

建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究
数値計算による空気・熱環境の室内空間分布に関する検討

研究分担者 李 時桓 名古屋大学 環境学研究科 准教授

研究要旨

個別空調の使用率拡大に伴い、立入検査時の難しさや運用管理手法の情報不足が課題として挙げられ、より効率的な監視指導が求められている。特に建築物環境衛生管理では「測定点」、「測定時期」が重要なキーワードであり、本研究では CFD 解析（数値流体解析）を用い、オフィス空間における「測定点」、「測定時期」について検討することを目的とする。検討結果から、現状の空調・換気方式の使用により、室内分布（温度、湿度、CO₂、気流速度など）を明らかにし、冬期の暖房期間、夏期の冷房期間に対する「測定点」による違いについて考察した。

A. 研究目的

近年、建築物の大規模化と用途の複合化により、建築物の衛生管理が複数のテナントによって行われ、中央一括管理ができないこと、省エネルギーを目的とした換気回数の減少があることが生じている。その結果、特定建築物における建築物環境衛生管理基準のうち、相対湿度、温度、二酸化炭素濃度の不適合率が上昇傾向であると言われている。要因の一つとして個別空調方式の使用が拡大してきたことも考えられるが、個別空調の管理の難しさや立入検査時の難しさが指摘されるとともに、実態調査からは、室内のムラが大きいことが指摘されている。個別空調の急速な普及に伴う運用管理手法の情報は不足している状況であり、より効率的な監視指導が求められている。

本研究では、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の確立とその管理手法に基づいた行政指導等を行う際のマニュアルの検討を最終目的とし、室内空間の室内分布（タスク・アンビエント域の温度、湿度、CO₂、気流速度など）を明らかにする。また、空気環境管理のための「測定点」に注目し、冬期暖房、夏期冷房における測定点による違いを明らかにする。

B. 研究方法

B1. 検討対象モデルの選定

図1に建物の外観・内観を示す。本研究では現場調査を行ったJ社事業センターを本研究の検討対象モデルとする。

B2. 数値解析モデルの作成



(a) 外観

(b) 内観

図1 検討対象建物(J社事業センター)

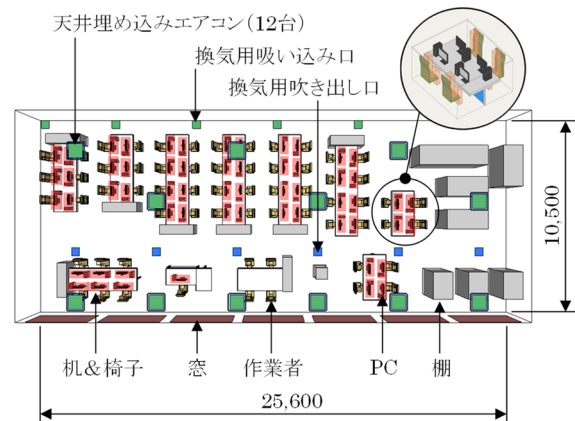


図2 数値解析モデルの詳細

数値解析を行うために検討対象モデルである J 社事業センターの解析領域を数値モデル化 (図 2 参照) する。また、現場調査結果をもとに、数値境界条件を適用 (表 1 参照) する。

数値解析では、夏期冷房時 (外気温度: 31 °C) と冬期暖房時 (外気温度: 0 °C) に分けて行う。室内に設置されたエアコンは天井埋込カセット形 2-WAY 方式であり、気流の吹き出し角度は冷房・暖房時とも下向き 60° と設定する。解析領域内の負荷としては、窓から熱取得・損失する伝熱負荷 (熱貫流率: 3.5 W/(m²·K)) と共に、室内で発熱する座位での作業を想定した人体モデル (70 W/人) と PC (200 W/台) を計算条件として取り組む。換気量は全熱交換換気システムを使用することで 315 m³/(h·台) とし、温度交換効率 は 70% と設定する。乱流モデルは高 Re 数 k-ε モデルを採用し、解析は定常解析 (t=∞)、メッシュ数は検討モデル 1 で 2,000 万個を採用する。

