

〔 連 載 〕

流量計測の歴史 第16回

< 容積式流量計の歴史 I >

小川 胖
Yutaka Ogawa

1. 石油開拓史

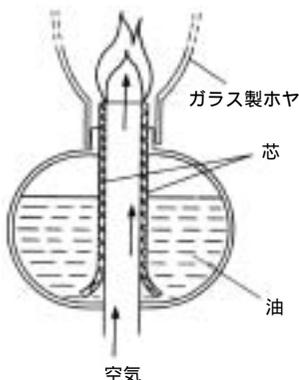
前回水道メータとガスメータの歴史について記したが、これらのメータあるいはそれを改良したものがやがては石油の取引や生産工程で使用されるようになったに違いない。その石油がどのようにして開拓されていったかをまずレビューしてみよう⁽¹⁾。

人類の石油利用は、アスファルトをプラスチックとして使用した原始社会にさかのぼる。旧約聖書にノアの方舟の製造法に関連してアスファルトが登場してくるが、メソポタミア（現イラク）北部で紀元前7000年ごろの遺跡から発見された農具にアスファルトの痕跡があり、またバビロンの都市遺跡でも建設材として使われていた。「流量計測の歴史< 8 .日本の科学技術史>」で述べたように、日本では日本書紀に天智天皇が大津宮で即位した668年のこととして「越国（こしのくに）燃ゆる土、燃ゆる水を献ず」とあり、これがわが国最初の石油についての記録である。

皿や壺にためた動植物油に灯芯を浸して燃やす、古代からの照明法は長い間不変であったが、1784年にスイスのアルガン（F. R. Argand）によって近代的な照明器具すなわち第1図に示すランプが発明された。

これはロウソクの7倍も明るく照明の歴史における最大の進歩であったといわれている。

19世紀に入ってから大量の照明が必要となったため、鯨油だけでは量的に不十分であった。



第1図 アルガンランプの原理⁽¹⁾
(出典：新編 春風秋雨録)

この必要に応じて現れたのが「石炭油」であった。「石炭油」に成功したのは、英国の王立研究所でアラデーの実験をたすけ、後にマンチェスターで化学工場の経営者になった優秀な科学者ヤング（James Young）であった⁽²⁾。

彼は1847年に油分の多い石炭や油母頁岩（ゆぼけつがん）の乾留によって、液体の炭化水素を抽出し、それからナフサ、灯油、潤滑油、パラフィンを製造することに成功した。

一方米国では、1859年ドレークがペンシルベニアのオイル・クリーク地域で油井の発掘に成功し、30バレル（約4,800L）の原油を採取した。たちまち「ドレークの愚行」が成功したというニュースが広まり、「ドレーク井」として有名になった。写真1の中央シルクハットの人物がドレークである。ドレーク井の成功でオイルブームが起り、石油産業が誕生する。



写真1 ドレーク井⁽¹⁾

そして石油業を近代事業として成立させたのはロックフェラー（John D. Rockefeller）であった。彼は1870年（明治3年）に米国オハイオ・スタンダード石油会社（Standard Oil of Ohio）を創立し、1878年には石油精製設備投資額はアメリカ全体の90%を占めるにいたった。

このようなアメリカにおけるスタンダードの制覇は同時に世界石油市場の独占をも意味した。1880年代

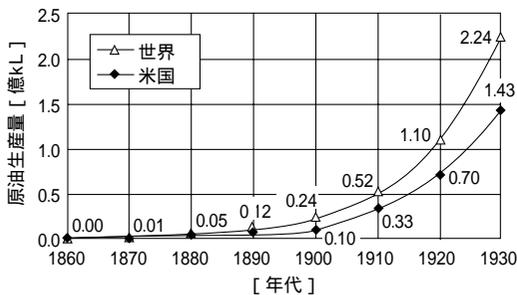
入ってロシア石油が登場するまでは、世界を席卷し、日本でもスタンダード支配下のアメリカ灯油が、石油市場のほとんどすべてを抑えていた。

1885年ころ新潟の内藤久寛は尼瀬に油井掘削のために群がる人々を見て、石油事業に関心を抱き、1888年5月10日に日本石油会社を設立した。写真2は明治中期の油井やぐらが林立する最盛期の尼瀬油田の写真である。



