

# 大空間における部分空調システムに関する研究 —床置き型エアカーテンによる空調ゾーン形成の有効性に関する検証—

中川 暁登 二岡 佳子  
滝澤 勇輝

## 概 要

大空間において、空調の導入費とエネルギー消費量を削減するためには、作業者のエリアに合わせた空調システムの設計が有効である。ゾーン空調は作業空間のみを部分的に空調することで、作業場所が事前に想定できる場合に省エネルギーと熱的快適性を両立できる。従来のゾーン空調手法は、作業ゾーン外への気流によって意図しないエリアを冷却してしまうという課題があった。本研究では、物理的な障壁を用いずに空調空気の流出を最小限に抑制できるゾーン空調システムを開発した。本報では、夏季における冷房性能を測定し、ゾーン空調システムの温熱環境の改善効果を確認した。

## Study on Partial Air Conditioning Systems in Large Spaces - Effectiveness of Floor-Standing Air Curtains in Creating Conditioned Zones -

### Abstract

In large spaces, reducing air conditioning installation costs and energy consumption requires designing systems specifically for workers' areas. Zone air conditioning, which cools only the occupied sections, achieves both energy savings and thermal comfort when work locations are predetermined. However, due to uncontrolled airflow, conventional zone air conditioning methods have struggled with unintentionally cooling areas outside the designated work zones. This study developed a zone air conditioning system capable of minimizing conditioned air outflow without relying on physical barriers. This report evaluates the cooling performance during summer and confirms the system's effectiveness in enhancing the thermal environment within the intended zones.

キーワード：ゾーン空調、大空間空調システム、熱的快適性、エアカーテン、実大規模実験

## §1. はじめに

大空間において、人に対して空調を行う場合は、人の作業エリアに合わせた空調設計を行うことで、空調コスト及び消費エネルギー量を削減することができる。

ゾーン空調方式は、大空間で作業員のいる一部の空間のみを空調する手法である。類似の空調方式として、スポット空調方式がある。スポット空調方式は、作業中に移動がほぼ生じない環境であれば、作業員の快適性と省エネルギー面から有効な空調方式である。ただし、作業員が移動する環境では、空調空気が、作業員に行き届かないため、作業員の熱的快適性が低下する課題がある。一方で、ゾーン空調方式は、空間の一部を空調するため、事前に作業エリアが想定できる場合に、少ない消費エネルギー量で作業員の快適性を高めることができる。

従来のゾーン空調方式は、作業エリアに大風量の空調空気を吹き付けることにより空調ゾーンを構築していた<sup>1)</sup>。しかし、従来手法では、作業エリア外に空調空気が流出するため、本来空調が不要なエリアまで空調する課題があった。この課題を解決するために、既往研究ではエアカーテンを用いて空調ゾーンを構築する手法が示されている<sup>2)</sup>。既往研究の手法は、空調ゾーンの上部にエアカーテンを設置していた。しかし、この手法では、空調ゾーンの上部が占有されるため、高さのある荷物やクレーンの移動時などに障害となる課題があった。

本研究では、床置き型のエアカーテン生成装置を用いることで、空調ゾーンを形成するゾーン空調システムを開発した。本報では、夏季における本システムの冷房性能の実測結果を報告する。

## §2. ゾーン空調システム概要

本研究で開発したゾーン空調システム（以降、本システム）の概念図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 は、10m × 10m のゾーンを空調する際の構成である。

本システムの特徴を以下に示す。

- ・ 2ユニットで1対となる縦型空調機と床置き型のエアカーテン生成装置を同数配置することにより構成される空調システムである。
- ・ 空調機が吹き出した空調空気をゾーン内で循環させることによって、ゾーン内を低温に保つ。
- ・ 空調機から吹き出した空調空気は、エアカーテン生成装置で回収された後に空調機の吸込口に輸送される。

