

# 燃焼排ガスからの熱回収における 管側伝熱促進体 hiTRAN の適用

Martin J. Gough\*  
Tom Higley\*\*  
渡部 高司\*\*\*  
酒井 昭二\*\*\*\*  
加藤 正嗣\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

hiTRAN は、石油業界を中心とする化学プラントの新設、既設の熱交換器 1 万 5 千基以上に適用され、30 年以上の実績をもつ、管側伝熱促進体である。その優れた伝熱促進効果の実例として、FPSO プラント船上に設置された熱交換器の小型化事例を図 1 に示した。従来設計では 9 基の熱交換器が必要であることが計算されたが、管側に hiTRAN、胴側にヘリカルバップルを採用することで、2 基の熱交換器のみで同じ処理能力を達成することが出来た。狭隘なプラント船内を有効に利用できた好事例である。

hiTRAN は図 2 に示すような、3 次元立体ワイヤー構造を持ち、多管式熱交換器の管側に挿入することで、伝熱性能の飛躍的な改良を図ることのできる素子である。図 2 の写真は材質、密度と直径の異なる hiTRAN の実物である。

FPSO 用熱交換器の伝熱促進事例  
(Floating Production, Storage and Offloading system:  
浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備)



図 1 hiTRAN 設計された船上の熱交換器

中心部のコアワイヤーに結束された数多くのループワイヤーがバネ効果で壁面に点接触しており、端部が固定される。この素子は熱交換器の管内に挿入する作業のみで伝熱促進効果を発揮するので、新設だけではなく、既設の熱交換器にも容易に適用し、性能改善（熱回収量の増加）ができることも大きな特長である。

本報では hiTRAN の伝熱促進機構の紹介と、比較的応用事例の少ないレキュペレーター（排ガスによる空気予熱器）への適用例について、熱交換器設計計算ソフトを用いて、その改善効果を推算した結果について報告する。

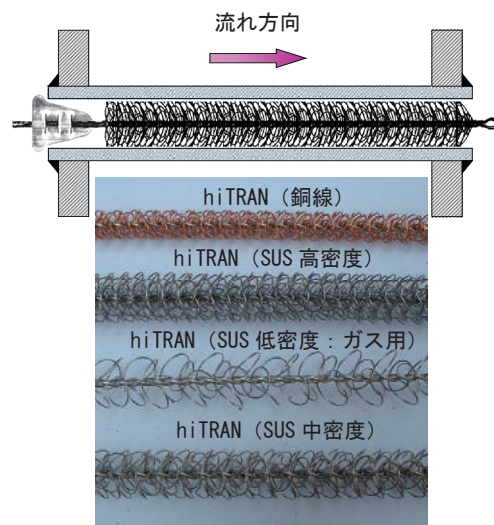


図 2 hiTRAN 伝熱促進体の構造と写真

\* Cal Gavin Ltd. M. J. Gough  
\*\* 同 T. Higley  
\*\*\* 同 T. Watanabe  
・連絡先 E-Mail アドレス: watanabe@calgavin.jp

\*\*\*\* Cal Gavin Ltd. S. Sakai  
\*\*\*\*\* 日鉄住金物産マテックス株式会社 M. Kato  
・連絡先 E-Mail アドレス: katoum@nssb-matex.com

## 2. hiTRAN の作用機構

図3の最上段はhiTRANを挿入した透明管内の壁面に染料を注入した場合の流動モデルの実験結果を模式図にしたものであり、下段の2つの図は、同じくそのCFD (Computational Fluid Dynamics) による計算結果である。いずれもhiTRANの挿入された管内の断面方向の速度分布を表わしている。

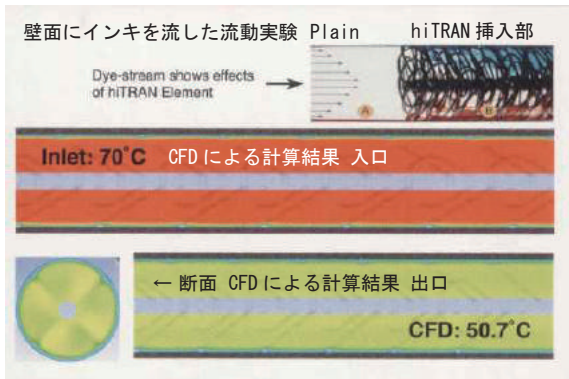


図3 hiTRAN 挿入管内の流れ (実験とCFD)

