

hiTRAN.SP/HTRI 計算演習 (1)

2012 年 2 月.CalGavin.Japan (s.s)

1) はじめに

hiTRAN.SP プログラムが HTRI ソフトに AddIn されたのを機に、HTRI が用意している SampleHTRI ファイルを用いて、hiTRAN の効果を計算検証した結果を順次掲載する。第 1 回は Xist の管内に相変化の無い場合である。相変化のある場合はこの AddIn は対応していない。用いた HTRI の Sample ファイルは以下の 6 ファイルである。なお HTRI モードは全て Rating で実施し、OverDesign で評価した。

No	ファイル名	対象	規模
Ex 01	Xist_StandardCase_1.htri	Gas/Gas での熱回収 Shell-In : 272℃、Tube-In : 50℃	AEN、46MegaWatts 2358m ² (shell:2.5m、tube:13.7m)
Ex 02	Xist_StandardCase_2.htri	Liquid/Liquid で水冷却 Shell-In : 92℃、Tube-In : 32℃	AES、0.54MegaWatts 82.8 m ² (shell:0.48m、tube:4.9 m)
Ex 03	Xist_StandardCase_3.htri	Vapor 凝縮/Liquid 水冷却 Shell-In : 98℃ : V、Tube-In : 40℃	AET、0.41MegaWatts 31 m ² (shell:0.61m、tube:1.28 m)
Ex 04	Xist_StandardCase_4.htri	Vapor 凝縮/Liquid 水冷却 Shell-In:139℃ : V、Tube-In:27℃	AEM、6.2 MegaWatts 222 m ² (shell:0.84m、tube:4.88 m)
Ex 05	Xist_StandardCase_6.htri	Liquid 一部蒸発/Liquid 加熱 Shell-In : 77℃、Tube-In : 153℃	AHS、4.4 MegaWatts 425 m ² (shell:1.2m、tube:4.9m)
Ex 06	XIST_ShellsinSeries.htri 1 parallel_3series	Liquid/Liquid での熱回収 Shell-In : 288℃、Tube-In : 88℃	AES、5.4 MegaWatts、3 series 856 m ² (shell:0.84m、tube:6.1m)

注：上記 Sample ファイルは C:\HTRI\XchangerSuite6\Samples にある。

2) 計算結果と考察

Ex01 HotShell/ColdTube, Viscosity: 0.0277/0.0187(mN·s/m²) リンクは HTRIreport

事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m ² -K)	Tube h (W/m ² -K)	Actual U (W/m ² -K)	EMTD (°C)
Ex01-0	Gas/Gas 熱回収	Plain	3.4%	1	39.0	632.8	547.1	262.6	76.8
Ex01-1	272℃/50℃	hiTRAN	19.0%	1	315.1	632.9	716.5	302.2	76.8

この事例は Gas-Gas の熱回収で、Effluent の分子量 29.7、Feed は 19.5 が与えられている。燃焼 Air から供給 Air への熱回収も同様の一般的なプロセスである。

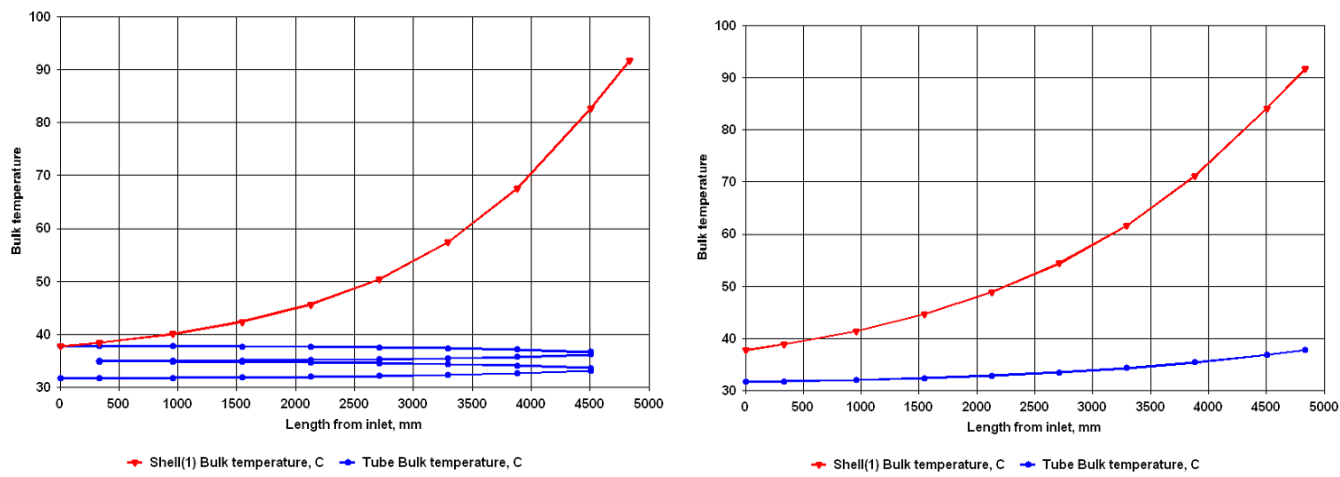
hiTRAN の適用効果は OverDesign にして 16%と少なく、圧損(dP)が 8 倍になるため、メリットがあるとは言えない。元々胴/管両側の h がバランスしており、管側伝熱促進の効果の少ない事例と言える。