写真2 日本石油 尼瀬油田(明治中期)⁽¹⁾

世界の原油生産量は第2図に示すように1900年代に入ってうなぎ上りに増大していく⁽³⁾。



第2図 世界の原油生産量の推移⁽³⁾

現在、年間の世界原油生産量が約40億kLであるから1930年代で約1/18の生産量であった。この頃まではアメリカの生産量は世界の64%を占めていた。

2. 容積式オイル・メータ

米国では石油産業が活発となり、前号で記したように数多くの石油プラントが建設されていった。流れ図に示したように、プラントのガス流量計測にはオリフィスが使われていたが、油の流量計測には容積流量計 (Positive displacement oil meter) が使用されている。原語は「完全吐出型油用メータ」とでも訳すので

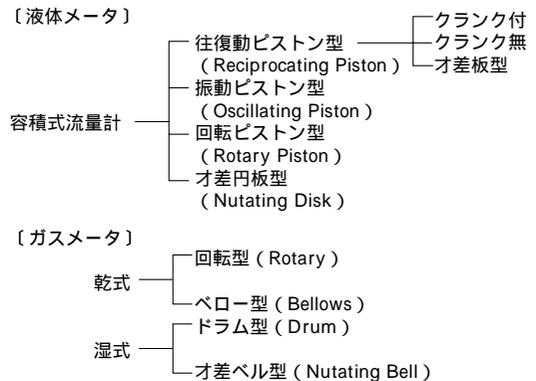
あろうが、この定義と容積流量計の種類については1932の11月号から1934年の12月号にかけての“Instrument”に特集されているので抜粋して紹介したい。

1916年にASMEの流量計専門委員会が容積式流量計の研究に関する計画を立てた。1920年頃、それまで無定見に使用されていた“positive”を「流体が主要装置を動かさずにメータを通過できない。」と定義している。

この頃の工業界では、「モンキー・レンチとねじ回しのメカニクス」が技術者に道を与え、また自分自身で技術者となるべく勉強する方法であり、いまだに昔のあいまいな分類やいいかげんな用語しか無かった。しかし今やポジティブ・メータと言えば、量メータであり、即ち量カウンタであるという定義が定着してきた。

当時の容積式流量計の分類を第1表に示す。

第1表 当時の容積式流量計の分類



(1) 往復動ピストン型メータ

写真3はアメリカン・液体メータ会社 (American Liquid Meter Co.) のバスラー・メータ (Basller meter) の内部構造を示すものである。これは旧式のクランク無し単一ピストンを新しい形にしたもので、石油製品用に特に設計されたものである。

第3図は作動原理を示すものであるが、ピストンは往復動で両端の二つある主弁の一つに向かって動く。ピストンが左右に往復動する時に、螺旋軸はパイロット弁を作動すると共に、上部左側にある積算計をも動かす。螺旋軸によって末端の歯車が回転してパイロット弁を左右に動かして内筒の上下の異なる位置にある二つ通過口を切り替えて、ピストンの行きと帰りで、流体が入口から出口に吐出するようにする機構になっ

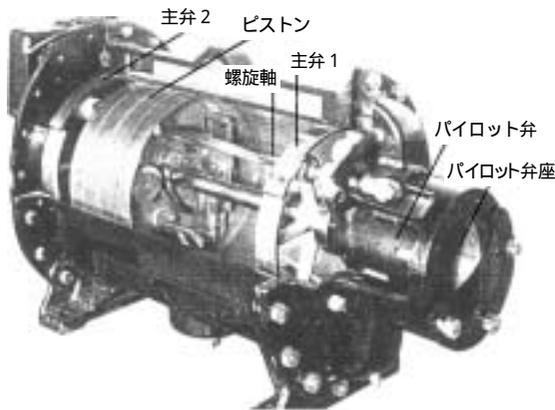
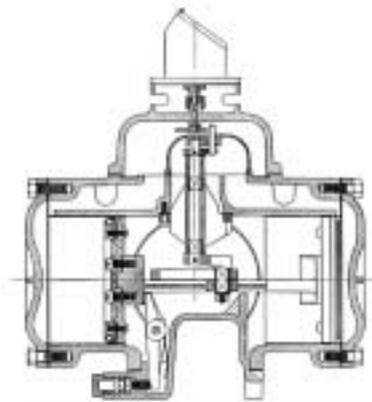
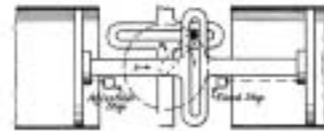


