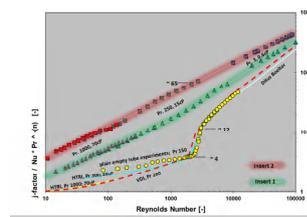


## 最適なhiTRANの使用法



プレゼン要約  
hiTRAN伝熱促進を効果的に実施するために何を考慮すべきか？

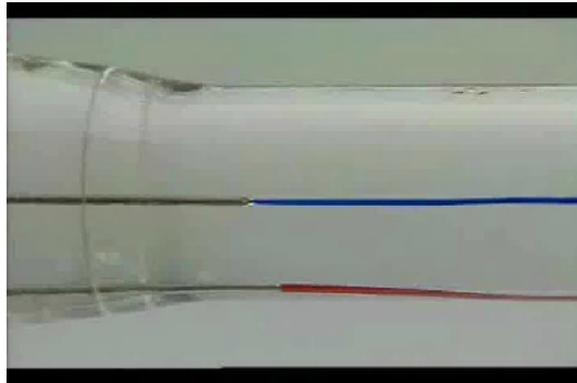


CalGavin Ltd.,  
By Peter Drougumuller  
和訳・追補: CalGavin Japan

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## hiTRANの伝熱促進原理



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# hiTRAN適用の概論

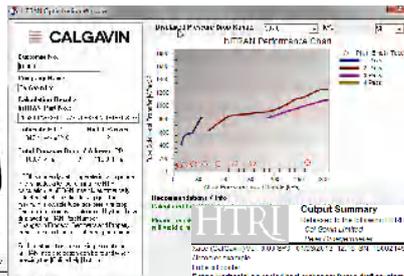
- 既設の改造案件
  - 寸法・形状が固定されている
- 新規設計製作
  - 最適化設計の自由度が大きい
- 単相／2相流への適用例
  - 単相流のhiTRAN設計はhiTRAN.SPというソフトを用いて計算します。
  - 2相流の場合はCalGavin社が評価します。通常は下記のデータをやり取りし、無償で実施します。  
(例: TEMA sheets, HTRI file, EDR file)



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 最適化計算の手法



hiTRAN.SP  
スタンドアロン

EDR プラグイン  
hiTRAN.SP

Item	Value	Unit
Shell Side Flow	100	kg/hr
Tube Side Flow	200	kg/hr
Shell Side Temp	100	°C
Tube Side Temp	200	°C
Pressure Drop	1.0	bar

HTRI プラグイン  
hiTRAN.SP

Item	Value	Unit
Heat Transfer Area	100	m²
Pressure Drop	1.0	bar
Exchanger Performance	100	kg/hr

CALGAVIN.COM

CALGAVIN



## 既設交換器改造のシナリオ

### hiTRAN使用の狙い:

- 交換熱量 (Duty) の増大
  - より大きな出口/入口温度の達成
  - 処理量の増加
- プロセス条件の変化に対応 (例えば、空冷式冷却器の気温の変化)
- 運転操作性の改善:
  - 負荷変動/遷移域への対応
  - 汚れ防止
  - 偏流の防止
- 予備機の再利用



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## どこに hiTRAN が使えるか？

### 既設の改造の場合

- 伝熱は管側支配が多い  
(流体の胴/管入れ替えも検討要素)
- 理想的な管側のレイノルズ数は50 -5000
- このレイノルズ数での最適な管側粘度は 2cP ~ 200cP
- 高レイノルズ数領域では伝熱促進効果は小さくなる
- 圧力損失は大きくなるが、圧損低下の改造が可能か？  
(既設のヘッダーを改造して、管パスを低下できるか？)  
8パス→2パス 3パス→1パスなど