る。この空調空気の循環により中低温の空調空気は空調機で処理され、吹出空気が初期に稼働した状態より低温になる。

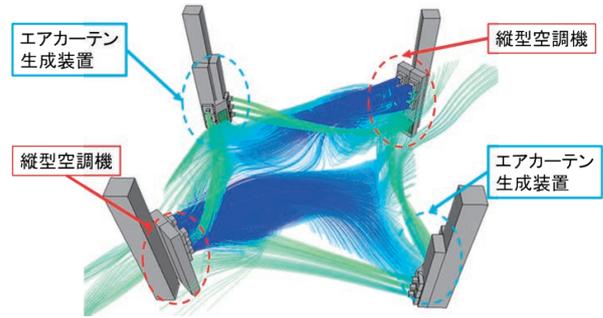


Fig.1 ゾーン空調システム概念図

## §3. 実験概要

本研究では、本システムの冷房性能を検証するためにゾーン空調システムのモックアップを用いて温熱環境測定を実施した。

### 3.1 実測時期

本実測は、2023年9月17日に神奈川県厚木市に位置する弊社の実験施設内に所在するヤード（約3,500 m<sup>2</sup>、高さ約12m）内及びヤード近傍の屋外で温熱環境測定を実施した。実測日の屋外空気温度及び屋外相対湿度を Fig. 2 に示す。

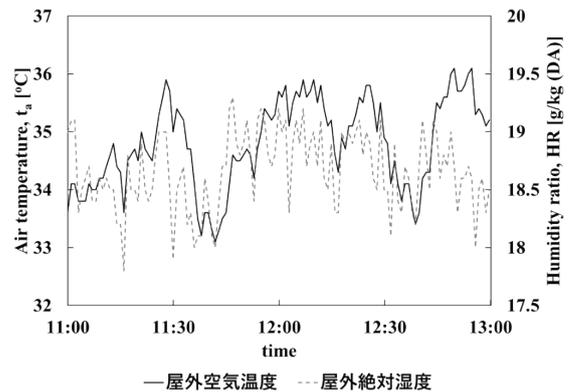


Fig. 2 実測時外気データ

### 3.2 実測場所

実測地点の写真を Fig. 3 に示す。実測地点の平面図及び温熱環境測定位置を Fig. 4 に示し、空調機及びエアカーテン生成装置の配置を Fig. 5 に示す。Fig. 4 に示すハッチング部が本システムを導入したエリアである。本システムを導入したエリアは、10m × 10m の範囲である。なお、本実験では、Fig. 4 のゾーン境界部

