

# 温水に代わる真空蒸気加熱の省エネ効果

(株) ティエルプイ 設計部 原 伸英

化学・医療・食品業その他の業種における100 以下の加熱工程では、一般的に蒸気によって温水を製造し、その温水と加熱用の熱媒体として用いている。本稿では温水を熱媒体として使用せず、真空蒸気（大気圧以下の蒸気）を熱媒体として用いた新しい加熱システムを紹介する。

## 1. 温水に代わる熱媒体としての真空蒸気

従来、化学・医療・食品業界などにおいて一般的な単位操作である反応・濃縮・乾燥における加熱工程では、熱媒体として温水が使用されてきた。しかし、この温水による加熱システムは、温水を作る際の蒸気消費、配管等からの放熱損失、さらに大型ポンプ等の電力消費というエネルギー上の課題があった。

昨今、省エネルギー・地球温暖化対策の観点から、温水に代わる熱媒体として、真空蒸気（大気圧以下の蒸気）を利用する技術が開発・実用化されている。この技術は「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）において、事業者の判断基準における中長期計画のガイドラインとして『温水媒体の加熱設備にあっては、真空蒸気媒体による加熱を検討すること』と記述されている。

しかし、多くの工場ではこれに留意することなく、従来通りの温水加熱システムを導入するケースが多く、潜在的に大きな省エネルギーの余地が残されている。

本稿では、温水に代わる熱媒体である真空蒸気による加熱システムを紹介するとともに、温水による加熱システムとの省エネ性を比較・検討する。

## 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 ℃ ± 1 という安定した蒸気供給が可能なシステムである。蒸気本来の潜熱による安定した均一加熱が可能で生産物の品質の向上を図ることができ、大気圧以上の蒸気加熱と同様に10,000W/(m<sup>2</sup>・K)程度の高い境膜伝熱係数が得られるため、加熱プロセスの生産性向上も実現する新しい加熱システムである。

本システムのフローを図-1に示す。このシステムは、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3つで構成されている。

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、蒸気は過熱化（スーパーヒート化）

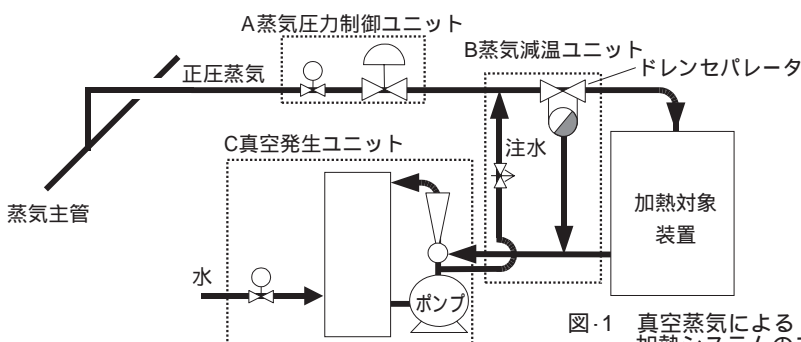


図-1 真空蒸気による加熱システムのフロー



写真-1 真空蒸気システムパッケージ

する場合があるので、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、蒸気を飽和状態にする。さらに、注水された水のうち余剰な分は、ドレンセパレータで強制分離され、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。

加熱対象装置に供給された蒸気は、潜熱を与えることにより凝縮しドレン化する。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。

写真・1に本システムのパッケージ外観を示す。

### 3. 温水による加熱システムと真空蒸気システムとの比較

従来の温水による加熱システムは、異常昇温がなく安全であり、かつシステムが比較的安価に組めるなどの理由からこれまで広く利用されてきた。図・2にその標準的なフローを示す。

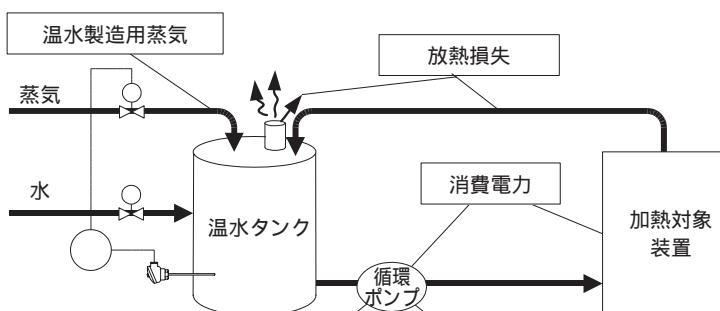
このシステムは、通常温水タンクに水を溜め、所定温度まで蒸気を吹き込んで加熱源となる温水を作る。そして循環ポンプにより温水を循環させて加熱対象装置に熱を伝える。

