

体育館向け空調システムの開発と実証

小山 尚人・木村 健太郎・平原 美博^{*1}

Development and demonstration of air conditioning system for gymnasiums

Koyama Naoto・Kentaro Kimura・Yoshihiro Hirahara

近年の地球温暖化による熱中症対策や、災害避難所利用時の感染対策をカバーした体育館向け空調換気システムが重要になっている。そこで今回、冷暖房を備えた空調換気システムをつくばみらい市富士見ヶ丘小学校体育館に導入し実証試験を実施した。全外気運転方式の室外機一体型空冷ヒートポンプ外調機とビニール風船型吹出し口とで構成された本システムによって、競技への影響を及ぼさずに効率よく冷暖房と除湿・換気を行うことができたので報告する。

1. はじめに

体育館の使用用途は、授業や季節イベント、地域住民のスポーツ練習場所、そして災害時の避難所などが挙げられる。近年、地球温暖化により夏の暑さや冬の寒さは年々厳しさを増しており、特に夏の猛暑での体育館内の環境は、競技やイベントを行っている競技者はもとより見学者においても熱中症のリスクを伴う。また、体育館を避難所として利用する際は、暑さ寒さに加え、換気やプライバシー確保等の課題がある。避難する年齢層は乳幼児から高齢層まで幅広いことから、新型コロナウイルスへの感染対策として体育館全体をカバーする換気システムが非常に重要であり、密集した空間でも安全に過ごせる仕組み作りが求められている。

一方で、全国約3万校の公立小中学校のうち、体育館には15%程度（2022年9月現在）しか空調導入が進んでいないこともあり、学校運営だけでなく災害避難所の両面で安全快適に過ごせる環境が求められている。

当社と茨城県つくばみらい市は、2020年に締結した包括連携協定における防災分野での協力を元に、体育館向け空調換気システムの開発を進め、2022年8月に富士見ヶ丘小学校への工事が完了し、実証試験を開始した。

本報では、体育館施設における課題改善を図るためにゼロベースから開発した本システムの概要、ならびに夏期と冬期の実証結果を紹介する。

2. 体育館施設における課題

体育館施設における課題は多岐にわたる。表 1 に体育館施設における課題を体育館使用時と避難所利用時に分けて示す。体育館利用時は、夏の熱中症対策や冬の底冷え対策に加え、競技に影響を及ぼさない気流などが望まれる。また、災害時に避難所として利用される体育館では、大人数が一時的に閉鎖空間で収容されることになり、換気は重要課題となっている。また、パーティションやテントなどでプライバシー確保を行う行政は増えているものの、部屋の隅々まで冷気が行き届かないことが課題となっている。

表 1 体育館施設における課題

体育館としての課題	災害時避難所としての課題
夏の熱中症、冬の底冷え対策	避難所としての感染、換気対策
冷暖房効率の改善	テント敷設時の冷暖房
競技に影響を及ぼさない気流	高温多湿の熱中症対策
衝突安全対策	プライバシーの確保

3. システム概要

3.1 高効率な冷暖房方式

体育館施設の課題を一つずつ解決するため、熱中症対策には除湿した冷却空気を供給し、寒さ対策には床面への暖気供給、供給空気は全て新鮮外気により行い同量を排気し熱回収することにより、通常時だけでなく避難所利用時にも対応できる熱中症・防寒・感染対策を兼ね備えた空調システムの開発を目指した。

図 1 に本システムの冷房時と暖房時の温度イメージを示す。本システムは、主にビニール風船型吹出し口と室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機で構成され、夏期は室下部から低速給気し室上部から排気することで置換空調を構築し、熱や汚れた空気を室上部へ搬送し居住域だけを効率よく冷却除湿する。冬期は、床面に沿って水平に高速給気し床面のコアングダ効果により中心部まで暖気を到達させることで室下部にたまりやすい冷気を除去した暖房を行う。

