

「観る配管の歴史」シリーズ①

観るバルブの歴史

温 故 知 新

2023

(一社) 配管技術研究協会

編・制作 西野 悠司

77 シート

目次

1. はじめに
2. 閲覧にあたって
3. バルブの進化
4. コック・プラグ弁
5. 仕切弁
6. 玉形弁
7. 逆止弁
8. バタフライ弁
9. 安全弁
10. 調整弁・調節弁
11. ボール弁
12. 出典一覧

1. はじめに

- 本PDFは配管技術研究協会創立60周年記念として、2022年8月1日に出版された西野悠司編著「ものがたり 配管の歴史」および、同年11月26日の同記念講演会でパワーポイントにより発表された「配管スペシャルティの歴史」、この両者より派生する形で制作されたものです。
- 本PDF制作の趣旨は、配管の主要スペシャルティである「バルブ」の図や写真を、主に米国で発行された文献、雑誌、カタログなどから拾い出し、時系列的に並べ、簡単な註釈を添え、それによりバルブ発展の流れを、眺めることにより理解できるようにしたものです。

2. 閲覧にあたって

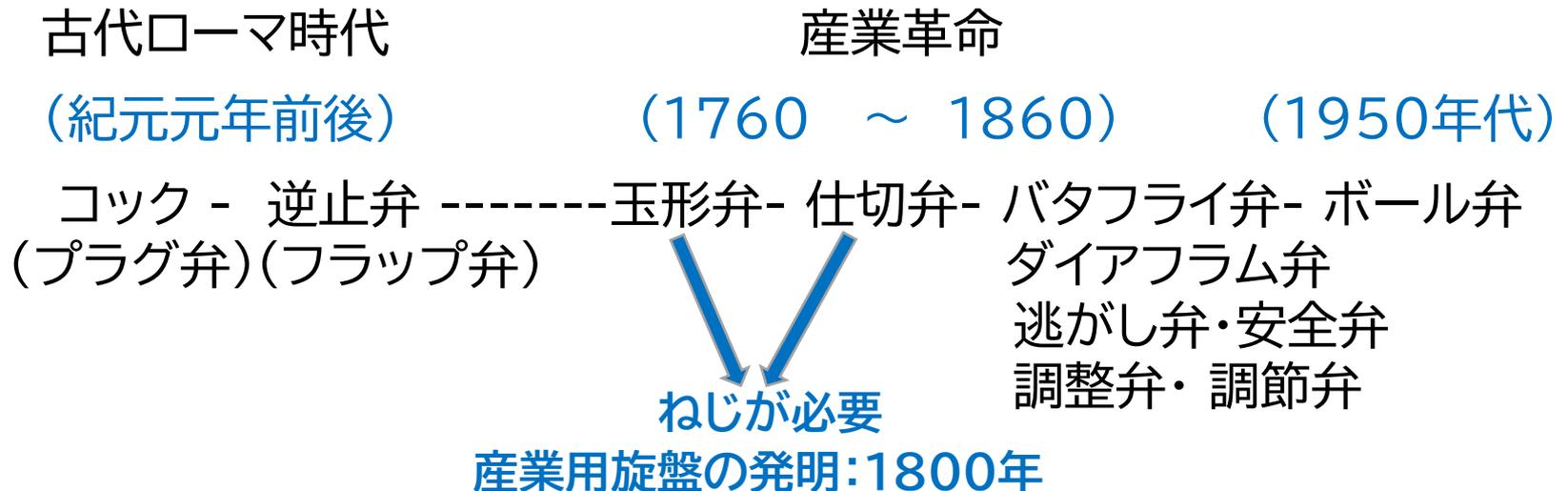
- 本PDFの出典は、主にWeb siteの、Internet Archiveに收容されている資料です。興味ある方は、以下の要領で出典名を知り、上記サイトにて、原典を紐解いてください。
- 出典は各画面の最下段に朱字で、記号で表し、必要に応じ、その後に、発行年月を示しています。
- 各画面表示の記号は、本PDFの12. 出典一覧 の左端の記号と照合し、出典名を知ることができます。
- 本PDFに示す多くの図や写真は先にも述べた“Internet Archive”というサイトに収蔵されている文献、カタログ、等に拠っていますが、バルブを含む配管スペシャルティについては、発行が1888年以前に遡るものは残念ながら見当たりませんでした。
- これら資料からは、その年代に“その製品”が存在したことは分かりますが、開発時期は書いてないので、いつから存在するかは文献の発行年から類推によるしかありません。
- 歴史ものでは、遺跡の発掘と同じように、新資料が見つかることにより、その登場年代が遡ることがあります。
- 画面において、“1900年代”とあるのは、1900～1909年を意味し、20世紀の意味ではありません。

3. バルブの進化

古代ローマ帝国時代に、上水道(飲料水)用の鉛管のバルブとしてコックが、そして、製鉄用のふいごに附属した、原初的なスイング式逆止弁が登場しました。

古代ローマが滅亡した後の長い中世の時代はバルブにほとんど進歩はなく、1300年ほど経った18世紀後半の産業革命期に登場した、実用的な蒸気機関や新たに起こった産業用に、様々な用途のバルブが必要となり、玉形弁と仕切弁が、ついでバタフライ弁、ダイヤフラム弁、安全弁、調整弁が現れ、1900年頃には、これらのバルブは、凡そ現代の形に近いところまで進化しました。そして最後に、1950年頃ボール弁が登場しました。

バルブ形式を 歴史の古い順に並べると、



4. コック・プラグ弁

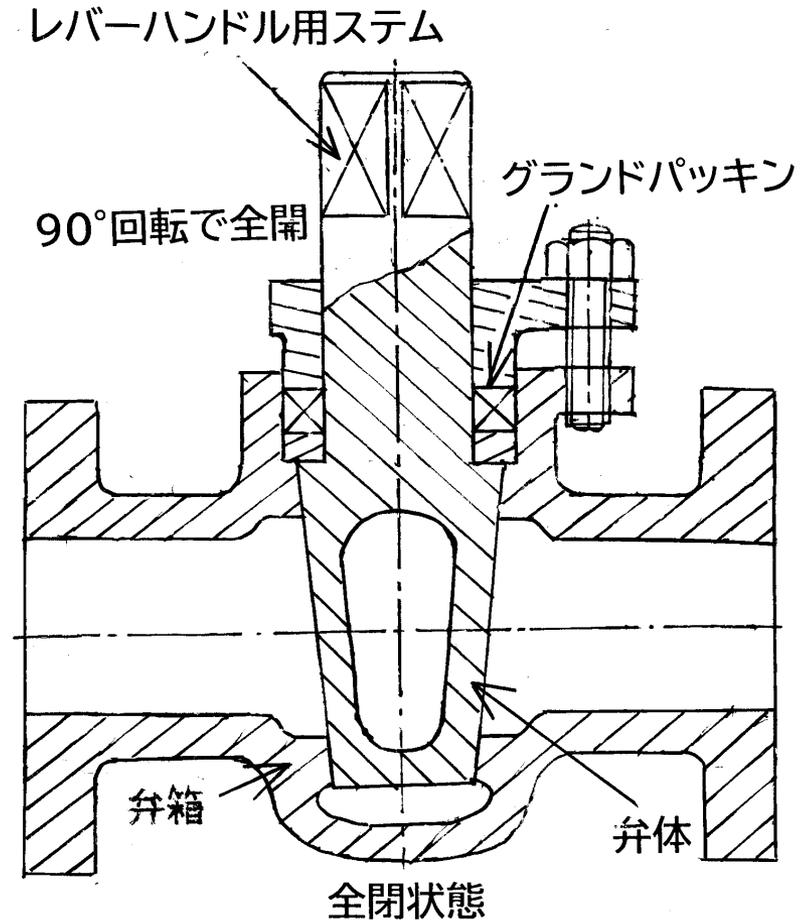
テーパのついた栓(プラグ)状の弁体を持ち、90°回転で全閉、全開できる弁。
プラグ弁は、現在の定義では、コックの一種で、弁箱、弁体摺動部に潤滑装置のある弁を言う。

コック・プラグ弁の進化の方向

古代ローマ: 弁体は平行な円筒、
底なし(鋳型の作り易さ?)。

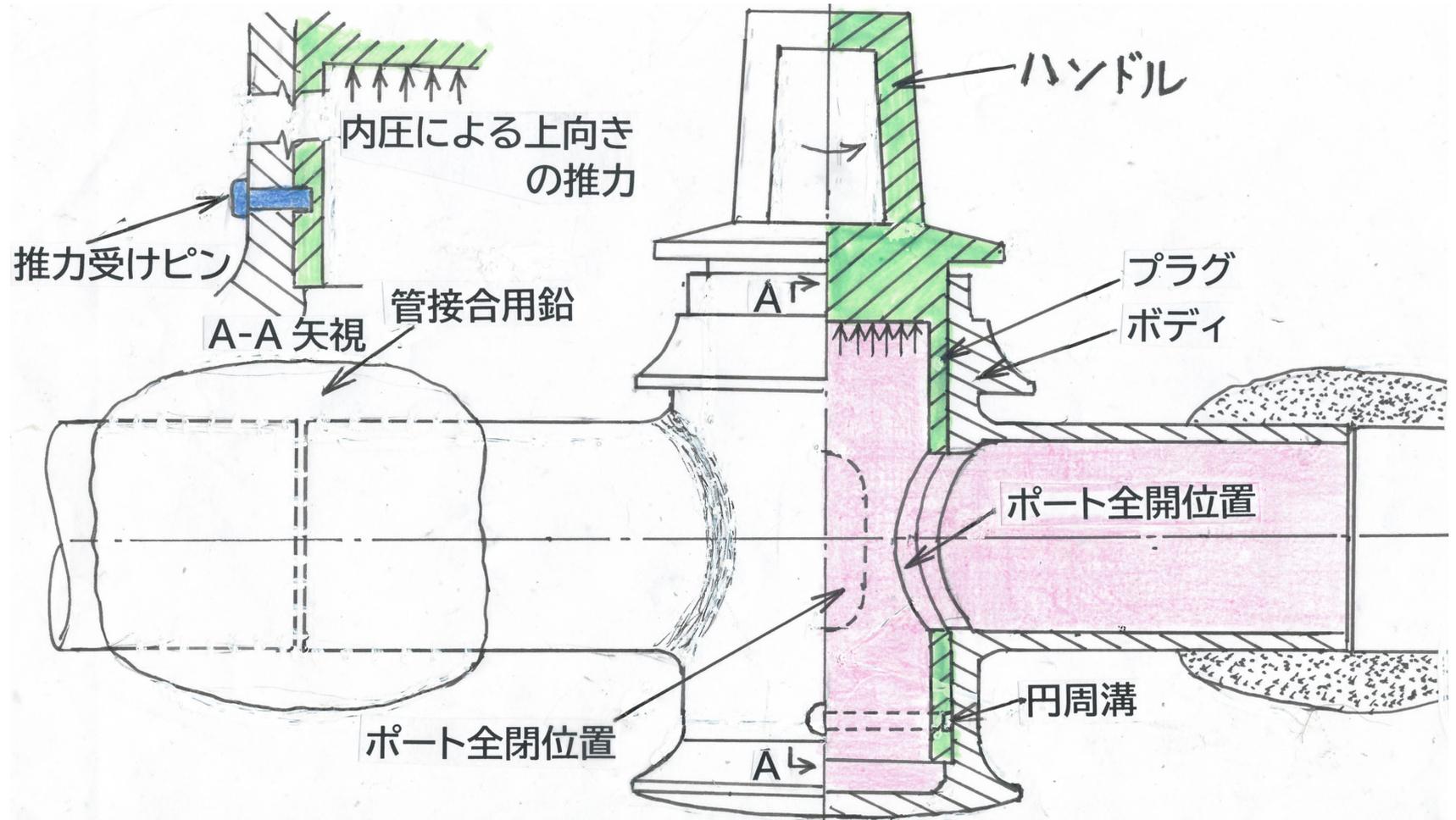
1910年代: テーパー付き円筒
弁体重量、スプリング、カム
などにより、シール面圧確保

第1次大戦中: 弁体をグリース被膜
(回転し易さとシール性)
で覆うバルブ登場。



4. コック・プラグ弁-2 古代ローマ時代の青銅コック

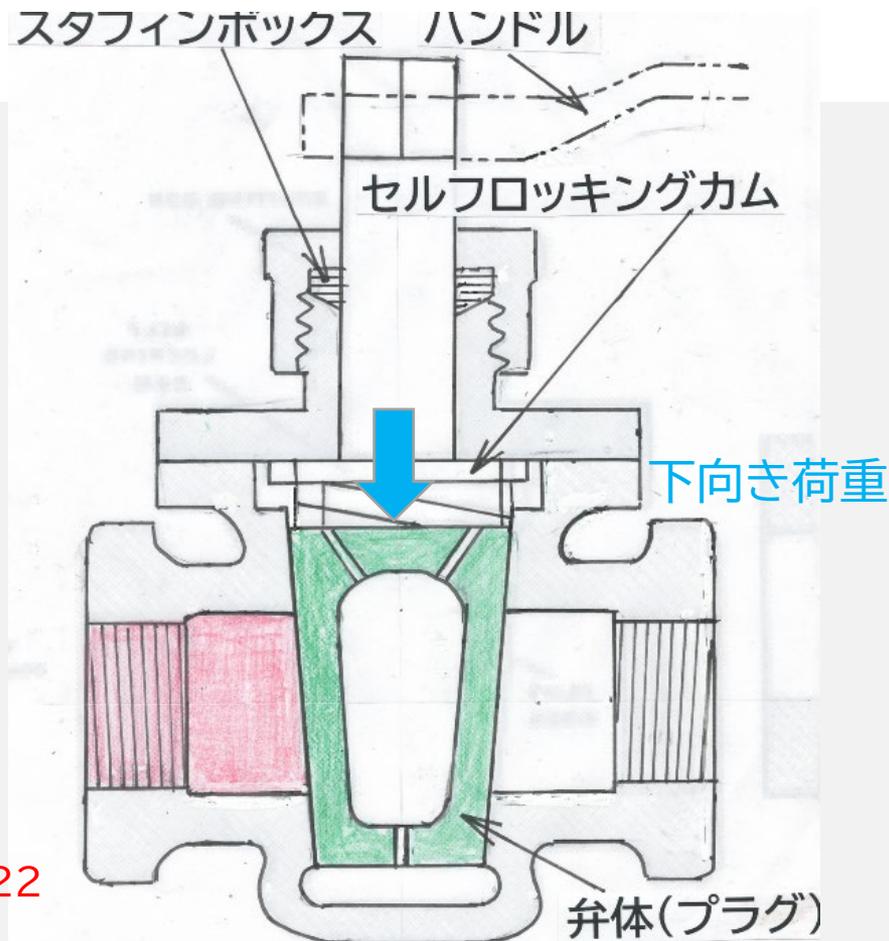
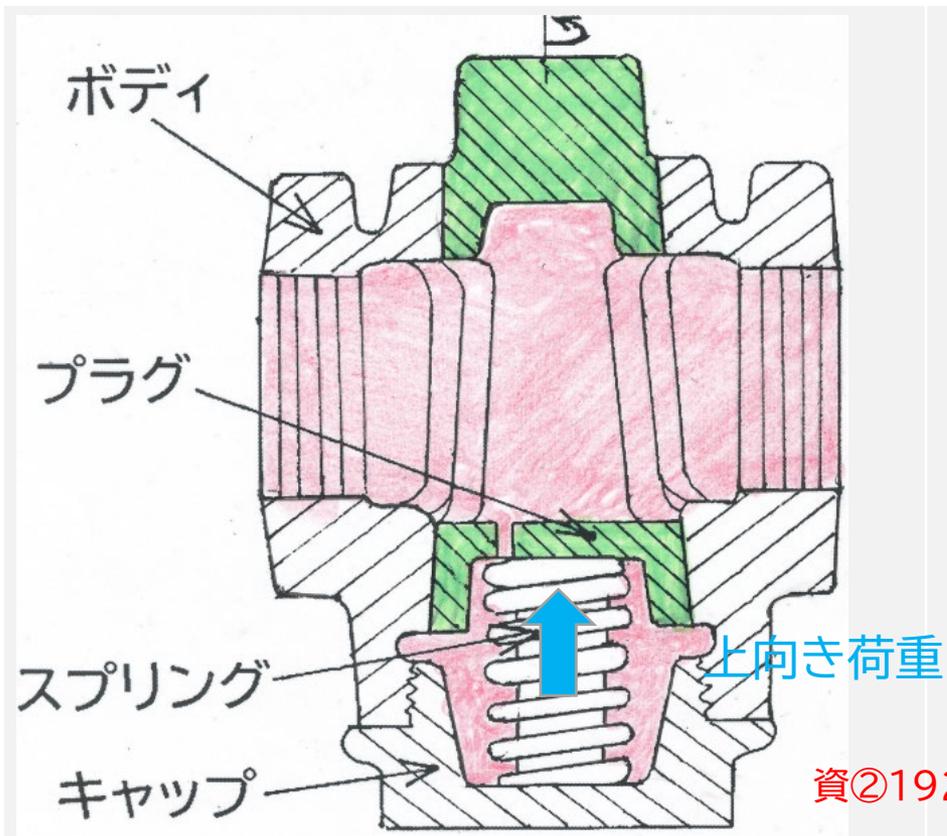
流量調節用に使われた。
現代のコックによく似ている。



注:古代ローマのガリー船用コック(BC40年ごろ)。ポンペイの給水用にも使われた。
(圧力0.6bar程度。材質:銅73%、鉛18%、錫9%)

資①を基に作図

4. コック・プラグ弁-3 1910年代のコック

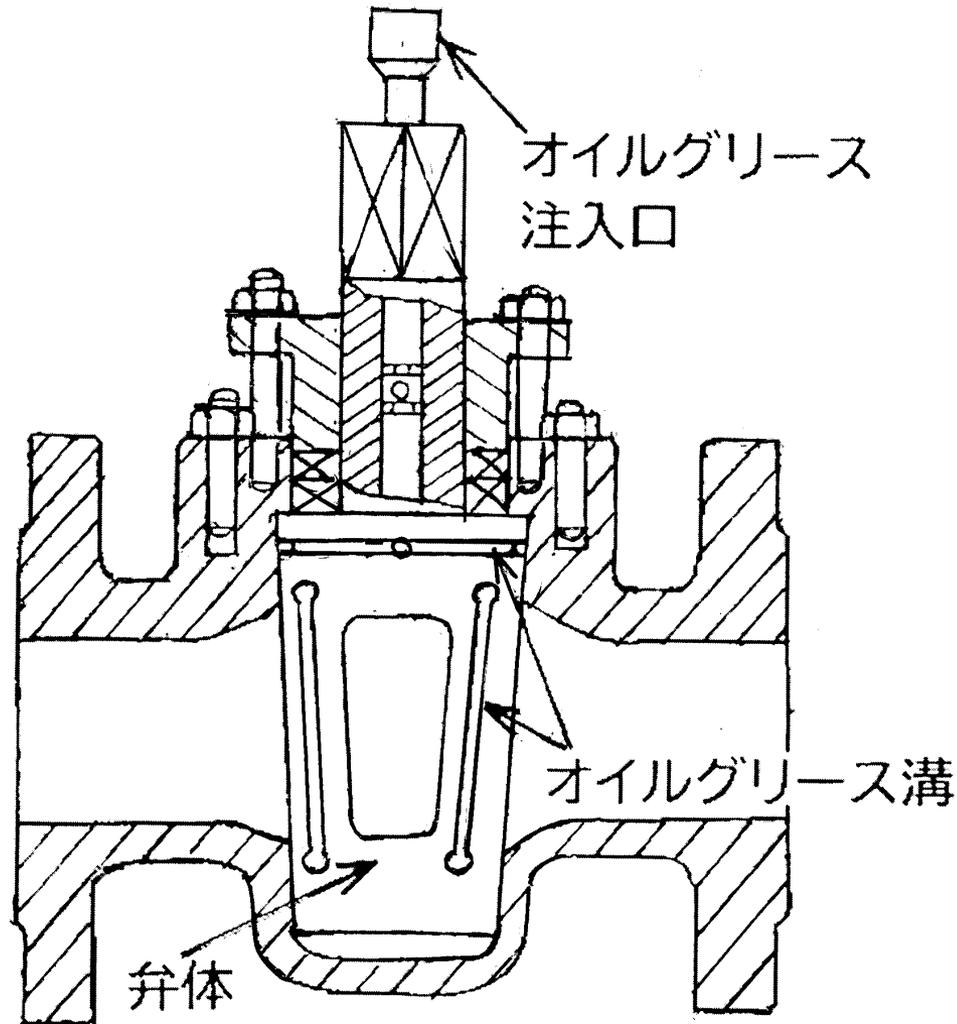


コックは、ごみの溜まる箇所がないので、ボイラのブロー・オフ弁として、当時、盛んに使われた。

セルフロックングカム(構造は不明)の推定機能:
ハンドルを回して全閉位置になると、カムが作用して、弁体を下方に押しつける力が発生。ハンドルを逆回転すると、カムが外れ、押さえる力がなくなり、弁が開く。

4. コック・プラグ弁-4 現代のプラグ弁

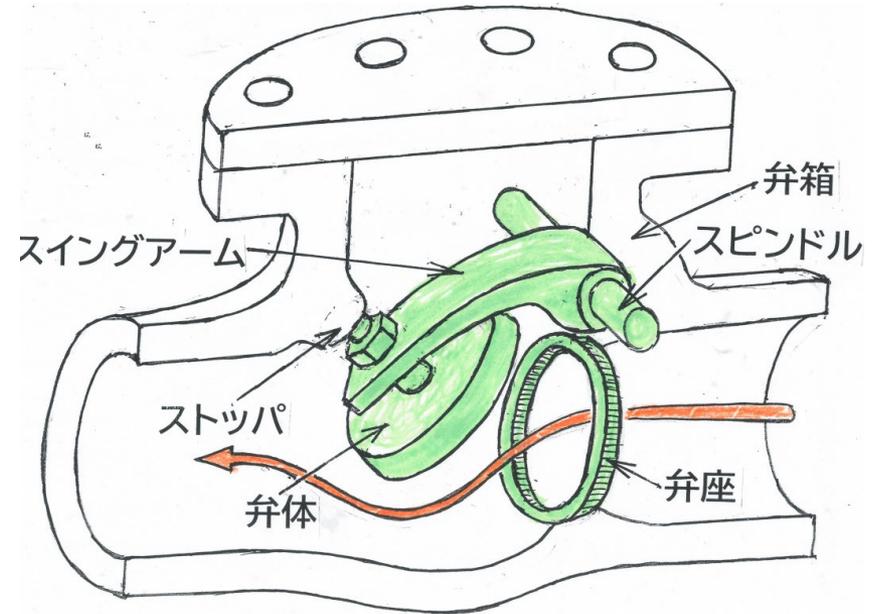
現在では、オイルグリース注入装置のあるコックをプラグ弁と呼ぶことが多い。



5. 逆止弁(逆止め弁)

流れに逆流が起きた時、出来るだけ早く、逆流を止める弁。

大きく分けて、スイング式(右上)とリフト・チャッキ式(右下)とがある。



逆止弁の進化の方向

逆流速の速くならない内に、全閉して水撃抑制

カウンタウエイト

空気駆動アクチュエータ

ティルティングタイプ

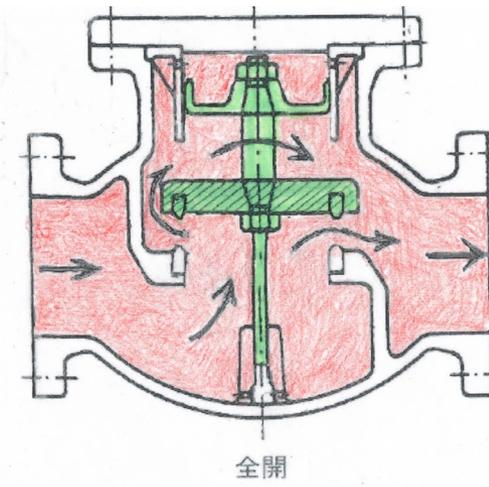
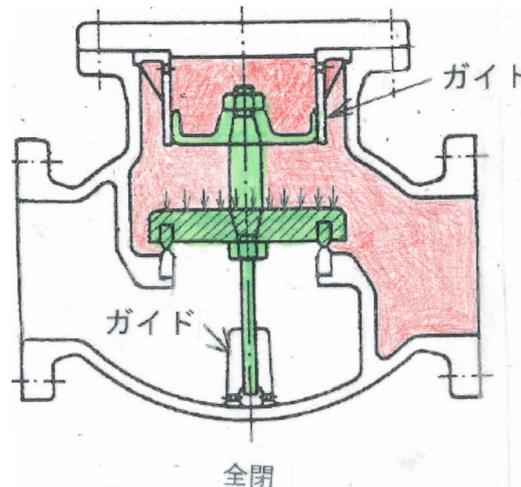
ダブル・リーフ(ウェハー・チェック)

スモンレスキー

全閉近くでゆっくり閉めて、弁体が全閉する時の衝撃緩和

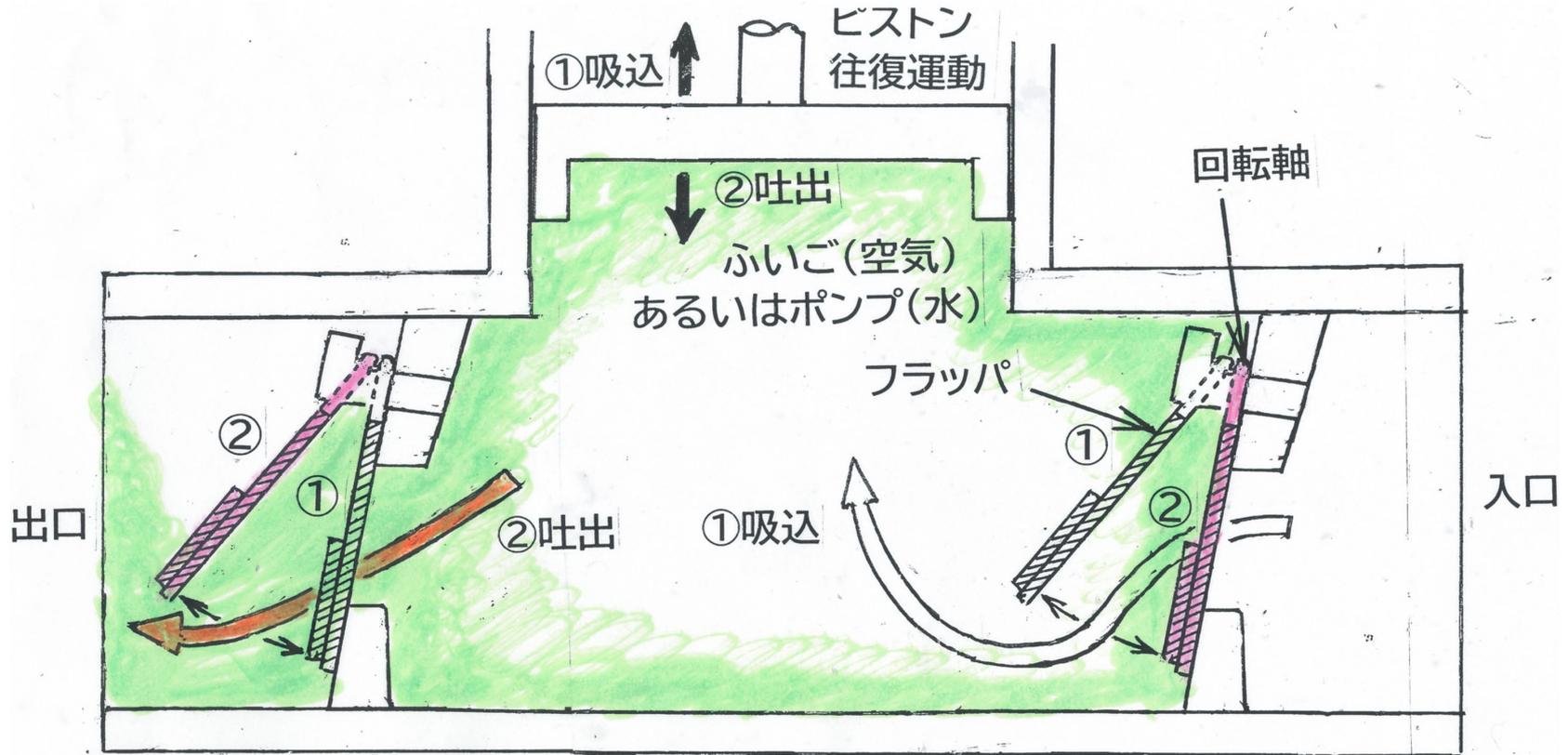
ダッシュポット

親子弁



5. 逆止弁-2 古代・中世のスイング逆止弁(フラッパ弁)

ピストン式ポンプに使用された例



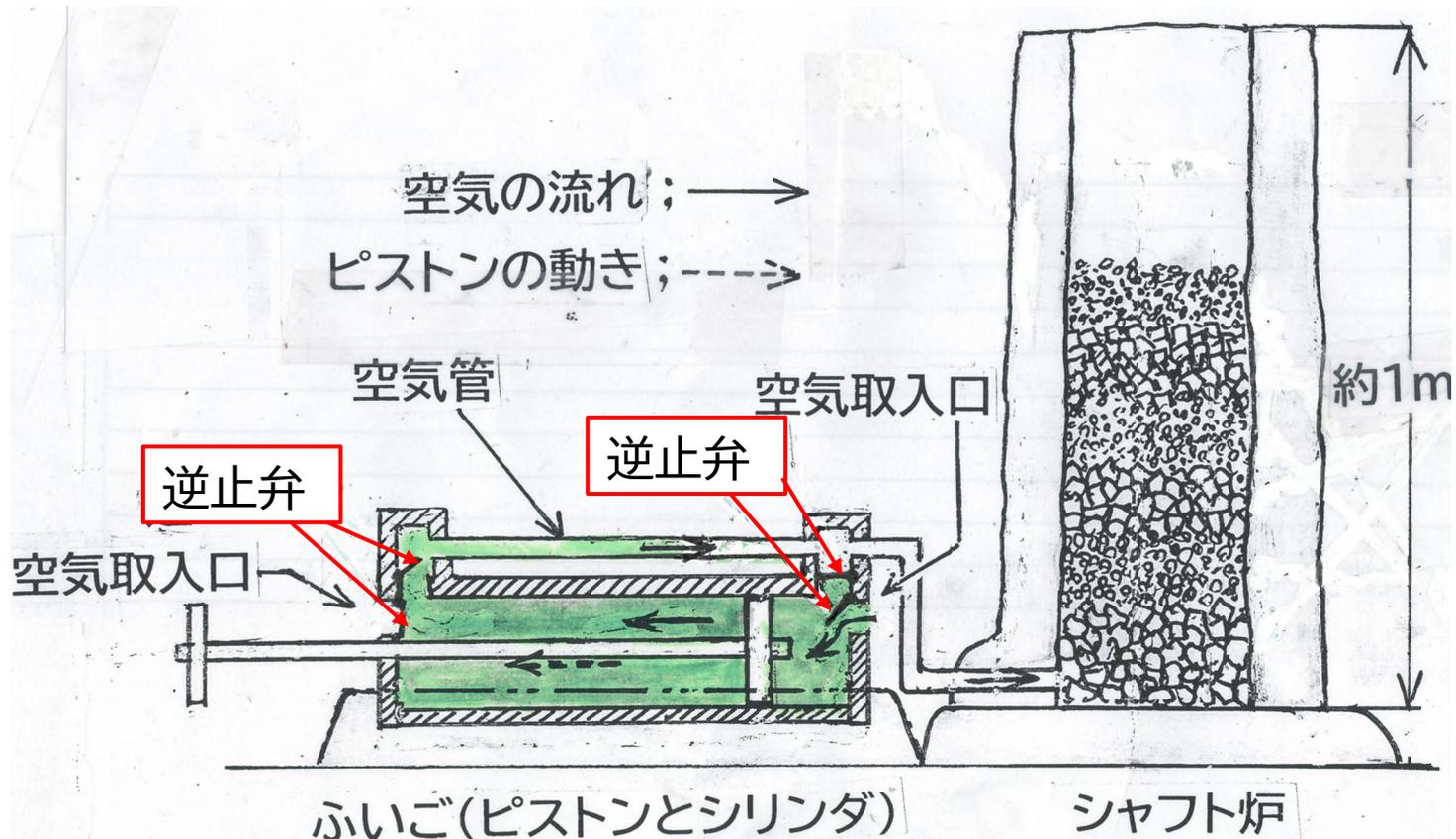
古代、中世においては、管路中に設置されるのではなく、ふいごやピストン式ポンプの装置に組み込まれて使われた。

