

Advance/FrontNet/ Γ 1.4事例紹介

2012年2月14日管路系セミナー
アドバンスソフト株式会社
セミナー講師:技術4部 秋村友香

アジェンダ

1. 衝撃波管の計算(理論解との比較)
2. 二酸化炭素の空気パーセント計算(実測値との比較)
3. 配管熱伝導の計算(理論解との比較)
4. 熱交換器の計算(仮想的な条件)

1. 衝撃波の計算

目的: 過渡解析の精度を確認する。

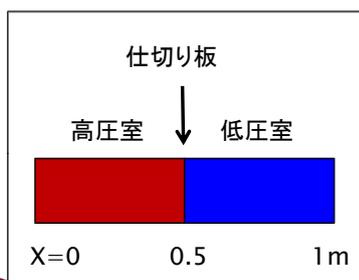
計算対象: 2つの高圧配管と低圧配管が、仕切り壁で仕切られている。
境界条件は反射壁とする。流体は理想気体(空気)とする。

ストーリー: ある瞬間に仕切り壁が取り除かれる。このとき圧力波が発生する様子を調べる。

比較: 次の文献と比較する。

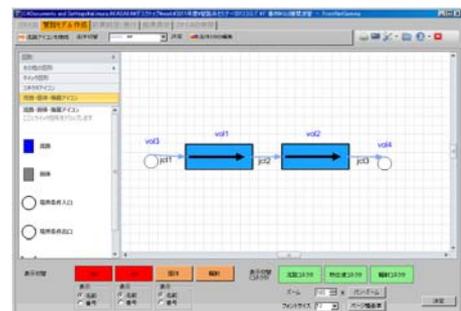
W. D. Henshaw, Journal of Computational Physics 68, 25-47 (1987)

計算条件



流体	比熱比1.4 モル質量28.8g/mol
高圧室 条件	圧力1000kPa 温度350K 密度10kg/m ³ 500分割、径1mm
低圧室 条件	圧力100kPa 温度280K 密度1.25kg/m ³ 500分割、径1mm
時間	0.63ms

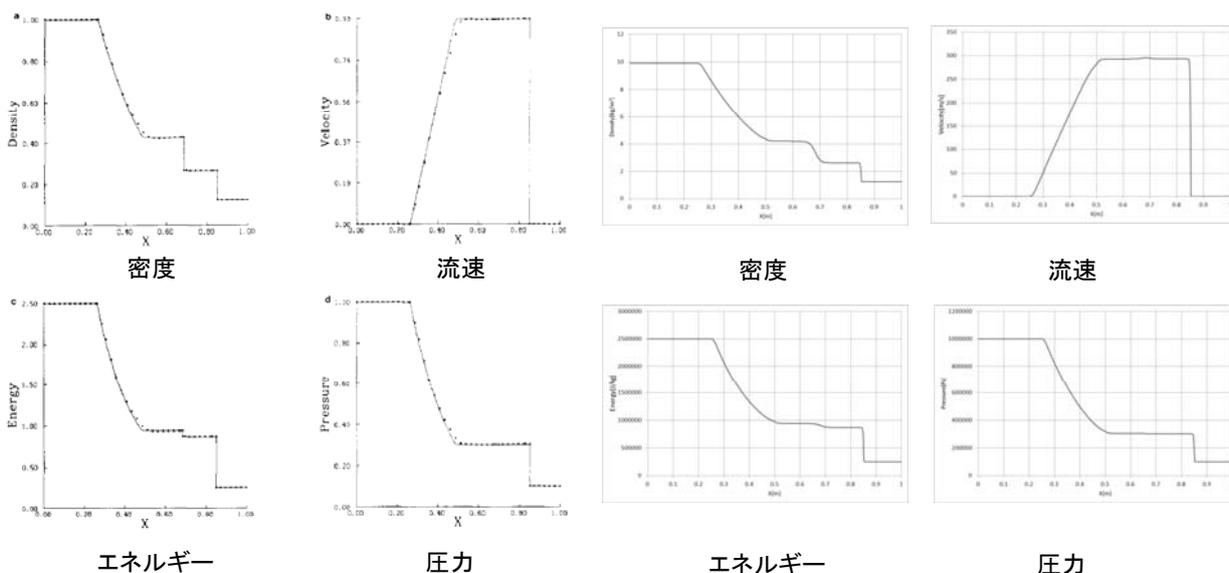
FrontNet/ Γ によるモデリング



1. 衝撃波の計算

文献の理論解(直線)

