

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

## 第 3 章 種々の用途への大気圧機関の応用

(邦訳 S. Yamauchi)

2019 年 12 月 27 日

### 目次

1	背景	2
2	鉱山排水用大気圧機関の立坑仕掛け、ポンプ類の描写、Plate IV	4
2.1	鉱山排水用機関用ポンプ装置のカール氏による寸法表	10
3	大気圧機関の炭鉱の排水への応用	16
3.1	大気圧機関の材料費、1727	21
3.2	鉱山の排水用大気圧機関の材料費、1775	23
3.3	ニューカースルの大気圧機関の性能、1769	25
3.4	コーンウォールの大気圧機関の性能、1770	28
3.5	鉱山の地下構造	30
3.6	鉱山排水が腐食性の場合に火の機関のボイラに軟水を供給するスミートン氏の方法、1779	31
4	都市の公共給水所での揚水への大気圧機関の応用	36
4.1	ヨーク・ビルディングズ給水所の機関	36
4.2	ロンドン橋給水所の機関	46
4.3	地方都市の公共給水所用の小型 8 馬力大気圧機関	49
5	一時的な掘削排水用の移動式の火の機関	52
5.1	スミートン氏による移動式機関の説明、1765	54
5.2	機関の動作	55
6	造船用乾ドック排水への火の機関の応用	59
7	湖沼地帯の排水のための火の機関の応用	63

## 1 背景

(p.212) 蒸気機関の発明者たちが最初に大きな応用対象として考えたのは、鉱山の排水であった。これに、セイヴァリは成功することができず、彼の機関のために他の下位の用途への採用に満足しなければならなかった。しかし、ニューコメンは、非常にうまく成功した。彼の機関の最初の導入の後、長年の間そのパワーの限界に達することなく、鉱業での最も大胆な投機は簡単に現実になった。

コベントリー (Coventry) とニューカースル近郊での炭鉱の設立は、そこでの作業に新しいシステムを導入する最初となった。そして、その発明についての知識が、石炭の豊富なイングランドとスコットランドの他の地区に次第に広がり、それにより新しい鉱山が各地で開設された。

より価値の高いコーンウォールのスズと銅の鉱山は、以前から水車を用いて非常に深くなっていたので、まもなくこれら蒸気機関やその大型機関の力を借りて一層深くなった。ダービーシャーおよびカンバーランドでも、鉛鉱山を排水するために何台かの機関が使われた。

ロンドンでは、以前に用いられていた馬機関 (horse engine) に代わって、住宅へ水を供給するために 2、3 の蒸気機関が設置された。そして、一部に新しい設備が蒸気機関を用いて設置された。他の主要な町にも、小さな給水設備があった。

大気圧機関が導入されて最初の 50 年の間、大規模に使用された用途は以上でほとんどすべてであるが、数少ない例外は、セイヴァリ氏の元々の考えに従って、工場の水車に機関で水を供給するというものであった。この用途には、1752 年にプリストル近くの製造所で最初に実現され、それはその後の 25 年間よく用いられる用途となった。

フランス、ハンガリー、スウェーデンおよびロシアの大陸の鉱山に、何台かの火の機関が用いられたが、それらはすべてイングランドで作られて、イギリス人によって設置された。

この事実は、モンズ・ベリドール (Mons. Belidor) により、火の機関が完全にイギリスの生産であるという証明として、彼の著書の "Architecture Hydraulique" (1734) の中で述べられている。なぜなら、蒸気機関は 1690 年にパパンが提案した結果であるとの、フランス人によりなされる異論にもかかわらず、彼らにより決して何もなされなかったし、機関の建造が英国で一般的な機械産業となった以降でさえも、同様であったからである\*<sup>1</sup>。

1736 年に、船および乗り物を風と流れに逆らって、または無風時でも任意の港または川に出入りさせるための機械の特許が、ジョナサン・ハルズ (Jonathan Hulls) 氏に与えられた。彼は、その機械の銅版画付きのパンフレットを出版した。それはニューコメン機関を船に載せたものであり、滑車を通したロープを用いて、船尾に取り付けた櫓つまり外輪に連続的な回転運動を与えるのに適用された。その計画は完成されなかったし、実用に供されることもなく、実際は、1690 年のパパンの最初の計画 (第 1 章 p.98 を参照) の焼き直しに過ぎなかった。

大気圧機関が鉱山に適用される時、そのポンプは常に、可動バケットに弁がついた吸い込みポンプ (sucking pump) と呼ばれる種類のものであった。それは機関の高さへ水を上げることができるだけであり、

---

\*<sup>1</sup> マルテン・トリヴァルト (Martin Triewald; 訳注: 正しくは Mårten Triewald) 氏は、火の機関を研究した最初の外国人であったように見える。彼はスウェーデン生まれで、1716 年にイングランドへやって来た。機関を管理するために、彼は数年間ニューカースルのいくつかの炭鉱所有者に雇用された。ロンドンで、彼はまたデザギュリエの哲学の講義にも出席した。1726 年に、彼は本国に帰国し、そこで、彼はイングランドで造られた部品を用いて機関を組み立てた。トリヴァルトは、その後スウェーデン国王指定の技術者となった。

それ以上の高さへ上げることはできなかった。ポンプは立坑に設置され、ピストンが下がるたびに水を引き上げた。深さが浅い間は 1 台だけのポンプが使われたが、鉱山がより深くなると直列につないで水を上げるために、2 台またはそれ以上のポンプを使うことが必要となった。

(p.213) 給水設備について立案された計画は、機関により水を配管を通して高い塔の上の水槽へ押し上げ、そこから別の配管で再び下りて、その配管から分岐した管路を通して分配するというものであった。ある場合では、水を汲み上げる水槽は高い土地に作られた池または貯水池であり、かなりの量の給水を入れられるように十分大きく作られた。しかし、これらのすべてのケースでは、機関の位置よりかなり上の高さまで水を送る必要があり、鉱山で使われていた吸い込みポンプを用いることはできなかった。

水を押し出して送水する最も一般的な方法は、弁を持たないピストンの押し出しポンプ (forcing pump) を用いて、ポンプのピストンの下降行程、つまり、機関の蒸気ピストンの上昇行程 (機関の戻り行程) で揚水することであった。(その行程では、) 押し出しポンプのピストンのロッド側に大きなつり合い重りを付加して、水柱を押し上げた。このつり合い重りは、蒸気ピストンが下降するときにその力で持ち上げられ、その戻り行程でその重りがポンプに有効な行程を行った。

もう一つの案は、通常ジャックヘッドポンプと呼ばれているリフト押し出しポンプ (lifting force-pump) を使うことであった。バケットに弁がある点で吸い込みポンプと同様に作られているが、ポンプ胴の上端はカバーで塞がれ、その頂部から揚水管が横に出ている。ポンプロッドはそのカバーを貫通し、貫通部にロッドにぴったり合う皮革のカラーが取り付けられている。ロッドは平滑に磨かれているので、水を漏らさずにその貫通部を上下に自由に動くことができる。このカバーのために水は胴の上部から出ることができず、揚水管を通して所定の高さまで流れざるを得ない。吸い込みポンプと同じく、このポンプでは蒸気ピストンが下降行程を行う時に水が上げられる。

いくつかの給水用機関では、両方の種類のポンプが組み合わされて 2 台が横に並んで置かれた。ピストンが上昇する時につり合い重りの戻る力で押し出しポンプが揚水し、下降行程で蒸気ピストンの直接の力でリフトポンプが揚水した。この配置の利点は水が連続的に流れる、または、機関が運動の向きを変えると非常に短い時間しか流れが休止しない、ということであった。送水を受けるためにしばしば大きな空気室が付加され、圧縮空気の反作用により管内の水の動きを均一にし、連続的な流れを持続した。

ここで、1775 年までに大気圧機関が実際に採用された用途ごとに、その最適な寸法と比率を与えることを考えよう。1775 年は、機関が一般的に使用されるようになって半世紀が経つと考えられる。

鉱山の排水のための機関は、既に詳細に説明された。しかし、鉱山の立坑内のポンプ設備の応用と建造については、まだ示されずに残っている。公共給水設備のための大きな機関とそのポンプ設備について記述し、同じ目的のための小型機関の詳細を示そう。また、基礎や井戸の工事、または類似の一次的な用途のための移動式機関についても示そう。最後に、上射式の水車を回すための揚水に応用された機関の例、鉄を溶解するための炉へ空気を送る機械の例、鉱山から石炭を引き上げるための機械の例も示そう。これらの詳細は、すでに記述したことに加えて、ニューコメン機関の応用対象についての十分な情報を読者に与えるであろう。

## 2 鉱山排水用大気圧機関の立坑仕掛け、ポンプ類の描写、Plate IV

(p.214) この目的のポンプは、通常、二つの弁の付いた吸い込みポンプであり、一つの弁は胴の中を上下するバケットの中に取り付けられ、他方の弁(クラック弁)は胴の底に固定されている。その仕組みは家庭用で一般に使われているポンプのものと同様だが、鉱山用ポンプは鋳鉄で作られて、胴の上部と下部に扉が付けられ、修理や皮革の交換を行う時に扉を開いて、弁またはバケットにアクセスできるようになっている。その扉はねじで固定されている。

ポンプロッドはポンプの中へ下っていき、その下端にバケットが固定されている。ロッドの上端では、立坑内のいくつかのポンプすべてのロッドが1本の主スピア(槍)に繋がれ、機関の大レバーのアーチヘッドから鎖で吊るされている。そのため、すべてのポンプのバケットは一緒に引き上げられ、水を同時に引き上げることになる。

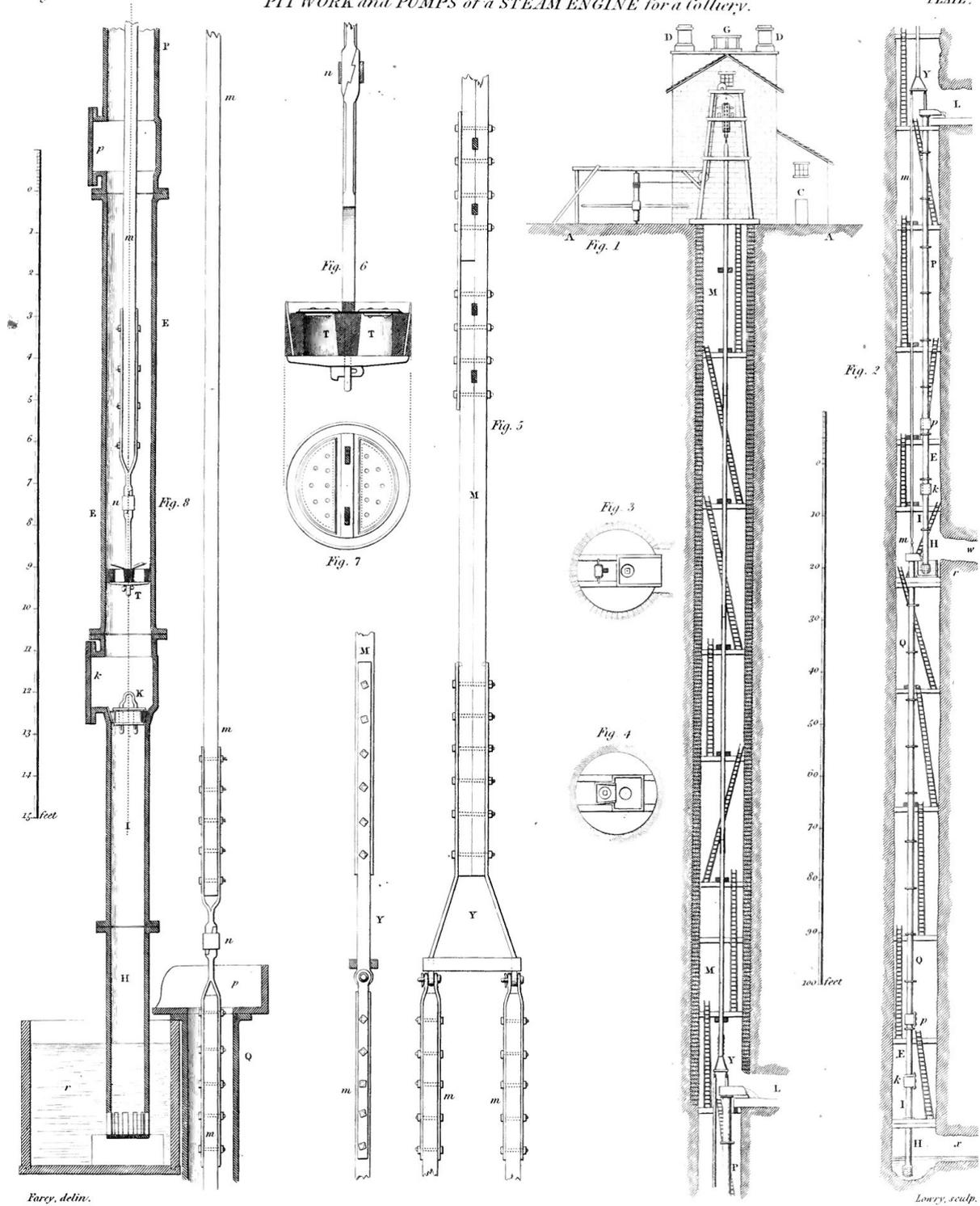
鉱山がかなり深くなったときは、立坑は2、3段のリフトに分割され、多くの異なるポンプが使用された。最も低い位置のものは、最初のリフトとして、水を鉱山の底から立坑内に固定された水槽へ揚水する。この水槽の中に第2のポンプの下端を入れ、そこから第2の水槽へ揚水する。第2の水槽から第3またはその上方のポンプが、水を地表または地下通路の高さまで揚水する。その地下通路で水が排出されて、機関の設置位置より低い土地へ水を流出させることができる。

機関がちょうど地表まで水を引くということは、頻繁にあるわけではない。なぜなら、機関がちょうど海面レベルに設置されるのでない限り、多くの状況下では、地表よりかなり深い位置で、少し離れた小川まで立坑を横切るように横坑道が作られ、それによって、機関が揚水すべき高さを減らすことができるからである。コーンウォール、ダービーシャーおよびカンバーランドの鉱山地区には、これらの地下レベルの例があり、ここでは、地表からかなり深い位置で、一帯の全ての鉱山の排水を行うために、海や大きな川から何マイルにもわたって横坑道つまり地下排水溝が作られていた。そしてこの地区では、この標高レベル以下で作業する必要のある鉱山にだけ機関が備えられ、また、その地区のすべての機関は、排水をこの共通レベルへ放出し、それらはすべて水路支流で繋がれて排出された。

Plate IV (図1)のFig. 1および2は、炭鉱の立坑内にポンプを配置する普通の方法を示すスケッチである。Fig. 1は立坑の上部部分の断面図であり、Fig. 2は同じ断面の下部部分の続きである。水は、2台のポンプで二度に分けて上げられたと思われる。一番下のポンプは立坑の底から上の水槽へ揚水し、その水槽から上部のポンプが水を引いて、横坑道または地下排水溝のレベルまで揚水し、その地下排水溝により水は近隣の低地の小川または河川へ流出する。

Fig. 1のAAは、地表レベルである。機関室の側面図はレバー壁および大レバー外端のアーチヘッドを示しており、アーチヘッドからポンプロッドMが鎖で吊るされている。DDは2本の煙突であり、Gは噴射水の水槽でありレバー壁の頂部で煙突の間に置かれている。Cは第2ボイラを納める補助建屋である。

Fig. 1には、坑口フレームも示されている。それは、坑口を跨いで渡した強力な水平はりの上に、ほぼ鉛直に立てた2本の脚で構成されている。この脚はスプリングはりの外端を支え、更に高く上へ伸びて2本の水平部材を支えている。その水平部材の間にはプーリが取り付けられていて、時々非常に強力なロープを掛けて、立坑からポンプとロッドを引き上げるために使用される。そのロープは一方の脚の約 $\frac{2}{3}$ 下方の位置の別のプーリに通され、フレームの中で支持された鉛直の輪軸つまりウィンドラス(錨巻上げ機)に巻かれる。ウィンドラスの下端には長い水平レバーが固定されて、船のキャプスタン(ウィンチ)のように、十分な数の男性が歩いて周回してレバーを前へ押し動かす。必要なときにこの方法によりロープが巻かれて、ポンプと



Published as the Act directs, Dec. 18 1836, by Longman & Co. Paternoster Row.

図1 炭鉱向け蒸気機関の立坑仕掛けとポンプ (Plate IV)

ロッドが引き上げられる。

(p.215) ポンプロッドまたはスピア M を立坑の中央近くへ下ろし、鉛直方向に保つために、異なる場所で横桁の間を通す。これらのそれぞれの横桁の位置にステージつまり休息所が作られ、図に示すように、順次梯子により登ることができる。横坑道の L で示す高さ位置で主スピアが終わり、その先端にフォークまたは Y と呼ばれる鉄の三角形部品 (Λ のように Y 字を逆にした形からこのように呼ばれる。Fig. 5 を参照) が付いている。フォークのとがったそれぞれの先には、Fig. 2 と 5 で示すように、より小さな木製の 2 本のロッドが吊るされる。この 2 本のロッドは実際のポンプロッドであり、そのうちの一方は上部ポンプ P へ入り、より長い他方は上部ポンプの横を鉛直に下がって、下部ポンプの中へ入る。

それぞれのポンプは複数の鉄パイプを繋いだカラムで構成され、各パイプは他の上に重ねて置かれ、フランジとねじボルトで結合される。Fig. 8 のポンプの拡大断面図を参照されたい。最下部区間のパイプ H はウィンドボア (wind-bore) または吸引部と呼ばれ、水に浸漬されているその脚部分には、泥を遮って水を受け入れるための多数の穴が開けられている。次の区間 I は、弁箱または弁 K を受けるための穴の開いた円錐形の弁座があるので、弁区画 (clack-piece) と呼ばれる。そして、このすぐ上の k の位置に横方向の開口部があり、弁扉 (clackdoor) と呼ばれるカバーで蓋をされている。修理が必要とされる時は、そのカバーを外して弁にアクセスする。

ポンプの次の区間 E E は、ポンプ胴 (working-barrel) である。それは、バケット L が中を自由に上下できるように、内部が正確に滑らかに中ぐりされている。この部分は、特に水が腐食性を持っている場合は、しばしばベルメタル (鐘青銅) で作られる。ポンプ胴の上のパイプ P のバケット区間には、側面の開口部 p とバケット扉と呼ばれるカバーがあり、バケットまたはその弁の修理を必要とするときには、そのカバーを開ける。この上の別のパイプの区間は、ポンプ区間と呼ばれ、互いに連結用のフランジの付いた単なる円筒形のパイプである。。

すべての継手は、タールに浸したフランネルでくるんだ鉛のリングで気密を保たれる。これらのリングの一つは、それぞれのフランジ継手の間に挿入され、ねじボルトで強く締め付けられる。

このように、ポンプのカラムは、必要とされる高さだけ形づくられ、その最上部の区間は木の管または樋 (とい) p に繋がれて、上部のポンプの水槽 r または横坑道の中へ水を排出する。

バケット T は Fig. 6 および 7 に拡大図として示され、その弁は同様の方法で作られている。それは、直径に沿って横切るようにクロスバーが付いた鑄鉄製の円形のリングである。靴底の素材のような厚い円形の皮革がそのリングの上に置かれている。その直径はリングの内径より約 1 インチだけ大きくされているので、リングに約  $\frac{1}{2}$  インチだけ重なって開口部を覆って完全に塞ぐことになる。この皮革は、その上に一本の押さえ棒を載せて下方へ固定される。その押さえ棒は正確にバケットのクロスバーの上に渡され、ポンプロッドの二又の先によって下方へ固定される。この二又はこの押さえ棒のほぞ穴を下方へ通り抜け、皮革とバケットのクロスバーを貫通してその下でロックされ、すべての部品を一緒に結合している。

(p.216) 皮革には強力な鉄の板がその上面に鋳着され、また、より小さい板が下面にも鋳着されて強化され、これらの鉄板が実際の弁を形成する。皮革を使用しているため、それが開くときにはそこで曲がるヒンジまたはフラップとなり、また閉じるときには下面が気密な接触面となる。中央で接合部つまりヒンジを有するこの種の二重の半円形弁は、曲がるときにその形が蝶の羽根に似ていることから、蝶形弁と呼ばれている。

木のロッドまたはスピア m は、その下端に鉄のステムが繋がれていて、ステムはハンド・イン・ハンド継手 n でバケットの柄に固定されている。その柄は下端で二つのフォーク状に分かれ、そのフォークの尖った先端は、前述のとおりバケットのクロスバーを貫通している。ハンド・イン・ハンド継手の二つの部分は、Fig. 6 の n で示されるように、握った手のように繋がって一体となっており、両者の上を下ろされた強力な

四角形のたが(箍)で押しつけられている。しかし、たがが引き上げられて外されたときは継手は簡単に分離でき、このため、これはテイク・オフ継手と呼ばれている。

鑄鉄のバケツは外周面が円錐形に作られ、皮革のたがつまりリムで囲まれていて、そのたがはバケツと弁の上面より上に1インチ持ち上がっている。円錐形であることから、その上端はバケツより大きな直径になって広がっている。皮革をバケツに固定するために、まずバケツの小さな穴に2、3本の釘を打ち込まれて固定され、そして、細い鉄のたがを上へ押し上げることにより周囲から押さえられる。このたがの内側はバケツにフィットするように円錐形であるが、その外側はFig.6の断面図で示すように円筒形であり、ポンプ胴の内径にごく近い直径となる。皮革のリムの上端は薄くされてたがより大きく広がって、胴に入れられたときにはそれを正確に満たし、皮革の薄い端が胴の内側に極めて近い径にされていれば、水の圧力が皮革を胴にぴったりと押し付けるので、水をまったく漏らさなくなる。バケツの外側のたがをその位置に保持するために、バケツの主クロスバーの下に別のクロスバーが当てられて、その端でバケツのたがの下端を下から押さえて保持する。鉄の柄のフォークの二つの先端をこのクロスバーに通して、同じクロスバーをフォーク下端に通して固定する。

Fig.8のクラック弁Kは、バケツの弁と同様に作られた蝶形弁であり、その周縁は皮革で囲まれている。しかし、弁座は皮革の外周に正確にフィットする円錐形に中ぐりされているので、その弁には外側のたがはなく、水柱の重量が弁を弁座へ強く押し付ける。時々、胴の中へロープを下ろしてロープ端のフックで弁を引き上げることができるよう、弁には二つの強力な鉄製のループ状の突起(prong)が繋がれている。その際は、最初にバケツとロッドが引き上げられる。

パイプまたはポンプ部分は、バケツと弁が引き出せるように、ポンプ胴より約3/4インチまたは1インチだけ直径が大きい。弁部およびウィンドボアは、ポンプ胴より直径で約1インチ小さい。

木のロッドまたはポンプ・スピアは、40から60フィート長さのモミ材つまりマスト材木できていて、それらは事前に継ぎ合わされて、その継ぎ合わせ部に襟巻きが巻かれている。その継ぎ合わせ部は、各部材の厚みを半分に切除してボルトで繋がれたが、これは木材のむだをひき起こしたので、ロッドはしばしば、Fig.5に示すように平らな2枚の厚板を重ねて、正方形断面のロッドとされた。一組の継ぎ合わせ位置は他の組の継ぎ合わせの中間の向かい側位置となり、長い鉄の帯板が各継ぎ合わせ部に被せられ、図で示すように全体がボルトで固く結合された。部材が分離するのを防ぐ安全策として、オークの小さいキーを二つの部材の接合面に入れて、それらが互いに滑るのを防いだ。これは古い方式であり、スミートン氏により推奨されたものである(第2章のp.196を参照)。最大のロッドでは、それぞれの継ぎ合わせ部に3枚の鉄の板が被せられた。

(p.217) Fig.5の二つの小さいロッドm、wは、時折、ロッドの片方または両方を引き抜くことができるように、λに継手ピンで繋がれている。下の段のポンプQのロッドmには、そのポンプの頂部つまり樋の位置に、Fig.8のハンド・イン・ハンドまたはテイク・オフ継手nがあり、それぞれのロッドの下端は同様の継手となっていて、前述のようにバケツの柄に繋がれている。

これらの準備対策は、ポンプの修理を容易にするためである。弁の皮革がすり減って破損したとき、予備のバケツが準備されているので、ポンプの上部からポンプロッドが外されて、バケツがポンプの最上部の上に現れるまで、キャプスタンのロープでポンプから引き上げられる。古いバケツの柄はそのテイク・オフ継手の位置で取り外され、新しいバケツに交換される。クラック弁が新調を必要とするならば、キャプスタン・ロープの端にフックをつけてポンプの中へ降ろされ、弁のループにフックをかけて弁が弁座から引き出され、新しいものが下ろされる。

バケツではなくクラック弁だけの交換が必要とされるのであれば、胴からロッドとバケツを引き抜くことなく、弁扉kを介して鉄のレバーで弁を弁座から持ち上げることができる。また、ある場合には、バケツ

扉の正面に来るようにバケットを持ち上げるだけで、ロッドを抜くことなくバケットをバケット扉 f から交換できるように作られることもある。

図 1 の Plate IV の図面は、pp.134-172 (第 2 章) で既に説明した Plate II、III のロング・ベントンの機関の立坑仕掛けを示していると思われる。しかし、小さい図 Fig.1 と Fig.2 は厳密な縮尺比で描かれてなく、説明のためのスケッチであると思なされなければならない。

上述したような吸い込みポンプは、水を最大で 20 ないし 25 フィート以上吸い上げることができない。つまり、動いているバケットは、水を吸い上げる水槽または井戸の水面より 20 ないし 25 フィート以上の高さを越えて、動作させることはできない。したがって、ポンプが 25 フィートを越えて揚水すべき高さは、ポンプ胴より上方のパイプまたはポンプ区間のコラムによりなされなければならない。ポンプロッドがこれらのパイプ内の水中を通らねばならないので、ロッドが占める空間を確保するために、それらのパイプの直径はポンプ胴より 1 インチ大きくされている。

通常の寸法比率では、ポンプの下部つまりウィンドボアの長さは約  $7\frac{1}{2}$  フィート、弁部も同じく  $7\frac{1}{2}$  フィートであり、ポンプ胴はその中でバケットが上下する行程長より 2 フィートまたはそれ以上に長くする。行程が 7 フィートであれば、バケットは、ウィンドボアの下端を沈めている水面より、約 14 フィートから 24 フィートの高さで上下することになる。水を確実に引くためには、この吸い込み高さはこれ以上大きくなってはならない。また、バケットや弁の故障時には、機関停止に伴い立坑内で水が上昇するので、弁扉を短時間でも水没させるリスクを避けるために、弁扉の位置は低くしてはならない。なぜなら、水により扉へのアクセスが妨げられるので、バケットと弁を修理するためには、それをポンプから上へ引き抜くという一層の労力を引き起こすからである。

そのため、バケットまたは弁が故障して機関が停止したとき、水が弁扉位置まで上昇するまでにある程度の時間がかかり、その間に作業者が水に邪魔されずに故障した部品を交換できるかどうかということについて、計算されなければならない。しかし、弁扉が水没する場合も起こり得るので、前述のように、その種の修理をすべてポンプ上部から実行するための準備対策が、実施されなければならない。

(p.218) ウィンドボアの下端が、水を引き上げる木製の水槽の中に入れられることになっているとき、それは平らで閉じた底となるように作られ、Fig. 8 のように強力な木の厚板の上に立てられる。そして、それは、立坑を横切って固定された強力なはりにより、下から非常に堅固に支持されなければならない。ウィンドボアの下部の周囲に作られた幾条かの縦長のスリット、つまり狭い開口部を通して水が入って来る。泥の進入を防ぐには、これらの開口部は  $2\frac{1}{2}$  インチ幅を超えてはならないが、ポンプ胴の断面積に完全に等しい流路を確保して水の自由な流入をまったく妨げないためには、その開口部は十分な高さを持たねばならない。さもなければ、機関の抵抗は 178 ページで示された値を超えて大きく増加するであろう。

泥の進入を防ぐようにウィンドボアの脚部分を製作することは重要なことであるが、水の連続的な流路を確保しなければならない。前述の構造において、そのパイプの下部は実際上 8 本の小さな柱または脚に切り離されていることになり、その脚でポンプの自重を支えたうえで、それらの間に水を通す通路を残さねばならない。これらの脚が非常に細くなったときには、その外側に追加の厚みが加えられ、そのため、ウィンドボアの下部の外側は上部の直径より大きな円形となる。スリット状の通路の横幅は、泥で詰まり難くするためには、水が入ってくるパイプ外側では内側より狭くされなければならない。

ウィンドボアの下部を、細い鉄または銅の棒で作られたランタンまたは鳥かごのような、円筒形の檻(おり)で囲むことは良い対策である。それにより、土砂が通過するのを防ぐであろう。ある程度の距離を空けてパイプを囲むためには、その径はパイプの外径の少なくとも 2 倍以上でなければならない。同じ視点で、ポンプの開口部が水槽の底に近くなって、水の底にある石や重い物質を引き込むことがないように、ポンプの脚部を厚

いブロックの上に乗せて持ち上げるのがよい。また、軽いチップや浮いている物がポンプの中へ吸い込まれることがないように、水槽の水は開口部より上にある程度の深さが保たれるべきである。しかし、最も重要な点は十分な水の流路を確保することであり、それによりこれら開口部への水の流れつまり吸引が急速になることはなく、遠方から水以外の物を引き込むことはなくなる。したがって、それら水以外の物が少し離れて位置しておれば、ポンプが遮られることはない。

