

石炭スラリー流量の計測

—1984. 9. 12 受理—



横河北辰電機(株) 佐鳥 聡 夫

1. はじめに

石炭スラリーはCWM, COM, 液化プロセスへの供給原料などの形で見受けられる。いうまでもなく石炭をスラリー化する目的は、液体のもつ流動性を利用し、取扱いを容易にすることにある。スラリー化された石炭は、液体と同じように流量計で測定でき、流量の監視や積算が可能となる。しかしスラリーには単純な液体とは異なる諸問題があり、測定技術上さまざまな工夫が必要となる¹⁾²⁾。スラリー特有の問題とは何か、また流量計測上どのような対策が必要か、以下具体的に検討してみよう。

2. 流量計の使用条件

現在計測器の市場には、動作原理の異なる多くの流量計が存在し³⁾、すべてに適合するいわゆる万能流量計は無い。これは計測対象である流体の物理的・化学的性状、運転条件、要求精度などによって、流量計を経済的に作る方策が異なるためである。

さて石炭スラリー流量を測る場合、流量計のユーザーは、メーカーにどのような条件で流量計を使用するのか提示しなければならない。メーカーは提示された仕様に基づいて、流量計を選定あるいは開発することとなる。したがってユーザーが仕様条件の検討が不十分なまま流量計を購入すると、後日ユーザー、メーカーとも解決困難な問題に悩むことになろう。

2.1 石炭スラリーの性状と運転条件

石炭スラリーは、石炭の粒度分布と液体に対する重

量比により、さまざまな様相を呈す。たとえば石炭が粉末状でかつ濃度が数パーセントであれば液体の性状が支配的であろうし、濃度が75%を超えれば移送も困難となろう。小石のような石炭であれば激しい摩擦を引き起こすであろう。具体的な検討を行うには、どのプロセスに使われるスラリーか特定し、そのプロセスの運転条件もあわせて知る必要がある。表1に現在テスト中または計画中のプロセスについて、石炭スラリーの性状と運転条件を示す。石炭液化プロセスの石炭スラリー温度は、予熱器の前後で大幅に異なる。CWMと石炭メタノールにみられる比較的粗い粒度は、長距離輸送用である。その場で消費されるものは200メッシュ(70%)とみてよい。粘度は運転温度により大幅に変化するが、石炭液化プロセスにおいては、石炭と重質油の相互作用による粘度上昇が起ることもあるので注意されたい⁴⁾。

石炭スラリーは、固体と液体の二相流であるが、表1で明らかのように、石炭の粒度は十分細かく液体中に一様に分散しており、粘度の高い一相流とみなしてよい。つまり基本的には液体の流量計測と同じ手法が使えるので大変ありがたい。では単純な液体と異なり、どのような問題が予想されるか次節で検討しよう。

2.2 スラリー流量計測の問題点

2.2.1 摩擦

スラリー中の固形分による流量計の摩擦は、だれしもまさきに思い浮ぶ問題であるが、表1のスラリー

表1 石炭スラリーの性状と運転条件

プロセス	液体	石炭濃度 (wt%)	石炭粒度 (メッシュ)	粒度 (cP)	温度(℃)	圧力 (kg/cm ² G)
石炭液化	重質油	30~50	200 (70%)	10~1000	150~460	100~300
輸送	C W M 水	45~70	200~18	—	常温~80	50~120
	C O M 重油	35~50	200 (70%)	500~5000	50~100	—
	メタコール メタノール	~70	200~18	—	常温	—

についてはさほど深刻な問題ではない。配管やポンプを保護するよう、石炭の粒度・流速が定められるのが常であって、流量計もその恩恵にあずかっている。可動部や鋭いエッジを硬化する程度で済む。ただし長期的にみれば摩耗は必ず進行するはずであり、配管や他の機器と同様、計器も消耗品とみなすべきであろう。

2.2.2 石炭の分離

これも摩耗と同様システム設計の段階で検討済みのはずであるが、管路中とくに低流速になる箇所や、その直後は流量計の取付場所として適当でない。石炭が分離・沈殿しないまでも、流れの底部に重い固形分がたまる傾向があるからである。このような事態が避けられぬ場合は、固形分を均一に混ぜるため、流量計を垂直配管に取り付けるとよい。

2.2.3 詰まり

流量計の一部にくぼみやギャップがあると、スラリーの流れがそこで止り、固形分が分離して詰まりを生じる。液体が抜け出すにつれて次第に詰まるので、最後には非常に固くなってしまふ。このような事態を避けるには、流量計内部に流れが淀む場所を作ってはならない。

