



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

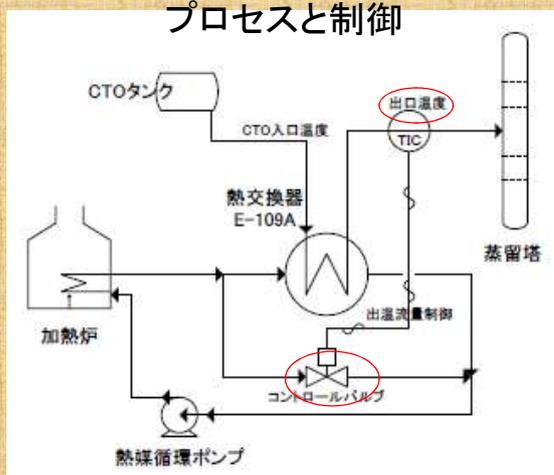
株式会社エプシロン 研究員 酒井昭二

2018/1/24 HTRI-CCmeeting

1) 粗トール油蒸留予熱工程の化学反応汚れ



プロセスと制御



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 ²	管パス: 10

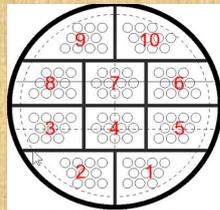


汚れ係数

設計条件: m²·hr·°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



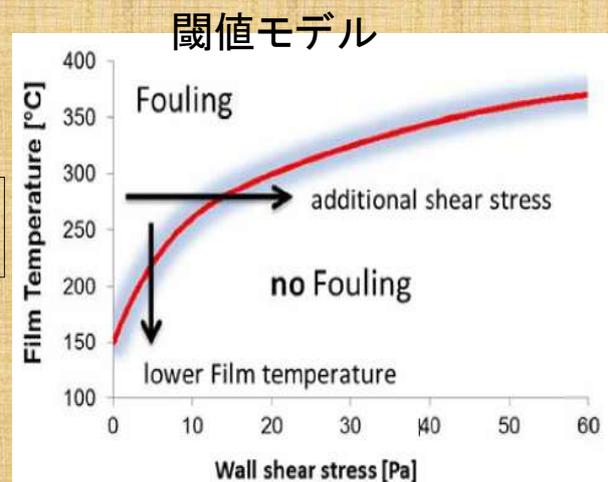
汚れ速度 = 発生速度 - 剥離速度

↓
 化学反応
 アレニウスの式

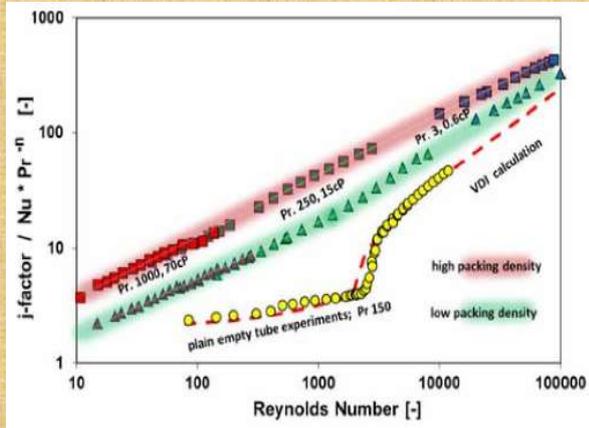
↓
 壁面すり応力
 流速

原油予熱工程の汚れ低減研究

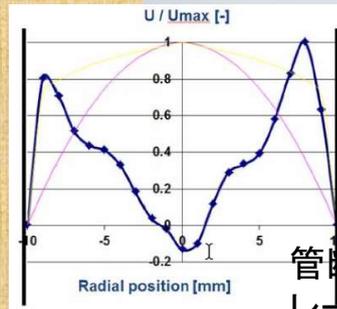
<http://www.heatexchanger-fouling.com/index.htm>
 Engineering Conferences International (ECI)
 Heat Exchanger Fouling and Cleaning