Ex02 HotShell/ColdTube, Viscosity: 0.286/0.7697(mN·s/m²) リンクは HTRIreport

事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m ² -K)	Tube h (W/m ² -K)	Actual U (W/m ² -K)	EMTD (°C)
Ex02-0	Liquid/Liquid 水冷却	Plain	-8.7%	4	57.5	425.2	6768.2	362.4	16.7
Ex02-1	92℃/32℃	hiTRAN	-5.7%	4	366.4	425.2	12817.2	374.7	16.7
Ex02-2	(Tube pass 減少)	hiTRAN	22.3%	1	60.2	439.0	9590.8	380.4	21.3

高温のベンゼンを水で冷却する場合で、一般的な冷却プロセスである。管側の流速を増して h を大きくするた

め、管を4パスとしている。4パスのまま hiTRAN を適用してもいたずらに圧損を上げるばかりであるが、管側を1パスとすることで、ほぼ同じ圧損になり、OverDesign が16%も向上する。これは EMTD が4℃も向上したためである。以下の4パスと1パスの温度プロファイルから判るように、入口付近で温度クロスの直前である。



Ex03 HotShell/ColdTube, Viscosity: 0.0109/0.6522(mN-s/m2) リンクは HTRIreport

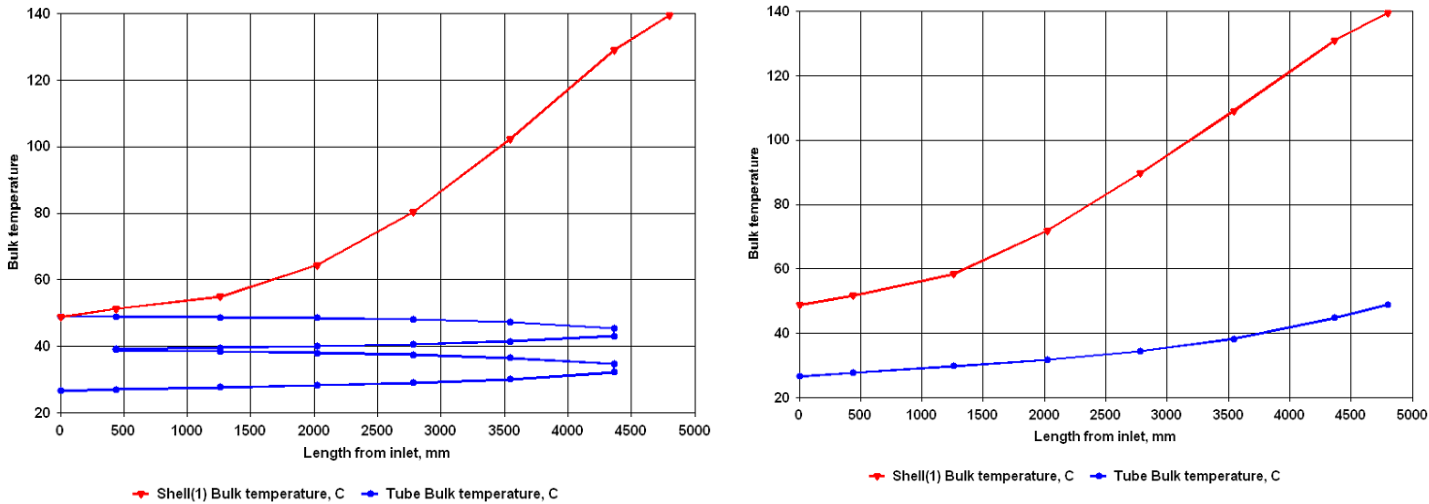
事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m2-K)	Tube h (W/m2-K)	Actual U (W/m2-K)	EMTD (°C)
Ex03-0	Vapor 凝縮／水冷却	Plain	-10.3%	1	7.5	519.4	4246.6	451.1	23.8
Ex03-1	98°C／40°C	hiTRAN	-2.2%	1	19.9	519.4	11927.1	490.5	23.8

この事例は蒸気を水で冷却する一般的なプロセスであるが、先の EX02 と違い、1パスで管側 h が十分大きいので、hiTRAN 適用のメリットはほとんど全く見られない。(Sample ファイルの管外径は 12.7mm と hiTRAN.SP の適用範囲外だったので、14mm と増加したが、ほとんど差異はなかった。)