5. 逆止弁-3 製鉄用 ふうご附属逆止弁

11世紀ごろ

逆止弁の使用例

ふうご1台に逆止弁4個使用し、ピストン1往復で空気を2回送り出す。



資⑳

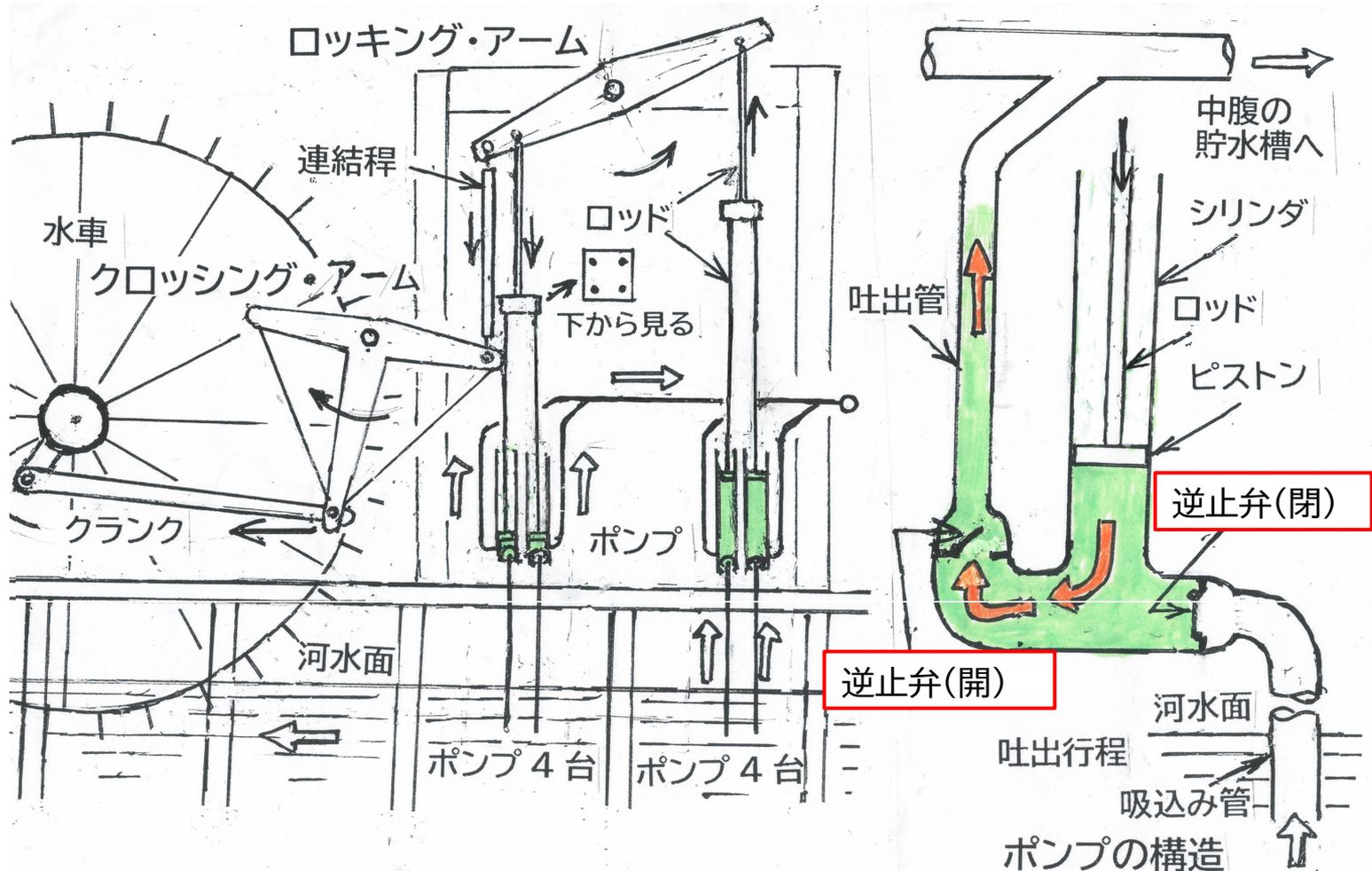
図では左のポートより炉へ空気を送っている。次のステップでピストンが右へ動く時、右のポートより炉へ空気を送る

5. 逆止弁-4

ピストン式ポンプ用逆止弁

逆止弁使用例：17世紀 ヴェルサイユ宮殿噴水用の

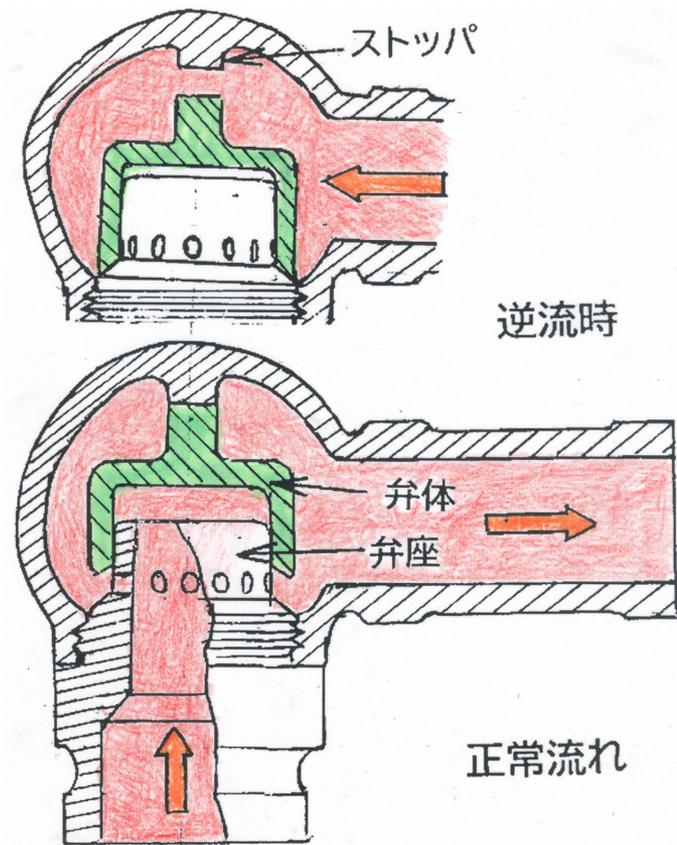
水車駆動ピストンポンプ1台に逆止弁2個使用



ピストン1往復で水を1回送り出す

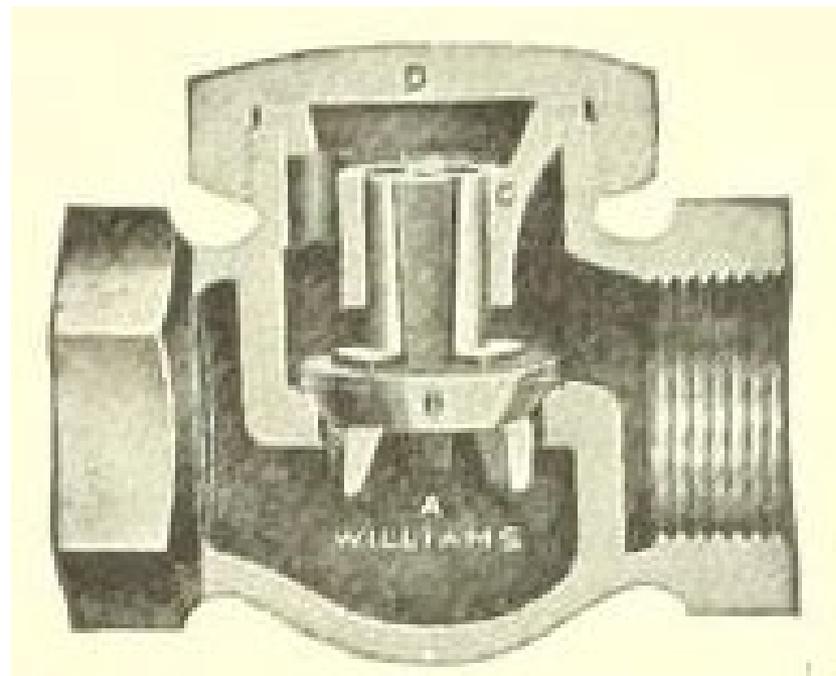
5. 逆止弁-5 リフト・チャッキ弁

1900年代初頭の特許



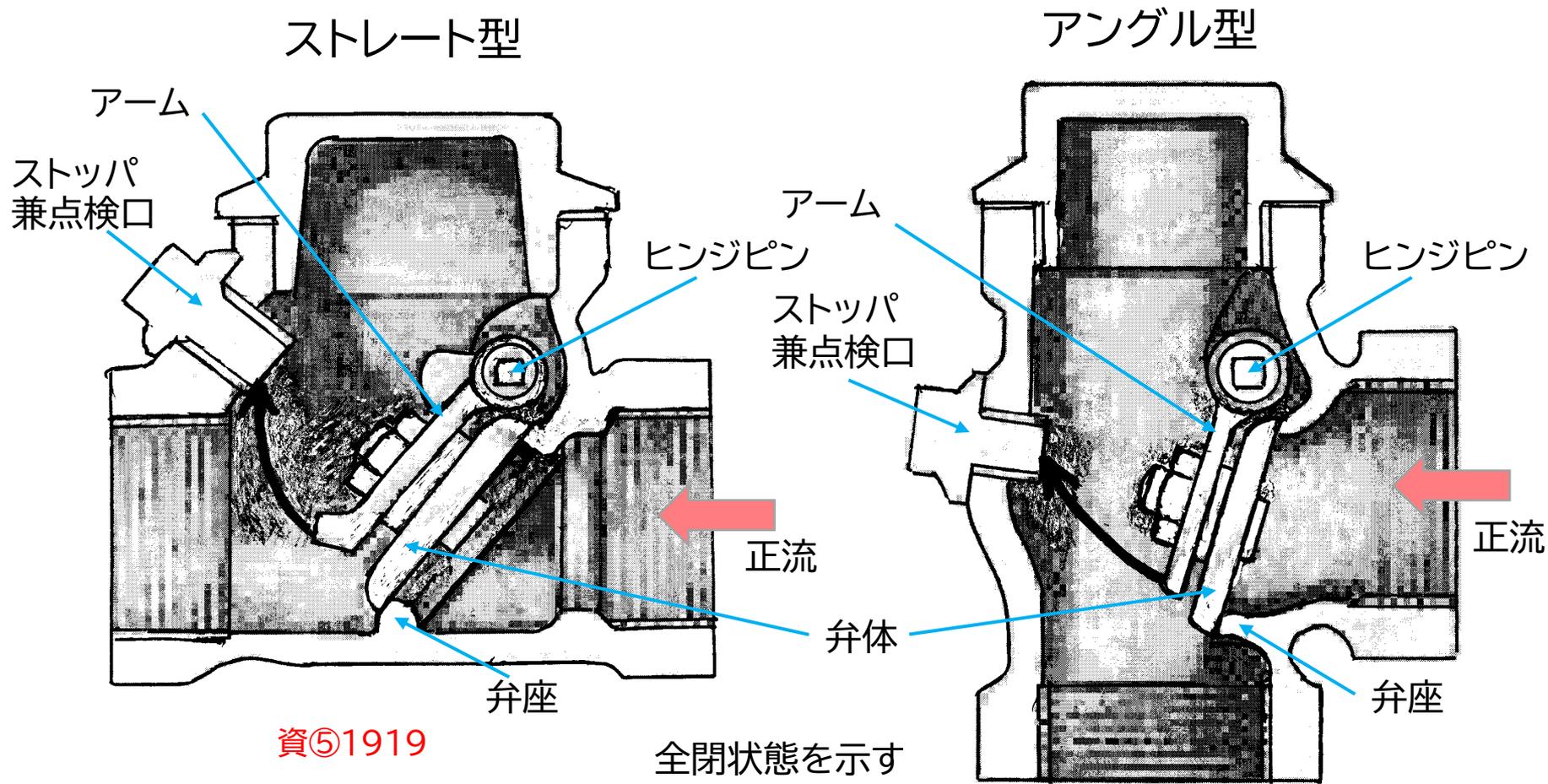
資③1907

1910年代には、現代の構造とほぼ同じとなっている。



資⑤1916

5. 逆止弁-6 1910年代の スイング逆止弁



元資料が不鮮明のため見やすいように手を加えた。

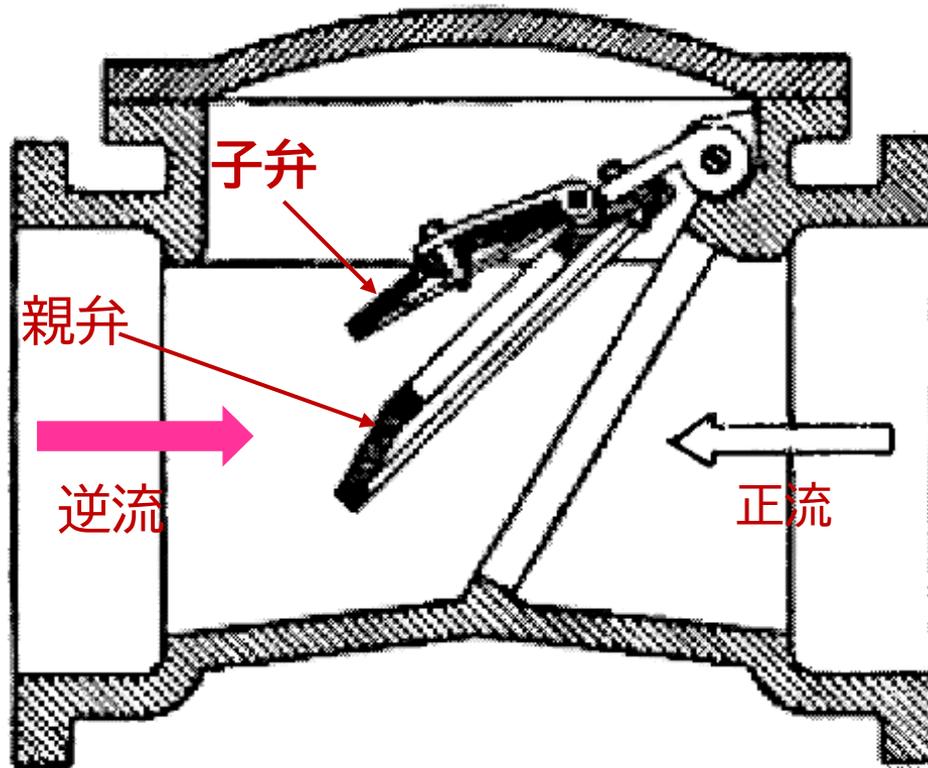
Pratt & Cady Company Incorporated 社製

資⑤1919

5. 逆止弁-7 水撃防止用子弁付逆止弁

19世紀後半、蒸気機関や電動モータ駆動によるポンプが普及すると、管口径と流速が大きくなり、1910年代に水撃防止を抑制するため、できるだけ早く全閉する逆止弁や、全閉近くでゆっくり閉める逆止弁が開発された。

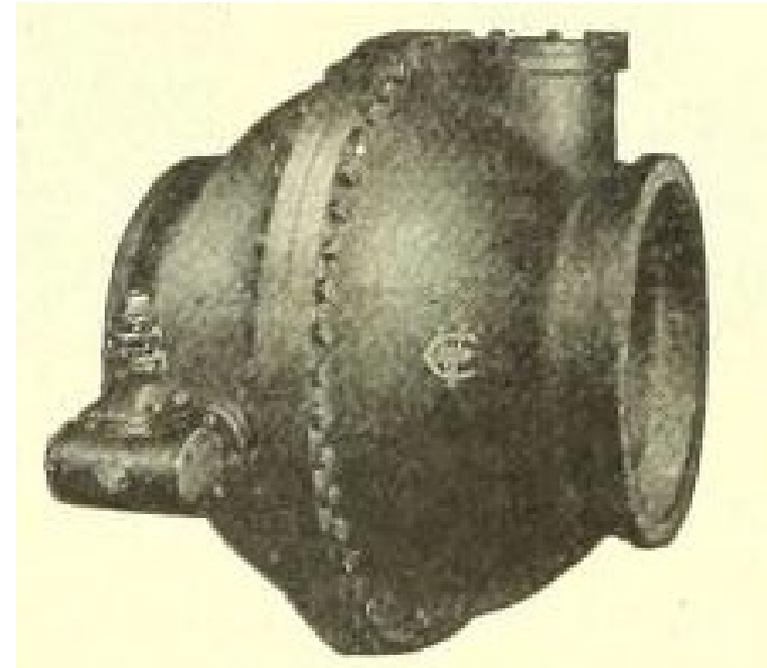
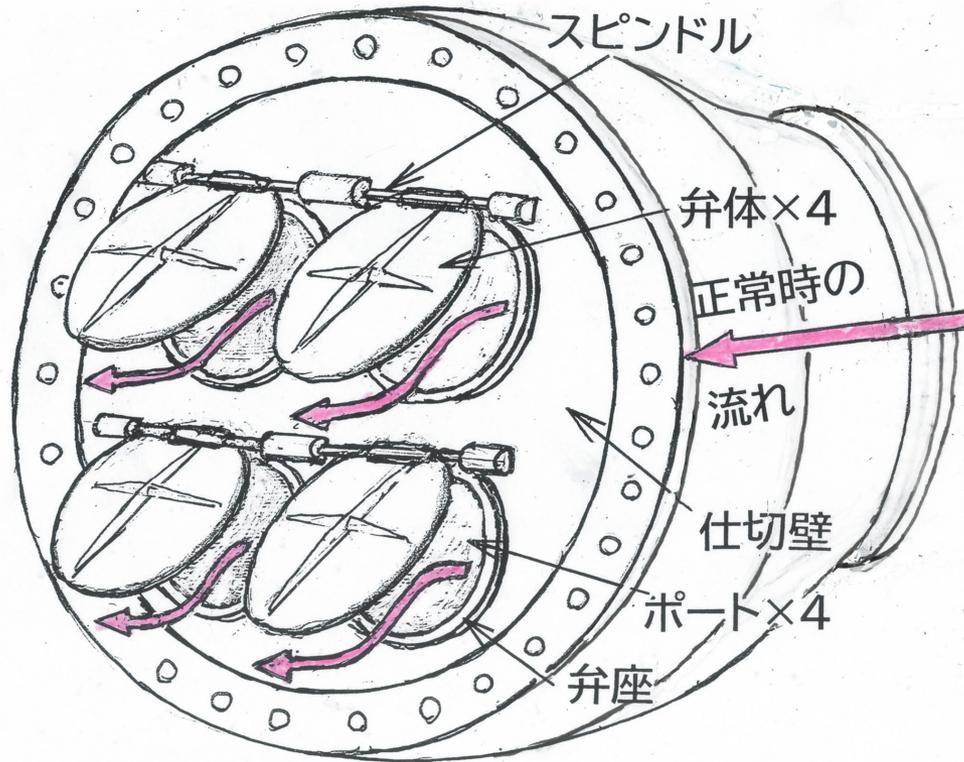
下図は後者のタイプ。



逆流が起きると、
親弁が閉まり、
次いで子弁が閉まる

5. 逆止弁-8 大径スイング式逆止弁

1910年代



口径500~1200A

メンテナンスが大変のように見える。、第2次大戦以前にカタログから消えた。

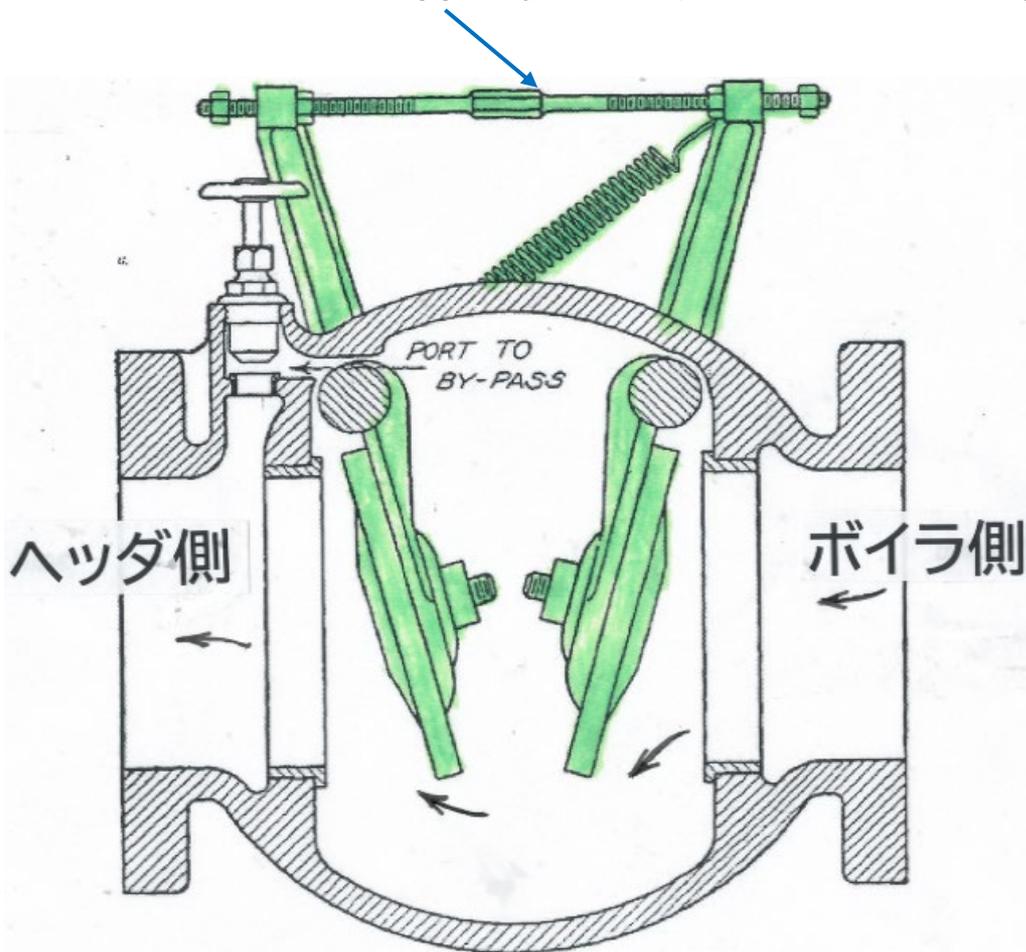
5. 逆止弁-9

自動逆止・緊急時遮断弁

1910年代

ボイラ～蒸気ヘッド間に置き、逆止弁と自動遮断弁を兼務するもの

リンク棒の長さを短くすると、定格流量が少なくなる。



通常運転時の弁体位置

Crane-Erwood 社製

ばねは圧縮して取り付けられており、右側の弁体は、ボイラ～蒸気ヘッド間の差圧増によりばね力に打ち勝って開き始める。通常運転時は流れによる開弁力とばねの閉弁力が均衡した開度で運転。

蒸気ヘッド側の蒸気噴出事故で、ヘッド側の圧力が異常に低くなると、蒸気量が増え、差圧大で左側の弁体が全閉。

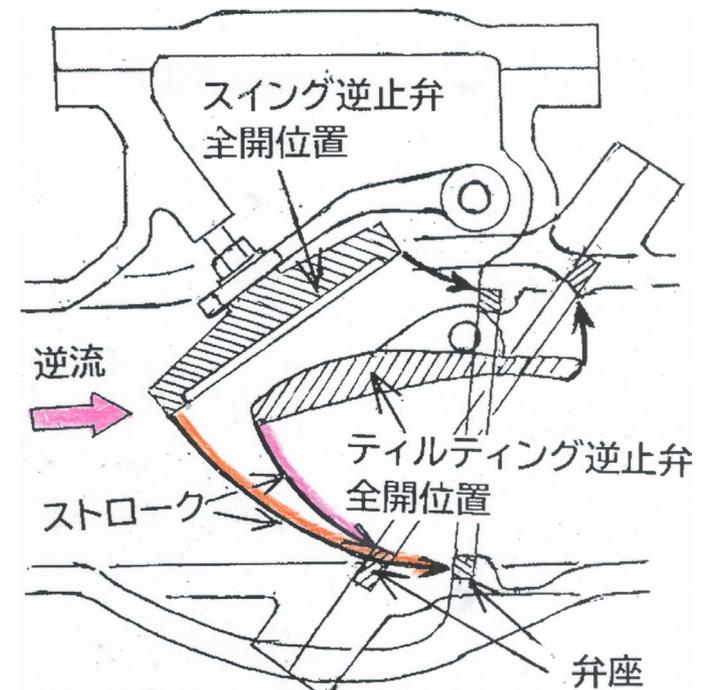
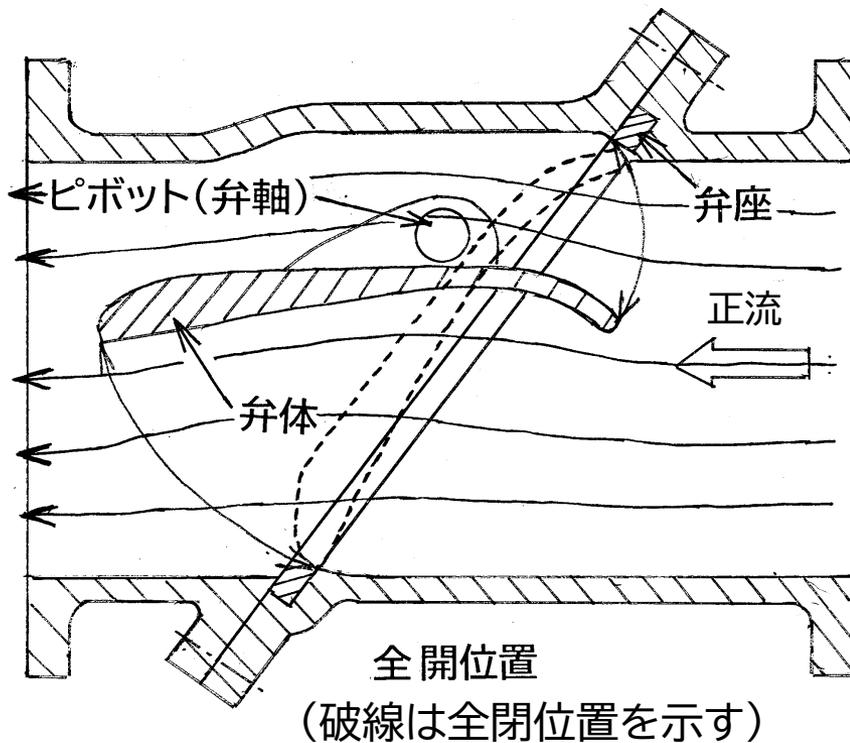
ボイラ側の蒸気噴出事故で、ボイラ側圧力が下がると、ばねの力により右側の弁体が急閉。

5. 逆止弁-10 ティルティング逆止弁

1940年代後半

米国、Chapman社が開発

- 特長
1. 閉止に要する時間が短い
 2. 全開時の損失水頭が従来型に比べ、若干小さい



資②⑦

ティルティングの方が従来型より
[全開⇒全閉]ストロークが短い。
従って、全閉に要する時間が短い。

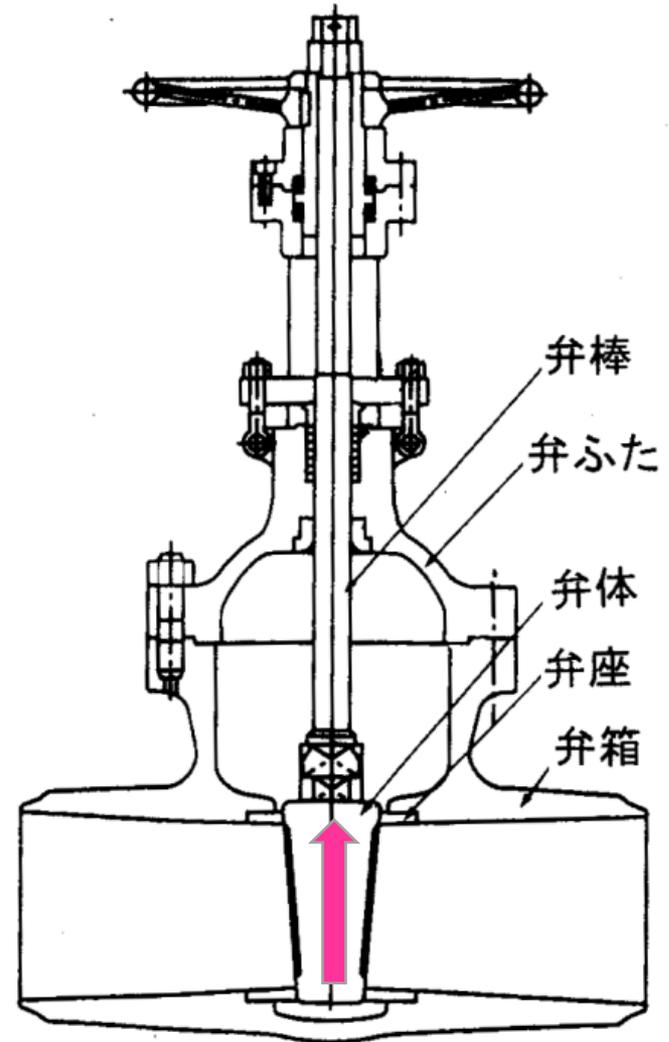
6. 仕切弁

円盤状の弁体を管軸に対し垂直に上下させて開閉させる弁

水路用門はスルース(sluiice)・ゲート
管路用仕切弁はスルース・ゲート・バルブ

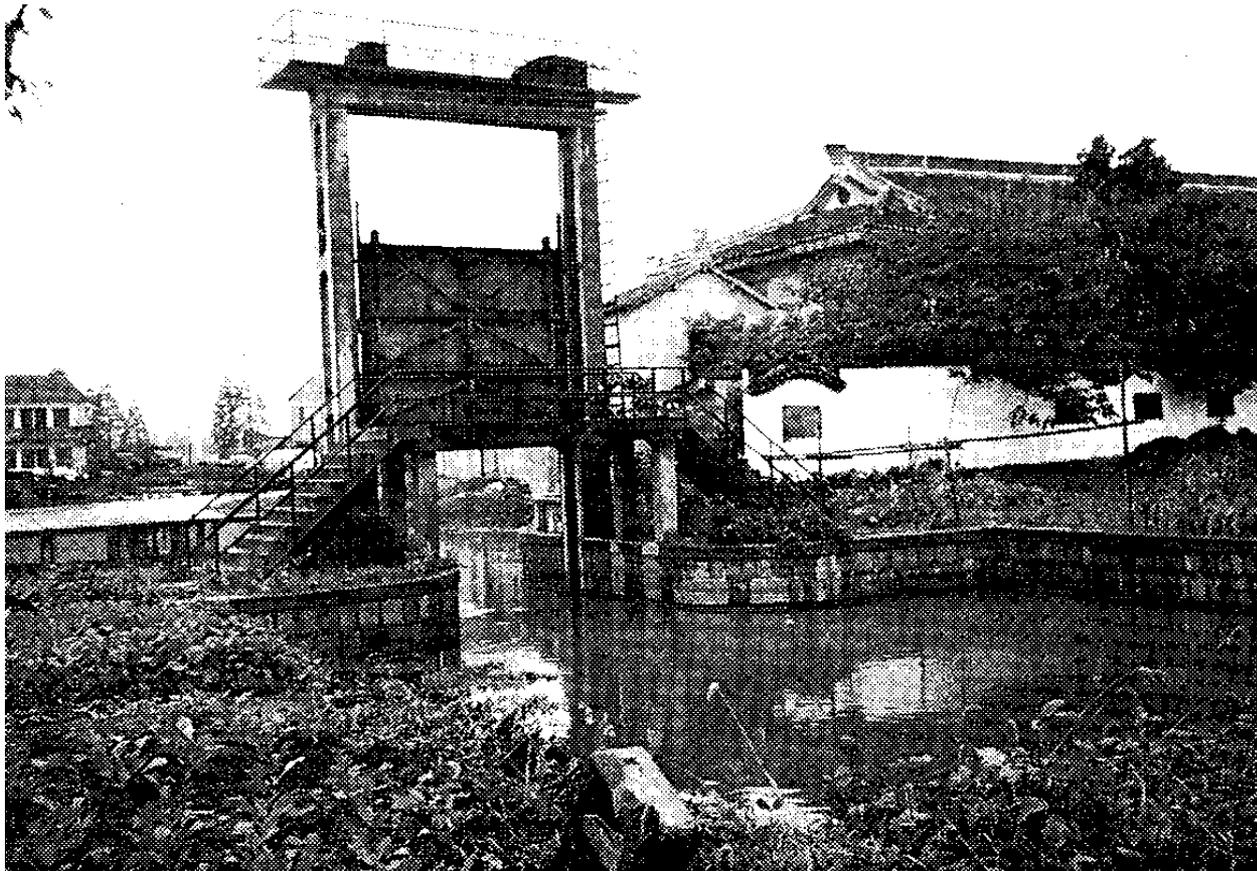
仕切弁の進化の方向

- 古代中国、他 水門
- 1840年頃 現在の仕切弁原型の特許が提出された。
- 1850年前後 米国でバルブメーカーが続々誕生した時期で、仕切部の密封性に工夫をこらした各種弁体の原型が実用化され使われた。
- 1910年ごろ 現在の仕切弁に近い弁体形式がほぼ完成した。
- 1950年代後半 プレッシュヤシール弁の開発
- 1960年 ソフトシール弁