鉱夫が作業している水槽つまり立坑の底から揚水するポンプの最下部は、泥を吸い込まないためのこれらすべての予防措置を行えるわけではないが、同じくらい重要な他の問題がある。

鉱山の掘り下げ用のウィンドボア\*2の下端は、パイプより大きな直径の球根状に広がっている。この拡大した部分は通常 2 ないし 3 フィートの長さであり、下端は半割りの卵のような形に作られ、その球根部の全面には、水が流入するためのいびき穴 (snore holes) と呼ばれる直径約  $1 \frac{1}{2}$  インチの孔が開けられている。前述のように水の流路をポンプ胴の断面積と完全に等しくすることは、この場合は実用的ではなく、またそうすることが望ましいわけでもない。なぜなら、ポンプは立坑の底のすべての水を吸い上げを要求されており、必然的に、毎行程で多少の空気をその穴から吸い込まざるを得ないからである。このことにより機関の動作は非常に不規則になり、もし、水の流路が非常に大きく開いていれば、大レバーの端のキャッチピンは、ほとんど毎行程でスプリングはりを打つことになるであろう。しかし、水の通路を狭めて、小さな穴を通り抜ける時に大きな抵抗を伴うようにすることにより、空気が吸い込まれるときのその差を小さくすることができる。なぜなら、空気が穴を通過する時に大きな抵抗と激しさを伴い、結果として機関をより定常的に動作させるからである。この現象は「いびき」と呼ばれていて、耳をつんざくような音を発する。同じ視点から、鉱山が掘り下げられている時は、最下部のポンプの長さは、容易に可能な範囲内で短い揚程とすることが望ましい。なぜなら、その区間の抵抗は必然的に非常に不確定となるので、全体の負荷の中でのその比率をできる限り小さくして、その変動が機関の動作に及ぼす影響をより少なくすることが望ましいからである。

(p.219) 掘り下げポンプが立坑の底から引き上げる水量を調整するために、ウィンドボアの球根状端部のいびき穴の上段の列は木の栓で塞ぐことができ、水が増加しているか減少しているかに応じて、または機関の運転具合に応じて、鉱夫はその栓を任意に開閉することができる。最初、立坑または鉱山が掘り下げられたとき、鉱夫が水の中に立って働かざるを得なくならないためには、底から完全に水を引くことが必要である。水があることは不便であることに加えて、火薬の使用を不可能にする。底に岩が多ければ、火薬を使用しなければならない。

時には、木のプラグを用いる代わりに、穴の開いているウィンドボアの下部を強力な皮革の円形エプロンまたは袋で囲み、穴の上部の位置でパイプの回りに硬きつく縛り、水面の上になる穴が覆われて塞がれるように水の中へ降ろす。空気が自由に入ると、機関の運転を乱すので、鉱夫は時に応じてこのエプロンを、コートのものでカフスのように上げたり下ろしたりして、開く穴を増減してウィンドボアに入る水を調節し、ポンプが多量の空気を吸い過ぎるのを防ぐことができる。

立坑を掘り下げる際に、ポンプの下段は立坑の底に作られたもっとも深い穴に立てねばならない。そのため、ウィンドボアの脚の近くで岩を取り除くか爆破することにより、新たな穴が作られたとき、ウィンドボアの脚をてこでその穴の方へ動かしてその中へ落とし、そこから水を引き上げるようにしなければならない。揚程が高くポンプが重い場合には、ポンプのこの最下部の移動可能な区間は、その全体または一部が強力なロープで吊るされて、大きなキャプスタンで引き上げられる。キャプスタンは、ポンプロッドまたは必要な場合に

\*2 (訳注) wind-bore for sinking in a mine; 鉱山をより深く掘り進める期間に使用するためのウィンドボア。土砂などの固形物を多く含む水を排水する必要がある。

はポンプ自身を引き上げるために、立坑の頂上に設置されている。

立坑が深くなるにしたがって、ポンプの下部のポンプ段の頂上に、一般に一度に約 6 フィート長さの新たなポンプ胴区間が追加され、ポンプロッドが必要なだけ延長される。

鉱山作業では、時間のロスなく修理するための全ての設備を所持することが究極的に重要であり、作業の全ての部分は、損傷することなく厳しい負荷に耐えられるように、最大限確実に作られなければならない。

ポンプおよび立坑仕掛けについての表 1 および 2 は、カール氏の著書 "Engine Builder's Companion (1797)" の中で、彼が規定したものである。

機関スピアまたはポンプロッドは、モミの木製とし、それを繋ぐ継手部は 4 フィート重複して重ね、継手の上からポンプロッドにボルト締めした鉄の板により固定される。これらの鉄板は中央でより厚く両端で厚さが減少し、それらは、約 1 フィートおきにボルト穴が開けられる。

今日一般に用いられている方法は木を重ねないで鉄板だけで木材を繋ぎ、両端を正確に揃えて長い鉄の板を各端に当てがい、すべてを貫通するボルトで固定される。小さなポンプロッドは 2 枚の鉄板を用い、最大サイズのものには 4 枚の鉄板を用いる。

四角い鉄のバケットロッドが木のロッドの下端に付けられており、バケット柄のすぐ上のポンプ胴を占有する。テーブルにおける長さは、木のロッドを受けてそれにボルト締めされる open part のものである。

## 2.1 鉱山排水用機関用ポンプ装置のカール氏による寸法表

(p.220) 最初の表 1 は、ポンプの中へ下ろされるロッドとジョイント板の寸法を示す。強度は 18 ファゾム (= 108 フィート) の水柱を持ち上げるのに適合されているが、深さがそれを超えるならば、その器具は若干強くしなければならない。例えば、ロング・ベントンの機関 (第 2 章 p.175 を参照) は、直径 12.2 インチで揚程  $24 \frac{2}{3}$  ファゾムのポンプを有し、それで、ロッドおよび鉄器具は、上の表の 14 インチに対応する寸法のものであった。

(p.221) バケット柄の強度は、バケットの穴のサイズで示されている。ここでの柄は、前述のような二又に分かれたものではなく、バケットのクロスバーの中央部を通り、その下でクロスキーで固定された 1 本の柄であると仮定されている。この場合、弁の皮革は、すべてを貫通した 2 本の強力なボルトでクロスバーの上に押しつけて固定されている。これらのクロスバーとボルトの寸法は、2 番目の表 2 で与えられている。

ポンプの単なるパイプは常に長さ 9 フィートであり、そのフランジは 3 インチ幅である。10 インチのポンプでは各フランジに 6 本のボルトがあり、13 インチのポンプでは 8 本である。その金属材料は、高い水の圧力が加わる下の部分ほど厚さを増すべきである。12 インチのポンプでは、上方の最初の 4 本のパイプは  $\frac{3}{4}$  インチ厚さ以上は必要なく、次の 4 本は  $\frac{7}{8}$  インチ以上は必要ない。フランジは 1 インチ厚さとすべきであり、ボルト穴は  $1 \frac{1}{4}$  角で、 $1 \frac{1}{8}$  角のボルトを通す。次の 4 本のパイプは 1 インチ厚さで、フランジは  $1 \frac{1}{8}$  インチ厚さである。この下の 2 ないし 3 本のパイプは  $1 \frac{1}{8}$  インチ厚さであり、フランジは  $1 \frac{1}{4}$  厚さである。これで約 45 ヤードになり、一般的な方法では、それが 1 回のリフトで動作すべき最大の深さとなる。これらの異なる厚さを区別するために、それぞれのパイプの上にその重量を記載してマークすべきである。

ポンプ胴のすぐ上のバケット区間は、パイプ部で 6 インチ長さ、 $1 \frac{1}{4}$  インチ厚さであり、フランジは  $1 \frac{1}{2}$  厚さ、チャンパーの扉の向かい側および突き出た部分  $1 \frac{1}{2}$  インチ厚さとすべきである。扉周辺のフランジは 2 インチ厚さとし、扉をその場所に固定するために、2 インチ径のボルト穴に  $1 \frac{7}{8}$  インチ径のボルトを通す。

ポンプ胴は行程長 7 フィートに対して 9 フィートの長さが必要であり、中ぐりしたときに金属材は厚さ  $1 \frac{1}{4}$  インチ残さねばならない。フランジは  $1 \frac{1}{2}$  インチ厚さであり、バケットがその中へ容易に下ろせるように、

表1 ポンプ・スピアおよびロッドの寸法

ポンプの直径	木ロッド 正方形	鉄継手板 およびボルト			バケット・ロッド 鉄 11 1/2フィート長		鉄バケット柄	
		長さ	幅-厚さ-厚さ -Mid.-Ends	直径	断面 正方形	長さ	共通の 強度	継手 の強度
in.	in.	ft.	in.	in.	in.	ft.		
6	3 squ.	6	2 1/2 by 3/8 to 3/16	5/8	1 1/2 squ.	4 1/2	2 x 1 1/4	2 squ.
8	3 1/2	6 1/2	2 3/4 x 7/16 x 3/16	11/16	1 3/4	4 3/4	2 1/4 x 1 3/8	2 1/4
10	4	7	3 x 1/2 x 1/4	3/4	2	5	2 1/2 x 1 1/2	2 1/2
12	4 1/2	7 1/2	3 1/2 x 9/16 x 5/16	3/4	2 1/2	5 1/4	2 5/8 x 1 3/4	2 5/8
14	5	8	3 1/2 x 5/8 x 3/8	7/8	2 1/2	5 1/2	2 3/4 x 2	2 3/4
16	5 1/2	8 1/2	4 x 3/4 x 1/2	7/8	2 1/2	6	3 x 2 1/4	3
18	6	9	4 x 13/16 x 9/16	15/16	3	6 1/2	3 1/8 x 2 1/2	3 1/8
20	6 1/2	9 1/2	4 1/2 x 7/8 x 5/8	1	3 1/4	7	3 1/4 x 2 3/4	3 1/4
22	7	10	4 1/2 x 15/16 x 11/16	1 1/8	3 1/2	7 1/2	3 1/2 x 3 1/2	3 1/2
24	7 1/2	10 1/2	4 3/4 x 1 x 3/4	1 1/4	3 3/4	8	3 3/4 x 3 1/4	3 3/4

表2 バケットおよび弁の寸法

ポンプの直径	鑄鉄バケットおよび弁			鉄バケットたが		クロスバーおよびボルト			
	深さ 中央部	厚さ 上端	柄用 穴	深さ	厚さ 下端	棒の厚さ		棒 の幅	ボルト の直径
						中央	両端		
in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.
6	3	3/8	2 3/4 x 3/8	1	1/8	3/4	1/2	2 1/2	1
8	3 1/4	7/16	3 x 7/16	1 1/4	3/16	1	1 3/4	2 1/2	1 1/8
10	3 1/2	1/2	3 1/4 x 1/2	1 1/2	1/4	1 1/4	1 7/8	2 1/2	1 3/8
12	3 3/4	9/16	3 1/2 x 9/16	1 3/4	5/16	1 3/4	1	3	1 1/2
14	4 & 5	5/8	3 3/4 x 5/8	2	3/8	2	1 1/4	3	1 3/4
16	4 1/4 & 6	3/4	4 x 3/4	2 1/2	7/16	2 1/2	1 3/4	3	1 7/8
18	4 5/8 & 6 1/2	7/8	4 x 3/4	2 5/8	1/2	3	2 1/4	3	2
20	5 & 6 3/4	1	4 1/2 x 13/16	2 3/4	9/16	3 3/8	2 1/2	3	2 1/4
22	5 1/2 & 7 1/4	1 1/2	4 3/4 x 7/8	2 7/8	5/8	3 3/4	2 3/4	3	2 3/8
24	6 & 7 3/4	1 1/4	5 x 1	3	5/8	4	3	3	2 1/2

上端と下端は少しベルマウス上に成形されねばならない。

ポンプ胴より上方のポンプ区間の通常のパイプはすべて、ポンプ胴より 1 インチ大きい直径である。これはバケットを上へ引き上げる際の便宜のためであり、また、ポンプ内でポンプロッドが占める空間を確保するためでもある。

弁座の上方の弁区間はポンプ胴と同じサイズと厚さであるが、弁座の下方の直径は 1 インチ小さくされる。チャンパーと扉は、弁座の上方と同じである。弁座はその 4 インチ深さの間で、その下端の直径は上端の直径より 1 インチ小さく中ぐりされる。このようにテーパ状にすることにより、弁は弁座に固く押し当てられる。

ウインドボアは 6 ないし 8 フィート長さで、胴より 1 インチ小さい直径であり、管材とフランジは  $1\frac{3}{8}$  厚さである。ウインドボアの下部は全周に鉛直方向のスリット状の開口部が開けられ、水の通路としてパイプの断面と同じ面積が確保されている。しかし、そのパイプの下部をより大きな直径に膨らませて底の部分を卵形にして、その部分に 2 インチ直径の丸い穴を多数開ける方がよい。

皮革とバケットたがのスペースを確保するために、直径 9 インチ以上のポンプのバケットは、旋削 (turn) 時に胴より  $1\frac{1}{4}$  インチ小さくされ、より小さいサイズのポンプでは 1 ないし  $\frac{3}{4}$  インチ小さくされるべきである。たがの外側は円筒形で、胴とほぼ同じ大きさでなければならず、その内側は、全周で皮革の厚さを残してバケットの外周に合うように、テーパ状に旋削されなければならない。そのテーパは、4 インチ深さに対して直径で 1 インチの差である。

12 インチ以下のバケットは、(図 1 の) Fig. 6 で示すように、弁のある上部は平坦とするが、より大きいサイズの弁ではそこを傾斜させて、ヒンジつまり継手の位置は開く部位より低くする。そのため、閉じたときの弁は開いたときに図のそれらを取る位置と同じ高さになる。この方法で、水はより自由に通路を通過してポンプの上へ上がっていく。

(p.222) スミートン氏は、チェイス・ウォーター機関に対する彼の指示書の中で、以下のように言っている。「バケットの皮革の耐久性は、バケットたがの適切な比率と構造に大きく依存する。バケットたがは外側で円筒形、つまり上部と下部で同一直径でなければならず、その内側のテーパ状もしくは円錐形の形状は、金属の肉厚の差により生み出される。それらの外径は対応する胴より  $\frac{1}{4}$  以上に小さい値であってはならず、つまり、たがを押しつぶさずに皮革の不均一な厚さを吸収できる程度に、できる限り大きくされるべきである。たがは許容できる範囲でできる限り幅広く作られるべきであるが、皮革はたがの上方に 1 インチ以上立ち上がる必要はない。これが注意深く行われると、たがまたは皮革により、胴はできる限り少なくチャンパーに接触し可動部は可能な範囲で微小となくであろう(???)。」ポンプ胴の中ぐりされた部分は、バケットの行程から要求される長さよりかなり長くなければならない。なぜなら、ロッドの正確な長さには確実性がなく、バケットが中ぐりされた部分を正確に上下することを保証できないからである。

蝶形弁はバケットまたは弁部は、中央に固定された継手またはヒンジで共に背中合わせに開く二つの半円形フラップがものが、普通のすべてのポンプで用いられた。しかし、直径 18 インチから 24 インチの非常に大きいポンプでは、弁を二つではなく四つのフラップに分割する、つまり、蝶形弁を 2 組用いるのが普通であった。

このようなバケットまたは弁では、外周 (ring) にその中心を通る直径方向に一本の棒に加えてそれに平行に別の 2 本の棒が渡され、円形部分が四つの窓に分割された。後者の 2 本の棒の上にフラップの継手または皮革のヒンジがクロスバーで固定され、四つ又に分岐したバケット柄の先の 2 本がそれぞれの棒のほぞ穴を通してバケットを貫通し、下端のキーですべてをまとめて固定された。このようにして、弁のそれぞれの組は蝶形弁のように背中合わせに開いた。その中央寄りの二つのフラップは胴の中央で上方向へ開くので、水はよ

り自由に通過することができ、また、四つのフラップそれぞれは二つだけであった場合よりかなり小さくなるので、水柱の逆流によりそれらが急閉鎖する時の落下に伴う衝撃はより小さくなった。その結果、フラップは損耗は起こりにくくなり、また、大きな弁の損傷に比べて小さな弁の損傷は、重大な結果を引き起こしにくくなった。

多くの鉱山では水は極度に腐食性であり、ポンプの鉄部品を急速に破壊する。このような場合、ポンプ胴は真ちゅうまたは砲金で作られねばならず、バケットおよび弁部も同様である。鉄の胴では、機関が数日間動作を停止するかまたはフル行程長の一部の短い区間で動作していると、バケットの上下動によって常時擦られていないこれらの部分の胴の内面は腐食して粗くなる。そしてその後、機関がその行程長の全長で動作するよう要求されたならば、バケットの皮革は胴の粗い部分で切れて摩耗する。

水が非常に腐食性であったいくつかの鉱山では、木製のポンプも使用された。それらは区画 (piece) ごとにまたは節 (stave) ごとに作られて、大だる (cask) のようにたがで非常にきつく強力で締められた。

弁扉部とウィンドボアの頂部との間に円錐形の弁座を形成するために、真ちゅう製の 5 インチほどの長さの短い区間がしばしば導入された。この真ちゅう部品は弁部品の底の部分を作成した。鉄の弁部品を中ぐりしてこの円錐形弁座を作ると、時々、金属の腐食で弁が円錐部に固く固着して、交換が必要となった時に引き出せなくなる。そうならず弁が固着しなかった場合でも、腐食が始まると弁座は漏れやすくなり、弁が動作しなくなるであろう。

(p.223) 弁座の中への弁の固着は、鉱山のポンプでは極めて重要な問題であり、機関が動作中に弁が持ち上がらなくなる。また、水のために弁扉にアクセスできない場合には、上方よりテークルを用いて弁を弁座から引き上げることもできなくなる。

バケットの弁およびクラック弁の皮革の弁の耐久性も、機関の動作には非常に重要である。なぜなら、もしいずれかの弁が破損すると、機関は確実にキャッチピンを非常に激しく打ちつけ、しばしばいくつかの部品が壊れて変形してしまう。もしバケットの弁が破損すると、機関はピストンにかかる負荷または抵抗を失う結果として、作業行程の終りでキャッチピンを強打する。しかし、下方の弁が破損すると、水柱の重量がバケットに加わり続ける結果として、それにつり合うピストンの力が働かなる戻り行程の終りで、一撃に見舞われるであろう。場合によっては泥が障害物が弁に入り込んで、それが固く閉じるのを妨げたりする障害も起こり得るであろう。

また、ポンプの脚つまり下部から空気が吸い込まれるとき、機関はその戻り行程の終りで打ちつけやすくなる。バケットの下の胴内に吸い込まれた空気が戻り行程に向かって収縮し、バケットの上の水柱を支えている弁を最初の間は開くことができず、したがって、その下の空気が圧縮されて水の荷重を受けた弁を開くまで、バケットの上に水柱の重量が残される。弁が開くのはその戻り行程の終り近くであり、その結果として、機関は激しい一撃を見舞われることになるかも知れない。

重い機関がフルパワーでフル行程長で動作している時、大きなポンプの中へ空気を吸い込むことは非常に危険である。なぜなら、大レバーの端のキャッチピンがスプリングはりの上に非常に激しく当たり、鎖や他の部品が衝撃で破損し易くなるからである。

このような事故を防ぐ対策のひとつは、主スピアにガードストップを取り付けて、主スピアがその動きの最低位置に来た時に、立坑を横切って固定した強力なはりにそのストップが当たるようにすることである。このストップは、スピアと同じサイズの木片であり、スピアの片側にクランプボルトで固定されて、突き出たクリートのような形をしている。立坑を横切って取り付けられたストップは、スピアの一方側に、接触しない程度にできる限り近づけて置かれるが、スピアが予定の行程長を超えて下がった時には、そのはりの上方に位置している突き出たストップがはりに当たって止まることになる。

ロング・ベントン機関では、地上から数ファゾム下のスピア上にこの種のガードストップが取り付けられた。更なる安全策として、大スピアの下端でロッドに繋がる二又部分、 $\lambda$  と呼ばれる三角形枠の交差部分の下に、立坑を横切って 2 本のはりが取り付けられた。もしスピアが予定以上に動いたならば、このはりがそれ以上のロッドの下降を停止した。

しかし、これらの対策があったとしても、水がほとんど排出されてしまって、そのためにポンプが空気を吸い込み易くなっている時には、決して機関をそのフル行程長で動作させてはならない。

最下部のポンプが水を汲み上げる鉱山の底の水だめ内に、フロートを用いる場合もある。1 本のコードがこのフロートから立坑の中を通過して地上へ繋がれ、適当なブーリーに掛けて機関室の中へ伝えられた。そのコードの端に小さい重りが吊るされていた。重りは、制御ギアの近くに、釣り鐘の引き綱のように吊るされて、フロートが昇降してその重りが上下に移動することで、機関運転員に立坑内の水の状態を知らせた。そのため、水がほぼすべてくみ上げられた時、運転員は制御ギアを調整して機関の行程を短くし、キャッチピンの打撃や少なくとも危険な衝撃を避けることができる。

(p.224) フロートは木製の円筒形であり、ポンプと同じような鉄のパイプの中に入れていた。そのパイプは立坑の底の最下部のポンプのウィンドボアの横に置かれ、水が自由に入ってくるようにその下端全周に穴が開けられていた。フロートはパイプよりかなり小さいので、その中で自由に上下することができ、そこから伸びたコードが機関室へ繋がっていた。パイプの頂部は、中央にコードを通す穴の開いた鉄のカバーで塞がれていた。フロートには下端に鉄片が取り付けられ、上端にはコードが結ばれるステーブルが取り付けられていた。立坑から水がほぼ抜き取られるとフロートが降下して、その下端の鉄片がパイプ底の鉄片に当たって止まる。この状態で機関士は、釣り鐘の引き綱を引くような方法でその紐の端の重りを引っ張って、フロートの鉄製の底でパイプの底をたたくことにより、フロートが底に付いているのか浮いているのかを容易に知ることができた。十分な高さの水がありフロートが浮いている時には、コードは引っ張り返して揺れて振動するが、フロートが底を打つときには、非常に異なった動きをしたであろう。フロートが浮き上がってパイプのカバーに当たっているときも、コードはそれ以上引けないので、知ることができたであろう。

水の状態について、コードの端の重りが以前より上昇したかまたは下降したかにより判断することも可能かもしれないが、80 ファゾムものコードの長さは多少変化するために、これは確実ではない。しかし、フロートが浮いているか底に付いたかの指示に誤りがあってはならず、フロートが底に付いたことが分かればすぐに、機関士は制御ギアの所へ行き、プラグのピンの位置を変えて、行程の上下端を共に 1 フィート短くし、ポンプが空気を吸い込んで、また機関の動作が急変しても、キャッチピンが打ちつけないようにしなければならない。

チェイス・ウォーター機関 (第 2 章 p.197) のように、3 段リフトのポンプを動かす大型の機関では、Fig. 5 に示す主スピアの下端にはより長い Y が用いられ、中央に設けられた第 3 のループに直接、最上段のポンプロッドが吊るされ、他の二つのポンプロッドが図の m m の位置に吊るされていた。

コーンウォールの銅鉱山のように深い鉱山では、大きい機関が必要とされ、ポンプロッドが大きな重量となって、立坑の機関室の反対側に第 2 のレバーを設置することが必要となった。その第 2 のレバーは鎖またはロッドで主スピアに繋がれ、そのレバーの外端には、そのロッドの重さとつり合わせるためのつり合い重りが取り付けられた。なぜなら、もし、機関の大レバーのピストン端に十分なつり合い重りを付けると、それは重量が大きくなり過ぎて、レバーで支えることができなかつたからである。単なる強度とは別に、レバーのピストン端にそのように大きな重量を付けることは危険であるからでもあった。なぜなら、(すべての機関で時々起こり得ると予期しなければならないように、) キャッチピンがスプリングはりを打つとき、その一撃が非常に激しくなり、その前方の全てを破壊するであろうからである。しかし、つり合いレバーの端の重りは、

予定した距離を動き終わったときに地上に達するように置かれていて、それ以上に動くときは固い石組みの上に当たって、何の危害も及ぼさないのである

その重りは、通常は石の重い塊であり、つり合いレバーの端にボルトで固定されているか、または他の場合には、レバーの端に大きな箱を取り付け、それを石で満たしている<sup>\*3</sup>。

---

<sup>\*3</sup> この追加のつり合いレバーをポンプロッドに用いた一つの大気圧機関が、ロイポルド (Leupold) の "Theatrum Machinarum Hydraulicarum(水力学劇場)", Vol. II, の表 64 に示されている。これは、ポッター (Potter) という名のイギリス人により、1723 年にハンガリーのケーニヒスベルク (Koenigsberg) に建造された機関である。

また、1778 年のプライス (Pryce) の "Mineralogia Cornubiensis (コーンウォール鉱物学)" のなかでも、当時コーンウォールの深い鉱山で一般に用いられ、現在の機関でもなお用いられている方式の、つり合いレバーを用いた大気圧機関の銅版画が載せられている。

### 3 大気圧機関の炭鉱の排水への応用

(p.225) 蒸気機関はその最初の確立時では、ニューコメン氏による完全な発明として鉱山の排水に適用された。イングランドとスコットランドの鉱山および炭鉱は、前世紀のはじめではまったくの幼少期であって、蒸気機関の助力により最も偉大な国家的重要産業となったように見える。

石炭の採掘は、蒸気機関の採用にもっとも密接に関係している。その発明が石炭採掘作業にもたらした便宜を考えても、また、アートや大規模生産のために蒸気機関の燃料として、石炭を使用することから得られる利点を考えても、両者は密接に関係している。石炭のふんだんな供給がなければ、蒸気機関の使用と現在の大規模生産システムは、極めて限られたものとなっていたであろう。

商品としての石炭の歴史についての次の記述は、リース (Rees) 博士の "Cyclopædia", vol. viii. article Coal から取ったものである。

石炭は、ニューカースル・アポン・タインの近くのベンウェル (Benwell) で、ローマ人によって使われたとされる。石炭を掘る許可のための最初の憲章は、1239年にヘンリー III 世王によって授けられた。当時それは "sea-coal" と命名され、1281年時点では、ニューカースルはこの大きな取引で有名となっていた。スコットランドで掘られた石炭の最初の公式の報告は、ダンフォームリン大修道院 (the Abbey of of Dunfermline) が所有している土地で 1291年のことであった。

1306年にロンドンでの "sea-coal" の使用は、それが空気を汚染すると考えられたことから禁止された。それでも、それはまもなくロンドンの王宮の普通の燃料となった。そして 1325年にフランスとイングランドの間で交易が開始され、コーン (小麦) が輸入されて石炭が輸出された。1379年には、石炭を積んでニューカースルから来る船にトン当たり 6ペンスの税が課せられた。この期間、ダラム州 (County of Durham) の住民は、タイン川の南部で石炭を積み降ろしする特権を取得していなかったが、1384年に、リチャード II 世はダラムの守護聖者であるカスバート (Cuthbert) に傾倒していたため、ニューカースルの会社へ鉱山の生産物を何ら税を支払わずに輸出する免許を、彼らに許諾した。

1421年にイギリス議会により、王へ支払われる税で詐欺を防ぐために、石炭を船へ運ぶキール (keel) またはライター (lighter) \*4 は正確に 20 チャルドロン \*5 を測らなければならないことが制定された。アエネアス・シルウィウス (Æneas Sylvius ; 後年のピウス II 世法王) は 15世紀の中頃にイングランドを訪問し、スコットランドの貧しい者は、当時不足していた木の代わりに石炭を燃やしてその恩恵を受けていると述べた。16世紀の初め頃、最高の石炭はチャルドロンあたり 4 シリング 1 ペンス \*6 の割合でロンドンで売られていて、ニューカースル炭は 2 シリング 6 ペンスであった。1563年には、その国で燃料の大きな欠乏を引き起こしていたスコットランドで、石炭の輸出を防ぐための条例が可決された。

1582年に、エリザベス女王は、年間使用料 91 ポンドでダラムの炭鉱の広い地域の 93 年間のリース権を得て、それが石炭の価格の高騰を引き起こした。その後リースは、ロンドンのチャーターハウス (the Charter-house; カルトウジオ慈恵会病院) の創始者のトマス・サットン (Thomas Sutton) に割り当てられ、彼は再びそれをニューカースルの会社に合計 12,000 ポンドで割り当てた。そして、石炭の価格はすぐに 1 チャルドロンにつき 7 から 8 シリングへ高騰した。

この頃、船舶にすべての石炭を売る "hostmen" または "coalengrossers" と呼ばれる新しい会社を組織化する憲章が認められた。その結果、その会社はこの製品に対してさらに 1 チャルドロンにつき 1 シリングを賦課した。

1600年付の hostmen 会社の注文から、石炭は立坑から川のそばの棧橋まで、それぞれ 8 個の丸英 (まるさや) を持った荷馬車で運ばれたように見える (tram-waggon と waggonways \*7 は考案されていなかった)。この頃、水車の力により炭鉱から水を排出する機関がスコットランドでバルカリス (Balcarres) 伯爵の前任者により発明された。伯爵はスコットランドのジェームズ VI 世から 21 年間のその特許を得た。この改良は、ニューカースルの近郊ではいくらか後まで採用されなかった。

