

化学プラントの省エネルギー対策と展望

(その3) 設備ごとの省エネルギー対策テーマ

環境企画 主宰 松村 眞

本稿は2014年12月16日、化学工学会関西支部・和歌山支部が共催で開催した省エネルギーセミナー（於・和歌山）で配布した資料を加筆・修正したものである。

4. 設備ごとの省エネルギー対策テーマ

表4.1にこれまでに採用されてきた省エネルギー対策テーマを、設備の改善と運転管理の改善に分けて示す。本表の原案は筆者が1980年代に国内外の事例を調査して作成したのだが、その後、機会あるごとに加筆と修正を重ね、新規テーマも追加している。表中の◎印は採用事例が非常に多いテーマ、○印は採用事例が多いテーマ、△印は採用事例があるが多くはないテーマである。ただし採用事例を詳細に数えたのではなく、公開された事例の数から定性的に判断している。なお、採用事例が多いからといって、そのテーマの省エネルギー効果が大きいわけではない。省エネルギー効果は、事例の数ではなく規模によるからである。広く知られているテーマも多いが、省エネルギー対策は普遍性が高いからである。また、チェックリストとしても使えるように網羅性を考慮している。

表4.2では表4.1に示した採用事例の多いテーマと、石油精製固有のプロセス変更テーマの概要を図示した。

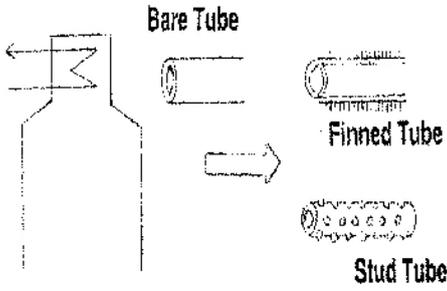
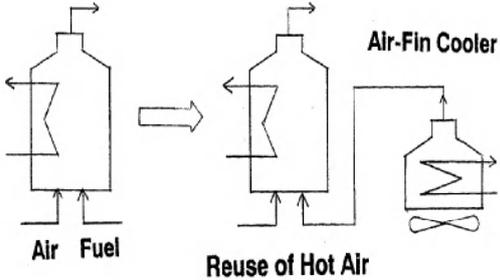
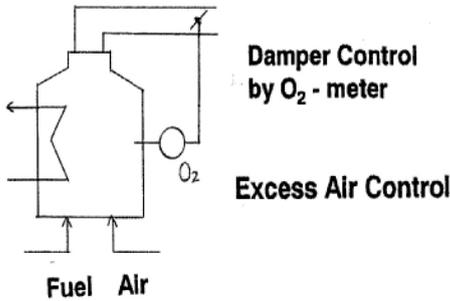
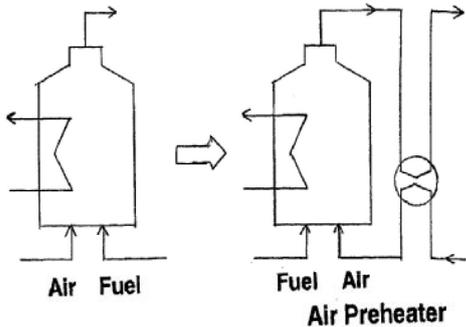
表 4.1 化学プラントの省エネルギー対策テーマ

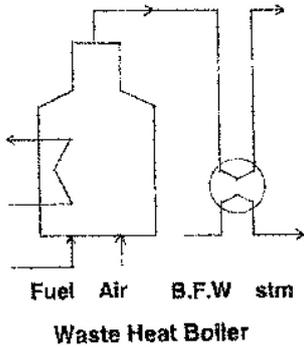
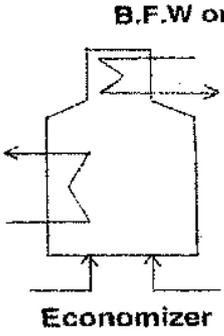
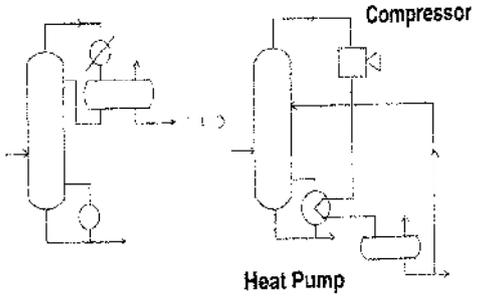
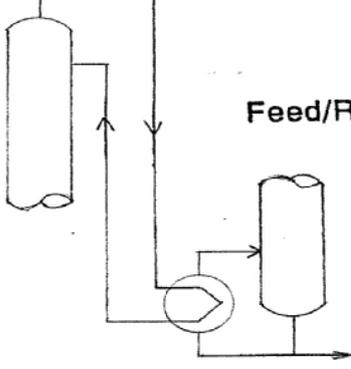
◎：採用事例が非常に多い ○：採用事例が多い △：採用事例がある

