**エアギャップ部での中空糸吸湿量計算**

2022年12月15日

生産技術センター/加工技術部(富士駐在) 平松 崇文

## 変数命名則

この文書内で使用する変数・各種記号の命名則について表1にまとめる.

表1. 変数命名規則表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 変数名 | 変数の説明 | 単位 |
|  | AG内絶対湿度 | kg-水蒸気/kg-乾燥空気 |
|  | AG内の位置における中空糸組成と平衡状態にある気相の絶対湿度 | kg-水蒸気/kg-乾燥空気 |
|  | 凝固浴と平衡状態にある気相の絶対湿度 | kg-水蒸気/kg-乾燥空気 |
|  | AG気相の温度 | ℃ |
|  | 凝固浴の温度 | ℃ |
|  | AG圧力(=大気圧) | Pa |
|  | 中空糸境界層組成と平衡状態にある気相の水蒸気分圧 ( [K]での値) | Pa |
|  | 凝固浴と平衡状態にある気相の水蒸気分圧 ( [K]での値) | Pa |
|  | 凝固浴が純物質の水として存在した際に, 凝固浴と平衡状態にある気相の水蒸気分圧 ( [K]での値) | Pa |
|  | 成分を表す下付き添字  1: 貧溶媒  2: 良溶媒  3: ポリマー  4: 添加剤 |  |
| 0 | 初期状態を表す上付き文字 |  |
|  | 中空糸内成分の質量流量 | kg/s |
|  | 中空糸境界層における成分の質量流量 | kg/s |
|  | 中空糸全成分の質量流量 | kg/s |
|  | 中空糸境界層における全成分の質量流量 | kg/s |
|  | 成分の体積分率 | m3/m3 |
|  | 成分の質量分率 | kg/kg |
|  | 成分の分子量 | g/mol |
|  | 成分の密度 | kg/m3 |
|  | 乾燥空気の密度 | kg/m3 |
|  | 原液の平均密度 | kg/m3 |
|  | 成分のモル体積 | m3/mol |
|  | AGの径 | m |
|  | AGの長さ | m |
|  | 中空糸の外径 | m |
|  | 中空糸の内径 | m |
|  | 中空糸外表面から水が拡散できる領域の深さ  () | m |
|  | 中空糸の断面積 | m2 |
|  | 凝固浴断面積 | m2 |
|  | 紡糸速度 | m/s |
|  | 中空糸-雰囲気間の水の境膜拡散係数 | kg/( m2･s) |
|  | 凝固浴-雰囲気間の水の境膜拡散係数 | kg/( m2･s) |
|  | AG気相中の水蒸気の拡散速度  [1] | m2/s |
|  | 凝固浴表面のエアギャップ側熱伝達率 | kJ/(s･m2･K) |
|  | における水の蒸発潜熱 | J/kg |

## 理論式の立式

この節では, 中空糸の吸湿量を計算するために必要な2つの基礎式とその境界条件を立式する. 立式にあたり仮定する項目を以下に示す.

* 中空糸の内径・外径は, 紡口から凝固浴に至るまで一定である.
* 系内では水・水蒸気の物質移動のみを考える.
* 中空糸中において水は境界層内を瞬間的に拡散する.
* 中空糸からエアギャップ気相部へ水分は流出しない.
* エアギャップ部の温度は一定

