

## 手押し式消防ポンプの構造と放水性能

# Structures of a Man-Power Fire Pumping Engine and Its Capability of Water Flow

嶋村 宗正<sup>1)</sup>・伊藤 武夫<sup>1)</sup>・太田 琢己<sup>2)</sup>・佐々木 祐輔<sup>3)</sup>

Munemasa SHIMAMURA, Takeo ITO, Takumi OHTA and Yusuke SASAKI

銚子市内の寺院改修時に、明治時代に製造された手押し式消防ポンプが発見された。1875年に輸入された後、国の指導のもと国産化され、全国的に普及が進められた消防ポンプの1台であることがわかった。人力で放水する仕組みを調べるため、構造調査を行うとともに修復作業を行った。さらに、実際に放水実験を行い、放水性能を調査した。放水量は、1分間あたり0.15m<sup>3</sup>の能力を示し、現代の動力消防ポンプの規格ではD-1級並の放水能力を有していることがわかった。全金属製であること、圧力タンクを設けていることなど、人力で2つのピストンを操作する仕組みながら安定した放水能力を得ることができる構造であることがわかった。

### 1. はじめに

火災を消火する最も簡便な方法は火元に水をかけ、温度を下げ、同時に酸素の供給を絶つことである。現代では、強力なエンジンを備えた消防ポンプにより、水だけではなく化学薬品を加え、あるいは泡状の消火剤を噴霧することにより、効果的に消火を行う機材の開発が進められ、大規模な火災にも速やかな消火活動ができる状態になってきた。また、はしご車、消防艇、消防飛行艇など様々な火災に対応する機材の開発が進められ、高層ビルの火災、化学

工場の火災、森林火災など大規模な火災にも対処が可能になっている。これらの機材は、内燃機関の発達とともに成長してきた。

内燃機関が発明されていない時代において発生した火災は、水をかけるものの燃焼物が燃えつき鎮火するのを待つしかなく、消火活動とはいえなかった。我が国における消防についても、1700年代半ばまでは桶にくんだ水をかける程度であり、延焼防止に建物を壊したりすることが主な火事対策であった。

1700年代にオランダから鋳山等における送水を目的としたブランドスポイトと呼ぶ送水機が導入された<sup>1)</sup>。大阪で国産化され、当初は鋳山での水抜きや農作業に利用されていた。その後、消防用に転用された。1764年幕府から江戸の町火消しに与えられたとの報告が見られる<sup>2)</sup>。このポンプは、2つのピストンを左右2名ずつ4人の作業者が交互に押すことで水を送水するもので、消防用には機械の中央部に放水用の筒を設けた構造であることから龍吐水(図1参照)と呼ばれた。江戸の町では自身番に備え付けられ、火事が発生すると桶で水を運び、龍吐水に注ぎながら、放水作業を行っていた。しかし、水鉄砲のように水を押し出す仕組みであることから、水圧が低く、放水量も少なく、燃え広がった火を消火できるようなものではなかった。そのため、纏や刺し子に水をかけて濡らす用途に用いられた

連絡先：嶋村宗正 shimamura@cis.ac.jp

1) 千葉科学大学危機管理学部航空・輸送安全学科

*Department of Aviation and Transportation Safety, Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science*

2) 千葉科学大学危機管理学部防災システム学科

現所属：山形市消防本部

*Department of Disaster System Science, Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science*

3) 千葉科学大学危機管理学部防災システム学科

現所属：(株)ロジコム

*Department of Disaster System Science, Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science*

(2012年9月27日受付, 2012年12月12日受理)



図1 龍吐水(東京江戸博物館、明治15年製造)

といわれている<sup>2)</sup>。

明治時代になり、海外視察を行った結果、海外における消防ポンプの優秀さに目を見張り、イギリス製の腕用ポンプが輸入された。腕用ポンプは龍吐水同様左右に分かれたこぎ手がレバーを上げ下げし放水する。1875年に輸入されたあと、国産化が企画され、完成したのが1876年、量産化が1877年といわれている<sup>4)</sup>。甲号ポンプと呼ばれたそのポンプの性能は、吸引水量が1分間に270~288リットル、水力は高さ約27mであった。

1884年に腕用ポンプの増設が意図され、ドイツ製の腕用ポンプが輸入された。このポンプも国産化が図られ、乙号ポンプと呼ばれた。吸引水量は1分間に234リットル、水力は高さ23mであった。

一方、1800年代に発展した蒸気機関はさっそく蒸気ポンプに応用された。このポンプはそれ以前の消火器具であった手動の放水ポンプに比べて優秀なことはいうまでもなかった。1829年に製作された蒸気ポンプは10馬力ながら毎分900~1,200リットルの水を約30メートルの高さまで放水できた<sup>5)</sup>。我が国では腕用ポンプが全国的に広まる前、明治3年には蒸気ポンプが輸入された。その後、国産化もされた。しかし、蒸気ポンプは有効な圧力を得るためにボイラーを加熱するが、その時間がかかることであり、目の前に発生した火災にもすぐには役に立たなかったといわれている。さらに、市内の道路が狭くて効果的に移動できないこと、操作が複雑で十分に使いこなせないことなどから、普及は進まず、輸入、国産併せて合計15台利用されただけとの紹介がある<sup>6)</sup>。

1900年代になるとガソリンや軽油を燃料にした内燃機関が開発され、小型、軽量で、かつ起動が早いことからまたたくまに普及していった。我が国では、1911年にドイツからベンツ製の消防ポンプ車を大阪府が購入した<sup>4)</sup>。1912年には国産のガソリンポンプが開発された<sup>6)</sup>。以後、高性能化に拍車がかかるとともに内燃機関による消防ポンプが全国に普及していった。そのため、1960年代には腕用ポンプはほぼ姿を消した。