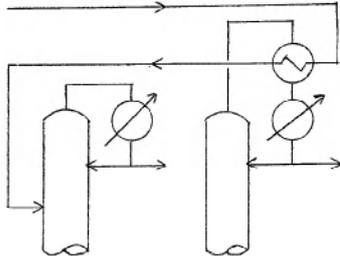
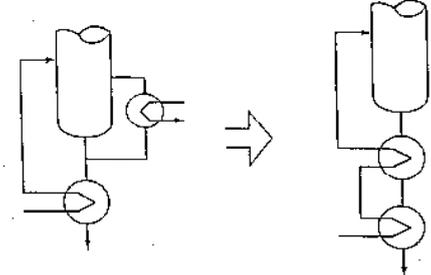
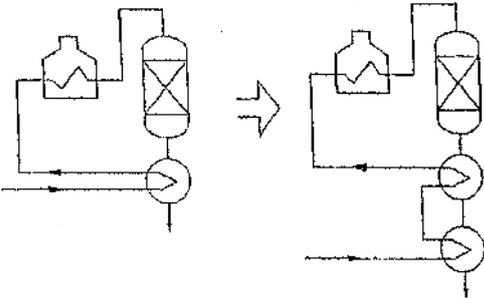
対象設備	設備の改善			運転管理の改善		
	機器の追加・変更	プロセスフローの変更	設備の保守	制御系の改善	運転指針の改善	生産管理の改善
ボイラー 加熱炉 フレアスタック	◎ 空気予熱器の設置 △ スプリットフロー（流体を分流して燃焼ガスから熱回収）採用 ◎ 低過剰空気バーナーに変更 ○ ストップ・アウェイの設置 ○ ガスファンネルの操作性改善 ○ 加熱チューブ変更（裸管からフィン・スタッド） ○ 炉内面キャスターのセラミックライニング ◎ 制御用酸素濃度計の設置 △ 空気入口ファンネルの設置 ○ 保温材交換、保温厚増加 △ 製品冷却空気の燃焼利用	○ エコマイザー設置 ○ 廃熱ボイラー設置 ○ 蒸気スパーヒーター設置 ○ ボイラー給水予熱器設置 △ 廃熱によるプロセス流体加熱 △ 廃熱による燃料の予熱 ○ フレアガスから炭化水素回収 ◎ フレアガスの燃料利用	◎ 付着ガス除去 ○ 炉壁のエアリーク防止 △ 耐火材の保守	◎ 過剰空気制御システム導入	◎ 排ガス酸素濃度の目標値厳密化 ◎ 噴霧用スチーム（量・圧力）低減 △ 燃料添加剤の適正利用 △ ガス燃料の加圧平滑化 ◎ レジスター・ゲージの開度適正化 △ 重油スチームトレースの適正化	△ 保全サイクルの適正化 ◎ 使用燃料の適正化
蒸留塔 放散塔 抽出塔 吸収塔	◎ 低圧力損失トレイに変更 ○ 原料供給段の最適化 △ フィードディストリビューターの改善 △ 中間ボイラー・サイドリフラックス増設 ○ 保温（厚さ・材料・範囲）の強化 △ インド段オーバーフラッシュモニター設置	◎ ネットチャージの採用 ○ ボイラー熱源に廃熱利用 ○ ボイラー熱源に蒸留塔の蒸気潜熱利用 △ ボイラー熱源スチーム圧適正化 ○ ヒートポンプによる塔頂蒸気の潜熱利用 △ エジェクターによる低圧スチームの昇圧熱利用	◎ トレイ・充填物の汚れ除去	△ 内部還流制御の導入	◎ 還流量の低減 ○ 操作圧力の適正化 ◎ トリッピングスチームの削減 ◎ 吸収剤・抽出剤の低減 △ パーフラッシュ量の低減	△ 製品構成の適正化 △ 製品仕様の適正化 △ 保全サイクルの適正化 ○ 吸収剤の適正化 ○ 抽出剤の適正化
反応器	○ 反応器の形式・段数適正化 ○ 保温（厚さ・材料・範囲）の強化	○ 連続触媒再生の採用 ○ 触媒再生ガスの廃熱利用	△ 付着カーボンの汚れ除去	△ 反応条件最適制御システムの導入	◎ サイクルガス比の低減 ○ 反応温度・圧力の適正化 △ 触媒量の適正化	○ 適正触媒の選定 △ 反応生成物の仕様条件適正化 ◎ 触媒再生サイクルの適正化

