

空調服の原理説明

始めに

この度は、弊社が世界で初めて開発した空調服に関心を持って頂き、誠にありがとうございました。このページをご覧になった方は、既に空調服についての概要をご存知の事と思います。まだ概要をご存知でない方は、空調服について簡単に説明しているページがございますので、そちらを先にご覧ください。

これより先は、空調服の冷却能力についての理論的な説明を致しますが、まず始めに弊社が現在の空調服を開発するまでの経緯を簡単にご説明します。

空調服は、現在発展途上にある国の人たちが将来、今の日本のようにクーラーを各家庭で使用するようになった場合、エネルギー問題が今以上に深刻になってしまう事を憂慮し、クーラーに代わる消費電力の低い冷却技術を開発する事はできないのか、との発想を元に、4年以上の歳月をかけて開発されました。

現行のモデルでは、服にファンがついているだけの非常にシンプルなものとなりましたが、開発当初は水冷式の空調服の試作から始まり、風の流れ方の研究・風量と冷却効果の研究・空気の流通路を確保する為のスペーサーの研究開発・少ない消費電力で十分な風量を確保する事の出来る小型ファンの選定など、様々な研究を重ねて参りました。

ここでご説明する理論も、開発当初は水の気化熱など、理科の基本的な知識を用いた漠然としたものでしたが、これらの研究の過程で次第に肉付けされ、体系化されたものです。

以下は少々長い文章になってしまいますが、最後までご一読頂き空調服についてのご理解を深めて頂ければ幸いです。

1.人間にとって最も理想的なクーラー、「生理クーラー」とは？

人間には本来、発汗する事によって身体を冷却する機能が備わっています。

ここでは、その機能の事を機械的なクーラー（冷房装置）と区別する為に、「生理クーラー」と呼ぶ事にします。以下に、空調服の冷却能力と密接に関わる、生理クーラーについてご説明します。

人間は食物を摂取して、生命維持活動や仕事を行ない、それに対応して産熱する非常に効率の悪い作業装置と考えることができます。標準的な大人の場合、実用熱管理計算図表集出典の資料によると、身体からの産熱量（熱として消費されるされるカロリー）は、安静時で約 100kcal / 時、歩行時（速度 5 km / 時）で約 260kcal / 時、また、非常に重労働である木びき作業では約 450kcal / 時を超えるとされています。

この様に人間の活動に伴って産出された熱は、放熱を行なわなければ人体に蓄積され、体温の上昇を招き、やがて人間は活動を休止せざるをえなくなってしまいます。例えば、体温 36 の標準的な大人が、1時間あたり上述の 260kcal を産熱する歩行を行ない、その過程で全く放熱を行なわないと仮定すると、（人間の体積を 70 リットルの水に置き換えて計算した場合）1時間後には体温が約 39.7 に上昇してしまいます。これでは1時間も歩かないうちに、体温の上昇によって人は倒れてしまいます。

しかし、実際には人間は何時間も歩き続けることが可能ですし、より産熱量の高いマラソンを行なった場合でも2時間以上走り続けることが可能です。それでは、なぜ活動のほとんどが熱になってしまう人間が、何時間も歩き続けることができるのでしょうか？

それは、人間が適宜に放熱を行なっているからに他なりません。そして、人間が放熱を行なう上で、最も大きなウエイトを占めているものが、発汗による冷却機能です。水の気化熱は非常に大きく、1ccの水が蒸発すると、580calもの熱を奪います。そして、人間は激しい運動を行なった場合、1時間に1000cc（1リットル）以上の汗をかく場合も往々にしてあります。もし、かいた汗が全て蒸発すれば、1時間あたり580kcal以上の放熱を行なう事ができ、これは上述の木びき作業時の産熱量を十分に放熱する能力を持っています。

弊社では、この人間に本来的に備わっている、発汗によって身体を冷却する機能の事を、「生理クーラー」と名付けました。

ところで、冬の寒さの厳しい時や、春先の心地よい気候の時に、安静にしている人がだらだらと大量の汗をかく事はありません。これは、発汗量が各人の脳によってコントロールされているからです。すなわち、周囲の温度やその時の作業量に応じて生理的に必要とする放熱量を各人の脳が計算し、人体はその放熱量に対応した量の汗を出すようになっているのです。そして、汗がすべて気化されれば、その人のそのときの状況に最適な放熱が行われ、また発汗によって体温が下がれば、汗の量は少なくなり、体を冷やしすぎることもありません。

この様に生理的に必要な時にだけ発汗し、必要でない時には発汗を抑える生理クーラーとは、本来人間にとって最も理想的な冷却手段だと言う事が出来ます。

2.冷却に必要な汗についての考察

前節のように、生理クーラーは人間にとって最も理想的な冷却手段であると言えますが、ではなぜ人間は理想的な冷却手段を持っているにも関わらず、夏の暑い時期には、だらだらと汗をかき続け、不快になってしまうのでしょうか？ それは、汗の蒸発が、生理的に必要とされている放熱量に追いついていないからです。

