

【特設記事】

化学・食品工場における蒸気発生と回収の実際

丸山 紀彦^{*)}

1. はじめに

一般に工場の蒸気は、給水装置で処理された水を使用し、ボイラにより蒸気を発生させる。この飽和蒸気を分岐目的や凝縮水（ドレン）除去のためにまず高压ヘッドへと送気をし、その高压ヘッドから各装置へと送気する（図1①部分）。

高压ヘッドから蒸気使用先で熱交換をして仕事を終えた蒸気はドレンとなるがミストを同伴しないフラッシュ蒸気は良質な蒸気として使用可能である。

そのドレンをバケット式やフロート式などのメカニカルスチームトラップで気水分離を確実にを行った2次側にフラッシュタンクを設置し、低压系の配管につなぐ。そして器内圧力を低く保つことによって高压ドレンを再蒸発させて熱回収をしている。フラッシュ蒸気を発生させた後の残った低压ドレンはスチームトラップを経由させてドレン回収装置で回収するか、そのまま給水タンクに回収をしている。

蒸気は自己圧以外の動力が不要であるため高压から中圧へ、中圧から低压へと使用すれば無駄がない。そのた

め高压ヘッドから一部を減圧して中圧ヘッドへと送気をし、中圧で使用する各装置へと送気をする（図1の②部分）。中圧使用先でのドレンをフラッシュタンクへ送り、低压蒸気として使用をし、その中圧ヘッドの一部を減圧して低压ヘッドに送り各装置へと送気をしている。

さらに低压低温である真空の蒸気を使用している工場もある（図1の③部分）。

高压系、中圧系、低压系の蒸気負荷変動が大きい工場によっては、ヘッド間にスチームアキュムレータを設置しており、その負荷を吸収することによってそれぞれの変動を抑えて安定運転を行っている現場もある（図1の④部分）。

動力として過熱蒸気がある工場ではタービンから抽気した蒸気や余った蒸気を減圧減温して中圧、低压蒸気の使用先の一部として使用している。ただし、過熱蒸気はドレンが出ないなど、配管輸送に関しては適しているが凝縮潜熱を使えない、または温度が一定ではないなど熱交換には不向きであるため、使用しやすい飽和蒸気へ変換をする減温器を使用している（図1の⑤部分）。

2. 回収の実際

- (1) 高压、中圧、低压と順々に蒸気使用ができない工場は、高压ドレンを大気圧で回収したり排水溝へ流す等、多量の熱（蒸気やドレン）を捨てているケースがある。
- (2) 使用先での圧力低下を防ぐためにボイラを高压で運転している。

^{*)}Norihiko MARUYAMA；(株)進栄技研 技術部
〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 3-6-19 第一矢木ビル
TEL：03-5766-2981 (代)
FAX：03-3400-7844
E-mail：info@shin-ei-giken.com