写真3 パスラー・メータの内部構造⁴⁾

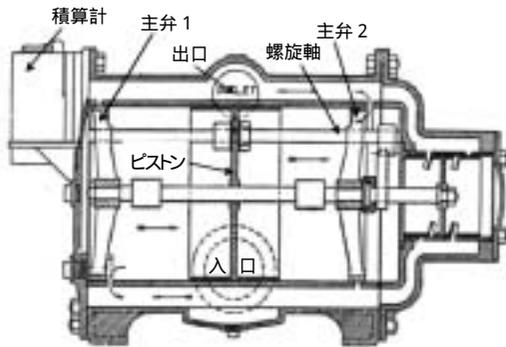


(a) 立面図



(b) 平面図

第4図 ピッツバークの油&ガソリン・メータ⁴⁾



第3図 パスラー・メータの作動原理図⁴⁾

ている。口径サイズは1～6インチで容量はそれぞれ2～25GPMから125～1,250GPM (0.45～5.7m³/hから28.4～284m³/h)である。

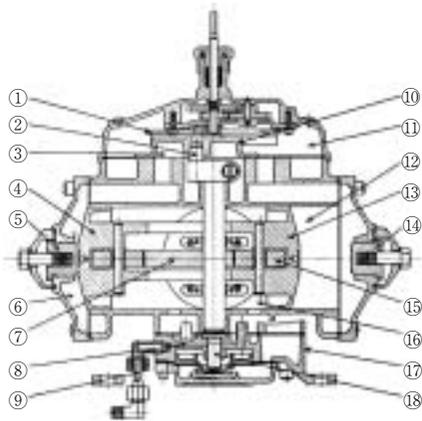
第4図は同じ頃のPittsburgh Equitable Meter Co.製のピッツバーク・油及びガソリン用メータである。このメータは回転弁を運び、積算計を動かすのにスコットランド・ヨークの一種を使用している。

このメータもピストンメータであり、平面図に示す機構がスコットランド・ヨークであって、ピストンが左右に動くことによって、時計方向の回転が取り出され積算計に伝達される仕掛けになっている。サイズ2インチで最大容量が120GPM (27.3m³/h)で1GPMでも誤差が0.4%以内で測れ、全流量範囲で1%以内の誤差で計測できるという、当時としては性能の良いものであった。図からは左右ピストンとケーシング間の液体がどのようにして吸入・吐出されるか分からないが、筆者の見るところパスラー・メータよりこちらの方が機構的にもすっきりしているように思われる。

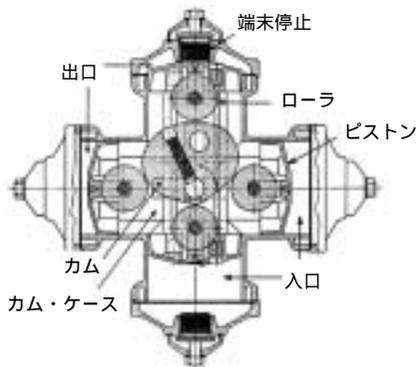
次に示す第5図はバジャー・メータ社 (Badger Meter Mfg. Co.) のバジャーG. Pである。

このメータの動作原理については詳しく記されている。立体図において液体は入口室①からシリンダー⑫に入ってきて、ピストン⑬及び⑭を停止端⑮に当たるまで動かす。この端末位置において、ピストンは周期の1/8の間ゆっくりと動く。この図のように、この「ゆっくり」時間の最初には、ピストン⑬は入口①に対して、ピストン⑭は出口③に対して開いている。「ゆっくり」時間の終わりの方で、バルブ⑩が、ピストン⑬及び⑭に対してそれぞれ入口及び出口を閉じ、バルブがピン②によって均一な運動で動き、案内①によって回転しないようになっており、ピストン⑭に対して入口はゆっくり開き、同時にピストン⑬に対して出口を開き、そこで液体は出口③を通過し、シリンダー⑥に入ってくる液体によって両方のピストンが停止端⑮の方に動いていく。同じ動作は立体図には示されていない垂直方向に置かれたピストンとシリンダー部分でも行われる。このメータの面白い特徴は摩擦を最小にするために、シーリング・リングがなく、シリンダーとピストンがゆるく組み込まれている。

