

ロシア石油会社における hiTRAN®導入の実施事例の紹介
接触改質設備 Feed/Effluent 熱交換器へ導入による燃料と CO₂ 排出量の削減
Introduction of hiTRAN® enhancement to modern Russian refinery, LUK OIL

SYNOPSIS

By installation of hiTRAN® Wire Matrix to the existing combined Feed/Effluent Heat Exchanger in Cat Reformer Unit achieved decreased fuel consumption and CO₂ emission and made to possible to increase throughput in the future.

1. はじめに

製油所の接触改質設備は SR 重質ナフサを主原料とし改質反応によりオクタン価の高いガソリン基材をつくる設備である。製品には石油化学原料となる BTX 芳香族留分も多量に含有されており高付加価値の製品を製造する重要設備に位置づけられている。

水素化処理 反応器周りにある Feed/Effluent 熱交換器の管側に hiTRAN®伝熱促進エレメントを挿入して総括伝熱係数を増大し、加熱炉へ供給される原料温度を上昇させた結果、加熱炉燃料の所要量が大幅に削減できた。



写真 LUKOIL 社のボルガグラード製油所

ソビエト連邦時代と相違して古い製油所ではなく、最新鋭の設備である。近年 原油処理能力を倍増させ年産 4.5 百万トンにした。改質設備への hiTRAN®プロジェクトは 2006 年から検討が開始された。ボルガグラードは以前スターリングラードと呼ばれていた都市で南ロシアに位置する人口 100 万の工業都市である。

2. 対象の製油所

ロシアの巨大な製油会社である LUKOIL 社は Cal Gavin 社の hiTRAN®伝熱システムを接触改質反応設備に採用して熱回収を改善した。この改造工事の実施により燃料費が年間 US\$233,000 (¥20,970,000) 削減でき、この余力により、将来の生産量増大の可能性が確保

できた。

油の価格は安価であっても、製油所では燃焼用の油はできるだけ使いたくない。この原則はロシア最大の製油所 LUKOIL 社ボルガグラード製油所においても例外ではない。

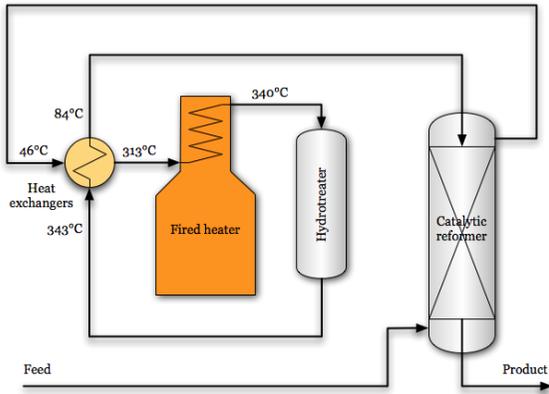
原料油を反応器に供給する温度を維持するため加熱炉では 330Kg/hr(727Lb/hr)の燃料が消費されていた。このこと自体が高価であるのに、さらに通油量が増えると、より一層効率は低下した。燃料所要量が 3 倍に増大すると既設の加熱炉の設計容量を超えるというのが実情であった。

Cal Gavin 社は既設の熱交換器に伝熱促進システムを導入し、予熱温度を上昇させることに成功した。この全体プロジェクトは数カ月をかけて計画され、熱交換器の性能改善工事は 2 週間で完工させた。この改善工事は顧客の厳しい性能保証要求値をクリアーし、2009 年 11 月に稼働して以来 現在までトラブル無く運転されている。

3. 熱交換器と加熱炉

ボルガグラード製油所の接触改質設備の水素化処理の反応器周りに Feed/Effluent 熱交換器がある (図-1)。2006 年 11 月に本プラントを稼働させて以来、この熱交換器は水素化処理原料 (炭化水素と水素の混合物) を 260°C 迄、反応器出口流体 19 MW (16.3 MM(百万)Kcal/hr) と熱交換させて昇温させていた。

水素化処理の反応器入口温度は 340°C 迄、加熱炉にて残りの熱量 4.1 MW (3.5 MM Kcal/hr) で昇温する。この燃料所要量は 330Kg/hr (727Lb/hr)である。