B3. 空気環境管理のための「測定点」の検討

本研究では空気環境管理のための「測定点」について検討する。そのため、作成した数値解析モデルを用い、居住域の領域を設定する。居住域の領域は ASHRAE¹⁾の Breathing zone を参照にして作成 (図 3 参照) し、居住域の領域が夏期 26 °C (外気温度: 31 °C) と冬期 20 °C (外気温度: 0 °C) になるように室内空調機を運転 (逆解析) する。

また、測定領域における温度、湿度、CO₂、気流速度などの分布を明確にするために、平面上の領域、立面上の領域を区分する。区分した平面上の領域を図 4 に、立面上の領域を図 5 にそれぞれ示す。平面上の領域は 3 つに区分 (Zone A、Zone B、Zone C) とし、Zone A は執務領域 (在室者密度: 高い)、Zone B は共用部 (在室者密度: 少ない)、Zone C は共用部 (換気吹出し口近傍) とする。立面上の領域も 3 つに区分し、床面からの高さ FL+1,800mm、FL+1,200mm、FL+600mm とする。

表 1 数値境界条件

項目	内容
検討領域	25.6(x)×10.5(y)×2.6(z) m
時間項	定常解析 (t=∞)
乱流モデル	Standard k-ε turbulence model
メッシュ数	20,000,000 個
エアコン (12 台)	吹出口 流量: 1,200 m ³ /h (1 台当たり) 夏期温度: 居住域 26 °C (逆解析) 冬期温度: 居住域 20 °C (逆解析) 斜め吹き: 60 °C (2-WAY)
	吸込口 流量: 1,200 m ³ /h (1 台当たり)
換気口 (6 台)	流量: 315 m ³ /h (1 台当たり) 温度: 温度交換効率 70%適用
人体 (63 人)	発熱: 70 W/人、CO ₂ : 20 L/(h·人)
PC (63 台)	発熱: 200 W/台
窓 (7 カ所)	夏期外気温度: 31 °C 冬期外気温度: 0 °C 熱貫流率: 3.5 W/(m ² ·K)
日射	日射は考慮しない (ブラインドあり)

