

大空間における部分空調システムに関する研究 — 部分空調システム拡張設置時の熱的快適性の検証 —

中川 暁登 二岡 佳子
向井 誠人 滝澤 勇輝

概 要

ゾーン空調方式は作業範囲が想定できる場合に適用可能な空調方式である。作業空間のみを空調することで、少ないエネルギー消費量で作業員の熱的快適性を向上できる。既報では、床置き型エアカーテン生成装置を用いたゾーン空調システムを工場内へ導入し、その有効性を確認した。一方、より広い空間へ適用するためには複数のシステムを隣接させて設置する拡張設置が必要となる。本研究では、ゾーン空調システムの単独設置および拡張設置を比較し、拡張設置時に単位面積当たりの空調負荷を低減しつつ単独設置と同程度の熱的快適性が確保可能かを検証した。その結果、拡張設置においても単独設置と同等のSET*およびWBGTの改善効果が得られ、熱的快適性を維持しながら単位面積当たりの空調負荷を低減できる可能性を確認した。

Study on partial air conditioning systems in large spaces — Verification of Thermal Comfort in Expanded Installation Configurations —

Abstract

The zone air-conditioning method can be applied when the work area is clearly defined. By conditioning only the occupied workspace, it can improve workers' thermal comfort with lower energy consumption. In a previous study, the effectiveness of a zone air-conditioning system using a floor-mounted air curtain generator was demonstrated in a factory environment. To apply the system to larger areas, however, multiple units must be installed adjacent to one another as an expanded configuration. This study compares independent and adjacent installations of the zone air-conditioning system and investigates whether thermal comfort equivalent to that of an independent installation can be maintained while reducing the required cooling capacity in the expanded configuration. The results showed that the adjacent installation achieved improvements in SET* and WBGT comparable to those of the independent installation, indicating the potential to maintain thermal comfort while reducing air-conditioning capacity.

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、実証実験

§1. はじめに

倉庫や工場に代表される大空間では、空調範囲を限定することで空調設備の初期費用および運転費用を低減できる。しかし、空間に仕切りがないような大空間では空調範囲を明確に限定することが困難である。この課題に対し、筆者らは作業員周辺空間を限定的に空調する床置き型エアカーテン生成装置を用いたゾーン空調システム（以下、本システム）を開発してきた¹⁾。ゾーン空調方式^{2)、3)}は大空間において、作業員の作業空間のみを対象に空調を行う方式である。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員の移動頻度が少ない作業場では、作業員の熱的快適性の確保および省エネルギー性の向上の観点から有効な方式である。一方、作業員の移動が生じる作業場では、スポット空調が作業員に追従できない場合、作業員の熱的快適性が低下する可能性がある。これに対し、ゾーン空調方式は作業空間を空調するため、作業範囲が想定できる場合には、少ないエネルギー消費量で作業員の熱的快適性の向上を図ることができる。

既報⁴⁾では、本システムを工場の6.3 [m] × 8.9 [m]の範囲に導入し、温熱環境および消費電力の両面からその有効性を示した。

一方、本システムをより広い範囲へ適用するためには、複数のシステムを隣接させて設置する必要がある（以下、拡張設置）。拡張設置では、ゾーン空調エリアを隣接させずに設置する場合（以下、単独設置）と比較して、面積当たりに必要な空調負荷を低減できる可能性がある。

そこで本研究では、ゾーン空調システムの単独設置および拡張設置を比較し、拡張設置時に空調負荷を低減しつつ単独設置と同程度の熱的快適性が確保可能かを検証した。

§2. ゾーン空調システム拡張手法

Fig.1に、ゾーン空調システムの単独設置および拡張設置の概念図を示す。Fig.1 (a) は、10 [m] × 10 [m]の範囲を空調する場合の構成を示し、Fig.1 (b) は、10 [m] × 30 [m]の範囲を空調する場合の構成を示す。

ゾーン空調システムは、縦型エアカーテンを用いて空調部と非空調部を区画し、必要な領域のみを対象に空調を行う方式である。空調部と非空調部は物理的に隔壁で仕切られていないため、両者の境界では空気混合に伴う熱交換が生じる。

