

【整番】 FE-16-TM-001	【標題】 容器からの重力流れ		
分類: 流れ(重力流れ) / 種別: 設計 メモ	作成年月: H2.8 / 改訂: Ver0.0 (H19.3)	作成者: N.Miyamoto	

全6枚

本 TS は HTXX の FP-3 「Gravity flow」 を要訳したものである。

## 1. はじめに

液が重力で容器の外に流れ出し管を通過して降下するとき、管の抜き出しや設備配置に十分な注意を怠ると運転上ある種の障害をきたすことがある。即ちガスの巻き込み(entrainment)である。

巻き込まれたガスは単相液流れの時より大きな圧力降下を引き起こすばかりでなく、圧力降下に打ち勝つのに有効な静水頭を減じて、劇的に管の(輸送)能力を低下させる。特に、管のどこかでサイフォンの中にあるようにその絶対圧が大気圧を下回るなら、同じような問題が、沸点に近い液や溶解性のガスを含む液でも起きる。

ガスの巻き込みは次のような理由で厄介な問題である。

- ・ 上述のように、管の輸送能力が減少すること。
- ・ 液に随伴してガスが逃げプロセス上弊害を生じること。
- ・ 潜在的な不安定現象(サージング)を引き起こしカタストロフィな設備破損を引き起こす恐れがある。

関連シート FM3 を含めて、ここでは液流量を一般に次に定義される無次元容積流束( $V_1^+$ )を用いて表現する。

$$V_1^+ = 4M / (\pi \rho_1 d^2 (g_n d)^{0.5})$$

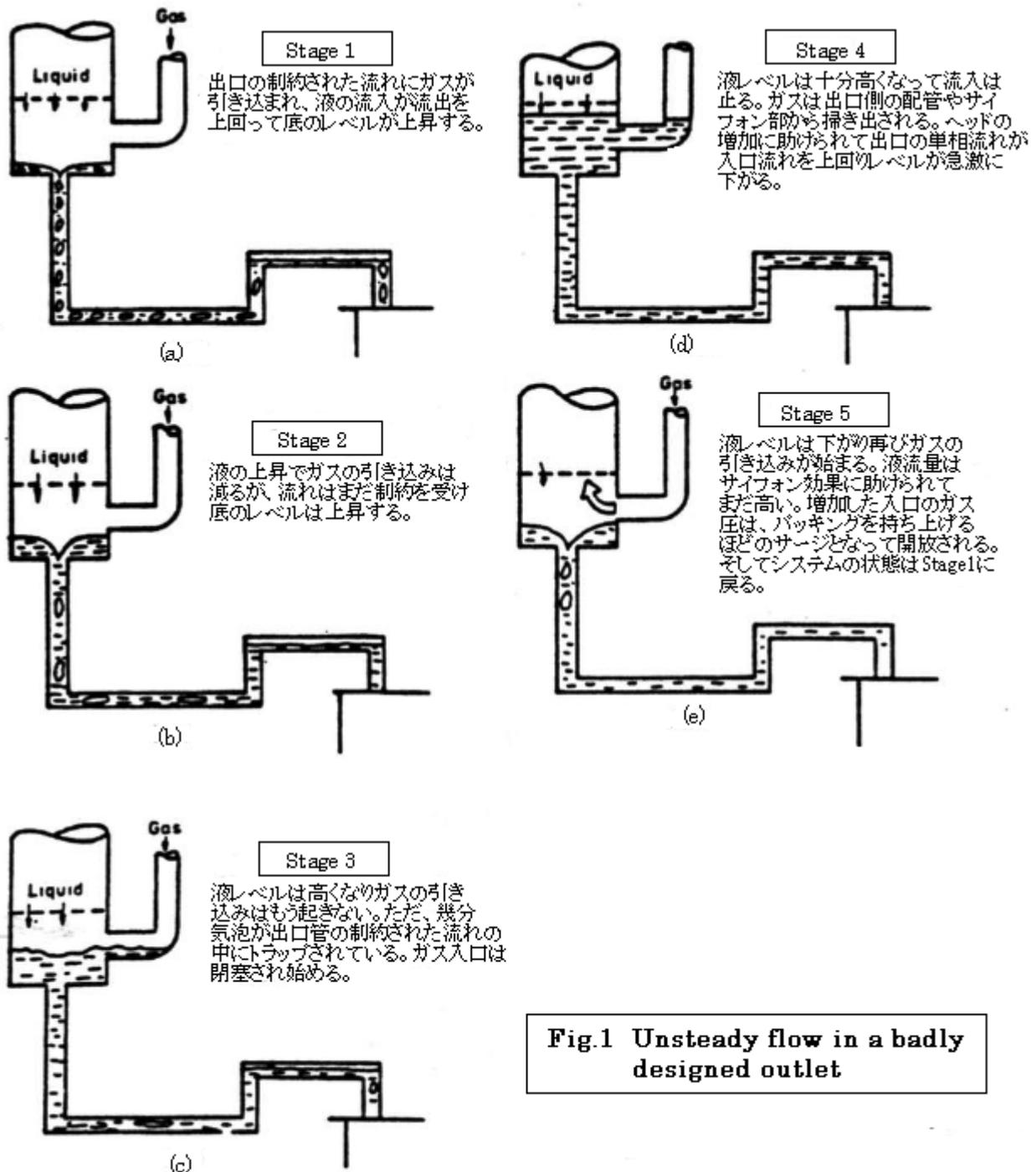
ここで、 $M$ =液の質量流量(kg/s)、 $d$ =直径(m)、 $\rho_1$ =液密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $g_n$ =重力加速度(9.81 m/s<sup>2</sup>)