6. 仕切弁-2 水門は仕切弁のルーツ

中国浙江省の水門(現代)



資③2000

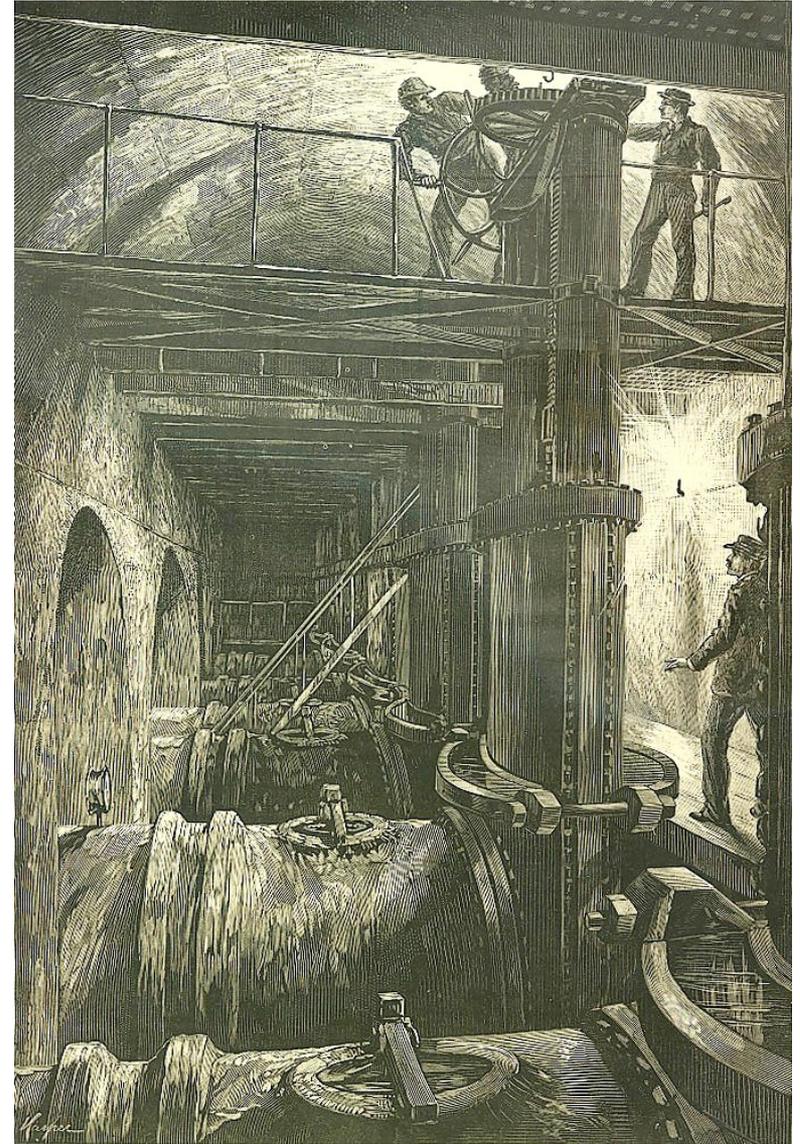
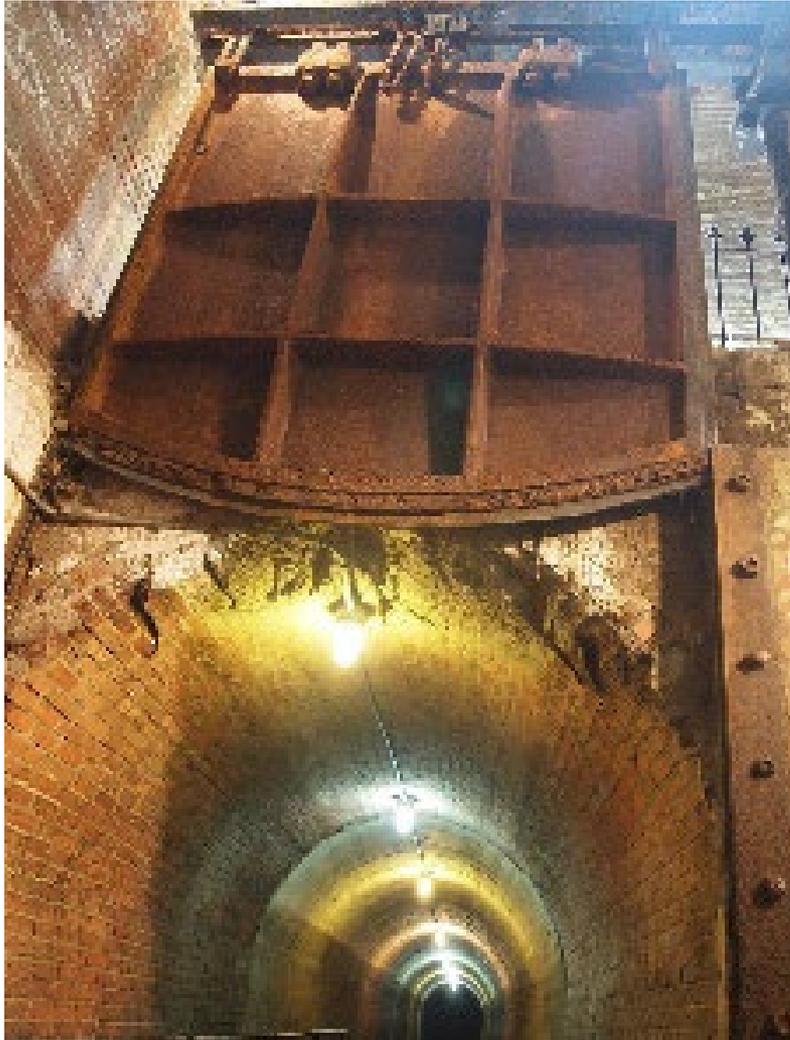
中国の最も古い水門の記述は、BC422(戦国時代)に見られる。
農業土木学会論文集 第203号(第67巻 第5号) 中国における灌漑管理の史的考察

陳菁*眺漢源*

6. 仕切弁-3 近代の水門

クロトン導水路の仕切装置の上部
(左の写真とは別の装置と思われる)

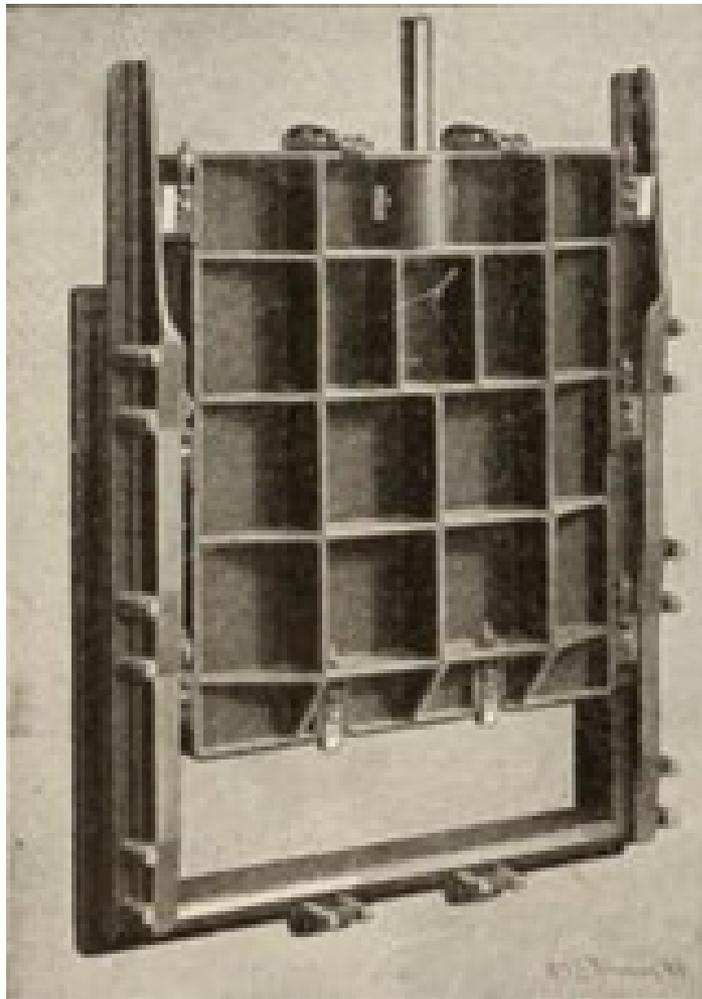
1842年クロトン導水路(米国)の水門



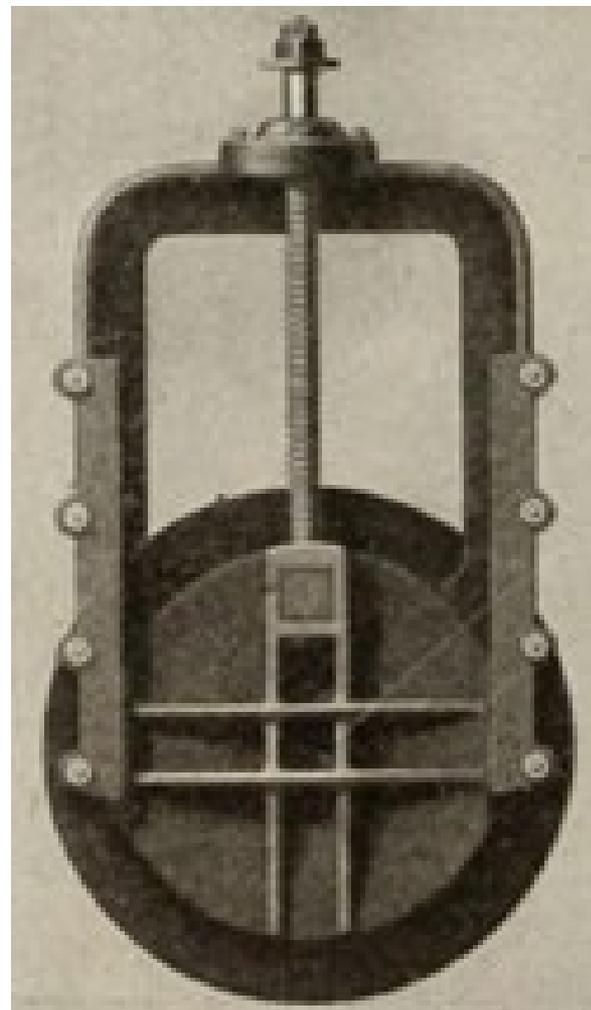
資⑦

資④1881

6. 仕切弁-4 1910年代のスルース・ゲート



資⑤1919

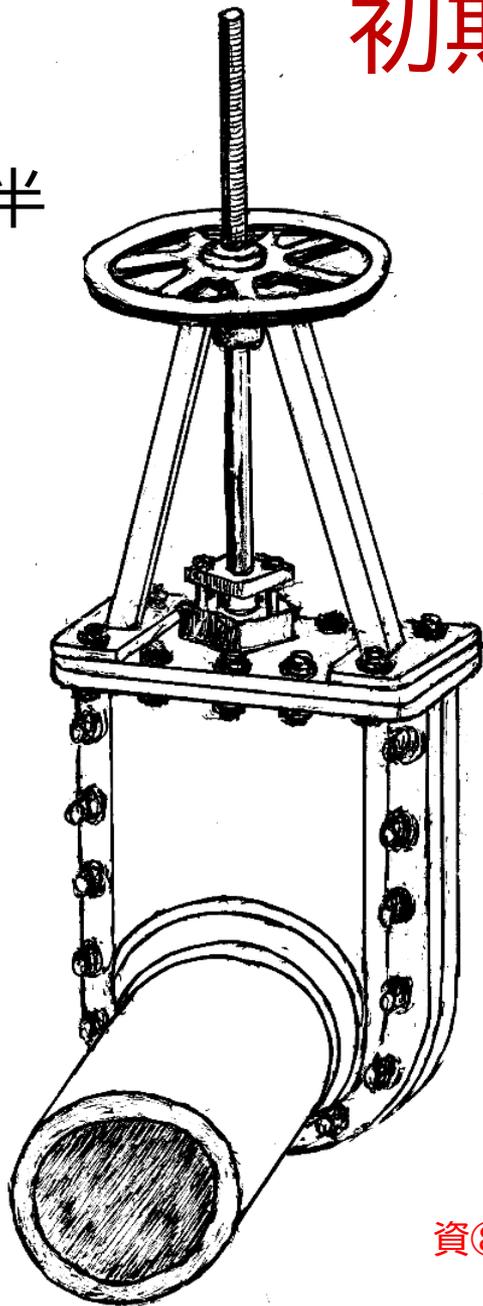


資⑤1919

6. 仕切弁-5

初期の仕切弁

19世紀後半



1839年、英国人、ジェームズ・ナスミスが現在の仕切弁の原型である、楔形弁体を持つ仕切弁を設計した。

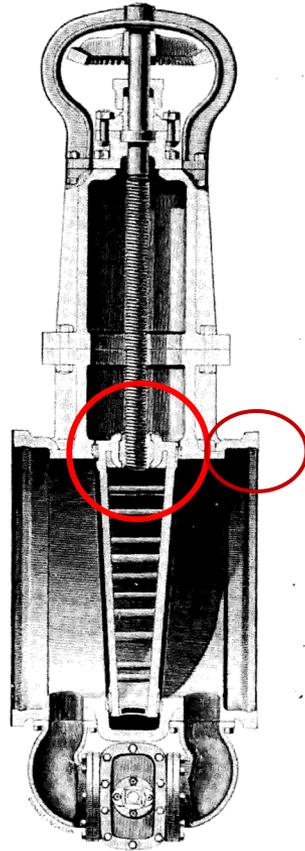
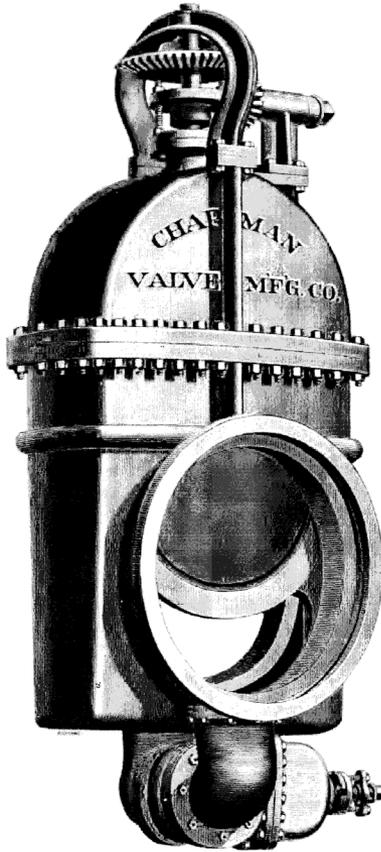
左の図は、米国、初の木管製天然ガスパイプラインに設けられた仕切弁(1850年代?)。

弁箱は二つ割れの鋳鉄製、不細工ではあるが、外ねじ・ヨーク式(OS&Y)となっている。

資⑧を基に作図

6. 仕切弁-6 1880年代の 仕切弁

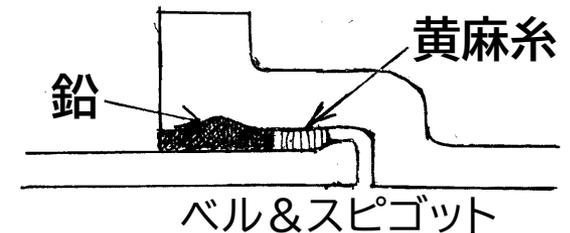
Chapman Valve社製



資⑨1888



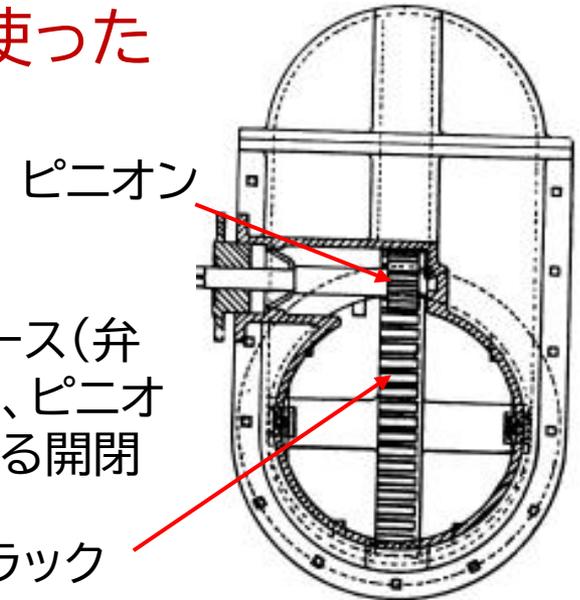
左側の弁:減速ギア付、弁箱、弁体:鋳鉄製、弁棒は内ねじ式管との接続はベル&スピゴット(印籠式)の可能性。流体が蒸気の場合、右側の弁のようにフランジ採用。ボルト孔がないが、まだフランジの規格がなかったので、管側フランジに合わせ、後でボルト孔加工したものと思われる。なお、30年後の1917年発行のCrane社のカタログには、鋳鋼弁が頻出している。



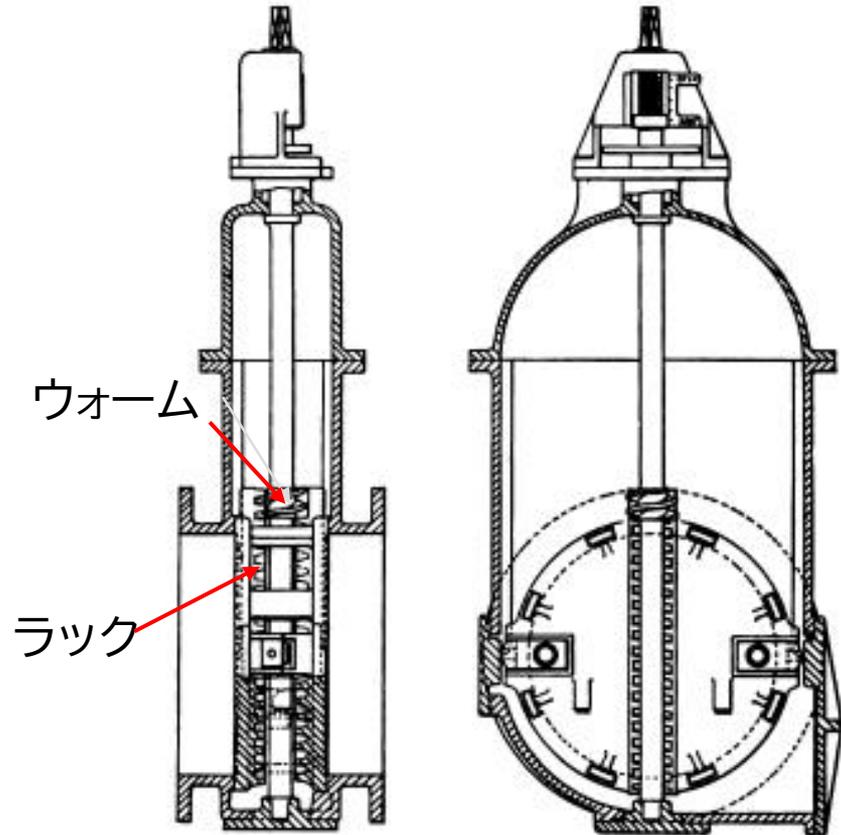
6. 仕切弁-7 ウォーム、ピニオン、ラックを使った仕切弁開閉機構

1900年代

シングル・フェース(弁座が一面のみ)、ピニオンとラックによる開閉機構



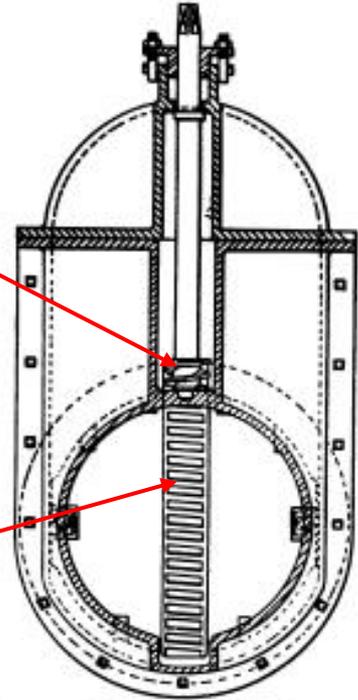
valve, operated by Rack and Pinion. Donkin Co., Ltd.)



ダブル・フェース(弁座が2面ある)、ウォームとラック による開閉機構

ウォーム

シングル・フェース、ウォームとラックによる開閉機構



ラック

6. 仕切弁-8 三つの扉がある 仕切弁

1900年代

大径の高圧用に使われた。

バルブ内径1270mm(50in)。
内部に3つの扉(door)がある。
高差圧に耐え、開閉しやすくするため、個々の扉面積を小さくした？
中央の扉を最初に開ける仕組みとなっている。
弁箱は二つ割りで製作され、併せてからボルト締めされている。

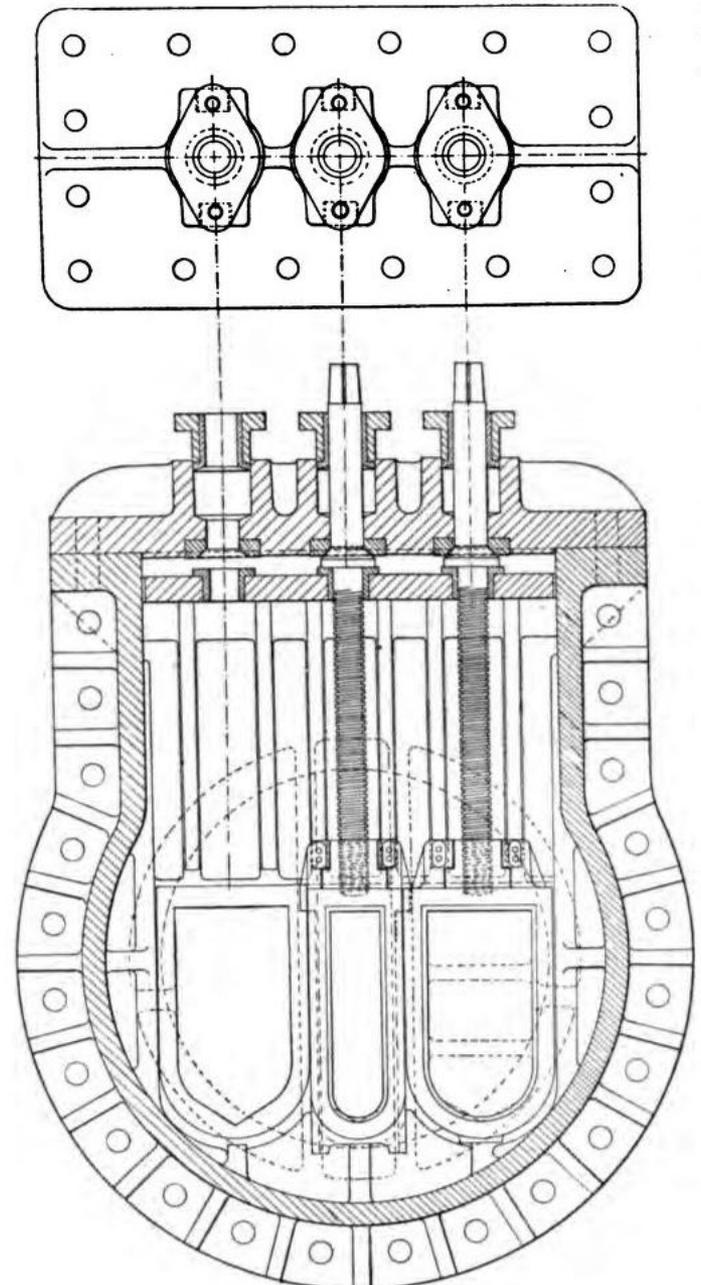
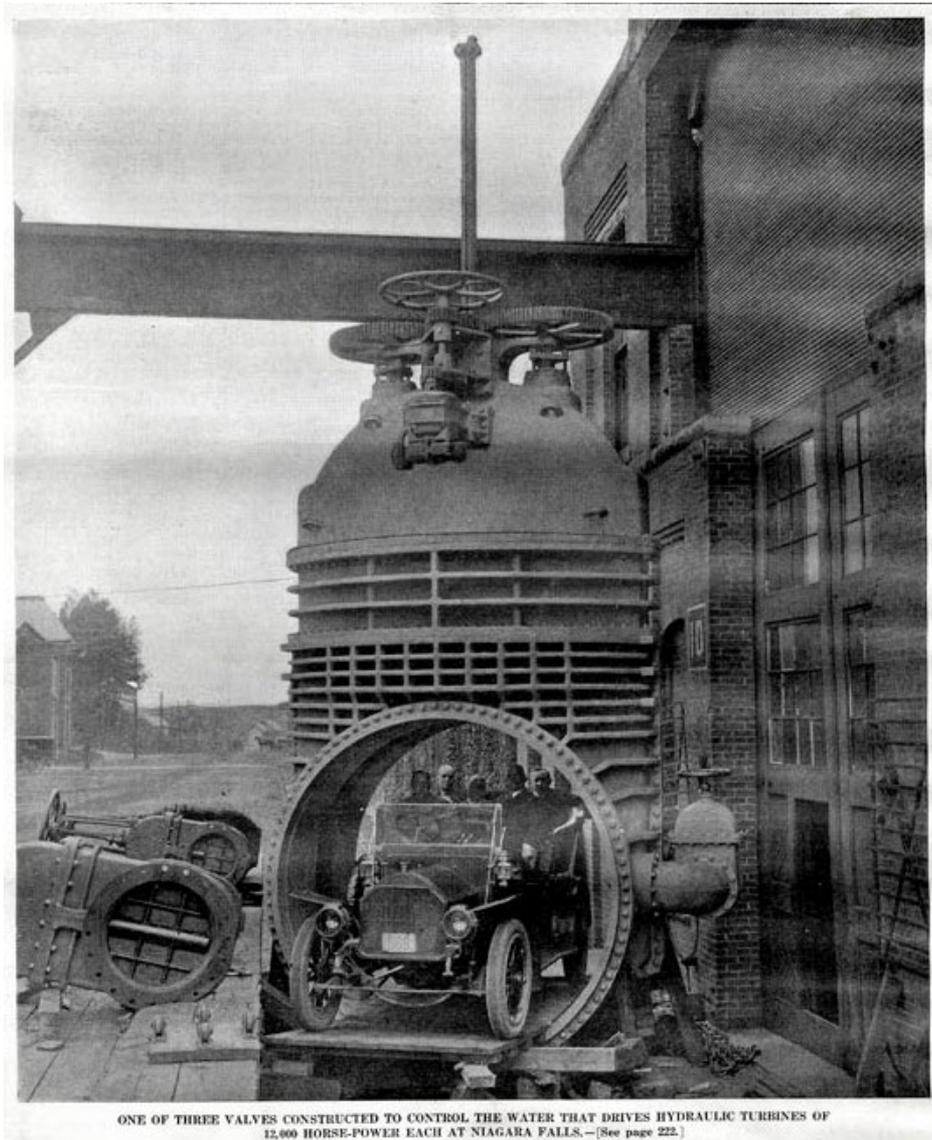


Fig. 229.—Sluice Valve with Three Doors.

6. 仕切弁-9 20世紀初めの大口徑仕切弁



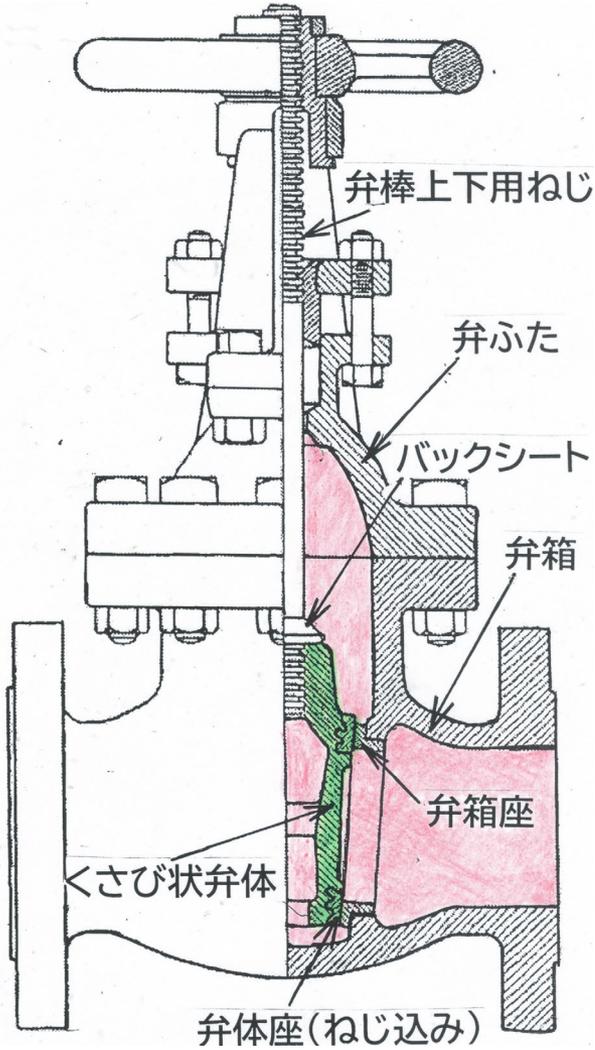
ONE OF THREE VALVES CONSTRUCTED TO CONTROL THE WATER THAT DRIVES HYDRAULIC TURBINES OF 12,000 HORSE-POWER EACH AT NIAGARA FALLS. -[See page 222.]

