

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 12 . 20世紀初頭の天然ガスの計測 >

(株)オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . 20世紀初頭の流量計

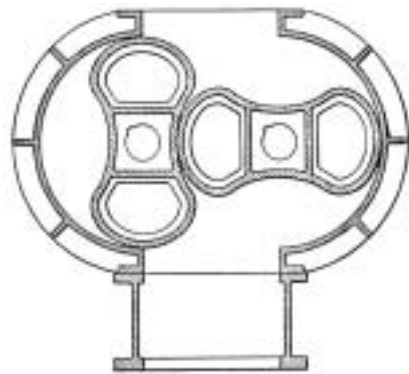
20世紀初頭に使用されていた工業用流量計はせき式、ピトー管、ベンチュリーおよびオリフィスであり、この時期には、それらの使用例や試験結果の技術報告文献、特に米国では天然ガスの流量計測に関するものが多い。

(1) ロータリ・ポンプの研究

そんな中で1902年に「ロータリ・ポンプ」⁽¹⁾に関する報告がされており、その中でウィルキン (John T. Wilkin) は概略次のような報告をしている。

『ロータリ・ポンプについての文献はReuleaux教授が1876年に記した“ Kinematics of Machinery ” に詳しいが、その文献を入手するのが困難である。彼によると、4葉形または4枚歯の二つの羽根からなるポンプは1630年から使用されていたという。

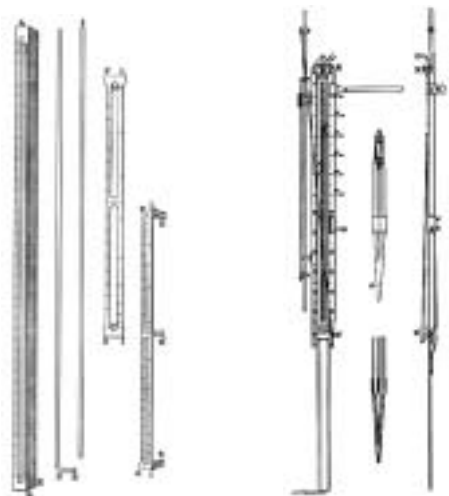
ロータリ・ポンプの開発と商業化は1860年代から1870年代にかけて他の形式のものと同歩調を合わせていたが、遠心ポンプの値段に対抗するために、羽根の接触面を鋳肌のままで製作したのだから、高圧下でのリークが大きくて性能が上がらず全くの不人気であった。そこで約10年間注意深く研究し、第1図に示すような完全な上下サイクロイドに機械加工で形成された2つの同形の羽根を持ったロータリ・ポンプを製作した。これは適切に組み立てられ提供すれば、抜群の結果が得られる。二葉形サイクロイドポンプの1回転当りの吐出は正確に羽根が回転する円筒の容積である。別の言い方をすれば、二葉形羽根の面積は外接円の面積の1/2である。この事実はこの形がメータ (流量計) として使用可能であり、その吐出は非常に正確に測定できる。』と現在ルーツ・メータと呼ばれる流量計を示唆しているのである。ルーツ・メータがいつ頃から市場されたかは、また後ほど記述する機会がある。



第1図 二葉形ロータリ・ポンプ

(2) ピトー管

1903年にグレゴリー (W. B. Gregory) は「ピトー管」⁽²⁾について詳しく記しているが、第2図がピトーによって描かれた図面のコピーであり、第3図がダルシーとベイズンによって改良されたものである。



第2図 ピトーによるもの

第3図 ダルシーによるもの

図が小さくて見にくいと思われるが、よく観察すると、ピトーのものはガラス管の先端が閉じられており、ダルシーによるものは先端が開放できるようになっている。先が閉じていれば圧力が上がると、先端に閉じ込められた空気が圧縮され、水圧と等圧になるためにその分水柱が低くなるはずである。ピトーによるピトー管の誤差が大きかった理由の一つと思われる。

