

# 換気の基礎知識

～防暑対策としての換気について～

株式会社 鎌倉製作所

## 1. 換気とは

換気とは、室内の熱や汚染物質を室外に排出するために、室内の空気を入れ換える行為のことです。ここでは、防曇対策としての換気、すなわち熱の排出に絞った説明を行うこととします。

換気を行うためには、空気の入口と出口、並びに動かす力が必要となります。空気を動かす力は一般的には空気の圧力差であり、高い圧力の場所から低い圧力の場所へ空気は移動します。高気圧から低気圧へ風が吹くのはこのためで、熱は温度差で、電気は電位差で、物質は濃度差で移動します。また、温度差による密度差に重力が作用することにより、暖められ軽くなった空気は上昇します。ファンなどは機械の動力でこの圧力差を作り出して空気を動かしています。

## 2. 換気の種類

換気の方法としては、ファンなどの機械力を用いる強制換気と自然の力（室内外温度差や風）だけで行う換気があり、強制換気は給気と排気のどちらに機械力を用いるかで、次表のように第一種・第二種・第三種換気に分類できます。（図1参照）

種類	給気	排気	室内圧力
第一種換気	機械	機械	任意
第二種換気	機械	自然	正圧（陽圧）
第三種換気	自然	機械	負圧

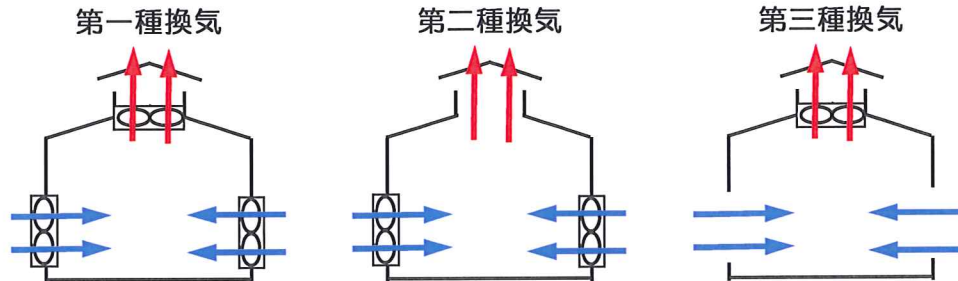


図1 換気の種類

また、部屋全体を換気する「全体換気」の他に、熱源・汚染源が一定の場所に限定されている場合、その発生源に捕捉フードを設置し、ダクトにより排出する「局所排気」、プッシュファンにより室内に一定方向の気流を作り、その気流に汚染物質を乗せて排気ファンの吸い込み範囲に導き、室外に排出する「プッシュプル排気」があります。（図2参照）

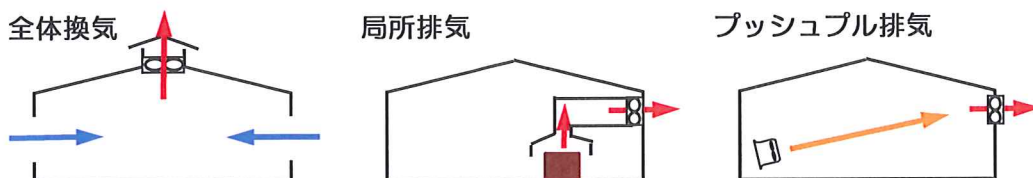


図2 換気の種類

### 3. 換気による室内の熱の排出

換気による室内の熱の排出を考える上で重要かつ絶対的な2つの法則、「物質保存則（マスバランス）」と「エネルギー保存則（ヒートバランス）」があります。

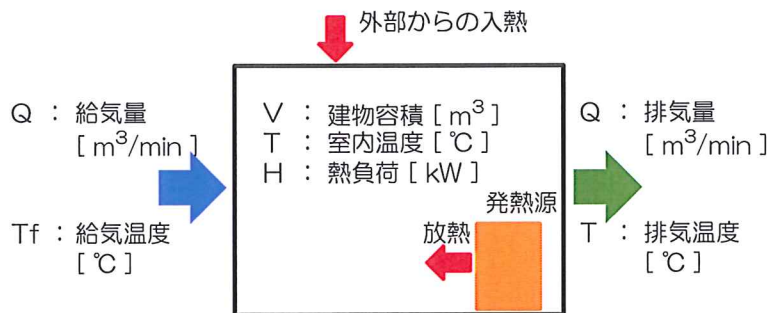
対象とする部屋で考えますと、

- マスバランスとは、

「室内の空気圧力が一定に保たれ、給気量と排気量は等しい」ということで、

- ヒートバランスとは、

「室内の温度が一定に保たれ、室内内部の発熱源（モータや炉など）からの放熱や太陽輻射熱などの入熱（以下、「熱負荷」と呼ぶ）と室内から持ち出す熱は等しい」ということです。（図3参照）