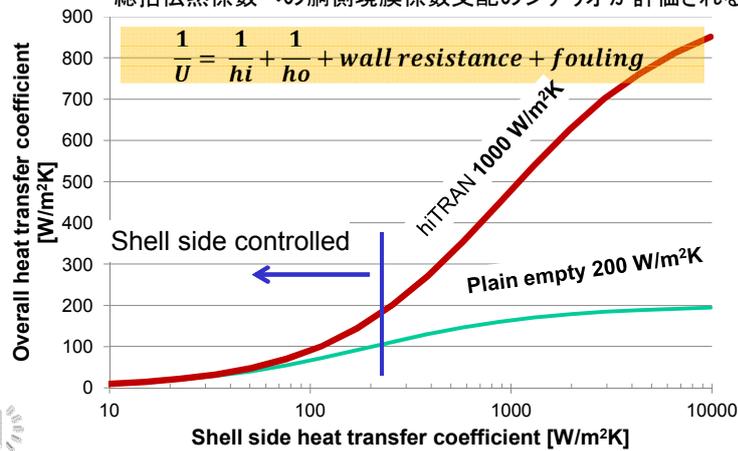
CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 伝熱支配因子の重要性

例えば以下の様な過程の場合:

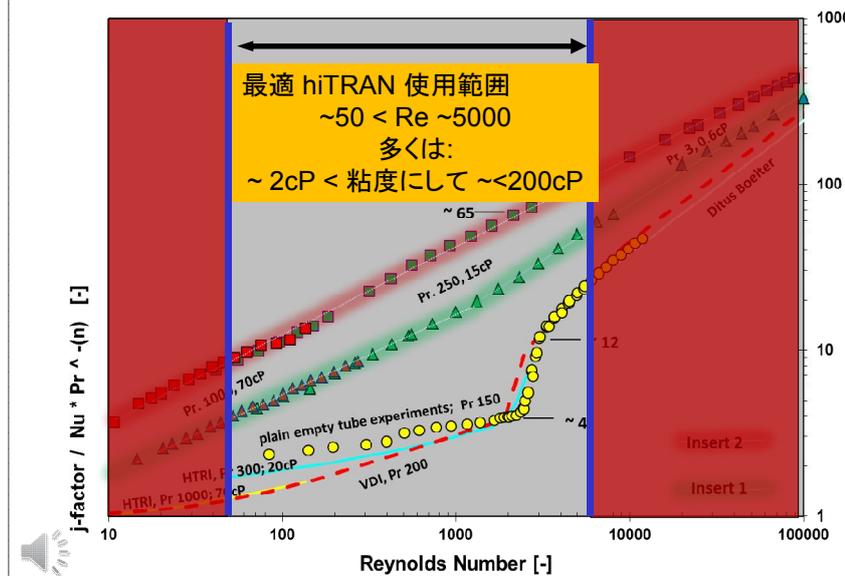
- 改造前の平滑管の管側境膜伝熱係数が200W/m<sup>2</sup>Kで
  - hiTRAN挿入後に1000 W/m<sup>2</sup>Kになったとすると
- 総括伝熱係数への胴側境膜係数支配のシナリオが評価される



