

スパイラル熱交換器の 積層化による伝熱性能向上



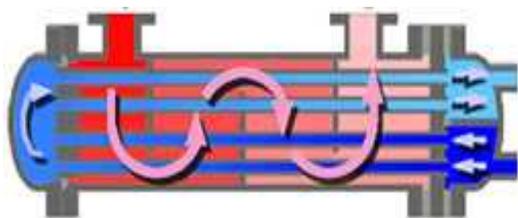
横浜国立大学大学院 工学研究院 システムの創生部門
准教授 酒井清吾

2019年6月20日

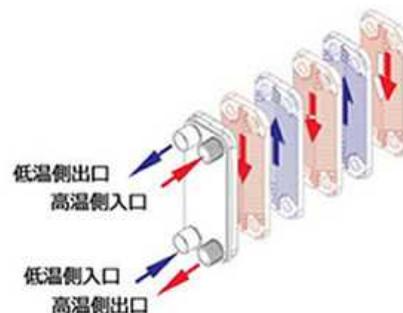
研究背景(1)

● 熱交換器の種類

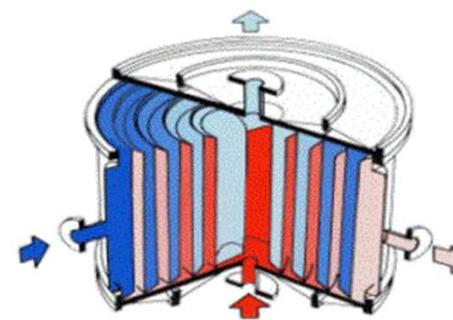
神威産業株式会社HP



正栄株式会社HP



株式会社クロセHP



	シェルアンドチューブ型	フィンプレート型	スパイラル型
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・歴史が古く研究が豊富 ・製造が容易で安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・高い効率 	<ul style="list-style-type: none"> ・自浄作用により汚れた流体に使用可
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・装置が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・フィンに汚れが詰まる ・掃除に時間がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ・製造が難しく高価 ・フィンプレート型より低効率

研究背景(2)

● 利用例

- 下水処理場,
バイオガスプラントでの温調
- 工場排水の排熱回収

アルファ・ラバル株式会社カタログ
スパイラル式熱交換器



株式会社クロセHP
<http://www.kurose.co.jp/mh.htm>



● 現状

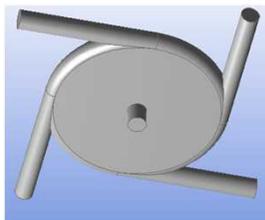
- 温調のため, 装置内滞留時間を高めつつ
装置の小型化
- 排熱回収では, ラインの小規模化



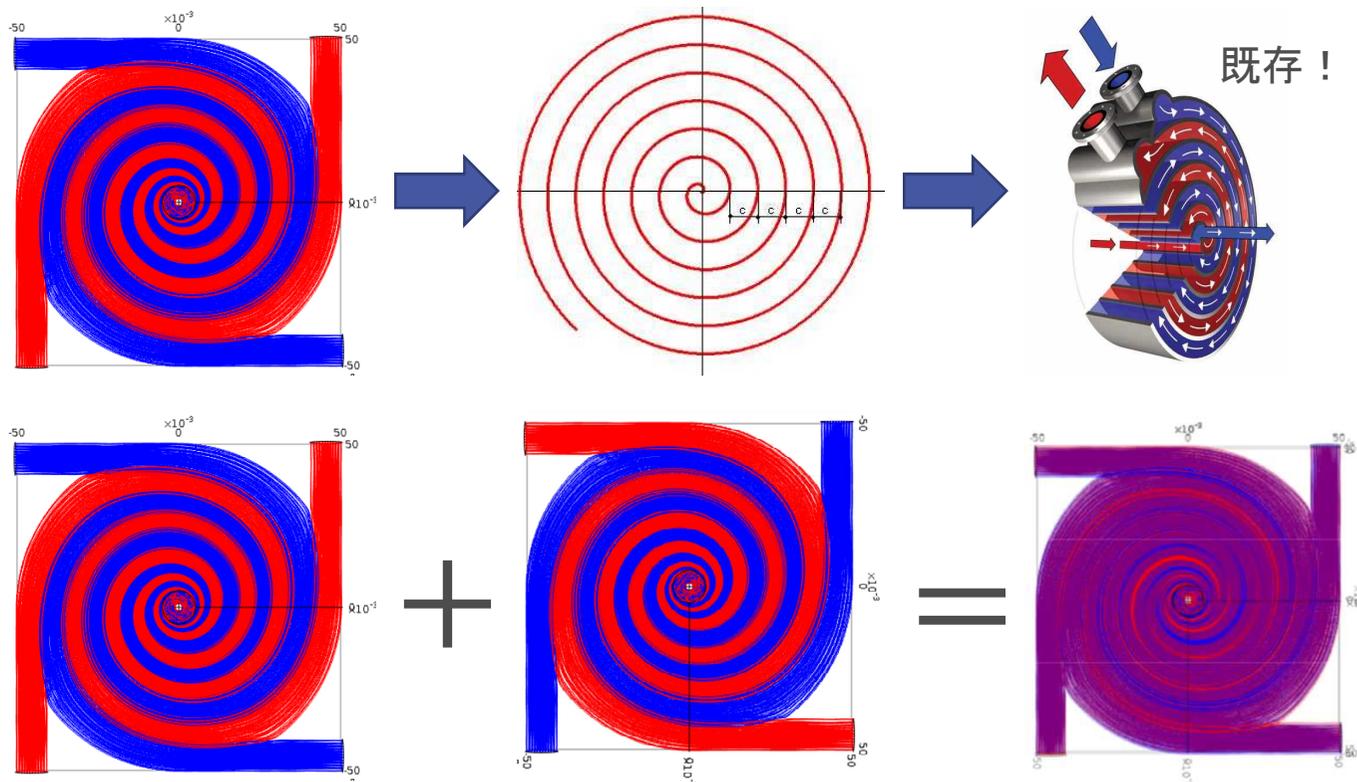
● 課題

スパイラル
熱交換器の小型化

研究背景(3)



<http://aim-techno.co.jp/wp/product/スパイラル式熱交換器/>



積層して(二段にして,)伝熱面積を増やす。
隔壁を介して熱移動させる!

