

〔 連 載 〕

流量計測の歴史 第15回

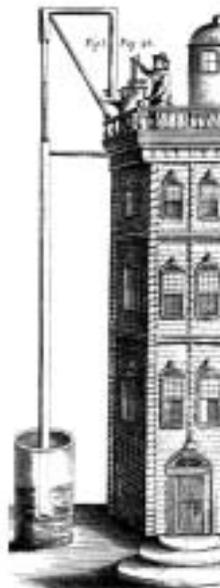
< 差圧式流量計メカニズムの歴史 >

小川 胖
Yutaka Ogawa

1. 差圧計測メカニズムの歴史

差圧式流量計の場合、差圧を発生するメカニズムの他に、差圧を計測するメカニズムが重要なのであるが、これにも長い歴史の変遷がある。計測技術2004年7月号<9. 流量計開発の歴史 I >で述べたように、1世紀末の古代ローマでは一定流量が流れるように個々の水道管の中に抵抗素子を差し込んでいたことを述べたが、ローマの技術者は抵抗素子の前後にガラス・チューブ製マノメータを使用していたかもしれないと空想するのも楽しいことである。16世紀末にガリレオが「ポンプは吸い込み高さが9m以上になると吸い上げられない。」としたことにトリチェリは興味を覚え、17世紀初頭に水の13.6倍の比重である水銀を入れたガラス管マノメータで大気圧が760mm（水柱10.33m）であることを発見したことも計測技術

2004年2月号<4. 計測技術の芽生え>で述べた。やはり17世紀にボイル・シャルルの法則で有名であるロバート・ボイルは、第1図に示すように4階建てのレンガ造りの建物の外側に巨大な水の管を固定した。管の一部は中心が観察できるように、薄いガラス管でできていた。最上部は真空ポンプに接続されており、ポンプを動かすと水は管を上昇しはじめたが、どんなにポンプを動かしても、水は約30フィート以上には上昇しなかったとい



第1図 ボイルの大気圧の実験¹⁾

う。中世風の建物で実験している風景が何とも楽しい。

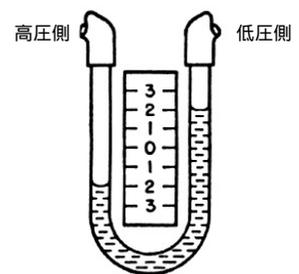
スピנק(L.K.Spink)は差圧計測メカニズムについて種々分類している²⁾が時代との関連がないので、その点を別の資料で補足しながら述べることにする。

(1) マノメータ

19世紀末にハーシェルが始めてヴェンチュリーメータを世に出したが、その実験に水銀柱マノメータを使わずに、10m以上にも及ぶ水柱マノメータを使用した歴史的事実も計測技術2004年8月号<流量計開発の歴史 II >に述べたが、きっと測定感度を良くしたいためだったと思われる（水銀柱より13.6倍良い）。

1910年代になるとウェイマウスはオリフィスによるガス流量計測に水銀マノメータを用いていた。

第2図はUチューブ式マノメータであるが、原理を説明するまでもない。1932年8月号の“Instrument”に差圧式流量計のダイヤル指示マノメータについて記しているが第3図は当時レコーダとして最も広く使用されていたメトリック・メタル・ワーク社のもので、アメリカン・メータ社も同様な計器

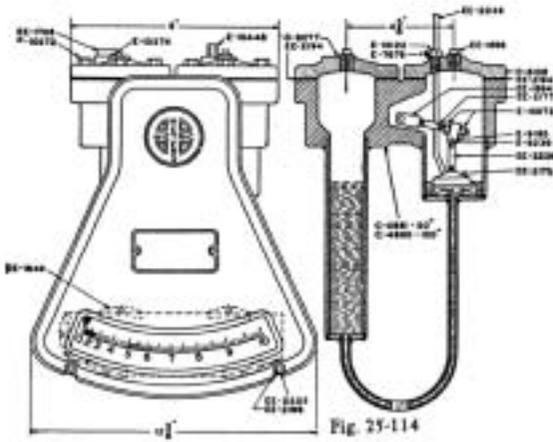


第2図 Uチューブ式マノメータ²⁾

を製作していた。カタログかマニュアルの図面と思われるが無修正のまま載せることとする。これは最大圧力800 lb（約5.6MPa）用で、差圧は2.5、50及び100インチを用意していた。