Ex04 HotShell/ColdTube, Viscosity: 0.0091/0.8571(mN-s/m2) リンクは HTRIreport

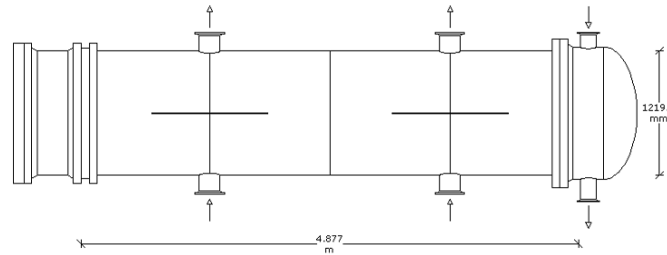
事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m2-K)	Tube h (W/m2-K)	Actual U (W/m2-K)	EMTD (°C)
Ex04-0	Vapor 凝縮／水冷却	Plain	-14.7%	4	67.9	666.7	8411.7	596.6	39.9
Ex04-1	139°C／27°C	hiTRAN	11.2%	4	431.0	667.0	12325.3	621.0	39.9
Ex04-2	(Tube pass 減少)	hiTRAN	18.5%	1	68.0	717.9	11081.8	651.7	50.8

上記事例とは 4パスであるところが異なる。Ex02 と温度プロファイルも同様で、1パスで hiTRAN 適用の効果が出る。管のパス数の多い場合に、hiTRAN の促進効果の得られる適用の好事例である。

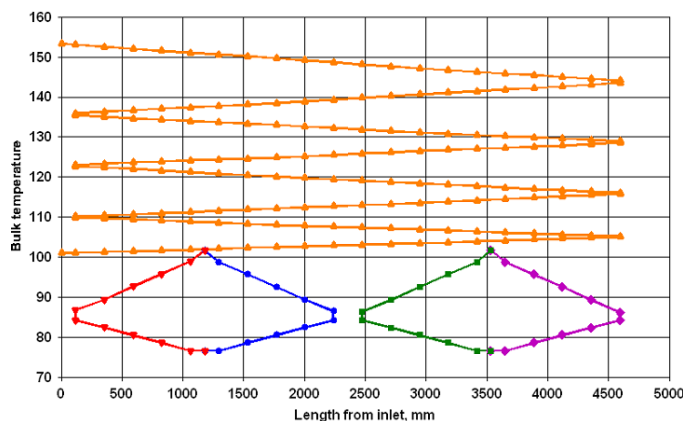


事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m2-K)	Tube h (W/m2-K)	Actual U (W/m2-K)	EMTD (°C)
Ex05-0	Liq.蒸発/Liquid 加熱	Plain	45.5%	8	84.1	1220.0	2023.1	422.5	35.6
Ex05-1	77°C/153°C	hiTRAN	64.9%	8	533.3	1220.0	3582.0	478.9	35.6
Ex05-2	(Tube 4pass へ減少)	hiTRAN	53.4%	4	101.9	1220.0	2537.2	447.1	35.5
Ex05-3	(Tube 2pass へ減少)	hiTRAN	55.1%	2	90.0	1220.0	2589.7	449.1	35.7
Ex05-4	(Tube 1pass へ減少)	hiTRAN	28.3%	1	15.8	1220.0	1691.6	401.4	33.0

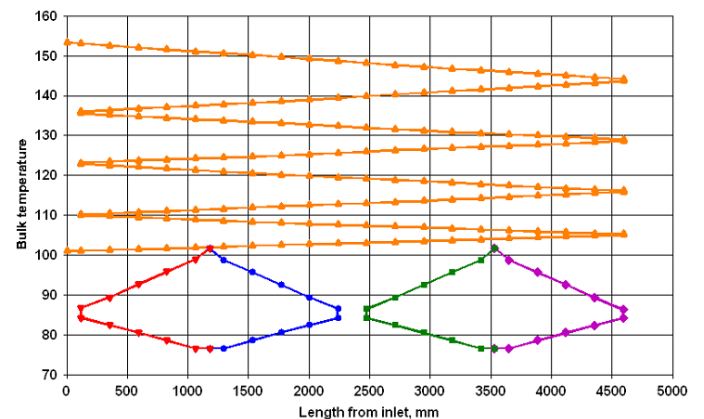
TEMA type AHS
Shell diameter 1219.2 mm
Tube length 4.877 m
Dry weight 17412 kg/shell
Wet weight 23692 kg/shell
Bundle weight 8213 kg/shell



この事例は胴側に 77°C炭化水素混合物が 2 カ所から入り、153°Cの熱媒に加熱されて、その一部(30%)が蒸発し、管側が 8 パス(ノズルは片側)と言う特殊な熱交換器である。結果は上記の通り hiTRAN を挿入した場合、パス数を 2 とし、圧損同等で 10%程度の向上が得られるが、20%を向上させるためには 7 倍近い圧損となり、実際的ではないであろう。以下にそれぞれの温度パターンを示す。