研究目的

従来より**サイズ対効果**の高い形状を有する
新形状スパイラル熱交換器の開発

● 具体的な研究の流れ



二段形状のスパイラル熱交換器の提案

数値解析による効率の比較と設計諸元の検討

新形状熱交換器を設計・製作

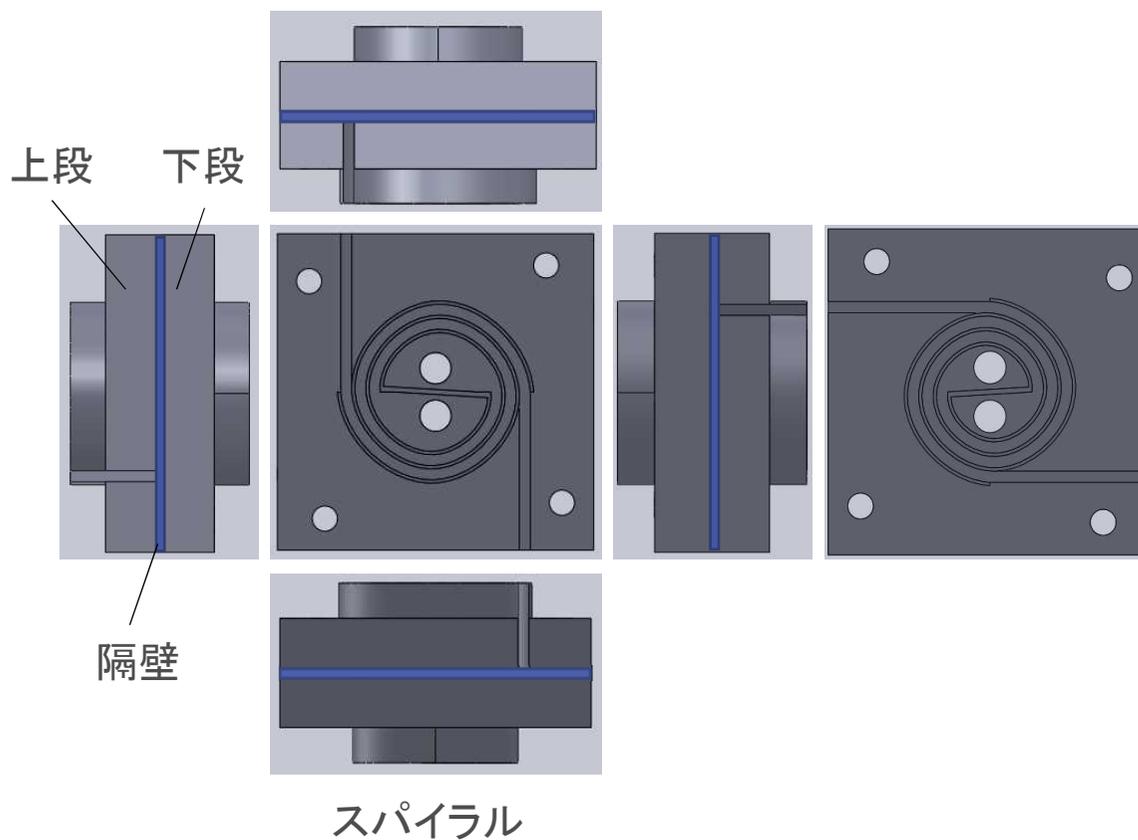
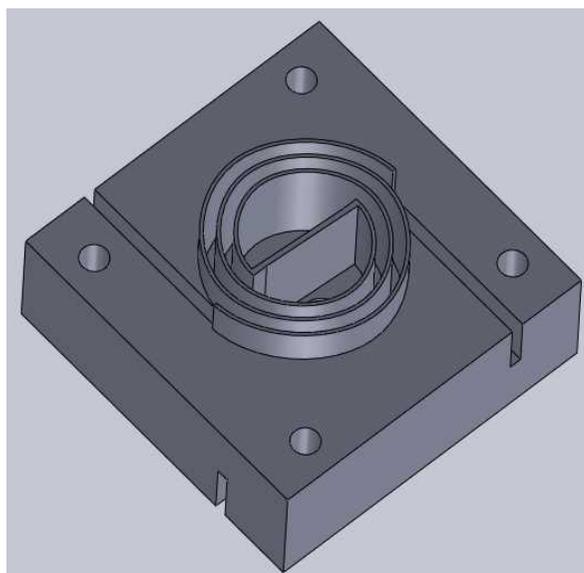
実験を実施

考察

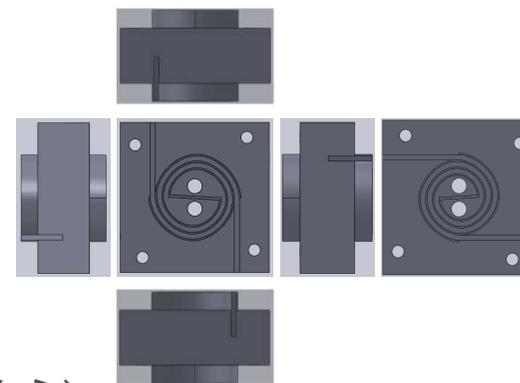
提案形状



アルファ・ラバル株式会社カタログ
スパイラル式熱交換器

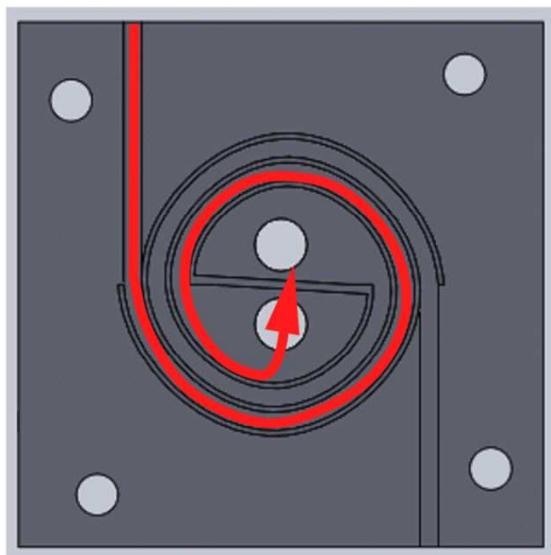


提案形状内の流れ(1)



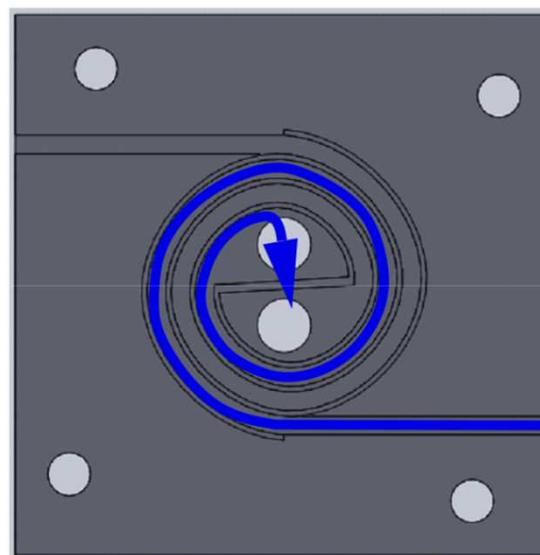
上の段(上から)

高温側入口

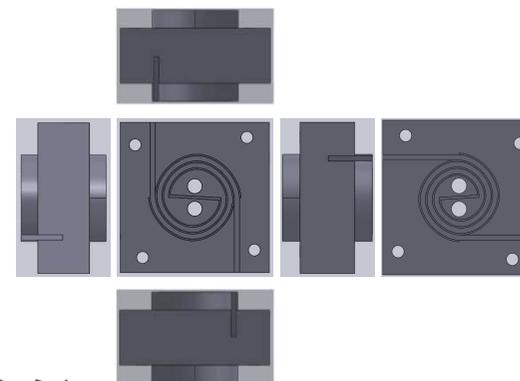


下の段(下から)

低温側入口

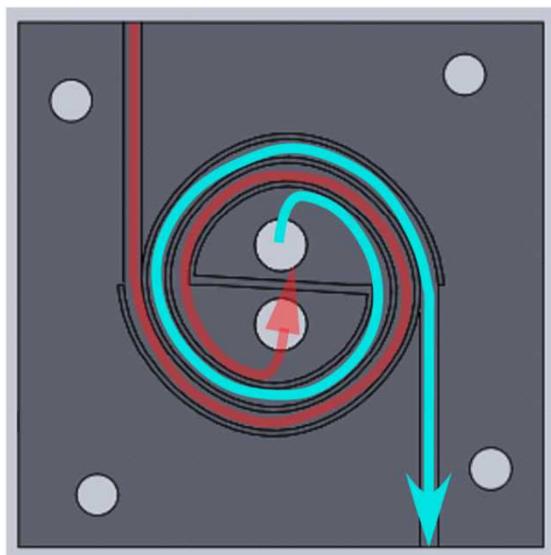


提案形状内の流れ(2)

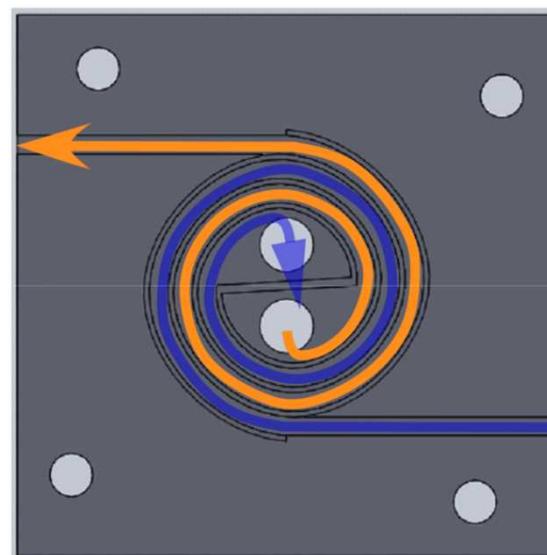


上の段(上から)

下の段(下から)