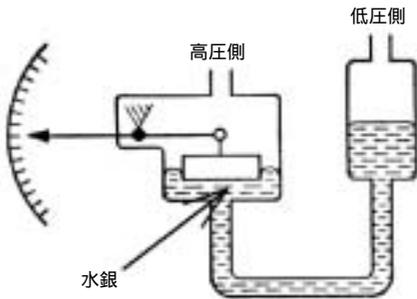
(2) 水銀フロート式メータ

差圧式流量計がたくさん使用されるようになると、



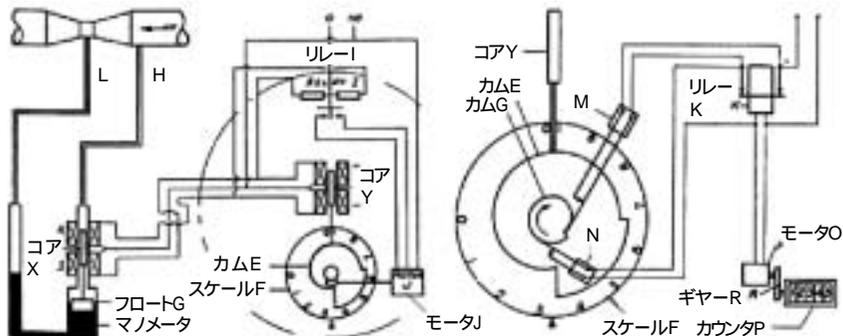
第3図 Uゲージ&フロート式メータ⁽¹⁾

水銀フロート式メータが50年近く、最もよく使用された。原理的には第4図に示すものであるが、1928～37年代には何百という新しい流量装置が出現している。



第4図 水銀フロート・メータ⁽²⁾

その内で第5図はモーレイ&ジョーンズ社 (Morey & Jones) のエレクトロフローである。原理を説明すると、水銀マンオメータのフロートにコアXが結合され



第5図 モーレイ&ジョーンズ社のエレクトロフロー

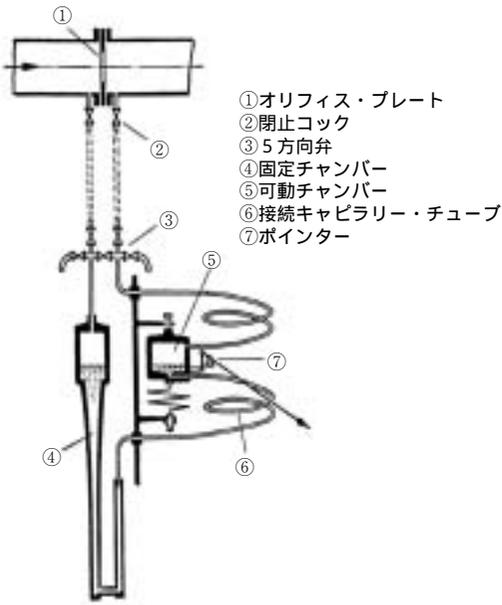
ており、ヴェンチュリーの差圧の大小によって上下動する。この動きが受信器側のコアYと連動し平方根カムEの位置を決める。カムGは1分間に2度回転する。接点Mは固定しており、積算モータOをスタートさせる。接点NはカムEによって発信し、またスケールFを指示し、且つ積算モータOを停止する。リレーKは接点Mがオープンになった後で且つカムGが接点Nを開くまで、回路をクローズに保つ。従ってモータの運転持続時間は流量に比例し積算カウンタを動かすという。いま一つ作動原理が理解できないが、差圧式流量計における機械 - 電気的積算計のはしりである。2004年12月号で紹介した、「サーボ操作型ゼロ方式機械 - 電気系流量計」というのは1920年頃、リード&ノースラップ社 (Leeds & Northrup) で開発したCentrimaxという商品名のものである。これは傾斜Uチューブ型に分類されるもので、最初の使用は1909年のGEの「うば車」という流量記録計に遡るものであるという。

第6図はアメリカン・アスカニヤ社の第2要素 (Askania secondary element) といわれているもので、1932年に米国に導入されたものである。これはオリフィスの放物線状の高圧側脚④からばね平衡調整器⑤に移動した水銀の量を秤で測ることによって、流量を計測し、その指示目盛は、非秤である放物線状脚のおかげで、流量単位に等目盛付けされるという。⑦がその指針である。しかし高温や腐食環境に問題があったようだ。