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

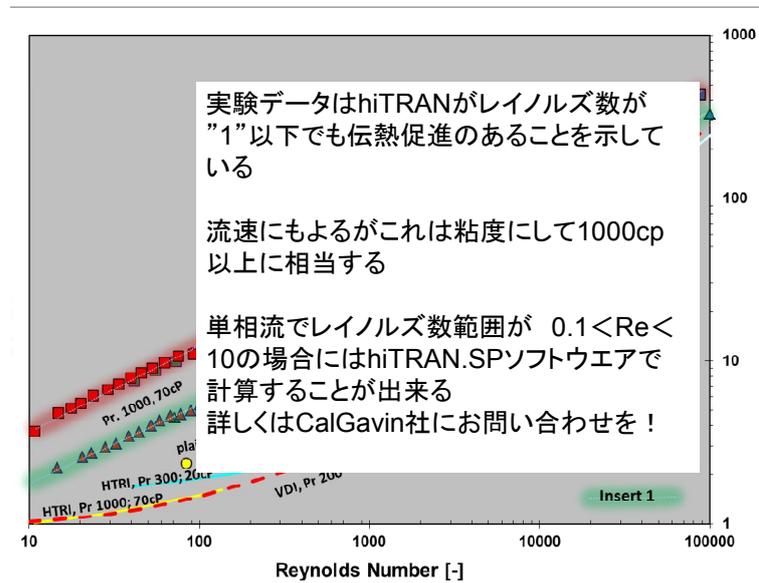
## hiTRAN適用の理想的な管側レイノルズ数



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

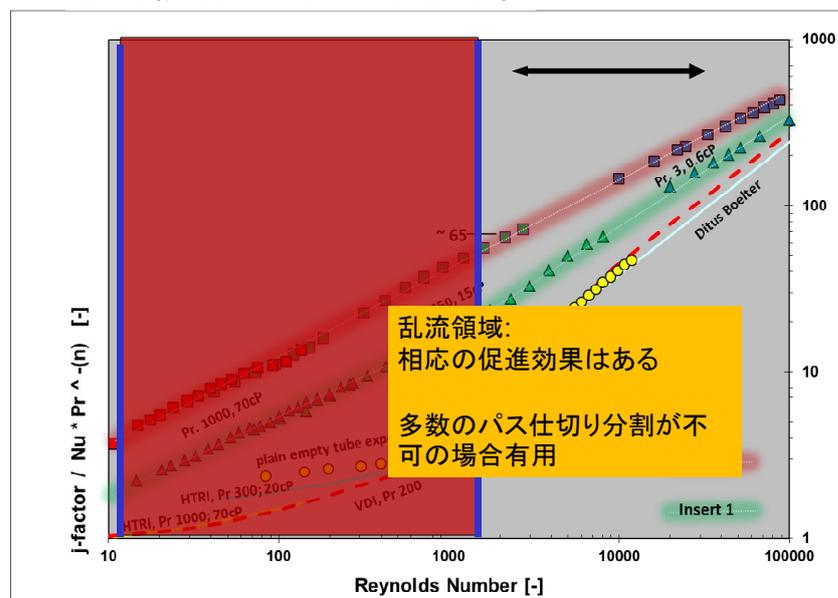
## 層流領域(高粘度流体)での伝熱促進



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 乱流領域での伝熱促進効果

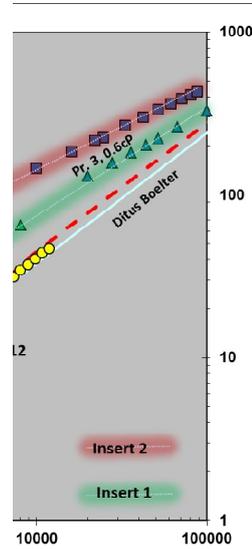
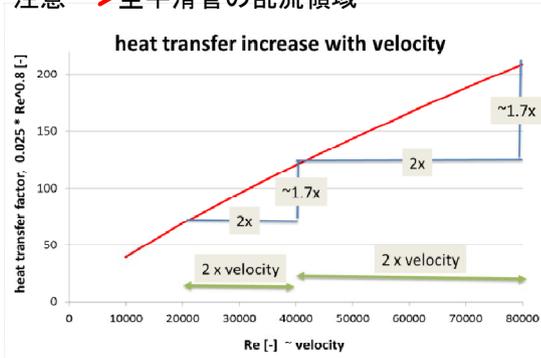


CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 乱流領域での伝熱促進

乱流領域でもhiTRANは4倍以上の伝熱促進効果を提供できる  
 注意 → 空平滑管の乱流領域



一般的に多数パスよりも少ない追加の圧力損失で同じ伝熱促進効果が得られる

Reynolds Number [-]