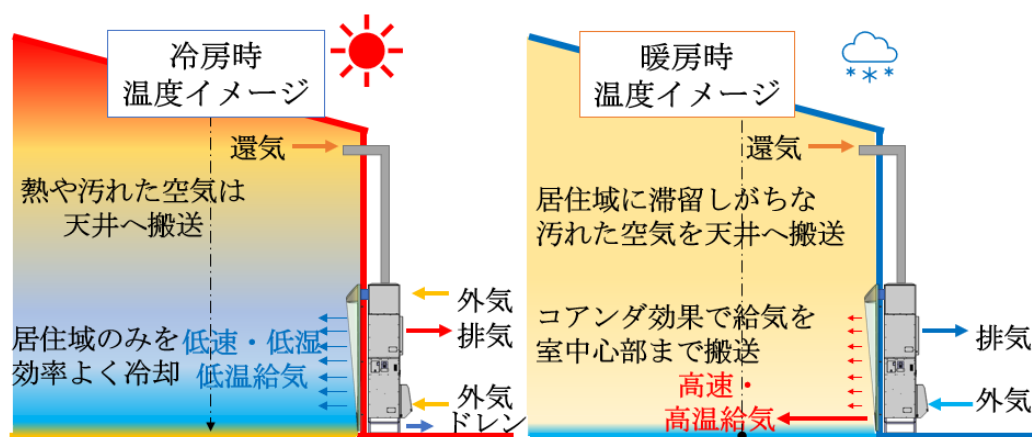


図 1 冷房時と暖房時の温度イメージ

3.2 ビニール風船型吹出し口

アリーナに設置する吹出し口は、安全性に配慮した形状と衝撃吸収構造とし、競技時の安全を確保した。図2にビニール風船型吹出し口の設置状況を示す。ビニールへ給気して膨らませることで、無数のパンチング開口(細孔3 mm φ、開口約5%)から低速で吹出す。奥行きは給気チャンバの上部200 mmから吹出し底部50 mmにかけて断面積を減少させることで均一な吹出しを実現した。冷房と暖房の切り替えは、スイッチ操作に加え、吹出し口下部のファスナー開閉とした。冷房時はファスナーを閉鎖することで低速給気となり、暖房時はファスナーを開放することで高速給気を実現する。ビニールはJIS A6519(体育館用剛製床下地構成材)の繰り返し衝撃試験を行って耐久性を確認し、破損した場合は取り換えが容易な仕様となっている。

3.3 室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機

表2、及び図3に室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機の仕様と内部構造を示す。〔注1〕外調機は、常に新鮮な外気を直接冷却・加熱し給気する機構となっており、窓開け換気を行いながら冷暖房を行う方式とは異なり、冷暖房した空気を室外へ漏気せずに空調できる。また、還気は熱回収してから排気するため、エネルギーの無駄を低減できる。また、機器設置後に吹出し口と換気ダクトを接続し、電源を投入するのみでシステムを完成させることができるため、室外機設置や冷媒工事が不要なことから導入コストを低く抑え、設置工事期間を短縮できる。

表2 室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機の仕様

冷房能力/暖房能力	14.3kW/15.0kW
消費電力	冷房時 5.2kW COP2.75
	暖房時 4.9kW COP3.06
電源	3相 200V
送風量	冷房時 1,000m ³ /h
	暖房時 1,500m ³ /h
機外静圧	50Pa



