

2014年12月16日

化学プラントの省エネルギー対策と展望

(その1) 化学プラントの設備構成と省エネルギー対策の視点

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。

(はじめに)

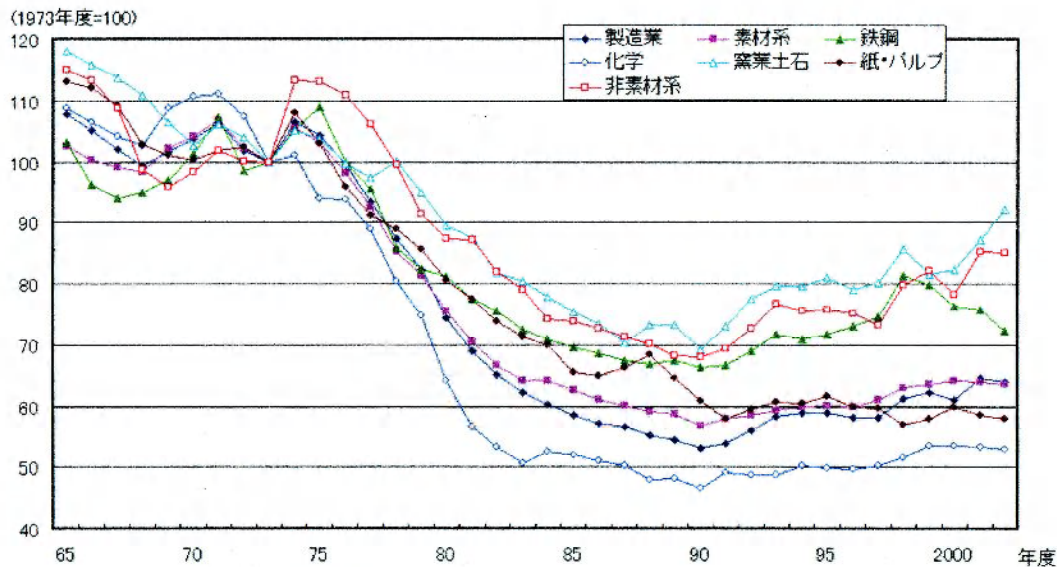
1950年代の中頃まで、日本の家庭で使うエネルギーは主に薪と炭だった。米はカマドで薪を使って炊き、調理には炭を使っていた。暖房は「火鉢」や「あんか」だったから、部屋全体を暖めることはできなかった。冬はセーターの上に綿入れを着、外で遊ぶ子供の手足には「しもやけ」ができていた。しかし1960年代に入ると、石油が薪と炭に代わってエネルギーの主役になる。石油コンロも石油ストーブも、今から考えると操作が面倒で安全性が低かった。しかし薪や炭に比べれば格段に便利で、灯油特有の臭いにも慣れた。

ところが石油の消費量が増えた1970年代に入ると、第1次石油危機が発生して、石油依存度を高めていた産業と家庭を直撃した。原油価格は1972年まで3ドル/バーレルだったのに、1973年には12ドル/バーレルと4倍に値上がりし、世界経済に大打撃を与えた。経済不安がモノ不足を招き、洗剤やトイレットペーパーがスーパーマーケットの店頭から姿を消した。石油は無尽蔵な資源ではなく、政治的に不安定な資源だということを思い知らされたのである。このため原油を備蓄する計画が立てられる一方、高騰した石油価格にもとづく新しい価格体系ができて経済はやっと安定する。しかし今度は1978年にイラン・イラク戦争が勃発し、両国の原油輸出がストップして再度の石油危機が発生する。この第2次石油危機で原油価額は12ドル/バーレルから24ドル/バーレルと2倍になり、1972年に比べて実に8倍にもなったのである。

急激な石油価格の値上がりは、石油を大量に消費する素材産業の競争力低下をもたらす。このため電力・製鉄・セメント・製紙・化学産業では、省エネルギー対策を強力に推進し始めた。全国的に省エネTQC活動が活発になり、効果の優れた提案は社員表彰の対象になった。業界ごとに省エネ発表会が開催され、有益な対策はすぐに業界全体に波及してい