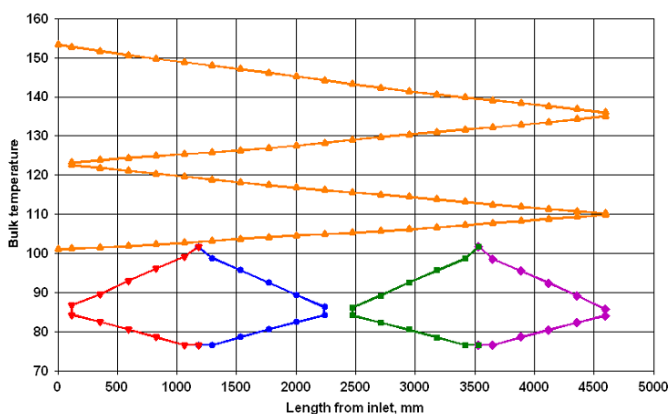


● Shell(1) Bulk temperature, C
● Shell(3) Bulk temperature, C
● Tube Bulk temperature, C
● Shell(2) Bulk temperature, C
● Shell(4) Bulk temperature, C

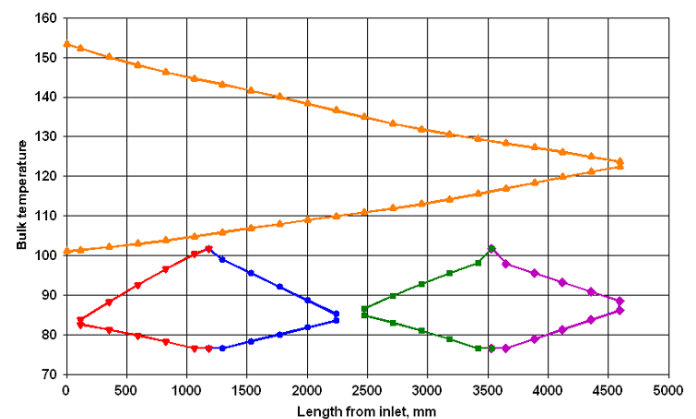


● Shell(1) Bulk temperature, C
● Shell(3) Bulk temperature, C
● Tube Bulk temperature, C
● Shell(2) Bulk temperature, C
● Shell(4) Bulk temperature, C

温度プロファイル Ex05-0 と Ex05-1

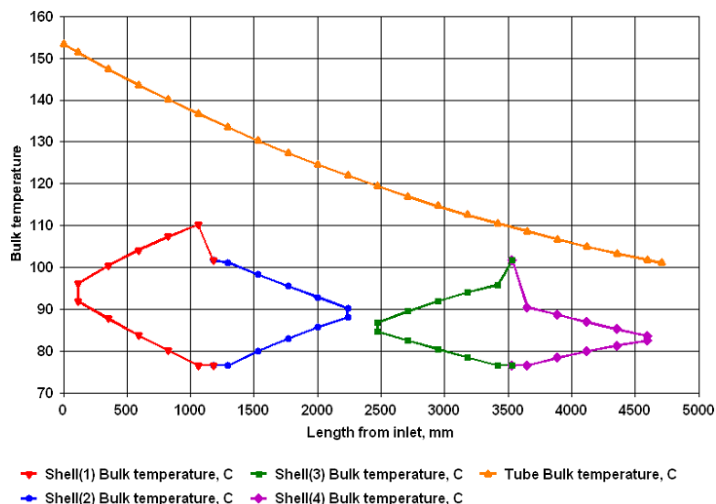


● Shell(1) Bulk temperature, C
● Shell(3) Bulk temperature, C
● Tube Bulk temperature, C
● Shell(2) Bulk temperature, C
● Shell(4) Bulk temperature, C



● Shell(1) Bulk temperature, C
● Shell(3) Bulk temperature, C
● Tube Bulk temperature, C
● Shell(2) Bulk temperature, C
● Shell(4) Bulk temperature, C

温度プロファイル Ex05-2 と Ex03



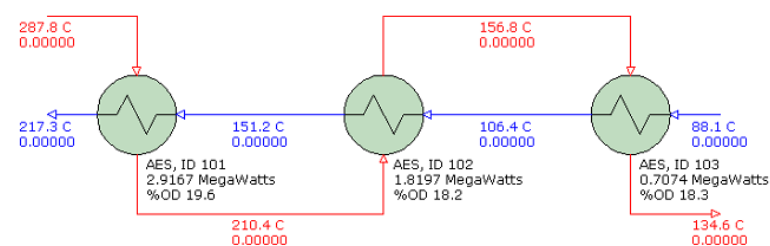
温度プロファイル Ex04

Ex04 の shell 側の温度プロファイルが歪んでいるが、
 他はパス数によって大きく変わらないので、
 hiTRAN 挿入の場合の圧損最小の 2 パスで 10% の伝熱
 促進が期待できる。