2011年2月銚子市常燈寺の修復作業中に、手押し式消防ポンプ車が発見された。図2に見るように大八車の上に、

シーソーのようなレバーを設けた桶が載っている機械であり、現代のポンプ車になれた目にはたいへん奇異な品物に映り、地元の人たちは廃棄を考えた。しかし、この機械は作業者がポンプのレバーを押しながら放水する手押し式消防ポンプであり、明治時代に運用が開始された腕用ポンプそのものであることがわかった。この手押し式消防ポンプは近代化のはしりとなつたポンプであり、銚子市近辺に現存する文化遺産の一つといえる。千葉科学大学は消防活動に関心の高い学生で構成された学生消防隊を有し、かつ地域との共生を目指していることから、本学で寄贈を受けることになった。

この手押し式消防ポンプについては、前述の腕用ポンプという以外に、構造あるいは性能に関する具体的情報は見当たらない。そこで、寄贈を受けたことをきっかけに修復し、手押し式消防ポンプの構造を調べるとともにポンプの放水性能を調べることにした。



図2 発見当時の手押し式消防ポンプ車(常燈寺にて)

## 2. 手押し式消防ポンプ取得経緯

修復、性能評価の対象とする手押し式消防ポンプは、銚子市常世田町常燈寺に保管されていたもので、建物の修復解体に伴い本学に2011年2月に寄贈された。この消防ポンプの経歴をまとめると次のようになる。

銘板によれば製造は明治34年(1901年)で製造者は東京府神田区通石町、各種唧筒製作所、清水弥七である。

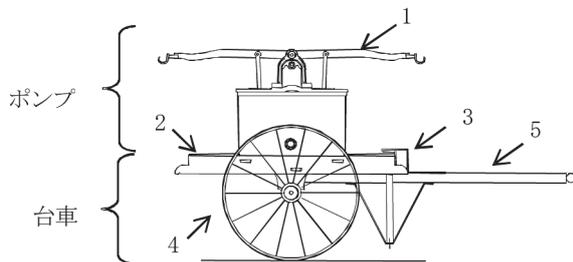
この消防ポンプは、ヤマサ醤油株式会社の前身の会社で構成された消防組が使用していたといわれる。消防組は、明治27年(1894年)に消防組規則として制定されたもので、府県知事の管掌として全国的な統一が図られた消防組織である。当時、銚子では大企業であるヤマサ醤油やヒゲタ醤油が消防組織を所有していたため消防組の中心的メンバーに推されたものと考えられる。その後、地域別に消防組が形成され、明治43年(1910年)には千葉県豊岡村(現在の銚子市常世田町、親田町、小浜町、八木町)にも消防組が作られていたとの記録が残っている。当該消防ポンプがヤマサ消防組から豊岡村の消防組に譲り渡された時期について明確な記録はないが、大正5年(1916年)には豊岡

村の消防組に所有が変更になっていたと考えられる。なお、大正5年には銚子市における大企業であるヤマサ醤油株式会社やヒゲタ醤油株式会社では蒸気ポンプの消防車が使われていた。

昭和22年（1947年）に施行された消防組織法により、消防組織は市町村で管理することが明示され、かつ常備消防と非常備消防（消防団）に分かれた。昭和31年（1956年）に豊岡村は銚子市に合併された。当該手押し式消防ポンプは合併にさかのぼる昭和26年（1951年）に一旦改修修理され、豊岡村消防団第4分団で使用されていた。しかし、昭和36年（1961年）に銚子市の編成変更による豊岡村消防団の消滅とともに当該手押し式消防ポンプは退役し、常燈寺に保管された。

### 3. 補修要領

寄贈を受けた時点における手押し式消防ポンプ車の基本的構造を図3に示す。入手した時点では、各部に錆が多量に発生し、塗料がはげ落ちゴミがたまるものの、ポンプのピストンをかろうじて動かすことができるという状態であった。放水機能を回復するため、機械各部の修復作業を行った。



1:レバー、2:荷台、3:ロック、4:車輪、5:引き手

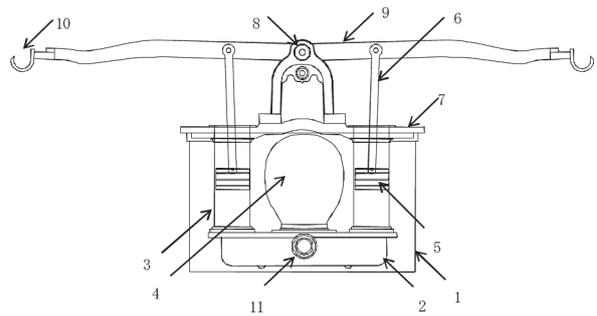
図3 手押し式消防ポンプ車側面図

#### 3. 1 入手時の現状

手押し式消防ポンプの主要構成は、ポンプ本体部、ポンプを搬送する台車、ホース等補機類である。これら構成はほぼ原型を保ち、ピストンを上下するレバーを上げ下げすることができた。長期間使われない状態であったが、室内で保管されていたため大規模な損傷を免れたものと考えられる。

ポンプの部品はほぼ金属製であり、全ての部品は錆で覆われていた。本来塗装されていた表面は塗料の色も確認できないほどであった。ポンプ各部に使われているボルト・ナット類の中には錆を介して母材と癒着しているようなものもあった。

