

# 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 -

中川 暁登      二岡 佳子  
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。空調範囲を限定するため、ゾーン空調は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、内部発熱や外乱の少ない条件下における床置き型のアアカーテン生成装置を用いたゾーン空調システムの空調効果を確認した。本研究では内部発熱や外乱の大きい工場内にゾーン空調システムを導入し、夏季及び冬季において実測調査を実施した結果を報告する。

### Study on partial air conditioning systems in large spaces Verification of the effects of internal heat gain and external disturbances on air conditioning zone formation

### Abstract

The zone air-conditioning method can be applied when the work area is clearly defined. By limiting the area, zone air conditioning can improve workers' thermal comfort with lower energy consumption. In a previous study, we confirmed the air-conditioning effectiveness of a zone air-conditioning system using a floor-mounted air curtain generator under conditions with minimal internal heat generation and external disturbances.

This study presents the results of a field investigation for a zone air-conditioning system implemented in a factory environment characterized by significant internal heat gains and external disturbances. Measurements were conducted during both summer and winter seasons to evaluate the system's performance under these challenging conditions.

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

ゾーン空調方式<sup>1), 2)</sup>は大空間において、作業員の作業空間のみを空調する空調方式である。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あれば、作業員の熱的快適性と省エネルギー性向上の面から有効な空調方式である。ただし、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に、作業員の熱的快適性が低下する。一方で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れる。

既報<sup>3)</sup>では、床置き型のアエカーテン生成装置を用いて独自のゾーン空調システム（以下、本システム）を開発し、空調効果を確認した。しかし、既報の実験では内部発熱や外乱の影響の少ない条件下で実験を実施したため、内部発熱や外乱が本システムの空調効果に及ぼす影響を明らかにできていない。

そこで、本研究では内部発熱や外乱の大きい工場内に本システムを導入し、空調効果が得られるかを検証した。夏季及び冬季において稼働中の施設内で温熱環境計測及び電力計測を実施し、温熱環境と消費電力の2面から本システムの空調性能を確認した。

## §2. 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、温熱環境計測及び電力計測を実施した。

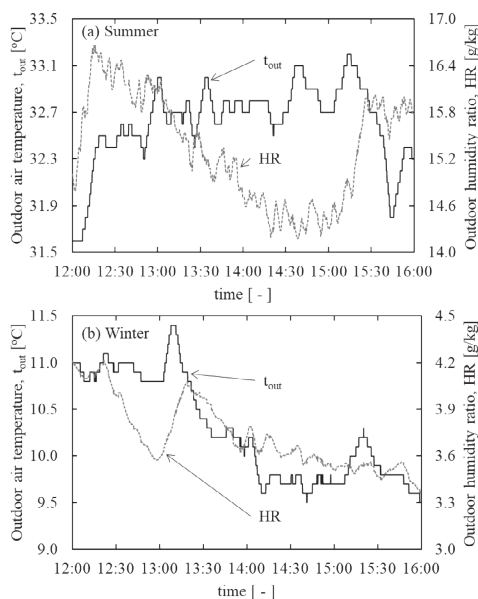


Fig.1 屋外温湿度推移、(a) 夏季実測時、(b) 冬季実測時

## 2.1 実測場所及び実測日

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及び暖房性能の検証を実施した。冷房検証は2024年9月5日に実施し、暖房検証は2025年1月15日に実施した。実測日の屋外空気温度及び屋外絶対湿度をFig.1に示す。

## 2.2 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）の写真をFig.2に示し、ゾーン空調エリア内の計測位置をFig.3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、そして対象工場敷地内の屋外で実施した。ゾーン空調エリアは、6.3 [m] × 8.9 [m] の範囲であった。ゾーン空調エリアは主



