

温水加熱から真空蒸気加熱への改善による省エネルギー効果

高田 敏則 (たかた・としのり)

(株)ティエルブイ マーケティング部

エネルギーを使用する事業者において、さらなる省エネルギー・地球温暖化対策は喫緊の大きな課題である。そして化学・医薬等の反応・濃縮・乾燥などの100℃以下の加熱工程では、熱媒体として温水が一般的に用いられてきた。これらの加熱工程では、より高い生産性・品質・省エネ性を重視することから、近年は既設の温水加熱システムを真空蒸気加熱システムへ改造するケースが多くなっている。

本稿では、温水に代わり真空蒸気を熱媒体として用いる新しい加熱システムを紹介するとともに、その省エネ効果について従来の温水加熱システムと比較して説明する。

1. 従来の温水による加熱システムとその課題

これまでの温水を熱媒体とする加熱システムは、システムの設計が比較的容易で、インシヤルコストが安く、被加熱物を異常昇温する危険性が低いなどの利点があり、化学・医薬等の100℃以下の加熱工程で広く利用されてきた。第1図にその標準的なフローを示す。

このシステムでは、最初温水タンクに水を溜め、蒸気を吹き込んで所定温度の温水を生成する。そしてこの温水を循環ポンプを用いて循環させて加熱対象装置に熱を伝える。

このような温水による加熱システムは、エネルギー有効使用の観点からは次の四つの課題が挙げられる。

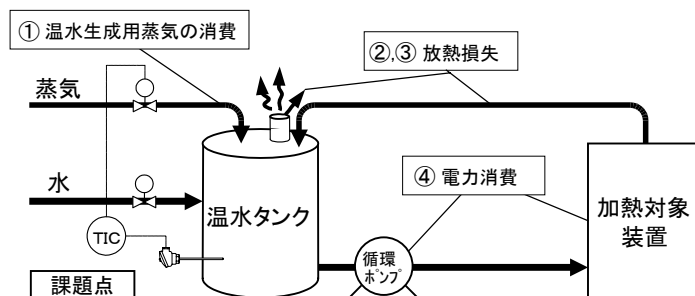
- ① 温水を生成するための蒸気の消費
- ② 温水タンクからのフラッシュ蒸気ロスとオーバーフローロス
- ③ 温水循環の配管やタンクなどからの放熱ロス
- ④ 温水循環ポンプの電力消費と長いバッチ時間のユーティリティ消費

2. 温水に代わる真空蒸気による加熱システム

2.1 真空蒸気は温水に代わる理想の熱媒体

温水による加熱システムは上記の通り、省エネルギーの観点からは、温水を作る際の蒸気消費、温水の循環配管等からの放熱損失、さらに温水循環ポンプ等の電力消費等の課題があった。

昨今、温水に代わる熱媒体として、大気圧力以



第1図 温水による加熱システムのフロー

下の真空減圧蒸気を利用する技術が開発・実用化されている。この真空蒸気を加熱の熱媒体として利用する技術は蒸気の高精度な圧力・温度制御の技術開発、高効率な真空生成の技術開発等によって実用可能となったもので、加熱対象設備における高い伝熱効率、均一な加熱、そして大きな省エネルギー効果も同時に実現できる加熱システムとして注目されている。

2.2 真空蒸気による加熱システムとは

真空蒸気による加熱システムは、供給熱源温度 30～110℃で±1℃という安定した温度の蒸気供給が可能なシステムで、蒸気本来の潜熱による均一加熱が可能であることから生産物の品質の向上、さらに 10,000W/(m²・K) 程度の高い境界伝熱係数が得られ、加熱プロセスの生産性向上も実現できる新しい加熱システムである。

写真2が、そのシステムのパッケージの外観で



写真1 TLV 真空蒸気加熱システムパッケージ

ある。

本システムは、A) 蒸気圧力制御ユニット、B) 蒸気減温ユニット、C) 真空発生ユニットの三つから構成されており、第2図にそのシステムフローを示す。

本システムでは、蒸気主管から供給される正圧蒸気は本システム内において蒸気圧力制御ユニットで大気圧以下まで減圧される。この時、蒸気は等エンタルピー変化するため過熱蒸気になる場合があるので、真空発生ユニットの循環水の一部を取り出して過熱化した蒸気中へ注水し、蒸気を一旦湿り飽和状態にする。更に、注水された水のうち余剰な分は、ドレンセパレーターで強制分離され、真空発生ユニットへ戻される。

