

建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第 50 報 CO₂ 濃度計算機能の追加

正会員 ○二宮 博史*1 同 長井 達夫*2
同 石野 久彌*3 同 村上 周三*4

BEST シミュレーション CO₂ 濃度制御

はじめに

本報では、新たに導入した CO₂ 濃度計算機能について、その計算法と CO₂ 濃度制御の計算例を報告する。既報¹⁾にて空調熱源や空調機コイルの容量や送風量などをシミュレーションで運転制御しながら調整していく仮設調整計算について概要を報告した。この CO₂ 濃度計算機能を利用して空調時の外気導入量を同時に調整する仮設調整の改良へと展開する予定である。

1. CO₂ 濃度計算機能の追加

CO₂ 濃度制御の計算のために、空気媒体クラス BestAir への CO₂ 濃度変数の追加、関係する各モジュールの接続ノード airIn から airOut への CO₂ 濃度の引継ぎ、PID 制御モジュールの観察対象への CO₂ 濃度の追加、入力画面からの CO₂ 濃度の設定などの改良を施した。

1.1. 空気媒体クラス

空気媒体クラス BestAir の管理変数として新たに CO₂ 濃度を追加した。BestAir の管理変数は乾球温度[°C]、絶対湿度[g/g]、質量風量[g/s]、CO₂ 濃度[ppm]の 4 変数となる。

1.2. CO₂ 濃度の計算方法

室の CO₂ 濃度の計算は、空調ゾーンごとに行う。空調ゾーンモジュールにおいて CO₂ 濃度の変化は図 2 に示す式 1-1 による。人からの CO₂ の発生量はエネルギー代謝率の関数として式 1-2 で求めており、熱負荷計算で設定している人密度と時刻別在室率から各計算ステップの人数に掛けて求める。ゾーン内の燃焼器具等からの CO₂ 発生量も同様に扱える。その場合は人の CO₂ 発生量の計算を代用し、燃焼器具の CO₂ 発生率スケジュールを作成して行うことになる。また、今回の計算ではゾーン間換気および隙間風による CO₂ の流出入の影響は考慮していない。OA/RA 混合チャンバーでは RA と OA が瞬時完全混合した CO₂ 濃度を出口状態としている。ゾーンと OA/RA 混合チャンバーを除いた CO₂ 濃度が変化しない送風系を構成するモジュール(冷温水コイル、加湿器、送風機)は入口 CO₂ 濃度をそのまま出口 CO₂ 濃度として下流側のモジュールへ渡している。

1.3. CO₂ 濃度制御

図 2 は空調機の送風系のモジュール構成で、CO₂ 濃度制御は PID 制御モジュールが代表ゾーンあるいは空調機 RA の CO₂ 濃度を観察し、目標値の CO₂ 濃度となるように OA/RA 混合チャンバーモジュールへ外気導入量の操作量を送信し、外気導入量が調整される。

ゾーンの CO₂ 濃度の計算

Mhum : 人からの CO₂ 発生量[g/s]
(ゾーン内燃焼器具等からの CO₂ 発生量)

Q : ゾーンへの SA[g/s]

Csa : SA の CO₂ 濃度[g/g]

Cz : ゾーン内の CO₂ 濃度[g/g]

Vz : ゾーン内の空気質量[g]

Ci および f(0) : ゾーン内の開始 CO₂ 濃度[g/g]

ゾーンの CO₂ の収支から

$$(Mhum + QCsa - QCz)dt = Vz dCz$$

$$\rightarrow \frac{dCz}{dt} + \frac{Q}{Vz} Cz - \frac{Mhum + QCsa}{Vz} = 0$$

ラプラス変換して

$$sF(s) - f(0) + \frac{Q}{Vz} F(s) - \frac{Mhum + QCsa}{Vz} \frac{1}{s} = 0$$

$$F(s) = \frac{Ci - Csa - \frac{Mhum}{Q}}{s + \frac{Q}{Vz}} + \frac{Csa + \frac{Mhum}{Q}}{s}$$