とゾーン作業部の測定点計 9 点をゾーン内とし、ゾーン近傍とゾーン外代表の測定点計 6 点をゾーン外と定義する。



Fig. 3 実測写真

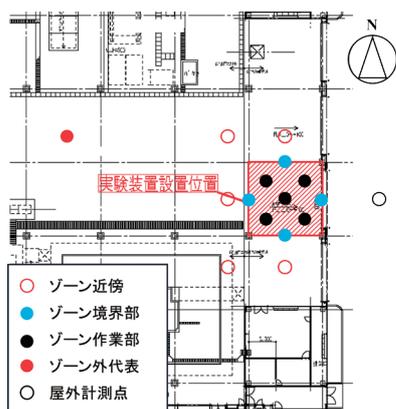


Fig. 4 ゾーン内平面図及び計測位置

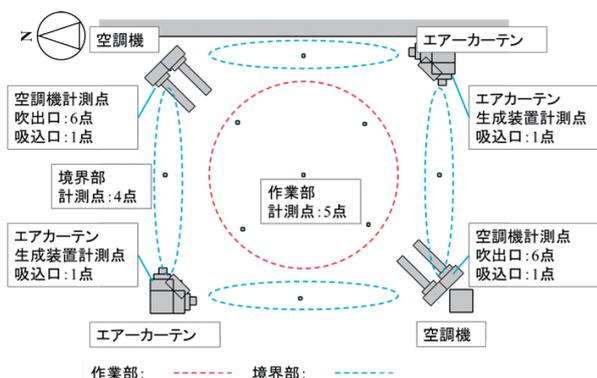


Fig. 5 空調機及びエアカーテンの配置

### 3.3 実測方法

温熱環境測定の測定項目及び測定機器を Table 1 に示す。屋内では、空気温度、相対湿度、そして気流速度を測定し、屋外では、空気温度と相対湿度を測定し

た。また、空調機は、吸込口と吹出口で、空気温度及び相対湿度を測定した。本実験の計測時間は、12:00 から13:00の 1 時間に設定した。実測開始から30分は、ゾーン空調の立上げ時間に用い、十分に定常に達した後に計測時間の終わりの10分間のデータを本計測結果とした。測定器の記録間隔は 1 分間で設定した。気流速度は、本計測終了後に各測定点で 1 分間の移動計測を行った。

また、エアカーテンの効果を確認するために、実験日の翌日の2023年 9 月 18日にエアカーテン生成装置を停止した条件で実験を実施した。測定方法及び測定項目は、前日の実験と同様である。

Table 1 計測機器及び計測項目

Measurement item	Unit	Manufacturer	Machine	Range	Accuracy
Air temperature	℃	T & D corporation	RTR500BW	-25~70	± 0.3
Relative humidity	%			0~99	± 2.5
Air velocirt	m/s	KANOMAX	6006-D0	0.01~20.0	5% or 0.02

### 3.4 空調システム仕様

本システムで使用した空調機及びエアカーテン生成装置の仕様を Table 2 に示す。空調機には、ダクトを接続し、計測位置の中央に吹き出すように調整を行った。設定風量は、強+ (766 m<sup>3</sup>/h) とした。空調の制御点は、空調機側面に設置したリモコンに設定し、制御温度は18℃とした。

Table 2 空調機及びエアカーテン生成装置仕様

	Number of instruments [-]	Air conditioner cooling capacity [kW]	Airflow rate [m <sup>3</sup> /h]
Indoor unit	12	2.5	766
Outdoor unit	6	28.0	-
Air Curtains fan	6	-	900

## §4. 結果・考察

本章では、実測から得られた温熱環境測定結果を示す。本章における平均値は、本計測時間内の終わりの10分間の平均値を示す。

### 4.1 空気温度

実測時における屋外空気温度、ゾーン内空気温度、そしてゾーン外空気温度の時系列計測結果を Fig. 6 に示す。本計測時間内の空気温度の分布を Fig. 7 に示す。