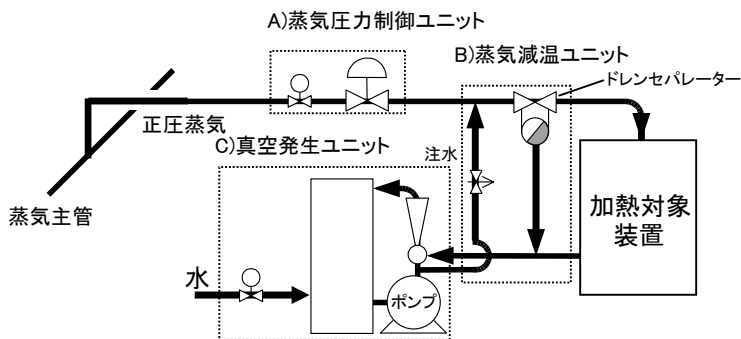
この一連の制御により、大気圧力よりも低圧の真空蒸気が作られ、かつ乾き飽和蒸気として安定した温度で加熱対象装置へ供給される。そして加熱対象装置に供給された蒸気は、被加熱物に潜熱を与えることによって凝縮しドレンとなる。

そして発生したドレンは、真空発生ユニットによって加熱対象装置から吸引、排出されるので、加熱対象装置の伝熱面の蒸気側は供給された真空蒸気の圧力の飽和温度で常に均一に保たれる。

3. 温水による加熱システムと真空蒸気システムとの省エネ性の比較

続いて本稿の主題である従来の温水による加熱システムと真空蒸気による加熱システムとの省エネ性の比較について以下に説明する。

化学工場等で一般的に使用される温水加熱システムの使用条件を第1表に示し、この温水加熱システムからのエネルギーロス量を以下に説明して



第2図 真空蒸気による加熱システムのフロー

第1表 代表的な温水加熱システムの使用条件

温水タンクの容量	5m ³
配管・加熱対象装置の容量	5m ³
温水タンクの温度	80°C
温水循環ポンプ容量	5.5kW
温水配管	100A, 100m
加熱対象装置の加熱量	100kW
稼働時間	7,200 時間/年

いく。

3.1 温水を生成するための蒸気の消費

従来の温水による加熱システムでは加熱源となる温水を生成するために、以下の工程で蒸気の消費を伴う。

①初回運転前およびバッチ毎の温水の昇温時

②加熱対象の加熱時

しかし、①の温水昇温時に必要な蒸気は、②の加熱対象の加熱に利用される熱ではなく、温水を作るためだけに必要な蒸気消費である。

第1表の温水加熱システムの温水タンクを昇温させるときに消費される蒸気量は約1.5 tとなる。この昇温のために必要な蒸気量は約375 t/年、蒸気単価4,000円/tで計算すると約150万円/年のロス、CO₂排出量に換算すると約88 t-CO₂/年となる。

これに対して、真空蒸気による加熱システムでは、加熱源として蒸気を用い、その圧力を変更することで加熱源の温度を所定に設定するので、この加熱源の昇温のための蒸気消費は一切なく、CO₂の発生もない。

3.2 温水タンクからのフラッシュ蒸気ロスとオーバーフローロス

温水による加熱システムの温水タンクは一般に大気開放型であるため、写真2のようにタンクから大量のフラッシュ蒸気(湯気)が発生する。

第1表の温水タンクの水面から大気へのフラッシュ熱量は6,000W/m²となり、そのためタンク1缶当りの年間の蒸気消費量は約310 t/年、約125万円/年のロス、CO₂に換算すると約73 t-CO₂/年にも達する。

また、温水タンクからは温水のオーバーフローによる熱損失もある。これは加熱対象装置で顕熱を奪われた温水は、温度が降下して温水タンクに再び戻るため、この温度降下分を昇温させる目的で蒸気が投入される。温水タンクは常に一定の水



写真2 温水タンクからのフラッシュ蒸気の発生

位を保つようにオーバーフロー配管が設けられているため、蒸気の投入によって水位が上昇しようとする分量の温水がタンクからオーバーフローし、廃棄されることになる。

このオーバーフローロスは一般的に毎時約200kg程度で、これを蒸気量に換算すると約25kg/時となり、約72万円/年のロス、CO₂に換算すると約42 t-CO₂/年になる。

これに対して、真空蒸気による加熱システムの場合は、直接蒸気を減圧・減温して所定温度の熱源を作るので、加熱源を保持するためのタンクは不要であり、フラッシュ蒸気ならびにオーバーフローによる熱損失は全くない。