図2 ビニール風船型吹出し口の設置状況

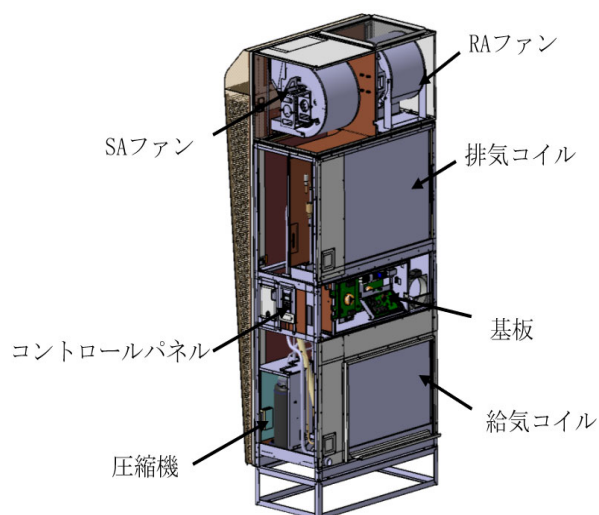


図3 室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機の内部構造

4. フィールド検証・建物概要

4.1 建物概要

表 3 につくばみらい市立富士見ヶ丘小学校体育館の建物概要を示す。建物はアリーナと地域交流室で構成される複合型施設となっており、アトリウム長手方向の外壁はガラス窓とそれを保護する格子窓のダブルスキン構造となっている。

4.2 設備概要

表 4 に本システムの設備概要を示す。給気が効率よくアリーナ全域へ行き渡るように、空調機は両側の壁にそれぞれ 4 台ずつ設置した。また、置換空調では空調機毎で個別制御した場合に発生しやすい混合損失を防止するため、8 台の全空調機は同じ給気温度で制御する運用とした。

表 3 建物概要(空調設置前)

所在地	茨城県つくばみらい市
延床面積	792m ² (33m×24m)
天井高さ	11～13m(片流れ屋根)
換気方式	有圧換気扇 12,000m ³ /h
壁	ダブルスキン
構造	S 造鉄骨ブレース構造

表 4 設備概要

外調機	8 台
給気風量	冷房時 8,000m ³ /h
	暖房時 12,000m ³ /h
吸込み高さ	5.0m
制御	給気温度制御

4.3 測定概要

図 4 に体育館内測定点を示す。2 人用の避難所テント (2 m×2 m) は、実際の避難所利用時を想定した 49 張を 1 m 間隔で敷設した。平面測定には、アリーナの隅々まで空調されていることを確認するため、高さ 1m の自立センサを 12 か所設置した。垂直温度及び垂直湿度測定では、5m 高さを 1m ピッチで 2 か所設置し、5 分間隔の瞬時値を記録した。また、微風速計 (TESTO 製、熱式プローブ) を用いて、測定点 (床上 0.1m・0.6m・1.1m) の移動測定 (10 秒平均値) を行なった。

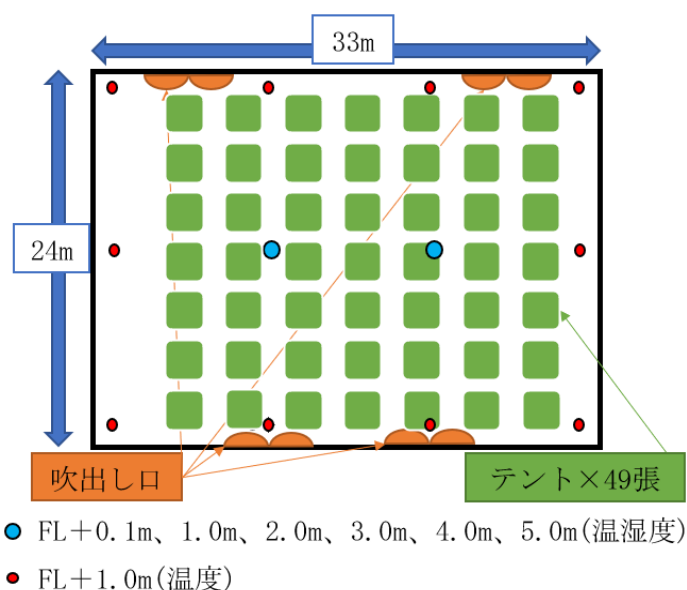


図 4 体育館内測定点

5. 夏期検証結果

5.1 温度及び湿度分布

実測は、2022年8月25、26日に行った。図5に冷房時のテント設置状況と熱画像を示す。混合空調では気流障害となるテントが密に配置されているにもかかわらず、テント間に離隔があれば冷気は密度差によって隔々まで行き渡り、アリーナ中央付近まで冷却できている。