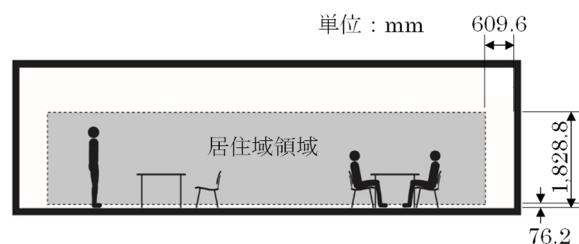


図 3 居住域の領域設定

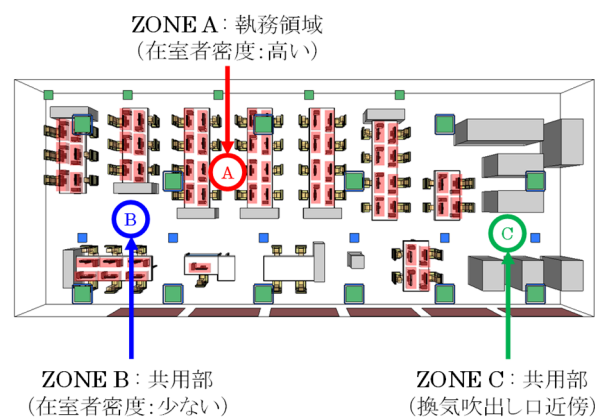


図 4 平面上における測定領域区分

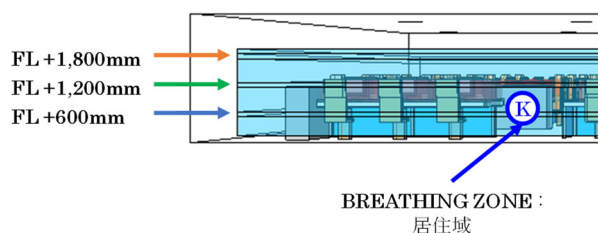


図 5 立面上における測定領域区分

C. 研究結果

C1. 夏期冷房時における検討結果

図6、図7に夏期冷房時における検討モデルに対する解析結果(図6:温度分布、図7:CO₂濃度分布)を示す。居住域の領域が26°Cになるように逆解析を行ったので室内温度分布は26°C前後であるが、人体とPCがある領域(タスク域)には設定温度より暑くなり、アンビエント域と異なる結果が得られた。CO₂分布は全体的に1,000ppm程度で

あるが、人体とPCがある領域(タスク域)には高く(約1,000~1,360ppm)、換気口がある領域には低い値(約520~880ppm)となった。

図8、図9に平面上の領域と立面上の領域に区分した領域における温度頻度とCO₂濃度頻度をそれぞれ示す。室内温度は測定場所、高さにより測定誤差が生じる恐れがあり、平面上ではZONE A > ZONE B > 設定温度26°C > ZONE Cの順に温度誤差が生じた。また高さによると、95%信頼区間で

