

■ 展望・解説 ■

化学プロセス用オープンサイクル型 ヒートポンプシステムについて

Open Cycle Type Heat Pump System for Chemical Process

川崎 成武*

Shigetake Kawasaki



1. はじめに

圧縮式ヒートポンプは逆カルノーサイクルを利用して、低温から高温に熱を汲み上げる装置であり、加熱（増熱と昇温）と冷却（または冷凍）の機能を持ち、空気や井水、排熱などの低温の熱源が十分に確保されれば、低圧ボイラーに代わる高効率の熱源装置、または熱回収装置となる。そのために現在では、冷暖房用の空調機器ばかりではなく、製造プロセスにおける蒸発濃縮、蒸留分離、乾燥、加熱と冷却、排熱回収、そして工場空調等の産業用ヒートポンプとして、幅広く利用され、実用化されている¹⁾。

これらの産業用ヒートポンプの多くは、作動流体にCFCsやHCFCsなどのフロン系冷媒を使用する基本的なクロードサイクル型のヒートポンプで構成されているが、蒸発濃縮や蒸留分離の化学プロセスにおいてはオープンサイクル型のヒートポンプが適用され、高レベルの成績係数（COP；Coefficient of Performance）のもとで、一層のプロセスの省エネルギー化を達成している。

このオープンサイクル型は蒸発缶からの水蒸気や蒸留塔からの塔頂ベーパー（例えばプロピレンやエチレンなど）を作動流体として、圧縮機で直接加圧昇温（再圧縮）し、蒸発缶の加熱器または蒸留塔のリボイラーの熱源として利用するシステムであり、特に蒸発装置においては蒸気再圧縮式（Vapor Re-Compression, 略してVRC）として早くから導入されてきたヒートポンプシステムである。そして作動流体にオゾン層の破壊や地球温暖化に寄与するフロン系冷媒を使用しなく、将来にわたって地球環境保全に最も適応したヒートポンプシステムを提供している。

本稿においては、(財)ヒートポンプ技術開発センターで平成4年度の「ノンフロンヒートポンプ技術に関する調査」において実施した産業用ヒートポンプの納入実績に関するアンケート調査に基づいて²⁾、蒸発濃縮や蒸留分離の化学プロセスに適用されているオープンサイクル型ヒートポンプの事例やそのエネルギー効率を示す成績係数（COP）について、再検討した結果を紹介したい。

2. オープンサイクル型ヒートポンプに関するアンケート調査の結果

上記アンケート調査はフロン系冷媒を使用しないオー

表1 蒸発濃縮プロセスにおけるオープンサイクル型ヒートポンプの納入実績による同答事例の集計
その1 - 食品製造

濃縮溶液の種類	回 答 事例数	備 考
1. 糖液・デンプン液	33	①ターボ及びターボブローワー 25事例 ②ルーツブローワー 8事例
ブドウ糖類	(26)	
水アメ	(1)	
コンスターチ液	(6)	
2. ミルク	11	①ターボ及びターボブローワー 11事例
3. その他食品類	15	①ターボ及びターボブローワー 11事例 ②スクリュュー 圧縮機 4事例
グルタミン酸ソーダ	(3)	
大豆乳液	(2)	
麦汁	(5)	
その他食品 ^{*1}	(5)	
4. 食品廃液処理	19	①ターボ及びターボブローワー 17事例 ②圧縮機機種不明 2事例
コンスターチ廃液	(4)	
アルコール類廃液	(8)	
発酵廃液	(5)	
その他廃液 ^{*2}	(2)	
合 計	78	

