

# オフィスビルにおける自然換気併用ハイブリッド空調システムに関する研究 -CFD と熱換気回路網の連成解析による執務空間の温熱・空気環境評価-

2007541040 安永 龍一

白石研究室

自然換気, ハイブリッド空調, CFD, 熱換気回路網

## 1. はじめに

近年オフィスビルにおいて、自然換気と機械空調を併用することにより冷房負荷の削減と良好な室内環境の持続的な形成を図る「自然換気併用ハイブリッド空調システム」が注目を集めている。しかしながら、その性能は気象条件や立地条件などに依存するため定量的評価が困難であり、設計手法（設計段階における省エネ効果の推計手法等）が確立されていないのが現状<sup>1)</sup>である。また、自然換気を併用する場合、適切な運用により冷房負荷は削減されるものの、ドラフト等の影響による温熱環境の不均一性といった問題も懸念される。本研究は、自然換気併用ハイブリッド空調システムの設計手法の提案に関する研究の第1段階として、同システムを導入した実在オフィスビルを対象に、熱換気回路網と CFD の連成解析により執務空間の温熱・空気環境を詳細に検証することを目的とする。今回は自然換気と機械換気を想定した2タイプのモデルをそれぞれ作成し、双方の①温熱環境、②空気環境、③空調処理熱負荷を比較することで提案するシステムの特徴・有効性を示す。

## 2. 解析対象建物

本研究の解析対象建物の外観及び概要を図1、表1にそれぞれ示す。同オフィスビルでは、執務空間の南北に設置してある給気口（定風量機能有り）から外気を導入し、執務空間中央にある吹き抜けを経由し、トップライトにある南北の排気窓より排気する仕組みとなっている（図2）。表2に自然換気の有効・無効モードについて示す。自然換気有効モードは降雨や強風などの屋外条件の変動に応じて、給気口、排気窓、機械給排気、除熱排気ファンの4項目を操作するA~Cの全3モードに分別されている。また、自然換気無効モ



図1. 建物外観

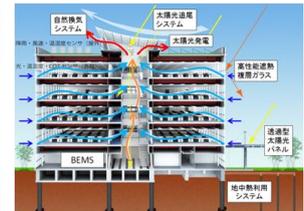


図2. 断面図（換気経路）

表1. 対象建物概要

|      |                          |
|------|--------------------------|
| 所在地  | 福岡県北九州市戸畑区               |
| 構造   | S造                       |
| 階数   | 地上5階                     |
| 延床面積 | 10,388 m <sup>2</sup>    |
| 敷地面積 | 6,649,401 m <sup>2</sup> |
| 竣工   | 2010年12月                 |

表2. 自然換気の有効・無効モード

| 自然換気有効        | 給気口 | シャフト上部 | 機械換気 | 除熱排気ファン | 備考   |
|---------------|-----|--------|------|---------|------|
| A.自然給排気モード    | 開○  | 開○     | OFF× | OFF×    |      |
| B.自然給気機械排気モード | 開○  | 閉×     | OFF× | ON○     | 雨天時  |
| C.機械給排気モード    | 閉×  | 閉×     | ON○  | OFF×    | 強風時  |
| 自然換気無効        | 給気口 | シャフト上部 | 機械換気 | 除熱排気ファン | 備考   |
| D.通常空調モード     | 閉×  | 閉×     | ON○  | OFF×    | 全熱交換 |

表3. 自然換気の有効条件

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1 | 外気エンタルピー<室内エンタルピー  |
| 2 | 外気上限温度>外気温度>外気下限温度 |
| 3 | 外気上限露点温度>外気露点温度    |
| 4 | 室内上限温度>室内温度>室内下限温度 |

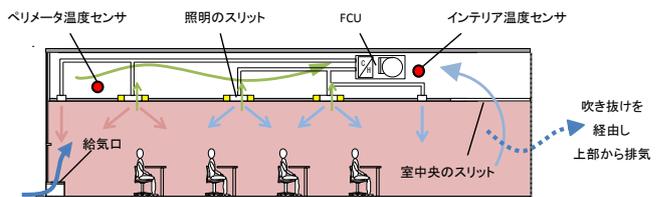


図3.自然換気併用ハイブリッド空調システムの概念図

ードはD（通常空調）の1モードである。ただしこのモードの場合は全熱交換機を経由した機械換気を行う。A~Cの自然換気有効モードにシフトするには、表3に示す4つの条件をすべて満たすことが前提となっている。また、空調については室中央付近の天井裏にFCUが設置されており、天板のスリットから還気を行