Ex04 HotShell/ColdTube, Viscosity: 0.063/6.45(mN-s/m²) リンクは HTRIreport

事例 No	プロセス概要	条件	Over Design	Tube Pass	Tube dP(kPa)	Shell h (W/m ² -K)	Tube h (W/m ² -K)	Actual U (W/m ² -K)	EMTD (°C)
Ex06-0	Liquid/Liquid 熱回収	Plain	18.7%	4	34.5	903.2	333.2	164.1	46.0
Ex06-1	3seriese288°C/88°C	hiTRAN	134.8%	4	191.7	884.9	1249.6	291.9	51.3
Ex06-2	3seriese	hiTRAN	148.9%	2	101.9	886.8	1292.5	294.8	51.2
Ex06-3	3seriese	hiTRAN	180.2%	1	34.3	907.8	1104.7	283.6	58.5
Ex06-4	2seriese	hiTRAN	87.0%	1	22.9	912.3	1109.1	284.4	58.4
Ex06-5	1seriese	hiTRAN	-7.3%	1	11.5	915.4	1110.9	284.7	57.9
Ex06-6	1seriese	hiTRAN	-81.0%	2	33.9	838.9	1400.2	295.5	11.7

この例は原油残渣油からの原油への熱回収で、粘度が高いので hiTRAN の効果を発揮できるところである。
 原油の粘度はこの温度範囲で 100 倍に達する。3 シリーズであるが、この原油精製工程の熱回収が後工程の燃焼
 炉の燃料原単位に大きく影響する。また汚れも発生し易いプロセスである。