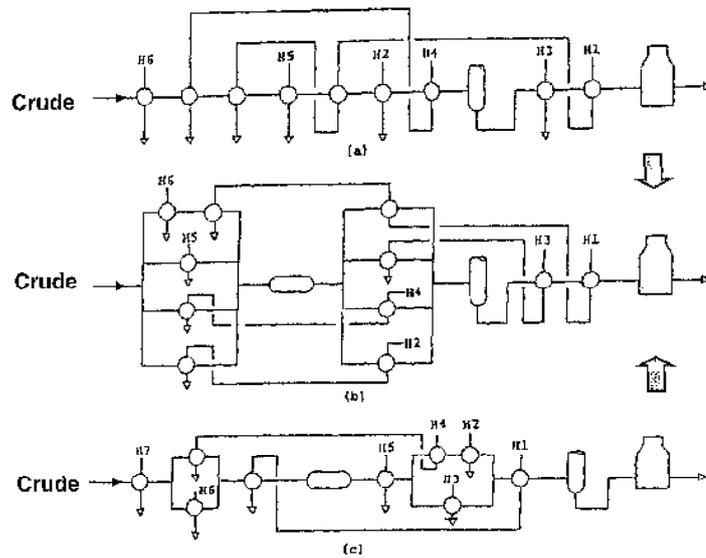
熱交換機 冷却器	<ul style="list-style-type: none"> ◎熱回収熱交換機の新・増設 ◎チューブ形式の変更（裸管からフィン・スタッドへ） △チューブピッチの短縮 ○チューブ配列の変更（口から△） ○パツルの変更（ロングパツル採用） ◎プレート熱交換機の採用 ○保温（厚さ・材料・範囲）強化 	<ul style="list-style-type: none"> ○ヒートインゲレーションの採用 ◎熱回収組合せの変更 △冷却水の直列利用 	<ul style="list-style-type: none"> ◎伝熱管の汚れ除去 ○ワスリメンテナンス採用 	<ul style="list-style-type: none"> ◎熱回収系流量配分の適正化 ○熱回収系最適制御システム導入 ◎空冷冷却器の自動制御導入（可変ピッチ） 	<ul style="list-style-type: none"> ○汚れ防止剤の適正利用 ○冷却水出口温度適正化 ○プロセス流体出口温度適正化 △空冷冷却器ファンピッチ適正化 ○空冷冷却器バルブ開度適正化 △冷却塔出口温度適正化 	<ul style="list-style-type: none"> △保全サイクルの適正化
回転機器	<ul style="list-style-type: none"> ◎ポンプインテラクト △ポンプ形式適正化 ◎可変駆動モーター採用 ○流体クワッド採用 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ハイドロリックシステムによる動力エネルギー回収 ○膨張タンクによる圧力エネルギー回収 ◎回転機器駆動媒体変更（モーター⇄タービン） 		<ul style="list-style-type: none"> ◎回転数制御の導入 ◎稼働台数自動制御システムの導入 	<ul style="list-style-type: none"> ○圧縮機操作条件（温度・圧力・流量）の適正化 △タービン回転数の適正化 ◎稼働台数の適正化 	
真空設備	<ul style="list-style-type: none"> ◎真空方式の適正化（真空ポンプ⇄エジェクター） △コンデンサ変更（サフェスコンデンサ⇄ロトリックコンデンサ） ◎エジェクターの台数分割 △エジェクターの段数適正化 		<ul style="list-style-type: none"> ◎サフェスコンデンサ汚れ除去 ◎サフェスコンデンサエアーク防止 ◎エジェクターの清掃 		<ul style="list-style-type: none"> ◎エジェクターシステムの適正化（温度・圧力） ◎操作圧力の適正化 	
用益設備	<ul style="list-style-type: none"> ◎エネルギーシステムの採用 ○低圧蒸気タービンの採用 △イコングスタービン発電の採用 △吸収式冷凍機の採用 △燃料電池の採用 ○タービン形式の適正化（背圧⇄凝縮） ◎タンク・ダクト・配管保温の強化（範囲・保温材・厚さ） ○温度調節スチームトラップの採用 △スチームアキュレーターの採用 	<ul style="list-style-type: none"> ○スチームコンデントからボイラー給水の回収 ◎メカ排水の再利用 △低圧蒸気の昇圧利用 	<ul style="list-style-type: none"> ◎保温状態の点検保守 ◎スチームトラップの点検保守 		<ul style="list-style-type: none"> ◎エネルギーバランスの適正化（自家発電・買電・高圧蒸気・中圧蒸気・低圧蒸気） ◎照明管理（範囲・照度）の適正化 ○ペントスチームの低減 ◎配管スチームトレスの適正化 ◎タンク保持温度の適正化 ○ボイラー稼働台数の適正化 △タービン背圧（抽気圧）の適正化 	<ul style="list-style-type: none"> ◎設備稼働率の適正化