液体は出口室③とカム・ケース⑯間の圧力を等しく保つ装置 (自動調節器⑰) によってピストンとシリンダー壁の間に生じる漏れを防いでいる。圧力はプランジャ⑱によって等しくなり、液体が通路⑧を流れ、戻



(a) 立面図



(b) 平面図

第5図 パジャー・メータ⁽⁴⁾

りライン⑨を通り、メータによって計量されることなく、ポンプまたはタンクに戻される。従って精度は液体の粘度、比重量及び圧力によって影響されないとメータは主張していた。このメータは通常1/2インチ(8GPM=1.8m³/h)及び2インチ(125GPM=28.4m³/h)が製作されている(現在でもリークが少ないことから小流量の計測に適しており、ガソリン計量器に使用されている)。

当時のアメリカの石油プラントの液体の計量にはバスター・メータとピッツバーク・メータが多用されていたようで、写真4は前号で紹介したヴィレ・ブラッテ石油プラントで大量に使用されているこれらのメータ群である。低圧セパレータからの油が計られており、メータは温度補正され60°Fの容積に換算されていた。メータは常にチェックできるように設置されており、いつでも精密な校正ができるように正確に校正されたタンクと、メータに実際の量を循環できるポンプから成るメータ校正装置が完備されていた。マスターメータもチェック用にすでに使用されていた。

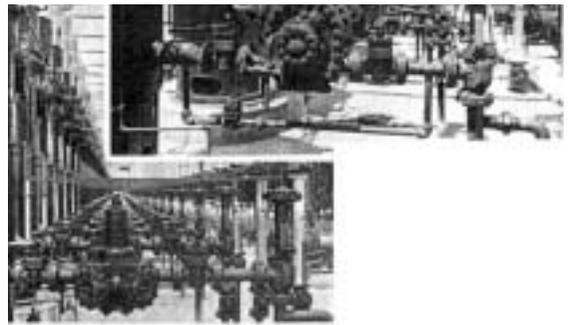
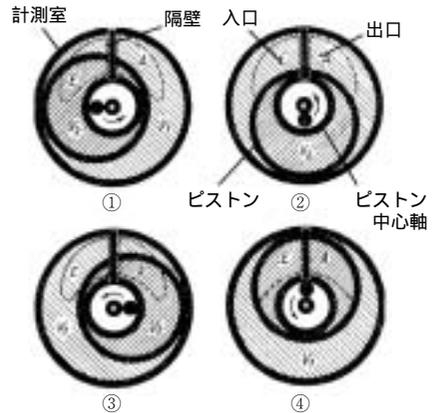


写真4 大量に使用されていたバスター・メータ(上)とピッツバーク・メータ(下)⁽⁵⁾

(2) 回転ピストン型メータ

第6図には回転ピストン型メータの作動原理図を示す。計測室の半径方向に隔壁があり、ピストンは計測室の中心に対して偏心している。ピストンに設けられた切欠き部がこの隔壁を挟んでいる。流体が入口から流れ込むと流体圧力によってピストンが①②③④の順に回転し流体を出口から押し出すが、切欠き部は隔壁上を往復動する。

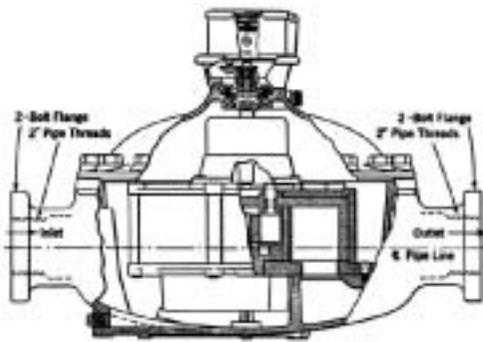


第6図 回転式ピストン型の作動原理図

第7図はナショナル・メータ社(National Meter Co.)が水道メータとして帝国(Empire)の名で1884年に世に出した回転ピストン型メータであるが、石油、アンモニア、飲料、インク、シロップ、タール、ワニスなど数多くの液体用に開発してきたものである。