(p.226) 1615年に、ニューカースルの石炭貿易は 400 艘の船を使用し、その半分はロンドンへ供給され、残りが王国の他の地域へ供給された。フランス人はこの時に同時に 50 艘の艦隊でニューカースルで石炭の取引をしたとされており、

\*4 (訳注) キール (keel)、ライター (lighter) は共にタイン川で用いられていたはしけ (舢) の呼称。

\*5 (訳注) 1 chaldron = 36 bushel = 36 × 36.36872 litre = 1.309 m<sup>3</sup>

\*6 (訳注) 1 l. (ポンド) = 20 s. (シリング) = 20 × 12 = 240 d. (ペンス)

\*7 (訳注) 共に鉄道馬車

ピカルディ (Picardy)、ノルマンディー、ブルターニュ、さらには、ロシェルとボルドーの港にまで供給された。一方、ブレーメン、エムデン、オランダとジールランドの船は、フランドルの住民に供給していた。

1630 年に偉大な計画者デイビッド・ラムジー (David Ramsey) は、チャールズ I 世から深い鉱山と炭坑から火によって水を上げる排他的な勅許を得た (第 1 章 p.85 を参照)。同年、王はイングランドとウェールズからすべての海外へ輸送される石炭に対して、1 チャルドロンにつき 5 シリングの関税をかけ (farm an impost)、英国人が海外へ輸出する石炭に対して、5 シリングに加えて 1 シリング 8 ペンスの関税をかけ、アイルランドおよびスコットランド向け以外の輸出に対して、1 チャルドロンにつき 3 シリング 6 ペンスの関税をかけるとした。

1631 年に、星室庁 (the Star Chamber) で、ニューカースルの hostmen に対する司法長官 (the Attorney-General) により、40,000 チャルドロンの石炭に粘板岩 (slate) などを混ぜているとの情報が発せられた。彼らは以前に罰金を科されて収監されたが、これらの政府の厳しい計測の後でさえ、なお首都を騙し続けたように見える。1634 年に国王チャールズ I 世は、彼自身の権限だけによって、イングランドから国外へ輸出されるすべての sea-coal、stone-coal または pit-coal に対し、1 チャルドロンにつき 4 シリングの税を課した。

1637 年に、石炭の外国流出に対して、1 チャルドロンにつき 1 シリングがニューカースルの市長と会社に払われたように見える。1638 年 1 月 10 日にダラムの司教は、この重税を即時撤回することを命じるよう市長あてに手紙を書いた。1643 年に、スコットランド人がニューカースルを包囲し、すべての炭鉱に火をつけるよう命じられたが、レズリー将軍がそれを防いだと言われている。1648 年に、ロンドンでは石炭は極端に高かったため、多くの貧しい者たちが燃料の不足のために死去したと言われている。

1653 年 11 月に、石炭貿易に関してニューカースルの町に反対する記事が再び掲載され、いつものようにそれに反対する訴訟がなされた。この頃、サンダーランド (Sunderland) の港が重要性を増していたように見える。1658 年に、輸出されるすべての石炭に対する関税として、年間 22,000 ポンドがマーティン・ノウエル (Martin Nowel) 氏に課され、そのうち、合計 19,783 ポンドがスコットランドの石炭に対するものであった。キールの計測のために、オリバー・クロムウェル (Oliver Cromwell) によりコミッショナーが任命された。

1663 年には、スコットランドのパーサー (Perthshire) の炭坑は極めて広範囲となってように見える。そのときひとつの条令が可決され、スコットランドの石炭の基準、クーロス・チャルドロン (Culross chaldron) が制定された。これらの炭坑の利益から、クーロス修道院 が建造されたと言われている。1667 年に、ロンドンで石炭は 1 チャルドロン 20 シリング以上で売られていたと言われる。およそ 320 艘のキールが、当時タイン川で使用されていて、石炭貿易でそれら各船は毎年 800 チャルドロンを載せて運んだ。ニューカースルの 16 チャルドロンは、ロンドン・プール基準の 31 に等しい。

ロンドンの大火後の 1667 年 12 月に、議会は、次の 3 月 25 日まで石炭の価格はチャルドロンあたり 30 シリングを超えてはならないと固定した。教会と他の公共建築物を再建するために、1 チャルドロンにつき 1 シリングの税がロンドン市長に認められた。これはその後 3 シリングに増やされ、20 年間継続された。1677 年にチャールズ II 世は、ロンドンに持ち込まれる石炭 1 チャルドロンにつき 1 シリングの課税を、リッチモンド公爵 (Duke of Richmond) に認め、それは 1800 年までその家族に引き継がれた。1800 年にそれは公爵とその後継者に年間合計 1900 ポンドを支払うことで政府により購入された。現在、この税は政府に毎年 2500 ポンドを生み出している。

17 世紀の終わりに、ニューカースルから年間 200,000 チャルドロン (ニューカースル測度) の石炭を輸出するのに、1,400 隻の船が使用されたと言われており、それは全取引の約  $\frac{2}{3}$  であった。

1725 年頃、炭坑の排水にニューコメン機関が一般に採用されるようになり、結果としてそれ以降石炭貿易が桁外れに増大した。1758 年頃、水で満載のバケットの降下により立坑から石炭を引き上げる機械が Meninzie 氏により発明された。以前は馬による機械が常に使用されていたが、この新しい案はかなりの改善であった。

1741 年に、コーンウォールのスズおよび銅の鉱山の作業に用いる蒸気機関に使用するすべての石炭に対し、税の控除が認められた。

1770 年から 1776 年まで、ニューカースルから毎年出荷される石炭の平均は 380,000 チャルドロン (ニューカースル測度) であり、それは 1800 年には年 50,0000 チャルドロンにまで増加した。

最初に操業した炭坑は排水に機械を使うことはなく、ドライレベルで排水するか、または、少し離れた低い地上から炭層を横切るまで地下の横坑道を掘り進んで、その横坑道から排水した。このように排水することができた炭田の範囲は非常に限定的であり、その後、水で回転される機械が 17 世紀の間に導入された。

(p.227) ボールド (Bald) 氏は、1812 年に出版した彼の "View of the Coal Trade of Scotland" の中で、

1690年頃のスコットランドの炭坑の排水に、水車と鎖につないだバケット列とが一般に使用されていたことを報告している。水車の車軸が立坑口をまたいで延ばされて小さな車輪が取り付けられ、それにエンドレスの鎖が掛けられて石炭の位置まで降ろされた。これらの鎖には多数の長方形の木のバケットまたは桶が水平に取り付けられ、鎖と共に一方側で上昇、他方側で下降して連続的に循環した。底の位置で水を満たして上まで上がり、頂上で車軸の車輪の上を回る時に水を排出し、空になって降りて行って再度水で満たした。

水車を回すための豊富な水がある時は、すべてのバケットが鎖に取り付けられたが、水が減少したときは、それに応じた数のバケットが取り外された。これが、この機械をパワーに応じて調整する唯一の方法であった。しかし、それは非常に不完全なものであった。それぞれのバケットが持ち上げられるとき、立坑の底で水で満たされたとしても、それが車軸の上の排水位置に到着したとき、そのどれにも満水の半分以上の水は残っていなかったからであり、これは鎖が揺れ動くためであり、バケットからこぼれる水は氾濫となって立坑を絶えず流れ落ちていた。

この機械は、製作と保守に非常に高額を必要とした。深さ 80 ヤードの立坑用の鎖は、当時 160 ポンドであり、そして、連結ピンが壊れたときは、鎖とバケットの全セットが底まで落下し、最も破壊的な事故となってすべてのバケットは粉々に破壊された。これらの機械の水車に水を供給するためには、地上に多くの大きな人工池を作って水を集めねばならず、それらにも非常に大きな費用を要した。

これらの機械を動かすための水が入手できない場所では、小さい規模の同じ種類の鎖バケットを作って馬で動かした。これは比較のかなり高価であり、また浅い深さから水を引けるだけであったので、デイ・レベル<sup>\*8</sup>でもなく水車も採用できない深い炭鉱では、その所有者にとっても社会にとっても役に立たないままであった。水を排出する他のいかなる装置もなかったため、永遠にそのままとなるように見えた。

1708年にスコットランドで、風車とポンプで炭鉱から排水するための計画が立案されたが、当時、スコットランドには、モントローズ (Montrose) の水車大工のジョン・ヤング (John Young) 以外に、その仕事を実行できる人がいなく、オランダで使用されている水車の視察のために、ヤングがその町の費用負担で派遣された。この水車大工が修得できなかったならば、ランカシャーの機械に詳しい聖職者に彼の助言を依頼しなければならぬと示唆されていた。それに沿っていくつかの炭坑で風車が建造されたが、それらはある時には効率的な機械であったが、非常に不規則であり、穏やかな天気は長く続くと鉱山は水没し、すべての労働者は暇になった。これらの機械の偶発的な費用も非常に大きく、それらは開けた高い場所で適用できるだけであった。

1709年には、クラックマナンシャー (Clackmannanshire) で炭坑の改善に最も多くの注意を払っていた、ジョン・マー伯爵 (John Earl of Mar) は、ニューカースルの機械を調べて炭坑事業のあらゆる部門の方法を学ぶために、彼の仕事の支配人をニューカースルへ派遣した。

彼の報告書から、当時使われていた排水機械は鎖ポンプに水車および馬機関を用いたものであったようであり、立坑の一般的な深さは 20 から 30 ファゾムで、少数のもので 50 から 60 ファゾムであった。これらのひとつを設置する出費は約 55 ポンドであり、石炭を引き上げる機械はわずか 28 ポンドの出費であった。30 ファゾムの深さから水を引くことが必要とされるとき、互いに少し距離を隔てて二つの立坑を掘り、ひとつは 30 ファゾム深さとし、他方はその半分の深さとされた。ひとつの機械で深い方の立坑から水を半分の距離だけ引き上げ、その水を、他方の立坑の底に繋がる坑道の中へ注いだ。もう一方の機械で、この水がここから地表まで上げられた。更に深い鉱山では第 3 の立坑と第 3 の機械に頼ることになる。しかしスコットランドでは、同じ時期、機械はより強力であり、前述の鎖バケットにより、一度に 40 ファゾム深さから揚水された。

(p.228) バーロウ (Barlow) の機械もニューカースルで使用されていたと言われているが、蒸気機関はほの

<sup>\*8</sup> (訳注) a day level; 坑口から水平に掘った坑道。通洞とも称される。

めかされてさえいない。当時ニューカースルで最大規模の炭坑は、毎年、25,000 チャルドロンの石炭を掘り、年間 5,000 ポンドの純利益を上げていた。現在の貨幣価値と比較するとき、大きな額である。当時動いていた炭坑数は、わずかであった。その当時、鉄道馬車 (waggonways) がニューカースルで使われていたが、それがスコットランドで導入されたのは、その後かなりの期間が経過してであった。

1710 年に、マー伯爵はダービー (Derby) 出身の技師ジョージ・ソロコウルト (George Sorocould) 氏を雇い、伯爵のクラックマナンシャーの炭坑を調査して、その機械の改良案を与えるよう求めた。特に水を引くための改良が、大きな期待であった。その技師が苦勞の代償として得ることになっていた報酬は、50 英ポンドの金額であった。彼は鎖バケットの代わりに吸い込みポンプを用いるよう勧めたが、当時、彼の計画を実行に取り入れる人はスコットランドにはいなかった。それでも、鎖バケットの機械はまもなく、クランクとレバーでポンプを駆動する水車に取って代わられた。このクランクとレバーによる機械はすべての水力機関のなかで最も単純であり、今日まで普通に使用されて残っている。それは修理して保守するのも簡単なので、水車のための水の供給が得られてそれで排水できた炭鉱は、ほとんどレベル・フリーの炭鉱に等しい。この機械を改良する試みがなされてきたが、その結果はあまり好ましいものではなかった。

この期間にスコットランドで立坑を掘ることは、想像される範囲で最も退屈でひどい作業であった。英国の炭田に比べて砂岩の地層が多く、強く硬く非常に厚かったので、機関用立坑を完成するのに数年を必要とした。火薬は、イングランドでは 1680 年から鉱山で使われていたが、当時のスコットランドの鉱山では使われていなかった。

蒸気機関が発明されるまで、炭坑はこのように運営されてきた。ニューコメン氏が 1705 年に彼の特許を取得し<sup>\*9</sup>、1712 年に、ワーウィックシャーのコベントリー (Coventry) 近郊のグリフ (Griff) で、実用に供された<sup>\*10</sup>。デザギュリエによると、そこでは、それまでは馬を採用していて、年間 900 ポンドの費用を費やしていた。この時から 1720 年までの間で、ニューコメン機関はニューカースルやヨークシャー内で一般的に用いられ始めた。スコットランド統計報告 (the Statistical Accounts of Scotland) では、スターリング郡とエアース教区で、フォルカーク (Falkirk) 近郊のエルフインストン (Elphinston) で建造された蒸気機関は、スコットランドで建造された 2 番目の機関であると述べられているが、最初のものはどこで建造されたかはわかっていない。

1778 年に出版されたプライス (Pryce) の "Mineralogia Cornubiensis (コーンウォール鉱物学)" によれば、蒸気機関の導入の前のコーンウォールで、鉱山から水を排出する最も尊重された手段は、直径 12 ないし 15 フィートの小型水車で動かされるポンプであった。これらの寸法が最適であると考えられ、落差が大きい場合には、そのような水車数台が上下に連結されて置かれ、同じ水の落差で動作した。ある鉱山では、7 台の小型水車が上下に置かれたと言及されている。1700 年頃、ブリストル (Bristol) の技師のジョン・コスター (John Costar) 氏はコーンウォールへ行き、これらの小さい水車に代えて、直径 30 または 40 フィートの一つの大きな水車を作るよう教えた。これは、非常に大きな改善であることがわかった。

ボールド (Bald) 氏は、ミッドロージアン (Mid Lothian) 郡のエドモンストン (Edmonstone) 炭坑の蒸気機関の建造に関連して、いくつかの興味深い文書を出している。それは、スコットランドで建造された 2 番目の機関であった。最初の文書は、"火によって水を上げる発明の権利保有者団" により指名認可されたロンドンの委員会から、エドモンストンのアンドリュー・ウォーコップ (Andrew Wauchope) 様宛に出された 1725 年 5 月付けの許可証であった。

<sup>\*9</sup> (訳注) ニューコメンは特許を取得しておらず、このこの記述は誤りである。これは、ニューコメンがセイヴァリの傘下に入ったことを言っているものと思われる。

<sup>\*10</sup> (訳注) この記述は大きく誤っている。

(p.229) この許可証は、次のように述べている。エドモンストンの炭坑が水のために操業ができなかったので、アンドリュー・ウォーコップに以下の条件で 1 台の機関を彼自身の費用で建造する権利を与えるものとする。蒸気シリンダは、長さ 9 フィート、直径 28 インチを超えず、スコットランドのエルフィンストンで使われている方法に従うこと。この許可のために、所有者は 8 年の期間 80 ポンドの年間使用料を払うことに同意した。委員会は、所有者の費用でシリンダ、調整器、およびその他の真ちゅう製機器を装備することを約束した。証書はかなり多くの条項、条件および予約を含んでおり、そのことは、機関の建造が非常に困難な仕事であり、また所有者は結果に関して極めてわずかの信頼しか持っていなかったことを示している。この初期の機関はその実行において不完全であり、それらはしばしば誤動作すると考えることは自然である。そのため、もしその機関が何らかの事故の結果、一度に 3 か月間動作することができなかつたら、それに比例した使用料の減額がされることになっていたが、使用料が不払いの場合には、委員会は機関を差し押さえて転売する権限を与えられた。

許可書で指定された金額は四半期払いで 640 ポンドであったが、1735 年に出された領収書より、この合意の義務の実行において 240 ポンドだけが支払われたように見える。

この機関の実行に雇われた作業者は、イングランドから送られた。蒸気シリンダ、ポンプ胴、およびすべてのケットと弁は、ロンドン以外のどこかで真ちゅうで作られていた。立坑に使われていた普通のポンプはニレ材で作られ、内径 9 インチで鉄のたがで締められた固い木で作られていた。これらは、ロンドンから持って来られた。ボイラの頂部は鉛でできていた。これは、リベットで止められた鉄板では、蒸気を溜めて十分に気密を保つことができないと考えられていたため、鉛が用いられたものと思われる。

この機関の費用は約 1200 ポンドであって、それは、現在の貨幣価値と比較すると極めて大きい。この大きな出費は、多量の真ちゅうを使用することにより生じていた。鑄造金属を変えて製造工場部門で大きな改良を行うことにより、これらの機械の費用はかなり低減されてきたので、現在では、鑄鉄製ポンプすべてを含めたこの種の機関の材料は、エドモンスターン機関に支払われた金額の半分をさほど超えない金額で供給することができる。

### 3.1 大気圧機関の材料費、1727

(p.230) これらの当時の機関に関わる価格は、下記の項目から見て取ることができるであろう。それは、技師のジョン・ポッター (John Potter) による火の機関に対して支払うべき金額の請求書から取り出されたものであり、1727 年にウォーコップ (Wauchopen) 氏により彼に支払われた。

L. = ポンド、s. = シリング、d. = ペンス

	L.	s.	d.
シリンダ 1 個、直径 29 インチ、 ロンドンへの輸送とその他一切の料金費用を含む	250	0	0
ピストン 1 個	9	10	0
真ちゅう胴 1 個、長さ 7 フィート	17	10	0
真ちゅうバケツ 1 個、および弁 1 個	0	13	0
ニレ材のポンプ、ロンドンにて	53	4	6
鑄造金属胴 2 本、長さ 9 フィート、直径 9 インチ、およびその後の費用	41	16	6
真ちゅうバケツ 2 個、弁 2 個、直径 9 インチ 真ちゅう調整器、噴射コック類 吸い込み弁、噴射キャップ、漏らし弁、給水弁	35	5	0
One jeck for the wy (?)	0	12	0
ボイラ用板および鉄リベット	75	10	0
スウェーデン製鉄板 6 個	6	3	0
鉛配管工の費用、ボイラの鉛頂部、鉛薄板および鉛パイプを含む	78	10	6
ハンダ	15	10	0
ヨークシャーで購入の機関用木材、 ニューカースルまでの陸上海上輸送費を含む	82	16	0
44 cwt 1 qr. 14 L. の鎖、ネジ類、および機関に関する他のすべての鉄部品 ただし、ポンド当り 5 ペンス のポンプ用たがを除く	103	10	10
ロープ	19	16	0
炉用鑄造金属棒	16	14	0
ハンドスクリュー	1	17	0
調整器はり用真ちゅう codd 2 個	5	14	0
ポンプのプラグホールの厚板	2	10	6
皮革	18	13	0
ポンプ用鉄たが、同左用ボルト・板 18 cwt を含む、ポンド当り 4 ペンス	33	12	0
銅パイプ 2 個	0	8	0
ロンドンおよびニューカースルからスコットランドへの材料輸送費	22	2	6
ジョン・ポッターへ、エドモントン機関のための往復と労苦	50	0	0
作業者の移動費および賃金	52	18	0

(訳注) 1 cwt = 112 L. ; 1 qr. (quarter) = 28 L.

6 人の作業者がイングランドから送られる、と記述されている。彼らの費用は、週当たり 15 ペンスの賃金として支払われた。建屋および機関を設置する労力とは別に、当地へ届いた機関の部品の全金額は 1007 ポンドとなる。

その機関は、ダラムの司教職で技師のジョン・ポッターとエイブラハム・ポッターにより建造された。彼らは、炭坑の借地人または賃借人との間で、炭鉱で十分に良好に動作する機関を建造して、直径 7 および 9 インチのポンプで実際に排水するとの契約を結んだ。建造のすべての費用はその技師により前払いされることに

なっていたが、引き上げられる最初の石炭の価格と利益から、10パーセントのプレミアムをつけて彼らに返却されることになっていた。エイブラハム・ポッターに対してもまた、彼の労苦、機関の運転を行う使用人の確保、および修理での磨滅消耗品に対して、1年に200ポンドの給料が支払われたが、石炭は機関の場所へ準備されることになっており、機関が故障したときには、それを修理する必要な時間を与えられることになっていた。しかし、火災によりボイラ、シリンダまたは立坑に起こり得るどんな事故に対しても、採炭の利益から修繕されることになっていた。これに加えて、その技師は、機関の最初の費用(それは1200ポンドと見積もられている)を受け取った後、採炭のすべての純益の半分、年間の石炭と修理の費用、および200ポンドの技師の年俸を得ることになっていた。一方、もしある予期できない事故により機関が揚水できず、行っていた仕事ができなくなれば、技師は提供したすべての器材を持ち去ることができ、彼らの労苦と出費に対して応分の手当が支払われねばならない、と規定されていた。もし、それまでに作られた大気圧機関と同様にこの機関の性能も完全なものであったならば、その出力は12馬力であったであろう。しかし、完全ではなかったために、それはおそらくせいぜい8馬力であったであろう。

(p.231) 最初の蒸気機関には、常に真ちゅうのシリンダが使われたように見える。なぜなら、配管には鋳鉄が用いられたけれども、鋳鉄を中ぐりして切削するのは極めて困難であったからである。デザギュリエは、彼の "Experimental Philosophy", 1743 の第 II 巻で、以下のように言っている。「幾人かの人々は、火の機関に鋳鉄のシリンダを使用している。しかし、私は誰にもそうするようには勧めない。なぜなら、それを極めて滑らかに中ぐりできる作業者がいるが、彼らのうち誰も、いまだ厚さ1インチ以下に鋳造することができず、したがって、他のシリンダのように速く加熱することも冷やすこともできないからである。そのため、毎分1ないし2行程の差が生じ、揚水量が $\frac{1}{8}$ ないし $\frac{1}{10}$ 少なくなる。真ちゅうのシリンダは、最大サイズの場合で、厚さ $\frac{1}{3}$ インチ以下で鋳造されており、素早く加熱と冷却ができる利点は、長期間の運転では初期の出費の差を補うであろうし、特に、我々が真ちゅうの特性を考慮するときそうである。」

ニューコメン機関の段階的な改善を辿ると、1717年頃デザギュリエはバイトン(Beighton)氏との間で、プベット弁つまり安全弁の上にさおばかりを用いることについて、意見を交わしたと述べており、デザギュリエ自身数台の機関に応用したと述べている。彼はまた、次のように言っている。

「火の機関のピストンに皮革を用いる方法は、1713年頃(ニューコメンによって)偶然に発見された。大きな厚い皮革をピストンにねじ止めして、それをシリンダの側面で2ないし3インチ上へ曲げると、動作時にそれはすり減って、他からその部分を切り落とされ、シリンダに作用しているピストンの上に落ち、長い間繰り返されて、摩耗して非常に薄くなった。このようにして彼らは幸運な発見をした。馬の手綱、または柔らかい厚いロープ、または巻き付けたろうそくの芯を用いることにより、水や空気に対してピストンが気密になることを発見した。」

もしこの評価が正しければ、シリンダは常に極めて低温でなければならないことになる。なぜなら、シリンダ内で蒸気が適切な温度であれば、それは皮革を破壊してしまうほどの高温であったであろうからである。デザギュリエはピストンに皮革を用いることに関して、おそらく誤った情報を与えられていたのであろう。ピストンへの皮革の応用は試みられ続け、その後ポンプには採用された。しかし、完全な機関でこれまでに動作できたかどうかは非常に疑わしいが、彼が言及したロープまたはろうそくの芯は、必要に迫られて代用として使用された。ボイラに鉛製の頂部つまりドームを用いることは、鉄板のリベット止めにより蒸気の気密を保持できるようになるまで、長年にわたって続けられた。すべての古い機関の比率の中で最大の欠点の一つは、機関に十分な蒸気を供給するボイラのパワーが不足していたことであつた。そのために、機関は迅速に動作することができないか、または、シリンダの寸法に見合う完全な性能を出すことができなかった。しかし、このことはほとんど理解されていなかったために、ある機関が鉱山の排水の仕事に適さなくなったとき、より多くのパ

ワーを得るという考えの下で、常にシリンダがより大きなものと交換された。しかし、それに供給する蒸気量を増やせるようにボイラの寸法を大きくすることは、しばしば行なわれなかった。そのために、強化されたシリンダがポンプの中でより重い水柱を持ち上げるにもかかわらず、それはより緩慢に動作したので、十分なボイラを用いた小さなシリンダの場合に比べて、行える仕事量はほとんど増えなかった。動作が遅くなるこの状況は、自身の機関の巨大な力に誇りを持っていた機関建造者たちから、普通は見落とされた。そのため、スミートン氏が彼の改善を開始した時、大多数の機関は、スミートン氏が行なったような適切な比率であれば出せばはずの仕事の、半分以上の性能も出していなかった。

### 3.2 鉱山の排水用大気圧機関の材料費、1775

(p.232) この機関は、シリンダ直径 48 インチ、ピストン行程長 7 フィートであり、毎分 12 行程を行えるが、通常は 9 行程で動作した。ピストンには  $7\frac{1}{2}$  lb/in<sup>2</sup> の負荷が作用した。

排水する立坑の深さは、地表から底まで 49 ファゾムであるが、水は地表から  $2\frac{1}{2}$  ファゾムのレベルの横穴から流出するので、機関により  $46\frac{1}{2}$  ファゾムだけ揚水される。これは 2 段に分けられたポンプ・リフトで行なわれた。下の段のポンプ胴は直径 12 インチ、揚程 23 ファゾム、水柱重さ 6760 ポンドであり、上の段のポンプ胴は直径  $11\frac{7}{8}$  インチ、揚程  $23\frac{1}{2}$  ファゾム、水柱重さ 6760 ポンドで、両水柱の合計重さ 13520 ポンドであった。

噴射ポンプは直径 8 インチ、行程長  $3\frac{2}{3}$  フィート、揚程 14 ファゾムであった。

#### I. 機関室の建屋

	L.	s.	d.
建屋の石組みおよび大作業、すなわち、 基礎、壁、床、屋根、扉、ウインドウ、および機関を納めるための全部品	420	0	0
二つの炉のレンガ組み、および 2 缶のボイラ設置	160	0	0
建屋の全費用	580	0	0

II. 機関関連

	L.	s.	d.	L.	s.	d.
木材関連				106	0	0
シリンダを支えるシリンダはり 2 本	40	0	0			
スプリングはり 4 本、および強力木製枠	6	0	0			
他の木製枠	7	10	0			
ジャックヘッド、ホットウェル木製水槽	14	0	0			
大レバー (または作業はり)、そのアーチ	35	0	0			
プラグはり、制御器ポスト	3	10	0			
鋳鉄関連				154	18	0
火格子棒 24 個、29 cwt ×12 s.	17	8	0			
炉扉 2 個、枠、アーチ、7 ½ cwt ×28 s.	10	10	0			
シリンダ、底板、ピストン、80 cwt ×30 s.	120	0	0			
噴射ポンプ、ポンプ胴、	7	0	0			
鉄板ボイラ 2 個、ドーム付、直径 12 ft.、10 トン ×23 L.				230	0	0
鍛鉄関連				101	9	0
シリンダはり用長いボルト 4 個、強力あぶみ 4 個	2	10	0			
ピストン柄、1 ½ cwt ×37 s. 4 d.	2	16	0			
大レバー軸、チーク板、2 ¼cwt	4	4	0			
キャッチピン 2 個、ねじたが 6 個、チーク板 4 個	5	0	0			
大レバー用あぶみ、マーチンゲール、ボルト、6 cwt	11	4	0			
ピストン・スピア用大鎖 2 個、32 ½ cwt ×42 s.	68	5	0			
噴射ポンプ・プラグはり用鎖、ロッド	4	10	0			
制御器の鉄機器	3	0	0			
噴射ポンプ・排水用 60 ファゾム木製配管				30	0	0
鉛管関連				63	15	0
噴射管、蒸気管、連絡管、給水管 3 個、 漏らし管&ボックス、シリンダ・カップ、30 cwt ×18 s.	27	0	0			
噴射水槽とホットウェルのライニング用鉛板、49 cwt ×15 s.	36	15	0			
真ちゅう関連				59	8	0
大レバー軸用真ちゅう軸受、鉄ボックス	6	0	0			
真ちゅうバケツ 2 個、噴射ポンプ用弁 2 個	4	0	0			
蒸気用真ちゅう調整器、168 lb. ×1 s. 6 d.	12	12	0			
真ちゅう噴射コック、直径 4in.、62 lb. ×1 s. 6 d.	4	13	0			
漏らし弁、コック	1	10	0			
噴射・漏らし用真ちゅう管	3	0	0			
ボイラ用安全弁またはプベツト弁	0	15	0			
ボイラ用ゲージコック・管 2 個	3	10	0			
ボイラ用給水コック・管 3 個	5	0	0			
排水弁、フラップ、真ちゅう、40 lb. ×2 s.	4	0	0			
銅製排水管、124 lb. ×2 s.	12	8	0			
種々の銅管他、124 lb. ×2 s.	2	0	0			
機関の全費用				745	10	0

### III. ポンプ機器を引き上げるための立坑口のテークル

	L.	s.	d.
大スピア棒 2 個、ステー 4 個	25	0	0
キャプスタンおよびキャプスタンロープ	21	0	0
巻き上げ機、ロープ	10	10	0
一重プーリブロック 2 個、3 重ブロック 2 個、5 重ブロック 2 個	10	0	0
立坑口テークルの全費用	66	10	0