給気量  $Q =$  排気量  $Q =$  換気量  $Q$  （マスバランス）  
 室内温度  $T =$  排気温度  $T$   
 入ってくる熱量 = 持ち出す熱量 （ヒートバランス）  
 入ってくる熱量(熱負荷) = 内部発熱源からの放熱 + 外部からの入熱  
 持ち出す熱量 = 換気・エアコン・壁等からの放熱など

図3 マスバランスとヒートバランス

給気量と排気量は必ず等しくなりますから、機械給気量と機械排気量に差があった場合、その差分は、部屋の隙間を含めた開口部から出入りしています。

室内から持ち出す熱には、屋根・壁・床から外界への放熱、エアコンによる排出、換気による排出があります。

外界への放熱量は、室内外温度差に比例しますが、エアコンや換気並みの熱排出量になるには相当大きな温度差が必要となります。

エアコンで室内温度を一定に保つ制御を行いながら運転しますと、エアコンの最大冷房能力が熱負荷より大きい場合は熱負荷に見合った冷房能力での運転となって室内は設定温度に保たれますが、エアコンの最大冷房能力が熱負荷より小さい場合は冷房能力の不足量と外界への放熱量が等しくなるまで室内温度は上昇し続けます。

一方、換気による熱の排出量は、以下の式で表されます。

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

$H$  : 熱負荷 [kW]

$C_p$  : 空気の定圧比熱 [kJ/(kg・°C)]

$\rho$  : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$Q$  : 換気量 [m<sup>3</sup>/min]

$\Delta T$  : 給・排気温度差 [°C]

〔 一般的に、給気温度＝外気温度、排気温度＝室内温度 ですので、  
 給・排気温度差＝室内外温度差 となります。 〕

この式からわかるとおり、外気温度と熱負荷に対して、換気量を決めれば、室内温度は決まり、室内温度が高くなることによって熱排出量が増加しますから、冷房能力が不足するエアコンのように無限に室内温度が上昇することはありません。また、換気量を増加させれば室内温度は低下します。

これは、工場のように熱負荷が高い部屋においては、換気の方がエアコンより有利ということを示しています。換気の熱排出能力が高いことは、エアコンを停止していた部屋や車で、エアコンを運転する前に換気を行うことでも実感できます。しかしながら、換気では、換気量の増加とともに室内温度低下効果は小さくなり、換気量をいくら増加させても室内温度を給気（外気）温度以下にすることはできず、費用対効果を考慮しますと室内温度は外気温度+2℃程度が限界となります。（図4参照）

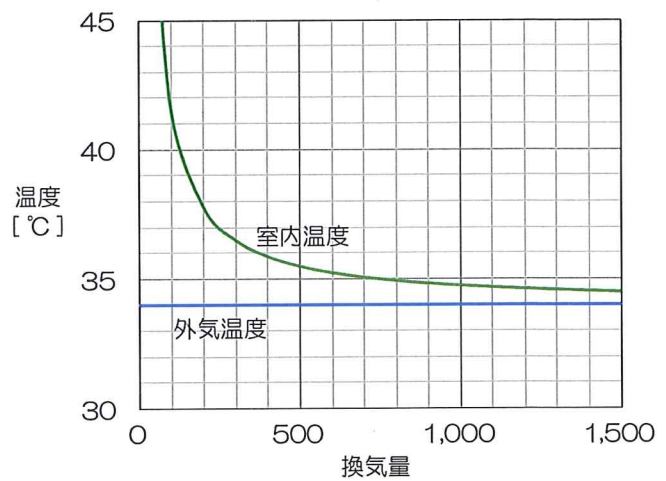


図4 換気量と室内温度（計算値）

#### 4. 給気口と排気口の位置

前項で述べた一般的なヒートバランスによる解析は、室内は均一、すなわち室内に温度分布はなく、給気された空気は一瞬で室内空気状態になるという前提で行われますが、実際の室内の温度分布は均一ではありません。