* 川崎技術士事務所 所長

〒259-11 神奈川県伊勢原市八幡台1-12-6

[注] ^{*1}その他食品には、アルコールもろみ液、魚汁などを含む。^{*2}その他廃液には、コーヒー、魚粉、脱脂などの廃液を含む。

表2 蒸発濃縮プロセスにおけるオープンサイクル型ヒートポンプの納入実績による回答事例の集計
その2 - 化学薬品製造及びその他製造工程

濃縮濃度の種類・製造工程	回答事例数	備考
1. 化学薬品類	24	①ターボ及びターボブローワー 17事例 ②ルーツブローワー 7事例
薬品類*1	(6)	
グリセリン	(5)	
ゼラチン液	(3)	
有機酸類	(3)	
硫酸液	(2)	
アルミン酸ソーダ	(1)	
その他薬品類*4	(4)	
2. 薬品・溶剤回収	20	①ターボ及びターボブローワー 7事例 ②ルーツブローワー 8事例 ③圧縮機機種不明 5事例
薬品・溶剤回収*2	(9)	
繊維プロセス液	(3)	
メッキ液濃縮	(3)	
その他薬品回収*3	(5)	
3. 薬品廃液処理	23	①ターボ及びターボブローワー 11事例 ②ルーツブローワー 4事例 ③圧縮機機種不明 8事例
薬品類廃液*3	(6)	
パルプ廃液(黒液)	(3)	
純水製造廃水	(4)	
その他廃液*6	(10)	
4. その他製造工程	3	①スクリー 圧縮機 3事例
乾燥工程	(2)	
晶析缶熱回収	(1)	
合計	70	

[注] *1薬品類, *2薬品・溶剤回収, *3薬品類廃液は物質名が明記されていなく、回答記入項目で集計した。
*4その他薬品類には酵素液、塗料原料液、水ガラスを含む。
*5その他の薬品回収には、硫酸銅液、カセイソーダ液、鉛精錬液などを含む。
*6その他廃液には、脱硫酸液、産業汚水、I.C.廃液、ラクタム廃液、フマックス廃液を含む。

表3 蒸留分離プロセスにおけるオープンサイクル型ヒートポンプの納入実績による回答事例の集計

分離対象主成分名	回答事例数	圧縮機種種(件数)	作動流体(塔頂ベーパー)
プロパン/プロピレン	7	ターボ(6) スクリュー(1)	プロピレン
エタン/エチレン	1	ターボ(1)	エチレン
エチルベンゼン/スチレンモノマー	1	ターボ(1)	エチルベンゼン
n-ペンタン	2	スクリー(2)	n-ペンタン
C ₄ 留分*1 (2-ブタノール/メチルエチルケトン)	2	スクリー(2)	ケトン類 (メチルエチルケトン)
エタノール/水*2	4	スクリー(4)	水蒸気
合計	17		

[注] *1調査表にはC₄留分の成分名の記載がなく、括弧内の成分はブタン・ブテン留分である1-ブテンから2-ブタノールとメチル-エチル-ケトンの製造工程を想定して記入。
*2エタノール精製には水蒸気蒸留が適用され、塔頂ベーパーのエタノールは液膜流下式蒸発器で水と熱交換して水蒸気を発生させ、水蒸気はヒートポンプの作動流体として圧縮機で加圧昇温された後、塔底に直接フラッシングして精製塔の熱源として利用。

ブンサイクル型ヒートポンプを適用した蒸発濃縮や蒸留分離のプロセスに関する調査であり、調査の集計結果を表1から表3に示す。この調査により、1973年から1993年までに、表1と表2の蒸発濃縮プロセスにおいては合計で148の設置事例(ただし表2には海水淡水化装置への事例については除外してある)が、そして表3の蒸留分離プロセスにおいては17の設置事例が納入実績として集計された。

