

気化熱を利用した涼風装置について

逢坂 進 (おうさか すずむ) (株)鎌倉製作所 営業技術部

1. はじめに

当社は水の気化熱を利用して空気を冷却し、涼風として室内に送風する“クールクリーン”及び“クールルーフファン”の販売を始めてから約10年になる。

クールクリーンとクールルーフファンの違いは、涼風を送るための送風機が前者はシロッコファンなのに対し、後者はプロペラファンとなっているだけで、涼風を作り出す方法は全く同じとなる。なお、クールルーフファンなどで涼風を室内に供給して換気を行う方式を涼風換気と称することとする。

爾来、鋳鍛造工場、タイヤなどのゴム製品製造工場、プラスチック成形工場、ダンボール製造工場など熱を大量に発生する工場や切削、プレス、溶接などの金属加工工場、飲料製造工場などの食品工場の他、コンプレッサー室や電気室等幅広くご使用いただき、発売以来約4,000台を納入し好評を得ており、(写真1)に屋根上に設置した例を示す。

この度、機関誌「エレクトロヒート」にこの涼風装置を紹介する機会を得たので、内容等について説明する次第である。



写真1 屋根上への設置例

2. クールルーフファンの構造

クールルーフファンの構造は、(図1)に示すとおり、水の気化とこれに伴う空気の冷却を行う冷却エレメント、冷却エレメントに水を供給するための循環ポンプ、水槽及び水槽内の水を定期的に排出するためのクリーニングポンプ、そして涼風を送るためのファン等を構成要素とする極めてシンプルな構造となっている。

したがって、通常の冷房装置のようなコンプレッサー、コンデンサー(凝縮器)、蒸発器等はないので、設備費用も安価であり、メンテナンスも非常に容易で費用も安価で済むこととなる。

3. クールルーフファンの原理

クールルーフファンは、“水の気化熱”を利用した空気冷却装置である。水は気化(蒸発)する際に、周囲から多量の熱を奪い去る。クールルーフファンはこの気化熱を利用して空気を冷却しており、送風に必要なファン、水を供給するポンプ以外に電力を消費する装置を持っていない極めてシンプルで省エネ型の空気冷却装置である。

3.1 空気なぜは冷えるのか?

水は相対湿度が100%に満たない空気(不飽和湿り空気)と接触すると、100%に満たない分だけ気化しようとする。クールルーフファンの中で重要な構成要素である“冷却エレメント”は、空気と水の出会いの場を提供するものとなる。この冷却エレメントで空気と出会った水は容易に気化し、また水が気化するときは1kg当たり2,450kJ(580kcal)という大量の熱を空気から奪うため、空気が冷えることになる。

