

## 初心者のための化学工学入門 2. 流体工学入門

講師：山崎 徹

### <講義概要>

化学プラントの多くは気体、液体などの流体を扱うので、その流れを扱う流体工学は流動操作ともいい、化学工学の基礎的な単位操作です。

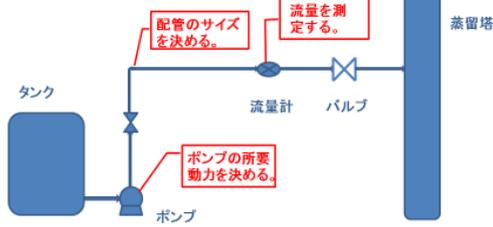
流体の流れとは何かを知り、化学プラントの配管や装置の中の流れを認識し、配管径やポンプの所要動力などの計算法を学びます。講義では、まず流体の流れを決める物性である粘度や円管内を流れる流体の流れの状態を規定する無次元数、レイノルズ数が何であるかに触れ、次いで流速分布や圧力損失、流れを発生させるために必要な動力などを計算する方法を解説します。講義の1ステップごとに簡単な演習を行い、理解を深めます。

### <講義の主な内容>

1. 流体工学を学ぶと何ができるか？
2. 流れの基礎式(質量保存則と運動量保存則)とその応用
  - 2.1 流れの基礎式
  - 2.2 粘度とレオロジー
  - 2.3 流れの状態
  - 2.4 レイノルズ数
  - 2.5 流れの基礎式-運動量の保存則
  - 2.6 層流の流速分布
  - 2.7 流量と圧力損失の関係
  - 2.8 乱流の流速分布
3. 流れのエネルギー収支式とその応用
  - 3.1 流れ系のエネルギー収支(完全流体の場合) ベルヌーイの式
  - 3.2 管摩擦係数と圧損計算 ファニングの式 →例題
  - 3.3 ポンプの所要動力の計算 流れ系の機械的エネルギー収支の式
4. 流速、流量の測定
  - 4.1 計測技術(圧力) U字型マンオメーター
  - 4.2 計測技術(流速) ピトー管
  - 4.3 計測技術(流量) オリフィス

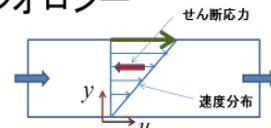
# 1. 流体力学を学ぶと何ができるか？

化学プラントにおける液体、気体の輸送



# 2.2 粘度とレオロジー

ニュートンの粘性法則



(流体の諸部分の間に滑り易さが欠けていることによって生じる抵抗) ∝ (流体の諸部分が互いに引き離されていく速度)

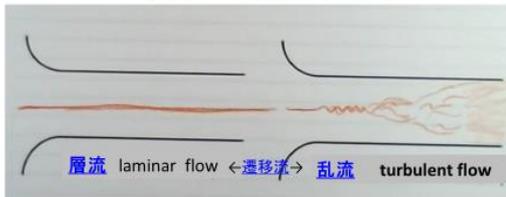
$$\tau = -\mu \frac{du}{dy}$$

(粘性抵抗)  $\tau$  = (粘度)  $\mu$  (剪断速度)  $\dot{\gamma}$

せん断応力  $\tau$  [Pa] = [Pa·s] [m·s<sup>-1</sup>] / [m]

# 2.3

## 流れの状態(2)

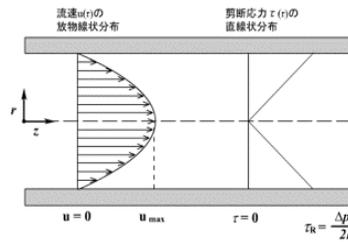


- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・流れが遅い</li> <li>・管が細い</li> <li>・密度が小さい</li> <li>・粘度が大きい</li> </ul> $\frac{\rho u D}{\mu} < 2300$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>・流れが速い</li> <li>・管が太い</li> <li>・密度が大きい</li> <li>・粘度が小さい</li> </ul> $\frac{\rho u D}{\mu} > 4000$ |
|---|---|

# 2.6

## 層流の流速分布(4)

円管内における層流の流速分布(ニュートン流体)図



# 3.2

## 管摩擦係数と圧損計算-ファニングの式(2)

$$\tau_w = f \cdot \frac{1}{2} \rho u_{av}^2$$

$$\tau_w = \frac{1}{4} \frac{\Delta P}{L} \cdot D$$

$$\Delta P = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \rho u_{av}^2$$

ファニングの式

$\Delta P$  : 圧力損失 [N·m<sup>-2</sup>] → [N·m<sup>-2</sup>] → [J·m<sup>-3</sup>]  
流れにより単位体積当たりこれだけのエネルギーを失う。

- |  |   |
|--|---|
| <p>層流: <math>f</math>は<math>Re</math>のみの関数<br/>ハーゲンポアズイユの式から<br/><math>\Delta P = \frac{8\mu L Q}{\pi R^4} = \frac{32\mu L u_{av}}{D^2} = 4 \frac{16}{\rho D u_{av} / \mu} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \rho u_{av}^2</math></p> <p><math>f = \frac{16}{\rho D u_{av} / \mu} = \frac{16}{Re}</math></p> | <p>乱流: <math>Re</math>と粗度の関数<br/>平滑管 プラジウスの式ほか<br/><math>f = 0.0791 Re^{-1/4}</math></p> <p>粗面管<br/><math>Re</math>、粗度と<math>f</math>の関係: グラフ</p> |
|--|---|

# 3.3

## ポンプの所要動力の計算 流れ系の機械的エネルギー収支式(2)

バランス式

$$\frac{1}{2} \rho u_A^2 + g z_A + \frac{P_A}{\rho} + W = \frac{1}{2} \rho u_B^2 + g z_B + \frac{P_B}{\rho} + F$$

(速度頭)<sub>A</sub> + (位置頭)<sub>A</sub> + (圧力頭)<sub>A</sub> + W = (速度頭)<sub>B</sub> + (位置頭)<sub>B</sub> + (圧力頭)<sub>B</sub> + F

動力 (仕事)  
 $W = \Delta(\text{速度頭})_{B-A} + \Delta(\text{位置頭})_{B-A} + \Delta(\text{圧力頭})_{B-A} + F$

損失頭 (摩擦により失われるエネルギー)  
 $F = \Delta p / \rho = 4f(u^2/2)(L/D)$  [J·kg<sup>-1</sup>]

所要動力(仕事率)  
 $W_p = \rho Q W / \eta$  [kg·m<sup>3</sup>·[m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]·[J·kg<sup>-1</sup>] = [J·s<sup>-1</sup>]