

過熱水蒸気発生装置

「DHF Super-Hi(スーパーハイ)」

高効率金属発熱体の誘導加熱による流体加熱システム

第一高周波工業株式会社

小林 良 治

「過熱水蒸気技術集成」

その特性と拡がる最新利用および装置開発の現状

別刷

NTS 出版（2005 年 9 月 1 日発行）



過熱水蒸気装置の開発現状

高速化・小型化・システム化

1

過熱水蒸気発生装置

「DHF Super-Hi(スーパーハイ)」

—高効率金属発熱体の誘導加熱による流体加熱システム—

小林良治 第一高周波工業株式会社

■ 1. はじめに

工業プロセスには、熱プロセスが欠かせないものとして各種の熱が用いられている。中でも高温蒸気は、その取り扱いの簡便さなどから多くの工程で用いられている。その中で過熱水蒸気は食品加工を中心に利用され、装置の発展に伴ってさまざまな工業用途にも大きく展開しつつあり、今後もさらに幅広い用途での利用が期待できる。

当社（第一高周波工業（株））の過熱水蒸気発生装置（DHF Super-Hi：スーパーハイ）は、加熱ユニットとして独自の誘導加熱（IH）式流体加熱ユニットを適用しており、従来のバーナや電気ヒータ式に比べ、急速な昇温・正確な温度制御などをはじめ多くの特長を有している。

この方式により、小規模な機器からプラントレベルまで手軽に過熱水蒸気を利用することが可能となっている。

本稿では、過熱水蒸気を持つ特性、「DHF Super-Hi」の仕組みなどとともに応用展開の実用例などについて述べる。

■ 2. 過熱水蒸気の特長

過熱水蒸気の特長については多くの論文や試験データなどが公表されており、詳細についてはそちらを参照願いたい。

ここでは復習の意味で、過熱水蒸気に関する主な物理的な特長について、一般的に加熱空気と比較して、わかりやすいようにグラフと図で表した。

- (1) 加熱空気に比べて熱容量が大きいので、被加熱物を急速に加熱することができ、加熱時間を短縮できる（図1）。
- (2) 加熱空気に比べて約2倍程度の定圧比熱を有し、加熱能力に優れている（図2）。
- (3) 潜熱のエネルギーを有するので、加熱空気に比べエンタルピーが大きい（図3）。
- (4) 空気による伝熱は対流伝熱に限られるが、過熱水蒸気では対流伝熱（空気の10倍以上）

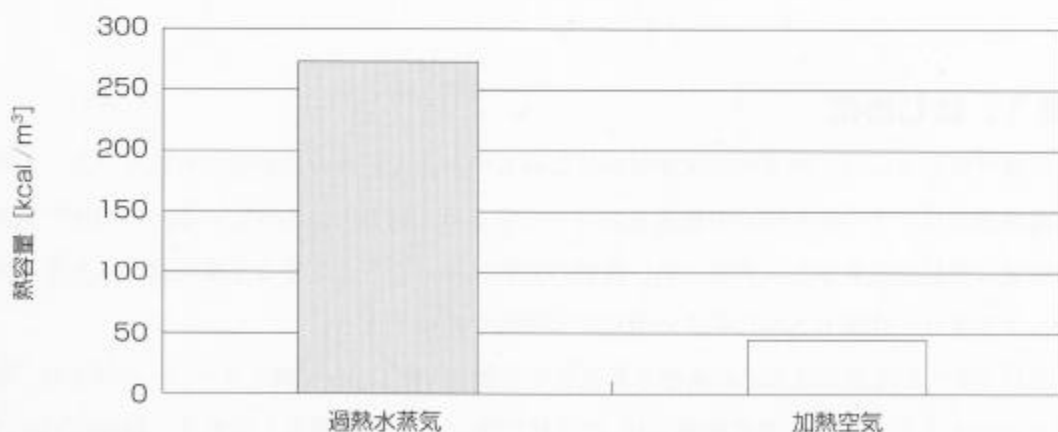
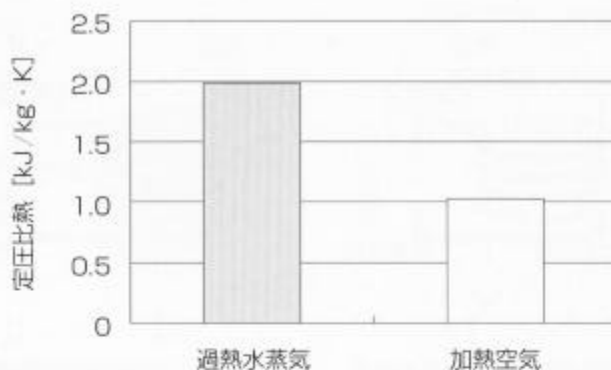
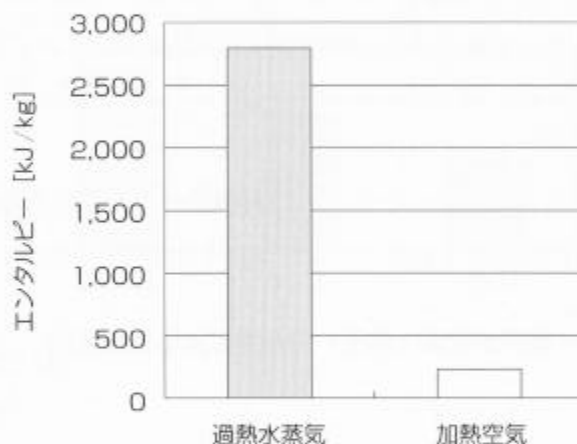