hiTRANの伝熱性能とずり応力

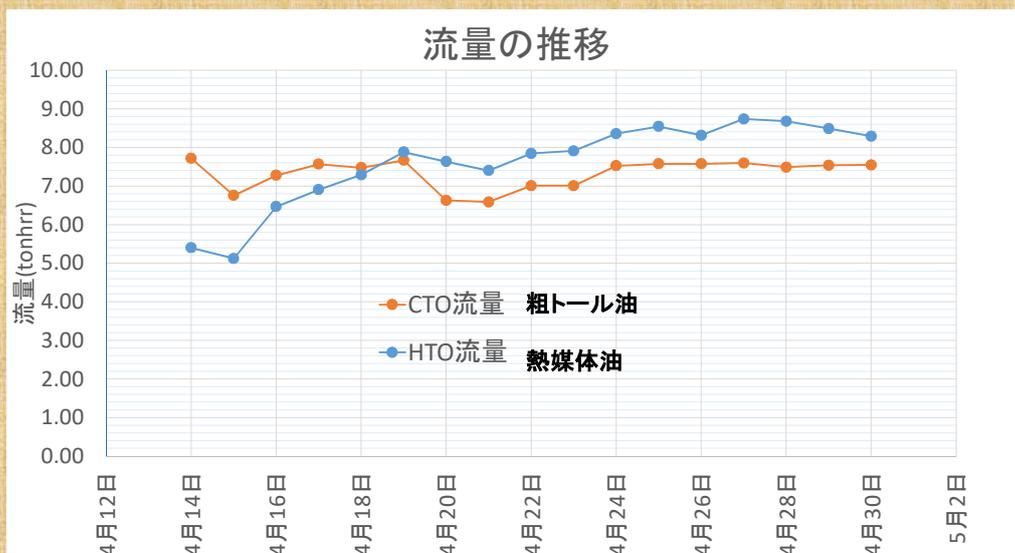


伝熱性能とRe数

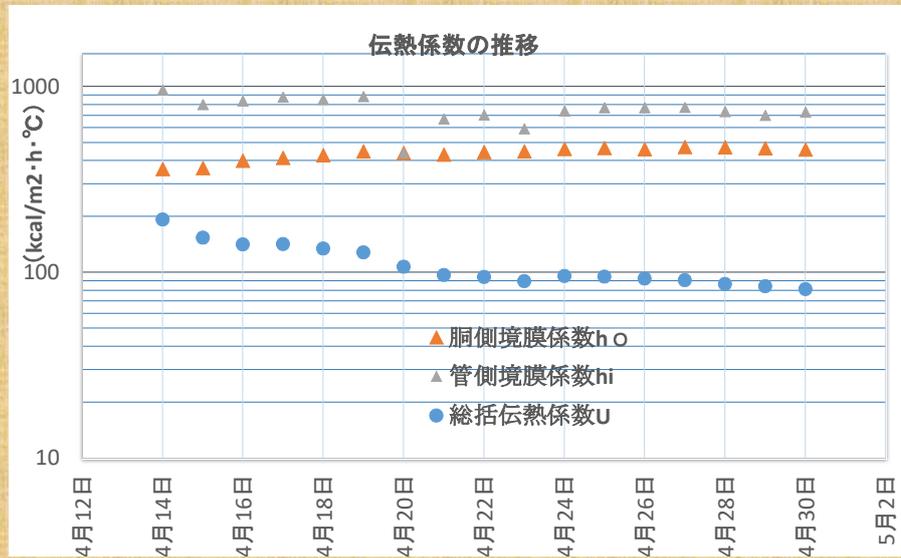


管断面の速度分布
レーザー・ドップラー法

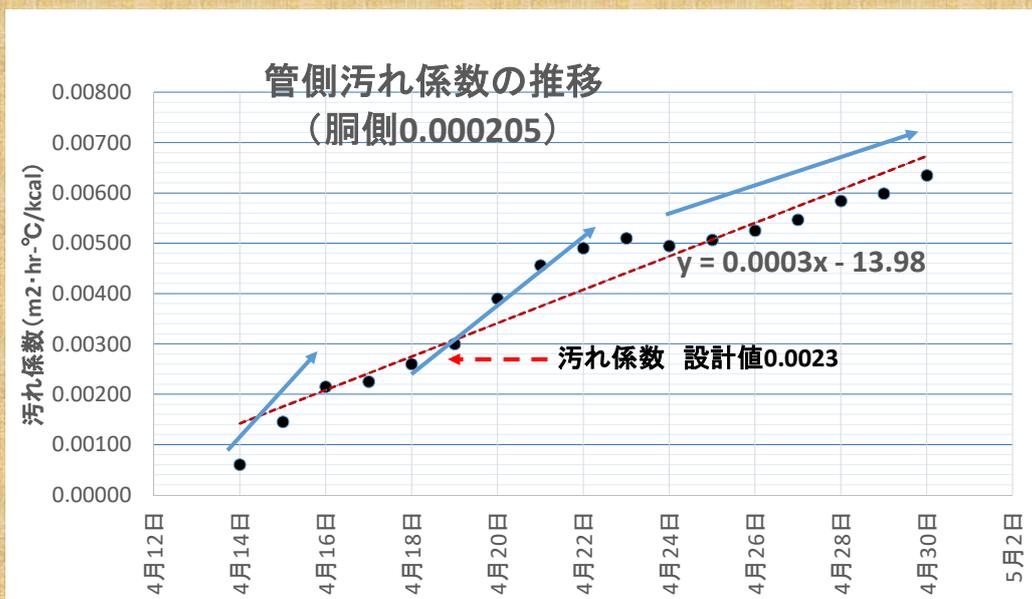
