

学校体育館における ハイブリッド型輻射（放射）式冷暖房の概要と事例紹介

東京都市大学 坊垣 和明
環境工学株式会社 谷田 涼

1. はじめに

近年の全国的な猛暑と熱中症発生件数の増加、豪雨や地震等災害の被害の甚大化傾向を受け、学校体育館では教育環境の改善や避難所・防災拠点としての整備を目的とした空調設備の設置が求められるようになってきた。

体育館のような大空間においては、気流による不快さや温度むらが避けられない対流式よりも、気流がほぼ生じることなく室温と輻射（放射）温度の差が小さくむらのない温熱環境形成が可能な輻射式のほうが、より快適で効率的な冷暖房効果が期待できると考えられる。

輻射式冷暖房としては、輻射パネル内に冷温水を流す方式が一般的である。しかし近年、パッケージあるいはルームエアコンと組み合わせ、その冷媒を利用するハイブリッド方式の導入が急速に進んでいるので、ここに概要と設置事例を紹介したい。

2. 輻射式冷暖房の仕組み

エアコンを併用する輻射式冷暖房システムは、エアコンの室外機と室内機の上に輻射パネルを冷媒配管でつなぎ、パネル内の銅管の中に冷媒が流れることで表面温度が変化する仕組みである。例えば、冷房時には液ガス混合状態の冷媒がパネルを通

過する過程でほぼガス化されることで、冷凍サイクルの効率化すなわちCOP（Coefficient of Performance: エネルギー消費効率）やAPF（Annual Performance Factor: 通年エネルギー消費効率）の向上が期待できる。パネル本体に動力部分はなく、エアコンと冷媒を共有するため、エアコンの動きに応じ輻射主体の熱交換を行う。したがって、パネルはエアコンの補助的な役割を果たしていると言える。また、機器に不具合が起きた際に原因を特定するため、必要に応じて冷媒出入口にバイパスを設ける場合がある（図1）。

冷媒を用いる関係上、総配管長がエアコンのチャージレス配管長を上回る場合、冷媒追加充填が必要となる。なお、パネルの使用冷媒に制限はなく、接続するエアコンの冷媒に依存する。

表面温度は冷房時には約4～17℃となり、人体や周囲の空気から十分に熱を吸収し表面結露する。結露した水はパネル下部のドレンパンで受ける。そのまま自然流下処理できない場合は、ドレンポンプを使用す

る。暖房時には約35～80℃となるため、乳幼児等の手が届く範囲では防護カバー等の接触防止措置を講じたほうがよい。

除湿に関しては、冷温水式と同様、パネル自体の除湿効果は高いとは言えず、エアコンの強制対流で生まれる除湿量に対して5～10%と小さい。除湿の面では、エアコンと併用させたほうが、冷温水式のみのできる空気素早く快適にできる。

また、パネルのフィンのはの字になっており、フィン同士の熱干渉による熱移動阻害が生じない形状となっている。アルミニウムのフィンはリブ加工によって衝撃に比較的強い構造となっている。しかし、パネルはボール等がぶつかる外部衝撃に弱いいため、体育館のような場所では防球格子等による機器保護が推奨される。

3. 省エネ性・効率

対流式の場合は、風向きを変えたり風量を強くしたりしても温度むらの解消が難しい。一方、輻射式の場合、光と同じ電磁波であり直線性があるため、床上2.3m程度までの人間の活動域を中心にむらなく空調し、空調負荷を大幅に軽減することができる。

エアコンと輻射パネル併用の場合（ecowinHYBRID）は対流と輻射を

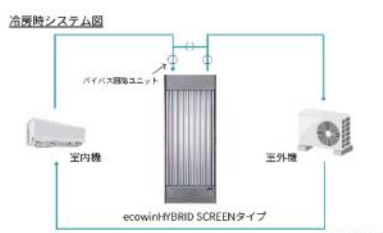


図1 冷房時システム図

併用するため、対流の立ち上がりの速さと、輻射の均一で穏やかな空間加熱冷却の両方の恩恵を受けることができる。風量自動設定の場合に設定温度に近づくとエアコンは微風に切り替わり、パネルの温度維持の比重が大きくなり、消費電力量の削減が期待できる。