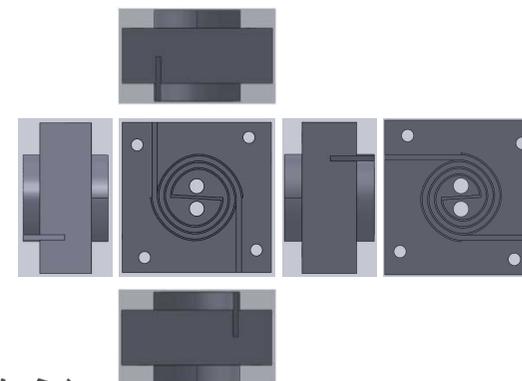


高温側出口



低温側出口

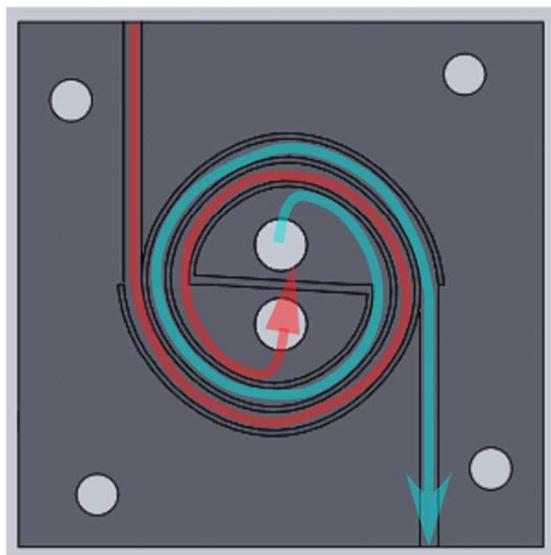
提案形状内の流れ(3)



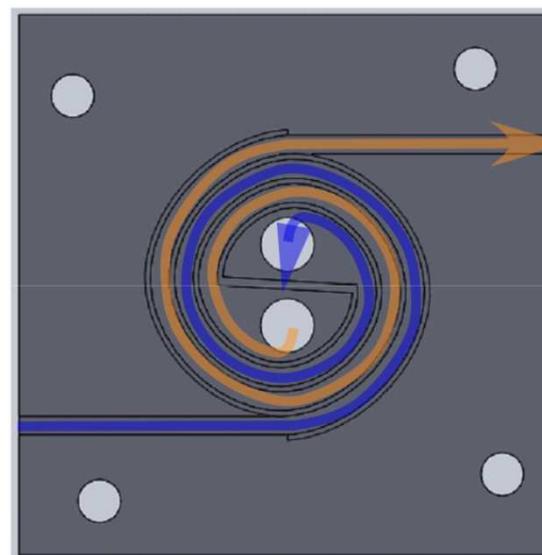
上の段(上から)

下の段(上から)

高温側入口



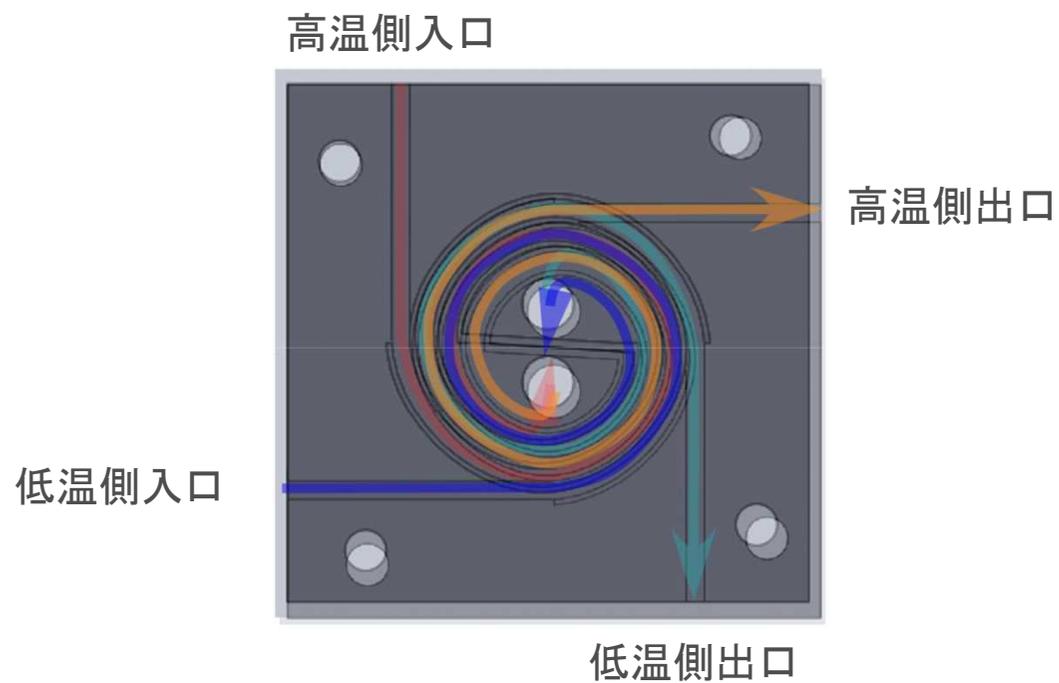
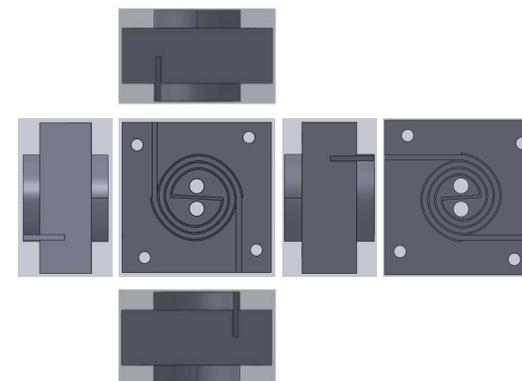
低温側入口



高温側出口

低温側出口

提案形状内の流れ(4)



提案形状の特徴

熱交換効率を向上させる
二段形状を有するスパイラル熱交換器

●新規性

二段形状

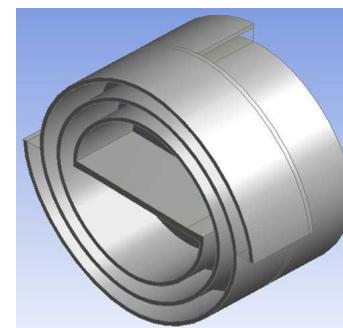
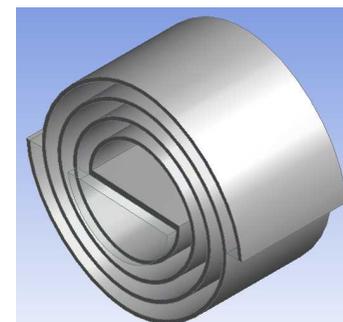
…従来形状を一つの段として、
二つの段を板を介して積み重ねた形状

●特徴

二段形状により、流路形状を変えることなく

- ◆ 装置内での流体の滞留時間が約2倍(等流速)
- ◆ 間の板を介して熱交換が行えることによる
交換熱量の増加

上:従来形状 下:提案形状



※熱交換面積は想定通りには増加せず、ほぼ同じ

評価方法

- 高温側交換熱量 Q [W]
- … 高温側流体が渡した熱量

$$Q = MC_p(T_{hi} - T_{ho})$$

質量流量 M [kg/s]
 比熱 C_p [J/(kg·K)]
 高温側入口温度 T_{hi} [K]
 高温側出口温度 T_{ho} [K]