った。こうして日本の素材産業は、1990年代までに図 1.0 に示すようにエネルギー消費原単位を 3 割から 4 割も低減し、エネルギー効率の点で国際的に最高の水準に達した。1990 年以降は大幅な改善が見られないことから、省エネルギー対策はほぼ限界に達したとの声もある。しかし筆者は、過去の省エネルギー対策の多くが、主に既設プラントの運転改善と小規模改善だったことから、エネルギー効率が限界に達したとは考えていない。今後もエネルギー価格が上昇すれば、いずれ過去に経済性の理由で採用されなかった中規模・大規模対策が実施されるようになるであろう。プラントを構成する要素設備技術にも、制御技術にも、変革と革新の余地が残されている。したがって技術的な観点からも、さらなるエネルギー効率の向上が進展するものと推察している。

本稿では化学プラントの分野で、これまでに採用されてきた省エネルギー対策と進め方、および今後の展望を述べる。広範な対策と技術を網羅的・体系的に整理するのが目的なので、定量的な対策事例は含めていない。しかし自社の省エネルギー対策の立案には、他社の定量的な事例が非常に参考になるので、関係者は大いに参照していただきたい。



出典：下記の出典の数値をグラフ化したもの。

(財) 日本エネルギー経済研究所計量分析部 (編) :

E DMC/エネルギー・経済統計要覧2004年版

(財) 省エネルギーセンター (2004年2月13日) P62-63

図 1.0 日本の製造業エネルギー消費原単位の推移

1. 化学プラントのプロセスと設備

化学プラントを製鉄プラントやセメントプラントと比べると、いくつかの際立った特徴がある。その一つは、原料から製品を得るまでの工程が非常に長いことにある。原料は複数の中間製品に変換され、その中間製品は精製されて次の工程の原料になる。精製するには次の工程にとって好ましくない成分を分離し、別の製品に変換しなければならない。精製された第1次中間製品はさらに下流に運ばれ、再度の変換工程を経て第2次中間製品になる。石油精製工場や石油化学工場では、どんな製品も数次の変換過程を経るが、最終製品に至るまでに第2次どころか第5次・6次の変換過程を経るのも珍しくない。図1.1に示すのは一般的な石油精製プロセスで、それぞれのブロックは特定の間中間製品製造工程である。通常、各ブロックは「ユニット」と呼ばれている。原料は製品になるまでに複数のユニットを経由し、成分構成が変わって最終的な石油製品になる。石油化学工場の場合は、図1.1の左端にある原油の常圧蒸留ユニットがナフサ分解ユニットに該当し、第1次中間製品がエチレンやプロピレンになる。

