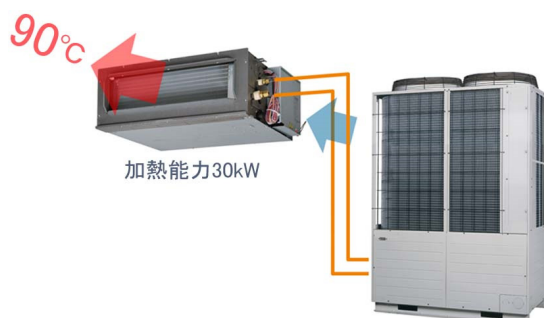


# 高効率空気熱源ヒートポンプ式熱風発生装置 “熱 Pu-ton”の開発

Development of "Neppu-ton" Hot Wind Generator  
Using High-efficiency Air to Air Heat Pump



小林 隆之\*<sup>1</sup>  
Takayuki Kobayashi

吉田 茂\*<sup>2</sup>  
Shigeru Yoshida

前野 政司\*<sup>2</sup>  
Masashi Maeno

森 孝親\*<sup>3</sup>  
Takachika Mori

黒岩 透\*<sup>3</sup>  
Toru Kuroiwa

産業分野における乾燥工程の省エネルギー化のニーズに応えるものとして、60～90℃の熱風供給が可能な高効率空気熱源ヒートポンプ式熱風発生装置“熱 Pu-ton”を開発した。“熱 Pu-ton”では、室外機と室内機を分離したセパレート方式を採用することで熱風が必要な工程に直接室内機を設置することが可能となり、設置工事費の低減が図れる。今回、実フィールドにて実証試験を行い、実使用下での省エネ性及び乾燥品質の確認を行った結果、乾燥システムとして問題が無いことを確認した。今後、この“熱 Pu-ton”を産業分野に広めることで、エネルギー使用量及びCO<sub>2</sub>排出量を削減させ、地球環境保全を推進させていく。

## 1. はじめに

産業分野の熱風を利用する乾燥工程などでは、化石燃料を使用した蒸気ボイラや熱風発生装置といった乾燥装置が広く使われており、ヒートポンプシステムによる省エネの要望がある。従来の高温ヒートポンプの多くは、工場の廃温水から熱回収する水熱源式の熱風ヒートポンプ又は温水生成ヒートポンプであるため、冷温水を循環させる水配管や温水から温風を生成する熱交換器を設置する必要があり、コスト面や設置スペースの確保が困難という課題があった。

今回、三菱重工サーマルシステムズ(株)と関西電力(株)、東京電力ホールディングス(株)、中部電力(株)の4社が共同開発した“熱 Pu-ton”では、通常のエアコンと同様に、大気から熱を取り込む室外機(熱源機)と、熱風を直接生成できる室内機(熱風発生装置)のセパレート方式で構成しており、空気熱源ヒートポンプとしては日本最高の90℃熱風を生成し、COP3.5<sup>(※1)</sup><sup>(※2)</sup>の高効率を達成した。これにより、工場などの熱風を利用する工程に直接室内機を設置することが可能、更に、室外機は屋外に自由に設置することができ、より簡単にヒートポンプシステムを産業分野へ適用することが可能となった商品である。表1に“熱 Pu-ton”の主な仕様を示す。

本報では、空気熱源ヒートポンプとして初めて60～90℃の熱風供給を実現した技術背景及び実フィールドの使用環境下における実証試験にて省エネ性及び乾燥品質の確認を行った結果を報告する。