- 総括伝熱係数 K [W/(m·K)]
- … 熱交換器全体の熱の交換しやすさを示す値

$$K = \frac{Q}{A\Delta T_{lm}}$$

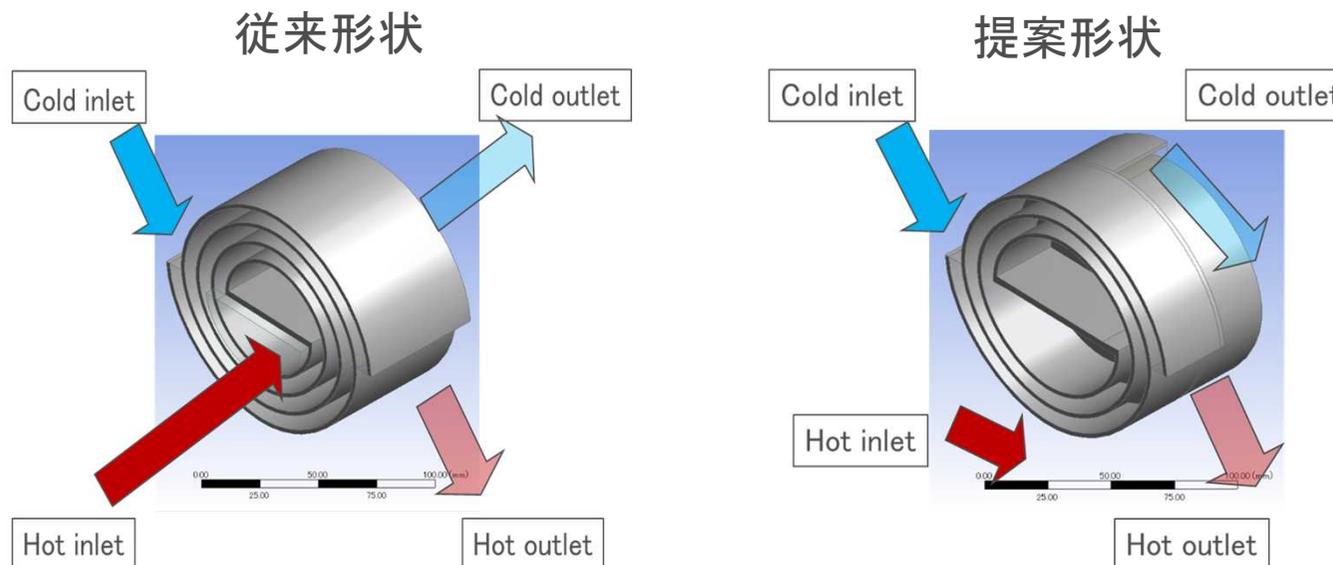
熱交換面積 A [m²]
 対数平均温度差 ΔT_{lm} [K]

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$\left(\begin{array}{l} \Delta T_1 = T_{hi} - T_{co}, \quad \Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci} \\ \text{低温側入口温度 } T_{ci} \text{ [K]} \\ \text{低温側出口温度 } T_{co} \text{ [K]} \end{array} \right)$

解析方法

● 解析モデル



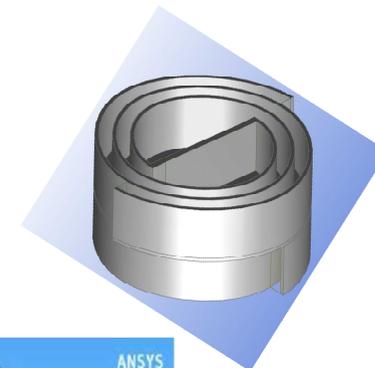
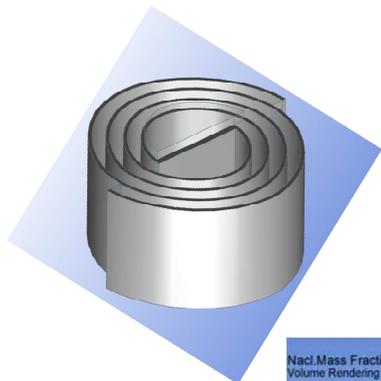
● 解析条件

流路幅	7mm
流路高さ	30mm
スパイラル壁の厚さ	2.0mm
スパイラル部最大径	Φ160mm
熱交換面積	およそ0.036m ²

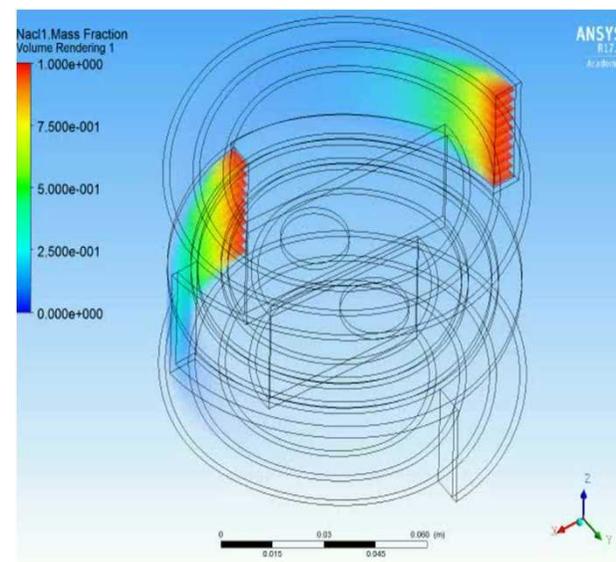
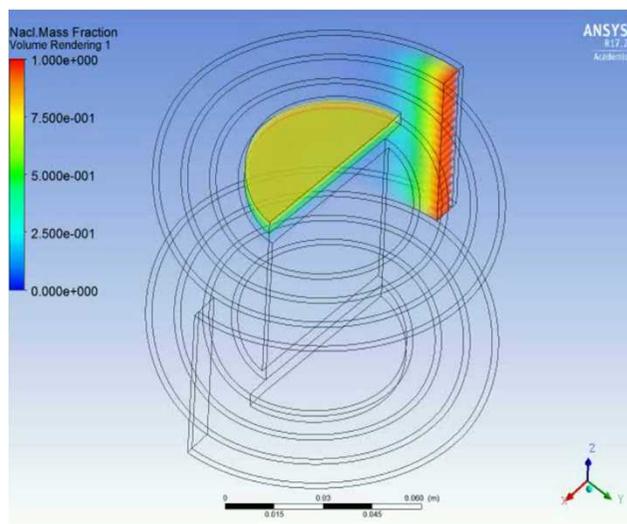
作動流体	水(293, 323K)
流入流量	1.8~36[l/min]
装置材質	アルミA5052

解析結果(1)