空気は暖められると（温度が上昇すると）膨張し、軽く（密度が小さく）なって、上昇します。

従って、室内においては、下部の温度は低く、上部の温度は高いという温度分布ができます。（図5参照）

前項の式でわかるとおり、換気による熱排出量は、換気量が一定であれば、給・排気温度差が大きい程大きくなります。

給気温度は外気温度に等しく一定と考えられることから、温度の高い場所（部屋上部）に排気口を設け、より熱く

なった空気を排出する（排気温度を高くすること）が換気の効果を高めることとなります。

一方、給気口については、給気（外気）温度が最も低いことから、部屋下部もしくは涼しくしたい場所に設けることが効果的となります。

すなわち、人のいる床上 1.5m 程度の

位置に給気口、より高い位置に排気口を設置し、下から上への空気の流れを作ることが肝要です。

建物において、最も高い位置は屋根であり、屋根の中でも棟部分となることから、自然排気では屋根棟部に設置するモニターやのこぎり状屋根垂直部に設置する排気口が有利であり、機械排気においては壁設置の有圧扇より屋上換気扇（ルーフファン）が有利となります。（図6参照）

これは、気流シミュレーションソフトを使用したシミュレーション結果でも明らかです。

（図7参照）

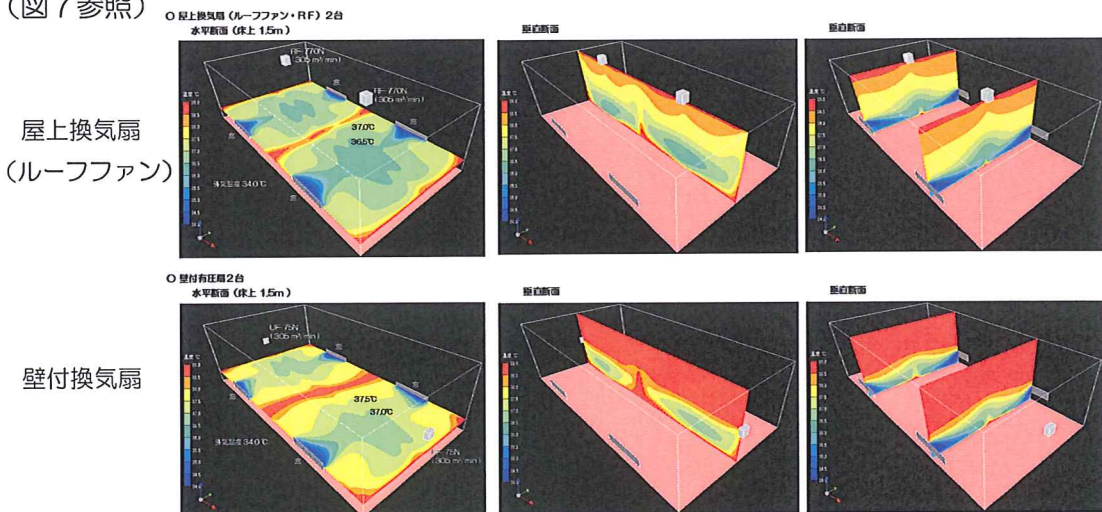


図7 気流シミュレーション結果（屋上換気扇と壁付換気扇の差）

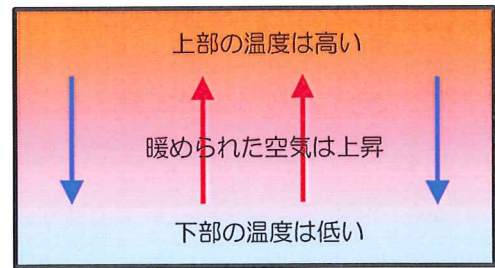


図5 室内の温度分布

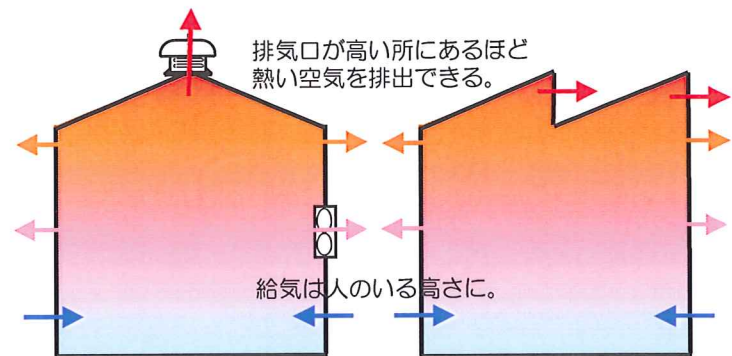


図6 給・排気口の位置

## 5. 換気ファンの設置順序

機械の力に頼らない自然換気は、自然の力に頼るため一定の換気量が維持できず、効果を高めるためには非常に大きな給・排気口面積が必要となることから、工場などでは一般的に強制（機械）換気が行われています。