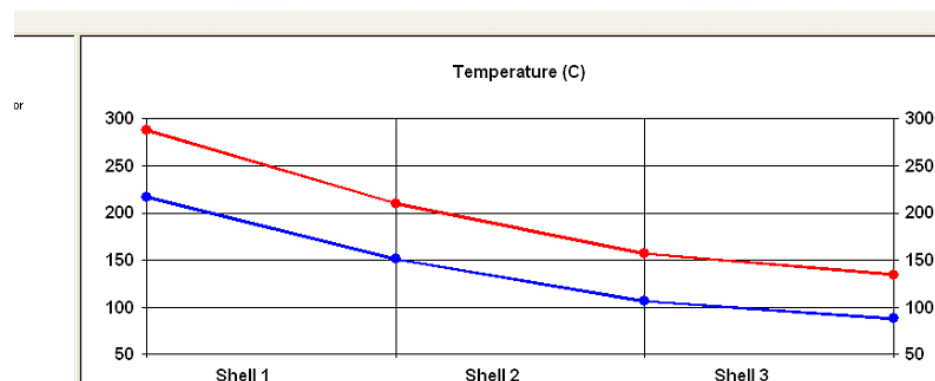


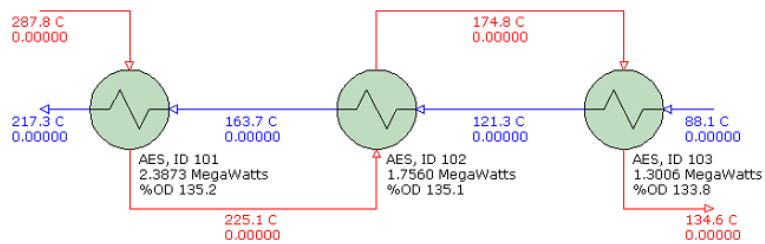
Ex06-0 none : pass 4
 OverDesign

Shell-1 19.6%

Shell-2 18.2%

Shell-3 18.3%





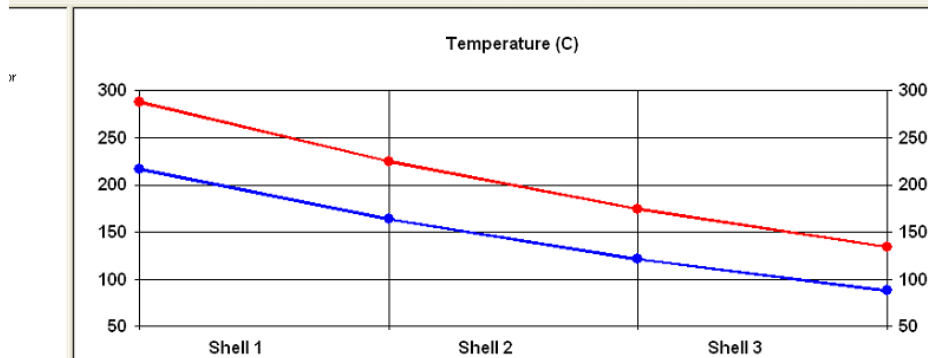
Ex06-1 hiTRAN : pass 4

OverDesign

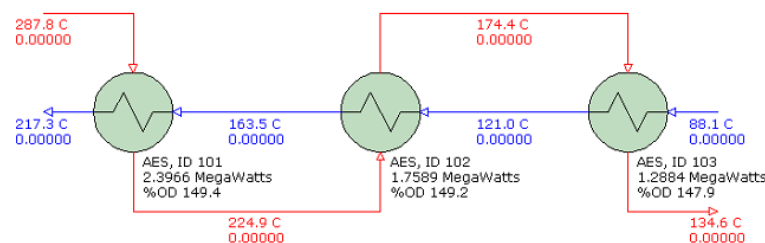
Shell-1 135.2%

Shell-2 135.1%

Shell-3 133.8%



圧損は 6 倍になるが、OverDesign は 2.35 倍である。6 倍の圧損を設備することは難しい？



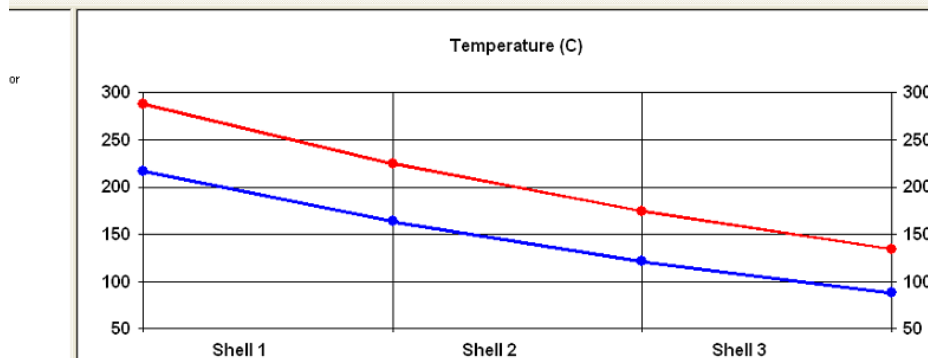
Ex06-2 hiTRAN : pass 2

OverDesign

Shell-1 149.4%

Shell-2 149.2%

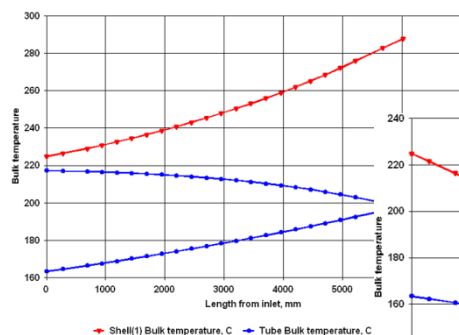
Shell-3 147.9%



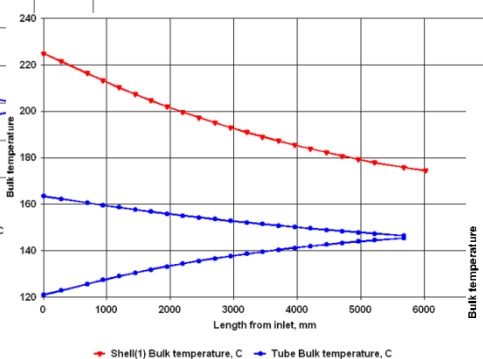
2pass にすることで圧損は 3 倍まで少なくなり、OverDesign はさらに良くなる。

