

オフィス空間を対象とした室内環境制御に関する研究

その1 実験室の概要と換気量制御に関する基礎的検討



村江 行忠*1

三浦 寿幸*1 鈴木 孝彦*1
 伊藤 優*1 岡本 隆司*2
 山岸 一郎*2 白戸 精*2
 福田 秀雄*2 秋山 真吾*3
 齊藤 朗立*4 香月 泰樹*5
 竹中 優揮*6 岩岸 宏次*7
 中西 博*8

概 要

本報告は、新たに整備した室内環境に関する実験施設の概要と、その実験施設においてCO₂センサの位置や違いに着目して換気制御に関する基礎的検討を行った結果の概要である。検討により得られた知見は以下のとおりである。

1) 十分に攪拌された室内においては、室内の測定位置によるCO₂濃度の差はほとんどない。2) 室内にCO₂センサを設ける場合は呼気による直接的な影響に配慮する必要がある。3) ショートサーキットやリークに対しての設計・施工上の配慮が必要である。4) レタンダクト内CO₂濃度で換気量制御を行う場合はショートサーキットなどにより室内の濃度が高めになる可能性がある。5) センサの自動補正機能により誤差が生じる可能性があり、それにより換気量が増減する。6) CO₂制御でも在室者数制御でも同等の換気量削減効果がある。7) 在室者率が換気量の削減率に影響する。

Study on Indoor Environment Control in Office Space Part 1 Outline of Experimental Laboratory and Basic Examination of ventilation Control

Yukitada MURAE*1 Toshiyuki MIURA*1
 Takahiko SUZUKI*1 Yu ITO*1
 Takashi OKAMOTO*2 Ichiro YAMAGISHI*2
 Tadashi SHIRATO*2 Hideo FUKUDA*2
 Shingo AKIYAMA*3 Akiharu SAITO*4
 Hiroki KAZUKI*5 Yuki TAKENAKA*6
 Hiroji IWAGISHI*7 Hiroshi NAKANISHI*8

This paper is the outline of newly indoor environment laboratory and basic examination of CO₂ Sensor for Ventilation Control at its laboratory.

The Results are following that, 1) In the air agitated room, there is no difference of the concentration by the position of CO₂ sensor, 2) When CO₂ sensor is installed indoors, it is necessary to take the influence by expiration into consideration, 3) At designing and constructing, the measure against a short circuit or leak is required, 4) There is a possibility that indoor CO₂ concentration may become high by a short circuit, 5) An error may arise by the automatic compensation function of a sensor, 6) Control by a staying-in-the-room person also has an effect equivalent to control by CO₂ concentration, 7) The rate of a staying-in-the-room person contributes to the reduction rate of an amount of ventilation.

*1 技術研究所 *2 設備設計部 *3 エンジニアリング部 *4 建築設備部 *5 技術企画部 *6 東京支店建築設備部

*7 計画設計部 *8 建築積算部

*1 Technical Research Institute *2 Equipment Design Department *3 Engineering Department *4 Building Equipment Department

*5 Technical Planning Department *6 Tokyo Branch, Building Equipment Department *7 Architectural Design Department

*8 Architectural Quantity Survey Department

オフィス空間を対象とした室内環境制御に関する実験的研究

その1 実験室の概要と換気量制御に関する検討

村江 行忠*1 三浦 寿幸*1 鈴木 孝彦*1 伊藤 優*1
 岡本 隆司*2 山岸 一郎*2 白戸 精*2 福田 秀雄*2
 秋山 真吾*3 齊藤 朗立*4 香月 泰樹*5 竹中 優揮*6
 岩岸 宏次*7 中西 博*8

1. はじめに

近年、地球温暖化の深刻化により CO₂ 排出量削減が必須となり、また東日本大震災後のエネルギー供給体制の変化にともない、より省エネルギー化に取り組むことが求められている。また、オフィス空間においては、節電・省エネルギーを図りながらも快適性および知的生産性の維持・向上に配慮した室内環境の形成へのニーズが高まっている。そのような社会的背景を踏まえ、より少ないエネルギーで良好な室内環境を形成するための各種研究開発を行うことを目的に、オフィスを模した室内環境実験室 (Indoor environment Lab.) を構築した。本報では、室内環境実験室 (以下、実験室) の概要を紹介するとともに、実験室を用いて行った換気量制御に関する検討結果を概述する。

また、水熱媒の天井放射パネルを設けることにより放射環境の制御も可能であるとともに、可動間仕切りと外壁の間を暖房することで冬期の冷房実験にも対応した。その他、ペリメータに関する実験、外気量に関する実験にも配慮をした。



