

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 輻射パネル併用空調による体育館の冷房期温熱環境に関する分析

正会員 ○谷田涼* 同 坊垣和明**
同 森雄一郎* 同 薄井勇吾

体育館 空調 輻射パネル
温熱環境 学校 エアコン

1. はじめに

温熱環境の改善を目的として教室への冷暖房の設置が進んでいる。おおむね教室への設置は完了し、次は体育館等に関心が移っている。その体育館には、非常時の避難所としての機能も求められる。避難所となれば、昼夜を問わず一定の環境が求められ、冷暖房は不可欠である。体育館のような大空間では、対流式よりも居住域を効率的に冷暖房できる輻射（放射）式がふさわしいと考えられる。本研究は、エアコンと輻射パネル（エコウィンHYBRID、エコファクトリー社製）を組み合わせた冷暖房方式を導入した体育館の環境性状と省エネ性を明らかにすることを目的としている。本報告では、同方式を設置した立川女子高等学校の体育館を取り上げ、その1で冷房時の環境、その2で環境と電力消費の実態を紹介する。

2. 調査対象と測定の概要

立川市内に立地する学校体育館（平面図、図1）を対象とする。体育館は面積約600㎡（約20×30m）で、パッケージエアコン（東芝製、RKS16033M、冷房能力14kW、暖房能力16kW）が南北両面に3台、計6台設置され、ツインタイプであるので室内機と輻射パネルが各々12台設置されている。写真1に体育館内部、写真2にエアコンと

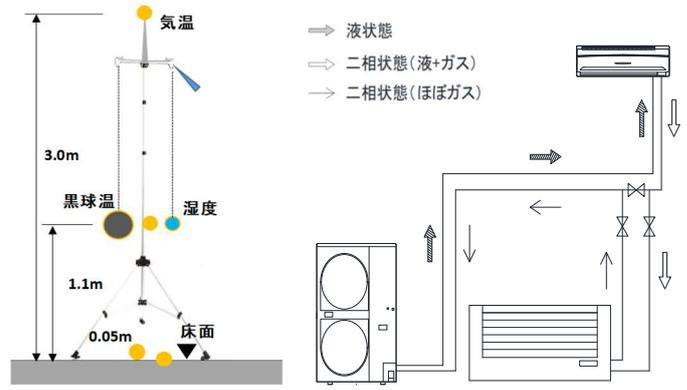


図2 測定イメージ

図3 空調システム図

測定日	測定モード・時間																					
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	機材設置						エアコン単独①				
9/10												測定1 15:14~17:14										
9/11	準備	エアコン単独②			運転切替	エコウィン併用①							測定2 9:30~11:30						測定3 13:30~15:30			
9/12	準備	エコウィン併用②				エコウィン併用③				併用省エネ		運転切替	測定4 9:30~11:30						測定5 12:30~14:30		測定6 15:30~16:30	
9/13	準備	単独省エネ			撤収								測定7 9:30~10:30									
測定1~5:通常運転(12台運転) 測定6, 7:省エネ運転(8台運転)																						

図4 運転モードとスケジュール

パネルの設置状況を示す。パネルの設置位置と測定点は図1の通りである。各測定点での詳細測定イメージ（項目と高さ、⑧, ⑨, ⑩は1.1m温湿度のみ）を図2に示す。電力消費量は、南北の系統別に測定している。測定インターバルは、温熱環境2分、電力5分である。

図3にエアコンのシステム図を示したが、輻射パネルは冷媒配管途中につなぎこむ直形式である。パネルへの往還部にバイパスが設けられ、エアコンの単独運転とエコウィン併用の切替えが可能となっている。

図4に測定（運転）モードを示した。冷媒経路切替によるエアコン単独とエコウィン併用の比較を、運転台数を変えて行っている。すなわち、通常の全12台運転と南北列中央の各2台を停止した8台の省エネ運転である。

測定は、2019年9月10日~13日の4日間に7モードを実施した。エアコン設定は26℃風量自動である。外気温は府中の気象庁データと現地外気温を比較し、日中の偏差が1℃程度までであったので現地外気温を用いている。