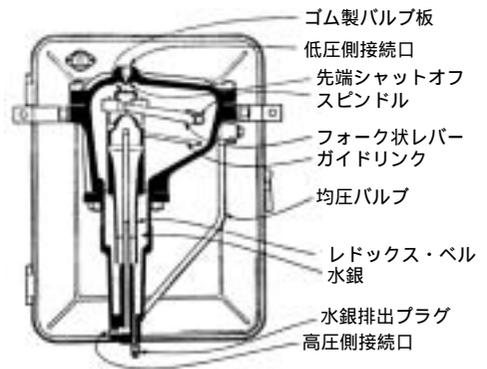
(3) ベル式メータ

ベル式メータというのは低差圧で伝送距離が長かったり、低圧力で計測したり、広い測定範囲が必要な場合に特に採用された。第7図がその原理図である。

差圧が大きくなるほど伏せたベルの中の水銀が押出されて低圧側の水銀が上昇し、ベルが浮力で上昇しボ

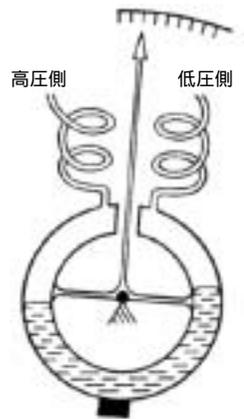


第6図 アスカニアの計測機構³⁾

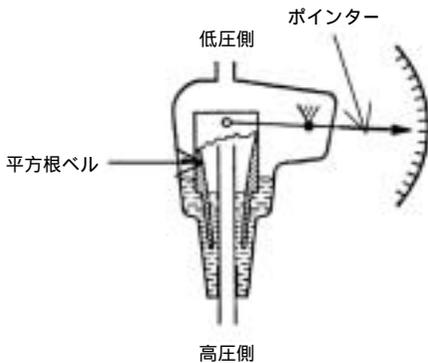


第8図 レドックス・ベル型計測機構³⁾

力によってリング中の水銀が低圧側に押出され、バランスを保つために時計方向に回転しポインターが動く仕掛けになっている。こうしたタイプや普通の水銀フロート・メータは特に平方根出力機構を有していないので、平方根機構を有する積分器につなげる必要がある。第10図は1932年頃に使われていたコッホレーン積分器 (Cochrane Integrator) である。この機構について説明する



第9図 リング・バランス・メータ²⁾



第7図 ベル式計測機構²⁾

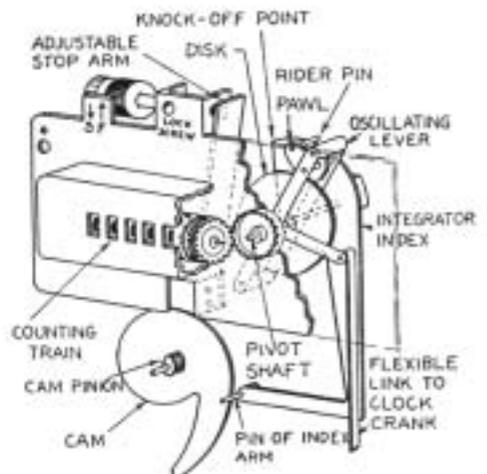
インターが振れる仕掛けになっている。

発電所や製鉄所などの工業会社で広く使用されたのが第8図に示すレドックス・ベルであった。このタイプもベル・フロートによって直接平方根が引出され、ペン・アームは直接流量に比例し、チャートが流量ユニットに内蔵されていた。レドックス・ベルはシンプレックス・バルブ&メータ社やベーレイ・メータ社が使用していた。

(4) 重量バランス式メータ

水銀重量バランス式はヨーロッパで広く使用されていた。その中でも最も人気のあったのは第9図に原理図を示すリング・バランス・メータであった。

これはすぐ解るように、流体が流れると高圧側の圧



第10図 コッホレーン積算計³⁾

と、まずフロートの運動はカム (cam) 軸上のピニオン (pinion) に伝達される。カム (cam) は平方根を引出すように成型されている。積算指標 (integrator index) 上のピン (pin) はカムに対して上昇し、指示アーム (index arm) の位置が流量に一致するようになる。計器の時計によって駆動される往復動レバー (oscillating lever) は積算指標上に乗っている爪 (pawl) とピンを運ぶ。ピンが落込み点 (knock-off point) に達すると、爪が噛合い、積算カウンタ (counting train) の第 1 列に取付けられた円板 (disk) をを進める。帰りのストロークでは、爪は円板上を自由状態となる。1 分毎にサイクルが繰り返される。