2.2.4 高粘度

高濃度の石炭スラリーは、とくに液体が石油類の場合、高い粘度を示す。多くの流量計はニュートン性流体用で、かつ式(1)で表わされるレイノルズ数が10,000以上の、完全な乱流域で働くように設計されている。

$$Re = \frac{D \cdot V \rho}{\mu} \dots \dots \dots (1)$$

Re: レイノルズ数, D: 管内径, V: 流速

ρ : 流体密度, μ : 流体粘度

いまかりに, $D=50\text{mm}$, $V=1\text{m/s}$, $\rho=1100\text{kg/m}^3$
 $\mu=100\text{CP} (\times 10^{-3}\text{kg/s} \cdot \text{m})$ とすれば式(1)より,

$$Re = \frac{0.05\text{m} \times 1\text{m/s} \times 1100\text{kg/m}^3}{0.1\text{kg/s} \cdot \text{m}} = 550$$

となり完全な層流状態となる。層流と乱流では、図1のごとく管内の流速分布が異なるから、乱流状態を想定した流量計は、低レイノルズ数領域で測定誤差を生じる。また石炭スラリーは非ニュートン性流体なので、図1の流速分布はさらに複雑な変化を伴う。粘度

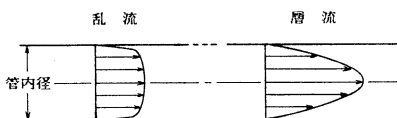


図 1 管内流速分布

による誤差対策は、使用状態で校正するか、粘度の影響を受けない形式の流量計を選ぶより外にない。

2.2.5 異物の混入

粒度 200 メッシュ以下の石炭が70%といっても、とうぜんそれ以上の粒度の石炭も存在しており、可動部を持つ流量計では問題となる。また石炭を掘る際、あるいは輸送途中で混入した異物は、フィルターで完全に取りきれない。石炭スラリー中には数 mm の異物が存在すると想定し、流量計を設計しなければならない。

2.2.6 気泡の混入

スラリー製造過程で混入した気泡は、スラリーの粘性のため外部に抜けにくい。多くの流量計は、動作原理上、体積流量を測るようになっているので、気泡が混入していると指示が高目になる（つまり見掛けの体積流量を正しく測ることになる）。

2.2.7 鉄粉の混入

石炭を粉砕する機械はそれ自身摩耗し、とうぜん石炭スラリー中に鉄粉が混入する。この鉄粉は細かいので形状的には問題ないが、金属管面横式流量計のように強い磁石を内蔵する流量計は、鉄粉の吸着トラブルを生じる。マグネット・フィルターの設置も考えられるが、フィルター自体の保守が問題となろう。

2.2.8 高温・高圧

これは石炭液化プロセスに特有な問題であるが、500℃, 300kg/cm²Gもの苛酷な運転条件と、どのように取り組むか考えねばならない。問題を容易にするため、予熱器出口と反応器入口の間は流量計を置かないこととしても、200℃, 300kg/cm²G程度の条件は覚悟しなければならぬ。

3. 流量計の具備すべき条件

さて、これまでに述べた諸問題に対処するため、石炭スラリー流量計のデザインはどうあるべきか考察しよう。

3.1 流れの障害がないこと

異物を含み、隙間に詰まる石炭スラリーを円滑に流すには、当然のことながら流量計内部の流路はなめらかでなければならない。理想的には配管と同一口径で、途中広くもせまくもならず、スラリーが配管中で高い圧損を生じることなく、通り抜けられることが望ましい。複雑な流路はトラブルを起す上、高い圧損を生じ、貴重なエネルギーを浪費してしまう。

3.2 可動部のないこと

石炭スラリーによる摩耗はさほど激しくないとはいえ、スラリーのなかで常時動く部品があれば、特別な

工夫がない限り、かなりひんぱんに保守が必要となろう。メンテナンスフリーの観点からは、スラリー流路中に可動部がないことが望ましい。

3.3 容易な保守

可動部がないことは保守を容易にするが、そのほか変換器も含めて、万一故障した場合迅速に復旧可能でなければならぬ。この観点からみると、あまりに特殊な動作原理によるものや、複雑な機構・回路をもつものは採用しがたい。かつてH Coalのプラント責任者が計装シンポジウムの席上で、「メンテナンスに工学博士が必要なセンサーでは使いものにならぬ。普通のテクニシャンが真夜中に直せるようなセンサーを開発してくれ」と発言していたが、まったく同感である。石炭スラリー用の特殊流量計をいきなり開発するのではなく、現在市場にある流量計を若干改造して用いるのが実際のな方法と思う。