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 乱流領域での伝熱促進: 目標とする用途例

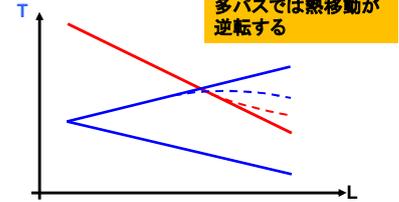
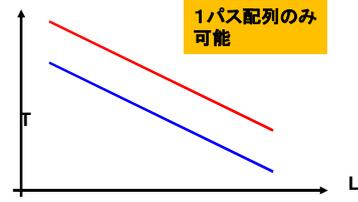
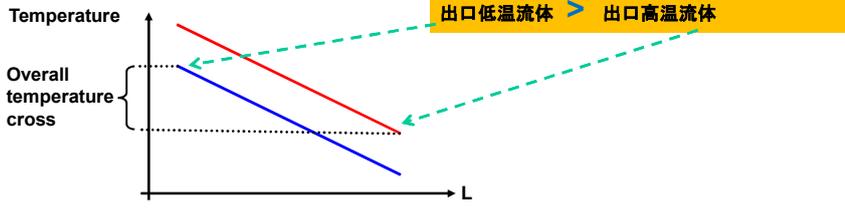
熱交換器で1パスは一つ選択肢であるが

- 温度クロス(交切)のある用途  
(多くは狭い温度範囲の用途)
- 2相流の用途  
(別項にて説明)

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# 1(single)パス: 温度クロス



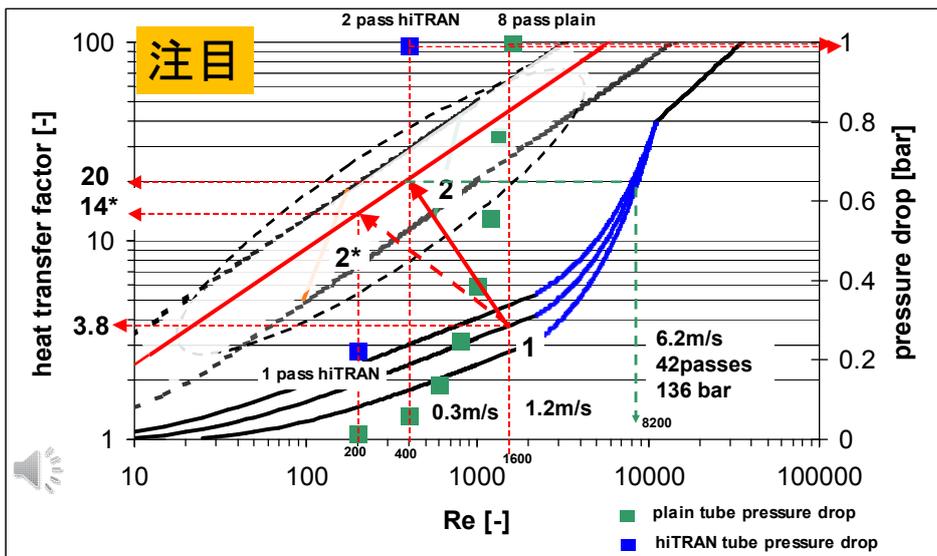
低流速の1パスでのみ可能性があるが、hiTRANは許容圧損内で性能改善のために使用できる

CALGAVIN.COM

CALGAVIN



# 許容圧力損失または圧損低下の可能な改造



CALGAVIN.COM

CALGAVIN



## 改造シナリオの中のパス分割仕切り板の撤去

許容圧損の範囲内で  
負荷量を増加するために



パス分割仕切り板を撤去し  
流速を低下させる



この事例では:  
4パス用の仕切り板を撤去して1パス交換器に改造

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 確認調査の手法-既設の改造

- 信頼できるソフトウェアを用いた現状性能の調査  
例えば HTRI X-suite, Aspen EDR



- 伝熱抵抗、レイノルズ数、圧力損失、形状変更の可能性を再調査
- 形状変更の可能性を考慮して、hiTRAN挿入後の伝熱係数と圧力損失を検証
- hiTRANの管側熱伝達係数の効果を総括的性能として評価する



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# HTRIのどこを確認するのか？



**Output Summary** Page 1  
Released to the following HTRI Member Company:

Thermal Resistance, %	
Shell	0.56
Tube	91.04
Fouling	7.90
Metal	0.50

Xace あるいは Xist で伝熱抵抗が  
管側支配か、胴側支配かを確認

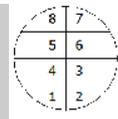
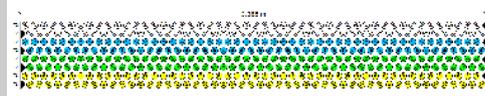
Thermal Resistance, %	
Air	15.65
Tube	82.25
Fouling	1.54
Metal	0.57
Bond	0.00