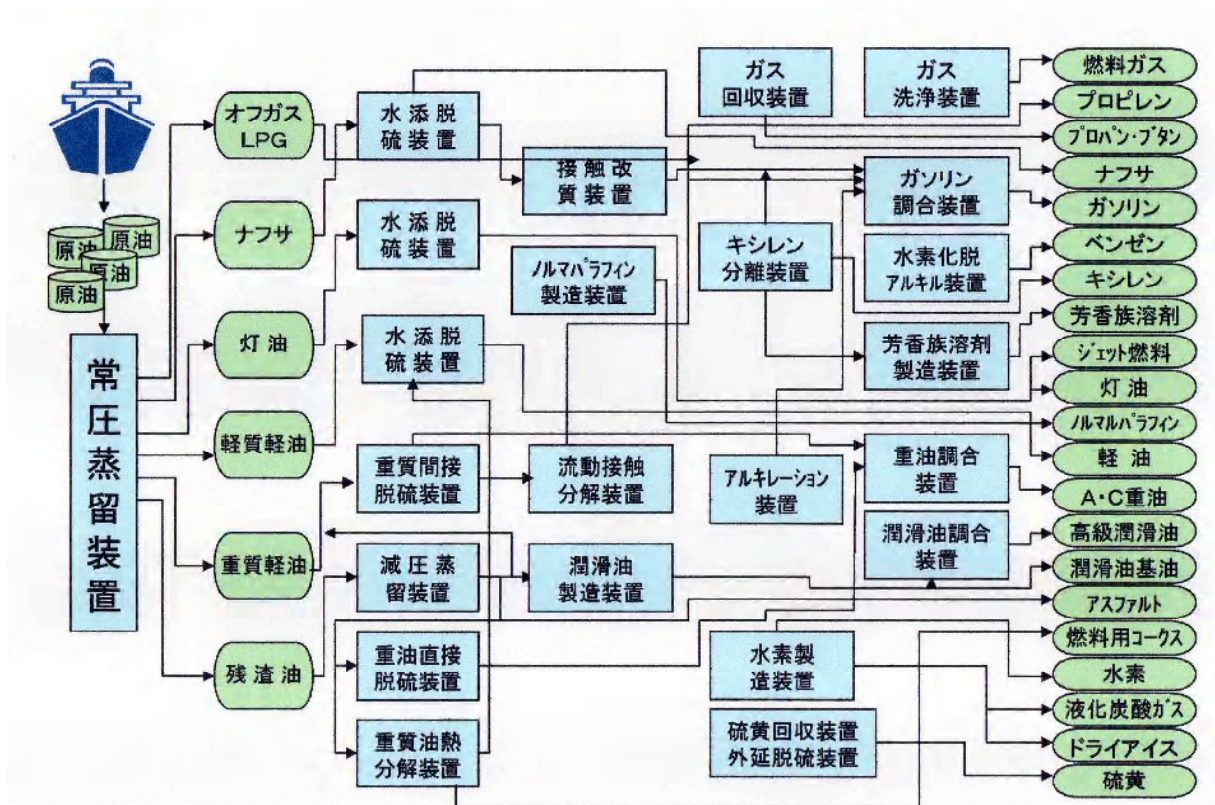


図 1.1 一般的な石油精製のブロックフロー

(本図は5年以上も前に某団体のHPに掲載されていたが現在は見つからない。
内容に独自性はないが、非常に解りやすいので引用した。原作者に謝意を表する。)

化学プラントの二番目の特徴は、原料も中間製品も最終製品もほとんどが液体か気体、つまり流体ということにある。一部には固体製品もあるが、粉体やペレットなどバルク状が多いので、輸送設備や貯蔵設備も流体設備に近い。したがって工場にはベルトコンベアが少なく、代わりに配管が縦横に走っている。原料も製品の多くもタンクに貯蔵されるから、工場には規模も形も異なる多数のタンクがある。一方、倉庫に該当する建物は屋外のタンクに比べて非常に少ない。ほとんど見当たらないと言ってもよいであろう。

三番目の特徴は、ユニットの構成が複雑でも、ユニットを構成する単位操作設備は数種類に限定されていることにある。典型的なユニットとして、図 1.2 に石油精製の常圧蒸留プロセス、図 1.3 に軽油脱硫プロセスを示す。常圧蒸留装置を構成する単位操作は、原油と製品油の「熱交換」と「蒸留」、および蒸留に続く「凝縮」と「冷却」である。しかし凝縮と冷却は、プロセス流体と冷却水との熱交換に過ぎない。軽油脱硫装置の場合は、原料油の「輸送」、反応生成物との「熱交換」、「加熱」、「反応」、「冷却」、「蒸発」、「蒸留」である。他のユニットのプロセスも、図 1.2 と図 1.3 に挙げた単位操作と同様の構成で、呼称が違うだけで機能的にはほとんど同じ種類の設備である。たとえば「熱交換」が「加熱」とか「冷却」など目的表現の場合があるが、装置としての「熱交換器」には変わりはない。熱交換器と冷却器の違いは、冷却物質がプロセス流体か、水や空気かの違いであり、熱が回収されるか捨てられるかの違いに過ぎない。「蒸留」も「吸収」とか「放散」など目的表現で呼ぶことが多いが、装置としての「蒸留塔」には変わりはない。目的ではなく機能別に整理すると、化学プラントを構成する設備は表 1.1 に限定されるといっても過言ではない。省エネルギー対策は、これらの設備別に考えることができるが、プロセスフロー全体が一つのシステムとして設計されているので、プロセスとしての検討も必要である。

