んでいる。クレムニッツ機械は、下降する水柱が空気を圧縮してある容器から別の容器へ押し出し、そこからそれは別の水柱を追い出して、元の供給源よりもさらに高いレベルへ押し上げるものである。

蒸気機関に関する章は最後の 4 ページだけを占めていて、下記はその翻訳である。

「1682 年にシュバリエ・モーランドにより発明され、1683 年に彼がフランス国王陛下へ献上した新しい火の力の諸原理：火の力により水が蒸発されると、これらの蒸気は以前に水が占めていたスペースの約 2000 倍の大きなスペースを必要とし、常に閉じ込めておくには強い力を要し、大砲をも破裂させるであろう。しかし、静力学の規則に従って制御され、科学により明確化されて、測定され、計量され、つり合わされると、それらは良馬のように平和的にその荷重を支え、人類にとって、特に揚水の用途にとって非常に有用なものとなるであろう。次の表は、水を半分満たした種々の直径と深さのシリンダにより、高さ 6 インチへ 1 時間に 1800 回上げることができる重量 (ポンド) を示している。」

(p.92) この説明はあまり明瞭でなく、また、シリンダがどのように使用されるのかも示されていないが、サミュエル卿がウスター侯爵と同じ基礎の上に立ち、水が蒸気シリンダに導入されて蒸気の膨張力によりそこから排出される、ということ在意図していた可能性がもっとも高い。彼は自身のシリンダにピストンを使うことについてのヒントも与えていないし、大気の圧力についての暗示も行っていない。この表の彼のシリンダの深さはその直径の 2 倍であり、その最大のサイズは直径 6 フィート、深さ 12 フィートである。6 インチの高さへ毎時間 1800 回上げるとは、 $\frac{1}{2}$ フィートの行程を毎分 30 行程、すなわち毎分 15 呎フィート = 16 英フィートの運動を行うことになる。直径 2 フィートで深さ 4 フィートのシリンダは 120 ポンドを上げると述べられていて、毎分 16 フィートであるので、それは、毎分 1920 ポンドを 1 フィートへ上げることになる。これは一人の人間のパワーの半分にしかない。他のシリンダはすべて、同じ比率で計算される。これより、彼の方法がどんなものであったとしても、我々の現在の機関と比較して、それは非常にわずかな効果しかもたらせなかったであろう。

表 1 モーランドによるシリンダ寸法と揚水量 (1800 回/h)

シリンダ			揚水量
直径	深さ	個数	揚水量
ft	ft		lb
1	2	1	15
2	4		120
3	6		405
4	8		960
5	10		1875
6	12		3240
6	12	2	6480
		3	9720
		4	12960
		5	16200
		6	19440
		7	22680
		8	25920
		9	29160
		10	32400

モーランドがフランスでこの機関を提案したとき、彼はチャールズ 2 世の下で働いていたので、彼の計画は、彼が本国で期待していた励ましを受けなかった可能性がある。フランスにとどまっていた間に、彼は小冊子とほぼ同じ表題の作品を発表したが、それは火の力についての言及を含んでいない。「あらゆる種類の機械による揚水。新しいピストンとポンプ本体、および新しい楕円運動による測定、計量、つり合い (Elevation des Eaux , par toute sorte des Machines, reduite à la Mesure, au Poids , à la Balance , par le moyen d'un nouveau Piston et corps de pompe, et d'un nouveau mouvement Cyclo Elliptique)。シュバリエ・モーランド著。パリ、1685 年。四つ折り判」

その作者は 1681 年に、彼の主人であるイギリス国王チャールズ 2 世により、上水道の実現を指揮するために、フランスのルイ 14 世のもとへ派遣されたと述べている。彼は、セーヌ川の水量についてサンジェルマンで行われた多くの実験に関係し、種々の水柱の重さ、シリンダの容積などの表を与えている。

彼は、1683 年にサンジェルマンで展示したという、彼の新しいピストンとポンプ胴について説明している。それは外面が滑らかに作られた固体の円柱つまりプランジャーであり、ポンプ胴の頂部の革のカラーにフィットし、したがって胴は中ぐりする必要がなく、革のカラーを上下に通る固体のプランジャーの動きは、板製の胴つまり中空シリンダに装着されるピストンと同じ効果を生み出すであろう。この種のプランジャーポンプは今日、蒸気機関により鉱山の排水やその他の多くの有用な目的のために使用されている。彼の円周楕円運動 (cyclo-elliptical motion) は、回転軸上に固定された楕円車輪^{*6}によるものであり、クランクの代わりに、ポ

*6 (訳注) 現在のカム

ンプのピストンに往復運動を与える。

(p.93) この出版のすぐ後にモーランドは本国へ帰り、1696年に死去するまで裁判所の近くに住んでいた。有名なジョン・エブリン (John Evelyn) は、彼の日記の中で、1695年にハマースミス (Hammersmith) のサミュエル卿を訪問したときのことに言及し、サミュエル卿は年をとって盲目になっていたが、それでも彼の発明の才を保っていたと述べている^{*7}。サミュエル・モーランド卿はこの火の機関やプランジャー強制ポンプの他に、言葉を話すトランペットと2種類の計算機械などの他の機械も発明した。それについての説明を、彼は次の表題の下で出版した。「2種類の計算機械の説明と使用法、および算術の通常の計算を説明する短い論文、もっとも優秀な陛下チャールズ2世に捧げる。S. モーランド著、1662年」。この著作は非常に珍しいものであり、12枚の銅版画が描かれていて、その機械の種々の部品が示されている。

^{*7} 「1695年10月25日。大司教と私自身がハマースミスへ行き、サミュエル・モーランド卿を訪問した。彼は完全に失明していて、非常に残念な光景であった。彼は私たちに極めて独創的な彼の発明、手の感触で彼に伝える気のカレンダー、そよびミル類、ポンプ、その他の見事な有用な発明を見せてくれた。そして、彼の庭と客人に水を供給するために彼が作ったポンプには銘文が付いていて、近くのテムズ川の汚れた部分からもっとも完全に純粋な水を持って来る。」

6 パパンの発明、1688 および 1690

蒸気力で作動する機械の発明に取り組んだ哲学者の間で、有名なドニ・パパンはもっとも言及する荣誉に値する。そして、彼のプロジェクトはすべて出版されており、それ以前の者たちよりもより多く記録が残されている。パパンはフランスのブロワ (Blois) で生まれ、医師としての教育を受けた。彼は自国で医学の博士学位を得た後に、パリでいくつかの新しい実験を行い、イギリスへ移り、新しい研究に活動的に参加し、1680年12月に英国王立協会のフェローに選ばれた。彼はロンドンで数年を過ごし、そして空気ポンプの種々の実験でボイルを補助した。そのことは、英国王立協会の歴史とボイルの著書「物理力学の一連の新しい実験 (Continuation of Experiments Physico-Mechanical), 1682」に記録が残されている。

ロンドンに滞在した間にパパンは、現在も「パパンのダイジェスター」の名称で知られる装置を発明した。1681年に彼は、ダイジェスターの説明書を出版した。その中で彼は、ダイジェスターと呼ぶ密閉容器に水を閉じ込めて、熱を逃がさず蓄積するように蒸気を閉じ込めて蒸発を抑え、その中で動物の骨やその他の固形物を溶かす新しい方法について、種々の実験を記述している。それはパリでも、「骨を柔らかくし、短時間ですべての種類の肉を調理し、そして、ほとんどスポンを残さない方法。新しく発明された機械の説明と共に (Le manière d'amolir les os, et de faire cuire toutes sortes de viandes en peu de temps, et à peu de fraix. Avec une description de la machine nouvellement inventée)。パパン氏著。パリ、1682」として出版された。

同じ頃フックは、水は空気に開放しているときにはある温度以上に熱することができず、沸騰を始めると温度は一定値に留まり、加熱量は激しい沸騰 (ebullition) と急速な破壊 (waste) に費やされる、ということを観測している。しかし、パパンは、蒸気を閉じ込めることにより新しい効果が生じることを見出した。この実験の過程で彼は、沸点を更に超えて加熱したときの蒸気の膨張力に精通した。彼のダイジェスターに要求された巨大な強度と、蒸気力に抗して蓋が吹き飛ばされないように押さえた手段とを通じて、彼は強大な力が作用していることを知ったにちがいない。しかし、その時は、その力を機械的な力として用いることは思いつかなかったようである。

(p.94) ダイジェスターの構造は後年改良され、それ以来、調理用途に加えて化学および哲学の実験に大いに用いられている。

パパンは1683年から1687年の間、哲学的目的のために王立協会に雇用されたようであり、彼は空気力学 (pneumatics) の多くの新しい事実を証明し続けた。彼はカルピニストであったため、ナントの勅令の廃止 (1685) により母国へ帰ることができなかった。しかし、ヘッセン・カッセル方伯 (the Landgrave of Upper Hesse) によりドイツのマールブルクの数学教授に任命され、1687年にイングランドを去った。マールブルクで彼は何年にもわたって哲学の研究を続け、"the Acta Eruditorum of Leipsic" や "the Philosophical Transactions of London" などに論文を出し続けた。

1688年に、彼は "Acta" のなかで、配管に空気を通して水車の運動を遠くへ伝える方法や、火薬の新しい用途に関するプロジェクトを発表している。投稿された両論文とも、1686年と1687年に王立協会で見聞上げられていた。1690年の "Acta" では、火薬使用の先の論文の追加がなされている。この中で彼は、蒸気の使用を提案しており、これが蒸気機関の起源となっている。ラテン語のこれら三つの論文はパパンの発明の集積を含んでおり、確かに極めて有益である。その後、彼はそれらに少し追加して、フランス語の小冊子「いくつかの新しい機械に関する様々な作品のコレクション (Recueil de diverse Pièces touchant quelques nouvelles Machines)、D. パパン、カッセル、1695」を出版した。それは興味ある出版であり、著者の名声を大いに高めた。実用に役立つ結果への彼の強い思いを表すものとして、これらの論文は特に注目に値する。

配管に空気を通して水車の動きを遠距離まで伝達するパパンの方法は、非常に価値ある発明であるが、ほとんど用いられなかった。最初彼はその原理を、"the Philosophical Transactions for 1685", No. 173 に、揚水の新しい方法として分かりにくい方法で提案した。イギリスの学者によりこの問題の他の多くの解決方法が出版された後、彼は、離れた場所の鉱山の排水や高い塔へ流水のパワーを用いて揚水する用途へ応用する案を提案した。これは、"the Philosophical Transactions", No. 178 に記載されている。

ヴェルサイユ宮殿の水道の給水としてセーヌ川の水をポンプアップするマルリー (Marly) の機械は、その時期に更新されて、世紀の驚異となった。それは、川に設置した多数の水車から成り、その動力は伝導軸により高い丘の上まで伝えられ、川から $\frac{1}{4}$ マイル近く離れて設置された一連のポンプを駆動するものであった。ベルサイユへ給水するためにセーヌ川の水車の動力を伝えてポンプを動かすためには、既に用いられていた扱いにくい仕掛けの代わりに、パパンは、以下の方法を用いるよう提案した。

流れの力で回転するように川に設置した水車の軸にクランクを取りつけて、弁のない押し出しポンプのように作られた二つの大きな空気シリンダのピストンを動かし、そのシリンダの下端から遠距離の水を持ち上げる塔の下まで空気配管を導く。これらの空気配管の末端をいくつかに分岐させて、塔の異なる段に取り付けた多数の箱または容器に連結して、水をひとつの容器から次の容器へ順次揚水する。このために、各容器は下へ伸びる吸い込み管で直ぐ下の容器につながり、また別の吐き出し管で直ぐ上の容器につながっている。それらの配管にはすべて弁が取り付けられてあり、開いて水を上へ送り、閉じて下への逆流を防ぐ。

(p.95) そのねらいは、空気シリンダのピストンで容器内の空気を膨張・圧縮することであった。たとえば、一方のピストンが上へ上がるとそれに繋がった容器から空気が出て行き、その結果、吸い込み管で繋がった直ぐ下の容器から水を吸い上げる。ピストンが下がる時には、空気が押し出されて容器内へ入り、その容器からすぐ上の容器へ吐き出し管を通じて水を上げる。二つの空気シリンダからの空気配管は分岐管で分かれて異なる容器に接続し、一方のピストンが容器グループから空気を抜き出して直ぐ下の容器から水を吸い上げる時には、他方のピストンが空気を送って水を吐き出す容器グループに空気を送り込んで水を吐き出すようにする。したがって吸い込みと吐き出しの動作は互いに補助し合うことになる。

この独創的な発明は、用いた空気の弾性のためにその目的が達成できないことを見通していなかった。なぜなら、容器がシリンダからかなり離れた位置に置かれた場合には、空気シリンダのピストンが下へ下りたとき、長い配管に含まれる空気を圧縮できず、水を容器にから押し出すに十分な空気を送ることができず、一方、ピストンの上昇によっても容器に水を効率よく吸い上げるに十分な低圧を作ることにもできないであろうからである。

その後、パパンはその計画を何回か変更しており、フックや他のイギリスの哲学者の反論に答えている。1686 年には彼は王立協会へ他の機械を提案しており、その後 "Acta Eruditorum for 1688", p.644 に挿絵入りでその記述を出版している。

その方法では、水車 Q の軸のクランク P P により交互に動作する二つの空気ポンプ O に弁を取りつけて吸い込みポンプとし、交互に動かして鉱山に繋がる伝送配管 R R から空気を抜き取る。鉱山にはピストン G および H を備えた二つの大きなシリンダ I および L を置き、ピストンに取り付けたロープ E と F を、シリンダ I と L の上の水平軸 D D に数回巻きつけておく。

軸 D の中央位置に大きな車輪 A を取りつけ、コード (太いひも、細い縄) を巻いて、両端にバケットを取り付けて坑道の中へ垂らす。軸 D と車輪 A を最初ある方向へ、次に逆方向へ回転させると、井戸のバケットと同じように、坑道の中を空のバケットと満載のバケットが交互に上下し、水や鉱石を運ぶのに使うことができる。

この交互の動きは、以下のようにピストンから車輪と軸へ伝えられる。二つのシリンダのピストンに繋がる

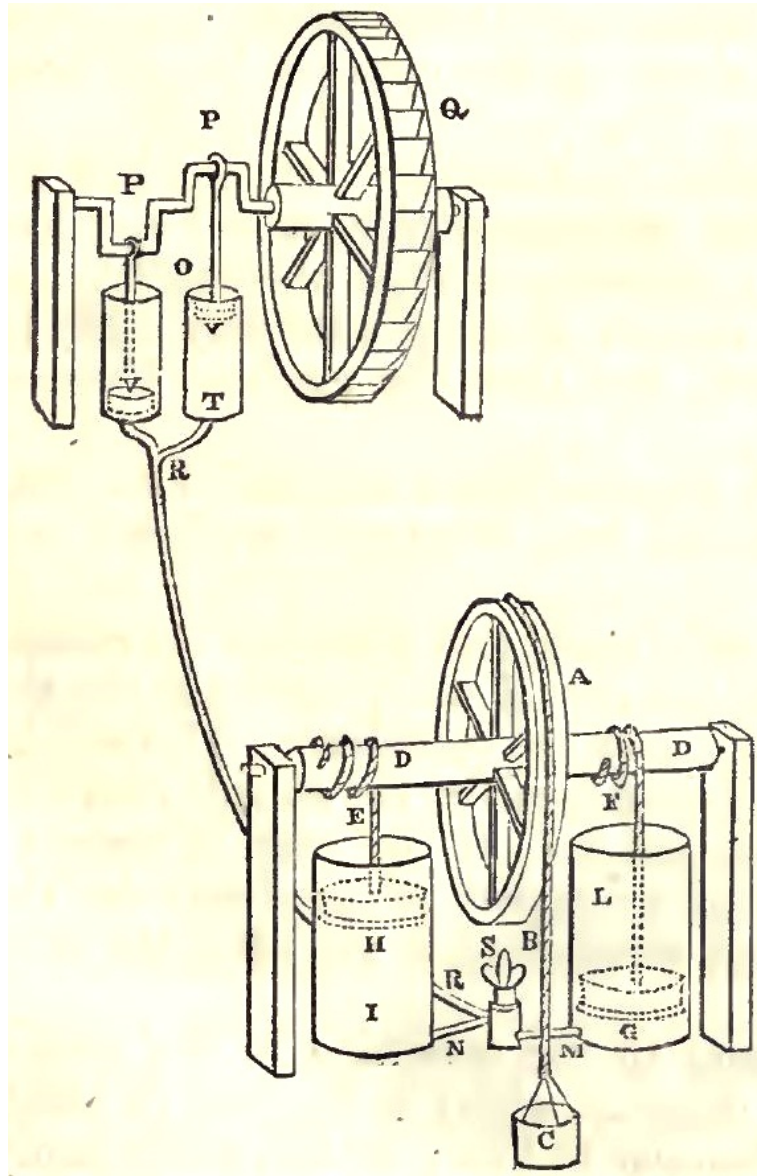


図3 空気圧で動力を伝送する装置

ロープはそれぞれの軸に逆方向に巻かれ、それぞれのピストンが下へ押されるときはそれぞれのロープを引いて軸を回し、他方のロープを巻き上げてそのシリンダのピストンを引き上げる。一本の伝送配管 R R が水車の場所にある二つの空気ポンプ O の双方と繋がり、その伝送配管が鉱山に達した場所で二股の分岐管 N と M に分かれて、それぞれのシリンダに繋がれている。分岐部分に切り替えコック S が置かれ、これによりシリンダ I と L のいずれかが伝送配管 R R の空気に繋がり、他方のシリンダが大気圧下の空気に繋がれている。このコックを回すことにより空気の通路を交互に切り替えて、空気ポンプが伝送配管を介して一方のシリンダから空気を抜く時に、他方のシリンダへ大気圧の空気が自由に入ることになる。