4. 流量計の形式

それでは石炭スラリーに実際に使える流量計は具体的にどのような形をとるであろうか？ 以下4.1~4.3項では実用段階にある形式について、4.4項以降は実用化に困難を伴う形式を紹介する。

4.1 電磁流量計

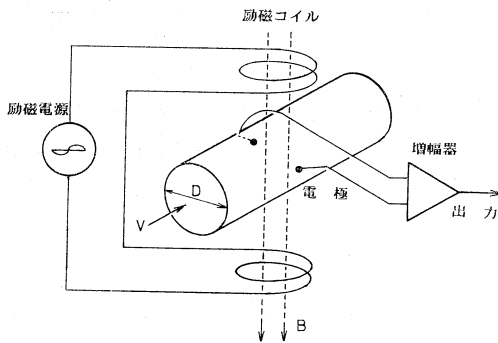


図2 電磁流量計

図2に動作原理を示す。図2において、口径Dのパイプ内を、磁界Bの下で流速Vの導電性流体が通過すると、ファラデーの法則により、パイプ壁上の電極間に、式(2)であらわされる起電力 e が発生する(Kは定数)。

$$e = K \cdot B \cdot D \cdot V \dots \dots \dots (2)$$

K, B, Dを定めれば、 e とVは直線的に比例し、 e を計ることにより流速(すなわち流量)が得られる。パイプは非磁性のステンレス鋼で作られ、起電力の短絡を防ぐため、ゴムまたは合成樹脂のライニングをほどこしてある。磁気コイルの励磁電源は、かつては50または60Hzの商用電源をそのまま用いたが、最近では零

点を安定化するため、商用電源周波数の1/2の矩形波で励振する方式が一般的になった。

電磁流量計の利点は、配管と同じ口径の流路にある。途中に何らの障害物がなく、絞られることもない流路は、スラリーを流すのにまさに理想的である。流速分布が軸対称であれば、乱流でも層流でも誤差のない計測ができる点や、粘度が問題となるスラリーに好適である。測定精度は指示値の0.5%ときわめて良い。

この流量計は動作原理上、導電性のないスラリーは測定できない。現在のところCWMが唯一の測定対象である。温度上限はライニング材の耐熱性でできる。耐摩耗性の点ではポリウレタンが最上だが使用限界は40℃と低い。テフロン系のPFAは最高160℃まで耐える。耐圧は通常20kg/cm²G止りだが、特別注文により100kg/cm²G程度までは製作可能。最近登場したセラミックは180℃に耐えるが、耐圧は40kg/cm²G止り。PFAで濃度70wt%、圧力70kg/cm²GのCWMを測定した実績あり。

電磁流量計は工業用流量計としてすでに30年近い歴史を持ち、その間に数多くの改良がなされた。初期の段階では、零点のドリフトや複雑な増幅器のトラブルに悩まされたが、近年のエレクトロニクス技術の発展により、信頼性の高い計器に成長した。ことに低周波励振技法は零点の安定性向上、ひいては測定の高精度化に役立った⁵⁾⁶⁾。

ところでスラリー用电磁流量計には、一般の液体用と異なる技術的問題はないのだろうか？ じつは低周波励振方式が普及するにつれて、この方式特有の問題点であるスラリー雑音が目につくようになった。これはスラリー中の固形物が電極表面をこすり、ときたま電極電位を大幅に変えるため生じるもので、現象としては数秒間零点が大幅にずれ、また元に戻る。励振周波数と雑音レベルの関係を調べたところ、図3のごとく反比例することがわかった⁷⁾。これが商用周波数で励磁した時代にはこの問題が生じなかった理由であ

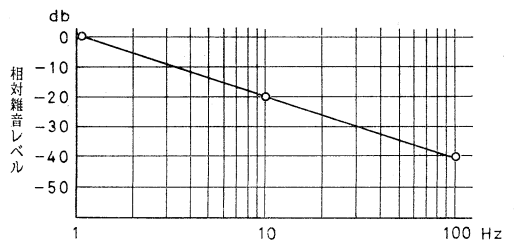


図3 励振周波数と雑音レベル

る。よって対策としては、励振周波数を上げること(たとえば商用周波数の1/2)、またはマイクロ・プロセッサによって信号の変化速度を監視し、異常に急激な変化は一時内部に保留することがある。図4は周波数を50/2 Hzに上げ、スラリー雑音の影響を減らした例である。最近の電磁流量計は励振周波数の選択と、急激な信号変化抑制の両方ができるようになっており、CWMの測定にはなんら支障がなくなった。