図－1 接触改質設備のプロセスフローシート
(各流体の流れ方向と hiTRAN®取付け後の期待温度を表す)

水素化処理設備の原料（炭化水素と水素の混合物）は最初に接触改質反応器から熱回収した後、水素化処理出口の流体から熱回収する。

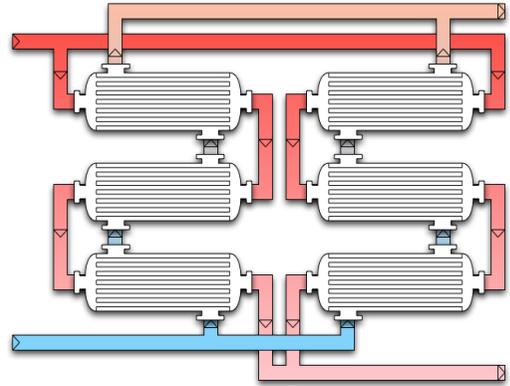
この熱回収により加熱炉出口所要の熱量を減少させるのが hiTRAN®プロジェクトの主目的である。

プラント設備の生産量の増大は、より一層の問題となる。提案された流量の増大は熱交換器の熱量が 28 MW (24.1 MM Kcal/hr) になり、加熱炉の熱量は 6MW (5.2 MM Kcal/hr) になる。これは燃料消費量を増大化させるのみならず 既設加熱炉の設計能力を超えた。

4. 熱交換器配列の詳細

この Feed/Effluent 熱交換器は並列 2 系列で各系列は 3 基の多管胴式の熱交換器が直列に形成される。各熱交換器は水平横置型で内径 1,400 mm(55 in.) 管長 9 m(30 ft)、管本数 2,521 本、管外径 25mm (1 in) 管内径 20 mm (0.79 in) 三角ピッチで収納されている。管側の流れはシングルパスで、胴側はヘリカルバフが設置されている。運転圧力は約 35Bar (500 psi) であり、両側の蒸気流量は 100 – 130m³/hr (3,500 – 4,600 ft³/hr) である。

反応器出口流体は管側を流れ、胴側を流れる原料と向流に熱交換して予熱される。出口流体は蒸気として流入し、最後の熱交換器を出るまでに凝縮され、一方の液体原料である流体は蒸発されてガス状態となる。



図－2 熱回収熱交換器

{ 6 基の水平横置型(3 x 2 配列) 内径 1,400(55 in) 管長 9 m (30 ft) }

LUKOIL 社の技術者は Feed/Effluent 熱交換器の伝熱性能を向上させれば、加熱炉の必要燃料が削減可能であると確信していた。総括伝熱係数 (HTC) 73 W/m²K (62.8 Kcal/m²hr °C) の既存値が 19.9 MW(17.1MM Kcal/hr) を達成していることを得ており、計算上 加熱炉で 4.1 MW(3.5 MM Kcal/hr) が付加させるべきであると理解していた。

総括伝熱係数を 191 W/m²K(164 Kcal/m² hr °C) に増大させれば 22.1 MW (19 MM Kcal/hr) の熱回収ができる。これは加熱炉の熱負荷を 1.9 MW (1.6 MM Kcal/hr) 削減する。より重要なのはこの性能が増すことにより年間百万トンの通油量の増大が出来ることである。

如何にして彼等はこの性能増大を達成したのであろうか。LUKOIL 社の技術者は Hi-PROM Bureau と呼ばれるセント・ペトロスブルグ市に所在するオイル・ガス・石油化学を得意とするコンサルタント会社に相談した。Hi-PROM Bureau は Cal Gavin 社 HTRI およ

びロシア内プロセスエンジニアリング会社代理店である。2009年3月に Hi-PROM Bureau は本件を Cal Gavin 社にこの問題解決を依頼してきた。

5. 管側に問題がありと確定

Cal Gavin 社の特許技術である hiTRAN® 伝熱促進技術（後段にある（注釈）を参照）は管側の境膜伝熱係数が支配因子である場合に限り驚異的に伝熱性能を改善することが同社のエンジニアリングマネジャーの Peter Ellerby 氏より説明がなされた。