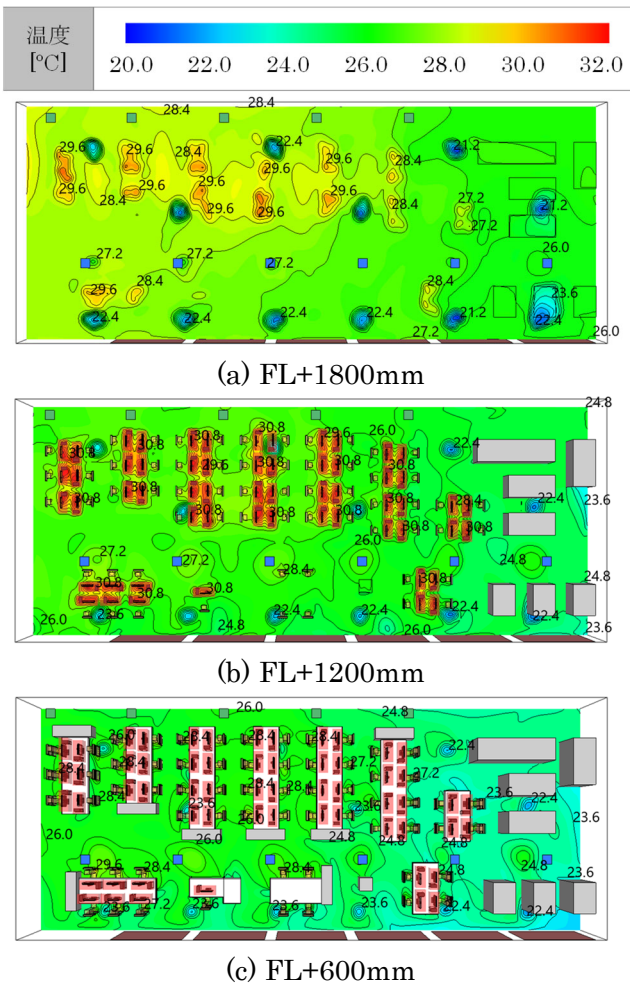


図6 夏期冷房時における温度分布

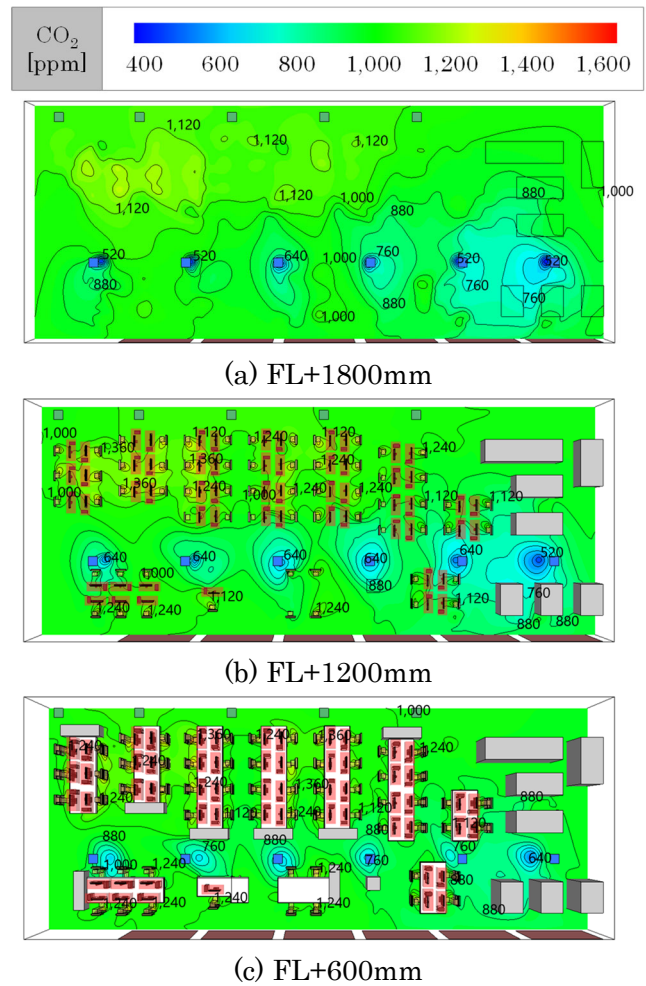


図7 夏期冷房時におけるCO₂分布

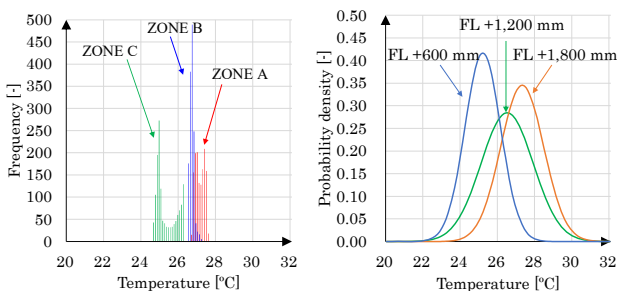


図8 夏期冷房時における温度頻度

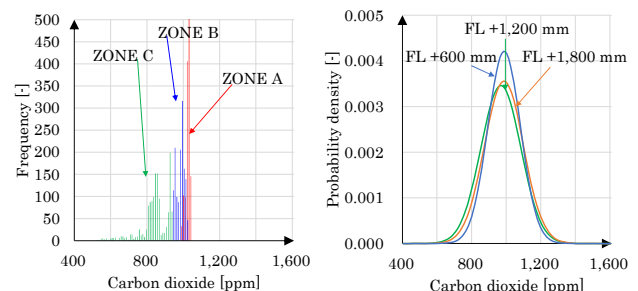


図9 夏期冷房時におけるCO₂頻度

23.3~27.1 °C (FL +600mm)、23.7~29.3 °C (FL +1,200mm)、25.0~29.6 °C (FL +1,800mm) となり、設定温度と測定誤差が少ない高さは 1.2 m であると言える。CO₂ 濃度は、測定場所、高さによらず、測定誤差が少なかった。測定場所によると ZONE A > ZONE B > ZONE C の順であり、高さによると、95%信頼区間で 794~1,173 ppm (FL +600mm)、734~1,195 ppm (FL +1,200mm)、758~1,207 ppm (FL +1,800mm) であった。

C2. 冬期暖房時における検討結果

図 10、図 11 に冬期暖房時における検討モデルに対する解析結果 (図 10 : 温度分布、図 11 : CO₂ 濃度分布) を示す。居住域の領域が 20 °C になるように逆解析を行ったので室内温度分布は 20 °C 前後であるが、人体と PC がある領域 (タスク域) には約 24.8 °C 以上となり、アンビエント域と異なる結果が得られた。CO₂ 分布は全体的に 1,000 ppm 程度であるが、人体と PC がある領域 (タスク域) に

