

3.1.2 化学産業のエネルギー効率向上

製造部門が消費する二次エネルギーは日本全体の43%（2016年度）で、化学産業はそのうちの39.6（全体では17%）を占めています。化学産業は非常に裾野の広い業種なので、最初に化学産業の範囲と主要な製品群を示します。次に化学プラントの構成設備と機能を紹介し、これまでに採用されてきた省エネルギー対策を、運転管理の改善と設備改善の分野に分けて概説します。

日本の化学産業は、1970年代の石油危機を契機に省エネルギー対策に注力し、1990年代までにエネルギー効率を約4割向上させました。その後も設備の改善やエネルギー管理の向上を継続し、現在では国際的に最高水準のエネルギー効率を達成しています。

1. 化学産業の製品群と生産設備の特徴

化学産業は石油製品の一部であるナフサから、繊維製品や生活用品まで多様な製品を製造しています。製油所は原油から二次エネルギーの燃料油とナフサを製造していますが、化学製品は製造していません。このため製油所は化学産業には属さず、発電所などと同じエネルギー変換業種に属しています。このように製油所と化学産業は業種分類が異なりますが、製油所の設備も化学製品の生産設備も化学プラントです。このため、省エネルギー対策の多くが同じ技術を基盤にしています。

表1は化学産業の主要製品で、ナフサから基礎製品のエチレン、プロピレン、ブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレンを製造し、基礎製品から誘導品としてプラスチック、合成繊維原料、合成ゴム、塗料原料溶剤、洗剤原料を製造しています。表

2の関連産業は、表1の誘導品を表3に示す最終製品の原料に加工しています。そして最終製品のメーカーが、表3に示す個々の製品を製造しているのです。表3は主な最終製品ですが、最終製品のメーカーは化学産業に含まれていません。

化学産業の大きな特徴は、ナフサから製品に至る加工の多くが気体か液体の状態という点です。このため、化学プラントの外観は塔類と槽類が主体で、その間をおびただしい配管が走っています。しかし出荷段階では製品を粉体、粒体、ペレット、フレークに加工することが多いので、荷姿はタンクの液体製品の他に袋詰めやコンテナがあります。

2. 化学プラントを構成する設備

原料のナフサは多くの炭化水素の混合物ですが、化学製品は特定の炭化水素化合物です。したがって基幹設備は、炭化水素の混合物から求める特定の化合物を合成する反応器です。反応条件の多くは高温や高圧なので、反応器の上流には蒸気を熱源とする加熱器や、燃料を使って加熱する加熱炉を設置します。反応温度が低いほどエネルギー消費が少なくて済むので、少しでも低温で反応を促進できる触媒を反応器に充填します。反応器の下流には熱交換器を設置し、原料の炭化水素で反応生成物の熱を回収してから蒸留塔に送り、求める炭化水素化合物の濃度を高めます。蒸留塔の前に、反応で生成した炭化水素のガスを液体から分離する気液分離槽を設置することも珍しくありません。

蒸留塔は蒸気圧の差を利用して、低沸点成分と高沸点成分を分離する装置です。内部には下部か

表 1. 化学産業の基礎製品

基礎製品	エチレン、プロピレン、ブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレン				
誘導品 (主製品)	プラスチック	合成繊維原料	合成ゴム	塗料原料溶剤	洗剤原料
	ポリエチレン	エチレングリコール	ブタジエン	アルキド樹脂	アルキルベンゼン
	ポリプロピレン	テレフタル酸	ブタジエンゴム	ポリウレタン	高級アルコール
	塩化ビニル樹脂	アクリルニトリル	クロロプレンゴム	メチルエチルケトン	エチレンオキサイド
	ポリスチレン	カプロラクタム		酢酸エステル ブタノール	

表 2. 誘導品を使用する関連産業

関連産業	プラスチック 加工	繊維工業	ゴム工業	塗料工業	合成洗剤 界面活性剤
------	--------------	------	------	------	---------------

その他に、接着剤・染料、肥料・農薬・医薬

表 3. 化学産業の主な最終製品と用途（最終製品の製造業は、通常、化学産業に含まれません。）

最終製品	自動車、船舶、 鉄道車両、 電子機器、 家電、機械、 住宅、農業、 水産、医療、 容器包装、 保育、日用雑貨	衣料、インテリア、 産業資材	自動車、自転車、 家電、機械、 日用雑貨	自動車、鉄道車両、 船舶、建築、木工、 建造物、家電、 電気、機械、	工業用 家庭用
------	---	-------------------	----------------------------	---	------------

ら上昇する蒸気と、上部から落下させる液を接触させる多数の棚段があります。下部には塔底液を外部から熱を与えて蒸発させる再沸器を設置し、上部には塔頂蒸気を冷却して凝縮させる凝縮器を設置します。再沸器や凝縮器は目的が違うだけで、内部に多数の伝熱管がある熱交換器に変わりはありません。化学プラントを構成する設備を整理すると表 4 になります。化学工場は製品の種類が多いので、非常に多くの化学プラントがあります。しかし構成する主要設備は 10 種類程度で、処理対

象が異なっても構造はほぼ同じです。このため、外観ではどれが何の装置か判断できません。

3. 化学プラントの排熱発生源と低減策

化学製品を製造するには、原料から製品を得るまでに非常に多くの工程が必要です。このため、化学プラントには温度水準の異なる多くの流体が流れており、加熱と冷却および加圧と減圧が何度も繰り返されています。したがって化学プラント