(p.96) 空気ポンプ O は水車で連続的に動かされ、長い伝送配管 R R を通じて連続的な吸引により、離れた位置のシリンダ I と L から空気を排出する。コック S が回されると、それに応じてこれらのシリンダ I ま

たは L のどちらかから空気が排出されてそのシリンダのピストンの下に真空が形成され、大気の圧力が作用してそのピストンをシリンダの下方へ押し下げる。一端がピストンに取り付けられて他端が軸 D に巻かれたロープ E または F によりその軸と車輪 A を回し、車輪に付けられたコード B を引き上げて鉱山からバケツを持ち上げ、他方を降ろす。一方のピストンの降下の間、コック S は他方のシリンダへ大気圧の空気を繋ぐので、そのピストンはフリーとなってシリンダの上方へ引き上げられる。下側が真空となっているピストンがシリンダの底に届く時、他方のピストンは軸に巻かれたロープによりシリンダの頂部へ引き上げられている。この状態でコック S が他方へ回され、ピストンが頂部にあるシリンダから空気が排出され、ピストンが底部に来ている他方のシリンダへ空気が入れられる。これにより前者のピストンが下方へ押され、軸と車輪をそれまでとは逆の方向へ回転させ、鉱山から他方のバケツを引き上げる*⁸。

このようにして軸を常に交互に回転させ続け、水車の動力が伝送配管により任意の必要距離を伝えられ、種々の大きさのシリンダを用いることにより、必要な力と速度で動作させることができる。ピストンの運動によりコックを必要な瞬間に回すことも容易にできるので、機械は自動的に動作するようにもできる。

動力源からある距離離れた場所でその動力を作用させるという、このような簡単で有効な方法が、長い間気づかれずに無視されてきたことは、むしろ驚くべきことである。

このパパンの方法は、他の有益な目的に応用することもできる。しかし、コインの刻印等のように、ピストンを迅速な動きで引かねばならない場合には、空気配管の端部は(切り替えコック S へ繋がる前に)シリンダに隣接する別の空気容器を設けて繋がねばならない。これは空気ポンプで排気される必要があり、十分な容量を持っていれば、コックが開かれた瞬間、ピストンの下の空気がその中に流れ込むことになる。一方、この空気容器がない場合には、空気はポンプで徐々に排出されることになる。もし、伝送配管が太い径で作られていれば、それは空気容器と同じ効果をもたらすであろう。

蒸気機関の発明に関するパパンの資格という主題に戻ると、彼はイギリス滞在中の 1682 年に、ダイジェスタを用いた実験により蒸気の弾性に極めて習熟したことを見た。また、揚水の仕掛けに火薬の力を用いる多くの試みをしたことも見た。イギリスを去る直前の 1687 年の王立協会のテーマとしていくつかの実験をしているが、火薬により目的を達することができなかつたので、それ以降、代わりに蒸気を用いるようになった。

(p.97) 1687 年の火薬を用いるパパンの計画は、実際に役立つものではなかつた。成功していないことは分かっていたが、他の国の者が完成することを期待するためだけに、それを出版した ("Acta Eruditorum for 1688", p.497 を参照)。彼はピストンを備えたシリンダを採用するように提案し、このピストンに取りつけた棒にロープを結んで、プーリを介してロープの他端に持ち上げるべき重りを取り付ける。シリンダから空気が除去されると、ピストンの上の大気圧の空気の圧力で重りが持ち上がることになる。パパンはこのようにしてオットー・ゲーリケに従い、ただし、空気ポンプでシリンダを排気する代わりに、シリンダ内の少量の火薬の爆発で空気を排出することを提案した。ピストンには大きな穴を開けて、それを上方へ開く弁で塞いだ。火薬の爆発による火炎の爆風により弁が上に開いて、穴から空気を追い出すであろう。火炎がやんだとき弁が下りて空気がシリンダに入るのを防ぐため、ピストンの上の面の大気圧は直ぐ下の少なくなった空気の圧力とはつり合わず、ピストンを強い力で下へ押すであろうと彼は考えた。

パパンは、彼が試みた 2 種類のモデルの機械について述べている。その一つは、直径 5 インチで高さ 16 インチである。彼が言うには、シリンダの中からすべての空気を追い出すことはできず、約 $\frac{1}{5}$ が残り、そのことにより、全て排出できたとしたときの $\frac{1}{2}$ の力に減少した。

*⁸ (訳注) 図には、車輪 A に巻かれているコード B とバケツ C は片側だけしか描かれていない。本文の説明では、この反対側に同様のコードとバケツが吊るされていることになっている。

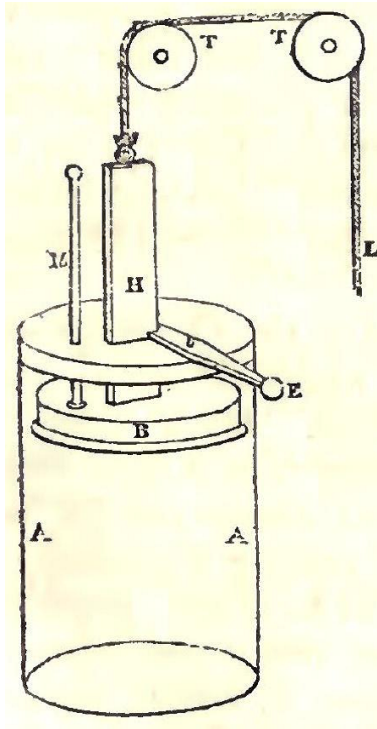


図4 パパンの蒸気機関の模型

パパンは、"Acts for 1690", p.410 のなかで、先の論文の追加を出版している。火薬によりシリンダの中を完全に真空にすることは不可能であると分かったので、水を用いて目的を達成するよう試みたと述べている。「水は蒸気になるときに空気のような弾性を持ち、その後冷却して十分に再凝縮すると、この弾性力を全く示さなくなる。」と彼は述べている。彼が提案した機械は薄い金属で作られたシリンダ A A であり、その中にピストン B がそれに密着して滑って自由に上下するものである。少量の水をこのシリンダの底に入れて、ピストン B を水に接するように載せる。その間の空気はピストンの小孔を通じて排出した後、栓 M で小孔を塞ぐ。シリンダの底に火を当てて中の水を加熱すると、底は薄い金属でできているので、間もなく水が沸騰して蒸発する。水は蒸気になり、ピストンの下に強い圧力を及ぼして大気圧を上回るので、ピストンをシリンダの頂上まで押し上げる。そこでラッチ E をピストンの柄 H のノッチへ入れて、下へ下がるのを防ぐ。シリンダの下から火を取り除くと、薄いシリンダの中の蒸気は冷却されて間もなく再凝縮し、シリンダの中は全く空気のない状態となる。この状態で、機械は力を発揮できる状態となっており、ラッチ E をはずせば、ピストンの下には空気がなくなっているから、ピストンの上に作用する空気の重さによりピストンはシリンダの中を下へ押されるであろう。そして、ピストンの柄 H に結ばれたロープ L が、プーリー T T を介して重りを持ち上げるであろう。

(p.98) 大気圧蒸気機関の原理は、後年参照されることになるこの粗末な機械で示されている。その著者は、直径 $2\frac{1}{2}$ インチのシリンダで実験し、60 ポンド (つまり、 $12\frac{1}{4}$ lb/in² の圧力) を持ち上げることができ、これを 1 分間に 1 動作反復することができた、と述べた。このデータから彼は、直径 2 フィート少々で長さ 4 フィートのシリンダを用いると、8000 ポンドの重りを毎分 4 フィートの高さへ持ち上げることができ、これは 32000 ポンドを毎分 1 フィート持ち上げることになり、現在の 1 馬力または $8\frac{1}{2}$ 人に近い値であると計算した。

パパンは、彼の発明は鉱山の排水、爆弾の投射、風や潮流に逆らった船の推進に応用できると述べている。最後の目的に対して彼は、回転するパドルつまり外輪を舷側に取りつけ、その軸に彼の発明したシリンダを3、4台取り付け連続的に回転する方法を提案した。この運動を軸に伝えるために、シリンダのピストン柄に歯(ラック)をつけ、一方のパドル輪軸には小さなピニオン歯車を取りつけて、大気の圧力がピストンをシリンダの中へ押し下げるときは常に、ラックがピニオン歯車にかみ合うようにした。いくつかのシリンダを取り付けることにより、一つのシリンダが作用している間に他のシリンダを暖めて、順次動作させることにより、軸と外輪に途切れない運動を生じさせる。外輪軸のピニオン歯車には、腕時計のリューズと同様のラチェット・クリック機構を用いて、シリンダの中でピストンが上昇するときには、軸の回転と反対方向へ自由に回転できるようにする。しかし、ピストンがシリンダの中へ下降するときには、クリックがピニオン歯車の中のラチェットを捕まえて、外輪軸を回転させる。

このプロジェクトの1695年のリプリント版の中で、その著者は、新たに考案した炉と回転式ふいごを記述している。彼はそれを、全周を水で囲んだ内部の火床で水を沸騰させる目的で考案し、彼が提案したシリンダの加熱に適用すると、毎分4行程行える程度に動作を速くすることができると説明している。この独創的な計画の全ての部分は現代の蒸気ボートで実現されているが、彼が述べた寸法のシリンダは、今では彼が計算した力の20倍以上の力を作り出している。

パパンの小冊子「様々なコレクション」の説明は、"Philosophical Transactions for 1697", No. 226, vol. 19, p.481 に印刷されている。蒸気機関に関する部分は次のようになっている。

「4番目の書簡では、(空気ポンプとシリンダを空気配管でつなく) 前述の機関に適当な河川が使えない場所で、鉱山の排水を行う方法が示されている。1687年の最初の計画のように、火薬でシリンダ内を真空にすることは適当ではないことに言及したうえで、彼は別途、少量の水をシリンダの底に入れて火を用いて蒸気に変える方法を提案した。その蒸気はピストン(plug)をかなりの高さまで持ち上げた後、火を退けて蒸気が水に戻ると、ピストンは大気の圧力で下降して鉱山での排水に用いることができる。」

この発明は高度にパパンの功績であり、この計画を実現して効率的な機械を作るにはかなり多くのことが残されているが、哲学的な原理は完全に解明されている。パパンが彼の発明を何らかの有益な目的に適用したという記録はない。彼は実際家ではなかった。当時の、職人、水車大工や技術者は、彼らの日常の実務からかなり離れたアイデアを着想したり、多くの新しい思索を行う能力はなかった。パパンは、彼の計画の実現に使えるようなシリンダの製作が困難であることに言及しており、このシリンダの製作技術が確立される必要があると推奨している。

(p.99) 1709年の日付のその後の出版物の中で、パパンは1698年にある機械を製作したが、満足な試験をする前に、固定していた川を流れてきた氷により破壊されたと記述している。それ以降、彼は揚水する水の表面に直接作用する蒸気の膨張力に賛同して、大気圧のシリンダとピストンを用いるという原則を捨てている。この点では、彼はウスター侯爵に従っていた。しかし、パパンが1709年のこの機械を提案する数年前に、イギリスのキャプテン・セイヴァリが、蒸気で揚水する非常に完全な機械を発明して製作した。それは、蒸気の凝縮により作られる真空で水を吸い上げ、蒸気の膨張力で同じ水を高所に押し上げるという、両方の作用を交互に用いて動作する。パパンの提案したシリンダはその後完成され、イギリスの機械技術者により改良されてセイヴァリ機関を凌ぐこととなるが、セイヴァリの機関が実際に使われた最初の蒸気機関となった。

7 キャプテン・セイヴァリの蒸気機関, 1698

広くキャプテン・セイヴァリとよばれている^{*9}トマス・セイヴァリ氏は、1698年に新たな特許「火力により、揚水および水車場の全作業を行うための新しい発明 (for raising water, and occasioning motion to all sorts of mill-work, by the impellent force of fire)」を取得した。この特許は、ウィリアム III 世の治世の 1698 年 7 月 25 日の日付であった。当発明は鉱山の排水、町の給水および全種類の水車場の仕事に大いに有効であろうと述べられている。

当時、特許権所有者が自身の発明の明細を与えることは習慣となっていなく、特許が認められたときのセイヴァリの計画が何であったかの公的な記録はない。しかし、当時の哲学的出版物から次のような詳細を収集することができる。

1699 年 6 月に、彼は彼の機関の動作する模型を王立協会へ提示して、その年の会報 No. 253, vol. xxi に次のような記録が掲載された。

「1699 年 6 月 14 日、セイヴァリ氏は王立協会に対して、火の力により揚水する機関を実演展示した。彼は実験を行い、予想通りに成功し実証したことに対し、V.P. より感謝された。」