OverAll の EMTD は変わらないが、それぞれの交換器内の EMTD が変化しているからであろう。

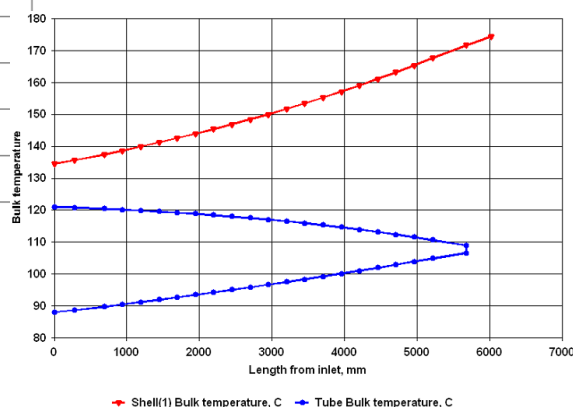
Shell-1 EMTD:55.9°C

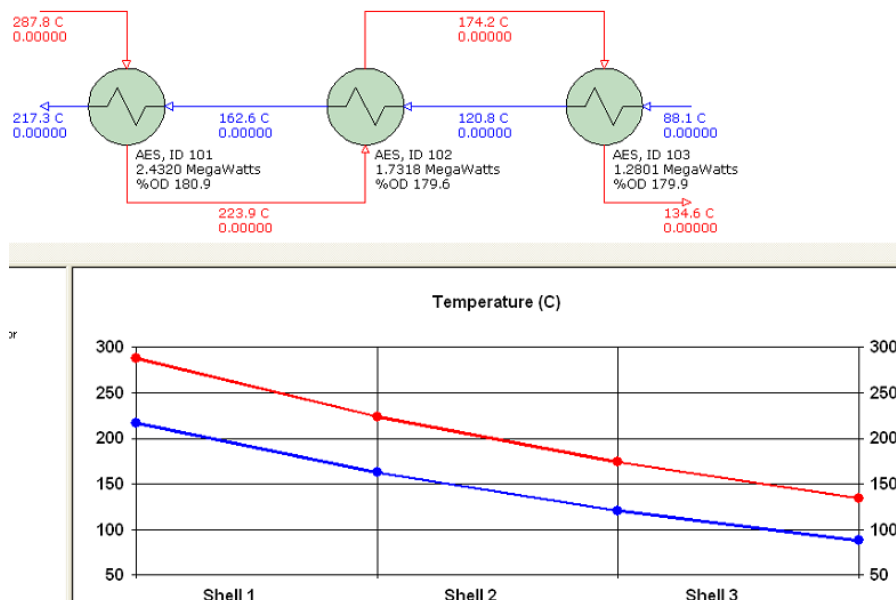


Shell-2 EMTD:50.5°C



Shell-3 EMTD:45.0°C





Ex06-3 hiTRAN : pass 1

OverDesign

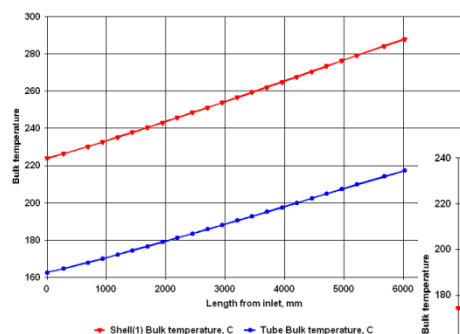
Shell-1 180.9%

Shell-2 179.6%

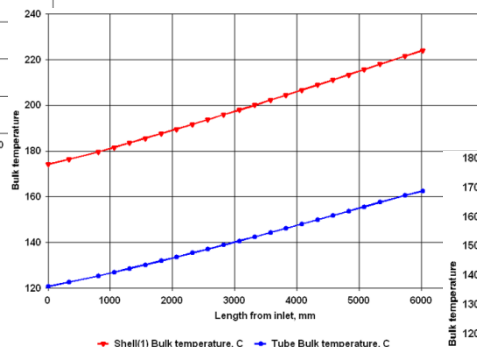
Shell-3 179.9%

1pass にすることで、EMTD も向上し、約 3 倍近い。これを 2 および 1 シリーズとし、予備機として持つことも可能であろう。

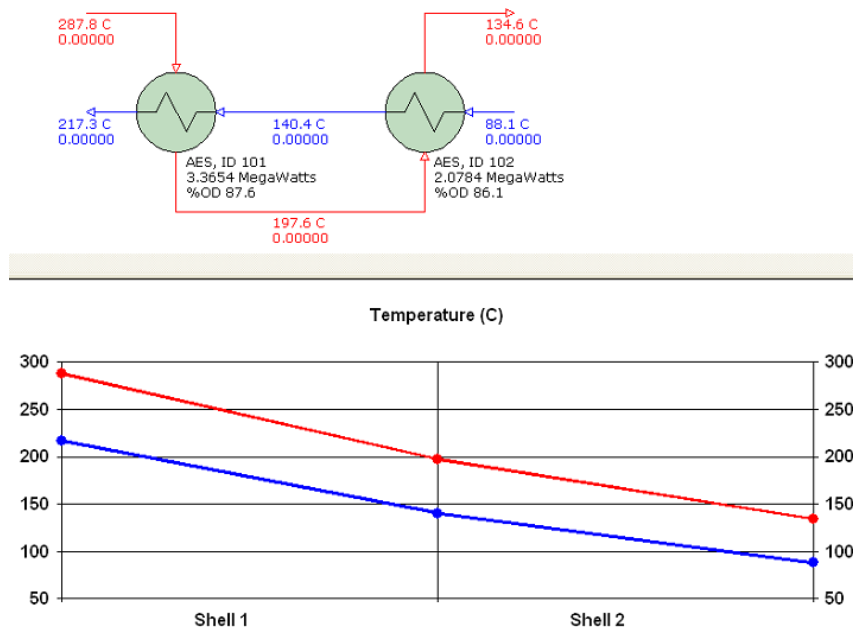
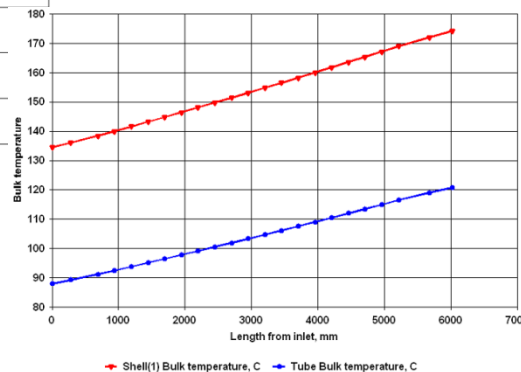
温度プロファイルは各 shell とも下図のように理想的となった。