Hybrid Air-Conditioning System using Natural Ventilation in Office Building

-Evaluation of Indoor Thermal and Air Environment based on Coupled Simulation of CFD and Thermal and Air Network Analysis-

YASUNAGA Ryuichi

うことで室内空気を循環させている(図3)。更に、各照明位置にもスリットが設けられ、照明による熱だまりの解消も意図した設計となっている。機械換気については、図3に示すように空調と同様の吹出し口から給気を行っており、排気は天井裏に設置された専用吸込み口から、ダクトを通して建物外へと行われる。

### 3. 解析概要

本研究では、熱換気回路網解析と CFD 解析を連成させることにより、気象条件や周辺の立地条件を考慮した室内環境の再現を試みる。解析ケースは、中間季を想定した A.自然給排気モードと C.機械給排気モードの2ケースであり、この2つを比較することで同システムの有効性の検討を行う。解析対象空間は建物4階の執務空間とし、両端のコア部は解析対象外とした。尚、換気回路網計算時には事前の解析<sup>註1)</sup>によって得られた風向別の風圧係数を用いている。

#### 3-1. 熱換気回路網解析

熱換気回路網解析では、建物の発熱スケジュールに合わせて換気回路(開口部の開閉)を時間帯別に变化させることができ、また各センサの測定値に連動させて換気回路を制御することも可能である。これにより実際の BEMS による制御をシミュレーション上でも再現し、年間の空調処理熱負荷や換気量を動的に算出する。尚、平日の発熱スケジュールは図4に示すように与え、気象条件は拡張アメダス気象データの標準年データを用いた。解析結果の一例を図5に示す。図5は中間季の代表日における換気量及び外気温の時系列変化を示しており、値は1フロア(4階)のものである。CFD 解析では代表日として、A.自然給排気モードの日で快晴且つ比較的換気量の多い日を選定し、また内部負荷の最も大きい14:00を解析対象とした。

#### 3-2. CFD 解析

CFD 解析では、熱換気回路網解析より得られた代表日時(10月3日14時)の換気量、日射量、外気温のデータをもとに、自然換気及び機械換気を行う場合の2ケースにおいて定常解析を行う。解析条件を表5に示す。流れ場に影響を与え得る躯体や什器を再現し、机上面には人体およびOA機器による発熱量を与えた。尚、機械換気モデルにおける換気量は、建築基準法に定められた必要換気量(人員254名)を与えている。

本解析対象空間は各ゾーンにて個別に空調制御が行

表4 解析条件(熱換気回路網)

|            |  |
|------------|--|
| 気象データ      | 八幡(拡張アメダス標準年データ)                           |
| 計算期間       | 中間期: 4/1~6/15, 9/16~11/15<br>夏期: 6/16~9/15 |
| 節点数        | 熱回路: 358点 換気回路: 62流路                       |
| 空調運転時間帯    | 7:00~22:00                                 |
| ナイトパーシブ時間帯 | 22:00~7:00                                 |
| 空調設定値      | 夏期: 26°C 中間期: 24°C                         |

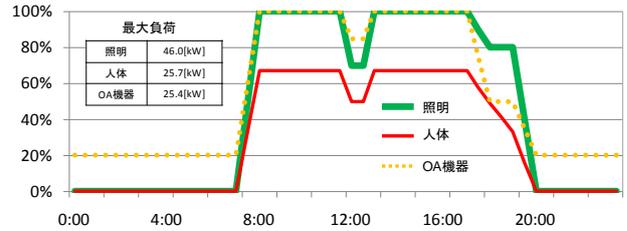


図4. 平日の発熱スケジュール

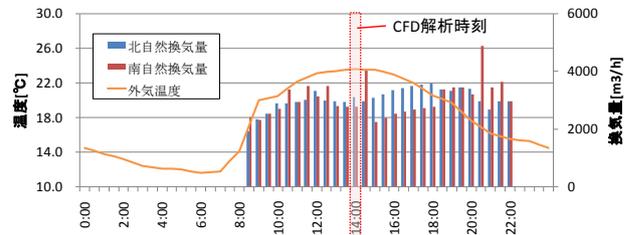


図5. 換気量及び外気温の日変化(代表日:10月3日)