大人数で行うスポーツ大会や式典の開催においては換気も重要となるが、対流式では空調空気が換気によって流出し急速な温度変化が避けられない。しかし、輻射式は空気に直接作用しないので、換気をしてパネルの輻射効果で一定の温度維持効果が期待できる。

エアコン台数の決定の際は、通常の空調設計と同様、設置予定場所の熱負荷計算を行う。メーカーの試算では、パネルの効果を考慮に入れると、ecowinHYBRIDでは算出された機器台数より3割減らせることとなっている。これにより、エアコンのみの設計よりも必要電力量を少なくすることが可能である。

空調工事や現地調査で各地の体育館を訪問すると、スポットクーラーや石油ストーブの使用を多く見かける。天井が高く、床面積も広い体育館のような大空間の冷暖房をこのような機器に頼るのは、極めて心もとない。未来を担う子供たちが日々学び生活をする体育館にこそ、省エネで健康性・快適性に優れ、大空間での空調効果が高い輻射式冷暖房が最適だと考えられる。

4. 施工・維持管理・運用

ecowinHYBRIDはエアコンとパネルを冷媒配管で繋ぐだけのシステムであり、床置や壁掛等、どのような形のエアコンとも接続可能であ



輻射パネルからの熱が紅白幕を透過しているのがわかる

図2 葛飾区立本田中学校体育館

り、設置位置の自由度も高い。設置に特別な技術は必要なく、工事としては通常のエアコン工事の延長で行える。エアコン設置ができる業者であれば概ね対応可能で、施工にかかるコストを抑えられる。ただし、パネルは表面積が広いほど効果が発揮できる性質上、エアコンよりも大面積を必要とし、住宅や小規模な事務所等では設置スペースを確保する必要がある。また、30～40kgほどの重量があるため、荷重に耐えられる程度に床や壁の補強が必要な場合がある。

既存のエアコンをそのまま利用してパネルを接続してもよいが、製造後10年程度以上経過したものは省エネ性能が低い可能性があるため、新しいものに交換したほうが効率向上の可能性が高い。

パネルは可動部分がないためほぼメンテナンスフリーであり、寿命は銅管と概ね同等である。エアコン本体はAPF向上により寿命の延長が多少期待できるが、フィルター交換やカビ取りなどの通常メンテナンスは必要となる。

対流式空調では卓球やバドミントンのような気流の影響を受けやすいスポーツを行うことが難しいが、輻射式であればこの問題は回避できる。また、機器の前の障害物は出来

れば無いほうが望ましいものの、式典の際に張る紅白幕のような薄い布程度であれば、十分に冷暖房効果を期待できることが確認されている。(図2)

5. 設備導入にかかるコスト

公立小中学校体育館は、昭和40年代後半から昭和50年代にかけての児童生徒数の急増期に一齐に整備されているものが多く、断熱性能に乏しい施設がほとんどである。空調効果を高めるためには断熱性能を高くしたほうがよいため、空調を導入する場合には断熱工事も同時に行うのが理想であるが、実際には断熱化の予算が用意できない例が多い。

輻射式の場合は、隙間風等の影響を受けにくいので、断熱化できない場合においても一定の効果が期待できる。実際にecowinHYBRIDが導入されている体育館の大半は、断熱性能が高くない施設である。導入にかかる費用としてエアコン以外にパネルの費用を考慮に入れなければならないが、エアコン自体の台数が減らせるほか、運転効率向上によるエネルギーコスト削減等の効果があるため、導入のハードルはさほど高くないと思われる。

併用式は対流式と比べると、約3割の機器台数削減に対応して省スベ

ースとなるが、パネル設置への配慮が必要となる。一方、冷温水式では、設計熱負荷を満足するためにアリーナの壁一面にパネルを設置するような事例がほとんどであり、費用がかさむほか利用者の活動スペースが狭まる懸念がある。あるいは、面積不足で負荷を満たせないため、補助的な熱源を要する場合もある。

6. 体育館での熱中症予防

熱中症予防に用いられる指標としては、暑さ指数WBGT (Wet Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度、単位℃) が広く活用されている。WBGTは暑さが身体へ及ぼすストレスを示し、気温・湿度・輻射熱・気流の4つの要素を反映する。日本生気象学会では、図3の通り、WBGTの温度に応じた熱中症発生の危険度を評価している。