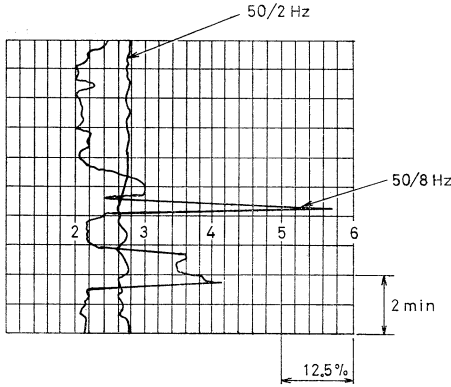


図4 励振周波数による雑音の差

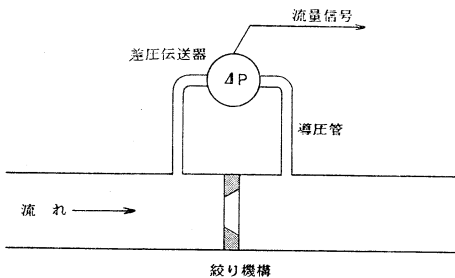


図5 差圧式流量計

4.2 差圧式流量計

この形式の流量計の一般的な構成を図5に示す。絞り機構を流体が通過する際、差圧ΔPが発生する。差圧と流量Qは式(3)の関係にあり、差圧を測定すれば流量がわかる。ただしQとΔPは直線関係でないから、差圧伝送器の出力信号を開平演算するか、受信計器の目盛りを自乗目盛りにするのが一般的である。

$$\Delta P = KQ^2 \dots \dots \dots (3)$$

K：比例定数

差圧式流量計は構造が簡単で、液体、ガス、蒸気のいずれも測定できることから、古くから工業用流量計として広く普及している。電磁流量計のように電導度の制約もなく、設計の工夫で高温・高圧流体も測れる

万能選手である。

しかしながら図5から明らかのように、この流量計は、絞り機構と導圧管という詰まりやすい構成要素を含んでおり、スラリー流量計として都合が悪い。絞り機構として一般的な形は、金属円板の中央に穴を明けたオリフィスであるが、スラリー用としては流路の変化がゆるやかなベンチュリー(図6)が適している。導圧管については、気体または液体を注入するか、あるいは受圧部に隔膜を用いて詰まりを防ぐ。

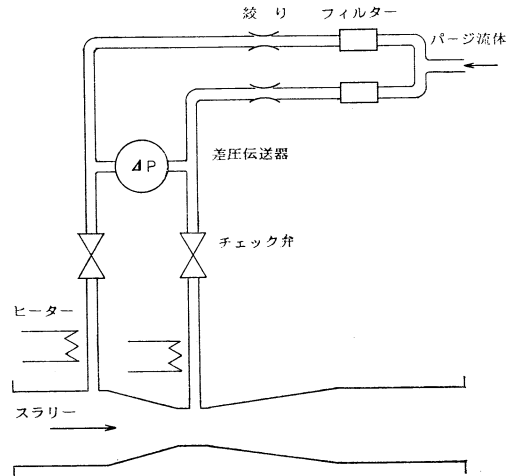


図6 石炭液化用ベンチュリー流量計

図6に石炭液化プラント用差圧流量計の構成例を示す。導圧管の詰まりをパージ流体で防ぎ、差圧伝送器の受圧ダイヤフラムを保護している。万一、パージ圧が低下して導圧管内に逆流を生じた場合は、チェック弁が働らき逆流を止める。米国のEDS液化パイロット・プラントでは、図6のようなシステムで、温度480℃、圧力190kg/cm²G、濃度30wt%の石炭スラリーの測定を行った。パージ流体は溶剤を用いた。

本システムの技術的要点は、パージ流体の選定と流量の決定、それにパージ配管の設計にある。パージ流体は気体より液体の方が扱い易い(測定対象の石炭スラリー中の液体となるべく同じ流体を使うのがよい)。パージ流量は4~8ℓ/min、導圧管の口径は1/2B程度が適当とされている。プロセス配管から導圧管の取り出し方は、実験の結果、垂直上方が良いことがわかった。これは流量計配管の常識の逆であるから注意を要する。