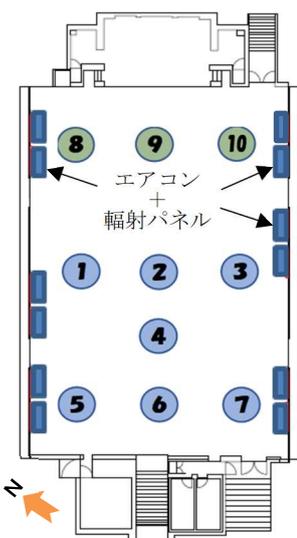


図1 対象室・測点配置図



写真1 体育館内観



写真2 エアコンとパネル

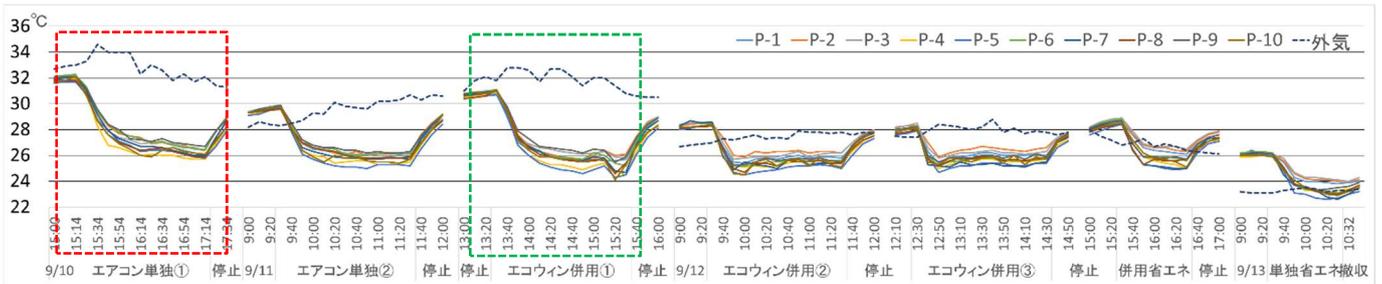


図5 1.1m 気温と外気温の経時変化

3. 室温等の測定結果

3. 1 温度等の経時変化の概要

図5に全測定点の1.1m気温と外気温のモード別変化を示した。おおむね30分程度で設定に近づき、外気温が極端に低下してしまった9月13日を除いて、26℃程度の室温を維持している。外気温の状況から、9月10日エアコン単独①と11日エコウィン併用①（以下、各々、単独、併用という）を主たる検討対象とした。

3. 2 立ち上がりの速さの比較

図5の赤枠エアコン単独と緑枠エコウィン併用の温度変化をみると、併用の方がやや温度低下が速いようにみられる。そこで、運転開始時温度と終了前30分の平均温度との差を1として、10分毎の温度低下率を図6に示した。エコウィン併用の温度低下が速いことがわかる。例えば、低下率0.7に達する時間は併用20分、単独27分であり、7分の差が生じている。これは、エアコンと輻射パネルの相乗効果による差と考えられる。

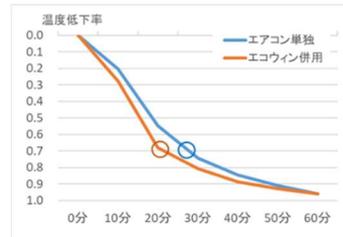


図6 温度低下率の比較

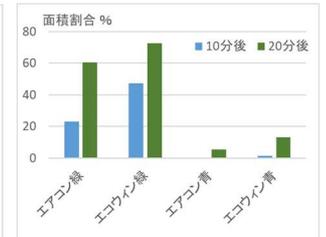


図8 温度低下面積割合

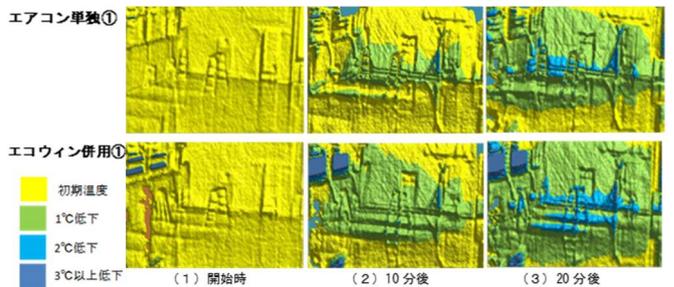


図7 表面温度の推移

図7には、エアコンとパネル前面付近の表面温度変化を示したが、表面温度の低下の広がりも併用の方が速いことがわかる。図中の緑部分、青部分の面積割合を図8に示したが、併用の方が倍近く広がり方が早い。