25℃未満は運動をしなければ概ね安全で、25℃を超えると熱中症搬送者数が増え始める。したがって、25℃を室内での許容上限と考えるのがよい。

ただし、断熱性能に乏しい体育館

では、天井や壁の温度上昇、窓面積の大きさに伴う日射量の多さもWBGT数値に強く影響する。さらに、バスケットボールや卓球といった活動強度が高い運動を伴う利用が多いことも考慮したうえで、常に25℃未満を保つことができるように環境を整えなければならない。

体育館のような大空間において、WBGT数値を安定して低く抑えるためには、①各部の断熱を行い、②窓からの日射をカーテン等で遮り、③換気扇や窓で風を通し、④冷房し除湿することが有効とされる。しかし予算や時間の都合で断熱工事ができなかつたり、雨風が強い場合には窓が開けられないこともあるため、④冷房を行うのが最も着実かつ効果的な方法だと考えられる。

冷房の場合、室内外の温度差による血圧の急激な変動で起こるヒートショックを予防するため、内外温度差は5～7℃程度以内に保ちたい。また、対流は汗の蒸発を促進するが、冷気を伴う気流が直接身体に当たると冷えすぎの原因になるので、扇風機やサーキュレーターで冷気の

循環を行うか、快適を損なわない気流に調整する必要がある。端と中心等、場所ごとに温度差が生じる温度むらも不快さの原因となるので、できる限り避けたい。

なお、ecowinHYBRIDの放熱フィンを直接手のひらで触れることで、手のひらのAVA (動静脈吻合) による深部体温の急速低下効果が働き、熱中症の予防・対応が期待できる。運動中の体温上昇を防ぐのにも効果的で、冷却パネルの副次的な効果といえる。

以上を総合的に考慮すると、体育館冷房にはエアコンと輻射パネルの併用式が有効である。併用式であれば、輻射の冷却効果が加わることによるエアコンからの気流の適度な抑制ができ、除湿においてはエアコン本体が機能的に働く。対流式では風を強くせざるを得ないため冷えすぎが生じ、輻射式の全く気流がない状態は汗の蒸発による身体の熱放散を阻害するため、不快感が強くなる。

激しい運動を行う、式典や集会で大人数が集まるといった機会が多い体育館では、温湿度が上昇しやすく熱中症発生の危険性が非常に高い。全国的に学校教室の空調導入は概ね完了しているが、体育館はまだこれからといったところで、夏季の熱中症対策としても体育館への空調導入は急務である。

7. 事例1 立川女子高等学校体育館

築約40年の鉄骨造体育館である。ecowinHYBRID導入前は大型扇風機や石油ストーブで暑さ・寒さを凌いでいた。

この体育館 (図4) では、前述の

温度基準 (WBGT・単位℃)	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 (31℃以上)	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
嚴重警戒 (28℃以上31℃未満)	すべての生活活動でおこる危険性	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25℃以上28℃未満)	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。
注意 (25℃未満)	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3.1」(2021)をもとに環境工学株式会社作成

© 2022 環境工学株式会社

図3 WBGTに応じた注意事項等



図4 立川女子高等学校体育館の機器設置状況

通り、グローブ温度計測を含む空調効果測定を冷房期・暖房期に行っており、エアコン台数・消費電力量削減効果等が確認された。

7. 事例2 藤村女子中学・高等学校 第一体育館

各種スポーツの名門校として知られ、体育館は体育の授業や部活動で頻繁に利用されているほか、災害時の地域の緊急避難所指定を受けている。床面積は約900㎡で、8馬力相当の壁掛形ツインパッケージエアコン5台とLOWBOYパネル10台（室内機1台につきパネル1台）が設置されている。機器保護のためにアルミ製の防球格子・防球ネットを取り付けている（図5）。

7. 事例3 横浜雙葉小学校体育館

授業や展覧会、クリスマスバザー会場、子供たちの休み時間の遊び場など多目的に利用されている体育館である。

床面積約650㎡で、8馬力相当の壁掛形ツインパッケージエアコンとLOWBOYパネル、アルミ製防球格子・防球ネットを設置（図6）している。床上3m程度の高い場所に設置されているが、LOWBOYパネルのフィンが下向きになっているため、児童等の活動範囲への空調効果に支障はない。