さて本形式の流量計の精度はいくらであろうか? じつはこれを推定することは難しい。なぜならば、本形式の流量計は乱流状態での特性について十分解明さ

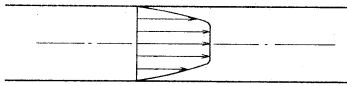


図 7 プラグ流

れているが、石炭スラリーの流れは層流やプラグ流(図7)になるからである。プラグ流はスラリーの非ニュートン性によって生じる。差圧流量計の規格は、プロセス配管内の流速分布が、図1の乱流状態にあることを想定しており、レイノルズ数が非常に低い領域や、非ニュートン性流体には適用できない。精度を定める唯一の方法は、運転状態で流量計を通過するスラリーを基準器で調べ、流量計の指示値と比較する、すなわち校正を行うことであろう。もちろん運転条件が変われば再校正が必要となる。具体的な校正方法については、5項に述べる。ただし精度が不明でも、操業状態の目安には十分使用でき、実際EDSではそのように使いこなしていた。

ページ流量の決定が重要なことはすでに述べたが、当然流量が少な過ぎれば詰まり易く、多過ぎれば測定誤差を生じるほかページ流体の無駄となる。ページ流量を常時監視し、流量が一定値以下に下がったら一時的にページ圧を上げ、詰まりを吹きとばすことも考えられるが如何であろうか。高压下で満足に作動するチェック弁がなく、めんどろなトラブルを起こす可能性については「石炭液化プラントの計装」に述べている。

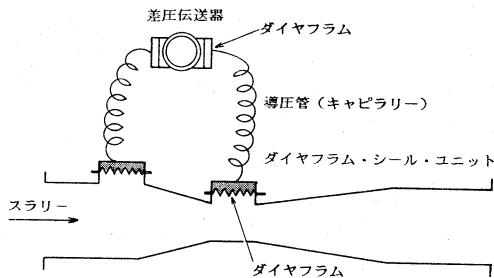


図 8 ダイヤフラム・シール

ページ・システムによらず差圧伝送器を保護する方法として、図8のダイヤフラム・シール(隔膜)によるものがある。スラリーに接するダイヤフラムと差圧伝送器ダイヤフラムの間に、圧力伝達用のシリコン油が封入されている。この方式の難点は流動するスラリーに、薄いダイヤフラムが直接接触することで、高濃度スラリーの場合耐久性が問題となろう。また封液としてよく用いられるシリコン油の使用上限温度は約250℃で、それ以上の温度では分解ガスが発生し、時間が

たつと使用不能となる。この方式は250℃以下の低濃度スラリーに適していると思う。米国ではダウケミカル社のSil-Thermを用い、370℃まで使用できたと報告されている。さらに封液をNa, Kにすれば温度限界は650℃まで上がるが、Na, Kの危険性のため一般には使いにくい。

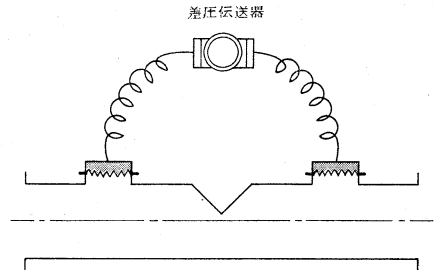


図 9 ウェッジ・メーター

スラリー用の特殊絞り機構として、ウェッジ・メータという名称で図9の形のもが製品化されている。配管の底部がまっすぐなので異物の滞流がない。400程度の低レイノルズ数まで使えるのもスラリー用として使い易い。H Coal 液化パイロット・プラントに多数採用されたと聞く。

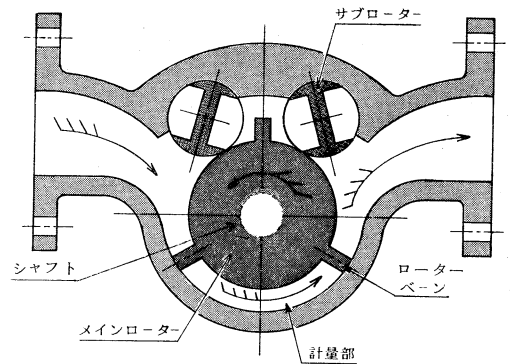


図 10 容積式流量計

4.3 容積式流量計

図10に示すように、メーター・ボディを通過する流体がローターを回転させ、ローターの回転数から流量がわかる。ローターベーンとボディにはさまれた空間は計量部を構成する。つまりこの計量部の大きさの升で一杯ずつ流体を量り取るのに等しい。よって他の形式の流量計とは異なり、流速分布やレイノルズ数と無関係に、指示値の0.5%という高精度計測ができる。