化学プラントの四番目の特徴は、電力と蒸気の供給方法にある。石油精製工場も石油化学工場も大量の電力と蒸気を消費するので、効率よく供給するために自家発電を中心とする大規模なコージェネレーションを採用している。一般的な形態は図 1.3 のような構成で、ボイラーでは 8~12MPa の高圧蒸気を発生させる。この高圧蒸気で発電するとともに、一部の蒸気をガスの圧縮機動力に使用する。プロセス流体の加熱に使うこともある。発電タービンの途中からは、2~4MPa 程度の中圧蒸気を抽気して、やはりプロセス流体の加熱や動力に使用する。動力に使用して圧力の低下した蒸気は、下段の低圧蒸気ヘッダーに送られ、0.3~0.5MPa の温度でも有用な熱源に使われる。蒸気の圧力を高圧、中圧、低圧に分けて、それぞれの温度と圧力に適した使用方法を選択し、コージェネレーションシステム全体のエネルギー効率を高くしているのである。

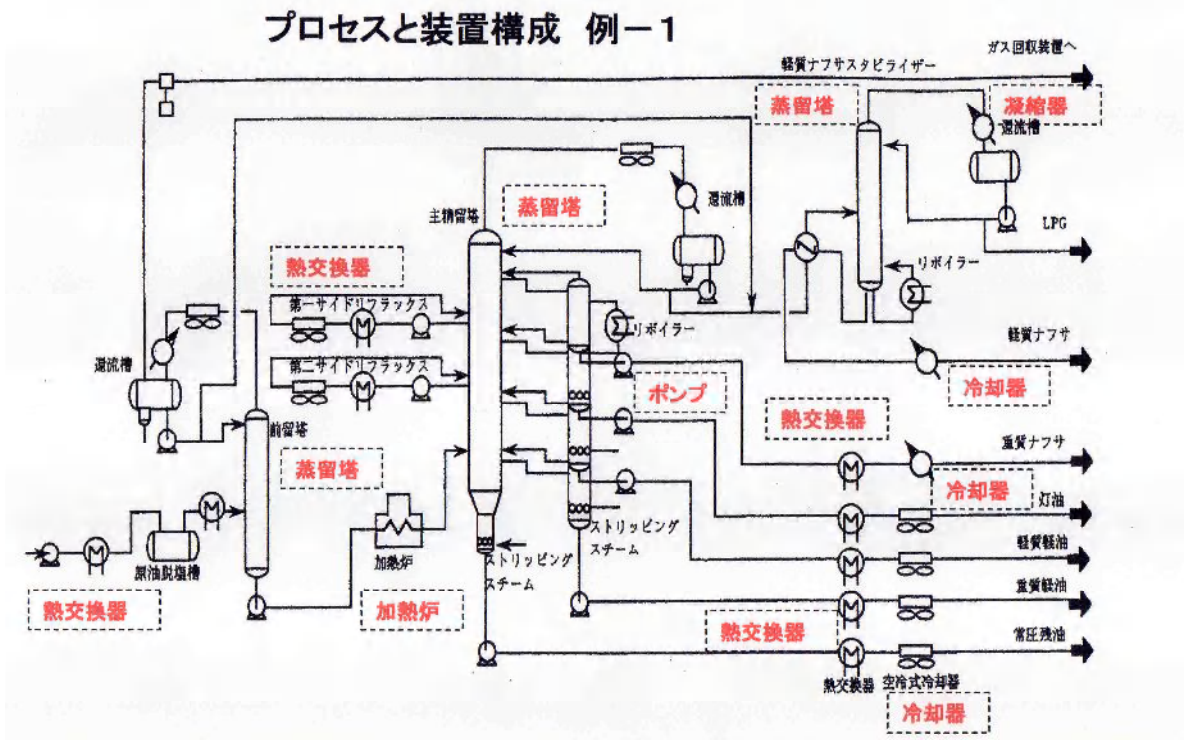


図 1.2 常圧蒸留ユニットのプロセスフロー (出典：石油精製プロセス・講談社)