計算された各伝熱係数を確認

Exchanger Performance			
Shell h	(W/m2-K)	20505.5	Actual U
Tube h	(W/m2-K)	150.89	Required U
Hot regime	(-)	Gravity	Duty

既存のパス配列の確認

Tube Geometry		
Tube type	(-)	Plain
Tube OD	(mm)	25.400
Length	(m)	6.000
Pitch ratio	(-)	1.2500
Layout	(deg)	30
Tubecount	(-)	234
Tube Pass	(-)	8



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# HTRIの何を確認するのか？

Process Conditions	Hot Shellside		Cold Tubeside	
Fluid name		Effluent		Condensate
Flow rate (kg/s)		130.072		128.738
Inlet/Outlet Y (Wt. frac.vap.)	0.000	0.000	0.000	0.000
Inlet/Outlet T (Deg C)	91.68	60.00	53.89	85.93
Inlet P/Avg (kPa)	786.006	779.317	825.286	821.799
dP/Allow (kPa)	13.386	34.474	6.974	100.002

許容圧力損失の確認

往々にして伝熱促進に使える圧力損失の余裕があることが多い



**Final Results** Page 1  
Released to the following HTRI Member Company:

H. T. Parameters	Shell	Tube
Overall wall correction		1.091
Midpoint Prandtl no.		212.40
Midpoint Reynolds no.	1935	1961
Bundle inlet Reynolds no.	12751	1434
Bundle outlet Reynolds no.	1829	2814
Fouling layer (mm)		

レイノルズ数を確認  
もし 10000 以下なら可能性の高い候補である

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# Aspen EDRではどこを確認するのか？

Overall Performance		Resistance Distribution		Shell by Shell Conditions		Hot Stream Composition		Cold Stream Composition	
Rating / Checking		Shell Side				Tube Side			
Total mass flow rate	kg/s	0.4				12			
Vapor mass flow rate (In/Out)	kg/s	0.4	0	0	0	0	0	0	0
Liquid mass flow rate	kg/s	0	0.4	12	12	0	0	0	0
Vapor mass quality		1	0	0	0	0	0	0	0
Temperatures	°C	212.6	212.6	120	150				
Dew / Bubble point	°C	212.6	212.6						
Operating pressures	bar	20	19.98635	50	48.83786				
Film coefficient (mean)	W/(m² K)	8980.4				997.2			
Fouling resistance (DD based)	m² K/W	0.00009				0.00042			
Velocity (highest)	m/s	0.7				0.34			
Pressure drop (allow./calc.)	bar	0.3 / 0.01365							
Total heat exchanged	kw	757.6				Unit BES			
Overall clean coef (plain/finned)	W/(m² K)	861.5/		Shell size	640—6000	mm	Hor		
Overall dirty coef (plain/finned)	W/(m² K)	598.6/		Tubes	Plain				
Effective area (plain/finned)	m²	101.7/		Insert	hiTRAN wire matrix				
Effective MTD	°C	76.61		No.	226	OD	25.4	Tks	2.11
Actual/required area ratio/dirty/clean		6.16 / 8.86		Pattern	30	Pitch	31.75	mm	
Vibration problem		No		Baffles	Single segmental	Cut(%d)	37.11		
RhoV2 problem									

計算された伝熱係数の確認

Aspen EDRで、管側支配か胴側支配かを確認

Heat Transfer Resistance  
Shell side / Fouling / Wall / Fouling / Tube side

Shell Side Tube Side

CALGAVIN.COM CALGAVIN

# プラグインした hiTRAN.SP を用い、単相流での最適値を決定

plug-in for Aspen EDR



Tube  
  Lowfins  
  Longitudinal Fins  
  Inserts  
  KHT Twisted Tubes  
  Internal Enhancem