Fig.2 ゾーン空調エリア設置風景、① 空調ユニット、② エアカーテンユニット

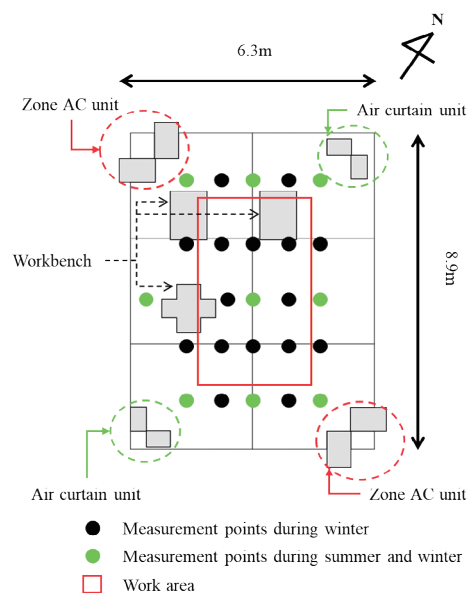


Fig.3 ゾーン空調エリアにおける温熱環境計測点

に溶接作業に利用されていた。なお、本実験では、Fig.3中のすべての計測点を含む範囲をゾーン内とし、ゾーン内の四角の範囲内を作業員の主な活動範囲として作業部とした。また、ゾーン内の作業部に含まれないエリアを境界部とし、対象工場内のゾーン内に含まれないエリアを非空調部とした。夏季計測では制約上計測点を9点に限定したが、冬季計測では計測点を25点に変更した。

対象工場はダイカスト炉を有していたため、一般的な工場と比較すると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の地点に位置していた。また、対象工場は常時建物のシャッターを解放し、自然通風を行っていた。このため、建屋内は屋外からの取り入れ空気の影響を受けやすい環境であった。ゾーン空調エリアに最も近いシャッターは、ゾーン空調エリアから北方向に約10mの地点に位置していた。

### 2.3 計測方法

屋内では空気温度、相対湿度、グローブ温度、そして気流速度を測定した。屋外では、空気温度及び相対湿度を測定した。各計測はFL+1,500 [mm] の位置で計測を実施した。また、空調機は吸込口と吹出口で、空気温度、相対湿度および風速を測定した。風速は風量を推定するために利用した。本実験の計測時間は、1.5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10秒間で設定した。なお本研究では各測定点の移動計測における平均計測値を用いて分析を行った。

電力計測は室外機、室内機、そしてエアカーテンに対して実施した。室内機とエアカーテンの電源盤は共通であったため、エアカーテン稼働時と非稼働時の消費電力の差分を用いて室内機とエアカーテンの消費電力を分離している。本研究ではCOPを用いて空調性能を評価した。空調運用時のCOP（以下、実COP）は、計測から得た消費電力と室内機の空調能力を用いて算出した。

### 2.4 温熱環境指標

本研究ではSET\*<sup>4)</sup> 及びWBGT<sup>5)</sup> を用いて熱的快適性を評価した。夏季実測時はSET\* 及びWBGT を用いて温熱環境を評価し、冬季はSET\* を用いて温熱環境を評価した。SET\* 及びWBGTの算出に用いる環境側4要素は実測から得たデータを利用した。人体側2要素は作業員や関係者からの聞き取りにより推定した。夏季及び冬季の代謝量は1.2 [met] に設定した。夏季の着衣量は0.6 [clo] に設定し、冬季の着衣量は0.8 [clo] に設定した。

### 2.5 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の仕様をTable 2に示す。空調の温度制御点は室内機側面のリモコンに設定した。夏季の制御温度は18 [°C] とし、冬季の制御温度は29 [°C] とした。空調機の風量は急 (918 [m<sup>3</sup>/h]) に設定した。

Table 1 計測項目及び計測機器一覧

| Measurement item     | Unit | Manufacturer              | Machine  | Range                   | Accuracy                                       |
|----------------------|------|---------------------------|----------|-------------------------|------------------------------------------------|
| Dry-bulb temperature | °C   | T & D Corporation         | RTR500BW | -25~70                  | ±0.3                                           |
| Relative humidity    | %    |                           |          | -199~1760               | ±2.5                                           |
| Dry-bulb temperature | °C   |                           | TR75A2   | 0~120                   | ± (0.5+0.003×t[K])                             |
| Air velocity         | m/s  | I Denshigiken Corporation | VA-21    | 0.05~9.99,<br>10.0~40.0 | ± (3 [%] +0.05 [m/s]),<br>± (3 [%] +0.1 [m/s]) |
| Power consumption    | W    | HIOKI E.E. Corporation    | PW3360   | 300.00 W~<br>9.0000 MW  | ±0.3 [% rdg.]                                  |

