



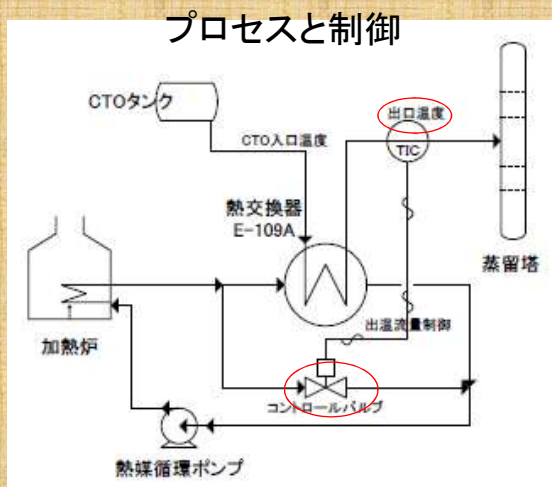
## hiTRAN/HTRIを使った予熱熱交換器の 汚れ解析2事例の紹介

- 1) 粗トール油蒸留予熱工程の化学反応汚れ
- 2) COGPlant軽油成分回収F/E熱交の低温閾値汚れ

株式会社エプシロン 研究員 酒井昭二

2018/1/24 HTRI-CCmeeting

### 1) 粗トール油蒸留予熱工程の化学反応汚れ



管側 (Tube)

CTO 7.0 ton/hr

出口温度: 目標220°C

入口温度: 実績152°C

胴側 (Shell)

熱媒油HTO 流量制御

(5.0~8.5ton/hr)

入口温度: 311°C

出口温度: 成り行き

## 熱交換器の仕様



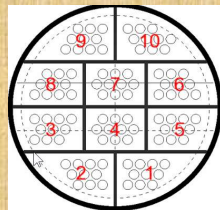
| E109Aの諸元                 |            |
|--------------------------|------------|
| TEMA形式: AEL              | 管径: 19.0mm |
| 胴径: 400mm                | 管長: 6m     |
| 胴クロスパス: 29               | 本数: 100本   |
| 伝熱面積: 35.5m <sup>2</sup> | 管パス: 10    |



設計条件: 汚れ係数  $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C / Kcal$

胴側熱媒オイル: 0.000205

管側粗トール油: 0.0023



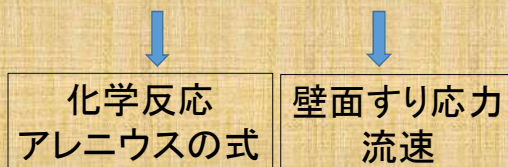
### メンテナンス

- 1) ケミカル洗浄 (薬液循環)
- 2) スチーム洗浄 (解放)
- 3) 高圧ジェット水洗浄

## 汚れのEbert & Pannchalモデル

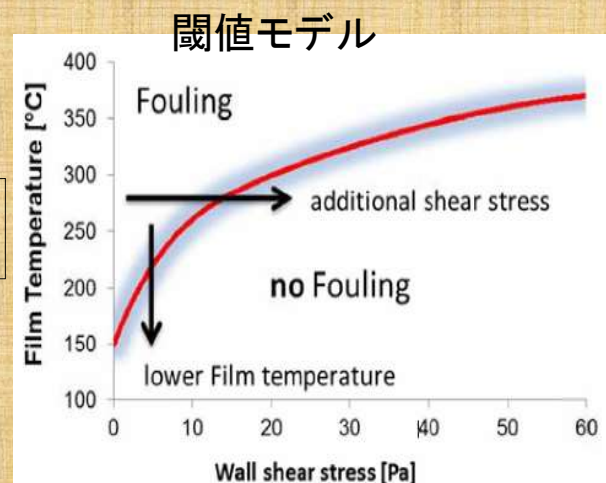


汚れ速度 = 発生速度 - 剥離速度

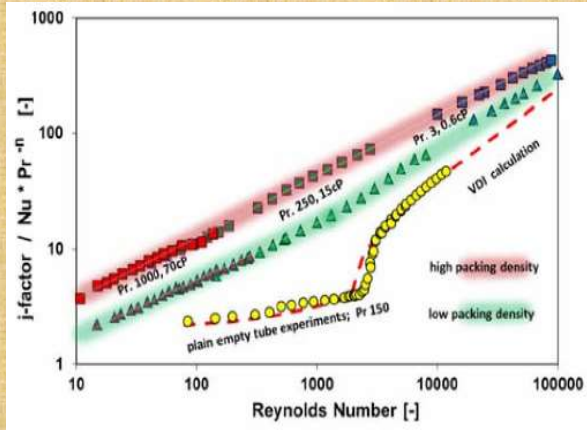


原油予熱工程の汚れ低減研究

<http://www.heatexchanger-fouling.com/index.htm>  
 Engineering Conferences International (ECI)  
 Heat Exchanger Fouling and Cleaning