ラプラス逆変換して

$$f(t) = \left(Ci - Csa - \frac{Mhum}{Q} \right) e^{-\frac{Q}{Vz}t} + Csa + \frac{Mhum}{Q} \dots(1-1)$$

人からの CO₂ 発生量 Lhum[L/h 人]

$$Lhum = \text{人数} \times \text{在室率スケジュール} \times f_{CO_2}(\text{met}) \dots(1-2)$$

$$f_{CO_2}(\text{met}) = 0.4489 \times \text{met} \times \text{met} + 15.64 \times \text{met} \quad [\text{L/h 人}]$$

met : エネルギー代謝率

図 1. ゾーン内の CO₂ 濃度計算方法

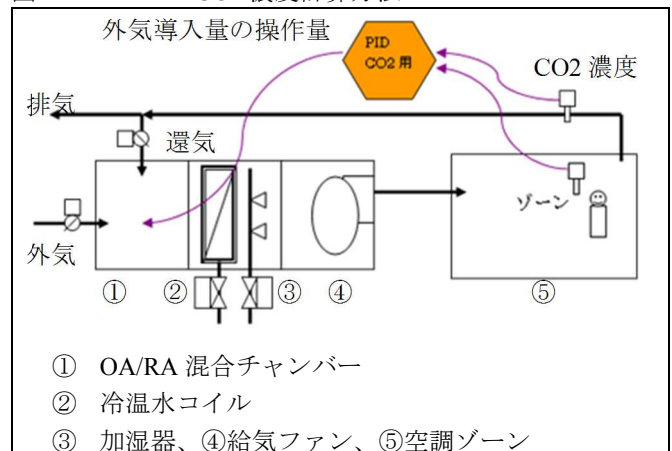


図 2. 空調機の送風系の構成

2. CO2 濃度制御の計算例

CO2 濃度制御の計算例を紹介する。

2.1. 計算モデル

図3に示す事務室と会議室各2ゾーンを1系統として空調するCAV方式とVAV方式について、CO2濃度制御があり・なしのケースについて計算した。空調機送風量、外気量および各ゾーンへの送風量は図3の設定とした。CO2濃度制御の目標値は900ppmとし、導入外気のCO2濃度は400ppmで一定とした。空調系統に事務室と会議室の在室人密度の異なるゾーンが混在しているが、CO2濃度の観察は空調機へのRAとした。