前項で述べたとおり、換気の効果は給・排気温度差に依存し、給気（外気）温度は一定で、室内に温度分布があることから、効果的な換気のために最初の実施すべきことは、機械排気で室内の温度の高い部分の空気を選択的に排出することになります。これも前項で述べましたが、全体換気における排気ファンの設置位置はより上部（できれば屋根）、あるいは放熱源の上部が好ましく、放熱源の局所排気はさらに大きな効果を発揮します。

（図8参照）

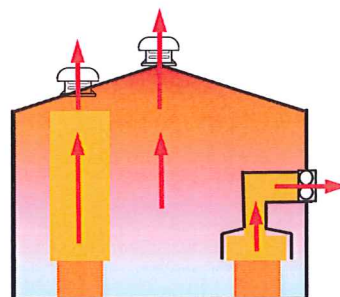


図8 排気ファンの設置位置

排気ファンを設置して機械排気を行うと、室内は負圧になります。負圧の度合いは換気量と給気口面積で決まりますが、扉が開けにくくなったり、虫やほこりが侵入しやすくなります。

そこで次に、負圧解消や陽圧化を図るため、機械給気を行うこととなりますが、虫やほこりの侵入防止を考えますと、防虫網やフィルタ付の給気ファンが望まれます。（図9参照）



図9 給気ファン設置による陽圧化

ファンの吸い込み空気は、指向性が弱く、吸込口のごく近傍でもない限り気流をあまり感じませんが、吹き出し空気は、指向性が強いので、ファンから離れていても気流を感じます。体感温度としては、1.0m/s 程度の風速で3℃程度低く感じることから、給気ファン設置により防暑効果はより大きくなります。（図10参照）

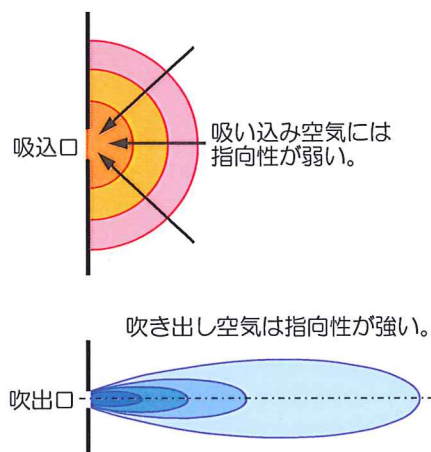


図10 吸い込み空気と吹き出し空気

## 6. 水の気化熱の利用

3項の式でわかるとおり、給気の温度を下げてやれば、室内温度をより低くすることができます。また、3項で述べたとおり、外気をそのまま給気する通常の換気では、室内温度を外気温度以下にすることはできません。

給気温度を外気温度より下げる方法としては、一般的にはヒートポンプの原理を利用したエアコンが用いられますが、大きなエネルギーを消費します。そこで、少ないエネルギーで空気を冷却する方法として水の気化熱が利用されます。

水が蒸発する時に大量の熱を奪うことを利用して空気の温度を下げる方法で、

「打ち水効果」として知られています。

(図 11 参照)