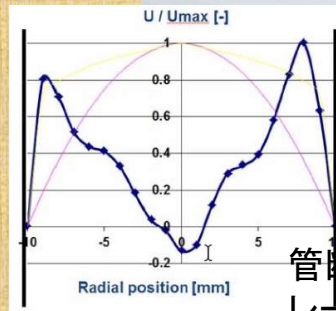
# hiTRANの伝熱性能とずり応力



伝熱性能とRe数

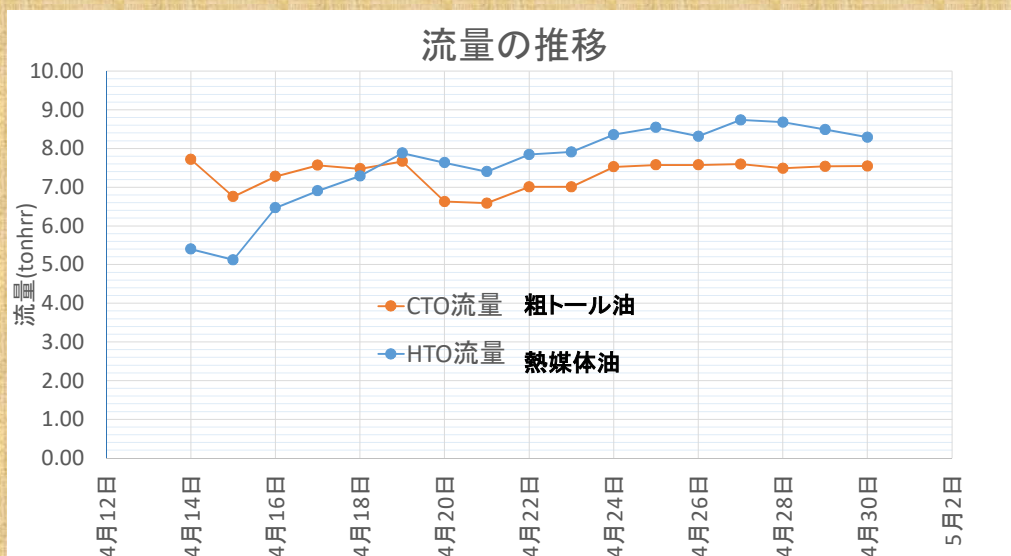


hiTRAN形状

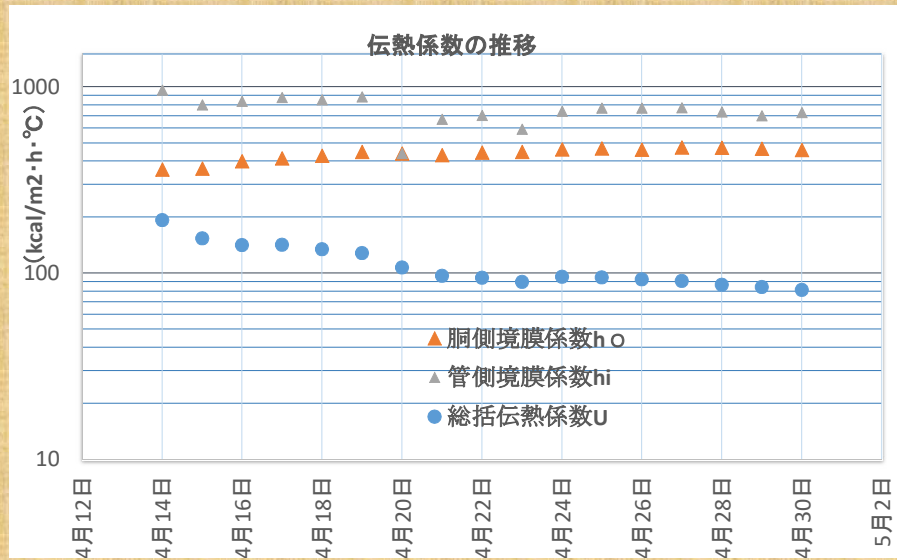


管断面の速度分布  
レーザー・ドップラー法

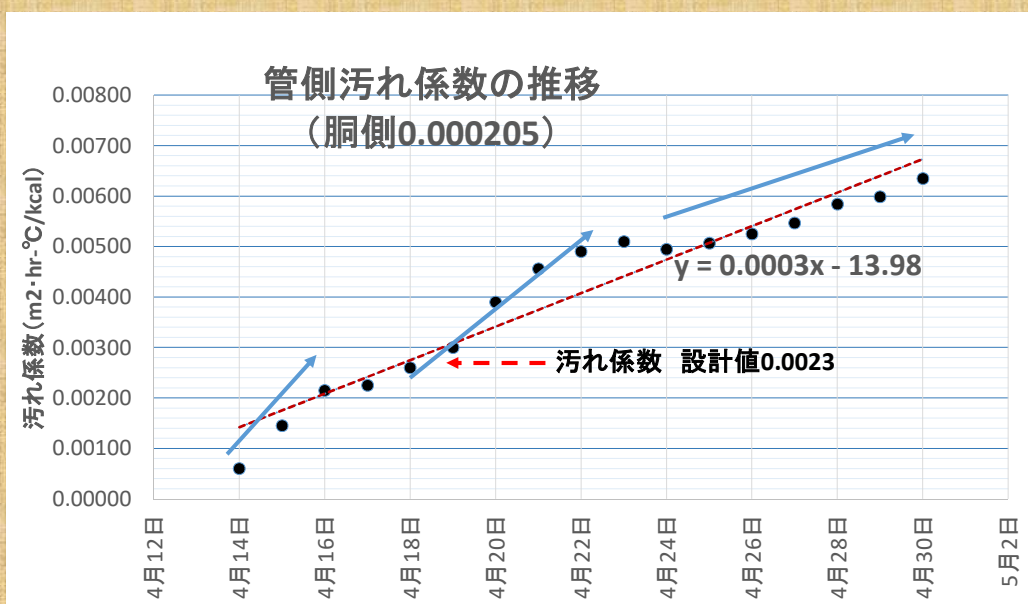
# 運転実績のHTRI解析(流量)