Table 2 空調機ユニット及びエアカーテンユニット仕様

| Unit              | Number of instruments [-] | Air conditioner cooling capacity [kW] | Airflow rate [m <sup>3</sup> /h] |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Indoor unit       | 12                        | 2.5                                   | 918                              |
| Outdoor unit      | 6                         | 40.0 (45.0)                           | -                                |
| Air Curtains unit | 4                         | -                                     | 1880                             |

### §3. 結果・考察

本章では、実測から得られた温熱環境計測結果及び電力計測結果を示す。

#### 3.1 夏季温熱環境実測

本節では夏季における温熱環境計測結果を示す。Fig.4及びFig.5に夏季実測時のSET\*及びWBGT分布を示す。本計測時間内のゾーン内の平均SET\*は31.2 [°C] であり、非空調部の平均SET\*は34.6 [°C] であった。また、作業部の平均SET\*は29.9 [°C] であり、境界部の平均SET\*は31.4 [°C] であった。

本計測時間内のゾーン内の平均WBGTは25.0 [°C] であり、非空調部の平均WBGTは27.6 [°C] であった。また、作業部の平均WBGTは24.4 [°C] であり、境界

部の平均WBGTは25.1 [°C] であった。

Fig.4の結果から、非空調部に対する作業部のSET\*は4.7 [°C] 低下していた。既往研究の結果から非空調部のSET\*を温冷感に変換すると暑いに該当し、作業部の温冷感はやや暖かいに該当する<sup>6)</sup>。このため、本実験環境下において本システムは温冷感を2段階低下させる効果があったと考えられる。

Fig.5の結果から、非空調部に対する作業部のWBGTは3.2 [°C] 低下した。中程度の代謝率の場合、暑熱順化者のWBGT基準値は28.0 [°C] であり、高代謝率の場合、暑熱順化者のWBGT基準値は26.0 [°C] である<sup>7)</sup>。このため、本システムは作業員が高代謝率の場合においてもWBGT基準値を満たすことができていたと考えられる。