FrontNet/Γの結果



- ・ 過渡解析の精度を確認するため、理論解が知られている衝撃波管問題を解いた。
- ・ 結果は、FrontNet/Γの解が多少なまっているが、良好に一致しているといえる。

2. 二酸化炭素の空気パーージ計算

目的: 多成分ガス計算機能の過渡解析の精度を確認する。

計算対象: 下図のように左側から空気と二酸化炭素が流入し、合流してその後大気解放される。

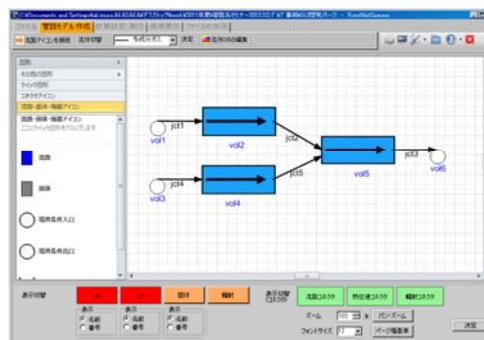
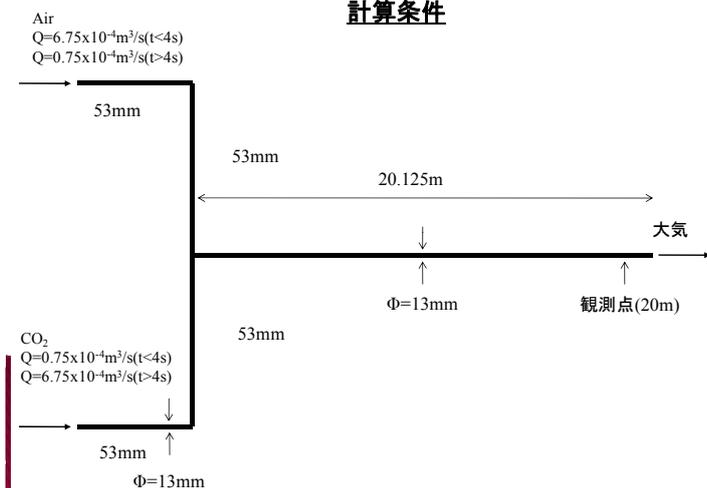
ストーリー: 空気と二酸化炭素のモル分率が0.9:0.1で流れていた時、4s後に、空気と二酸化炭素のモル分率が0.1:0.9となるような流入条件である。

比較: 次の文献と比較する。

梁谷雄史他, "管路内での異種気体混合に関する研究", 日本流体力学学会(2007)

計算条件

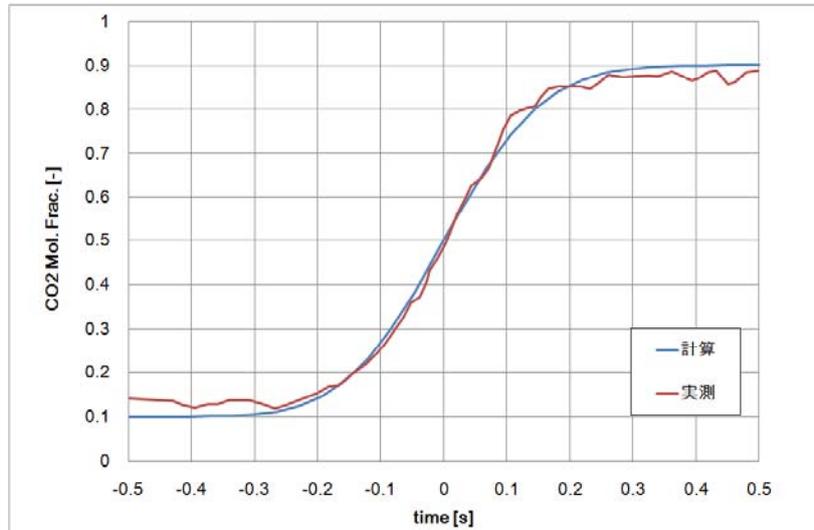
FrontNet/Γによるモデリング



2. 二酸化炭素の空気パーージ計算

観測点における二酸化炭素モル分率

観測点をCO₂が通過した時刻(7.54s)をゼロとしている。



- ・理想気体の多成分ガスモデルを使い計算をし、実験と比較した。
- ・管路内の流速が $(6.75 \times 10^{-4} + 0.75 \times 10^{-4}) / \pi(0.013/2)^2 = 5.65 \text{ m/s}$ であり、観測点までの長さが20.106mなので、流量変化後、 $20.106 / 5.65 = 3.55 \text{ s}$ で濃度に変化することになるが、計算結果も流量の切り替え4sを含んだ7.54sとほぼ同等となっている。
- ・二酸化炭素で空気をパーージする計算は試験をよく再現している。