当社のクールルーフファン等の冷却エレメントは、気化効率が非常に良く約90%となっている(面風速

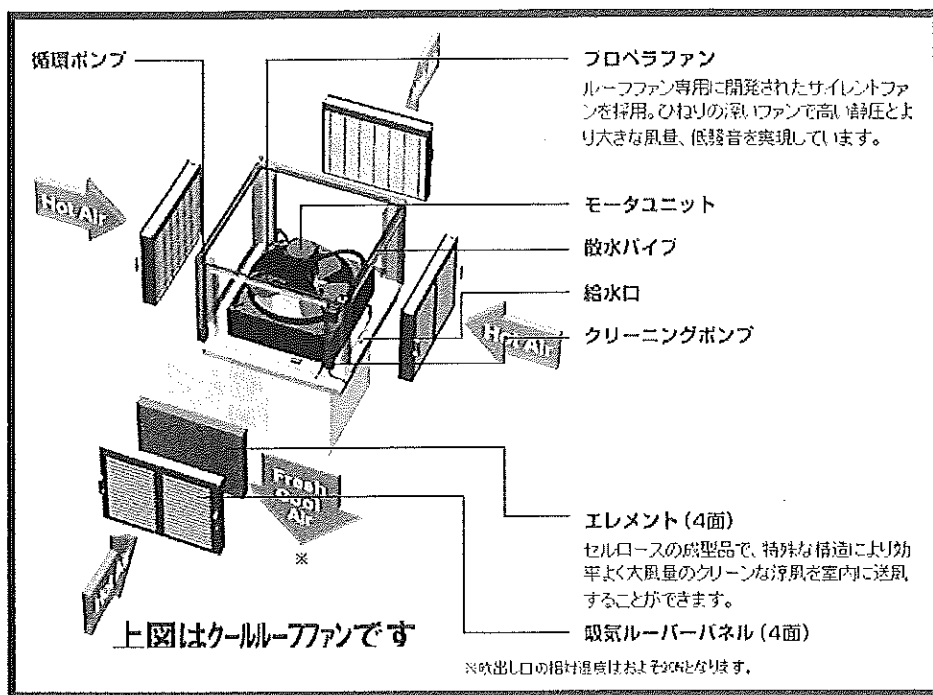


図1 クールルーフファンの構造

が2.5m/sで)。

3.2 空気は何℃冷えるのか？

空気が冷却エレメントを通過する際、温度がどれだけ下がるかは“吸い込む空気の温度と相対湿度”によって決まる。すなわち、吸い込む空気の乾球温度をDBo、湿球温度をWBoとすると、冷却エレメントでの温度低下 ΔT は(図2)に示すとおり、

$$\Delta T = (DBo - WBo) \times 0.9$$

となる。

したがって、クーラーファンの吹き出し温度T(℃)は下記のとおり表すことができる。

$$T = DBo - \Delta T = DBo - (DBo - WBo) \times 0.9$$

(図3)には、2007年8月15～17日の3日間の東京の気象データ(3時間毎)とそれに基づき算出したCRFの吹き出し温度を示す。

昨年の夏が大変暑かったことは皆さんもまだ記憶に残っていると思うが、図に示すとおり3日間とも最高気温は36℃前後となっており、真昼の相対湿度は最も高い15日で50%程度、最も低い17日では30%程度と非常に低い数値となっている。この結果、真昼の吹き出し温度は24～26℃と想定され、吸い込み温度と吹き出し温度の差は10～12℃にもなっている。

3.3 冷却に必要な水量

また、冷却に必要な水量は、(図2)に示すとおり、クーラーファンが吸い込む空気の絶対湿度を X_A

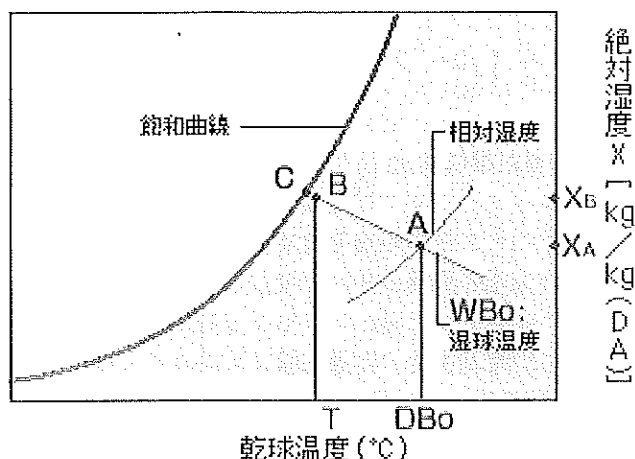


図2 温湿度と吹き出し温度の関係

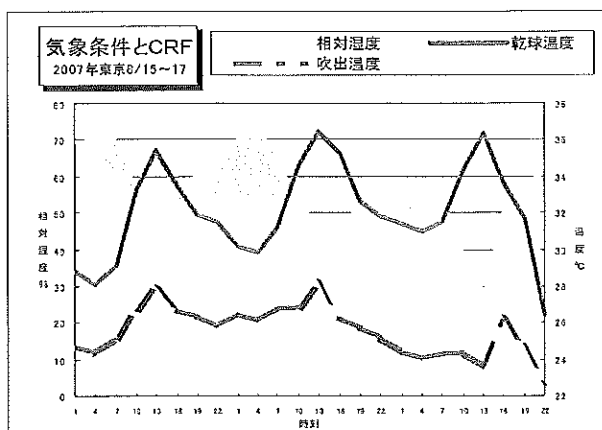


図3 東京の温湿度と吹き出し温度

(kg/kg')とし、クールルーフファンが吹き出す空気の絶対湿度を X_B (kg/kg')、吹き出す風量を Q (m³/min) とすると、必要水量 W (kg/hr) は、下記のとおり表わすことができる。

$$W = (X_B - X_A) \times 60 \times Q \times \gamma \quad (\text{kg/hr})$$

ただ、日常、空気の絶対湿度を計るのは困難なので、必要水量（蒸発水量）は下記の式にて求めるのが簡便な方法といえる。

$$W = \Delta T \times Q \times 60 \times \gamma \times C_p / 2,450 \quad (\text{kg/hr})$$

