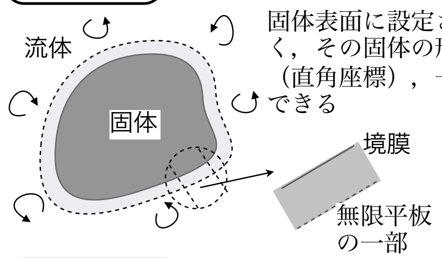
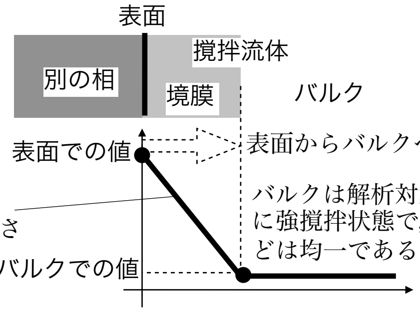
移動速度論　Transport Phenomena 2017（第11回）　7月6日（木）

メールアドレス：kozka@kumamoto-u.ac.jp
ＨＰアドレス　：http//www.msre.kumamoto-u.ac.jp /~process/Transport/home.html

境膜の設定



固体表面に設定される境膜は一般的に非常に薄く，その固体の形状に関わらず，常に無限平板（直角座標），一次元問題として考えることができる



境膜モデルは定常モデルであり，境膜内の模式的な（仮定される）分布は直線となる

バルクは解析対象外であり．常に強撹拌状態で，温度，濃度などは均一であると考えてよい

境膜の速度式

物質移動　$N = k_d \Delta C$　　(フラックス)＝(速度定数)×(濃度差)　　濃度差とは境膜の両端の値の差で大きい値から小さい値を引く

速度定数 k_dの値は様々な系で既に解明されているSh数のデータを利用することで算出される

○半無限平板の長さLまでの平均値　$Sh = 0.662 Re^{1/2} Sc^{1/3}$　　$Sh = \dfrac{k_d L}{D}$, $Re = \dfrac{VL}{\nu}$, $Sc = \dfrac{\nu}{D}$

○球体周り（Ranz-Marshallの式）　$Sh = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Sc^{1/3}$　　$Sh = \dfrac{k_d d}{D}$, $Re = \dfrac{Vd}{\nu}$, $Sc = \dfrac{\nu}{D}$　　d：球の直径（m）

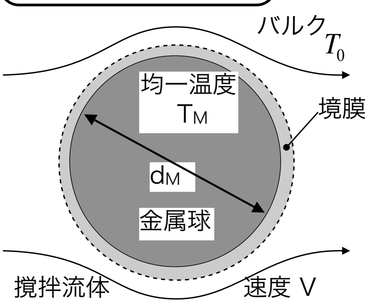
○回転円柱側面　$Sh = 0.112 Re^{2/3} Sc^{1/3}$　　$Sh = \dfrac{k_d d}{D}$, $Re = \dfrac{2\pi\omega d^2}{\nu}$, $Sc = \dfrac{\nu}{D}$　　d：円柱の直径（m）

○回転円盤　$Sh = 0.339 Re^{1/2} Sc^{1/3}$　　$Sh = \dfrac{k_d d}{D}$, $Re = \dfrac{\omega d^2}{\nu}$, $Sc = \dfrac{\nu}{D}$　　d：円盤の直径（m）

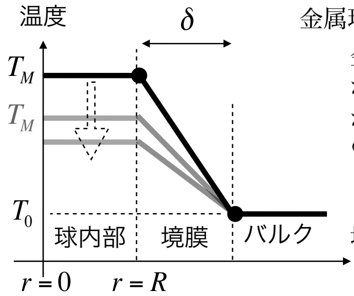
3年前期　実験3

問題33 Ranz-Marshallの式では静止流体中でSh=2となります．これを定常解と境膜内の物質移動の式から導出して下さい．

流体中の金属球の冷却



温度Tᵢまで金属球を熱し，温度T₀の流体中に投入して，その後の温度変化を考える．



金属球の熱伝導度は非常に大きくその内部は常に均一の温度

金属表面からの熱移動により球は冷却され，時間とともに温度が下がる．厳密には，非定常問題として方程式を解くべきだが，困難である．時間経過に伴い，その瞬間瞬間で定常モデルの境膜を設定する．これを擬定常という． そして，境膜を使うということであれば，答えは用意されている．

境膜内の熱移動が知りたい．→ Nu数を求める．

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

擬定常問題として金属球の温度変化を求める．　　h：境膜内の熱拡散係数

金属球に対する熱収支　$\boxed{\text{dt時間に表面から移動する熱量}} = \boxed{\text{dt時間での金属球の温度変化に相当する熱量}}$　　$h \Delta T S dt = -C_M \rho_M V dT_M$　　S：球の表面積　V：球の体積

$$\frac{dT_M}{dt} = -\frac{h\Delta T}{C_M \rho_M}\frac{S}{V} = -\frac{6h(T_M - T_0)}{d_M C_M \rho_M}$$

初期条件　$T = T_i \ \ at \ \ t = 0$

$$\frac{dT_M}{(T_M - T_0)} = -\frac{6h}{d_M C_M \rho_M} dt$$

解　$\dfrac{T_M - T_0}{T_i - T_0} = e^{-\frac{6h}{d_M C_M \rho_M} t}$

例題として
Ti=1200K
T0=400K
dM=0.025m
V=1 m/s

流体と金属の物性値

	流体	金属球
密度ρ (kg/m³)	900	7000
比熱C (J/kg K)	1.5	500
熱伝導度λ (J/m K s)	0.3	400
粘度μ (Pa s)	0.025	

まず，レイノルズ数，　Ranz-Marshallの式より
プランドル数を求める．　　Nu＝11

$$Re = \frac{Vd_M}{\nu} = \frac{\rho V d_M}{\mu} = 900 \qquad Nu = \frac{hd_M}{\lambda} \qquad \frac{T_M - T_0}{T_i - T_0} = e^{-0.0091t}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{C_F \mu}{\lambda} = 0.125 \qquad h = 132 \ \mathrm{J/m^2Ks}$$

例えば，金属球の温度が600Kまで低下する時間は　$\ln(1/4) = -0/0091t$　　$t = 152\ s = 2\ m\ 32\ s$

問題34 直径24mmの球形の氷砂糖が流水中に投入されたとして，その後の直径の経時変化を求めて下さい．ただし，表面近傍で濃度は大きく変化しており，境膜を設定することができます。さらに簡単のために球形は保たれるとし．直径が変化してもRe数は初期直径の値で変化しないとしましょう．

数値データ　流速V＝0.012 m/s
　　　　　　表面濃度Cs=800 kg/m³

流体と砂糖の物性値

	流体	砂糖
密度ρ (kg/m³)	1000	1200
拡散係数D (m²/s)	ー	2 x 10⁻⁹
粘度μ (Pa s)	0.002	