これは重力流れの議論でしばしば用いられるフルード数と同じフォームである。この式は状況によってフルード数と違った定義を与えることが出来るのでフルード数よりもよく使用される。

ベース底に直付けの排出管を通過して液が流れ出す場合を考える。液流量( $V_1^+$ )が少ない時はせき流れが起き、容器内の高さは  $d/4$  よりも小さい。液レベルが容器の中になければ、せきの下流条件は流量に何の影響も与えない。液流量が  $V_1^+=0.3$  以上に増加するとガスの巻き込みが始まりその状態は下流配管に依存することになる。そして、液レベルは  $d/4$  よりも大きくなる。 $V_1^+>0.56$  になると、フラッディングに関する Wallis 式では液流れの中のガス上昇は起きない。

全断面流れを仮定して液流出口をサイジングした吸収コラム底の状態を Fig. 1 に示す。もしコラムベースの初期液位が充分低ければガスは容器の出口の液流れに引き込まれる。その結果、圧力が上昇して押し込み水頭が不足して規定流量を流すことが出来ず、液位が上昇する。やがて、ガス巻き込みがとまるポイントに液位がくるが、出口管の中にガスがまだトラップされているのでガスを吐き出してし

まうまで、液位は更に上昇する。このポイントでは、管は設計の意図通り全断面流れになるがその時の静水頭は設計仮定よりも高くなっている。そのため、流量が過大になって再びガス引き込みの起きるまで液位が落ちて、サイクルが繰り返される。系の形状によっては、その場合生じる揺動は厳しいものになる。これについては、オーバーフローによるピーク流出量がタンクベントの吸い込み能力をオーバーしてタンク破損が起きることが知られている。



## 2、重力流れ場の管路設計

重力場のドレン系の設計には、次の3つのアプローチが考えられる。

- (a) 常に満液で流れるような設計。この場合、単相の液流れに由る。
- (b) 自己排気を考慮した設計。液流速を十分に小さくして液流れと逆方向にガスを逃がす。
- (c) ガスの巻き込みを前提とした設計。但し予想される問題を克服する必要あり。

一般に、(a)は管サイズが最小になるので優先して考えるべきである。しかし、大半の場合、満液で流れを維持することは不可能であり、(b)または(c)を採らざるを得ない事が多い。

シートFM8にこれらのクライテリアに対応する管路設計法を詳しく説明する。

## 2. 1 渦の影響

重力流れのスタデイの多くは渦のない流れのものである。もし渦が起きるなら、ガスの巻き込みはもっと問題になる。場合によっては、ボルテックスブレーカの取り付けが必要になる。特にインペラーの回転がフィード側の容器にまで戻ってくるような遠心ポンプの入口配管で然り。ボルテックスブレーカの適切な設計はシートCE6で与えられる。