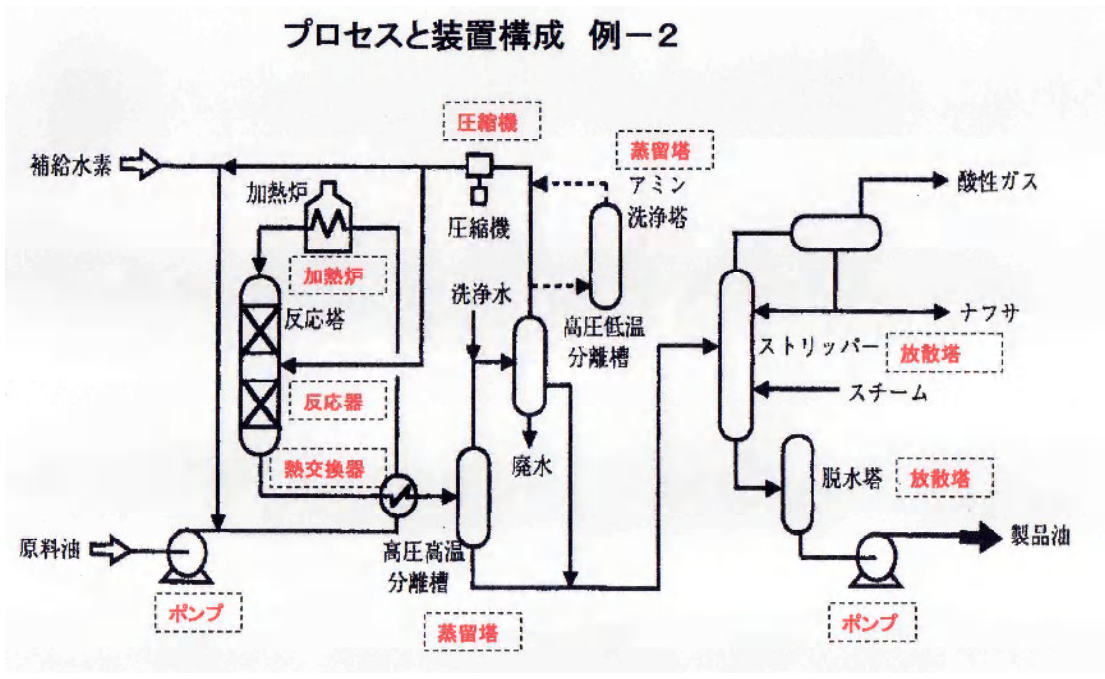


図 1.3 軽油深度脱硫ユニットのプロセスフロー (出典：石油精製プロセス・講談社)

表 1.1 プロセスを構成する設備

主要機器	目的	構造：基本構造の種類は少ない
反応器	構成成分を変換する。	多くは円筒形で内部に触媒が充填される。
蒸留塔	沸点の違いを利用して原料を分離する。	内部に棚段か充填物の塔形式（1段～数十段） 1段の場合はフラッシュ塔と呼ぶ。
吸収塔	溶解度の違いを利用して特定成分を分離する。	構造は蒸留塔とほぼ同じ。
放散塔	低沸点成分を分離する。	構造は蒸留と同じ。ストリッパーとも呼ぶ。
熱交換器	低温流体が高温流体から熱を回収する。	ほとんどが横置き円筒形、内部に多数の伝熱管が配置されている。（数十本から数百本）
凝縮器	プロセス蒸気を水か空気で冷却して液化する。	水冷は熱交換器と同形。空冷はフィン管使用。
冷却器	冷却水か空気で冷却する。	水冷は熱交換器と同形。空冷はフィン管使用
加熱炉	燃料の燃焼で流体を加熱する。	箱型の場合は中心部にバーナーがあり、周辺に伝熱管が配置されている。円筒形は縦置き。
ボイラー	燃料の燃焼で蒸気を作る。	低温側流体が蒸気というだけで加熱炉と同じ。
回転機	流体の輸送、圧縮	ポンプ、圧縮機、タービン、発電機