図1 過熱水蒸気と加熱空気の熱容量（300℃）

図2 過熱水蒸気と加熱空気の定圧比熱¹⁾ (227℃)

注) 過熱水蒸気：20℃の水を200℃の過熱水蒸気にした場合のエンタルピー

加熱空気：20℃湿度60%の空気を200℃の加熱空気にした場合のエンタルピー

図3 過熱水蒸気と加熱空気のエンタルピー (200℃)

に加えて放射伝熱、凝縮伝熱によっても伝熱する「複合伝熱作用」により熱効率が良い (図4)。

(5) 飽和水蒸気に比べて、単位体積あたりの水分量が少ないため、湿熱と乾熱の性質をあわせ持っている (図5)。

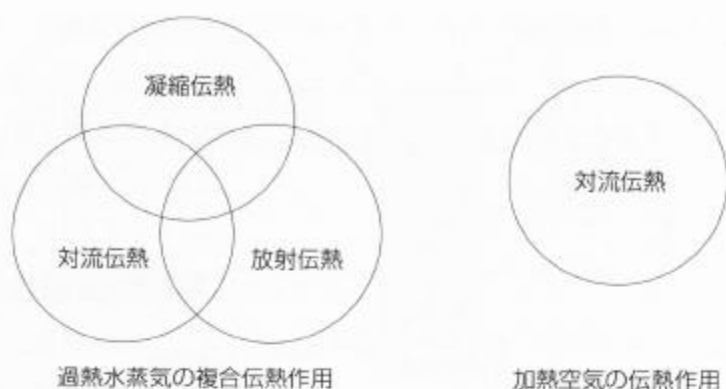


図4 過熱水蒸気と加熱空気の伝熱形態

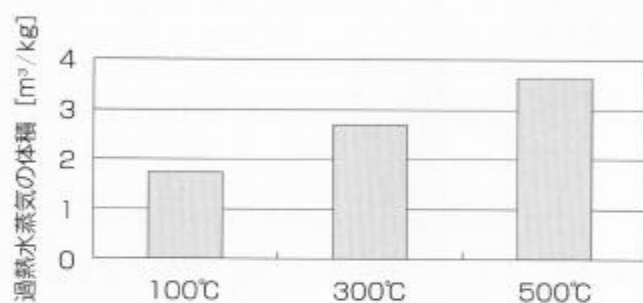


図5 過熱水蒸気（常圧）の温度による体積変化

■ 3. 誘導加熱の原理と特徴

加熱コイルに交流電流を流すと、周波数に応じた交番磁界が発生する。その磁界中に導電体を挿入すると、導電体に誘導電流が流れる。この誘導電流によりジュール熱が発生し、導電体が発熱する。これが誘導加熱の基本原理である（図6）。

この原理を応用することによって、金属のみの選択加熱・急速加熱・局部集中加熱・移動物体の非接触加熱などが可能であり、クリーンかつ高い温度制御などの特徴を生かすことができる。

当社では、この技術を機械部品の高周波熱処理、鉄道軌条の焼き入れ、中周波焼き入れロール、鋼管・形鋼のベンディング、樹脂ライニング、鉄筋加工などの新しい技術を開発してきた。また、加熱用の高周波電源も自社製であり被加熱物に最適な電気条件に適正化した設計