これらの事例は日本における納入実績の全てではないが、集計された事例の年別設置状況を図-1に示す。

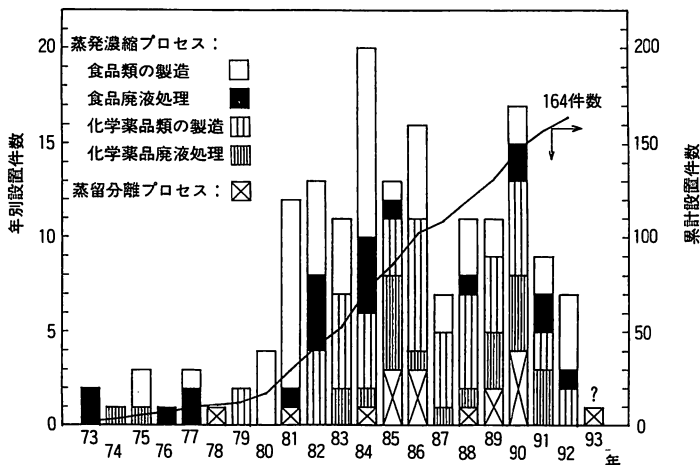


図-1 蒸発濃縮及び蒸留分離プロセスに適用されたオープンサイクル型ヒートポンプの納入実績による年別設置状況

図-1において、1970年代には年2、3件数と少ないが、1971年6月に制定された水質汚濁防止法を背景に、食品や化学薬品類の廃液処理に適用された事例が見られた。

二度のオイルショック後の1980年前半には、食品製造工程での蒸発濃縮への適用が急速に進み、順次化学薬品類の蒸発濃縮や蒸留分離プロセスに適用されてゆく経過を図-1から読み取ることが出来る。そして1980年後半から1992年にかけては、円高にもよるオイルの低コストの経済環境にもかかわらず、年間10事例前後の納入実績で推移していることが、この調査によって明らかにすることが出来た。

3. オープンサイクル型ヒートポンプのシステム構成と特長

蒸発濃縮と蒸留分離のプロセスにオープンサイクル型ヒートポンプを適用した場合の概略フロー図を図-2の(c)と(d)に示す。なお図-2には比較のために、ヒートポンプを適用しない従来型(a)とクローズドサイクル型ヒートポンプ(b)を示した。図-2の(b)のクローズドサイクル型においては、従来型のコンデンサー②がヒートポンプの蒸発器に、加熱器またはリボイラー③が凝縮器となり、作動流体には多くの場合、フロン系冷媒が用いられる。蒸発缶や蒸留塔①からの塔頂ベーパーは蒸発器②で作動流体側に熱放出して液化し、ドレンまたは軽質分として系外に排出される。

蒸発器で蒸発した作動流体は圧縮機④で加圧昇温され、凝縮器③で熱放出して蒸発缶や蒸留塔の熱源として利用される。凝縮器で液化した作動流体は膨張弁⑤を経て、蒸発器へと循環し、クローズドサイクル型のヒートポンプシステムを構成する。

このクローズドサイクルにおいては、後述するオープンサイクルと同様に、圧縮機の駆動動力を必要とするが、コンデンサー用の冷却水が、そしてスタート時以外はボイラーからのスチームも不用となる。そして作動流体に例えばフロン系冷媒であるHCFC-22を使用することにより、減圧下の50℃前後の低温でも操作可能となり、高温で腐食性の強い有害成分(例えば亜硫酸ガスや硫化水素など)を発生する廃液などの濃縮処理には有利に適用され、最近写真現像の廃液処理に適用した事例が紹介されている³⁾。

有害成分を含まない溶液系においては、オープンサイクル型が適用可能となる。図-2の(c)と(d)に示した蒸発濃縮と蒸留分離のプロセスに適用したオープンサイクル型においては、蒸発缶①からの水蒸気か、または蒸留塔①からの塔頂ベーパーがヒートポンプの作動流体として直接利用される。すなわち水蒸気や塔頂ベーパーは圧縮機④で直接加圧昇温され、加熱器またはリボイラーの凝縮器③で放熱液化し、蒸発缶や蒸留塔の熱源として利用される。そこで液化した水蒸気や塔頂ベーパーはクローズドサイクル型のようにサイクル内を循環することなく、水蒸気はドレン水として、