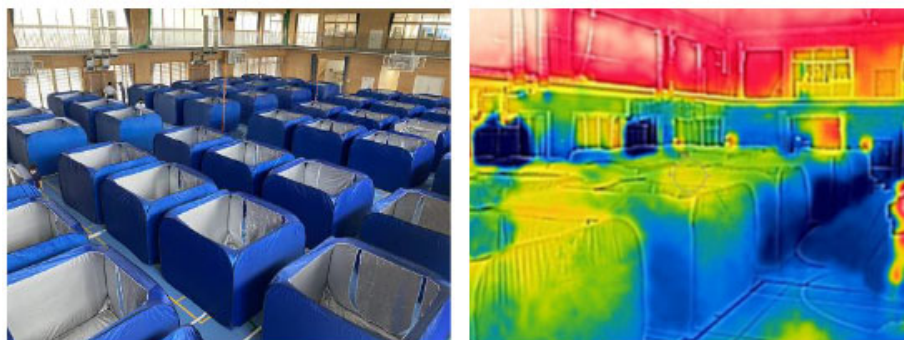


図5 冷房時のテント設置状況と熱画像

図6に冷房時の床上1.0mの平面温度分布を示す。外気が30.2℃において、室内平均温度は24.8℃となった。室中央2か所の平均値となる相対湿度では、外気の69%と比較し49%まで低下した。本システムでは、冷却だけでなく除湿による効果もあり不快指数が大幅に低下し、より快適な環境を作り出すことができる。