### IV. 立坑内のポンプのための機器

	L.	s.	d.
46 ファゾム長 主ポンプ管、 (ファゾムあたり 6 L. または cwt あたり 18 s. 8 d.)	276	0	0
真ちゅうポンプ胴 2 個、(1b あたり 1 s. 1d.)	178	0	0
真ちゅうバケツ 4 個、真ちゅう弁 4 個、(1b. あたり 1 s.)	13	0	0
立坑用の 80 ファゾム長 木製スピア	10	10	0
ポンプ用木製水槽、固定用木組み付	30	0	0
スピア連結用板、12 組、(1b あたり 3 ½d.)	40	0	0
Y とその柄、板、クロスパー、8 cwt	14	18	8
バケツ用短継手 4 個、長継手 2 個、9 cwt (cwt あたり 1 L. 17 s. 4d.)	16	16	0
主ポンプ用オフテーク継手、3 cwt	5	12	0
立坑内機器の全費用	584	16	8

すべての付属品を含めた機関の合計コストは、約 2000 ポンド

### 3.3 ニューカースルの大気圧機関の性能、1769

(p.233) スミートン氏は 1769 年に、鉱山の排水用に実際に稼動している火の機関の数を確認するために、幾らかの労苦を払った。その最も広い地域は、ニューカースルの炭鉱であり、そこで建造された 100 台の機関のリストを入手した。これらの多くは使い古されて放置されていたが、当時動いていた 57 台の機関のサイズは表 3 のようであった。彼は、それらの性能はその大きさに比べて非常に小さく、その燃料消費は極めて大きいのではないかと考えた。

(p.234) これを確かめるために、彼は、全体のほぼ平均を構成していると考えられる異なるサイズの 15 台の機関の正確な観察を行い、それらの性能を計算した(表 4)。この計算の結果は、機関のパワーがシリンダの大きさに対して一定の比率となっていないことを示した。

取り上げられた 15 台の機関すべてのグレートプロダクト (great product) は、毎分 1 フィート高さへ上げる水に換算して 36 438 667 円筒インチフィートであった。すべての 15 シリンダの面積の合計は 36 899 平方インチであり、これより、シリンダ 1 平方インチあたりのグレートプロダクトは、毎分 1 フィートの高さへ上げる水に換算して (36 438 667 ÷ 36 899 =) 988 円筒インチフィート (= 337 ポンド) であった。

平均圧力またはピストン 1 平方インチあたりの荷重は 6.72 ポンドであり、その結果、(337 ポンド ÷ 6.73

表3 ニューカースルで稼動していた火の機関、1769

機関の数	シリンダ直径	断面積
	in.	in <sup>2</sup>
2	75	8836
1	73	4185
2	72	8143
2	70	7697
1	66	3421
2	64	6434
3	62	9057
9	60	25447
1	52	2124
6	48	10857
2	47	3470
6	42	8312
3	36	3054
1	32	804
2	28	1231
6	小	2280
8	不明	11085
57		116435
推定出力 1188 馬力		

ポンド = 50.1 より、) 平均の運動は 50 フィート/分 であつたはずである。

機関の性能を表している現代の馬力は、毎分 1 フィート上げる水量に直して体積 968000 円筒インチフィートであり、これを上記の 988 円筒インチフィート (1 平方インチあたりのグレートプロダクト) で割って、98 平方インチが得られ、これが 1 馬力に必要なピストンの面積である。

ニューカースルの 57 の機関すべてのシリンダの断面積の総和は 116435 平方インチ であり、これを 98 で割ると、全機関のパワーの総和として、1188 馬力が得られる。

スミートン氏によるグレートプロダクトの意味は、すでに説明しており (第 2 章 p.185) <sup>\*11</sup>、これを 968 000 で割れば、第 1 カラムの各機関の馬力が得られる。

すべての機関の合計は 376.5 馬力であり、全シリンダを合わせた面積は 36899 in<sup>2</sup> であるので、1 馬力あたり 98 in<sup>2</sup> である。

平均の荷重は 6.72 lb/in<sup>2</sup> であり、これに 98 in<sup>2</sup> をかけて、1 馬力あたり 658.6 lb となる。運動 (毎分のピストン移動量) は、かけて 33 000 lb ft となるためには、50.1 ft/min とならねばならない。

毎時間 1 ブッシェルの石炭の効果 (effect) もすでに説明しており (第 2 章 p.186) <sup>\*12</sup>、これに 19.35 をかけることによ

<sup>\*11</sup> (訳注) 機関の出力 (動力) を、水を毎分 1 フィート上げるとしたときの水体積を円筒インチフィート (cyl. in ft) 単位で表したものである。

<sup>\*12</sup> 石炭 1 ブッシェルあたりの仕事量

表 4 ニューカースルで稼動していた 15 台の火の機関のスミートン氏による効果の計算、1769

馬力	シリンダ直径	断面積	グレートプロダクト	単位面積荷重	効果	
	in.	in <sup>2</sup>	cyl. in ft	lb/in <sup>2</sup>	cyl. in ft	million lb
37.6	75	4418	3 636 633	6.17	235 000	4.59
42.9	74	4301	4 152 730	6.36	371 000	7.25
35.3	72	4072	3 417 750	6.54	305 000	5.96
18.9	66	3421	1 829 520	6.08	165 000	3.22
26.8	61	2922	2 590 596	5.42	230 000	4.49
30.6	60	2827	2 960 048	6.86	329 000	6.43
40.8	60	2827	3 949 004	8.61	301 000	5.88
22.9	52	2124	2 214 337	6.34	331 000	6.47
22.9	52	2124	2 214 337	6.34	193 000	3.77
27.0	52	2124	2 617 839	6.34	363 000	7.09
26.3	52	2124	2 549 319	9.01	354 000	6.92
18.4	42	1385	1 779 840	10.9	351 000	6.86
16.7	42	1385	1 621 069	9.25	381 000	7.44
4.5	26	531	433 251	5.66	217 000	4.24
4.9	20	314	472 394	9.86	168 000	3.28
計 376.5		計 36899	計 36 438 667	平均 6.72	平均 286 000	平均 5.59

り、石炭 1 ブッシェル (= 84 lb) の消費により高さ 1 ft 上げる水重量 (lb) が得られ、これを最後のカラムにミリオンポンド単位で示している、その全体での平均は 5.59 ミリオンポンドである。

(p.235) 一般に、これらの機関は廃棄された ぐず炭で運転されたが、それらのうちのいくらかでは蒸気を十分に発生することができなかったので、廃棄石炭より多くの仕事をできるように、入手できた最高の石炭で運転された。

これらの観察は、スミートン氏が火の機関の実験を開始する前に行われ、これらの機関には大きな欠陥があることが見出された。その結果彼は、その建造段階から改良すべきであると考えようになり、後年、彼はそのように実行した。

これらの機関の不完全な性能の主因は、それらの不完全な動作と誤った比率にあった。シリンダは非常に不完全に中ぐりされていて、そのため、その中でピストンが自由に動けなかったり、気密を保てなかったりして、摩擦によるパワーの大きな損失や、水と空気のある量の漏洩が生じた。ポンプ仕掛けも同様に不完全であった。

ボイラは、シリンダに適量の蒸気を供給するには小さ過ぎて、作りも悪かった。ボイラ底は火格子から大きく離れており、その中央部が更に高くなっていたので、多量の石炭を火格子に山盛りに積み上げるのが習慣となり、ボイラの中央部の真下で熱が最も強く、周辺部で熱が不十分となった。また、ボイラに内部汚れつまりスケール (crust) が付着しないようにすることに対しては、ごくわずかの注意しか払われなかった。これらすべての欠陥により蒸気の供給は減少することになり、機関の動作が非常に緩慢になる原因になった。

これらの機関を作った技師たちは非常に無知であって、これらの欠陥を見出してそれらを取り除くことにはほど遠く、すべてのものはシリンダの寸法とピストンの 1 平方インチあたりの荷重つまり負荷とに依存する

と考へ、運動の速さを考慮することも最大の力学的パワーを得る適当な努力をすることも、しなかつた。彼らが目を向けたすべては、非常に大きな重量の水を持ち上げる大きな力の機関を製造することであつた。そのため、部品は非常に大きく強力であることが要求されたが、彼らは十分な結果を得ることはできなかつた。

スミートン氏のロング・ベントンの機関(第2章 p.172 参照)は、1平方インチあたり  $7\frac{1}{2}$  ポンドの荷重を支え、1分間に84フィート動いた。つまり、ピストン面積  $2124\text{ in}^2 \div 40\frac{1}{2}\text{ HP}$  より、1HPを得るのに必要なピストン面積として、(上記の平均の)  $98\text{ in}^2/\text{HP}$  でなく  $52.4\text{ in}^2/\text{HP}$  が得られる\*<sup>13</sup>。

燃料消費に関しては、一般の機関は等しく不完全だつた。なぜなら、上述の欠点すべてのために機関の有効なパワーが減少し、燃料の減少をほとんどもたらさなかつたのである。

燃料の無駄のもう一つの大きな原因は、ピストンの運動に対してシリンダが長過ぎること、つまり、ピストンがその動くべき行程長を完全に動くように、制御機器が調整されていなかつたことから来ていた。結果として、ピストンが行程の下端へ下がったとき、その下にはかなりの空間が残され、この空間を満たすために、何の効果も生み出さない蒸気が必要とされた。

また、通常、ピストンはシリンダの中で本来行くべき所まで高く引き上げられなかつたので、その結果、ピストンの気密を保つためにその上に絶えず注がれていた水は、ピストンの上面に何インチもの深さにたまって、その冷たさによって、シリンダを満たすために入ってきた蒸気を余分に凝縮した。なぜなら、熱はピストンの金属内を上へ通過して非常に速く水に伝わり、その水を暖めるなかで失われた。シリンダの欠点による漏れを補うために、必然的にピストンの上へかなりの量の水を流すことが必要となつたのであるが、その漏れを補うのに十分な最小限の量となるように水の流量を維持することには、ほとんど注意が払われなかつた。

(p.236) これらすべての欠陥に加えて、以下の欠陥を挙げることができる。蒸気管と調整器はシリンダへ蒸気を送るには一般に小さ過ぎたし、また、制御機器により調整器が全開まで開けられることはめつたになかつた。そのために、迅速にピストンを引き上げてボイラの蒸気をシリンダに引き出すには、大きなつり合い重りが必要となつた。噴射水槽は、シリンダの中へ適当な速さで水噴射するには十分な高さに置かれていなかつた。

### 3.4 コーンウォールの大気圧機関の性能、1770

コーンウォールの鉱山の機関は、ニューカースルの機関に比べて燃料の経済性により多くの注意を払って作られたが、実際にはそれ程より良くはなかつた。プライスは彼の "Mineralogia Cornubiensis" (1778) の付録の中で、次のように述べている。

「ニューコメン氏の火の機関の発明により、それまでの機械で掘ることのできた深さの2倍まで鉱山を掘ることができるようになった。この発明が完成されて以来、その改良に向けたほとんどの試みは極めて不成功であつたが、それらの機関での大きな燃料消費は我々の鉱山の利益の巨大な払戻金である。なぜなら、大型の火の機関はすべて、3000ポンド相当の石炭を1年で消費するのである。この重税は、ほとんど禁止令に等しい。おそらく王国で最も大きいいくつかの火の機関があり、そのシリンダは通常直径54から70インチである。

\*<sup>13</sup> スミートン氏の計算で引用されたのは、ロング・ベントンのシリンダ径52インチで26.3馬力の機関である。スミートン氏は後年、同じ立坑に、古いシリンダとポンプ仕掛けは維持して、彼の計画に基づいた新しい機関を建造した。その古い機関の性能はそのリストの中では最良のもののように見える。

1772年に、スミートン氏の変更を開始する前に、この古い機関が最高の状態であるときに、実験が行なわれた。その中で、1平方インチあたり8.92ポンドがかけられ、1分間に7フィートの行程を  $7\frac{3}{4}$  行程、つまり  $54\frac{1}{4}\text{ ft}/\text{min}$  の運動を行った。それは32.1馬力を出したので、馬力あたりの66.1平方インチの割合であつた。また、1時間あたり12.81ブッシェルの石炭を燃やしたので、ブッシェルあたり1フィートの高さへ4.82ミリオンポンドを揚水する割合であつた。後年の新しい機関は、9.45ミリオンポンド、つまりほぼ倍の量を揚水した。

熱の完全な適用と燃料の節減という非常に小さい目的のために、わが国の技術者により機械技術に関する多くの試みがなされてきた。火床は小さくなり、再び拡張された。火炎はボイラの底から螺旋(らせん)状に周囲へ回され、水中の煙管の中を通された。1回、2回、または3回、管の中を通されて煙突へ入った。幾人かの人は火炎がすべての個所で接触するように二重のボイラを用い、他の者は火炎の3本の管(炉筒)で加熱されるムアストーン(moorstone)・ボイラを建造した。」

ホーンブローア(Hornblower)氏は、"Nicholson's Journal", 第8号, 第8巻, p.169で、これらのストーン・ボイラの一つの説明を与えている。

機関の燃料消費を減らすためにコーンウォールで試みられた方法の中で、下記のもが示唆された。鉱山の生産物を溶解するいくつかの操作においては、炉の激しい火から多量の熱が取り出されなければならないが、機関ボイラはより低い温度を必要とするので、その火の残りを機関ボイラに用いることができるかもしれない。これに従って、コーンウォールのカムボン(Camborne)銅山では、余った熱で蒸気を発生できるようにした炉を持つ1台の機関が建造された。

このために機関のボイラが、コーンウォールでムアストーン(moor-stone; 荒野の石)と呼ばれている花崗岩で建造され、その石造りは、南ウェールズのアベルトウ(Aberthaw)から持って来られた石灰の一種と合わせてよく接合された。その石灰は、水中で固まる特性を持っている。水に熱を伝えるために、ボイラ内全長にわたって一端から他端まで水平に銅の管が付けられ、ボイラの方の端に置かれた炉からの火炎が管の中を通って運ばれた。

ボイラの底には通常通り、ボイラを掃除する必要が生じたときに水を抜くためにコックがついていた。火がつけられ、機関を動かすのに十分な蒸気が供給できる程度にボイラの水が沸騰したとき、にもかかわらず、ボイラの底の部分からこのコックにより水を取り出すと、それは火傷(やけど)するほどの熱さではなかった。熱が流体の中を下方へ向かってゆっくりと伝わることは、当時は知られていなかったもので、銅の管は水面の近くに配置されていたのである。後年、管はより低く配置されるようになった。

(p.237) 1773年にスミートン氏へ送られた何枚かのメモにより、このストーン・ボイラは長さ20フィート、内側幅9フィート22インチ、奥行き $8\frac{1}{2}$ フィートであり、火炎は直径22インチの3本の銅管に供給され、ボイラの全長を通して広がっていたことがわかる。これらの管のうちの2本はボイラの底から $7\frac{1}{2}$ インチ以内の位置に取り付けられ、他の1本はそれらの間で底より2フィート上に取り付けられていた。火炎は炉から1本の管を通して進み、別の管で引き返し、そして3番目の管で再度進んで、水のある全長にわたって3回通過することになる。

精錬する銅鉱石を前処理するための焙焼炉の余分な火炎と予備の熱により、このボイラを加熱することを意図して、3本の銅の管が炉の煙道または煙突の一部とされたが、しかし、実際には、それは目的を果たせなかった。

幾人かの人は、その失敗は石組みの大きい質量による熱損失によると考え、チェイス・ウォーター鉱山用のスミートン氏の機関に、炉の排熱を集めるためのもう一つのボイラが作られた。そのボイラは石組みの代わりにリベット止めした鉄板を用いて作られ、他の点ではストーン・ボイラとほとんど同じ構造であった。長さ22フィート、幅 $8\frac{1}{2}$ フィート、深さ $10\frac{3}{4}$ フィートであり、直径22インチの4本の内部の管があった。内部の管のうちの2本は底から12インチ上方に、他の2本は底から $3\frac{3}{4}$ フィート上に取り付けられた。このボイラは、機関の中心のボイラへの追加として、2缶のサイドボイラの代わりに使われることを意図していた。

1770年にコーンウォールで動作していた機関について、スミートン氏により集められたいくつかの覚え書きから、当時約18台の大型機関があったようである。そのうちの8台は、シリンダ直径60から70インチであったことが特定されているが、他のものについては述べられていない。もし、それらが48インチで

あったと仮定すると、ニューカースルの機関に対して前に行ったように合計すると、ピストン総面積は約 44 300 平方インチとなり、1 馬力にたいして 90 平方インチを要するとして計算すると、(全パワーは) 481 HP となるであろう。これは、前述のものと同様に正確な計算ではないことは認めねばならない。これらの機関の主な製作者は、ジョナサン・ホーンブローア (Jonathan Hornblower) 氏およびジョン・ナンカロウ (John Nancarrow) 氏であった。

### 3.5 鉱山の地下構造

地表下の深い横坑道つまり水平坑道により水を運ぶことができる鉱山の排水では、ポンプまで下りるドライスピア自身の重さが、機関の大きな負荷となる。たとえば、ロング・ベントン炭坑 (第 2 章 p.175) の立坑は 97 ファゾム深さであったが、ポンプは  $49\frac{1}{3}$  ファゾムだけ揚水し、地表下  $57\frac{1}{2}$  ファゾムの位置で水を放出した。また、チェイス・ウォーター鉱山 (序章 p.19) の立坑は 75 ファゾム深さであって、建造時は、水はポンプで 51 ファゾムの高さ上げられていたが、その後 31 ファゾムだけ揚水するように変更され、地表下 44 ファゾムの深さで排出された。

この種のもので最も顕著な例は、ダービーシャーのウィンスター (Winstar) のある鉛鉱山のものであった。その操業は高地で始められ、その後極めて深く掘り下げられていき、そして、少し離れた低い地面から地下の水平坑道が莫大な労働と出費をかけて掘られ、いくつかの近隣の鉱山の操業と地表下 100 ファゾムで交流できるようになった。

1777 年に、ヤテストーブ (Yatestooop) と呼ばれるこれらの鉱山の一つで、このレベルより下にある鉱石を採掘することが求められた。その目的のために、シリンダ直径 70 インチの大気圧機関が地表に設置された。そのレベルに手を伸ばすために長さ 100 ファゾムのドライスピアが使われ、立坑の底からそのレベルまでの 15 ファゾムを二つのポンプ (一つは直径 25 インチで、他方は直径 14 インチ) で揚水された。噴射水はそのレベルから地表まで 100 ファゾムを汲み上げられねばならず、直径 9 インチのポンプを 4 台繋いで順に汲み上げられた。

(p.238) この機関は、スピアの大きな長さが過大な荷重となり、さらに、そのような深さから自身の噴射水を汲み上げねばならなかったことにより、十分な速さで動かすことができず、良い性能を出せなかった。また、それが高地に置かれたことも、気圧低下による大気の重さの差異も影響したに違いない。

結果として数年後に、地表下 100 ファゾムの深さの地下に、 $64\frac{1}{2}$  インチシリンダの大気圧機関が設置され、以前に地表の機関で動かされていた同じポンプを動かした。建屋建設が開始されるまでに、機関室とボイラを収めるための岩の発掘に 300 ポンドを要した。建屋は地表から持ち込んだ砂岩 (grit stone) で作られ、レバー壁は厚さ 5 フィート、側壁は厚さ 3 フィートであった。機関は普通の形に作られたが、直径 20 フィートの 1 缶のボイラで供給された。煙突の排気は、シャフト内を上へ排出された。この仕掛けは、ダービーシャーのアッシュオーバー (Ashover) のフランシス・トムソン (Francis Thompson) 氏により計画され、実行された。彼はその鉱山が盛況であった期間に当地で広範に実務を行っていた技術者であった。

地下で動作する火の機関のもう一つの例は、1776 年にホワイトヘブン (Whitehaven) の炭坑にあった。それは地表下 80 ファゾムに設置され、石炭層の急峻な傾斜面に沿って配列された一連のポンプを動かした。これらのポンプは機関からの 1 本のスライド・ロッドで操作されて、それぞれ 4 ファゾムを順に引き上げた。この配置は、床または石炭の底の層を貫通するのを避けるのがねらいであった。それ以外の方法であれば、地表面から鉛直の立坑を作って掘り下げなければならず、作業現場をはるかに多くの水の中に置いたであろう。

石炭層が急に沈み込んでいる多くの状況下で、石炭の下の地層が多孔性であれば、水の通過を防ぐには、石

炭の防水床を保持することが極めて重要であり、このようなすべての場合では、ポンプは鉛直の立坑の中ではなく、地層の傾斜面の上に置かねばならない。同じことは、鉱脈が鉛直面内にはない鉛鉱山や銅鉱山でも絶えず起こり、ポンプを入れるために固い岩の中に鉛直のシャフトを掘ることは、あまりに高価であるから、ポンプは鉱脈の方向に沿って設置されなければならない。

### 3.6 鉱山排水が腐食性の場合に火の機関のボイラに軟水を供給するスミートン氏の方法、1779

以下はスミートン氏のレポート<sup>\*14</sup>からの引用である。

状況が許される所ではどこでも、軟水の小川、せせらぎ、または泉の水を火の機関の噴射ポンプに供給することが、一般に行われてきた。このため、そのような機関のボイラにはボイラを損傷することのない軟水が供給される。

こうすることが極めて大きな利点をもたらすことは、よく知られているが、小川または軟水泉からの供給が全くできない状況の場所では、十分な容量の人工のリザーバーを作って雨水を集めて、降雨と降雨の間、大きなシャワーとシャワーの間の期間も含めて、噴射水の供給に十分な雨水を溜めなければならない。しかし、大型の火の機関では噴射に必要な水の量は非常に多量であるので、そのように十分な大きさのリザーバーを作ることができる場合は極めて少ない。特に、地面が常に完全に排水されている炭鉱ではそうである。この方法による供給では確実性に欠けることやその大きな費用のために、内陸部では通常、鉱山の主ポンプヘッドから噴射水が汲み上げられた。それは一般には硬水であり、しばしばボイラには腐食性となり、粘着性(析出堆積性)が強く、長期間にわたって軟水を用いる場合よりも、より大きな損傷をボイラにもたらす。

(p.239) そのため、あらゆる状況下でボイラに軟水または雨水を供給できるようにすることは、特に上述のような軟水の供給ができない場所では、火の機関にとって大きな改善となる。火の機関について数年前に行った実験の中で、私はこの考えに基づいて、噴射に必要な水の量を調べた。そして、ボイラへの給水に必要な水の量と比較すると、多くの場合、ボイラへの給水量は噴射水の量の  $\frac{1}{12}$  以下であることを見出した<sup>\*15</sup>。

ボイラへは、その水位よりかなり高い位置のホットウェルから給水コックを通して入れない限り給水することはできない。しかし、ボイラ給水に必要な少量の水を別の雨水のレザーバーから供給できるならば、噴射により生じた大量の温水を用いて工夫することにより、その少量の給水を多少暖めてその冷たさを取り除くことができるであろう。そうすれば、冷たくさえあれば品質は問われない噴射水を用いて機関を動かし、ボイラには上記のような良質の水を給水することができる。2種類の水の間で熱交換し、(混合などの)それ以外の交換をすることはしない。

私はこのように考えて、実験用機関のホットウェル内に、そこに入るだけの大きなブリキ板のパンを入れた。そのホットウェル側壁とパンの側壁の間には、噴射水(温水)が通常のように入ってきて出口から出て行けるだけの隙間を残した。ボイラへの給水管はこの内側のパンにつながれ、そのパンには、ボイラへ連続的に給水できるだけの量の冷水が、近くの井戸から連続的に供給された。ホットウェルから直接給水される普通の方法に比べて、石炭消費量あたりの機関の仕事量には、目に見えるほどの差は見られなかった。

図 2 (Plate VI) の Fig.1 と Fig.2 に示す装置は上記の実験に基づいており、その原理を適用するのに最も簡単な方法であると思える。そのリザーバーは十分大きく、雨と雨の間の期間でも、ボイラに必要なとさ

<sup>\*14</sup> "Smeaton's Reports", 四つ折り判, Vol. II, p.362.

<sup>\*15</sup> スミートン氏のデータをもとにした著者 (Farey) の計算では、噴射水量はボイラへの給水量の 10 から 11 倍であった (第 2 章 p.166 を参照)。

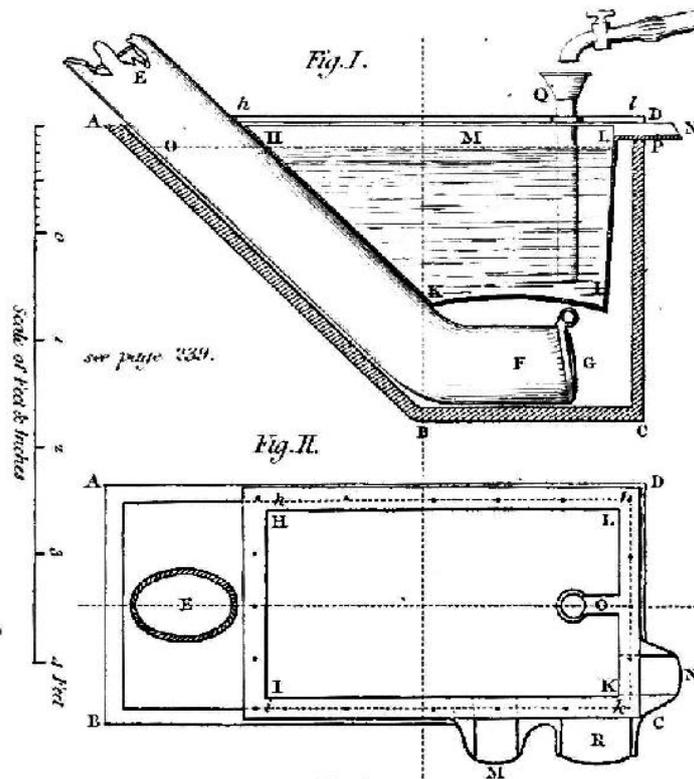


図2 チェイス・ウォーター機関のホットウェル (Plate VI, Fig.1, 2)

れる給水を十分にまかなえるだけの水を保持できると考えることができる。

Fig. 1 はホットウェルの断面図である。A B C D は、中央部で切断したとしたホットウェルタンクである。E F G はシンクまたは配水管であり、端部を閉じる馬蹄形弁 G が付いている。

H I K L は、銅製の薄いパンの断面であり、ホットウェルの空いている部分をできる限り広く占めるように作られている。それは配水管に接触してもよいが、馬蹄形弁の継手部との間には隙間を設けて、その底の部分は少し凹形に丸くなっている。噴射水の一部が H の傾斜部の下を上って行きやすいように、K の位置は I の位置より約 1 インチ高くされている。そうしなければ、排出口は L 部分の近くにあるので、噴射水は H の傾斜部の下を上ろうとはしないであろう。ホットウェルの 3 側面に対面するパンの 3 側面は、上部では約 1 ½ インチ離れ、パンの底の位置では 2 インチ離れるようにする。これらの指針にしたがって、ホットウェルの寸法からパンの寸法を決めることになる。

(p.240) 新鮮な給水が給水リザーバーから機関室まで長い鉛のパイプにより運ばれ、ロート Q により内側のパン H K I L へ注がれ、そして、ホットウェルの中で破線 O P まで浸されて絶えず熱を受け取る。パンの中で温められた水は絶えず二つの出口 M と N から運び出され、それぞれ二つのボイラの給水管へ送られる。

Fig. 2 は、ホットウェルとそこに浸されたパンの平面図である。A B C D はホットウェルの頂部であり、E はシンク管の傾斜部の切断面である。R はホットウェル水の排出口であり、そこから機関外へ運び出される。H I K L は銅のパンの頂部の輪郭を示しており、そこに 4 辺すべてから 1 インチ突き出たフランジが付いていて、ホットウェルの頂部の鉄枠 h i k l に鉋で止められている。この鉄枠は、薄い銅で作られたパンを

補強することを目的としている。馬蹄形弁の個所で何か作業をするときは、鉄棒とパンは外すことなく一体として持ち上げて取り出すことができる。

M はシリンダの下の主ボイラへの給水出口であり、N は外建屋の副ボイラへの給水出口である。

M からの温水は木の吐出し口へ落ち、約 14 インチ直径の管の上のロートへ入る。その 14 インチ管は折れ曲がって、主ボイラの鉛直の給水管に繋がる。同じように、N にも木の吐出し口があり、同じ種類のロートと管へ入り、給水管に繋がって副ボイラへ給水される。

Q は四角の鉄棒に付いた枝であり、その中の穴でロートとその鉛直管を受け止める。給水リザーバーからの新鮮な水は鉛の管を通り、その管の端のコックから出てロートで受けられる。Fig. 1 で示すように、ロートの鉛直の管は銅のパンの底近くまで届いている。

パンに入る水に、その前に温度何度かの温かさを与えるために、集められたリザーバーから 40 ないし 60 ヤードの鉛の管を通す際に、その鉛の管を木のランダー桶 (lander trough) の中に沈めて、その桶にホットウェルを去って機関から排出されるホットウェル排水を入れる。

このランダー桶は 3 枚のモミ材で作られ、内側幅 8 インチ、深さ 9 インチであり、ホットウェルからの排水を 40 ヤードで約 1 フィートの小さい勾配で流して運び、池または受水槽へ入れて排水溝から排出する。

