

## 排ガス熱回収における管側伝熱促進体 hiTRANの活用

- 排ガス熱回収によるコストダウン
- さらに設備コストの削減を目指して
- (既設、新設にも適用可能な技術)

 **住金物産マテックス株式会社**

## 第1部: hiTRANとは！！

1. CalGavin社の紹介
2. hiTRANワイヤー素子の形状と流体への作用
3. ソフトウエアHTRIとhiTRAN.SPアドイン  
HTRIソフトとは？ <http://www.htri.net/>

## 第2部: hiTRAN設計Case Study

工業炉などにおける従来設計とhiTRAN設計の違い

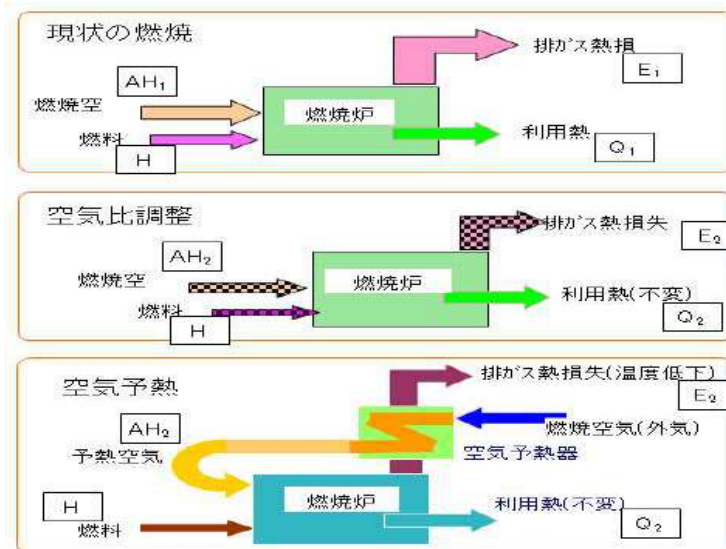
 **住金物産マテックス株式会社**

## 第2部 : hiTRAN設計Case Study

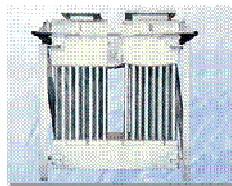
1. 大型ガス-ガス空気予熱器 (Recuperator)へ適用
  - a) 4パス - LT25%、50%hiTRAN挿入事例  
許容圧損制限下での熱回収率向上
  - b) パス低下と100%hiTRAN挿入による最適化  
2パスに改造し、許容圧損内で最大効果を得る
2. 小型1Pass ガス - ガス空気予熱器の場合  
Recuperatorの寸法 (Geometry)  
許容圧損とhiTRANの密度
3. ガス (中温) - 熱媒体液 (HTO)、熱交換器への適用  
hiTRANの密度と許容圧損  
最適 (小型化) 設計事例  
エクセルギー効率



## 工業炉の省エネプロセス



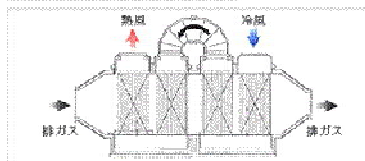
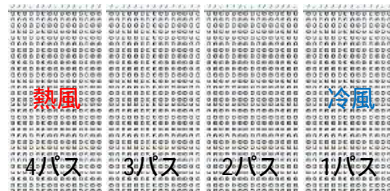
## Case 1: 大型Gas-Gas空気予熱器 Geometry (寸法)



並列2バンドル

バンドルrows 60/4パス

Odd/Even 30/30



空気4パス/排ガスクロス  
排ガス: 40000Nm<sup>3</sup>/h 800  
空気: 35500Nm<sup>3</sup>/h 25

管タイプ: Plain(炭素鋼)  
外径/内径: 42.7/36.7mm  
管有効長: 3.0m  
総本数: 1800本  
伝熱面積: 1323m<sup>2</sup>  
熱負荷: 7.83MW

