

FACILITY SCIENCE

ファシリティマネジャーのための科学的基礎知識

ファシリティ・サイエンス

連載第14回
輻射式冷暖房
の科学

「輻射式冷暖房」は、身体を自然な放熱を利用した、人に優しい理想の空調方式。

天井パネルなどの温度を変えることで身体からの熱の発散(放射量)をコントロールする輻射式冷暖房は、従来の送風式の空調機に比べて穏やかな涼しさや暖かさを感じられるため、長時間、室内にいることの多いオフィスや住宅、医療施設などには理想的だといわれています。冷温風の空気対流が微少ですので、場所によって寒すぎたり、暑すぎたりする温度ムラが起らないほか、送風音がない静かな室内環境は、快適な執務空間を実現します。また冷風の直撃による冷房病を防げる点も、ワーカーの健康管理を考えるうえで大きなメリットといえるでしょう。輻射先進国のドイツでは新築ビルほとんどが採用しているという輻射式冷暖房システムは、最近、日本でも大きな注目を集めているものの、まだ、その特長や仕組みについて充分に知られていないといえます。今回のファシリティ・サイエンスでは、この分野のリーディングカンパニーともいえる株式会社トヨックスにお話を伺いました。



株式会社トヨックス 専務取締役 宮村正司氏
冷暖房事業部システム開発課 マネージャー 瀬沼 央氏
冷暖房事業部システム開発課 マネージャー 宮村恵志氏

対流で室温調整をする空調機に比べ 送風や温度ムラによる健康負担が少ない

.....輻射式冷暖房は通常の送風式の空調機に比べて快適で、オフィスなどに向いていると考えている人が多いようですが、一方でその仕組みについてあまり知られていません。まず基礎知識から教えていただけますか？

理科の授業で習ったように、熱の伝達形態には、対流、伝導、放射(放射)の3つがあります。対流とは温度差のある空気や水が動くことで熱が伝わる形態で、風呂のお湯に浸かっていて時間が経つと全体的に温かくなったりするのはそうですし、温風や冷風を吹き出す一般的なエアコンもこの方式を利用したものです。また伝導は、直接、熱が伝わる形態で、氷枕や湯たんぽがこれにあたります。

一方、放射はこれら2つに比べると少しわかりにくいかもしれませんが、いい例が冬の「ひなたぼっこ」です。外気は寒いのに日光にあたった部分だけ暖かく感じますが、これは太陽から出た遠赤外線による効果で、「物質を介さず温度の高い方から低い方へ熱が伝わる」という放射の現象の代表的なものでしょう。似たようなケースでは、夏にトンネルや地下室に入ったときに感じる涼しさがあります。これは、身体が温度の低い壁面に放出されて起きる現象で、同じく放射の効果なのです。

.....その効果を利用したのが輻射式冷暖房なのですね。

輻射式冷暖房にはいくつかの方式がありますが、トヨックスのシステムでは天井の輻射パネルに温水や冷水を流すことで、部屋全体で暖かさや涼しさを

感じられるようになっていきます。冬は天井面を約31℃、夏は18℃にすることで、快適な温度空間を実現できるのです。

.....送風式冷暖房に比べてどんな特長があるのですか？

第一に、室内の温度分布が均一になることによる快適性が挙げられるでしょう。対流を利用した送風式冷暖房では、多くの人が経験されてきたように、どうしても、場所によって寒すぎたり、暑すぎたりといった温度ムラが生じます。これは、対流によって室温調整をする以上、なかなか解決できません。このため、送風式の冷房で部屋の隅々まで涼しくするには強い冷気を吹き出す必要があります。その直撃を受ける場所では冷房病になる可能性がありますし、逆に冬は「足が寒いのに頭が暖かすぎる」といった上下の温度差に悩まされるのです。この点、輻射式冷暖房であれば温度ムラはなく、部屋のどこでも快適な室温を体感できるのです。

また輻射式冷暖房は一般のエアコンに比べて送風音がなく、静かな室内環境を維持できますし、室内の埃を巻きあげないので空気清浄度が高まり、健康にもいいといわれています。