5

3. 配管熱伝導の計算

目的: 定常状態での流体と固体の熱伝導機能の確認をする。

計算対象: 円形の配管内を水素が高速で流れており、配管を構成する固体の材質は内側が銅、外側が鉄の2層である。

ストーリー: 流体と固体は熱伝導をし、固体外側は温度が一定とする。流体の温度分布と固体の温度分布を調べる。

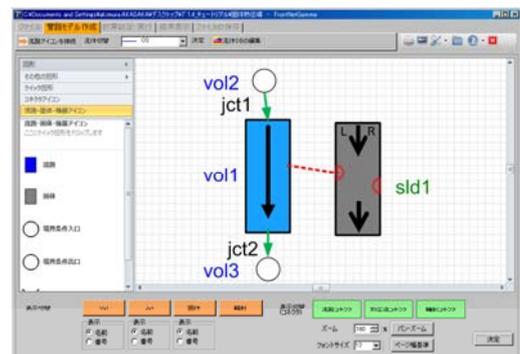
比較: 次の文献中の理論解と比較する。

田中正隆、松本敏郎、中村正行「計算力学とCAEシリーズ境界要素法」培風館

計算条件

流体	水素 (NIST)
配管	長さ100m、直径0.1m、粗度16 μm メッシュ 10分割
境界条件	入口圧力1.2[MPa] 出口圧力1.0[MPa] 温度289[K] ※比較のため、第一メッシュの固体左側温度が283K付近になるよう調整
熱伝達率	計算条件(A) 100000[W/m ² K] を指定 計算条件(B) Dittus-Boelterの式を使用
固体形状	長さは配管と同じ 銅の厚さ50mm、鉄の厚さ50mm
固体物性	銅 熱伝導率 385[W/mK] 鉄 熱伝導率 73[W/mK]
固体外側	温度指定273K

FrontNet/πによるモデリング

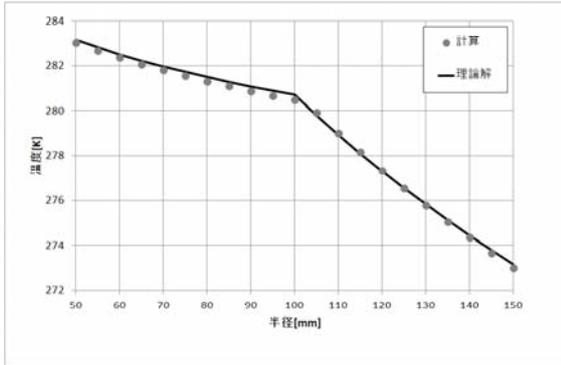


6

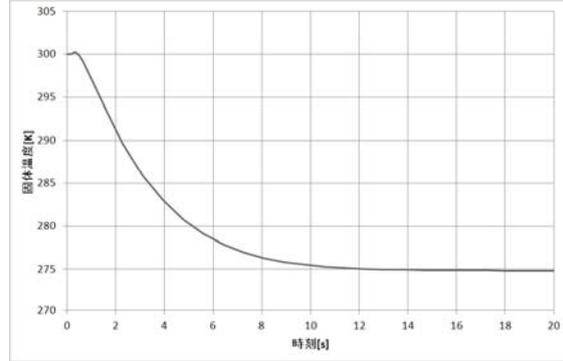
3. 配管熱伝導の計算

計算条件(A)の結果

固体内温度分布(@第一メッシュ、径方向)



固体温度の収束状況(@上流から50m)

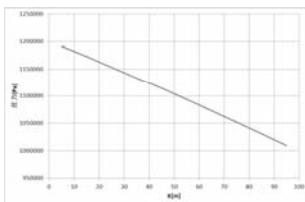


理論解と比較するため、熱伝達率を入力とし、流体側の温度を調整した。
結果は、理論解と比較して良好に一致している。
約20sの過渡解析で、ほぼ定常に達していると考えられる。

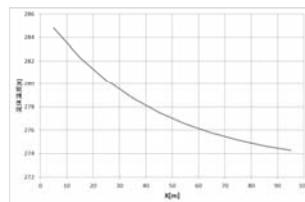
3. 配管熱伝導の計算

計算条件(B)