● 流れ場の観察

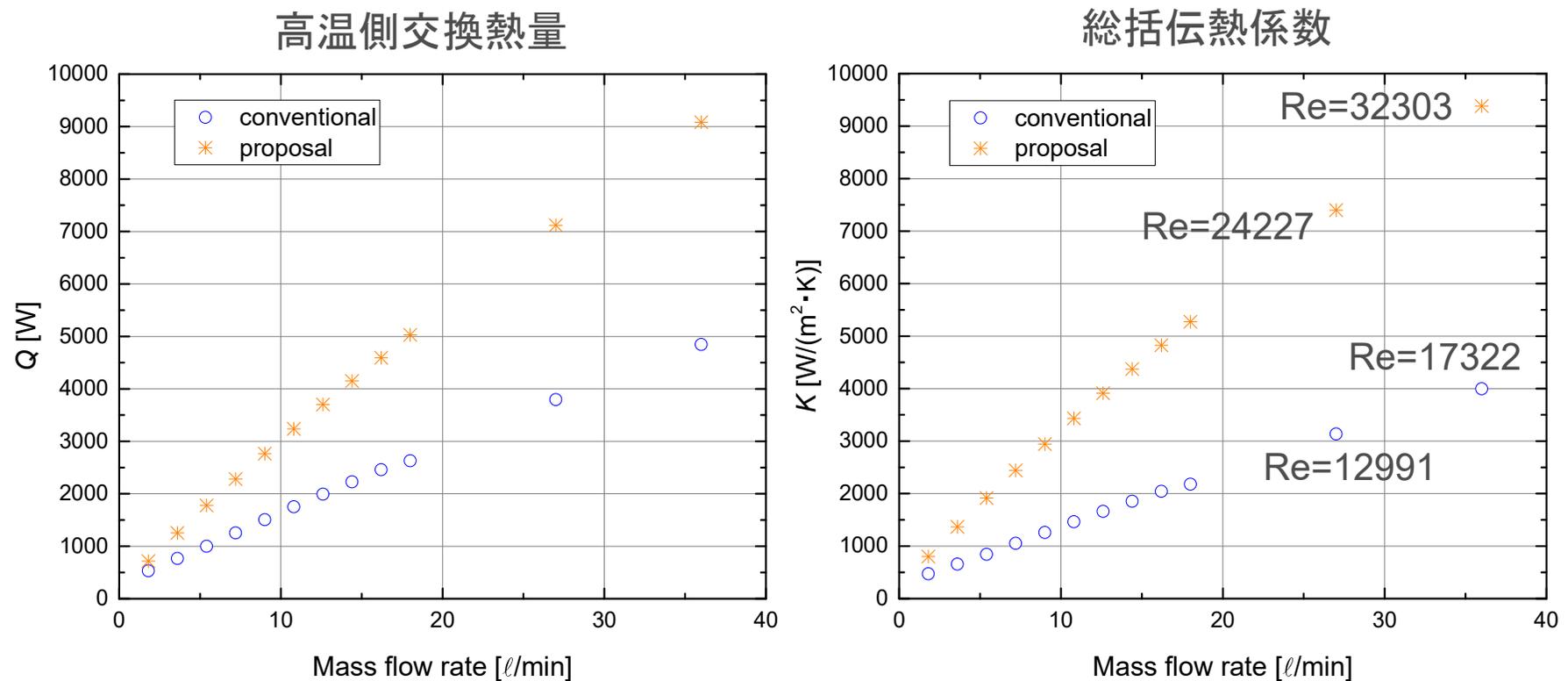


左:従来形状 右:提案形状



解析結果(2)

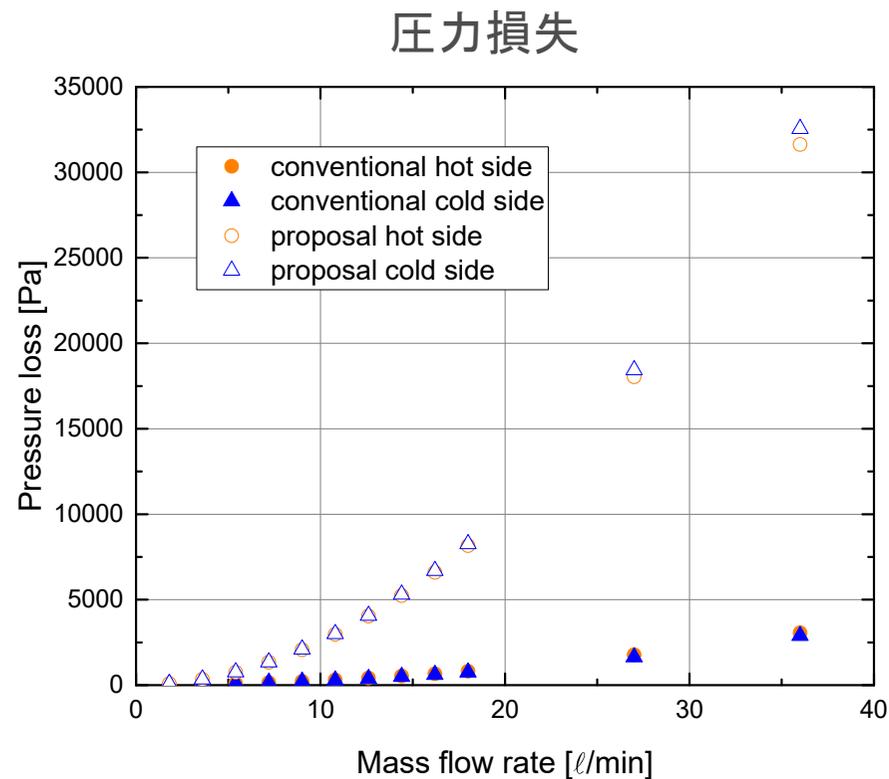
● 提案形状と従来形状の比較(1)



提案形状にすることで総括伝熱係数は従来形状の1.6~2.3倍となった
 →同流量時でも、レイノルズ数(流れの慣性力と粘性力の比)が1.86倍と
 なっていることが最大要因

解析結果(3)

● 提案形状と従来形状の比較(2)

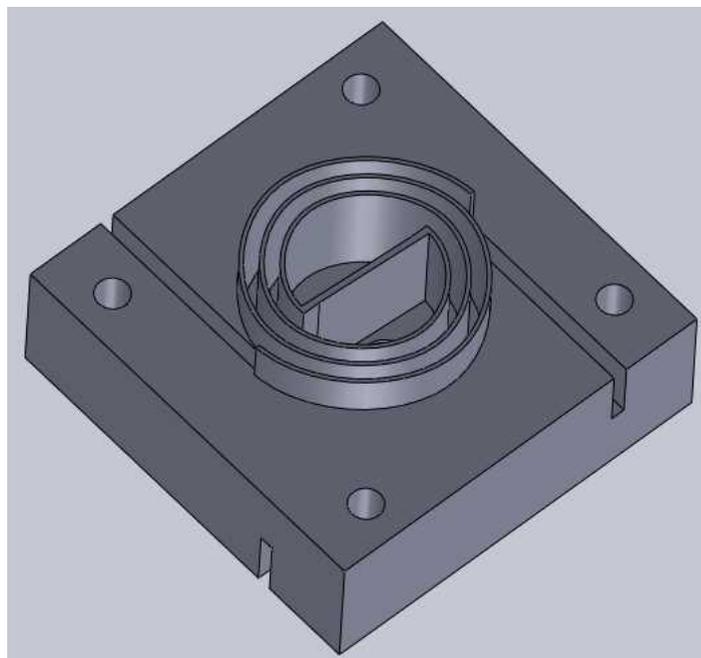


圧力損失：
流体が機械装置などを通過する際の単位時間単位流量あたりのエネルギー損失
損失は装置内の抵抗に打ち勝つためにその分だけエネルギーを消費することで生じる。

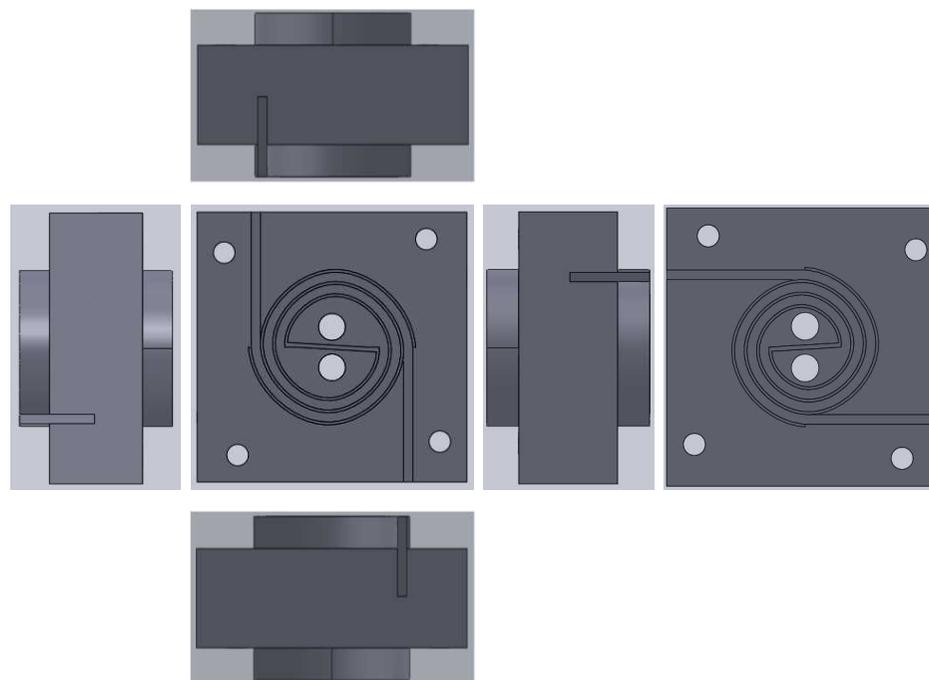
提案形状にすることで圧力損失は従来形状の1.5~11倍となった
→一段目と二段目を繋ぐ流路の急激な変化が要因

実験機製作(1)