### 運転実績のHTRI解析 (ho、hi、U)



### 運転実績のHTRI解析 (汚れ係数)

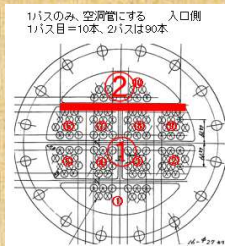


# hiTRANによる汚れ速度の低下(提案)



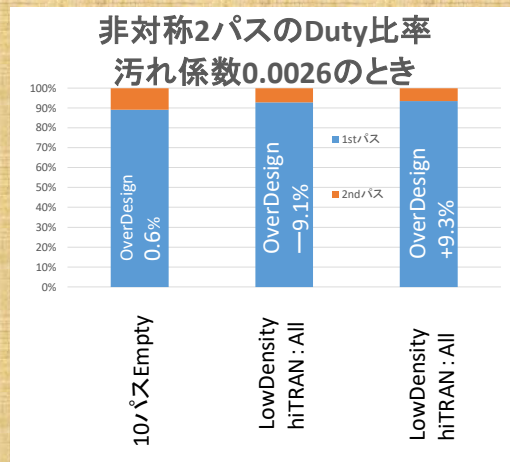
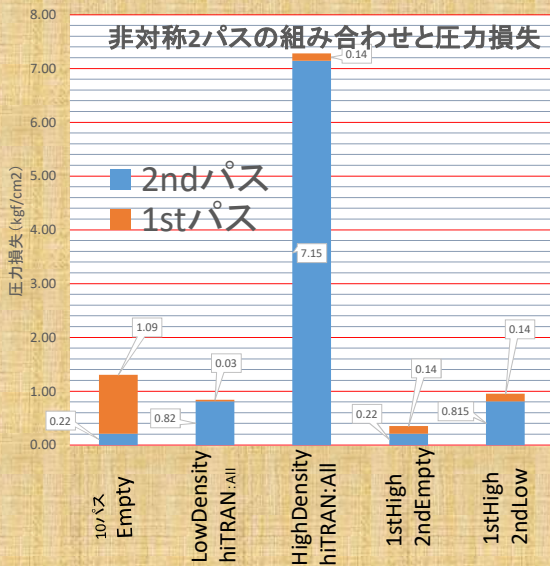
## 非対称2パス管バンドルの構造とメリット

- 1) 既設の配管改造が不要、熱交頭部のパスレーンの改造
- 2) 最高密度のhiTRANを1stパスに使用し、圧損を低下
- 3) 得られた設計余裕分を胴側(熱媒体油)に温度低下に