この加熱システムは、エネルギー使用の観点から次の4つの課題があげられる。

温水製造用の蒸気消費

温水表面からのフラッシュ蒸気放熱

温水循環のための配管やタンクなどからの放熱



図・2 温水による加熱システムのフロー

温水循環ポンプの動力と長いバッチ時間  
以下にこれらの課題と真空蒸気による加熱システムへの改善による省エネ効果を説明する。

#### 3-1 温水製造用の蒸気消費

温水による加熱システムでは、加熱源となる所定温度の温水を作るため、以下の工程で蒸気の消費を伴う。

初回運転前およびバッチごとの温水の昇温時

加熱対象への加熱時

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

例えば、温水タンクの容量  $5 \text{ m}^3$ 、配管ならびに加熱対象装置の容量  $5 \text{ m}^3$  の場合を考える。初回の昇温時に消費される蒸気量は約  $1.5 \text{ t}$  となる。仮に年間250バッチとすると、この昇温のために必要な蒸気量は約  $375 \text{ t}$ 、蒸気単価  $4,000 \text{ 円/t}$  で計算すると約  $150 \text{ 万円/年}$ 、 $\text{CO}_2$  排出量に換算すると約  $88 \text{ t-CO}_2/\text{年}$  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、 $\text{CO}_2$  の発生もない。

#### 3-2 温水表面からのフラッシュ蒸気放熱とオーバーフロー

次に、温水による加熱システムの温水タンクはそのほとんどが圧力容器の検査を必要としない大気開放型であるため、タンクから大量のフラッシュ蒸気（湯気）が発生する（写真・2参照）。

$5 \text{ m}^3$  の温水タンク内の温度が  $80$  の場合、その表



写真・2  
温水タンクからの  
フラッシュ蒸気

面から大気へのフラッシュ熱量は $6,000\text{W}/\text{m}^2$ に達する。そのためタンク1缶当たりの蒸気損失量は、年間7,200時間稼働の場合で約310 t/年、約125万円/年、 $\text{CO}_2$ に換算すると約73 t- $\text{CO}_2$ /年にも達する。

また、温水による加熱システムでは温水タンクから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戻ってくるため、この温度を回復させる目的で蒸気が投入され、その蒸気量と同じ量の温水がタンクからオーバーフローとなり廃棄されるからである。

100kWの加熱工程を想定した場合、オーバーフローによる損失量は一般的に毎時約200kg程度で、これを蒸気量に換算すると約25kg/hとなる。年間の稼働時間を7,200時間とすると蒸気損失量は約180 t/年、約72万円/年、 $\text{CO}_2$ に換算すると約42 t- $\text{CO}_2$ /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、加熱源を保有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 温水の循環配管やタンクなどからの放熱

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が多い。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損失が少ないことがあげられる。また、温水による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大きな理由

である。

5 m<sup>3</sup>の温水タンク1缶と大型循環ポンプ、さらに100Aの循環配管を100m有するシステムを想定する。この場合、総表面積は約80m<sup>2</sup>となり、配管表面温度80℃、総括伝熱係数 $20\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、年間7,200時間の運転では、この放熱量を蒸気量に換算すると、蒸気損失量は約120 t/年、約48万円/年、 $\text{CO}_2$ に換算すると約28 t- $\text{CO}_2$ /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 温水循環ポンプの動力と長いバッチ時間

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。

図-3は、濃縮工程における温水による加熱システムのフローである。濃縮前は、生産物（樹脂）と溶剤（トルエン）が10m<sup>3</sup>の脱溶剤槽（濃縮槽）に50%ずつ投入されている。この溶剤濃度を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。この生産樹脂は95℃以上の温度で溶解してしまう特性があり、92℃の温水が加熱源に使用されていた。

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、図-4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ッチ時