ただし、 γ : 空気の比重量 (≈ 1.2 kg/m³)

C_p : 空気の定圧比熱 ($= 1.0$ kJ/kg°C)

これは、水が気化する際の気化熱が空気を冷やしていることになるので、結果的には空気の温度が低下した分だけ水が気化したことになる。よって、水の蒸発量を上の式で代用することができる。

例えば、CRF-30Z₂を例にとると、風量が 240m³/min、温度差を 7°C とすると、気化水量は 49.4kg/hr となる。

4. クールルーフファンの特徴

4.1 防暑対策に最適

クールルーフファンは大量の涼風を送り出すことができ、室内に大量の熱を発生する工場であるとか、大空間の作業場の環境改善が必要な個所等、従来から環境改善を考えていたが、エアコンでは対処できずにあきらめていた個所等の防暑対策に最適といえる。

4.2 抜群の省エネ効果

クールルーフファンは水の気化熱を利用した涼風装置である。涼風を送るファンの動力と僅かのポンプ動力のみで大量の涼風を送り出すことが可能である。

例えば、240 m³/min、34°C で吸い込まれた空気が 27°C で吹き出されたとすると、クールルーフファンで空気温度が 7°C ($= 34 - 27$) 低下したことになるので、これを冷却能力に換算すると、下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned} H &= 240 \times 7 \times \gamma \times C_p / 60 \\ &= 240 \times 7 \times 1.2 \times 1.0 / 60 \\ &= 33.6 \text{ kW} \end{aligned}$$

また、CRF-30Z₂の消費電力は 1.8kW 程度なので、エネルギー消費効率は 18.7 とエアコンに比較して、はるかに大きな値となる。

4.3 省コスト、省スペース

屋根に取り付けが可能なため、専用の機械室は不要

となる。また、屋根に取り付けられない場合などには、壁際に設置し、風量が多いので室内側にダクト無しでも壁から涼風を室内に吹き込むことも可能である。

4.4 大量の涼風を供給

冷却エレメントの単位体積当たりの蒸発面積が大きいため、効率が良く（気化効率約 90%）大量の涼風を供給することができる。これにより、体感温度も低下することになり一石二鳥といえる。

4.5 環境に優しい涼風発生装置

フロン等の冷媒を使用しないので、オゾン層破壊の心配がなく、また、クールルーフファンそのものが優れた省エネ製品なので、CO₂の排出も格段に少ない、真に環境に優しい装置といえる。

5. クールルーフファンの様々な用途

5.1 ゾーン冷却

工場が暑い、空間が大きすぎ全体を冷やすことが困難（莫大なエネルギーが必要で現実的でない）であるとか、暑い空間に作業員が限られた場所にいる場合等では、空間を人のいる作業域と人のいない区域に分け、常時人のいる作業域にのみ涼風を供給することで、限られた涼風でより効率的な改善効果が得られる。

5.2 負圧解消

室内の気圧が外の気圧（大気圧）より低いと、窓や扉の隙間から虫や粉塵が侵入する恐れがある。クールルーフファンは、大量の涼風を給気することで室内の負圧を解消することができ、虫や粉塵の侵入防止に役立ち、快適な作業環境を創り出すことができる。

5.3 機器冷却

圧縮機、発電機、大容量変圧器等熱を大量に発生する機器が設置されている室では、適切な換気を行わないと室内が高温になるため、機器の性能を維持できなくなる。クールルーフファンが作り出す大量の涼風が室内空気の温度上昇を抑制し、機器の過熱を防止しその性能を維持する。

特に圧縮機では、圧縮用空気の給気温度を下げることで、機器の過熱を防止するだけでなく、圧縮機の効率向上に繋がることとなる。

5.4 製品冷却

クールルーフファンが作る大量の涼風を高温製品の冷却に利用できる。製造工程で加熱され高温のまま出てきた製品が次工程に移る際、製品をある程度の温度まで冷却しなければならないことがある。このようなとき、クールルーフファンは大きな威力を発揮する。