流路幅	7mm
流路高さ	30mm
スパイラル壁の厚さ	2.0mm
スパイラル部最大径	Φ160mm

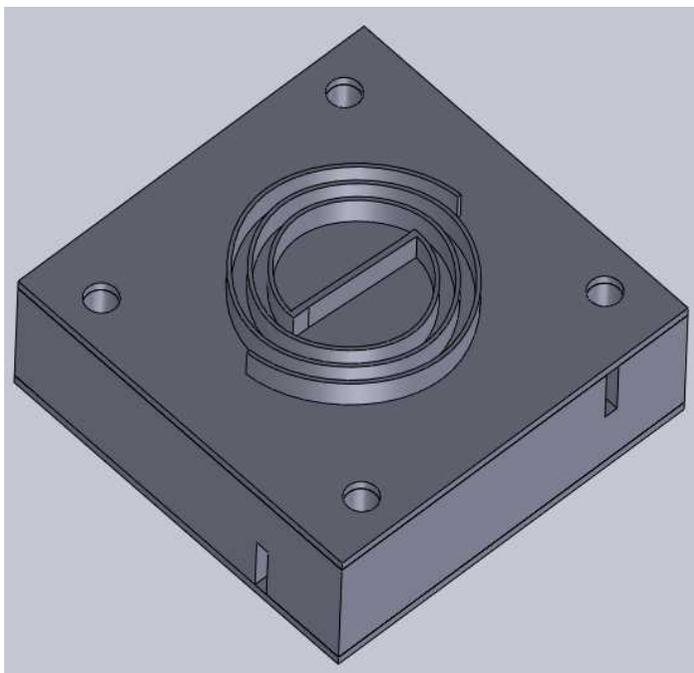


組立図
(スパイラル)

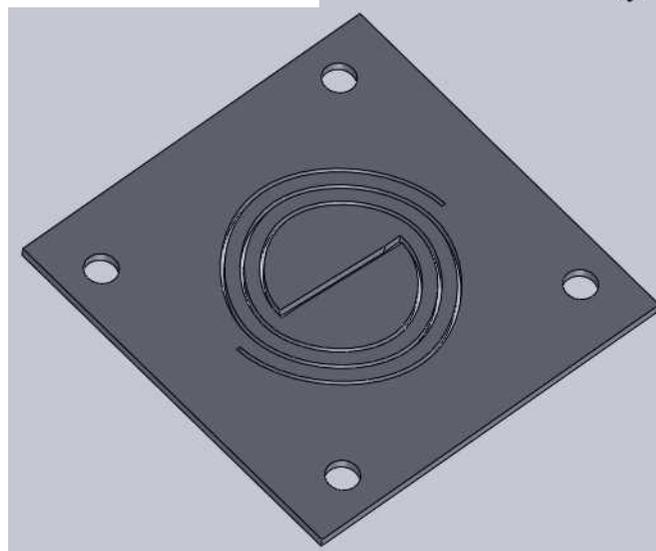
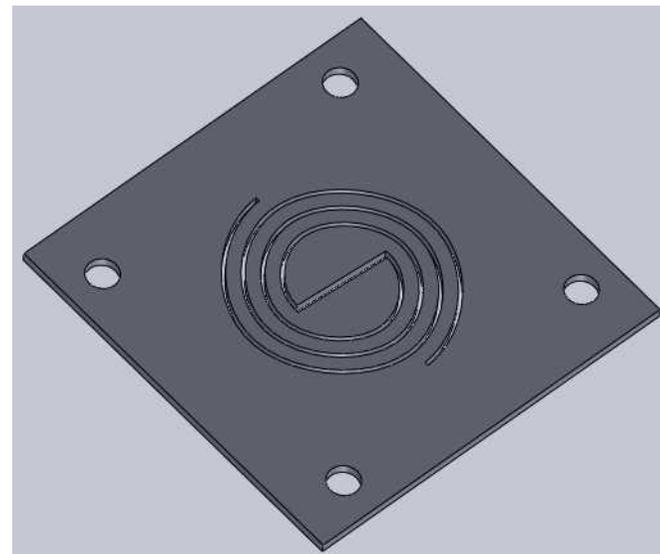


スパイラル

実験機製作(2)

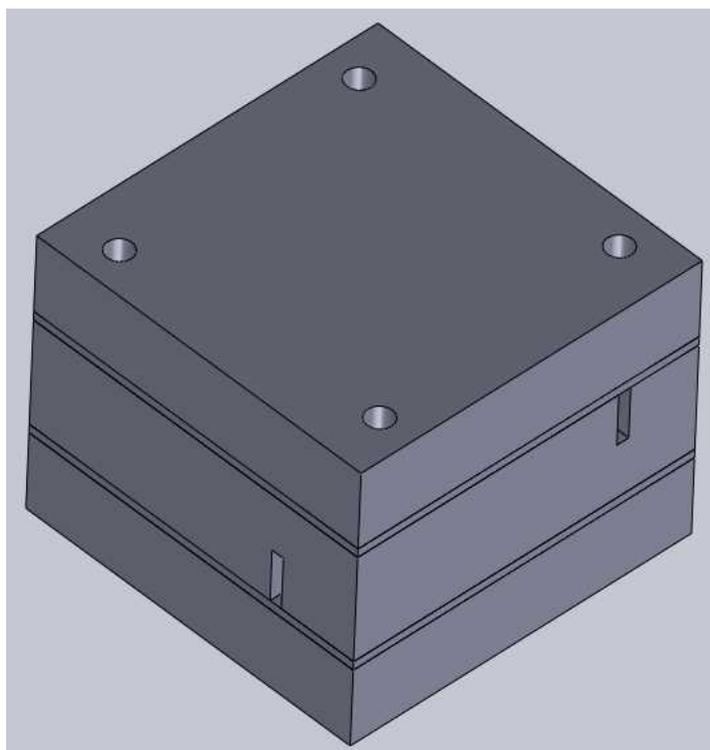


組立図
(スパイラル+薄板)

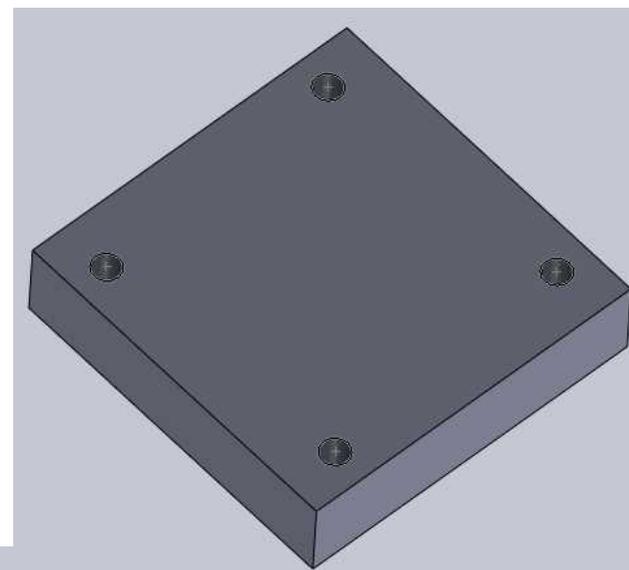


薄板

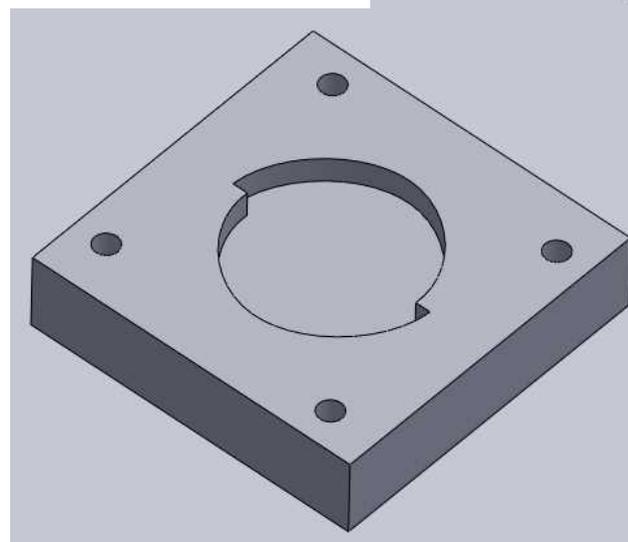
実験機製作(3)