## 3. フラッディング流れの設計

管路が常に満液状態で流れる事が可能なら通常の単相流れを用いて管路のサイジングができる。ガスの巻き込みをさけるには、容器の液レベルを管の入口から十分高くとって管入口のフラッディングを保ち、出口近傍の液表面を抑制する必要がある。液の表面を必要液レベル以上に維持するには、何らかの制御例えばコントロール弁やリユートが必要である(Fig.2(a)(b)参照)。これらは系の圧力降下を増加しある範囲でフラッディング流れへの移行を減じる。リユートを使う時は多分サイフォンブレーカが必要になるだろう。リユート後流の管路では通常サイフォンブレーカよりガスが引き込まれるのでフラッディングになるような事はない(Fig.2(c))。

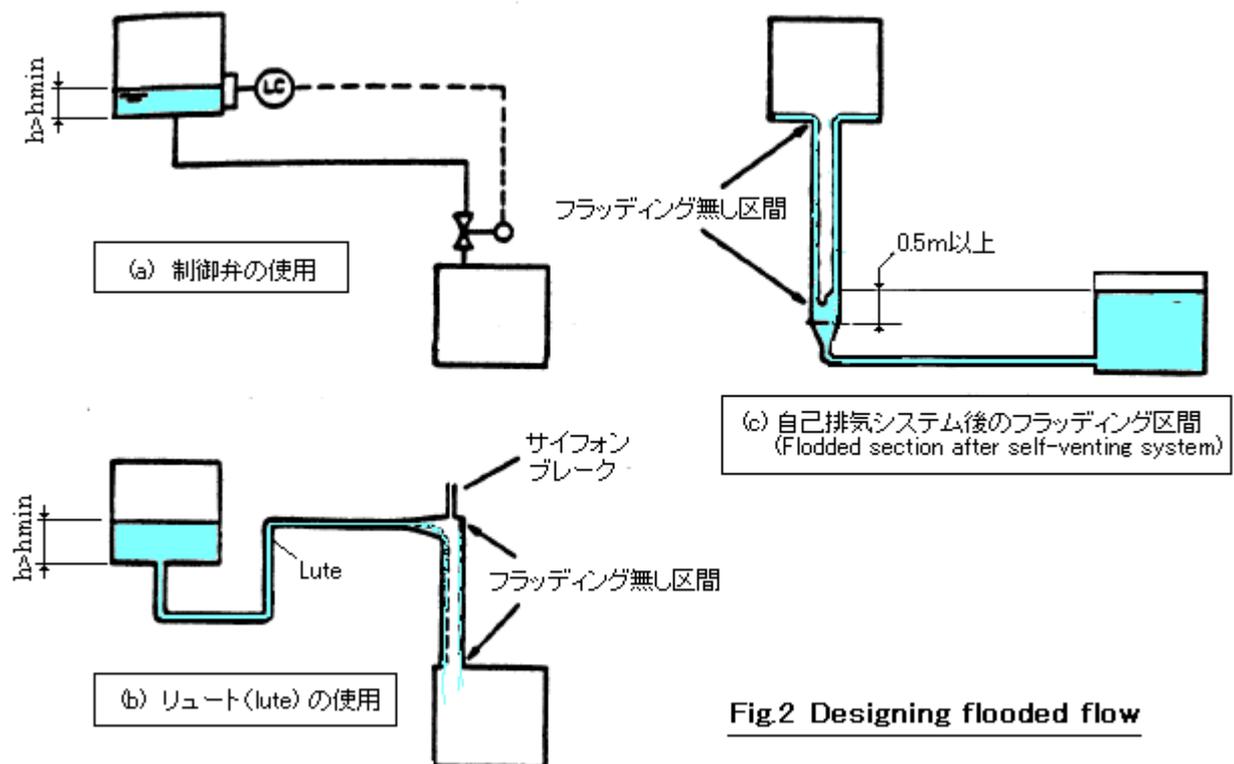


Fig2 Designing flooded flow

## 4. 自己排気管路の設計

### 4.1 傾斜管

公称的水平配管が部分的に充液されて運転される場合はわずかに勾配を持たせて摩擦に打ち勝つだけのヘッドを与える必要がある。少なくとも、1/40 (1.4 度) のスロープが推奨できる。液といっしょにガスを運ばないよう管の中に十分な自由断面を残して液流れからガスが抜け出せるようにしておく。150mm までの管に対しては、液深さは管直径の半分以下にすべきである。それ以上の管では管径の 3/4 まで液深さをとることができる。これは、相対深さ(液深さ/管径)が約 0.95 の時、傾斜管の容量がピークになり重力流れ場の満液管の容量を越えるからである。明らかにそのピークを越える運転では一種の不安定状態であり、このときの液深さの増加は容量の減退を意味する。