図5 藤村女子中学・高等学校第一体育館の機器設置状況

7. 事例4 中野区立令和小学校体育館

令和4年に開校した学校で、床面積は約700㎡である。天井埋込形ビルトインタイプのパッケージエアコンとSCREENパネルを組み合わせで設置している。子どもの手が届く位置にパネルがあるため、防球格子表面にはパンチング加工された防護カバーが施されている（図7）。

7. 事例5 葛飾区立本田中学校体育館

令和2年に改築が行われた体育館である。SCREENパネルの上方に壁掛形パッケージエアコンを設置（図8）し、防球格子で保護している。バスケットゴールを避けた配置がなされ、エアコンの風のロスがなくなるよう工夫されている。

7. 事例6 町田市立小中学校体育館

令和2～3年に、市内小中学校の全62校の体育館（図9）において、



エアコン室内機とSCREENパネルが上下にセットで設置されている

図8 葛飾区立本田中学校体育館の機器設置状況



図6 横浜雙葉小学校体育館の機器設置状況



図7 中野区立令和小学校体育館の機器設置状況

ecowinHYBRIDと災害時緊急用電源を用いて作動する送風機が一斉に整備された。老朽化が進み、断熱性能に乏しい体育館がほとんどであったが、施工後に行われた空調効果測定で輻射式冷暖房の空調効果の高さを確認した。

7. 事例7 神田外語大学体育館

約1,200㎡の床面積を持つ中規模の体育館で、窓面積が大きいことに加え屋根からの輻射も強く、熱負荷が大きい。このような場合、対流式や冷温水式であればかなりの数の機器設置が必要と考えられるが、対流と輻射を併用するecowinHYBRIDの導入により機器台数を少なく設計することができ、まとまった機器配



エアコン室内機とLOWBOYパネルが上下に一体的に設置されている

図9 町田市立小中学校体育館代表校の機器設置状況



エアコン室内機と SCREEN パネルが上下にセットで、まとめて設置されている

図 10 神田外語大学体育館の機器設置状況

置とすることができた (図10)。

8. おわりに

熱中症対策、防災対策としての体育館空調のニーズは今後も全国的に高まっていくことが予想される。文部科学省は体育館の空調整備事業における補助金をすでに用意している。また、東京都では令和3年までの3か年で独自の補助制度を設け、

都内公立学校体育館で急速に空調整備が進んだ。

輻射式冷暖房は、小規模な空間に限らず、体育館やホールのような大空間においてむしろ大きな効果を発揮する。ecowinHYBRIDは多少の初期投資はかかるものの、電気料金等の高騰が続いて先が見通せない中、運転費の削減は大きなメリットがある。輻射の穏やかな加熱冷却効果は快適性にも優れ、誰もが過ごしやすい環境形成に大いに寄与する。

日本ではエアコンや温風暖房機といった対流式が主流であるが、人体にとって負担が少なく理想的である輻射式、とりわけ施工性・省エネルギー性等に優れたハイブリッド方式のecowinHYBRIDは、学校体育館

において今後更に普及が進んでいくものと考えられる。

参考文献

- 1) 谷田他：空調設備を設けた学校体育館の温熱環境ならびに省エネルギーに関する研究 その1、空気調和・衛生工学会大会論文集、2020.9
- 2) 谷田他：空調設備を設けた学校体育館の温熱環境ならびに省エネルギーに関する研究 その2、空気調和・衛生工学会大会論文集、2021.9
- 3) 谷田他：空調設備を設けた学校体育館の温熱環境ならびに省エネルギーに関する研究 その1,その2、日本建築学会大会梗概集、2020.9
- 4) 谷田他：空調設備を設けた学校体育館の温熱環境ならびに省エネルギーに関する研究 その3、その4、日本建築学会大会梗概集、2021.9
- 5) 日本生気象学会:日常生活における熱中症予防指針 Ver.3.1、2021.6
- 6) 環境省:熱中症環境保健マニュアル 2022、2022.3

弊社スペース