特開2017-120149

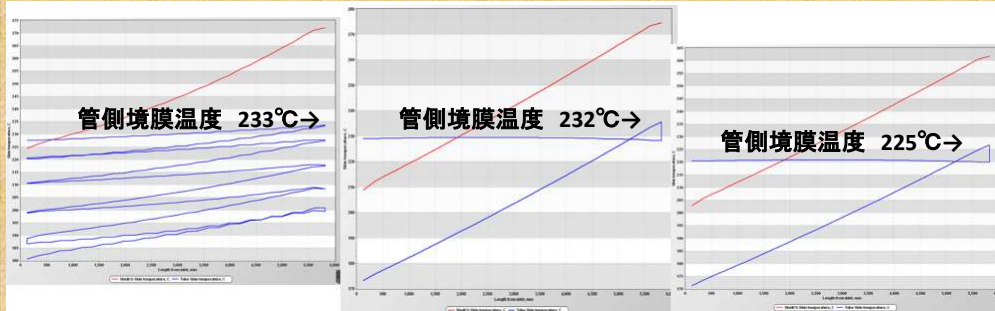
# 非対称2パス管バンドルの圧力損失とDuty



# 管側境膜温度の変化



アレニウスの式から-10°Cで速度は半分  
17日稼働→→→→→→→→1か月以上



Empty10/パス  
胴側 312°C

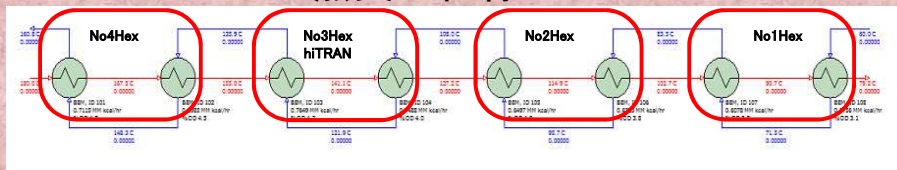
hiTRAN  
非対称2パス  
胴側 312°C

hiTRAN  
非対称2パス  
胴側 295°C

## 2) COGPlant軽油回収F/E熱交の低温閾値汚れ

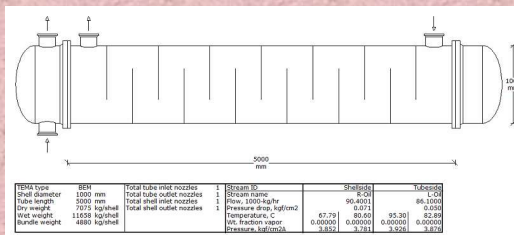


### Feed/Effluent熱交の仕様



180°C Hot Tube Side

Cold Shell Side 60°C



| Shell Geometry |            | Baffle Geometry      |                |
|----------------|------------|----------------------|----------------|
| TEMA type      | (-) BE1    | Baffle type          | (-) Single-Seg |
| Shell ID (mm)  | 1000.0     | Baffle cut (Pct Dia) | 30             |
| Series         | (-) 2      | Baffle orientation   | (-) Perpend    |
| Parallel       | (-) 1      | Central spacing (mm) | 332.76         |
| Orientation    | (deg) 0.00 | Crossspaces          | (-) 14         |
| Tube Geometry  |            | Nozzles              |                |
| Tube type      | (-) Plan   | Shell inlet (mm)     | 202.72         |
| Tube OD (mm)   | 27.200     | Shell outlet (mm)    | 202.72         |
| Length (mm)    | 5000       | Inlet height (mm)    | 13.494         |
| Pitch ratio    | (-) 1.3533 | Outlet height (mm)   | 13.494         |
| Layout         | (deg) 30   | Tube inlet (mm)      | 202.72         |
| Layout         | (-) 564    | Tube outlet (mm)     | 202.72         |
| Tube Pass      | (-) 4      |                      |                |

# この汚れの性格 非ニュートン流体？



ヒステリシスによる低速度域の増粘現象  
(チキソトロピックな挙動)

不均一流れによる胴側流体のショートパス

低温胴側に関値がある。  
低温No1ユニットに入る温度が低いと  
汚れが大きくなる？

No1ユニットへのhiTRANの入れ替え  
(向流側の1/2のみに挿入)  
残りは前段のV/O熱交へのテストを計画

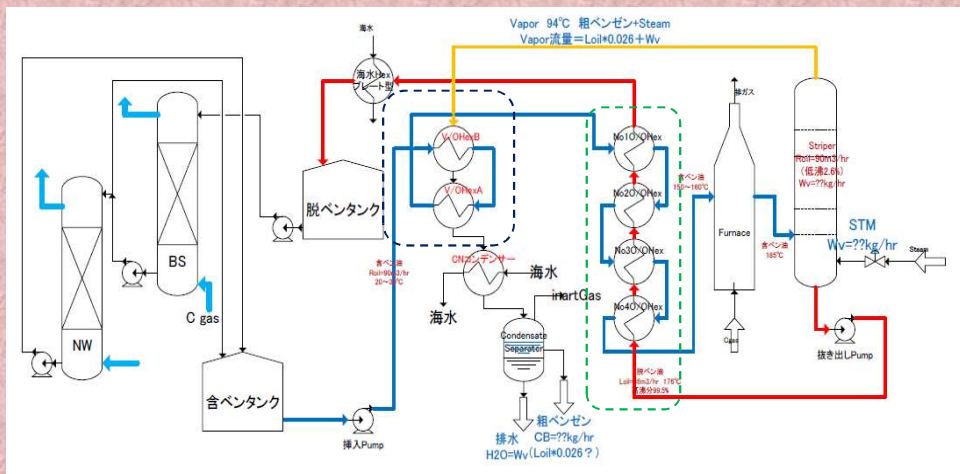
U値の低下では傾向が判りにくく。  
と汚れ係数さらに汚れ速度 (F/day) の評価が必要！！