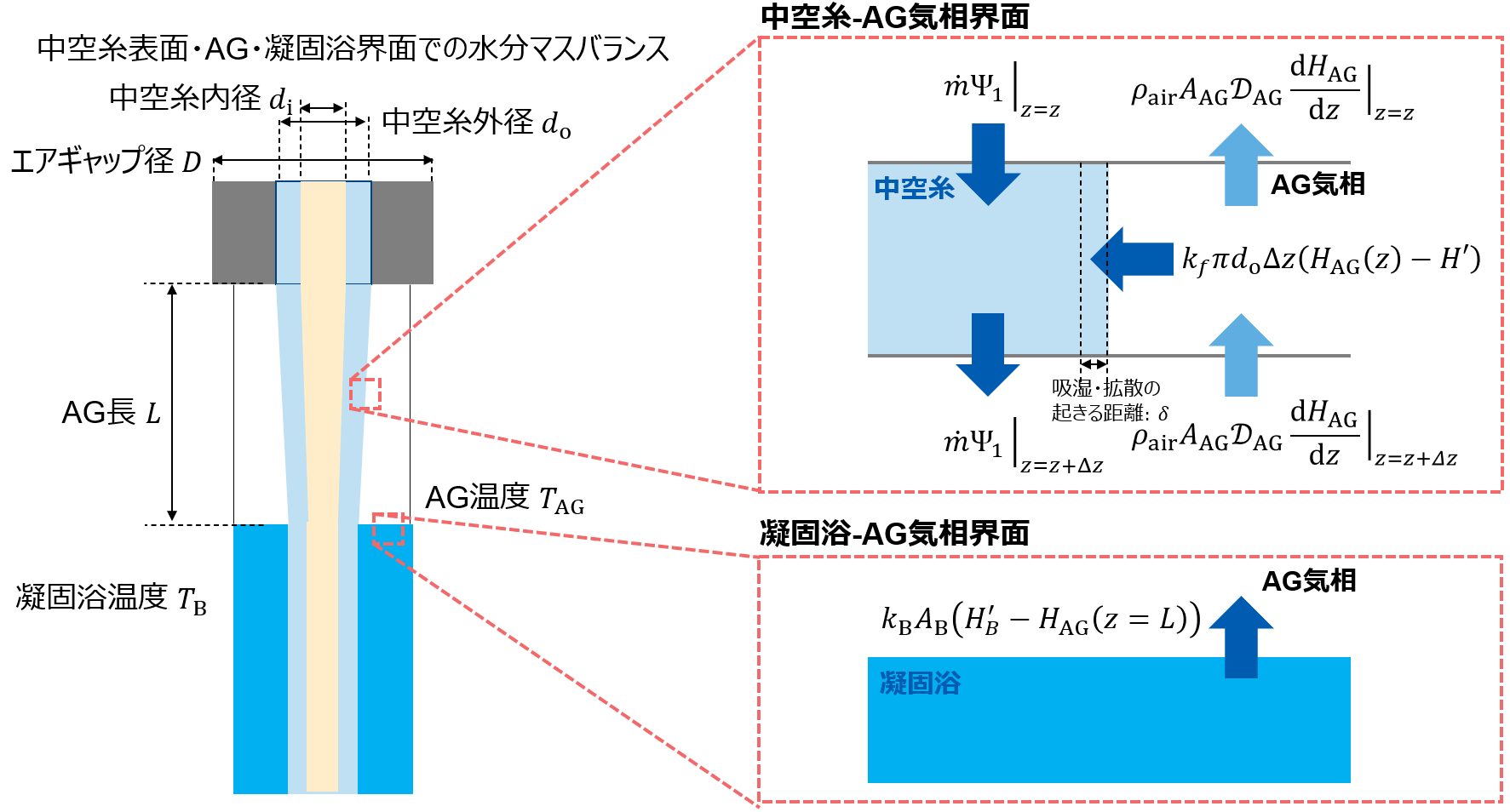


図1. 水の移動のイメージ

### 中空糸中の水マスバランス

エアギャップ部から中空糸に水のみが流入すると仮定すると, 中空糸に対するマスバランスは式(1)で表される.

の極限を取ると, 次に示す常微分方程式 (式(2))が得られる.

において, 水の流入量はゼロであるので, この常微分方程式の境界条件は式(3)で示される.

### エアギャップ気相部の水マスバランス

エアギャップ気相部における水のマスバランスは式(4)で表される.