ボンネット前面にモーターらしきものが認められる。手前の丸いのが手動ハンドルで、後方の丸いのが減速ギア。垂直に上へ伸びているのは弁棒(全開位置)。

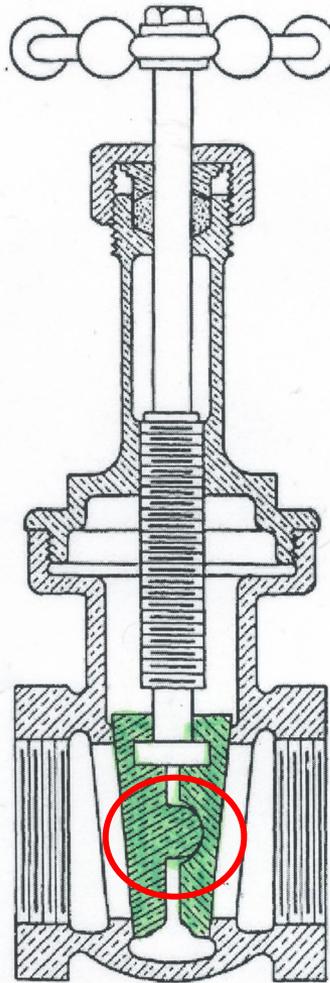
ナイアガラ・フォール発電所 水車入口弁

資④Mar.4 1911

6. 仕切弁-10 1910年代の仕切弁(その1)

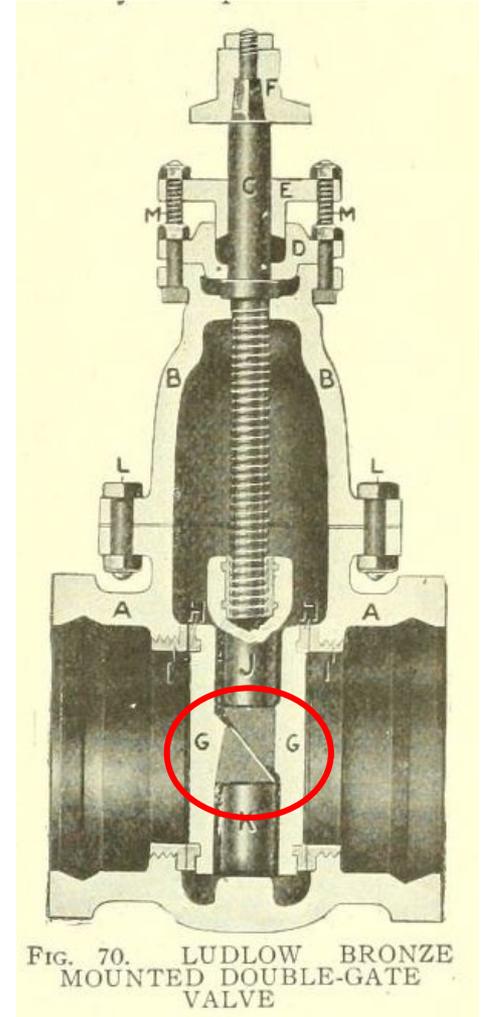


ウェッジタイプ・
ソリッド・ディスク弁

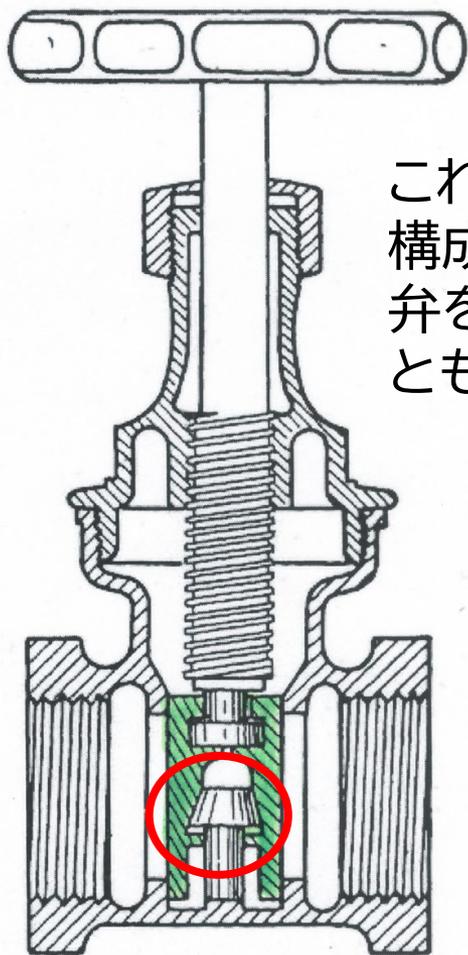


スプリット・ディスク弁 平行・スライド弁
弁体を二つに分割し、弁座が馴染み易くしてる。

資②1918

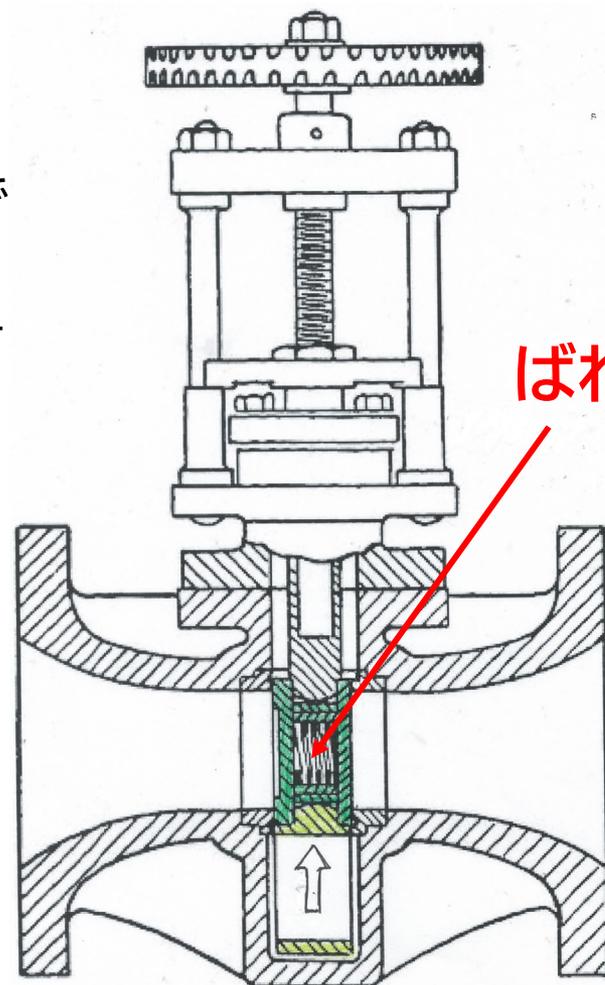


6. 仕切弁-11 1910年代の仕切弁(その2)



これら2枚のディスクで構成される弁体を持つ弁をダブル・ディスク弁とも呼んだ。

資②1918

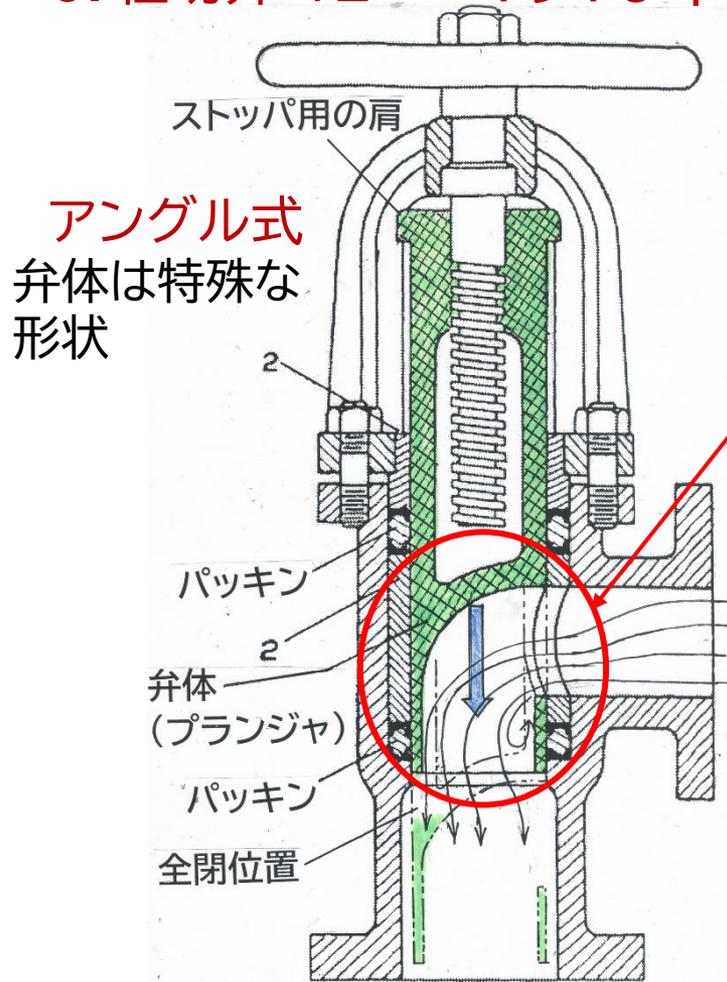


平行・スライド弁：押し付けて、弁体を拡げ、弁箱座に押し付ける。

ベンチュリ・平行・スライド弁：板ばねで弁体を弁箱座に押し付ける。

平行・スライド弁は、19世紀末に登場(英国、J.Hopkinson & Co.)

6. 仕切弁-12 1910年代初めの頃の 仕切弁(その3)

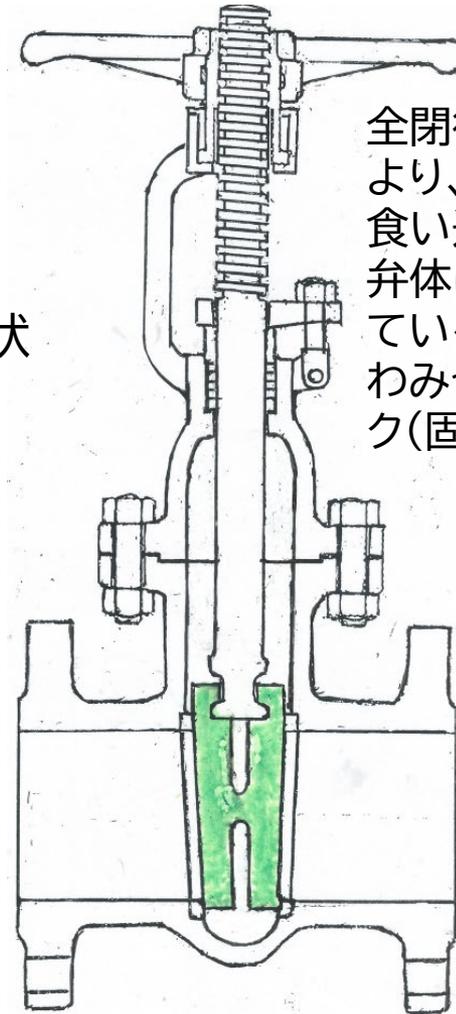


アングル式
弁体は特殊な
形状

流路がエルボ状
をしている

資②1918

Yarnell-Waring 社製
Yarweyと改称、1986年、Keystone社
に買収された。
Nelson Valve 社も同様のバルブを製造。



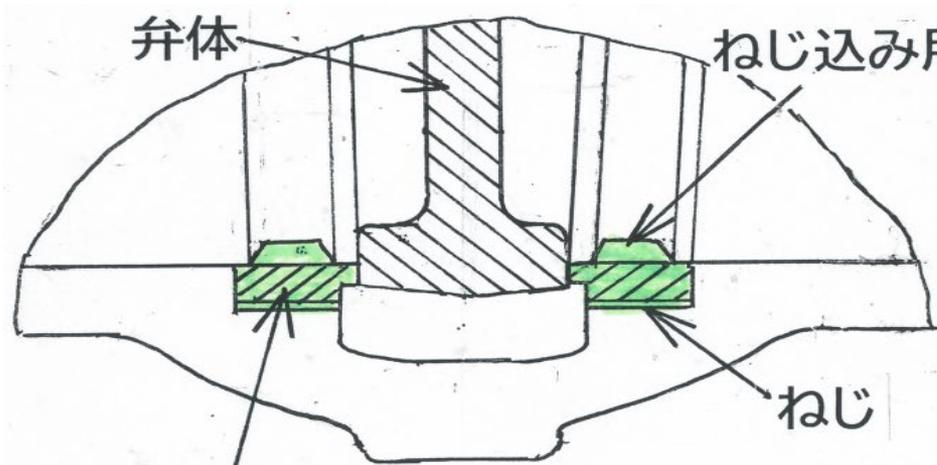
全閉後の温度変化に
より、弁体が弁箱座に
食い込んだ場合でも、
弁体にスリットが入っ
ているので、弁体がた
わみやすく、スティッ
ク(固着)を防ぐ

フレキシブル・ディスク
1922年のカタログに出ていない
ので、登場時期はもっと後か？

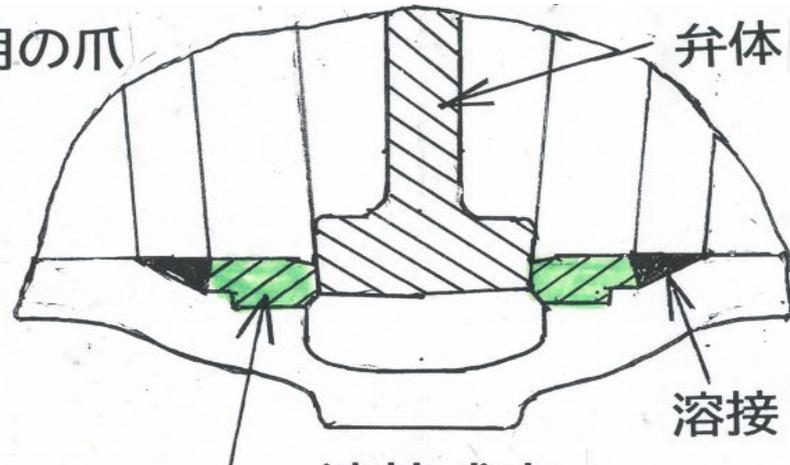
6. 仕切弁-13 バルブシートの進化

ねじ込み式座

19世紀末 溶接式座 実用化



ねじ込み式座
(弁箱にねじ込んで装着する)

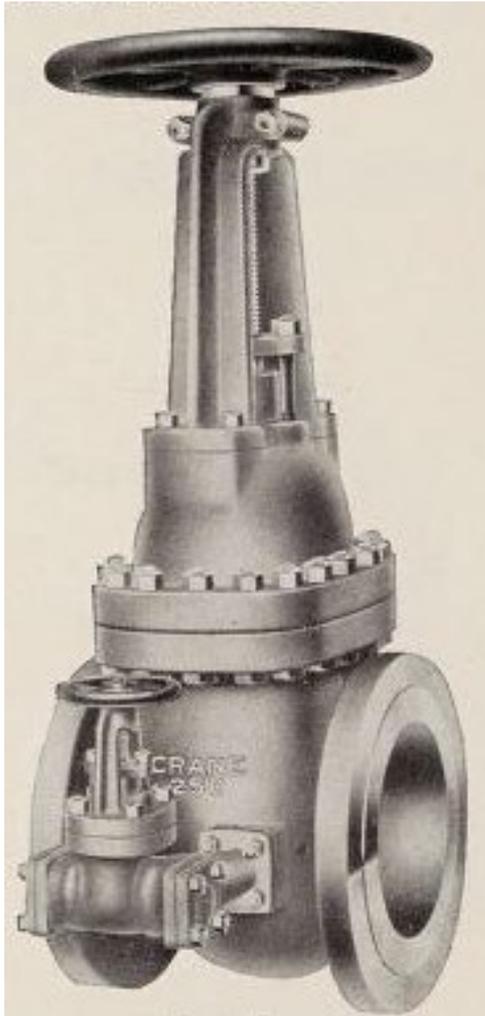


注:1892年 金属アーク溶接法の発明

6. 仕切弁-14

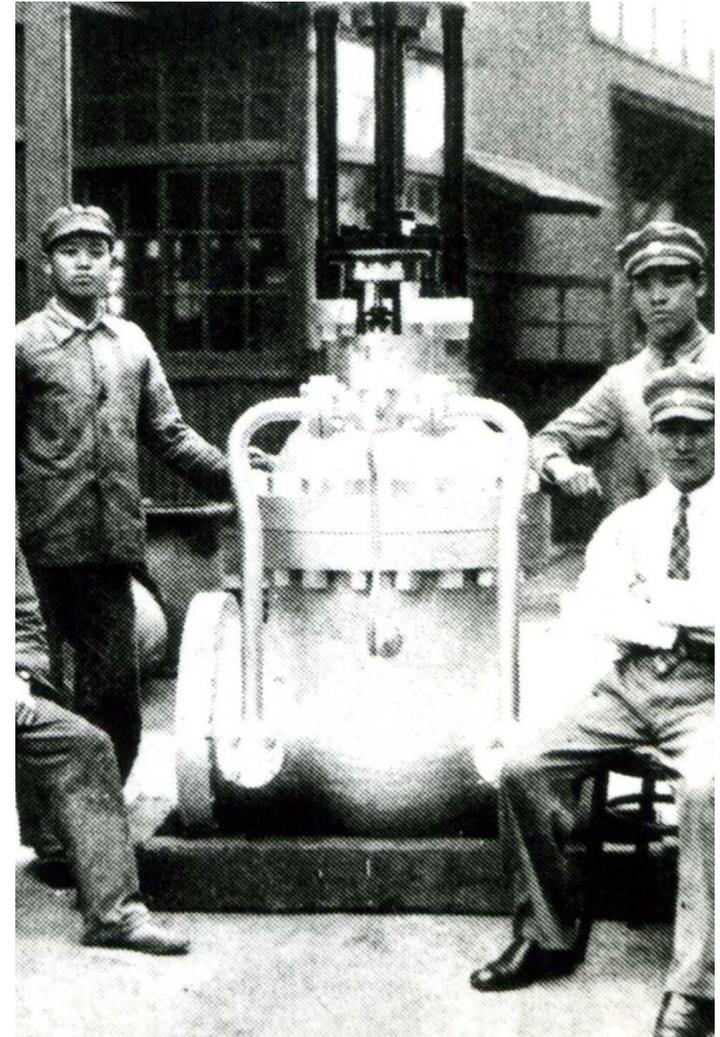
バルブの高圧・高温化

1890年以降、蒸気タービンが火力発電に利用されるようになると、出力の増加が進み、タービン入口の蒸気圧力、温度の上昇が続き、バルブもそれに対応した。



左:米国、クレーン社の1923年のカタログに出ている高圧高温弁。1.8MPa(250psi)、260°C(500°F)まで使えるとしている。

右:1926年にその前身が創業した岡野バルブは、1932年(昭和7年)、それまで輸入に頼っていた火力発電用バルブの国産化に成功、450°Cの高温に耐え、世界で初めて弁座にステライト溶着技術が使われた。

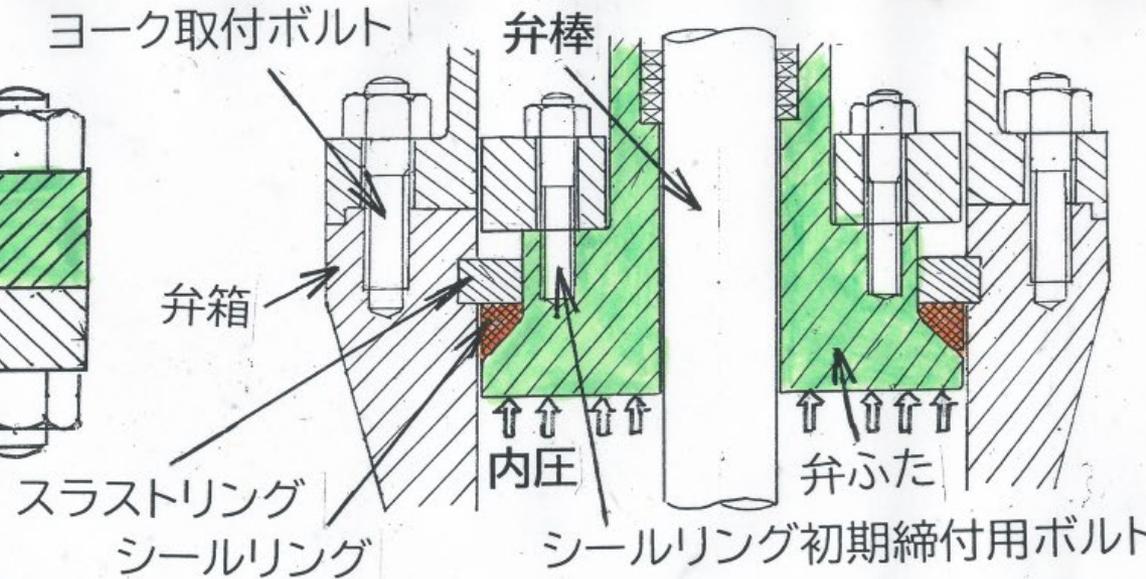
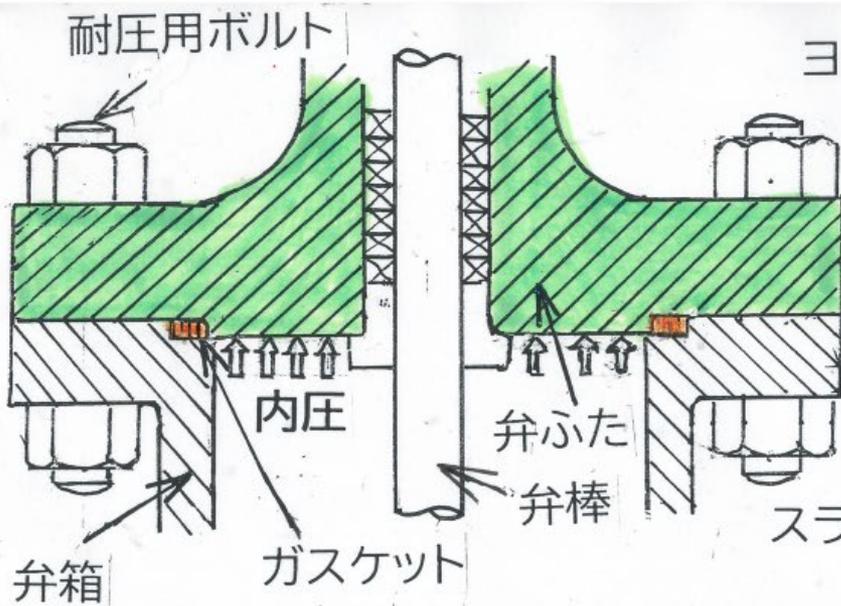


6. 仕切弁-15 バルブ・ボンネット(ふた)の進化

1940年代前半

ボルトテッド・ボンネット・タイプ

プレッシャシール・ボンネット・タイプ



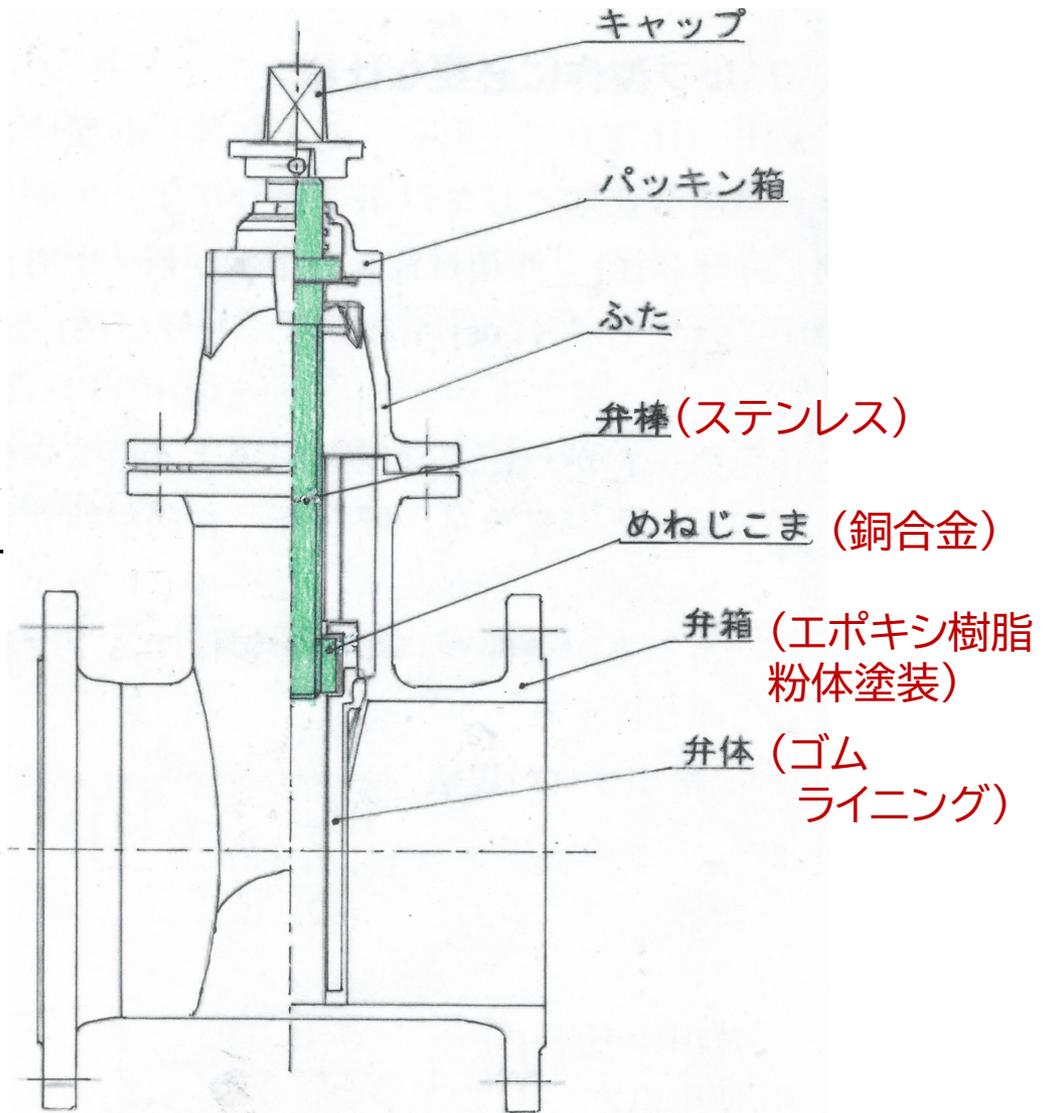
内圧を受ける弁ふた(ボンネット)は、弁ふたと一体の大きな径のフランジとボルトで支持されるので、弁ふた、弁箱、双方のフランジが厚くなり、ボルトは太いものとなる。

内圧を受ける弁ふたは、弁箱内壁の溝に差し込まれたスラストリングで支持されるので、内圧を支えるフランジ、ボルトが不要で、コンパクトになり、バルブ重量はボルトテッド・ボンネットに比べ40%減る。構造は若干複雑になる。

6. 仕切弁-16 1960年 ソフトシール弁

水道用仕切弁として、1960年にドイツで開発され、水道分野で、急速に金属製弁座の仕切弁から、取って代りつつある。ゴムでくるんだ弁体を、エポキシ樹脂で粉体塗装した弁箱に圧着させ、止水するもの。

弁体・弁箱はダクタイル鋳鉄、弁棒はSUS、めねじこまは銅合金。



6. 仕切弁-17 バルブ駆動装置の必要性

1904年の文献(下記の資を参照)に次のような記述があり、電動駆動装置は1900年代に実用化されたと思われる。

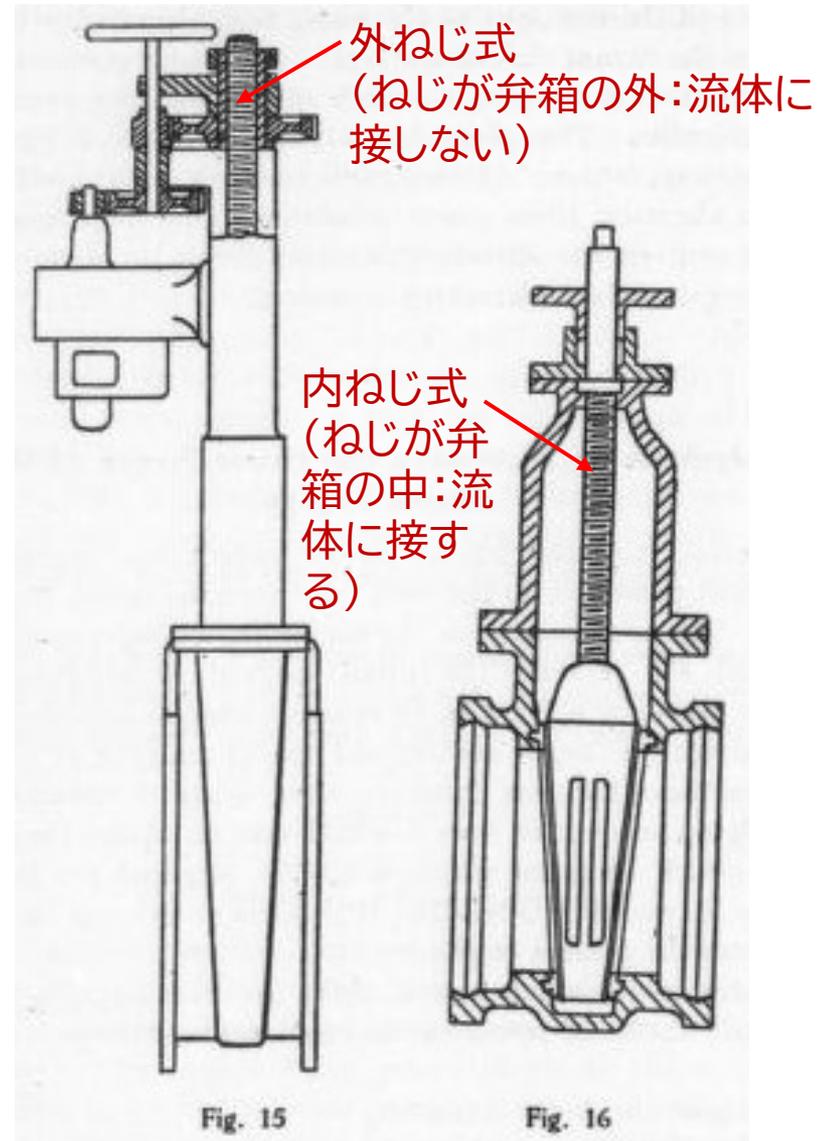
“ボイラ主蒸気管が破損した場合、緊急に蒸気の流れを止める必要がある。最近の大型火力発電プラントでは径が600から1500mmのバルブが使われる。これらのバルブを閉めるには多大の時間を要し、しばしば、これらバルブが非常用として使用されねばならず、機械駆動によってバルブを閉める必要のあることがわかった。

一つの方法は、Fig.15 のようにバルブステムにギアを装着し、ヨークに取りつけた小さな電動モータで動かすものである。

もう一つの方法は、シリンダーをヨークに固定し、シリンダ内の、バルブステムに直結したピストンで動かすもので、駆動力には蒸気、空気、水圧を使うことができる。”

なお、Fig.15、Fig.16で、ステムの外ねじ式、内ねじ式の特長も併せ、説明している。

資④Dec.1903



7. 玉形弁

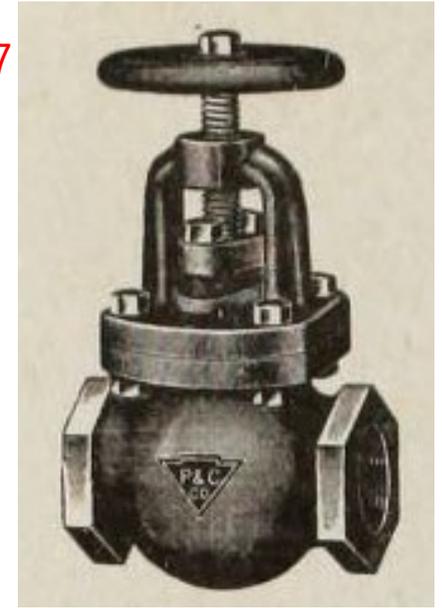
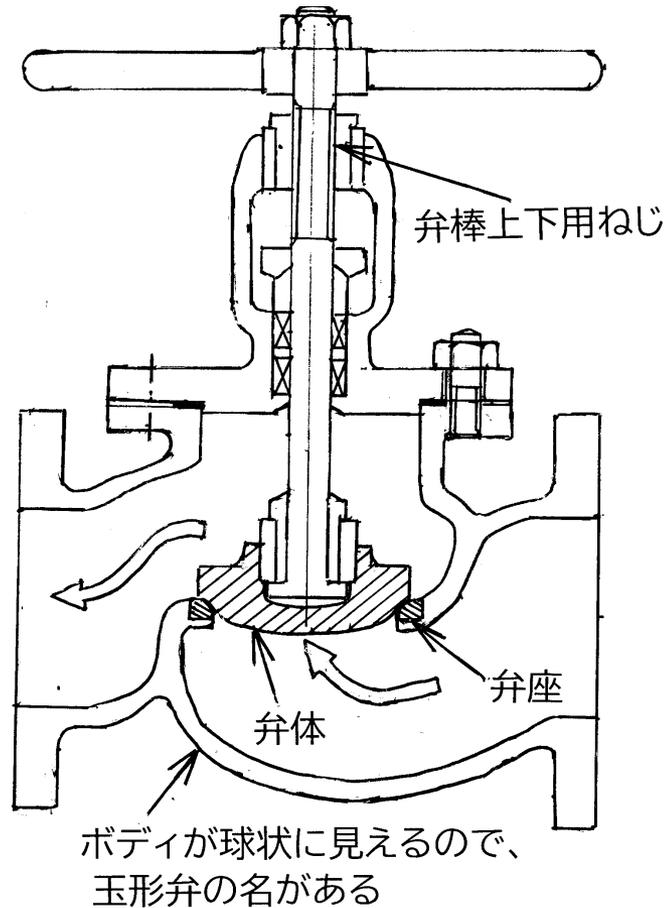
資⑤1917

円盤またはプラグ状の弁体を流れと直角方向に上下させて開閉する弁。部分開度で使い、流れを絞ることもできる。流れはポートの下から上へ抜ける。

玉形弁の 進化の方向

弁体の形状により、特有の流量特性がある。

流量特性 パラボリックタイプ
 ニードルタイプ
損失低減 アンクル弁
 Y形グローブ弁



1910年代の玉形弁



現代の玉形弁 資⑬

7. 玉形弁-2 カラン(水道蛇口)の進化

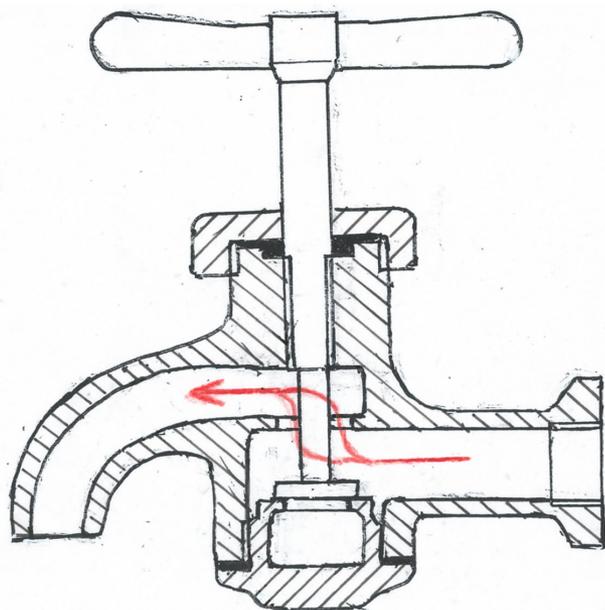
16世紀以前は、ねじを必要としないコックがカランとして使われていた。工作機械で金属にねじが切れるようになるのは、ヘンリー・モズレーが旋盤を発明した1800年以降。

モンサン・ミッシェルのカラン



資③2016

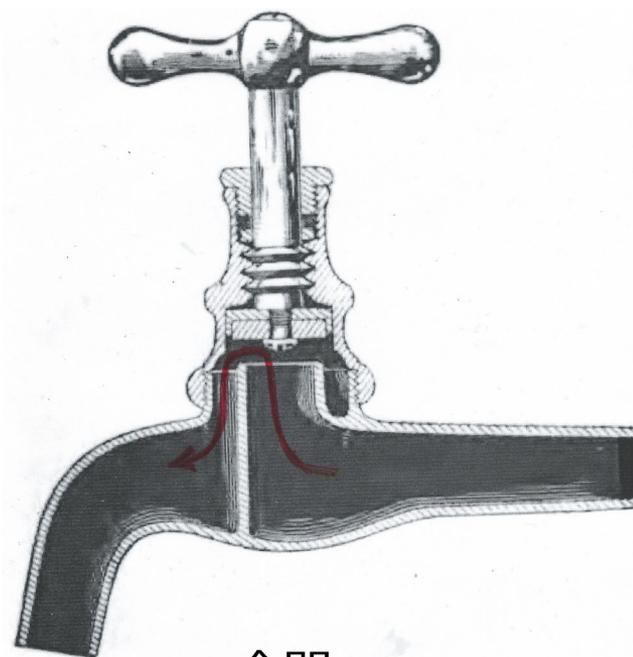
1848年、特許を得たカラン



全開

資⑭の図より作図

19世紀末ごろのカラン



全開

資⑰1904

現在のカランの構造と異なる

7. 玉形弁-3

玉形弁の進化

1900年代の玉形弁

1865年、現在の形をした玉型弁

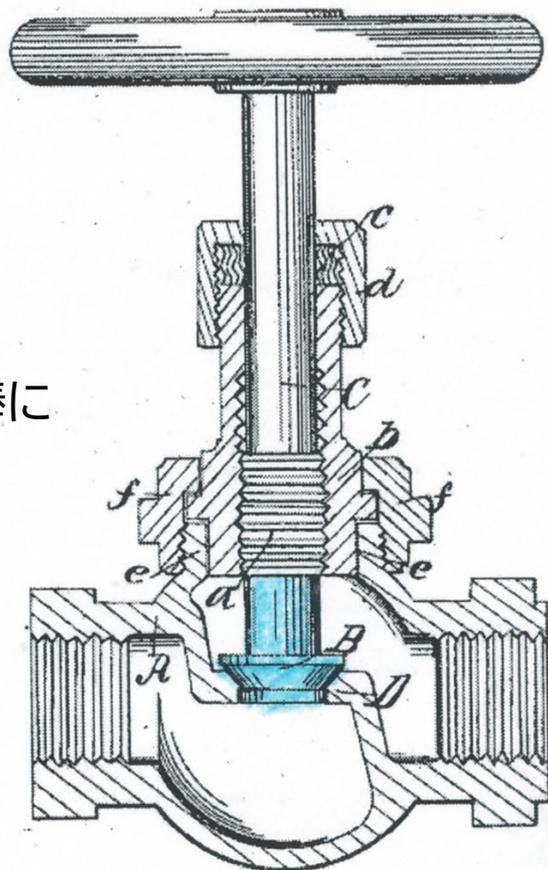
F. Lunkenheimer,

Globe Valve,

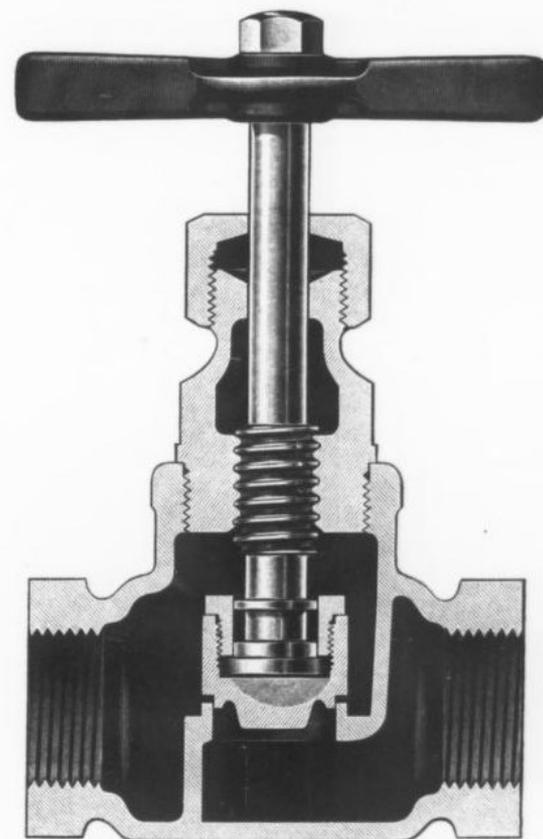
No. 46,685, Patented Mar. 7, 1865

特許

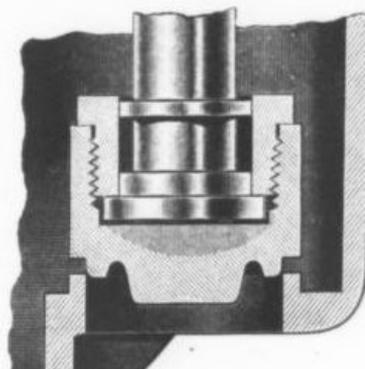
Fig. 1



弁体は弁棒に
固定



Hancock Valve.