上記の会報には銅版画 (図 5、Plate I、Fig.1 を参照) と下記の描写が付けられている。

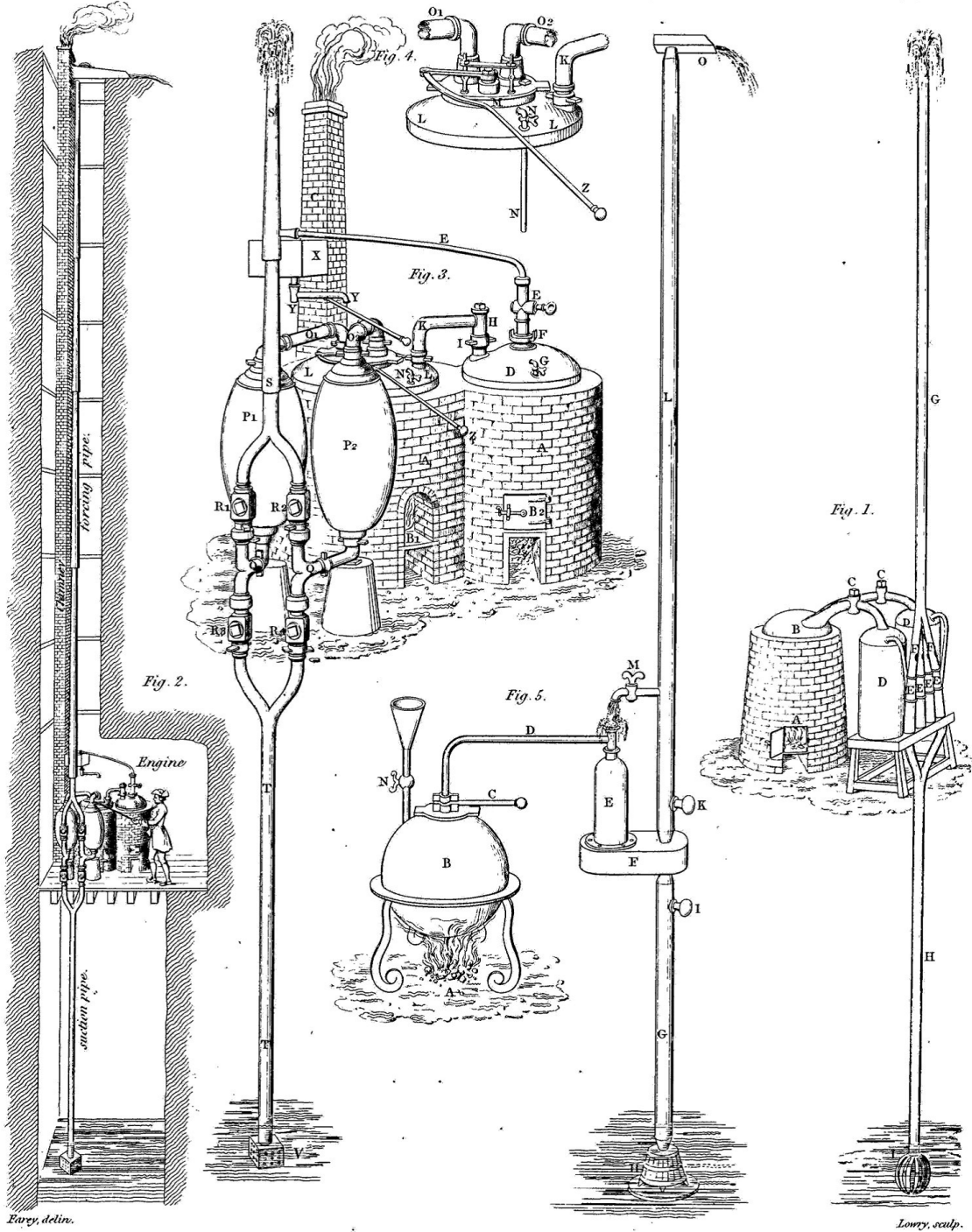
- A 炉
- B ボイラ
- C C 蒸気を容器 D D へ送るための二つのコック
- D D 底部ら水を引き上げ、頂部へ排出するための容器
- E E E E 弁
- F F 弁を洗浄時に水を保持するためのコック
- G 吐き出し管
- H 吸い込み管
- I 水

(p.100) 非常に不完全ではあるがこの描写から、セイヴァリ氏が示した機関は、ウスター侯爵のように蒸気の膨張力だけでなく蒸気の凝縮によっても揚水するものであり、水は最初、大気の圧力により井戸から容器の中へある高さだけ上げられ、その後、侯爵により提案されたのと同じ方法で、蒸気の膨張力により容器から押し出されて残り的高さ上げられることがわかる。

この動作は二つの容器で交互に行われるので、一方で真空が作られて井戸から水が吸い上げられるとき、他方では蒸気の圧力が作用して容器の中の水を押し上げる。しかし、容器には同じ吸い込み管と吐き出し管が繋がっており、この機関では連続な水の流れを保つことができる、または、ほとんど途切れずにほぼ均一な流れとなる。

デサグリエ (Desaguliers) は、セイヴァリが蒸気のを発見できたのは、一つの偶然のおかげであると述べている。なぜなら、彼は、宿屋で瓶一杯のフローレンスワインを飲みほして、その空の瓶を火の上にかざした。そして手を洗うために水鉢に水を入れている際に、瓶の中に残った少量のワインが蒸気となって瓶を上ま

^{*9} 彼は鉱山の排水のために雇われていたので、コーンウォールの鉱夫らからキャプテンとよばれていた。彼らの間では、技術者にキャプテンの呼称を付すのが習慣であった。セイヴァリ氏は傷病兵回復局出納官 (treasurer to the commissioners for recovering the sick and wounded) であった。



Published as the Act directs, 1826, by Longman, Rees, Orme, Brown & Green, Printers in the Strand.

図5 セイヴァリ氏の火による揚水機関 (Plate I)

で満たしているのに気づいて、瓶の首をつかんで持ち上げ、その口を水鉢の水面の下へ突っ込むと、大気圧の空気の力により、水は直ちに瓶の中へ送り込まれた。これは、以前に述べたエオリパイルの中へ水が満たすのと同じ作用である。また、それはおそらく、以前にパパンがこの原理のより有益な応用案を暗示していたものでもある。

後年、セイヴァリは彼の機関の極めて完全な記述を、下記の 12 折り判 84 ページの小書籍として出版した。

「鉱夫の友、またはいわゆる火により揚水する機関、鉱山に設置する方法、適用できるいくつかの使用例の記述、それに対する反対意見への回答。ロンドンにて、1702、紳士トマス・セイヴァリ著」。

この小書籍は別途、国王 ウィリアム 3 世にも届けられ、その機関はハンプトン宮廷で実演された。王立協会やその発明を採用しようとしている鉱山投機家たちにも示された。

この機関はかなり精巧であり、それ以降に作られた同種の機関と同程度に仕掛けの面で完全であった。書籍は非常に明確に記述されており、鉱山投機家にその採用を誘導するように、控えめな言葉だが強力な論拠でその長所を指摘していた。その銅版画のコピーを Plate I の Fig. 2, 3, 4 に示す (図 5)。きれいに彫られた原版には、"B. Lens, delin. J. Sturt, sculpt" と記されている。以下に示すものは、"Dr. Harris's Lexicon Technicum", vol. i の項目 "Engine" からの引用であり、セイヴァリ自身による描写にいくらか追加したものである。

7.1 トマス・セイヴァリによる簡単な描写

(p.101) 図 5 の Fig. 2, 3 および 4 を参照。

- A A ボイラを含む炉。
- B 1, B 2 二つの火床。
- C 両炉に共通のロートまたは煙突。この二つの炉の中に、銅の容器 (ボイラ) が二つ置かれ、その大きい方を L、小さい方を D で表す。
- D 小ボイラが炉の中に含まれ、B 2 の火で加熱される。
- E 冷水を小ボイラへ入れるための管とコック。
- F 小ボイラの頂部に繋がるコック E を押さえて固定するねじ。
- G 水面ゲージ管の頂部の小さいコック。ゲージ管は小ボイラの底から 8 インチ以内まで入っている。
- H 小ボイラへ同じ深さだけ入る大口径配管。
- I 配管 H 頂部の弁 (上方へ開く)。
- K 上記の弁から大ボイラへ繋がる配管。大ボイラ内へ約 1 インチ入る。
- L L 他方の炉の中の大ボイラ。B1 の火で加熱される。
- M 調整器のネジ (Fig. 4)。ハンドル Z で動かされ、大きなボイラから蒸気配管 O O の中へ蒸気を通ず出口を開閉する。
- N 小さなゲージコック。大ボイラに半分入っている配管の頂部にある。
- O1, O2 蒸気配管。大ボイラからレシーバーへ蒸気を送るため、それぞれの一端は調整器 (Fig. 4 参照) へ、他端はレシーバー P P へねじ込まれている。
- P1, P2 レシーバーと呼ばれる銅製容器。揚水する水を受け入れる。
- Q ねじ継手。水配管の分岐管をレシーバー下部へ繋ぐ。
- R 1, 2, 3, and 4 水配管の真ちゅう製弁。各分岐管の上と下に計 4 個。水配管内で水を上へ通過させて下降するのを防ぐ。時折取り外して弁 R を出すためにねじの栓がある。

- S 吐き出し管。駆動蒸気によりレシーバーから吐き出される水を上方へ送る。
- T 吸い込み管。立坑の底から水を引き上げてレシーバーへ運んで満たす。
- V 木製の四角枠または箱。吸い込み管の下端を囲み、水中の底部に多数の孔を開けて泥や障害物の進入を防ぐ。
- X 水槽。フロート弁を介して吐き出し管に繋がり、常に冷水で満たされている。
- Y Y 水槽 X の底につながる管とコック。冷水をどちらかのレシーバー P P の外面に降りかけるための噴出口がある。
- Z 調整器のハンドル。開閉することにより、大ボイラから出る蒸気をいずれかのレシーバーへ送る。
(「鉞夫の友」より)

7.2 機関の動作方式

最初に行うことは、機関の二つのボイラを良好な二重の炉の中に固定し、醸造用の銅ボイラのように、火炎がボイラをもっとも効果的に廻って取り囲むように工夫することである。

火をつける前に、二つのボイラについている二つの小さいゲージ管 G とコック N を緩め、その穴から、大ボイラに $\frac{2}{3}$ だけ水を満たして小ボイラを満水にする。そして、前記の管のねじをできるだけ固くきつく閉め、大ボイラ B1 の下に火をつけてその水を沸騰させ、ある程度圧縮されるまで、蒸気を溜めなければならない。そして、調整器のハンドル Z を向こう側へいっぱい押し、開いて蒸気を取り出すと、蒸気は強い力で蒸気パイプ O1 を通ってレシーバー P1 へ流れ、その中の空気を押し出して弁 R1 を通って吐き出し管の中へ押し上げる。そのとき、その弁がカタカタと音を立てるので確認できるであろう。全ての空気が排出された頃には、レシーバー P1 は蒸気でかなり加熱されているであろう。レシーバーが非常に熱くなって、それが完全に空になったことが分かれば(見たり触ったりすれば分かる)、調整器のハンドル Z を手前へ引いて蒸気パイプ O1 を閉じる。これにより、それ以上蒸気がレシーバー P1 に入っていくなくなり、同時に、他方の蒸気パイプ O2 へ繋がる管路を開けることになる。そして、上記のレシーバーと同様に、他方のレシーバー P2 を熱い蒸気で満たし、吐き出し管の上の弁 R2 を通して空気を排出する。

(p.102) この間、最初に述べたレシーバー P1 に噴出口 Y から冷水を降りかけることにより、その中の蒸気を冷やして凝縮させると、蒸気は縮んで体積がほとんど無くなって、底の弁 R3 の上にほんの少し溜まるだけになり、真空または空洞が作り出される。吸い込み管 T の下の部分 V の水面に働く大気の圧力とつり合うものは何も無くなり、一般に吸い込みと呼ばれている作用により、水は大気に押されて上ってきて、レシーバー P1 を満たす。水が弁 R3 を押し上げて入ってきたのち、弁が閉じて水は下へ戻れなくなる。

このときまでに、レシーバー P2 から空気が排出されているので、調整器のハンドルを再度向こう側へ押し、大ボイラからの蒸気の力が再度 O1 ^{*10}から入ってきて、レシーバー P1 の中の水の表面に作用するであろう。水面は蒸気により少し加熱されて、蒸気は凝縮することなく、その重みまたは空気と同様の弾性で押し、そしてその弾性つまりばね力を増して、レシーバーと管 S の水柱の重さとつり合い、またはそれを超え、水が流路 Q R1 を通って吐き出し管 S の中へ押し出されねばならない。蒸気はパワーを回復するためある程度の時間を要するが Fig.3 に示すように、最後には水を吐き出し管

^{*10} (訳注) 原文は Q1

S の頂部まで排出する。同じ動作を交互に繰り返して、レシーバー P2 が吸い込み作用により水で満たされ、その水が蒸気の駆動力により排出されて、吐き出し管の頂部から規則的連続的に流出し続ける。このようにして、鉱山の底などから予定した排出位置まで、極めて容易に揚水することができる。機関が動作し始め、水が吐き出し管に入ってきてそれを満たしたら、その水は小さな水槽 X も満たし、凝縮管と呼ばれる噴出口つまり配管 YY にも流れることになることも、つけ加えて言わなければならない。その凝縮管のハンドルを用いて、いずれかのレシーバーの上へそれを回転させてそこで開く。この噴出口により、吐き出し管から、蒸気で完全に加熱されているいずれかのレシーバーの外面上へ冷水が降りかけられて流れ落ちて、その中の蒸気を冷却して凝縮し、井戸からレシーバーの中へ（言わば）水を吸い上げることになる。

これまで機関を見たことがない人でも、半時間の経験をすれば、不断の流れを維持することができる。なぜなら、あたかもレシーバーが透明であるかのように、レシーバーの外面上で水の動きを見て取ることができる。蒸気がレシーバーの内部に入っている部分では、容器は乾いており、ほんの少しでも手で触れることができないうらいに非常に熱くなるが、その容器の内部に水が入っている部分では、その外面は冷たくかつ濡れていて、水がその上を流れ落ちている。そこへ蒸気が下りてきて水がなくなると、冷たさや湿り気は直ぐに消えてしまう。

(p.103) しかし、レシーバーから水をすべて吐き出してしまうと、蒸気またはその一部が弁 R1 または R2 を通過して、その弁をカタカタと鳴らし、あたかも、調整器のハンドルを動かすように注意を促すかのようである。そのため、流れを少しも途絶えさせることなく、蒸気は他方のレシーバー P から水を排出し始めることができる。ごく稀に、少なからぬ量の蒸気が弁を通過する前にハンドルを引くと流れがそれ以前より強くなる時がある。しかし、蒸気の流出は力の大きな損失であるため、蒸気を出て行かせないことは、むしろ好ましいことであり、水を押ししているレシーバーが完全に空になるほんの少し前に、調整器を引くことにより、蒸気の流出を簡単に防ぐことができる^{*11}。

これが済めば、コックまたは水槽 X の凝縮管 Y を空のレシーバーの上に回し、X から流れ出る冷水を Y を通って流す。Y はどちらかのレシーバーの上に回されたときだけ開くようにし、それ以外のときは固く閉めておく。この冷水はレシーバーの外面上を流れ、その冷たさで（その直前まで強い力を持っていた）蒸気を凝縮して真空の空間を作る。レシーバーは大気の圧力、または世間で言われる吸い込み作用により直ちに水で満たされる。その間、他方のレシーバーでは蒸気の駆動力により水が排出される。それは調整器のハンドルを向こうへ押して他方のレシーバーに力を及ぼし、凝縮管を引いてこちらのレシーバー P2 の上に持って来て、その容器の中の蒸気を凝縮して水で満たす。その間、他方のレシーバーは空になっている。

機関のこれら二つの部品、つまり調整器と凝縮水コックの切り替えおよび火の世話という仕事は、一人の少年の力で一日に実行できる範囲を越えることはなく、彼らはタブジン (tub-gin) の中で馬を操縦するのと同じくらい容易に習得できる。しかし結局のところ、機関の作業に大人の男性を雇うであろうし、もっとも理解が速く、少年たちより注意深いと思える人を雇うであろう。この機関を使用する人がそれにより享受する広大な利益を考えれば、この費用の違いは問題にならない。

率直な読者はおそらくここで、異論を訴えるであろう。蒸気はこの運動と力の原因である一方で、蒸

^{*11} キャプテン・セイヴァリは、この点では誤っている。なぜなら、レシーバーから空気を除去するためには、レシーバーから吐き出し管へ時折いくらかの蒸気を噴出してやる必要があるからである。沸騰により水から少量の空気が常に出てくるし、漏れにより外部からレシーバーに少量の空気が入るので、もしブローを行わないならば空気は凝縮しないためにレシーバー内に蓄積し、凝縮による真空を妨げることになる。