写真-1 実験室内観

2. 実験室の概要 1)

実験室は戸田建設技術研究所 (茨城県つくば市) の本館内の一部を改修して構築した。写真-1に実験室内観写真、図-1に実験室平面図・断面図を示す。

2.1 建築的仕様

1部屋あたり 4,775mm × 6,500mm × 2,800mm (H) の同じ大きさで、同じ仕上げのふたつの部屋 (実験室1、2) が左右対称に並列している。2室間で異なる環境を作り出し、ふたつのシステムの違いをデータだけではなく、体感して比較することができる。2室間の間仕切り壁を開放することにより、1室としての実験も可能である。また、南外壁面には高断熱の可動間仕切りを設けており、外皮の熱負荷処理および自然光利用に関する実験、もしくは可動間仕切りを閉めることでそれらの影響がない実験が可能である。その他天井・床にそれぞれシステムグリッド天井、OAフロアを採用するなど、さまざまな実験条件に対応するための汎用性・可変性を確保している。

2.2 設備的仕様

図-2に1室分の概略空調系統図を示す。

冷熱源は空冷ヒートポンプチラー、温熱源は電気ヒーターとしたが、一部は本館の既設空調設備の冷温水も利用している。

実験室1、2それぞれに機械室が隣接し、比較実験ができるように同様の設備を2対設けた。1室あたり2台の空調機を有しており、室温のコントロールとは別に、任意の温度で吹き出すことも可能とした。また、吹出し、吸込みの組合わせを天井、床で任意に設定できるものとした。

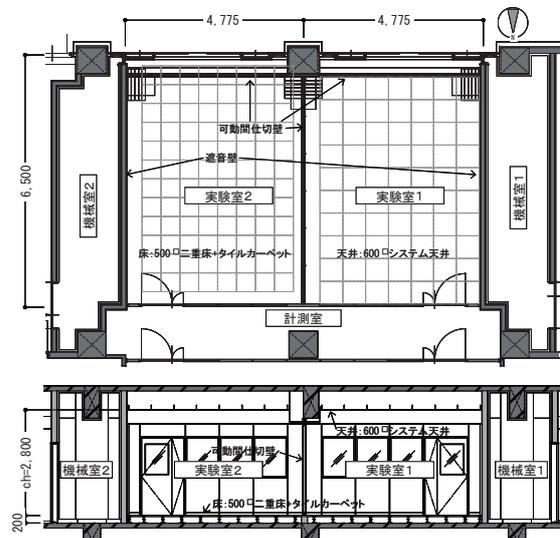


図-1 実験室平面図・断面図

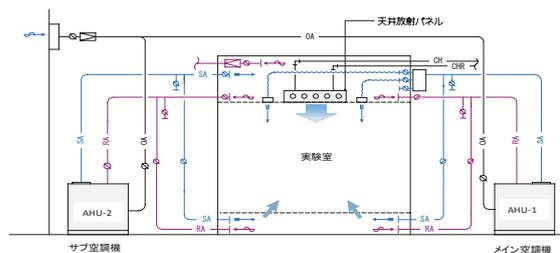


図-2 概略空調系統図 (1室)

*1 技術研究所 *2 設備設計部 *3 エンジニアリング部 *4 建築設備部 *5 技術企画部 *6 東京支店建築設備部
 *7 計画設計部 *8 建築積算部

2.3 計測システム

計測システムとしては、温度・湿度・放射などの温熱、照度・輝度などの光、CO₂・VOCなどの空気質、気流などの室内環境要素とともに、風量、消費熱量、消費電力の計測が可能であり、環境性能と環境負荷の両方の評価が可能である。

3. 換気量制御に関する検討

空調分野では、省エネルギーへの取り組みとして外気負荷を低減するため、CO₂濃度による換気制御（以下、CO₂制御）が用いられている。CO₂制御は、レタダクト内にCO₂センサを設け、空調システム全体を制御する方法が一般的であるが、小さな面積（ゾーン）ごとに制御を行うことにより、さらに省エネを図ることが期待できる。また、そのためにはCO₂センサが十分な精度を有している必要がある。

ここでは、測定位置やセンサの違いによる影響を実験的に検討するとともに、実大のオフィスを想定した数値予測により、換気制御手法などが、換気量、CO₂濃度に及ぼす影響を検討した。