管内流れの半径方向の速度分布は、壁面では理論上ゼロで、層流状態では放物線形速度分布となり、中心の最大速度は平均速度の2倍である。hiTRAN 挿入管では、壁面に点接触しているループワイヤーが流れを中心部に押しやる効果を持ち、半径方向の流体の速度分布を平均化する効果を持つ。言い換えれば流体自身の流れのエネルギーを利用して、管半径方向の攪拌を促進する管内挿入素子であり、管内の温度分布を均一化することによって伝熱における境膜抵抗を小さくする効果を持っている。図3のCFDによる速度分布の計算結果もこのことをよく表している。CFD図で中心部はコアワイヤー部分であり、流体は存在せず、壁面に接したループ状ワイヤーによって、流体が半径方向に効果的に攪拌されている。

hiTRAN の伝熱促進効果を定量的に表現するために、図4にはレイノルズ数に対する管側境膜伝

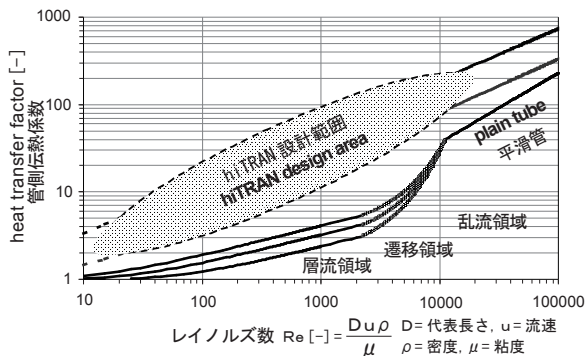


図4 hiTRAN と平滑管の性能範囲

熱係数の変化を、平滑管 (Plain) のそれと比較した CalGavin 社の実験結果を示した。

平滑管の場合、境膜伝熱係数は乱流領域ではかなり改善されるので、流速 (=レイノルズ数) を上げるために管のパス数を大きくするのが一般的であるが、流速の2乗に比例して圧力損失が大きくなるという問題を生じるため、低流速であることの方が好ましい。hiTRANを挿入した場合、同じ流速では当然圧力損失は上がるが、その伝熱係数の向上率は、平滑管の10倍以上にもなる。したがって同じ圧力損失では、hiTRAN 挿入の方が伝熱係数は大きくなる。hiTRAN 挿入による圧力損失は、ループワイヤーの密度によって調整が可能であるが、許容圧力損失を超える場合は、管パス数を小さくすることでも調整する。すなわちhiTRAN 挿入管の場合、流速の低い領域 (層流および遷移領域) でも大きく伝熱係数が改善されるので、管パス数を小さくすることにより、圧力損失を低く抑えることができる。具体的には管パス数を1/2にすると、圧力損失は1/4となるので、hiTRAN 挿入による圧力損失を十分に補償し、伝熱性能の改善も可能となる。図5にはレイノルズ数に対するhiTRANの平滑管に対する伝熱促進倍率を示す。横軸のレイノルズ数は同じ流体の場合、流速と読み替えられ、圧力損失はその2乗倍で計算される。hiTRANの総括伝熱係数への寄与は、管側伝熱抵抗の大きい場合により効果的となる。

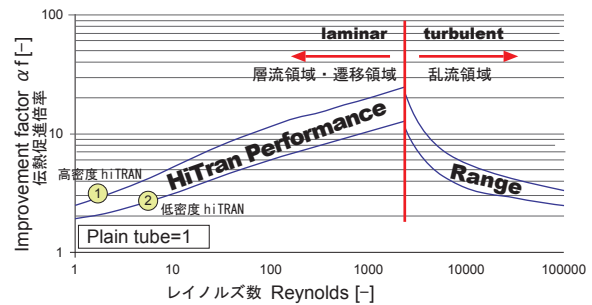


図5 hiTRAN の伝熱促進倍率

## 3. 設計計算ソフトウェアへのアドインソフト

一般に熱回収のための熱交換器は多種多様であり、目的に応じた熱交換器の設計は複雑多岐である。1970年代からその設計と評価のためのソフト開発に、多大の努力がなされ、現在は熱交換器の設計・評価ソフトウェアの権威ある世界標準として HTRI や HTFS が使用されている。