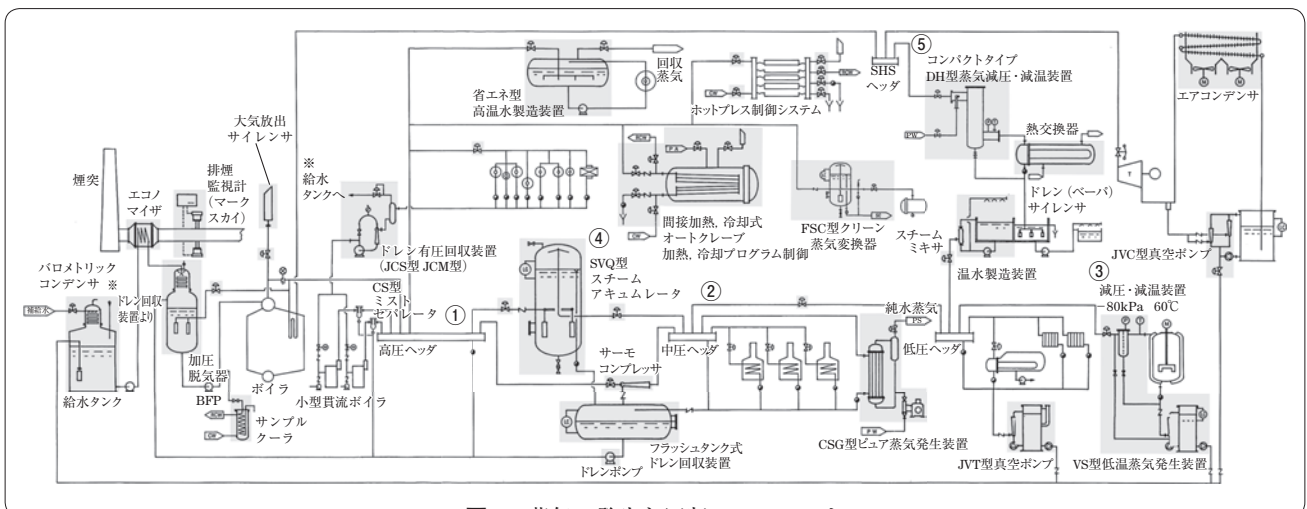


図1 蒸気の発生と回収フローシート

■ フローシート

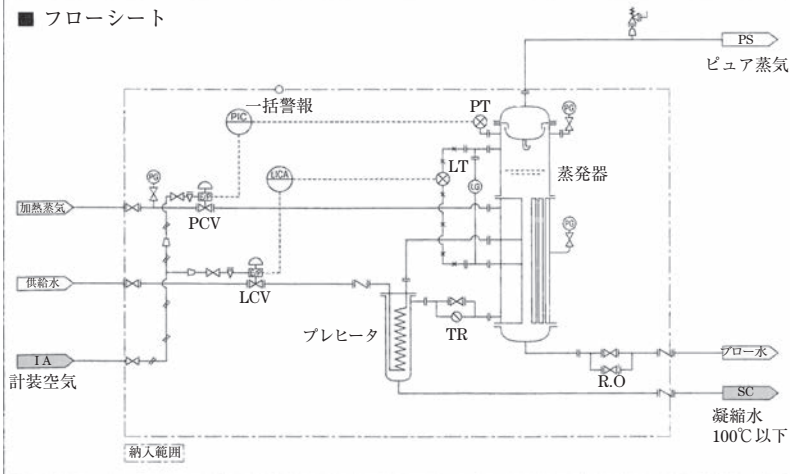


図2 蒸気発生装置フローシート

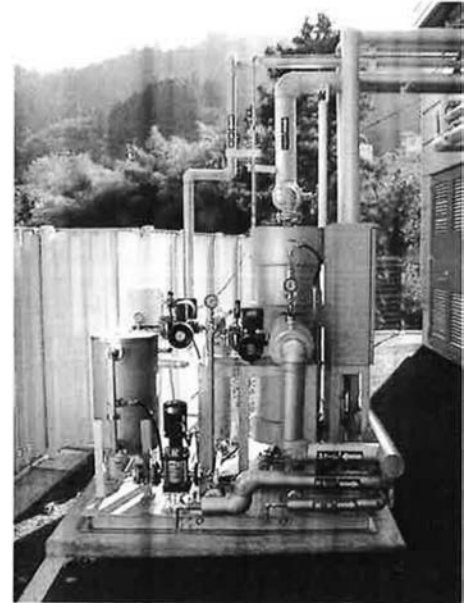


写真1 蒸気発生装置

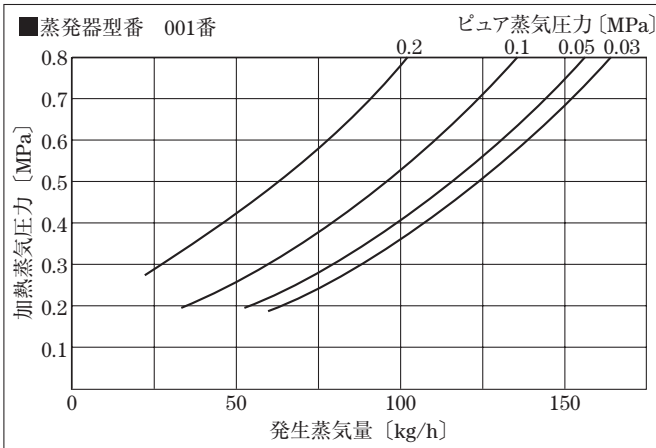


図3 機種選定表

型番構成

CSG 1010-0.8-S6

- ピュア蒸気側材質
- S4 : SUS304
- S6 : SUS316
- S6L : SUS316L
- 最高使用圧力 MPa
- 蒸発器型番
- 1 : 通常管板形
- 2 : 2重管板形
- CSG : 一般品
- PSG : GMP対応

図4 型番構成例

- * 1) 蒸発器型番は001型, 002型, 003型, 005型, 008型, 010型, 015型, 020型が標準化されており機種選定表がある。
- * 2) 選定表に示されていない蒸発器の製作も可能である。

- (3) ドレン回収には高圧のドレンを大気に触れることなくドレンタンクに回収しボイラに直接給水する有圧ドレン回収もあるが、蒸気を直接製品にかけるなど、直接熱交換を行っている工場では、そのドレンは回収できない。
- (4) 水平方向に広い工場の低圧ドレンは自圧では戻りづらく、さらに配管形状が複雑になっている場合は、なかなかドレン回収タンクまで戻らないためドレンを排水溝に捨てている工場も多々見受けられる。
- (5) 蒸気に関して工場全体を見る担当者がいないため、把握できていない。

3. 蒸気発生装置について

一般工場蒸気はボイラ内外水処理に使用される数々の薬品を部分的に同伴している。進栄技研の蒸気発生装置は半導体洗浄や粉ミルクなど高品質で安全な製品を製造したり、加熱ジャケットが汚れて伝熱係数が悪くなることを防ぐ、加湿器のスプレーが詰まることを防ぐなど、製品に直接接触する蒸気や不純物を含まない高品質の蒸気を供給するための装置である。

