

10. 二相流エジェクタによる冷凍・空調サイクルの高効率化

未来ビークルシティリサーチセンター 特定教授 中川 勝文, 特定助教 川村 洋介

10-1 二相流サイクロンノズルに発生する気柱の不安定性に関する研究

(1) 研究目的

我々の研究室では、これまでに遠心力を利用した気液分離器の基礎的研究として、水冷媒を用いてノズル内部にて生じる気柱を高速カメラにて観察してきた。これまでの研究結果からノズルの喉部径が 10 mm において他の喉部径では見られない特異的な気柱の変動が現れることが明らかとなった。そこで、本研究では、最も変動の大きかった喉部径 10 mm に近い 8 mm と 12 mm のノズルを新たに製作し、より気柱の変動が大きくなる喉部径の特定を実験的に行った。また、高速カメラでの撮影に加えて、水中マイクロフォンを用いて気柱から発せられる音を録音し、先の結果との比較を行った。

(2) 気柱の可視化及び変動係数

気柱の外形を撮影するときは、光源を高速カメラの光軸に設置し、透過光を用いた。高速カメラには、株式会社フォトロン製の FASTCAM Mini AX100 を用いた。性能は、フルフレーム 1024×1024 pixels で 4,000 fps, 分割フレーム時で最高 540,000 fps, 最大シャッター速度 1/950,000 sec である。図 10-1-1 には高速カメラを用いた可視化実験から得られた気柱の静止画を示す。この画像は喉部径 12 mm のノズルに水を 10 L/min で流入させた際に、フレームレート 10,000 fps, シャッター速度 1/950,000 sec で撮影されたものである。図 10-1-1 を見ると、透過光によって気柱の境界面がはっきりと識別できていることが分かる。また、この境界面は波打っており、時間経過とともに境界の位置が変動していることが分かった。この特異的な現象は、喉部径 10 mm 及び 12 mm の高流量側で確認された。可視化映像より気柱径の変動が確認できたため、動画解析プログラムを用いて気柱周りの輝度の違いを基に式(1)に示す変動係数 CV を用いて気柱径の時間的変化を求めた。

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\overline{d_g} - d_{gi})^2}}{\overline{d_g}} \quad (1)$$

ここで、 N はサンプリング数、 d_g は動画解析プログラムを用いて輝度値から判別した i フレーム目の気柱径 [pixel]、 $\overline{d_g}$ は d_g の N 個の相加平均である。本実験において、 N は 1024 とした。図 10-1-2 に式(1)を用いて算出された変動係数の流量に対する結果を示す。図 10-1-2 において、横軸は流量、縦軸が式(1)を用いて算出された変動係数を表している。図中のプロットは各流量に対する変動係数であり、