# 軽油回収プロセスの全体のPFD



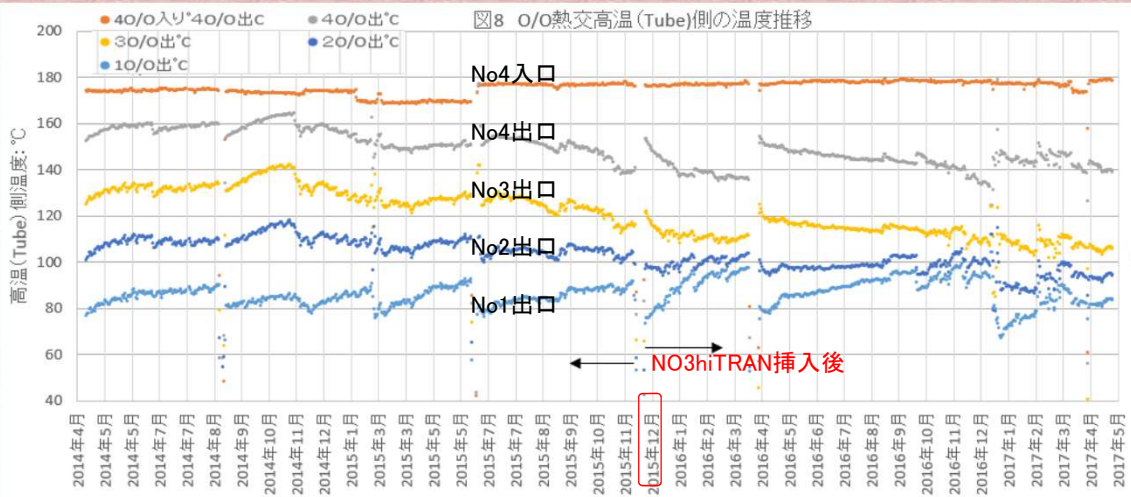
O/O熱交4ユニットの前段にV/O熱交で加温されている



## (2014/4~2017/5) 各ユニット管側出口温度の推移



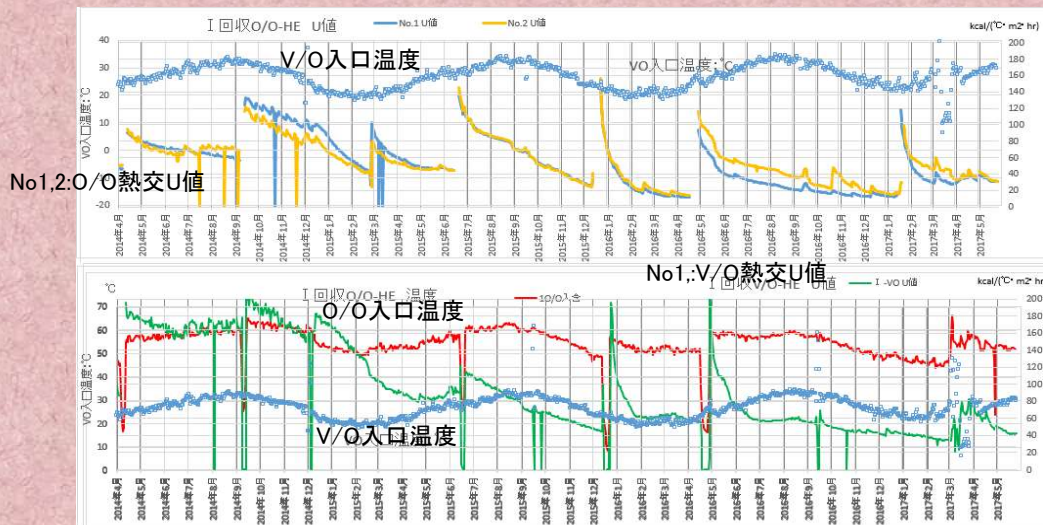
hiTRAN挿入テスト以後は各ユニットの温度差 (Duty) バランスが大きく変わっている



## V/O入口温度とO/OとV/OのU値の推移 (2014/4~2017/5) (V/O=コンデンサー)



・ U値の変化で汚れは判りにくい ・ V/O入口温度O/O入口温度は保護一致=季節変動





# 汚れ係数の簡易計算 $F = \Delta(1/U)$



総括伝熱係数Uは以下の式で計算でき、各項目は伝熱抵抗そのものである。

$$1/U = 1/h_o + 1/h_i + t/k + (F_o + F_i) \text{ ----- (式1)}$$

ここで U : 総括伝熱係数 (kcal/m<sup>2</sup>-hr-C)  
 h<sub>o</sub> : Shell側境膜伝熱係数 (kcal/m<sup>2</sup>-hr-C)  
 h<sub>i</sub> : Tube側境膜伝熱係数 (kcal/m<sup>2</sup>-hr-C)  
 t/k : 伝熱管抵抗 t : 伝熱管厚み (m) k : 伝熱管の熱伝導度 (kcal/m-hr-C)  
 F<sub>o</sub> : Shell側境汚れ係数 (m<sup>2</sup>-hr-C/kcal)  
 F<sub>i</sub> : Tube側境汚れ係数 (m<sup>2</sup>-hr-C/kcal)