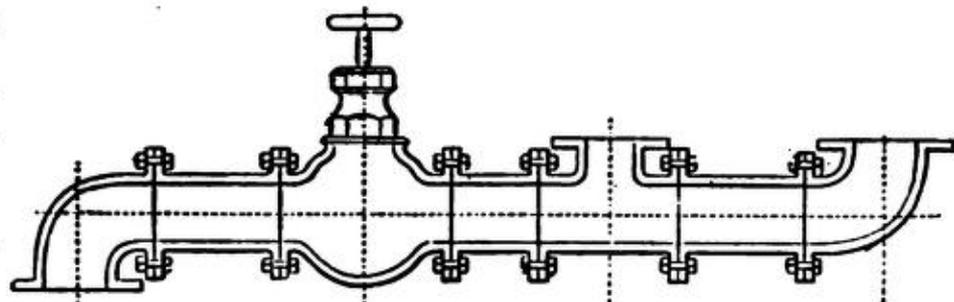


弁体は弁棒に対し、
若干のフレキシビ
リティを有する。

資⑮
1865年の特許図

資④ Dec. 1903

7. 玉形弁-4 1900年代の 玉形弁、他



Globe Valve.



Angle Valve.



Cross Valve.



Flanged Globe Valve.



Flanged Angle Valve.



Flanged Cross Valve.

低圧蒸気加熱
プラントに使
われたバルブ
球状の弁箱が
多い。



Globe Valve with Yoke.



Angle Valve with Yoke.



Cross Valve with Yoke.



Horizontal Check Valves.



Back Pressure Valve.



Safety Valve.



Angle Check Valve.



Safety Valve—Low Pressure.

上の列は、スクリュウ
ド・ボンネット式、
中の列はヨーク付き
フランジ・ボンネット
式の玉形弁、アング
ル弁、他。
下の列は、錘式逃し
弁、他

7. 玉形弁-5

2重弁座の玉形弁

(ホプキンソン社の特許)

1900年代初頭

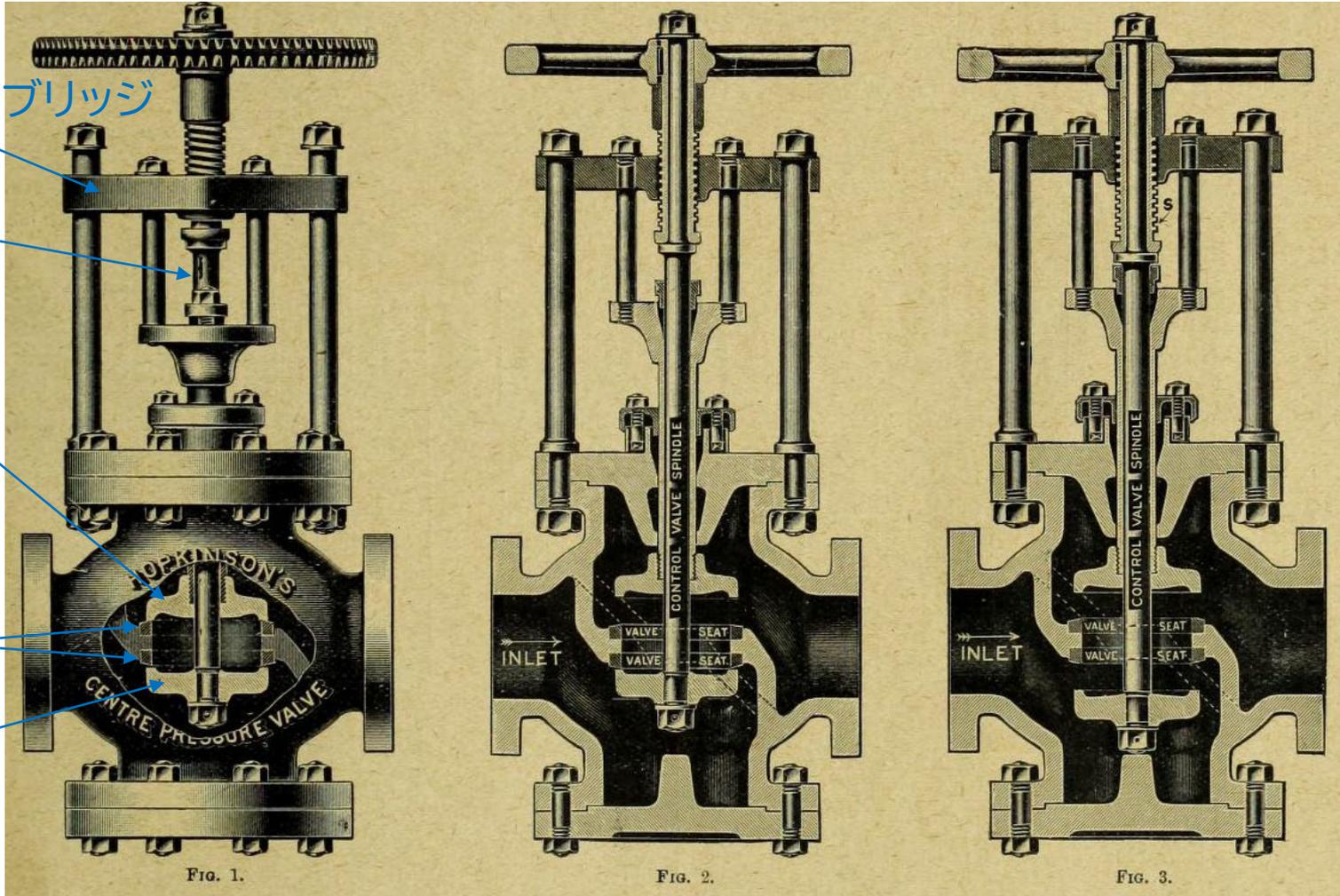
C:フローティングブリッジ

スピンドル

A弁

弁座

B弁



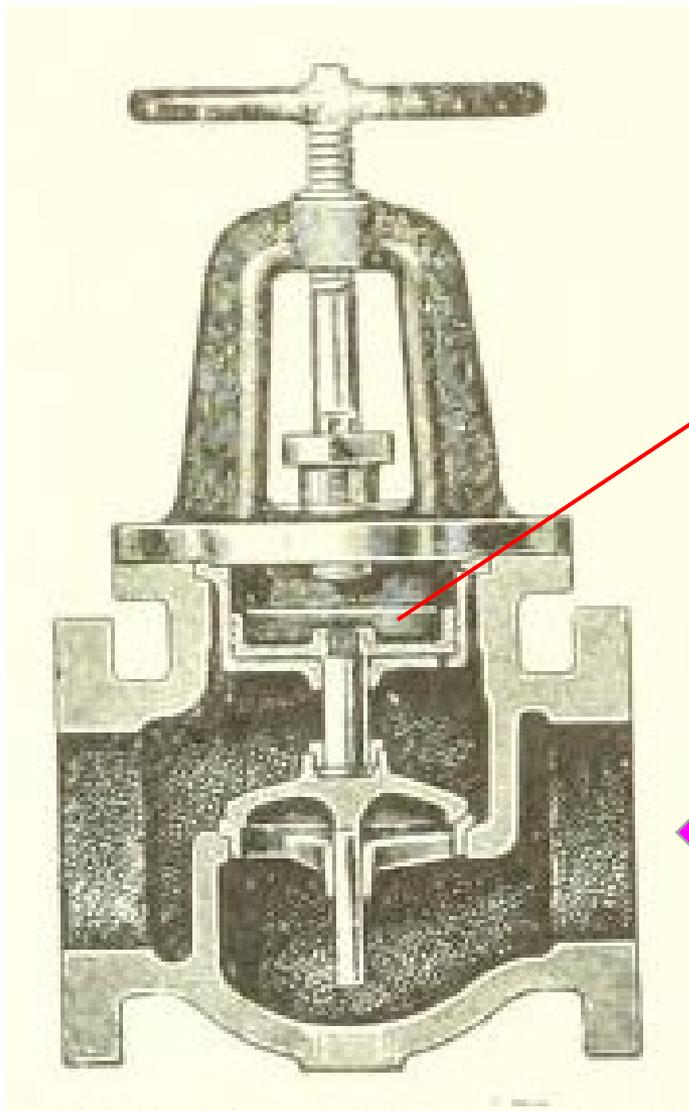
資④Dec.30
1904

このバルブの名称は、“Centre-Pressure Valve”となっているが、2重弁座の目的は、2重弁座の採用により高压高温蒸気に対するシートの気密性をはかったのではないかと推定される。

開弁動作順序: 1. 閉状態(Fig1)でハンドルを開方向へ回すと、Cが上昇し、それに伴いA弁が上昇。Cがストッパにぶつかる(Fig2)。2. さらに同方向にハンドルを回すと、スピンドルが下降し、B弁が全開位置に達する。

7. 玉形弁-6 1910年代

グローブタイプ・ストップ・チェック弁



平常は逆止弁として使われるが、閉止弁として使うときは、ハンドルを使って閉める。

起動時の弁体の衝撃を緩和するクッションの役割をする部屋。

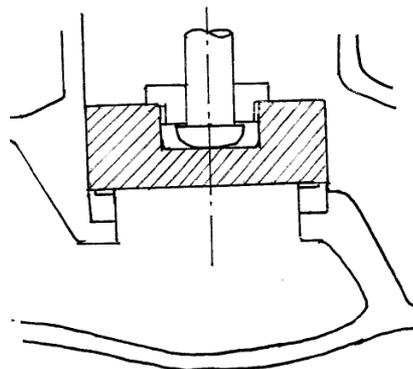
← 正常流

全閉状態を示す

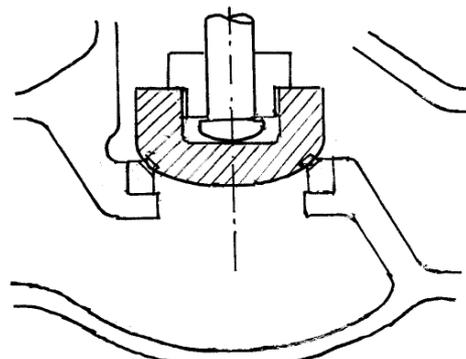
7. 玉形弁-7 玉形弁の弁体多様化

より調節しやすい各種の弁体形状が開発された。

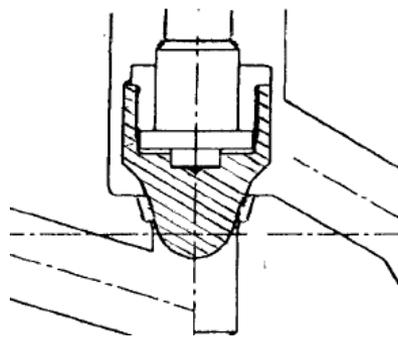
流量がより精密に調節できるニードル弁は日本のフジキンが1953年に開発した。



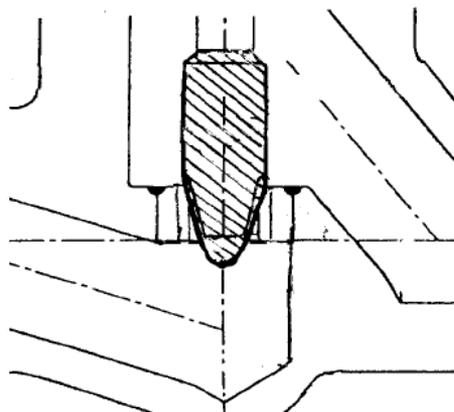
平形



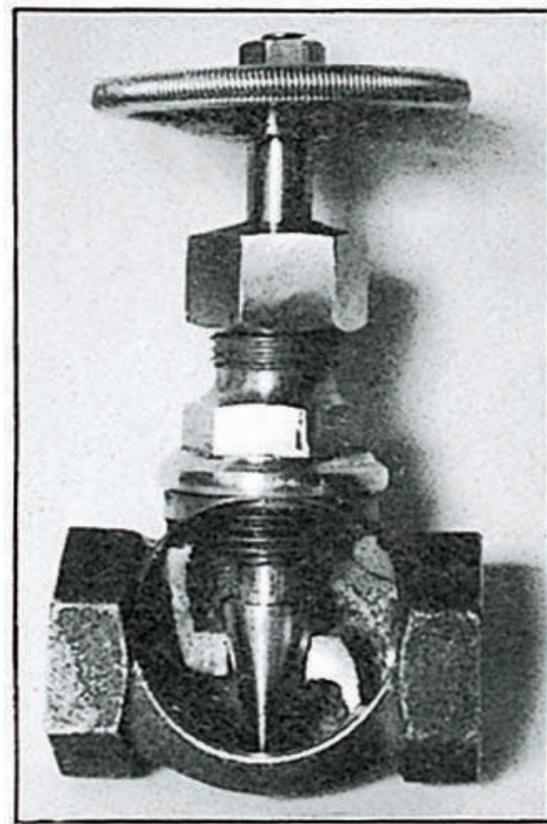
コニカル形



パラボリック形



ニードル形



フジキン開発のニードル弁 資④

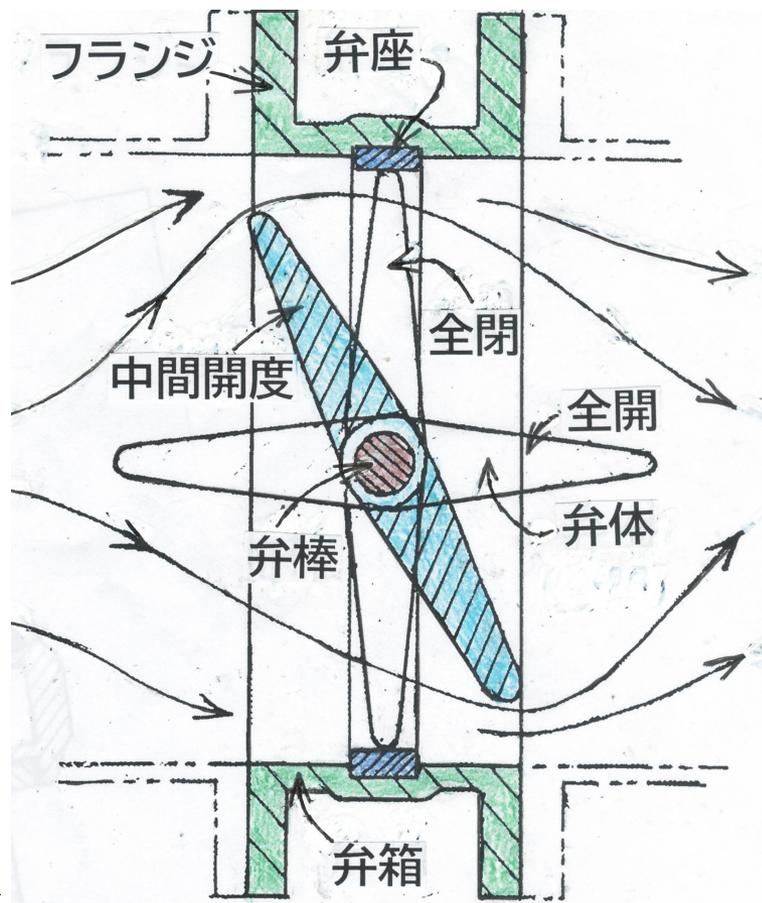
8. バタフライ弁

バタフライ弁は全閉時、弁体座が弁箱座を摺動する構造のため、若干の漏れは避け難かった。従ってバタフライ弁は当初調節弁として使われた。

例:18世紀後半、ワットの回転速度調整弁、
1901年のメルセデス車のペダルに連結した燃料調節弁。

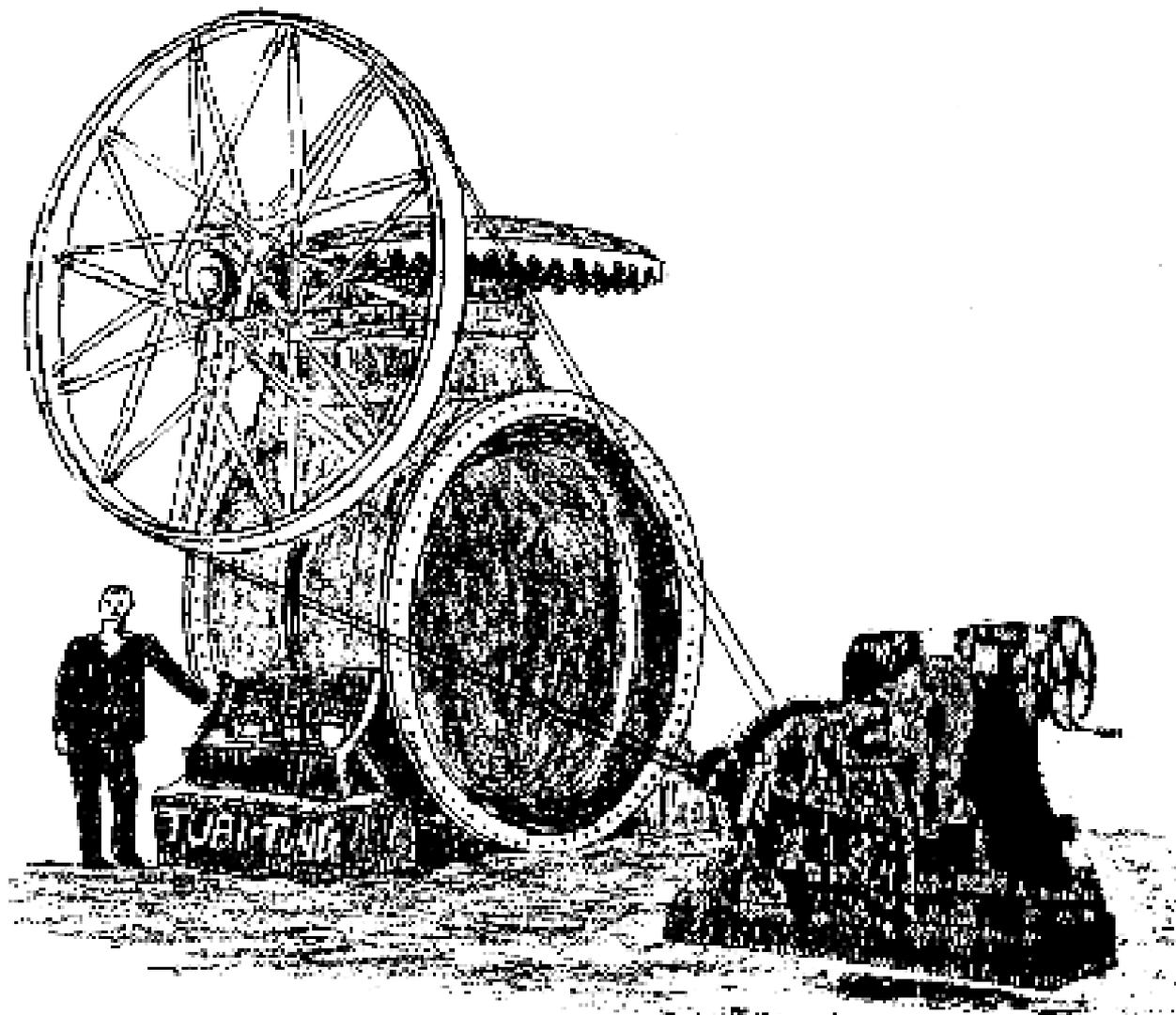
バタフライ弁の 進化の方向

- 面間小、軽量 ⇒ 大径弁に優位(特長)
- 気密性 ⇒ ウシオ弁、合成ゴム座
- 軽量化 ⇒ ウェハー形(フランジレス)、複葉式
- 高圧・高温仕様 ⇒ ハイ・パフォーマンスバルブ
- 絞り運転対応 ⇒ 耐キャビテーションバルブ
- 耐食性 ⇒ オールゴムライニングバルブ

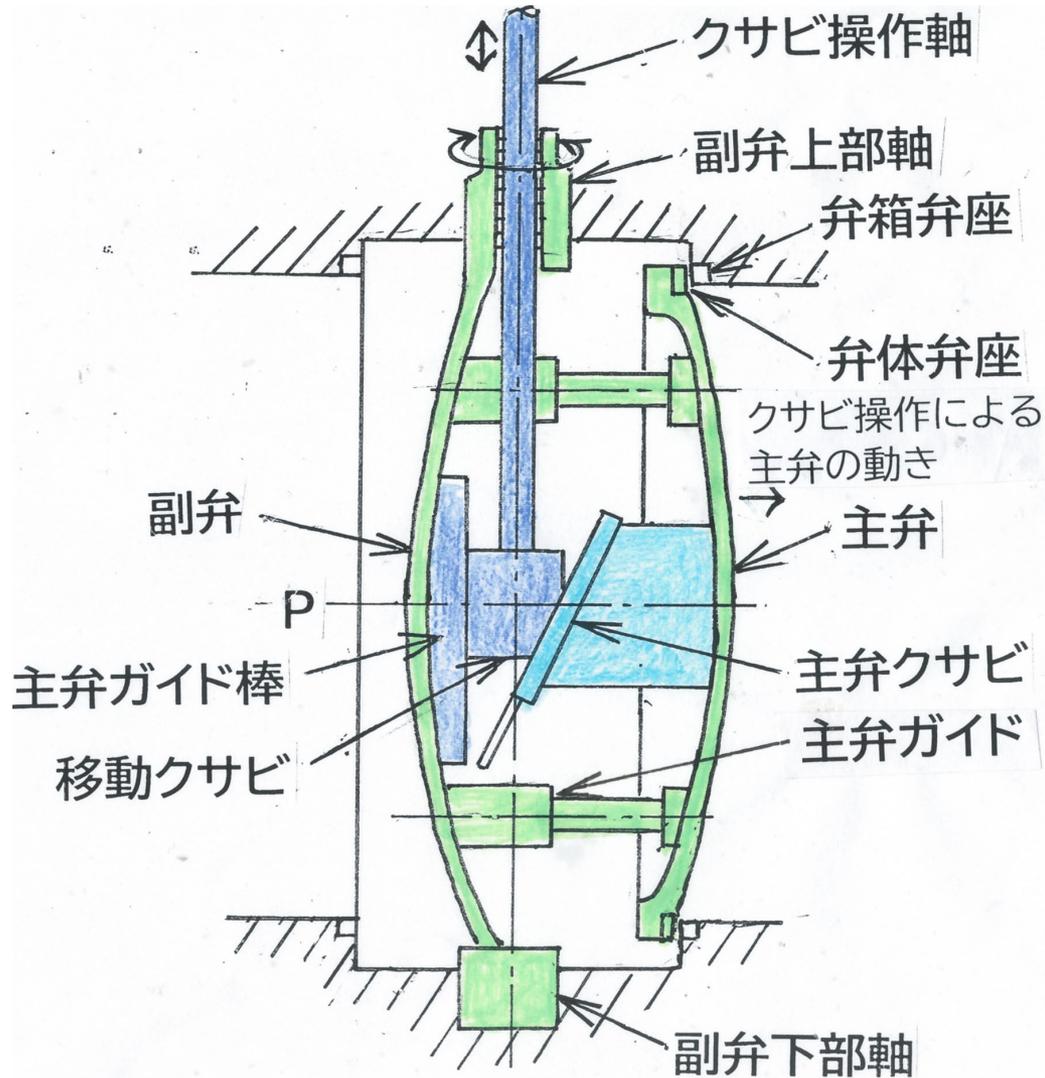


流量を調節

8. バタフライ弁-2 1920年代 イタリア(TUBI TOGNI社製)の 大口径バタフライ弁



8. バタフライ弁-3 1930年 ウシオ弁



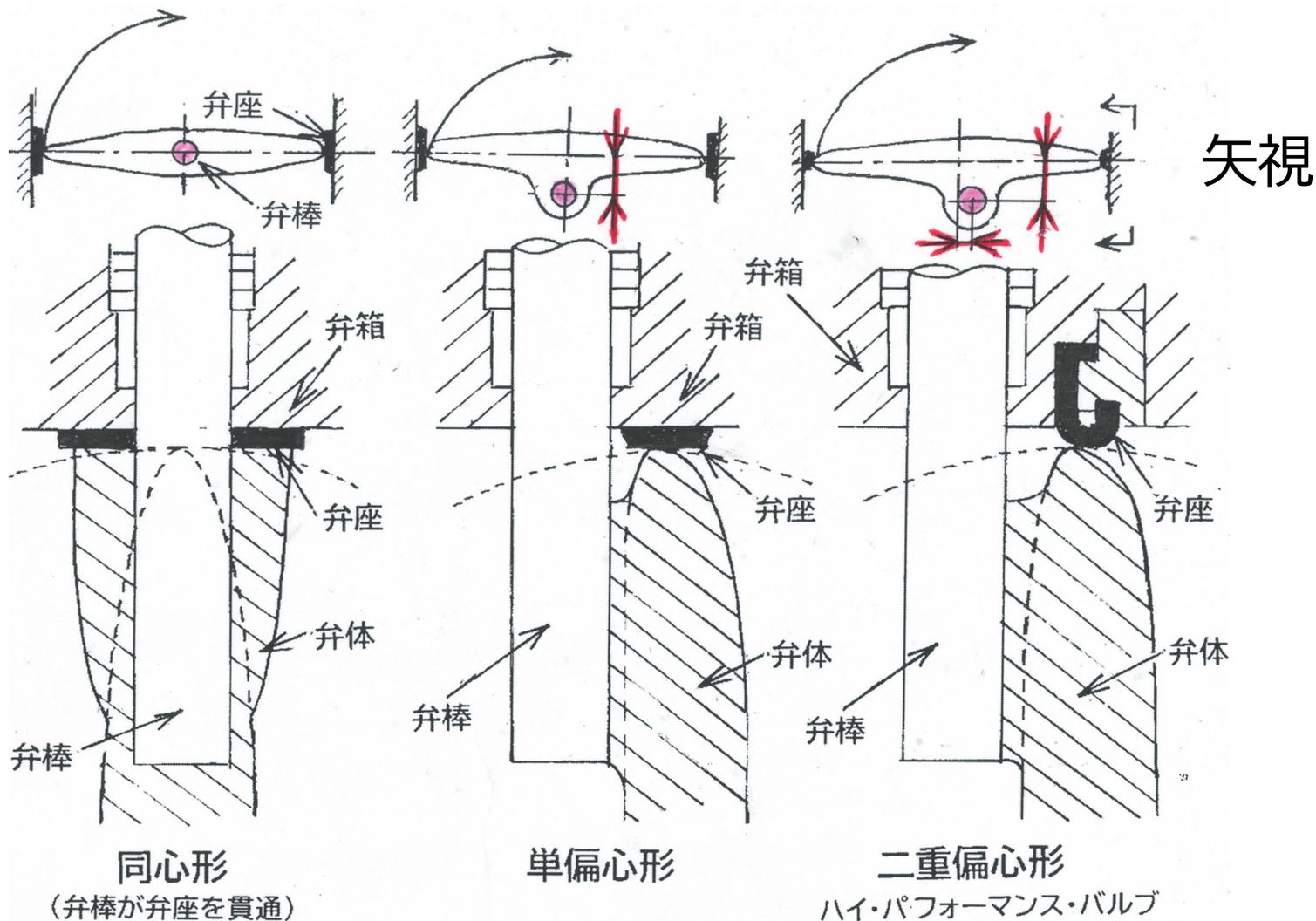
牛尾義方が開発。

バタフライ弁でありながら、メタルタッチの弁座で密封性を確保。

全開位置から副弁を90°回転。この時、主弁の弁体座と弁箱座は触れていない。クサビ操作軸を下へ押し、移動クサビと主弁くさびにより、主弁を右へ押し、弁座を圧着させる。