部分的に充液された管内の一様流れ(一定深さ)では、摩擦によるエネルギー損失は管の傾きによるポテンシャルエネルギーの変化とバランスしている。その平均流速は流れの傾斜と深さに関係し次の式(Ackers 1969)で与えられる。

$$Ve=(32 g_n m I)^{0.5} \{ \log_{10} ( \varepsilon /14.8m+0.22 \nu /m(g_n m i)^{0.5} )^{-1} \}$$

ここで  $m$ =水力平均深さ(ぬれ縁面積)

$i$ =管の水平からの傾き、 $g_n$ =重力加速度

$\varepsilon$ =管の粗さ、 $\nu$ =液の動粘度

液が容器の側壁から傾斜管に流れる時、液は本質的に流れのない状態からこの式で与えられる平衡値まで加速されねばならない。その結果、抜き出し管の液レベルは容器から遠ざかるにつれて低下する。この液レベルの低下はモーメントの式から見積れるだろう。一様流れに達するまでにかなりのパイプ長さが必要である。一定の相対深さを維持するには、テーパ状の管が必要であるがこれは明らかに施工できない。しかし段々に管径を変化させて加速液流れの利点を引き出すことは可能である。流れが突然に乱れて定在波を引き起こしガスの逃げを閉塞する事態をさけるには偏心したフラットボトムのリヂュサーを用いるべきである。

### 4.2 垂直自己排気流れ

垂直液流れでは、液は環状膜として流れる。ガス-液界面のせん断力によって、ガスは液に引きずり込まれる。この引き込まれたガスを管の中心に引き戻すには、見掛け速度を低くする必要がある。シンプソンのリコメンデーション(1968)を用いるべきである。これは本シートで定義される  $V_{I+}$  の最大値 0.3 に相当する。このアプローチはガスの巻き込みを避ける必要がある時に用いるべきである。例えばパイプを容器の液面下に浸漬させる時や下流のネットワークをフラッディング状態で設計する必要がある時然り。以上のクライテリオンで与えられるものより小さい管を用いるとサージングを引き起こすことになるであろう。

### 4.3 複雑な系の非フラッディング流れ

バンドを含む系、特に垂直から水平あるいはこの逆の非フラッディング流れについては有効なデータは殆どない。たとえ、前流部分で自己排気できるように管径が選ばれていても、バンドの影響で更に巻き込みやサージングが発生する懸念は否定できない。従ってここで与えられる設計リコメンドは暫定的なものにすぎない。

水平面に置かれたベンドでは、ベンドを通して 1/40 のスロープが保たれ、ベンド自身が滑らかになっているなら、問題は起こりそうにない。但し、90 度エルボはさけるべきである。

垂直面内では、できる限りベンドは少なくした方がよい。もし可能なら重要部分は滑らかなスロープ形状におきかえるのがよい。好ましくは管径の 5 倍(5D)以上の曲率(曲げ半径)にすべきである。シャープなベンド形状では水平から垂直に転換するときに液がベンドの内側コーナーを流れる代わりに外側コーナーに寄って自由なガスの流れを閉塞することになる。

垂直部分につらなるベンドは垂直管扱いでサイズを決めるべきである。垂直部分の後に来る傾斜管は必要に応じ小径管について 4.1 項で述べた半充液一様水平流れとしてサイズを決めるのがよい。径の変化にはテーパ状の、望ましくは偏心したレヂューサを用いるべきである。以上、Fig. 3 を参照のこと。