前号でも述べたように水銀は環境上にも芳しくないものであったが、差圧式流量計による流量計測上欠かせないものであった。戦後の 1950 年代においてすら、まだ主流を占めており、フォックスボロー社では写真 1 に示すような水銀フロート式メータを、また同じようにハーガン社では第 11 図に示すようなリング・バランス・メータを宣伝していた。



写真 1 Foxboro 社の水銀フロート式メータ⁽⁵⁾



第 11 図 Hagan 社のリング・バランス・メータ⁽⁵⁾

(5) ベローズ式メータ

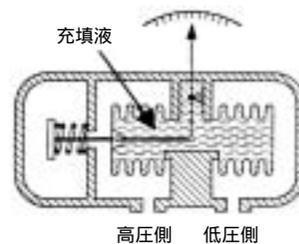
水銀フロート式は、過度な差圧がかかると、水銀が計器から噴出し、損失することがしばしば生じた。たとえチェック・バルブや水銀受皿が設けられ、こうした損失を防いだり、減少させたりしたとしても、水銀の消費は高かった。

笑い話ではないが、水銀消費はこうしたオーバ・レンジだけではなく、泥棒の仕業もあった。フロート型

のレコーダは多量の水銀が使われていたので、泥棒の夕方の仕事として十分金になったという。

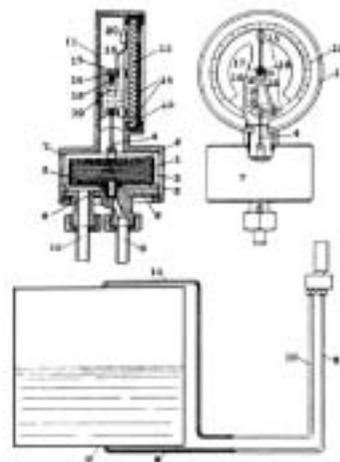
しかしこうしたことは単なる厄介ごとであったが、化学薬品に水銀フロート式を用いた場合に色々問題が生じたのである。水銀はアンモニアのような普通の薬品と爆発性成分を形成し危険であった。写真工業では液体金属がほんの少し混入しても、フィルムの質が落ちるので水銀フロート式を使いたがらなかった。

石油工業においても、ある有機硫化物成分は水銀と石油に対してエマルジョン促進剤として作用するため、フロート式メータの水銀柱の比重が変わってしまい、精度悪化をきたした。こうした水銀を使いたがらないユーザの要求によって、第 12 図に示すベローズ式メータが登場することになる。



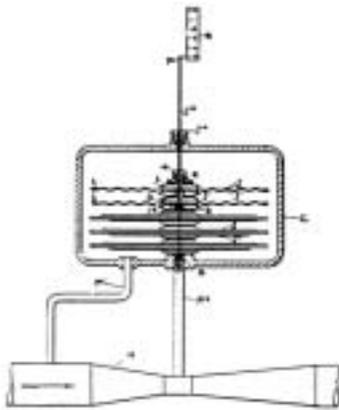
第 12 図 ベローズ式メータ⁽²⁾

最初に特許が許可されたのは 1901 年に第 13 図に示すベローズ作動式ボイラー用水位計であった。発明者はこの特許が流量計測にも使用できることを述べており、事実 5 年後にある製造メーカーが水道業でこれを市場し脚光を浴びている。



第 13 図 ベローズ作動式ボイラー用水位計⁽⁶⁾

次の特許は第14図に示すような1911年にヴェンチュリ管にペローズ式メータを用いたものである。



第14図 ヴェンチュリ管に用いたペローズ式メータ⁽⁶⁾

これは過度な流量に対してペローズが壊れないように、圧力上昇によって圧縮するように設計されていた。

その後様々なアイデアによってペローズ式メータが市場したが、周囲温度変化の影響が大きくまた破裂し易く、これが前出のフォックスボロー社の温度補償付きの水銀フロート式などがまだ使用される理由にもなっていた。しかし1943年に写真2に示すようなバートン計器社 (Barton Instrument Corp.) で温度補正付き破裂防止型の計器が初めて作られた。