配列: 格子  
列ピッチ: 75mm  
行ピッチ: 75mm  
バンドル幅: 2.237m  
バンドル重量: 67.732t

住金物産マテックス株式会社

### Case1 補足説明

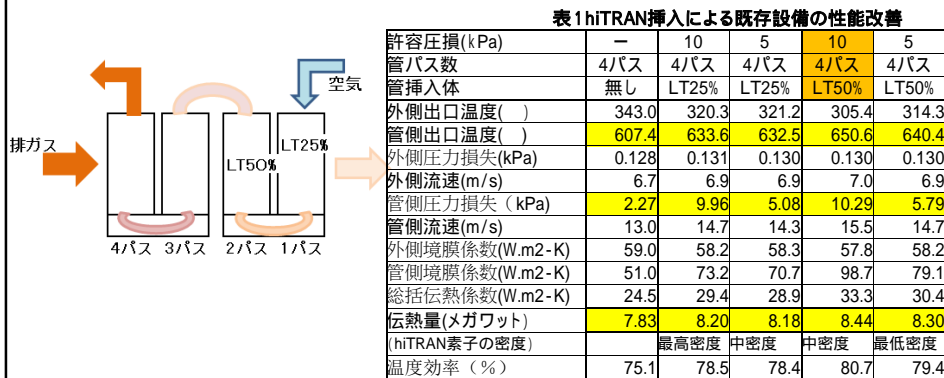
ケース1は排ガス量4万4千ノルマルリュウベイパーアワーの既設の空気予熱器の場合です。直径43mmで3メートルの管が1800本使用され、管側空気は排ガスとクロスに、60列を4パスで流れます。空気に与えられる熱量は7.8MW、バンドル幅は2.3m、で、重量68トンのバンドルが2つ並列に並びます。

25 の空気は右側から入り、最初のパスから順次2, 3, 4パスを経て、温められます。既存の4パスレキュペレーターにhiTRANを100%挿入することは、圧力損失が大きく成りすぎるので、現実的ではありません。そこで低温側の1パス目のみに挿入する場合(LT25%)と1+2パスの両方に入れる場合(LT50%)の2つについて、現状のPlain管の場合とを比較計算しました。また許容される圧力損失も5kPaと10kPaの2段階で実施しました。これは挿入するhiTRAN素子の密度を変化させることを意味しています。

低温側に入れたのは、hiTRANは高粘度流体の場合に効果的なため、予備的な計算では、高温側(HT25%, HT50%)は低温側より1程度熱回収が悪くなるようです。以上のような条件で熱交換機的设计・評定のソフトウェアであるHTRIを用いて計算しました。

住金物産マテックス株式会社

既存設備の性能向上 : a) 管側低温側の1/4と1/2にhiTRANを挿入  
許容圧損を10kPaと5kPaでhiTRAN素子を選定



1. LT25%でもPlainに比べて25%以上の熱回収効果がある。温度効率で言えば3.5%向上となる。
2. LT25%ではhiTRAN密度を大きく(圧損を大きく)しても1%しか効果が無い。これは総括伝熱係数の差の小さいためである。(29.4と28.9W/m<sup>2</sup>-K)
3. LT50%の場合にはhiTRANの効果は大きく、Planに比べて空気出口温度は40°C程度も高くなる。温度効率5%の向上が達成される。
4. 同じ圧力損失で25%と50%挿入を比較すると、50%挿入が熱回収率が高い。

既存設備のバスを改造:b) 全体を2バスに改造し、hiTRANを全てに挿入

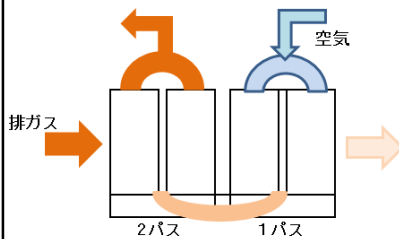


表2バンドル改造で2バスとした場合

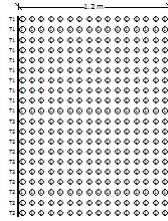
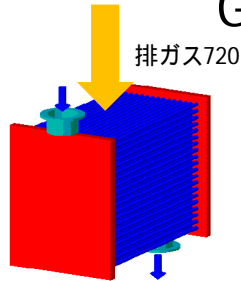
|                             |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 許容圧損(kPa)                   | 10    | 5     | 5     | 10    |
| 管バス数                        | 4バス   | 2バス   | 2バス   | 2バス   |
| 管挿入体                        | LT50% | LT50% | 100%  | 100%  |
| 外側出口温度( )                   | 305.4 | 344.4 | 304.5 | 302.6 |
| 管側出口温度( )                   | 650.6 | 605.8 | 651.6 | 653.9 |
| 外側圧力損失(kPa)                 | 0.130 | 0.133 | 0.125 | 0.125 |
| 外側流速(m/s)                   | 7.0   | 7.3   | 6.7   | 6.7   |
| 管側圧力損失(kPa)                 | 10.29 | 3.29  | 5.20  | 6.86  |
| 管側流速(m/s)                   | 15.5  | 7.8   | 7.6   | 7.7   |
| 外側境界係数(W.m <sup>2</sup> -K) | 57.8  | 58.0  | 57.6  | 57.6  |
| 管側境界係数(W.m <sup>2</sup> -K) | 98.7  | 65.4  | 157.1 | 164.0 |
| 総括伝熱係数(W.m <sup>2</sup> -K) | 33.3  | 27.8  | 38.8  | 39.3  |
| 伝熱量(メガワット)                  | 8.44  | 7.81  | 8.45  | 8.49  |
| (hiTRAN素子の密度)               | 中密度   | 最高密度  | 中密度   | 最高密度  |
| 温度効率(%)                     | 80.7  | 74.9  | 80.9  | 81.1  |