の極限を取ると, 式(5)に示す2階の常微分方程式が得られる.

凝固浴液面においては, 凝固浴からの水の蒸発量が拡散量に一致するので, 式(6)の境界条件が得られる.

一方で, においては水蒸気が拡散しないので, 式(7)の境界条件が得られる.

## 理論式の計算方法

前節で吸湿量の計算に必要な理論式を立式したが, これらの式をそのまま解析的に解くことは非常に困難である. そこで, 以下では問題の構造を単純化するために2つの仮定を置き, 理論式を解析的に解く方法を示す.

* 吸湿される水の質量は非常に小さい. すなわち, 原液の質量流量は紡口吐出後, 凝固浴界面に到達するまで変化しない. ()
* 中空糸原液組成と平衡状態にある気相の絶対湿度は非常に小さい. ()

上記の仮定を踏まえ, さらに便宜的に新たな変数を定義すると, 理論式は次のように修正される.

式(5)’は直ぐに解けて次のような形になる

ただし, である. またB. C. 2-1より, 式(9)が成り立つ.

すなわち,

B. C. 2-1より,

よって,

は乾燥空気と水蒸気に関する理想気体の状態方程式を用いて式(13)の形で表される.

はラウールの法則を用いて, から計算することができる.

はTetensの式より, 式(16)の形で表される. [2]

得られたを用いて式(2)’を解くと, が得られる.

中空糸中の貧溶媒質量流量は で表され, 境界膜内における水の重量分率は式(16)を用いて計算できる.

## 注意事項

* 理論式を解く際にを仮定したので, 吸湿量は原液組成に依らないことになる.

## Appendix

## の推算方法

この節では, 境膜の厚みの程度を表す無次元数「シャーウッド数」を用いて, を推算する方法について示す. シャーウッド数は以下の式で定義される.

ただし, 境膜物質係数の単位はm/sであることに注意する. アセトンに関する状態方程式を用いることで, をに変換することができる.

式を用いると, は式の形で表される.

あとはを求めることができれば, を推算することができる. ここで, 層流・自然対流条件におけるシャーウッド数は以下で表される [3](層流・自然対流条件下に於けるヌッセルト数との類似). (水面と平衡に流れる流体中に蒸発する場合に相当)

ここで, はレイノルズ数, はシュミット数である.

## の推算方法

の場合と同様にして, 次の関係式が成り立つ.

ここで, 層流・乱流領域に於けるシャーウッド数はそれぞれ以下の式で表される. [4]

ここで, はレイノルズ数, はシュミット数である.

## 空気の密度の算出法

乾燥空気に関する理想気体の状態方程式より

ただし, である.

## 水蒸気の密度の算出法

水蒸気に関する理想気体の状態方程式より

ただし,

引用文献

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | KOKECO, “工学計算.com,” 10 7 2022. [オンライン]. Available: https://kougakukeisan.com/2021/09/25/%E6%B0%B4%E3%81%AE%E8%92%B8%E7%99%BA%E9%80%9F%E5%BA%A6/. [アクセス日: 9 12 2022]. |
| [2] | T. O., “Uber einige meteorologische begriffe,” *Zeitschrift fur Geophysik,* 第 巻6, pp. 297-309, 1930. |
| [3] | T. Sherwood, R. Pigford , C.R.Wilke, Mass Transfer, McGraw-Hill, 1975. |
| [4] | J.Welty, C.E.Wicks, G.L.Rorrer , R.E.Wilson, Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer 5th Edition, Wiley, 2007, p. p.581. |
| [5] | 田門, “4章 物質の分離・精製,” 著: *現代化学工学*, 1 編, 千代田区, 東京都: 産業図書, 2016, p. 196. |
| [6] | 大石光彦, 酒井孝司 , 小野浩己, “床暖房室内における自然対流場の風速測定―直接相互相関法と再帰的相関法の比較―,” 2016. |