Shell-2 EMTD: 57.1°C



Shell-3 EMTD: 49.8°C



Ex06-4 hiTRAN : pass 1

2-Series

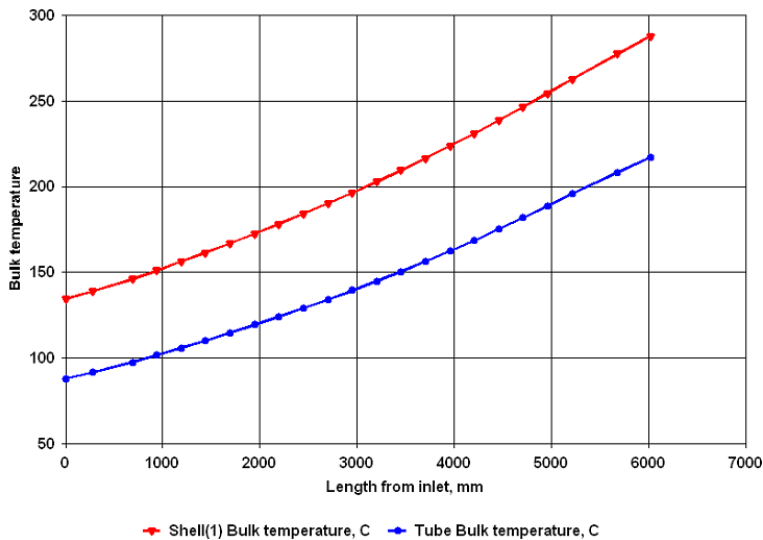
OverDesign

Shell-1 87.6%

Shell-2 86.1%

2-Series でまだ十分余裕があり、1 台は予備機として使える。

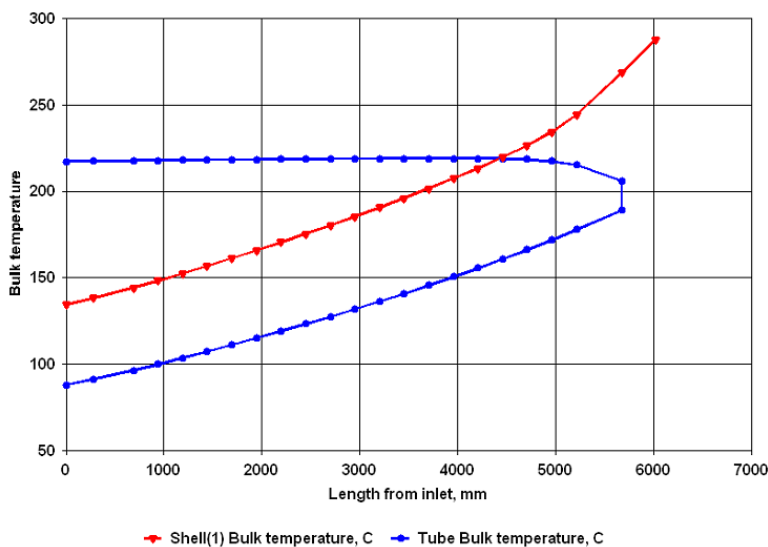
それぞれの EMTD は Shell-1: 63.6°C、Shell-2: 51.6°C であった。



**Ex06-5 hiTRAN : pass 1
1-Series**

OverDesign -7.3%

さすがに一基ではこの duty は賄えない。管側流速を上げるため、2pass を検討したのが次である。



**Ex06-6 hiTRAN : pass 2
1-Series**

温度クロスを生じ、OverDesign は-80%に達した。Pass 数増加は EMTD に対して逆効果であることが明らかである。

3 まとめ

- 1) Shell 側の h が小さい場合は、Tube 側に hiTRAN を使用して h を上げて、圧損が大きくなり、効果は少ない。Ex01,Ex03
- 2) しかし Tube 側がパス数を多くして流速を上げている場合は、パス数を小さくすると圧損は小さくなり、EMTD が大きくなるので、メリットが得られる。Ex02,Ex04
- 3) Ex04 は Shell 側の 2 か所から流体が入る特殊なタイプであるが、この場合には 1 パスにするのではなく、2 パスで、全体の温度プロファイルがバランスし、OverDesign は 50% 向上した。
- 4) Tube 側流体の粘度が高い原油の場合、予想通り大きな hiTRAN の効果が得られた。3series を 2Series とし、ても 80% の OverDesign であり、汚れを考慮しても長期運転が可能で、1 基は予備機とすることが出来る。

4 hiTRAN の活用

この演習で判ったように、hiTRAN の効果が発揮できる熱交換器プロセス条件が当然存在する。新設設計段階では、Tube パスを上げて h を稼ぐのではなく、hiTRAN 挿入体を考慮することが肝要である。既設熱交換器の場合、設計段階から運転条件が変化していることは当然であり、過去の設計では Tube パスに頼っていることも多いので、現状運転状況の正確な把握をすると、コストダウン、メンテナンス向上、生産量増加などの可能性が見えてくるものと思われる。

以上