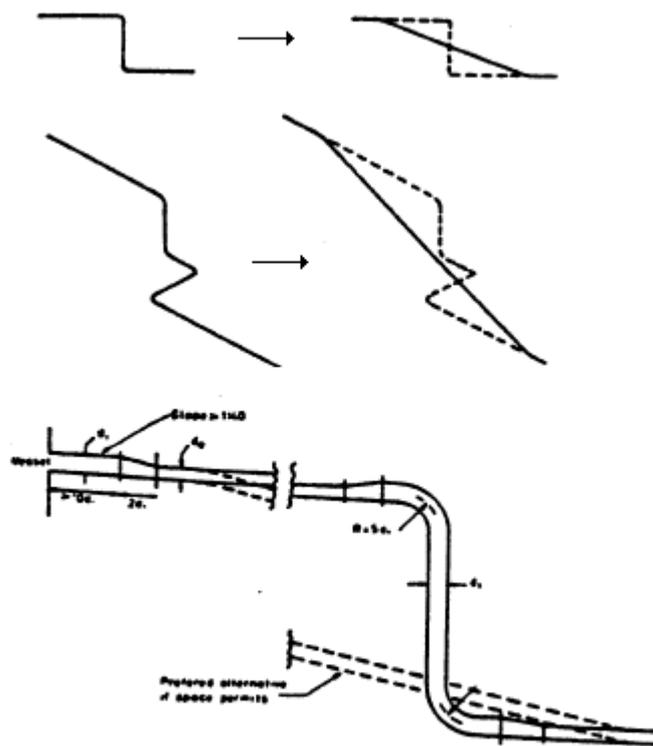


Fig.3 Complex pipe system

## 5. 巻き込み流れ

プロセス上、ガスの巻き込みがあってもかまわない、あるいは穏便なサージングなら問題にならないことは多い。この時は、管径を小さくすることで管工事の費用をかなり削減できる。

しかし、ガス巻き込みの度合いを計算できない限りこの配管サイジングに有効な設計手法は殆ど存在しないということは事実である。

サージング及びこれに類する問題は要処にガスの逃がしを設けて解決できることがよくある。

これは、既設を取り替えることなく改造によってサージングの解決を図る場合に重要である。ガス-液分離器の設置なども考えられる。Fig. 4 にその 2 つの例を示す。

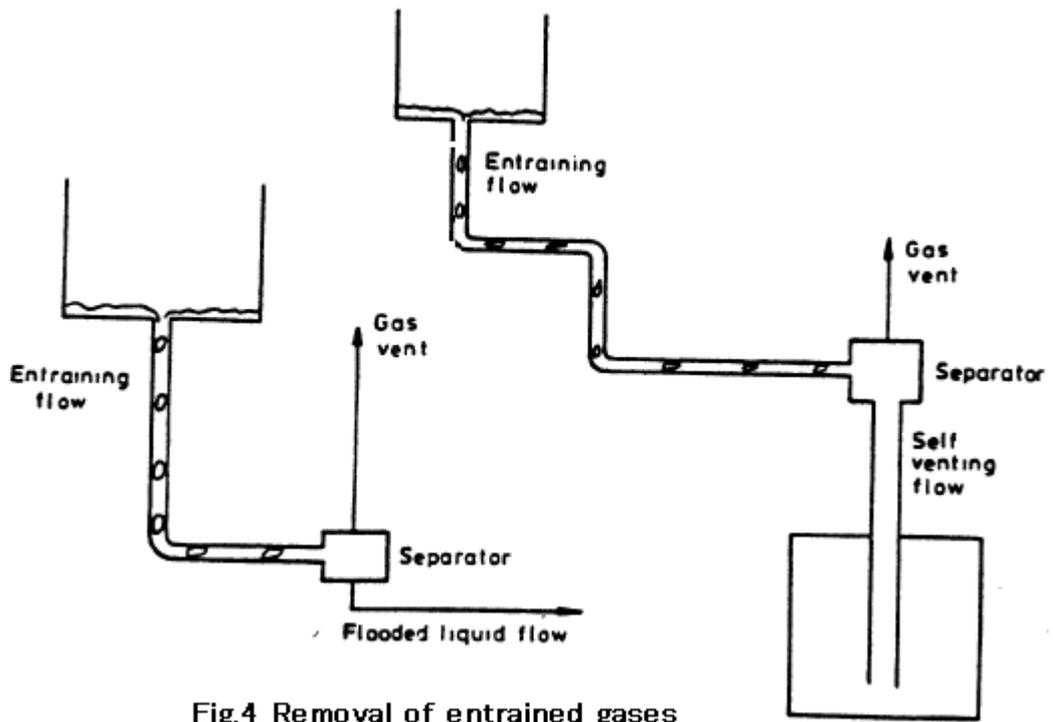


Fig.4 Removal of entrained gases