LUKOIL 社から提供された当該熱交換器の運転 Data、構造図面、配置を解析した結果、管側の伝熱性能に問題解決の所在があることが判明した。

LUKOIL 社は胴側の汚れと不均一な流れの挙動が低い伝熱係数の原因であり、解決すべき問題と認識していた。知識と経験豊富な専門家によるシミュレーションによる解析の結果、汚れは今回の問題には無関係であると Ellerby 氏とそのチームにより確定された。

それよりも管側の低圧力損失が管束側へ不均一な流れを助長させるのではないかと指摘した。さらに悪いことに、軸方向に取り付けてあるノズルが中心部の管束に集中した偏った流れを起し、他の部分の管束には流れにくくしてしまっていることも指摘した。

Cal Gavin 社の技術者は hiTRAN®マトリックス素子の挿入による乱流効果が管内伝熱係数を増大させるだけでなく、管内圧力損失の増大が不均一な分配流れを解決することが出来ることも提案した。計算された管側伝熱係数の改善は $395 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($340 \text{ Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$) から $1,228 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($1056 \text{ Kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}$) となり、この結果、総括伝熱係数を増大させて加熱炉の所要燃料を削減させられると予想した。

LUKOIL 社関係者は総じてこの提案に受容的な人々であったが 1～2名の人は懐疑的であり、支払い条件に hiTRAN®の性能結果による

という条件を付けてきた。その条件を受諾したので、逆に同社の信頼が増し、同社内の推進者を元気づけた。

6. 設置工事と性能確認、引渡し

2009年7月に注文が確定し、総延長 136 Km の hiTRAN®マトリックス素子の製作が開始された。各個別の熱交換器ネットワークに応じて液相とガス相の変化の比率、圧力損失に適合した密度の素子が製作された。

2009年11月、LUKOIL 社のシャットダウン定期整備工事期間に、Cal Gavin 社の数人の指導監督者がサブコントラクターに派遣された。管束を取り出し管内洗浄を行った後に 15,126 本の hiTRAN®マトリックス素子の挿入作業は約1週間で完了した。



図3 解放された熱交換器群

装置の運転が LUKOIL 社担当者により再開され、通油量は徐々に定常運転流量にまで増加させられた。この運転の結果、改造された熱交換器が計画された性能を完全に満足していることが確認され、検収された。

最近の運転結果では hiTRAN®マトリックス素子を挿入した結果、冷流体と温流体の平均温度差が挿入前は 62°C (111°F) であったが、挿入後は 34°C (61°F) となった。加熱炉の熱負荷量が 4.2MW ($3.6\text{MMKcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$) から 2.0MW ($1.7\text{MMKcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$) に削減できたため、63 TJ/y ($15 \text{ billion Kcal/y}$) 省エネを達成した。燃

料削減金額は 7 billion Rubles (US\$ 233,000)
にも達する。

引き続き実施された実証運転結果は、従来の
27.8 MW (23.9MMKcal/m²hr^oC)から 32.4 MW
(27.9 MM Kcal/m² hr^oC)へと伝熱効率を増大
することが出来、この時の燃料の削減量は
4.6MW(3.6MM Kcal/m²hr^oC)に達することが
確認された。さらに重要なことは既設の加熱炉
に削減量部分の余裕ができたことにより、将来
原料油の通油量を増やして生産量を増大しよ
うとする時も新規の加熱炉増設を考慮するこ
とが不要になった。

LUKOI 第一副取締役、主席技術者 Vitaly
Anisimov 氏と部下の Yuri Moroskin 氏からは
“Cal Gavin 社の優秀で能力のある専門技術者
が hiTRAN[®]マトリックス素子の挿入したこと
により加熱炉の増設が不要になった”と謝辞が
あった。

このような大型の仕事をロシアで手掛けたの
は最初であり、ロシア最大の製油所で成功裏に
納入されたことは有意義なことである。このよ
うな 2 相流を取り扱う熱交換器の設計は設計技
術者には挑戦すべきよい機会でもある。これら
の好結果は偶然ではなく事前に計算され予測し
ていた通りの結果であったことが特筆される。