強制的に冷温風で体温を調整しない 身体を自然な放熱を利用した冷暖房

.....輻射式冷暖房は送風式冷暖房に比べて、涼しさや暖かさの感じ方が穏やかだといわれますが、これはどうしてなのでしょう？

それを説明するには、「冷暖房とは何か？」という話から始めたほうがいいでしょう。

人間は生命活動を行うとき、常に身体から熱を発生することで、36~37℃の体温を維持しています。そして、この熱エネルギーは体外に放射の形で放出され、体表面ではだいたい32℃になっているのです。

もし、まわりの気温が高いと、熱の発散がスムーズに行われず、暑く感じますし、逆に気温が低いと、必要以上に熱が奪われて寒さを感じます。したがって、室内の温度環境を調整することで快適な状態にするのが冷暖房なのです。

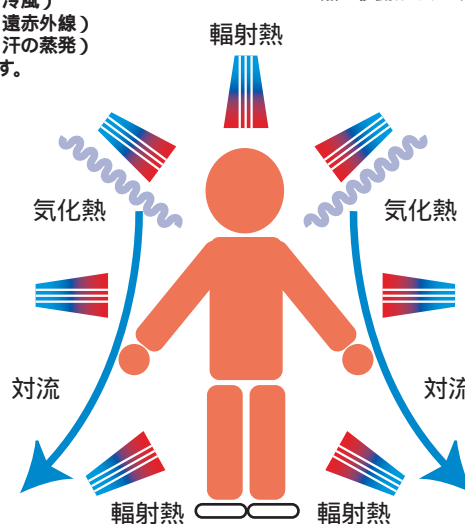
.....その方法が、一般的な空調機と輻射式冷暖房では違うのですか？

まず冷房から説明しましょう。送風式(対流式)空調機では室内に冷気を吹き出し、空気をかき混ぜる対流現象によって気温を下げるのですが、そのためには14℃程度の低い温度で送風する必要があります。そして室内気温を24℃程度にしなければ涼しさは感じません。

ところが、実際には、部屋全体の気温を下げるだけで涼しくなるわけではないのです。冷風が、直接、身体にあたる場所にいると汗が大量に蒸発しますから、そのときに気化熱が奪われて室温よりも寒く感じます。また室内の対流

輻射とは(放射の原理)

人間は生命を維持するため常に周囲へ放熱しなければなりません。体からの放熱は
1. 対流(冷風)
2. 放射(遠赤外線)
3. 気化(汗の蒸発)があります。



輻射とは、空気を媒体とせず遠赤外線が熱を伝える現象です。温度が高い面から低い面へ熱の移動があります。

ファシリティ・サイエンス はやわかりメモ

対流を利用する送風式冷暖房に比べて室内の温度ムラが少なく、穏やかな涼しさや暖かさを感じる輻射式冷暖房。冷房病などへの影響が少ないため、ワーカーの健康管理を重視する企業や施設で注目される冷暖房システム。男女差や個人の体格差を超えて多くの人が快適さを感じる冷暖房。室温が高くても涼しさを、低くても暖かさを感じられるため省エネ効果で運転コストが軽減。メンテナンスのコストや手間も大幅に減らせる。欧州では多くの施設で導入。日本でも多くの企業が高い関心。

は完全には行われないので、部屋の高いところと低いところでは大きな温度差が生じ、「顔は暑いのに足腰が冷える」という不快感につながるのです。これがいわゆる冷房病の原因ですね。

これに対し輻射式冷房では、18℃ほどに冷やされた天井の輻射パネルが、直接、人の身体からの放射熱を吸収してくれますから、部屋のどこにいても均等に涼しさを感じます。このため、室内気温は26℃程度であっても、十分に快適さを得られるのです。

.....暖房の場合はどう違うのですか？

こちらはもっと大きな違いがあります。送風式(対流式)エアコンでは体表面温度より高い40℃ほどの空気を吹き出さないと部屋全体が暖まりません。そして、高い温度の温風が身体に直接あたることにより、身体に身体の一部だけが暖まることになります。この状態ではたしかに暖かさは感じるものの、ストーブの前にずっと座っていると、長時間になると「ほてり」が生じ、決して快適とはいえません。やはり人体は常に外に向かっての熱を放出し、冬であれば放出を必要最低限にしてあげるのが自然なのです。