一方、補機類である吸水ホースあるいは放水ホース類は生地を経時劣化が激しく、亀裂がみられるホースもあった。備え付けられていた工具類は鉄製であり、錆で覆われていた。



1:桶、2:弁付き台座、3:シリンダー、4:圧力タンク、5:ピストン、6:コンロッド、7:天板、8:軸受け台、9:レバー、10:押し棒取り付け位置、11:吸水口（反対側に放水口）

図4 ポンプ主要部分の構成

ピストンを上下するレバーについては横方向にゆがんでいた。また、ピストンが下端になったときにレバーを受けるストッパーが桶の天板に設けられているがこれも横方向にねじれていた。これらの変形はポンプを使用していたときに生じたものと考えられた。

車輪については、リムの一部が朽ちていた。そのため、ポンプを移動するには耐えられない状態であった。

#### 3. 2 補修要領

構造調査を行い、損傷部位の修復を行うため、ボルト・ナット類を取り外し、細部にわたり部品の分解をはかった。一部のナットあるいはボルトは、問題なく外すことができた。しかし、多くのボルトやナット類はそれらが固定する部品の母材と錆で一体化している状態であった。そこで、そのような箇所については、まず表面の錆をワイヤーブラシで落とし、その後浸透・潤滑剤を多量に塗布しながら1～2日間放置した。このような処置を行うことで全てのボルト・ナット類を取り外すことできた。錆の付着した多くのボルト・ナット類はサンドブラスターを用いて錆を除去した。

分解した個々の部品についてはまず洗浄を行った。シリンダー、ピストン、コンロッド、弁台座、天板、吸水管アダプター、放水管アダプターなど多くの部品は広い範囲に錆が生じていた。これらの部品の錆取りは、錆取り・防錆剤であるCORTEC VpCl-422<sup>7)</sup>を用いた。この溶液は、主成分に有機化合物の酸である有機酸（主成分はカルボン酸塩）を使用している。錆落としに一般的に使用されている毒劇物指定の亜硝酸ベースの薬品ではないため、人や環境にやさしいといわれている。また、有害なクロム、窒素酸化物、リン酸化合物系防錆成分を使用しておらず、廃液の処理に気をを使う心配がない。原液を希釈液でうすめ（原液1リットルを水10リットル）、その溶液の中に部品を1～3日間つけておく処置を行った。素材が鋳鉄、真ちゅう、銅などの部品に対して当該溶剤を用いた錆取り処理を



(a) 錆取り前 (b)錆取り後

図5 錆取り結果(シリンダー及び圧力タンク)

行った後の利点を挙げれば、錆除去後の錆再発が見られないことである。錆取り前の状態と錆取り後の比較を図5に示す。

なお、レバーや桶など大物部品については、CORTEC VpCl422溶液を蓄える容器が確保できなかったことから、ポータブルグラインダー、サンダー、ワイヤーブラシ等を用いて錆をおとした。それでも残る錆については、こまかな狭い隙間に残る錆であり、市販されている錆取り剤を利用して除去した。

肉厚部分の錆については上記の手法で除去した結果、もとの寸法や形状を大幅に損なうことはなく、部品の組み立てにそのまま利用することができた。

しかし、薄肉の部品、桶については、錆取り作業中に穴があいた。特に、下面に水抜き用の開口部があるが、この部分については形状を損ねるほど変形した。さらに、力を加えて作業する影響でパネルに凹凸も生じた。これら穴や凹凸については、塗装作業に障害が生じるため、パッチやパテを当て補修した。

ピストンに設けられたスリットにはめ込むべきOリングは欠損していた。もとの材質は不明であるため、今回は大きさがほぼ同程度の硬質ゴムを自作して取り付けした。

車輪については、リムの補修が欠かせない状態であったため、朽ちた部分を除去し、もとのリムの形状になるよう木材を加工成形し組み付けた。

以上、補修作業において新たに製作した部品はピストンのOリング、桶の水抜き孔、車輪リムの一部などであり、その他はほぼもとの部品をそのまま用いた。

以上の作業ののち、分解した部品を組み付け、塗装を行った。荷車の台は黒色塗装、桶や車輪は赤色とした。レバーなど鉄製部品については黒色塗装を行い、可能な限りもとの塗装を再現するようにした。完成後の状態を示す(図6)。

#### 4. 構造

手押し式消防ポンプ車の寸法は幅1145mm、長さ2740mm、高さ1390mmである。ポンプ車は、ポンプを台車で運び、地面に下ろされ、ポンプの上にあるレバーの両端部に押し棒を用意し、この押し棒を左右のこぎ手が息を合わせ上下に押すことで、水を吸水し、火元に放水する。



図6 修復後の手押し式消防ポンプ車

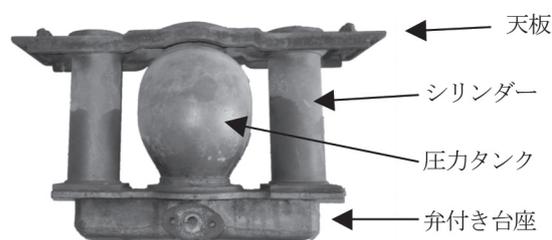


図7 ポンプ部の写真

したがって、消防ポンプ車としての基本的構成は、ポンプ本体、ポンプを移動するために用いる台車、吸水・放水用ホースなどである。以下、手押し式消防ポンプのポンプ本体、台車について説明する。