旧海軍の艦艇、および水道用として使われた。

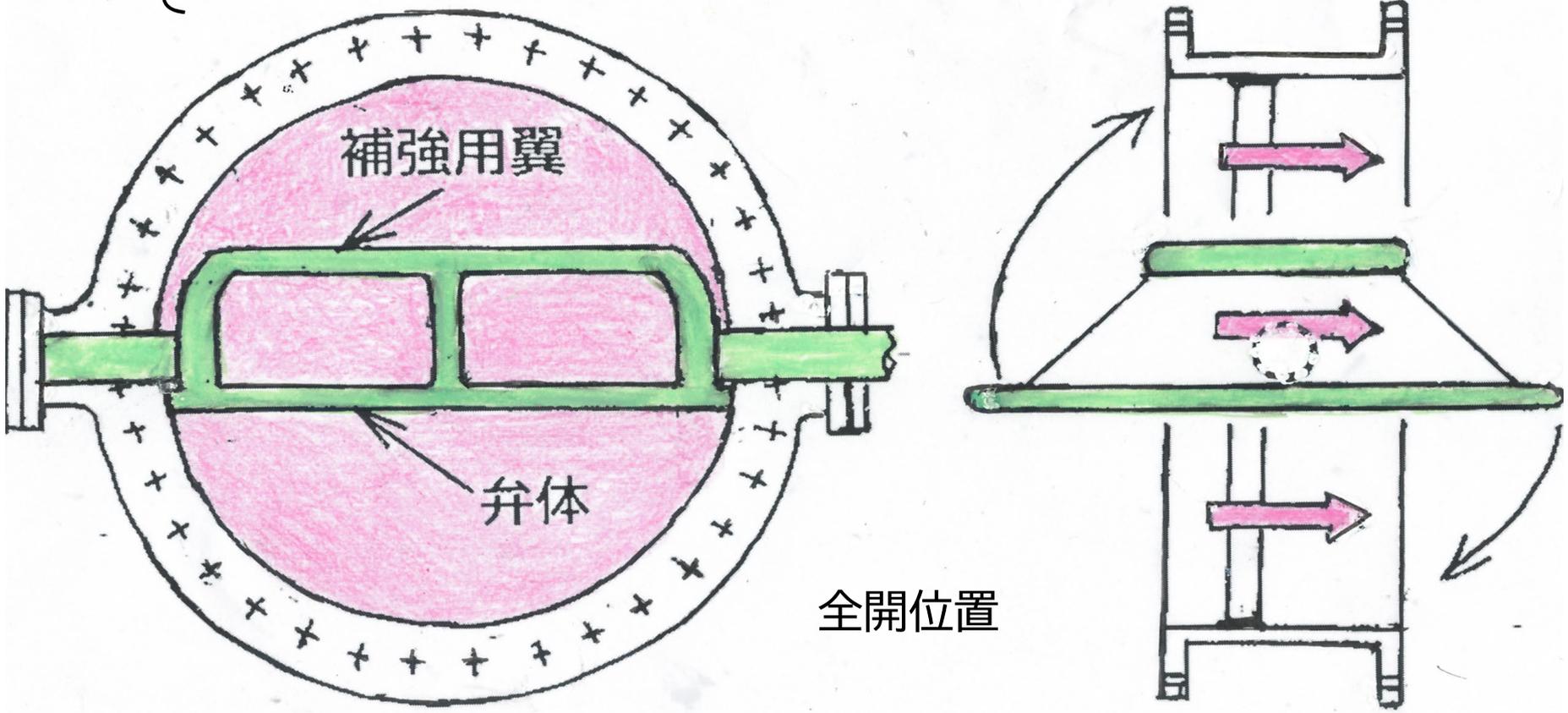
8. バタフライ弁-4 弁棒の芯位置の多様化



弁体が弁座に接するように接触 → 弁体が弁座を押し付けるように接触

8. バタフライ弁-5 1950年代以前開発 複葉式バタフライ弁

• て



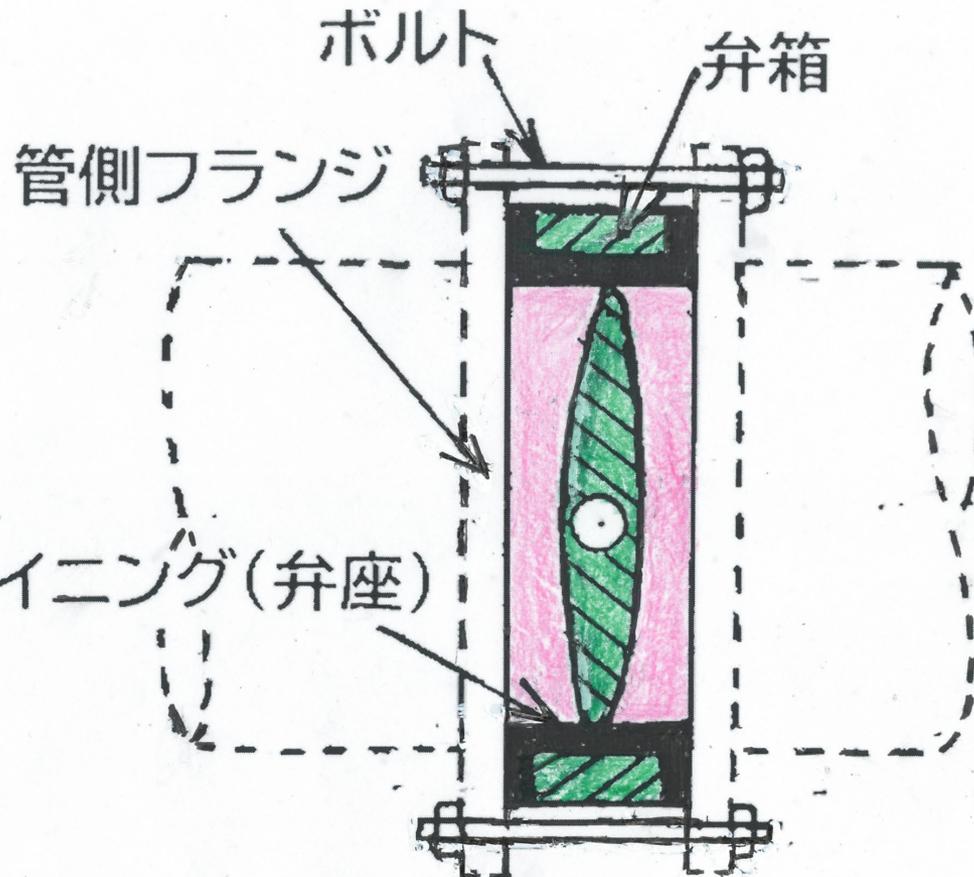
弁体を複葉にして曲げ剛性を高め、管中央部に流路を設け、流路断面積の増加を図った。
水力発電所 水車入口(ペンストック出口)弁に使用。

8. バタフライ弁-6

ウェハー式(フランジレス)バタフライ弁

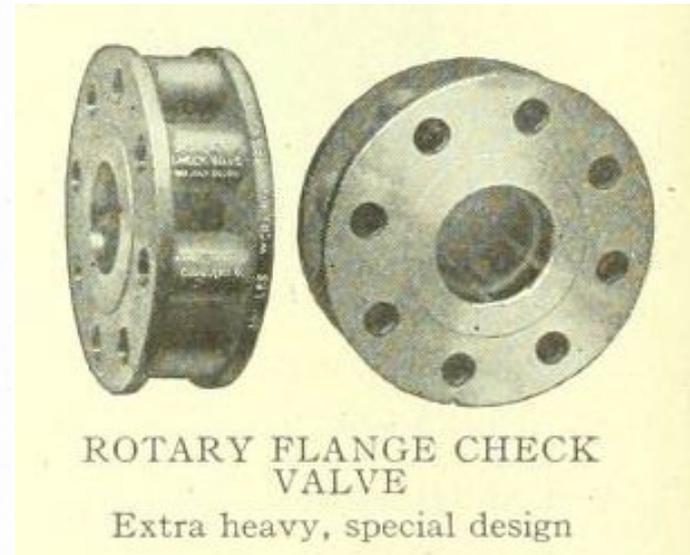
1950年代前半

一層の軽量化



小形弁において、フランジを持たず、通しボルトを使い、配管のフランジにより、弁箱を挟みこむ方式は、1910年代から下図のように存在した。

資⑤1917



9. 安全弁

安全弁には、吹出し圧力になると、一気に弁体が上昇し(これをポップ動作という)、全量の蒸気を放出する「安全弁」(主に蒸気用に使われる)と、吹き出し圧力を越える圧力に応じて弁体が上昇し、それに見合った蒸気を放出する「逃がし弁」(主に水用に使われる)」とがある。(ここでは全て安全弁と呼ぶ)

安全弁の進化の方向

逃がし弁から安全弁へ

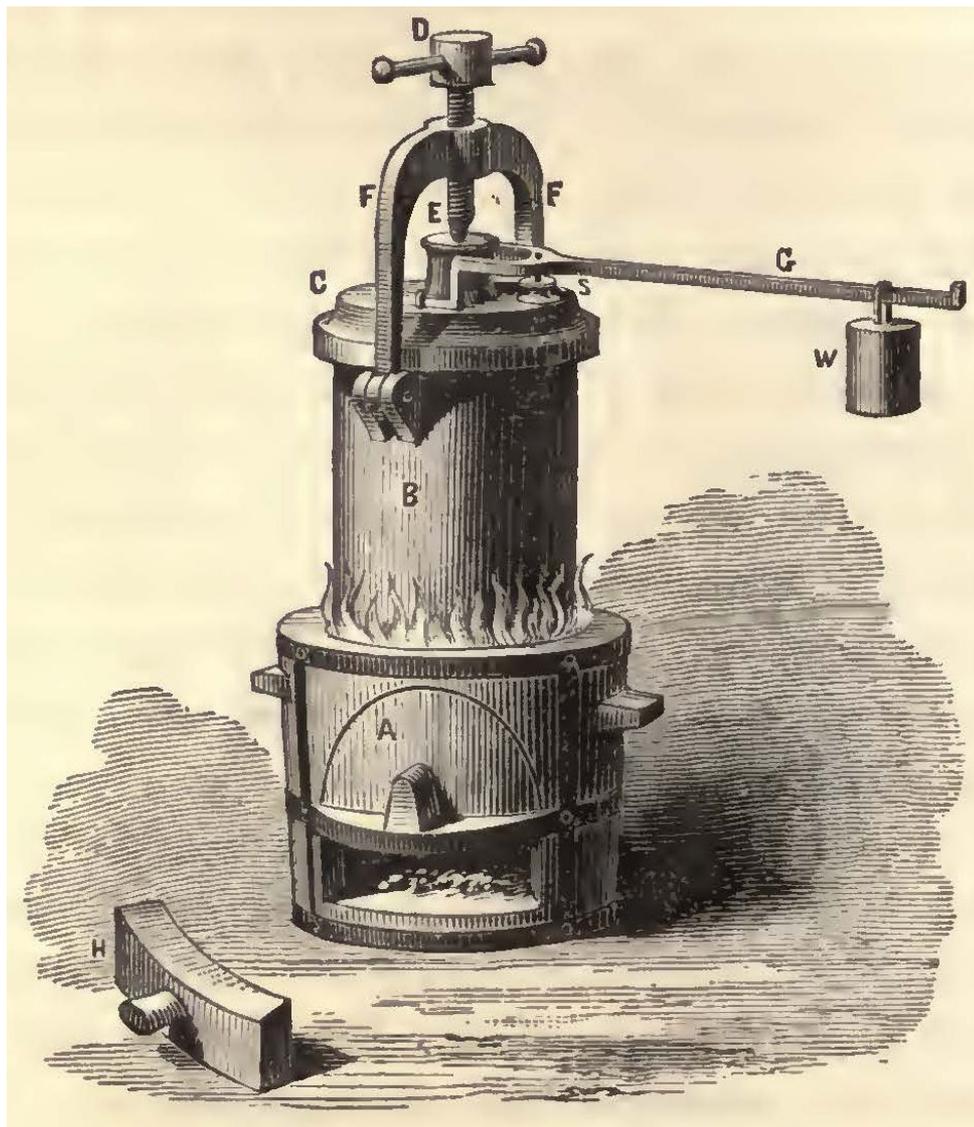
パイロット式、平衡形、密閉形、などの開発

安全弁の進化と普及の背景

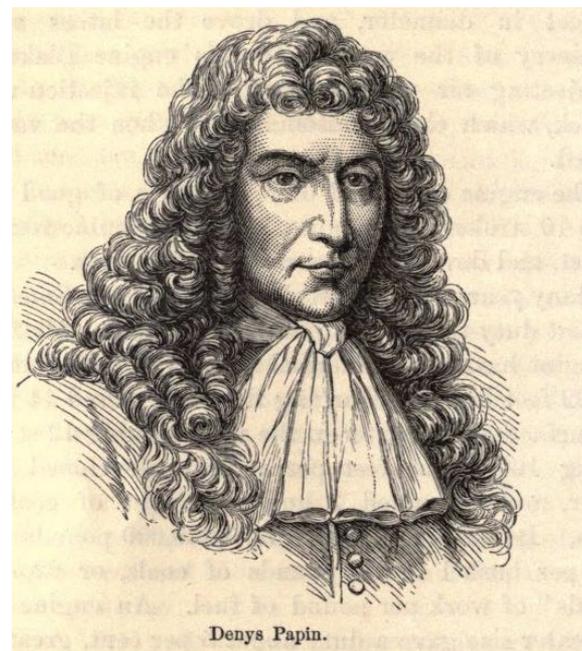
- 19世紀 ボイラ事故多発。
- 米国、1865年:蒸気船サルタナ号ボイラ爆発 死者1547人
- 米国、1895～1905年:1612件ボイラ爆発事故、死者7600人以上

(ASME B31.3 セミナーテキスト 2001.6.25)

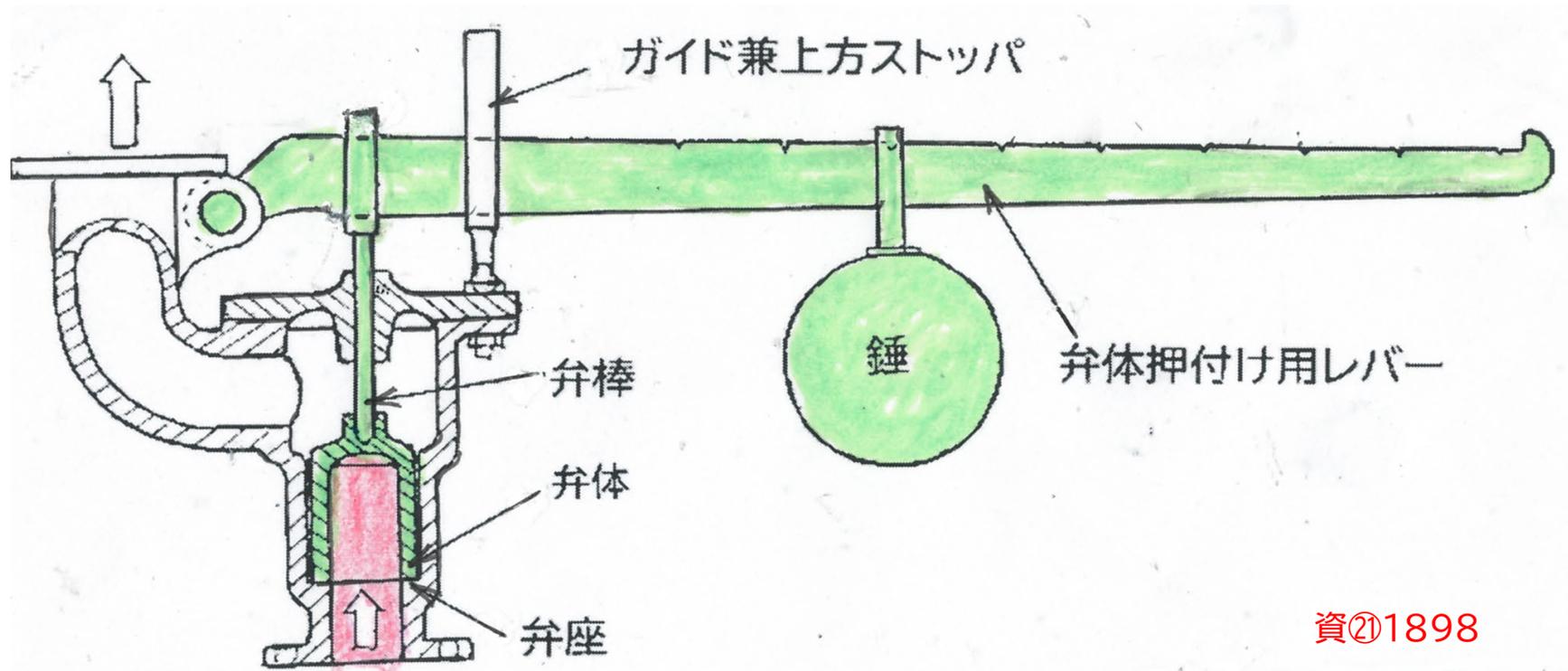
9. 安全弁-2 1650年ごろ 最初の安全弁



最初の安全弁(安全装置)は、
仏人、ドニ・パパンが蒸気圧力
調理器の安全装置として発明
(その後、蒸気機関も研究した)



9. 安全弁-3 19世紀末の レバー式錘安全弁



吹き出し圧力により、錘の位置を変えた。
ドニ・パパンが発明した安全弁はこれに近いものであった、と思われる。

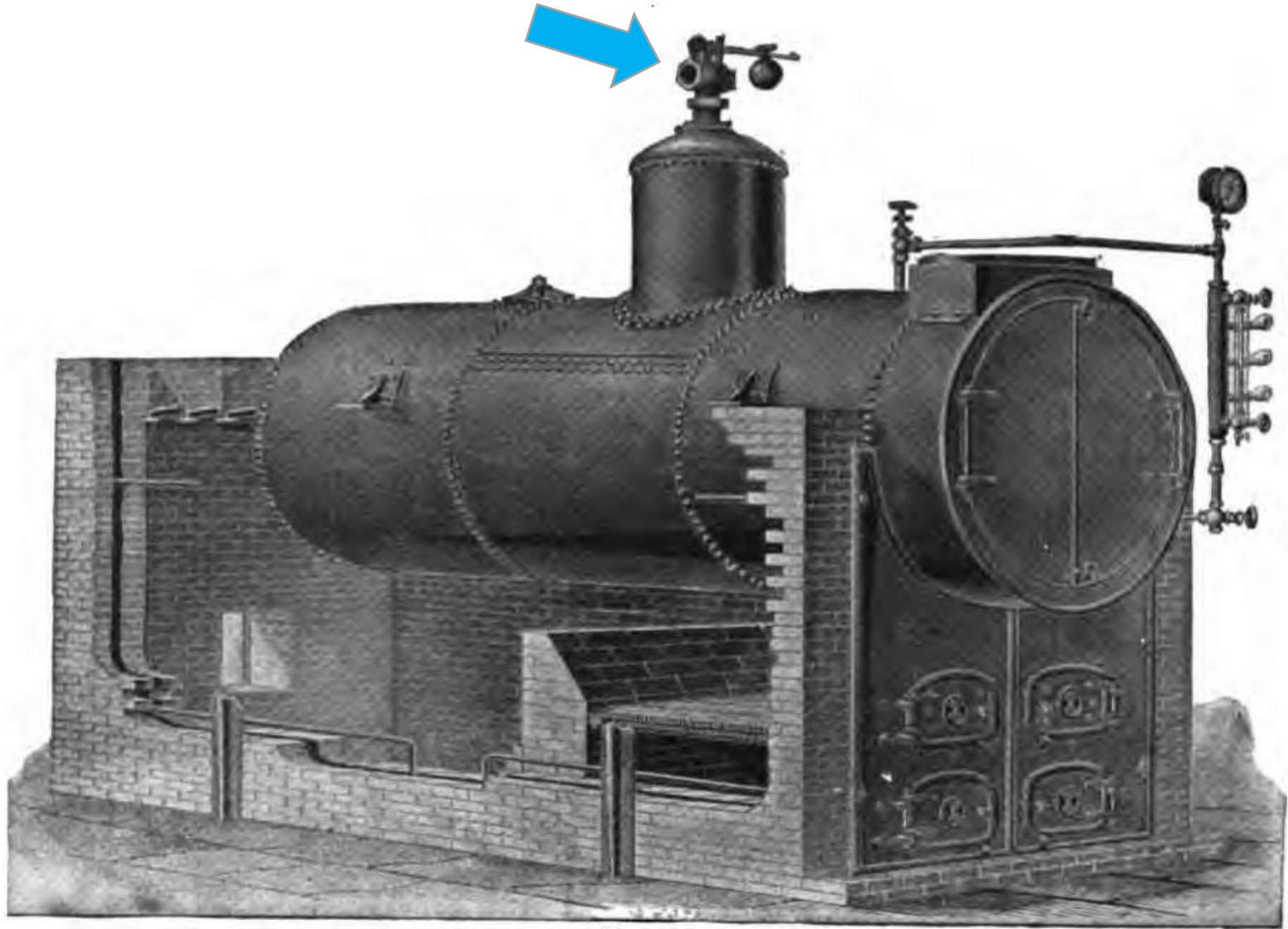
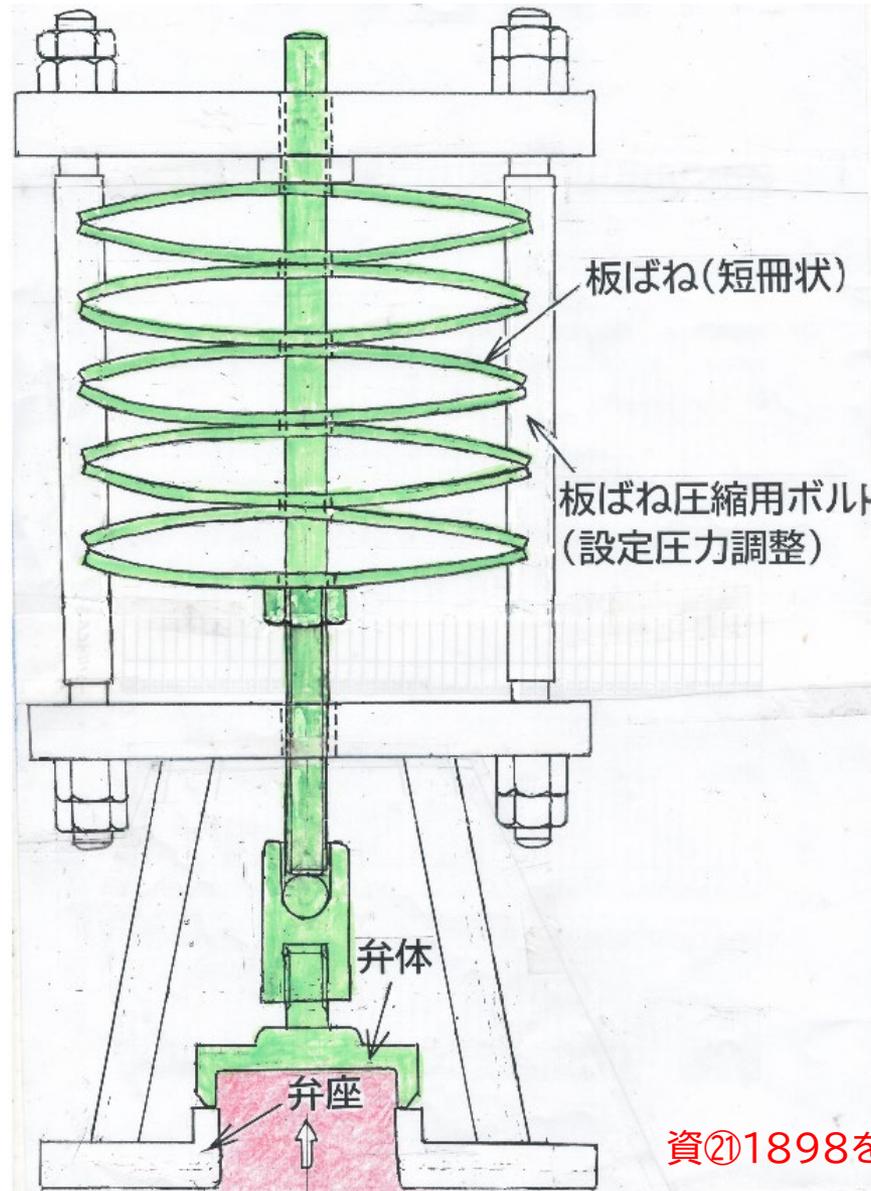


FIG. 442.