特に製品を 45℃ 前後まで冷やす必要がある場合には、周囲の高温空気では冷やすことが困難であり、クールルーフファンの涼風を吹き付けることにより、確実に早く冷却することができる。

5.5 加湿

工場内に大量の熱源があるときには工場内の温度が外気温度より相当高くなっている。このようなときには、室内空気の相対湿度は想像以上に低くなっている。空気が過度に乾燥すると静電気が発生し易くなるばかりでなく喉の異常がでる等、問題が生じる場合が多々あると思われる。このようなときには、涼風を作り出すと同時に加湿するクールルーフファンは正にうってつけの製品と言える。

6. 涼風効果をより確実に

6.1 大量の空気をまとめて

ダクトから吹き出された空気は吹き出し口から離れるに従い、周囲の空気と混合して室内温度に近づくことになる。この傾向は風速と吹き出し口の形状に大きく依存する。したがって、吹き出し口数を少なくし、吹き出し口径を大きくすれば、到達点での温度上昇は少なくなる。

6.2 吹き出し口は屋根や天井から遠ざける

屋根や天井面の直下には、温度の高い空気が停滞している。吹き出し口の周囲温度が高く、吹き出し口から涼風が必要な地点までの距離が長いと、涼風が必要な地点では気流温度が高くなってしまふ。吹き出し口はなるべく温度の高い空気と縁を切り、涼風が必要な位置に近づけるとより効果的である。

6.3 充分な排気ファンや排気口を設ける

クールルーフファンは大量の涼風を送風する装置であり、給気量に見合った排気扇や排気口が必要である。カマクラ・ルーフファンと組み合わせることで、屋根や天井近辺の熱気を効率よく排出でき、確実な風の流れることができるので、涼風効果がさらに上がることになる。

なお、工場内を陽圧化する必要がある場合には、給気量>排気量とする。

6.4 ASL で供給面積を広げる

吹き出し口に“オートスイングルーバー”を取り付けることにより、気流の広がりを 70 度の範囲でカバーできる。間欠風により、屋外の自然風に似た快適な涼風をより広範囲に届けることができる。

7. エアコンとの比較

クールルーフファンは室内に大量の涼風を供給することで大空間の工場などの室内環境改善に貢献しているが、工場でもエアコンを使用しているところが多いので、クールルーフファンとエアコンによる冷却の比較をしてみることにする。

エアコンで工場等の冷却を行う場合、室内空気を吸い込んで冷風として室内に送風しているいわゆる室内空気循環方式と外気を冷却して室内に送風する（オールフレッシュ）方式の二つがあるので（両方を混合して採用していることもある）、分けて比較する。

7.1 室内空気循環型のエアコンとの違い

両者を比較するに当たって、工場の床面積を 2,000 m²、平均高さを 6m とし、作業域（FL+1.5~2.0m）の温度を外気温度-2℃に維持すると考える。

エアコンが室内空気を吸い込んで冷却し室内に冷気を送り出している場合を想定すると、このケースでは、基本的には換気を行っていないか出来るだけ少量の換気しか行っていない。したがって、室内に侵入してきた太陽輻射熱や室内設備から発生した熱は全て室内空気の温度上昇となって現れ、吸い込む空気のエンタルピーを上昇させるので、エアコンにとっては室内に侵入した太陽輻射熱量や設備から室内に放出された熱量は全てが熱負荷となる。

これに対し、涼風を供給し換気を行っている場合は、常時換気を行っているので、屋根から室内に侵入した太陽輻射熱量はエアコンの場合とほぼ同じと考えられるが、作業域にはその熱の一部しか到達しない。これは、侵入熱の一部は屋根直下の空気に伝達されるが、この熱せられた空気は換気により速やかに室外に排出されるので、作業域の温度には無関係となる。すなわち、作業域の温度に影響を及ぼす熱量は屋根から侵入した太陽輻射熱量全部ではなく、その内の何割かとなる。

また、室内設備からの熱も設備を放熱体と考え、最も単位面積当たりの放熱量が大きい上面からの熱は上方にしか伝達されなく、暑い空気は上昇するので、上面の高さが FL+2m 以上であれば、この熱は作業域の温度に影響のないものになる。よって、室内設備から放出された熱であっても、その全てが作業域の温度に影響するとは限らないことになる。