(※1) COPは、Coefficient Of Performanceの略であり、熱風を供給する加熱能力を消費電力で除した値。

この値が高い程、高効率であることを示す。

(※2) 外気温:25℃(相対湿度は70%)、室内機吸込み20℃、吹出し80℃の条件における値。

\*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 グループ長

\*2 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 首席技師

\*3 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部

表1 “熱 Pu-ton”の主な仕様

項目	性能	
性能	加熱能力 <sup>※3</sup>	30kW
	COP <sup>※3</sup>	3.5
	室内機吸込風量 <sup>※3</sup>	25.6m <sup>3</sup> /min
熱源		空気熱源
吹出し温度 設定範囲	60~90℃	
室内機風量 設定範囲	18~50m <sup>3</sup> /min	
使用範囲	外気温: -5~43℃ 吸込み温度: -5~43℃	
内外接続配管長	片道最長 50m	
冷媒	R134a	
法定冷凍トン	2.84トン <sup>※4</sup>	
外形寸法 [mm]	室外機:H2048×W1350×D720 室内機:H380×W1150(+86 <sup>※5</sup> )×D648 <接続ダクトサイズ:300×900>	
製品重量	室外機:379kg 室内機:66kg	

※3 外気温:25℃(相対湿度は70%), 室内機吸込み 20℃, 吹出し 80℃の条件における値。

※4 法定冷凍トン5トン未満のため高圧ガス保安法上の届出は不要。

※5 室内機側面にある制御箱のサイズ。

## 2. “熱 Pu-ton”開発のポイントと特徴

### 2.1 熱風供給の実現と高 COP 化

図1は, “熱 Pu-ton”が 60~90℃の熱風供給及び COP3.5 を実現した適用技術を示したものであり, 下記にその詳細を説明する。

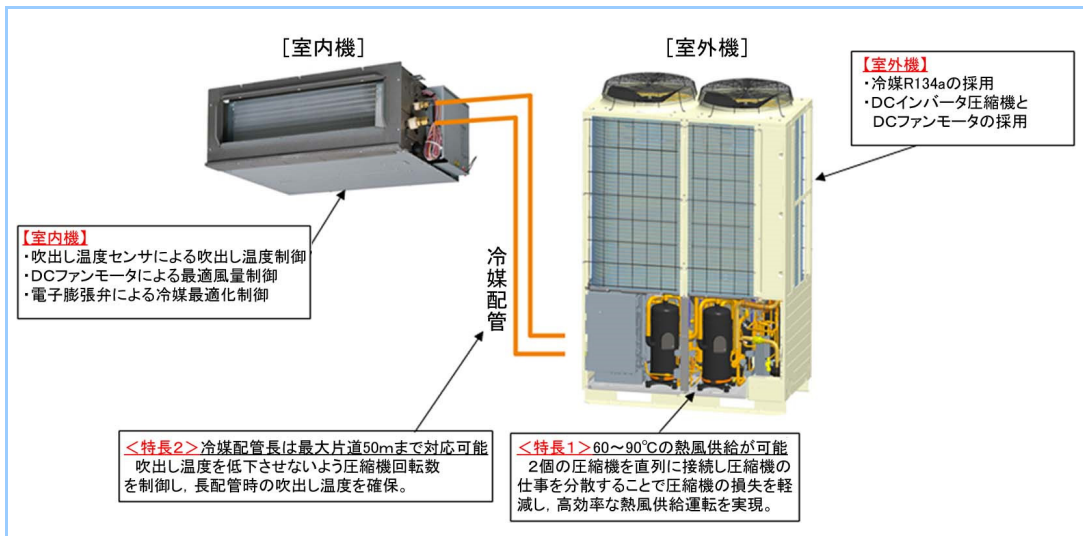


図1 “熱 Pu-ton”開発のポイントと特徴

#### (1) 熱風供給のため冷媒は R134a を採用

ヒートポンプは内部を循環する冷媒により空気や水の熱を汲み上げ, 利用側へ熱を供給するシステムであり, 90℃の熱風供給を実現するためには, 冷媒を高圧かつ高温にする必要がある。一般的なエアコンもヒートポンプであるが, これに採用されている冷媒は R410A というものであり, 飽和圧力換算温度で約 60℃までしか高温にすることができない。“熱 Pu-ton”はエアコンの技術を流用した商品化を目指し, エアコンよりも冷媒を高温にする必要があるため, 今回 R134a という冷媒を採用した。R134a は飽和圧力換算温度で 90℃以上まで高温化することが可能なため, R134a 冷媒の採用により, 90℃の熱風供給を実現した。