HTRI を例に熱交換器の計算方法を簡単に紹介

する。図6はHTRIソフトのエコノマイザー(Xace)の入力画面である。

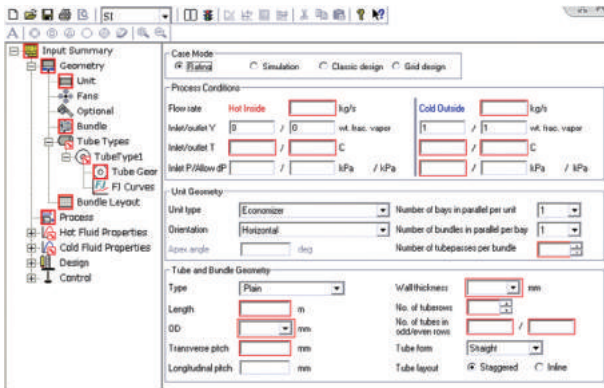


図6 HTRI 熱交換器計算ソフト入力画面

HTRIソフトでは、熱交換器の形状 (Geometry)、プロセス (Process) と流体の性状 (Properties) を入力することにより、計算が可能となる。計算モードはRating (評定)、Simulation (推算)、Design (設計) の3つがあり、GeometryとProcessが入力されている場合には、Ratingモードで熱交換器としての余力に当たる設計余裕 (Over Design) を計算し、SimulationモードではGeometryの決まった熱交換器でのプロセスデータ (温度、流量、蒸気分率、圧力損失など) の一部を計算してくれる。DesignモードはProcessデータとPropertiesからGeometryの一部を設計計算してくれる。

CalGavin社では自社内でhiTRANを挿入した場合の膨大な実験結果をベースに、HTRI、HTFSでhiTRANを挿入した場合の計算を可能とするアドインソフト (hiTRAN.SP) を開発し、HTRIとHTFSユーザーに無償で提供することによりhiTRANの普及に努めている。図7はそのソフトをアドインしたHTRIソフトの入力画面である。



図7 hiTRAN.SP アドイン後のHTRI入力画面

HTRIのRatingモードで管内挿入体にhiTRANを選択し、許容圧力損失と管パス数を入力すれば、hiTRANのPartNo.を決定し、圧力損失と境膜伝熱係数その他、hiTRANを挿入した場合のHTRIでの

Rating計算ができる。また決められたPartNo.を指定すれば、Simulationモードで、hiTRAN挿入熱交換器の出口温度などを計算できるように作られている。

#### 4. 対象とした熱回収装置

##### 4.1 レキュペレーター

燃焼排ガスから熱回収するプロセスとしては、高温の排ガスで工業炉の燃焼用空気を予熱する、ガス-ガス熱交換器、比較的低温の排ガスから熱媒体油 (HTO: Heat Transfer Oil) へと熱を回収するガス-液熱交換器の2つの場合がある。後者は熱容量の大きいHTOに熱を蓄積でき、蓄熱体の輸送が容易である点で有利である。本報ではGeometryとProcessの決定された、次の典型的な4つのケースにhiTRANを適用した場合の計算結果について報告する。

##### 4.2 既存大型4パス空気予熱器への部分挿入

最初の事例は排ガス量40,000Nm<sup>3</sup>/h、空気量35,500Nm<sup>3</sup>/hの既設チャンネル型空気予熱器である。排ガス温度は800℃、空気温度は25℃で、図8のとおり空気側が4パス、排ガスとは直交流で接触する。

このケースでは4パス全ての管にhiTRANを挿入すると、管側の圧力損失が大きすぎるので低温空気側の1パス (LT25%) と1,2パス両方に (LT50%) 挿入する計算を実施した。

##### 4.3 2パス改造器へのhiTRANのフル挿入

図8の空気予熱器を2パスに改造することを想定し、圧力損失を低下した上で、hiTRANを全ての管に挿入したケースの計算を実施した。

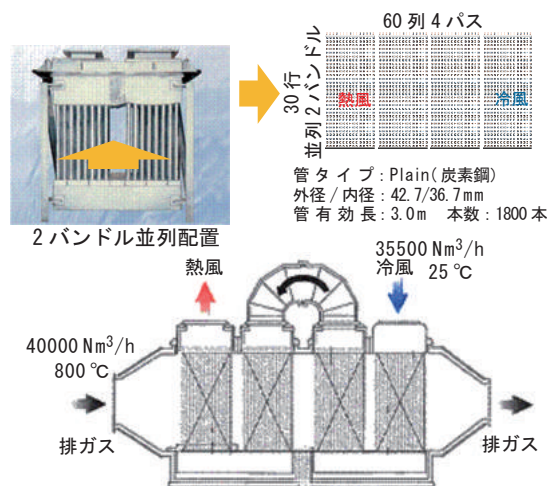


図8 大型空気予熱器の構造



4.4 小型1パス空気予熱器へのhiTRAN挿入

排ガス量 14,000 Nm<sup>3</sup>/h, 720 °C, 空気量 13,000 Nm<sup>3</sup>/h で25°Cの1パスの図9のような空気予熱器であり, 図8に比べると約1/3の大きさである。