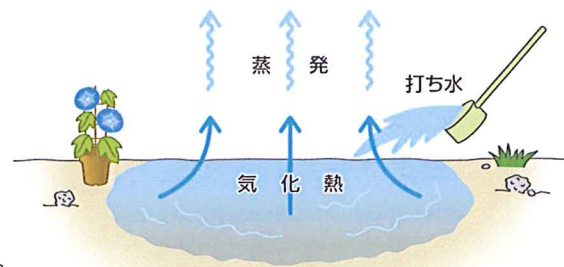


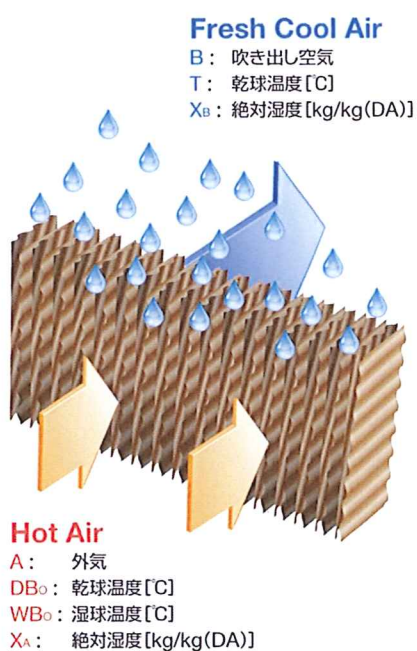
図 11 水の気化熱の利用 (打ち水効果)

弊社のクールシリーズは、ファンの吸い込み部に水膜で覆われた冷却エレメントを設置し、外気が通過する際に水を蒸発させて温度を下げ、涼風を吹き出しています。動力としては、送風ファンと水ポンプだけですので、エアコンと比べると、20%程度の電力消費量となり、大きな省エネルギーが達成できます。

この涼風ができる現象を「図 12 冷却エレメント概念図と湿り空気線図」で説明します。水の気化 (蒸発) による空気の状態変化は、湿り空気線図上で湿球温度一定の線上を動きます。水膜で覆われた冷却エレメントを空気が通過する際に水が蒸発して、吸い込み空気 (外気) の状態 A 点 (乾球温度  $DB_o$ ・湿球温度  $WB_o$ ・絶対湿度  $X_A$ ) から湿球温度一定線上を飽和曲線との交点 C に向かって動き、吹き出し空気の状態 B 点 (乾球温度  $T$ ・湿球温度  $WB$ ・絶対湿度  $X_B$ ) に達します。この B 点の位置は、装置の能力 (冷却効率  $SE$ ) で決まり、吹き出し温度  $T$  は下記のとおりとなります。

$$T = DB_o - (DB_o - WB_o) \times SE$$

・冷却エレメント概念図



・湿り空気線図

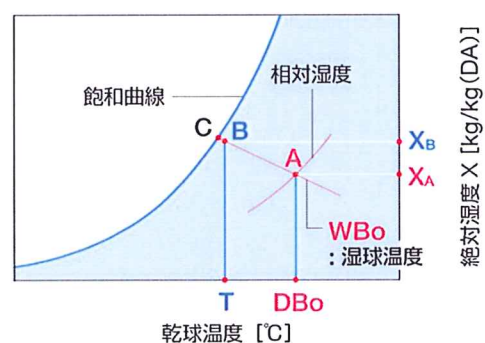


図 12 冷却エレメント概念図と湿り空気線図

弊社の製品では、この冷却効率は 65~90% となっており、クールクリーンファン (CC) の場合、冷却効率は 89% ですので、外気の温度 34℃、相対湿度 55% の場合、湿球温度 26.4℃ となり、吹き出し温度は 27.2℃ となります。

また、蒸発水量 L は下記の式で与えられます。

$$L = (XB - XA) \times \rho \times (Q \times 60)$$

L : 蒸発水量 [kg/h]

XA : 吸込空気の絶対湿度 [kg/kg(DA)]

XB : 吹出空気の絶対湿度 [kg/kg(DA)]

$\rho$  : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]

Q : 換気量 [m<sup>3</sup>/min]

気化熱を利用した場合、室内温度を外気温度 - 2℃ 程度まで下げることができます。 (図 13 参照)

また、気流シミュレーションソフトを使用したシミュレーション結果でも室内温度低下に大きな効果を発揮していることがわかります。 (図 14 参照)

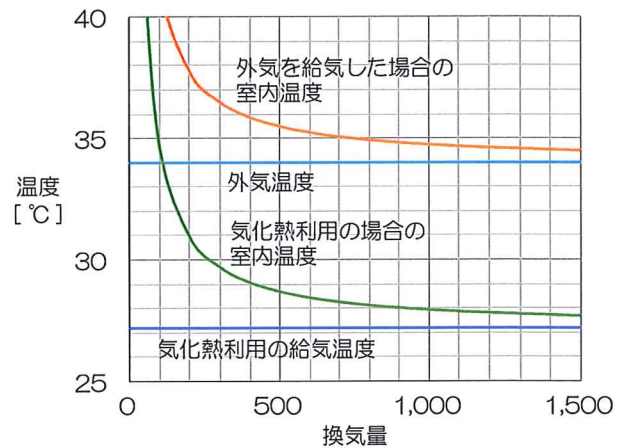


図 13 気化熱利用の場合の室内温度 (計算値)