運転実績のHTRI解析(流量)



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)



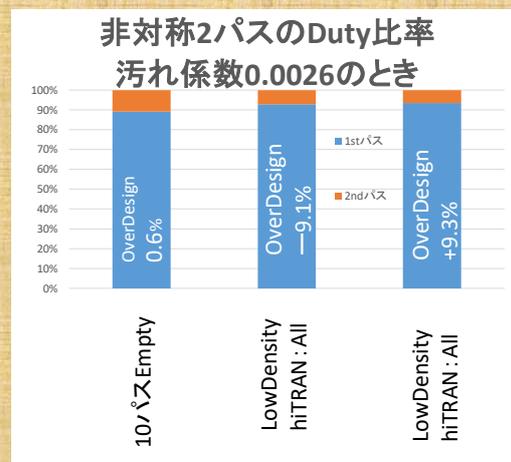
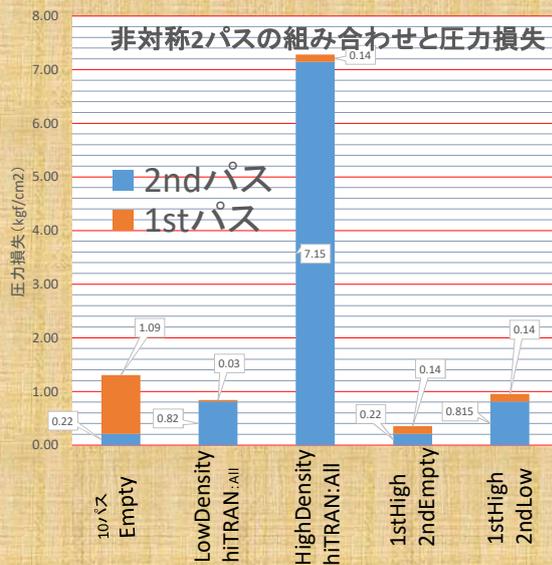
非対称2パス管バンドルの構造とメリット