図9にパネル表面温度の運転開始後約10分の赤外画像を示した。運転開始直後は10℃以下の表面温度となり、安定状態では10℃台半ばで推移している。表面結露はパネル下部の結露受けを経由して屋外に排水される。



図9 パネル表面温度

3. 3 温度分布性状

図10に、両モードにおける各部温度の平均および外気温との差の推移を示した。各部温度は低い順に0.05m、1.1m、黒球温、床面温、3mであり、各々の差は約1℃である。併用の0.05m、1.1m、黒球温以外は、2時間経過後も温度低下傾向にあり、また、各部の温度水準は併用の方がやや低温であるが、外気温との差（内外温度差、点線）は、50分経過後以降は両モードともほぼ安定状態となり、温度差水準も同等である。したがって、両モードの冷却力に差はなく、かつ1時間弱でおおむね定常に達していると考えられる。

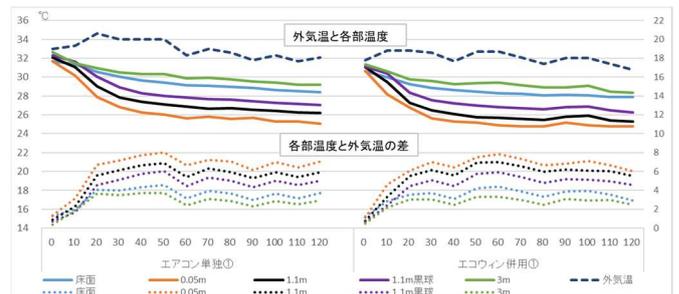


図10 各部温度と外気温差の推移

文献 1) 森他：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、建築学会大会、2020.9

謝辞：調査にご協力いただいた立川女子高等学校の関係各位に深甚の謝意を表します。

* 環境工学(株)

** 東京都市大学名誉教授 博士 (工学)

* Kankyo-kogaku Co., Ltd.

** Prof. Emeritus, Tokyo City Univ., Dr. Eng.

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 輻射パネル併用空調による体育館の冷房期温熱環境と省エネルギー性に関する分析

正会員 ○森雄一郎* 同 坊垣和明**
同 谷田涼* 同 薄井勇吾

体育館 空調 輻射パネル
熱湿気環境 電力消費量 エアコン

1. はじめに

エアコンと輻射パネルを組み合わせた冷暖房方式を導入した体育館の環境性状と省エネ性を明らかにすることを目的として実施した冷房期測定結果について、その¹⁾に引き続き、熱湿気環境及び電力消費の実態を紹介する。測定は、エアコン単独とエコウィン併用の2つのモード（以下、単独、併用という）で実施し、比較検討した。運転モード名。測定点等は¹⁾を参照されたい。

2. 熱湿気環境調査結果

2.1 温度の水平分布性状

エアコン・パネルに近い窓側（P-1, 3, 5, 7, 8, 10）と中間列（P-2, 4, 6, 9）では熱源からの冷却効果が異なる。図1は、終了前30分平均による床上1.1m気温のモード別、ポイント別分布である。青実線が単独①、赤実線が併用①、その他は単独を●点線、併用を▲破線で示した。

1.1mの気温は、既報¹⁾の通りエアコン単独①の方がエコウィン併用①より0.5~1℃高いが、これは外気温の差（単独の時の方が約0.9℃高い）によると考えられる。

舞台側、中央、デッキ側の3ゾーンのいずれにおいても、中間列（P-9, 2, 6）が高く、窓側が低い傾向にある。これは、エアコンとパネルの冷却効果が窓側で強いことを示している。中央ゾーンで窓と中間の差が小さいのは、P-1, P-3がエアコンとパネルの正面でないためと考えられる。また、北窓側（P-8, 1, 5）より南窓側（P-10, 3, 7）が高温