写真1は1902年頃に使用されていたピトー管の例である。

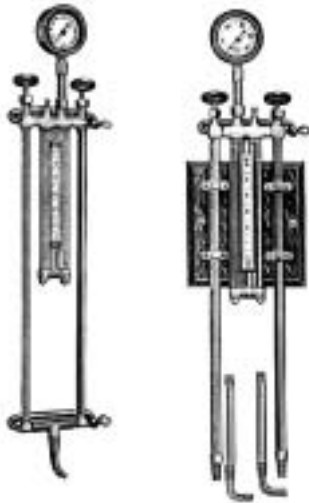


写真1 1892年に米国特許取得のピトー管

(3) 天然ガスの流量計測

1912年に天然ガスの計測についてはウェイマウス (T. R. Weymouth)³⁾の報告に詳しく述べられている。ご存知のように米国では、非常に多くの天然ガスの井戸があるが、天然ガス技術の中で遭遇している最も重要な問題は、ガスの売買において、いかに大容量ガスを正確に計測するかであった。

天然ガスの計測の問題は開放流 (Open flow) と管内流 (Closed flow) の二つに分かれるが、開放流の計測には次の二つがある。

- ① ボイルシャルルの法則を用いる方法
- ② ピトー管で流速を測る方法

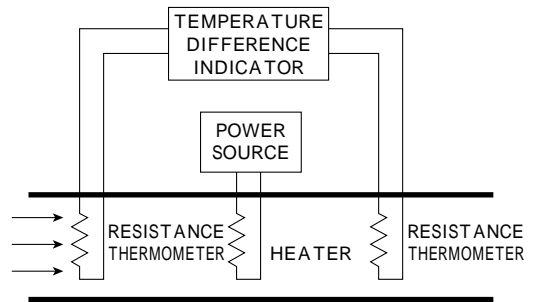
①はガス井戸にタンクを置き、タンクに貯めた天然ガスを大気中に放出し、大気圧 (P_0) と等圧にした後、放出弁を閉め流入弁を開けて天然ガスを流し込み、弁を閉じた時の圧力 (P_m) を読む。タンクの容積を V とすると、流入量は

$$Q = V \{ (P_m + P_0) / P_0 - 1 \} \quad \dots(1)$$

となる。

②は前述のピトー管で流速を測り、体積に換算する方法である。

次に管内流での流量計測の候補はヴェンチュリ・メータ、オリフィス、ピトー管及びトーマス電気メータであった。ここでトーマス・メータについて述べると、原理図は第4図によるものである。



第4図 トーマス流量計

トーマス (C. C. Thomas) は1911年にこの流量計を開発したが、現在半導体業界などで盛んに使われている熱線式質量流量計 (Thermal mass flowmeter) のはしりである。

この原理は中央にあるヒータで全流体を温め、その前後の温度差 (Dt) を測ると、温めるのに必要な電力 (E) は(2)式で表される。

$$E = M \cdot C_p \cdot t \quad \dots(2)$$

ここで、 M : 質量流量

C_p : ガスの定圧比熱

トーマス流量計は非常に正確な計器で、構成も比較的簡単であったが、いかにせん $75,000 \text{ft}^3 (2,124 \text{m}^3)$ の量の天然ガスの計測に約 $1 \text{kW} \cdot \text{h}$ に均しい電気エネルギーが必要であり、この事実は特に現場の天然ガス計測の使用上大きなネックであった。

また著者はピトー管は管内流の一部の流速を測り、全流量に換算するものであるから、パイプの面粗さで流速分布が変わってしまう欠点をも指摘している。

結論としては、やはり簡単な構造のオリフィスを推奨している。

フィッシャー (Francis P. Fisher) が述べているように⁴⁾、1916年代になると、ここ20年間で天然ガスの需要が急増し、250万人にガスを供給するようになった。このためにはメタリングが必要であった。

メータはここ数年で $1/50 \sim 1/100$ の分流式の比率メータが使われていたが、汚れが問題であった。その他ピトー管やトーマスメータも検討したが、最終的には大容量の天然ガス計測にはやはりオリフィスをリ

コメンドしている。写真2は現場に設置されたオリフイスメータであり、いかにも現場らしい風景である。また流量を自動的に記録する必要もあり、第5図に示す差圧ゲージが開発された。これはバラード(H. O. Ballard)が推奨したものである。このゲージはガス圧力がゲージ範囲を超えた場合、マノメータの中の水銀レベルが図のaの開口部より下に下がり、水銀本体にダメージを与えないようになっており、圧力が下がれば、水銀が元の位置に戻る工夫が凝らしてあった。ボールの上下動がペンに伝わるいわゆるペンレコーダである。