このランダー桶の中には、鉛の板を曲げて溶接して作られた直径 2 インチの鉛の管が入られた。鉛管の長さは桶の全長にわたり、最小 40 から 60 ヤードであった。鉛管の一端は木の管に取り付けられ、軟水を溜めたりザーバーからの新鮮な水がそこへ入って来る。鉛の管はそれを給水パンの中へ運ぶが、ランダー桶を流れる温水の中にずっと浸されているので、鉛管を通過する新鮮な水は、パンへ入るまでにその冷たさを取り除かれるであろう。

鉛管の他方の端は、ホットウェルの排出口 R から出る排水をランダー桶へ流す傾斜した木の管の中を通過して、パンの位置まで上がってくる。邪魔にならないように、この傾斜した木の管をボイラ焚き口の上のボイラヘッドの床の下へ移動し、そこから前述のようにランダー桶の中へ通しすことが提案されている。

ランダー桶の底には 3 ないし 4 フィートごとに小さいリブまたは棒が置かれていて、鉛の管を底から浮かせて支えており、熱い水がその周囲を通過することができる。これらのリブは、桶の中で水が鉛の管の下や上へ完全に回って速く流れるのを妨げるかも知れない。

(p.241) ランダー桶が終わる位置の鉛管の端は、ホットウェルの頂部の高さより数フィート低いので、軟水のリザーバーから来る木の管に鉛管をうまく継がなければならない。また、リザーバーからこれらの木の管への入口は、鉛管の終端で銅のパンのロートへ注ぎ込むコックより 1 フィート高くなければならない。

そのリザーバーは人工的に作られるか、または地面に掘られていると仮定されている。後者の場合では、リザーバーから木の管への入口は、満水時の水面より約 3 フィート下につけられなければならない。

この配置によりリザーバーからの冷たい新鮮な水がまず木の管へ入り、次に、鉛の管を通過して排水の中程度の高さまで再度上り、最後にその管の終端のコックによりロート Q の中へ入り、そのロートの管の中を銅のパンの底まで下がる。しかし、その水は温かくなるのでパンの水面へ徐々に上昇し、二つの排出口からそれぞれ二つのボイラへ出て行く。

鉛の管の終端の 2 インチのストップコックの他に、調節用として鉛の管の便利な場所に、2  $\frac{1}{2}$  インチのストップコックが付けられるべきである。

この後者のコックは、ボイラでの蒸発量に等しい量の水をパンに供給するように調整されるべきであり、その量が一度見出されるとそれを変更する必要は稀にしか生じない。しかし、機関の動作を停止させた時は管の終端のストップコックを閉じるだけでよく、機関が動作を再開した時は再度コックを開けばよい。水量の調節は鉛の管の他方のストップコックにより保持されているのである。しかしながら、一般的な給水方法の場合と

同様に、機関運転者は、ボイラの水が正常位置にあるかどうかをゲージコックによって見るという注意が必要であり、彼はそれに応じて鉛の管の調節コックを触らなければならない。

給水出口の一方 M または N が、他より少ない水をパンから流出させたり、または、その一つのボイラが他より多くの蒸気を発生させることがあるかもしれない。その場合には、水量が少なくなった方と逆の方のパンを支えている鉄枠の下へ 2、3 枚の薄いくさびを挟まなければならない。全体の水量は管のコックにより調節できる一方、各ボイラへの水量はこのようにして両者の間で正確に調節できるであろう。

機関が定期的に 30 分間だけ停止するのであれば、機関が動作を停止したときにコックを閉めることなく、連続的に水を入れるようにボイラの給水を管理するのが最も簡便であろう。なぜなら、その間水はほとんど冷たい状態でボイラへ入るが、火を維持していれば全体を熱い状態に保つからである。しかし、給水を止めると同じ火が安全弁から蒸気を放出してロスし、従って給水のロスを生み出すだけである。

枝管とコックにより、ボイラの給水管を普通の方法でホットウェルにつなぐことが望ましい。パンに新鮮な水が供給されたときこれらのコックを閉じてよいが、水の供給が中断されるならば、ボイラは通常の方法でホットウェルから給水することができる。

最後にスニフティング管 (漏らし管) は、外部へ放出する代わりにホットウェル内の銅のパンの中へ放出してもよい。その管の端にはいくつかの小さな穴を開けて、パンの水の中へ約 4 インチ沈める。この深さはスニフティングを妨げる程深くはないが、スニフティング管の蒸気の熱が給水の熱に加えられるのに最良であり、他の条件では熱が失われる。

(p.242) 定量的試算 — 1 立方ヤード<sup>\*16</sup>の水をボイラに給水すると、60 インチシリンダの機関を 18 分間フルに動かすであろう<sup>\*17</sup>。機関は 24 時間中で 12 時間稼働すると仮定すると、それは 1 日に 40 立方ヤードの割合になる。したがって、40 ヤード角で平均 2 ヤード深さのリザーバーは、機関を 8 日間持続させるであろう。長さ 76 ヤード、平均幅 26 ヤードであれば、深さを 5 フィートでほぼ同じことができるであろう。

小さいリザーバーの木の管の入口近くを、1 フィート深く掘って、水が沈殿物を含まずに流れるようにするとよいであろう。

いくらかの鉱物水は、他のものより腐食性が強く、ボイラの中で水から析出して形成される土状の凝固物は、さまざまな硬さを持っている。時にはチョークのように白くて柔らかく、別の場合は、黄色、茶色、ダークブラウンとなり、石と同程度に硬くなる。これらの固い凝固のいくらかは、粘板岩のように薄層状である。鉱物水により堆積する物質は、主に石灰であり、硫黄、塩分、鉄の酸化物、および時々銅などの種々の化合物を伴っている。

鉛鉱山からの水は、しばしば非常に硬くて薄い外皮を形成する。銅鉱山からの水はそれほど硬くなく、よりスレート状であり、そして腐食性である。鉄鉱山および炭坑からの水は、最も大量の垢 (scurf) を堆積させるが、それは柔らかく多孔性の物質である。柔らかい砂状の石灰岩からの水は、堆積物の量の点ではすべての中

<sup>\*16</sup> (訳注) = 27 ft<sup>3</sup>

<sup>\*17</sup> スミートン氏の表 (第 2 章 p.182) によれば、60 インチのシリンダへのボイラからの蒸気供給は、255 立方インチ/行程 であり、 $\times 10 \frac{1}{2}$  行程/分 = 2677 立方インチ/分 または 1.55 立方フィート/分、もしくは 18 分で 27.9 立方フィート となる。

上の設計は、1778 年にノーサンバーランド (Northumberland) のゲーツヘッド・パーク (Gateshead Park) 炭鉱で、スミートン氏により建造された 60 インチのシリンダの機関に対して行われたものである。それは、その目的に極めて良好に答えた。その後、彼により同様の設備が、1780 年に、リーズ (Leeds) 近郊のミドルトン (Middleton) 炭鉱で建造された直径 72 インチのシリンダの機関と、チェイス・ウォーター (Chase-water) の同一の機関とに適用された。その設備は、Plate VI の Fig.1 および Fig.2 (図 2) で示されたものと類似であったが、より大きかった。すなわち、排水管 E F の直径は 8 インチ、ホットウェルは、長さが頂部 A D で  $4 \frac{3}{4}$  フィート、底部 B C で 3 フィートであり、幅  $2 \frac{1}{2}$  フィート、深さ D C が  $3 \frac{1}{2}$  フィートであった。銅のパンはそれに応じた寸法であり、機関を動かす三つのボイラへ給水するために、三つの排出口があった。リザーバーからホットウェル内のパンへ軟水を運ぶ鉛の管とコックは、直径  $2 \frac{1}{2}$  インチであった。

で最悪であるが、腐食性ではない。ある種の水は、シリンダ内へ噴射した時にその内面に垢を付着させ、ピストンが鉄であるときにはその下面にも付着する。

## 4 都市の公共給水所での揚水への大気圧機関の応用

1775年時点で現存しているこの種の機関のうち最も注目に値するものは、ロンドン、ストランド (Strand)、ピリエ通り (Villiers-street) のヨーク・ビルディングズ給水所に置かれていたものである。それは1752年頃に建造されて、当時の最高の機関であると称され、その後長年の間ニューコメン機関の標準として当時の著述家たちにより言及されてきた。したがって、その性能は記録されるに値している。

この設立は、火の機関の発明者たちを勇気づける最初の事例であったように見える。セイヴァリは、1710年以前にこの地点に彼の最大の機関を1台建造した。それは、デザギュリエにより言及されている(第1章 p.117を参照)。その後ニューコメン氏による機関が建造され、それはロンドンで建造された最初であり、スウィツァーや他の作家によりニューコメンの発明の非常に完全な見本であると言及された(第2章 p.127を参照)。

当時、ロndonは、主にニューリバー給水所 (the New River Waterworks)、ロンドンブリッジ (the London Bridge)、およびチェルシー (the Chelsea) により水を供給されていた。ニューリバーはイズリングトン (Islington) の高台のリザーバーに水を引いていたので、その配管の大多数に一度に水を送るためにほんの少しだけ機関の援助を必要とした。ロンドンブリッジとチェルシーでは、流れて駆動される水車のパワーでテムズ河から水が汲み上げられ、パワーの消費はなかった。

(p.243) ヨーク・ビルディングズでは馬で駆動される機関を用いてテムズ河から水を引き上げていて、それは大きな出費を引き起こしていた。その川の堤防には、馬力機関を用いて直ぐ近隣に水を供給する同様の施設が他にもいくつかあったが、ヨーク・ビルディングズを除いて、それらは非常に小規模のものであった。

### 4.1 ヨーク・ビルディングズ給水所の機関

"Voyages de M. de la Motraye, en diverses provinces et places en Europe, &c. (ド・ラ・モトレーエ氏による欧州諸地域旅行記)", 1732, 第3巻には、セイヴァリ氏の機関とニューコメン氏の機関が隣接して並んで、同じ水槽に揚水している図が示されている。それは、ヨーク・ビルディングズ給水所の機関を表していると述べられている。ニューコメン機関の優位が明確となって他方が全く使われなくなるまで、両機関ともそこに一緒に置かれていたことはあり得る<sup>\*18</sup>。最初のニューコメン機関の寸法については記述されていないが、初期の他の全ての機関と同様に、それはおそらく直径約22または24インチの真ちゅうシリンダであったであろう。

<sup>\*18</sup> この発明についてのモトレーエ氏の感想は、イギリスに非常に好意的であり、ヨーロッパの各地を公的な仕事として絶えず旅行していた人物の言として、記録に留める価値がある。彼は、当時のさまざまな国の公衆の特徴についてよく知っていたことは、その書きぶりからあきらかである。

"I never came back to London but I did always find something new and excellent, either as to literature, mathematics, or mechanics — some new production of the vast rich genius of the English, either for the public instruction, or aggrandizing, orning, and the usefulness of that city. It is not to be imagined how far the richness or fecundity of that genius can go : never a nation, how numerous soever it might be, was so universally and so deeply learned, from the scepter to the crook ; never carried all the arts and sciences to such high degree of perfection.

The new fire-engine is placed between the water-engine of London Bridge, and another towards Chelsea; there is one towards Islington, some few years ago moved by a wind-mill, and now I think by horses or water. That new fire-engine has the appearance of a column or tower."

"ド・ラ・モトレーエ氏による欧州諸地域旅行記", Vol. 3, p.360 では、これに続いて、ニューコメン機関の非常に簡単な記述がなされている。

1763年の記録 1763年の"Philosophical Transactions"、Vol.53、p.139の、キーン・フィッツジェラルド (Keane Fitzgerald) 氏の論文によると、当時、ヨーク・ビルディングズには45インチのシリンダで行程長8フィートで毎分 $7\frac{1}{2}$ 行程、つまり120フィートの運動\*<sup>19</sup>を行う機関があったことが分かる。複数のポンプは直径12インチであり、そのうちの2台は、リフトポンプ1台と押し出しポンプ1台で、合わせて100フィート揚水した。水柱は9830ポンドつまりピストン平方インチあたり6.18ポンド近くであった(これは35.7馬力となる)。それは改良されたボイラを持ち、1時間あたり4ブッシェルの石炭を消費した。

この計算は、かなり過大に評価されているように見える。ホットウエルの温度は、180度であった。フィッツジェラルド氏の論文の目的は、摩擦を少なくすると視点で機関に対して行った下記の改良を記述することであった。彼は、大レバーの軸を載せるガジョンと、プラグはりをガイドする2、3のローラーに対して、摩擦車つまり四分円(quadrant)を用いて改良した。これらの四分円は半径 $2\frac{1}{2}$ フィートであり、直径わずか $1\frac{1}{2}$ インチのピボットの上に載せられていた。ガジョンピン(当初、直径6インチであったように見える)の直径は、四分円の上に載せられた軸受部分で $1\frac{1}{2}$ にまで減少していたが、新しいガジョンの特別の形のために、その直径が6インチのままであったのと同じ強さを持っていた。二つの四分円が、それぞれのガジョンの下に並べて置かれた。

大レバーの軸は、最初はレバーを構成する木製はりの下を横切って置かれたが、フィッツジェラルド氏は軸をはりの上に変更し、適当なバンドとボルトでそこへ固定した。運動質量の重心は、それまでは運動中心の上方であったが、この方法によりその下方へ移動した。

(p.244) はりは、中央部で厚さ30インチ、幅26インチであり、端部で厚さ24インチ、幅22インチであった。長さは27フィートで、アーチヘッドを合わせた重さは約5トンであった。彼が言うには、軸を変更してはりの上に移動して、ガジョンを4個の摩擦四分円の上に置いた時、レバーは糸で吊るしたように振れて、数分間その振動状態を続ける。

フィッツジェラルド氏によると、これらの変更は機関の性能の大きな改善をもたらし、以前は毎分 $7\frac{1}{2}$ 行程で消費していたのと同じ燃料消費で、その後は毎分9行程で動作した。それはその行程の並外れた規則性のお蔭であり、彼はこう言っている。「火の強さが衰えた時、以前は行程の長さが急に短くなっていたが、その後は短くなることはなかった。」フィッツジェラルド氏の考えでは、この結果の原因は、軸がはりより上方に置かれることにより重心の位置が以前とは逆になったことにある。以前は行程の終りでレバーが元の位置へ戻るのを妨げる傾向を持っていたが、軸の位置が変更されてガジョンの摩擦が減少した後では、レバーのどちらかの端が下がるとレバー自身の重量により元に戻る傾向が生まれ、したがって、ストップスプリングを打つことなくより長い行程で動作することができる。

ボイラ この機関のボイラは銅板製であり、普通の構造とは異なっていて、火床はボイラの中心部に配置されて周囲を水で囲まれていた(図3)。それは特許に基づく案であると言われていたが、発明者または特許権者の名前は忘れられている。ボイラは直径15フィートであり、同じ寸法の他のどの機関よりも、燃料消費が $\frac{1}{4}$ 少なくなると言われていた。

ボイラの形は底が平らな半球状 C C となっていた。火炎 A は、この底の中心下方の円筒形空洞 B の中で燃やされた。その円筒形空洞はボイラ水の内部で立ち上がって頂部がドーム状となり、全周を水で取り囲まれていた。この円筒形空洞から中空の煙道 a b b が水中でらせん状につながって1本の完全な渦巻を形成し、ボイラの外側に到達して外周の円形煙道 e e に繋がっていた。外周の円形煙道はレンガで作られてボイラ全

\*<sup>19</sup> (訳注): 複動として計算。

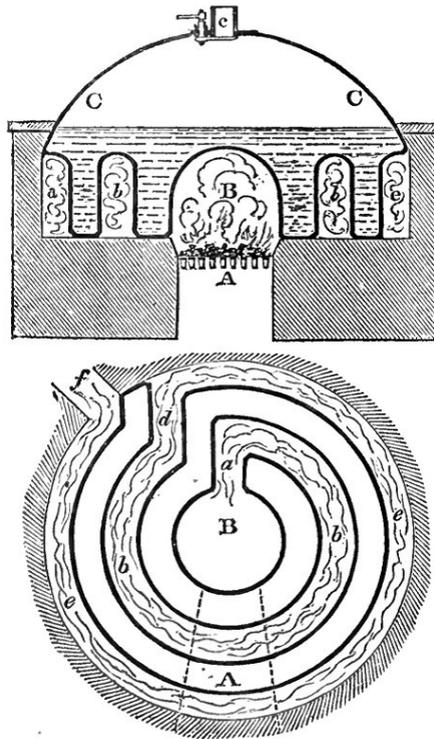


図3 ヨーク・ビルディングズ機関のボイラ

円周を囲むように繋がり、最後に通路 f を通って鉛直の煙突へ出ていた。

螺旋形の煙道は銅板で作られていて、ボイラの底に繋がっていた。つまり、むしろそれ自身、底の一部となっていた。その螺旋形煙道の両側面と頂部は水で取り囲まれていて、その銅の厚さはどの部分も 9 インチを超えなかったため、熱が通過する厚さは十分に小さく、熱は有効に水に加えられると考えられた。

火格子 A はボイラ底の中央部の中空容器 B の下に位置し、そこで発生した火炎が周囲の水に熱を与えて蒸気に変えた。そして、火炎は螺旋形煙道 a b b を通り、さらにボイラの外周 e e を一巡して、煙突 f の中へ出て行った。このようにして、熱は極めて完全に水に伝えられた<sup>\*20</sup>。

<sup>\*20</sup> "Philosophical Transactions", 1757 (Vol. L, p.53) に、キーン・フィッツジェラルド氏によるもう一つの論文がある。そこで彼は、塩水に空気シャワーを吹き込むことにより塩水を浄化することを目的に、ヘイルズ (Hales) 博士により提案された方法の効果を試すために、この機関のボイラで彼が行ったいくつかの実験の想定できる結果を述べている。

フィッツジェラルド氏の提案は、ボイラの平らな底近くの水中の、中央の中空容器 B とスパイラル煙道 b b との間の空間に、丸く輪になったパイプを配置して、そのパイプからボイラ内へ空気を導入することであった。このパイプは全面に穴が開けられ、機関で駆動される 1 対のペローズでその中に空気が送られた。そして空気は気泡となって水中を上昇し、蒸気の形成を助けると期待された。

試験では、空気の導入によりボイラは同じ燃料で  $\frac{1}{6}$  多く蒸気を発生すると考えられた。しかし、翌年、その発明家は、その学会誌の Vol. L, p.370 に別のコミュニケーションを発表して、その中で、彼はその実験では完全に間違っていたことが判明したこと、ペローズは内部で裂けていてボイラにまったく空気を送らないこと、そしてこれ以上実験しても彼の案は実現できないであろうことを率直に認めた。彼は、蒸気を作り出す中で気づいた改善の状況について、それは火を管理する人の注意力に依存していることを説明している。

この率直な撤回は、類似したミスを非常に頻繁に行う計画者への教訓である。撤回しなかったならば、それを他の人が普通に発見するであろうし、さらにその計画の無能さを公表してしまうであろう。

1775年の記録 (p.245) 同じ建物には、この機関に加えてすぐそばにもう一台、非常に類似した構造のより大きいサイズの機関があった。1775年のワット氏によるメモから、この機関のシリンダは直径49インチであったようである。ピストンは行程長9フィートで、毎分 $8\frac{1}{4}$ 行程を行い、したがって、毎分約74フィートの運動を行った。それは直径13インチの2台のポンプを動かす、それらのポンプで102フィート揚水した。

そのポンプの一つはバケットに弁の付いたリフトポンプであったが、ポンプ胴の頂部にカバーがあって、滑らかに磨かれたポンプロッドがカバーのカラー部を貫通していた。この種のポンプはジャックヘッドポンプと呼ばれ、機関の作業行程の間に水を押し上げた。

他方のポンプはピストンに弁のない押し出しポンプであり、機関の戻り行程で水を上げた。このため、押し出しポンプのロッドを下げるために、大きなつり合い重りがロッドに付加された。2台のポンプは、設置できる範囲でできる限り近づけて横に並べて置かれ、2本のポンプロッドはその頂部で三角形のフレームにより繋がれ、そのフレームの頂点は大レバーのアーチヘッドからの主鎖によって吊るされ、三角形の底辺のそれぞれの角にポンプロッドが一つずつ吊るされた。確実な動作を保障するために、三角形の水平の底辺の両端は2本の縦はりの鉛直の溝で受けられて、その中を上下に動くようにされた。

三角形の一方のコーナーから吊るされたリフトポンプのロッドは強力な鉄の棒であって、その下方の部分は真っ直ぐな円筒形に研磨されて、ポンプのジャックヘッドで皮革のカラーを通過して動作した。三角形の他方のコーナーから吊るされた押し出しポンプのロッドは、上下端で固く結合された2本の木材のはりまたは強力な厚板を合わせて作られていた。その厚板の中央部は互いに広げられて、その間へ鉛または鑄鉄の塊が入れられ、ポンプのピストンで水柱を押し上げるための重りとされた。結合された2枚の厚板の下端は、ポンプの鉛直のステムつまりピストンロッドに取り付けられた。

(p.246) 両方のポンプは、分岐管で水を大きなレシーバーつまり空気室の中へ送り、水はそこから鉛直配管で、機関室の端の専用の八角形の高い塔の最上部の水槽へ送られた。この水槽から一本の配管が下方へ繋がれ、水は再び下へ下ろされて、通りの中に置かれた主給水管へ送られた。水槽は水を備蓄する容器として計画された大きな寸法ではなく、水に高い水頭を与えて、機関に規則的な一定の負荷を与えるためだけのものであった。また、通りの舗装道の下に配水管の中へ下降管を通して規則的に流すためでもあった。その配水管は、より小さい枝管により各家へ配水した。水槽の上の部分から第3の管が降りていて、水槽が満杯となった時に余分の水を流して上から溢れるのを防いだ。このため、その塔には3本の鉛直の管が設置されていた。

これは、ロンドンで給水設備として一般的に採用される配置であり、水は絶対的に必要とされる高さより常に高く上げるように要求された。もし水がポンプから通りの配水管へ直接送られたならば、機関の運動が絶えず変化することによる事故が起こることが考えられ、上述のことは、このような事故を避けるための必要悪であると考えられた。つまり、ポンプから配水管へ直接送られると、水を供給する家の数とその高さに応じて機関の抵抗が変化する。これらの数や高さが絶えず変化してそれが急激に変化すると、機関運転員はそれに機関の動きを適応させることができなくなるのである。

2台のポンプは、テムズ川からの水を受け取る非常に大きい井戸または水槽の中に置かれた。ある場合には、機関室に隣接した地中に、ブロック壁で裏打ちされた大きい四角のタンクつまり水槽が作られた。川の水は水位が高い時にこれらの立坑に受け入れられ、その中で保持されて、川で潮が引いたときに機関に供給された。この方法により機関が水を持ち上げる高さは低くなり、また、タンクの中で数時間留まることにより、水はその不純物の一部を堆積させた。このようにすることは有利であったが、ヨーク・ビルディングズ機関のように非常に大きな機関に対して、引き潮の全時間にわたって十分な量の水を受け取るには、非常に大きなタンクが必要とされた。

機関はその 2 台のポンプにより、毎分 136 立方フィートの水を 102 フィートの高さへ上げた。それは  $26\frac{1}{4}$  馬力の効果となり、スミートン氏の同じサイズの機関よりかなり小さい。機関は毎日 7 時間稼働し、それにより 1 日当たり 57120 立方フィートつまり 2127 立方ヤードの水を上げた。別の噴射ポンプはなく、主ポンプから噴射管へ給水された。

燃料の消費は、毎時間石炭 6 ブッシェル (= 504 ポンド) であった。それは毎時間 1 馬力あたり 19.2 ポンドあり、つまり、せきたん 1 ブッシェルつまり 84 ポンドあたり 8.67 ミリオンポンドの水を 1 フィート高さへ上げることになる。

ポンプ内の水柱の重さは、そのぞれ 5890 ポンド、2 台合わせて 11780 ポンドであり、それは、ピストン 1 平方インチあたり  $6\frac{1}{4}$  ポンドであった。

噴射水の温度が 46 度 のとき、ホットウェルの中の水の温度は 170 度となり、水は蒸気から 124 度を得ていた。噴射量は、毎行程 (1400 立方インチ =) 0.81 立方フィート、つまり、毎分 6.68 立方フィートであった。

シリンダが 170 度に冷却されたときに、そこに残っていた蒸気は、1 平方インチあたり約 6 ポンドの弾性を持っていたであろう。これを大気的全圧力  $14\frac{3}{4}$  ポンドから引くと、ピストンに作用する不釣り合いな圧力として  $8\frac{3}{4}$  ポンドが残る。ピストンの運動に対する荷重つまり抵抗は  $6\frac{1}{4}$  ポンドであり、釣り合い重りに対して約  $1\frac{1}{4}$  ポンドを許容すれば、摩擦に打ち勝って運動を引き起こすための力の差は、1 平方インチあたり  $1\frac{1}{4}$  ポンドとなる。

(p.247) 押し出しポンプのロッドに加わる重さはポンプ内の水柱の重さに等しく、これは、ピストン 1 平方インチあたり  $1\frac{1}{4}$  ポンドの釣り合い重りにすべて加えてあった。

ボイラの蒸発量は、言及されなかった。

機関のボイラは銅で作られていて、他の機関と同じく、内部にらせん状の煙道を持つが、同じ比率でより大きな寸法のものであった。

この機関の大レバーの軸はレバーを構成する木材のはりの上部に固定されていて、はり は強力な鉄の帯で軸から吊るされていた。摩擦を減らそうとの視点から、軸は摩擦車輪 (friction-wheels) つまり車輪の一部を構成する扇形の上に置かれた。

ポンプ これら両方の機関のポンプは一般に用いられる標準的な種類であって、当時水道用機関の中で最も高く評価されていたものであり、特に記述するに値している。

リフトポンプ (図 4 の (a)) は、ウィンドボアの上に取り付けられたポンプ胴 M M と弁 n のついた弁部 N で構成され、以前に p.246 (図 1: Plate IV の Fig. 8 も参照) で記述した一般の鉱山用ポンプの構成と、正確に同じであった。バケット O もそこで記述したものと同じであったが、ポンプロッドつまりポンプの柄 p p は円筒形であり、研磨したワイヤのように真直ぐで非常に正確に作られて、ポンプの頂部を閉じているカバーの Q の位置の皮革のカラーにぴったりと入っていた。ポンプ胴 M の頂部には R S の部分がフランジとボルトで固定されていた。それは ジャックヘッド部と呼ばれ、そこから水を運び出すための水平の配管 S が伸びていた。この配管 S には別の管 T が繋がれて上方へ曲がり、その端にフランジが付いていた。その上には鉛直の上昇管 V が立てられ、塔頂上の水槽まで伸びていた。

ジャックヘッド頂部のフランジには Q の位置にカバーまたは円形の蓋がネジで取り付けられていて、このカバーの中央には小さいチューブつまりノズルがあり、そこを研磨されたポンプロッド p が貫通していた。このノズルの底の部分はロッドに極めてぴったりと合う一方、その上の部分は、皮革のリングを受けるためにより大きく作られていた。皮革のリングはロッドの周囲に入れられ、ロッドを固く締め付けて、ロッドの横から水が漏れるのを防いだ。皮革をその場所に押し込めるために、中央に穴の開いた木製の栓が用いられた。木

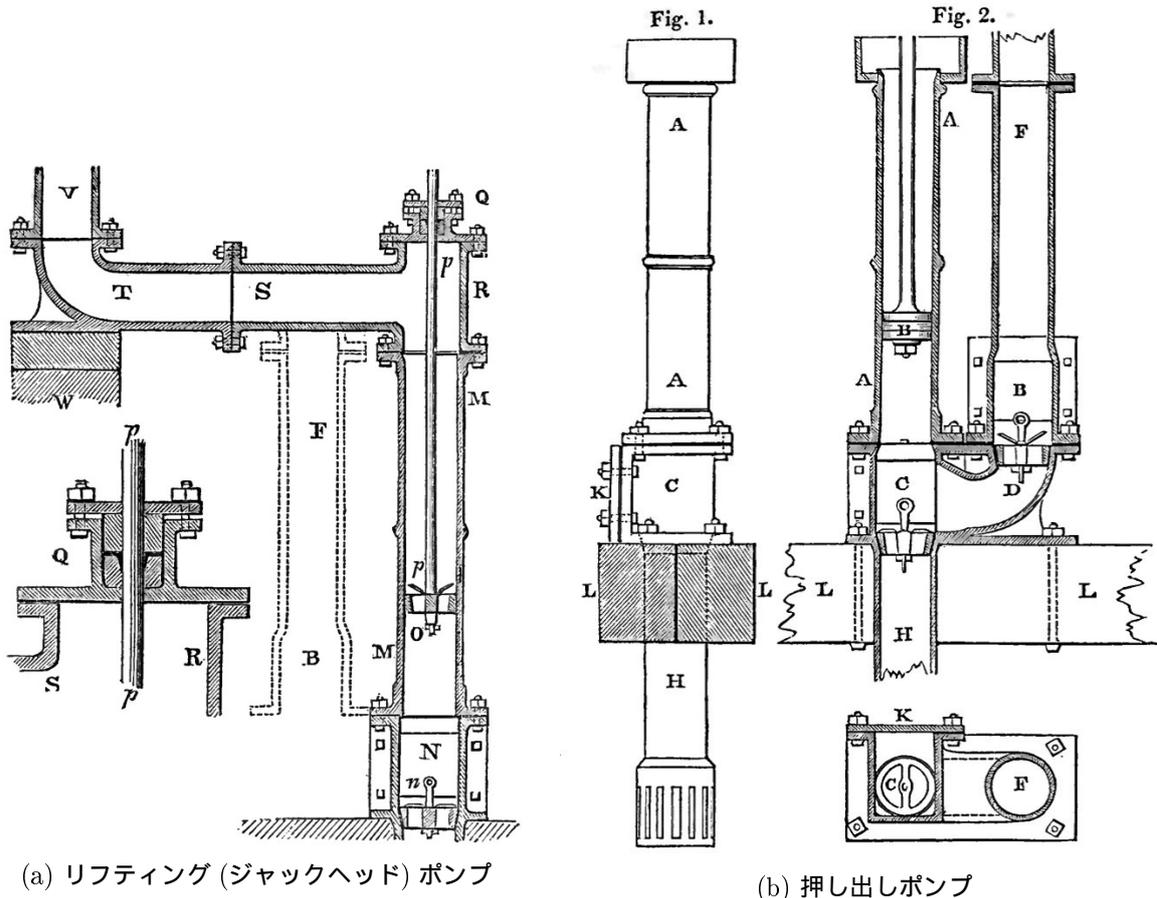


図4 ヨーク・ビルディングズ機関のポンプ

製の栓はノズルの広がった部分に正確に合い、ロッドは中央の穴を通過していた。さらに木の栓は、やはり中央にロッドが通る穴の開いた平らな円形の板により、皮革の上へ固く押し付けられて、3、4本のボルトで下へネジ止めされた。ボルトはノズル Q の頂部に張り出した小さいフランジに通されていた。