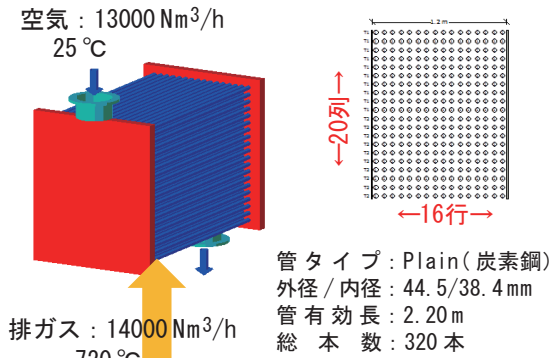


図9 小型1パス空気予熱器

4.5 HTO熱回収へのhiTRAN挿入

最後はHTOに排ガスの熱量を回収する型式の形状事例である。図10に示すように管側の伝熱係数を上げるために、既存設計では8列8パス構造として流速を上げる構造となっている。hiTRANを挿入することでパス数を低下させ、性能向上が可能かを検証した。300°Cの比較的低温排ガスからの熱回収のため、アルミのフィン付管を使用し、管外側の伝熱面積を大きくしている。

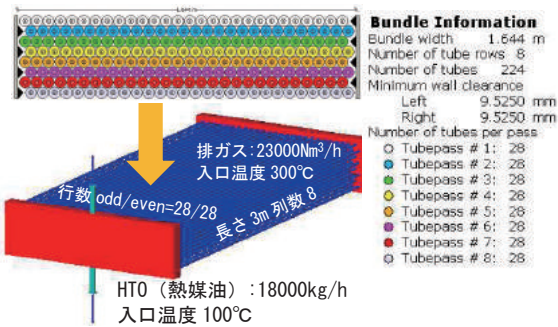


図10 HTO熱回収型熱交換器の形状

5. HTRI 計算結果

5.1 大型4パス空気予熱器への部分挿入

表1にhiTRANを25%, 50%部分挿入した場合のHTRI計算結果を示す。許容圧力損失実現の可能性がある10kPaと5kPaの2つの場合について計算した。また表最下段には次式であらわされる温度効率を計算して表示した。

$$\text{温度効率} = (T_{\text{airOut}} - T_{\text{airIn}}) / (T_{\text{flueIn}} - T_{\text{airIn}}) \times 100$$

ここで

$T_{\text{airOut}}$  : 予熱空気出口温度 (°C)

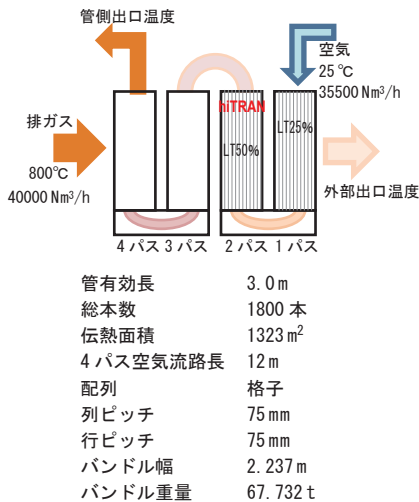
$T_{\text{airIn}}$  : 予熱空気入口温度 (°C)

$T_{\text{flueIn}}$  : 排ガス入口温度 (°C)

この温度効率は排ガスの予熱の場合のように限られた条件下では、性能評価指標として成立するが、プロセスが大きく変化した場合には、より普遍的な伝熱量(負荷量=Duty)で評価するべきであろう。

表1の結果から、hiTRANを挿入しない場合は、管側(空気)出口温度は607°Cであるのに対し、許容圧損が5kPaの条件で1/4パス(LT25%)にhiTRANを挿入すると出口温度は632°Cにまで向上する。同様に1/2パス(LT50%)に挿入すると640°Cまで予熱温度が向上する。そして許容圧力損失を10kPaとするとさらに出口温度はさらに高くなる。さらに同じ圧力損失でLT25%とLT50%を比べると50%の方が効率的であり、低圧力損失(密度の低いhiTRAN)で50%挿入率とするのが効果的である。なお高温側にhiTRANを入れることは低温側より若干効果が薄れることが予備計算の結果、明らかとなっている。実際の空気予熱器には許容圧力損失の上限から、リスクを回避しLT25%で低密度のhiTRAN挿入が採用された。

