

## 熱流体トレーニング ( 5 )

刑部真弘\*1

OSAKABE Masahiro

配管内を液体と気体が流れる二相流において、平均的な気体の体積割合をボイド率(void fraction)と呼ぶ。脳のCT 画像診断においてもこの言葉が出てくるようだが、空洞（実際には脳水で満たされている）の割合を示すようである。さて、このボイド率を用いると、以下の二相流の平均密度が定義できる。

$$\rho_m = \alpha\rho_G + (1-\alpha)\rho_L \quad (1)$$

ここで $\rho_G$ および $\rho_L$ は、それぞれ気相および液相密度である。図 1(a)のように高さ  $h$  の、気泡を含む垂直な液柱の底部にかかる水圧  $F$  は、この平均密度および重力加速度  $g$  を用いると

$$F = \rho_m gh \quad (2)$$

で表すことができる。一方、図 1(b)のようにこの気泡を質量が無視できる細線で底面に結ぶことができた場合、気泡は水中に存在する静止した構造物とみなせるので、底面に働く水圧は以下となる。

$$F = \rho_L gh \quad (3)$$

また、糸には気泡の浮力による以下の張力が働く。

$$F_b = (\rho_L - \rho_G) g ah \quad (4)$$

式(4)と(5)より、底面に働く総合力は

$$\begin{aligned} F - F_b &= \rho_L gh - (\rho_L - \rho_G) g ah \\ &= [\alpha\rho_G + (1-\alpha)\rho_L] gh \\ &= \rho_m gh \end{aligned} \quad (5)$$

となり、二相流の平均密度を用いた水圧と同じになる。すなわち、二相流の平均密度を用いた水圧は、水の重さと浮力の合力としてでてくるものである。気泡の浮力が液体を持ち上げているので、気液混合物は軽いのである。

気体が液体を持ち上げることは、1979年に発生した米国スリーマイル島の原子炉TMI-2事故においても注目された。この事故では、原子炉の最上部に設置された加圧器の逃し弁が開固着した。図2に示したように、炉心で発生した蒸気がこの加圧器を通して系外へ排出され、このとき加圧器底部で発生した対向流制限（トップフラディング）により、差圧測定による加圧器水位はほぼ満水に保たれた。これにより、原子炉系の最上部に位置する加圧器に十分な水が存在するので、それよりも下部の原子炉には水が十分であると運転員が判断して、作動し

ていた原子炉緊急冷却系（ECCS）を止めてしまった。この結果、原子炉炉心は蒸気中に露出し炉心溶融という重大事故が発生した。

我々も水を口に含んで“うがい”をするが、この時は、水が気管に入らないように、液相が完全に落下しなくなる流速以上の空気を吹き出していることになる。この流速は経験によって初めて知る。このため、一般的に小さな子供は、その流速がわからないので“うがい”ができない。TMI-2 原子炉の運転員が、この“うがい”のメカニズムの思考トレーニングを受けていれば、あの重大事故は防げたかもしれない。

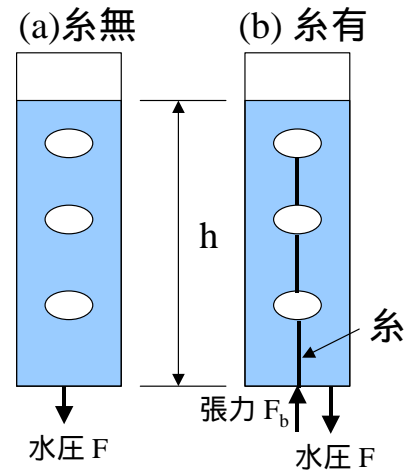


図1 二相流の平均密度を用いた水圧

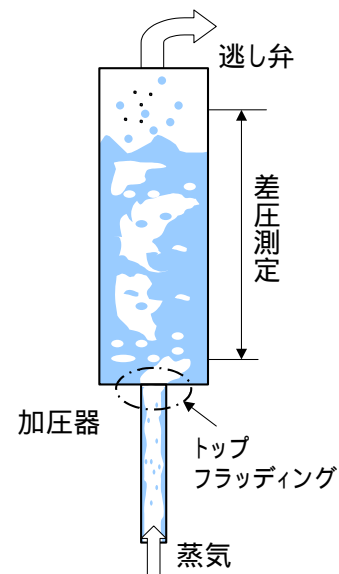


図2 加圧器内でのトップフラディング

### 参考文献

- (1) 刑部真弘, エネルギー技術者の熱流体トレーニング, 海文堂出版, (2004)

\*1 東京海洋大学海洋工学部 海洋電子機械工学科  
(江東区越中島2-1-6)。