

## 研究背景

一般的な伝熱促進法として、伝熱面にフィンを取り付ける方法が広く利用されている。

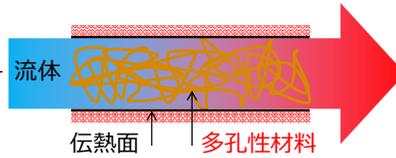
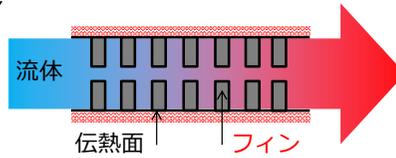
<この方法の導入に伴い生じる問題>

- フィン付き管の製作性
- 加工に伴う構造強度の検討
- 定期的な保守検査

伝熱面を加工せず、効果的に伝熱促進が行える方法として本手法を検討してきた。

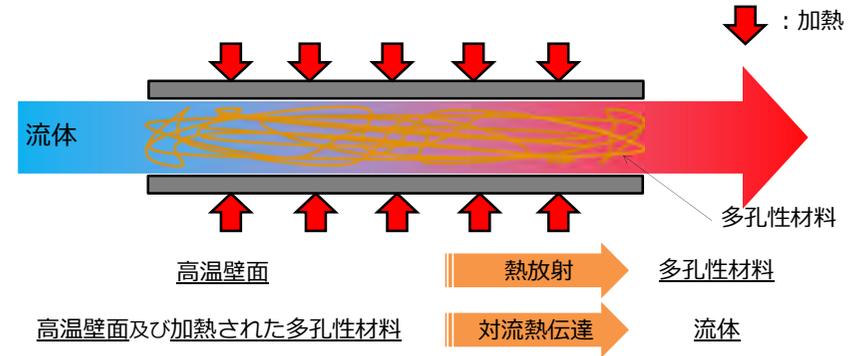
<本手法による伝熱促進の利点>

- 非加工のため構造強度に影響なし
- 追加的な導入が容易に可能
- 設計時間や費用の削減が可能
- 保守検査が不要



1

## 研究背景



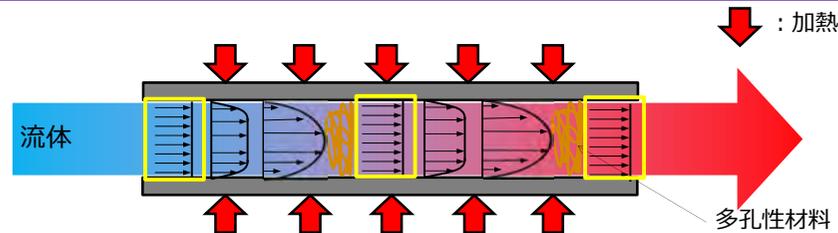
<本手法を実用化させるための課題>

伝熱促進効果の向上  
圧力損失増大の抑制

多孔性材料を間欠的に充填する  
伝熱促進法の研究を進めてきた。

2

## 研究背景



圧力損失 減少  
伝熱面積 減少  
熱伝達率 増加

前縁効果

温度境界層の薄い領域で高い熱伝達率が得られる現象。

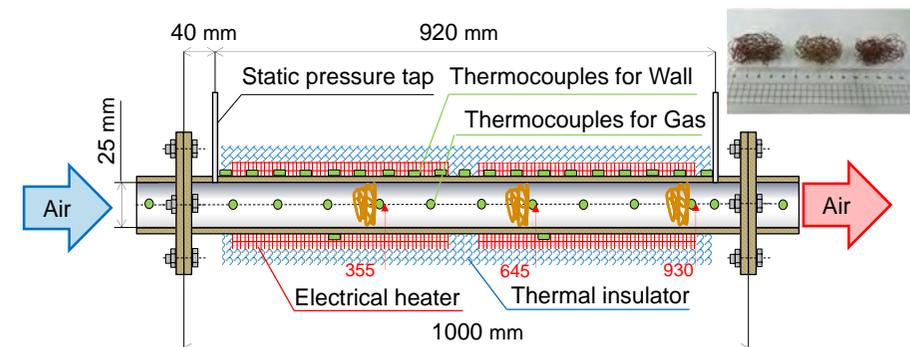
多孔性材料をブロック状に充填し温度境界層を繰り返し破壊することで、伝熱性能を悪化させることなく圧力損失の増大を抑制できると考えている。

目的

本手法の実用化に向けて、多孔性材料の空げき率、線径などの相違が伝熱流動特性に与える影響を調査する。

3

## 実験装置



Material	Number of the porous material	Inserted position [mm]	Thickness [mm]	Insertion form
Copper wire (99.999% purity)	3	355, 645, 930	40	Intermittently