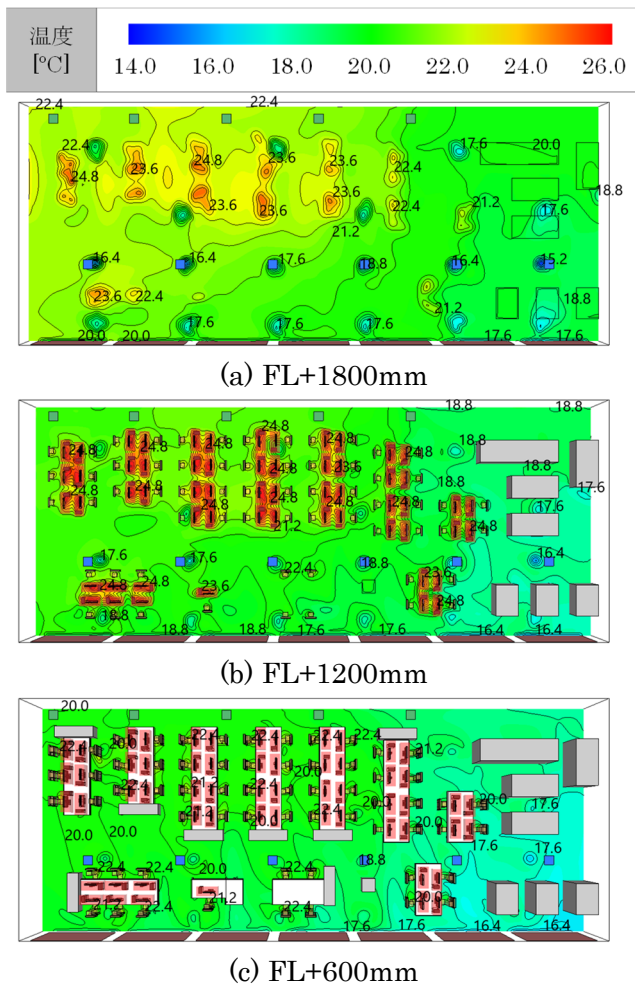


図 10 冬期暖房時における温度分布

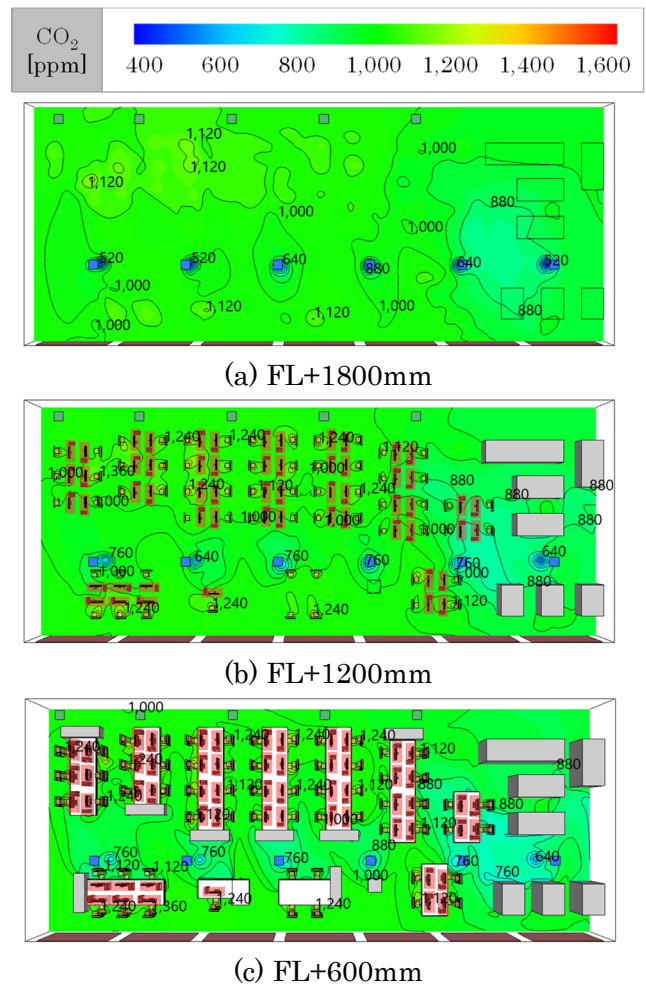
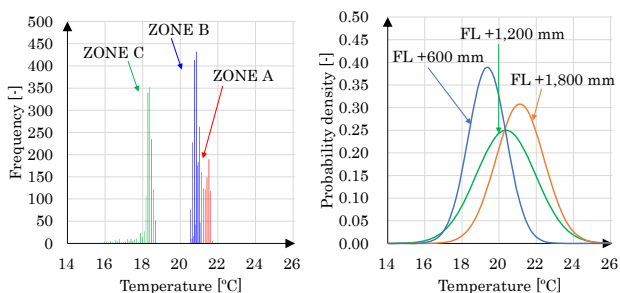
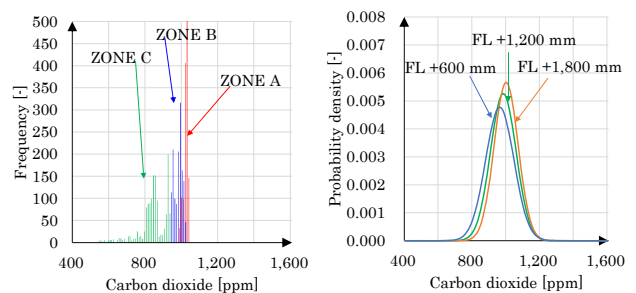