表1 hiTRAN挿入による既存設備の性能改善



許容圧損 (kPa)	—	10	5	10	5
管パス数	4パス	4パス	4パス	4パス	4パス
管挿入体	無し	LT25%	LT25%	LT50%	LT50%
外側出口温度 (°C)	343.0	320.3	321.2	305.4	314.3
管側出口温度 (°C)	607.4	633.6	632.5	650.6	640.4
外側圧力損失 (kPa)	0.128	0.131	0.130	0.130	0.130
外側流速 (m/s)	6.7	6.9	6.9	7.0	6.9
管側圧力損失 (kPa)	2.27	9.96	5.08	10.29	5.79
管側流速 (m/s)	13.0	14.7	14.3	15.5	14.7
外側境界膜係数 (W・m <sup>-2</sup> -K)	59.0	58.2	58.3	57.8	58.2
管側境界膜係数 (W・m <sup>-2</sup> -K)	51.0	73.2	70.7	98.7	79.1
総括伝熱係数 (W・m <sup>-2</sup> -K)	24.5	29.4	28.9	33.3	30.4
伝熱量 (メガワット)	7.83	8.20	8.18	8.44	8.30
(hiTRAN素子の密度)	none	最高密度	中密度	中密度	最低密度
温度効率 (%)	75.1	78.5	78.4	80.7	79.4

5.2 2パス改造へのhiTRANのフル挿入

表2は先の空気予熱器を2パスに改造して圧力損失を小さくし、全ての管にhiTRANを挿入した場合の計算結果である。比較としてはPlain以外に4パスで50%にhiTRANを挿入したもの、2パスで50%の場合を示した。

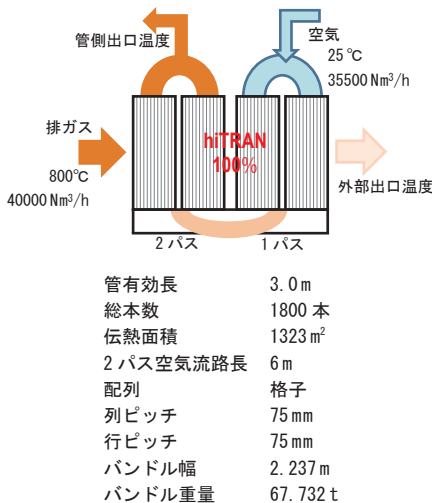
表2の結果から明らかなように、空気出口温度は651℃とLT50%の場合とほとんど変わらないが、管側圧力損失は5.2kPaと半分に低下している。最高密度のhiTRAN素子を挿入したとしても圧力損失は6.8kPaに増加するのみで、パス数の減少が温度効率を下げることなく、圧力損失を大きく低下させる結果となっている。表1と比べると明らかなように、バンドルを改造して4パスから2パス(100%のhiTRAN挿入)構造とすることで、圧力損失を大きくすることなく、性能向上が可能となることが明らかとなった。4パス平滑管の管側圧

力損失の3倍程度の圧力損失で、伝熱量7.83MWが8.49MWまで向上することが可能である。大きな許容圧力損失の取れない既存の熱交換器の場合、パス数を改造することも選択肢の一つとなる。

5.3 小型1パス空気予熱器のhiTRAN挿入

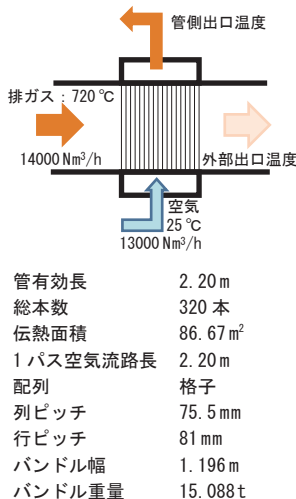
表3には管側1パスのhiTRAN挿入の計算結果を、平滑管の1と2パスの比較と併せて示す。この形状をもつレキュペレーターは、Plainでの外側伝熱係数が先の大型4パスレキュペレーターに比べて大きく、相対的に管側境膜係数が小さくなっている。hiTRANの促進効果の出現し易い条件とも言える。表3から明らかなように、圧力損失は増加するものの、温度効率にして70%、伝熱量にして75%の促進効果が得られるケースである。hiTRANの密度は、低粘度領域にあるガス流体の場合、効率への大きな影響は無いようである。