(p.248) 皮革のカラーの構造については、別の節でより十分に説明される。それは、5、6個の厚くて柔らかい皮革の円形リングを溶けた獣脂に浸したもので構成され、その中央の穴は、研磨したロッドにできる限り正確に合うように作られた。これらのリングは、ノズルを充填するように互いに重ねて置かれ、頂部のカバーをネジで押さえることにより圧縮された。カラーが正しく合っていればこの案は非常にうまくいったが、稀にしか生じないことであったが、漏れが生じる場合があり、そのときは、1個か2個の皮革リングをノズルの底へ置き、残りの部分はロッドの周りに柔らかい麻のロープを巻いて埋めて、別の皮革リングをその上へ当てがい、そしてカバーをネジを締め、その圧力により麻をロッドの周りに密着させて漏れを防いだ。

スミートン氏により推奨された方法は、更に完全であった。円形の厚い皮革片を柔らかくなるまで水に浸けて準備し、型の中に入れて圧縮して帽子の形にした。その内側つまり円筒部はポンプロッドと同じサイズにした。皮革を型の中に入れて放置すると、完全に乾いてその形になった。その後、帽子のトップまたはクラウンは、細いナイフを使って、刃を帽子内側の円筒形の軸の方向に保ったまま切り取り、帽子の内側と正確に同じサイズの円形部分を切り抜いて、皮革の切り取った角を鋭利に残した。

そのように成形した皮革がノズルの中へ入れられ、その円筒形部分がロッドを取り囲んで密接に合った。皮

革の平らな円形のリムはノズルにぴったり合う二つの木の栓を上下から当てられ、その間に固く挟まれた。下側の栓の穴は、その下端ではポンプロッドに正確に合致していたが、上の方の部分は、ロッドを囲む皮革の円筒部分を受けるために、外へ大きくなっていた。上側の栓はロッドに正確に合っていて、皮革の上からボルトとカバーで固く押し下げられた。

この種の一重のカラーにより、水の気密を完全に保てたであろう。なぜなら、皮革の円筒形部分が弾性でロッドの周囲を塞ぎ、流出しようとする水の圧力が皮革をさらにロッドに密着するように押し付けるからである。皮革または木の栓が磨耗すると、速やかに新しいものに交換することができたであろう。

押し出しポンプ (図 4 の (b)) はリフトポンプの横に隣接して置かれ、両ポンプは同じはりの下に取り付けられて、水を同じ井戸から引き出し、同じ上昇管へ押し出したりは引き上げた。

(p.249) Fig.1 は、機関の縦方向から見た押し出しポンプの正面図であり、機関の大レバーの下に立っている人は、このように見えるであろう。もしリフトポンプの胴をこの視野の中に表示するとすれば、それは、Fig.2 と同じような相対位置でかなり隣接して、胴 A A の横に並んで立っているであろう。

Fig.2 は、機関の横方向から見た同じ押し出しポンプの断面図であり、この方向でリフトポンプを描いたならば、押し出しポンプの手前に来て、押し出しポンプは表示から隠れる。

ポンプ胴 A A の下端および四角の箱 C の上端はともにフランジとなっていて、両者はねじ止めされて固定され、内部で繋がっている。

この箱は、Fig.2 の下の平面図で示されるように四角形であり、底の位置に吸い込み管の上端口金となる丸い穴が開けてある。この吸い込み管の上方部分は広げられて、その箱の底の円錐形弁座となっているが、その弁座の下方部分はポンプ胴と同じ直径であり、下方の井戸の水の中へ伸びてポンプの吸い込み管となっている。その下端には吸い込み口 (blast holes) が開けられている。

テーパ部つまり円錐形弁座には一般的な二重弁 (double clack) が挿入されて、C の下に見るように吸い込み管の上端を閉鎖できる。これは、吸い込み弁 (sucking clack) と呼ぶことができる。

四角の箱 C の一つの側面は前方に突き出て、弁部の扉 (clack hole door) となり、そのカバー K は突き出たフランジにボルトで止められる。

フォーサ (forcer) つまりピストン B は、ポンプ胴に正確に合わされている。それには水が通過する通路または穴はなく、上下両方に面して二つのカップ状の皮革で囲まれ、胴を満たして、ピストンを一切の水が通過するのを防ぐ。機関の作業行程の間でピストン B が引き上げられている時、水がピストンに続いて弁 C を通って上がって胴 A A を満たす。しかし、ピストンロッドに加えられている重りでピストンが下がる時は、水はピストンを通り抜ける通路がなく、弁 C が閉じているので、水は胴から下へ抜け出ることもできない。しかし、箱 C の1辺から出る曲がった管 D があり、水はそこを通過して行くであろう。

(p.250) この曲がった管の上端は円錐形の弁座となっており、その上で前述のものと同様一般的な別の二重弁を受ける。この弁の弁体はピストンが下りる時に開いて水を通すが、ピストンが上がる時は閉じて、水が戻るのを防ぐ。この弁は押し出し弁 (forcing clack) と呼ぶことができる。

この押し出し弁の弁座は、四角形のフランジの中に開口部があり、そのフランジはポンプ胴が固定されている箱 C の上部のフランジと一体となっている。この大きなフランジの (押し出し弁のある) 部分には、押し出し弁の上に吐き出し管の短い区間 B F が固定され、ポンプ胴の横に隣接して立っている。吐き出し管の下の部分 B は箱 C と同じサイズの四角形の箱でありそして、同様に押し出し弁にアクセスできるように扉を備えている。押し出しポンプが、リフトポンプとは独立に、単独で用いられる場合は、ポンプで押し出された水を受け取る吐き出し管 B F は、水に必要とされる高さまで鉛直に伸ばされて、水を運ばねばならず、その水柱の重さを支えるために、箱 C の下に大きい平らなフランジが付けられ、フランジと曲がった管 D との間にブ

ラケット (リブ) が付けられて補強されている。

ポンプは、2本の強力な木材のはりの上に取り付けられる。2本のはりは横に並べて組み合わせられ、その間に丸い穴を開けてポンプの吸い込み管 H を通す。これらのはりは一本であるかのようにボルトで固く止められて固定され、ポンプの土台となる。(上記の箱 C の下の) 平らなフランジを合成はりの上面に当てて、そこでボルトで固定される\*21。

ヨークビルディングの機関のようにリフトポンプと押し出しポンプが結合されるとき、リフトポンプは二つのポンプが横に並んで位置するように、同じ2本の基礎はりの間で下方へ固定される。押し出しポンプの吐き出し管は、(リフティング・)ポンプ図の破線 B F で示されるように、リフトポンプのジャックヘッド部の水平分岐に繋がる。分岐 R S の下側のポンプ近くに短い分岐が形成され、吐き出し管 B F の頂部のフランジに繋がれる。この方法により押し出しポンプからの水は、配管 B F S T V に運び上げられ、V の一つの鉛直の水柱が両方のポンプで上げられる。この水柱の重さは、ポンプのある井戸の壁面の頂部に置かれた、w の位置のブロックの上で支えられる。曲がった管 T はその下に平らなフランジがあり、T の曲がった部分にフランジを強化するブラケットを付して、ブロック w に載せられる。

リフトポンプの配管 R S と押し出しポンプの曲管 C D は、それらの方向が同じになるように回されるが、配管 R S は押し出しポンプの配管 B の上を正確には通過しない。配管 B はパイプ R S のように B から F へ上がる中で、配管 R S と交差するように後方へ曲げられなければならない。このように組み合わせた二つのポンプは互いに干渉することなく、B と C 位置の押し出しポンプの弁扉や N 位置のリフトポンプの弁扉は、それぞれのポンプの外側に面しているの、すべての弁に自由にアクセスできる。リフトポンプの胴のカバーを外せば、修理のためにバケットを引き出すことができ、必要なら弁 n もまた胴を通して引き上げることができる。また、押し出しポンプについても、一般の鉱山用ポンプに対して以前既述したのと同じ方法 (p.216) でピストンを引き抜くと、その下の弁を胴を通して引き出して修理することができる。

(p.251) 押し出しポンプのフォーサつまりピストンには、2枚のカップ・レザーが付けられている。カップ・レザーは、その形がカップ、むしろ受け皿 (saucer) に類似していることから、そのように呼ばれている。それは平らな円形の皮革の板であり、その端が全周にわたって上へ曲がって、ポンプ胴の内面に正確にフィットする。ピストンは3枚の鉄または真ちゅうの円板で構成され、ロッドの下端に付けられてナットで固く固定されている。これらの円板の中央部分ではできる限り正確に胴に合うように作られるが、その上下の部分はむしろ、より小さく作られて、カップ・レザーの円筒形の部分が金属板と胴の内側との間で上下に曲がるための余地を残している。一方のカップ・レザーが上方へ曲がり、他方が下方に曲がり、ピストンが上昇または下降する時のいずれでも、ピストンの横を水が通過することを防いでいる。

水の連続な流れを維持するために、2台のポンプで水を交互に引き上げおよび押し出すことは、利点が大きかった。なぜなら、1台のポンプを用いて (もちろん毎回の戻りの行程では休んで)、すべての水を押し出すのに必要な管の半分の断面積の送水管で、同量の水を良好に運ぶことができるからである。

また、別の改善として、ポンプから離れた遠方へ配水する配管に対して、大きな空気容器を繋ぐことが行なわれた。この空気容器の下部に配管が繋がれ、ポンプから出るすべての水はその中へ入り、容器の上部に含まれる空気を圧縮した。別の揚水管が同じ容器の下部から出ていて、ポンプから容器内への水の流入は行程ごとに一時的に停止するにもかかわらず、圧縮された空気の反作用が水をほぼ均一な力でその揚水管の中へ押し出し、中断することなく均一な流れを維持した。

\*21 上に描いた押し出しポンプは、実際は、ロング・ベントン機関 (第2章 p.182 を参照) 用の噴射ポンプの図面からコピーされたものであり、リフトポンプはチェイス・ウォーター機関 (第2章 p.191 を参照) 用の噴射ポンプの図面からのものである。しかし、ヨークビルディングズのポンプは、正確に同じモデルをもとに、より大きなスケールで造られた。

この空気容器を付けることにより、(ポンプに合わせて)水柱の脈動時の加速によるパワーの浪費を無くして、一定の運動をするように保ったので、機関の運動を格段に容易にした。

1777年に、この機関はかなりの修理を受けた。その際、スミートン氏は当時起こったあらゆる類似の問題に関わっていたので、意見を聞かれた。前述のように、その機関の出力は彼が求めている標準値よりかなり小さかったので、彼は、その点についての議論と共にその改善のために以下のように指示した。

鉄のピストンの下面は、約  $1\frac{1}{2}$  インチ厚さのニレまたはブナ材の厚板を当てて覆い、そこへ直径  $\frac{3}{4}$  インチのボルト 20 本で締め付けなければならない。ピストンにこの厚板をあてがうに際して、タールに浸した二重の厚さのフランネルまたはフェアノート (fearnought) と呼ばれた一重の強い布が、鉄と木の間に挿入されるべきである。ボルトの頭は (厚板の中へ沈めて) 木の面より低くし、そこへ厚さ  $\frac{3}{4}$  インチのブナ材の第 2 の被覆を被せる。二つの木材面の間には、フェアノートとタールの第 2 の層を挟む。最後の木の被覆は、小さな頭の釘で厚板に固定するが、それを固定するのに必要な数以上の釘は用いず、下面に露出する金属部分をできる限り少なくする。(この仕組みを作るための指示は、チェイス・ウォーター機関に関して既に述べられたものと同じである。)

これの理論的根拠は、木は金属より格段に不完全な熱の導体であるということ、つまり、極めて緩慢にしか熱を伝えないということである。ピストンは必ずシリンダで最も冷たい部分となるが、それはピストンの上へ水が連続的に注がれて冷却されることによるだけでなく、冷水の噴射の最初の行程をピストンが受けるということにも起因するのである。そして、ボイラから蒸気管を介して蒸気が入って来る時、蒸気は最初にこの冷たい面に激しく衝突するので、それによって蒸気はかなり弱められ、収縮して凝縮し、シリンダを充填するのに必要とされる以上に大量の蒸気を、ボイラから持ち出すのである。

(p.252) しかし、熱を伝え難く蒸気から多くの熱を受け取らない木材に蒸気が当たるとき、生じる凝縮量は少なくなる。また、同じ理由により冷たい噴射水がピストンに当たるとき、冷水はその冷たさをほとんどまたは少ししか失わず (つまりピストンの熱をほとんど奪わず)、そのために蒸気を冷却する効果がより大きくなるのである。

したがって、中立の物体として作用する木材は、それに交互に当たる流体に対して、鉄であれば行なったであろう程にはそれを冷却したり加熱したりはしないのである。

厚板と被覆の間のタールを塗ったフランネルの厚みをより薄くしても、結合を良好に保って空気を除去するのに十分かもしれない。しかし、水が滲み込んで流体の水の性質をいくぶん帯びる木材より、タールを塗られたフランネルの方がまだ熱を伝える速さが遅く、被覆を透過した熱はタールとフランネルの介在する層により止められ、厚板を固定するために必要な鉄製品に伝わることを阻まれる。同じ理由から、緻密な木材であるブナに次いで、良質の松やにの多いアカマツ (Riga fir) が、被覆に使われるべきである。

上記の詳細の他に、以下の事柄にも対応するべきである。

噴射口の口金は  $1\frac{1}{10}$  インチ角の正方形の穴とするべきであり、水が口金全体から出るように、穴の下側から入る部分の角を丸めなければならない。噴流の中心は、普通行なわれているように行程頂上に来たピストンの中心へ向けるのではなく、鉛直上向きにするべきであり、その結果、ピストンの底を直角に撃つようにしなければならない。

動作中と同じように冷水を急噴射した際に、蒸気流量調整器を開いた状態で、蒸気管を歩いていくらかの水がボイラ内へ落ちてくるか否かについて、マンホール扉を通してボイラに入るかまたは覗 (のぞ) くかして、観察しなければならない。なぜなら、数滴以上の水が調整器を通して落ちるようであれば、

噴射口は少し中心から離れる方向へまたは中心方向へ傾けて、調整器から落ちる水の量をできる限り少なくしなければならない。また、蒸気管へ入る噴射水の量を少なくするために、蒸気管の上端は、外側から面取りしてナイフエッジ状にしなければならない。また、蒸気管が低過ぎると考えられるか、または、その先端がシリンダの底から突き出る長さが 5 ないし 6 インチ以下であるとわかれば、1 本の短い薄い銅管を鉄の蒸気管の中へ入れて繋ぐことにより、この問題は解決されるであろう。

噴射管のシリンダ内部の部分は、タールを塗ったコードまたはマーリンで、2 倍または 3 倍の厚さに包まなければならない。厚いコートを作って冷たい金属を蒸気との接触を避けて、噴射水をできる限り冷たく保たなければならない。

噴射水は、常に可能な限りの最も高い容器から取ってくる必要がある。そしてこの場合、機関は塔の最上部へ水を上げるので、水柱の管から分岐させて適量の水を建屋の最上位置の小さい水槽へ運び、機関が良好に動作するように調整しなければならない。

(あまり起こり得ないことであるが) もし調整弁が完全に開かれないようであれば、完全に開くようにしなければならない。それにより、蒸気がボイラから蒸気管の全断面を通して途切れずに上がっていくであろう。断面の最小部はそのトップ (つまり調整弁) の位置である。

排水管またはシリンダの内部と自由に繋がっている他の部分に、小さな空気コック (入手可能な最小のワインコックでも可) を取り付けべきである。

漏らし弁の上にキャップと管を繋ぎ、 $1\frac{1}{2}$  インチのコックをつけるべきである。そのコックを部分的に開いて、漏らす量を調整することができる。しかし、全開したとき以上に漏らす必要があるのでない限り、それは必要ないであろう。前述したすべての処理を行なった時、必要となるかもしれない。

(p.253) 上述のすべての改良がなされたとき、押し出しポンプのピストンロッドに加わる重りにより、戻り行程で大レバーがそれまで以上により速く動くことが予想される。しかし、レバーは、(ピストンがシリンダへ) 入って来るより出て行こうとする傾向を持つべきであるから、この重りのどの部分も取り除いてはならない。

(シリンダ内へ混入する) 空気コックの適切な使い方は、機関が定常に動作し始めて漏らし量が増えなくなった後で、空気コックを開き、機関がきれいにカムダウンするつまりピストンが十分下まで下りてきて、ピストンが入ってくるのではなく出て行こうとする程度に、空気コックで調整する。それがベターである。

私の提案した変更により、機関はより速く動作するようになると思う。それにより、機関はより多くの水を上げ、より十二分に顧客の要望に応え、または稼働時間を減らすであろう。また、主給水管へ送り出される水量以上に多くの水を機関が上げる場合は、行程数を正確に求められている回数に下げ、それを超えないようにするために、噴射コックを開くためのカタラクトを用いるべきである。それを用いることにより、改良された状態で機関が行える最大回数以下に行程数が減少し、それに比例して、石炭消費量が減少するであろう。

この機関は 1805 年まで継続して運転され、その年に、それまでの 45 インチシリンダの機関の代わりに、新しい機関が同じ建物内に建造された。しかし、49 インチシリンダの古い機関は予備の機関として残され、1813 年まで時折動かされた。1813 年にそれは外されて、その代わりに新しいより大きいパワーの現在の機関が設置された。それは、ロンドンに残る最後の大気圧機関となった。これらの給水設備の全面的な設立は、その後断念された。

この機関が稼働していた 1804 と 1805 年に、著者はしばしば訪問し、その部品の多くのスケッチを作成した。それは、

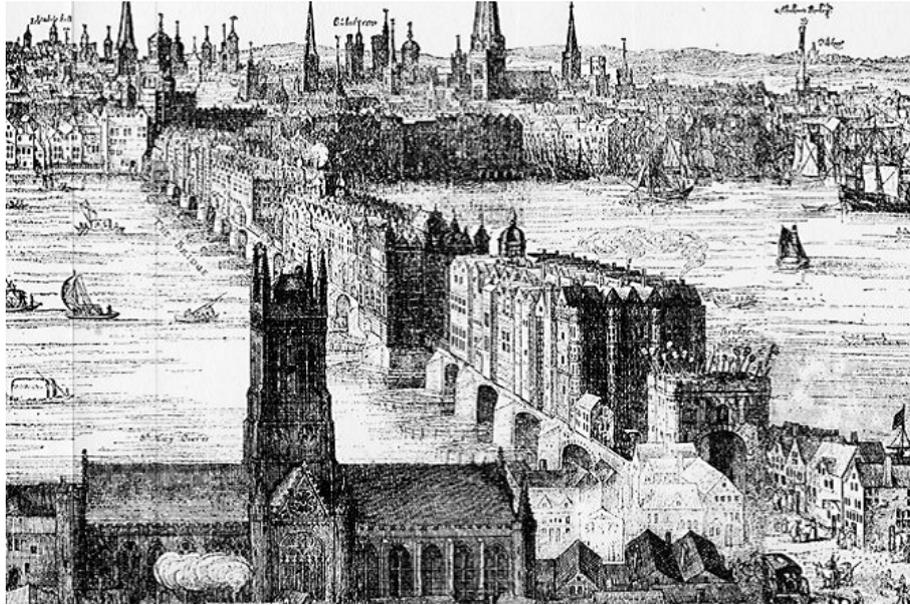


図5 ロンドン橋、1616年(訳者追加)

そのことが蒸気機関に関する著者の初期の研究テーマとなっていたからである。機関は、ワット氏およびスミートン氏により描かれた状態からそれまでの30年近くの間、全く変更されていなかった。

## 4.2 ロンドン橋給水所の機関

ロンドン橋給水所は、ロンドンでニューリバーに次いで最も有名な給水所である。そこには水車と、時折使われる蒸気機関の両方があった。

古いロンドン橋は石で作られたが、その基礎は、川の底へ杭を打ち込んで上部を最低水線で切断する、という古来の方法に従って作られていた。これらの杭の上に石の橋脚が設置されたが、元の杭は腐敗しかかかっていて再生に耐えなかったため、それを砂利と白亜(chalk)の土手で取り囲むことが必要になった。そして、白亜を保持するために杭のケーシング処理を橋脚の周囲一帯で行い、基礎の周りを囲い込んだ。これはスターリング(starling; 水切り)と呼ばれていた。これらはアーチの間隔を減らし、その間を流れる水の流れを非常に速くする。流れの中に置かれた人工の構造物のわずかの部分だけが水の通路となり、ほとんど全てのアーチをあたかも水門であるかのようにするからである。

この橋の20のアーチのうち6個は機関のための水車用に当てられ、そのうち5個はロンドン側に、1個はサウスウォーク側に位置していた。1763年、橋の中央部の小さいアーチ二つが、その間の橋脚とスターリングを移動して一つに統合された。これは川の航海に対して大きな改良であったが、それは水の流れを大きく減らしたので、不足分を供給するにもう一つの大きな水車を加えることが必要になった。

(p.254) 最初の機械はバイトン氏により、"the Philosophical Transactions", (1731), No. 417, vol. vii, p.5の中に記述されており、また、1731年にスミートン氏により作られた大きい機械は、彼の "Smeaton's Report", vol.II, p.27に記述されている。また、リース博士の "Cyclopædia", vol. xxxviii, article. Waterも見るとよい。これらの水車は、潮流が最も速い時は非常に強力であったが、潮流が緩んだ時は不活発にな

り、転流時にはかなりの時間完全に停止した。そのため、流れが遅くなる小潮の間でもサービスを続けるには、火の機関を追加することが必要であることが分かった。水車は転流時に停止したのに対して、機関は夜間でも街で火災が発生した場合に動作できるように準備できていた。

この機関のシリンダは、直径 34 インチ、面積 908 平方インチであった。ピストンは 7 フィート行程を行い、ポンプは直径 12 インチであり、高さ 120 フィートの塔の頂上へ揚水し、水柱の重さは 5900 ポンド、ピストンの 1 平方インチあたり  $6\frac{1}{2}$  ポンドであった。

この機関は、通常は毎分 8 行程、毎分 56 フィートで動作した。これはわずか 10 馬力であり、1 時間あたり 3 ブッシェルの石炭を燃やした。従って、その性能はヨークビルディング機関のそれを大きく下回っていた。

機関は押し出しポンプを備えており、ポンプロッドにつけた非常に重いつり合い重りにより動作した。ピストンの降下によりこの重りを持ち上げ、それが降下することで水柱を持ち上げた。スミートン氏はピストンの作用で直接水柱を持ち上げるようにこの機関を変更して、不要な重りを取り除くように提言した。

この効果を生み出すためには、弁と共にポンプ胴を交換することが必要であり、大きいサイズで利点の多い新しい胴を導入すると良いであろう。

現在、火の機関で揚水されるすべての水は、塔の頂上、つまり 120 フィート高さまで上げられている。普通は、その高さの  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{2}{3}$  または  $\frac{3}{4}$  で十分であろう。従って、私は非常に具体的な改善として、燃料を節約するだけでなくより多くの水を上げるために、火の機関からの主導水管を水車からの導管と結びつけることを提案する。その方法により、火の機関は水車と同様に、サービスに十分な高さ以上の高い水柱の負荷を決して受けることはない。

これに対して一つの異論があると感じる。すなわち、火の機関で上げるべき水柱は常に一定ではないので、それは必要とされる程度の安定さでは動作しないであろう、との異論があるかもしれない。噴射を行う普通の方法では、これは確かにそのとおりであるが、私には噴射を適用するある方法があり、それにより運転員は即興で対応することができ、その間に上げるべき水柱に応じてその噴射量を変えて機関を動作させる。これにより、水柱の変化により生じる悪影響は防げて、それに見合って燃料の節減ができるであろう。

現在のように、全部の水柱を塔の最上部まで上げている時、機関にはより大きな負荷がかかっており、水柱がより低い時はかなり過少の負荷となる。上で推奨したように、現在の 12 インチの代わりに 13 インチのポンプ胴を適用するよう提案する。その方法により、機関は毎行程さらに  $\frac{1}{5}$  多くの水を上げるであろう。そして、もう一つの変更の恩恵によって、石炭の消費は、現在のように 12 インチ直径のリフトポンプで塔の最上部まで上げる時は、毎時間 3 ブッシェルであったものから、13 インチ直径の押し出しポンプで塔の上でなく主導水管へ直接送る時は、毎時 3 ブッシェルまで減少するであろうと私は思っている。

ボイラはシリンダに対して小さ過ぎであり最良の比率ではないが、その状態は良好であり、数年間は使えるであろうと私は判断するので、現在のところその部分ではいかなる変更も推薦しない。

(p.255) この機関のボイラはフランジ・ボイラと呼ばれる種類のものであり、スケッチ (図 6) から容易に理解されるように、ボイラの下部を取り巻いた煙道の上にその上部が突き出るように作られた。

頂部の半球状のドームは直径  $10\frac{1}{4}$  フィートであったが、フランジの部分で  $8\frac{1}{2}$  フィートに縮小し、更に底の部分で 7 フィートまで縮小していた。(凹型の) 底の上昇量は 1 フィートであり、火格子は底の中央部の下  $2\frac{1}{2}$  フィートに置かれた。煙道の火にさらされるボイラの部分は垂直面ではなく傾斜しており、張り出したフランジが煙道の頂部を構成していた。熱の自然な傾向は鉛直に上昇することであるとの理由で、そうすることに

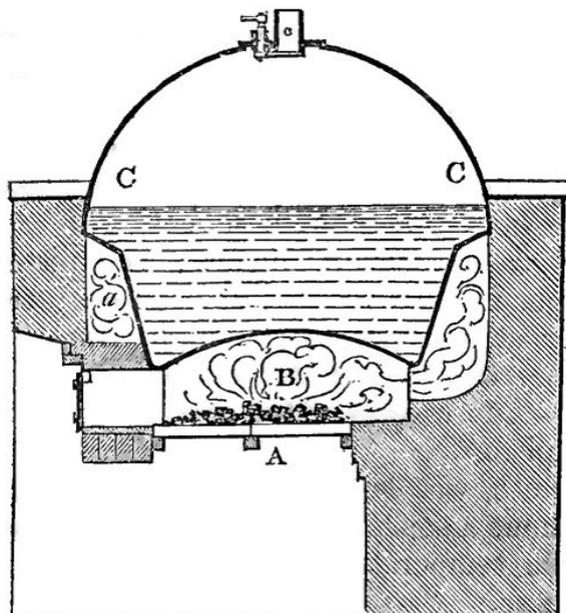


図 6 ロンドン橋給水所機関のボイラ

より火炎は水の加熱に良い効果を及ぼすと考えられた。

ボイラのこの形は、ニューコメン氏が初期の機関で用いたものであるようである。それは Plate II (第 II 章) でその形を示したボイラより、燃料の消費において経済的であると一般に考えられていて、大樽ボイラ (tun boiler) と呼ばれていた。そのため、石炭が高価であったロンドンやコーウォールでは、機関用としてフランジ・ボイラが使用された。しかし、煙道の上に突き出たフランジ部ではわずかの水深しかないため、機関運転員の怠慢により乾き切ったまま放置されたりすると、ボイラは損傷するであろう。そのボイラは、銅で作られたときは最も良好に動作した。この理由でそれらを作るための余分の費用と、鉱物成分を含む水がフランジの上に缶石を析出しやすいことのために、これらのボイラは炭坑では使われなかった。炭鉱では石炭が安価であり、燃料の費用よりもボイラ建造の費用が、より大きな考慮要因であった。