##### 4. 1 ポンプ本体の構成

ポンプとしては、図4、図7に示すように水をためるケース(以後、桶と呼ぶ。)の中にシリンダー及びピストン1対、圧力タンクとともにこれらの主要部品を固定し水の経路を決める弁付き台座が組み込まれている。さらに、ピストンを動かすためのレバーを固定するための軸受け台および天板が桶の上部に据えられている。桶の下面には、そりが設けられ、ボルトで結合されている。

##### 4. 1. 1 シリンダー・ピストン・圧力タンク

弁付き台座の上にシリンダーが1対及び圧力タンクが固定されている。

図8に示す弁付き台座は、吸水管で取り込んだ水をシリンダーに送り、次にシリンダーから吐出される水を圧力タンクに送り、その後、圧力タンクに蓄えられた水を放水管に送る水の導水を行う役割をしている。水の流れは必ず、吸水管→シリンダー→タンク→放水管となり、逆の流れが起きないように弁付き台座に逆流防止弁が備えられている。吸水管への逆流防止のためシリンダー下部に各1個、圧力タンクからシリンダーへの逆流防止のため圧力タンク下部に2個、合計4個、真ちゅう製の弁が設けられている。なお、弁の厚みは11mmであるが台座との間にシール材は装

着されておらず、金属同士が直接接触するだけであり、水密性に配慮された構造ではない。

弁付き台座のシリンダー下部に見える穴は、圧力タンクにつながる。圧力タンク下部に開いている穴は送水管につながる。

シリンダーは板厚3mmの真ちゅう製であり、長さは315mm、内径は約101mmである。内径は左右のシリンダーで微妙に異なり、また測定場所の違いにより $\pm 0.5\text{mm}$ 程度の差があるなど正確な円形ではない。ピストンは直径100.6mm、高さ63.8mmの真ちゅう製であり、3本のOリング用スリットが設けられている。ピストンのストローク量は196.5mm（右側）と200.1mm（左側）である。

コンロッドはピストンとレバーとを結合する部品で1対の鋳鉄の平板で作られていた（図9参照）。レバーが上下すると、ピストン下部に設けられたアタッチメントを介しピストンが上下する。コンロッドとピストン、コンロッドとレバーとの固定はボルトを利用し、回転を容易にするブッシュ等は組み込まれていない。

圧力タンクは銅製である。板厚は2.5mmであり、半分に製作したものを結合し球状に加工している。測定した圧力タンクの外形形状を元に、タンクの板厚を考慮し、内容積を計算したところ841リットルであった。



図8 弁付き台座



図9 ピストン及びコンロッド

#### 4. 1. 2 桶

板厚1.0mmの鉄で作られており、外形寸法は長さ695mm、幅590mm、高さ421mm、内径寸法は長さ675mm、幅520mm、高さ420mmであった。したがって、内容積を計算すると147.4リットルである。ポンプ主要部分を収めるとともに、吸水用アタッチメントおよび放水用アタッチメントが内部に取り付けられている。さらに、下面の1カ所には水抜き用の穴が設けられている。桶は下部のそりとボルトで4カ所固定される。

#### 4. 1. 3 天板とレバー

ピストンを上下するために使われる部品がレバーであり、板厚は15mmである。レバーの中心に板幅118mm、長さ

33mmの天板に固定される軸受け台が結合される。レバーの中心からコンロッドが結合される部位までの距離は221mm、こぎ手が押し棒を操作する位置までの距離は840mmである。したがって、こぎ手が押し棒を下方に加える荷重の大きさは約4倍に増幅され、ピストンに荷重が伝えられる。

#### 4. 1. 4 そり

ポンプが組み込まれた桶は、幅561mm、長さ1343mmの木製のそりに固定される。そりは、台車を傾けると台車の上を滑る。台車に載ると、移動中に動かないように固定する鉄製のロックが設けられている。

#### 4. 1. 5 コネクター等

吸水管の内径は45mm、送水管の内径は34mmであった。吸水管には桶の外側の吸水ホースを固定するためのコネクターが装備されているが、桶の内部にも桶にためられた水を吸い込むためのコネクターが装備されている。

#### 4. 2 移動用台車の構成

主要部品はポンプを搭載するための荷台、車輪、工具などを保管する棚等で構成される。

##### 4. 2. 1 荷台

荷台は、ポンプを運び、移動に必要な車輪、及び移動時に人間が荷台を引くための引き手、および工具や補機を備え付ける各種器具など、多くの機器が取り付けられ、輸送機器としての基本的骨格をなしている。幅45mm、高さ118mmの木製フレームを2本、658mmの横幅になるようにはしご状に構成したフレーム構造体である。

荷台の上部はポンプを抱え込んだそりをすっぽり滑り込ますことができるように、スライドが可能な構造になっている。荷台の前方には、荷台を引くための引き手が伸びている。また、荷台を駐車させる折に荷台を水平に保つための脚が設けられている。また、一部のスペースを利用して、工具や機材収納用棚として利用するなど機能的な構造になっている。

荷台の前後方向ほぼ中央部に車軸を支える台座が設定されている。サスペンションに相当する機構はない。

##### 4. 2. 2 車輪

一部に鉄を配置した木製の車輪である。外形寸法は直径898mm、ハブの直径は131mm、車軸の直径は24.4mmである。路面と接触する部分に配置されるリムの幅は31.5mm、リムの外側には板厚5mmの鉄板が25mm幅でリムに釘で固定されている。ハブとリムとの間には合計14本のスポークが通っている。

リムの高さは低いところで28.6mm、最大部分で31.5mmであり、7本に分割されている。よって、分割されたリムには各2本のスポークが結合される。分割されたリムの端面は図10に示される構造になっており、削られた溝にはめ込まれた木材を介して隣のリムに結合され、強度を確保する工夫がなされている。