表2 バンドル改造で2パスとした場合



許容圧損 (kPa)	—	10	5	5	10
管パス数	4パス	4パス	2パス	2パス	2パス
管挿入体	無し	LT50%	LT50%	100%	100%
外側出口温度 (°C)	343.0	305.4	344.4	304.5	302.6
管側出口温度 (°C)	607.4	650.6	605.8	651.6	653.9
外側圧力損失 (kPa)	0.128	0.130	0.133	0.125	0.125
外側流速 (m/s)	6.7	7.0	7.3	6.7	6.7
管側圧力損失 (kPa)	2.27	10.29	3.29	5.20	6.86
管側流速 (m/s)	13.0	15.5	7.8	7.6	7.7
外側境膜係数 (W・m²-K)	59.0	57.8	58.0	57.6	57.6
管側境膜係数 (W・m²-K)	51.0	98.7	65.4	157.1	164.0
総括伝熱係数 (W・m²-K)	24.5	33.3	27.8	38.8	39.3
伝熱量 (メガワット)	7.83	8.44	7.81	8.45	8.49
(hiTRAN素子の密度)	none	中密度	最高密度	中密度	最高密度
温度効率 (%)	75.1	80.7	74.9	80.9	81.1

表3 小型1パス空気予熱器 (排ガス720°C)



許容圧損 (kPa)	—	—	3	5	10
管パス数	1パス	2パス	1パス	1パス	1パス
管挿入体	無し	無し	hiTRAN	hiTRAN	hiTRAN
外側出口温度 (°C)	558.4	496.9	437.3	430.1	433.8
管側出口温度 (°C)	226.8	300.1	369.3	377.5	373.3
外側圧力損失 (kPa)	0.192	0.186	0.178	0.177	0.178
外側流速 (m/s)	13.1	12.8	12.1	12.0	12.1
管側圧力損失 (kPa)	0.81	2.14	3.12	5.21	6.12
管側流速 (m/s)	7.1	18.4	8.7	8.8	8.8
外側境膜係数 (W・m²-K)	88.8	86.4	83.7	83.4	83.5
管側境膜係数 (W・m²-K)	34.5	67.7	183.4	215.9	206.3
総括伝熱係数 (W・m²-K)	22.2	34.7	54.5	57.3	56.5
伝熱量 (メガワット)	0.96	1.32	1.66	1.70	1.68
(hiTRAN素子の密度)	none	none	低密度	中密度	最高密度
温度効率 (%)	29.0	39.6	49.5	50.7	50.1

さらに1パスを2パスに改造する意味は全くなく、hiTRANを1パスで挿入すべきである。

#### 5.4 HTO 熱回収への hiTRAN 挿入

表4に管側のHTOにhiTRANを挿入した場合の計算結果を示す。このプロセスの特長は、管側が非圧縮性液体なので、大きな圧力損失を採用できることである。事実通常設計では8列のバンドルに対して列毎にパスを配置する8パスを採用している。表4にフィン付管の基本構造データを示したようにフィン密度は通常入手可能な最高密度である。

管側HTOのパス数を列と同じのフルパスとした従来設計では、管側境膜係数が $660 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ にまで大きくなっており、その時の圧力損失は16 kPaに達している。hiTRANを挿入する場合、パス数を小さくすることで圧力損失を減じ、境膜係数をhiTRAN効果で向上させる設計手法を採用することになる。そのhiTRAN挿入とパス数のバランスは2パスの位置にあり、この時の圧力損失はPlain管よりも少ない12.6 kPaであり、境膜係数は2倍近くで、伝熱量も1.32 MWとPlainに比べて7%以上も上回っている。管側のパス数を上げ流速を稼いで伝熱促進する従来設計に対して、hiTRANの伝熱促進効果を最も発揮できる事例と言って良いであろう。

表4の最終列には2パスhiTRAN挿入で余裕の出た伝熱量を従来設計と同じとし、伝熱促進効果を装置の小型化の方向に設計をした場合の設計計

算を実施した結果を示した。hiTRANの最適設計では管列数は8から6列になり、本数と伝熱面積が75%で十分な伝熱量が達成できることを示した。この時のバンドル重量は約2/3となり、小型化に大きく寄与することが推算できた。