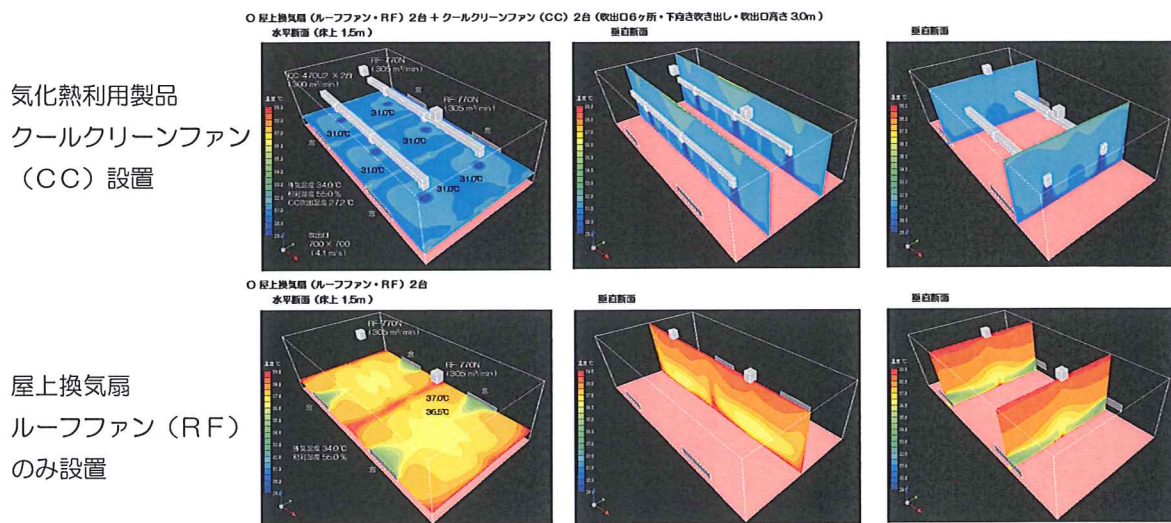


図 14 気流シミュレーション結果 (クールクリーンファンの効果)



日本の夏は湿度が高いと言われていますが、昼間の気温の高い時間帯は意外に湿度が低くなっています。これは、空気の絶対湿度は1日であまり変化しませんが、温度が上昇することによって相対湿度が低下することによります。この結果、吹き出す涼風の温度はほぼ一定になり、外気温度が高い時ほど涼風温度と外気温度の差が大きくなり、涼しさが欲しい時間帯に最大の効果を発揮することになります。消費する動力は変わりませんので、電力のピークカット効果が高くなります。(図 15 参照)