- 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

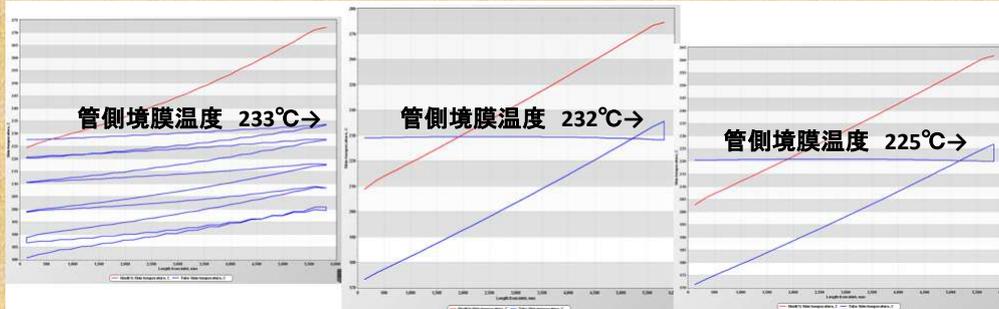
非対称2パス管バンドルの圧力損失とDuty



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

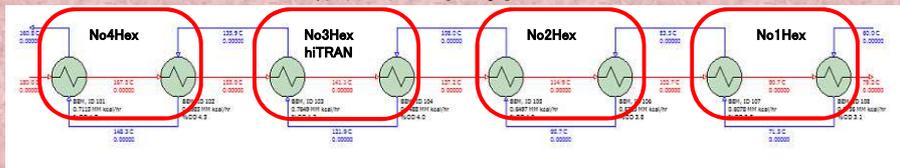
hiTRAN
非対称2パス
胴側 312°C

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

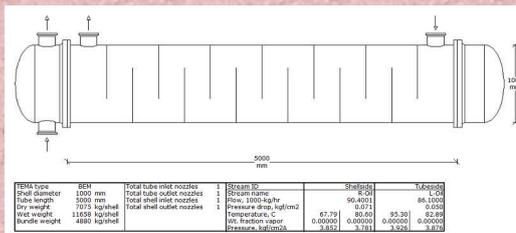


Feed/Effluent熱交の仕様



180°C Hot Tube Side

Cold Shell Side 60°C



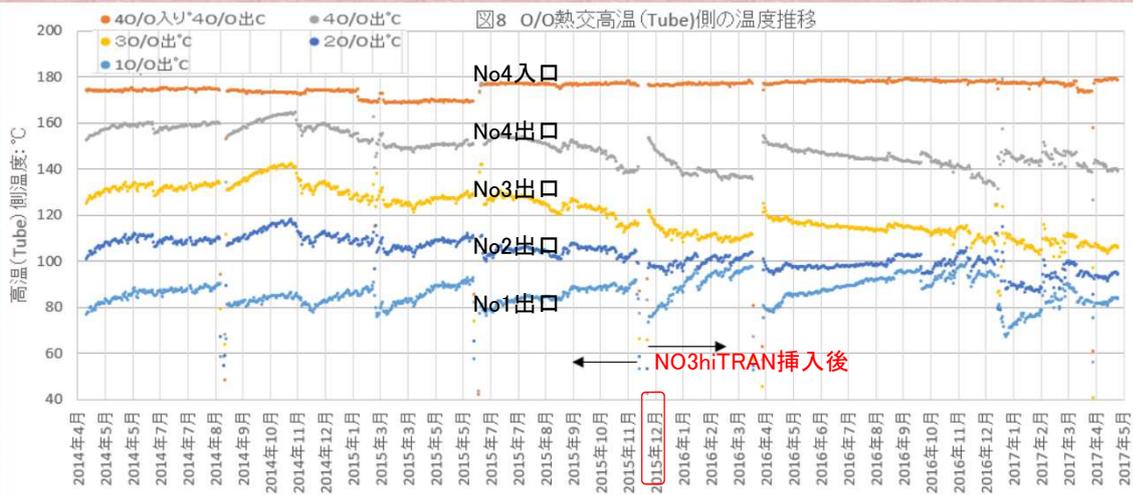
Shell Geometry		Baffle Geometry	
TEMA type	(-) BEM	Baffle type	(-) Single-Seg
Shell ID (mm)	1000.0	Baffle cut (Pct Dia)	30
Series	(-) 2	Baffle orientation	(-) Perpend
Parallel	(-) 1	Central spacing (mm)	332.76
Orientation (deg)	0.00	Crossspaces	(-) 14
Tube Geometry		Nozzles	
Tube type	(-) Plan	Shell 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
Tube count	(-) 564	Tube outlet (mm)	202.72
Tube Pass	(-) 4		