これを見ると徐々に現代の差圧伝送器に形が似てきつつあるように思える。写真2と同類のペローズについては松代正三氏の「改定流量」⁽⁹⁾に詳しく記述されているので紹介したい。

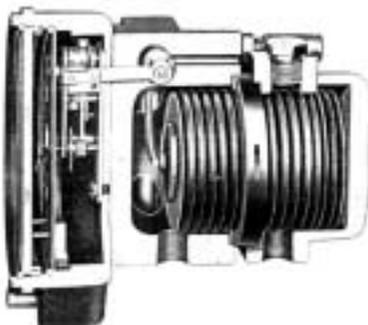
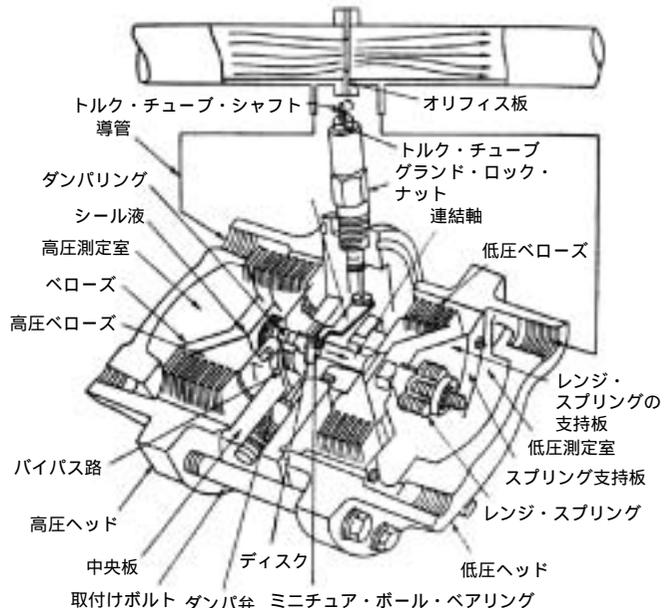


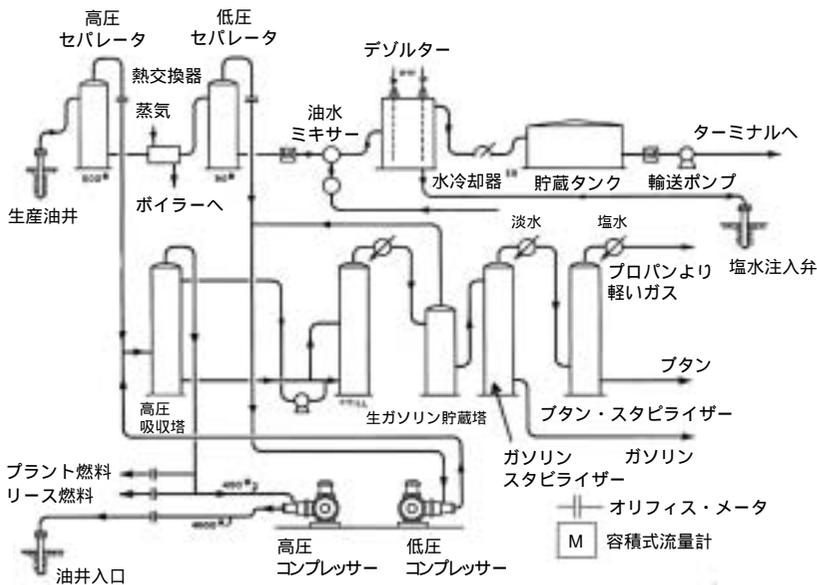
写真2 温度補正付き破裂防止型ペローズ式メータ⁽⁶⁾

第15図は1958年頃の北辰電機製のペローズ式差圧計である。測定室には2個のペローズがあり、両ペローズの底部は中央板に固定されており、両側のペローズに連結棒で互いにつながっている。両ペローズの内部にはシール液が封入している。連結軸の右端にはスプリングが固定され、スプリングの他端は支持板で中央板に固定されている。即ち2個のペローズの弾性力が釣り合い、スプリングと差圧が釣り合うような形になっている。左側の高圧測定室と低圧測定室の差圧によって、両ペローズは右に変位するので、連結軸に固定されたディスクがミニチュアボールベアリングを介して駆動アームを押し、トルクチューブによってその回転運動が外部に伝達される。シール液が環境温度変化で膨張圧縮するが、その分量はバイパス路を経て、フリーな温度補償ペローズと高圧ペローズの間の空間に逃げる、あるいはそこから充填されるようになっており、精度上の影響を無くし、あるいはペローズの変形を防いでいる。