#### 6. 採算性のまとめ

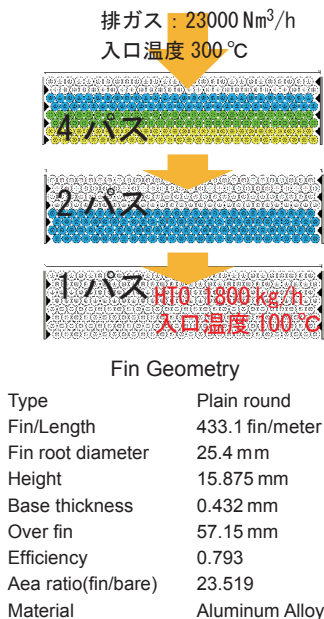
##### 1) 既設予熱器への適用

表5には既設空気予熱器にhiTRANを適用した結果をまとめてある。hiTRAN挿入によって増加する伝熱量MWは回収熱量の増加を意味している。この伝熱量の差分から年間の空気予熱器の稼働時間を4000時間と仮定し、節減熱量(GJ;ギガジュール)と石油換算量(kℓ)を計算して見た。また合わせてhiTRANの使用量と装置の改造費用の有無も一覧した。また圧力損失の増加は、空気ブローアの電力使用量増加につながり採算性に大きく寄与するため、表5に併記した。

表5 既設予熱器への適用のまとめ

	無し	hiTRAN 部分挿入				パス改造	
		(Plain)	10kPa	5kPa	10kPa	5kPa	5kPa
許容圧損	(Plain)	10kPa	5kPa	10kPa	5kPa	5kPa	10kPa
パス数 (hiTRAN%)	4パス	LT25%	LT25%	LT50%	LT50%	2パス	2パス
圧力損失: kPa	2.27	9.96	5.08	10.29	5.79	5.20	6.86
伝熱量: MW	7.83	8.20	8.18	8.44	8.30	8.45	8.49
伝熱量差: kW	0	369	355	610	466	625	656
節減熱量: GJ/年	0	5,314	5,112	8,784	6,710	9,000	9,446
原油換算: kℓ/年	0	136	131	225	172	230	242
hiTRAN 挿入本数	0	450本	450本	900本	900本	1800本	1800本
hiTRAN 長さ(全長)	0	3m (1350m)		3m (2700m)		3m (5400m)	
装置改造費用		無し	無し	無し	無し	パス他改造費要	

表4 低温Gasからの液 (HTO) への熱回収



許容圧力損失 (kPa)	(管側は液体なので、成り行き)					伝面減
管パス数	8パス	8パス	4パス	2パス	1パス	2パス
管挿入体 (hiTRAN)	無し	最高密度	最高密度	最高密度	最高密度	最高密度
外側出口温度 (°C)	164.9	136.4	143.5	154.6	168.8	162.4
管側出口温度 (°C)	219.6	241.8	236.4	227.8	216.6	221.6
外側圧力損失 (kPa)	0.105	0.100	0.102	0.103	0.105	0.078
外側流速 (m/s)	4.3	2.0	4.3	4.3	4.3	4.3
管側圧力損失 (kPa)	16.0	407.8	59.0	12.6	6.2	17.8
管側流速 (m/s)	0.61	0.61	0.31	0.15	0.08	0.21
外側境膜係数 ( $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ )	43.4	42.7	42.8	43.0	43.2	43.3
管側境膜係数 ( $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ )	659.8	2757.2	1859.9	1263.0	851.2	1493.9
総括伝熱係数 ( $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ )	14.3	27.9	24.4	20.6	16.7	22.4
伝熱量 (メガワット)	1.23	1.48	1.42	1.32	1.19	1.25
伝熱面積 ( $\text{m}^2$ )	1215	←	←	←	←	915
管本数 / 列数	224/8	←	←	←	←	168/6
バンドル重量 (kg)	3091	←	←	←	←	1920



この表から、hiTRAN 適用の経済性評価の方向が見えてくる。10 kPa の圧力損失が許容できるならば、LT50 % を採用することで、2 パスへのダクトとパスの改造工事無しでも、原油換算 225 kℓ / 年の節減が可能である。この時は hiTRAN コスト (2700m) の償却と空気ブロアーの電力増が採算計算の要点になる。5 kPa の圧力損失しか許容できない場合は、① : 2 パスへの改造と 100 % の hiTRAN 挿入 (5400 m)、② : LT50 % (2700 m)、③ LT25 % (1350 m) の選択肢から、採算性のバランスの良いものが選ばれる。何れの場合も hiTRAN への投資は 1 年から 2 年で十分回収が可能であろう。