TEMA type	BEM	Total tube inlet nozzles	Stream ID	Shell side	Inlet side
Shell diameter	1000 mm	Total tube outlet nozzles	Stream name	Pressure	Temp
Tube length	5000 mm	Total shell inlet nozzles	Flow	1000 kg/hr	60.000
Dry weight	7075 kg/bal	Total shell outlet nozzles	Pressure drop, kg/(m ²)	0.071	0.050
W.C. weight	11659 kg/bal		Re	0.000001	0.000001
Bundle weight	4880 kg/bal		Re	0.000001	0.000001
			Pressure, kg/(m ²)	3.852	3.181
				0.000001	0.000001
				0.028	0.873

(2014/4~2017/5) 各ユニット管側出口温度の推移



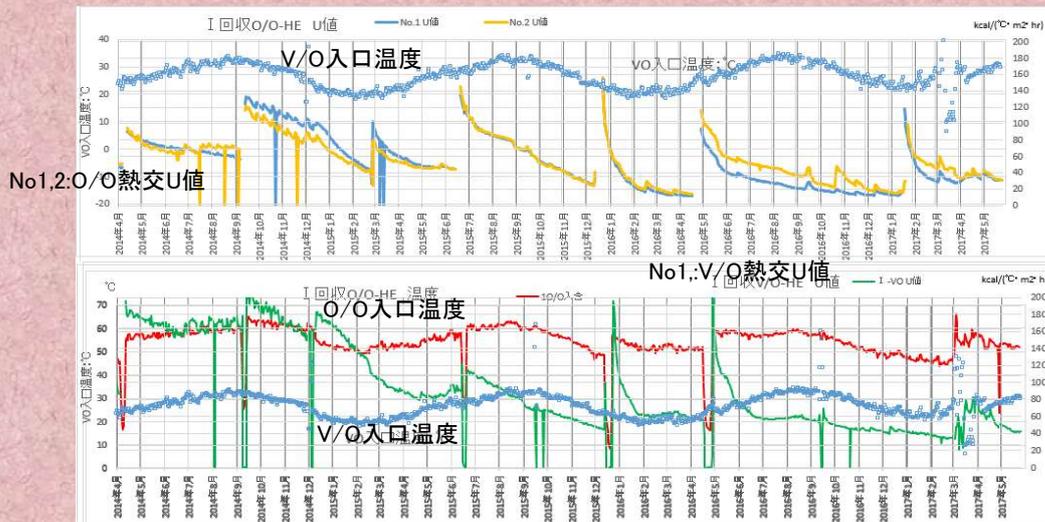
hiTRAN挿入テスト以後は各ユニットの温度差 (Duty) バランスが大きく変わっている



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/m²-hr-C)
 h_o : Shell側境膜伝熱係数 (kcal/m²-hr-C)
 h_i : Tube側境膜伝熱係数 (kcal/m²-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_o : Shell側境汚れ係数 (m²-hr-C/kcal)
 F_i : Tube側境汚れ係数 (m²-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_{a(actual)} : 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) → $Q = m * c * \Delta T_{(shell)} = m * c * \Delta T_{(tube)}$
 ΔT : Shell側またはTube側の温度差 m : 質量流量 c : 比熱
 U_a : 実総括伝熱係数 (kcal/m²-hr-C)
 A : 交換器の伝熱面積 (m²)
 ΔT_m : 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_{a0}と汚れの進行したときのU_{ax}の差である。

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

汚れ係数の簡易計算 $F = \Delta(1/U)$



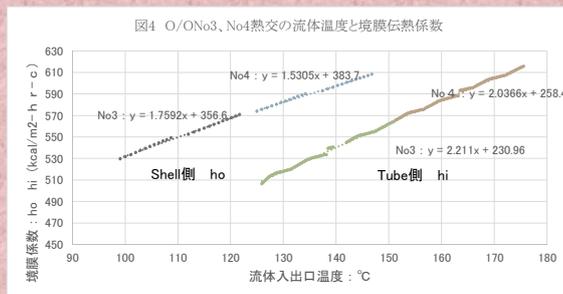
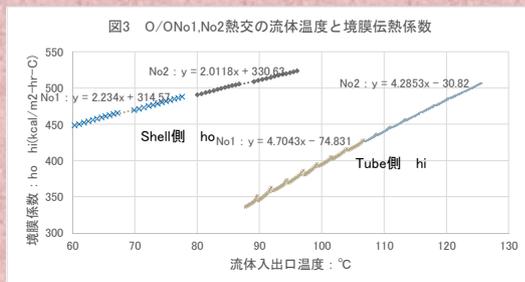
$$F = 1/U_{ax} - 1/U_{a0} \text{ ----- (式3)}$$