気は希薄化した水でしかないので、ボイラ L はいつか空になるにちがいない、ボイラを補充するために機関の動作は停止せざるを得ず、さもなければ、ボイラの底を焼き切ったり溶かしたりする危険にさらされる。その解決策として、小ボイラ D の使用を見てほしい。そのボイラには、吐き出し管から小さな配管とコック E により水が供給されていて、機関の係員が大ボイラに給水するのが適当と考えたと (それは、水位が 1 フィート低下するのに約 1 時間半から 2 時間要する)、彼はコック E を回して吐き出し管 S と小ボイラ D の間の連絡を絶ち、B 2 の小さなボイラの下に少し火を入れると、その水はそのとき熱くなっているのですぐに沸騰し、それ自身の蒸気は出て行くことができないので、大ボイラの中の蒸気よりもより強くなるであろう。なぜなら、大ボイラの力は継続的に消費されて出て行くが、他方の小ボイラは閉じ込められて増加しているので、小ボイラの力が大ボイラのを超えるのにそれほど長くかからない。したがって、小ボイラの中の水が、その表面を押す自身の蒸気によって押し下げられ、その水をパイプ H と K を介して大ボイラ L の中へ押し上げる。その動作は長く継続して、小ボイラ D の水面がパイプ H の底と同じレベルに下がると、その蒸気と水と一緒に流れて、弁 I がカタカタと騒音を立てる。そのことにより、機関を動かしている運転員は、小ボイラは排出されて空になり、大ボイラの中に必要な量の水が持ち込まれたことを確認することができる。その後、もう一度コック E を回して、以前のように吐き出し管 S から小さい方のボイラ D へ淡水の冷水を入れる。このようにして、破壊や障害の恐れなく機関に絶え間なく給水して、継続して運転することができるであろう。その際、小さなボイラ D の頂上からパイプ H の底 (ボイラの底から 8 インチ以内) と同じ高さまで、大ボイラ L に 1 フィート高さ給水するのと同量の水が含まれているので、確実に 1 フィートを給水することができるであろう。

(p.104) また、大ボイラがいつ給水を要するかを知るには、ゲージコック N を回すだけでよい。もし水が出てくるならば、それに給水する必要はないが、蒸気だけが出るようであれば、給水を必要としていると判断してよい。小ボイラ D に対して吐き出し管 S から淡水を供給する必要があるときには、コック G が同様の役目を果たすであろう。そのため、機関を動作させるのにスキルや労力はほとんど必要がなく、愚かさまたは故意の怠慢による以外は、損傷は生じないであろう。

もし、使用人のプランに対して、害悪をもたらすのではないかと雇用主が疑うのであれば、これらのゲージ管によりその害悪は容易に発見される。なぜなら、機関が動作している時に来て見れば、大ボイラ L の水面がゲージ管 N の下端の下方になっている、または小ボイラ D の水面がゲージ管 G の下端の下方になっているのを見つければ、その後 3 時間動作し続けてもボイラは損傷したり空焚きになることはないが、その使用人は直ちに訂正することができる。

一言で言えば、すべての水道事業において、弁は常にそれらが使われている時間が長ければ長いほど良いことがわかり、そして私たちの機関の稼働部分はすべて自然のものである。炉はスターブリッジ (Sturbridge) かウインザー (Windsor) の煉瓦か耐火石で作られていて、私は機関が何年もの間崩壊することはありえないと思っている。弁、バケツ、およびマイターパイプの場合は、調整器およびコックはすべて真ちゅうであり、容器は、最良に槌で打たれた銅できていて、機関の動作する力を支えるのに十分な厚さである。要するに、機関は要求される動作ができるように自然に適應されていて、もっとも普通でもっとも控え目な能力のものでさえ、何年もの間損傷することなく、動作するであろう。(鉱夫の友 より)

この天才的な発明家はこのように彼の機関を描写した後、それを応用できる用途として以下のものを列挙し、かなり全面的に描写している。

- (1) あらゆる種類の水車を回すための揚水。
- (2) 宮殿、貴族や紳士の家への給水、および水による消火手段として。
- (3) 都市や町への給水。
- (4) 沼地や湿地の排水。
- (5) 船用。
- (6) 鉱山での排水、およびそこで湿分防御。

上記の機関は、"Philosophical Transactions" で記述されたものと根本的には異なっていないが、より完全な形をしており、副次的な点ではいくつかの改良がされている。たとえば、元の機関 (Fig. 1 を参照) にはボイラが 1 缶しかなく、それに水を給水する備えも無かった。ボイラが焼け切れそうになる程度に空になった時はいつでも、機関の動作を停止しない限り、蒸発による廃棄物を取り除くこともできなかった。ボイラが再度給水された後、給水した冷水が沸騰するまで、直ぐに再始動できなかった。

(p.105) 鉱夫の友のなかで記述されていた機関は、補助のボイラを有しており、その中にはある量の水が熱せられており、大ボイラに供給する準備ができていた。そして補助ボイラで作られた蒸気のパワーで、その中の水を機関を動かしている大ボイラへ送り込んでいた。この方法により、給水の輸送は即座に行われ、それは既に適当な熱を持っていたので、それは直ちに蒸気を発生でき、仕事を行うことができた。

機関の建造で、もうひとつの改良もあった。彼の最初の機関では、行程が変わるすべての時点で操作員が二つのコックを個別に回して動作させなければならなかった。もし、操作員が間違っただけでなく、その効果を妨げてうまく運転できなくしてしまう。それに対して、この二番目の機関では、二重の摺動弁つまり調整器によりそれらの連携 (一体化) がなされている。これは扇形の真ちゅうの板であり、ボイラ内の中心回りにボイラのカバーの下面に接触して水平に滑って回転する。その接触面は研磨されることにより正確にフィットされ、二つのレシーバーの蒸気配管への開口部つまり入り口を交互に自由に開閉する。この調整器は、同じ口径のコックより動作時の摩擦が小さく、また、単一のハンドルの動きで、一方のレシーバーの蒸気配管を開いて、他方のレシーバーの蒸気配管を閉じることができる。

調整器の考案は、その後の半世紀間にわたるすべての蒸気機関に共通して採用され、非常に重要な意味を持つこととなり、その半世紀後以降では、蒸気流路を開閉するより完全な方法に取って代わられたのであるが。

ハリス (Harris) 博士は "Lexicon Technicum; Or English Dictionary of Arts and Sciences" の中で、セイヴァリによる機関の記述と図を再掲載している。彼はキャプテンのことを偉大な価値と才能の人であると言っており、おそらく彼はキャプテンをよく知っていたのであろう。ハリス博士は最初に、風の折に船側に取り付けた外輪で船を漕ぐという、キャプテンのもう一つの機械に言及している。キャプテンはそれを、1698 年に記事を出版していた。それは注目に値するものであり、この種類の外輪は、改良型の蒸気機関で動かされるとするならば、船を漕ぐ方法として唯一の方法となっているものである^{*12}。ハリス博士は、火の機関に言及する中で次のように言っている。「他の機関は火の力により揚水するためのものであり、その中で彼は、この性質の設計においてこれまでに見られた中で、もっとも偉大な才能、思慮深さ、真の機械技量を示した。」

キャプテン・セイヴァリは、1717 年以前に死去した。彼が自身の機関を実際の用途に応用するのにどの程度成功したかは知られていないが、彼は、彼自身の精査のもとでそれを実際に製作したようである。王立協会への講演 (「鉱夫の友」) の中で、彼は次のように言っている。

^{*12} 以前に言及したように、ババンも彼の蒸気シリンダで船を漕ぐという同じアイデアを持っていた。しかし、セイヴァリの提案は、船のキャブスタン (錨上げ機) を回して外輪を動かすものであった。

(私の模型を王立協会へ展示したとき以降、)「私は、私の望みどおりに機関を作るように手仕事を行う技術者に教えるのに、大きな困難と出費を味わってきた。しかし、私の技術者らは、多くの経験をした後、正確に組み合わされて目的に適した機関を作れる程度の専門職 (master) になり、彼らの作るものをすべての人々に対して保証できるまでになった。」

(p.106) イングランドの鉱山での「紳士の冒険家 (gentlemen adventurers)」に対する講演の中でも、彼は次のように言っている。

(当時使われていた揚水機関はしばしば故障し扱いにくかったことから、)「私は、この新しい力で動作する機関を発明するように勇気づけられた。もっとも風変わりで、もっとも克服できない困難に遭遇せざるを得なかったが、私は、時間、痛みや金銭も惜しまず、最後にそれらを完全に克服した。」

セイヴァリはスタッフォードシャー州のウェンズベリーで、炭鉱から氾濫で浸水していた一帯を排水するための機関を作ったと言われている。ステファン・スウィツァー (Stephen Switzer) は、著書「静水力学および水力学の一般システムへの入門 (Introduction to a General System of Hydrostatics and Hydraulics)、全2巻 四つ折り版、1729年」の中で、火で揚水する機関のことを、「死去して数年経つが、当時もっとも注目すべき技術者で傷病者委員であった天才キャプテン・セイヴァリの、特有の工夫による単独の発明品」として描いている (vol.ii, p.325)。スウィツァーは、キャプテン・セイヴァリに親しく知り合えたことは名誉であると言っている。

「彼がこの機関を思いついた最初のヒントは、タバコのパイプを時折行われるように、洗うかまたは冷やすために水中に浸したことからであった、と言われている。熱や水の蒸気により管内の空気が希薄化され、そして外気の重力や衝撃により、驚くべき方法で水がパイプの管を通して湧き出るようになることを、彼は発見した。他の人々は、ウスター侯爵を学んだことが火を用いた揚水の最初のヒントを与えたと言うが、---。私は彼が私自身に言うのを聞いた。彼が最初にランベス (Lambeth) の陶工の家の中で実演したとき、それは小さな機関であったが、それでも屋根を通り抜け、タイルに打ちつけていた。」

スウィツァーが掲載したセイヴァリ機関の図と記述は、「鉱夫の友」とブラッドリーからのコピーである。

キャプテン・セイヴァリは、家屋に給水するために、一つだけのレシーパーの小さい機関を作った。ブラッドリーが1718年に印刷した "New Improvements of Planting and Gardening" の中で、彼はこれらの機関の一つについて、以下のように述べている。

「家屋や庭園の状況は、どんな池、川または泉よりもかなり高い位置にあることを考えると、現在のところ、そこは人力または馬により継続的に揚水する以外に水の得る方法がない。この場合、火によって水を上げるという故セイヴァリ氏の素晴らしい発明 F. R. S. は、望まれるだけの水を汲み上げることにより、不足する水を補給するだけでなく、非常に少ない費用でほとんど問題なく維持することができる。

セイヴァリ氏が、ロンドン近郊のケンジントン (Kensington) にあるカムデン・ハウス (Camden-house) の好奇心の強い紳士のバル (Balle) 氏のために、そのうちの1台を設置してから約6年が経過した。それはとてもうまく行っていて、それが建造されて以降、水が不足することは全くない。そして、その後に行われた改良と合わせて、どんな機関よりも故障することが少なくなるであろうと、私は信じている。

好奇心を満たすために、私はカムデン・ハウスのものと同じ機関 (Plate I の Fig. 5 を参照) を設計した。それはロンドン付近のどこでも当てはまる真理であると、私は考えており、そのいくつかの部品とその動作について、以下に説明しよう。

- A 火炉。
- B ボイラ；その中で水が沸騰し蒸発する球形の銅製容器。
- C 調整器；蒸気管へ送る蒸気を開閉する。
- D 蒸気管；レシーバーへ蒸気を運ぶ銅製の管。
- E レシーバー；蒸気管から蒸気が入る銅製容器。
- F 機関ツリー。
- K 吐き出し弁の栓；必要であれば外して弁を補修する。
- L 吐き出し管。
- I 吸い込み弁の栓。
- G 吸い込み管。
- H 池、井戸または川。

最初の動作開始時では、レシーバー E は空気で満たされているので、その空気を調整器 C、蒸気管 D を通ってくる蒸気で、機関ツリー F、吐き出し弁 K、吐き出し管 L を通して排出する。レシーバーから空気が排出されると (それは全体が熱くなることで判断できる)、調整器 C で蒸気を止め、レシーバーに少し冷たい水をかける。吸い込み弁 I が開き、H の水が吸い込み管 G を通ってレシーバーを満たす。

(p.107) これが終わった後、揚水を行う。つまり：

まず、C を回して蒸気をボイラから E へ通すと、蒸気はその中の水を F、K、L を介して押し出す。I の位置の弁のために、水は下へ下がることはできない。このように E が空になると (前述のように E が熱くなることにより、容易に知ることができるであろう)、C を回して B からの蒸気を閉じる。そして、コック M を開いて、E の上に少し冷たい水をかけると、それは E の中の蒸気を凝縮させることにより、直ちに H から水を上昇させ、E を満たすであろう。

そして、C を回して蒸気を E の中へ入れると、蒸気は水の中から L へ押し上げて、それを受ける頂部の水槽 O の中へ押し出す。それから、以前のように蒸気を C で閉じて、1、2 秒間 M を回すと、E は水で充填され、そして前述のように、それは再び L から上へ排出されるであろう。したがって、この作業は、B の中に水が入っていれば、希望する間続けることができるであろう。

あなたがコック N を回して、それから (熱水ではなく) 蒸気だけが出るならば、ボイラには淡水が補給されなければならない。しかし、ボイラを満水にしておけば、長い時間継続できるであろう。

十分に揚水を行って、機関の動作を停止する予定であるときは、ボイラの下からすべての火を取り去り、コック N を開いて蒸気を放出しなければならない。そうでなければ、(閉じ込められたままの) 蒸気はおそらく機関を破裂させるであろう。

この機関は現在カムデン・ハウスに置かれており、そのいくつかの部分の比率は以下の様である。

水面 H から機関ツリー F までの吸い込み管 G は 16 フィートであり、それが水を吸い込む長さであるが、それは、約 28 フィートまで水を引き上げるようにすることも可能であろう。

機関ツリー F から水を受け入れる大きな水槽 O までの長さは、42 フィートであるが、管の長さに応じた蒸気が得られるならば、それは高さ 100 フィートにできるかもしれない。

吸い込み管 G および吐き出し管 L の直径は 3 インチであり、蒸気管 D の直径は約 1 インチである。

レシーバーは 13 ガロンの水を含み、ボイラはその 3 倍の量を含む。

この機関が動作し始めると、毎分レシーバーで 4 回水を上げることができ、それは 毎分 52 ガロンを 58 フィート高さへ上げることになる^{*13}。そしてその割合で、一時間の間に 3120 ガロンが送水されることになり、それは 86 バレル以上となる。または、もし二つのレシーバーがあり、実際に行っているように、一方が吸引している間に他方が吐き出す動作をするのであれば、そのとき、同じ時間内に 6240 ガロンを上げることができるであろう。

そのような機関の主な費用は約 50 ポンドであり、そしてそれぞれを動かすのに必要な石炭の量は約 $\frac{1}{2}$ ペックである。そのため、馬による水の運搬に要する費用と比べて、費用は非常に少なくなる。さらに、木材が豊富にある地域では、その経費ははるかに少なくなるであろう。

(p.108) 今、ここで 1 時間の間に揚水できると称される水の量が、設計された用途に対して十分ではないと考えられるのであれば、同じ機関が 4 時間から 5 時間の間運転されてもよいし、または、より大きい大きさの別の機関が設置されてもよいかもしれない。私は、二つのレシーバーを持つ機関で、それぞれのレシーバーに 1 バレルつまり 36 ガロンの水が入る機関を見たことがあり、それは、非常に多量の水を供給するので、許容できる限り大きな噴水であっても、それにより給水することができるであろう。

これらの記述からは、キャプテン・セイヴァリが、彼の機関のボイラに安全弁を用いたようには思えない。このような安全弁は、蒸気機関を安全に動作させるには極力必要であるのだが。蒸気が閉じ込められて火が継続されたら、熱が蓄積されて蒸気の爆発力がすべての限界を超えて増加し、強力な容器を破裂させてしまう。このことは、閉じ込めた蒸気の爆発により大砲が破裂した実験に関連して、ウスター侯爵によって観察されていた。

安全弁はパパンにより彼のダイジェスター、つまり巨大な熱と圧力により肉を柔らかくしたり骨を消化する調理器のために、1682 年に発明されていた。安全弁を使用すると、容器が破裂する危険が生じる程度に蒸気の弾性力が大きくなると、蒸気は容器から外気へ逃げることができる。したがって、蒸気は完全に閉じ込められるのではなく、蒸気がある力を持つまで留められて、その力以上に強くなれば蒸気は吹き出るのである。