3.1 CO₂濃度の測定位置による違いに関する実験²⁾

測定位置によるCO₂濃度の差異について検証を行うため、前述した実験室において実施した研修中のCO₂濃度変化を3カ所で測定した。

(1) 実験概要

実験時の空調概念図、配置図を図-3、4に実験概要を表-1、スケジュールと在室者数の推移を表-2に示す。研修は講師1名による座学を中心とした技術研修で、基本的に講師は立位、受講者5名は着席にて行われ、他に補助員3名が必要に応じて入退室し、最大9名が在室した。空調条件としては循環風量約800m³/h、設定温度24℃で冷房運転を行い、換気量は常時在室する6名に対応した約150m³/h一定とした。CO₂濃度の測定位置は受講者が着席する室内中央（机上中央）、壁側、レタダクト内の3カ所とし、研修30分前から研修2時間後まで10秒間隔で測定・記録した。なお、実験時の外気のCO₂濃度は465ppmであるとともに、CO₂センサについては事前に校正を行い、外気濃度に対する差が5%以内であることを確認した。

(2) 実験結果および考察

実験結果としてCO₂濃度の測定値とあわせて予測による経時変化を図-5に示す。

濃度予測については瞬時一様拡散を仮定し、重量収支バランスによる式1を用いて、在室者1名あたりのCO₂発生量を200mL/min³⁾、時間ステップを6分とした。なお、換気量などは実測値を用いたが、ドアおよび可動間仕切り開放による換気については考慮していない。また、測定値については1分ごとの平均値を求めた。

CO₂濃度は全体的に在室人数に応じて増減する傾向が見られ、在室者数が想定より多かったために、基準濃度(1000ppm)⁴⁾に達した時間帯もあった。

測定位置による違いとして、室内中央と室内壁側を比較すると、平均的には濃度の差はほとんど見られなかった。これにより室内の空気が良く攪拌されていた

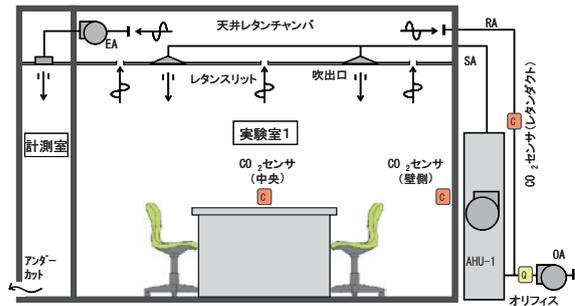


図-3 空調概念図

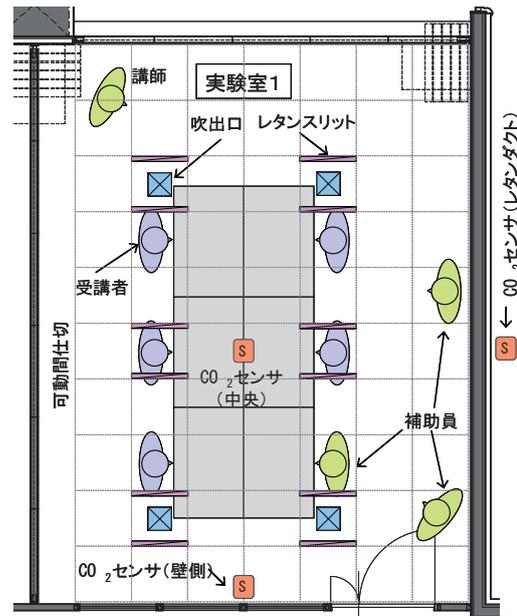


図-4 配置図

表-1 実験概要

項目	条件等
■実験日	2012年4月
■実験室	約28.7m ² × 2.8m (CH) = 約80.2m ³
■空調条件	運転モード：冷房（設定温度24℃） 湿度制御：成り行き 循環風量：約800m ³ /h 吹出：天井角形アネモ（250 × 175） × 4箇所 吸込：天井スリット（582 × 20） × 12箇所
■換気条件	第一種換気（換気量：約150m ³ /h）
■在室者	受講者：30代男性 × 5人 講師：40代男性 × 1人 補助員：20代、30代、40代男性各1人 研修内容：座学を中心とした技術研修
■CO ₂ 測定	センサ：非分散赤外線吸収（NDIR）方式 計測範囲：0~4,000ppm、精度：±50ppm 測定位置：室中央、壁側、レタダクト内 測定間隔：10sec（内蔵メモリに記録）