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

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

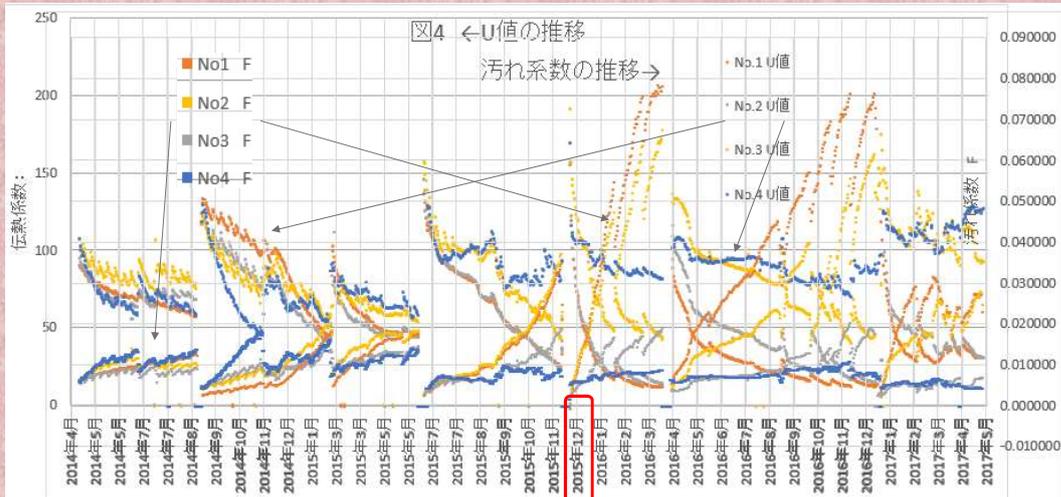
ここで T_s : シェル温度 T_t : チューブ温度

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_{a0}を求める。(エクセルで一括計算)



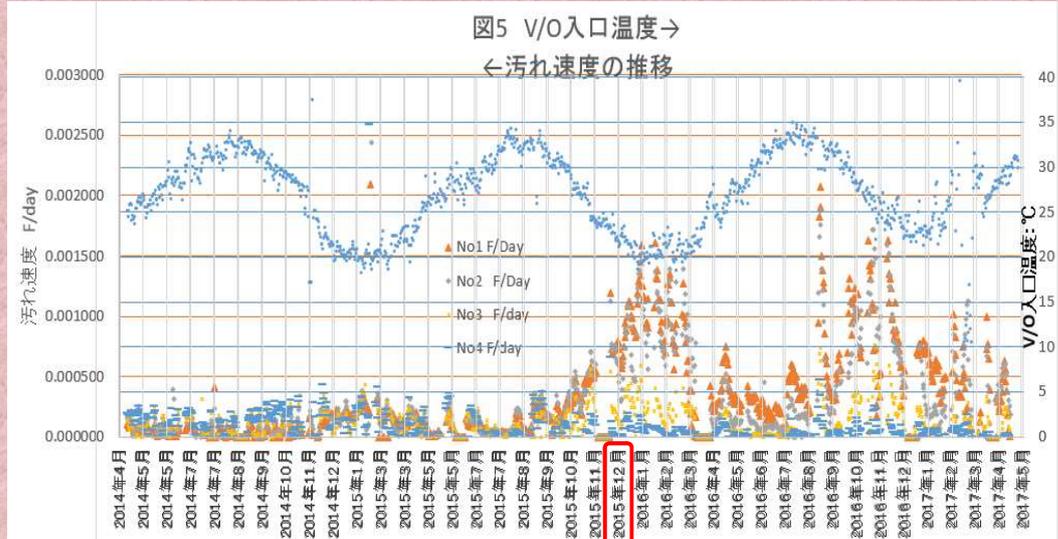
汚れ係数 ($\Delta 1/U$) とU値の推移 (2014/4~2017/5)