表5 解析条件(CFD)

|        |   |                                   |
|--------|---|-----------------------------------|
| 解析領域   | 32.0m(x)×51.2m(y)×4.45m(z)  |                                   |
| メッシュ   | 301(x)×182(y)×26(z)   |                                   |
| 流入条件   | 空調  | 流量 17.5m³/min 温度 17.5, 19.5, 20°C |
|        | 換気  | 流量 51,213.6m³/min 温度 23.5°C       |
|        | $\epsilon = C_u k_m^{3/2} l_{in}$ $k_m = 3/2(U_{in} \times 0.05)^2$ |                                   |
| 流出条件   | 流量固定(機械換気), 表面圧力規定(自然換気)  |                                   |
| 乱流モデル  | 標準 $k-\epsilon$ モデル   |                                   |
| 壁面境界条件 | 温度  | 一般化対数則または対流熱伝達率指定 9W/m²K          |
|        | 速度  | 一般化対数則                            |
| 発熱条件   | 照明  | 6.9W×128 19.5W×280 90W×360        |
|        | 人体  | 60W×153                           |
|        | OA機器  | 100W×254                          |
|        | 日射  | (南)13587W (北)2379W                |

$U_{in}$ : 吹き出し風速[m/s],  $k_m$ : 吹き出し風の乱流エネルギー[m²/s²],  $\epsilon_m$ :  $k_m$ の散逸率[m²/s³],  $C_u$ : モデル定数(=0.09),  $l_{in}$ : 吹き出し代長長さ)

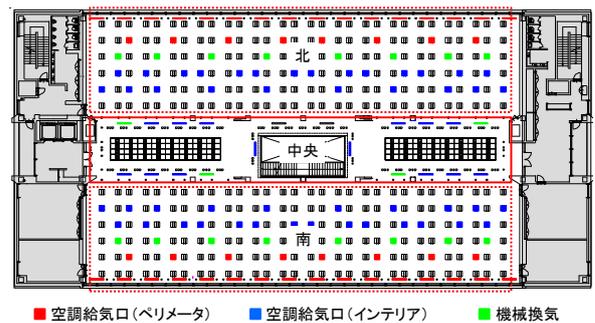


図6. 天井伏図

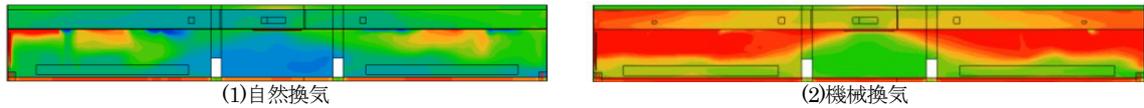


図 7 断面温度分布 (X1-X2)

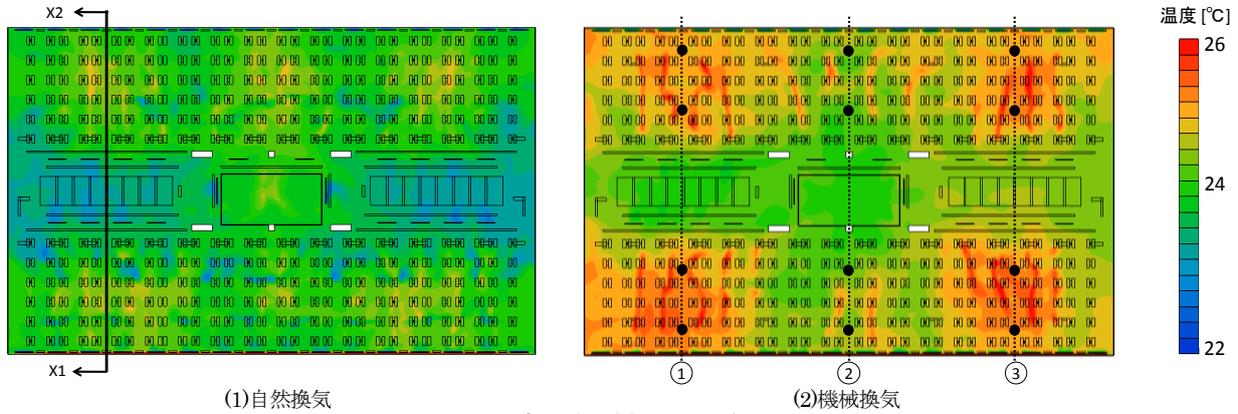


図 8 平面温度分布 (床上 1.5m)