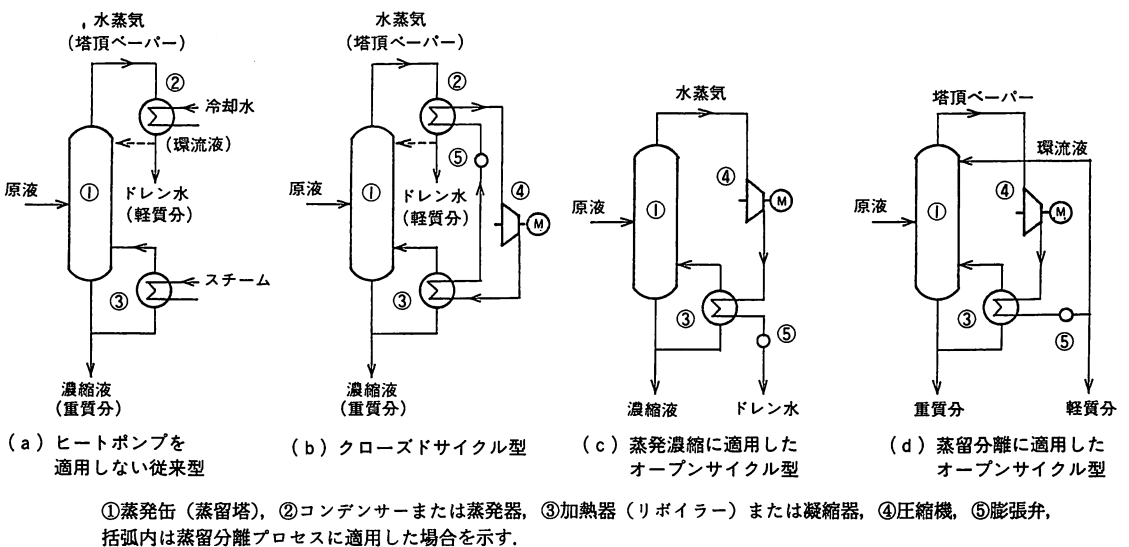


図-2 クローズドサイクル型及びオープンサイクル型ヒートポンプの概略フロー図

表4 蒸発濃縮プロセスにおけるオープンサイクル型ヒートポンプの代表的な事例

工程名	蒸 発 缶			ヒートポンプ					設置年月	設置場所	文献
	種類	伝熱方式の分類	蒸発温度(°C)	圧縮機種類	軸動力(kW)	圧縮比(-)	熱出力(kW)	COP(-)			
① バルブ黒液濃縮	単効用(6缶)	ヒーティングエレメント液膜流下方式	103	ターボ	3,120	1.41	78,398	25.1	1974.9	某製紙工場(埼玉県)	4
② 糖液濃縮	単効用	シェルアンドチューブ液膜流下方式	約83	ルーツブロー	130	1.38	3,070	23.6	1983.4	三重化糧(三重県)	5
③ グルタミン酸ソーダ溶液	2重効用併用	シェルアンドチューブ液膜流下方式	61	ターボ	845	2.12	9,278	10.9	1992.5	某社(インドネシア)	6
④ 海水淡水化	単効用	プレート式液膜流下方式	約100	ターボ	24.3	1.16	1,410	58.0	1986.9	石油掘削船(シンガポール)	7
⑤ 麦汁煮沸	煮沸釜	液浸型内部加熱方式	約100	スクリュウ	555	2.16	6,180	11.1	1989.3	サントリー(府中市)	8
⑥ 製塩	晶析缶(2基)	シェルアンドチューブ外部加熱方式	115	ターボ	3,610×2	1.76	28,000×4	15.5	1979	エベンゼー製塩工場(オーストリア)	9

塔頂ペーパーの一部は環流液として塔内に戻るが、他は軽質分として系外に排出され、オープンサイクル型のヒートポンプシステムを構成する。

このオープンサイクルにおいては、クロズドサイクルにおけるコンデンサー②の熱交換器が一個不用となる。しかも蒸発濃縮プロセスへの適用においては、蒸発缶の伝熱方式に液膜流下式や内部加熱方式を採用することにより、蒸発器と凝縮器を一体構造に設計することが可能となり、熱効率の面で極めて有利となる。このことは上記のクロズドサイクル型と比較してオープンサイクル型ヒートポンプの一つの大きな特長となっている。