ゾーン空調システムを単独で設置する場合、エア

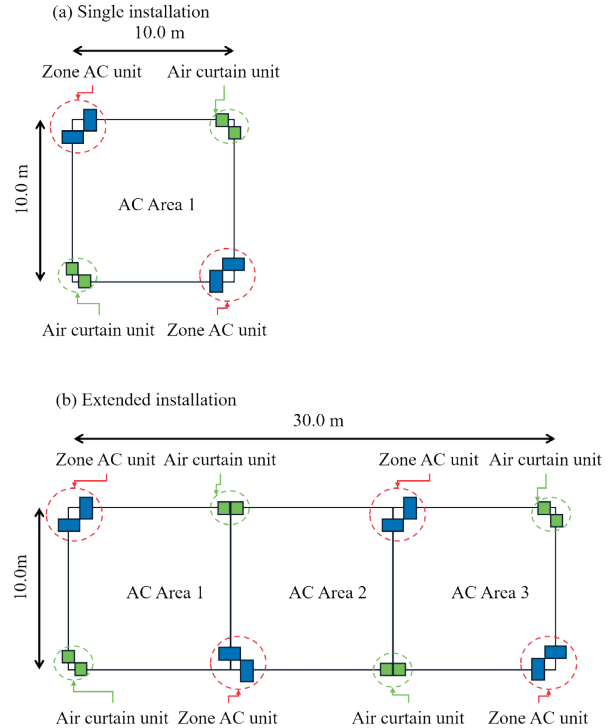


Fig.1 ゾーン空調単独設置時と拡張設置時の配置
(a) 単独設置時、(b) 拡張設置時

カーテンの到達距離の制約により、本システムにより形成可能な空調範囲は最大で10 [m] × 10 [m] 程度となる。このため、より広い範囲を空調する際には、ゾーン空調システムを平面上で隣接させて設置する必要がある。

ゾーン空調システムを拡張して設置する場合、隣接するシステム間では空調エリア同士が接する構成となる。その結果、システム全体として空調エリアと非空調エリアが接する境界面積が減少する。このため、空調エリア内の熱負荷は、単独設置時と比較して低減すると考えられる。

§3. 実験概要

本研究では自動車部品製造工場に本システムを導入し、温熱環境計測および電力計測を実施した。

3.1 実測場所および実測日

本実験は愛知県に位置する某工場（100.8 [m] × 165.7 [m] × 15.0 [m]）（以下、対象工場）内で実施した。本実験では、本システムの冷房性能の検証を実施した。本検証は2025年7月29日および2025年8月1日に実施した。2025年7月29日は単独設置条件の実測を実施し、2025年8月1日には拡張設置条件の実測を実施した。実測日の屋外空気温度および屋外絶対湿度