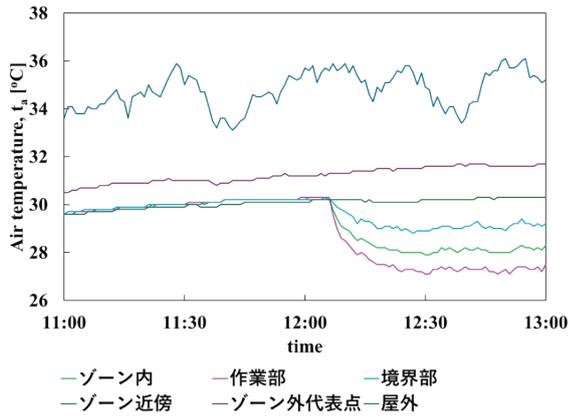


Fig. 6 空気温度時系列変化

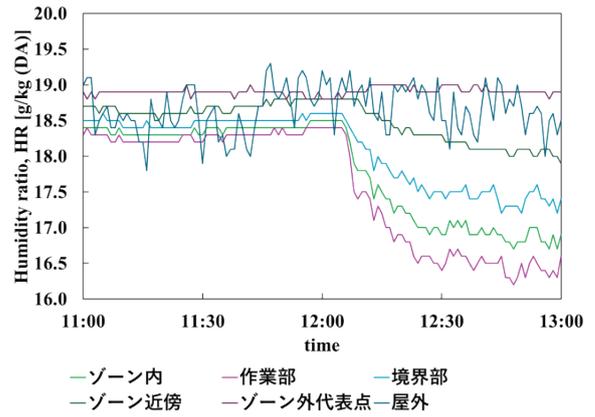


Fig. 8 絶対湿度時系列変化

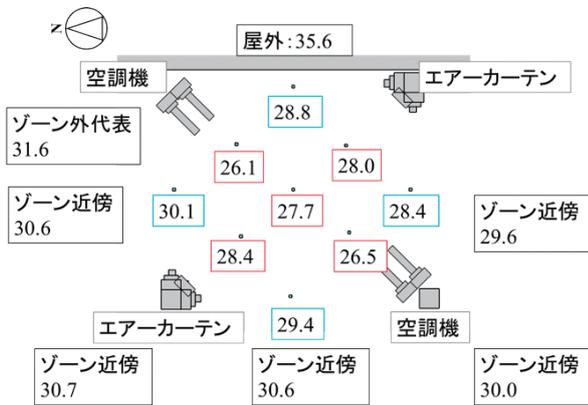


Fig. 7 平均空気温度 [°C] 分布

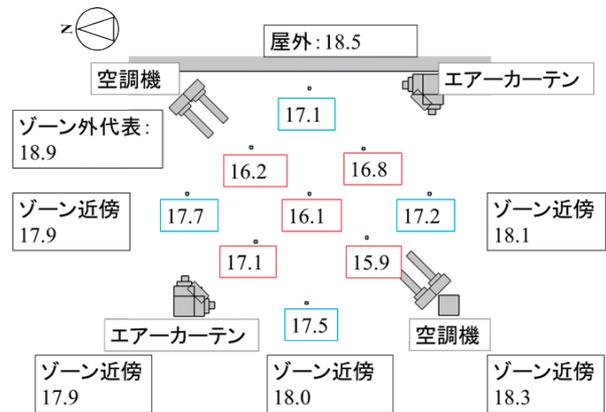


Fig. 9 平均絶対湿度 [g/kg (DA)] 分布

本計測時間内の平均外気温度は35.6°Cであった。本計測時間内のゾーン内平均温度は28.2°Cであり、ゾーン外代表平均温度は31.6°Cであった。また、作業部平均温度は27.3°Cであり、境界部平均温度は29.2°Cであった。

Fig. 6の結果から、本システムは、起動時から30分後程度に、温度環境が安定したと考えられる。Fig. 7の結果から、ゾーン内温度は、ゾーン外代表温度と比較して3.4°C低いため、ゾーン内外で温度環境が分かれていたと考えられる。境界部平均温度は、作業部平均温度とゾーン近傍平均温度の中間程度であった。このため、境界部ではゾーン内外の空気が混合し、ゾーン空調の効果が低下していたと考えられる。従って、ゾーン空調による低温環境は、エアカーテン生成装置の設置位置よりも狭い範囲内で構築されていたとわかる。

#### 4.2 絶対湿度

実測時の屋外絶対湿度、ゾーン内絶対湿度、そしてゾーン外絶対湿度の時系列計測結果をFig. 8に示す。

本計測時間内の絶対湿度の分布をFig. 9に示す。本計測時の屋外平均絶対湿度は18.5 g/kg (DA)であった。本計測時間内のゾーン内平均絶対湿度は、16.9 g/kg (DA)であり、ゾーン外代表の平均絶対湿度は18.9 g/kg (DA)であった。また、作業部平均絶対湿度は16.4 g/kg (DA)であり、境界部平均絶対湿度は17.4 g/kg (DA)であった。

Fig. 9の結果から、ゾーン内はゾーン外代表よりも平均絶対湿度が2.0 g/kg (DA)低下していたため、ゾーン内外で湿度環境が分かれていたと考えられる。

#### 4.3 気流分布

実測時におけるゾーン内とゾーン外の気流分布をFig.10に示す。ゾーン内平均気流速度は、0.50 m/sであり、ゾーン外平均気流速度は、0.06 m/sであった。また、作業部平均気流速度は0.55 m/sであり、境界部平均気流速度は0.43 m/sであった。