**Tube Inserts**

Tube insert type: hiTRAN wire matrix

Twisted tape 360 degree twist pitch: [ ] mm

Twisted tape thickness: [ ] mm

Tube insert core outside diameter: [ ] mm

Tube insert wire outside diameter: [ ] mm

plug-in for HTRI V6



Input Summary

- Geometry
- Unit
- Fans
- Optional
- Bundle
- Tube Types
  - TubeType1
  - Tube Geor
  - hiTRAN In
  - FJ Curves

Tube Geometry | hiTRAN Insert | FJ Curves

Tube Geometry

Tube type: Plain

Tube internats: hiTRAN Insert

Tube material code: None

Tube thermal conductivity: hiTRAN Insert

Wall thickness: 0.7 mm

Tube OD: 42.7

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# 新規設計製作の場合

既設のような制限が無い場合、最適なhiTRAN設計が可能

狙い： 熱交換器の小型化

hiTRAN設計のポイント

- 管パス数を小さく(既設ではヘッダー改造)  
管側流体の流速を上げずにhiTRANで乱流化  
1パス、2パスで計算を！！
- 管径は大き目を採用(新設のみ)  
hiTRANで乱流化し、伝熱促進するので、  
細管を使って伝熱面積を上げるのは不経済
- 胴/管流体入れ替え(新設・既設ともに)  
hiTRAN伝熱促進によって、胴側律速になることもあるので、  
入れ替えの可能性もチェック

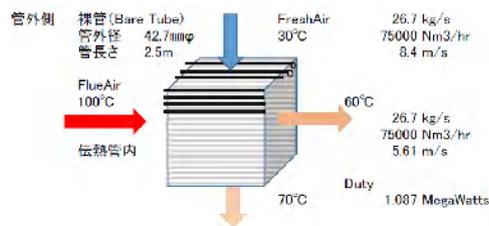


CALGAVIN.COM

CALGAVIN



# 空気予熱器の設計



直交流の1パス空気予熱器  
(低温レキュペレーター)

hiTRAN設計の場合  
面積当りの負荷量は  
大口径の方が良い

大口径の方が小型化が  
可能となった



図1: 伝熱管ODと伝熱面積当りの熱負荷(Duty)量の関係  
(OD27.2、31.8、38.1、42.7mmφ t=1.0mm)

CALGAVIN.COM

CALGAVIN



## 溶剤のSteam加熱器の設計

	管蒸気／胴溶剤		管溶剤／胴蒸気		管溶剤hiTRAN／胴蒸気	
	管側	胴側	管側	胴側	管側	胴側
溶剤温度℃	—	30→90	30→90	—	30→90	—
圧損kg/cm <sup>2</sup>	クロスパス5→	0.031	0.031 ←4管パス	—	0.026 ←1管パス	—
境膜係数 h	3104	545	4926	540	3732	968
Actual U	359		333		477	
Over Design	63.6%		52.4%		117.8%	

Shell Geometry	
TEMA type	BEM
Shell ID mm	390
Baffle type	Single-Seg.
Baffle cut (Pct Dia.)	45
Crosspasses	5

Tube Geometry	
Tube type	(--)
Tube OD (mm)	25.4
Length (mm)	2500
Layout (deg)	60
Tubecount	(--)
Tube Pass	(--)