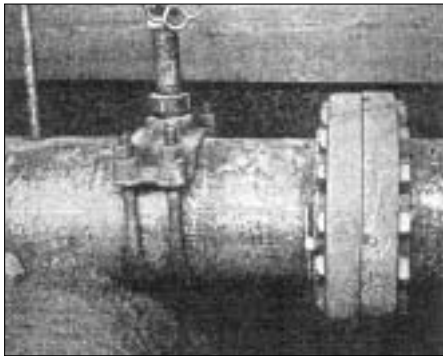
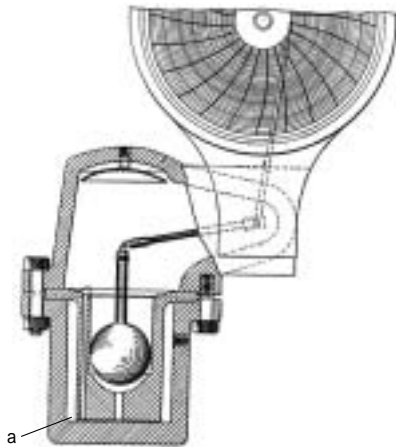


写真2 井戸に設置されたオリフイスメータ



第5図 バラード差圧ゲージ

さてこのように天然ガスの流量計測を行っているうちに、天然ガスはどれもボイルの法則に合わないことに気がつきだし、イアハルト(Robert F. Earhart)は次のように述べている⁽⁵⁾。

19世紀末から、ある種の気体でボイルの法則が合わないことが指摘されていたが、天然ガスがボイルの法則に合わないことを最初に言い出したのはおそらく

1912年のウォーカ教授であり、1914年に再び「メタンガスの物理法則」というテーマでASMEに報告している。

試験は写真3に示す装置を用いてオハイオ州立大学の物理学研究所で行われた。これを図示すると第6図のようになるが、校正された内径3mmのガラス細管に天然ガスを充填し、水銀が入ったポットにセットし、重錘式圧力発生器Bによって圧力を変化させた。このときの水銀柱の高さを拡大鏡Fのついたスケールで読み、封じ込められたガスの体積の変化を測定するわけである。

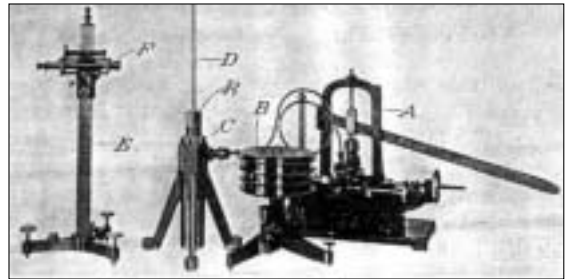
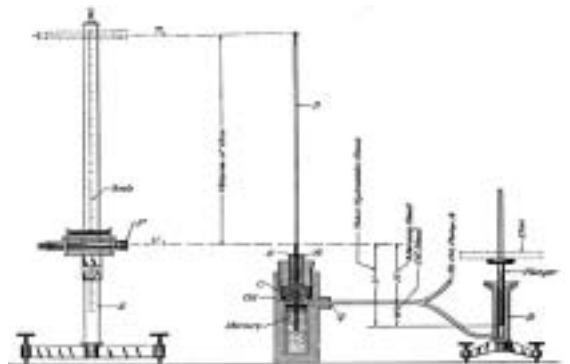


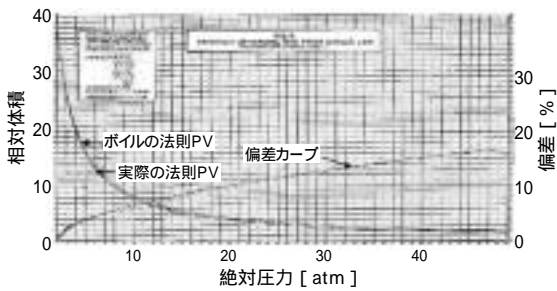
写真3 試験装置1



第6図 試験装置図

さてこのようにしてボイルの法則からの偏差を測定した結果の一部を第7図に示す。

この図から見ると49気圧の天然ガスはボイルの法則よりも約16%も体積が少なくなるという結果であった(筆者も実はこの偏差の問題で若い頃に苦い経験をしたことがあった。今まで液体流量計測のみを担当していたが、渦流量計に携わるようになり、確か50気圧位のブタンガスの流量測定で、大気圧換算流量が30~40%少なく指示してしまう問題が発生したのである。このボイルの法則からの偏差係数を知らなかったのである)。