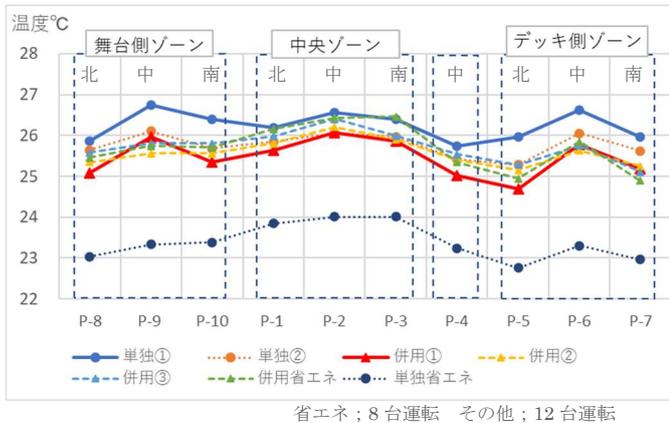


図1 1.1m気温の分布

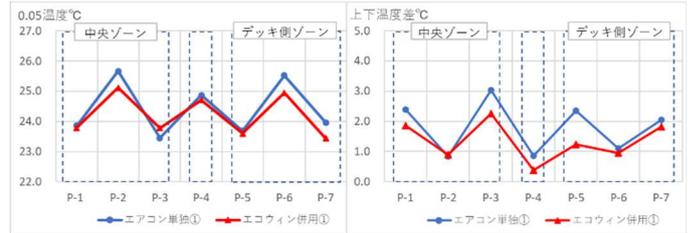


図2 0.05m 気温の分布

図3 上下温度差の分布

であるのは、日射による負荷が生じていた（直射はないがカーテン昇温による放射温上昇）こと、出入口の開閉の影響があったこと、などによると考えられる。

図2, 図3は、単独①と併用①におけるP-1~7（P-8~10は1.1m温湿度のみ）の0.05m気温と上下温度差（1.1mと0.05mの気温差）である。窓側は中央より1℃以上、2℃近く低温になっており、エアコンの下向き気流によって床近傍が冷やされていることがわかる。中間列が高温であるのは冷気流が届かないためであるが、単独は併用よりさらに高温傾向であり、併用の方が温度差が小さい（温度むらが少ない）空間が形成されている。以上のような温度性状を反映し、上下温度差も中間列が1℃程度までであるのに対し、窓側は3℃前後に達している。加えて、全点で併用の方が上下温度差が小さく、快適性面における優位性を示すものとなっている。

2.2 湿気環境と除湿量

(1) 湿度分布

図4に、測定開始から終了までの絶対湿度の変化を示した。単独、併用共に60分程度で概ね平衡に達している。平衡時の内外絶対湿度差は10~12g/m³である。

終了前30分平均による絶対湿度のモード別、ポイント別の状況を図5に示した。水分量にはモードによるばらつきがあるが、いずれのモード

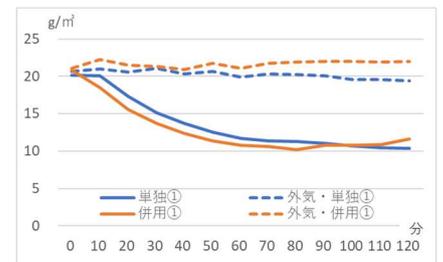


図4 絶対湿度の推移

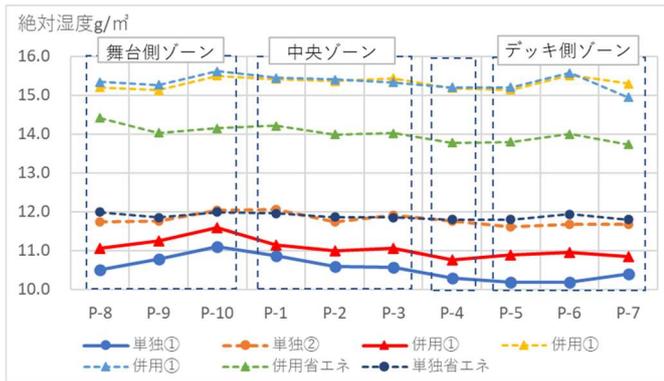


図5 絶対湿度の分布

においても概ね均一な湿度分布となっている。人の出入りの影響で P-10 でやや多めである。単独①と共用①の相対湿度は 42~45% であり、P-10 は他点より 2~3% 高い。