安全弁は、ボイラの頂部に作られた開口部を密閉して外へ開く弁以上のものではない。その弁は重りまたは重りを載せたてこで押さえられており、蒸気に必要とされる圧力に応じて、さおばかりのように重りをてこの上で滑らせることにより、弁に加わる力を自由に変えることができる。しかし、すべての場合、ボイラまたはレシーバーが閉じ込めた蒸気の力により破裂する危険が生じる圧力に達したら、弁を持上げて逃がさなければならぬ。この簡単な工夫がなければ、このような機関を運転することは非常に危険な業務になっていたに違いない。運転員は、火が燃えている間に蒸気が作られると直ぐに取り出して機関が不断に動くようにしなければならない。「鉞夫の友」で描かれている機関では、調整器はおそらく同時に両方の蒸気配管を閉じることがないように、一つのレシーバーの流路が閉じられると直ぐに他方が開かれるように、工夫されていたであろう。それにより、蒸気は鉛直の吐き出し管内の水柱の圧力以上の強い力で閉じ込められることがなくなる。安全弁はこのような機関に対して以前にパパンにより提案されていたが、セイヴァリ機関にはデサグリ工博士によって 1717 年頃に始めて用いられた。

キャプテン・セイヴァリの機関と以前の人々の機関とを詳しく比較すると、彼の性格はあらゆる点で発明家として適していたであろう。実際の技術者として、彼の発明のすべての詳細は見事な形で作り上げられてお

^{*13} エール測度で 1 ガロン (訳注: = 282 立方インチ = 4.62 リットル) の水は重量 10.2 ポンドであり、 $\times 52$ ガロン = 530.4 ポンド、 $\times 58$ フィート = 30763 ポンドを高さ 1 フィートに上げるのに相当し、これはほぼ 1 馬力、または約 $8 \frac{1}{4}$ 人力となる。

り、あらゆる事故と偶発に対して機関が実際に動作するように準備されていた。一方、ドゥ・コー、ウスター侯爵、サミュエル・モーランド卿およびパパンは、才能ある哲学者ではあったが、単なるアウトラインを作っただけであり、それを完成して十分完全に動作するようにするには、それに引き続く発明家の大きな努力と技術を必要とした。

セイヴァリの機関と他のものとの間に、いくつかの大きな違いがあることから、彼はすべてを彼自身で発明し、蒸気の膨張力とその蒸気の凝縮で真空を作る方法とを最初に発見し、これらの原理を有効に用いた非常に完成した完全な機械の発明者としての栄誉を受けることができる、と考えることは十分な理由がある。

(p.109) しかしながら、セイヴァリはウスター侯爵からの剽窃であるとして、かれの同卿の何人かから訴えられている。また、フランス人著述家によると、普通その発明はパパンに帰属し、またセイヴァリも、彼のアイデアはパパンのものを借りてきてそれを実行したと言っている。しかし、これは全くあり得ない。なぜなら、ウスター侯爵は蒸気の凝縮を発見していないのであり、パパンは 1689 年にそれを発見し、それをピストン付きのシリンダの中に用いるよう提案し、その案は、後にイングランドでニューコメンにより実現されているが、パパン自身はその方式の利点や現実性にあまり確信を持っていなかったため、キャプテン・セイヴァリの本を見るや否や彼自身の凝縮のプランを捨て、自身の最大の利点である凝縮を用いずに、ウスター侯爵の提案に類似の機関を提案したのである。

7.3 パパンの蒸気機関 1707

パパン自身の説明によると、彼は 1698 年に、ヘッセン方伯カール (Charles;Karl) の要請によりいくつかの実験をしたようであるが、有効な結果は得られなかった。これはほぼセイヴァリの特許と同じ頃であり、その 9 年後にパパンは、彼の発明の説明を次のタイトルの小冊子として出版した。「火の力で水を上げる新しい方法、光を当てる (Nouvelle Maniere pour lever l'Eau par la Force du Feu, mis en Lumiere)。D. パパン著。カッセル、1707」

この機械は原理的に ウスター侯爵 のものと異なっていたが、蒸気の膨張力だけで動作する点で、セイヴァリのものよりは不完全であった。ウスター侯爵 との構造上の主な違いは、容器がシリンダでできており、蒸気は冷たい水の上に浮かぶ可動式のカバー (ピストン) で冷水から隔てられていたことであった。蒸気の圧力で容器から押し出される水の流れは、空気を含んだ蓄圧器にためることにより、ある程度一定に保たれて放出された。

この出版で、パパンはセイヴァリ機関の図を見たことを認めている。彼が言うところでは、1698 年にヘッセン方伯のカール大公殿下の依頼により、以前の 1690 年に提案したものより有効に揚水できるように、多くの実験を行ったと言っている。これらの実験は成功ではなかったが、彼はアイデアを何人かの人たちと意見交換することができ、とりわけライブニッツは、パパンと同じ考えであった。

パパンはまた、キャプテン・セイヴァリがイングランドで同じテーマで仕事をしており、セイヴァリが研究成果を最初に出版したことに感謝の意を表した。1698 以降 1705 年まで、事態は休眠状態のままであったと述べている。1705 年には、パパンは、その時ロンドンに居たライブニッツからセイヴァリの機関の銅版画を含んだ手紙を受け取り、それに対するパパンの意見を求められている。これを方伯に見せたとき、方伯はパパンに、仕事を続けて以前に始めた発明を完成するように要請した。そのときパパンが出版したのは、キャプテン・セイヴァリが彼からアイデアを盗用したと訴える目的ではなく、有用なものを最初に設計してそれを現在の完成度まで持ってきたということで、方伯への恩義を世界に示そうという目的であった。彼は、彼の機関がキャプテン・セイヴァリのものより優れていることを、懸命に示そうとした。

パパンと彼のパトロンとは目に見えない困難を乗り越えて実験し、(彼が語るところでは) 予想と「全く正反対の」結果になった後で彼らは成功し、その成功に対して彼らは惜しみなく法外な賛辞を与えた。この事業が著しく困難であり、その目的が重要であることを考えると、それは賛辞に値するかもしれない。しかし、ウスター侯爵の出版は 35 年以上も早かったのであるから、パパンの 1698 年の実験が最初であったとするわけにはいかない。また、セイヴァリが始めた時期と同程度に早く完成できていた可能性もない。というのは、セイヴァリが彼の推測を確認するための実験を行わずに特許の費用を負担したとは考えられず、また、現在と違って、技術者がこのような機械を作るのに習熟していない時代にあって、1 年間で自身の機関を、1699 年 6 月 14 日に王立協会で実演したような完成度の高いものにしていただけとは考えられないからである。このことは、彼が「鉱夫の友」の中で述べていることでも確認できる。

(p.110) この出版の頃、パパンは王立協会へ書簡を書いて彼の新しい機械を紹介し、協会が費用を負担するのなら、セイヴァリの性能の 2 倍近くで動く機械を作ると提案している。この提案を記録した王立協会の記録では、アイザック・ニュートンによる注釈が加えられている。また、トマス・セイヴァリ氏による長文のレターもあり、これは 1706 年に協会で読まれている。そこでは、次のことが述べられている。1705 年にヘッセンの若い王子(彼は後にフランダースで殺された)が、機関を見るために数回(セイヴァリを)訪れて、全ての部分が完全に彼に説明された。王子はセイヴァリに対して、カッセルへ来てこのような機関を造るよう提案をしたが、セイヴァリはそうしなかった。1706 年に再度、ヘッセンの王子のもとから一人の紳士が、セイヴァリのプランで部分的に出来上がって完全ではない機関を携えて、やってきた。セイヴァリにそれを正しくセットするよう求めて、セイヴァリはそうした。

1707 年の出版でパパンが描いた火の機関は、水車を動かす提案であった。水は蒸気容器を出る蒸気の反発力により、空気室のなかへ排出される。圧縮された空気は、再度水を連続したジェットとして排出する。このジェットを水車のフロートに当てて水車を動かす。蒸気容器から来て水を吐き出した蒸気は、大気中へ放出される。パパンの機械は、凝縮という基本原理の利点を欠いているので、全体としてキャプテン・セイヴァリのものよりはるかに劣っており、ウスター侯爵のアイデアに逆戻りしているだけである。それゆえ、冷水と熱い蒸気を分けるダイヤフラム(遊動ピストン)の点を除いて、改良とはいえない。これはウスター侯爵のものをかなり改良したものであり、もし、円筒形シリンダの外側に冷却水を流すならば、セイヴァリのものに追加の改良をしたものになる。パパンがもっとも期待した利点は、蒸気容器に赤熱した鉄のヒーターを用いていることであった。

パパンのこの機関と、フランスで 1699 年にアモントン(Amonton)氏により提案された火の車輪は、実用に用いられることはなかったので、それらは歴史のこの部分には含まれていない。しかし両者の説明は、この書籍のアペンディックスで記載するプロジェクトの中で与えられるであろう。

7.4 セイヴァリ機関のデサグリエによる改良

1718 年にデサグリエ博士は、セイヴァリのプランをもとに改良した形の機関を製作した。彼は 1716 年にグラフェザンデ(Gravesande)博士と共にセイヴァリの機関について考えて、蒸気が常にレシーバーに作用することにより、蒸気の大きな無駄があることに思い至ったと言っている。なぜなら、水を押し出して弱くなった蒸気は、力を回復するのにある時間を要し、この時間の間、蒸気はレシーバー内の水をその水面下のある深さまで加熱しなければならぬ。もし、蒸気が一方のレシーバーのすべての水を押しした後、他方へ入れられるのではなくしばらくボイラに留めて置かれ、レシーバーが大気圧になってから水の上に送り込まれるのであれば、蒸気は留め置かれたことで多くの力を得ているので、水の表面を急速に押すことになり、水の表面付

近が加熱される前に、そのかなりの部分が排出されるであろうと考えた。

(p.111) このアイデアを実行するに当たって、彼らは、レシーバー 1 個でも 2 個でも用いることができる模型を作って実験し、1 個のレシーバーのものは、2 個のレシーバーのものがそれぞれ 1 回で吐き出すことのできる量の 3 倍の量を、同じ時間に吐き出すことができることを発見した。彼らはまた、キャプテン・セイヴァリがケンジントンでバル氏のためにレシーバー 1 個だけの機関を作り、これは非常にうまく動作したことを知った。これより、彼らはより簡単に動いて半以下の費用で済む単純な機関は、 $\frac{1}{3}$ だけ多く揚水できるであろうと結論した。

この成功を受けてデサグリエは、安全弁のある球形ボイラとボイラ容積の約 $\frac{1}{5}$ のレシーバー 1 個とを持つ機関を作った。そのレシーバーは、背の高い小径の円筒形であった。蒸気は二方切り替えコック (double-passaged cock) を通って頂部からレシーバーへ入り、そのハンドルはボイラの方へ回すと蒸気が入るが、吐き出し管の方へ回すと、凝縮させるために冷水をレシーバー外面へ振りかける代わりにレシーバーの中へ冷水を直接噴射した。この方法により、元の案より少ない冷水の消費でより完全な凝縮が得られた。冷水は、大きな吐き出し管から分岐して二方切り替えコックへ繋がる小さい配管で送られ、そのハンドルを吐き出し管の方向へ回すと冷水がレシーバーへ入った。この水はレシーバーの頂部に固定された水切りボール (cullender) 状のものの中へ落とされ、多数の小孔を通り抜け、水滴のシャワーとなってレシーバーの中へ噴射された。

レシーバーの中へ冷水を噴射する方法は、セイヴァリの案の大きな改良であり、それ以降も継承されている。しかし、冷水はコックが開かれて直ぐにレシーバーの中へ入ることはできないことを見なければならぬ。なぜなら、吐き出し管内の水柱の圧力は、レシーバー内の蒸気の圧力よりも必ず小さくしなければならず、したがって、蒸気のコックが閉じられて、水の冷却効果によりレシーバー内で生じる凝縮または熱の放出により熱が消えて、結果として蒸気の圧力が、直前に吐き出し管内へ押し上げた水柱の圧力とつり合えなくなるまで、水の噴射は始まらない。この条件になると水の噴射が始まって、レシーバー内の蒸気を通してシャワーとなって落ちる。このシャワーの凝縮効果は、その動作の速さの点で驚くべきものである。噴射水は、その直前にレシーバーを去った同じ水の一部であるから、そのとき蒸気と接触していた水とほぼ同じ温度であると考えられる。これより、凝縮速度の増加は、水が水滴となって飛散していることだけに起因することになる。冷水が容器の下方の部分に入れられていたときには、水の表面だけが蒸気にさらされていて、直ぐに加熱されてしまい、最初に蒸気を凝縮したような速さで凝縮させることができなくなり、熱は下へ下りていかないので、大量の水は影響を受けないであろう。一方、水滴となって飛散した少量の水は完全に蒸気にさらされて、瞬間的にそこから多くの熱を取り去り、蒸気の温度を下げ、噴射水の熱を増やして同じ温度になるであろう。これより、冷水を非常に小さい水滴としてレシーバー内に飛散させることにより得られる凝縮の速度は、噴射水の冷たさと量に比例するであろう。

(p.112) レシーバー内噴射による凝縮に必要な冷水量は、その外面に流したときの量よりはるかに少ない。なぜなら、レシーバーは蒸気の熱をさほど速く伝えず、したがって水はレシーバーの外面を流れ落ちて、あまり暖まることなく、また中の蒸気から多くの熱を取り去ることなく、井戸に落ちていくからである。これらの水は、機関の動力により最初にその全高さまで揚水されたものであり、その後、井戸に落とされることになるので、すべて損失である。レシーバーの外面上に残った冷水の膜からの熱の損失もある。冷水の膜は、新しい蒸気がレシーバーに再度入ってきたときに、蒸気の熱ですべて蒸発させられなければならない。一方、冷水が内部に噴射された場合は、量のはるかに少なくなり、また、揚水した水の全くの損失ではなく、水はレシーバーの底より下へは落ちないので、吐き出し管により揚水した高さ分だけの損失で済む。

デサグリエ機関は非常に完全であり、おそらく、セイヴァリの発明の形式のものでは最良であろう。図 6 は、彼の著書 "Experimental Philosophy", Vol. II, p.485 のコースのコピーであり、以下の説明がついて

いる。

- A 銅製の円筒形レシーバー：底部は吸い込み管、吐き出し管の弁 F と G の間に繋がり、頂部は蒸気コック D K により蒸気管 C と噴射コック M に繋がる。
- B 同じく銅製の球形ボイラ：レシーバーの容積の少なくとも 5 倍の容積がなければならない。火床 V の上のレンガ組みの炉の中に固定し、T で示すように火炎がボイラを取り囲むように導かれる。ボイラには頂部にネジ式の銅カバーがあり、そこに、ボイラとレシーバー頂部のコック D K を繋ぐ蒸気管 C が付いている。また、カバーには下限のゲージ管 N と上限のゲージ管 O も付いている。同様に安全弁も付いており、さおばかりと重りで押さえられて、所定の弾性になるように蒸気を閉じ込めている。機関が動作しているときは、ボイラの水面は常に短い (上限) ゲージ管 O の底より低く、また長い (下限) ゲージ管 N の底より高くなければならない。
- D K 蒸気コック：この栓は、その上に被せた絞首台形のもので、鉛直のネジにより下方へ押し付けられている、コックのハンドル K は、ボイラから蒸気を入れるために C の方向へ回すか、または、蒸気を遮断して、上方への吐き出し管 E E から常時開の噴射コック M を介して冷水を入れるために、M の方向へ回す。両方の流路を閉じるときには、コックのハンドル K はこれらの二つの位置の中間にしておく。
- N B 水きり器または飛散板：レシーバー A の頂部 D のコック D K の直ぐ下に取り付けられている。それには小さい孔が開いていて、コックを介して蒸気または冷水が交互にレシーバー内入ってきたとき、それを小さなジェットに分ける役を果たす。
- E F G 水パイプ：数個のエルボと三つの分岐管がある。この一つに分岐管は鉛直の吐き出し管 E E の下端に、次の分岐管は上がってくる吸い込み管 G H の上端に、三番目の分岐管はレシーバー A の下端に口ウ付けされている。この管には吸い込み弁 G、吐き出し弁 F が含まれており、それらは、I のネジを外して、その下の栓またはストッパーを取り除くと、簡単に取り出すことができる。
- I ネジ：あぶみ (stirrup) を通して、弁 F および G の上方の穴をふさぐ栓を押し付ける。その下の二重のキャンバス (麻・木綿の厚地の粗布) で固く止めている。あぶみとネジ I は手桶のどつて (bow) またはハンドルのように回転し、弁を検査するために栓を外すときに、取り除けるようになっている。
- R 揚水水槽：この中へ揚水する。通常、ビルの最上部に設置される。必要なときに吐き出し管を満水するために、コックおよび小さい分岐 Y で吐き出し管 E に繋がる。
- G H 吸い込み管：井戸から水を引き上げるための管。
- H 井戸の中の箱：吸い込み管の下端に取り付ける。水だけを通し、水を共に泥が管に入るのを防ぐように、多数の穴が開いている。
- T ボイラを取り巻く煙の通路つまり煙道：火炎および煙を火床 V から煙突 L へ導く。
- V 火床の扉：V の下に火格子 (ロストル) および灰孔が見える。