一方、熱交換器の運転データから、実際の総括伝熱係数U<sub>a(actual)</sub> : は次式で計算されている。

$$Q = U_a * A * \Delta T_m \text{ ----- (式2)}$$

ここで Q : 交換熱量 (kcal) → Q = m \* c \* ΔT<sub>(shell)</sub> = m \* c \* ΔT<sub>(tube)</sub>  
 ΔT : Shell側またはTube側の温度差 m : 質量流量 c : 比熱  
 U<sub>a</sub> : 実総括伝熱係数 (kcal/m<sup>2</sup>-hr-C)  
 A : 交換器の伝熱面積 (m<sup>2</sup>)  
 ΔT<sub>m</sub> : 対数平均温度差 ≒ EMTD

プラントデータからの汚れ係数はクリーンな熱交の総括伝熱抵抗U<sub>a0</sub>と汚れの進行したときのU<sub>ax</sub>の差である。

$$F = 1/U_{ax} - 1/U_{a0} \text{ ----- (式3)}$$

# 汚れ係数の簡易計算 $F = \Delta(1/U)$



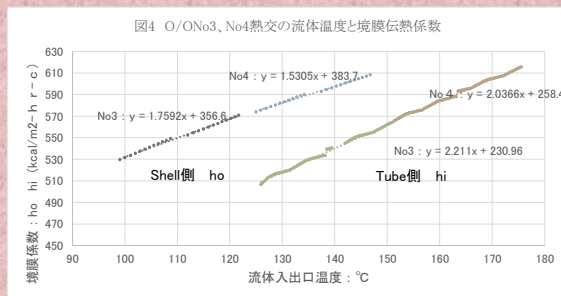
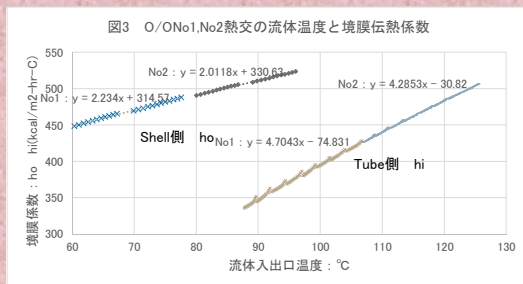
$$F = 1/U_{ax} - 1/U_{a0} \text{ ----- (式3)}$$

$$1/U_{a0} = 1/h_o + 1/h_i + t/k$$

$$= 1/(2.334T_s + 314.57) + 1/(4.7043T_t + 74.834) + 0.00005 \text{ --- (式4)}$$

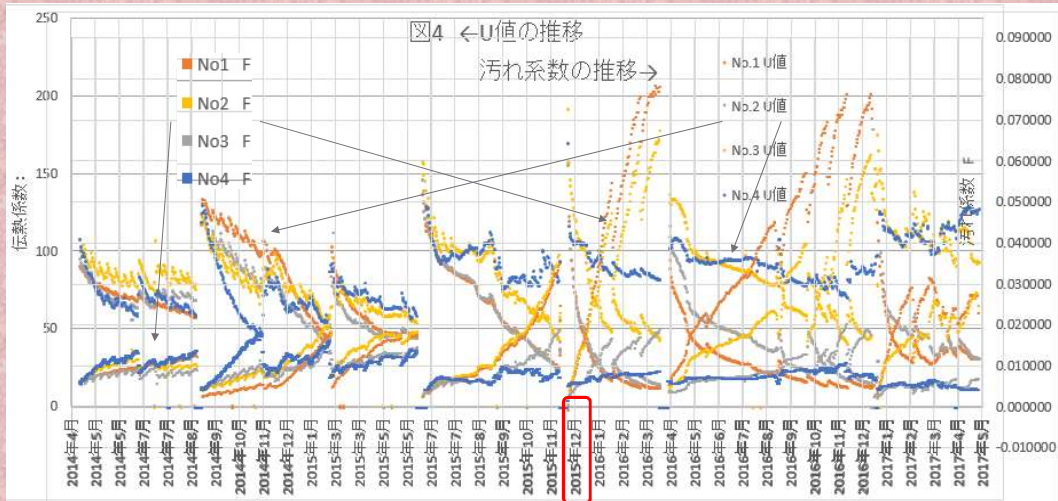
ここで T<sub>s</sub> : シェル温度 T<sub>t</sub> : チューブ温度

HTRIのモニタリングデータから各ユニット温度範囲の相関式をもとめ、式4を用いて1/U<sub>a0</sub>を求める。(エクセルで一括計算)