車輪に使われている木材の材質について調査した。朽ち

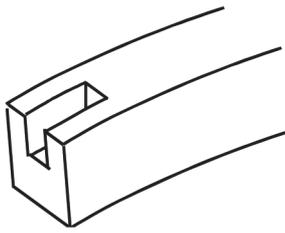


図10 リムの端部

たリムの一部を切り出した小片を用いて重量及び体積を測定した。その小片の重量は61g、体積は84.7cm<sup>3</sup>であった。よって、車輪に使われていたリムの木材の密度は、少なくとも720kg/m<sup>3</sup>あることがわかった。市販されている木材を用いて密度を測定した結果を図11に示す。図中に示すバツ材は工作台上に使われていた硬い材質の木片を利用して計測した結果である。密度が高い木材は、バツ、カシ、ケヤキ等であり、車輪のリムに使われていた材料はカシ材であると推測できる。

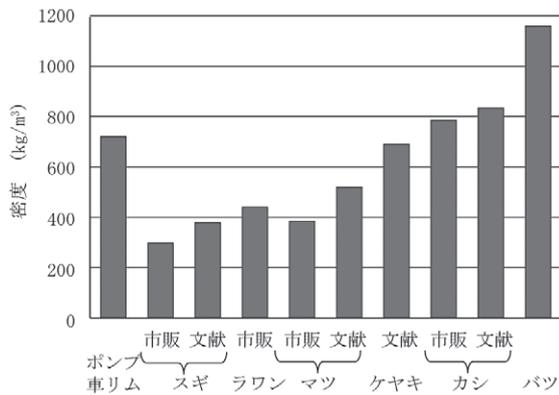


図11 密度比較 (文献は資料6)

#### 4.3 重量測定結果

ポンプ本体、台車などの質量を測定した。結果を表1に示す。ホース類、工具類などを含まないが、手押し式消防ポンプ車の重量は203.3kgであった。ポンプ本体の重量は132.0kgであった。

表1 部品の質量

部品	質量(kg)	素材
弁付き台座	17.14	鋳鉄
天板	16.32	鋳鉄
シリンダ(右)	3.50	真ちゅう
シリンダ(左)	3.68	真ちゅう
ピストン+コンロッド(右)	2.33	真ちゅう+鋳鉄
ピストン+コンロッド(左)	2.34	真ちゅう+鋳鉄
圧力タンク	3.36	銅
桶	15.08	薄鋼板
レバー	14.76	鋳鉄
その他の部品(含むボルト、ソリ)	53.49	
ポンプ部	132.00	
車輪(左側)	8.89	木材+鉄
台車(工具、ホース等の備品なし)	71.30	木材+鉄
合計	203.30	

## 5. 放水性能調査結果

### 5.1 理論的吐出量

左右1対のシリンダーとピストンについて寸法を測定した。ピストンの移動量、シリンダーの内径は、右側では196.5mm、101.0mm、左側では200.1mm、100.9mmであった。これらより、ピストンの移動に伴うシリンダー内の容積変化は右側1.57リットル、左側1.60リットルであることがわかる。したがって、左右のシリンダー容積を合計した量3.17リットルはこのポンプの総吐出量になる。

### 5.2 放水実験

放水実験はレバーの左右に2名ずつ配置、合計4人のこぎ手を配置して行った。全員20歳台前半の男性である。修復ができなかった吸水ホースは使わず、水道蛇口につないだホースで桶に直接水を満たし、ポンプの動作をおこなった。ポンプの放水口にセットした放水ホースの長さは約10m、地面を直線的に這わせ、放水ホースの先端に用意したたらいの中に水を受けることとした。たらいの縁の高さは30cmであることから、たらいに注ぐ直前に放水ホースの先端は地上から30cmを超える高さになっている。放水実験の各試行に先立ちゆっくりした速度でレバーを操作し放水ホース内に十分な水が蓄えられている状態にした。約15秒間、レバーを動作し、たらいで受けた水の量を計測した。号令に合わせてこぎ手がレバーの上下操作を始め、所定の時間経過したあと号令とともにホース先端をたらいの外に出し、余分な水がたらいに入らないようにした。なお、レバー往復回数は終了を宣言する号令時の位置で決定すべきであるが、号令を聞いたその瞬間の正確な状態をこぎ手が把握しないことが多かった。作業時間はストップウォッチを使って計測した。

実験は6回行い、結果を表2に示す。たらいに受けた水の重量を測定し、吐出総量として体積換算して示した。1秒間あたりの吐出量、1分間あたりの吐出量、さらにレバー操作1回あたりの吐出量などを示す。レバー操作1回はピストン1往復になるので、シリンダーの理論的吐出量に相当する。

第2回目はこぎ手の呼吸が合わず、レバーの往復回数が少なかった。第6回目はポンプが壊れてもよいという条件で全力でレバーを操作した結果である。

表2 放水実験結果

回	計測時間(秒)	往復回数(回)	吐出総量(リットル)	吐出量(リットル/s)	吐出量(m <sup>3</sup> /min)	吐出量(リットル/回)	備考
1	15.0	15	25.93	1.73	0.10	1.73	
2	15.0	12	19.08	1.27	0.08	1.59	
3	16.0	15	29.88	1.87	0.11	1.99	
4	16.0	13	27.91	1.74	0.10	2.15	
5	16.0	15	29.71	1.88	0.11	1.98	
6	15.3	18	38.72	2.53	0.15	2.15	全力