表-2 スケジュールと在室者数推移

時刻	内容	在室者数	時刻	内容	在室者数
8:30	測定開始	0	10:30	研修再開	6
8:36	研修準備	1	11:12	可動間仕切り一部開	6
8:46	↓	2	11:18	可動間仕切閉	6
8:54	↓	3	11:24	(中央に集まる)	6
9:00	↓	2	11:30	↓	6
9:12	研修開始	9	11:36	退出	0
9:18	↓	7	11:42	入室	6
10:06	(中央に集まる)	7	11:48	退出	0
10:18	休憩	0	14:00	測定終了	0

ものと想定されるが、瞬間的には室内中央の濃度が高くなる場合がみられた。その原因としては、室内中央は机上で測定しているため、呼気の影響を直接受けているものと考えられ、受講者が中央部に集まった10時過ぎと11:30前に顕著にみられた。また、11時前には講師が近づいたことにより、室内壁側の濃度のほうが高い時間帯がみられた。このことにより、十分に攪拌された室内においては、室内の測定位置による差異はほとんどないが、呼気による直接的な影響に配慮する必要があると考えられた。

レタダクト内のCO₂濃度は室内中央および壁側の濃度に比べて10%程度低い濃度であった。これは吹出し口とレタダクトが近いことによるショートサーキットや給気ダクトからのリークが原因として考えられた。これにより、ショートサーキットやリークに対する設計・施工上の配慮の必要性とともに、換気量制御のためにレタダクト内でCO₂濃度を測定する場合、それらの状況によっては室内の濃度が高くなる可能性があることが示唆された。

CO₂濃度の予測結果については室内の濃度測定結果の傾向と良くあっていた。予測上考慮していない事項として、ドアおよび可動間仕切りの開閉による換気があるが、計測室に排気を取っているために濃度差が小さく、短時間の開閉であることからドア開閉による大きな影響はみられなかった。一方、可動間仕切りについては隣室は無人であったことと開放時間が長いことにより、11:00から11:30の間でCO₂濃度が下がり、予測値との差異が生じた。このことにより、ドアの開閉などによる換気がない条件においては予測濃度による各種検討も可能であると思われる。

3.2 センサの違いに関する実験⁵⁾

現在、空調制御用に用いられているCO₂センサとしては、非分散赤外線吸収方式(NDIR)と固体電解質方式(SE)が一般的であり、それらのセンサによる濃度の違い、および理論値との比較を行うために以下に示す実験と数値予測を行った。

(1) 実験概要

今回、同一メーカーの表-3に示す空調制御用センサの指示値の差異について前述の実験室において比較を行った。実験条件としては、基本的に前記実験概要(表-1)と同様であるが、実験室内は無人として人の代わり人体を模擬した発熱体として電気毛布(55W×6席)を掛けた座席位置において約1200mL/min(200mL/min×6人)のCO₂ガスをボンベから供給し放出した。2種類のCO₂センサは室内中央の位置に並べて設置し、10秒ごとの濃度変化と換気量(外気ダクト風量)を測定・記録した。

また、濃度予測も同様の方法を用い、CO₂発生量を1200mL/min、時間ステップは10秒とした。

(2) 結果および考察

実験と予測によるCO₂濃度の経時変化を図-6に、予測値と実測値の比較を図-7に示す。実験室は通常の空調空間であるため拡散場であると考えられるが、予測値とNDIR方式のセンサAの測定値は高濃度域においてやや低めの値になったものの、濃度の増加・

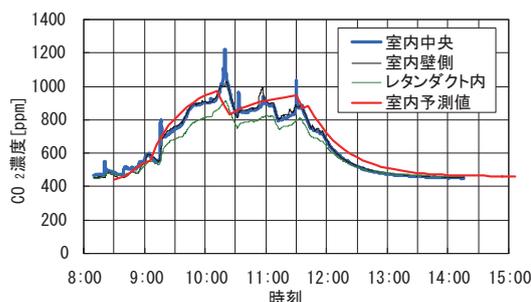


図-5 CO₂濃度の経時変化

濃度予測式

$$C_t = C_0 + (C_{t-1} - C_0)e^{-n} + \frac{M}{Q}(1 - e^{-n}) \quad (式 1)$$

C_t : 時間 t の濃度 [mg/m³]
 C_{t-1} : 時間 $t-1$ の濃度 [mg/m³]
 t : 時間 [h]
 Q : 換気量 [m³/h]

C_0 : 外気濃度 [mg/m³]
 n : 換気回数 [回換気/h]
 M : 発生速度 [mg/h]