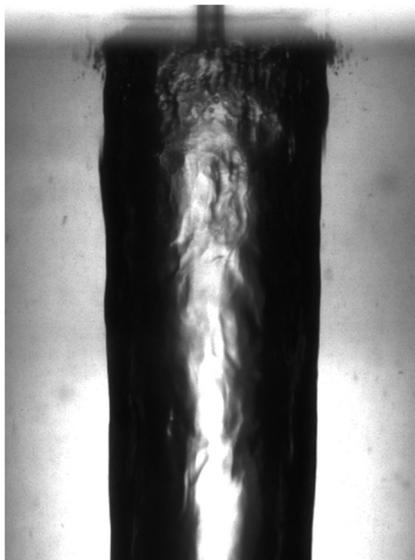


図 10-1-1 可視化気柱の静止画

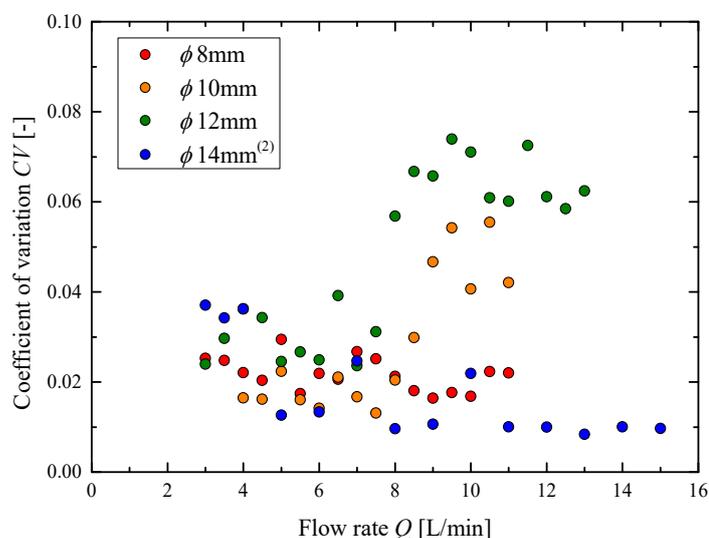


図 10-1-2 気柱径の変動係数

赤色が喉部径 8 mm, 橙色が喉部径 10 mm, 緑色が喉部径 12 mm でそれぞれ測定されたものを表している。また、図中の青色のプロットについては前報 2)で行った実験の結果を表している。図 10-1-2 を見ると、喉部径 8 mm と前報の結果の喉部径 14 mm は流量の増加に伴って変動係数が減少していることが分かる。一方で、喉部径 10 mm 及び 12 mm では他の喉部径とは異なる傾向を示している。流量が約 7 L/min までは他の喉部径同様流量の増加に対して変動係数が減少する傾向にあるが、約 7 L/min を超えると流量の増加に対して変動係数が急激に増加する結果となった。

ここで、9.0 L/min における各喉部径に対する変動係数に注目すると、喉部径 8 mm と 14 mm では変動係数がほぼ変わらないのに対して、喉部径 10 mm は喉部径 8 mm と比べると約 2.8 倍、喉部径 12 mm は喉部径 8 mm と比べると約 4 倍となった。また、この時の喉部径に対する変動係数を 3 次関数で近似すると、変動係数が最も大きくなる頂点が喉部径 12 mm 近傍であったことから、流量の増加に伴って現れる特異的な挙動が最も大きくなるのは本実験で用いたノズル中で喉部径 12 mm であると考えられる。

(3) 可視化映像と水中マイクロフォンにより録音された結果との比較

ここでは、高速度カメラによる可視化実験と水中マイクロフォンを用いた録音実験の比較について述べる。実験では水中マイクロフォンによるサンプリング間隔は 100 μ s, サンプリング数は 200,000 とした。この収録されたデータを高速フーリエ変換(FFT)処理したところ、ある周波数にてピークが現れたことからこれをピーク周波数と定義し、図 10-1-3 に流量に対して整理した。図 10-1-3 は横軸が流量、縦軸がピーク周波数で表されている。また、図中には、水中マイクロフォンの実験結果(∇)に加え、高速度カメラの結果についても同様の処理をして求めたピーク周波数(Δ)をプロットしている。図 10-1-3 を見ると、喉部径や収録方法(高速度カメラ, 水中マイクロフォン)に関係なく、流量の増加に伴って、ピーク周波数はほぼ直線的に増加していることが分かる。また、得られたピーク周波数は喉部径の拡大に伴って、その増加傾向が小さくなっていることが分かる。さらに、高速度カメラによる結果と水中マイクロフォンによる結果を比較すると、ピーク周波数がほぼ一致していることが分かる。すなわち、気柱から発生する音は気柱の変動によって生じていると言える。すなわち、実際の冷凍サイクルにおいても、気液分離器にて生じる音は内部にて生じる気柱の変動が起因になっていると考えられることが分かった。

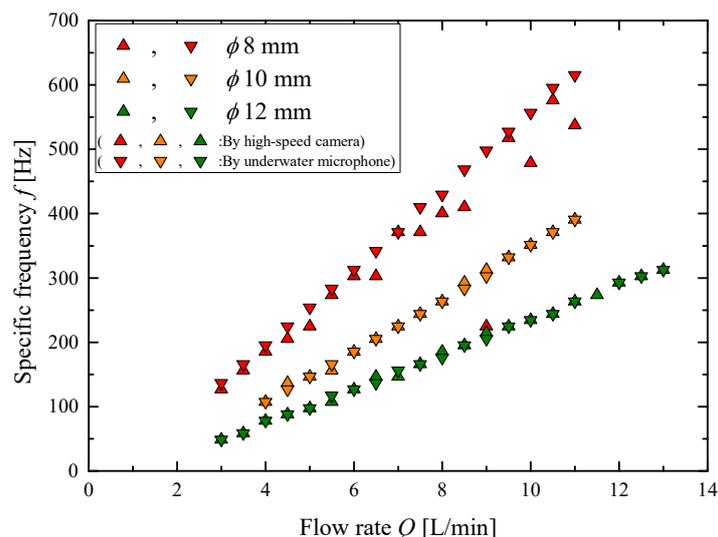


図 10-1-3 流量に対する気柱径の変動ピーク周波数

参考文献

- 1) Yokoyama et al., Proc. of IFHT2016, (2016), IFHT1863-1.
- 2) 中尾・他 3 名, 第 53 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2016), 1.