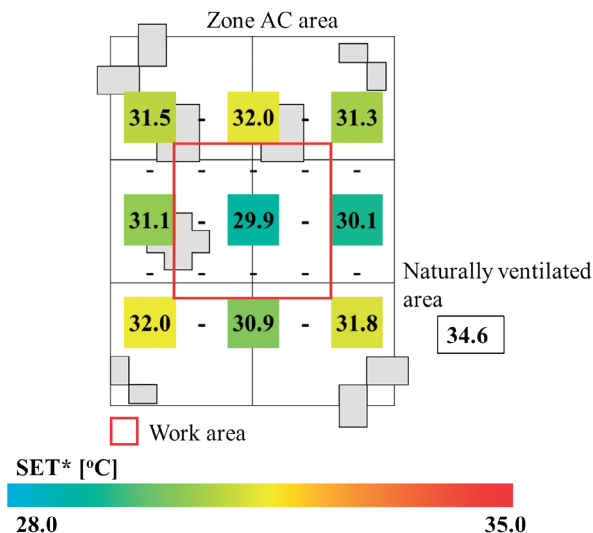


Fig.4 夏季における SET\* 分布

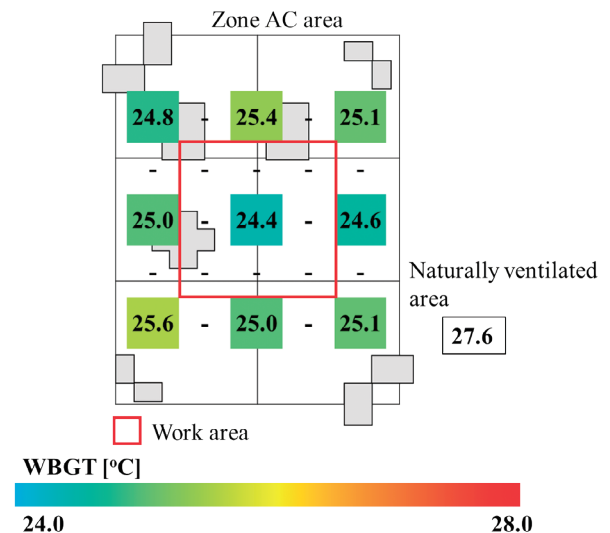


Fig.5 夏季における WBGT 分布

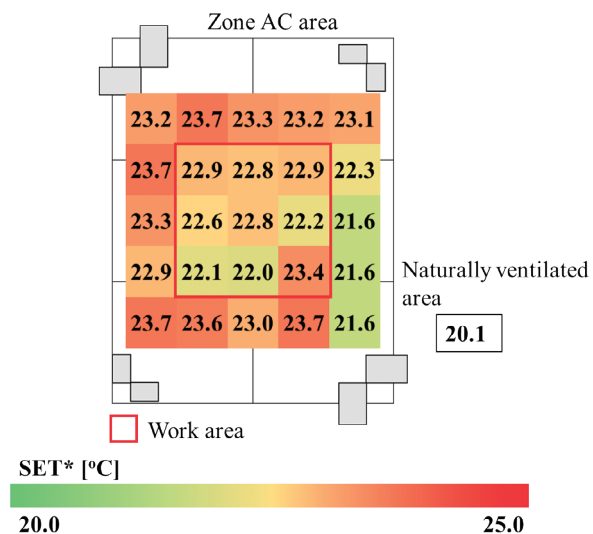


Fig.6 冬季における SET\* 分布（エアカーテン稼働時）

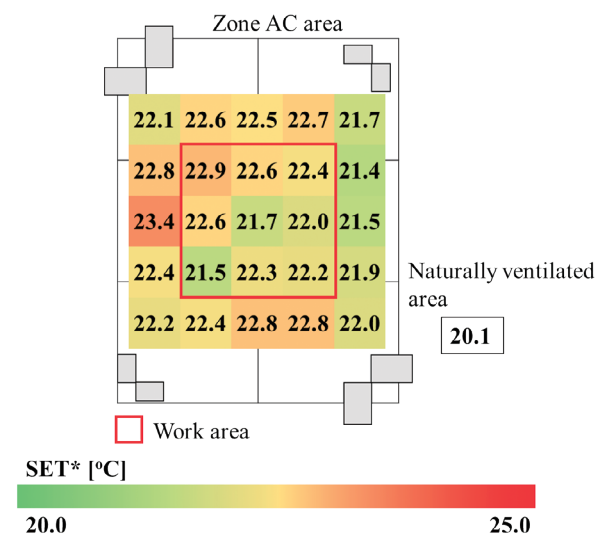


Fig.7 冬季における SET\* 分布（エアカーテン非稼働時）



### 3.2 冬季温熱環境実測

本節では冬季における温熱環境計測結果を示す。暖房時は空調空気が上昇しエアカーテンの効果が減少する可能性があった。このため、冬季計測では暖房時のエアカーテンの効果を確認するためにエアカーテン稼働時と非稼働時の2つの条件で計測を実施した。Fig.6及びFig.7に冬季実測時のエアカーテン稼働時及びエアカーテン非稼働時のSET\*を示す。エアカーテン稼働時のゾーン内の平均SET\*は22.3 [°C] であり、非空調部の平均SET\*は20.1 [°C] であった。また、作業部の平均SET\*は22.2 [°C] であり、境界部の平均SET\*は22.3 [°C] であった。

エアカーテン非稼働時のゾーン内の平均SET\*は22.8 [°C] であり、非空調部の平均SET\*は20.1 [°C] であった。また、作業部の平均SET\*は22.6 [°C] であり、境界部の平均SET\*は23.0 [°C] であった。

Fig.4、Fig.6及びFig.7の結果から、暖房時は冷房時と比較して、非空調部に対するゾーン空調エリアのSET\*変化量が小さかった。ゆえに、体感温度に関する空調効果は暖房時と比較すると冷房時の方が高かったと考えられる。また、Fig.6及びFig.7の結果から、非空調部に対する作業部のSET\*変化量は、エアカーテン非稼働時がエアカーテン稼働時と比較して0.4 [°C] 大きかった。Table 3に作業エリアのSET\*の算出に用いた温熱環境要素を示す。Table 3よりエアカーテン稼働時と非稼働時のSET\*変化量の差は、放射温度によって生じたと確認できる。本実験では測定エリア近傍で溶接作業が実施されていたため、作業状況によって放射温度が変化した可能性がある。このため、放射温度以外の項目で比較するとエアカーテン稼働と非稼働時では同程度の暖房効果があったと考えられる。