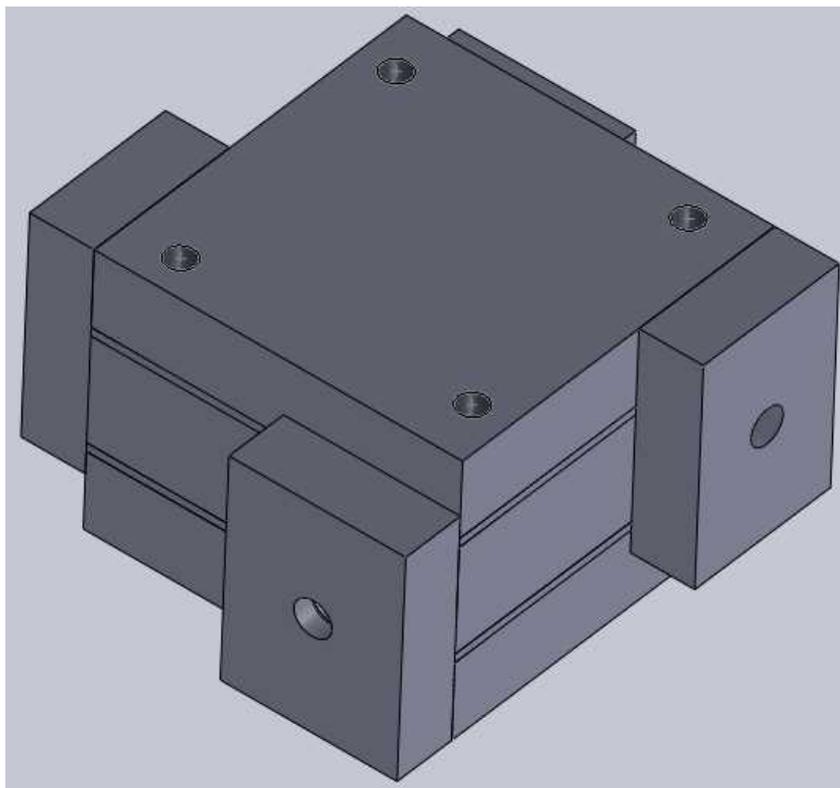
組立図
(スパイラル+薄板+厚板)



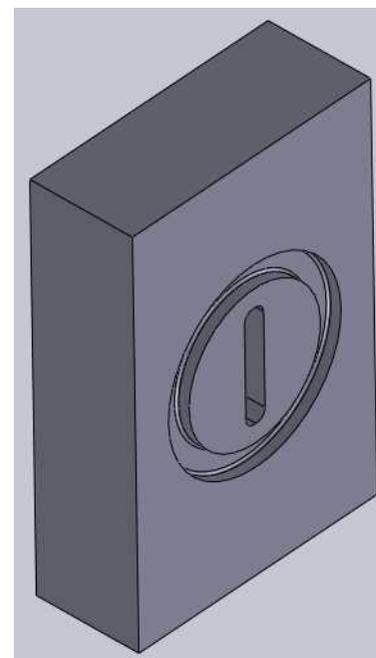
厚板



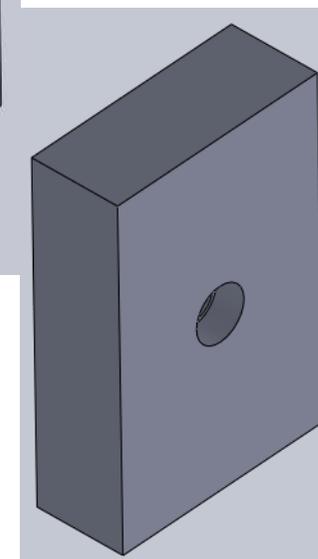
実験機製作(4)



組立図
(スパイラル+薄板+厚板+流路形状変更)



流路形状変更部品



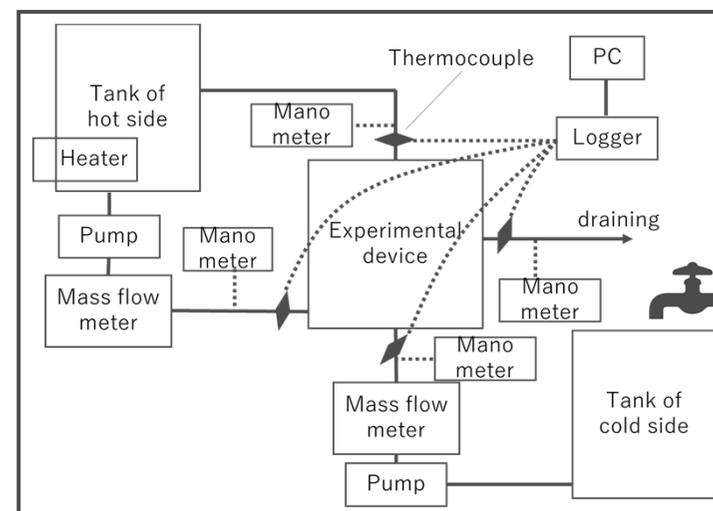
実験方法

● 実験機



実験機外観

● 装置概要

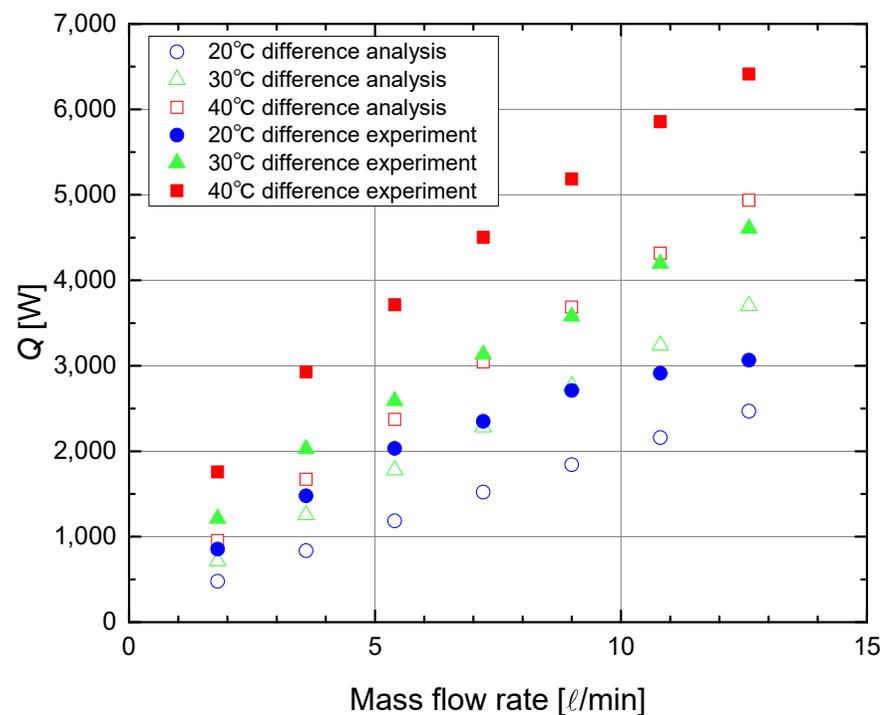


装置全体図

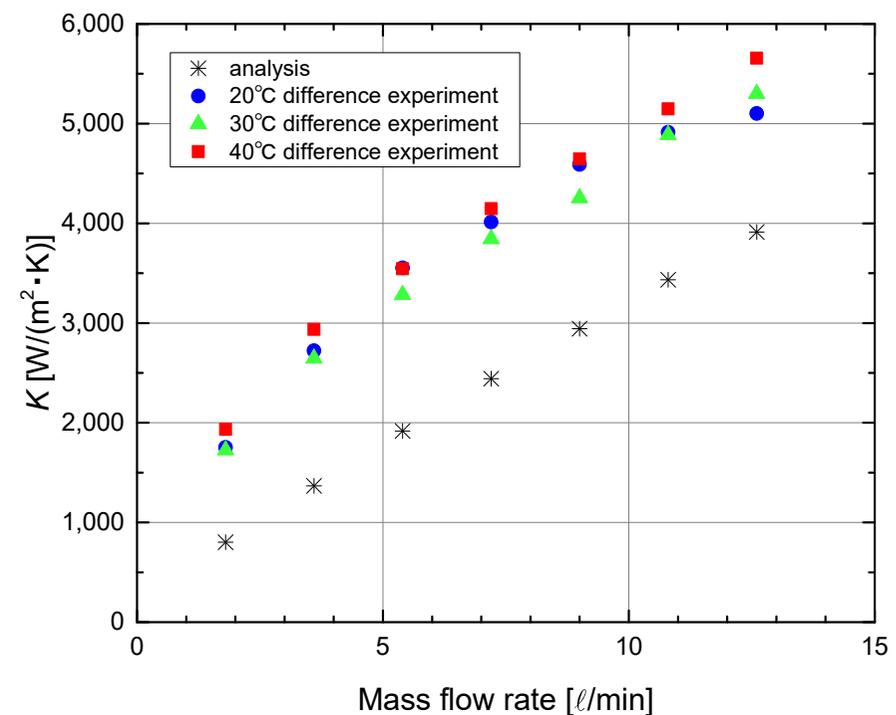
実験結果(1)