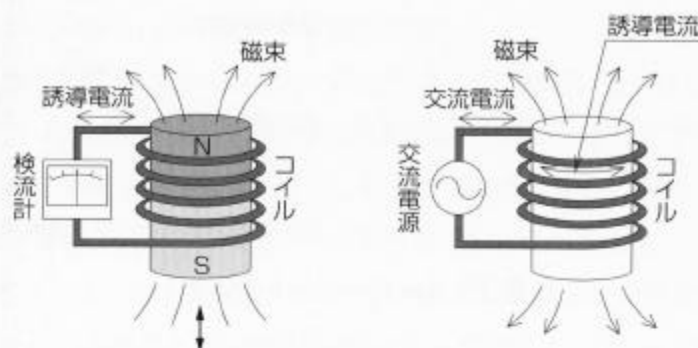


図6 誘導加熱の原理図

を行っている（詳細に関しては当社ホームページ²⁾を参照ください）。

この過程で蓄積してきた開発技術・ノウハウを生かし開発されたのが、この過熱水蒸気発生装置である。

■ 4. 流体加熱ユニットの特徴

過熱水蒸気発生装置の加熱方式を燃料によって大別すると、

- (1) 液体燃料燃焼方式
- (2) ガス燃料燃焼方式
- (3) 電気加熱方式（ヒータ加熱・誘導加熱）

の大きく3つの方式がある。「DHF Super-Hi」は、この中で誘導加熱を利用した過熱水蒸気発生装置であり、金属管により構成される特殊構造の導電性の発熱体を誘導加熱により過熱（スーパーヒート）し、その発熱体に飽和水蒸気を通すことにより、圧力を加えることなく過熱水蒸気を発生させるようになっている（図7）。

一般的に、誘導加熱は前述のような優れた特徴を有するが、被加熱物の形状や大きさによっては、加熱温度が不均一になることがある。

今回開発した流体加熱ユニットは図8のイメージ図、図9の機器の平面図に示すように多管式熱交換器のような形状を持ったものであり、管の束の外周を取り巻いた過熱用のコイ



図7 スーパーヒートの方法

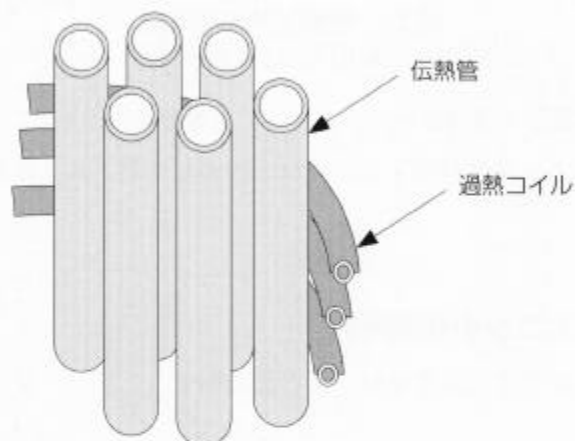


図8 流体加熱ユニットのイメージ図

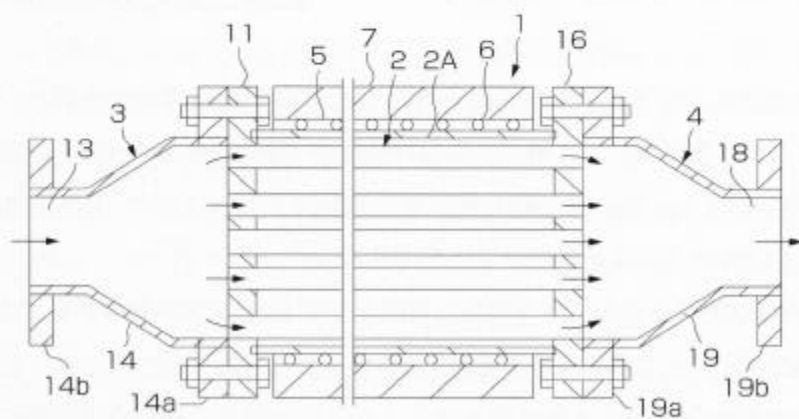


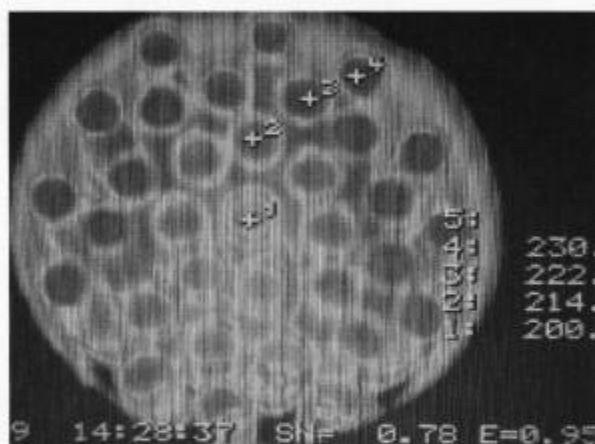
図9 流体加熱ユニットの平面図

ルに電流を流すことにより、管を加熱する構造である。

しかしながら本来の誘導加熱の特性からすると、コイルの近傍に近いほど電流が多く流れ、したがって外周部に配置された管ばかりが加熱される。

「DHF Super-Hi」の流体加熱ユニットは、伝熱管や加熱コイルの設計、電源と電気条件のマッチングなどを最適化し、ユニット全体を均熱化することに成功した（特許取得済）。