表 4.2 具体的な省エネルギー対策事例

装置	省エネルギーテーマ	概要
加熱炉 ボイラー	① 加熱炉のチューブ変更	
	② 燃焼用に空冷熱交排気利用	
	③ 酸素濃度直結過剰空気制御	
	④ 空気予熱器の設置	 <p>加熱炉排気の下流に、空気予熱器を設置。露点腐食温度に注意。 出口温度： 重油加熱炉：170℃程度 ガス加熱炉：120℃程度</p>

	<p>⑤ 廃熱ボイラー設置</p> <p>加熱炉の高温燃焼ガスを利用する廃熱ボイラーの設置</p>	
	<p>⑥ ボイラー給水予熱器の設置</p> <p>加熱炉の対流部に新たにボイラー給水予熱器を設置</p>	
<p>蒸留塔</p>	<p>① ヒートポンプリボイラー</p> <p>蒸留塔の塔頂蒸気を圧縮して昇温し、リボイラーの熱源に使用する。熱エネルギーは有効利用できるが、圧縮機に動力エネルギーが必要。沸点差の小さい蒸留に採用（エタン・エチレン系、プロパン・プロピレン系など）</p>	
	<p>② コンデンサー兼リボイラー</p> <p>蒸留塔の塔頂蒸気を、別の蒸留塔のリボイラーの熱源に使用する。温度差の関係で、類似圧力の隣接蒸留塔には適用できない。通常は両塔に圧力差が必要</p>	

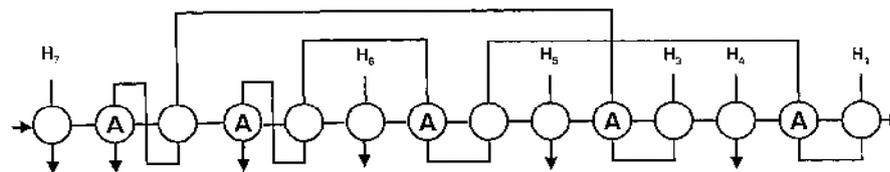
	<p>③凝縮熱の原料加熱利用</p> <p>蒸留塔のコンデンサー凝縮熱を、別の蒸留塔の原料加熱に利用する。</p>	 <p>Use Condensation Heat as the Reboiler</p>
<p>熱交換器</p>	<p>① 熱交換器の増設 (蒸留塔)</p> <p>塔底液と原料の熱交換器を増設して、熱回収量を増やす。塔底液が中間材製品の場合、下流で空気か水で冷却され熱損失になる場合が多いので、その前に回収する。圧力損失の増大に注意。</p>	 <p>Addition H/E on Fractionator</p>
	<p>② 熱交換器の増設 (反応器)</p> <p>通常、反応操作では熱交換器で反応生成物の熱を回収してから冷却器に送る。この熱交換器を増設して熱回収量を増やす。</p>	 <p>Addition Heat Exchanger on Reactors</p>
<p>石油精製固有の熱回収増強テーマ</p>	<p>① 原油常圧蒸留ユニット：原油予熱系熱交換器の並列配置</p> <p>原油の常圧蒸留装置では、原油が重油留分、軽油留分、灯油留分など複数の中間製品から熱回収し、最後に蒸留には不足する熱量を加熱炉で与える。このため 10 基以上の熱交換器を並べるが、このとき原油を分流して熱交換器の配列を並列に近づける。こうすると温度差が大きくなるので熱回収量を増やせる。</p>	