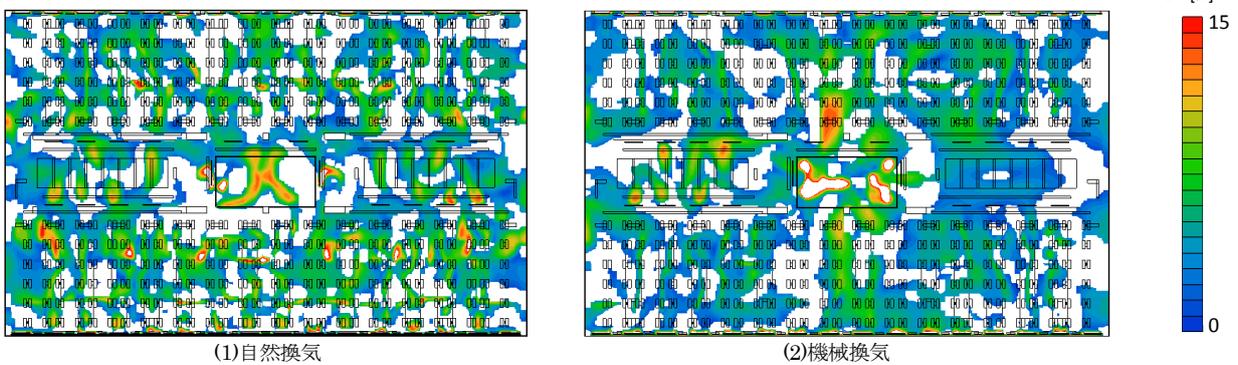


図 9 DR 分布図 (床上 1.5m)

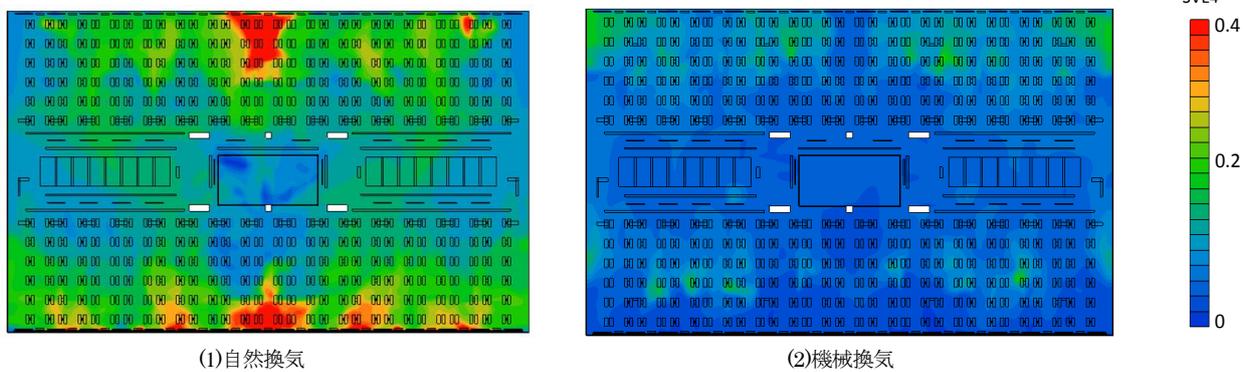


図 10 給気口勢力範囲図 (床上 1.5m)

われており、設置された温度センサ(図 2 参照)が設定値(熱換気回路網解析では 24°C)になるように各ゾーンの吹出し温度が制御されている。しかし、本 CFD 解析では簡易的に自然換気による効果を検証するため、吹出し温度を制御せずに 2 ケース共ゾーン別に固定(南 17.5°C・中央 19.5°C・北 20°C,表 5 に対応)して解析を行う。吹出し温度は、事前の解析によって居住域が 24°C 前後になるよう調節した。ゾーン別制御を再現した解析は今後の検討課題として位置付けている。

#### 4. 解析結果と評価

A.自然給排気モードと B.機械給排気モードを採用した場合の①温熱環境、②空気環境、③空調処理熱負荷の評価結果の一例をそれぞれ以下に示す。

##### 4-1. 温熱環境

4-1-1.水平面温度分布(図 8) 機械換気の方が自然換気よりも全体的に温度が高くなる。これは自然換気によって内部発熱が効果的に排気されたためと推察される。

4-1-2.上下温度分布(図 11) 図 11 に示す上下温度分布は、図 8 中に示す①～③のポイント上の値を南北のペリメータとインテリアでそれぞれ平均したものである。ISO7730 では、床上 0.1m と床上 1.1m との温度差を 3℃以内に抑えることが推奨されているが、両ケースとも居住域の温度差が概ね 3℃以内に収まっている。ただし、図 7 の鉛直面温度分布からも分かるように、自然換気の方が機械換気よりも上下温度差が小さい傾向にある。これは自然換気の給気口から真上に吹出された外気が、室上部の高温空気を誘引しつつ拡散するためと推察される。

4-1-3.DR 分布(図 8) DR(Draft Rating)とはドラフトによる不快者率を表すもので、Fanger ら<sup>2)</sup>によって提案された指標<sup>注2)</sup>である。図 8 に示すように、両ケースとも概ね 15%以下に収まっている。今回の解析条件のように自然換気によって室内の温熱環境が大きく影響を受ける場合においても、ドラフトによる不快感が殆ど生じないことが示唆された。