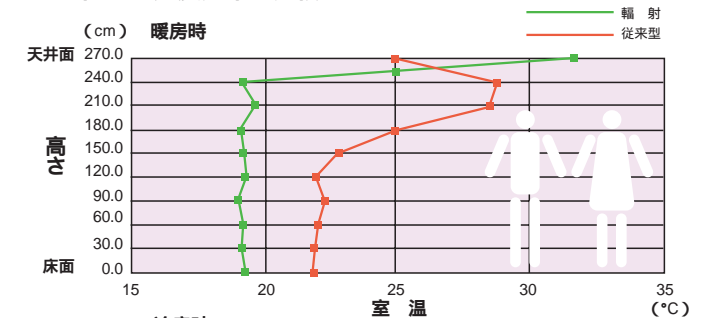
また対流の不完全さにより、「上半身は暖かいのに足元は寒いまま」というケースも少なくありません。

輻射式VS従来式

	風の有無	音の静かさ	快適性	温度ムラ	インシヤルコスト	ランニングコスト	耐久性	環境対応
輻射式	風なし	静か	高い	ほぼなし	アップ	30%OFF	3倍以上	100%リサイクル
従来式	風あり	送風音あり	中	あり	普及品			一部リサイクル

上記表は*従来空調(空気吹出し式)と*輻射式。をある一定の条件下でトヨックスにて比較したものです。

室内垂直温度分布の比較



室内の垂直方向における温度が輻射式では、ほぼ均一になっている。

「ファシリティ・サイエンス」下記バックナンバーは<http://www.websanko.com>をご覧ください。

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 04年 7月号 第13回 建築物の環境性能評価システム | 02年 11月号 第6回 消防用設備(スプリンクラー)の科学 |
| 04年 4月号 第12回 椅子の科学 | 02年 9月号 第5回 エレベーター(昇降機)の科学 |
| 03年 11月号 第11回 ガラスの科学 | 02年 7月号 第4回 リスクマネジメント(地震対策)の科学 |
| 03年 9月号 第10回 バランス・スコアカードの科学 | 02年 5月号 第3回 水(トイレ)の科学 |
| 03年 7月号 第9回 分煙の科学 | 02年 3月号 第2回 温感(空調)の科学 |
| 03年 5月号 第8回 あかりによるオフィス空間の生かし方 | 02年 1月号 第1回 あかり(照明)の科学 |
| 03年 3月号 第7回 セキュリティの科学 | |

一方、輻射式暖房は天井の輻射パネルを30ほどに保ちます。この温度は体表面の32よりは低いので、輻射による熱移動は起きませんが、ただ温度差が小さいため、寒さは感じずに、ちょうどいい快適さが体感できるのです。さらに、対流と違って遺赤外線による輻射は特性上広範囲に広がり足元にまで届きますから、下半身が寒いということもありません。

……つまり、人間の自然な熱放出を妨げないので、穏やかに涼しさや暖かさを感じるのですね？

たとえば冷房時に人体からの熱エネルギーがどう伝達形態で放出されるか調べたところ、送風式エアコンでは輻射が35%、空気対流による熱移動が40%、汗の気化によるものが25%となっています。つまり、風によって冷やす割合が大きいので、どうしても涼しさが安定せず、疲労の原因になりかねません。

輻射式冷房の場合は、これらの数字が輻射50%、対流30%、気化20%となり、輻射の比率が高くなっています。このため、穏やかな涼しさを感じることができるのです。

輻射式は健康にいい冷暖房システムです。

株式会社トヨックス
専務取締役
宮村正司氏

いわゆる冷房病とは、身体が冷えて温度依存性の酵素反応が遅滞することにより起こります。これが代謝の低下を招き、さまざまな自覚症状につながるのです。また交感神経の緊張や末梢循環不全といった自律神経症状もさまざまな問題を引き起こします。症状としては、手足の冷えによる不快感、睡眠の質の低下、免疫機能低下(たとえば風邪を引きやすくなる)、胃腸運動の機能低下による食欲不振などが挙げられます。