第7図 天然ガスのボイルの法則からの偏差

現在ではボイルの法則式に偏差係数Zを乗算した気体の状態式が使用されている。

$$PV=ZRT \quad \dots(3)$$

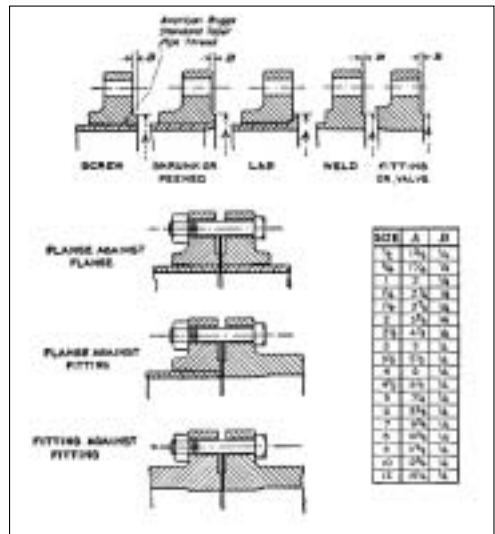
ここでPは気体の絶対圧力、Vは気体の体積、Tは気体の絶対温度、Rはガス定数である。また、偏差係数Zは混合ガスの各々の成分率、臨界圧力、臨界温度、プロセス温度、圧力の関数であり複雑である。

(4) ASME 圧力継手規格

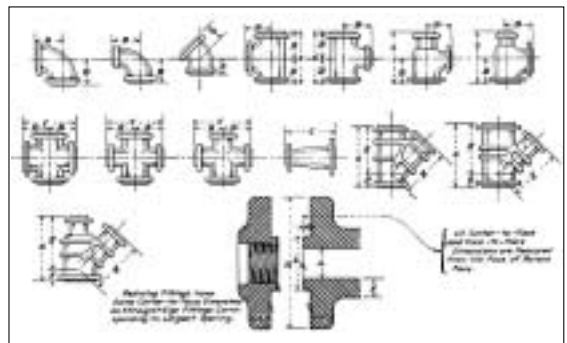
この時代ASMEを調べてみても、水道メータや天然ガス用メータのレポートはあるが、石油プラントに使用されているメータについてのレポートは見られないのである。フォード自動車会社が設立されたのは1903年であり、1911年にフォードが自動車の大量生産を開始したので、石油プラント及びガソリンスタンドにおける流量計測の問題はもう少し先のばしということかもしれない。

しかし米国では油井や天然ガス井戸からの配管が必須であったので、1914年にフランジと配管継手の米国規格が制定されている。第8図にフランジ規格、第9図に配管継手を図示するが、現在の規格と比較してみても大差はないように思える。

さて1916年といえば、日本では大正5年の時代であるが、技術的にどんな時代であったのであろうか。1916年に本田光太郎がKS磁石鋼を発見し、1918年に東北大学に金属材料研究所が設立されているが、科学技術の普及はやっと一緒に就いたといえる。「電気界」が明治41年(1908年)、「電気評論」が大正2年(1913年)、「鉄鋼」が大正4年(1915年)、「機械学会誌」、「日立評論」が大正7年(1918年)に創刊号が発刊されたといったところである。日本の流体計測技術を侮辱することになるかもしれないが、当然、当時流量計測のケの字あるいはメータのメの字も技術誌には出て来ない時代なのである。



第8図 パイプ接続用フランジ図



第9図 配管継手図

<参考文献>

- (1) John T. Wilkin "Rotary pumps" Transaction of ASME, Vol. 24, 1902
- (2) W. B. Gregory "The Pitot tube" Transaction of ASME, Vol. 25, 1903
- (3) Thos. R. Weymouth "Measurement of natural gas" Transaction of ASME, Vol. 34, 1913
- (4) Francis P. Fisher "Establishing a standard of measurement for natural gas in large quantity" Transaction of ASME, Vol. 38, 1916
- (5) Robert F. Farhart "Deviation of natural gas from Boyle's law" Transaction of ASME, Vol. 38, 1916
- (6) "Report of the committee on standardization of flanges and pipe fittings" Transaction of ASME, Vol. 40, 1918

【筆者紹介】

小川 胖
 (株)オーバル 技術顧問
 〒236-8645 横浜市金沢区福浦1-9-5
 TEL : 045-785-7259