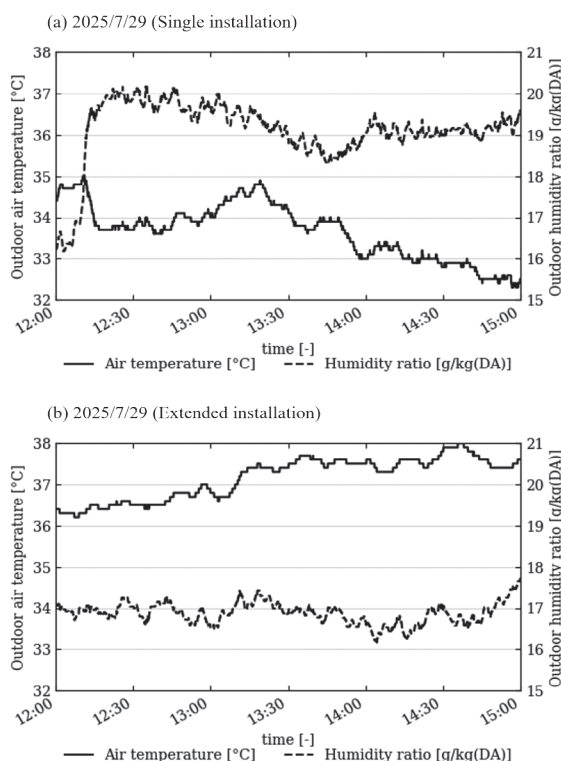


Fig.2 実験時の屋外空気温度および屋外絶対湿度
(a) 単独設置時の屋外温湿度計測値、
(b) 拡張設置時の屋外温湿度計測値

をFig.2に示す。単独設置条件と拡張設置条件は計測日が異なるため、両条件の比較には空調部と非空調部の差分を用いる。

3.2 計測対象エリア

本システムを導入したエリア（以下、ゾーン空調エリア）の外観をFig.3に示す。また、ゾーン空調エリア内における計測位置をFig.4に示す。

温熱環境計測は、ゾーン空調エリア、対象工場内の非空調部、ならびに対象工場敷地内の屋外において実施した。ゾーン空調エリアの範囲は18.9[m] × 8.9[m]であり、主に溶接作業に利用されていた。

本実験では、Fig.4に示すすべての計測点を含む範囲をゾーン内と定義し、そのうち四角で示した範囲を作業員の主な活動範囲として作業部とした。また、ゾーン内のうち作業部に含まれないエリアを境界部と定義した。さらに、対象工場内においてゾーン内に含まれないエリアを非空調部とした。

Fig.4に示すエリア1のみでゾーン空調を稼働させた条件を単独設置条件とした。一方、エリア1、2、3のすべての空調機を稼働させた条件を拡張設置条件とした。



Fig.3 ゾーン空調導入エリア

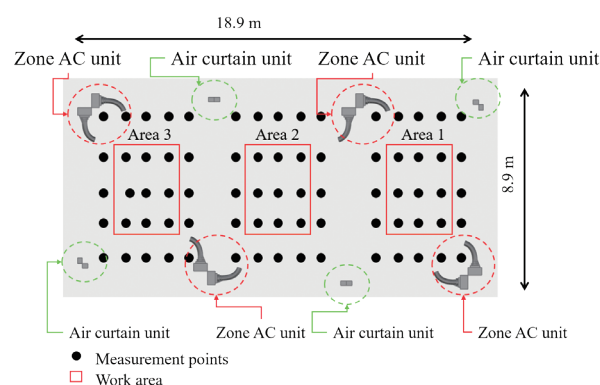


Fig.4 ゾーン空調エリア内の計測位置

対象工場にはダイカスト炉が設置されており、一般的な工場と比較して内部発熱量が大きい環境であった。ダイカスト炉は、ゾーン空調エリアから南東方向に約15mの位置に設置されていた。また、対象工場では通常、建物シャッターを開放して自然通風を行っており、ゾーン空調エリアに最も近いシャッターは北方向に約10mの位置にあった。本実験では、すべてのシャッターを閉じた状態で計測を実施した。

3.3 計測方法

本計測に用いた計測器をTable 1に示す。屋内では、空気温度、相対湿度、グローブ温度および気流速度を測定した。屋外では、空気温度および相対湿度を測定した。各計測は、床上1,500mm (FL+1,500mm) の位

Table 1 計測項目および計測機器一覧

Measurement item	Manufacturer	Machine	Range	Accuracy
Dry-bulb temperature	T & D Corporation	RTR500BW	-25~70	±0.3[K]
Relative humidity			0.0~99.0	±2.5[%]
Dry-bulb temperature		TR75A2	0.0~120.0	±(0.5+0.003×t)[K]
Air velocity	I Denshigiken Corporation	VA-21	0.05~9.99, 10.0~40.0	±3%+0.05[m/s], ±3%+0.1[m/s]

置において実施した。

また、空調機については、吸込口および吹出口において空気温度、相対湿度ならびに風速を測定した。測定した風速は、風量を推定するために用いた。

本実験の計測時間は1.5時間とした。実測開始後30分間をゾーン空調の立上げ時間とし、十分に定常状態に達した後、各計測点に対して移動計測を実施した。測定器の記録間隔は5秒に設定した。なお、本研究では、各測定点における移動計測期間中の平均値を用いて分析を行った。

3.4 温熱環境指標

本研究ではSET*⁵⁾ およびWBGT⁶⁾ を用いて熱的快適性を評価した。SET*およびWBGTの算出に用いる環境側の4要素は、実測により得られたデータを用いた。一方、人体側の2要素は、作業員および関係者への聞き取り調査に基づき推定した。代謝量は1.2 [met] に設定し、着衣量は0.6 [clo] に設定した。