(3) 才差円板型メータ

nutateという語はsway、rock、nodと同義語であり、揺れ動く、動揺するなどの意味があるが、技術用語では、こまの首振り運動を「才差運動」というがこれを意味している。地球の回転軸も25,000年で1周期



第7図 ナショナル・メータ社の「帝国」メータ⁷⁾

の才差運動をするという。才差円板型メータはこのまの首振り運動を想像されると良い。

才差円板型は< 13 . 水道メータとガスメータ > で述べたごとく、19世紀末には水道メータとしてヨーロッパで既に使用されていた。

写真5 に才差円板型メータの断面を示す。

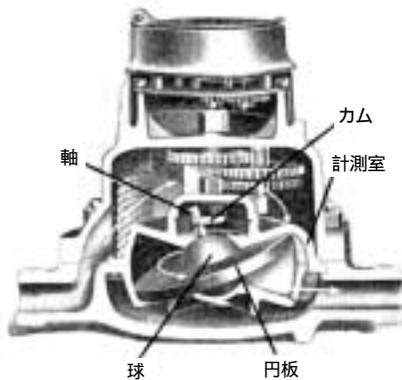


写真5 才差円板型メータ⁶⁾

計測室の上下面は内側に向かって円錐型になっており、内室側壁は球面をしている。可動要素である円板は中心球に埋め込まれており、円板に垂直な柱もしくは軸が計測室の外へと伸びている。

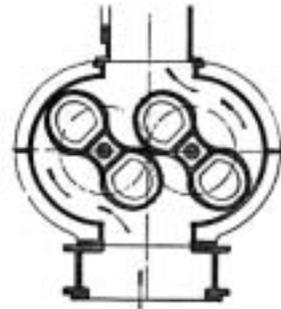
この軸はカムによって傾きが保たれており、このため円板は球の側面上にある放射状要素に沿って計測室の底と接触している。円板が回転するのを防ぐために、円板に放射部と噛合う放射状溝が切られている(図示せず)。入口と出口はケースの側壁、放射部の反対側にある。液体は円板の上下から交互に計測室に入り、円錐型計測室の周りから出口へ通過する。液体は計測室の周りから最初は円板の上側に次に下側に圧力をかけるので、円板が才差運動を生ずる。円板は径方

向に溝があり、計測室の仕切りと噛合って回転運動をしないようにしてある。従って円板は才差運動のみを行い、これによって軸の先端は円運動をし、指針軸上のクランクと噛合うことによって、メータの指針を動かす。

(4) ルーツ・ガスメータ

ガスメータの方は、ドラム型やペロー型については既に述べたが、ついにルーツ・ガスメータが登場した。

< 12 . 20世紀初頭の天然ガスの計測 > で1902年に二葉形のロータリ・ポンプの登場を紹介したが、ルーツ・メータという呼び名で特許されたのは1924年であった。当初は低圧で清浄な照明用ガスの計測にだけ使用されていたが、1933年代には工業用として広い範囲で色々なモデルが作られている。第8図はルーツ・メータの原理図であるがロータは互いに接触しておらず、若干の隙間があり、計測室外側の両端に2対のタイミングギヤー(一点鎖線で表示)があり、これによって回転している。



第8図 ルーツ・メータの原理図⁸⁾

写真6 はコナースヴィレ・メータ Roots-Connersville-Wilbraham) で、圧力及び温度が大きく変化するガスを計測し、圧力、体積及び温度の圧縮記録をする

PVTT 記録ゲージ

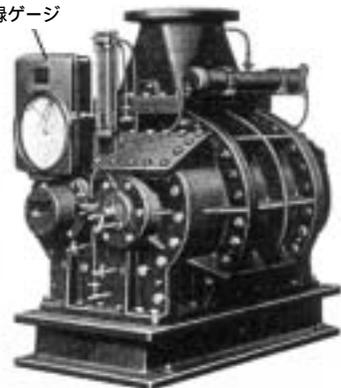
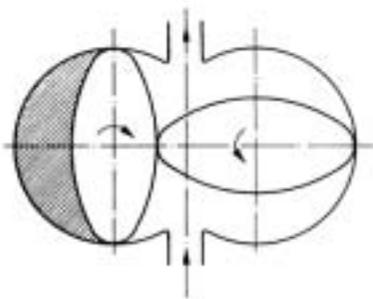