この形式の流量計は可動部をもち、本来スラリー流量計として不適な構造であるが、COMを高精度で測

る要求にこたえ、重油用流量計を改良発展させたものである。改良の要点は石炭粒子が詰まらぬよう、ベーンとボディの間隙を広げたことと、軸受に強制潤滑を行ったことである。ベーンとボディの間隙が大きいと、ここから流体の洩れを生じるが、幸いなことに COM の粘度が高いので、洩れは問題にならない。軸受へのスラリーの侵入は、加圧式の潤滑システムで防ぐ。石炭濃度 55wt%、粒径 2mm、温度 100℃、圧力 28 kg/cm²G まで耐える製品が実用化されている。

この流量計は COM については抜群の性能を発揮するが、CWM のようにすべりの悪いスラリーには問題があるようだ。許容限度を超える大きな異物をかみ込むと、一瞬にしてローターが止まり、流れが停止するので、プロセスによっては対応策が必要となろう。

4.4 コリオリ力による質量流量計

これまでに述べた流量計がいずれも体積流量 (m³/h) を測る形式であり、質量流量 (kg/h) を測るには流体密度を別に測り、体積流量に密度の値を掛ける必要があった。これに対し質量流量を直接測定表示する形式の流量計が存在する。古くからいくつかの動作原理があるが、比較的最近発明され実用段階に達したのが、マイクロ・モーション社の質量流量計である。図 11 のごとく U 型のチューブが一端を支持され、他端が電磁石により上下に振られている。U チューブの中に流体が流れるとコリオリの力により U チューブがねじれる。このねじれ角により流量がわかる。

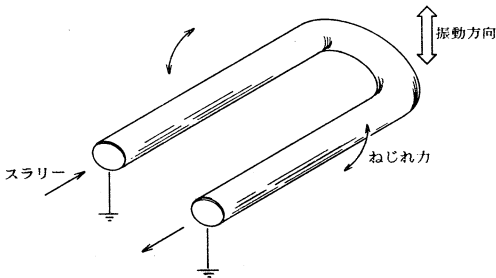


図 11 コリオリ力質量流量計

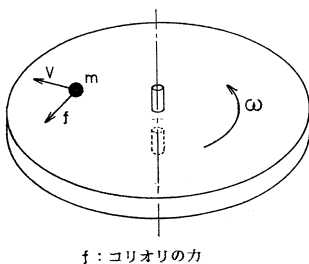


図 12 コリオリの力

コリオリの力は図 12 に示すように、一様の角速度 ω で回転している座標系において、運動している質点 (質量 m 、速度 V) に、回転軸に垂直な面内で、 V に垂直で V に比例して現われる力である。回転を振動に、質点を流体におきかえれば、チューブをねじる力が発生する。

この流量計は、電磁流量計と同じくなめらかな流路を持ち、電導度やレイノルズ数の制約なしに、指示値の 0.4% で質量流量が直接測れるなど利点が多い。質量流量計であるため、スラリーに気泡が混入しても測定精度に影響がない。最高温度は、U チューブに接近している、ねじれ角検出用電子回路に制約され 125℃ である。また使用圧力は、振動し易い薄肉チューブを使う関係上 138kg/cm² 止りである。液化プロセスの苛酷な条件下で使用するのは難しいが、それ以外に使える場合は多いと思う。筆者は数年前ピッツバーグの国立エネルギー技術センターを訪れた際、この流量計がボイラーの COM 燃料の計測に使われているのを見た。取付に注意を払えば十分使えるとのことであった。

この形式の問題点は、振動を利用しているため、振動を吸収できるしっかりした基礎が必要なことと、U チューブのため外形寸法が大きくなることであろう。ただし最近の製品は U チューブが二重になり、バランスが良くなって振動の問題が減ったと聞く。

過去数年の間に本流量計は多くの新用途に進出したが、石炭スラリーの観点から見ると、温度・圧力仕様が液化プロセスに足りない。COM には十分だが容積式との競合がきびしい。CWM は電磁流量計に分がある。要するに競合形式を打ち負かす利点がないと、石炭スラリー用として普及するのは難しい。

4.5 超音波流量計

超音波流量計は動作原理が異なる数種類が存在するが、代表的なものを図 13、14 に示す。

図 13 は時間差式と呼ばれ、超音波の送受信子 A から

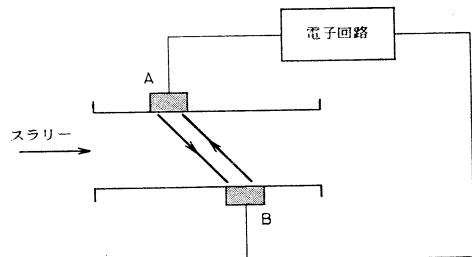


図 13 時間差式超音波流量計

Bへ伝搬する超音波と、BからAへ伝搬する超音波の到達時間差から流速を知る。つまりA→B間の超音波は流速により加速され、B→A間の超音波は減速され、両者の到達時間に差ができるのである。