図7に冷房時の温度及び湿度経時変化を高さ別に示す。室下部ほど低温低湿な環境となり、空調起動から約30分で安定し空調の立ち上がり時間が早いことを確認した。

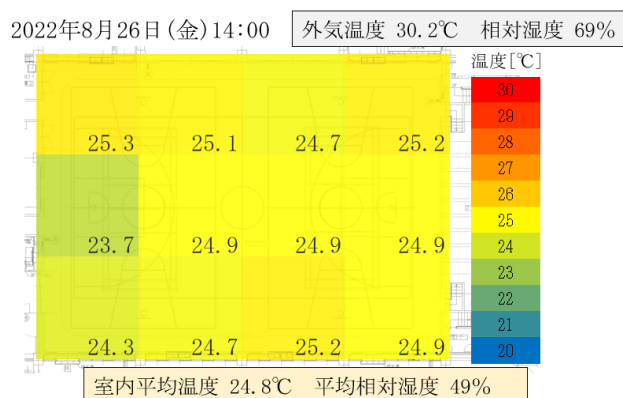


図6 冷房時の平面温度分布

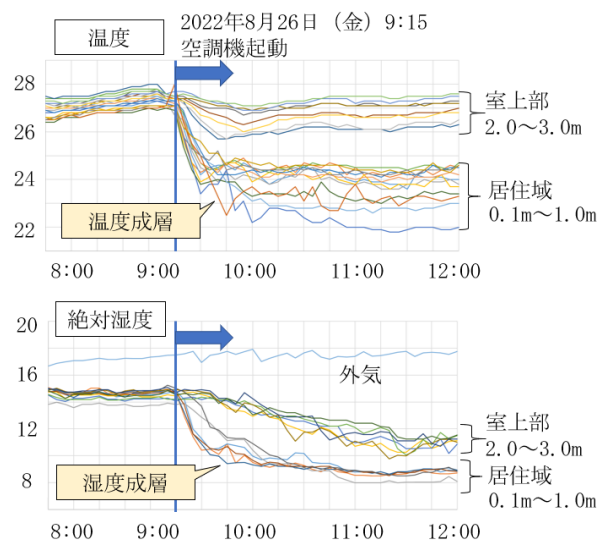


図7 冷房時の温度及び湿度経時変化

図 8 に室中央部の垂直温度及び垂直湿度分布を示す。絶対湿度分布では、床に近い居住域ほど低湿度となった。温度分布では室上部の 28℃に対し居住域温度は 25℃と 3℃程度低い値となり、居住域を効率よく冷却できている。置換空調では、吸込み高さ温度が混合空調時の室内温度と近くなることから、28℃の冷房能力で 25℃の居住域環境を構築していることになり、混合空調と比較し 2 割ほどの省エネ効果があることを示唆できた。

5.2 風速分布

図 9 に冷房時の平面風速分布を示す。室内の平均風速は 0.14 m/s となった。室内競技は風速の上限値を求められていることが多く、競技に影響を及ぼさない室内気流（冷房時の室内平均風速 0.15 m/s 以下）を実現した。

5.3 利用者アンケート

本体育館は、平日は 17～21 時、休日は終日市民開放されており、本システムの冷房効果についてアンケート調査を実施した。2022 年 9 月 9～14 日の 5 日間、各クラブのコーチや保護者を対象にアンケートを実施した結果、「熱中症の危険が下がり、保護者として安心できた」「発汗が抑えられ運動に集中できた」と好評な結果が得られた。また、「窓開けが不要なため、虫が入ってこなくなった」、「汗の落滴がなくなり、スリップによる怪我のリスクが減った」等、開発時には想定していなかった知見も得られた。

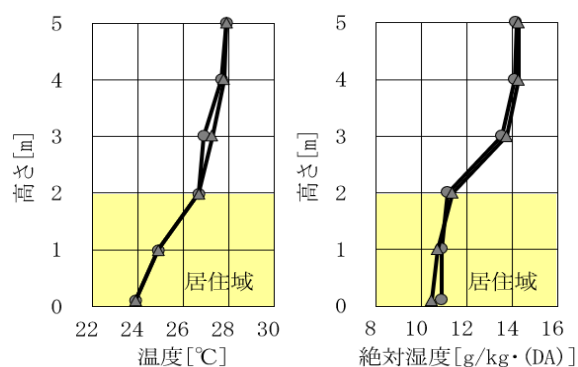


図 8 冷房時の垂直温湿度分布

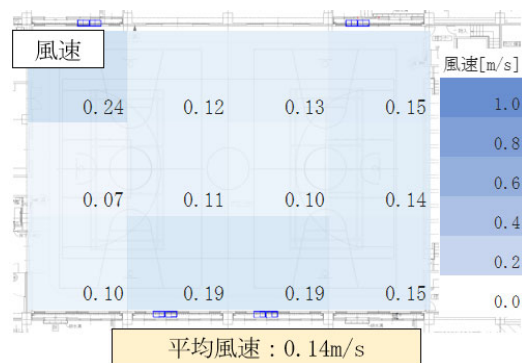


図 9 冷房時の平面風速分布

6. 冬期検証結果

6.1 温度及び湿度分布

実測は、2022年12月26、27日に行った。図10に暖房時の平面温度分布を示す。外気が6.9℃において、室内平均温度が13.5℃となった吹出し前方に隙間なくテントを設置したケースにおいて気流障害となり室中央付近が低温となったが、離隔距離が1mほどとれていれば、暖気が室中央部まで到達することを確認した。

図11に暖房時の温度及び湿度経時変化を示す。空調起動から徐々に昇温し、60分ほどで室全体の温度が安定する結果となった。

6.2 風速分布

図12に暖房時の平面風速分布を示す。暖房時は床面を高速給気する方式ながら、床上1.0mの平均風速は0.20 m/sとなり、競技への影響は低いことが確認できた。

6.3 利用者アンケート

2022年2月13～17日の5日間、利用者アンケートを実施した。夏期と同様に、「高速給気でも新体操のリボンには影響しなかった」「選手が動きやすい環境になった」と好評な結果が得られた。