(p.113) 他の三つの図 (図 7) は、蒸気コック D K を示す。このコックは片側に空洞をもつ栓であり、空洞は D のコックの底を貫いて下のレシーバーに繋がり、空洞が蒸気通路 C 側に回されているか、水通路 M 側に回されているかに応じて、蒸気と水を交互に通す。栓 D K にはまた、反対側の Q の位置に切り込みがあり、ボイラに新たに給水が必要なときには、水通路 M から水を受け取り、蒸気通路 C によりボイラの中へ運ぶ。コックと栓の二つの断面図は、その二つの異なる配置を示している。一つの配置 (下右図) は、M からの冷水が入って栓を貫いてレシーバーの中へ落とすが、蒸気通路は閉じている。他の配置 (下左図) では栓は半回転しており、栓を貫いてレシーバーへ繋がる通路は全く閉じられていて、前述のようにボイラに補給するために、水が M から入って切り込み Q を通って蒸気通路 C へと流す。

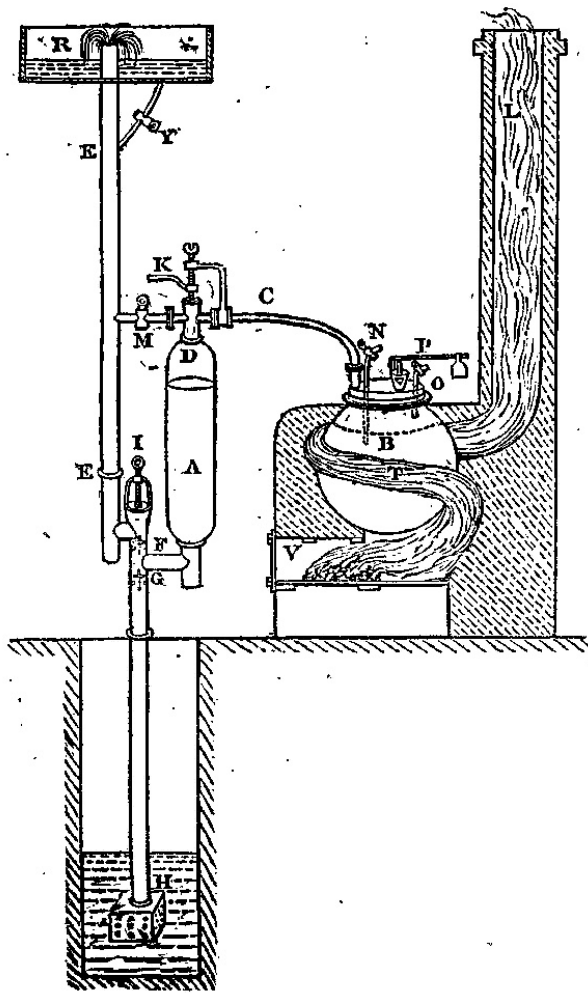


図6 デサグリエによるセイヴァリ機関

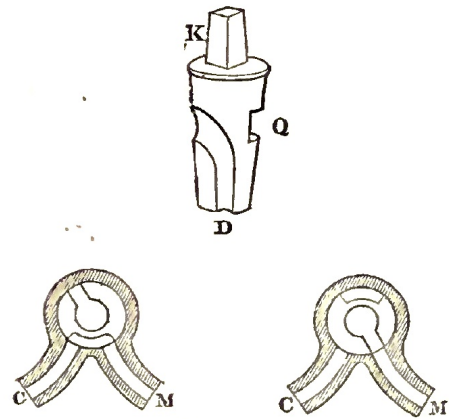


図7 蒸気コック詳細

7.5 デサグリエにより改良されたセイヴァリ機関の動作

(p.114)

安全弁のさおばかりを外すかまたは回して、短いゲージ管 O のコックを開き、そして、長い釘または鉄片を安全弁の下へ置いてそれを持上げて、その弁の周りのロートに水を注ぎ、ボイラの中へ水を入れるにつれて、空気が O から吹き出てくるであろう。そして水面が短いゲージ管 O の底の上へ来ると、ボイラは満水となる。

そして、ハンドル K を回して蒸気コック D を閉じてボイラから切り離し、同様に、ボイラの上のゲージコック N O を閉じて、さおばかりを弁の上に載せて、その重りを弁の近くに移動し、ボイラ V に火をつける。低い高さに揚水するためには、さおばかり P の重りは弁のごく近くすれば機関は動作するが、高い高さの場合には、弁の位置から遠く離さなければならない。最初にボイラをテストするときは、さおばかりの重りは大き過ぎてはならず、火力が増加するにつれて 1 ノッチずつさおばかりの上

で弁から遠ざけて行き、弁からもっとも遠いノッチ位置に来た時に弁の下の蒸気が重りを持ち上げるまで行う。

注意：場合によっては、さおばかりを紐で結んで吊り上げて浮かせても良い。強い試験（高圧での試験）をするときには、重りが重過ぎないように確認し、さおばかりの重りに追加の重りを加えないように気をつけるべきである。

始める前に、吐き出し管 E からの水でレシーバー A を満たさねばならない。これは、コック D K のキーつまり栓 K を外すことにより行う（栓を下へ押さえるねじは最初上へ少し緩めて、それを支えているギベット*¹⁴と共に横へ回して外しておく）。そして、コック Y と M を開くと、水がレシーバーに入る。コックのキーを再度挿入するときに、それにグリースを塗ってもよい。これで機関を動かす準備ができた。

すべて準備ができて蒸気が安全弁を持ち上げ始めたら、レシーバーの蒸気コック D K のハンドル K を C の側に回して、蒸気をボイラ B から蒸気管 C を通して入れる。最初は通路を少し開き、その後全開とする。蒸気は D の箇所の水切り板の小さい穴を通して広がり、レシーバー A の水面を急に押すことになる。水面は下へ押されて吐出し弁 F を押し上げ、水が吐き出し管 E を通って水槽 R へと上がる。水がすべてレシーバーを出ると弁 F が落ちる音がし、そのとき、レシーバーの外側は非常に熱くなっているであろう。

レシーバーからの水は、このように急速に吐き出し管を介して水槽 R へ送り出され、レシーバーは蒸気で満たされる。ハンドル K を M の側に回して戻し、コック M を大きく開くと、D の箇所の飛散板を通して冷水の噴流がレシーバー内に撒かれ、水滴のシャワーとなって蒸気の中を落下する。これにより蒸気は直ちに凝縮し、H の箇所の井戸の水面に作用する大気が水を押上げ、吸い込み管 G H と弁 G を通って水がレシーバーへ入って来て満たす。レシーバーの外側は D の位置近くまで冷たくなる。

そして、前と同じようにハンドル K を C の側に回すと、蒸気がレシーバーへ入ってきて、水を F を通して吐き出し管 E により R まで押し上げる。そして、再度ハンドル K を M に戻すと、水噴射が始まる、等々。

この機関は、ボイラが空になるまでに 4、5 時間運転でき、ゲージコック N と O の双方を開いておれば、両方から蒸気が出るので、ボイラの水が無くなったことが分かる。そのとき、ボイラの中の水面は長い方のゲージ管 N の底よりも下方となっている。これは水面が低くなり過ぎているのであり、これ以上燃やすとボイラは危険である。

(p.115) 両方のコック O および N から水が出ていれば、ボイラには多過ぎる水が入っており、コック O を開いて水を捨てて、そのコックから蒸気が出るまで水を減らさねばならない。

そのように、コック O が開いているときは蒸気が出て、コック N が開いているときは水が出るならば、ボイラは正常な状態で動いていることになる。

ボイラに水を補給するときは、火をまず除去するか、コック N および O から蒸気を放出する。そしてハンドル K を向こう側へ回し M と C の中間にする。このとき、コックの栓の切り込み Q は図 7 の左下図で示された位置にきている。そのとき（コック Y とコック M はまだ開いているので）、水は水槽 R から吐き出し管 E とコック M および D を通って、蒸気管 C によりボイラの中へ入る。レシーバーは通らないので、場合によっては事前にレシーバーを満水にしてもよい。そのときは、さおばかり P は弁から外しておき、水がボイラに入ってくるときに蒸気または空気が抜けるように、コック

*¹⁴ (訳注) gibbet; 鉤型の絞首台の意味。図 6 の栓 K の上の鉤型部品を指すと思われる。

O を開いておく。

ボイラに水が十分入っているかどうかを知るには、コック O が空気を噴出し終え、安全弁 (これは開けっ放してはいけない) が上下にダンスするときを見ればよい。ハンドル K を元に戻し、コック Y を閉じると、機関は再稼動する準備ができた状態となるであろう (Experimental Philosophy)。

これらの改良に従い、デサグリエは 1717 年または 1718 年以降にこれらの機関を 7 台建造した。最初のものはロシアのピョートル大帝 (Czar Peter the Great) のためのものであり、セントペテルスブルグ近郊の彼の庭園に据え付けられた。(蒸気が大気よりはるかに強い場合はすべてそうであったように、) ボイラは球形であり、容積 5 ないし 6 ホッグスヘッド*¹⁵であった。レシーバーは 1 ホッグスヘッドで、毎分 4 回水で満たしてすべて排出することを繰り返した。水は井戸から吸い込みにより (言い換えると、大気圧により) 29 フィート引き上げられ、その後、さらに 11 フィート高さへ加圧された。管はすべて銅製で、弁類に軟口ウ付けされ、この高さでは極めて良好であった。しかし、デサグリエは、高さをより高くすることも、吐出量をより大きくすることも、しようとはしなかった。なぜなら、もし吐き出し量を大きくすれば、ボイラがより大きくならねばならず、同じ力の蒸気がより広い面に作用することになり、それによりボイラが破裂するか、肉厚をより厚くしなければならないからである。

この種の他の機関で、彼が 1720 年にある友人のために作ったものは、井戸から 29 フィート吸い上げて、蒸気の圧力により 24 フィートの高さまで押し上げて、塔の頂上の 30 トン水槽へ揚水した。その水は水槽から導管を通して流れ落とし、庭園内で数箇所の噴水として噴出した。しかし、時には噴水にせずに、水を吐き出し管で 6 または 8 フィートの高さに排水し、干ばつ時に池や冠水牧草地 (定期的に河川の水をせき止めて冠水させ肥沃にする牧草地) に水を満たすのに用いた。このときは、蒸気の力は塔に揚水する場合より、より小さくできた。または、同じ蒸気が維持できるとすれば、水槽に揚水するときは毎分約 6 回であったものが、毎分 8 ないし 9 行程 行うことができた。安全弁の上にはさおばかりがあり、その重りの位置は蒸気の強さを示しており、揚水できる高さを表していた。しかし、重りがさおばかりの最先端にあるときは蒸気は非常に強くなるので、ボイラを破損する前にそれを持ち上げて弁から出て行くことになる。

この機関が作られて 25 年後、機関の特性に全く無知な男が、何の訓練も受けずにそれを運転する役を担い、蒸気を溜めて機関を速く動かすために、重りをさおばかりの先端に置き、さおばかりの端に非常に重い配管鉄 (plumber's iron) を吊り下げた。溜まった蒸気は、尋常ではないこの重りで押さえられた安全弁とさおばかりを持ち上げることができず、遂に、大きな爆発と共にボイラを破裂させて、ばらばらになって飛んだ破片で、近くに立っていたその不運な人を殺してしまった。

(p.116) これらの説明で、この種類の火の機関がどれだけの高さ、どれだけの量を安全に揚水できるかが示されている。普通の大きい居間の暖炉程度の火があれば、この機関を動かすのに十分であり、1 時間に 15 トンを 53 フィート高さへ揚水できる。したがって、もし水槽がいっぱいになっていれば、いつでも友人は噴水を楽しむことができたし、使用人がボイラの下に火をつければ、水槽が空になる前に、機関は噴水に更に供給するために揚水でき、このようにして、火が維持されている限り水を供給し続けることができたであろう。

デサグリエは、記述を終えるに際して、セイヴァリのプランによる彼の機関と、次章のニューコメンにより発明されたシリンダ大気圧機関とを比較している。彼は以下のように言っている。

「私のプランによるセイヴァリ機関は、非常に少ない部品で構成されるので、揚水量の割には非常に安価であるが、揚水量には制限がある。ニューコメンのシリンダ機関も、小さくできないという別の制

*¹⁵ (訳注) hogshead ; = 52.5 gallon = 238.7 liter = 8.42 ft³

限を持っている。なぜなら、小さい機関は揚水量が小さくなるのに伴って揚水量の割には大量の摩擦を伴い、大型機関と同様に多くの部品を持つため高コストになるであろう。大型機関は、水量が多い場合には水量の割りに最良で最廉価となる。摩擦による損失はシリンダの直径に比例し、一方、揚水量は直径の二乗に比例する。したがって、小さい機関の小さい機械を動かすには、大きな機関で大きな機械を動かすより、よりより多くの比率の動力が必要となるであろう。

私はこれを証明するために、ウェストミンスターである実験をした。それは、ジョウンズ (Jones) 氏が私の庭でニューコメン機関の動く模型を作った 1728 年または 1729 年であった (彼はこの模型をスペイン王に贈るつもりであった)。その頃、彼が機関を建造している場所の近くで、私はセイヴァリのプランによる私自身の機関を持っていて、それは毎時 10 トンの水を 38 フィート高さへ揚水するものであった。彼は私のものと同じ寸法のボイラを作り、彼のシリンダは直径 6 インチで長さ約 2 フィートであった。彼の模型のシリンダ機関が完成したとき、それは、私のもと同じ水槽に毎時 4 トンの揚水ができただけであった。彼の要した費用は 300 ポンドであり、私のものはわずか 80 ポンドであった。」

7.6 セイヴァリの火の機関の適用、その長所および欠点について

その特許のもとで、イングランドの様々な場所で紳士たちの家や庭に水を供給するために、多数の小さい機関が建造され、それらはうまくいったようである。また、水道設備や鉱山の用途にも試みられた。

デサグリエは、一層改良された蒸気機関が使用されていた 1743 年に書かれた、彼の著書 "Course of Experimental Philosophy" のなかで、次のように言っている。

「キャプテン・セイヴァリは多くの偉大な実験をして機関を完成させ、いくつかを建造した。それらは紳士の邸宅に対してはうまく揚水したが、水をかなり高くかつ大量に上げなければならない鉱山用途や町への給水には、成功しなかった。その場合には蒸気は、すべての容器を破壊するほど高圧にしななければならないからであった。水を沸騰させるのに十分な熱は通常の空気と同じ弾性力の蒸気を作るが、蒸気は大気を排除する役割を果たし、それが凝縮すると、水を押し上げる大気の力が 30 フィート少々だけ水を持ち上げることができ、揚水する高さが 32 フィート高くなるごとに、蒸気の強さは大気と同じ値だけ大きくななければならない。たとえば、蒸気が作用するレシーバーよりも、水を 90 または 100 フィート高く上げるには、蒸気は通常の空気より 3 ないし 4 倍、さらにそれ以上 (おそらく 6 倍程度に) 強くななければならない、熱い蒸気がレシーバーの冷たい水の表面を打つので、そこで凝縮し、そのため水の表面や水面下の若干の深さの部分が、それ以上蒸気が凝縮しない程度に温かくなるまで、蒸気力が無効になる。水が温かくなると、水は弾性蒸気の圧力を作り出し、それを増大させる。キャプテン・セイヴァリが、ロンドンのヨーク・ビルディング水道施設で、大気より 8 ないし 10 倍の強さの蒸気を作ったことを知った。そのとき、熱は非常に巨大となって通常の軟口ウを溶かし、その強さは強大となっていくつかの機械の接合部を吹き飛ばした。そのため彼は、接合部を垂鉛棒または硬口ウで接合するという苦勞と負担を余儀なくされた。」