2) 小型 1 パス予熱器への適用

外側伝熱係数の比較的大きい排ガスからの熱回収条件では、hiTRAN の促進効果が大きく、このケースでは 70% 程度の伝熱量増加が見込まれる。1 パスなので圧力損失も低いので、既設の場合は許容圧力損失に応じた hiTRAN の選択が良い。表 6 には先と同じように原油換算値を示しておいた。表 5 の場合と異なり、必要な hiTRAN 長さが小さく工事も不要なので、費用対効果は大きく、半年程度で採算がとれる。

表 6 小型 1 パス予熱器への適用

許容圧損	—	—	3 kPa	5 kPa	10 kPa
パス数	1 パス	2 パス	1 パス	1 パス	1 パス
hiTRAN 密度	無し	無し	低	中	最高
圧力損失 : kPa	0.81	2.14	3.12	5.21	6.12
伝熱量 : MW	0.96	1.32	1.66	1.70	1.68
伝熱量差 : kW	0	357	698	739	718
節減熱量 : GJ / 年	0	5141	10051	10642	10339
原油換算 : kℓ / 年	0	131	257	272	264
hiTRAN 長さ (全長)	無し	無し	320 本 × 2.2 m (704 m)		
装置改造費用		有り	無し	無し	無し

3) 低温 Gas からの液 (HTO) への熱回収

列 8 パスで管側液体の境膜係数を大きくしているこのケースも hiTRAN 採用の好適例である。表 7 に示したように、2 パス hiTRAN 条件で、管側圧力

表 7 低温 Gas から液 (HTO) への熱回収

	hiTRAN 挿入				hiTRAN 設計
	8 パス	8 パス	4 パス	2 パス	2 パス
hiTRAN 密度	無し	最高	最高	最高	最高
圧力損失 : kPa	16.0	407.8	59.0	12.6	17.8
伝熱量 : MW	1.23	1.48	1.42	1.32	1.25
伝熱量差 : kW	0	252	190	91	57
節減熱量 : GJ / 年	0	3629	2736	1310	820.8
原油換算 : kℓ / 年	0	93	70	34	21
hiTRAN 長さ (全長)	無し	224 本 × 3 m (672 m)			168 本 × 3 m (504 m)
装置改造費用		パス改造必要			
伝熱面積 / 重量		1215 m <sup>2</sup> / 3.1 t			915 m <sup>2</sup> / 1.9 t

損失は 25% 低下し、管側境膜係数は 2 倍に近い。このときの伝熱量増加の効果を小型化のために利用した hiTRAN 設計は、大きなコストダウンの可能性をもっている。

7. おわりに

エネルギー回収が省エネだけでなく地球環境の観点からも注目されている中、従来は捨てられていた中低温の廃ガスから、熱回収を効率的に行う伝熱促進の技術は益々重要となっている。今回の事例のように既設レキュペレーターの一部のみに hiTRAN を挿入した場合でも大きな省エネ効果の得られることが明らかとなり、推算結果どおりの実績が得られている。

また、新設設備の場合、hiTRAN の特性を生かした設計 (hiTRAN 設計) によって、一部の事例の計算結果が示す通り、熱交換器の小型化が期待できる。この小型化によるコストダウン効果は非常に大きいと考えられるので、既設・新設を問わずこの分野での hiTRAN の普及を積極的に実施してゆきたい。

さらにこれらの分野の技術評価にはその有効性を迅速に検証するためのソフトウェアは必須である。hiTRAN はその素子の伝熱促進効果もさることながら、HTRI, HTFS のように権威ある熱交換器設計のためのソフトウェアに、hiTRAN の適用を具体的に計算できるアドインソフトウェアを組み込むことで、容易に具体的な省エネ効果を推算出来ることは今後の普及のために重要なことである。具体的な個別案件についてのお問い合わせを期待している。

(参考文献)

- 1) HTRI: Heat Xchanger Suite 6.0, Heat Transfer Research, Inc.  
<http://www.htri.net/>
- 2) HTFS: AspenTech EDR 7.1  
<http://www.aspentech.com/corporate/index.aspx>
- 3) CalGavin Ltd.  
<http://www.calgavin.com/>
- 4) CalGavin Japan  
<http://www.calgavin.jp/>