3.3 温水循環の配管やタンクなどからの放熱ロス

次に、温水による加熱システムでは、温水タンク・ポンプ・バルブ・加熱対象装置に至るまで保温施工が行われていないケースも多い。その理由として、温水は比較的低温であり、伝熱性能が低いために放熱対策だけでは省エネの投資採算性が悪いことが挙げられる。また、配管腐食に伴うメンテナンス性が考慮されていることも理由である。

第1表の温水加熱システムの温水循環配管の総表面積は約80m²となり、総括伝熱係数20W/(m²・K)とすると、年間の放熱量は蒸気量換算で約120 t/年、約48万円/年のロス、CO₂に換算すると約28 t-CO₂/年となる。

一方、真空蒸気による加熱システムでは、蒸気配管はもともと、保温施工するのが普通であり、また加熱源を貯蔵するタンクや大型の循環ポンプ

も不要なため、放熱損失は圧倒的に少ない。

3.4 温水循環ポンプの電力消費と長いバッチ時間のユーティリティ消費

最後に、それぞれのシステムで消費される電力量とバッチ時間の差によるユーティリティ消費について比較する。

第3図は、濃縮工程における改善前の温水による加熱システムのフローである。10m³の脱溶剤槽（濃縮槽）に、生産物（樹脂）と溶剤（トルエン）が50%ずつ投入されている。そして、この溶剤の濃度を50%から1%にまで脱溶剤（濃縮）する工程で約10時間を要していた。また、この樹脂は95℃以上の温度で溶解する特性があるため、92℃の温水が加熱源として使用されていた。

このユーザーの最大の課題はバッチ時間の短縮であり、全生産プロセスでこの濃縮工程がボトルネックであったため、いかにこの濃縮時間を短縮するかが課題達成のキーであった。そこで導入されたのが、第4図の真空蒸気による加熱システムである。

システム導入の結果、以下のような大幅なバツ

チ時間の短縮と省エネ効果が確認された。それは“加熱に必要な動力差”と“バッチ時間短縮による消費電力、蒸気量の差”である。

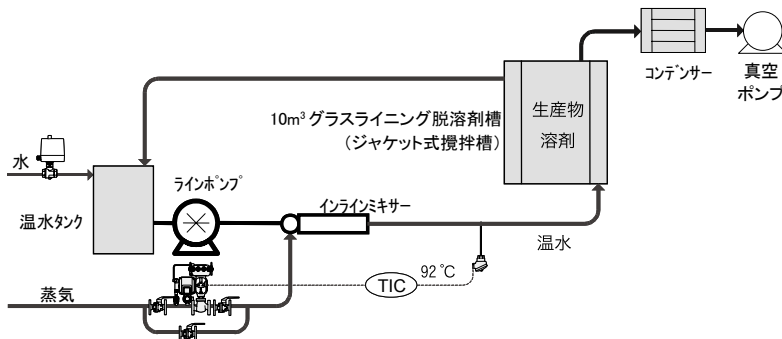
まず“加熱に必要な動力差”は、従来の温水による加熱システムでは温水循環用にモーター容量が5.5kWのポンプが使用され、一定の加熱能力を得るために多量の温水を循環していた。

これに対し、真空蒸気加熱システムに必要な動力は真空を得るための小型ポンプの電力消費で、僅か0.75kWである。このポンプの動力差は4.75kWで、これらのポンプの消費電力の差は、34,200kWh/年、約34万円/年、CO₂換算では約14t-CO₂/年の差となる。

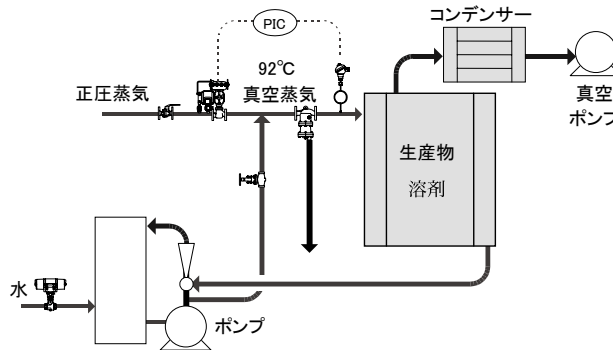
また、真空蒸気による加熱では温水に比べて境膜伝熱係数が大幅に向上することで、濃縮時間についても改善前の10時間から7時間に短縮された（第5図）。