表-3 センサの仕様

記号	センサ A	センサ B
方式	非分散赤外線吸収方式 (NDIR)	固体電解質 (SE)
メーカー	A 社	
計測範囲	0 ~ 2000ppm	400 ~ 2000ppm
精度	± 50ppm	記載無し
初期安定時間	3 日	48 時間
校正	ゼロガス校正 1 回 / 年	1 日の最低濃度を 400ppm に自動補正

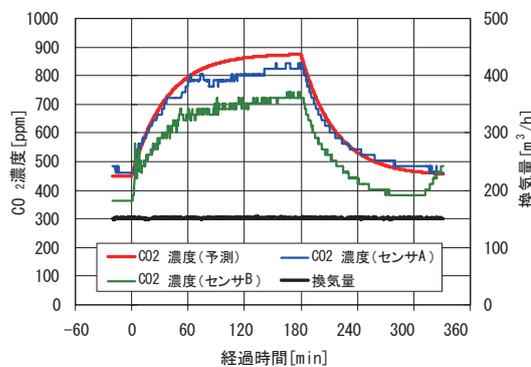


図-6 CO₂濃度の経時変化

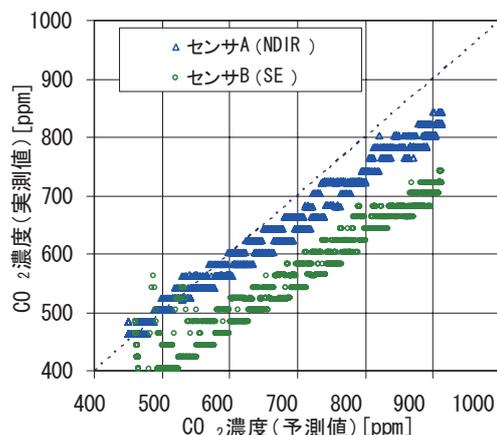


図-7 CO₂濃度の予測値と実測値の比較

減少の様子も良く一致していた。一方SE方式のセンサBでは全体的に100ppm程度低めの値を示したが、これはセンサ方式による精度などが原因ではなく、センサBの自動補正機能に起因していると思われる。図-8は本実験とは別に測定したCO₂濃度であるが、センサBは1日の最低濃度を400ppmとみなして補正を行う自動補正機能を有しているため、センサAの濃度が変化していないにもかかわらず23時頃にセンサBの濃度に急激な変化がみられた。

3.3 実大オフィスを想定した予測⁵⁾

実大のオフィスを想定して、各条件で換気量を制御した場合のCO₂濃度と換気量を予測した。

(1) 予測概要

日本建築学会オフィス用標準問題の建物モデル⁶⁾の1フロアを対象として、表-4に示す条件で予測を行った。換気制御としては、風量の制御は行わず一定風量とした場合(条件1)、CO₂濃度で換気風量の比例制御を行う場合(条件2)、CO₂制御を行うがセンサに+100ppmの誤差が生じた場合(条件3)、タスクアンビエント空調システムを想定し、在室者数で換気量を制御する場合(条件4)の4条件とした。予測計算の時間ステップは60秒として、平日1日を想定した周期定常で予測するものとし、CO₂制御においては前時間(60秒前)のCO₂濃度から、在室者数制御においては当該時刻の人数により換気量を決定するものとした。

(2) 予測結果

在室者数の変化とあわせて、CO₂濃度および換気量の変化を図-9に、各条件における1日の換気量の総計を図-10に示す。今回の予測条件において在室率は最大70%であるため、最大風量で一定換気を行う条件1では他の条件に比べて、CO₂濃度は低く換気量が多くなったが、換気停止後に濃度が上昇しており、時間外の在室者数によっては、CO₂濃度が高くなることが考えられた。CO₂制御を行う条件2の1日の換気量は条件1の約70%であり在席率を反映する形であり、在室者数制御でも同様であった。このことより、CO₂制御でも在室者数制御でも在室率が低いほど同等の効果があることがわかった。またセンサに誤差がある場合は誤差に応じて換気量が増減するが、経時変化をみると残業時間の長さによっては翌朝までにCO₂濃度が十分に下がらない可能性があり、前述したセンサBのような自動補正機能を有するセンサを使用する場合には、夜間に外気に近い濃度になる位置に設置するなどの配慮が必要であることが示唆された。