これらのサイクルのエネルギー効率はヒートポンプのCOPで表示され、COPは熱出力と作動流体の圧縮に要する仕事量との比で定義される。実際のCOPは熱出力を圧縮機の消費電力、またはそれに相当する軸動力で割った値で与えられ、サイクルの性能は、このCOPによって消費した電力の何倍かの熱エネルギーが取得されたかによって評価することが出来る。

4. 蒸発濃縮プロセスへの適用事例におけるヒートポンプのCOPについて

蒸発濃縮プロセスにオープンサイクル型ヒートポンプを適用した事例のうち、代表的な事例を表4に示す。表中のCOPは熱出力を軸動力で割った値で与えられ、圧縮比の小さな事例ほど高いCOP値で操作されている。このことは圧縮機の軸動力が作動流体を加圧昇温するときの圧縮比に主に関係するものと考え、表4の6事例のCOPを圧縮比との関係で、表に示した番号を付けて図-3に示す。

なお図-3には、作動流体である水のエンタルピー(h) - エントロピー(s)線図を用いて、圧縮比を変えた時の圧縮動力と熱出力とをそれぞれ求めて、COPを算出し、その結果を計算COPとして圧縮比の関係で図の実線で示した。計算は図に示したそれぞれの設定条件のもとで、溶液の濃度や蒸発缶の液深による沸点上昇(BRP)をも考慮して行ったが、これらの設定条件の範囲内では、計算COP対圧縮比の関係は一つの曲線と与えられた。そして表4の各事例におけるCOPは圧縮比との関係において、図の破線で示したように計算COPの80%ライン近傍に分布している結果が得られた。

このようにCOPは圧縮比に大きく関係するために、高COPを期待するには、蒸発缶内の液深による沸点上昇をおさえ、伝熱性能の高い蒸発缶を設計し、圧縮比を小さくして操作することが要求された。そのために表4に示したように、ビール麦汁煮沸釜のような特殊な事例(内部伝熱方式)を除いて、伝熱方式にシェルアンドチューブやヒーティングエレメント、そしてプレート式による液膜流下方式を採用した蒸発缶がそれぞれ開発され、実用化されてきた。

前記のアンケート調査による回答事例から、圧縮機軸動力と熱出力の関係を蒸発缶の伝熱方式と、濃縮溶液の種類別に整理して図-4に示す。また図-4には熱出力を軸動力で割った値をCOPとして、図中の破線で示した。図-4において、軸動力対熱出力の関係には蒸発缶の伝熱方式による相違点は、内部加熱方式を除いて特に見いだされず、軸動力0.5MW以上の事例にはシェルアンドチューブとヒーティングエレメントによる液膜流下方式の蒸発缶が多く採用され、それ以下の

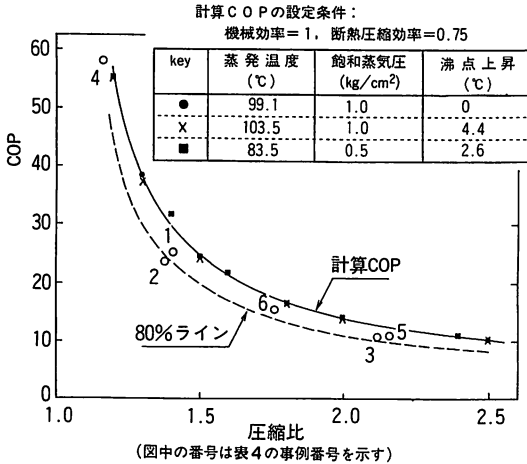


図-3 オープンサイクル型ヒートポンプの蒸発濃縮プロセスへの適用事例におけるCOP及び計算COPと圧縮比との関係

軸動力，特に0.2MW以下の事例にはプレート式の蒸発缶が多く採用されている。

また熱出力をCOPで評価した場合，COPが40以上の事例も見られるが，多くの事例のCOPは軸動力0.5MW以上で40から10の範囲内に，それ以下の軸動力においては，COPが30から5の範囲へと低下し，そして広く分布している。このことは各事例におけるそれぞれの濃縮溶液の伝熱特性，特に沸点上昇，粘度，伝熱面での汚れ，そして使用した圧縮機の機械効率等によるものと考えられるが，熱出力と軸動力の関係を平均化して，その関係曲線を平均ラインとして図の実線で示した。この平均ラインを図-3の破線で示した80%ラインと合わせて，蒸発濃縮プロセスにオープンサイクル型ヒートポンプを適用したときの性能を評価する一つの基準ラインとして提案したい。