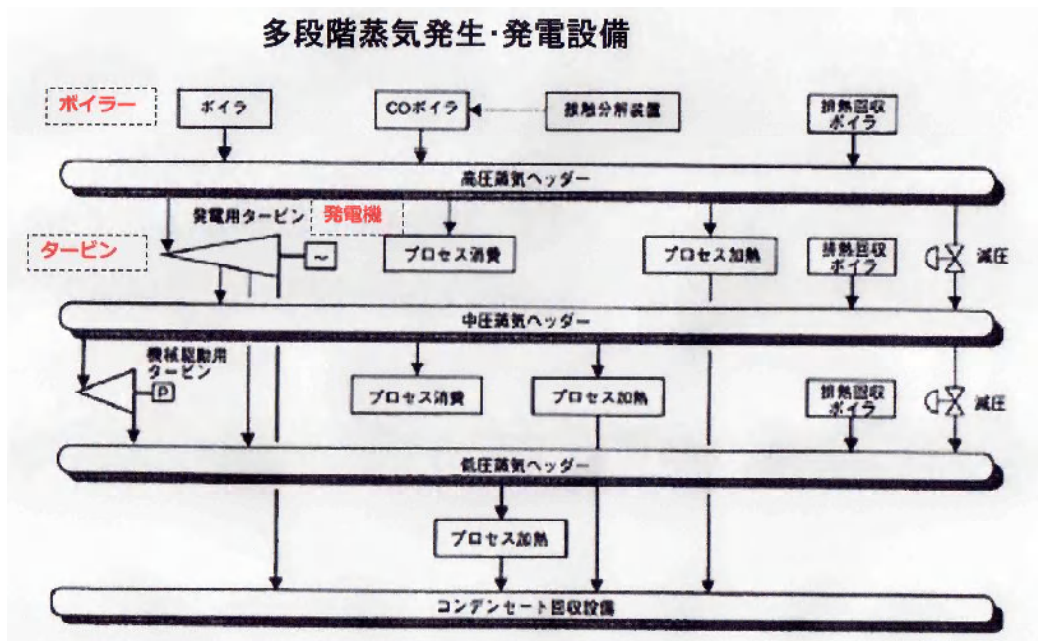


図 1.3 自家発電を中心とするコージェネレーションシステム

以上に述べた化学プラント特徴と、化学プロセスの特性から、下記を配慮し表1.2に示す視点で具体的な省エネルギー対策を考えるのが望ましい。

1. 原料から製品を得るまでの工程が非常に長いので、一部の省エネルギー対策が他の工程のエネルギー消費に影響を与える。総合的なプロセスとしての考慮が望ましい。
2. 原料も中間製品も最終製品もほとんどが液体か気体なので、ポンプや圧縮機など回転機が非常に多い。回転機の省エネルギー対策が重要である。
3. 単位操作設備は数種類に限定されているが、設置基数が非常に多い。このため省エネルギー対策は小規模分散型である。この点が製鉄やセメントなどと大きく異なる。
4. 単位操作設備の種類が少ないので、省エネルギー対策の種類も少ない。種類ごとの省エネルギー対策の視点と対策が、多くの設備に適用できる。共通性が高いのである。
5. コージェネレーション設備を保有して電力と蒸気を供給していることが多いので、発生蒸気の圧力設定と、電力・蒸気バランスの最適化維持が重要である。
6. 反応触媒の種類と再生方法の選定が、エネルギー消費に大きな影響を与える。
7. 最適な操作条件（圧力・温度）は原料と製品の種類と量、およびエネルギーコストで変化する。継続的に操作条件を確認し、エネルギー消費を最適化する運転管理が必要。
8. 設備の運転管理だけでは、最適な運転条件に追随しきれない場合に設備の改善が必要。
9. 要素技術が発達するので、高性能機器への更新が省エネルギーに寄与する。特に制御系。

表 1.2 省エネルギー対策の視点

操作工程	省エネルギー対策の視点
反応	温度と圧力を下げられないか。必要以上になっていないか。 触媒の変更で操作温度を下げられないか。再生・交換頻度は適切か。
蒸留、吸収	温度と圧力を下げられないか。必要以上になっていないか。 還流量を下げられないか。製品の仕様が必要以上に厳しすぎないか。
熱交換器	汚れで伝熱性能が低下してないか。増設で熱回収量を増加できないか。
冷却器	冷却器入口温度が高くないか。上流でもっと熱回収できないか。 空冷の場合、ファンの回転数を外気温度に応じて制御しているか。
加熱炉・ボイラー	排ガス温度が高くないか。熱回収の余地がないか。空気過剰でないか。
回転機	回転数制御を採用できないか。流量のバルブ制御はエネルギーの損失。
保温	タンクの保温は十分か。配管、バルブ、接合部の保温は適切か。
発電・蒸気発生	蒸気の圧力条件は適切か。スチームトラップの蒸気損失は多くないか。
プロセス	プロセスフローの変更で熱回収を増やせないか。 圧力エネルギーはタービンで回収できないか。

(その2) に続く