表4. 化学プラントを構成する設備群

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。 目的成分を合成する。	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または気液分離槽とも呼ぶ。
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。	ほとんどが横置きの円筒形、内部に多数の伝熱管が組み込まれている。（数十本から数百本）
再沸器	蒸留塔の塔底液を沸騰させる。	熱交換器と同形
凝縮器	蒸留塔の塔頂蒸気を水か空気 で冷却して液化する。	水冷は熱交換器と同形。空冷の外観は多くが長方形のボックス型。伝熱管に「ひれ」のついたフィン管を使用。
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。	低温側流体が水から水蒸気というだけで、加熱炉と同じ原理。
回転機	流体の輸送、圧縮	ポンプ、圧縮機、タービン、発電機

注：主要機器は目的が違ちがってもほぼ同形です。

の省エネルギー対策では、最終的に外部に放出する熱損失をなるべく少なくすることが最も重要です。熱損失になる排熱は次の3種類です。

3.1 蒸留塔で発生する塔頂蒸気の冷却凝縮熱

蒸留塔には塔頂蒸気を冷却して凝縮させ、塔内に戻す凝縮器を設置します。冷却凝縮器のほとんどは空冷か水冷で、冷却凝縮熱を外気や排水に放出しています。塔頂蒸気の冷却凝縮器への入口温度は110℃～140℃が多く、冷却凝縮後の温度は60℃程度です。この熱損失を少なくするには、冷却凝縮流体の量を減らす方法と、冷却凝縮の熱を他の低温流体で回収する方法があり、多くの採用

例が報告されています。

3.2 中間製品や最終製品を冷却する冷却熱

化学装置は製品を得るまでの工程が長いので、全工程を複数の工程に分割して生産することが珍しくありません。そのためには中間製品を冷却してタンクに貯蔵し、次の工程の操作に備える必要があります。冷却器のほとんどは水冷で、冷却熱は排水に放出されています。中間製品や最終製品の冷却器に入る温度は100℃～130℃が多く、冷却後の温度は30℃～40℃です。この熱損失を少なくするには、中間製品を冷却する前に他の低温流体で冷却熱をなるべく多く回収するのが有効です。

そのため、冷却器の上流に熱回収用の熱交換器を新たに設置するか、すでに熱交換器が設置されていれば伝熱面積の大きい熱交換器に交換する、あるいは増設する対策が有効で、広く採用されています。課題は増強する熱交換器のスペースと費用です。費用はほぼ伝熱面積に比例しますが、必要な伝熱面積は高温流体と低温流体の温度差に反比例して大きくなります。熱回収量を増やそうとすると温度差が接近し、必要な伝熱面積が多くなるのです。したがって熱交換器の費用対効果が、熱回収の限界を規定するといつてよいでしょう。

3.3 燃焼排ガスが大気に放出する排熱

化学工場には多くの加熱炉とボイラーが設置されており、排ガスの保有熱は大気に放出されています。排ガスの温度は 130℃~180℃が多く、規模が小さいほど高温のまま放出される傾向があります。大気に放出される排熱を少なくするには、燃焼用空気の量を減らすのが有効です。しかし空気量を必要量以下にまで減らすと不完全燃焼になり、未燃の炭素が排出されて大気汚染の原因になります。そこで煙道に酸素濃度計を設置して空気量が

過剰か不足か検知し、必要最小限度の空気量に調整する燃焼空気制御システムが採用されるようになりました。もう一つの方法は排ガスからの熱回収で、煙道に熱交換器を設置し、燃焼用空気の予熱に利用する対策が広く採用されています。燃焼用空気ではなく、ボイラー給水の予熱に利用する場合もあります。

4. 化学プラントの省エネルギー対策

表 5 にこれまでに採用されてきた主な省エネルギー対策を示します。2000 年以降に増大した対策は、低価格化したインバーターによるポンプや圧縮機の回転機制御、新たに開発された低温操作触媒の採用、低温熱源のヒートポンプ利用による昇温利用、膨張タービンを利用する圧力エネルギーの動力利用、計算機を利用する全社的なエネルギー管理体制の整備などです。

(おわり)

参考：松村：「化学プラントの省エネルギー対策と今後の展望」化学装置 2009 年 1 月、他

表 5. これまでに採用されてきたエネルギー対策（主要対策のみ）

運転管理改善テーマ	設備改善テーマ
①加熱炉・ボイラーの低過剰空気制御	① 加熱炉に空気予熱器、給水加熱器、蒸気過熱器を増設
②蒸留塔の還流比低減	② 加熱炉バーナーを低過剰空気型に交換（熱損失低減）
③放散塔の吹き込み蒸気量低減	③ 蒸留塔トレイや充填物を低圧力損失タイプに変更（動力損失低減）
④反応器の水素・炭化水素比低減	④ 熱回収熱交換器の増設
⑤炉壁と配管保温材の補修・交換	⑤ 排熱回収ボイラーの設置・増設
⑥熱交換器の伝熱管洗浄・交換	⑥ フレアーガスの燃料利用
⑦ポンプインペラーの適正化・交換	⑦ 装置間の中間製品熱損失抑制
⑧計算機制御の拡大	⑧ 圧力エネルギーの動力変換回収
⑨ボイラースチーム圧の高圧化	⑨ コージェネレーションの採用・強化
⑩運転管理目標値の厳格化	