生理クーラーが有効に機能するためには、汗の気化が不可欠です。ここでは、人体から出る汗について、考察します。

汗の蒸発による体の冷却という観点から考えると、汗には、大別して、冷却に寄与する有効発汗と、冷却に寄与しない無効発汗とがあります。 さらに細かく分類すると、汗は、即効発汗、遅効発汗、無効発汗の三種類に分けることができます。

即効発汗とは、身体から出ると同時に蒸発する汗のことで、この即効発汗は直ちに蒸発するので、身体はすぐに冷却されます。遅効発汗とは、身体から液体の状態が出る汗のことで、この遅効発汗はすぐには蒸発しないので、汗で下着が濡れてしまい、身体が必要とするときにすぐに冷却効果は得られません。

しかし、風が吹いたときなどに汗が遅れて蒸発し、結果的には身体の冷却に寄与します。また、無効発汗とは、身体から垂れ落ちてしまう汗で、この場合には、蒸発による身体の冷却作用はありません。

生理クーラーが有効に機能している状態では、作業量の変化等に応じた必要量の汗が即効発汗として身体を冷却し、下着に液体状の汗が残ることもなく、身体を常に快適な状態に保つことができます。 しかしながら、温湿度、風の有無、作業量などの条件によって汗をすべて気化することができなくなると、身体は生理クーラーの作用が間に合わない状態になり、気化されない無駄な液体状の汗（無効発汗）を出し続け、人は不快になるだけでなく、生理的にもダメージをこうむってしまいます。 従って、人間にとって快適な冷却を得るためには、いかに冷却に寄与しない無効発汗や、すぐには冷却に寄与しない遅効発汗を抑える事が出来るかがカギとなります。

3.汗の気化に不可欠な要素、「風」についての考察

ところで、汗を気化させるためには、空気が必要です。また、空気の流れがなければ、皮膚表面の空気はすぐに水蒸気が飽和してしまい、それ以上、汗を気化させることはできません。したがって、連続的に汗を気化させるためには、皮膚近傍に空気の流れを作る必要があります。歩いている時には汗をかいていなかったのに、止まったとたんに汗ばんでくると言った事も、止まる事によって空気の流れが少なくなり、汗が気化しにくくなったために起きる現象です。

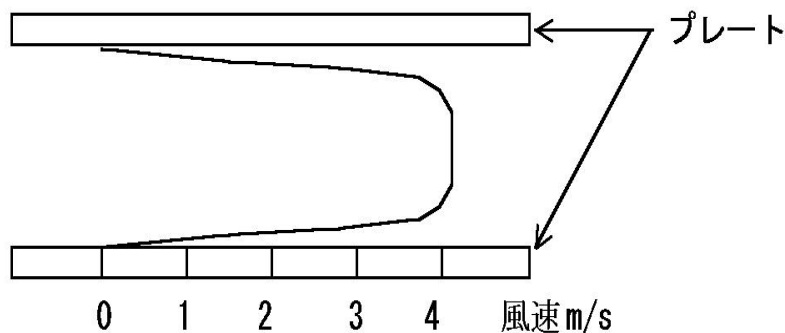
皮膚の表面に空気の流れを人工的に作る手段としては扇風機が挙げられます。しかし、扇風機は持ち運びが不便だという欠点に加え、身体の前面に風を受ければ、背面には風が当たらないという様に、身体全体に均一に風をあてる事も出来ません。これでは、風の当たらない部分の汗の気化は遅れ、遅行汗や無効汗が出てしまいます。

また、扇風機は人体に対向して配置されるのが普通ですので、必然的に風が人体に対して、概ね垂直にあたってしまう。この身体に対して垂直にあたる風にも大きな問題が潜んでいます。

弊社ではこの風のことを「身体垂直風」と名付けました。身体垂直風が皮膚にあたる場合、皮膚表面にある、体温に近い温度の湿った空気は、身体垂直風の風圧によって皮膚からそぎ取られ、皮膚は直接身体垂直風と接する事になります。

これは、皮膚表面の温湿度が、身体垂直風の温湿度に影響を受けてしまう事を意味し、例えば40℃の乾燥した垂直風が皮膚に強くあたった場合、皮膚の表面温度は40℃近くに上昇し、皮膚も乾燥してしまいます。これでは冷却どころか逆に、体温を上昇させる原因になってしまいます。

一方、身体の表面近傍において、身体の表面に対して概ね平行な風を流す場合はどうでしょうか？弊社ではこの、身体の表面に対して概ね平行な風のことを「身体平行風」と名付けました。以下に、平行風の理論についてご説明します。下図は2枚の平行平板の間に空気を流したときに、平板（プレート）からの距離に対する風速の分布を模式的に表した図です。