加熱源は一般工場蒸気を使用し、薬品処理を必要としない供給水を蒸発させることによってクリーンな蒸気を発生させることが可能となっている。写真1に蒸気発生装置を示す。

4. 蒸気発生装置およびシステムの特徴

以下に蒸気発生装置とシステムの特徴を列挙する。

- ・蒸発器は、内部に降水管を備えた単胴型サーモサイホン方式となっており、大きな総括伝熱係数がある。
- ・運転開始から蒸気発生までは短時間である。
- ・必要な加熱蒸気量は発生蒸気量の1.15倍程度でありフロー量も少ない。
- ・蒸発器の蒸気流出部にはサイクロンセパレータを装備しており、乾き度の高い蒸気を発生する。
- ・蒸発器から排出される加熱蒸気のドレンは装置内に組込まれているプレヒータの熱源として再利用されるため省エネルギーである。
- ・制御盤を含めすべての必要機器・配管が共通台盤上にユニット化されているためそのまま基盤上に設置し、

必要ユーティリティを接続すれば手軽に蒸気を使用できる。また装置の大きさは小さくてコンパクトである。

- ・オプションとして、ブロー水や加熱蒸気ドレンの湯気をとるためのクーラを設置可能。
- ・供給水の水質に応じて蒸発器内水は、手動ブロー・自動ブロー・連続ブローを選択でき缶水の濃縮を防止する。
- ・加湿など負荷変動の少ない場合、制御系は操作部も含め全電気式も選択可能。
- ・供給水の圧力がない場合は、ユニット内に給水ポンプを設置。
- ・発生する蒸気は高い圧力、低い圧力でも信頼できる制御により対応可能。
- ・加熱温度が一定でない、凝縮伝熱で大きな総括伝熱係数が得られない過熱蒸気でも対応可能。
- ・チューブ内面のクリーニングや開放、点検清掃がしやすい構造となっている。
- ・防爆エリアも対応可能である（制御盤は除く）。
- ・蒸発器は小型压力容器、または第一種压力容器となる。

図2に蒸気発生装置フローシートを示す。

5. 主な使用先

使用先は食品・化学・半導体・医薬・医療の工場や研究所など多岐にわたる。

6. 機種のご最適選定

図3の縦軸上に加熱蒸気圧力を選び、その加熱蒸気圧力を横軸に水平に伸ばし、必要とされる蒸気圧力線との交点を垂直に下に降ろして、発生蒸気量を満足する蒸発器型番を決める。用途に応じて型番構成表に従って型番を決める。