#### (2) 二段圧縮サイクルの採用

R134a の採用により 90℃の熱風供給が可能となるが, 冷媒の高温・高圧化により, 主要コン

ポーネントである圧縮機が高い圧力比<sup>(※6)</sup>で運転する必要があり、このため圧縮機での損失が多くなることから性能が低下し、更に、低外気温(−5℃~0℃)では低圧側圧力が特に低くなることで圧力比が圧縮機の使用制限を超えて運転の継続が不可能となるという課題がある。これを解決するために、圧縮機2台を直列に配置する二段圧縮サイクルを採用した。これにより、1台当たりの圧縮機の仕事を低減させることで圧縮機の損失を低減させ、高効率な運転を実現し、かつ低外気温でも連続運転を可能とした。

(※6) ヒートポンプは圧縮機により冷媒を圧縮し、高温・高圧にするため、冷媒は圧力が高い状態(高圧)と低い状態(低圧)に別れる。この高圧側の圧力値を低圧側の圧力値で除した値を圧力比と呼ぶ。この圧力比が高いと冷媒の圧縮工程における損失が大きくなり、効率が低下する。

### (3) 室内機の電子膨張弁による冷媒最適化制御

室内機には自在に絞り量を可変することができる電子膨張弁を採用した。高圧・高温化された冷媒が最適な状態となるよう冷媒の温度と供給熱風温度を見ながら絞り量を制御することでより高いCOPを実現している。

### (4) 高効率 DC モータを搭載した圧縮機及び送風機の採用

圧縮機と送風機には高効率なDC(直流インバータ)モータを採用し、従来のAC(交流)モータと比較して、モータ効率を大幅に改善した。

## 2.2 設置工事の自由度を確保

“熱 Pu-ton”は、外気から熱を汲み上げる室外機と熱風を供給する室内機に分離し、設置の自由度を高めた商品である。室外機はビル用マルチエアコンと同じ外形仕様、室内機は工場内の既存給気ダクトに容易に接続できるよう、高静圧ダクト形とした。室外機と室内機間の接続は、エアコンと同じく冷媒銅配管接続とし、片道配管長は最大 50mまで延長可能である。これによりエアコンと同じく、設置が自由で安価な設置工事が可能となった。

更に、接続配管長が長い場合、配管での放熱ロスにより熱風供給温度が低下することが懸念されるが、室内機の熱風供給部に温度センサを標準装備し、この検知温度で圧縮機回転数を制御することで、長配管時の吹出し温度の低下を防止している。

## 3. 既設乾燥装置への適用(デフロスト対応)

“熱 Pu-ton”は空気熱源のため低外気温時、室外機の空気熱交換器に空気中の水分が氷結し着霜する。熱交換器に着霜すると熱風供給が維持できなくなるためデフロスト運転(霜取り運転)を行う必要があるが、このデフロスト運転中は熱風の供給が全くできなくなるため、この対策が空気熱源ヒートポンプの最大の課題である。

このため蒸気ボイラや熱風発生装置といった既設の乾燥装置をそのまま流用し、この給気の予備加熱として“熱 Pu-ton”を適用するハイブリッド方式の採用を推奨している。これによりデフロスト運転時も既設乾燥装置にて熱風を供給することが可能であり、乾燥工程をそのまま維持することが可能である。しかしながら、デフロスト時に急激に“熱 Pu-ton”からの熱風供給がなくなると既設乾燥装置側の温度制御が追従できなくなり、乾燥温度が大きく変動し、乾燥品質に悪影響を及ぼすことになる。

この課題を解決するため“熱 Pu-ton”ではデフロスト運転を行う際は、圧縮機の回転数を段階的に低下させ、熱風の供給温度をゆっくりと低下させてからデフロスト運転を行う制御方式を採用し、既設乾燥装置の乾燥温度が大幅に変動しないよう工夫した。詳細は後述の4章で述べるが、これにより乾燥品質に悪影響を与えないことを確認している。