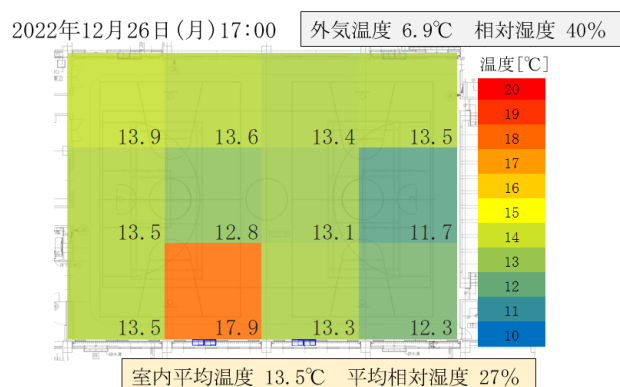


図10 暖房時の平面温度分布

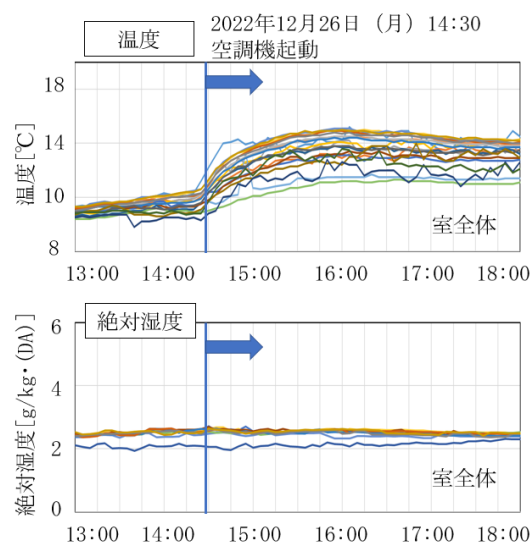


図11 暖房時の温度及び湿度経時変化

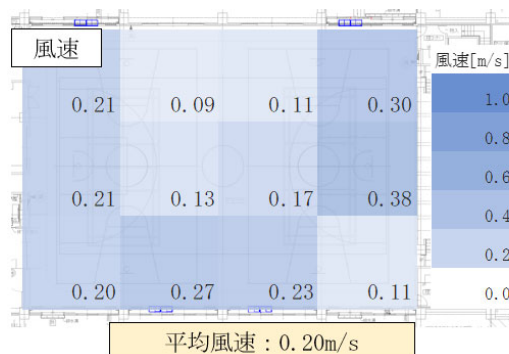


図12 暖房時の平面風速分布

7. まとめ

体育館環境に合わせて作り上げた空調システムの実フィールド結果では、体育館施設における課題解決に大きく貢献できることを示した。置換空調は、外気冷房期間も長くなるため、混合空調と比較して年間のエネルギーの大幅な削減が可能であると考えられ、今後も運用面も含めて検証を継続する予定である。通常利用時と避難所利用時と両方の利用者にとって安全快適な室内環境を作り、今後も社会に貢献していきたい。

[注1] 室外機一体型空気熱源ヒートポンプ外調機の仕様と内部構造について

本報の実証を行った時点での試験機の仕様と内部構造であり、製品版と異なる部分がある。

ABSTRACT

In recent years, an air conditioning and ventilation system for gymnasiums that covers heat stroke prevention due to global warming and infection prevention when used as a disaster shelter has become important. Therefore, in this study, a heating and cooling air conditioning and ventilation system has developed and demonstrated at the Fujimigaoka Elementary School gymnasium in Tsukubamirai City. The system consists of an all-outdoor air operation type air-cooled heat pump outdoor unit and a vinyl balloon-type diffuser, which efficiently provides heating, cooling, dehumidification, and ventilation without affecting athletic performance. This report describes the results of the demonstration in FY2022.