図4に型番構成例を示す。

(ステップ1) 供給できる加熱蒸気圧力が0.8MPa, 必要とする圧力が0.2MPa, 必要蒸気量が100kg/hとすると蒸発器型番は001番となる。

次に型番構成より選定をすれば最適な機種が選択可能となる。

(ステップ2) 一般品、通常管板形で、最高使用圧力が0.98MPa, 蒸気側材質 SUS304 と選択すると弊社機種はCSG1001-0.98-S4となる。

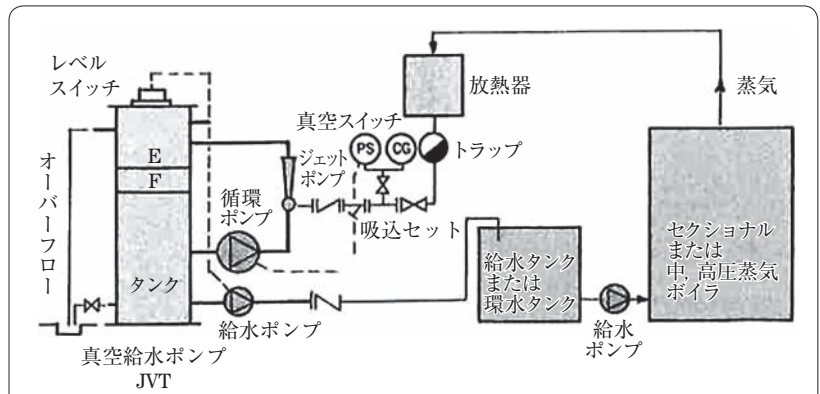


図5 JV型システム例

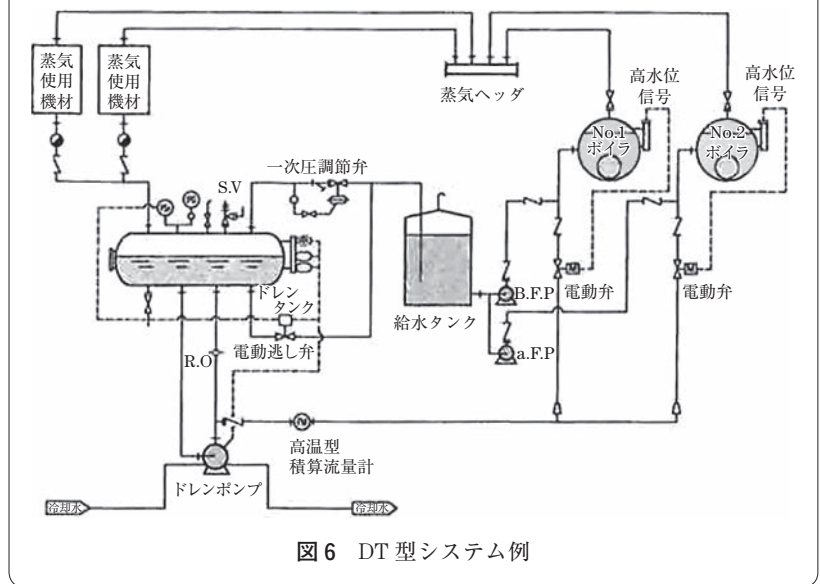


図6 DT型システム例

7. 回収システム、脱気システム、飽和蒸気変換器などシステム構成機器

7-1. ドレン回収システム（スチームコンデンセート回収システム）

高圧から真空までドレン発生量の変動に対応可能で、回収に必要な動力は最小、回収熱量は最大の、シンプルで安全な最適システムを設計する。選択した装置は小型でかつその現場に合わせることができる。

1) オープン回収（大気開放系）JV型

冷却水不要の真空ドレン回収システムである。空調機、貯湯槽、吸収式冷凍機等から排出される低圧蒸気ドレンを、ドレン温度100℃まで、吸引回収し、再びボイラに給水したり、給水タンク、還水タンクに送水することができる。回収量～50t/h。

2) クローズド回収（有圧回収、密閉系）DT型

高差圧、大流量時に安定回収できるシステムである。圧力調整機能を持った压力容器と高温ポンプとの組合せシステムであり、回収ドレンとボイラとの差圧が大きな時や、回収ドレン量が大量で、変動の多い場合に適している。温度によっては冷却水不要のポンプを設置するこ