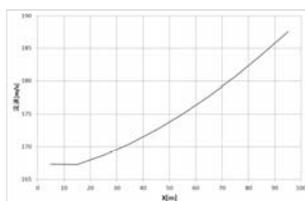
流体圧力分布(流れ方向)



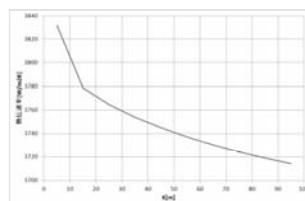
流体温度分布(流れ方向)



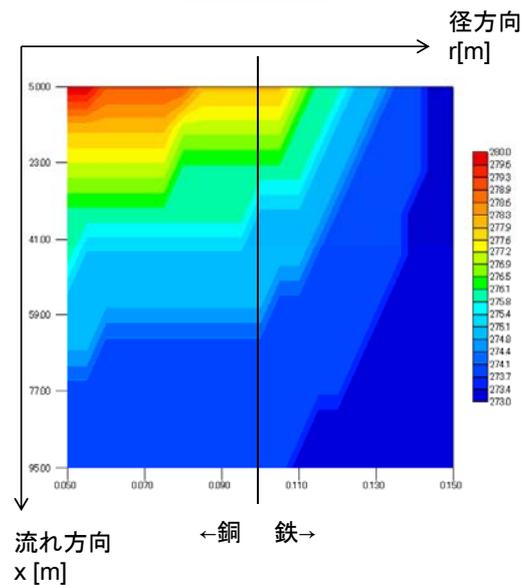
流体流速分布(流れ方向)



熱伝達率分布(流れ方向)