● Q および K

高温側交換熱量



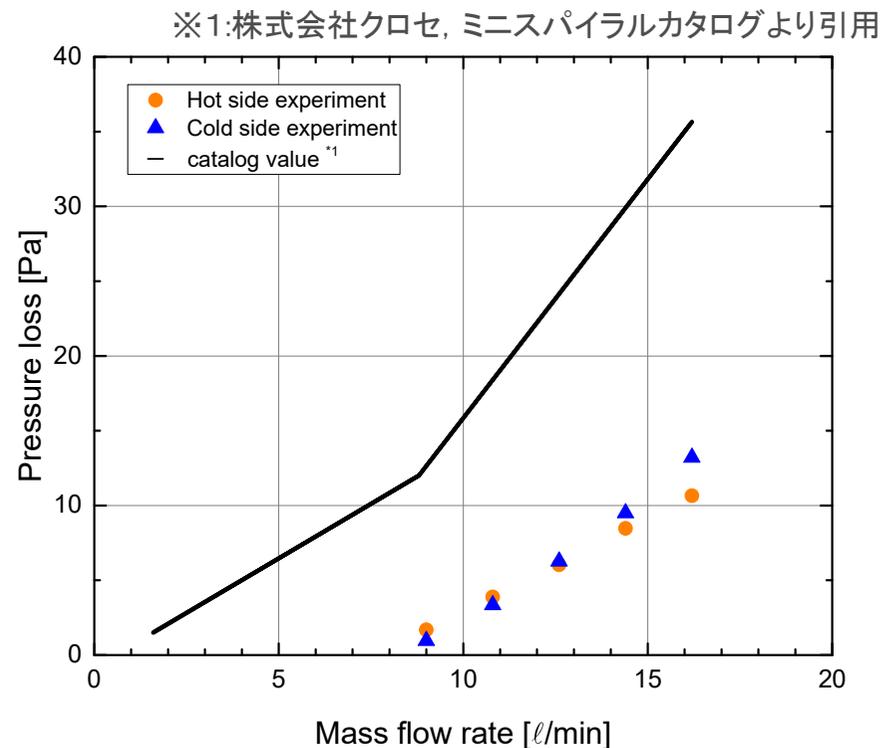
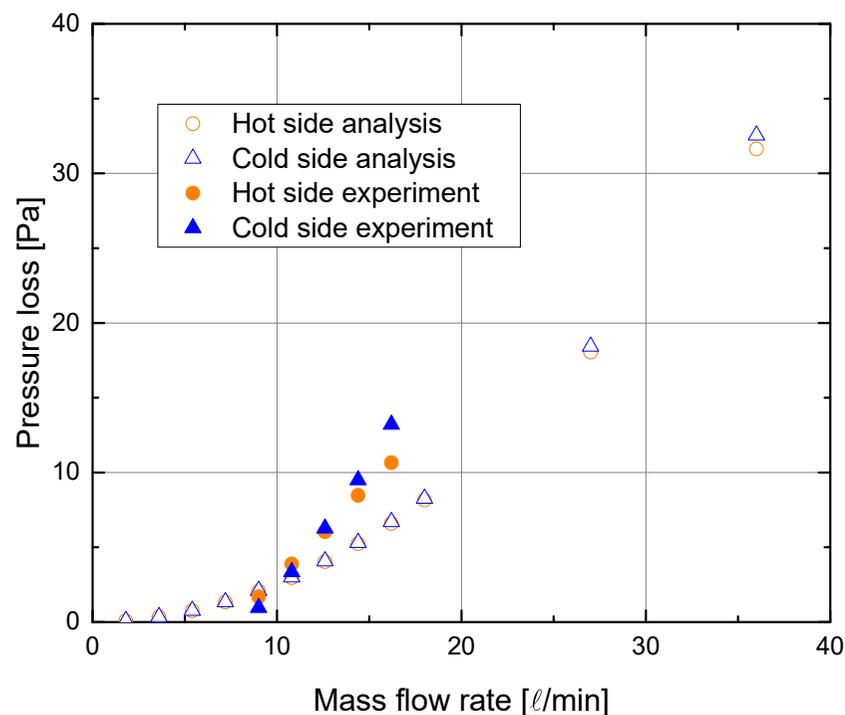
総括伝熱係数



- ✓ 高温側交換熱量はいずれの温度差においても、実験値の方が解析値よりも大きい
- ✓ 総括伝熱係数は数値解析結果と比較して1.3~2.4倍大きい

実験結果(2)

● 圧力損失



- ✓ 流量が10.8[l/min]以上では実験値の方が大きい
- ✓ 外径サイズが同程度の市販のスパイラル熱交換器よりも圧力損失が小さい

積層型スパイラル熱交換器の特徴

- スパイラル熱交換器を二段とし、**熱移動**を促進する.
- 外径が同じで、熱交換面積がほとんど変わらないにもかかわらず、流入流速がほぼ2倍となるため交換熱量は増加し、総括伝熱係数も1.6~2.3倍となる.
- 複雑な流路形状のため、圧力損失は従来形状の1.5~11倍と増加するものの、外径が同程度の既成のものと比較して圧力損失は低い.
- 低流量での利用であれば、二段形状のスパイラル熱交換器の方が従来形状のものよりも有効である.

想定される用途

- 汚泥や繊維物などを含んだ「汚れた流体を扱えることから、下水処理場での熱交換器として用いる。
- バイオガスプラントにおける温調用として熱交換器を用いる。
- 工場における工場排水の排熱回収機器として用いる。

実用化に向けた課題

- 最適化設計
 - スパイラル板の厚み、スパイラルの巻き数、
流路幅、中心部の設計（伝熱面積の確保）
- システム化
 - 大型化・小型化、多段化
- 製作工程の見直し

企業への期待

- 未解決の最適化設計、システム化については、これまでのシミュレーション技術の応用と更なる実証実験により克服できると考えている。
- スパイラル熱交換器の製作技術を有する企業との共同研究を希望。
- また、熱交換器の小型化が必要なシステムを開発中の企業、熱回収分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : スパイラル熱交換器
- 出願番号 : 特願2018-057850
- 出願人 : 国立大学法人 横浜国立大学
- 発明者 : 酒井清吾、加藤大貴

産学連携の経歴

- 2008年-2012年 株式会社ASK商会と研究題目「有機物分解セラミック生成装置(ERCM)の分解理論の解明」で受託研究実施
- 2009年-2010年 財団法人神奈川科学技術アカデミー・知的財産活用促進コーディネート事業採択、研究題目「高温水蒸気を媒体とした高効率溶解炉の開発に向けた、ふく射・対流複合伝熱解析」で受託研究実施
- 2011年-2012年 本学プロトタイピング推進事業にて、研究題目「過熱水蒸気による伝熱促進メカニズム」に関してA社と協業
- 2015年-2018年 F社と研究題目「熱交換器の伝熱性能評価に関する研究」で受託研究実施

お問い合わせ先

横尾 泰

横浜国立大学 研究推進機構 産学官連携推進部門

知的財産マネージャー

T E L 045-339-4452

e-mail yokowo-toru-vd@ynu.ac.jp