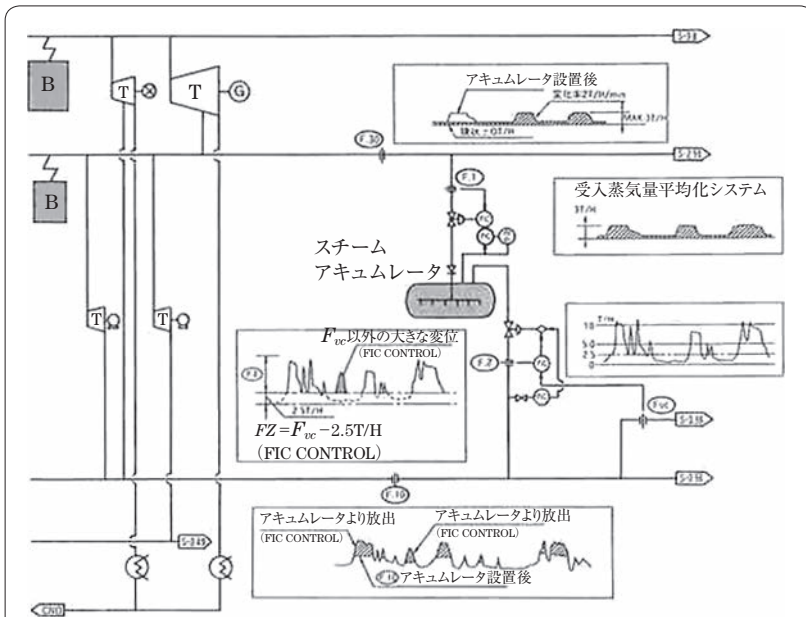


図7 省エネ型（流量制御型）スチームアキュムレータシステムフロー例

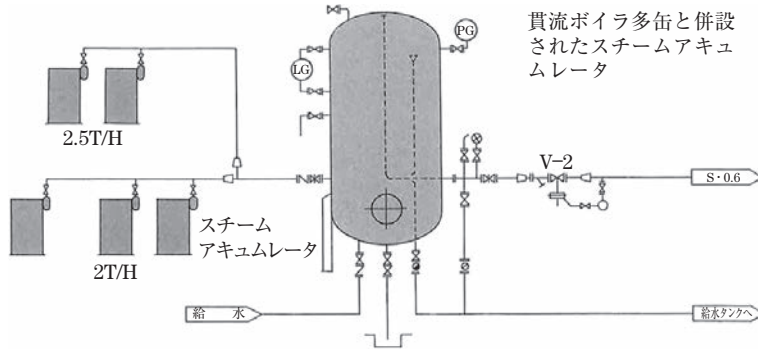


図8 簡易型スチームアキュムレータシステムフロー例

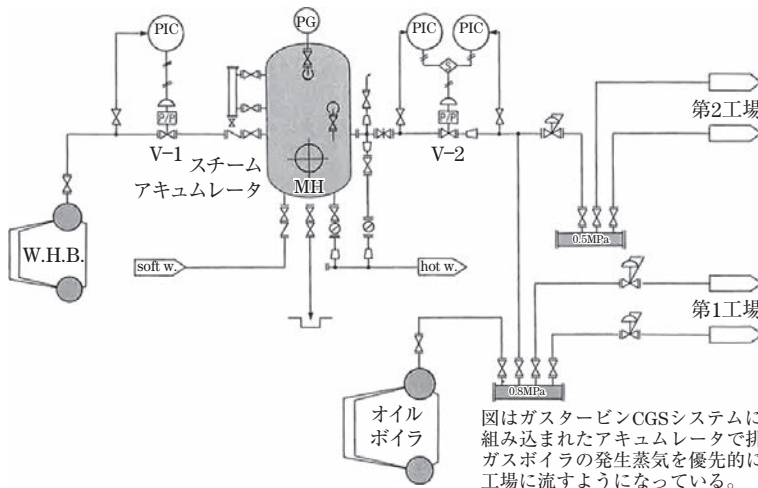


図9 保圧弁型スチームアキュムレータシステムフロー例

7-2. スチームアキュムレータシステム

設置目的に応じた合理的なスチームアキュムレータシステムを提供しているが、大別すると (1) 省エネ型 (流量制御型)、(2) 簡易型、(3) 保圧弁型の3つがある。

(1) 省エネ型

〈特長〉ボイラ蒸発量平均化システムにより、ボイラの運転が安定し運転効率が上昇する。蒸気負荷再現システムにより工場の実際の蒸気負荷変動曲線をボイラの蒸発量とスチームアキュムレータの内圧により演算再現をすることによりスチームアキュムレータの2次側の蒸気流量計を不要にできる。

(2) 簡易型

〈特長〉ボイラの連続運転時間帯が増加することにより、ボイラの起動、停止回数が減少しプレバージ、ポストバージによる熱損失が減少、電力の節約が可能となる。大きな蒸発面積によって供給蒸気の乾き度が上昇し製品の安定や省エネにつながる。

多数管設置の場合、スチームアキュムレータがあることで2次側負荷は直接1次側へと伝わらないため、内圧の緩やかな変化を利用して合理的な台数管理を行うことができる。ボイラの能力以上のピーク負荷に対応可能である。

(3) 保圧弁型

〈特長〉パッケージボイラとの組合せで、簡単なシステムである。保圧弁は弁前圧力が設定圧力を超すと開きはじめる、その圧力が上昇するにつれて弁開度も大きくなるように働く。保圧弁は、スチームアキュムレータがボイラにとって過大な負荷となることを防止する。パッケージボイラや廃熱ボイラにとってはドラム圧力が安定する。

適正な計装機器、圧力制御弁や流量制御弁、空気式や自力式、電動式を選定することでスチームアキュムレータの能力を最大に使用することが可能となっているため、既設のスチームアキュムレータがある場合でもシステムフローの提案や

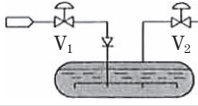
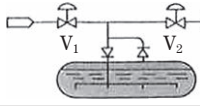
とにより、さらに省エネルギーを可能としている。回収量~100t/h、回収差圧~2MPa。

その他に高性能ジェットポンプを設置したJCS型もある。図5にJV型システム例、図6にDT型システム例を示す。

制御改造でスチームアキュムレータの能力が改善した例も多い。さらにループ配管である場合、シリーズ配管へ改造工事 (参考外部配管比較表) をすると改善効果はより大きい。

工場の蒸気ライン変更にともない高温水が必要になっ

表2 スチームアキュムレータ外部配管比較表

フ ロ ー	 シリーズ配管	 ループ配管
蒸気処理量	<ul style="list-style-type: none"> 全量通過 常に蒸気吹込，再蒸発が行われている。 	<ul style="list-style-type: none"> 分通過 一次側，二次側の蒸気流量が等しい時アキュムへの蒸気流入，流出が悪い。
缶水温度分布	<ul style="list-style-type: none"> 常に水循環があり，温度分布は均一で蓄熱量が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 水循環が無い時間帯があり缶底が冷える。
二次側蒸気	<ul style="list-style-type: none"> 一次側が飽和蒸気の場合は，アキュム本体がドレンセパレータの働きをし，広い蒸気面積から静的に蒸発した乾き度の良い蒸気が流出する。 一次側が過熱蒸気の場合は，本体が減温器となり二次側では温度の安定した飽和蒸気が得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> アキュムレータからの蒸気と，一次側よりストレートに通過する蒸気が混合したり，混合しなかったりして，蒸気の質が安定しない。特に一次側がスーパーヒートの場合には二次側蒸気温度は安定しない。
出入口部逆止弁	<ul style="list-style-type: none"> 基本的には不変。 入口部逆止弁は一次側圧力降圧時のみ作動する。 	<ul style="list-style-type: none"> 重要な機能部品。 逆止弁通過蒸気量微少時に必ずチャタリングが発生する。 騒音，振動，故障の原因となる。 逆止弁が故障するとアキュムレータが作動しなくなる。
負荷変動吸収能力	<ul style="list-style-type: none"> 二次側負荷変動は直接一次側に伝わらない。 V₁弁の制御システムが簡易型でもアキュムがクッションとなり，効果大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷変動が直接一次側（ボイラ）に波及する。 V₁弁が保圧弁型システムの場合不可変動がボイラ蒸発量を不安定にし，アキュムレータが有効に作動しない。
設 備	<ul style="list-style-type: none"> 複列配管となる。 流入，流出管は全量通過分の配管径必要。 入口逆止弁は市販品が良い。 	<ul style="list-style-type: none"> 単列配管で済み設置場所が離れている場合有利。 ループ部分は部分通過の配管径が良い。 出入逆止弁高価。
用 途	<ul style="list-style-type: none"> 全ての蒸気使用プラントに適用できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷変動の激しい製造プラントには不向き。