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## その他設計上の考慮点

- 敷地面積と重量の制限
- 遷移域での安定性
- 汚れ環境下でのより長い運転継続
- 管側冷却の縦型全還流熱交換器
- 管バンドル内の偏流に起因する性能問題

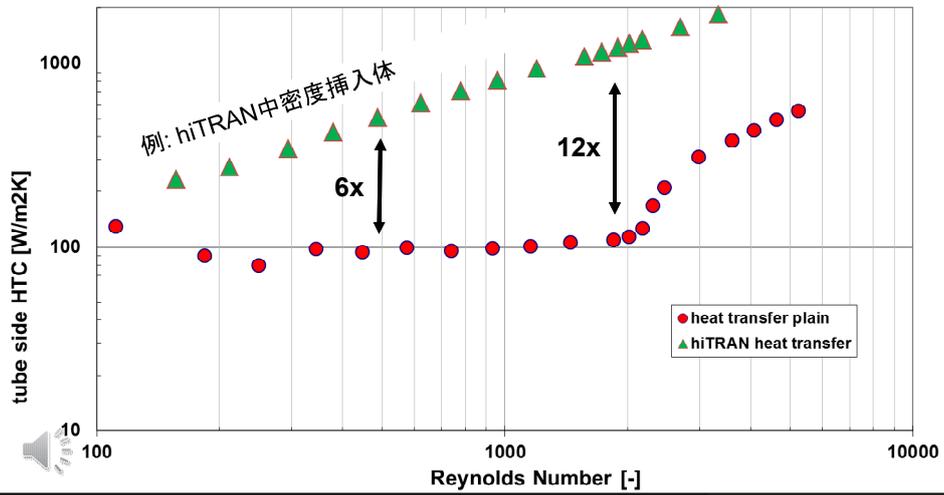


CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 注意点: 遷移域での安定性

hiTRANで遷移域でも安定で予測できる運転



## 汚れ環境下での長期連続運転

### 汚れ(fouling)の種類

- 1) 粒子状汚れ
- 2) 結晶化汚れ
- 3) 化学反応汚れ
- 4) 腐食汚れ
- 5) 生物汚れ
- 6) 凍結汚れ

### 高比重粉体スラリーの沈降防止効果実験



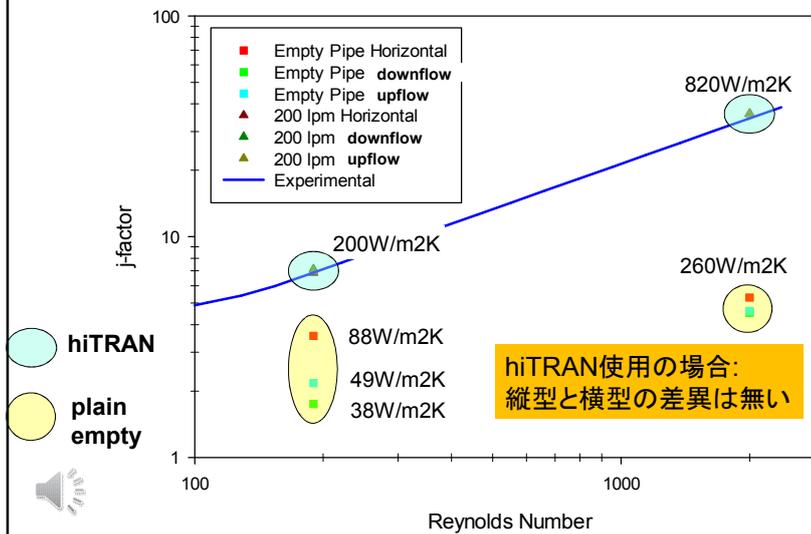
壁面のせん断速度は  
PlainよりhiTRANの方が大  
=沈降を防止、  
=流れ方向に押し出し



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

### 注意点:管側冷却の縦型熱交換器



hiTRAN使用の場合:  
縦型と横型の差異は無い

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

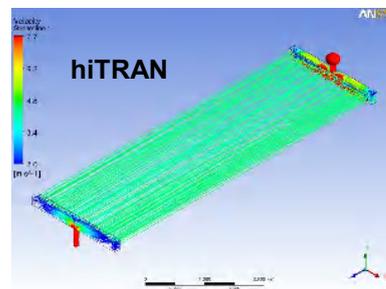
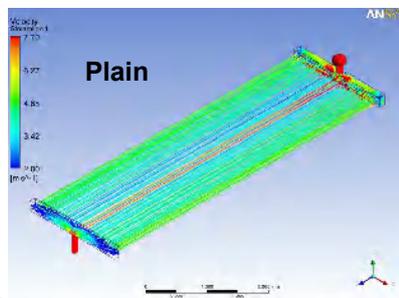
### 管バンドル内の偏流に起因する性能問題

管側摩擦圧力損失がノズル圧力損失に比べて非常に低い場合:

ノズル圧損 > 80% 管側摩擦圧損

流体の偏流の可能性大  
管バンドルの性能悪化

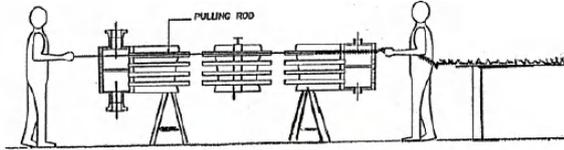
hiTRANの使用は摩擦圧損を大きくし、流体分布を均質化する



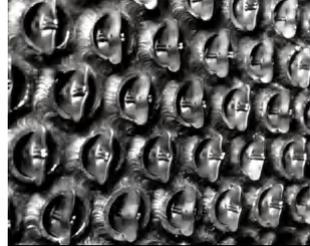
CALGAVIN.COM

CALGAVIN

# ハイトランの構造と装着



空冷式熱交換器へのエレメント挿入作業



エアアンカーによるエレメントの固定



エレメントの挿入作業



— 高圧ターボファンを標準とした製品の適用

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 2相流への応用例

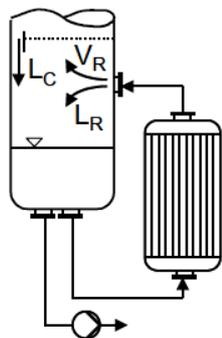


CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 1パス: 2相流の用途

### 1 (Single)パス要求の用途:



- 縦型サーモサイフォンリボイラー
- 流下膜式蒸発器
- 縦型管側全還流凝縮器

CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 注意点: 典型的な好事例—凝縮

- 凝縮温度が広範囲の混合物、または非凝縮物質を含有する混合物の凝縮
- 多くの凝縮器は1パス—摩擦圧損は非常に低い
- 圧力損失を小さくするために部分的な挿入にも適応
- 過冷却または逆転過熱の必要な場合
- 新規で最適設計が可能



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 注意点:リボイラーの典型的事例

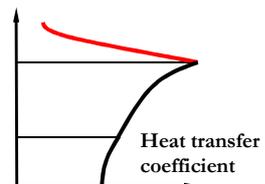
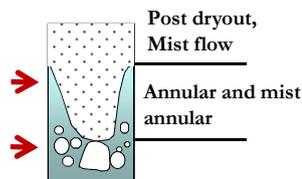
- 粘調な液体で過冷却領域(予熱ゾーン)が長い場合
- 減圧下での運転操作(ヘッドの影響が大きい)
- 低温度差の推進力増強(境膜係数の改善)
- 流量不安定な熱交換器(流量変動に対する安定化)



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## 蒸発器

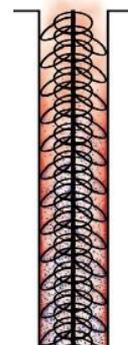


### hiTRANの使用で:

- 飛沫同伴の解消
  - 挿入体使用で、液飛沫(滴)を捕捉し高熱伝達領域に曝す
- 膜沸騰の制御
- 過熱領域の熱伝達改善



例えば, LNG/LPG 蒸発器



CALGAVIN.COM

CALGAVIN

## エチレン気化器

	平滑管	hiTRAN
<b>管側</b>		
流量 [t/h]	52	76
温度 in / out [°C]	-100 / -1 (sat)	-100 / 30 (過熱)
圧力 in / out [bar]	40 / 39.93	40 / 39.74
伝熱係数 [W/m <sup>2</sup> K]	613	2390
圧力損失 [kPa]	8	25
<b>胴側</b>		
圧力 in / out [bar]	10.1 / 10.1	2.2 / 2.19
温度 in / out [°C]	138 / 137	86 / 85
<b>諸元:</b>		
熱負荷 [kW]	261	618
EMTD [°C]	164	100



CALGAVIN.COM

 CALGAVIN

設計評価は無償

↓ 問い合わせ

 CALGAVIN

HTRI or Aspen EDR のインプットファイルで

お問い合わせ: [www.calgavin.jp](http://www.calgavin.jp)

日本連絡事務所: 代表 渡部 高司



CALGAVIN.COM

 CALGAVIN