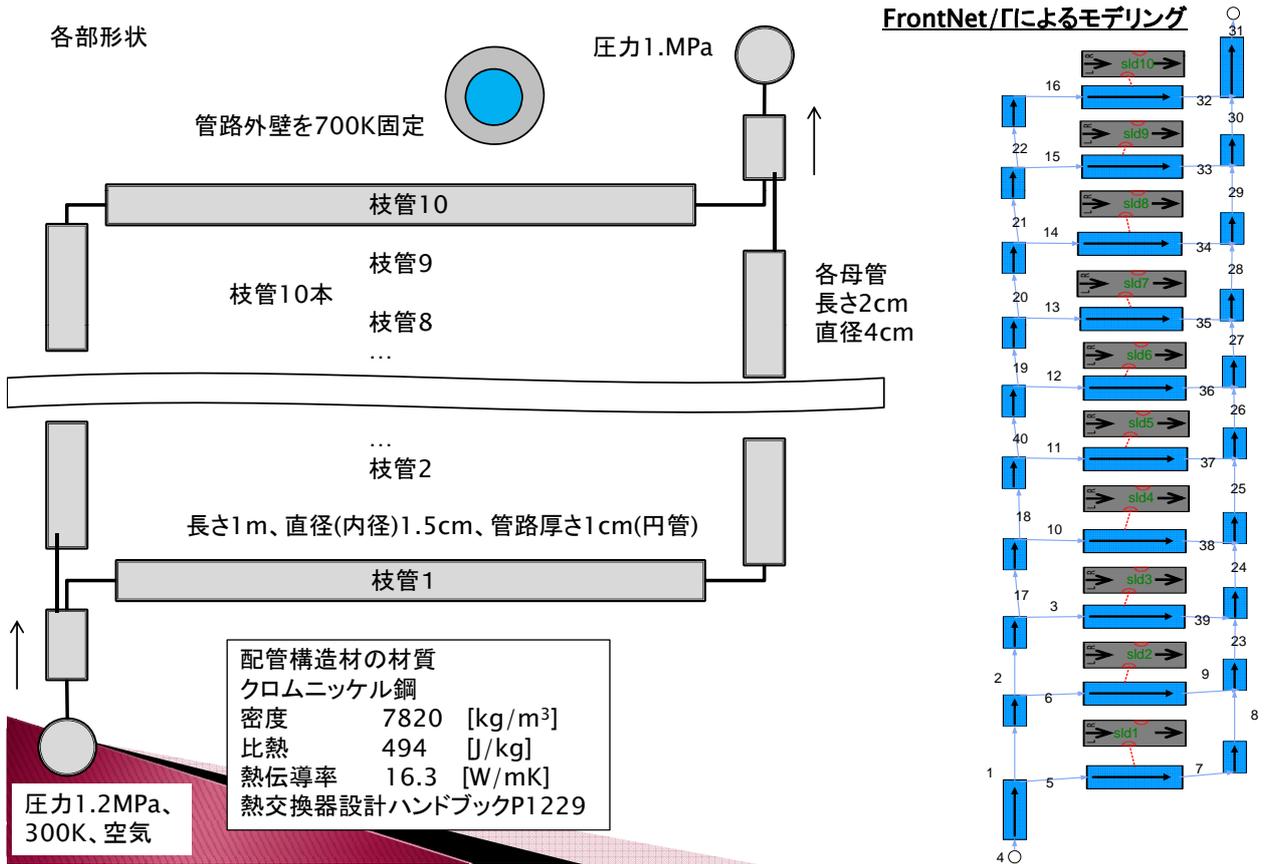


固体温度分布



- ・ 仮定の条件で計算を実施した。
- ・ Dittus-Boelter式で熱伝達率を算出し、上記のような熱伝達率分布を得た。これに従い、流体と固体が熱伝達をし、流体温度と固体温度の分布が得られた。
- ・ 固体温度は流れ方向と径方向について分布を得ることができた。

4. 熱交換器の計算



4. 熱交換器の計算

定常状態の流量分配

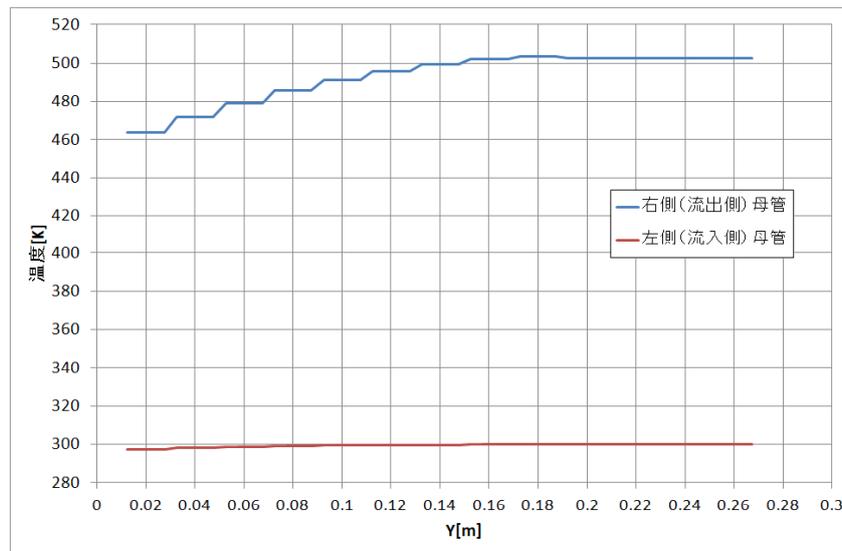
	流量[kg/s]	[%]
枝管10	0.12	9.68
枝管9	0.10	8.06
枝管8	0.08	6.45
枝管7	0.08	6.45
枝管6	0.08	6.45
枝管5	0.09	7.26
枝管4	0.11	8.87
枝管3	0.15	12.10
枝管2	0.19	15.32
枝管1	0.24	19.35
合計	1.24	100.00

流れ ↑

・不均一な流量分布が得られた。流入側上流の方が流れやすいため、枝管1, 2, 3, ...の順に流量は減っている。ただし、流入側下流末端はデッドエンドで流れがせき止められるため、枝管9, 10では若干流量が増えている。