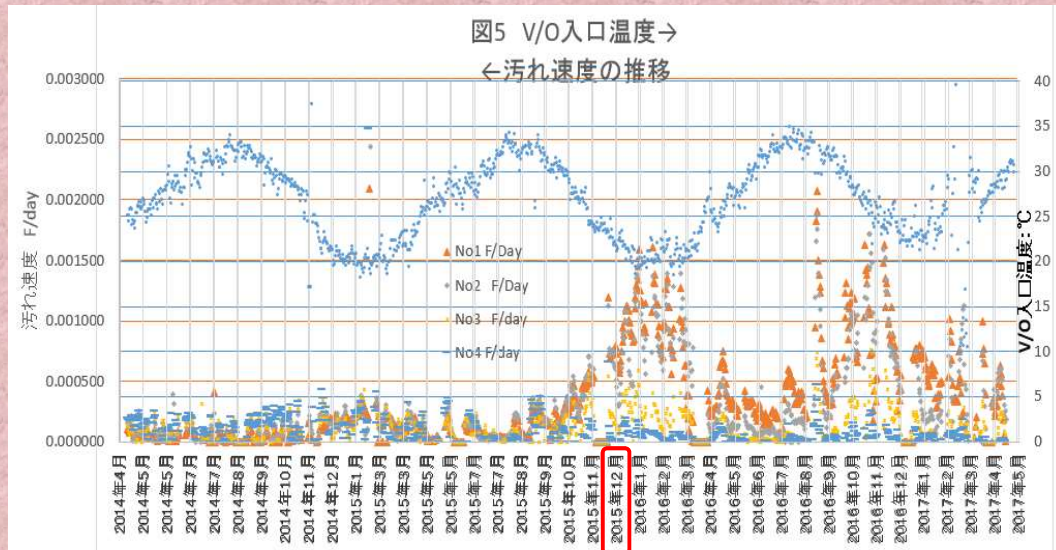
## 汚れ係数 ( $\Delta 1/U$ ) とU値の推移 (2014/4~2017/5)