表3 動力消防ポンプの規格

ポンプの 級別	放水性能	
	規格放水性能	
	規格放水圧力 (MPa)	規格放水量 (m <sup>3</sup> /min)
A-1	0.85	2.8以上
A-2	0.85	2.0以上
B-1	0.85	1.5以上
B-2	0.70	1.0以上
B-3	0.55	0.5以上
C-1	0.50	0.35以上
C-2	0.40	0.2以上
D-1	0.30	0.13以上
D-2	0.25	0.05以上

6. 考察

6. 1 放水性能について

5.1節で計算したようにシリンダーの理論的吐出量は3.17リットルである。放水実験の結果、図12にみるように、レバー1往復時の吐出量は、平均1.9リットルと理論的吐出量の61%であった。なお、6回試行の最大値は2.2リットルであるので、68%であった。

今回修復したポンプの最大吐出量は、第6回目の試行における値で、レバー1往復操作において2.15リットル、1分間あたりの総吐出量は0.15m<sup>3</sup>/minであった。

総務省では、動力消防ポンプの等級を放水圧力と放水量をもとに表3に示すように規定している<sup>9)</sup>。放水量にしたがえば、今回修復した手こぎ式消防ポンプはD-1級並の動力消防ポンプの性能であるといえる。

1秒あたりのレバー操作回数と1往復あたりの吐出量との関係を図13に示す。第4回目の試行は15秒間に13回の往復運動と比較的少ないが、1往復あたりの吐出量は2.15リットルと大きな値を示した。この第4回の試行を除けば、往復運動が少ないほど1往復あたりの吐出量が少なくなる傾向が見られる。

図14にみるように、単位時間におけるレバーの操作回数が多いほど、1分間あたりの吐出量が多いことがわかる。

全力でレバーを上下させた結果によれば、1分間あたりの往復回数は約70.5回であった。シリンダーの吐出量にロスがないとすれば、吐出量は221リットル/分となる。

イギリス製の腕用ポンプの吸引水量は270~288リットル/分、ドイツ製は234リットル/分といわれている。したがって修復した手押し式消防ポンプの性能はドイツ製の腕用ポンプに近い。

ピストンリング部のゴムは寸法が近いリング状のゴムを利用した。そのため、シール性と耐久性については不安を残す仕様となっている。ポンプの放水実験を行ったところ、滑動性は悪くないものの、ピストン部からの水漏れが観察された。

弁付き台座の弁は発見時そのままである。弁は、穴の上

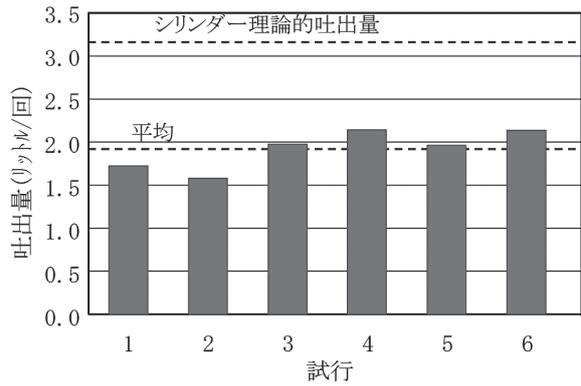


図12 1往復時の吐出量

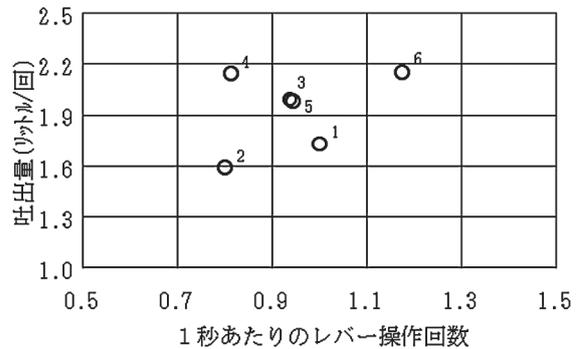


図13 1秒あたりのレバー操作回数と吐出量

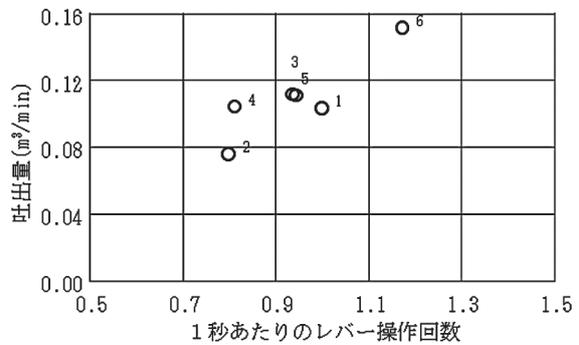


図14 1秒あたりのレバー操作回数と1分間の吐出量

に厚肉の鉄板が被さるだけという構造である。シール材あるいはスプリング等はなく、弁が閉まった後でも液体の振動によっては、台座と弁との隙間を液体が流れる可能性が高い。また、弁付き台座とシリンダー、圧力タンク、吸水管とのアタッチメント、放水管へのアタッチメントなどはボルトで結合されているが、すきまが完璧にふさがっているとはいえない。以上のように水が漏れる可能性が随所に残っている。

また、レバーを底突きするまで下げ、ピストンを上下させるとピストンの最大ストロークが得られるが、こぎ手のリズムによっては底付きする前にレバーが戻る状態が起こ

る。そのため、実際のこぎ手の作業によっては吐出量が理論的吐出量にならない。

今回の実験に参加した作業員4名は本学学生であり、はじめてポンプの放水作業を行った。そのため、左右に分かれた作業員のリズムが合わなかった可能性が高い。手押し式消防ポンプではレバーを操作する作業員の練度が放水性能に影響する可能性がある。