7 おわりに

Feed/Effluent 熱交換器は反応器出入口の自
己熱を回収する熱交換器なので、温度差も許容
圧損も少なく、また管の内外で相変化を伴うケ
ースが多くて比較的設計が難しい熱交換器に
分類される。

熱交換性能が悪いと必然的に原料温度が低く
なり、後段に設置される加熱炉の燃料が多量に
必要となる。これを防止・改善する為に既設の
熱交換器の後段にさらに熱交換器を一基追加設
置することも検討されるが、設備費と所要敷地
の制限より断念せざるを得ない場合が多い。

熱交換器の胴側の伝熱促進技術としては
Shell Global Solutions International 社で開発

された EMbaffle 技術があり、管内の hiTRAN[®]
Wire Matrix 技術により、管の内外のどちらの
問題にも対処できる。

余談ではあるが LIKOIL 社のこのプラントの
改善結果を炭酸ガス削減量に換算すると、次の
とおりとなる。

4, 500 トン/年

(注釈)

LUKOIL 社について

- ロシア最大の石油会社、売上高 US\$107
Billion 以上 (9 兆 6,300 億 円)
- 世界の油埋蔵量 1.1%と生産量は 2.3%
を支配している
- ロシアの原油生産量の 18%、原油精製量
の 19%
- London 株式市場にロシア企業として最初
に上場した企業
- ロシア連邦の最大の納税企業
- 1991 年に設立され三カ国の国営石油会社
から社名が名付けられた
- ロシア国内で運転している製油所は一
Perm、Volgograd、Ukhta、Nizhny
Novgord の 5 製油所—総生産量 4200 万
トン/年
- シシリーにある ISAB 製油所 総生産量
1600 万トン/年の 49 %株主

Cal Gavin 社および hiTRAN[®] について

hiTRAN[®]伝熱システムは英国法人 Cal
Gavin 社で開発商品化され伝熱流れの改善、熱
交換器の諸問題の解決とプロセス設備の効率の
向上を行います。

主として多管式熱交換器に適用されます。

hiTRAN[®]マトリックス挿入体は比較的安価
であり、導入費用は燃料削減量や能力増強の費
用で計算すると数カ月で償却できます。また取
付け、取り外しは容易です。

hiTRAN[®]伝熱システムは“乱流発生体”と
も呼ばれ、通常、管壁に固着した層流の流れを

壊す作用をしています。この乱流により、半径方向の流れを促進させ管内境界膜係数を増大させます。

そして hiTRAN® 伝熱システムは圧力損失を増大させる結果、管内の不均一な流れを改善して均一な流れを作ります。

hiTRAN®伝熱システムは 30 年間におよぶ成功事例の膨大なデータベースの蓄積と研究開発とノウハウにより、個別案件の設計を事前に性能を予測した提案ができます。

Cal Gavin 社の伝熱促進システムは多管胴式熱交換器、凝縮器、リボイラー、空冷式熱交換器、二重管式熱交換器、に適用できます。世界中に約 5,000 基以上の納入実績がある hiTRAN®は下記のことができます。

- 既設熱交換器の能力増大
- 新設の熱交換器の製作では小型化、コンパクト化によるコストダウンが可能
- 熱交換器の運転性能を改善し性能の余力を増大する
- エネルギー所要量を削減する
- 初期投資コストを削減する

世界の著名な石油精製、石油化学、化学業界の特異な事例に評価されて使用されています。

管の両側で相変換を起こしているような、LUKOIL 社での挿入事例は挑戦的な仕事であると Cal Gavin 社のエンジニアリングマネジャーの Peter Ellreby 氏は述べています。これら最近の相変換への納入事例が知識体系化されて、より一層、相変化、汚れやすい流体、炭化水素および水以外の流体への適用が増えています。

連絡先

日本 : Cal Gavin Japan

〒113-0034

東京都文京区湯島 2-31-15

和光湯島ビル 7F

E-mail : takasi@mbg.nifty.com

電話 : 03-6826-8106

本社 : Cal Gavin Limited

Minerva Mill Technology Center

Station Road, Alcester

Warwickshire, B49 5ET

United Kingdom

Tel : (0)44 1789 400401

Fax : (0)44 1789 400401

Email : hiTRAN@calgavin.com

www.calgavin.com