図 11 冬期暖房時における CO₂ 分布



(a) 平面上領域による (b) 立面上領域による

図 12 冬期暖房時における温度頻度



(a) 平面上領域による (b) 立面上領域による

図 13 冬期暖房時における CO₂ 頻度

は高く（約 1,000~1,360 ppm）、換気口がある領域には低い値（約 520~880 ppm）となった。

図 12、図 13 に平面上の領域と立面上の領域に区分した領域における温度頻度と CO₂ 濃度頻度をそれぞれ示す。室内温度は測定場所、高さにより測定誤差が生じる恐れがあり、平面上では ZONE A > ZONE B > 設定温度 20 °C > ZONE C の順に温度誤差が生じた。また高さによると、95%信頼区間で 17.3~21.4 °C (FL +600mm)、17.1~23.5 °C (FL +1,200mm)、18.5~23.7 °C (FL +1,800mm) となり、設定温度と測定誤差が少ない高さは 1.2 m であると言える。CO₂ 濃度は、測定場所、高さによらず、測定誤差が少なかった。測定場所によると ZONE A > ZONE B > ZONE C の順であり、高さによると、95%信頼区間で 794~1,128 ppm (FL +600mm)、830~1,133 ppm (FL +1,200mm)、858~1,139 ppm (FL +1,800mm) であった。

D. 結論

今回の検討では、建物の業務スペースに対し、夏期冷房運転時／冬期暖房運転時における室内空間分布（タスク・アンビエント域の温度、湿度、CO₂、気流速度など）を明らかにした。特に、空気環境管理のための空気・熱環境の「測定点」に注目し、逆解析における数値解析を行い、以下の知見を得た。

- (1) 居住域空間を満足させる空調が行われた時、空気環境管理のための「測定点」は立面上、床面から 1.2 m の高さの領域（居住者に与えられる影響が大きい）が望ましい。
- (2) 居住域空間を満足させる空調が行われた時、空気環境管理のための「測定点」は平面上、共用部（在室者密度：少ない）の領域が望ましい。しかし、執務領域（在室者密度：高い）の領域を満足させるための対策が必要である。
- (3) 温度分布に比べ、CO₂ 濃度分布は位置による測定誤差は少なかった。空気環境管理のための「測定点」は換気の排気口で測定した方が望ましい。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) ASHRAE, 2019, ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, p.1-87.