冷房のタイプの違いによる健康状態への影響を調べたデータによると、一般的な送風式冷房では時間とともに足の表面温度はどんどん低下し、全身の体感温度に大きな差が生じていることがわかります。これに対して輻射式冷房では必要以上に熱が奪われることがないので、常に一定の表面温度を保てるのです。

オフィスにおける冷房病の問題はヨーロッパでは早くから指摘されていて、多くの調査が行われています。たとえばドイツで発表されたデータによると、社員の疾患比率が一般空調機と輻射式では2倍以上も違うという結果が出ました。

ドイツ、ハンブルグの企業で調べたデータ

1974～1990年	通常空調下で勤務する社員の疾患比率	9.6%
1990～2003年	水冷天井による輻射式冷房に変更後の疾患比率	4.0%

この場合の「疾患比率」とは、ドイツでは病欠の有給日数が決められているのですが、その利用率となります。それが半減したことにより、生産性向上、コスト削減を実現したそうです。

日本でも輻射式冷暖房を採用する施設が増えたため、私たちはその健康増進効果を調査していく予定です。すでに導入した企業にヒアリングを行ったところ、送風式の冷房のときは女性社員の9割近くが「冷えすぎ」を感じ、膝掛けの毛布を使っていたそうですが、今はほとんどそんな姿が見られなくなったといえます。これだけを見ても、輻射式冷暖房は全身の温度調整を均一に行えることがわかります。また、男女差や体格差による快適さの感じ方にも大きな差がないといえるでしょう。

省エネ効果とメンテナンスの容易さでランニングコストの大幅な削減が可能

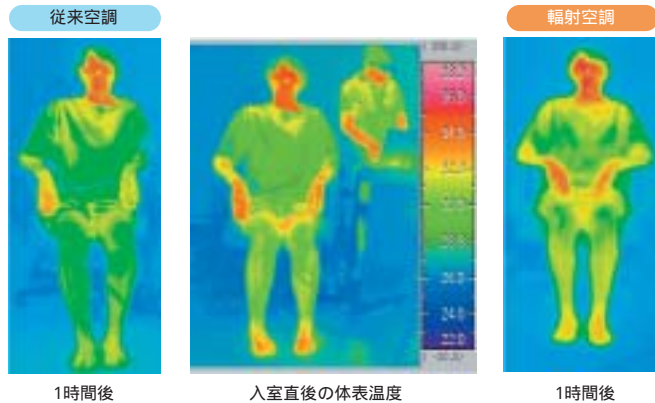
……天井パネルの温度をコントロールする仕組みについて教えていただけますか？

輻射式冷暖房システムは、大きく3つの回路から構成されています。まず「一次回路」は熱源で、ここで冷温水をつくります。そして熱交換器を通して「二次回路」の熱媒体の温度を変え、それが天井を循環することで冷暖房を行うのです。また、これらと別系統で「換気回路」を設け、換気のために除湿した必要最低限の空気を吹き入れますが、対流式冷暖房のように大量の送風をする必要はありませんから、ファンの音はほとんどしませんし、直接、身体に冷温風があたることもありません。