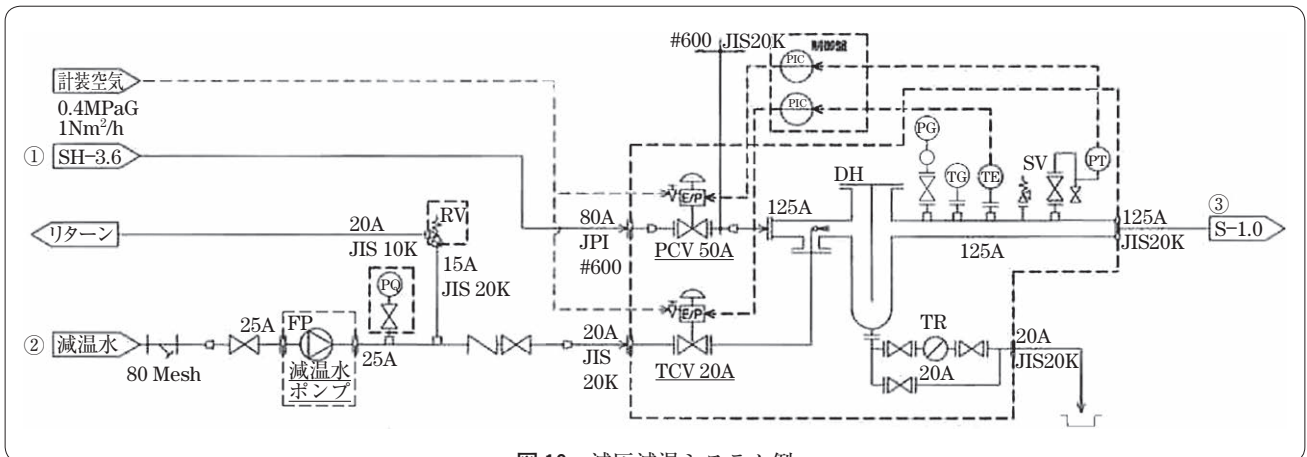


図10 減圧減温システム例

た工場では，スチームアキュムレータを高温水製造装置として変更して使用されたケースもある。既設のシステムが現状に合っているのかを見直すことで，より良いシステムへと改善できると考えている。図7に省エネ型スチームアキュムレータシステムのフロー例を示す。また図8には簡易型スチームアキュムレータシステムフロー例，図9には保圧弁型スチームアキュムレータフロー例を示す。

なお，表2にはスチームアキュムレータ外部配管比較表を掲げた。

アキュムレータ本体への蒸気出入口配管については，シリーズ配管，ループ配管があるが，表2のごとくシリーズ配管の方が利点が多く，シンエイスチームアキュムレータシステムには一般的にシリーズ配管を採用している。

7-3. 減圧減温システム

過熱蒸気をプロセス用として使いやすい飽和蒸気に変換することができるシステムである。減温器と減圧弁

装置を組み合わせることで，任意の圧力に変換できる。小型の装置（10kg/h～）は減温水量を調整しない簡易型であり飽和温度で運転可能である。

減温水量を制御する場合には，設定蒸気温度は飽和温度プラス3℃以上となる。調節計機能を持たずと使用圧力を設定すれば運転ができるため，設定ミスや手間をなくすることができる。

ユーティリティとして減温水スプレイに必要な圧力は最小であるが，減温水の圧力がない場合は，信頼できる昇圧ポンプを選定することによって減温が可能である。その昇圧ポンプで，温度を制御すればコストや運用面でもプラスとなる。使用した蒸気のドレンを回収し昇圧ポンプで昇圧して減温水にすることも可能である。減圧減温システムを図10に示す。