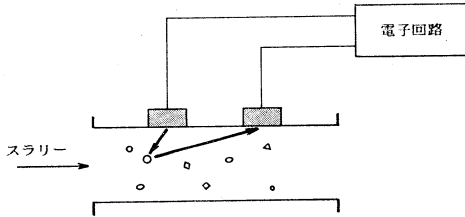


図 14 ドプラー式超音波流量計

図14はドプラー式と呼ばれ、一定周波数の超音波を流体中の固形物や気泡に於て、反射した超音波の周波数が、ドプラー効果でシフトすることから流速を知る方式である。

超音波流量計の流路は配管そのものであり、電磁流量計のような液体の導電性制限もないので、これが実用化されれば、理想的なスラリー流量計となるに違いない。実際数%の低濃度スラリーにはさほど問題なく使用されている。ところが数十%の高濃度石炭スラリーでは、超音波がスラリーに吸収・散乱され、安定な流量信号が得られない。超音波素子の耐熱性など他にいろいろ解決すべき問題はあがるが、まず石炭スラリーの超音波伝搬特性を解明することが先決であろう。ドプラー信号の周波数スペクトラムを利用するもの⁸⁾、あるいは相関法によるものなど新しい工夫も芽生えているが、まず信号の安定化が先決で、そのためにまだかなりの開発工数を要するであろう。

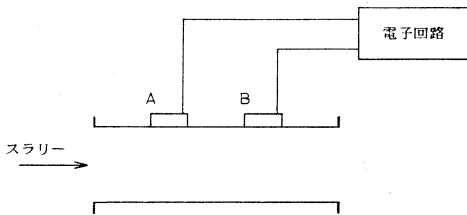


図 15 サーマル流量計

4.6 サーマル流量計

図15に示すように、パイプの外壁にニッケルまたは白金の薄膜温度センサーA・Bを接着し、電子回路によってセンサーAの温度より、センサーBの温度を若干高く保持している。センサーBの温度を上げるにはセンサーに電流を流し自己発熱させている。管内の流量が増すとセンサーBから流体に逃げる熱量が増加

し、同一温度を保持するための加熱電流が増えるので流量がわかる。流量変化に伴う放熱量変化は、センサーAについても生じるが、流量測定に関係するのはセンサーAとセンサーBの温度差であるから測定精度上の問題はない。精度はフルスケールの1%、最高温度800℃、耐圧4000kg/cm²G、粘度55,000CPと仕様上は液化プロセスに理想的である。管内に流れの阻害要素がないこともスラリーにとって好ましい。

これほど好条件の揃った流量計が、これまであまり普及しないのは何か理由がありそうだ。ひとつの理由は測定原理上流体の熱的な特性が変わると指示が変わる。すなわち再校正を必要とすることであろう。また流体温度は最高800℃が可能であっても、変動幅は標準品で±8℃、特殊品で±110℃に限定されるのも制約条件である。たとえば流体温度が460℃の場合、使用温度範囲を350±110℃にとれば、使えるはずであるが、プラントのスタート・ストップ時に、流体温度が240℃より低いと測定できなくなってしまう。応答時間は代表値で0.5秒となっているが、これも高圧用厚肉パイプではかなり長くなるのであろう。

4.7 その他の形式

マイクロ波相関流量計、ガンマ線相関流量計、中性子トレーサー流量計など各種形式が研究されたが、実用化には多大の開発工数を要するものと思う。4.6までに述記した形式の方が実用化により近い。

5. 流量計の校正

流量計に限らずほとんどの計測器は校正によって精度が定まる。校正とは基準器を用いて計測器の目盛り付けをする作業である。

流量計の校正基準器は、基準タンク、基準体積管、基準秤、基準メーターから成り、試験流体としては一般水または油が用いられる。これらを用いて目盛り付けされた流量計の精度が、石炭スラリーにおいても確保されているか検討してみよう。

まず電磁流量計は軸対称流であれば、流速分布の影響がないことが理論上明らかにされているので、水で校正した流量計を石炭スラリーに使用してさしつかえない。次に容積式流量計とコロリ力質量流量計も原理的に校正精度を保持できる。ただし容積式は十分粘度の高い油を試験液に用い、ローターとボディ間を封じないようにする。質量流量計以外気泡はすべて誤差要因となる。