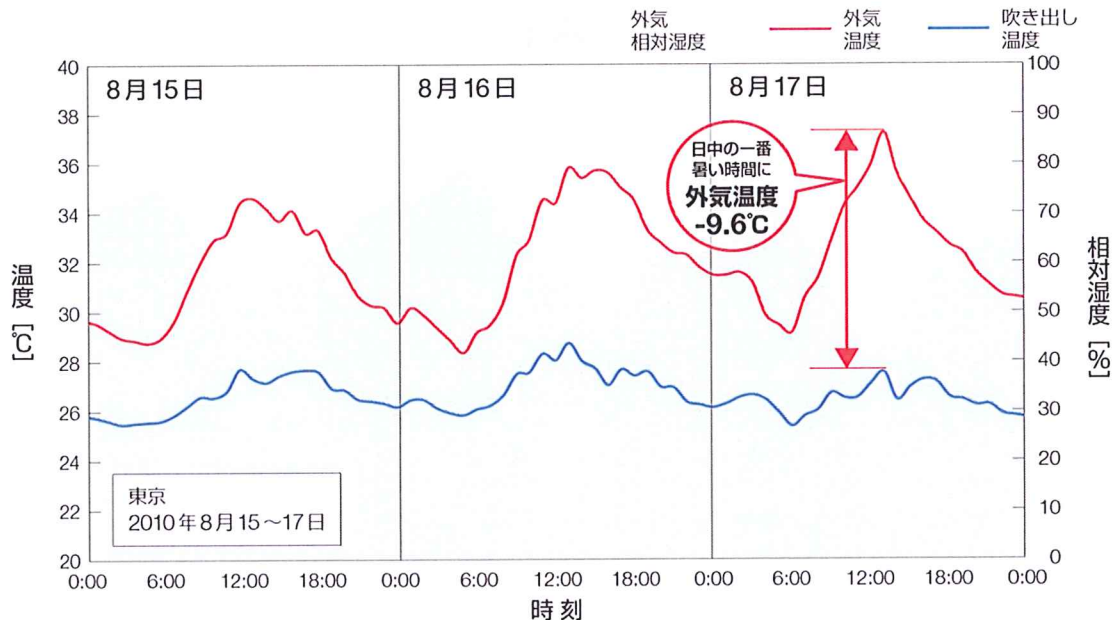


図 15 時間帯別の涼風の温度 (冷却効率 0.89 の場合の計算値)  
東京 (2010 年 8 月 15 日~17 日) (気象庁HPより)

また、ミスト状ではなく、水を気化させて水蒸気になっていますので雑菌を含みませんし (図 16 参照)、吹き出し温度が露点以下になることはありませんので、外気より低い温度にならない限り結露することはありません。しかしながら、水の気化熱利用には、「吹き出し空気の湿度が高い」



図 16 水蒸気と雑菌の大きさ

「吸い込み空気の状態 (温度・湿度) で吹き出し空気の状態 (温度・湿度) が決まってしまう制御 (コントロール) できない」という欠点があります。制御できなくても冷え過ぎることはありませんが、湿度が高くなることから、気流を感じない場所では温度が下がっているわりにはエアコンほどの清涼感はできません。

エアコンは、空気の熱を直接室外に排出することから閉めきった部屋で室内の空気を循環させて使用します。一方、気化熱利用は、空気の熱を気化した水に移して空気温度を下げているだけで、保持している熱量は吸い込み空気と同じであり、熱の排出は換気でおこなっています。従って、外気の給気で使うことが本来で、室内空気吸い込みの場合は十分な換気があることが必須となります。(換気のない閉めきった部屋で使用しますと、室内湿度が徐々に上昇し、涼風を吹き出すことができなくなります。)

## 7. まとめ

防暑対策として効果的な換気を行うには、温度の低くなる低い位置（冷やしたい場所）に給気し、温度の高くなる高い位置から排気し、部屋全体に風の流れを作って熱溜まりになる場所をなくすことが重要です。

大きな工場全体を冷やす必要はありません。

作業者のいる低所の作業域だけに絞って給気し（気化熱利用（クールシリーズ）の涼風を供給するとさらに効果的）、高所の熱気を屋上換気扇（ルーフファン）で排出することを弊社は推奨しています。

（図 17 参照）

また、熱負荷の高い工場では、低層だけを冷却するのも大変な場合があります。このような時は、作業者のいる位置だけに涼風を給気し、作業者に風をあてることで効果的な防暑対策となります。

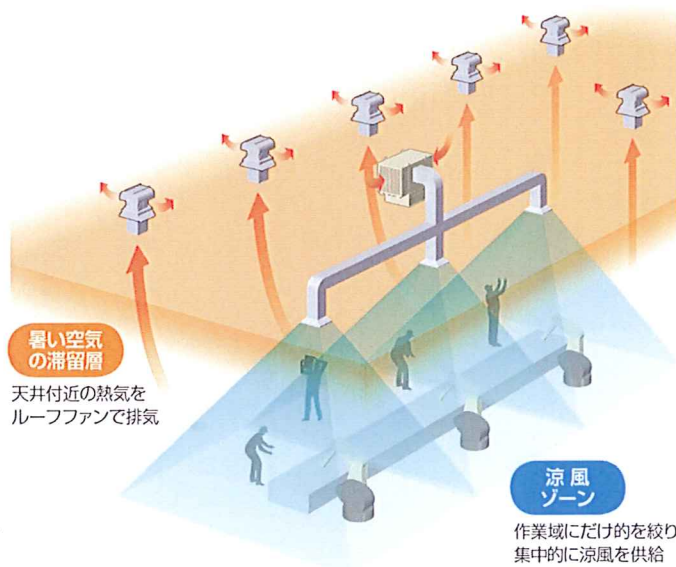


図 17 低層ゾーン冷却

弊社は、換気のトップメーカーとして、単にファンを販売するだけでなく、ユーザーのニーズに合わせた換気システムの提案・コンサルティングも行っておりますので、是非お近くの弊社営業所（裏表紙参照）にご相談ください。