Case1 b) 補足説明

ケースa)では既存設備を全く改造せずに、ハイトランのみを挿入したが、圧力損失を小さい状態で、熱回収を向上させる案として、4バスを2バスに改造した場合について、HTRI上で検討しました。ダクトなどの改造のための設備改造は必要ですが、低い圧力損失で、高い温度効率の得られることが判りました。

1. 2バスのLT50%では、hiTRAN無しとの空気出口温度とほぼ同等で(606 )、hiTRANの効果はない。
2. 2バスで100%hiTRAN挿入の場合、4バスの圧損の約半分で、空気出口温度650 が達成可能である。
3. hiTRAN中密度と高密度の管側出口温度の差は2 程度と小さく、いたづらに密度を上げる必要は無い。
4. hiTRANは部分的に挿入する(LT25,LT50%等)よりは、最適バス数に減少して、hiTRANを100%挿入すべきである。

## Case2: 小型Gas-Gas空気予熱器 Geometry (寸法)



Number of tuberos /  
tubepasses  /

Number of tubes in each  
odd/even numbered row  /

空気1パス/排ガスクロス  
排ガス: 1400Nm<sup>3</sup>/h 720  
空気: 1300Nm<sup>3</sup>/h 25

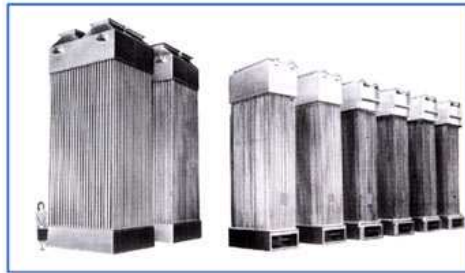
管タイプ: Plain(炭素鋼)  
外径/内径: 44.5/38.4mm  
管有効長: 2.20m  
総本数: 320本  
伝熱面積: 86.67m<sup>2</sup>  
熱負荷: 1.47MW

配列: 格子  
列ピッチ: 75.5mm  
行ピッチ: 81mm  
バンドル幅: 1.196m  
バンドル重量: 15.088t

 住金物産マテックス株式会社

### Case2 補足説明

これは排ガスダクトの途中に取り付ける1パスの小型の空気予熱器です。  
バンドル重量にして、ケース1のほぼ1/4の大きさです。



このケースでは外側排ガスの流速がケース1  
の場合(7m/s)よりもほぼ倍近くの設計となっており、外側境界膜伝熱  
係数も大きいことが期待されます。  
また管側のパスは1パスなので、圧力損失も少なくhiTRANの効果  
が期待されます。

 住金物産マテックス株式会社

表3小型Gas-Gas空気予熱器(排ガス720 )

|                             |       |       |        |        |        |
|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 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( )                   | 558.4 | 496.9 | 437.3  | 430.1  | 433.8  |
| 管側出口温度( )                   | 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.m <sup>2</sup> -K) | 88.8  | 86.4  | 83.7   | 83.4   | 83.5   |
| 管側境膜係数(W.m <sup>2</sup> -K) | 34.5  | 67.7  | 183.4  | 215.9  | 206.3  |
| 総括伝熱係数(W.m <sup>2</sup> -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)               |       |       | 低密度    | 中密度    | 最高密度   |
| 温度効率(%)                     | 29.0  | 39.6  | 49.5   | 50.7   | 50.1   |