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

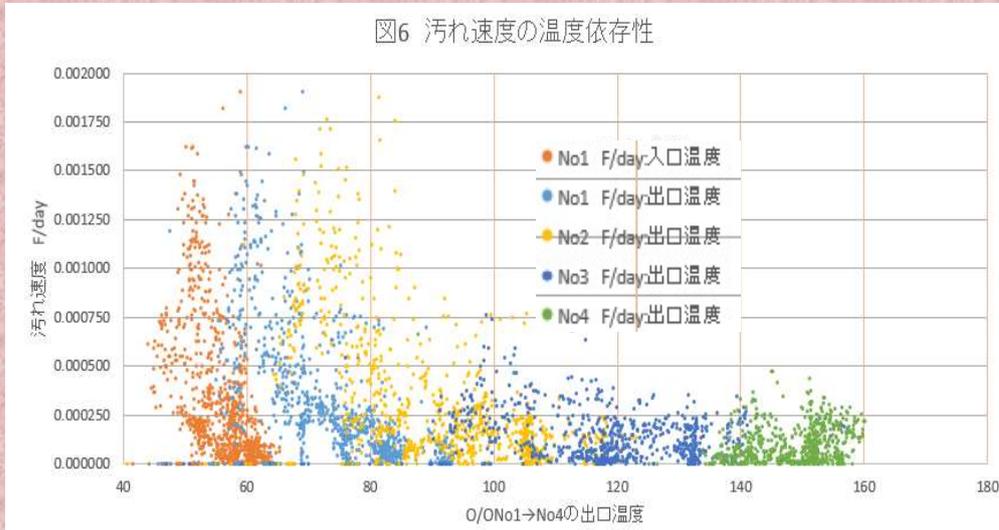
汚れ速度 (F/day) で表すと、より季節変動の影響が明確



汚れ速度の温度依存性（4年間ユニット全体）



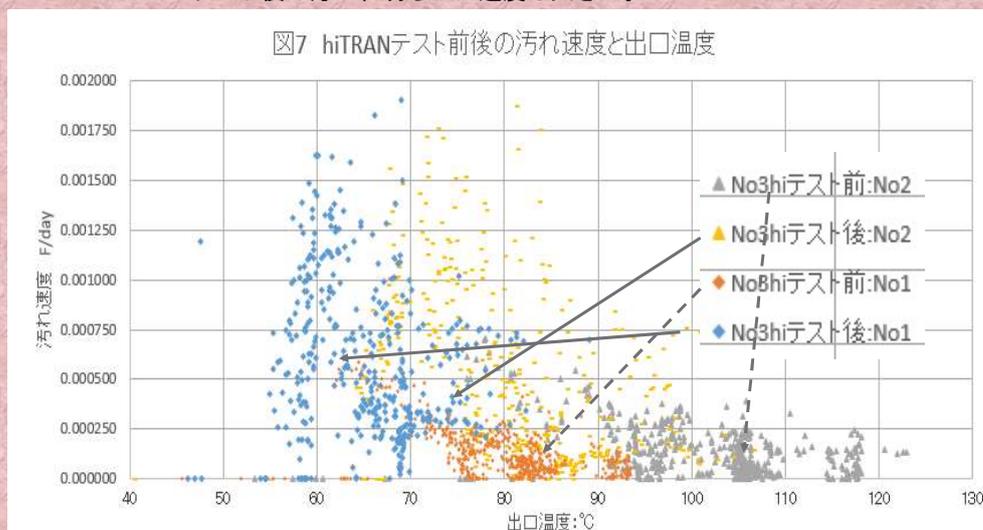
汚れ速度は低温側で大きくなり、その閾値は90°Cか



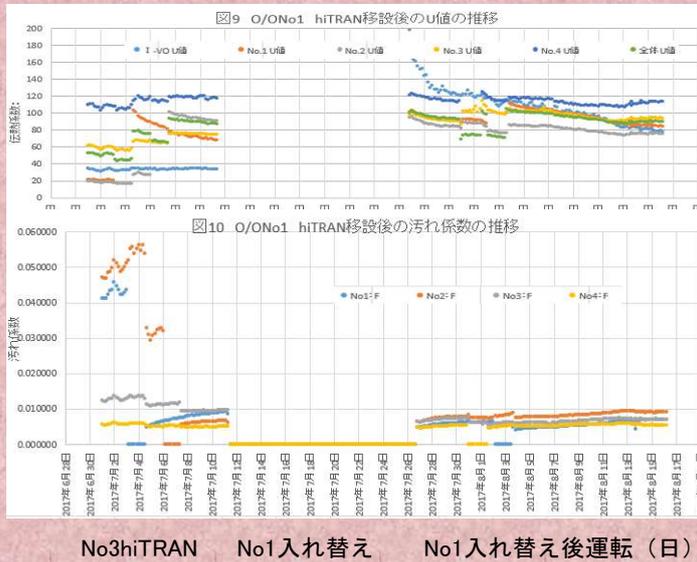
No3hiTRANテスト前後の低温側(No1,2)の汚れ速度



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

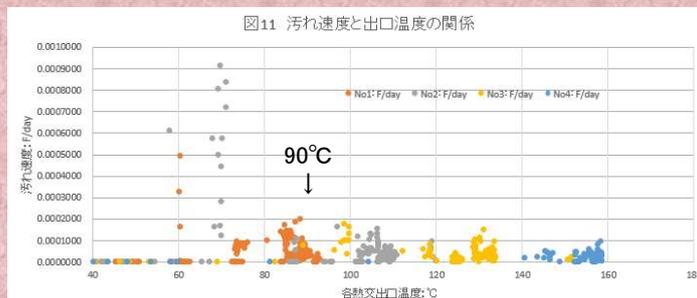