図に示すように、プレートの表面では、プレートの間に流す風の風速に関わらず、風速がゼロになります。空調服によって作り出された風も、空調服と皮膚の間を、皮膚に対して概ね平行に流れますので、皮膚表面での空気の流れはなく、皮膚表面の空気が風圧によってそぎ取られる事はありません。従って、40℃の身体平行風を空調服内に流した場合は、身体垂直風を皮膚に当てた時のように、皮膚の表面温度が40℃近くまで上昇する事はなく、生理クーラーの働きによって着用者にとってちょうど良い皮膚温に保つ事ができます。

また、空調服と皮膚との間隔が小さく、その間に流れる身体平行風の風速が大きいので、皮膚表面の湿度勾配がとても大きくなり、汗を効率よく蒸発させる事が出来ます。以上の事から、身体に垂直風を当てるのではなく、身体平行風を流した方が、より合理的に汗を蒸発させる事が出来るのです。

4.空調服と開発コンセプトについて

これまでの説明をまとめると、人体にはもともと人体の冷却を行なう為の理想的な機能である、生理クーラーが備わっていて、生理クーラーを効率よく機能させるためには、身体平行風が必要になります。

そこで、理想的な身体平行風を実現するために空調衣服が開発されました。理想的な身体平行風を実現するには、身体全体を身体平行風を案内するための案内シートで覆い、案内シートと身体表面との間に一定の小さな間隔を作り、例えば頭上に取り付けた大型のファンによって空気の流れを発生し、案内シートと身体表面との間の空間において大量の身体平行風を流すようにすればよいのですが、そのような空調衣服では、人体の放熱・汗の気化の観点からは理想的なものであっても、実生活を行なう上では現実的ではありません。このため、生理クーラーの機能を100%生かすことができなくとも、十分に性能を発揮させることができる実用的な空調衣服を目指して開発に力を注ぎました。

以下に、実用上、空調衣服に要求される条件まとめました。

- 1、**身体全体の表面積に対する、身体平行風で包むことのできる身体部分の表面積の割合（空調面積率）が大きいこと。**
 - 2、**作業等の邪魔にならないような形状と重量を有すること、**
 - 3、**屋外でも使用できるように小さな電池で長時間、空気を送風することができ、且つ十分な流量の空気を発生させることができること、**
 - 4、**安価であること、**
 - 5、**洗濯をするときに簡単に電気部品を着脱することができること、**
 - 6、**その他、安全性はもちろんのこと、ファッション性を含め、通常の衣服と外観上の差が小さいこと、**
- 以上の条件を考慮し開発したものが、今回発売する空調服です。

5.空調服の冷却能力について

生理クーラーは、それが完全に機能すれば、人体にとって完全で理想的なクーラーであるということについては、これまでの説明でご理解頂けた事と思います。

問題は、生理クーラーを完全に機能させるための補助装置、すなわち空調衣服が、どの程度、生理クーラーのパフォーマンスを上げられるかに掛かっています。

具体的には、空調服の中に流す身体平行風の風量が大きければ大きい程、遅行発汗や無効発汗が出る事のない、生理クーラーが完全に機能する範囲を拡大する事が出来ます。

それでは、実際にどれ位の風量を流せば、どれ位の冷却効果があるのでしょうか。一定の風量を流しても風の温湿度によって生理クーラーの冷却能力は変化してしまいますので、ここでは基準の空気を設け、体表温度を 33 に保つ条件で、その空気がどの位汗を蒸発させる事が出来るのかを求める事によって、空調服の理論的最大冷却能力を計算する事にします。

いま、基準空気を、温度 33 ・湿度 50%と設定します。(体表温度を 33 とするのは、体表温度と一致させる事により計算が単純化できるからです。)

この基準空気 1 立米辺りの飽和水蒸気量は、約 37.5g です。 基準空気の湿度は 50%ですので、この基準空気は、 $37.5 \times (1 - 0.5) = 18.75g$ の水が蒸発する余裕があります。 前述した様に、水の蒸発カロリーは、1g あたり 580cal ですので、この基準空気 1 立米の蒸発可能カロリーは、 $18.75 \times 580 = 10.86kcal$ になります。

弊社が表示している空調服の冷却能力は、上記の基準空気 1 立米の蒸発可能カロリーに、空調服の 1 時間あたりの風量を掛け、更に空調服内に流れる空気のうち、汗の蒸発に寄与しない空気がある事を考慮に入れ、寄与しない空気を冷却能力から省く為に、ある係数を掛けています。(残念ながら、汗の蒸発に寄与する空気と、しない空気の割合を正確に求める事は不可能ですので、この係数は空調服に流れる風の風速などを考慮しながら、弊社が過去の経験から適当と思う数値に設定しています。)

ここで、弊社が今回発売する空調服の風量と、上述の計算方法で求めた理論的最大冷却能力を列記します。

空調服の風量：72.0 立米/時間

理論的最大冷却能力： $72.0 \times 10.86 \times 0.65$ (係数) 500kcal/時

参考資料：1時間あたりの産熱量（体が発生する熱量）

安静時	約 100Kcal
歩行時（3km/h）	約 200kcal
歩行時（5km/h）	約 260kcal
洋服仕立て	約 120kcal
大工	約 190 ~ 240kcal
木びき	約 450kcal