Fig.10の結果より、ゾーン内の気流速度は、ゾーン外と比較して0.44 m/s大きかった。このため、ゾーン

内はゾーン外と比較して、体感温度が低くなっていたと考えられる。

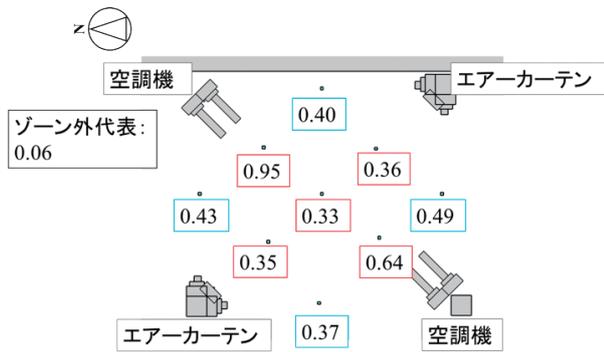


Fig. 10 平均気流速度分布

#### 4.4 エアカーテン稼働時と非稼働時の比較

エアカーテン稼働時と非稼働時の比較結果を Table 3 に示す。

Table 3 のゾーン内外の空気温度比較結果から、エアカーテン生成装置稼働時のゾーン内外温度差は、3.4℃であり、エアカーテン生成装置非稼働時のゾーン内外温度差は、0.8℃であった。この結果から、エアカーテンは、ゾーン内空調空気の流出を抑制し、ゾーン内を低温に保つ作用があったと考えられる。

Table 3 のゾーン内外の絶対湿度比較結果から、エアカーテン生成装置稼働時のゾーン内外絶対湿度差は、2.0 g/kg (DA) であり、エアカーテン生成装置非稼働時の作業部と境界部の絶対湿度差はなかった。このことから、エアカーテン生成装置は、ゾーン内に低湿空気を留める役割を果たしていたと考えられる。

Table 3 エアカーテン稼働時及び非稼働時比較

Air Curtains	SI	On	Off
Outdoor air temperature	[℃]	35.6	31.2
Inside zone temperature	[℃]	28.2	31.0
Outside zone air temperature	[℃]	31.6	31.7
Supply air temperature of AC	[℃]	21.2	20.9
Return air temperature of AC	[℃]	28.6	29.8
Outdoor humidity ratio	[g/kg]	18.5	16.8
Inside zone humidity ratio	[g/kg]	16.9	16.0
Outside zone humidity ratio	[g/kg]	18.9	16.0
Supply air humidity ratio of AC	[g/kg]	14.2	14.0
Return air humidity ratio of AC	[g/kg]	17.2	15.9

## §5. 結論

本報では、空調機とエアカーテン生成装置を組み合わせたゾーン空調システムの夏季における冷房効果の実測を行った。本研究から以下の知見が得られた。今後は、ゾーン空調システムの拡張や性能向上を行う。

- 1) ゾーン空調を行った10m×10m程度の空間は、ゾーン空調を行っていない空間と比較して、平均3.4℃空気温度が低下した。
- 2) ゾーン空調を行った10m×10m程度の空間は、ゾーン空調を行っていない空間と比較して、平均2.0 g/kg (DA) 絶対湿度が低下した。
- 3) ゾーン空調を行った10m×10m程度の空間は、ゾーン空調を行っていない空間と比較して、平均0.44 m/s気流速度が増加した。
- 4) 床置き型のエアカーテン生成装置によって、空調ゾーン内外の温湿度環境に差が生じた。

### 参考文献

- 1) 齊藤一成、大空間向けダクトレスゾーン空調機の特長と実績、日本冷凍空調学会、冷凍第95巻第1114号、2020.9
- 2) 森悠大ら、エアカーテンを用いた工場向けゾーン空調システムの開発その1、令和4年度空気調和・衛生工学会大会（神戸）学術講演論文集、2022.9

### ひとこと

現在、工場や倉庫で消費されるエネルギーは非常に多く、削減の余地が残されています。今後もエネルギー削減のための技術開発に尽力していく所存です。



中川 暁登