2.2. 計算結果

図4～図7に8月の2日間の結果を示す。CAV方式CO2濃度制御なしの場合、RAのCO2濃度は約750ppm、会議

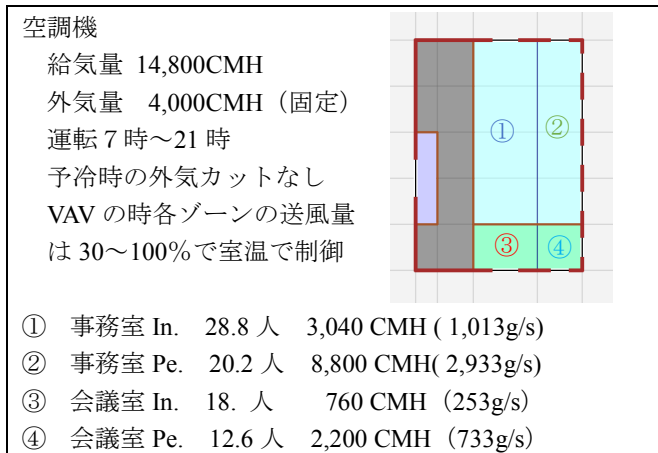


図3 計算モデル

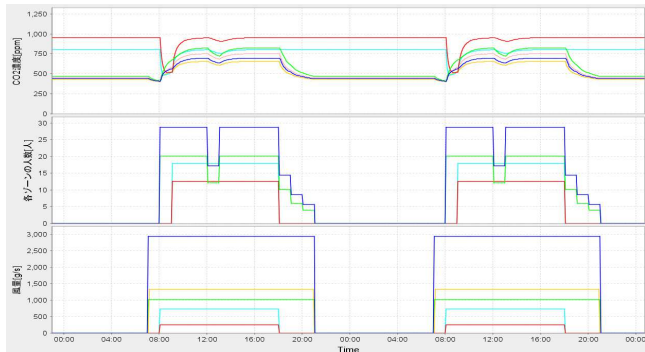


図4 CAV方式CO2濃度制御なし

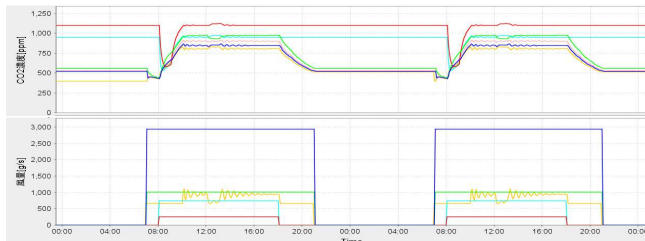


図5 CAV方式外気カットなしCO2濃度制御あり

室In.が高く950ppmとなった。CAV方式でCO2濃度制御を行うと、RAがほぼ目標値の900ppmとなるように外気導入量が調整されているが、会議室In.が1000ppmを超える結果となった。VAV方式のCO2濃度制御なしの場合では、会議室Pe.への送風量の減少でCO2濃度が上昇している。VAV方式でCO2濃度制御を行うと、会議室Pe.と会議室In.が1000ppmを超える結果となった。このように、空調制御等による送風量や外気導入量の変動によるゾーンのCO2濃度への影響を確認できるようになった。

3. まとめ

CO2濃度計算機能について、その計算法とCO2濃度制御の計算例を報告し、省エネと環境を同時に計算し評価できることを示した。今後、この機能を利用して空調時の外気導入量を同時に調整するように仮設調整の機能改良を行う予定である。

【謝辞】本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。

【参考文献】1) 二宮博史 他, 建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発第 35 報テンプレートを利用した空調設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集 {2012.9 (東海)}
2) 二宮博史 他, 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 103) 仮設調整テンプレートの改良と換気計算用モジュールの開発, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2012.9.5~7 (札幌)}
3) 田中俊六他、建築環境工学 (1993 年改訂 19 版) P.37

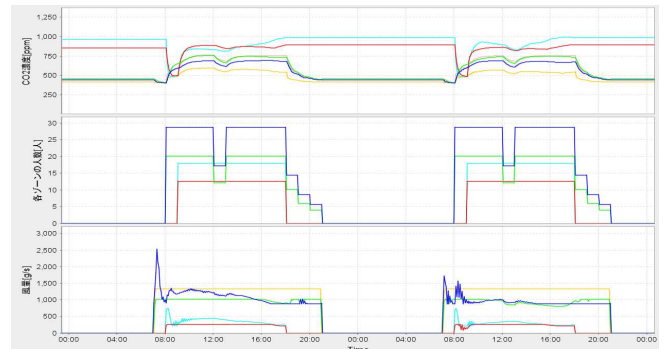


図6 VAV方式外気カットなしCO2濃度制御なし

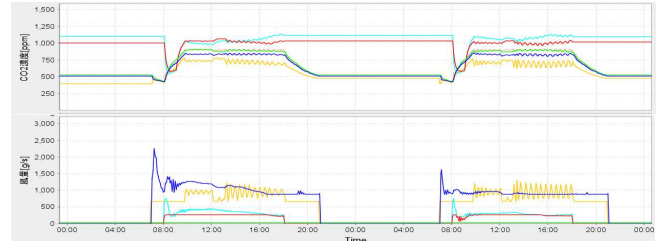


図7 VAV方式外気カットなしCO2濃度制御あり

*1 日建設計
*2 東京理科大学 教授 工博
*2 首都大学東京 名誉教授 工博
*3 建築環境・省エネルギー機構 理事長 工博

*1 Nikken Sekkei Ltd.
*2 Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.
*3 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
*4 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr.Eng.