図10のサーモグラフィに示すように、ユニット中央部に位置された管まで均熱化されているのがわかる。また、電源部分も自社開発商品である高周波インバータを使用しており、流体加熱ユニットに最適な電源供給を行えるので効率がさらに良い。



※口絵参照

図10 加熱中のユニットのサーモグラフィ写真

■ 5. 「DHF Super-Hi」の特徴

以上に述べた概念によって作られる過熱水蒸気は、まとめると次のような特徴がある。

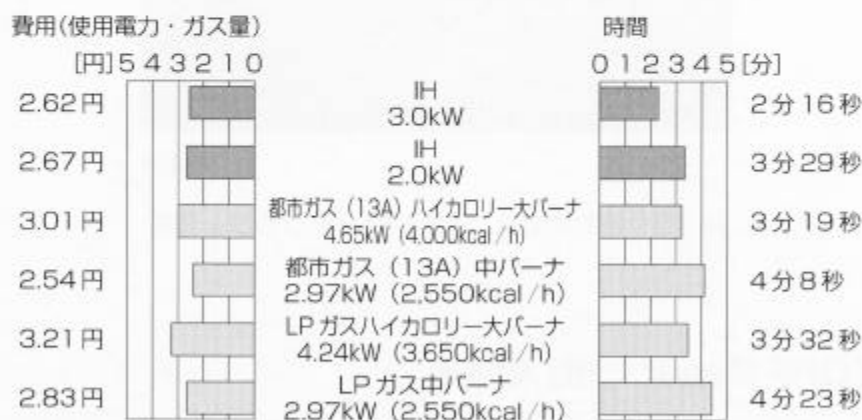
- (1) 蒸気を過熱する流体加熱ユニットは、金属部材による配管システムのみで構成されているので、既設の設備、配管にも容易に設置可能である。また、そのため蒸気の漏れなどが生じにくく、スケールアップへの対応が容易。
- (2) 過熱蒸気は常圧であるので大掛かりな設備が不要、また装置はコンパクトで設置面積は

少なくて良い。

- (3) 特殊構造の発熱体はバーナや電気ヒータ式に比べ熱効率が高く(90%以上)、誘導加熱システムにより急速な昇温が可能で、必要なときに瞬時に使用が可能。また、温度制御がシビア(±1%以下)。
- (4) 低酸素雰囲気中で加熱処理ができるため、被加熱物の酸化や燃焼を抑制する。また、火災や爆発の危険が大幅に減少する。
- (5) 蒸気は均一温度に制御された流体過熱ユニットを通過するので、均一な熱履歴を受けた過熱水蒸気分子が得られる。
- (6) 特殊仕様の発熱体により、Max.1,000℃の蒸気発生が可能。

また、経済性に関して、ガス加熱の熱効率は機種によって異なるが40～60%程度と言われており、誘導加熱の熱効率は工業用の場合90%以上である。

参考のため、湯沸し時間と費用の比較を図11に示す。実際的には、エネルギー単価的に、業務用価格は家庭用と異なることもさらに加味する必要がある。



出典 電 気：社全国家庭電気製品公正取引協議会

都市ガス：ガス事業便覧(2000年度版)

LPガス：石油情報センター

*都市ガス、LPガスの単価の目安は社日本ガス石油機器工業会資料による(2001年6月)

図11 湯沸し時間と費用の比較³⁾

■ 6. 「DHF Super-Hi」の仕様

6.1 「DHF Super-Hi」のラインナップ

標準機のラインナップは、表1の通り。最高温度 1,000℃までの装置は、特殊仕様にて製造可能。

180 kg/h 以上の容量のものについては、「DHF Super-Hi-180W」を複数台ユニット化することにより対応が可能である。現在までに、最大規模で1トン/hの装置を納入した実績がある(図12)。

表1 「DHF Super-Hi」標準機のラインナップ

形式	最大蒸気量 [kg/h]	最大蒸気温度 [℃]
DHF Super-Hi-5W	5	500
DHF Super-Hi-10W	10	500
DHF Super-Hi-60W	60	500
DHF Super-Hi-80W	80	500
DHF Super-Hi-180W	180	500