9. 安全弁-5 1830年 最初のスプリング式安全弁

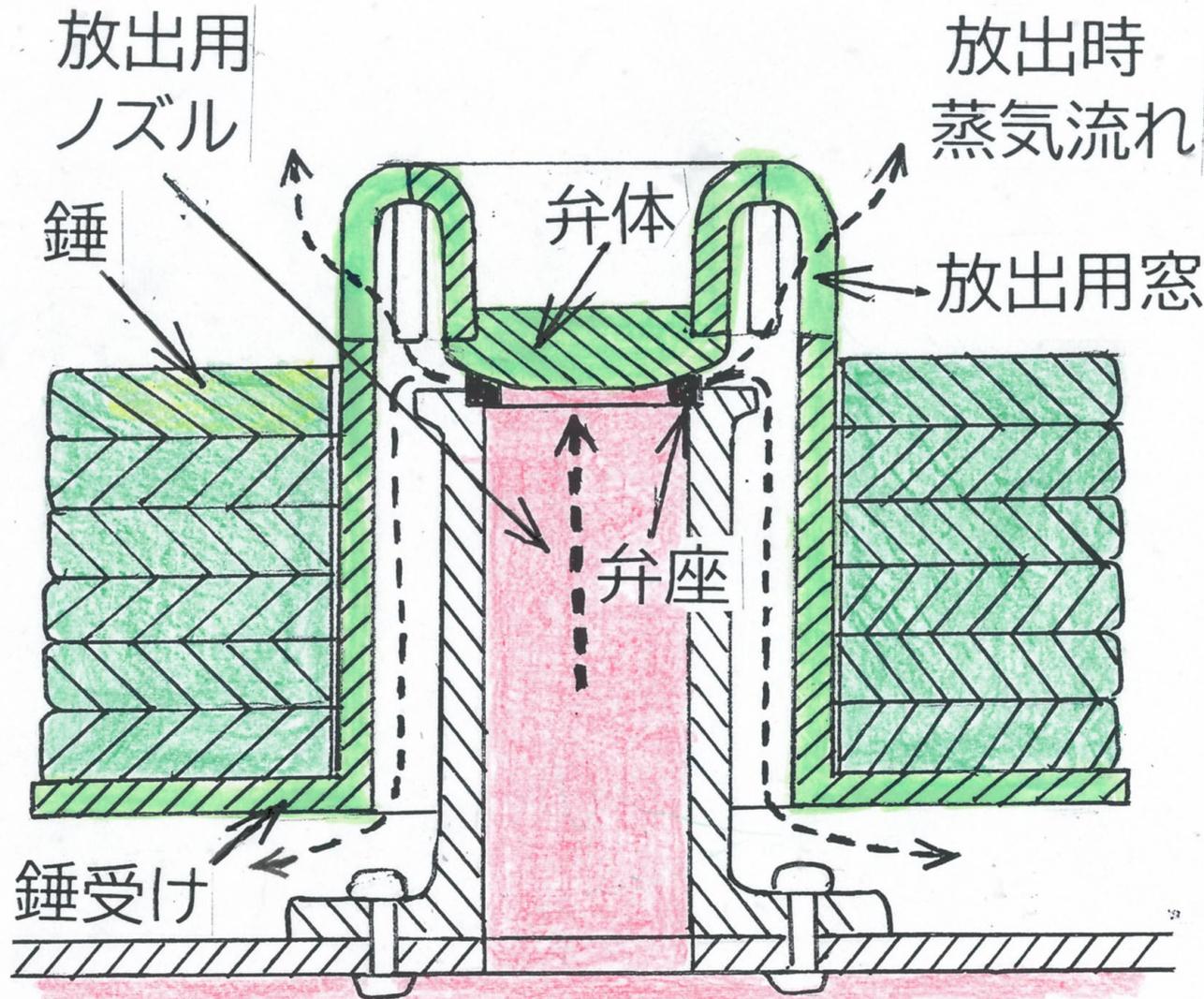
錘がないので、重量が軽く、
吹き出し圧力の微妙な調節
のきくスプリングを採用



ロンドン科学博物館に
保存されている

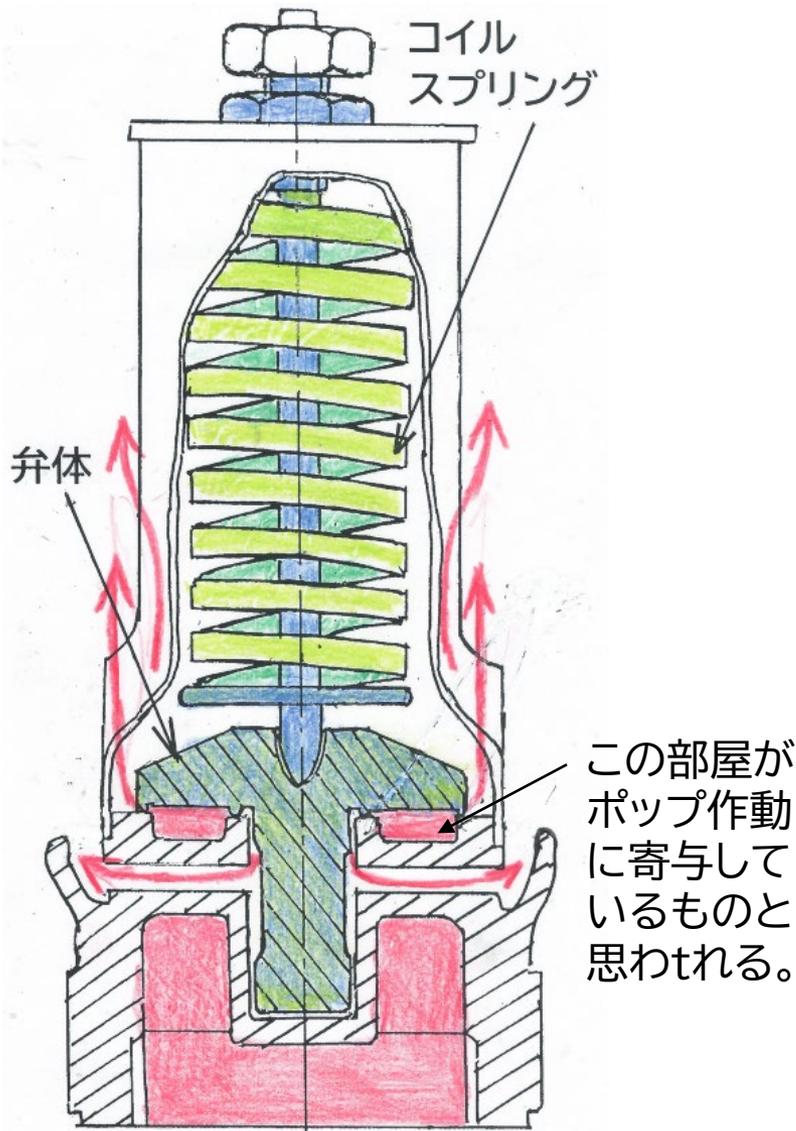
資②1898を基に作図

9. 安全弁-6 20世紀初期の 直接式錘安全弁

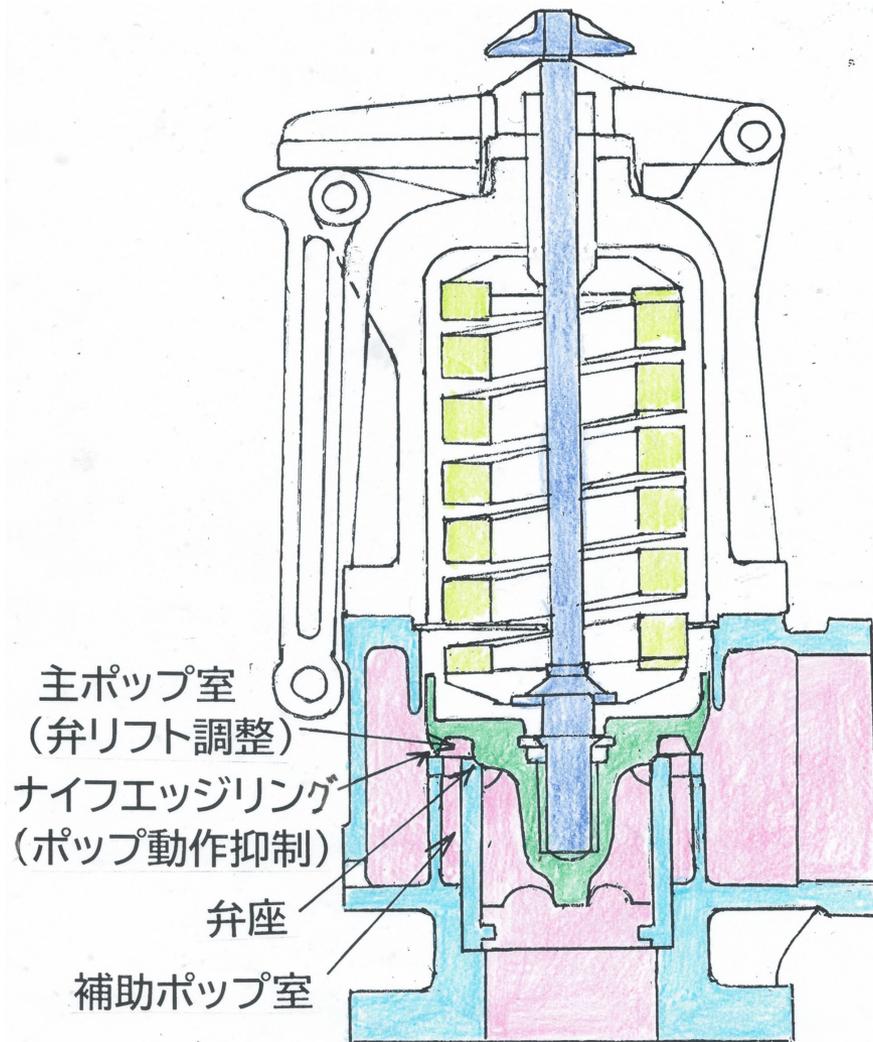


吹き出し圧力により、錘の量を変えた。

9. 安全弁-7 19世紀末 ポップ作動の安全弁



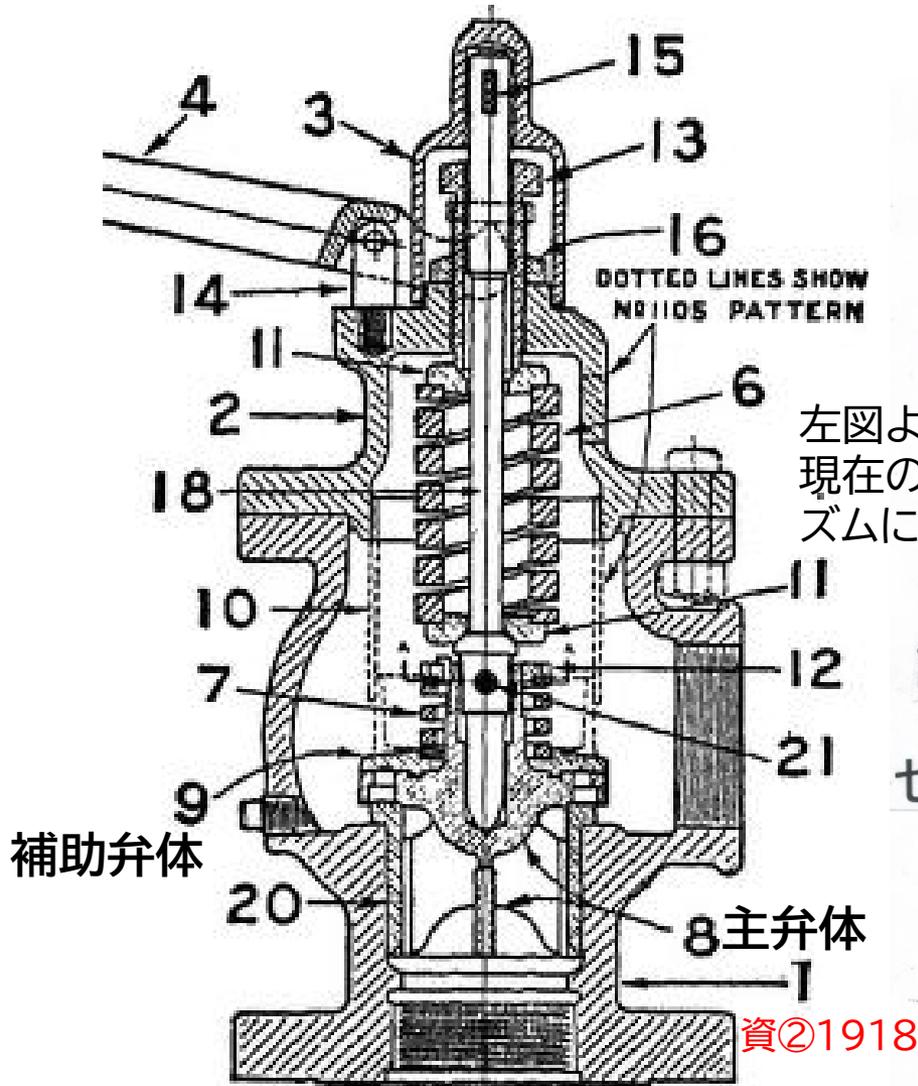
資②1898



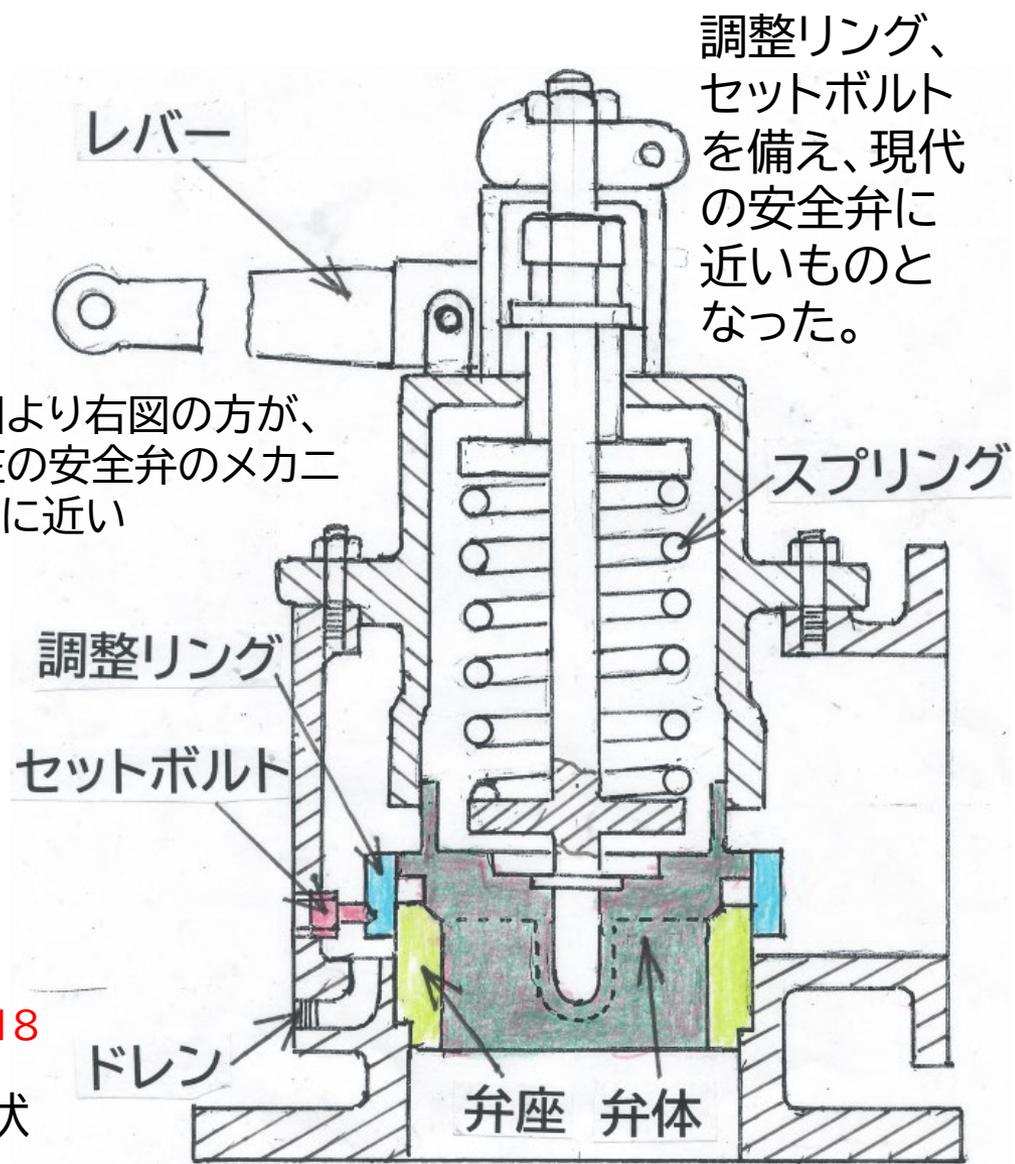
主ポップ室と補助ポップ室の空間がポップ作動に寄与。

資②1896

9. 安全弁-8 1900年代 ポップ式安全弁



左図より右図の方が、
現在の安全弁のメカニ
ズムに近い



調整リング、
セットボルト
を備え、現代
の安全弁に
近いものとな
った。

主弁体と補助弁体により形成する円環状
窪みがポップ動作に寄与する(?)

10の破線は弁体に背圧を掛けたくない時に設けるスリーブ。

資①908

10. 調整弁・調節弁

調整弁(自力式自動弁): 流体の圧力と、錘、スプリングなどを利用して、弁出口圧力などを一定に保つ弁。

調節弁(他力式自動弁): 制御すべき流体圧力などを検出して、それを電気に変え、さらに電空変換器で空気圧に変え、空気圧を利用した弁駆動装置で弁体位置を変えて圧力を一定に保つ弁。

制御手段:

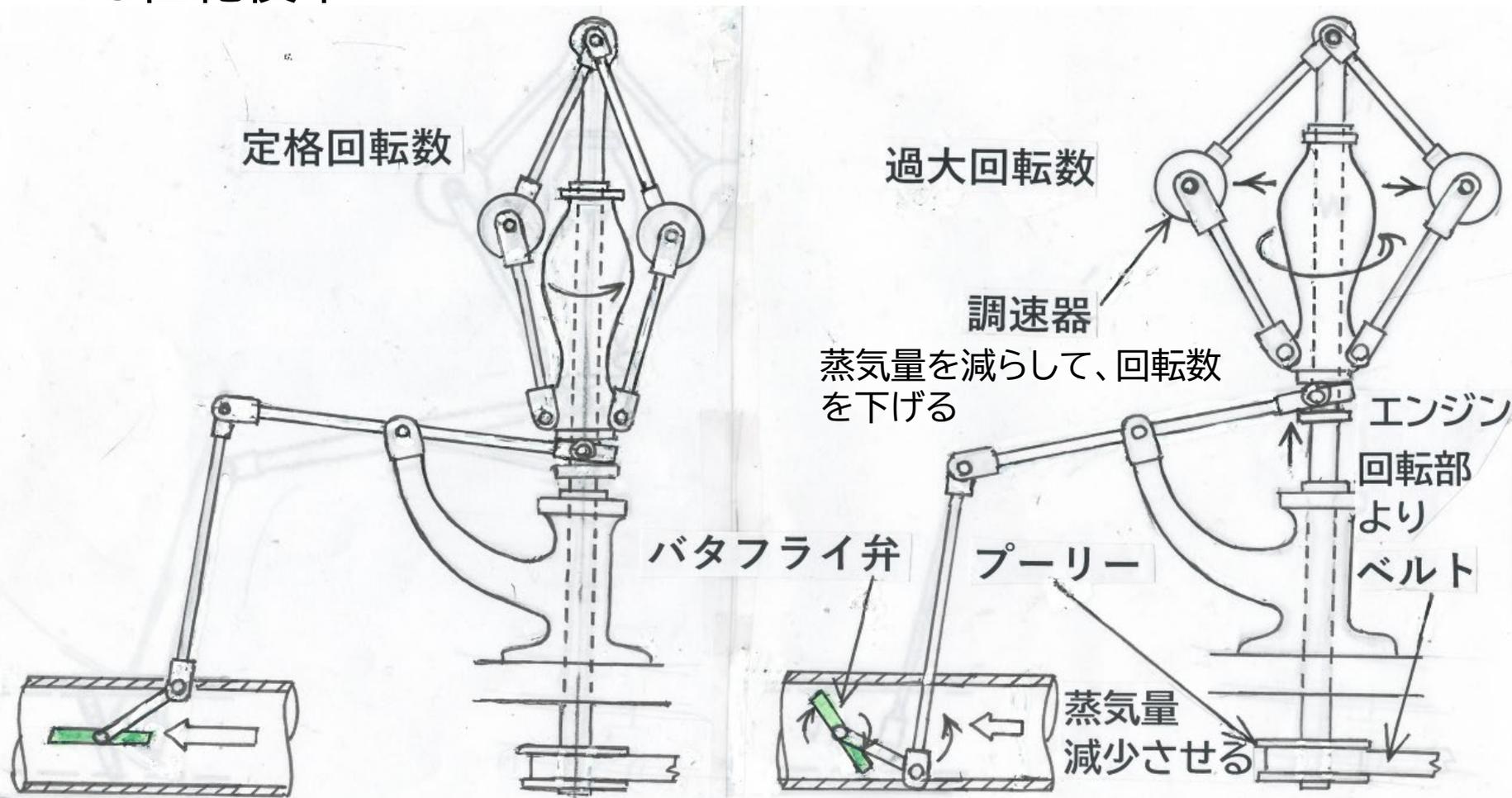
- ・圧力一定: 設定圧力時の圧力による力と錘重量 or 圧縮されたばね力とがバランス。圧力変化により生じるバランスのずれ量で制御。
- ・温度一定: サーモスタット
- ・流量一定: ベンチュリー管、流量オリフィス
- ・回転数; 調速機

18世紀末 ワットの蒸気機関の蒸気流量調整用に使われた。

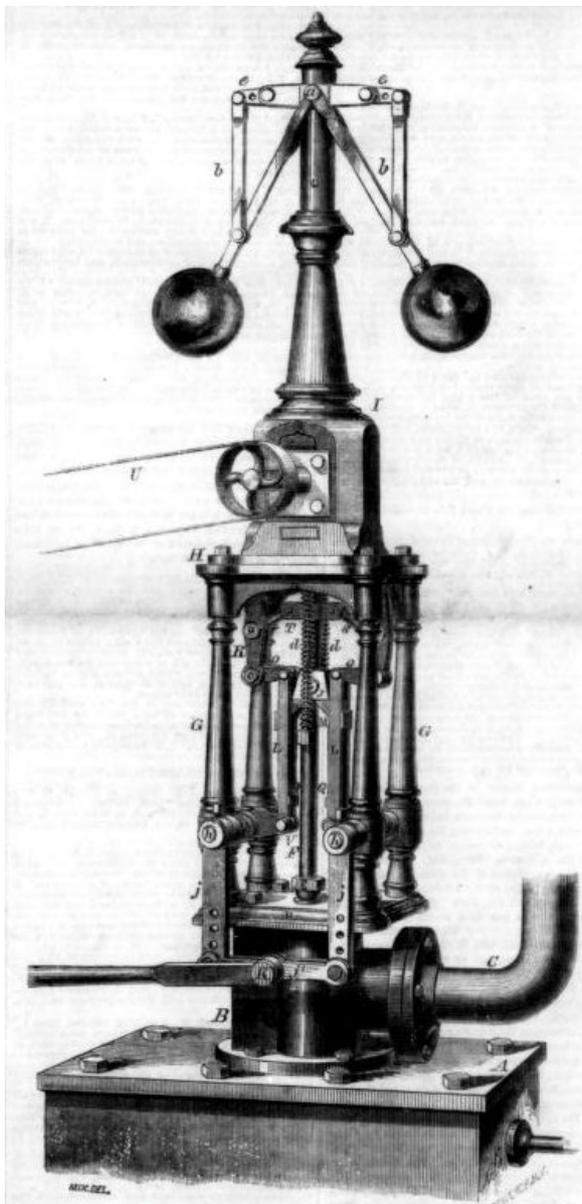
1880年頃、W.フィッシャーとW.メーソンが調整弁を開発、会社を興し、1900年前後から製造販売を始めた。

10. 調整弁-2 ワット蒸気機関の回転速度調整弁

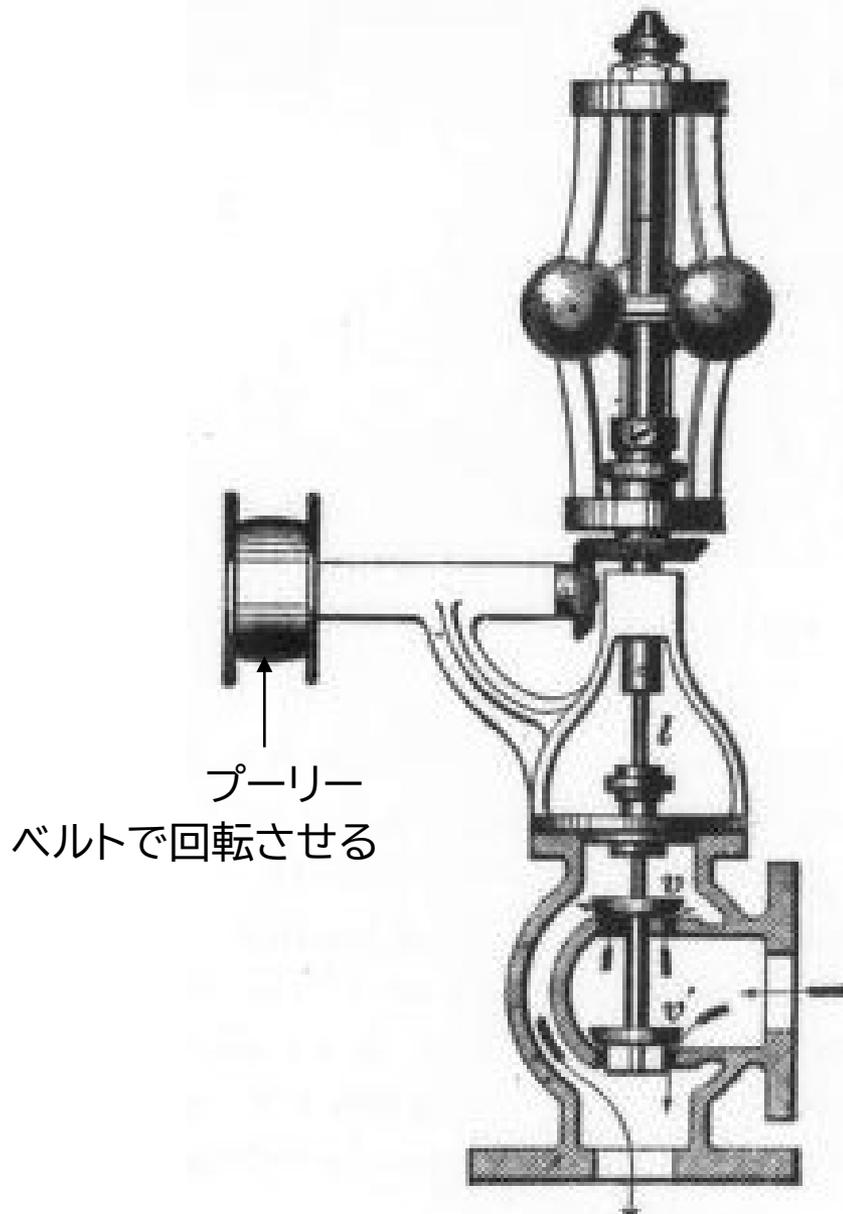
18世紀後半



1901年、最初のメルセデス車の加速器のペダルに連結した燃料取入口にバタフライ弁を採用。



資⑤Feb.12 1859



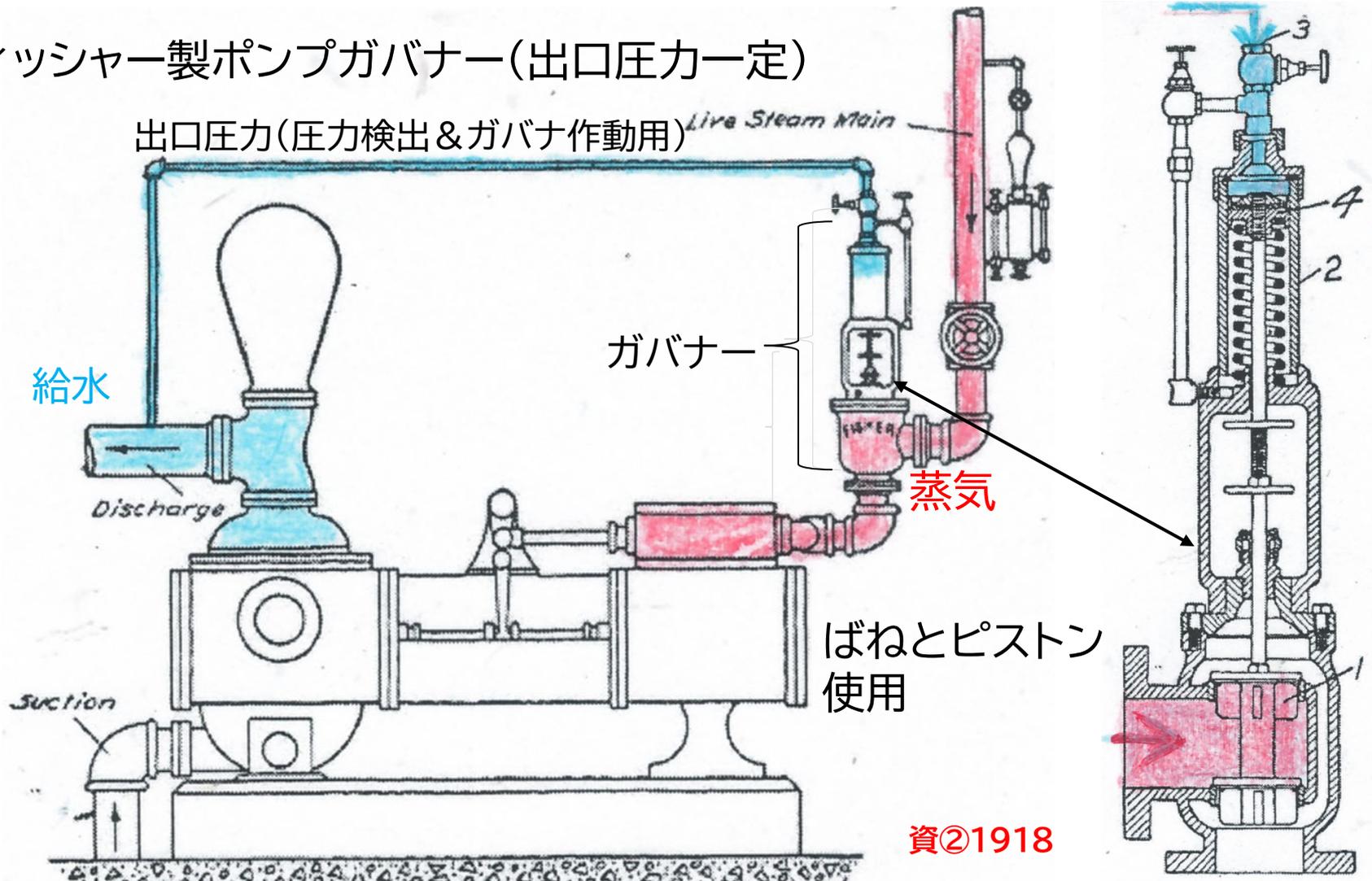
プーリー
ベルトで回転させる

資④Feb.1904

10. 調整弁-4 1880年 ポンプ用ガバナー

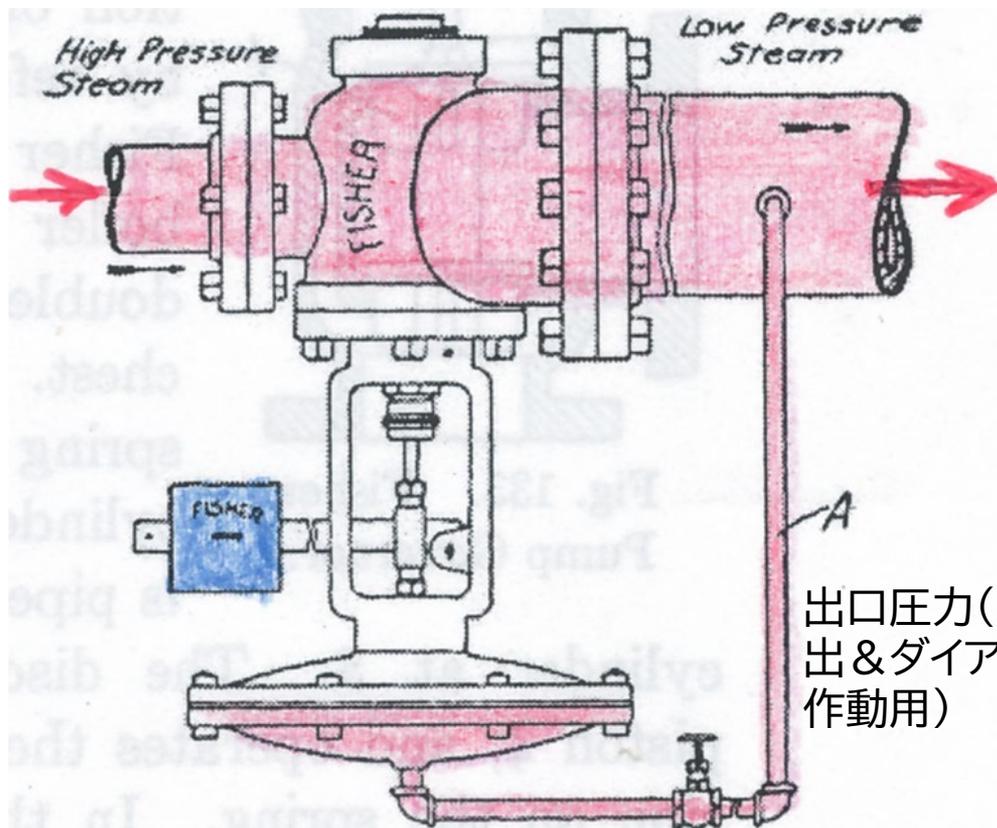
1880年 米国の水道技師、W.フィッシャーがポンプガバナー(調整弁)を発明。

フィッシャー製ポンプガバナー(出口圧力一定)

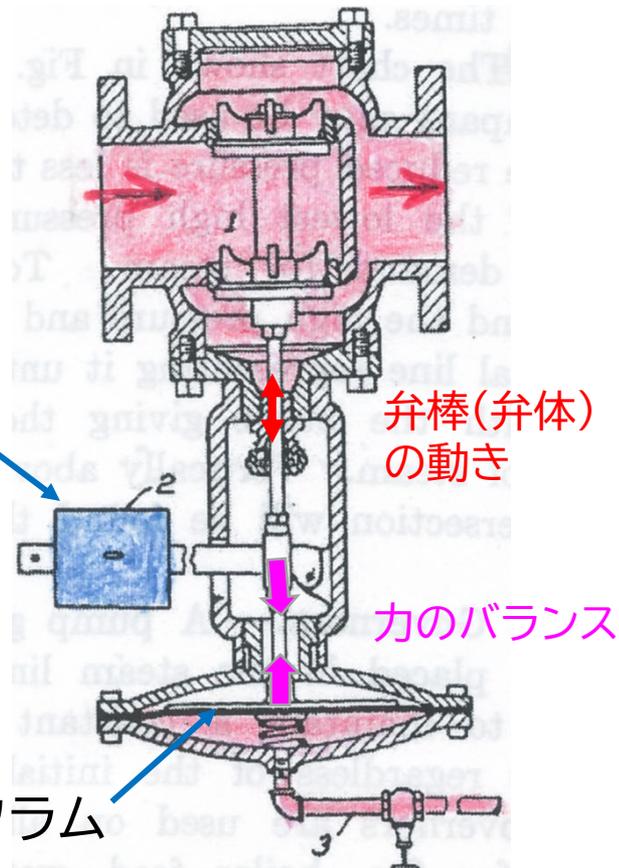


10. 調整弁-5 1910年代 出口圧力一定の調整弁

フィッシャー製



出口圧力(圧力検出&ダイアフラム作動用)



錘

弁棒(弁体)の動き

力のバランス

ダイアフラム

錘とダイアフラム使用

ダイアフラムが下にあるのは錘のせい？

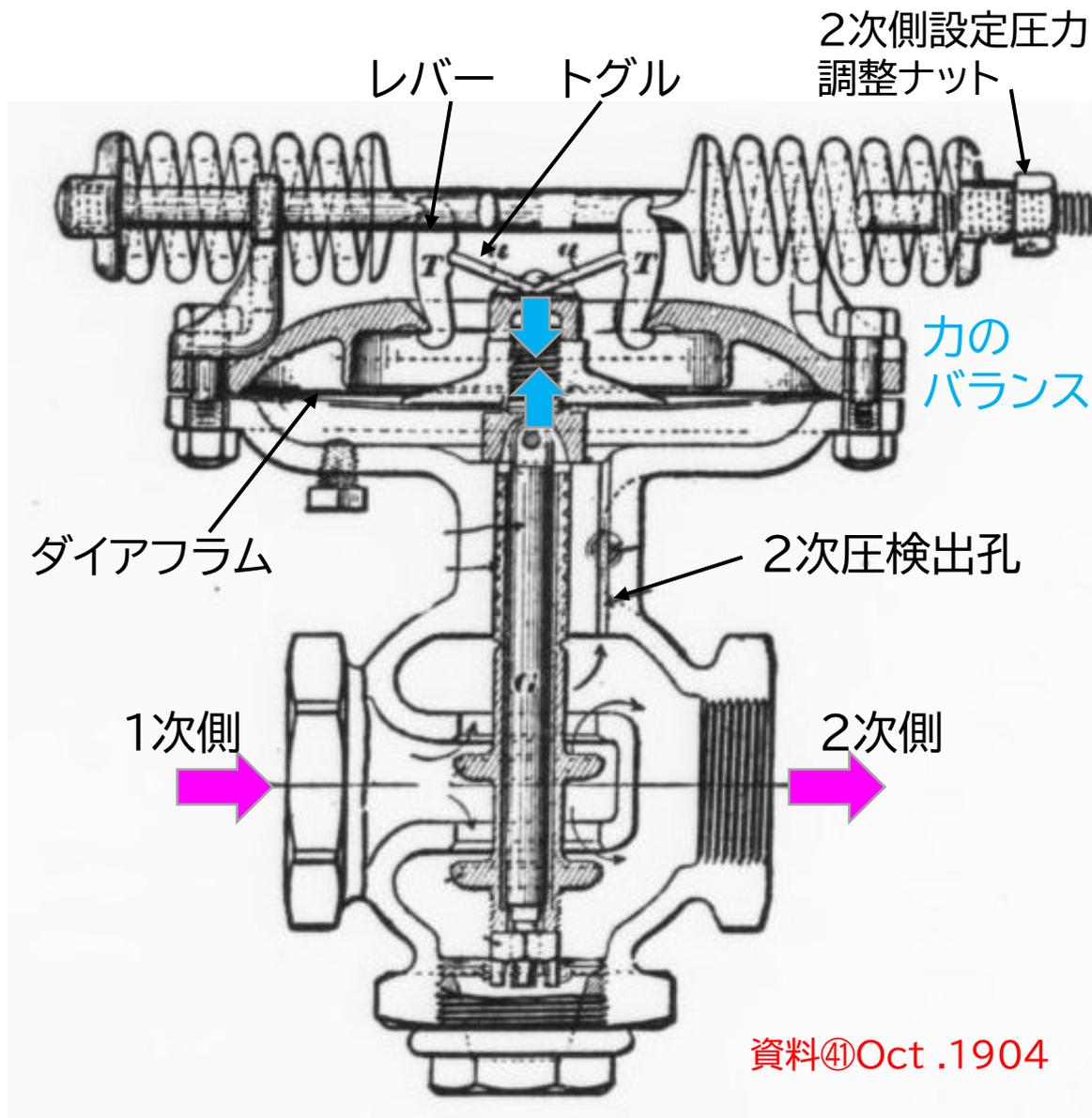
10. 調整弁-6 1900年代初めの減圧弁

フォスター社製

2ヶの圧縮されたばねの力がレバーとトグルを介して、弁棒の下向(弁開の方向)の力となる。

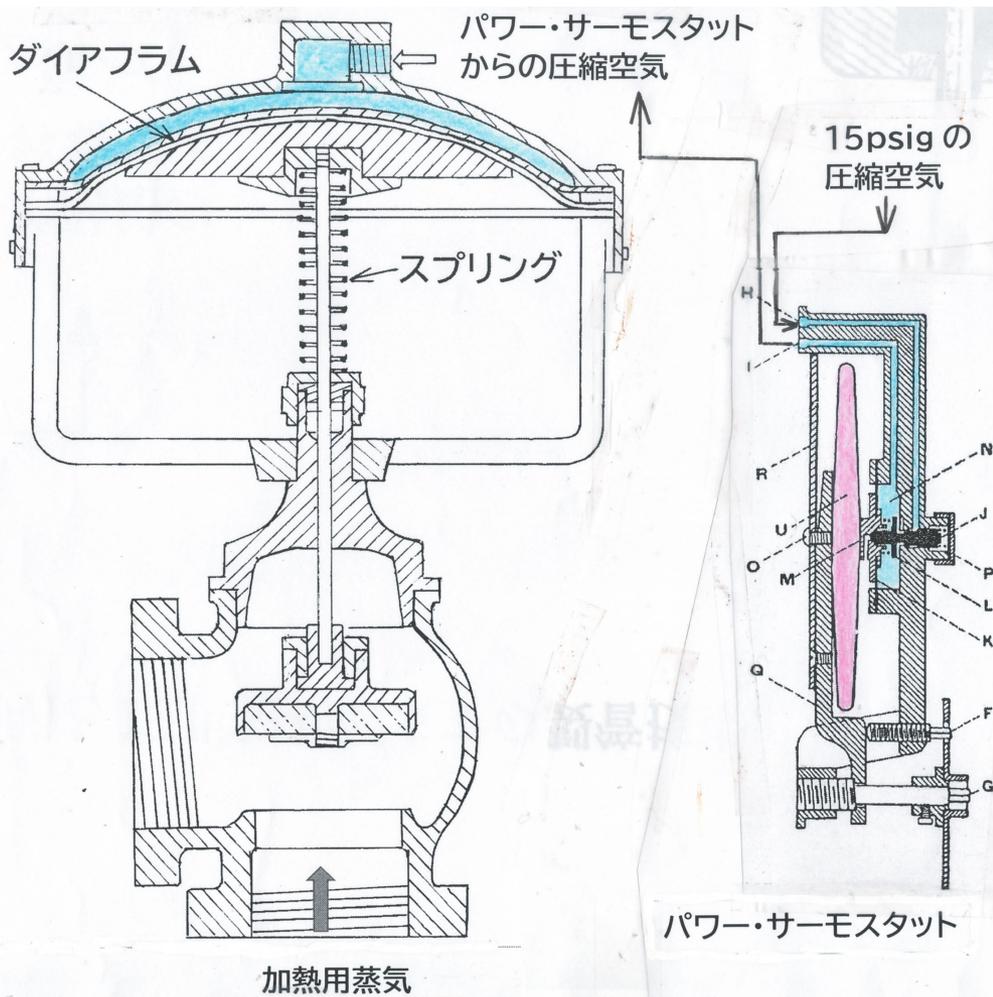
2次側圧力が検出孔を通じて、ダイアフラムの下側に入り、弁棒上向き力となる。

2次側設定圧力に合わせて、ばねの圧縮量を設定する。



10. 調整弁-7 1900年代初め 温度調節弁

流体温度を一定にするため、加熱用蒸気量を加減する調節弁



当時の温度調節弁:

ベローズの中に温度で体積の変化する気化性液体が入っている。温度変化 ⇒ ベローズの厚さ変化 ⇒ 空気圧変化 ⇒ 弁体の動き(ダイヤフラム)

現在の温度調節弁:

温度変化 ⇒ 熱電対で電流に変換 ⇒ 電空変換器 ⇒ 空気圧 ⇒ 弁体の動き(ダイヤフラム)

なお、**温度調整弁**の場合は、ベローズの伸縮により直接弁体を動かす。

(温度一定にしたい流体に接する位置に設置)

10. 調整弁-8 1910年代 背圧調整弁 フィッシャー社製

複座弁の径を変えており(上の弁が大きい)、それと弁前後の差圧により生じる推力および錘の荷重とのバランスにより弁体を動かし、排気圧を調整する。

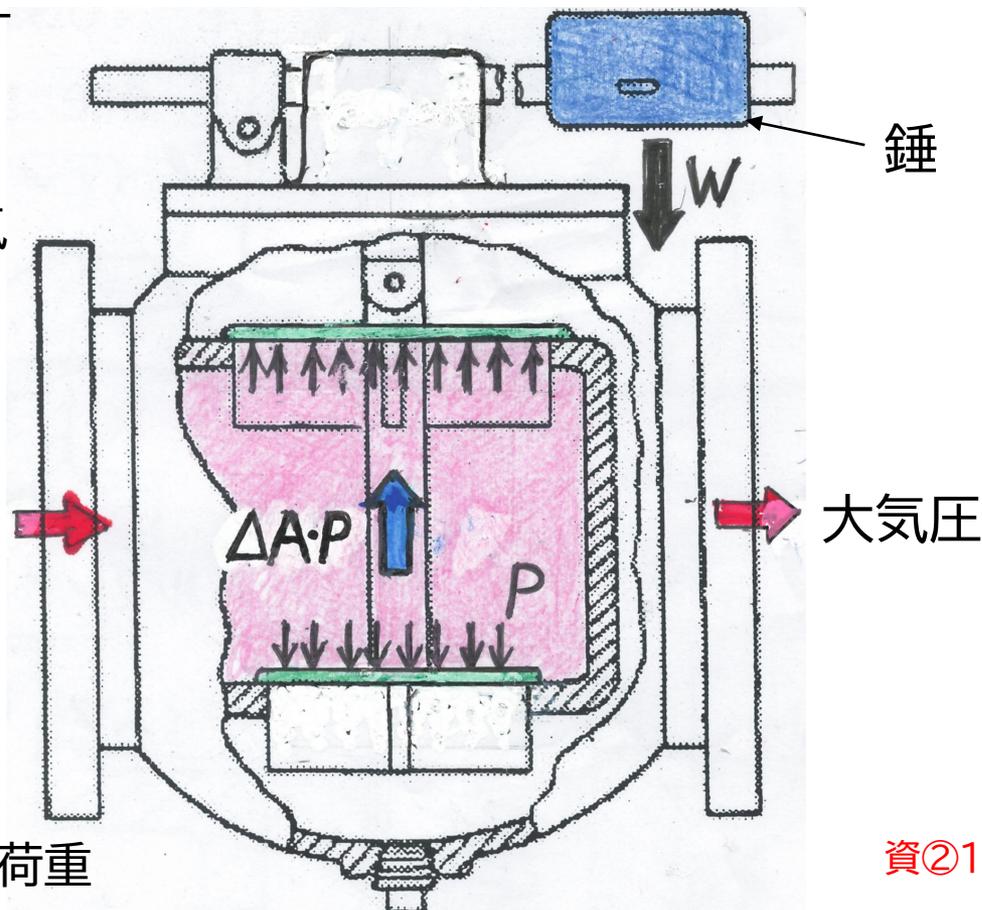
蒸気機関
からの排気圧
を一定に保つ

1次側圧力: P

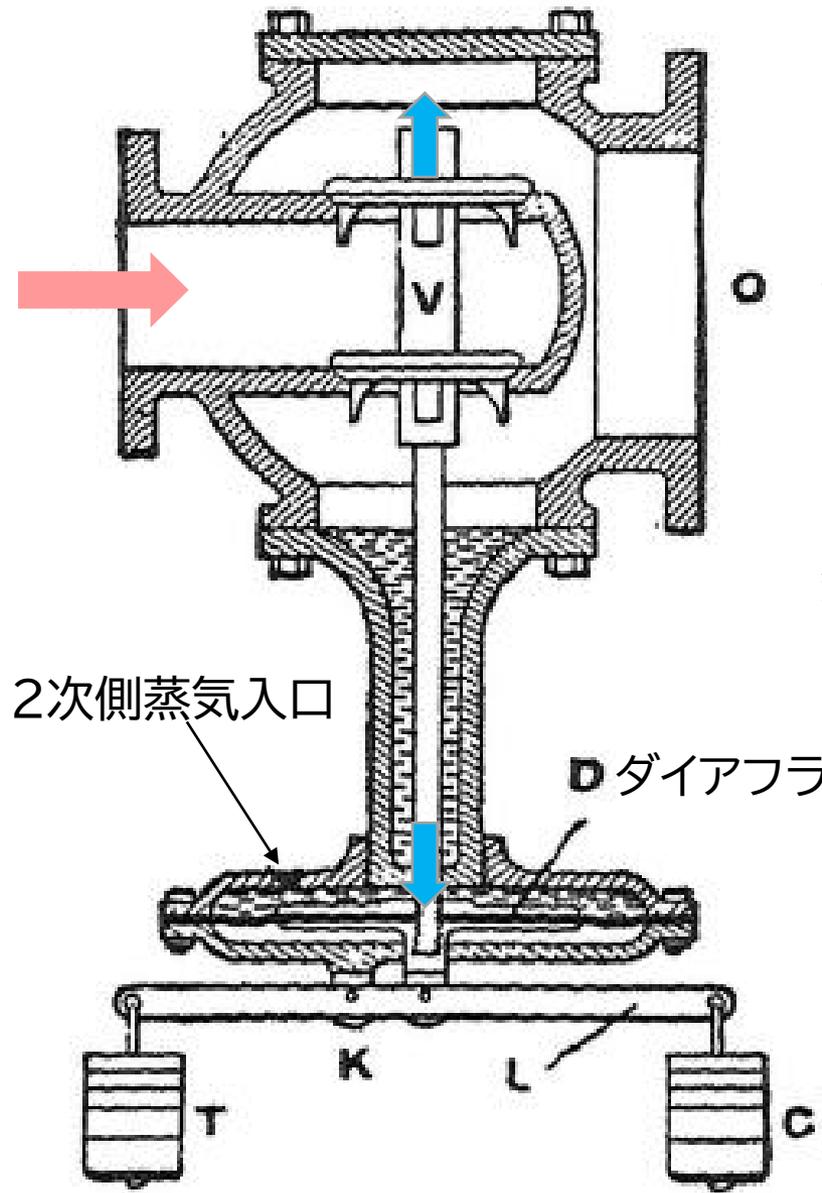
上下弁体の面積差: ΔA

弁体の上向き推力: $\Delta A \cdot P$

上向き推力と錘による下向き荷重とが釣り合うように錘を調整、



蒸気機関からの排気ガスを暖房、乾燥、調理、その他に利用する場合、排気圧力(背圧)を一定にする調整弁(一種の逃がし弁)



バルブ2次側圧力を一定に保つバルブ

- 調整弁-8と同様、複座弁の径の差と圧力差による上向きの推力と、ダイアフラムの上側に掛かる2次側圧力および錘による下向きの合力のバランスにより弁体を動かし、2次圧を一定に保つ。
錘は、2次圧力の設定値調整と弁のチャタリング防止(重力の持つ慣性力を利用)のためにある。

10. 調整弁-10

流量調整弁(米国製)

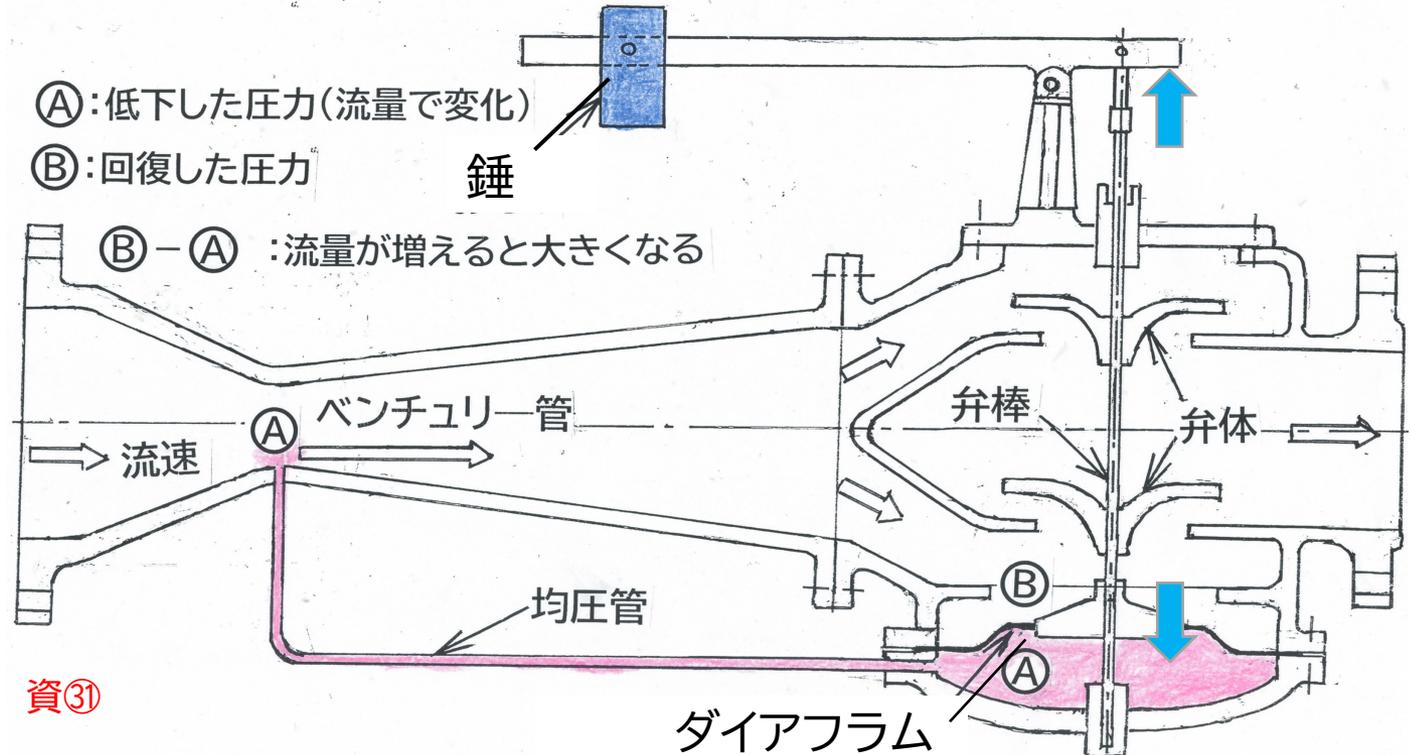


1930年代(日本)

錘で流量設定値変更

注:撮影した横浜水道記念公園は、
2021年9月末で 閉鎖

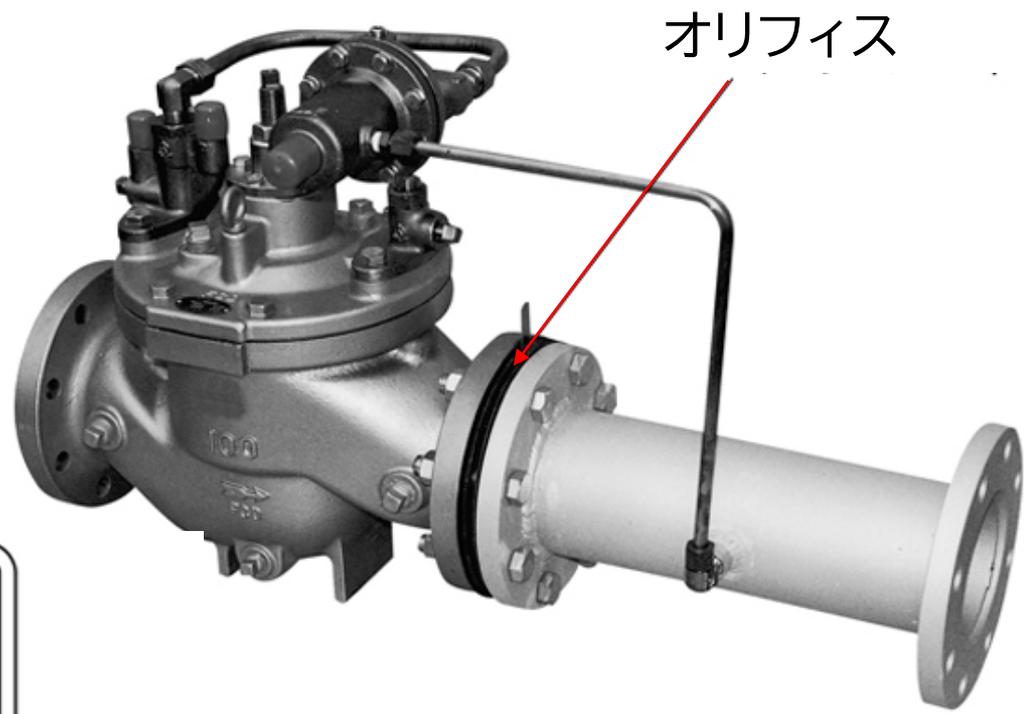
2021年9月筆者撮影



ベンチュリー管の
発明は1887年

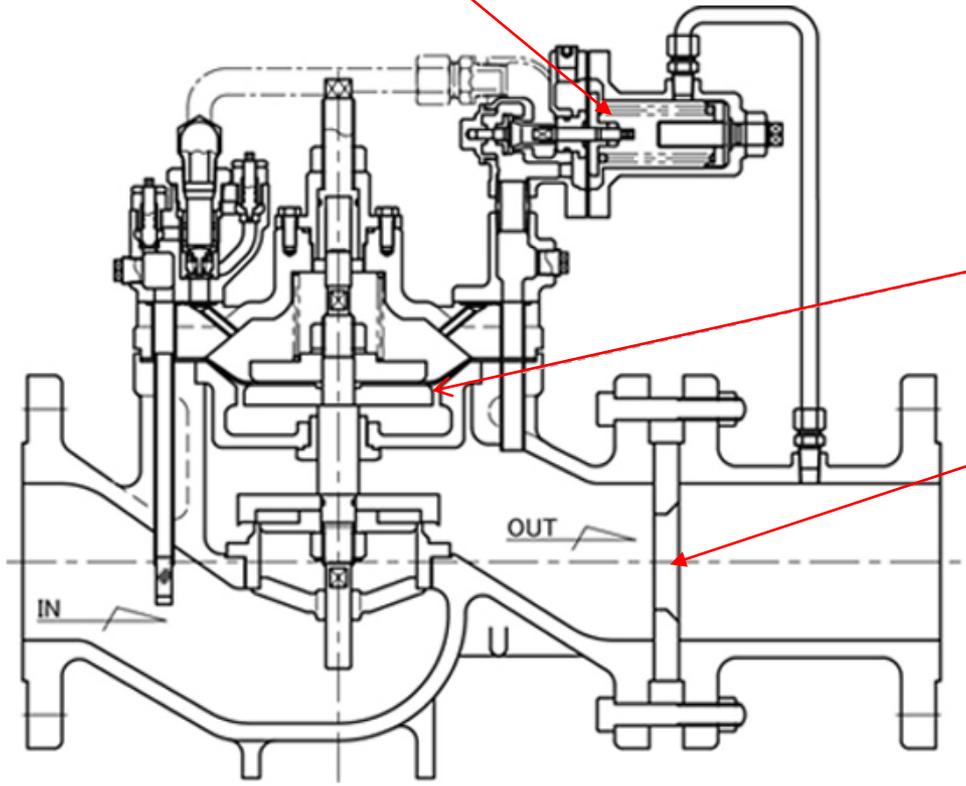
資③①

10. 調整弁-11 近代・現代の 流量調整弁



オリフィス

差圧調整弁

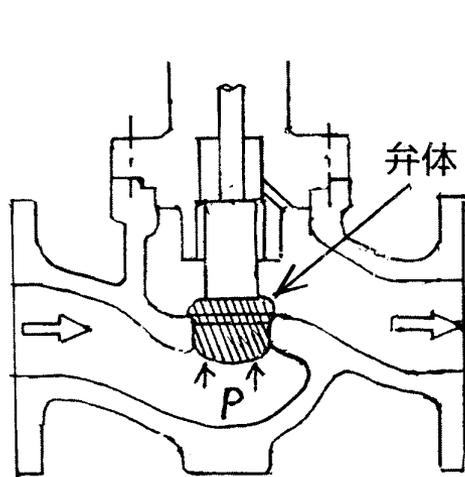


ダイアフラム

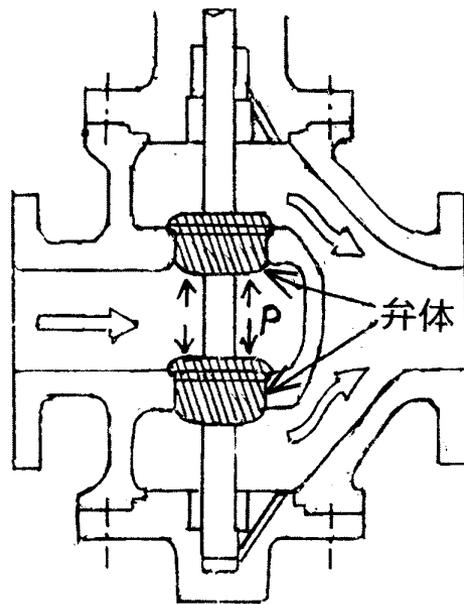
オリフィス

資③(部品名称付加)

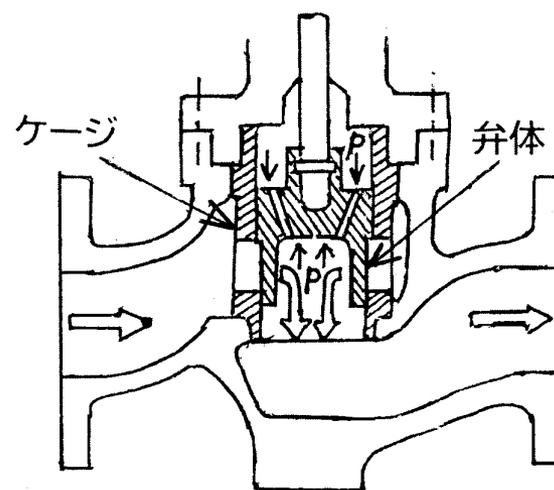
10. 調整弁-12 調節弁の弁体の進化



単座弁



複座弁
(圧カバランス弁)



ケージ弁
(圧カバランス弁)

複座弁は1906年のメーソン・レギュレータ社のカタログに出ている。圧カバランス弁は、差圧によって弁体に生じる推力を軽減し、駆動装置の出力を小さくできる。

ケージ弁は1964年、山武が開発。振動、騒音、キャビテーションが軽減される。

11. 最も歴史の新しいボール弁

第2次大戦後、米国海軍は、急速開閉でき、気密性の良いバルブを必要とした。玉形弁は開閉するのに少なくとも数回廻わさねばならず、戦闘中の操作には時間が掛かりすぎたからである。

1945年にクレーン社のエンジニアが今のボール弁に非常によく似たボール弁の最初の特許を提出した。

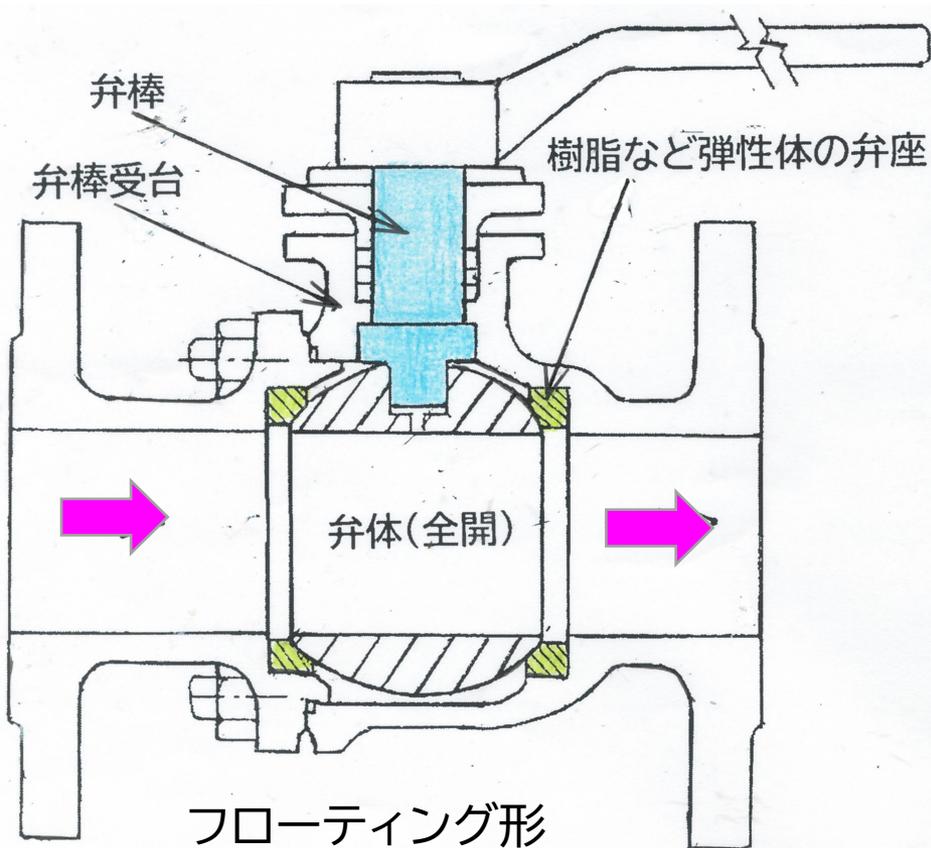
幾つかのバルブメーカーが1950年代後半から1960年代初めにボール弁を製造するようになったが、売れ行きはよくなかった。それは気密性の信頼性に欠けたからである。

1966年、ジェームスベリー社のハワード・フリーマンがボール弁の弁座にPTFEを採用したフローティング形ボール弁(ボール、即ち弁体が弁座によって浮いた状態で支持されている)を開発したことにより、局面が変わった。(PTFE ; 1938年、米国、デュポン社が開発)

米国海軍が増強中の潜水艦艦隊に速やかにこの技術を採用した。

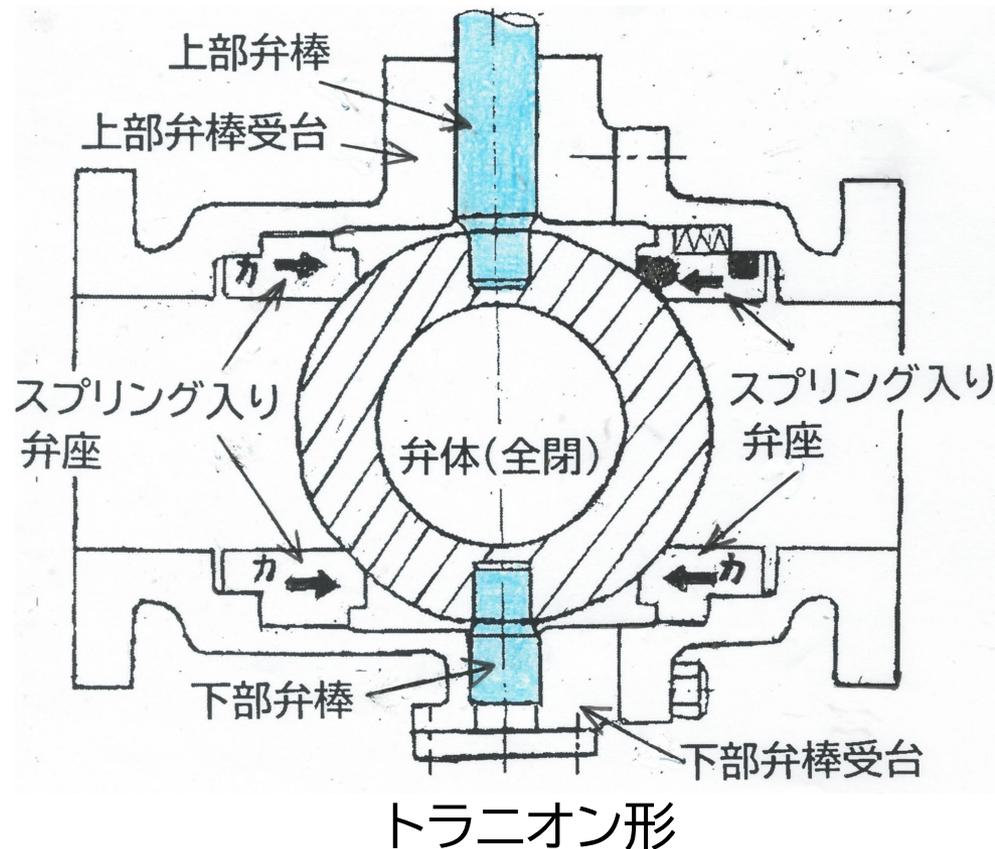
この技術は急速に普及し、新しい構造、材料、製造法の採用により、ボール弁は世界的に普及した。

11. ボール弁-2 現代の ボール弁



差圧により弁体が2次側弁座に押し付けられ、シールする。

外側PTFEの弁座は、火災にあうと焼失し、流体が石油、ガスの場合、火災を拡大させるため、弁座に不燃材の膨張黒鉛、バックアップとして、弁座の外側にメタルタッチ部を設けた、ファイアセーフ構造が開発された。



ばねによって弁座を弁体に押し付けて、シールする。大径、高圧用。

12. 出典一覧-1

※はWeb site、Internet Archive に収納されている資料。

符号	出典
①	What was the 'valve' used in the ancient Roman water supply? https://gigazine.net/gsc-news/en/20200226-ancient-roman-valves/
②	Carl L. Svensen A Handbook on Piping D.Van Nostiland Co. 1918、1922 ※
③	https://www.leadervalves.com/s/cast-steel-html/cast-steel-lubricated-tafer-plug-valve-cl-150.html
④	沼田真人:水道用バルブの歴史的な話、水道バルブ協会
⑤	Sweet's Engineering Catalogue New York:Sweet's Catalogue Services 1916,1917、1919※
⑥	CHAPMAN Tilting Disc Check Valve https://docecity.com/chapman-tilting-disc-check-valve-5f10453d28b51.html
⑦	Croton Aqueduct Wikipedia CC https://en.wikipedia.org/wiki/Croton_Aqueduct
⑧	The Natural Gas Industry in Appalachia David A. Waples McFarland Company https://books.google.co.jp/books?id=EedYrOtmEkC&pg=PA138&lpg=PA138&dq=gas+pipes+fueling+the+Barcelona+Lighthouse&source=bl&ots=GSVC1FkGHu&sig=ACfU3U001hWOt0I387tAzOevzILFGiQ2rQ&hl=ja&sa=X&ved=2ahUKewiLlbXJlePzAhXEAYgKHSUBAa8Q6AF6BAgbEAM
⑨	Catarogue of Gate Valves and Fire Hydrants、Chapman Valve Mfg.Co. 1888 ※
⑩	配管技術研究協会誌2022年春・夏号 水道用ソフトシール仕切弁の製法 臼井春範 前澤工業(株)

12. 出典一覧-2

符号	出典
⑪	Valves & Fittings Catalogue No.50 Crane Co. カタログ 1917 ※
⑫	日本ギア工業(株)提供
⑬	(株)キッツ ホームページ
⑭	バルブ工業の歩み、日本バルブ工業会 1974
⑮	F. Lunbenheimer Globe Valve 1865 https://www.linkedin.com/pulse/ball-valves-vs-globe-from-civil-war-age-information-keeling
⑯	(株)フジキンホームページ
⑰	F. ジョーンストーン・テイラー:Water Power Practice 1927 https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/lowres-picturecabinet.com/43/main/7/85745.jpg
⑱	Handbook of Applied Hydraulics McGraw-Hill Book Co.Ltd 1942 ※
⑲	George Frederick Gebhardt:Steam Power Plant Engineering 1908、1917 &1918※
⑳	Marc Hellemans The Safety Relief Valves Handbook ELSVIEKL 2009

12. 出典一覧-3

符号	出典
⑳	Frederic Remsen Hutton:The Mechanical Engineering of Power Plants、初版 John Wiley & Sons 1898 & 1896※
㉑	The Ashton Valve Company's Catalog 1896 ※
㉒	Archibald Williams:How It Works、Thomas Nelson and Sons 1911 ※
㉓	Magazine, Power Plant Engineering ※
㉔	ハックマンが1828年にノートに残したスケッチを基に作図 https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/lowres-picturecabinet.com/43/main/7/85745.jpg
㉕	Piping Handbook (1945年版のみ※)
㉖	西野悠司 編著 ものがたり 配管の歴史 (一社)配管技術研究協会発行。日本工業出版刊
㉗	日本ニューロン(株)カタログ
㉘	Useful Information for Architects, and Engineers 1886 ※
㉙	US865631A-Check-Valbe.-Google Patents 1907 https://patents.google.com/patent/US865631A/en

12. 出典一覧-4

符号	出典
③1	旧横浜水道公園(横浜市水道局)
③2	西野悠司: プラント配管の原理としくみ、日刊工業新聞社 2020
③3	西野悠司 撮影
③4	The Gate Valve's Long History https://unitedvalve.com/blog/the-gate-valves-long-history/
③5	1872 Boston Directory Ashton Valve advertisement ※
③6	自動弁の世界 日本バルブ工業会ホームページ(写真に部品名追加)
③7	Tables of Piping Standards Pittsburgh and EquipmentCo. 1919※
③8	Valve History http://www.stoneleigh-eng.com/valvehistory.html
③9	CHAPMAN Tilting Disc Check Valve https://docecity.com/chapman-tilting-disc-check-valve-5f10453d28b51.html
④0	A Handbook of Wood Pipe Practice 1938※

12. 出典一覧-5

符号	出典
④1	Magazine, The Practical Engineer 1903、1904 ※
④2	Magazine, Power Engineering ※
④3	Henley's Encyclopedia Practical Engineering ※
④4	Robert H. Thurston, "A History of the Growth of the Steam-Engine (2'nd ed.)", D. Appleton and Company 1886, p.48. ウィキペディア ドニ・パパン パブリック・ドメイン
④5	Magazine, Scientific American ※
④6	米国United Valvesのホームページ、"History of Valves-Industrial Valves https://unitedvalve.com/industry-information/historical-valve/
④7	James J Lawler Modern plumbing, steam and hot water heating The Popular Publishing Company 1904 ※
④8	<u>Harper's Weekly</u> Magagine、November 12, 1881 Permission details not needed; copyright expired
④9	(株)フジキン ホームページ
⑤0	岡野バルブ製造(株)ホームページ
(51)	Valves & Fittings Catalogue No.51 Crane Co. カタログ 1923 ※