### 3.3 COP 検証

本節では夏季及び冬季の電力計測から得た実COPの算出結果を示す。

Table 4に夏季及び冬季実測時の実COPを示す。夏季の実COPは1.9であり、冬季のエアカーテン稼働時と非稼働時の実COPは2.2と2.3であった。

Table 4の結果から、夏季の実COPは定格値と比較して、21 [%] 低下し、冬季は24 [%]～28 [%] 低下していた。本実測では空調能力、消費電力ともに定格値より大きい値を示していた。このため、空調機器は過負荷状態で稼働していたと推測され、過負荷での運用によってCOPが定格値よりも低下していたと考えられる。

Table 3 暖房計測時の空気温度

| Air curtain operation status                        | ON   | OFF  |
|-----------------------------------------------------|------|------|
| Air temperature [°C]<br>(Naturally ventilated area) | 17.6 | 17.8 |
| Air temperature [°C]<br>(Zone AC area)              | 21.8 | 22.1 |
| MRT [°C]                                            | 20.8 | 21.5 |
| Humidity ratio [g/kg (DA)]                          | 3.3  | 3.6  |
| Air velocity [m/s]                                  | 0.4  | 0.4  |

Table 4 夏季及び冬季における空調 COP

| Case                                                                       | Summer | Winter<br>(Air Curtain on) | Winter<br>(Air Curtain off) |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------|-----------------------------|
| Number of AC units [-]                                                     | 12     | 12                         | 12                          |
| Air volume [m <sup>3</sup> /h]                                             | 622.8  | 571.4                      | 571.4                       |
| AC t <sub>a</sub> (inlet) [°C]                                             | 31.4   | 18.1                       | 18.8                        |
| AC t <sub>a</sub> (outlet) [°C]                                            | 20.3   | 35.4                       | 37.3                        |
| AC HR (inlet) [g/kg]                                                       | 14.0   | 3.1                        | 3.2                         |
| AC HR (outlet) [g/kg]                                                      | 13.0   | 3.4                        | 3.6                         |
| Sensible heat quantity [kW]                                                | 2.3    | 3.2                        | 3.5                         |
| Latent heat quantity [kW]                                                  | 0.5    | —                          | —                           |
| Heat quantity<br>(Specification sheet) [kW]                                | 2.5    | 2.8                        | 2.8                         |
| Power consumption of<br>the air curtain [kW]                               | 1.0    | 1.0                        | —                           |
| Power consumption of<br>the AC unit [kW]                                   | 0.7    | 0.7                        | 0.7                         |
| Power consumption of the<br>heat source unit [kW]                          | 17.9   | 16.7                       | 17.4                        |
| Power consumption of the<br>heat source unit<br>(Specification sheet) [kW] | 16.6   | 14.0                       | 14.0                        |
| COP<br>(Operation) [-]                                                     | 1.9    | 2.3                        | 2.4                         |
| COP<br>(Specification sheet) [-]                                           | 2.4    | 3.2                        | 3.2                         |

## §4. 結論

本報では内部発熱及び外乱が生じる環境下におけるゾーン空調システムの空調効果を温熱環境計測と消費電力計測から確認した。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) 夏季実測において、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、平均4.7 [°C] SET\*が低下した。
- 2) 夏季実測において、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、平均WBGTが3.2 [°C] 低下した。

- 3) 冬季実測において、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、エアカーテンを稼働した場合に平均2.1 [°C] SET\*が上昇し、エアカーテンを停止した場合に平均2.5 [°C] SET\*が上昇した。
- 4) 夏季実験時の実COPは1.9であった。冬季実験時のエアカーテン稼働時の実COPは2.2であり、エアカーテン停止時の実COPは2.3であった。

### 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
- 3) 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
- 4) ASHRAE Fundamental 2021 CHAPTER9 Thermal Comfort, 2021
- 5) Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index, ISO 7243, 2017
- 6) D.A. McIntyre, Indoor Climate, Applied Science Pub, 1980
- 7) 厚生労働省、職場のあんぜんサイト、[https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo89\\_1.html](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo89_1.html)、2025.8.5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一部を改正する省令に基づき、熱中症対策が義務化され、より一層の暑熱対策が求められています。弊社は今後も暑熱環境の改善に向けた技術開発に尽力し、安全で快適な職場環境の実現に貢献してまいります。