7.2 外気を冷却して送風しているエアコン

この場合には、室内の熱負荷の考え方は涼風換気の場合と同じであるが、エアコンが外気を吸い込んで冷気を送風する場合、必ず除湿が伴うので、後述のとお

り外気温度が34℃、相対湿度が54.5%の外気を吸い込んだときには、顕熱分は冷房能力の70%未満にしなければならない。したがって、温度低下だけを考えるならば、エアコンはその能力の最大70%しか利用されていないことになる。

7.3 工場を想定しての必要台数

ここでは、先の工場を検討対象とし、屋根から侵入する太陽輻射熱量を168kW、室内設備からの放熱量を200kW、室内の総熱負荷が368kWの工場に、エアコン或いはクールルーフファンを設置し、外気条件が乾球温度：34℃、相対湿度が54.5%の状況の下、作業域の温度を32℃にしようとする場合の各方式での台数を検討する。

涼風換気：CRF-30Z₂（風量：240m³/min、冷却能力：33.6kW、消費電力：1.8kW）

エアコン：〇〇社の10馬力相当のエアコン（冷房能力：28kW、消費電力：7.4kW）

(1) 室内の熱負荷

室内の熱負荷については、室内空気循環形のエアコンの場合には、368kWとなるが、ドアやシャッターの開閉に伴い200m³/min（1回/時）の換気があると考えると、外気を室温まで下げるための熱量8kWが加算されるので、室内の総熱負荷は376kWとなる。

これに対し、外気を処理して供給する場合や涼風換気の場合には、屋根から侵入する太陽輻射熱の内、対流伝熱分はそのほとんどが作業域の温度に影響せず、輻射伝熱部分も全部が影響するわけではないので、その70%が作業域の温度に影響すると考え、118kWとする。また、室内設備から発生する熱量もその80%を作業域の温度に影響する熱量とすると、設備から作業域に影響する熱量は160kWとなるので、結局、作業域の温度に影響する熱負荷は278kWとなる。

(2) 各機種の必要台数

循環形エアコンの場合には、先ほどの200m³/minの外気の流入や作業員からの発汗などを考えると、若干の除湿があるので、エアコンの能力の94%程度が顕熱の除去に寄与すると考えその冷房能力を26.3kWとする。よって、室内の熱負荷分376kWを冷やすには、必要台数は14.3台となり、消費電力は105.8kWとなる。

外気を吸入して冷気を送風するオールフレッシュ形のエアコンの場合、換気が伴うので、室内の熱負荷は

278kWに減少する。これに対し、エアコンの風量が73m³/min、前記の外気条件では、吸い込む空気のエントルピーが81.3kJ/kgとなるので、冷房能力：28kWより、吹き出し空気のエントルピーは62.1kJ/kgとなる。吹き出し空気の相対湿度は通常約90%なので、温度は22.5℃となる。よって、室温を32℃に維持するには、室内での許容温度上昇幅（ΔT）が9.5℃となり、必要風量は下記の式より1,463m³/minとなり、必要台数は20.0台となる。

$$Q=60 \times H / (\Delta T \times \gamma \times C_p)$$

一方、クールルーフファンの場合、室内の熱負荷がオールフレッシュの場合と同じ278kWであり、吹き出し温度が27.0℃となるので、涼風の必要供給量は2,780m³/minとなり、必要台数は11.6台となる。

これを纏めると、下表のとおりとなる。

	循環形 エアコン	CRF	オールフレッシュ 形エアコン
室内の熱負荷	368kW	278kW	278kW
冷房(冷却)能力	26.3kW	33.6kW	16.8kW
必要台数	14.3台	11.6台	20.0台
消費電力	105.8kW	20.9kW	148.0kW

8. シリーズラインナップと姉妹品

8.1 クールルーフファン

CRF-24Z₂ ……風量：120m³/min

CRF-24ZS₂ ……風量：88m³/min（低騒音）

CRF-30Z₂ ……風量：240m³/min

CRF-30ZS₂ ……風量：175m³/min（低騒音）

CRF-36Z₂ ……風量：356m³/min

8.2 クールクリーンファン

CC-460S（U） ……風量：460m³/min

CC-260S（D） ……風量：276m³/min

8.3 クールGYM

CGR-5063 ……風量：90/110m³/min

CGR-6063 ……風量：130/150m³/min