このようにして、差圧式流量計は進化してきたが、最後にアメリカン・メータ社が1940年の“The oil and Gas Journal”⁽⁷⁾に大々的に記載した石油プラントにおける計装の中のオリフィス・メータ実施例を紹介する。第16図は米国コンティネタル・オイル・会社のヴィレ・プラッテ (Ville Platte) ・プラント (ルイジアナ州) における油井からプラントを経由してパイプ・ラインへの油とガスの流れ図である。



第15図 写真2の内部構造⁽⁹⁾



第16図 ヴィレ・ブラッテ油井からの油及びガスの流れ図⁷⁾

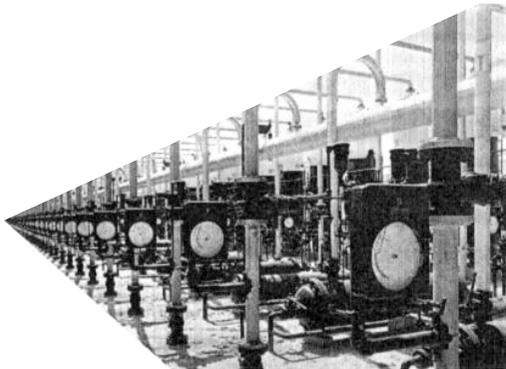


写真3 壮大なオリフィス・メータ群⁷⁾

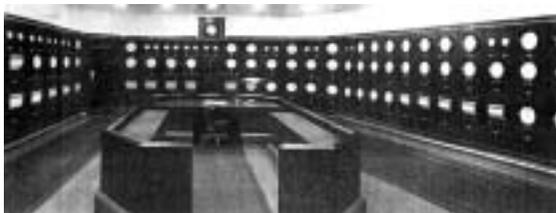


写真4 1940年代の精油所の制御室⁹⁾

この流れ図の上部にある複数の生産油井から油ガス混合流が高圧セパレータで気液に分けられ、ガスがヘッドに集められる。写真3はそのガスの流量を計測

するメトリック・アメリカン・レコーディング・オリフィス・メータ群が設置された壮大なる風景である。この高圧ガスはスクラバーを経由して500lb/in² (3.5MPa) で運転されている高圧吸収塔へと流れる。そこから工場用燃料やレンタル燃料として、やはりオリフィス・メータを経て出荷される。これが何と私が生まれた頃のアメリカの技術力なのである。このように壮大な石油プラントは数多くあった。

次の写真4はカナダにおける帝国石油会社(Imperial Oil Ltd.)の精油所の制御室風景を示すものである。このように自動制御と記録計は、

精油所運転のメディアとして一般的に受入れられてきた。こうしてオペレータは液体比重計と比重瓶に代わって、一組の温度、圧力、流量計指示記録及び自動時計装置を目の前にすればよくなったのである。彼の問題は予め決めた、あるいは最適な条件で運転を安定に保つことであった。そうすることが可能な限り、彼の仕事はじっと計器板を監視することになったのである。

我が国は1941年12月8日未明真珠湾を奇襲して太平洋戦争に突入していったが、よくもこのように巨大且つ技術力のある国を相手に戦争を吹っつけたものだとつくづく思うのである。

<参考文献>

- (1) 「マクミラン 世界科学史百科図鑑2」, 原書房
- (2) L. K. Spink "Principle and Practice of Flow Meter Engineering" The Foxboro Co., 初版1930
- (3) R. J. S. Pigott "Industrial Fluid Metering and Automatic Control" Instrument, January 1938
- (4) M. F. Behar "Flow Measurement and Control" Instrument, August 1932
- (5) Instrument, January 1950
- (6) Claude B. Nolte "History of Bellows-actuated Flow Meter" Instrument, January 1950
- (7) American Meter Co. "Inducted into Head Service" The oil and Gas Journal, Vol.39, No.22, 1940
- (8) The oil and Gas Journal, vol.39, No.16, 1940
- (9) 松代正三:「改定 流量」, コロナ社