以上述べた以外の形式の流量計は、一般的な校正状態と実際の使用状態では、レイノルズ数などの影響で指示が変わるので、正確な測定をしたい場合は、運転

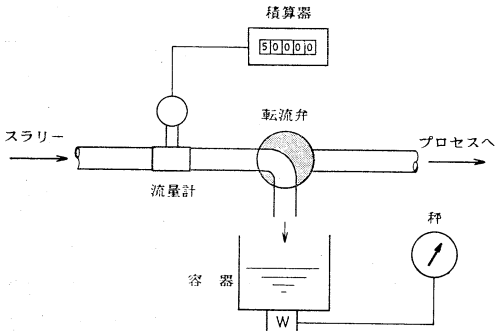


図 16 現場校正法

状態での校正が必要となる。石炭スラリーの校正には、容器への付着が問題とならぬ秤量法がよい。流量計の下流側で、一時的にスラリーを外部の容器に転流し(図16)、容器にたまったスラリーの重量と転流時間から流量を知る。高温・高圧スラリーの場合、転流システムの設計に工夫を要する。代案としてスラリー圧送ポンプの回転数から、きわめて大ざっぱな校正を行うこともある。

6. 脈動流についての注意

流量計を通過する流量が、時間的にあまり変化しないか、ゆっくり変化する場合は測定上何の問題もない。ところが流量が急激にかつ周期的に変わる脈動流であると、ほとんどの流量計は測定誤差を生じる。コリオリ質量流量計も例外ではない。

脈動流による流量計の指示変化は、それ自体研究対象になるほど複雑である。よってプラント設計時に、極力脈動を減らす配慮をすることが望ましい。

7. まとめ

表1の石炭スラリー中、CWMは電磁流量計、CO

Mは容積式流量計で十分測れる見通しがついた。液化プロセスの高温・高圧スラリーは、パージ付きのベンチュリーまたはウェッジ・メーターで目安程度の計測はできる。石炭メタノール・スラリーは意外に難しいが、コリオリ力利用の質量流量計ならば測れると思う。超音波をはじめとする他の形式の流量計は、測定精度または価格の点で、上記の流量計に優る製品が開発されれば普及するであろう。しかしながら計器は需要の拡大があって開発されるものであり、将来石炭液化プラントが数多く建設されるようになれば、それに応じて新規の流量計が必ず出現するであろう。

文 献

- 1) 佐鳥聡夫, 化学技術誌MOL, **20**, (5), 27 (1982)
- 2) 佐鳥聡夫, 配管と装置, **22**, (11), 28 (1982)
- 3) 川田裕郎, 小宮勤一, 山崎弘郎, 流量計測ハンドブック, (日刊工業新聞社) (1979)
- 4) 堤 敦司, 吉田邦夫, 村田勝英, 化学工業, **46**, (9), 482 (1982)
- 5) 嘉山長興, 鈴木一字, 計測と制御, **23**, (2), 198 (1984)
- 6) 橋本 敏, 計測技術, **12**, (3)別冊313 (1984)
- 7) 後藤 茂, 吉野昭男, 久保田龍作, 秋山 均, 第23回計測自動制御学会, 学術講演会予稿集, 385 (1984)
- 8) Karplus, H. B., Raptis, A. C. and Canfield, D., The Proceedings of the 1981 Symposium on Instrumentation and Control for Fossil Energy Processes, 212 (1981)
- 9) Reed, C. B., Zinneman, T. E. and Blaskovitz, R. J. Jr., 同上, 473

Coal Slurry Flow Measurements

Toshio SATORI

(Yokogawa Hokushin Electric Corp.)

SYNOPSIS :—Coal slurries are found in the forms of CWM (Coal Water mixture), COM (Coal Oil Mixture), Coal Solvent Mixture and Coal Methanol Mixture.

Basic requirements for slurry flowmeters are : no pocket to clog in the housing, no moving parts to wear and simple flow path to minimize pressure loss.

CWM can be easily measured by electromagnetic flowmeters.

Positive displacement meters modified to handle coal slurries have been proven successful for COM flow measurements with good accuracy.

Coal Solvent Mixture in coal liquefaction plant is the most difficult fluid to measure because of high temperature and high pressure. A venturi with solvent purge seems to be the type available for the time being, although its accuracy is not satisfactory.

Coal Methanol Mixture may be handled by Micro Motion mass flow meter using Coriolis effect.

Other type flow meters such as ultrasonic wave and microwave have many technical problems to be solved before reaching practical stage.

.....

Key Words

Coal slurry, Flow measurements