まとめ

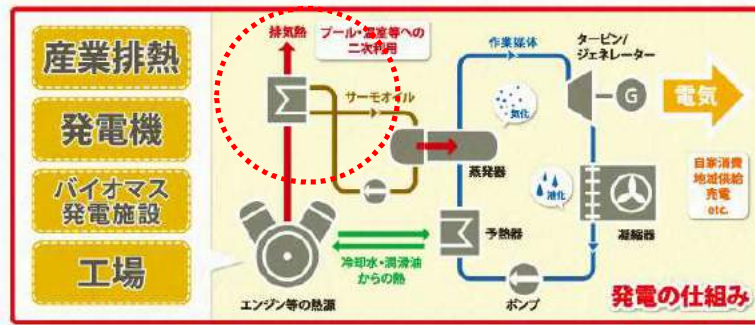
1. Plainの1パスを2パスとしても、空気出口温度は300 と低いが、外側境膜係数は大きいので、hiTRANの挿入効果は期待できる。
2. hiTRANを挿入すると管側境膜係数が改善され、出口温度は Plainの1パスに比べ、150 、2パスと比べても、70 以上出口温度が改善される。
3. hiTRANの密度(許容圧損の増加)による改善効果は小さく、最高密度を使う必要は無い。
4. 温度効率は30~40%から50%にまで、向上する。



## Case3: 中温Gasからの液(HTO)への熱回収

### ORC: オーガニックランキンサイクル

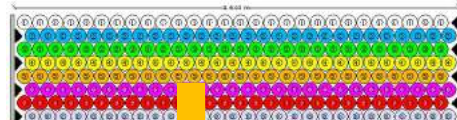
#### ORC発電の仕組み



<http://www.gifu-shinoda.co.jp/>より

住金物産マテックス株式会社

## Case3: 中温Gasからの液(HTO)への熱回収



排ガス: 23000Nm<sup>3</sup>/h  
入口温度300  
長さ3m 列数8  
HTO(熱媒油): 18000kg/h  
入口温度100

#### Bundle Information

Bundle width 1,644 mm  
Number of tube rows 8  
Number of tubes 224  
Minimum wall clearance  
Left 9.5250 mm  
Right 9.5250 mm  
Number of tubes per pass  
○ Tubepass # 1: 28  
● Tubepass # 2: 28  
● Tubepass # 3: 28  
● Tubepass # 4: 28  
● Tubepass # 5: 28  
● Tubepass # 6: 28  
● Tubepass # 7: 28  
○ Tubepass # 8: 28

#### Tube Geometry

| Tube type          | High-finned  |
|--------------------|--------------|
| Tube OD (mm)       | 25.400       |
| Tube ID (mm)       | 19.862       |
| Length (m)         | 3.000        |
| Area ratio(out/in) | (-) 30.0787  |
| Layout             | Staggered    |
| Trans pitch (mm)   | 57.000       |
| Long pitch (mm)    | 49.362       |
| Number of passes   | (-) 8        |
| Number of rows     | (-) 8        |
| Tubecount          | (-) 224      |
| Tubecount Odd/Even | (-) 28 / 28  |
| Tube material      | Carbon steel |

#### Fin Geometry

| Type                  | Plain round             |
|-----------------------|-------------------------|
| Fins/length           | fin/meter 433.1         |
| Fin root              | mm 25.400               |
| Height                | mm 15.875               |
| Base thickness        | mm 0.432                |
| Over fin              | mm 57.150               |
| Efficiency            | (%) 79.3                |
| Area ratio (fin/bare) | (-) 23.519              |
| Material              | Aluminum Alloy 1060 - O |

住金物産マテックス株式会社



Case3: 中温Gasからの液(HTO)への熱回収

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 |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|-------|--------|-----|
|                | 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( )      | 164.9           | 136.4  | 143.5  | 154.6  | 168.8 | 162.4  |     |
| 管側出口温度( )      | 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(W.m2-K) | 43.4            | 42.7   | 42.8   | 43.0   | 43.2  | 43.3   |     |
| 管側境膜係数(W.m2-K) | 659.8           | 2757.2 | 1859.9 | 1263.0 | 851.2 | 1493.9 |     |
| 総括伝熱係数(W.m2-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(m2)       | 1215            |        |        |        |       | 915    |     |
| 管本数/列数         | 224/8           |        |        |        |       | 168/6  |     |
| バンドル重量(kg)     | 3091            |        |        |        |       | 1920   |     |

Case3: 低温Gasからの液(HTO)への熱回収  
まとめ

1. 管側液体は圧力損失が大きくとれるので、Plainでは列のフルパスとしており、管側境膜伝熱係数はかなり大きい。
2. hiTRAN挿入で境膜伝熱係数が8パスで4倍にまで向上し、1パスでもPlainの8パスと同等であり、管側出口温度も3低いのみである。
3. hiTRAN改善効果をサイズダウン(伝面減少)設計に用いると、2パスで同じ伝熱負荷とすると、224本8列を168本6列に小型化出来、バンドル重量も約2/3に小型化可能。