更に、乾燥装置全体の供給風量を変化させることも乾燥品質に悪影響を及ぼす可能性があるため、通常のエアコンではコールドドラフト(不快な冷感)防止のためデフロスト時に室内機の送風機を停止させるが、“熱 Pu-ton”ではデフロスト時も室内機内部の送風機をそのまま継続運転できるような工夫もしている。

## 4. 実フィールドでの実証試験

### 4.1 実フィールドでの実証試験の概要

“熱 Pu-ton”を実フィールドにて既設乾燥装置に適用し、“実使用下での省エネ性”及び“既設乾燥装置への適用により乾燥品質に問題がないこと”を実証するため下記2箇所にて検証を行った。

- (1) ドライラミネータ<sup>(※7)</sup>に適用し、エネルギー量、CO<sub>2</sub> 排出量、ランニングコストの削減量を実測し、全項目にて約5割削減できることを確認した。
- (2) 噴霧乾燥装置 (スプレードライヤ<sup>(※8)</sup>)に適用し、デフロストを含めた“熱 Pu-ton”の一連の運転において、セラミックス(乾燥対象品)の乾燥品質に問題がないことを確認した。

以下にその検証状況について述べる。

(※7) 2枚以上のフィルムを貼り合わせる装置。フィルム的一方に接着剤を塗布した後、熱風等で接着剤を硬化させ貼り合わせる。

(※8) 液状材料を噴霧微粒化し、熱風と接触させて乾燥し、一工程で連続的に粉粒状製品を製造する装置。粉末飲料、粉末調味料、漢方薬、粉末洗剤、セラミックスなどの製造で使用されている。