5. 蒸留分離プロセスへの適用事例におけるヒートポンプのCOPについて

蒸留分離プロセスにオープンサイクル型ヒートポンプを適用した事例のうち，代表的な事例を表5に示す。これらの5事例のCOPを前章と同様に圧縮比との関係で表に示した番号を付けて図-5に示す。なお図-5には，これらの事例の作動流体であるプロピレン，エチレン，そして水のそれぞれのh-s線図を用いて，図に示した設定条件のもとで，前章と同様にCOPを算出し，その結果を計算COPとして圧縮比との関係で各作動流体毎にそれぞれの実線で示した。

各作動流体毎の設定条件の範囲内では，計算COP

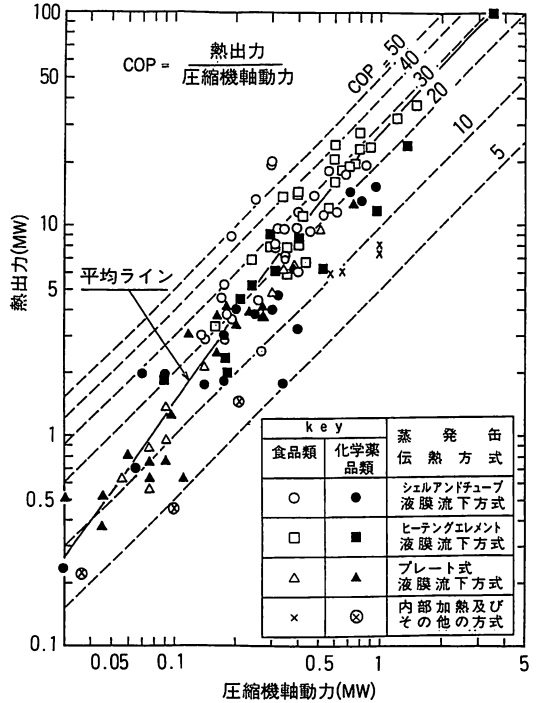


図-4 オープンサイクル型ヒートポンプの蒸発濃縮プロセスへの適用事例における圧縮機軸動力と熱出力の関係

対圧縮比の関係は図-3と同様にそれぞれ一つの曲線と与えられた。そして表5に示した5事例のCOPは図の破線で示したように，それぞれの作動流体に相当する計算COPの75%ライン近傍に分布し，図-3の80%ラインと異なった結果が得られた。この違いは蒸発濃縮には一体構造の液膜流下式の蒸発缶が採用されているが，蒸留分離には蒸留塔にリボイラーが付属した構造からなり，この構造の違いにより，熱効率の面でやや不利になっているものと思われた。

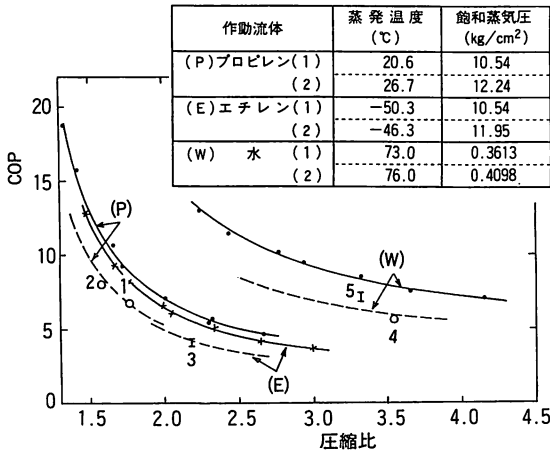
図-6にアンケート調査で得られた17事例について，圧縮機軸動力と熱出力の関係を分離対象主成分別に整理して示す。また図-6には比較のために，昭和62年度に実施された産業用ヒートポンプに関するアンケート調査から製造プロセスと工場空調用のクローズドサイクル型ヒートポンプの軸動力と熱出力の関係をも示す¹⁵⁾。そして図-4と同様に熱出力対軸動力比をCOPとして図中の破線でそれぞれ示した。