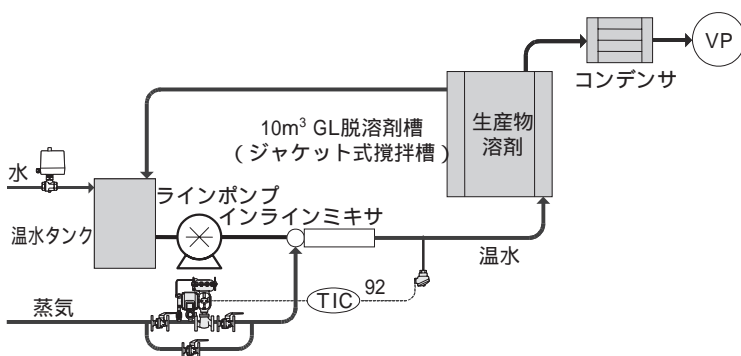


図-3 濃縮工程事例（改善前）

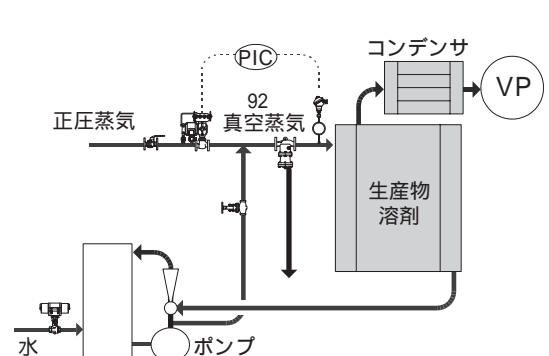


図-4 濃縮工程事例（改善後）

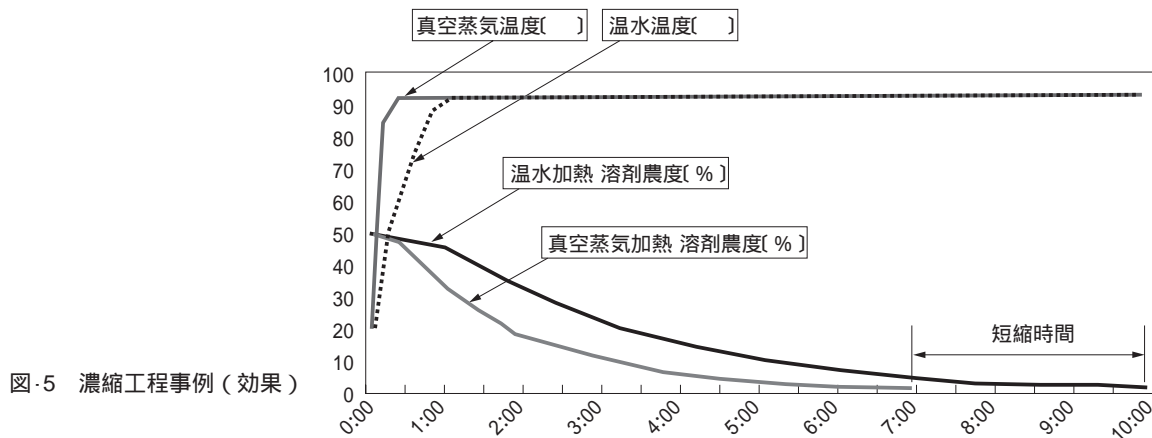


図-5 濃縮工程事例（効果）

間の短縮と大きな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、真空を得るためのポンプのモータ容量0.75kWである。このポンプの動力差は4.75kWで、仮にポンプ稼働時間を年間2,500時間とすると、単一ポンプ当たり約12,000kWhの使用電力差、1kWを10円とすると約12万円/年、CO<sub>2</sub>換算では約5 t・CO<sub>2</sub>/年の差となる。

また、真空蒸気による加熱では、同一温度の温水による加熱に比べて境膜伝熱係数が大幅に向上することで、これまでの濃縮時間の10時間が7時間に短縮された。このバッチ時間短縮によるユーティリティー消費は、以下の通りである。

消費電力：循環ポンプ5.5kW，凝縮器用チラー & 真空ポンプ15kW，攪拌機11kW，計装・照明・

空調を併せ、約50kW/槽/時間の生産工程が短縮  
使用蒸気：約1,500kg/バッチ（改善前：約2,500kg/バッチ，改善後：約1,000kg/バッチ）

図-5に温水加熱と真空加熱による濃縮工程の比較を示す。真空蒸気の場合の昇温の早さと時間短縮がよみとれる。

この消費電力と蒸気をCO<sub>2</sub>排出量差に換算すると、バッチ当たり400kg-CO<sub>2</sub>，年間200バッチでは約150万円/年，CO<sub>2</sub>換算では約80 t・CO<sub>2</sub>/年の差となる。

#### 4. まとめ

以上、従来の温水による加熱システムを真空蒸気による加熱システムに改善した場合の省エネ効果をまとめると表-1のようになる。

各項目ともそれぞれの、ある前提条件による比較であるが、一般的な数値と言えよう。また、真空蒸気による加熱システムの熱損失は全くゼロではないが、温水による加熱システムに比べるとほとんど無視できる数値であり、表-1ではゼロとした。

このように真空蒸気による加熱システムのエネルギー消費量は、一般的に従来の温水による加熱システムに比べて蒸気量で約20%，電力量で約30%程度の低減が図れる。また、イニシャル・コストについても、真空蒸気による加熱システムのコストアップ分は、上記の省エネ性により通常3年未満で償却が可能である。

真空蒸気による加熱システムは、100 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る新技術である。

表-1 真空蒸気加熱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〕	年間CO <sub>2</sub> 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）	12	5
バッチ時間短縮	150	80

（個々の項目の条件は本文中を参照）