(p.117) セイヴァリ氏はその出発時点で、彼の機関はすべての種類の製造所の作業に応用すると提案しているが、それが彼の時代に試みられたようには見えない。その時代で、石炭がもっとも安価であった地域においても、このような機関を建造して維持する費用を拠出できた製造所は、ほとんど無かったのである。

沼地の排水のために、セイヴァリ機関はうまく適合されなかった。なぜなら、ほとんどの場合水はほんの少しの高さ揚水されればよいが、水量は膨大であったからである。したがって、一つの排水のために数台の機関

が求められ、水が排出される鉛直高さは大気圧が水を押し上げる高さより常に低かったので、その動力の大部分が無駄に失われた。船に対してはこの機関は応用もされなかったし、発明者はその方法も示さなかった。このことより、彼の機関は数少ない例に应用できるだけであったようである。

それらの機関は、いくつかの重大な理由により鉱山には一般に応用されなかった。機関の可動部分は鉱山の底から 26 から 30 フィート上の部分に配置されなければならず、もし事故により機関が故障して数日間稼働できなくなったなら、別の機関が無かった場合は水がそのレベルまで上がってきて、水没して回復不能となって失われる。この機関の吸い込みパワーは 26 フィートを大きく超えることはできなかったため、鉛直リフト(揚程)の残りは蒸気の膨張力により得なければならない。この高さが 30 ないし 32 フィート増すごとに、大気圧と同じ圧力がボイラやレシーバーの中に加わり、それらを押し開いて破裂させようとした。

継続的に動作させるには、蒸気により水を 3 気圧つまり約 64 フィート高さ以上に押し上げるのは現実的ではなかった。この制約により、セイヴァリの案では、機関のパワーは最大で約 90 フィートのリフトであった。これより、鉱山の深さ 15 ファゾムごとに別の機関が必要となり、それらで順番に揚水しなければならなかった。したがって、一つの機関が故障すると、それが修理されるまで残りも停止しなければならなかった。

他の困難は、安全に揚水できる水の量にあった。セイヴァリの最大のボイラは直径 30 インチを超えず、レシーバーの容量は小さ過ぎた。したがって、多くの鉱山では同じ高さで数台の機関を必要とした。費用、トラブル、台数を揃える困難により、それらが大いに使えたであろう場所でも導入が妨げられた。

セイヴァリ機関の燃料消費は、現代の機関に比べて極めて膨大であった。また、ある程度の高さの揚水をする場合、常に破裂の危険があった。

(p.118) 例えば、90 フィートまで揚水するとして、そのうち 26 フィートを吸い込みで、残りの 64 フィートを蒸気で行うと仮定する。これを行うには、容器内の圧力は 3 気圧よりかなり高くならなければならず、ボイラとレシーバーの内面 1 平方インチあたり 30 ポンド以上の力で押し付けられ、それを押し開けて破裂させようとする。そのため、このさほど大きくない高さは非常に丈夫な容器を必要とし、接合部は最大の注意をもって行われねばならない。なぜなら、その圧力は通常のポンプや他の水力機械で用いられている値より低いにもかかわらず、水柱に等しい圧力による以上に、蒸気の弾性により容器が破裂させられる危険がより大きいからである。蒸気力は常に蓄積されており、熱の増加により急に増大しやすいのである。また、熱は容器、特にボイラを弱くする傾向があり、ボイラは遅かれ早かれ底の部分の肉厚が必ず減少し、そして破裂するであろう。

ボイラを強くする点では、ウスター侯爵の示唆にしたがって、籐(たが)や内側の棧(さん)が提案されている。しかし、これは蒸気が凝縮するという大きな弊害が残るために、極めて少ししか採用されていない。それゆえ、これらの警戒が必要なこのような高弾性の蒸気を使おうと試みるより、セイヴァリ氏の最初の提案に従って、鉱山を機関ごとに 60 から 80 フィート高さごとに分割するのが良い。

高さ 64 フィートの水柱に打ち勝つには、273 ° F の温度まで加熱せねばならないことが、蒸気の弾性力の表から分かる。この蒸気は最初おそらく、レシーバー内の 50 度程度の低い冷水の表面に直接接触しなければならないので、蒸気の凝縮は最初は極端であり、水の表面が蒸気と同じ温度近くになるまでこれが続くに違いない。しかし、熱が下へ伝わるのは非常に遅いので、これにはある時間を要するであろう。水の表面が十分加熱されると、水と接触するや否や急速に凝縮していた蒸気はレシーバーの中に蓄積して、水の表面を押し始めるであろう。この熱の蓄積が進むと蒸気の弾性は増加し、水柱の圧力を超えて水を吐き出し管から排出する。しかし、レシーバーからある量の水が排出されると直ぐに、レシーバーのそれまで水で覆われていた部分の冷たい濡れた面により新たに凝縮が起こる。金属でできている容器は水よりも速く熱を吸収するであろうから、この凝縮は、以前の凝縮よりもより急速に起こるであろう。このことにより、レシーバーの金属材料が蒸気と

同じ程度の温度に加熱されるまで、水の排出は遅くなるであろう。

セイヴァリ氏は、これに十分気づいていたと思える。"鉱夫の友"の中で、彼は次のように言っている。

「蒸気は、レシーバーの中の水の表面に作用する。水の表面は蒸気に加熱されるだけで、蒸気は凝縮しないが、蒸気は重みで、または空気のような弾性による圧力で押し、弾性またはばね力を増し、レシーバーとパイプ S の水柱の重さとつり合うか、または超えて、水が通路 Q R 1 を通って吐き出し管 S の中へ必然的に押し出される。蒸気はパワーを回復するのにある時間を要するが、最後には水を吐き出し管 S の頂部まで排出する。レシーバーの外面を見れば、あたかも透明であるかのように、水が出て行ったかどうかを見ることができる。蒸気はその容器の中に含まれていれば外面は乾いており、手で少し触るのも耐えられない程に熱くなっている。しかし、その容器の中に水が入っていれば、それは冷たく外面は水が落ちてきて濡れている。水が下降して蒸気が入ってくると直ぐに、その冷たさと濡れは消えてしまう。」

(p.119) このようにレシーバーの金属に伝えられる熱は冷水によって捨てられて散逸し、冷水は次の凝縮のために外へ吐き出される。

7.7 セイヴァリ機関の建造における改良

巨大な弾性を持つ蒸気が冷水と直接接触したときに生じる急激な凝縮は、セイヴァリの案によりかなりの高さ揚水するには避けられない障害である。なぜなら、蒸気はその弾性力を及ぼす前に、レシーバーは必ず熱せられねばならず、そして、真空を作るには再度レシーバーを同じように冷やすことが要求されるからである。

レシーバーの内面と水は、蒸気の水を押すときにはできるだけ熱くしなければならず、真空が必要なときにはできるだけ冷たくしなければならない。それは、弾性率の表で見ると、すべての場合で蒸気の弾性はその温度に依存するからである。

実際に、レシーバーには常に蒸気が入っているので完全な真空は達成されず、温度に応じて大なり小なり弾性的である。もしレシーバーの冷却が不完全であれば、それに比例して真空も不完全になるであろう。例えば、レシーバーの内面が 112 ° F の温度にまでしか冷やされなかったならば、レシーバー内に残る蒸気の弾性は水柱高さ 3 フィートの圧力に等しくなるであろう。その場合でも大気的全圧力は 33 フィート以上であるから、水は吸い込みにより井戸の水面の上 26 フィートの高さまで上げることができ、なお、水を吸い込み管と弁を通して上向きに流すために、水柱で 4 フィートを超える値の上昇力があるであろう。しかし、レシーバーが 80 ° まで冷却されたと仮定すると、残される蒸気は水柱で 1 フィートだけであり、したがって、この場合には、同じ速度で先の場合より 2 フィート高く揚水することができる。これより、レシーバーを不完全に冷却することにより、効果の損失が生じることになる。どちらの場合でも、吸い込む力は、井戸の上 26 フィートに設置されたレシーバーを満たすのに十分であるが、不完全な真空では水は吸い込み管を遅い速度で上ってくるので、レシーバーを満たすのにかなりの時間を要するであろう。真空がより完全であるかまたは高さがより低ければ、レシーバーは短時間で満たされ、同じ時間に機関はより多くの水を上げるであろう。

この理由により、水の表面とレシーバーの金属に伝えられる熱は、水を押し出す蒸気の強さを弱めるだけでなく、その後の凝縮を妨げて真空を不完全にする大きな弊害である。

蒸気の水と直接接触することによる熱の損失に対するもっとも明白な対処法は、円筒形のレシーバーを採用して水面に浮遊カバーつまりフロートを浮かべて、蒸気と冷水を分けることである。これはパパンにより 1707 年の出版物の中で提案された。しかし、それは、デサグリエの形の機関に対して非常に簡単に適用でき

たはずであるが、パパンの当時は実用化されなかったようである。最良のフロートは薄い中空の銅の箱を非常に気密に口ウ付けしたものであり、砥石のような円形として、円筒形レシーバーの内面に接触せずにかつできる限り気密にはめ合わされるべきである。熱がフロートを伝って水に伝わるのを防ぐために、上面と下面はワニスを塗った木で覆い、また箱の中は燃えたコルクで満たしてもよいかも知れない。しかし、レシーバーの冷たい濡れた表面での凝縮はなおも続くのであるから、これはこの弊害に対する単なる部分的な対処法に過ぎない。

(p.120) セイヴァリ氏が観察したように、熱い蒸気が入ったとき熱はレシーバーの金属の中を非常に速く伝わる。もし、強度を高めるためにレシーバーが厚い金属でできていれば、周囲の空気への放熱と同様に、それは部材自身の内部に熱のかなりの部分を吸収するに違いない。この損失は蒸気が入ってくるたびに繰り返され、このすべての熱は冷水が吹き込まれたときに再度レシーバーに返されるので、それは残存蒸気量を多くして真空を損なうことにより害を及ぼすであろう。

もしレシーバーが樽のような箍(たが)をはめた木で作られて、薄い銅のシートでライニングされていれば、この原因による熱の浪費は非常に小さくなるであろう。なぜなら、木は熱を遅く伝えるので、感じられる程度の熱が木の厚みを通過する前に、この機関の運転に応じて何度も厚い木の内表面は加熱・冷却を繰り返されるからである。または、円筒形のレシーバーは銅の薄板で作って、口ウ付けして、他の鑄鉄のシリンダの中に、周囲に2インチ以上の隙間を残して入れても良い。木炭の粉をこの隙間に硬く詰めると、熱の通過を効果的に防ぎ、薄い銅の容器を非常に固く支えるであろう。

したがって、セイヴァリ機関を最良の方法で建造するためには、非常に薄い銅の円筒形シリンダを強い木の容器または鑄鉄の容器の中に入れ、間に木炭の層をはさみ、レシーバーの中に水面を覆うようにぴったり合う中空のピストンを入れるのがよい。

注目すべき他の事実は、吸い込み管からレシーバーに自由に入れるように、また吐き出し管で素早く出ていけるように、水の広い流路を確保することである。このように建造した機関は機敏に動作し、蒸気は可能な最小の時間で水を押し出し、凝縮による熱の損失はより少なくなる。同じ理由で、吸い込みによりその上限の30ないし32フィートの高さまで水を上げようとする、水は非常に遅く上げられることになるので、それは推奨できない。しかし、その高さを26フィートにまで減らすと、駆動力は同じで抵抗力が減るので水はより速く引き上げられる。

水がレシーバーに上がってくる速さは、レシーバーの大きさに対する吸い込み管および弁のサイズに大きく依存する。古い機関はこの点で大きな欠点を持っている。水の配管は小さく作られ過ぎであり、このため、たとえ小さい上昇管を非常に速い速度で通過したとしても、水はレシーバーに非常にゆっくりと上がって来ざるを得ない。配管を大きくすることにより、揚水できる高さの面でも、ある時間に揚水できる水量の面でも、同じ蒸気消費で効果がかなり上昇する。

水の通路断面積は、そのもっとも細い部分で、円筒形レシーバーの面積の半分以下であってはならず、その面積の半分以上であれば、機関はすばやく動作するであろう。そのとき、熱が拡散する時間が短くなってより多くの仕事がなされるので、これは性能にとって大いに利点となる。

これらの状況に注意して製作されたセイヴァリ機関は可能な限り良好に動作し、揚水される水は蒸気レシーバーに入ってくるであろう。しかし、蒸気機関が効率的な機械と評価されるには、ピストンが円筒形レシーバーに正確に合うように作られ、その外部に水が完全に追い出されるのを待たねばならなかった。この形式は1690年にパパンによって暗示され、1710年にニューコメンにより完成されて、機械は一層複雑になった。なぜなら、ピストンを持った分離レシーバー、言い換えると、揚水するためのポンプとそれに蒸気ピストンの動きを伝達する機械装置とが、必要となったからである。単純さと動作の確実さの点で、それが応用できる状況

下ではセイヴァリ機関は揚水のための価値ある機械である。しかし、セイヴァリの原理がそれ以降改良されなかったならば、その蒸気機関が非常に限られた用途でも用いられることは、極めて稀であったであろう。

(p.121) より完全なその蒸気機関が実用化されて以降、幾人かの優秀な技術者たちがセイヴァリの案を押し進め、鉱山で採用できる程度まで改良しようと努力してきたが、それは成功していない。ブレイクリー (Blakely) 氏は、セイヴァリ機関を改良して導入しようと多くの試みを行った。1766 年に取得したその特許の仕様書によると、彼の改良は、レシーバーの水面に浮かべた油を用いて熱い蒸気と冷水の間にピストンまたはディスクを形成し、水面への接触による蒸気の凝縮を避けようとするものであった。また、同じ目的でレシーバー内に空気を入れることも含まれていた。この後者の場合、二つのレシーバーを用い、その一方には空気だけを入れてセイヴァリと同じ位置に配置し、そこへ熱い蒸気を入れてその空気を圧縮し、その下に置かれた第二のレシーバーへ配管を介して押し出す。この圧縮された空気がそこから水を押し出して吐き出し管の中を上方向へ送り出す。この方法により、彼は蒸気の水と接触するのを防いで凝縮を避けようとした。しかし、ブレイクリー氏の機関は、発明者が期待したように空気が蒸気と冷水の完全な分離を作り出すことはできず、また、水柱を押し上げるに十分なほど空気を圧縮するのに膨大な動力を要したので、セイヴァリの元の案より良い答えを見出せなかった。この圧縮空気を取り除くためには、その後で大気中へ放出されるか、水と共に配管内を上へ押し上げられねばならない。いずれの場合でも、空気の圧縮に要したパワーはすべて損失である。これらの計画のレビューは Appendix の適当な場所で与えるが、セイヴァリ機関の記述へ戻ることを避けるために、他の蒸気機関の話に進む前に、セイヴァリ機関の改良形で実際に役に立つものについて、ここで記述しよう。

30 または 35 フィート高さの揚水には、セイヴァリ機関を採用して使うことができるであろう。その場合は主に吸引によって行うことができ、蒸気圧による吐き出しは非常に少ない圧力で済むことになる。このプランによる、いくつかの小さい機関が建造されている。揚水した水を直ぐに加熱することになる場所では、水の中に捨てられた熱の損失はボイラに入る前の水を温めており、全体としては経済的となっているので、それらは非常に重要な機械となる。例えば、塩やミョウバン工場または醸造所でボイラのために揚水することが目的である場合、温水槽へ揚水するのに応用可能であろう。