U値の低下と汚れ係数の増加を対で表してある。  
No3hiTRANテスト以降は汚れが激しくなっている。



## 汚れ速度の推移とV/O入口温度推移

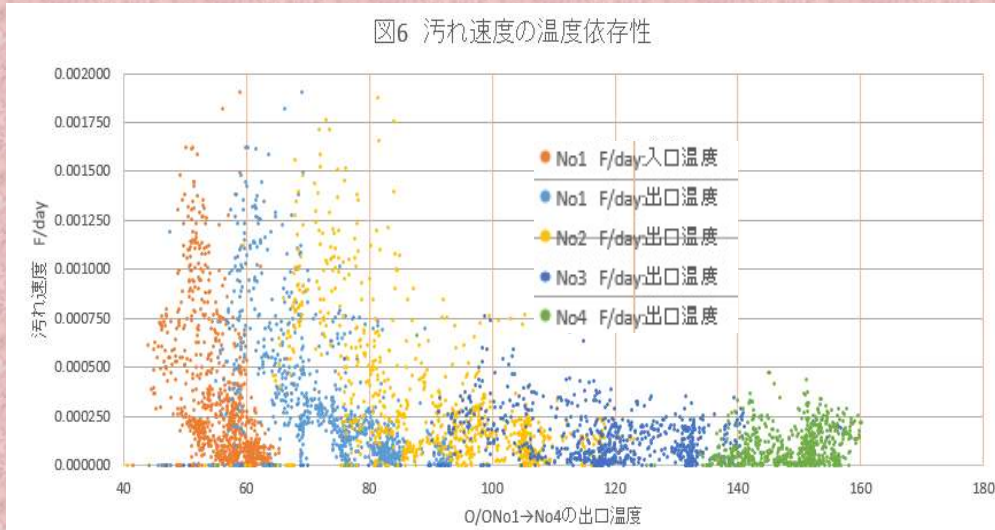
汚れ速度 (F/day) で表すと、より季節変動の影響が明確



## 汚れ速度の温度依存性（4年間ユニット全体）



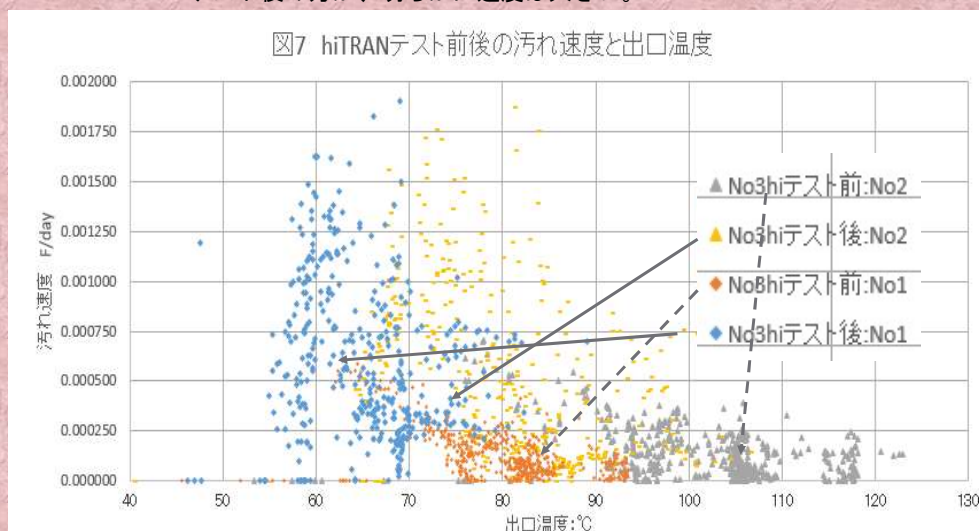
汚れ速度は低温側で大きくなり、その閾値は90°Cか



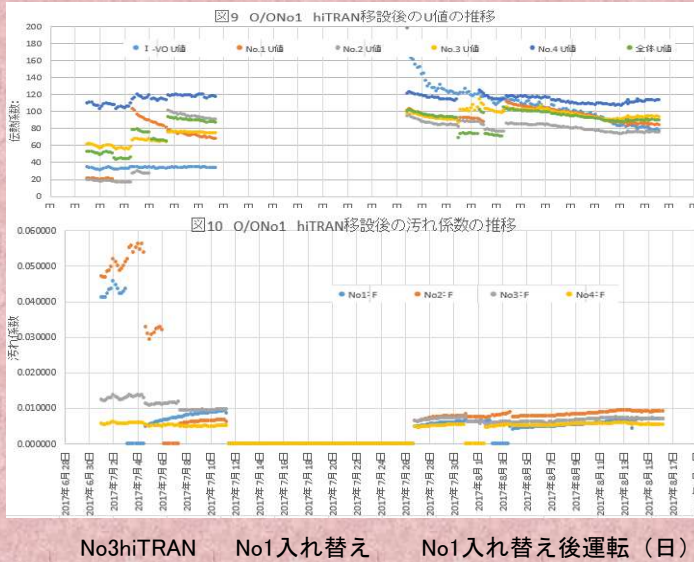
## No3hiTRANテスト前後の低温側(No1,2)の汚れ速度



テスト後の方が、明らかに速度は大きい。



## No1熱交へのhiTRAN 半数挿入前後のU値と汚れ係数



U値の推移

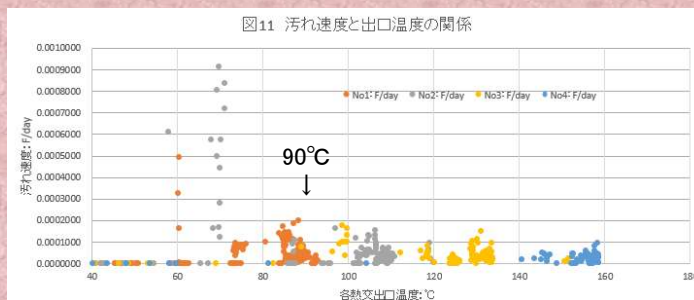
汚れ係数の推移

No3hiTRAN No1入れ替え No1入れ替え後運転 (日)

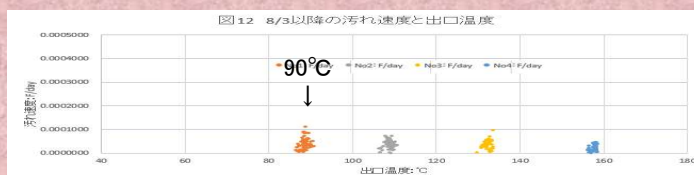
## No1hiTRAN入れ替え後の汚れ速度と温度の関係



出疑い温度90°C以上の場合には汚れ速度が小さい。

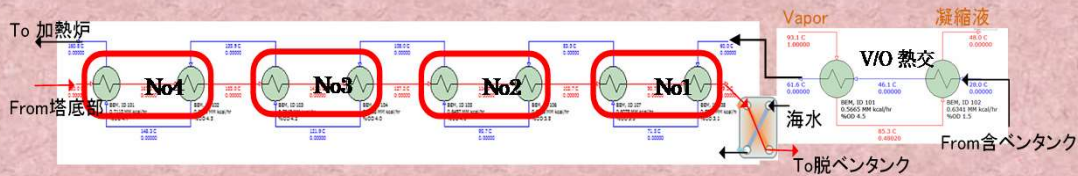


入れ替え前後の汚れ速度

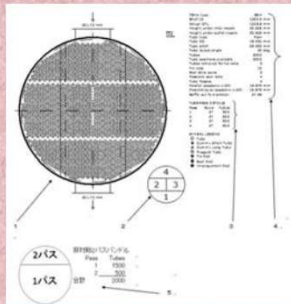


入れ替え後のみの汚れ速度

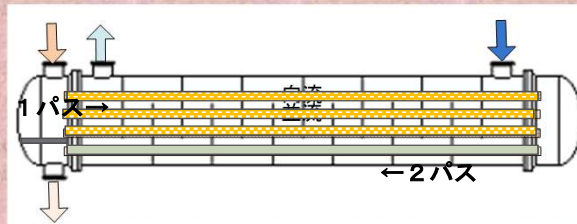
# 全体システムの最適化



技術 1 : hiTRANのNo1、No2 および V/O熱交への挿入 (最適化計算)



技術 2 : 非対称管バンドル2パス配置



特開2017-120149

# ご清聴ありがとうございました。



今後の計画:

- ・ V/O熱交へのhiTRAN挿入テスト
- ・ 非対称2パスへの改造 (コークス炉改修以降)

汚れの低温閾値: チキソトロピックな挙動?

PHENICS→開発中断