蒸留分離プロセスにおいては，特殊な事例も見られるが，多くの事例は軸動力で0.5MWから5MW，熱出力で3MWから40MWの比較的大型のヒートポンプシステムが適用され，熱出力対軸動力の関係に塔頂べ

表5 蒸留分離プロセスにおけるオープンサイクル型ヒートポンプの代表的な事例

工程名	蒸留塔			ヒートポンプ						設置場所 (設置年月)	文献	
	方式	塔内圧力 (kg/cm ²)	塔頂温度 (°C)	リボイラー 形式	作動 液体	圧縮機 種類	軸動力 (kW)	圧縮比 (-)	熱出力 (kW)			COP (-)
①プロパン/ プロピレン 分離	2塔式 (A, B塔)	A : 11.2 B : 13.3	B : 27.3	シェルアンド チューブ	プロピ レン	スクリュ ー	850	1.77	5,814	6.8	興亜石油(株) 山口県 (1981. 8)	10
②プロパン/ プロピレン 分離	1塔式	11.0	23.0	シェルアンド チューブ	プロピ レン	ターボ	1,800	1.59	12,500	8.1	旭化成工業(株) 倉敷市 (1991. 5)	11
③エタン/ エチレン 分離	1塔式	12.0	-48.0	シェルアンド チューブ	エチレン	ターボ	980	2.18	3,837~ 4,302	3.9~ 4.4	東燃化学(株) 川崎市 (1991. 9)	12
④エタノール 精製	水蒸気 蒸留	約1.0	78.2	液膜流下 式蒸発器	水蒸気	スクリュ ー	420	3.55	2,326	5.67 (平均 値)	サントリー(株) 大阪市 (1986. 6)	13
⑤エタノール 精製 (コージェネシステム)	水蒸気 蒸留	約1.0	79.0	液膜流下 式蒸発器	水蒸気	スクリュ ー	400~ 600	3.32	3,721	6.8~ 7.5	宝酒造(株) 松戸市 (1988. 2)	14

計算COPの設定条件：機械効率=1,
断熱圧縮効率=0.75, 沸点上昇=0°C



(実線は計算COPと圧縮比の関係を示し、破線は75%ラインを示し、
図中の番号は表5の事例番号を示す)

図-5 オープンサイクル型ヒートポンプの蒸留分離プロセスへの適用事例におけるCOP及び計算COPと圧縮比との関係

ーパーによる相違点は特に見いだされず、図-5で確認したように、COPは10から5の範囲で操作されている。そしてCOPが6から3の範囲内にあるクローズドサイクル型に比較して、期待通りに高いエネルギー効率を示した。しかし集計された回答事例は少なく、図-4の蒸発濃縮プロセスで得られた平均ラインを見いだすことは出来なかったが、図-5の破線で示した75%ラインをオープンサイクル型ヒートポンプを適用した各種の蒸留分離プロセスの性能を評価する一つの基準