#### 4-2.空気環境

図 10 に給気勢力範囲(SVE4)<sup>注2)</sup>を示す。SVE4 とは、ある点における給気口からの供給空気の影響割合を示すものである。両ケースを比較すると換気量の差によって自然換気の SVE4 が高くなっている。今回の解析では機械換気量に必要最低値として 51m<sup>3</sup>/min を与えており、一方自然換気量は約 4 倍の 213.6m<sup>3</sup>/min となっている。

自然換気の SVE4 の分布にはやや偏りがあるが、その影響はほぼ執務空間全域に及んでおり、少なくとも今回の条件下では機械換気よりも良好な室内空気環境を形成できることが確認された。

#### 4-3.空調処理熱負荷

図 12 に 3 ゾーン(南・北・中央)別の空調処理熱負荷を示す。これは FCU の吸込み温度と吹出し温度の差と風量より算出したものである。今回の解析条件では機械換気に比べ自然換気の方が 3 ゾーンともに 23%～40%程度、負荷を削減できることが確認できた。

### 5. まとめ

- 1)熱換気回路網と CFD の連成解析によって気象条件や立地条件を考慮した上で、提案するシステムの室内温熱・空気環境評価を行った。
- 2)本解析対象空間において、同システムの有効性を確

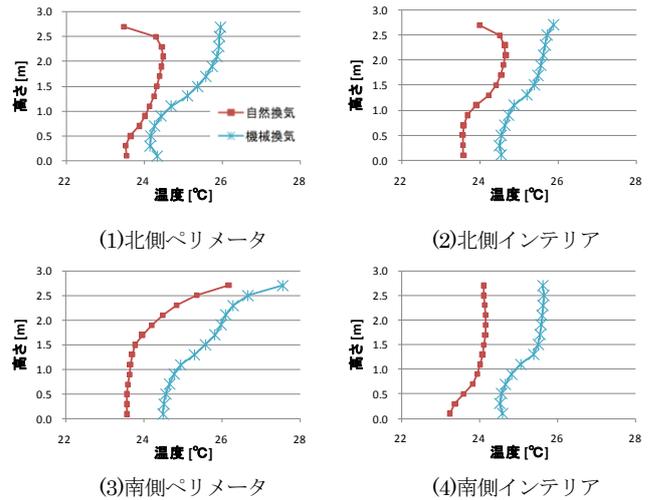


図 11 上下温度分布

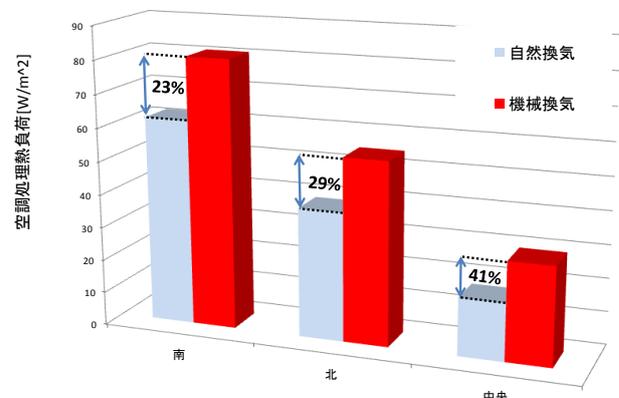


図 12 空調処理熱負荷

認することができた。

3)本解析では、自然換気によって良好な温熱環境が形成され、吹出し気流による攪拌効果により上下温度分布が解消される。

4)自然換気によって比較的良好な空気環境が形成される。

5)自然換気による空調処理熱負荷の低減が示唆された。

今後、実測結果との比較による解析モデルの精度検証を行い、提案する連成解析の妥当性を示すことが喫緊の検討課題である。

#### 【注釈】

- 1)対象建物および周辺建物を再現した CFD 解析を事前実施し、16 風向別の風圧係数を算出した。
- 2)  $DR=(34-t_a)(v-0.05)^{0.62}(0.37\sqrt{T_u}+3.14)$   
 $t_a$ :空気温度[°C]  $v$ :平均風速[m/s]  $T_u$ :気流の乱れ強さ[%]
- 3)給気勢力範囲(SVE4)= $C_x/C_0$   $C_x$ :x における拡散物質濃度  $C_0$ :給気口から発生する拡散物質濃度

#### 【参考文献】

- 1)張ら：オフィスにおける自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集 No.83，2001 年 10 月
- 2) Fanger,P.O.,Melikov,A.K,Hanzawa,H.and Ring,J. :Turbulence and draft. ASHRAE DRAFT prENV,1997.6.