このバッチ時間短縮によるユーティリティ消費は、以下の通りである。

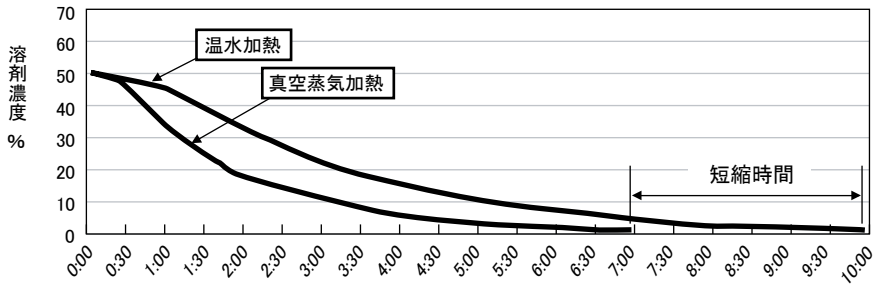
- ①消費電力量：循環ポンプ5.5kW、凝縮器用チラー&真空ポンプ15kW、攪拌機11kW、計



第3図 濃縮工程の改善事例（改善前フロー）



第4図 濃縮工程の改善事例（改善後フロー）



第5図 濃縮工程の改善事例（生産性向上の効果）

第2表 温水システムから真空蒸気システムへの改善による省エネ効果例

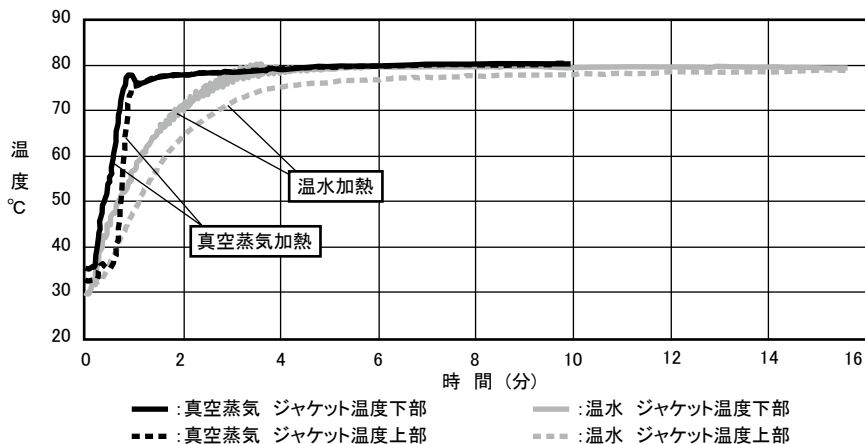
項目	節約金額 (万円/年)	年間 CO ₂ 排出量差(t)
温水昇温	150	88
フラッシュ蒸気	125	73
オーバーフロー	72	42
配管放熱	48	28
電力(動力)	34	14
バッチ時間短縮	150	80

装・照明・空調を併せ、約50kW/槽/時間の電力低減ができた。

②使用蒸気量：約1,500kg/バッチの蒸気使用量の低減を実現。（改善前：約2,500kg/バッチ，改善後：約1,000kg/バッチ）

この電力および蒸気使用量の低減による効果は、年間200バッチでは約150万円/年、CO₂換算ではバッチ当たり400kg-CO₂、約80t-CO₂/年の差となる。

以上の省エネ効果をまとめると第2表のとおり



第6図 伝熱面の温度比較

となる。

このように一般的に真空蒸気による加熱システムは、従来の温水による加熱システムに比べて、約20%の蒸気消費量の低減と約30%の電力消費量の低減が図れる。また、真空蒸気による加熱システムは温水による加熱システムに比べて、高い生産性と均一加熱によるメリットも合わせて得られるので、真空蒸気による加熱システム導入のためのイニシャルコストは通常3年未満で償却可能な事例が多い。

以上、温水加熱システムと真空蒸気加熱システムとの省エネ性について説明したが、他にも第6図のように温水加熱は顕熱による加熱であるため、伝熱面の上部と下部の温度差が2～5℃程度も生じるのに対して、真空蒸気による加熱は蒸気の潜熱による加熱のため温度差1℃以内の均一加熱が可能で、生産物の品質向上も得られるというメリットもある。

おわりに

真空蒸気による加熱システムは、110℃以下の低温域の加熱システムとして生産物の生産性や品質の向上だけでなく、省エネ性からも注目されている新技術である。

本稿ではこれまで一般的に用いられてきた温水による加熱システムの課題とその改善に有効な新しい真空蒸気による加熱システムの紹介、そして

その効用の内、特に温水加熱システムとの省エネ性の差について重点を置いて解説した。

本稿が、読者の工場の省エネ・地球温暖化対策の促進に少しでもお役に立てれば幸いである。

参考文献

- 1) 財省エネルギーセンター，月刊「省エネルギー」，2008年8月。
- 2) ㈱石油学会，「ペトロテック」，2009年11月。