7-4. 脱気器システム

進栄技研製脱気器の特長はスチームアキュムレータの技術を応用した高性能の脱気器である。以下に特長を列

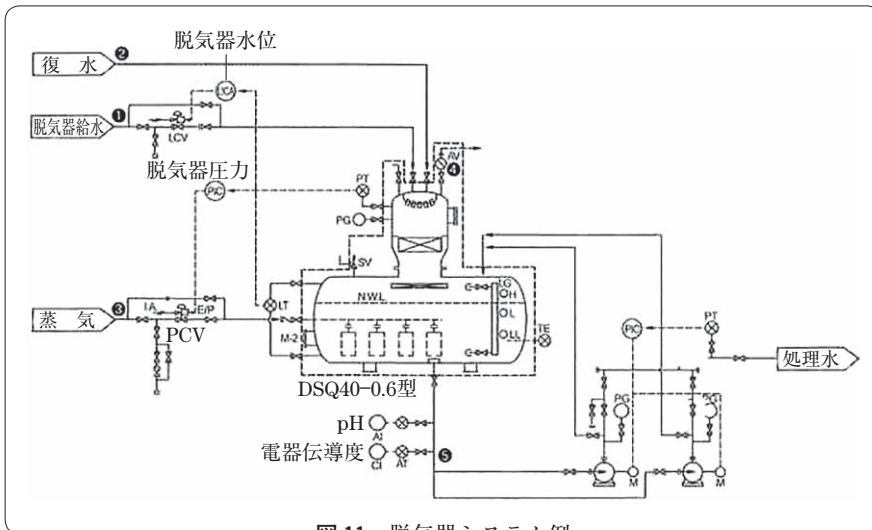


図 11 脱気器システム例

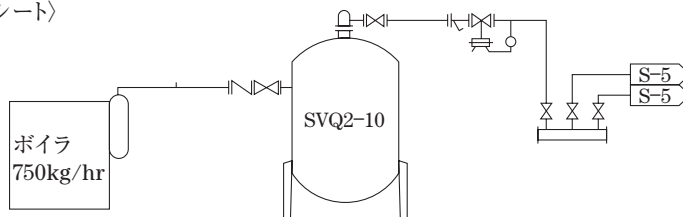
- 〈設置目的〉 1) 公称1.5t/hr貫流ボイラのON-OFFが激しいので750kg/hr貫流ボイラ，プラス アキュムレータで運転の安定化と省エネを狙う
2) 供給蒸気の乾き度上昇

〈ボイラ設備〉

	アキュムレータ設置前	アキュムレータ設置後
ボイラ型式	小型 貫流	小型 貫流
蒸発量 [kg/hr]	1.500	750
運転圧力 [MPaG]	0.7~0.8	0.7~0.8

〈送気圧力〉 0.5MPaG

〈フローシート〉



- 〈効果〉 1) ボイラは低燃焼位置で連続運転。
2) 燃料使用量 400ℓ/日が300ℓ/日となった（燃料節約率25%）。
3) 供給蒸気の乾き度が上がった。

図 12 スチームアキュムレータ設置データシート

挙する。図 11 には脱気器システム例を示す。

- ・ 処理水は完全な飽和温度となり溶存酸素は最低となる。
- ・ 型式はスプレイトレイ再熱式に分類されており，脱気用の蒸気は従来品とは異なり貯槽部より再蒸発した加熱蒸気は完全な飽和蒸気となっている。
- ・ 塔頭部より補給水をスプレーで噴射するが，水は上昇する空気を含んだ蒸気と接触し，ベントコンデンサの働きをするのでベント蒸気量は少量である。
- ・ スプレーの性能だけに頼る必要がないため，固定式スプレーノズルを採用している。可動部があるスプレーノズルと比べて長寿命である。

システムとして器内圧力制御や水位制御は，運転条件やスプレー圧損などを考慮した大きなレンジアビリティの制御弁を選定することによって脱気器処理水の変動に

対しても安定運転が可能であり，計装空気がない現場でも変動が少ない場合は最適な電動式制御弁を選定することによって運転可能である。

工場の近くに民家や道路がある場合，脱気器からのベント蒸気がたとえ少量でも風向きによっては目立ったり，音がするが，適正なベントコンデンサやサイレンサを選定することで問題にはならない。

脱気器に蒸気使用先のドレンやフラッシュ蒸気を入れることによって熱回収率の改善が可能にできる。

古くから使用されている脱気器は，ポンプのNPSHの関係上，高所にあったが，低NPSHのポンプを選定することによりメンテナンス性に優れた地上に設置することも可能である。

脱気器に給水するポンプは，水位制御に使用することでより安定した運転ができる。既設脱気器については，リプレースだけでなく設置場所やポンプ，制御弁や配管廻りも同時に改造することにより，省エネや能力等を改善させることができると考えている。

7-5. 省エネ対策（経済性など）

(1) 小型貫流ボイラの運転台数合理化

この場合にはスチームアキュムレータがボイラ保有水量を増大させることと同じで，ボイラ運転は安定するため燃料費やCO₂排出の削減が可能となり，さらにボイラ

の寿命の延長もする。選定としては換算蒸発量 2t/hr 当り保有水量 2m³ 程度が目安となる。ボイラ台数としては 2 台など少数の方がより効果が高く，例えば 2t/h ボイラが 2 缶設置されている場合，選定するスチームアキュムレータの保有水量は 4m³ となる。

最大負荷に合わせたボイラの場合，スチームアキュムレータでピーク負荷をカットすることが可能であれば，平均蒸気使用量でボイラを選択することによって台数を少なくしたりダウンサイジングが可能となる。安定した蒸気や乾いた蒸気が供給することにより生産性や品質の安定向上が図れることもメリットであり，特にバッチプロセスで蒸気を直接製品にあてる工程ではその効果は明らかである。