3.5 空調システム仕様

本システムで使用した空調機およびエアカーテンの仕様をTable 2に示す。空調の制御温度は、室内機側面のリモコンで計測を行う設定とした。本実験の空調制御温度は18.0 [°C] とした。空調機の風量は急 (918 [m³/h]) に設定した。各条件で稼働させた空調機の定格冷房能力を、当該条件の空調対象面積で除して算出すると、単独設置時は535 [W/m²] であり、拡張設置時は356 [W/m²] であった。

Table 2 空調機およびエアカーテン仕様

Unit	Number of instruments [-]	Air conditioner cooling Capacity [kW]	Airflow rate [m ³ /h]
Indoor unit	24	2.5	918
Outdoor unit	2	40	-
Air Curtains	8	-	1880

§ 4. 結果・考察

本章では、実測から得られた温熱環境計測結果および電力計測結果を示す。

4.1 SET*計測結果

本節ではSET*計測結果を示す。Fig.5 (a) に単独設置時のSET*分布を示し、Fig.5 (b) に拡張設置時のSET*分布を示す。

単独設置時のゾーン内の平均SET*は32.8 [°C]、非空調部の平均SET*は36.2 [°C] であった。また、作業部の平均SET*は32.6 [°C] であった。拡張設置時

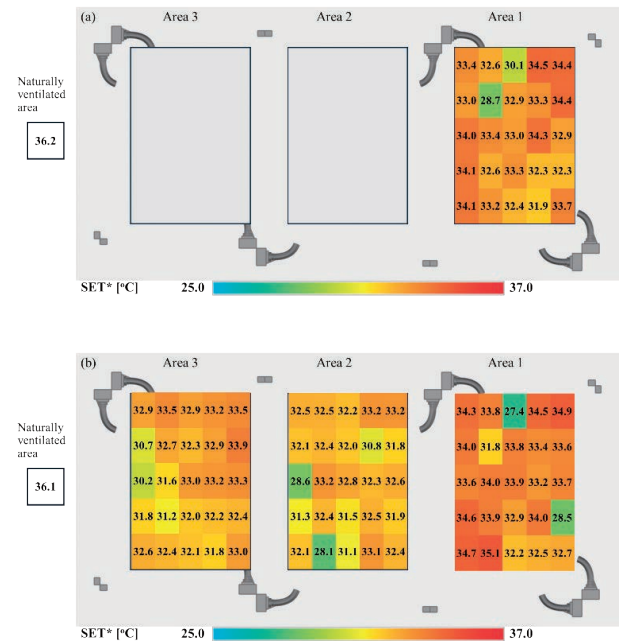


Fig.5 SET*分布 (a) 単独設置時、(b) 拡張設置時

のゾーン内の平均SET*は32.2 [°C]、非空調部の平均SET*は36.1 [°C] であった。また、作業部の平均SET*は32.3 [°C] であった。

Fig.5の結果より、単独設置時には非空調部に対して作業部のSET*が3.6 [°C] 低下していた。拡張設置時には、非空調部に対して作業部のSET*が3.8 [°C] 低下していた。既往研究⁷⁾に基づき非空調部のSET*を温冷感に換算すると「暑い」に相当し、作業部の温冷感は「暖かい」に相当する。したがって、本実験条件下では、単独設置時および拡張設置時のいずれにおいても温冷感を1段階低下させる効果があったと考えられる。

4.2 WBGT計測結果

本節では、WBGT計測結果を示す。Fig.6 (a) に単独設置時のWBGT分布を示し、Fig.6 (b) に拡張設置時のWBGT分布を示す。

単独設置時のゾーン内の平均WBGTは28.0 [°C]、非空調部の平均WBGTは29.9 [°C] であった。また、作業部の平均WBGTは28.0 [°C]、境界部の平均WBGTは27.7 [°C] であった。拡張設置時のゾーン内の平均WBGTは27.5 [°C]、非空調部の平均WBGTは29.6 [°C] であった。また、作業部の平均WBGTは27.5 [°C] であった。

Fig.6の結果より、単独設置時には非空調部に対して作業部のWBGTが1.9 [°C] 低下し、拡張設置時には2.1 [°C] 低下した。中程度の代謝率における暑熱