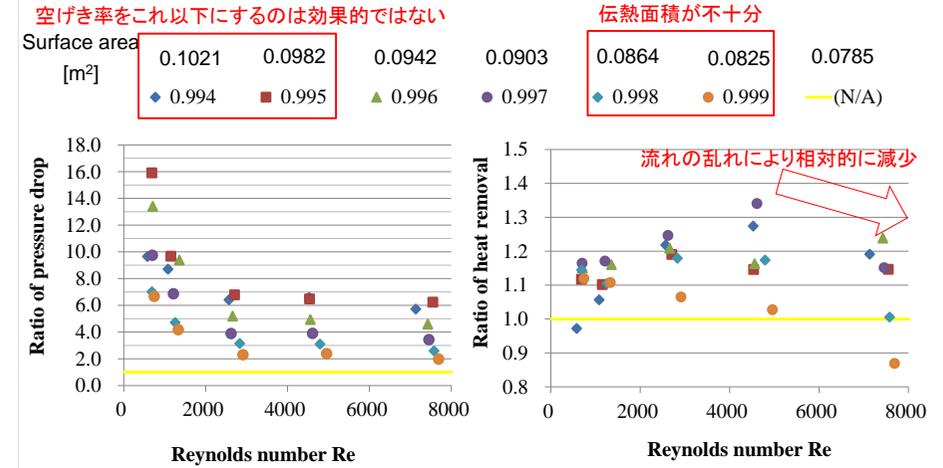
4

## 実験条件 | 空げき率の相違

作動流体 空気  
 加熱条件 熱流束一定 (ヒータ出力: 140 W, 壁面温度 ≤ 200 °C)  
 流動条件 Re = 700, 1200, 3000, 5000, 8000  
 充填条件 線径一定 (0.5mm)

Material	Wire diameter $d_w$ [mm]	Wire length $l_w$ [m]	Channel porosity $\epsilon_{CH}$	Surface area $A$ [m <sup>2</sup> ]
Cu	0.5	15	0.994	0.1021
		12.5	0.995	0.0982
		10	0.996	0.0942
		7.5	0.997	0.0903
		5	0.998	0.0864
		2.5	0.999	0.0825
N/A	-	-	1.000	(Pipe : 0.0785)

## 実験結果 | 空げき率の相違



空げき率0.996, 0.997付近で圧力損失の増大を抑制しつつ, 伝熱性能の向上が期待できる。実験条件により空げき率の最適値が存在すると考えられる。

## 実験条件 | 線径の相違

作動流体 空気  
 加熱条件 熱流束一定 (ヒータ出力: 140 W, 壁面温度 ≤ 200 °C)  
 流動条件 ポンプ動力一定 (多孔性材料非充填時のレイノルズ数: 約6000)  
 充填条件 空げき率一定 (0.997)

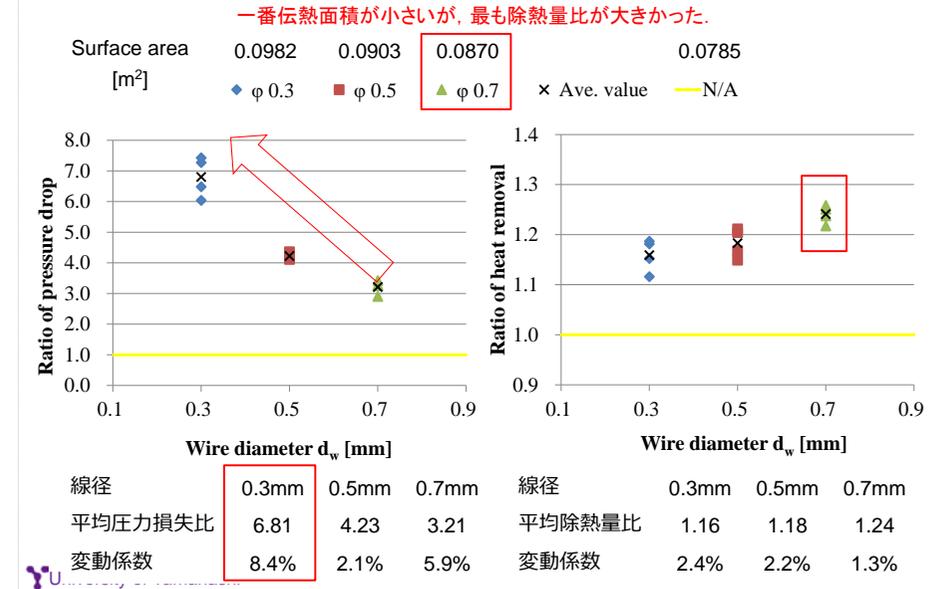
Material	Wire dia. $d_w$ [mm]	Wire length $l_w$ [m]	Channel porosity $\epsilon_{CH}$	Surface area $A$ [m <sup>2</sup> ]	Number of experiments
Cu	0.3	20.8	0.997	0.0982	4
	0.5	7.5		0.0903	
	0.7	3.8		0.0870	
N/A	-	-	1.000	(Pipe : 0.0785)	1