4. おわりに

新たに整備した室内環境に関する実験施設の概要と、その実験室を利用した換気制御に関する実験結果を述べた。得られた知見は以下のとおりである。

- 十分に攪拌された室内においては、室内の測定位置によるCO₂濃度の差はほとんどない。
- 室内にCO₂センサを設ける場合は呼気による直接的な影響に配慮する必要がある。
- ショートサーキットやリークに対しての設計・施工上の配慮が必要である。
-

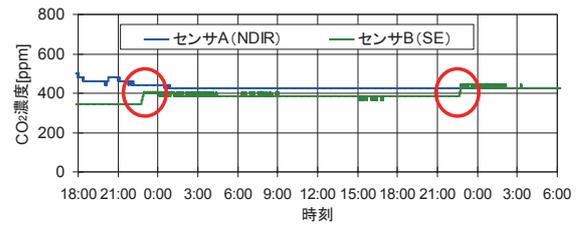
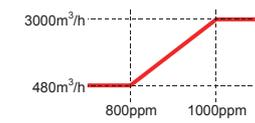


図-8 CO₂濃度の経時変化(別途測定)

表-4 予測条件

■事務室 ⁶⁾	床面積：605.16m ² 天井：2.6m
■在室者数 ⁶⁾	最大120人(0.2人/m ²) ※在室率スケジュール 08時：0%、09時：70%、12時：70%、 13時：35%、14時：70%、17時：70%、 18時：35%、19時：17%、20時：0%
■換気設備	設計換気量：25m ³ /h/人 ⁶⁾ 換気設備容量：3000m ³ /h 常時換気風量：480m ³ /h(0.3回換気/h)
■換気制御	
条件1	一定換気 8:00~18:00の間を3000m ³ /hで換気
条件2	CO ₂ 制御① 下図に示す比例制御を行う 
条件3	CO ₂ 制御② 条件2でセンサ誤差+100ppmの場合
条件4	在室者数制御 在室者数×25m ³ /hを換気する

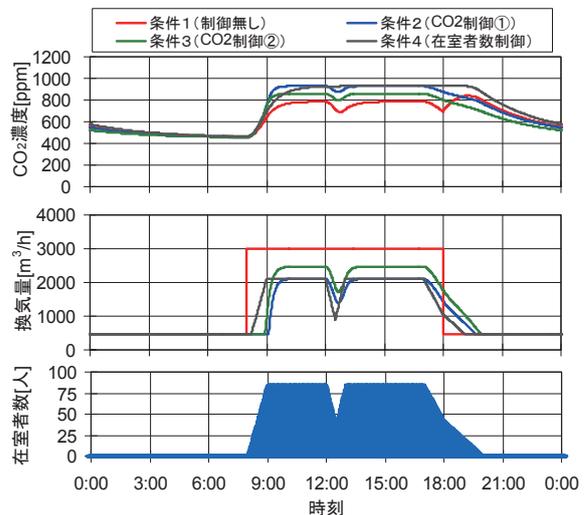


図-9 在室者数・CO₂濃度・換気量の経時変化

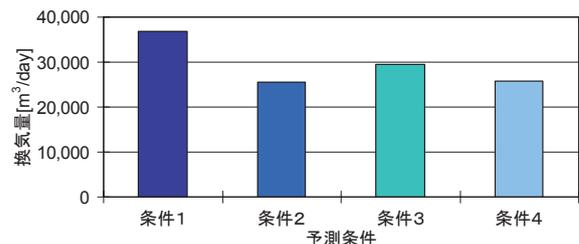


図-10 各条件における1日の総換気量

レタダクト内 CO₂ 濃度で換気量制御を行う場合はショートサーキット等によりは室内の濃度が高めになる可能性がある。5) センサの自動補正機能により誤差が生じる可能性があり、それにより換気量が増減する。6) CO₂ 制御でも在室者数制御でも同等の換気量削減効果がある。7) 在室者率が換気量の削減率に影響する。

参考文献

- 1) 伊藤他、オフィス空間を対象とした室内環境に関する研究（第1報）実験室の概要と吹出口周りの気流性状に関する基礎的検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012
- 2) 鈴木他、オフィス空間を対象とした室内環境に関する研究（第2報）換気量制御のための CO₂ センサの位置に関する実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012
- 3) 池田耕一、室内空気汚染のメカニズム、鹿島出版会、1992
- 4) 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準
- 5) 村江他、オフィス空間の環境制御手法に関する実験的研究 その2 CO₂ センサに関する実験と濃度および換気量の数値予測、日本建築学会大会学術講演会梗概集、2012
- 6) 滝沢、標準問題の提案（オフィス用標準問題）、日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回シンポジウム、pp.35-42、1985