汚れ係数の推移

No3hiTRAN No1入れ替え No1入れ替え後運転 (日)

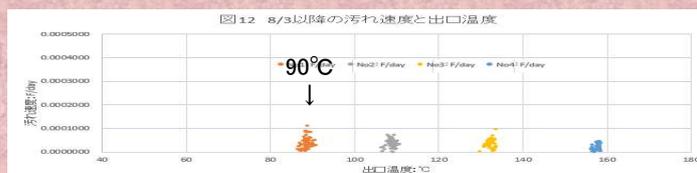
No1hiTRAN入れ替え後の汚れ速度と温度の関係



出疑い温度90℃以上の場合には汚れ速度が小さい。

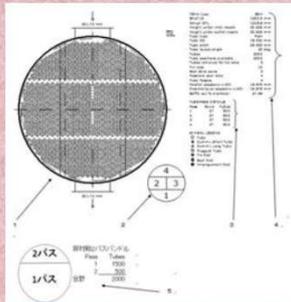
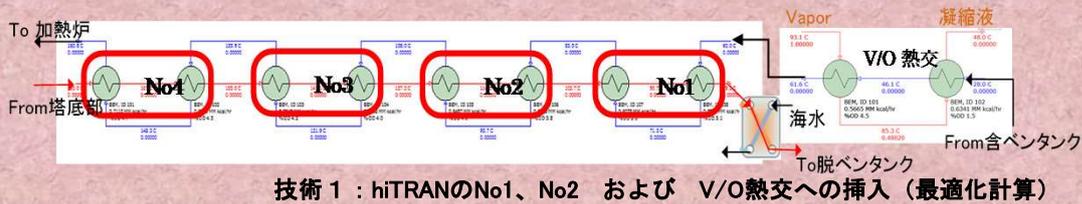


入れ替え前後の汚れ速度

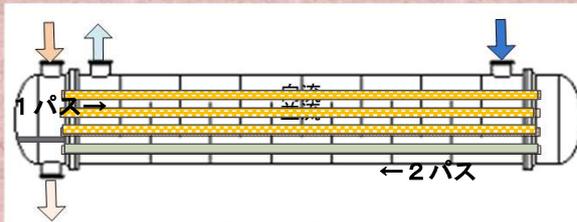


入れ替え後のみの汚れ速度

全体システムの最適化



技術 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