(2) 除湿量

北側の 6 台の室内機とパネルの除湿量を測定した。室内機は 1 台ずつ、パネルは 2 枚分まとめて結露水を貯留し、各モードの終了後に計量した。単独①と共用①の機器別除湿量を図 6 に示す。室内機は、機器によるばらつきはあるが 3~6l の除湿量であった。パネルの除湿量は 6 枚合計 280 ml でわずかである。

合計の除湿量は、単独① 27.2l、共用① 28.3l である。この除湿量を 2 倍して実測の全体除湿量とし、内外湿度差から計算した除湿量(容積 6600 m³、換気回数 0.5 回として算出)を比較して、図 7 に示す。実測値と計算値はおおむね一致している。

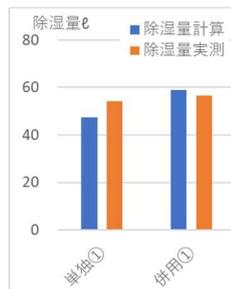


図7 除湿量比較

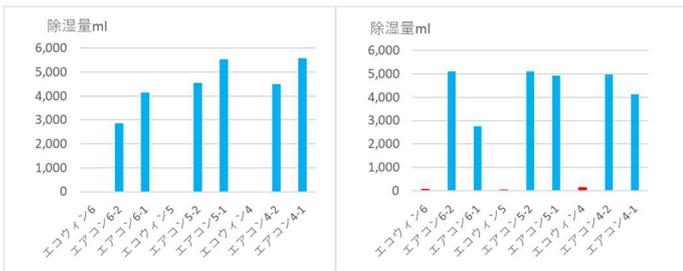


図6 実測による機器別除湿量

図 6 でもわかる通り、パネルの除湿量はごくわずかであり、全体の 1% に過ぎない。結露はするものの、自然対流下でのパネル除湿量は限定的であることがわかる。

2. 3 電力消費量

5 分ごとの電力消費 (Wh 換算) を図 8 に、積算電力量 (Wh) の推移を図 9 に示した。



図8 電力消費の推移

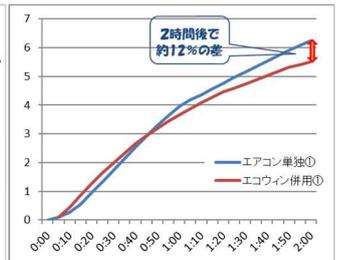


図9 積算電力量の推移

エコウィン併用の場合には、15 分程度でピークに達した後、速やかに減少に転じているが、エアコン単独ではピークに近い負荷が 30 分以上継続している。80 分程度経過以降のおおむね安定状態(図 8 枠内)における電力量は併用の方が 25% 程度少ない。このような差異を反映し、2 時間後の積算電力量も併用が約 12% 少なくなっている。

図 8 のオレンジ

枠内の差異が継続したとして、10 時間後までの積算電力量を推計して図 10 に示す。10 時間後の差異は約 25% となることから、エコウィンを併用することによって、エアコン単独より 20% 余りの省エネ(電力量削減)になることが期待できる。

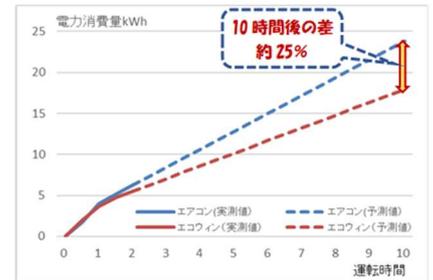


図10 積算電力量の予測

当体育館では、通常的设计負荷(冷房時 200W/m²、120kW)に対して約 3 割減の機器容量(14×6=84kW)で設計・施工されており、機器数削減による省エネ効果を加味すると、さらに大きな電力量削減になっていると考えられる。

3. おわりに

体育館に導入された直膨式輻射パネルエコウィンの環境性状と省エネ効果をエアコン単独運転との対比で検討した。その結果、エコウィン併用によって温度むらがなく快適性が高い環境が形成され、電力消費量についても 20% ないしはそれ以上の電力削減が期待できることを明らかにした。引き続き、機器設計容量削減効果等を含む効果検証を続けたい。

謝辞：調査にご協力いただいた立川女子高等学校の関係各位に深甚の謝意を表します。

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、建築学会大会梗概集、2020.9

* 環境工学(株)

** 東京都大学名誉教授 博士(工学)

* Kankyo-kogaku Co., Ltd.

** Prof. Emeritus, Tokyo City Univ., Dr. Eng.