1775 年以前にロンドンで稼働していたその他の機関は、ピムリコ (Pimlico) にあったチェルシー (Chelsea) 給水所の 2 台で、1 台は 32 インチシリンダ、もう 1 台は 28 インチシリンダであった。それらはカット (cut) つまり川から引かれた運河から水を汲み上げ、その運河内で泥を沈殿させ、ピカデリー (Piccadilly) 近郊のロイヤル公園の高台にある大きな池または容器へ、配管を通して揚水した。満潮時ごとに川から運河へ受け入れられた水は、流れがおさまった時に再び川に流れ出されて水車を駆動し、機関で揚水すると同様に水車で揚水した。

シャドウェル (Shadwell) 給水所にも 30 インチシリンダの 2 台の機関があり、ランベス (Lambeth) に小さい機関が、ストラトフォード (Stratford) に 24 インチのもう一つの機関が、また、イズリングトン (Islington) のニューリバーヘッド (New River Head) にも 18 インチシリンダの小さい機関があった。全部で 10 台の機関が給水設備で使用され、すべてのピストンの面積を合わせると 8376 平方インチとなった。それらは、ニューカースルの同期間の機関より良好な性能であったように見える。それは、ポンプロッドの重量を全く受けなかったことが主な原因であろう。平均してピストン面積 80 平方インチで 1 馬力に相当すると考える

と、それは約 105 馬力となるであろう。水車および馬機械 (horse-machines) であれば、おそらくより大きなパワーとなったであろう。他の場所では、およそ 14 台の水車が使用されていた。

### 4.3 地方都市の公共給水所用の小型 8 馬力大気圧機関

(p.256) これはヨーク (York) 市の給水のためのものであり、オウセ (Ouse) 川の水を、木で作られて鉛のシートで内張りされたかなり大容量の水槽まで揚水した。その機関は前世紀 (1700 年代) の中頃に、当時普通に用いられていた比率に従って製作された。長年にわたって稼働されたのち、スミートン氏は給水設備の株を購入して、非常に苦勞してその機関を改造し、それを最高のものとした。

この古い機関では、シリンダは直径 25 インチ = 491 平方インチであり、ピストンは行程長  $5\frac{1}{4}$  フィートで、毎分 12 行程 = 63 フィート動き、ポンプは直径 10 インチで、井戸の水面から建屋の頂上に設置された容器までの平均して高さ 72 フィートへ水を上げて、全部の地域をカバーした。水柱の重さは 2455 ポンド、つまりピストン 1 平方インチあたり 5 ポンドであった。

この重さが毎分 63 フィート上げられたので、4.7 馬力であった。噴射水は、別の噴射ポンプを用いずに水槽から取り出された。噴射開口は直径  $\frac{5}{8}$  インチであった。ホットウェルの温度は、通常 176 度であった。ボイラは、直径 7 フィートであった。

この機関は上の条件で良質の石炭を毎時 255 ポンド = 3.03 ブッシェル消費し、それは、石炭 1 ブッシェル (84 ポンド) あたり 3 ミリオンポンド近くの水を 1 フィート上げるのに相当するパワーであった\*22。

これが、スミートン氏が改良を始める前の機関の状態であった。彼はまず、ピストンの底に木を適用し、そして、(以前に引用した) ヨークビルディング機関に対して彼が指示した他のすべての変更を行った。変更を行った後、同じ種類の石炭を用いて同様の試験により、機関は毎分 15 行程、つまり毎分  $78\frac{3}{4}$  フィートで動作し (パワー 5.86 HP)、毎時 202 ポンドの石炭を消費した。それは、1 ブッシェルの石炭で 4.83 ミリオンポンドの水を高さ 1 フィート上げるのに相当する。

その後すぐにくず石炭 (sleck) を用いて行った試験では、毎時間 232 ポンドが消費され、これは、通常の石炭の効果の 0.87 倍の値つまり 4.20 ミリオンポンドとなる。

3 年後に、古いボイラが使い古され、銅製の新しいものに置き換えられた。それは直径が最大 9 フィート、底部で 7 フィート、銅製部分の深さ 4 フィートであり、上部のドームは鉛で作られた。それと同時に、動作する行程の長さが 6 フィートに増やされ、以前のポンプ (押し出しポンプ) の横に、追加のリフトポンプが使用され、両ポンプは、既述の方法と同じように結合されて水を上げた。この新しいポンプは直径 8 インチで

\*22 (訳注) この古い機関に関する計算は、以下のとおり。

$$(\text{シリンダ断面積}) = \frac{\pi}{4} 25^2 = 490.87 \text{ in}^2$$

$$(\text{ピストン速度}) = 5.25 \text{ ft/stroke} \times 12 \text{ stroke/min} = 63 \text{ ft/min}$$

$$(\text{水柱重さ}) = 62.5 \text{ lb/ft}^3 \times \frac{\pi}{4} \left(\frac{10}{12}\right)^2 \times 72 = 2454.4 \text{ lb}$$

$$(\text{ピストン圧力差}) = \frac{2454.4 \text{ lb}}{490.87 \text{ in}^2} = 5.000 \text{ lb/in}^2$$

$$(\text{パワー}) = 2454.4 \text{ lb} \times 63 \text{ ft/min} = 154630 \text{ lb ft/min} = \frac{154630}{33000} = 4.686 \text{ HP}$$

$$(\text{石炭消費量}) = 255 \text{ lb/h} = 3.03 \text{ bsh/h}$$

$$(\text{ミリオン}) = \frac{154630 \times 60 \text{ lb ft/h}}{3.03 \text{ bsh/h}} = 3.062 \times 10^6 \text{ lb ft/bsh}$$

あったが、その行程長は、10 インチ直径の主ポンプの行程長より短かった。この追加のポンプにより、水柱の重さは 3575 ポンドに、つまり 1 平方インチあたり 7.28 ポンドに増加した。

この変更の後、機関は毎分 13 行程、つまり毎分 78 フィートで動作し、それは 8.45 馬力であった。また、毎時間 208 ポンドの石炭を消費し、それは、1 ブッシェルの石炭で 1 フィートの高さへ、6.76 ミリオンポンドの水を上げる比率になった。この時に、機関は毎分 62 立方フィートまたは毎時間 442 ホグスヘッド (ワイン測度) \*23の水を上げた。

カタラクトも機関に取り付けられ、サービスがさほどの水を必要としない時、機関は 6 フィートの行程を毎分 10 行程、つまり 毎分 60 フィートで動作した。そのとき有効なパワーは 6.29 HP であり、毎時間 328 ホグスヘッドの水を上げた。そのとき毎時 2.2 ブッシェルの石炭が消費され、それは石炭 1 ブッシェルあたり 5.66 ミリオンポンド フィートの比率であった。また、くず石炭を用いると、毎時間 2.56 ブッシェルの消費で同じ効果が生み出されて、1 ブッシェルあたり 4.56 ミリオンポンド フィートの比率となる。ここでは、くず石炭の効果は通常の石炭の効果の 0.80 倍となっている。

(p.257) これより、カタラクトを用いてゆっくり作動することにより、燃料効果の損失 (loss of effect of the fuel) は 6.75 : 5.66 つまり 100 : 84 であったと思われる。機関を全速力で動かして容器をいっぱいにし、そして火を弱めて機関を停止して貯水池がほとんど空になるまで待ち、そして再度機関を動かした。このようにすると、機関は 48 分稼働して 16 分停止し、その停止時間比率 (stoppage) は、全時間の  $\frac{1}{4}$  であった。燃料から得られる生産量は、カタラクトで毎行程停止する場合より良く、12 : 13 であった\*24。

キングストン・アポン・ハル (Kingston-upon-Hull) の町にも、給水設備があった。その機関はヨーク市のものと同じサイズで、直径 25 インチであった。それは、ヨーク市の有名な時計技師で機械技師のハインドリー (Hindley) 氏により作られた。それは大レバーを持たず、直径 12 インチのポンプがシリンダのすぐ下に置かれ、機関のピストンロッドがシリンダを取り囲むフレームによりポンプロッドに繋がれて、そのフレーム

\*23 (訳注) 1 ワインホグスヘッド (hogshead) = 8.42 ft<sup>3</sup> (p.259 参照)。

\*24 (訳注): ヨーク市給水機関のスムートンによる改良結果をまとめると、下記ようになる。

事項	単位	旧機関	新機関					
			旧ボイラ		新ボイラ			
			全負荷		全負荷	カタラクト		断続運転
石炭	石炭	くず炭	石炭	石炭	くず炭	石炭		
ピストン直径	in	25	→	→	→	→	→	→
行程長	ft	5.25	→	→	6.0	→	→	→
行程数	/min	12	15	→	13	→	→	→
ピストン速度	ft/min	63	78.75	→	78.0	→	→	→
揚程	ft	72	→	→	→	→	→	→
揚水量	ft <sup>3</sup> /min	(34.36)	(42.95)	→	(61.97)	(46.03)	→	→
ポンプ直径	in	10	→	→	10, 8	→	→	→
水柱重量	lb	2454.4	→	→				
ピストン負荷	lb/in <sup>2</sup>	5.00	→	→				
出力	lb ft/min	154630	193280	→	278850	207570	→	→
	HP	4.686	5.857	→	8.45	6029	→	→
石炭消費	lb/h	255	202	232	208	184.8	231	200
	bs/h	3.03	2.4048	2.762	2.476	2.2	2.75	2.383
ミリオン	M lb ft/bsh	3.062	4.822	4.199	6.757	5.661	4.56	6.133
比率		100	157.4	137.1	220.7	184.9	148.9	200.3
			100	87.1	140.1			
					100	83.9	67.6	90.8
						100	80.55	108.3

が窓サッシのように上下に動いて動作した。このように、ピストンロッドはフレームの一番上の鉄棒の中央に取り付けられ、フレームの 2 本の鉛直のサイドレールがシリンダの両側に下り、シリンダの底の下方で、フレームの下部のクロスバーにより互いに繋がっていた。この下部のクロスバーの中央で正確にピストンロッドの延長線上にポンプロッドが取り付けられていた。そのポンプは直径 12 インチの押し出しポンプであり、ピストンに作用する大気圧がポンプのピストンを下へ押し、水柱を 29 フィート高さへ押し上げた。

それは、ボイラで十分強い蒸気を作り、ピストンと共に、ピストンロッド、スライド・フレーム、ポンプロッドおよびポンプピストンを持ち上げることを意図していた。その発明者はそれが完了される前に死去したが、蒸気の弾性力についての試験でそれは動作できず、可動部分の重量に対応するつり合い重りがプーリに通した鎖に取り付けられた。この状態で、機関は数年間動作したが、非常に小さな効果しか生み出すことができず、4 フィートの行程を毎分  $13 \frac{1}{2}$  回、または約  $2 \frac{1}{4}$  HP を取り出し、1 時間当たり  $72 \frac{1}{2}$  ポンドの石炭を燃やした。

スミートン氏は、その機関が町に給水する必要のない夜間に汲み上げた水で動作する小さいオイル水車 (oil mill) を作った。それは、直径 27 フィートの上射式水車を持っていた ("Smeaton's Reports", Vol.II, p.398 を参照) が、その機関は、水車を有効に動作させるには不十分であることがわかり、後年、スミートン氏の推奨方式に対してワット氏により作られた新しい機関が追加された。これは、水車駆動に火の機関を用いる最も初期の応用のひとつであった。それは、両機関を一緒に動作させて 3 馬力で動作することがわかった。

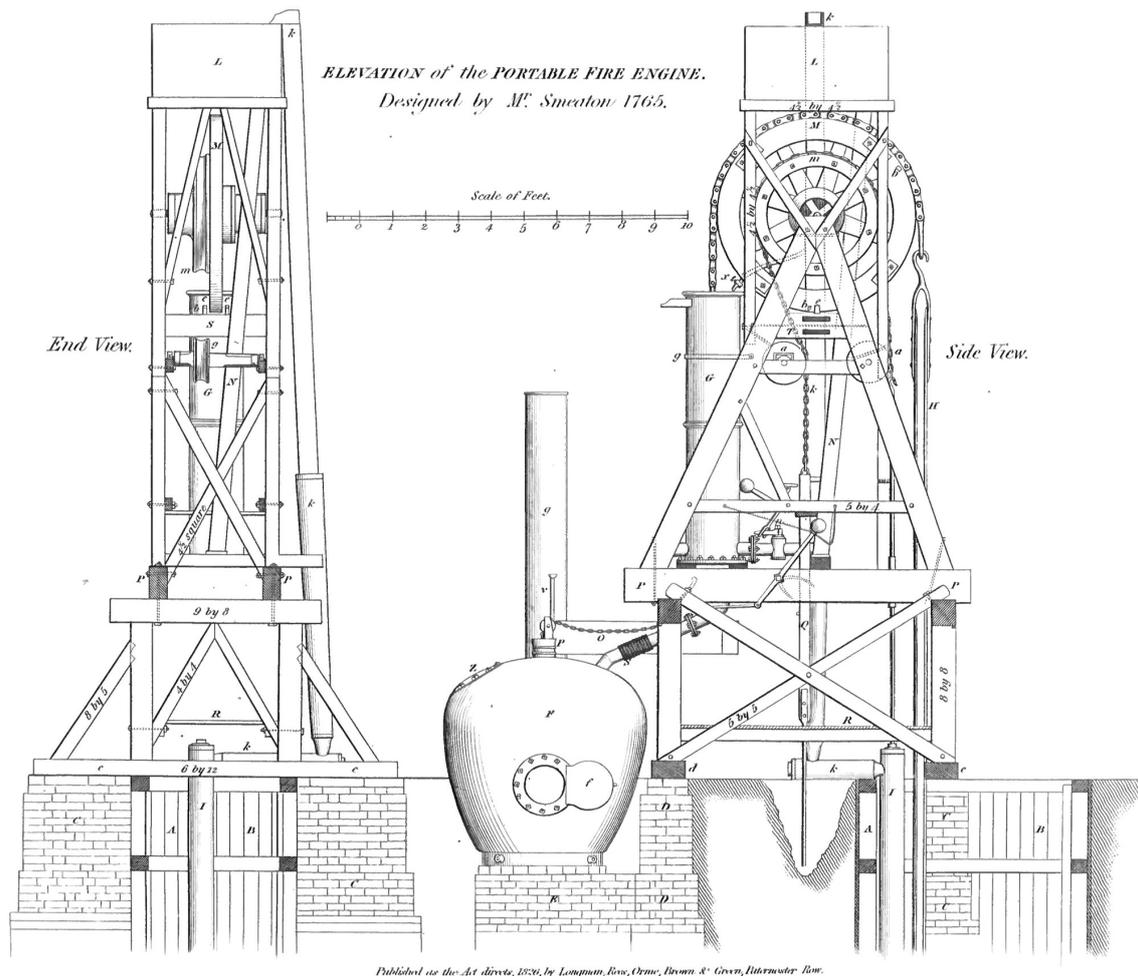


図7 スミートン氏による移動式機関全体図 (Plate XIV より)

## 5 一時的な掘削排水用の移動式の火の機関

これまで記述した機関は建物内に固定されて支持される必要があり、建物の費用が機関の費用のかなりの部分を占めていた。この状況は、例えば橋梁の基礎工事その他の広範囲な建築工事の排水などの、一時的な用途のために火の機関を応用することを不可能にしていた。スミートン氏は、このような用途のために多くの人力や時には馬の力を用いてポンプで排水する、数多くの機会に遭遇した経験から、1765年にある小型で移動式の火の機関の案を提案した。その機関はある場所から別の場所へ容易に移動できて、速やかに動かすことができるものであった。すべての機械仕掛けは自立した木のフレームの中に支持固定され、機械が置かれる建物から独立していた。また必要があれば全くの屋外で動作することもできた。ボイラもまた火炉に一切のレンガ積みを用いず、それ自身で完結するような内部の炉となるように考えられた。

(p.258) この機関はスミートン氏の "Smeaton's Reports", Vol. I. p.223 の銅版画に描かれており、ボイラと機関の一部とを説明するために、その一部を Plate IX(後掲) に示す。

(訳注)：この部分の原著は、本文と図とが一致していない。本文に合わせてこの機関の全体図 (Plate XIV) を図 7 に示す。

機関を狭い範囲にまとめるために、大レバーの代わりに大きな車輪つまり大プーリに置き換えられ、ピストンの柄から繋がる鎖がこの車輪に掛けられ、その鎖の他端にはポンプロッドの柄が取り付けられ、レバーによるのと同じ方法でピストンの運動がポンプロッドに伝えられた。

木のフレームは文字 A のような形に 2 個作られ、一定の距離を隔てて前後に置かれた。その頂点が、プーリ車輪軸のガジョンを支持していた。シリンダの底は 2 本の水平の敷居で支えられ、その敷居の上に二つの A フレームが立てられ、敷居が二つの三角形の底辺となっていた。これらの敷居は、水平部材と筋交いにより組まれた 4 本の鉛直の脚により、地面から適当な高さに支持され、強靱な椅子またはテーブルを形成して、機関の土台となってレンガ製の基礎橋脚の上に置かれた。

噴射水槽はプーリ車輪の上方の位置に置かれ、二つの A フレームの斜辺から立ち上がった 4 本の鉛直の脚で、A フレームの上端近くで支えられた。大きいプーリ車輪と同じ軸に 1 個の少し小さいプーリ車輪が取り付けられ、この上に 2 本より小さい鎖が掛けられた。その 1 本は噴射ポンプのロッドをつるすためであり、他方は制御ギアのプラグはりのためのものであった。

ボイラは他の機関のようにシリンダの下ではなく、その横に置かれ、そこから蒸気が蒸気配管によりシリンダの下のボックスの中へ運ばれ、ボックスの中に調整器が入れられていた。A フレームまたは (噴射水槽) スツールの脚部を支えているレンガ橋脚の横に、一段と低いレンガ橋脚があり、ボイラはその上に置かれて支持されていた。ボイラは大きなやかんのような形であり、火床は、全周囲を水で囲まれるようにその中央に位置していた (図 8 (Plate IX) 参照)。ボイラの一方側に火炉扉の開口部があり、ここから大きいチューブまたはパイプが水中を通して、ボイラ中央に位置する中空の鑄鉄の球に繋がり、鑄鉄の球の中の下部の火格子の上で火が作られた。この球から別の大きいチューブつまりアッシュピットが火格子の下へ鉛直につながり、ボイラの底を貫通して、燃焼用空気を供給する開口部となっていた。また、火炉扉の反対側には第 3 の大きな管つまり煙突があり、中央の球からボイラの横を貫通し、そこでお茶のやかんの注ぎ口のように上へ曲がり、鉄板で作られた高い円筒形の配管つまり煙突の中へ煙を排出した。

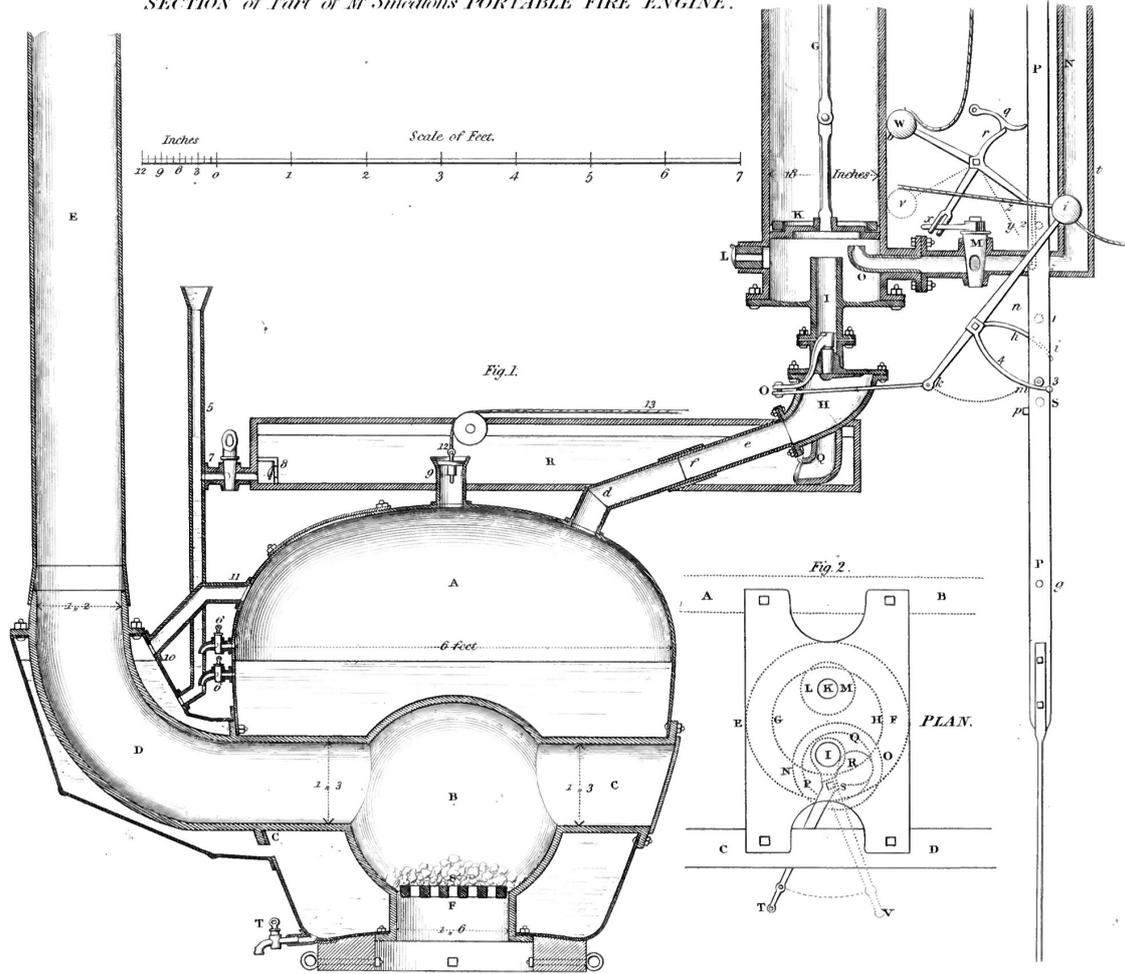
この機関は直径 18 インチのシリンダを持ち、6 フィートの行程を行うよう計画されていた。プーリ車輪は直径  $6\frac{1}{4}$  フィートであった。三角形つまり A フレームは底辺が  $9\frac{1}{2}$  フィートで、高さ 11 フィートであり、二つの平行な A フレームの内側間の距離は 3 フィートで、三角形の底辺の敷居を支えている椅子の高さは  $6\frac{1}{2}$  フィートであった。ボイラは直径 6 フィートで、中央に直径 34 インチの球形の火床があった。火炉扉と煙突用の開口部または配管は 15 インチで、火格子とアッシュピットの管は直径 18 インチであった。

この機関は、ピストンの 1 平方インチあたり 8.91 ポンド、つまり 2268 ポンドの抵抗が加えられ、6 フィートの行程を毎分 10 行程行うことになっていた。これは  $4\frac{1}{2}$  馬力となった。その後、同じサイズの他の機関を試験することにより、それ以上の効果を生み出されることが分かった。

スミートン氏は、この機関の出力についての彼の計算の中で次のように言っている。「一頭の馬は時間当たり約 250 ホッグスヘッド (ワイン測度) を 10 フィート高さへ上げるが、この機関が上げる量は、計算によると 1 頭が上げる量の 6 倍以上であった。このことより、その機関は 6 馬力以上のパワーで動作するであろうが、日夜、このパワーを馬で維持するには 3 セットが必要であり、その結果、この機関が継続的に動作すれば、18 馬力相当以上となるであろう。」

(p.259) 1 ホッグスヘッド (ワイン測度) は 8.42 立方フィートの体積を含み、水で満たすと 526.36 ポンドの重さとなる。時間当たり 250 ホッグスヘッドは、分あたり  $4\frac{1}{6}$  ホッグスヘッドであり、毎分 21.9317 ポンドを 1 フィート高さに上げることに相当する。これは現在の  $\frac{2}{3}$  馬力に極めて近い値である。現在の馬力は、蒸気機関のパワーの推測に用いられており、馬  $1\frac{1}{2}$  頭に等しいとされているものである。

SECTION of Part of M<sup>r</sup>. Smee's PORTABLE FIRE ENGINE.



Published as the Act directs, 1826, by Longman, Ross, Orme, Brown & Green, Paternoster Row.

図 8 スミートン氏による移動式機関 (ボイラ、シリンダ等の断面 ; Plate IX より)

### 5.1 スミートン氏による移動式機関の説明、1765

図 8(Plate IX) の Fig. 1 は、制御ギアと共にボイラ、シリンダ、およびピストンの断面を示す。全ての部分を明瞭にするために、全体はフレーミングが剥がされて (断面で示されて) いる。ボイラは、最も重要な部分が一度に示せるように、その真の位置から  $\frac{1}{4}$  回転されている。また、すべての容器や配管は内部を示すためにその中央部で切断されており、したがって、それらの断面はある特定の一断面に限られるものではない点に注意する必要がある。

「図をより完全に説明するのは、小さい平面図 Fig.2 から始めるのが良いであろう。

Fig.2 の A B C D はシリンダ底の平面図であり、2 本の主はり A B と C D の上にボルト止めされている。破線の円 E F はシリンダ底のフランジを示し、円 G H はシリンダの内径を示している。穴 I は、蒸気管および調整器に対応し、穴 K は排水管に対応し、円 L M はそのフランジである。円 N O は調整器板の大きさと

位置を示しており、破線 P Q はレシーバーのサイズを示す。レシーバーの中で調整器の滑り弁 R が動作し、図示の位置は開状態である。S T は滑り弁を動かすレバーであり、レバーが位置 S V へ引き出された時、弁は調整器の開口部を塞ぐことになる。」

Fig. 1. の説明 A はボイラであり、厚さ  $\frac{1}{4}$  インチの鉄板をリベット止めして作られる。

B は火床で球形の鑄鉄で作られ、ボイラの水中に完全に浸かるように計画されている。石炭は大きい管つまり開口部 C より導入され、煙は曲管 D により排出される。十分な通風を促すために、鉄製の煙突 E が付けられている。灰は火格子 S と広いパイプ F を通ってアッシュホールの中へ落ちる。アッシュホールは図に示すようにフランジによりボイラに取り付けられた火床の下にあり、灰は常に水で覆われる。また、二つのコック 66 は、ゲージコックとして知られる水面計である。

このように、わずかの火の力で機関は動作し続けるであろうと予想されるが、火の力はボイラの内部で完全に使い切られているのではないため、図に示されているように、曲管 D をその形に合わせた銅の容器で取り囲むことが提案された。給水をまずその中へ入れることが提案され、それによりホットウェルから直接ボイラの中へ入れるとした場合に比べて、より多くの熱を給水に与えることになる。曲がった煙突管の周りの空間で加熱された水は、C の位置の小さい穴からボイラの中へ入れられる。

(p.260) 火格子棒 S は緩いリングの中に入るように鑄込まれていて、必要な時に取り出して取り替えられるように考案されている。

T は、ボイラの掃除が必要とされるときにボイラを空にするためのコルク栓である。

G はシリンダ下端の断面図であり、蒸気配管 d e、H I を通じてボイラからシリンダの中へ蒸気が入ってくる。その配管のうち、最初の区間 d e は銅製であり、機関の分解を容易にするために f の位置で切り離すことができる。その部分は、大型機関で通常行われるように、継手周囲に最初に鉛板を巻いて更に布と紐で包まれた。

H は鑄鉄で作られた蒸気のレシーバであり、中に調整器つまり弁が入れている。I は蒸気配管であり、図示されている状態では調整弁は開いており、そのためその配管からシリンダへ蒸気が入ってくる。ポンプロッドのつり合い重りにより、ピストン K は引かれて上へ上がり始める。

L は、シリンダの下部に取り付けられている漏らし弁であり、各部品が図示されている状態の時この弁から蒸気が噴き出される。

M は噴射コックであり、それは図の状態では閉じている。

N は、大プリー車輪の上に固定された水槽から水を運ぶ噴射管である。

O は、噴射コックが開いた時、噴射管がシリンダの中へ水を噴き出す部分である。管 O の端にはキャップがあり、キャップの上側には、水噴流を鉛直上方へ向けて噴射するように穴が開けられている。図ではそのように描かれていないが、その噴射口はシリンダの中央に位置している。噴射管の終わる部分は蒸気管 I の背後になっていて、そのまま描くと図が重なって完全な形が遮られるため、管 O が実際の長さより短く描かれている。

## 5.2 機関の動作

プラグはりはピストンと共に上下に動くが、前述したように、ピストンとプラグはりを吊るす各プリー車輪の直径が小さくなるのに応じて、動く速度が遅くなる。プラグはりにはピンが取り付けられていて、ピンは、制御ギアの 4 種類のデテント (detent) またはアームごとに異なる 4 平面内を上下に動く。ピン 3 は、手前の

面内に位置している。ピン g は、プラグはりを 2 分割する長い臍 (ほぞ) またはスロットの間に位置している。ピン S、1、2 は向こう側の面内に位置しており、ペグ (peg) p はプラグはりの面からより遠い位置のチェックに向かって突き出ている。

ピストンがシリンダ内で行程上端まで上がった時、ピン g がタンブラー i k のアーム h を押して持ち上げ、タンブラーを i m の位置へ反転させる。そのため、点 k はプラグはりの方へ動かされて m の位置となり、調整弁のレバーに繋がったロッド k o を引くことにより調整弁が閉じられる。それと同時に、ペグ p は高い位置に上がってラッチ q を持ち上げていて、faller (通常 F と呼ばれる) の beak (くちばし) r がラッチから外れ、重り W が v の位置まで落下し、それに繋がったフォーク x を動かして、噴射コックのレバーつまりハンドルを y の場所まで回す。それによりそのコックが開かれて、シリンダの中へ冷水の噴射が生じる。このようにして蒸気が凝縮して、シリンダ中に真空が作り出される。