写真6 コナースヴィレ・ルーツ・ガスメータ⁸⁾

PVTT 記録ゲージを装備していた。

このチャートは時計による代わりにメータ自力によって回るようになっており、1日1回の平均値を記録するようにもできた。

さて我が国でオーバル歯車式流量計が登場するのは戦後1950年頃であるが、世界的にはいつ頃であったのであろうか。ドイツのBopp & Reuther社によれば、1933年に初めてのオーバル・メータが作られたとされている。第9図はオーバル歯車式メータの原理図であるが、これは楕円に多数の歯が切っており、左右のロータは互いに噛合って回転する。従ってルーツ・メータのようにタイミング・ギヤーは不要である。計測室と歯車の間に囲まれた斜線部分が桁となり、1回転でこの4倍の量が吐出される。写真7はいつの時代のものか定かではないが計測室を上から撮ったものである。



第9図 オーバル・メータの原理図⁽⁹⁾

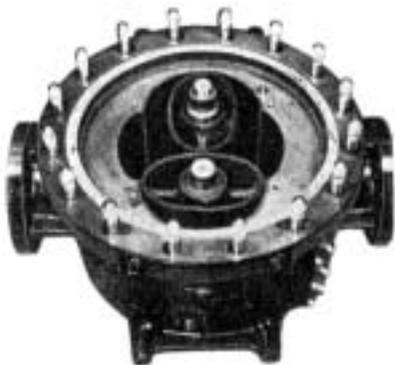


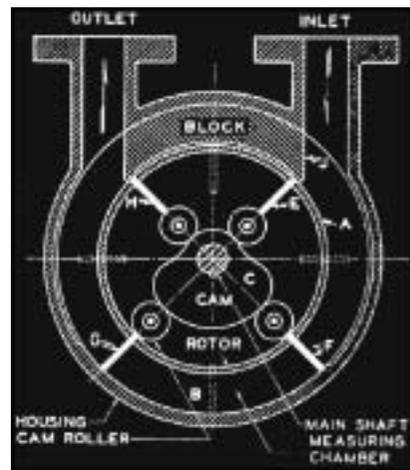
写真7 オーバル・メータの計測室⁽⁹⁾

米国ではまだこの時代にオーバル・メータが使用された形跡はない。

時代は7年ほど過ぎた1940年に、ASMEの流量計専門委員会は多少なりとも石油工業で使用されているメータに着目する事にした⁽⁶⁾。その第1の理由は石油

工業で使用されるメータがここ数年で着実に増えていることであり、第2の理由は集積ラインや配管ラインでのメータの使用を必要とするために、いくつかの州の立法部で法律上のことであれこれと議論されてきていることによるものであった。

その結果委員会は石油製品の小売や元売りでの計量に責任を持つ所轄官庁を通じて、メータ製造業者、メータ使用者及び一般市民に対し公平な情報を与えるべきであることを確信した。そこで油井、輸送ライン及び精油所で使用しているメータを試験する装置を準備した。次に燃料油、ガソリン及び液化石油ガスのような製品の小売販売に使用されているメータを調査する必要があった。石油メータの種類はほとんど7年前と変わらないが、新たにスライディング・ベーン型(第10図参照)が登場してくる。



第10図 スライディング・ベーン型メータ⁽⁶⁾

<参考文献>

- (1) 「日本石油百年史」日本石油(株), 1988
- (2) チャールズ・シンガー「技術の歴史9」筑摩書房
- (3) 「石油便覧2000」日石三菱(株)編
- (4) M. F. Behar “Flow Measurement and Control Chapter 23, Positive Meters” Instrument, January 1933
- (5) “Inducted into Hard Service” The oil and Gas Journal Vol.39, No.22, 1940
- (6) Edger E. Ambrosius “Volumetric-Type Fluid Meters” The oil and gas journal, Vol.39, No.13, 1940
- (7) M. F. Behar “Flow Measurement and Control Chapter 23, Positive Meters” Instrument, February 1933
- (8) M. F. Behar “Flow Measurement and Control Chapter 23, Positive Meters” Instrument, April 1933
- (9) Joachim Böhler “Handbuch der Wassermessung” R. Oldenbourg Verlag, München.Wine 1965