4. 熱交換器の計算

定常状態の母管の温度分布



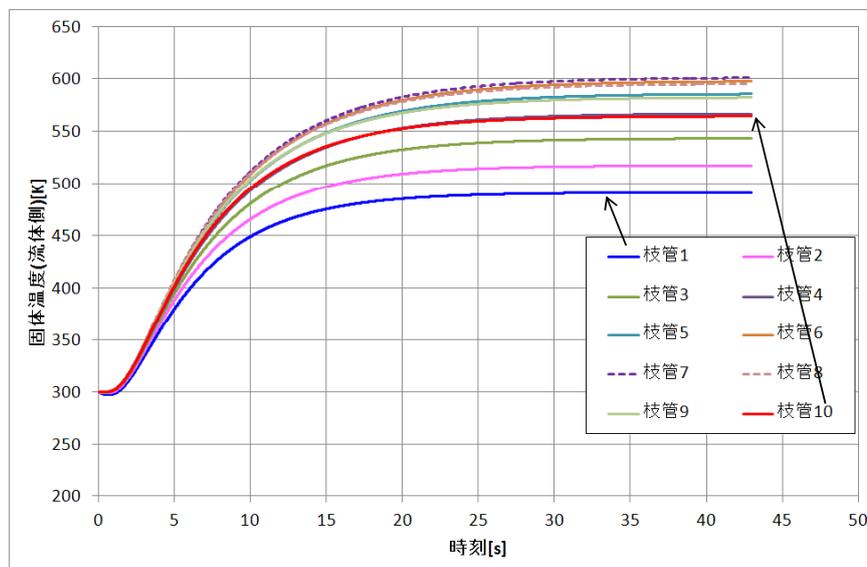
- ・ 枝管 1 の流量が多いため低い温度が母管（右）に流入し、枝管 2・・・にいくにしたがって高い温度が流入している。
- ・ 最終的な空気の取り出し温度は約500Kとなった。

11

4. 熱交換器の計算

管路構造材初期温度300K、初期流量0kg/sの条件で過渡解析を実施した。

各枝管の流れ方向中心部(0.5m)、**構造材**の流体側(内側)の温度の時間変化(計算結果)

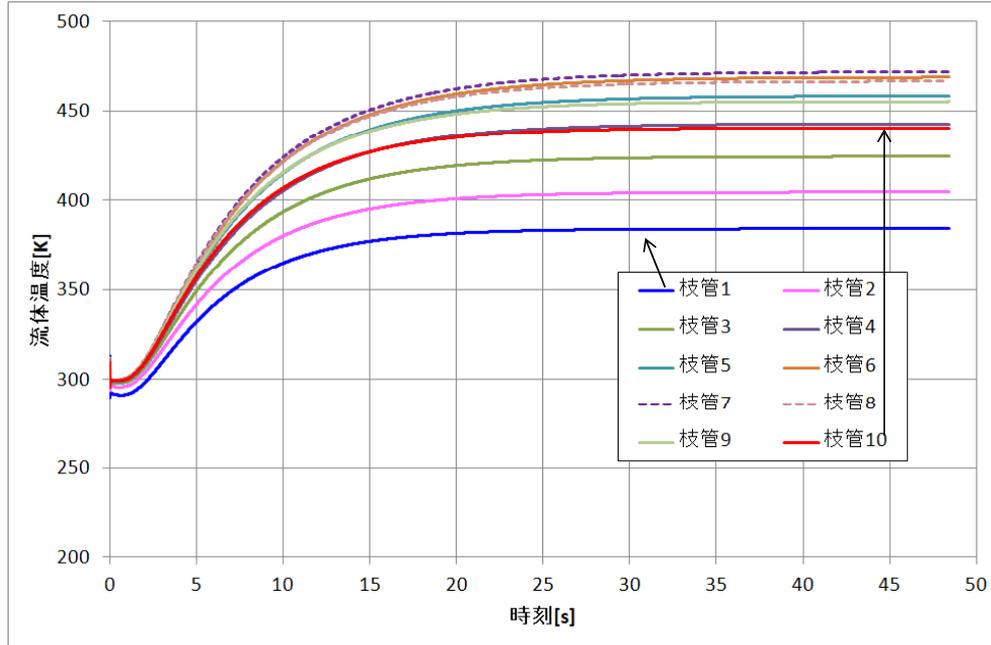


- ・ 枝管構造材温度に対して、流量分布に応じた温度分布が見られた。すなわち、枝管 1, 2, 3 が比較的 low、枝管 5, 6, 7, 8 が high になった。

12

4. 熱交換器の計算

各枝管の流れ方向中心部(0.5m)、**流体**の温度の時間変化(計算結果)



・枝管構造材温度に対して、流量分布に応じた温度分布が見られた。
すなわち、枝管1, 2, 3が比較的低く、枝管5, 6, 7, 8が高くなった。

13

「3. 配管熱伝導の計算」で比較に用いた理論解(参考)

二重円筒熱伝導理論解

(1) 内壁から外壁までの熱伝達

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_b} + \frac{1}{r_2 h_2}}$$

(2) $r < r_1$ における温度分布

$$T(r) = T_i - q r_1 \left(\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{\ln(r/r_1)}{k_a} \right)$$

(3) $r_1 < r < r_2$ における温度分布

$$T(r) = T_i - q r_1 \left(\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_a} + \frac{\ln(r/r_2)}{k_b} \right)$$

14