そのとき空気の圧力がピストンを下降させ、下降する間に向こう側のペグ S が faller または F のハンドルに当たり、それを z まで押し下げて噴射コックを閉じ、また、beak r をラッチ q の背後に引っ掛ける。この位置で F のハンドル z はプラグはりに平行になり、ピン 1 と 2 がピン 5 に引き続きそれをその位置に保持する。ピストンはさらに下がり続け、向こう側のペグ 3 が w の位置のタンブラのアーム 4 を捉え、それを押さえて調整器を現在図示されている位置へ戻し、蒸気を入れることによりピストンが更に降下することが止められる。

(p.261) 毎行程で噴射により投入される冷水および凝縮により生じる水は、ピストンが上昇している間に、配水管および弁 Q により排出されねばならない。この管は蒸気配管 I の正確に背後となり、そのため大部分は隠れている。蒸気配管は、噴射水がボイラに流れ入るのを防ぐために、シリンダの底から上へ数インチ出ている。しかし、配水管は、すべての水をその中へ流すために、底から高くなっていない。シリンダの底は通常、配水管の底の弁 Q (通常馬蹄弁 horse-foot valve と呼ばれる弁) の上方  $1\frac{1}{2}$  フィートから 3 フィートの位置にあるので、その水柱の圧力がその弁を開き、ホットウェルと呼ばれる水槽 R の中へ解放される。しかし、シリンダの中で真空が形成されると、その弁 Q は閉鎖し、ホットウェルの水面下に沈められているので、気密が保持される。

水の中には自然の状態でかなりの量の空気が含まれているが、その空気は、加熱するとある程度分離し、沸騰により (完全に) 分離する。このため、少量の空気が蒸気と共にシリンダの中へ入って来て、噴射水からも、蒸気でかなり加熱されることにより、更に多くの空気が持ち込まれる。また、空気は加熱によりかなり膨張し、冷却により収縮するが、蒸気の収縮に比べると空気の収縮は非常に小さい。したがって、毎行程で生み出される空気が除去されないならば、シリンダの中に蓄積されて、数行程後には真空を不完全なものにし、ピストンはその下降の途中で止まってしまうであろう。

ピストンが下に来ているとき、この空気はシリンダ底を覆う噴射水水面とピストンとの間に溜まるであろう。そして、調整器が開かれて、蒸気がシリンダへ最初に入ってきたときに、ピストンは直ぐに逆向きに動くことができず、蒸気は漏らし弁に出口を見出して短時間の間噴き出して、毎行程で発生した空気のすべてまたは大部分を一緒に持ち出すであろう。これにより、空気がある一定程度を超えて増加するのを防止する。

通常、ホットウェルの水面はボイラの中の水面より、3 ないし 5 フィート高くなっている。運転中、ボイラの蒸気の弾性が高くなっている時、ボイラの蒸気的作用による抵抗が生じるが、ホットウェル水柱のこの高さは、水をボイラへ流すのに十分な値である。これにより、温かい水は鉛直の給水管 5、6 を流れ下り、まず給水コック 7 を通過する。給水コックは、ボイラで水が消費される速さに合わせてボイラに給水するのに必要な開度だけ開かれる。

ボイラ内の蒸気の反発力がさほど強くなく、鉛直の給水管の中の水面がホットウェルのそれより低くなる時

はいつでも、ボイラにはその給水管を通して水が供給されるであろう。しかし、蒸気の反発力が強くなって、給水管内の水面がホットウェル内の水位より上方になる場合はいつでも、水はホットウェル内へ逆流するであろう。ボイラ内の蒸気反発力は、機関の各行程の間に調整弁が開閉するのに応じて、交互に増大、減少するので、シリンダがボイラから蒸気を引き出している間、ボイラは給水を受け入れ、ピストンが降下している間、ボイラからホットウェルへ逆流する。そのため、これを安全に行い、同時に機関の変動範囲をできる限り狭くするために、ホットウェルの一端の 8 の位置の小さい箱の中に弁を取り付け、このような逆流を防止する。

(p.262) 通常、鉛直の給水管を上の方まで伸ばして、ホットウェルタンクよりかなり高くすることが必要である。ボイラ内の蒸気の反発力が変化するのに応じて、この給水管の中で水が振動状態となり、水が高く押し上げられて、しばしばオーバーフローすることになるのを防がねばならない。また、給水管の上端は解放されていることが必要であり、そうでない場合は、管の中で発生する蒸気が、ボイラの規則的な給水を妨げるに違いない。この図では、ホットウェルは実際よりもかなり長く表されている。理由は、ボイラが  $\frac{1}{4}$  周回転されたとすると、給水管 5、6 はポペット弁 12 のちょうど背後となるので、ホットウェルはボイラ直径の半分だけ短くなるであろう。

ポペット弁 9、12 にはその大きさに比例した重さが加わっており、ボイラ内の蒸気の反発力が大きくなってこの弁を持ち上げて蒸気は逃げていくので、ボイラは破裂することはない。そうでない場合には、ボイラは破裂するであろう。また、機関が停止しているとき、運転員はコード 12、13 を引くことによりポペット弁を持ち上げて蒸気を排出する。

給水のための容器とボイラの間、蒸気の連絡管 10、11 が必要である。なぜなら、機関を動作させるためにボイラの水を加熱している間、(少し時間が経って、) 給水コック 7 が閉じられ、この容器内の水がボイラ内の水より先に沸騰して、沸騰による蒸気の急激な膨張により、小さい穴 C から容器内の水を追い出してしまい、容器内の水を空にして銅や鋳鉄の管をオーバーヒートし、ロウ付けした接合部を破損するかもしれないからである。

(注意) 他の全ての機関と同じく、主ポンプのスピアの重さはピストンの重さよりはるかに重いので、ピストンを持ち上げてすべてのギアを動作させる。もしそうでない場合は、そうなるように重りを付加するべきである。

この移動式機関の計画は、後述のように、その数年後にスミートン氏によりなされるまで、実行に移されたようには見えない。しかし、以前に p.158 (第 2 章) で言及したように、Plate IX に示されたそのボイラ、シリンダ、制御ギアは、1769 年のニューリバーヘッドの機関で実際に用いられた。その機関は、他の面では普通の機関の案に基づき、大レバーを用いて建屋内に固定された。

それは二つのボイラを有しており、一つは Plate IX の構成で直径  $6\frac{1}{2}$  フィート、高さ 8 フィートであり、他方は普通のフランジ型ボイラで、直径は頂部で 8 フィート、フランジ下で  $5\frac{1}{2}$  フィートであり、火格子は 2 フィート  $\times$  2  $\frac{1}{2}$  フィート = 5 平方フィートであった。いずれのボイラも、シリンダを動かすのに使用することができた。

シリンダは直径 18 インチ = 254 平方インチ であり、ピストン行程は 9 フィート長であった。ポンプも直径 18 インチであったが、行程長は 6 フィートだけであり、大レバーの半径は、シリンダ端で 12 フィートで、ポンプ端では 8 フィートだけであった。水柱高さは 35 フィートであり、水柱の重さは 3869 ポンド、つまり、噴射ポンプの水柱を含めて、ピストン 1 平方インチあたり 10.2 ポンドであった。

この状態で、機関は平均毎分 6 行程 = 54 フィートの運動を行った。これは  $4\frac{1}{4}$  馬力であった。しかし、その機関は毎時間  $1\frac{2}{3}$  ブッシェルの石炭を燃やし、それは、1 ブッシェルで 5 ミリオンポンドの水を 1 フィート高さへ上げる比率である。そのとき、機関は各行程で 0.388 立方フィート、つまり 毎分  $2\frac{1}{3}$  立方フィートの噴射水を必要とした。シリンダの体積は毎行程で 15.9 立方フィートであり、噴射された量の 41 倍であった。ホットウェルの温度は 153 度であった。内部で火を燃やす移動式ボイラまたは蛇口つき (urn) ボイラ は、他のボイラより多くの燃料を燃やすことが分り、通常は

他の形式のボイラが用いられた。

この燃料の消費量は得られる仕事に比べて大きかったので、スミートン氏は大レバーの支点位置を変更して、ピストン端から 13 フィート、ポンプ端から 7 フィートとした。そのため、ピストンの行程は以前同様 9 フィートであったが、ポンプの行程は 4.85 フィートに減少した。そしてピストンの荷重は、噴射ポンプを含めて平方インチあたり 8.3 ポンドであった。

そのとき、機関は毎分 8 行程を行い、毎時間  $1\frac{1}{3}$  ブッシェルを燃やしたが、後で改良されて、毎時間  $1\frac{1}{2}$  ブッシェルを燃やす時に、毎分  $9\frac{1}{2}$  行程 = 毎分  $85\frac{1}{2}$  フィートの運動を行うようになった。これは 5.47 馬力の効果であり、1 ブッシェルの石炭で 7.22 ミリオンポンドの水を 1 フィート高さへ上げる比率であった。それは、そのサイズの大気圧機関としては良好な性能であったが、それには、ポンプロッドのデッドウェイトという邪魔者がなかった。この機関の石炭消費試験は何度も繰り返され、常にほとんど同じ結果であった。石炭はニューカースルの最良の種類であった。

(p.263) 蒸気を十分に供給するために両方のボイラが同時に動かされるとき、機関は毎分  $11\frac{1}{2}$  行程、つまり毎分  $103\frac{1}{2}$  フィートの運動を行い、6.62 馬力を出した。その時の両ボイラの消費量は毎時間 2 ブッシェル以下であり、それは  $5\frac{1}{4}$  ミリオン の比率であった。

## 6 造船用乾ドック排水への火の機関の応用

これは最初、チャールズ・ノールズ (Charles Knowles) 卿により、ピーター大王によってロシアのクロンシュタット (Cronstadt) で建設された壮大なドックに応用された。クロンシュタットはペテルスブルク市のための海港であり、三つの大きいドックを持っている。一つはロシアの軍艦用であり、もう一つはフリゲートおよびスループ帆船用であり、三番目は商船用であった。また、軍艦 (men of war) の再整備のための広い運河または乾ドックも、ピーター大帝により 1719 年に計画され開始されたが、彼の後継者にもとで無視されて、娘のエリザベスの時世まで完成されなかった。

10 隻の船を、台座に同時に取り付けることができた。船は浮いた状態で運河へ入って門が閉じられ、そして、風車で水が抜き去られて、船が乾いた状態でその場に置かれた。これらのドックには船が出入りするための門が 3 組設けられていたが、これらの入口の門は、それ以降の水の浸入を防ぐために固く閉じられた。バルト海では、水を排出するのに潮汐による利点を得られなかったため、当時オランダで一般に用いられていた計画に従って、100 フィート高さの 2 台の大きい風車が運河の壁面上に建造された。それらは、オランダから連れて来られたオランダ人の労働者により建造された。しかし、これらの 2 台の風車によりドックを排水するには、まる 1 年間ポンプを継続して動作させることが必要となり、プロジェクトのこの部分は非常に不十分であることがわかった。

運河は、始めは非常に骨の折れる高コストの作業であった。クロンシュタットの島全体は砂の平らな堆積層であり、全体を囲む石の壁は、すべては防水せき (Batterdeaux ; 囲いせき) によって建設された。運河は幅 105 フィート、深さ 40 フィートであり、十字の body と head <sup>\*25</sup> を構成する最も大きな運河はピーター運河と呼ばれ、長さ 4221 フィートである。それらはすべて、石畳で覆われている。

このすばらしい事業の計画は、それが最初に行われたということを除けば、非常に不完全であったように見える。ドックは、arms と head の間の lozenge つまり四角形の部分で十字状に交差する 2 本の運河から構成されていたが、全体の空間を別々のドックに分割するための内部の仕切りがなく、全体から水を排除する三つの外側の門しかなかった。その結果、ドックに 1 隻の船だけを入れたか、または収容可能なだけ多数の船を入れたかに関わらず、全空間を排水することが必要であった。また、全てが完了する前に 1 隻の船だけをドックから出すこともできなかった。また、ドックを排水してしまうには 2 台の風車を 1 年間動かすことが必要とされたので、その間はドックは一度しか使うことができなかった。このため、最も必要とされた時に船を入れて水を抜けないことが、しばしば発生した。

チャールズ・ノールズ卿提督が、ロシア海軍を改造するために皇后陛下キャサリンによりロシアに誘われたのは、運河がこのような状態にある時であった。そして、改造に際して彼は、ドックの欠陥が深刻な障害であることが分り、十字の 2 本の arm と head とを、それぞれ 2 隻を収容できる三つの別々の乾ドックに分けようとした。このために、これらの arm を中央の lozenge から分離するための大きな二重の水門を設け、また、十字の長い脚つまり body の大きな運河を lozenge から分離するために、もう一組の水門を取り付けた。この配置により別々のドックで同時に 4 隻の船を入れて排水して修理することができ、lozenge 部分には 2 隻の船を入れて浮かべ、ドック内の船が完了すれば直ちにそれと入れ替えることができた。また、同時に、運河の長い脚部分の中に別の 5 隻の船を入れて水を抜くことができた。

(p.264) 他のドックと干渉せずに任意のドックに水を出し入れするために、水門に合わせて石の排水管が地

<sup>\*25</sup> (訳注) 十字の縦横の交差部は lozenge (quadrangle)、頭部は head、両側部は arm、最も長い下方部は body と呼ばれる。

下に敷かれた。そして水を排出するために、火の機関に置き換えることが決定された。それは、提督に付き添ってロシアへ来たロビンソン博士のアドバイスによるものであると言われている。その結果、必要な仕事量に適した機関の寸法を決めて計画を立てるために、すべての状況についての完全な計画と説明とが、1773年にスミートン氏のもとへ送られてきた。

スミートン氏は、これらのデータに基づいた計算を行い、もし漏れがなければ2台の風車は数ヶ月で排水を完了できたはずであると判断し、石組みのかなりのライニングにも関わらず、ドックと運河の内部へはかなりの量の水の漏洩があることを見出した。そして彼は、直径66インチのシリンダの火の機関を推奨した。それは2台の風車の平均パワーの3倍の出力であった。そして彼は、これによりドックの全スペースから2週間で排水できる、または二重ドックの一つから1日で排水できると予想した。彼は、以下のように述べている。

「66インチシリンダの機関は24時間で24300トンの水を53フィートの高さへ上げるであろう。それは、1時間で1000トン以上になる。うまく計画して作れば、24時間でニューカースル石炭 $2\frac{1}{2}$ チャルドロン(ロンドン測度)を消費するであろう。それはニューカースル測度で4チャルドロンに等しい。また、クロンシュタットでこの量の石炭を供給するのはかなり高価となるので、2台の風車のうち最良のもの(つまり、製材機械に应用されているもの)を保存して、現状のまま動作させて水を汲み上げるとし、壊れている他の風車を取りやめて、その現在の基礎壁の上に新機関を建造するよう推奨する。」その基礎は良質の石造りであり、容器の底から高さ60フィートまで積み上げられている、と述べられていた。

このアドバイスは実行に移され、機関は既述のチェイス・ウォーター機関と同じ構造でキャロン(Carron)社で製造された。主要な寸法は以下のものであった。シリンダ直径66インチ、行程の動作長 $8\frac{1}{2}$ フィートで、直径26インチのポンプ2台を動かして、ドックに通じる井戸つまりピットから水を汲み上げた。揚程は、機関がドックから水を引き始めた最初の段階では高さ33フィートであり、そこから水を完全に抜き去る時には高さ53フィートであった。噴射ポンプは直径11インチで、行程長は約5フィートであり、主ポンプと同じ井戸の底から水を汲み上げて、主ポンプの排水口より52フィート高い建屋の頂上に置かれた水槽へ上げた。

ポンプのウィンドボアは、直径25インチ、長さ12フィートであった。水位が高くなったときでもその部分が水にあまり浸らずに容易に作業を行なえるように、弁扉は底から高くされていた。ポンプ胴は普通の構造であり、直径26インチ、長さ10フィートで、ウィンドボアの上に、それぞれ4区間に分けて作られた、高さ32フィートで直径27インチのポンプ管が取り付けられた。2台のポンプは、井戸の中に横に隣接して立てられた。その二つのポンプロッドは、その上端で短い水平バーにより結合され、水平バーの中央は、Plate VI(第2章)で示した方法で互いに組み合わされた4本の大きな鎖の柄に吊るされた。

ポンプロッドは4インチ角の鋳鉄であり、その重さがピストンの重さのつり合い重りとなっていた。2台のポンプの頂部には、機関を据え付けている地表高さのちょうど上の位置に、水を受けて排出するための浅い水槽つまり樋があった。

(p.265) それぞれの水柱の重さは、ドックの底から揚水するときは12214ポンドであり、また、噴射ポンプの水柱は4240ポンドであった。合わせて、上げるべき最大の重さは28668lb、つまりピストン1平方インチあたり $8\frac{1}{2}$ ポンドであった。

大きな鎖のリンクは、単一リンク部で幅4インチ、厚さ $2\frac{3}{8}$ インチの鋳鉄で作られ、その4組で2台の主ポンプの全ての荷重を支えた。これらのリンクを繋ぐ連結ピンは、直径2インチの錬鉄であった。大レバーは、チェイス・ウォーターのものと同じ寸法であった。

この機関は直径10フィートの3台のボイラを持っていた。それらは、スミートン氏が以前に戻り機関のためにキャロン社へ推奨したプランに基づいて、すべて鋳鉄で作られた。各ボイラの上の部分CCは直径10フィートの半球形で一体で鋳造され、その下端には全周に突き出たフランジがあった。このフランジにより、

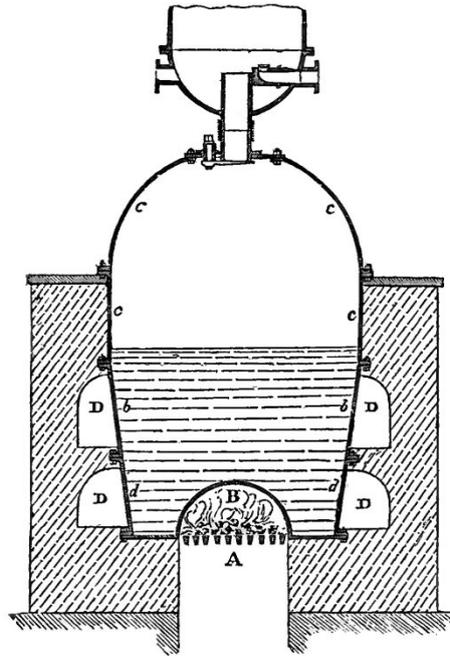


図9 クロンシュタット・ドックの排水用機関のボイラ

それは鉛直軸の円筒  $c c$  に結合された。円筒は直径 10 フィート、深さ 4 フィートで一体鋳造され、フランジにより他の部分  $b b$  に結合された。 $b b$  は深さ 4 フィートであり、上端で直径 10 フィート、下端で直径 9 フィートのテーパ状となっていた。この円筒形部分は、もう一つの部分  $d d$  (深さ  $3\frac{1}{2}$  フィート、上端直径 9 フィート、下端直径 8 フィート) にフランジで結合された。

この下側の部分はボイラの底板に結合されていて、ボイラ底板は、中央部で炉を構成するために持ち上がった部分  $B$  を除いて、平らであった。その炉はアーチ状のトンネルの形で、ボイラ底の内部に突き出ている、ボイラの底部分を前後に通して横切っていた。このトンネルつまり火床  $B$  は、軸が水平の半割の直径  $4\frac{2}{3}$  フィートの円筒であり、ボイラの平らな底の中央を横切って伸びていた。

したがって、それぞれのボイラは、半球状のドーム  $C$  の最上部からそれが立っていた平底までの高さ  $16\frac{1}{3}$  フィートであった。その底は直径 8 フィートであり、最上部の半球は直径 10 フィートであった。水面位置は底から  $7\frac{1}{3}$  フィートであり、円筒形火床  $B$  から上の水の深さは 5 フィートであった。アーチ型の火床  $B$  の下に位置する火格子  $A$  は、幅  $4\frac{1}{2}$  フィート、長さ  $4\frac{1}{2}$  フィート、つまり  $20\frac{1}{4}$  平方フィートであり、これらの全てのボイラの火格子は 60 平方フィートであった。火格子からの火炎はボイラの底を横切り、ボイラを取り囲む円形の煙道つまり流路  $D D$  へ入るように作られ、煙道はボイラの水を溜めている下部を 2 巡して、煙突の中へ出て行った。

これらのボイラの鋳鉄は  $15\frac{1}{2}$  トンであった。それらは非常にうまく動作することがわかり、その後の多くのものが同じ案で作られた\*26。しかし、より小さいボイラに対しては上部の円筒形部  $c c$  は省略され、部品

\*26 初期の小型の火の機関には、しばしば一般的な形の鋳鉄製ボイラが用いられた。最初に、醸造用および染色業用のボイラまたはパンが鋳鉄製となり、その後、機関用にも鋳鉄が適用された。それらは耐久性があると考えられていたが、金属部の厚みのために鉄板製のボイラより多くの燃料を消費した。

その後、カンバーランドのホワイトヘブン近郊において実用されたボイラでは、上部のドームにセグメント形(扇形)の複数の鋳

b b の頂部のフランジに半球部が固定された。クロンシュタットのボイラではドームの直径を 10 フィート以上にする事なく、より多くの蒸気を作るために部品 c c が導入された。直径 10 フィートのドームは、一体として鑄造できる最大の容器であった。

(p.266) この機関は 1777 年に動作するように設定され、そのドックに貸し出されて大いに活躍した。それは、このように分離されたドックに必要とされるのに応じて、非常に短時間で水を排出することができた。それは水の高さに応じて、 $8\frac{1}{2}$  フィート長の行程を毎分 10 から 12 行程行った<sup>\*27</sup>。

この機関の建屋は膨大な石細工の塊であり、レバー壁は基礎から噴射水槽が置かれた頂部まで、高さ 100 フィートであった。高さ 53 フィートの上部は厚さ 6 フィートであり、基礎から機関室の床までの下部は高さ 47 フィート、厚さ 11 フィートであった。井戸からポンプを困む他の壁は同じ高さで、運河とドックの壁の高さと同じであった。

---

鉄板を用い、各板の端に突き出たフランジにボルトを通してつなぎ合わせて作られた。フランジの間の接合部は、外側から木の楔を入れることにより気密にされた。この方法により、いずれかの板が破損した場合には、他の板を乱すことなくその板を交換することができる。ボイラの下部は、鉄の板で作られていた。

<sup>\*27</sup> 著者は 1819 年に クロンシュタット・ドックを訪問し、スミートン氏の機関を納めた建屋を見た。そのとき機関は動いていなかったが、最初建造されて以降、まったく変更されていないことを知らされた。

## 7 湖沼地帯の排水のための火の機関の応用

オランダには、海面高さより低い土地が広範囲にある。しかし、そこは全周にわたって人工的な堤防が築かれて、大きな風車の力により水が汲み上げられ、河川へ放出されて、土地が耕作できるように維持されている。年間の全シーズンを通じて排水を実行するには、十分な数の風車が提供されなければならない。このシステムはイギリス人により、リンカンシャーとケンブリッジシャーで大規模に採用された。

約 7000 (英) エーカーの土地を占めていたオランダのロッテルダム近くの湖において、1772 年に堤防が築かれて、34 台の風車により排水された。元の湖の最大の深さはマース (Maese) 川の水位より 12 フィート下方であり、これらの風車の一部は、湖底の表面から大きな用水池または運河まで水を上げることを目的としていた。そのための運河は、堤防の間の土地を横切って張り巡らされていた。しかし、この運河の水は川の干潮時のレベルでしかなかったため、潮汐の低水位から高水位まで 5 フィート上下する干満の全期間を通じて、この運河から潮受け堤防を越えて川まで水を上げるために、別の風車が必要とされた。

この事業の開始に際して、治安判事に対して火の機関を用いて排水することが提案されたが、風車を用いた旧システムに従うことが決定された。1776 年頃になって、用水池 (運河) の水を川へ上げるために、これらの水車の補助として大型のニューコメン機関が応用されるようになった。その実施はヴァン・リエンダー (Van Liender) 氏に任せられ、彼はイングランドから鉄製品を入手した。これはそのような目的に蒸気機関が応用された最初であり、上げるべき水の高さが低くかつ大量であったために、かなりの困難を伴ったようであった。また、揚水高さが絶えず変動したことから、それは完全には成功しなかったようである。この仕事についての以下の報告は、1778 年に実際に見た人により書かれたものである。

(p.267) 干潮時近くでは揚水高さはわずか数インチであるが、満潮時には 5 フィートの高さになることを考えて、彼らはこの状況を利用してポンプを配置しようとし、高潮時より低潮時に多数のポンプを動かすことにした。それらのシリンダは直径 52 インチ、長さ 9 フィートであり、ボイラは直径 18 フィートで内側と外側の二重の煙道と持っている。ボイラは屋外に置かれていて、シリンダの下にはレシーバーつまり蒸気容器があり、その中には普通の方式の調整弁が取り付けられている。蒸気管の直径は 85 インチであり、噴射水の配管は直径  $4\frac{1}{2}$  インチである。建屋は 10 フィート幅で、そこにシリンダが吊るされ、また長さは十分に長い。建屋には長さ 27 フィートの長いオーク材の 1 本のレバーはりが付けられ、そのはりは 2 本の部材のうち、曲がった上の部材とまっすぐな下の部材とをばねのように組み合わせられて構成され、それぞれの部材は深さ 18 インチ、幅 12 インチである。また、同じ長さで少し軽く作られた別の部材で両側から挟んではりが構成される。はりは、その中央に長さ 26 フィートのガジオンを通して支えられている。

それぞれのはりの端に、直径 72 インチのポンプがある。そして、各はりの端からガジオン方向へ 8 フィートの位置に、72 インチ角のもう一つのポンプがあり、全部で 6 台のポンプがあり、3 台が円形で残る 3 台が四角形のポンプである。外側のポンプの行程は 6 フィートであり、内側のポンプの行程は約 30 インチ ( $2\frac{1}{2}$  フィート) である。それらのポンプは棒状 (stave-fashion) のモミ材で作られ、バケツも弁も木製である。そして、バケツ内の摩擦を避けるために、バケツはポンプ胴より 1 インチ小さく作られている。すべてのポンプの上端は用水池水面より高く、また河の低水位線よりも高い位置で、水を漏らさない木製の床内に密閉されている。そのため、干潮時にはこの床は (排水されて) 乾いており、満潮時には、床の上に川の水が流れ込んでポンプの上端より 5 フィート上方となっている。ポンプ井戸の深さは 9 フィートであり、必要なら 12 にしても良いかもしれないが、それ以上は必要ない。

引き潮時に床が乾くとき、機関は 6 台のポンプをすべて一緒に動かし、潮が床上約 12 インチに上がるまで

これを実行し続ける。12 インチに達すると、内側の短行程のポンプを外して切り離す。そして潮が数インチ高くなると、長行程のポンプの 1 台を切り離し、さきの短行程のポンプを再投入する。そのように潮が上がるにつれて、連続的にさらに多くのポンプを順次切り離し、高潮時になれば 2 台のポンプだけ、長行程と短行程のポンプを機関で動かす。そして、潮が引き始めるときそれらのポンプを順次再び結合して動作させ、最後には、最初と同じように機関が 6 台のポンプすべてを動かすことになる。ポンプの投入と分離のこれらの操作は、機関を停止することなく実施される。

この計画は、不完全であることがわかった。なぜなら、ポンプのうちの 1 台が切り離されて分離されるときは、いつでも機関はしばらくの間パワー過剰となり、また、潮が引いている時にポンプが投入されると、機関はパワー不足になり、時々しばらくの間停止する。

火の機関のこの応用は、オランダでは国家の重要な目標と考えられたように見える。ロッテルダムのバタビア協会が、1778 年に一つのプログラムを発表し、その中では次のように述べられている。上記の機関に取り付けられたポンプは期待に応えることができず、加えられたパワーに対抗するには力が足りないことが分った。そして、それが動作している間には水の大きな損失 (漏洩) があり、それにより機関のパワーは幾分失われる。

(p.268) 結果として協会は、"蒸気機関に取り付けて、水槽から川へ揚水するのに必要な、最大高さ 5 フィート以下の全ての高さへ揚水することのできる装置の案" に対して、かなりの金額のプレミアムを提示した。ただし、「干潮時には水が川へ落ちるので、この高さは減少し、したがって、揚水すべき水の量は、高さの減少に逆比率して増大しなければならず、高さ  $2\frac{1}{2}$  フィートで水量 2 倍となり、 $1\frac{1}{4}$  フィートで 4 倍となる、等々。行程の長さは 6 フィートを超えてはならず、また、計画はシリンダ直径 52 インチで行程長 7 フィートの火の機関に適していなければならない。」

ロビソン博士は、ブリタニカ大百科事典の中で、オランダ国家は、蒸気機関によりハーレム湖 (Haerlem Meer) を排水すること、さらにゾイデル (Zuyder) 海さえ水を減らすことを提案したと述べている。また、国の広い範囲を排出するために、オランダ国家によりマイドレヒト (Mydrecht) で多数の機関が建造されて成功を収めたと、ワット氏は付け加えている。