図 12 にスチームアキュムレータ設置データシートを掲げた。

(2) クローズド回収で高い保有熱のドレンを回収した場合に生じるメリットは、一般的に次のようなものがある。

- 1) ボイラの燃料費を約10~25%節約できる。
- 2) クローズドシステムであるのでボイラの補給水量が減少する。
- 3) したがってボイラの水処理剤、再生剤を約10~25%節約できる。
- 4) ボイラの給水温度が上昇することになり蒸発量が増大する。
- 5) ボイラに余裕ができ燃焼負荷が下がることによりNO_x、SO_xが軽減し、大気汚染防止に役立つ。
- 6) ドレン回収によって、温排水や生蒸気を逃がさなくて良く公害防止に役立つ。また見た目も良い。
- 7) ボイラのブロー量が減少する。
- 8) 給水処理設備の負荷が減少する。

ドレン回収を行うことによってボイラ使用プラント全体に大きな利益をもたらすことがわかる。しかし特に目に見えて実益となってくるのは、1)の燃料費の節約であり、この節約額がドレン回収を実施する上での目安となる。

次にドレン回収による燃料節約額の計算例を示す。

[条件]

使用蒸気圧：1.2MPa

給水温度：80℃ (334.95kJ/kg)

回収ドレンのエンタルピー：742.72kJ/kg

ここではトラップから排出されたドレンのエンタルピーは0.80MPaGに相当するものと推定した。

回収ドレン量：2t/h

ボイラ効率：90%

使用燃料：A重油 比重0.86, 発熱量 42.7MJ/kg
(42,700kJ/kg)

燃料単価：55円/ℓ = 63.9円/kg

運転時間：8,000hr

[利益計算]

回収熱量 = 2,000kg/h (742.72kJ/kg - 334.95kJ/kg)
= 815,540kJ/h

熱量単価 = $\frac{63.9 \text{ 円/kg}}{42,700 \text{ kJ/kg} \times 0.9}$
= 0.0016 円/kJ

年間回収金額 = 815,540kJ/h × 0.0016 円/kJ × 8,000hr
= 10,438,912 円

安全率0.8と見ても年間約800万円の節約となる。

初期費用が高額のため設備投資には慎重にならざるを得ないが、上記のように確実にメリットは出るため、得たメリットを費用に充てる融資機関を利用する等も検討する余地があると考ええる。

オープン回収でドレンを回収した場合に生じるメリットは、クローズド回収と比べると回収温度が低いためメリットは出にくいですが、その他に有利な点として次のようなものがある。

(1) 真空ポンプをボイラより先に運転することにより立上げ時に起こる配管内のウォータハンマを防止すること

が可能である。弁、配管、装置などに損傷を与えることを防止することが可能となる。

(2) ドレン回収管を真空にすることによって差圧ができるためトラップの働きを助けることができる。ドレン抜けが良くなる。

(3) 蒸気輸送中に発生するドレンを除去することにより清浄な乾き飽和蒸気の供給が可能となる。

(4) 特に低圧蒸気使用先では、差圧が少ないため、よりドレン抜けが良くなることでドレンの抜けが悪くて製品の温度ムラがある場合や加温に時間が掛かる場合等は、解消できる。

(5) ボイラ停止後に真空ポンプを運転することによって、蒸気配管やドレン配管中のドレンを抜き真空を保つことで腐食防止につながり、配管の寿命を延ばすことができる。

(6) 配管の施工上、仕方なくトラップの2次側配管が立ち上がっている場合でも、真空にすることによってウォータハンマが起らずにスムーズに回収が可能である。ドレン配管のやり直しをせずに済む。また配管の寿命を延ばすことが可能。

(6) 進栄技研製のドレン回収真空ポンプは100℃まで真空引きが可能であり、冷却水不要で熱量を有効に回収できる。

(7) 製品に直接、接触させている蒸気は、ボイラ給水には使用不可であると考えるが、ドレンとして回収をし間接熱交換をすることによって熱のみを回収することも可能である。

(8) 立ち上がり時などドレンの抜けが悪い箇所を人の手でバイパス弁を開けたりする手間をなくすことで、工場の自動化を進めることができる。

(9) 蒸気配管内が真空になるとトラップから排水できなくなるため、その解消の一つに外気を入れている場合があるが、空気は蒸気の温度を下げたり、他の害をもたらす。この場合もより真空で回収することができれば解消可能である。

(10) 凍結による配管、弁の損傷を防ぐことができる。

ドレン回収によってもたらされるメリットについては、もたらされるメリットが、コスト的には不利であったとしても、人手不足や地球温暖化対策として従業員の作業性や環境に対する改善の評価が社会的にも求められている。

屋内の排水溝にドレンを排出していたケースでは、ドレン回収を行うことで温度上昇が抑えられ室内環境が改善された。またボイラに給水する温度20℃から60℃へと上がったことによってCO₂排出量は年間約100t削減された例もある。

燃料費や人手不足感は今後上昇すると考えられるため速やかな検討実施が必要である。

(参考文献)

- 1) 安形明彦, 蒸気ボイラのドレン回収装置, 燃料及燃焼, 昭和53年2月号通算520号