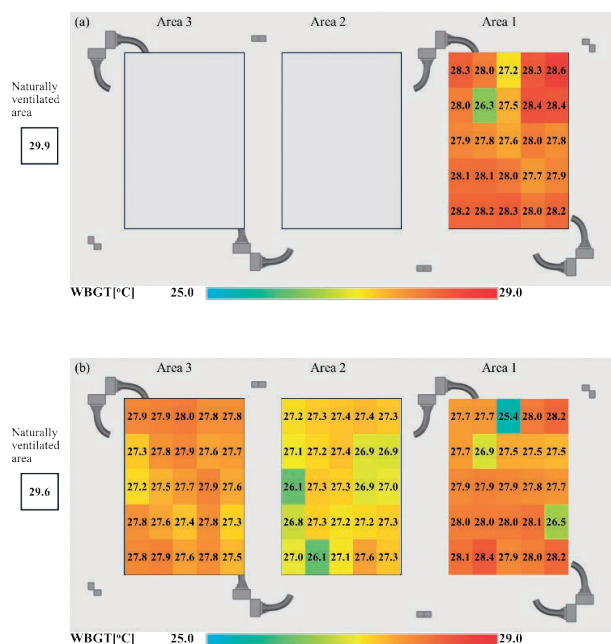


Fig.6 WBGT 分布 (a) 単独設置時、(b) 拡張設置時

順化者のWBGT基準値は28.0 [°C] である⁸⁾。したがって、単独設置時および拡張設置時のいずれにおいても、作業員の代謝率が中程度の場合にはWBGT基準値を満たしていたと考えられる。

Fig.5およびFig.6に示すとおり、拡張設置時は、面積当たりの空調負荷が単独設置時より約33%低い条件であったにもかかわらず、SET*およびWBGTの平均値に基づく温熱環境改善効果は単独設置時と同程度であった。このため、拡張設置では、単独設置と比較して面積当たりの空調負荷を低減しつつ、同程度の温熱環境改善効果が得られたと考えられる。

§5. 結論

本報ではゾーン空調システムの単独設置および拡張設置を比較し、拡張設置時に空調負荷を低減しつつ単独設置と同程度の熱的快適性が確保可能かを確認した。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) ゾーン空調エリアを隣接させずに設置した場合において、ゾーン空調導入部の作業員の主な活動範囲は、ゾーン空調を行っていない空間と比較してSET*が平均3.6 [°C] 低下した。
- 2) ゾーン空調エリアを隣接させて設置した場合において、ゾーン空調導入部の作業員の主な活動範囲は、ゾーン空調を行っていない空間と比較してSET*が平均3.8 [°C] 低下していた。

- 3) ゾーン空調エリアを隣接させずに設置した場合において、ゾーン空調導入部の作業員の主な活動範囲は、ゾーン空調を行っていない空間と比較してWBGTが平均1.9 [°C] 低下した。
- 4) ゾーン空調エリアを隣接させて設置した場合において、ゾーン空調導入部の作業員の主な活動範囲は、ゾーン空調を行っていない空間と比較してWBGTが平均2.1 [°C] 低下した。

参考文献

- 1) 中川暁登ら、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—、フジタ技術研究報告 第60号、2024
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 中川暁登ら、大空間における部分空調システムに関する研究—内部発熱及び外乱が空調ゾーン形成に及ぼす影響の検証— フジタ技術研究報告 第61号、2025
- 5) ASHRAE Fundamentals 2021 CHAPTER 9 Thermal Comfort, 2021
- 6) Ergonomics of the thermal environment—Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index, ISO 7243, 2017
- 7) D.A. McIntyre, Indoor Climate, Applied Science Pub, 1980
- 8) 厚生労働省、職場のあんぜんサイト、https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo89_1.html、2026.8.20閲覧

ひとこと



中川 暁登

令和7年6月1日に施行された労働安全衛生規則等の改正により、熱中症対策の重要性はますます高まっています。弊社は今後も部分空調システムの技術開発を通じて、暑熱環境の改善と省エネルギーの両立を図り、安全で快適な職場環境の実現に貢献してまいります。