寸法：φ 260 × 880L (過熱ユニット部のみ)

重量：50kg (過熱ユニット部のみ)

図12 DHF Super-Hi-60W型

6.2 「DHF Super-Hi」の装置構成例

当社では装置全体の内、蒸気発生部のみの供給を基本としている（図13の中の、高周波電源・DHF Super-Hi・高周波ケーブル・温度監視BOX）。

6.3 高周波電源 4020 (Super-Hi 標準) の仕様

高周波電源 4020 の仕様を図14、図15に示す。

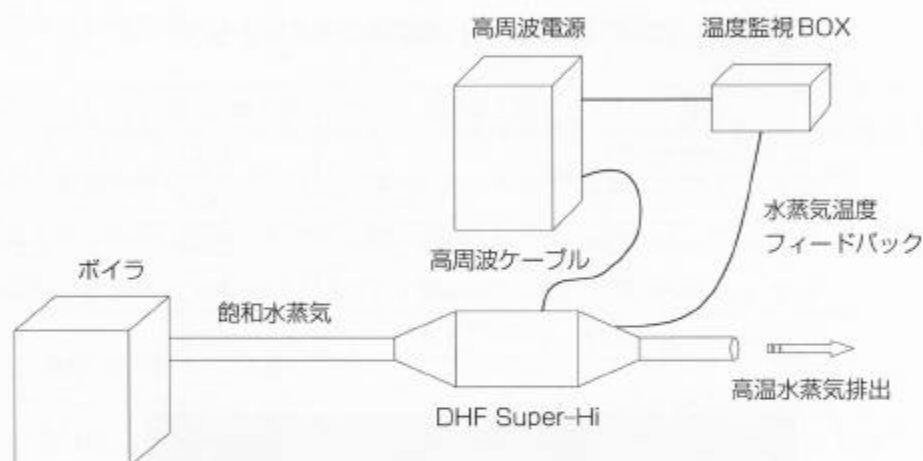


図13 装置構成例



形式	: DHF HI-HEATER4020
入力	: 3相 200/220V 50/60kHz 26kVA
出力	: 単相 10～40kHz
冷却方式	: 強制空冷
寸法	: 400W × 350D × 885H
重量	: 60kg

図14 DHF HI-HEATER4020

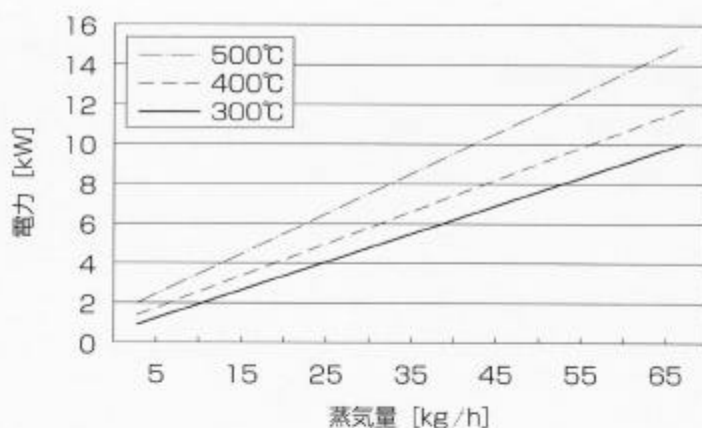


図 15 蒸気量と電力の関係

■ 7. 過熱水蒸気の用途例

過熱水蒸気の用途に関しては、食品加工を中心にさまざまなところで取り上げられているので、ここでは他の分野への展開について項目のみ列挙する。

- (1) 半導体製品、機器などの洗浄
- (2) 樹脂製品の洗浄
- (3) バイオマスの処理
- (4) コンポスト化
- (5) 医療廃棄物の処理
- (6) 土壌処理
- (7) 食品容器の殺菌

■ 8. おわりに

過熱水蒸気発生装置「DHF Super-Hi」の仕組みや過熱水蒸気を持つ特性、使用用途例を紹介した。過熱水蒸気の特長や効果についてはまだ未知の部分もあり、特に高温での環境分野の応用が広がりつつあるように見える。今後もさらに利用拡大が期待されるとともに、新分野での加熱熱源としての応用が期待される。

参考文献

- 1) 流体の熱物性値集, 日本機械学会.
- 2) 第一高周波工業株式会社ホームページ: <http://www.dhf.co.jp/>
- 3) http://www.gr.energia.co.jp/enela/cooking/f_cook0.htm