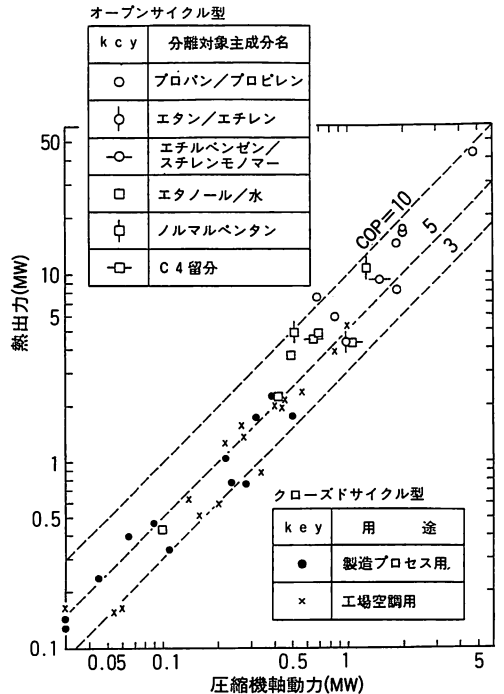


図-6 オープンサイクル型ヒートポンプの蒸留分離プロセスへの適用事例における圧縮機軸動力と熱出力の関係

ラインとなるものとする。

6. おわりに

アンケート調査の結果から、オープンサイクル型ヒ

ートポンプは、特に水を作動流体とした蒸発濃縮プロセスにおいては、食品や化学薬品類の各種濃縮工程にCOPが40から10の高いエネルギー効率のもとで適用され、省エネルギー技術として高く評価することが出来た。しかし蒸留分離プロセスへの適用については、塔頂と塔底の温度差や塔頂ペーパーの化学的、熱的な性質等により、それぞれの制約があるが、それでもアンケート調査により確かな適用事例として6種類、17の事例が集計された。そしてこれらの事例はCOPに10から5の実績を示している。

今後、化学プロセスへのオープンサイクル型ヒートポンプシステムの一層の普及と共に、省エネルギー化による環境保全への貢献、そしてエネルギー・資源の乏しいわが国においてはヒートポンプの機能を十分に活用したエネルギーシステムの構築をエネルギー多消費の蒸発濃縮や蒸留分離の化学プロセスを利用する各種の食品や化学薬品及び石油化学関連の産業に特に期待したい。

参考文献

- 1) 川崎成武：「ヒートポンプの技術開発動向」(財)省エネルギーセンター，第11回エネルギー管理者研修テキスト，p53，平成2年9月。
- 2) (財)日本機械工業連合会，(財)ヒートポンプ技術開発センター「ノンフロンヒートポンプ技術に関する調査報告書」平成5年3月。
- 3) (財)ヒートポンプ技術開発センター編「日本のヒートポンプ」第3版，p185，1992年3月。
- 4) (財)日本機械工業連合会，(財)日本冷凍空調工業会「低熱源生産プロセスのエネルギー使用合理化に関する調査研究報告書」p89，昭和60年7月。
- 5) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-7，平成2年5月。
- 6) (財)日本機械工業連合会，(財)ヒートポンプ技術開発センター「ノンフロンヒートポンプ技術に関する調査報告書」p21，平成5年3月。
- 7) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-13，平成5年3月。
- 8) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-9，平成2年5月。
- 9) J. ベルグマン「産業用ヒートポンプシステム」(財)ヒートポンプ技術開発センター訳，p96，昭和62年6月。
- 10) (財)日本機械工業連合会，(財)ヒートポンプ技術開発センター「化学工業における蒸留プロセスへのヒートポンプの応用に関する調査報告書」p34，平成3年3月。
- 11) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-15，平成5年3月。
- 12) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-14，平成5年3月。
- 13) ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-1，平成元年3月。
- 14) (財)ヒートポンプ技術開発センター「ヒートポンプシステム実施例」HPS (I)-6，平成元年3月。
- 15) (財)日本機械工業連合会，(財)ヒートポンプ技術開発センター「産業用ヒートポンプシステム運転実態調査報告書」p12，昭和63年3月。

他団体ニュース

「(財)地球環境産業技術研究機構

研究員公募」について

1. 募集人員：研究員若干名
2. 所 属：地球環境システム研究室
3. 研究内容：地球環境に関するエネルギー・経済・環境モデルの研究
4. 応募資格：修士課程修了もしくは同等以上の研究能力を有し、数理モデルに関心のある方。
5. 着任時期：平成7年10月以降
6. 応募締切：平成7年10月30日
7. 資料送付及び問い合わせ先
〒619-02 京都府相楽郡木津町木津川台9-2
財団法人 地球環境産業技術研究機構
地球環境システム研究室 柳沢 幸雄
TEL 0774-75-2304 FAX 0774-75-2317