Flow Pattern of Crude Oil Preheating System Adopted So Far

② 原油常圧蒸留ユニット：原油予熱系熱交換器の増強

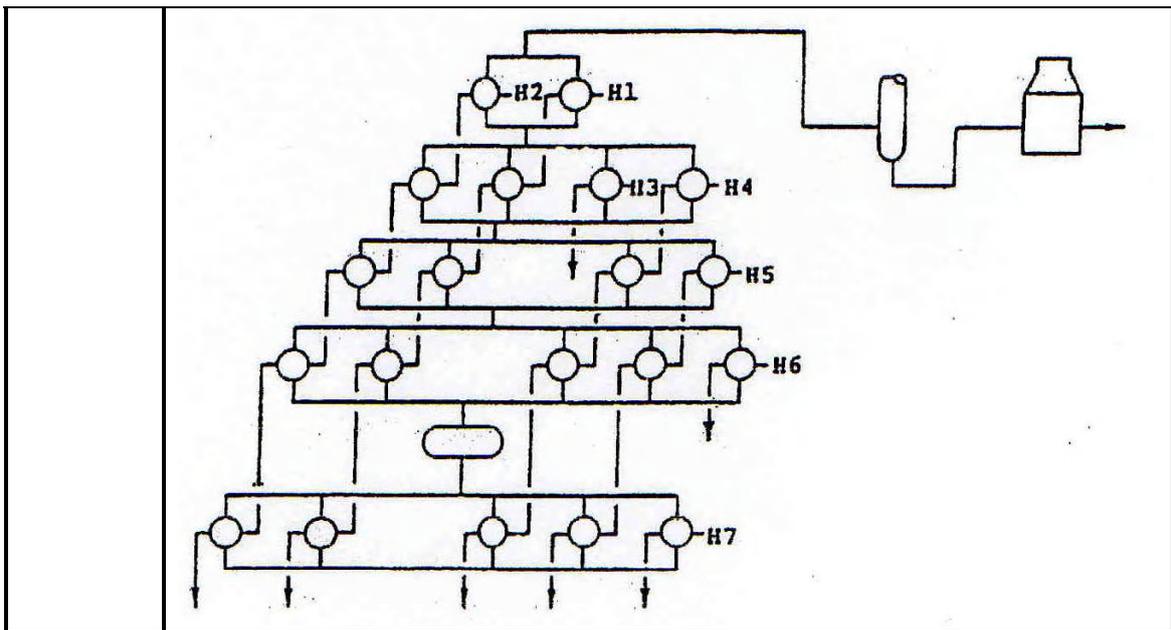
原油の常圧蒸留装置では、原油が複数の中間製品から熱回収し、最後に不足する熱を加熱炉で与える。このため 10 基以上の熱交換器を直列に並べるが、その場合は既設の熱交換器列に熱交換器を増設して熱回収量を増加させる。



Adding Heat Exchanger to Crude Heating Train

③ 原油常圧蒸留ユニット：原油予熱系熱交換器の高度並列化

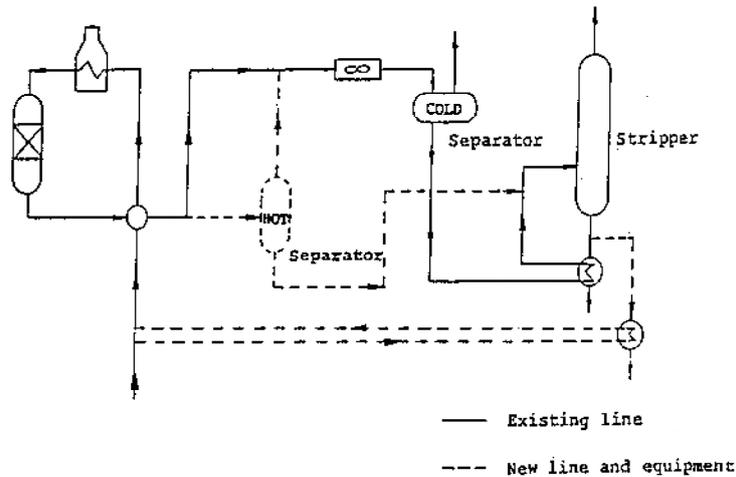
①の並列配置を徹底した配列で、熱回収量は最大になるが、小規模熱交換器が多くなり設備構成が複雑になる。熱力学的には効率最大になる。



石油精製
固有のプ
ロセス変
更テーマ

① 水素添加脱硫装置のプロセスライン変更

従来は実線ラインのプロセスだったが、点線ラインに変更することで、空冷冷却器で捨てていた熱を回収できる。



② 流動接触分解装置の圧力を膨張タービンで動力として回収

沸点の高い重油留分は、触媒を使って主に軽油留分に分解する。その装置が流動接触分解装置で、連続触媒再生装置の圧力が約 1MPa ある。このガス圧力は下流の減圧弁で脱圧していたが、バイパスラインを設けて膨張タービンを設置し、発電機に接続して動力エネルギーとして回収するようになった。

(フローシートは複雑なので省略する)

(その4)に続く