……二次回路の熱媒体としては何を使っているのですか？

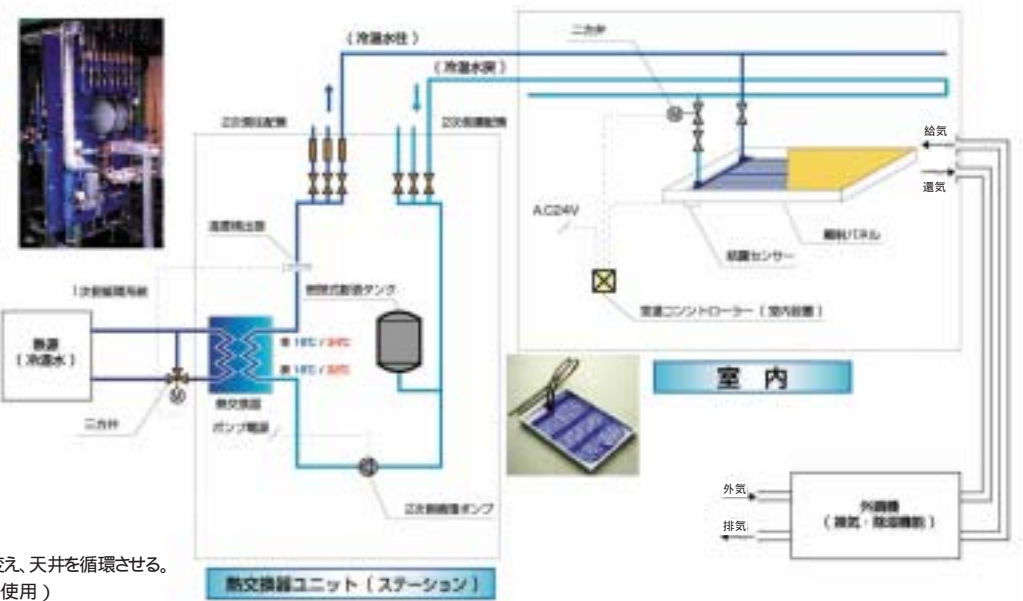
これは通常の水道水です。細い配管の中を循環させるため、「水分中のミネラル分が析出して詰まるのでは？」と心配される人がいますが、輻射式冷暖房では水温は16～34の範囲にしかありませんので、その問題はまったくありません。また二次回路は完全に閉じられた循環配管になっており、材質はポリプロピレンですのでサビの問題はなく、熱媒体である水はポンプの交換のとき以外、入れ換える必要はないのです。

体表面温度の比較



輻射冷暖房では冷房で冷房する従来冷房とくらべ、長時間室内に滞在しても体が極端に冷えたり足下が冷えたりしない

システム図



一次回路で冷温水をつくる。

二次回路で熱媒体の温度を変え、天井を循環させる。
(熱媒体には通常の水道水を使用)

トヨックスの輻射式冷暖房は、もともとドイツで開発されたものを導入しました。私たち専門家から見ても非常によくできたシステムであるだけでなく、すでに多くの導入実績があり、長期にわたってトラブルなく運転できることが確認されています。ですから、安心して使っていただけるはずです。

……メンテナンスの面では、従来の空調機より簡単なのですか？

その点も輻射式冷暖房の大きなメリットです。二次回路の配管はポリプロピレン製で50年以上の耐久性がありますし、循環ポンプも10年以上の運転が可能です。調整が必要な部分は室内側にはなく、「熱交換ユニット」として一カ所に集約し機械室内にありますから、全体的な保守管理費は大幅に削減できるでしょう。

この点、送風式冷暖房の場合は頻りにフィルターやファンの掃除をしなければいけませんし、機器の交換も大変です。これらは室内で行われ、ときには業務の支障となります。一般的に、輻射式冷暖房にするとメンテナンスの手間は80%削減できるといわれています。

……ランニングコストはどのようなのですか？

輻射式冷暖房は送風式冷暖房に比べて、室内設定温度を夏期なら+2、冬期でも-2にしても同じ快適性が得られますから、これだけでも実測すると約12%の省エネとなり、当然、光熱費の削減につながります。そのほか、メンテナンス経費なども考えると、ランニングコストは3割近く下げることができるといわれています。

……導入のためのコストは送風式冷暖房と比べるとどのようなのですか？

導入コストは建物の構造などによって変わってきますが、残念ながら従来の空調機に比べると、多少、高いものになります。ただこれは、今後、日本でも輻射式冷暖房が普及してくれば、よりリーズナブルなレベルになってくるでしょう。トヨックスでも日本の建物の条件に合わせたさまざまな設置機器や工事方法の開発を続けており、将来的には充分コストメリットのある商品になると思っています。

ただ、運転や保守管理のランニングコストを合わせて考えた場合、現在でも30年以上利用したケースでは、輻射式のほうが経費の削減になるといわれています。

……環境面への影響はどのようなのですか？

省エネ効果が高いことから、輻射式冷暖房は従来の冷暖房に比べても環

境負荷は小さくなります。また、室内の水の循環に使われるポリプロピレン製の配管は焼却処理しても二酸化炭素と水になるだけで、環境汚染物質はまったく出ませんし、製造時のエネルギーも、二酸化炭素の排出量の比較で銅管などに比べて10分の1程度にすぎません。