### 6. 2 圧力タンクの役割について

龍吐水は、ピストンを上下運動することにより、2本のシリンダーから交互に水を押し出し放水する装置である。シリンダーから押し出される水の量は、ピストンを押す荷重の大きさに関係する。ピストンを押す力が一定であれば、一定速度で水がシリンダーから吐出される。龍吐水を用いた放水作業の問題は、一つのシリンダーが吐出し終えて、対面側のシリンダーの吐出が開始されるタイミングにおいて、ピストンに作用する荷重を一定に保つような作業をこぎ手が行うことができないことにある。つまり、安定的に水を放水できないという欠点を有している。

次に、手押し式消防ポンプのメカニズムについて検討する。圧力タンクに水が入っていない状態からピストンを操作し始める場合を考える。この初期状態では、圧力タンク内圧力 $p_2$ は大気圧 $p_0$ に一致していると仮定する。ピストンを動かすとシリンダー体積が $\Delta V_1$ 変化し、シリンダー内の水が圧力タンクに送られる。そのため、圧力タンクの空気室が $\Delta V_1$ 減少することからボイルの法則にしたがって、圧力タンク内の圧力 $p_2$ が上昇する。

$$p_2 \cdot (V_{20} - \Delta V_1) = p_0 \cdot V_{20} \quad (1)$$

ここで、 $V_{20}$ は圧力タンクの容積である。

圧力タンクに接合される放水ホースの他端は大気に開放されていることから、圧力タンク内の水は放水ホースに流れる。ホース先端部を流れる水の速度を $v_3$ とすれば、ベルヌーイの定理より (2) 式が成立する。

$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} \quad (2)$$

ここで、 $\rho$ は水の密度であり、圧力タンク内の水の速度はゼロとした。

ところで、シリンダー内の圧力 $p_1$ は $p_2$ と一致しなければならない。また、シリンダー内圧力 $p_1$ はピストンを押す力 $W_1$ と (3) 式の関係になければならない。

$$p_1 = p_0 + \frac{W_1}{A_1} \quad (3)$$

ここで、 $A_1$ はシリンダーの断面積である。

こぎ手が操作できる最大の力を $W_{max}$ とすれば、 $W_1 \leq W_{max}$ である。 $W_1 = W_{max}$ になった時点は放水ホースから放水される水の量とシリンダーから送水される水の量が平衡に達した状態である。したがって、このとき、質量保存の関係から (4) 式が成立する。

$$A_1 \cdot v_1 = A_3 \cdot v_3 \quad (4)$$

ここで、 $A_3$ は放水ホース先端部の断面積である。

(1) 式をもとに圧力タンクの内圧を計算した。注入量がゼロのとき、空気室の圧力は1気圧であったとして計算した結果を図15に示す。例えば、圧力タンク内の水量が4リットルの場合に圧力は1.9気圧であり、シリンダーから水が供給されず、水量が1リットル減少しても圧力は1.6気圧と圧力減少分は39%にとどまる。そのため、ピストンの動きを止めた後も放水は持続する。このように、手押し式消防ポンプにおいて、多少の水が放水ホースに流れたところで、圧力タンク内の圧力が急激に減少することがない。

レバーを操作し始めてから放水ホースから出る水の速

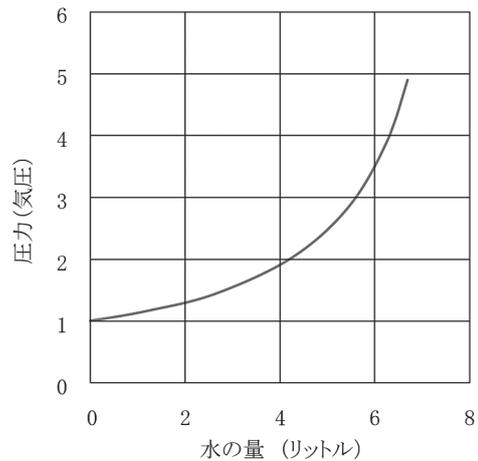


図15 圧力タンク内水の量と圧力との関係

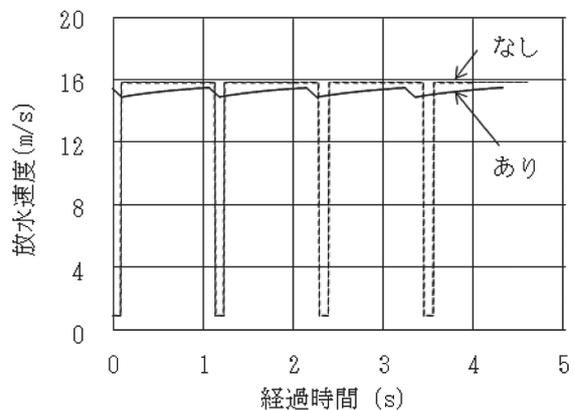


図16 圧力タンク有無による放水速度(2往復時)

度 $v_3$ の時間推移をMicrosoft Excelで(1)～(4)式を用いて圧力タンクのある場合とない場合についてそれぞれ数値計算した。放水速度が安定したレバー操作2往復時について図16に比較する。なお、計算にあたって次の前提条件を設けた：①レバーに加える片側2名のこぎ手の力は最大25kgf、②左右こぎ手の交替時に0.1秒の無操作時間がある、③こぎ手の最大仕事率は187W（圧力タンクなしのポンプを25kgfの力で操作するに要する仕事率相当）、④放水ホース筒先の内径は11mm、⑤水もれはない。