### 4.2 ドライラミネータへの適用

図2はドライラミネータへの適用システム概略図、図3は“熱 Pu-ton”室内機の設置状況を示す。

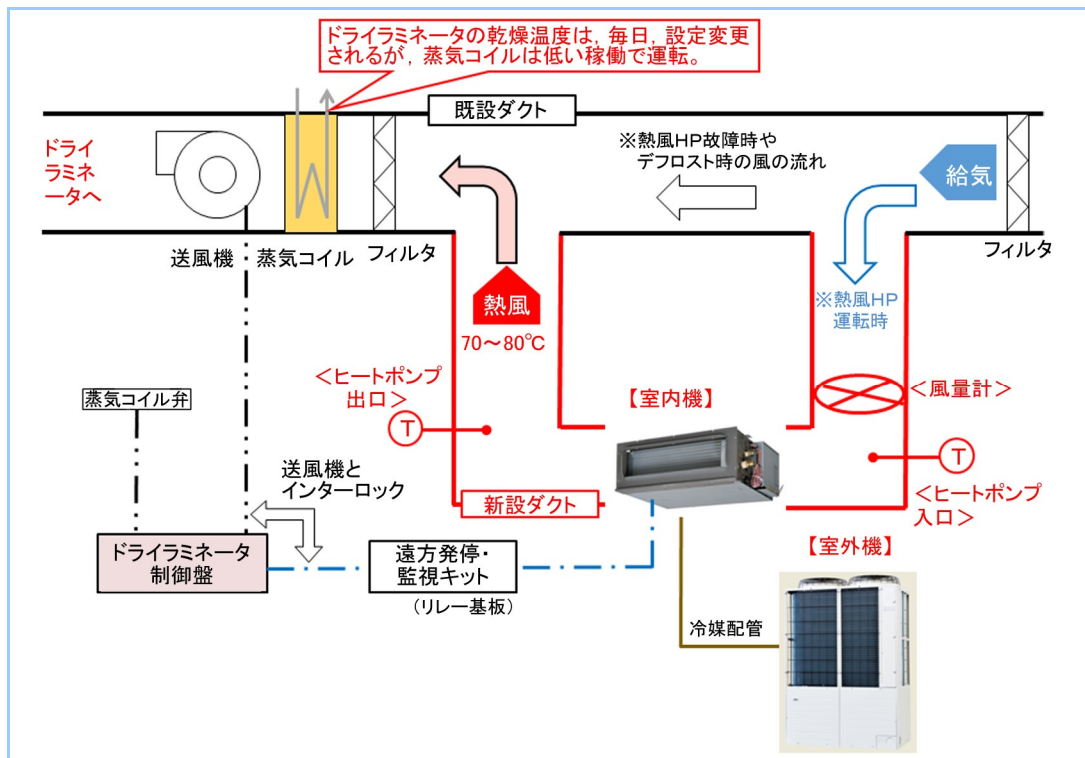


図2 ドライラミネータへの適用システム概略図

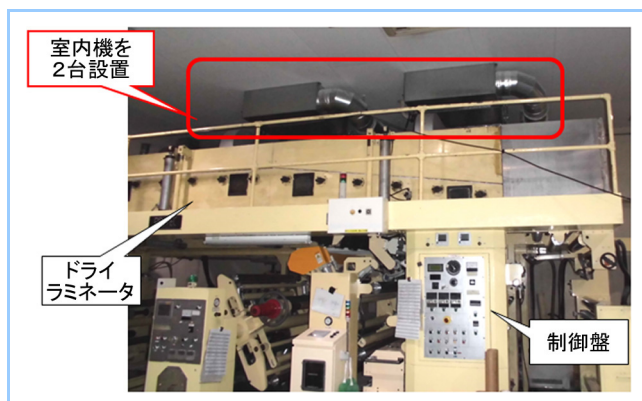


図3 “熱 Pu-ton”室内機設置状況

既設乾燥装置の熱源機は蒸気ボイラであり、蒸気ヒータにて70～80℃の熱風を発生させてフィルムの乾燥を行っていた。今回、その給気加熱として“熱 Pu-ton”を適用した。

今回の実証試験では、“熱 Pu-ton”室内機の熱風供給部(吹出し)、吸込みダクトに熱電対を取り付け、更に吸込み側には風量計を設置し、空気の顕熱量変化から“熱 Pu-ton”の加熱能力を計測した。更に、“熱 Pu-ton”には電力計を取り付け運転時の消費電力量を計測した。“熱 Pu-ton”の加熱量から蒸気ボイラの燃料である都市ガスの削減量を逆算し、消費した電力量との比較から経済性を評価した。

図4に2016年11月27日から12月28日までの計測結果のまとめを示す。エネルギー使用量、CO<sub>2</sub>排出量、ランニングコスト共に約5割の削減効果があり、“熱 Pu-ton”の高い省エネ性を確認することができた。

更に、今回は冬期における実測であり、“熱 Pu-ton”はデフロスト運転を行っていたが、乾燥温度の変動幅は±5℃以内に収まっており、ドライラミネータ乾燥温度の変動幅の許容範囲内であった。