## 8. 商品紹介

### ○ルーフファン（RF）

- 屋根上に設置し、上部の熱気を効果的に排出するファン
- 排気用の他、給気用、自然換気用もあり
- 使用用途、使用場所に合わせ豊富なラインナップ  
標準形・低騒音形・アルミ製・FRP製  
• 特殊防食形・ステンレス製・耐塩形・  
防爆形・耐熱形・防湿形・一方向吹出形



ルーフファン



ルーフファン（アルミ製）

### ○気化放熱式涼風給気装置

水の気化熱利用で大量の涼風を給気

#### ○クールルーフファン（CRF）

- プロペラファン採用の低コストタイプ
- 屋根上設置の下吹出形と地上設置の上吹出形



クールルーフファン

#### ○クールクリーンファン（CC）

- シロッコファン搭載で高静圧対応
- 中性能フィルタ装備のHG形（CCF）もあり



クールクリーンファン

#### ○クールユニット（CU）

- 既設給気ファン取り付け用の冷却エレメント



クールユニット

### ○気化放熱式涼風扇

水の気化熱利用で涼風を送風（室内置き）

#### ○屋内移動形クールルーフファン（CRF-MK）

- 屋内置きにしたクールルーフファン（200V）
- 強力な大風量タイプ

#### ○クールGYM（CGR）

- 冷却エレメント付GYMファン（200V）
- 指向性の高い中風量タイプ



クールGYM



屋内形CRF

#### ○アクアクールミニ（AQC）

- コンパクト軽量タイプ（100V）

### ○GYMファン

防暑対策、製品冷却、ヒューム対策など

さまざまなシーンで活躍する強力送風機

使用用途、使用場所に合わせ豊富なラインナップ

#### ○ジェットGYM（標準形/低騒音形/特大風量形）

- 指向性に優れ、遠い場所に的確に送風

#### ○ワイドGYM（標準形/低騒音形）

- 広角送風で作業者の防暑対策向け

#### ○スイングGYM（標準形/低騒音形）

- 首振り機能を搭載

#### ○GQシリーズ（ベルトドライブ/ダイレクトドライブ）

- ソフトな風で、工場、体育館などの防暑対策向け



ジェットGYM



GQシリーズ

- クリーンファン、給気システムファン、ユニットファン（壁付換気扇）、搬送ファン、ポータブルファン、ユニットヒータ、エアカーテン、排煙ハッチ・ドーム

# 納入事例

## 東京国際エアカーゴターミナル株式会社様

業種	国際貨物取扱事業
事業内容	東京国際空港 国際線地区貨物ターミナル運営
設置機種	ルーフファン 47台 (RF-52H)
お話を聞きした方	施設本部 施設管理部長 岩田義友様
インタビュー実施日	2011年1月26日

### 「ルーフファンが貨物ターミナルの換気を支えています」

2010年11月、東京国際空港の国際貨物ターミナルが新たにオープンしました。当ターミナルは、エコ・エアポート推進の元、ターミナル内の緑化の実施や環境負荷低減に寄与する施設機能を備えております。ターミナル内の第1国際貨物ビル及び第2国際貨物ビルの屋上に、約2,000kWの発電容量を誇る太陽電池モジュールを設置し、太陽光発電を行っています。この設備は、クリーンエネルギー認証センターより認定された発電施設で、当ターミナル全体で利用する電力の約1割（年間約200万kWh）をまかなう見込みです。写真にあるように、第1国際貨物ビル、第2国際貨物ビルの屋上には、太陽光パネルとともにカマクラのルーフファンを採用しています。

2棟合わせ延べ床面積約40,000㎡と大規模な上屋では、年間通じて様々な貨物が取り扱いされています。例えば秋でしたら、ワインなどの扱いが増えます。換気が不十分ですと上屋内の温度が過度に高くなり、ワインの保存状態に影響を与えてしまうことがあります。上屋では十分な換気量を効率良く確保することが求められ、ルーフファンを選定しました。また、雨水侵入防止のためにシャッター等をオプションで付け、更に取付ベースを標準仕様の倍の高さに変更し、貨物の管理をより確かなものにしていきます。