この種の小さい機関が、セーヌ河の浮き風呂 (floating-bath) に給水するために、パリのゲンジェンブル (Genjembre) 氏により 1820 年に作られ、その目的に極めて完全に答えた。事情が許すとき、最も有利な方法は全揚程を吸い込みで運転することであり、レシーバーで十分な高さに水を吸い上げて、蒸気で押し出すことなく水の自重でレシーバーから流出させるのがよい。この形式の機関では 20 ないし 22 フィート以上に揚水することはできないが、その利点は、蒸気は大気圧の空気以上の大きな弾性力を持つ必要がなく、水がレシーバーを出る時に蒸気がレシーバーに十分な勢いで入りさえすればよいだけである。そのとき、蒸気の温度は沸点より少し高く、約 217 °程度となるだけであり、その結果、凝縮による損失も大きくない。蒸気は水を押すのではないから、押し出し機関のように蒸気が冷水と蜜に接触することもない。

(p.122) 機関がこのように吸い込み作用だけにより運転されるとき、噴射水は小さい押し出しポンプで送られなければならない。また、レシーバーには小さい空気弁を取り付けて、蒸気を最初にレシーバーに入れるときに、その弁から空気を蒸気で排出しなければならない。空気は不可避免的に機関中に徐々に入り込むので、これをしなければ空気が蓄積して、最後にはレシーバーを満たして真空を損なってしまう。また、機関を完全なものにするには、自動運転できる必要がある。それは、運転員の補助を必要とせずすべての弁の開閉機能と水の供給を行うことであり、運転員は火を維持するだけとなる。

この原理によるいくつかの機関は、他の蒸気機関をまねて行った種々の改良を伴って、ジョシュア・リグレイ (Joshua Rigley) 氏により何年も前に、マンチェスターおよびランカシャの他の場所で建造され、それら

地域の初期の大規模工場や綿花工場機械設備を動かした。その機関は通常、水を 16 ないし 20 フィートの高さへ上げ、その水は再度下りてきて水車を動かした。これは、セイヴァリ氏が彼の機関で水車を動かそうとした元のプロジェクトのとおりであるが、リグレー氏は彼の機関を運転員なく動作するように工夫した。水車の回転により、調整器と噴射コックを適当な間隔で開閉した。それらは数年用いられたが、より良い機関に道を譲った。

"Nicholson's Philosophical Journal", 四つ折り版, vol.i, p.419 に、この種の機関の次のスケッチと記述がなされている。それは、ロンドンのキール (Kier) 氏の大規模工場で建造され、そこで旋盤などを回すのに何年も運転された。

7.8 揚水して水車を回すセイヴァリの原理による蒸気機関の記述

「図 8 はこの機関の中央断面を示す。B はボイラであり、ワゴン (四輪荷馬車) のような形で、長さ 7 フィート、幅 5 フィート、高さ 5 フィートである。それは、大きな機関を動かすのに十分な大きさであると考えことができ、(機関の性能に対する) ボイラの影響はある程度消えているに違いない。揚水した水槽からボイラへ下りる管でボイラに給水し、その管の上端には下向きに閉じる弁があり、水が予定のレベル以下に下がったときはいつでも弁が開くように、その弁はボイラ内の水面上のフロートとワイヤで繋がれている。(水面が下がると) フロートが下がり、その重さによって弁を上上げて、水槽からの水をその管内に流して不足分を補給する。ボイラ内の水位が上がると、フロートが弁を閉じる。そのため、ボイラは同じまたはほぼ同じ水位を保つことになる。

蒸気は管 C によりボックス D へ送られ、弁の開閉によりそこから円筒形レシーバー A へ入れられる。軸 K は弁を開閉するキーとして用いられ、弁は端が円錐形をした円板であり、ボックス D の底の

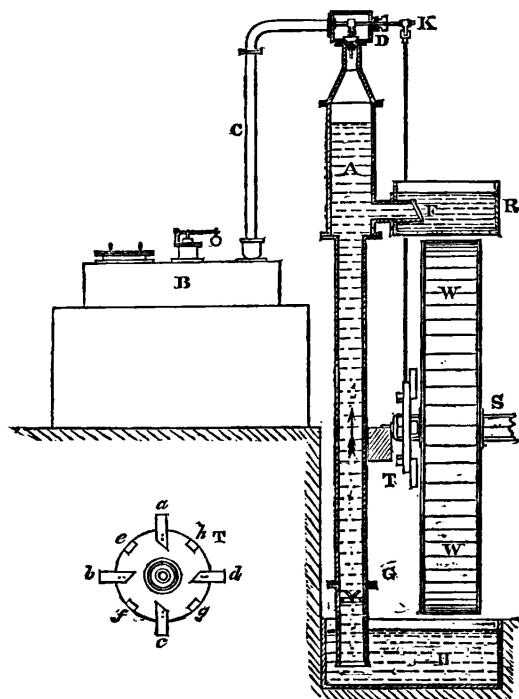


図 8 キール氏の工場のセイヴァリ機関

中の対応する開口部に合うように作られている。下部の水槽 H に入れられた水を、鉛直の吸い込み管を通して機関が引き上げる。その吸い込み管には弁 G が取り付けられて、水が戻るのを防いでいる。R はもう一つの水槽であり、噴出し口 F を通じてレシーバーからその中へ水が排出される。噴出し口には、外側に開く弁が付いている。W W は直径 18 フィートの上掛け水車であり、その軸 S で大規模工場 で用いられる旋盤やその他の機械を動かす。

(p.123) 機関は下部の水槽から、吸い込みによりレシーバー A の中へ水を上げる。水はそこから上部水槽へ流れ込み、そして水門を通過して水車 W のバケットの中へ流れて水車を動かす。水車のバケットを出た水は、再び下部水槽へ落ちる。同じ水が二つの水槽の中で連続して循環するので、少し動かすと人の手よりも温かくなり、このために、噴射水は小さい噴射ポンプにより井戸から汲み上げられる。この噴射ポンプは、重り付きテコつまりポンプハンドルにより水車で駆動される。これは水車の動きにあわせて重り付きテコを持ち上げて自重により落下させるものであり、これにより水をレシーバーへ送水する。鉛の管がこの噴射ポンプからレシーバー A の上部の円錐形部分へ繋がり、適切な時期に冷水を噴射する。簡略化のために、この節ではこれらについていずれも提示することはできない。

レシーバー A に蒸気と冷水を交互に入れる方法については、まだ説明していない。水車の軸 S の端に直径約 4 フィートの木の車 T が固定されており、水車と共に回転する。その木の車は、図では正面図として別に描かれている。a, b, c, d は四つのクリートであり、すべて (またはそのいくつか) は木の車に固定されている。各クリートの対になるブロック e, f, g, h が、木の車の反対側の面に固定されている。これらを用いて、機関は下記のように動作する。水車、木の車 T およびすべての回転装置が回転しているとして、クリート a がレバーに当たったとすると、それでレバーを持ち上げ、軸 K のハンドルに繋がった連接棒により蒸気弁 D を開き、その結果蒸気がレシーバー A に入る。そして、木の車 T が回転してクリート a がレバーから離れるとすぐに、蒸気弁が再び閉じる。これらの間、T の裏側の対応するブロック e が、押し出しポンプのハンドルとなっている重り付きテコを持ち上げており、蒸気弁 D が上述のように閉じる瞬間、ブロック e は重り付きテコを離して急に落とす。これで押し出しポンプのプランジャーを押し、冷水の噴流をレシーバー A の中へ噴射して、中の蒸気を冷やして凝縮させて真空を作り出す。その時、水槽 H の水面上に作用する大気の圧力が、弁 G を通して水を排気されたレシーバーの方へ押しやる。

(p.124) 機関が最初に動作するようにセットされるとき、水車は動いていないので蒸気弁および噴射ポンプは手で動かさなければならない。もし、機関が長い間動かされていないならば、水をレシーバー A に満水となるまで上げるのに 2 ないし 3 行程必要であろう。この状態になって蒸気弁を開いて蒸気をレシーバーに入れれば直ぐに、吐き出し口および弁 F より上方の水はその自重によりレシーバーから上部水槽 R へ流れ出る。

このように上げた水は、水槽から水門を通過して水車 W の上へ流れ、このようにして水車を動かして下部水槽の水を補給する。噴射水にはリザーバーがなく、必要な量は各行程ごとに送り出され、ポンプの重り付きテコが急に落とされると水がレシーバー内へ急に噴射される。」

(*"Nicholson's Philosophical Journal"*, 四つ折り版, vol.i, p.419)

以上より、この機関は、揚水単独の目的ではなく水車にも運動を与えていることを除けば、事実上セイヴァリの機関と同じであることがわかる。また、蒸気で水を押し出すことは全く行っていないこともわかる。水は自分自身の重力だけでレシーバーから流れ出ており、その結果、蒸気に大気圧以上の圧力を要求していない。この機関の効果から、(燃料が極端に安く手に入る場所を除いて、) 蒸気で水を押し上げるという直接の作用は

有利ではないということ、明確に結論することができる。

この機関の最初の建造の中で、水との接触による蒸気の消費量は極めて膨大であることが分かっていたが、後年、蒸気ボックスに小さい空気弁を設けて、蒸気を受け入れる直前に機械仕掛けにより押し開くことにより、この欠点は改善された。空気は水の上の空間を占めて、水と蒸気が接触するのを防いでいると推定できるであろう。この空気を除去するために、ボイラの蒸気は大気よりもかなり強くして、レシーバーの中へ勢いよく入れて、その空気弁を通して空気を追い出さなければならない。空気弁は、そのために外側へ開くようにされて、蒸気を受け入れる直前の瞬間と機械仕掛けにより開かれている瞬間を除いて、真空が維持されている間は閉じて、空気の侵入を防ぐであろう。この機関は数年使用された後、空気弁は不必要であることが分かって用いられなくなった。建造当初のように気密ではなかったため、それ無しで機関はうまく動作した。

水車の運動は、ワット氏の発明した調速機 (governor) と呼ばれる装置で制御された。調速機は、彼の機関の説明の中で十分記述されるであろう。それは水車に合わせて回転する鉛直の軸であり、その鉛直軸に固定された支点の回りで動く回転する丸い振り子を持っている。回転が非常に速いとき、これらの振り子の球は遠心力により鉛直軸の外側へ振れ、この動きが上部水槽の水門に繋がるレバーを引きおろす。そのため、水車の速度の大小に応じて水門が下がった上がったりする。負荷が軽くなったりその他の原因により水車が非常に速く回ると、上の水槽から落ちる水の量が直ちに減少する。逆に、回転が遅くなって速度が不足すると、水の量が増やされる。

ここで記述した機関は、何年も動き続けている。構造が簡単であることから、非常に長期にわたって摩耗しにくい。

(p.125) キール氏は、その機関は彼にとって有益な機関であり、石炭が安価な所では揚水に有効であると考えた。それは、12 時間の運転で良質の石炭を、最良の状態で 6 ブッシュェル^{*16}、最悪の状態で 7 ブッシュェル消費すると述べられている。これらの条件のもとで毎分 10 行程行い、各行程で 7 立方フィートの水を下の水面から 20 フィートの高さへ上げた。これは、毎分 70 立方フィートの割合で 20 フィート高さへ上げ、つまり、毎分 1400 立方フィートの割合で 1 フィート高さへ上げることになる。1 馬力 528 立方フィート^{*17} で割り算して、この機関の動力として $2\frac{2}{3}$ 馬力が得られる。しかし、この機関の石炭消費は、おそらく上述の値よりかなり大きかったであろう。少なくとも、 $2\frac{2}{3}$ 馬力で規則的に動いているときは、かなり大きかったであろう。

7.9 セイヴァリ機関における燃料消費について

セイヴァリの元の機関で、与えられた燃料を用いて与えられた高さまで、どれだけの量の揚水ができるかについて、何の説明もなされていない。「鉱夫の友」の中で彼は、直径 3 インチで高さ 60 フィートの水中を持ち上げるのに、奥行き 20 インチで幅 14 ないし 15 インチの火床の炉が必要であると述べている。機関の使用から得られる利点に比べると、その燃料消費はわずかであると彼は言っている。

ブラッドリーは、彼が描いたケンジントンの小さい機関は、毎分 52 ガロンの水を高さ 58 フィートへ持ち上げ、運転の各回で $\frac{1}{2}$ ペック^{*18}の石炭を燃やしたと言っている。しかし、これらの説明のいずれも、それら

^{*16} (訳注) 元は乾量の体積の単位であり、1 ブッシュェル (bushel, bsh, bu) = 8 ガロン = 約 36 リットル。ここでは、1 bushel = 石炭 84 lb を意味する。

^{*17} 1 HP = 33000 lb ft/min に水の比重量 $1000 \text{ kg/m}^3 = 62.43 \text{ lb/ft}^3$ を用いて、

$$1 \text{ HP} = \frac{33000}{62.43} \text{ ft}^3 \text{ ft/min} = 528.6 \text{ ft}^3 \text{ ft/min}$$

となる。

^{*18} (訳注) ペック (peck) は元来は乾量の体積を表し、1 peck = 2 galon = 1/4 bushel である。石炭 21 lb を意味するとされている。

の計算をするには十分な正確さがない。スウィツァー (Switzer) は、1729 年にこの記述を繰り返すなかで、1 ブッシェルの石炭のコストはロンドンでは 12 ペンス以上にはならず、他の多くの地域よりかなり安いことを付け加えた。

スミートン氏は、1774 年にリグレー (Rigley) 氏によりマンチェスターで水車を動かすために作られた、二つの機関を試験した。それらは吸い込みだけで動作し、最後に記述したものとよく似ていた。

最初のものは、直径 16 インチで高さ約 22 フィートの円筒形レシーバーを持っていた。それは、井戸の水面から 14 フィート上方の位置で、レシーバー頂部から約 8 フィート下方の高さへ水を排出した。それは毎分 12 行程を行い、各行程でレシーバーを約 6 フィート高さまで満たした。ここで、6 フィート長で直径 16 インチは約 $8 \frac{1}{3}$ 立方フィート、 $\times 12$ 行程 = 送水量 100 立方フィート/分、 $\times 14$ フィート = 1400 立方フィート・フィート/分；これを 1 馬力つまり 528 立方フィート・フィート/分で割って、 $2 \frac{2}{3}$ 馬力となる。この機関は 4 時間で 3 cwt^{*19}、つまり毎時 $\frac{3}{4}$ cwt (= 84 ポンド = 1 ブッシェルの石炭に相当) の石炭を消費した。その時間で、 $1400 \times 16 = 84000$ 立方フィートを 1 フィート高さへ持上げるのに十分なパワーを出した。この水の重さは、1 立方フィートで $62 \frac{1}{2}$ ポンドとして、 $5,250,000$ つまり $5 \frac{1}{4} \times 10^6$ ポンド・フィートとなる。1 ブッシェルの石炭、重さで 84 ポンドの消費による仕事である。

他方の機関はより大型であった。円筒形レシーバーは内直径 2 フィートで高さ 7 フィートであった。それは、井戸の水面から 19 フィート高さまで水を運び、毎分 $7 \frac{1}{4}$ 行程で各行程でレシーバーを 6 フィート高さだけ水で満たした。水量は行程当たり $18 \frac{3}{4}$ 立方フィート、または毎分 136 立方フィートを 19 フィート高さへ揚水する。つまり、ほとんど 5 馬力となる。

この機関は 24 時間で 32 cwt、または毎時 $1 \frac{3}{4}$ ブッシェルの石炭を消費した。その比率は、1 ブッシェルあたり、 $5 \frac{1}{2} \times 10^6$ ポンド・フィートとなる。

これらの機関はいずれも、現在の蒸気機関で用いられているような、最良のボイラで建造されたのではないので、現在では同じ燃料からは、おそらくより大きい効果が作り出されるはずである。

る。

*19 (訳注) 1 cwt.(ハンドレッドウェイト) = 112 lb.