変動係数 C.V.

$$C.V. = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\bar{x}}$$

変動係数C.V.は, 標準偏差を平均値で割った値のことで, 単位の異なるデータのばらつきや, 平均値に対するデータのばらつきの関係を相対的に評価する際に用いる無次元数。

## 実験結果 | 線径の相違



## 実験結果 | 流量による考察

流量 [l/sec]

Wire dia. [mm]	φ0.3	φ0.5	φ0.7
No.1	2.19	2.32	2.26
No.2	2.18	2.27	2.28
No.3	2.24	2.28	2.26
No.4	2.19	2.25	2.29
Average value	2.20	2.28	2.27

除熱量の算出式

$$Q = C_{p,ave} \rho_{ave} V_{CH} (T_{out} - T_{in})$$

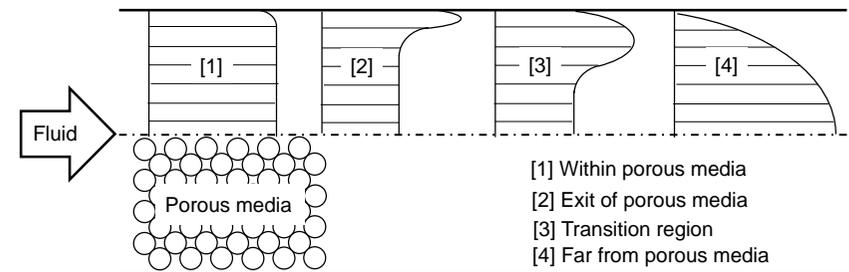
線径0.3mmの場合  
 線径0.5mmの場合  
 線径0.7mmの場合  
 流量の減少  
 除熱量の低下  
 流動状況の変化? → 除熱量の低下

Wire dia. $d_w$ [mm]	Ratio of heat removal	Flow rate $V$ [l/sec]	Inlet temp. $T_{in}$ [°C]	Outlet temp. $T_{out}$ [°C]	Difference in temp. $\Delta T$ [°C]
φ0.5	1.149	2.27	31.8	65.8	34.0
φ0.7	1.258	2.28	31.6	69.0	37.4

線径0.5mmと0.7mmでは流動状況が異なっている可能性がある。

線径0.5mmでは流動抵抗が強く、銅細線充填層の流路中心部を流れる流体が少なかったため、効率的に熱交換が行えなかったと推測した。

## 流速分布に関して



参考:

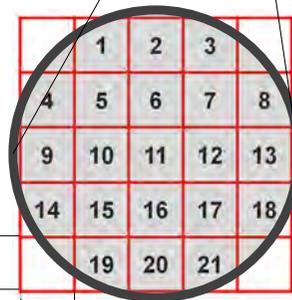
Kubota, H., Ikeda, M., Nishimura, Y., "Note on Flow -Profile in Packed Beds", *Transaction of the Society of Chemical Engineers, Japan*, (1965), pp.611-614.

線径0.5mm 壁面付近は速く、流路中心は遅く流れていると推測。

線径0.7mm 流路中心部の流速も早いと推測。

## 実験条件

作動流体	空気
加熱条件	加熱なし
流動条件	ポンプ動力一定
充填条件	空げき率一定 (0.997), 線径: 0.5mm 0.7mm
計測点	21箇所 (右下図)
計測時間	各1分, 10回



熱線風速計 無指向性センサー (球状)

Measurement range	Measurement accuracy
0.1 - 4.99 m/sec	±0.15 m/s
5.00 - 9.99 m/sec	±0.3 m/s
10.0 - 25.0 m/sec	±0.6 m/s

Temperature compensation accuracy
5 - 40 °C: ±5%
40 - 80 °C: ±7%

## 実験結果 | 流速計測

各計測点と平均流速との差の一例 (青字は平均流速以下)

線径0.5mm (平均除熱量81.9W)

線径0.7mm (平均除熱量88.1W)

	0.50	0.44	2.49	
0.58	-0.41	-1.59	-0.04	1.58
-0.89	-1.55	-2.29	-0.55	0.49
0.87	-1.12	-0.49	-0.17	0.40
	-0.02	0.42	1.35	

	0.69	1.42	0.38	
-1.11	0.20	0.93	-0.44	0.36
-1.77	-0.56	0.20	-0.70	-0.30
-0.29	-0.33	0.41	0.13	0.18
	0.26	0.83	-0.49	

線径0.5mm 流路中心部が遅く、壁面付近が速い。

⇒ 充填層における流速分布と同様の傾向を示した。

線径0.5mmと0.7mmの間で流動状況の変化点があると考えられる。

線径0.7mm 定まった流速分布を形成していない。

⇒ 充填層とみなせるほど流動抵抗がなかった可能性がある。  
 流速分布は充填形状に大きく影響を受ける。  
 流体が充填層の中心部に流れることで、伝熱性能の向上に繋がったと考えられる。