もともと、環境基準の厳しいドイツで開発されたシステムですから、これらの点は徹底的に追及されています。

ベルリンでは新築ビルの95%が採用 日本でも人気の高まる輻射式冷暖房

……日本では、まだ、あまりなじみのない輻射式冷暖房システムですが、海外ではかなり普及しているそうですね。

ドイツ、スイス、オランダ、スペインなどが輻射式冷暖房の普及比率が高い国として知られています。ちなみに、統一後のドイツでは首都ベルリンでいくつもの再開発プロジェクトが行われてきましたが、新築ビルの95%では輻射式冷暖房システムを採用しているそうです。

……日本ではどのようなのでしょうか？

ヨーロッパでは夏の湿度が少ないため、天井パネルの設置だけで輻射式冷暖房への変更が可能であり、これが急速な普及の理由の一つになっていたようです。トヨックスでは日本の気候条件を考え、一次回路と二次回路による基本的な輻射式冷暖房に、除湿効果のある換気回路を組み合わせたシステムの導入をお勧めしています。これにより、すでに20以上の施設で採用していただきました。オフィスビルはもちろん、病院、福祉施設、学校、図書館、研究施設など、快適性を重視する施設では非常に関心が高いようです。

……輻射式冷暖房の快適さを知る方法はあるのでしょうか？

トヨックスでは東京の錦糸町にモデルルームを設け、いつでも快適さを体感していただけるようにしていますが、その他、資生堂銀座本店の3、4、5階のレストランに採用していただいておりますので、一度、足を運ばれていただければうれしいですね。輻射式冷暖房の快適さは、実際に体験してみるのがいちばんです。風に頼らない冷房や暖房は穏やかで、きつと気に入っていただけるのではないのでしょうか。

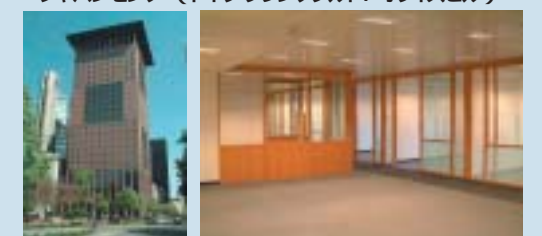
トヨックス株式会社のモデルルームへの案内や輻射式冷暖房システムのより詳しい解説はウェブサイトをご参照ください。 <http://www.toyox.co.jp/>

導入実績事例

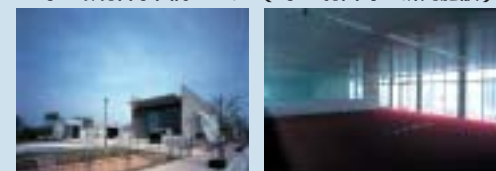
資生堂パーラー(東京 中央区 / レストラン)



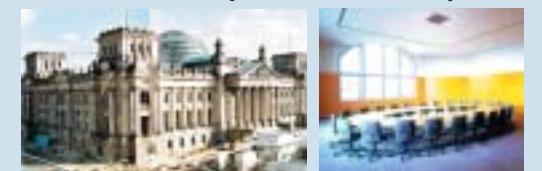
ジャパンセンター(ドイツ フランクフルト / オフィスビル)



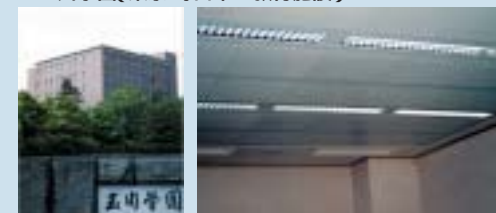
埼玉環境科学国際センター(埼玉 騎西町 / 研究施設)



ドイツ連邦議会議事堂(ドイツ ベルリン / 会議場)



玉川学園(東京 町田市 / 教育施設)



市貯蓄銀行(ドイツ ケルン / オフィスビル)



国内

海外