尚、本実証試験は、2017年10月まで継続する予定である。

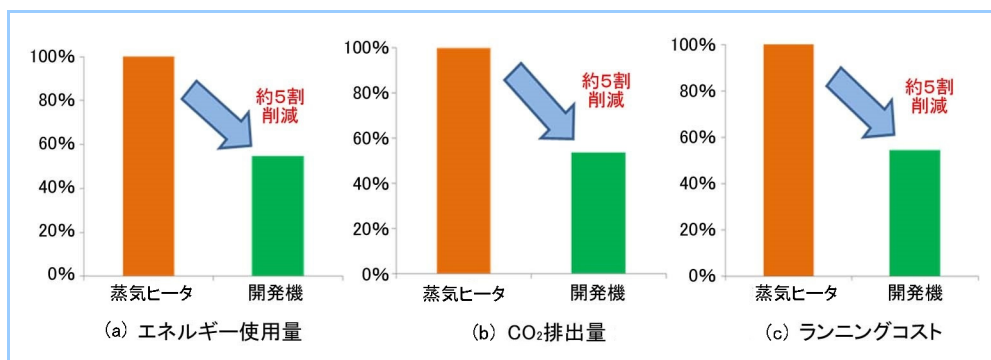


図4 ドライラミネータ計測結果まとめ

### 4.3 噴霧乾燥装置(スプレードライヤ)への適用

図5は噴霧乾燥装置への適用システム概略図を示す。

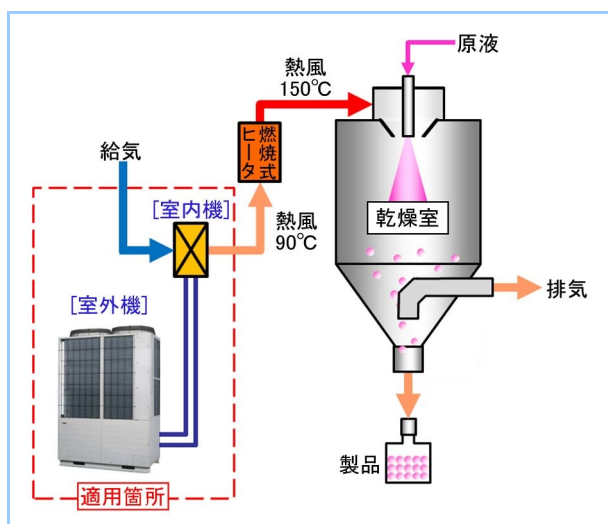


図5 噴霧乾燥装置への適用システム概略図

既設乾燥装置の熱源機はLPG 燃焼式ヒータで、150℃の熱風にて液状セラミックスを噴霧乾燥させ、用途に応じた微細な粒子の粉体状セラミックスを生成する装置であった。この給気を“熱 Pu-ton”で90℃まで予備加熱するシステムにて乾燥品質評価を行った。

乾燥品質の判断項目は、粉体化されたセラミックスの平均粒子径(メディアン径)と含有水分量である。今回の実証試験では、“熱 Pu-ton”が運転した状態で乾燥させたセラミックスと運転しな

い状態で乾燥させたセラミックスを各々サンプリングし、両者の差異について検証した。更に、“熱 Pu-ton”をデフロスト運転させ、連続的にセラミックスをサンプリングし、平均粒子径と含有水分量の変化について計測を行った。

今回の試験結果を表2及び表3に示す。

表2 “熱 Pu-ton”連続運転時の乾燥評価

	含有水分量	平均粒子径 (メディアン径)
熱 Pu-ton 運転なし (既設機のみで乾燥)	0.2wt%	48.4 $\mu$ m
熱 Pu-ton 運転時	0.2wt%	47.1 $\mu$ m

表3 “熱 Pu-ton”デフロスト運転時の乾燥評価

	含有水分量	平均粒子径 (メディアン径)
デフロスト直前	0.1wt%	47.7 $\mu$ m
熱風温度低下途中	0.3wt%	47.1 $\mu$ m
デフロスト終了時	0.1wt%	47.3 $\mu$ m

含有水分量の変化幅は1wt%以下であり、問題なし。

“熱Pu-ton”が運転した状態、しない状態にて計測値に差はなく、更に、デフロスト運転直前、途中、終了時での含有水分量の変化幅は問題となりうる1wt%以下であることから、乾燥品質として問題がないことを確認した。

図6は今回乾燥させたセラミックスの写真を示す。



図6 乾燥後のセラミックス

平均粒子径 47  $\mu$  m の乾燥後のセラミックス粉末。噴霧乾燥装置に“熱 Pu-ton”を導入後、実際に乾燥を行い、製品として問題ないことを確認した。

## 5. まとめ

今回、日本で初となる高効率空気熱源ヒートポンプ式熱風発生装置“熱 Pu-ton”を開発し、三菱重工サーマルシステムズ(株)の試験設備では検証できない実フィールドでの運転評価を行い、その高い省エネ性及び乾燥品質に問題がないことを確認した。これにより産業分野の省エネルギー化に大きな貢献が期待できる商品であることが明確となった。市場には今回の実証試験以外にも様々な乾燥装置が存在すると考えられ、今後、これら乾燥装置にも問題なく適用できるよう改良を積み重ねていく所存である。更に、本技術を応用した高温温水ヒートポンプへの適用も検討していく。