図に見るように、放水最大速度は圧力タンクありの場合に若干低下している。しかし、圧力タンクがあると左右こぎ手の交替時に生じる無操作時間にも放水速度は最大4%ほど低下するだけで放水ホースから吐出を続ける。このため圧力タンク内の圧力が下がるが、水を圧力タンクに送り込むピストン操作の速度を高くすることができる。そのため、図に見るように2往復に要する時間は圧力タンクありの方が短くなっている。したがって、圧力タンクを設けることにより、放水ホースから安定的に水を放水し続けることができるといえる。

## 7. まとめ

銚子市内の寺院改修時に明治34年製の腕用ポンプである手押し式消防ポンプが発見され、学生消防隊が活動する本学に寄贈された。約60年ちかく放置されていたため、金属部に錆が生じ、ホースなど生地部にも亀裂が生じるなど、使用されていた当時の面影はほとんど残っていなかった。そこで、修復作業を行い、放水評価を行った。

錆で母材と一体化したナットやボルトを浸透・潤滑剤を併用しながら取り外し、分解した部品を覆った錆につ

いては有機酸を主成分にした錆取り・防錆剤を利用することにより、ほぼ除去することができた。ピストンのOリングを製作し、錆取り作業中に損傷した桶についてはパッチをあてるなど、各部品を補修した結果、放水作業ができるレベルとした。

4名のこぎ手による放水実験によれば、ピストン1往復あたりの吐出量は最大2.2リットルと理論的総吐出量3.17リットルの68%であった。効率は悪いが、修復に伴う各部の水漏れの他、こぎ手相互のタイミングも影響していると考えられる。

筒先をつけない状態の計測によれば、1分間あたりの吐出量は $0.15\text{m}^3$ であった。こぎ手の人数、こぎ手のスキルによって放水性能は変化する。したがって、一概に結論づけできないが、今回の実験結果によれば、現代の動力消防ポンプの規格に従えば、D-1級並の性能であるといえる。

手押し式消防ポンプは、圧力タンクを装備している点大きな技術的特徴である。圧力タンクを設けることにより、レバー操作のタイミングを気にする必要が少なく、効率的な放水が可能になっている。

## 謝辞

この報告書をまとめるにあたり、手押し式消防ポンプ車の存在をはじめて教えていただいた銚子テレビ放送の岡根正貢様、地元銚子における消防ポンプの歴史をつぶさに調査いただいた銚子山十商店室井房治様、機材を寄付いただいた銚子市常世田町内会様、ポンプの名入れ作業を行っていただいた秩父俊雄様、機材の移送に尽力いただいた学生消防隊有志諸君、放水実験等で何かと協力いただいた学生諸君に篤く感謝申し上げます。

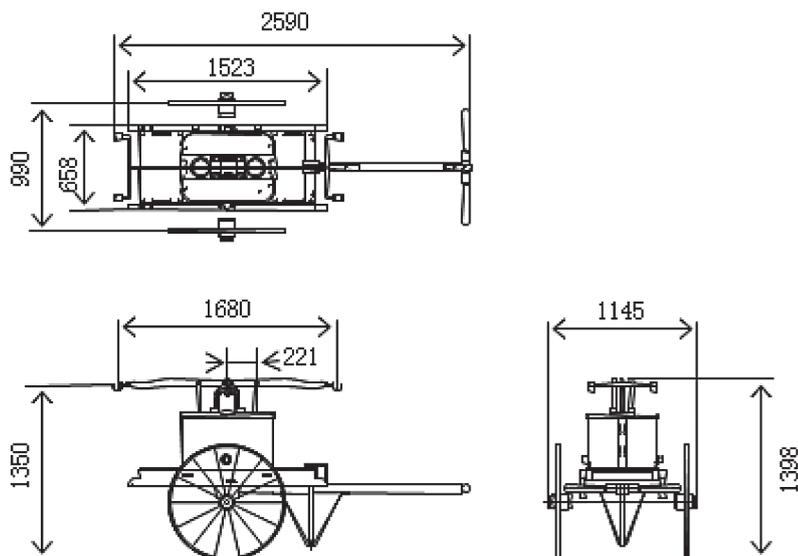


図17 手押し式消防ポンプ車3面図

(単位：mm)

#### 参考文献

- 1) 小林聡、江戸時代における発明・創作と権利保護、パテント、Vol.61、No.5、2008。
- 2) 水資源機構ホームページより  
(<http://www.water.go.jp/honsya/honsya/referenc/siryou/dougu/23.html>)
- 3) 西尾銈次郎、日本鉱業史要、1943年5月
- 4) 消防防災博物館ホームページより  
([http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=R101&ac2=R10102&ac3=1112&Page=hpd\\_view](http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=R101&ac2=R10102&ac3=1112&Page=hpd_view))
- 5) 消防雑学事典より  
([http://www.tfd.metro.tokyo.jp/libr/qa/qa\\_61.htm](http://www.tfd.metro.tokyo.jp/libr/qa/qa_61.htm))
- 6) 消防博物館展示物紹介文章より
- 7) コーティング型気化防錆アプリケーションガイド コーテックジャパン 2010年9月6日
- 8) 財団法人日本木材総合情報センターホームページより  
(<http://www.jawic.or.jp/kurashi/jtree/k16-keyaki.php>)
- 9) 総務省、消防法動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令、注解消防関係法規集2011年版