

## 温熱環境調整システムの拡張による換気管理への発展

### Development of Ventilation Management by Expanding Thermal Environment Adjustment System

深井裕二\*

Yuji Fukai

#### 概要

我々の住環境において、室内空気質は健康や快適さの観点から重要であり、仕事などの生産性への影響も注目されている。近年の戸建て住宅では、第1種換気などの機械換気によって24時間自動換気が実現され、良好な室内空気質の維持のための設備が整ってきた。本研究ではこれまでPCやIoTデバイスを用いて開発してきた温熱環境調整システムを拡張し、温湿度および空気質センシングをもとに様々な換気装置を制御する換気管理システムの開発を行った。そして、状況に応じた効果的な24時間自動換気の運転方法を検討した。

#### 1. はじめに

近年の住宅建築では高断熱高気密仕様が主流となり、より快適で省エネルギーな住環境の実現が推進されている<sup>(1)</sup>。また、かつての住宅とは異なり、換気方法が機械換気(24時間換気システム)へと移行した。健康への安全性、快適性および省エネルギー性を目的としたよりよい換気のためには、空気中の汚染物質濃度を計測し、最適な機械換気運転を行う自律的システムが有効であると考えられる。本研究では、これまで開発した温熱環境調整システム<sup>(2)</sup><sup>(3)</sup>を拡張し、空気質センシングを用いて換気装置を制御する換気管理システムの開発を行った。

#### 2. 換気の必要性と室内空気質の維持

高気密住宅では、室内に自然換気口を設けず、天井裏、壁内および室内の間で空気を隔てる気流止めの工法が用いられる。また、窓、コンセントおよび配管周囲等の空気が移動する隙間は僅かであり、住宅の隙間を表すC値は0.5~1.0 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>と小さい。このような環境では、機械換気を導入しなければ空気中に汚染物質が蓄積される。例えば人の呼吸で発生する二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の濃度上昇は健康上の問題となり、燃料の燃焼で生成される一酸化炭素(CO)や二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)は危険性が高く注意を要する。さらに、空気中の粒子状物質(Particulate Matter,

PM)および揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOC)などの汚染物質の滞留によるシックハウス症候群等の健康被害の恐れも懸念される。

現在建築される住宅には建築基準法によって機械換気設備の設置が義務付けられ、居室容積に対し換気回数0.5回/h(以下、標準換気回数: Standard Air Change, SAC)を満たす性能が必要である。これは全居室の空気が新鮮な外気と入れ替わる回数である。近年の新築住宅で用いられる建材は、本法律が定めるホルムアルデヒド発散建材の使用規制対象外のものが一般的である。こうした安全な建材は日本工業規格(JIS)および日本農林規格(JAS)で定められたホルムアルデヒド放散量区分である「F☆☆☆☆」や、日本接着剤工業会(JAIA)で定められた主要VOCの放散適合基準である「4VOC」などを満たしている。建材の深刻な汚染物質放散は改善されたが、日常生活の様々な行動でも汚染物質が放散されるため、空気質の改善は重要である。

SACは換気設備設置義務の条件であるが、健康を害さず生活するための運用基準と捉えられる。しかし、汚染物質発生量の変動性も考慮すべきである。例えばCO<sub>2</sub>濃度は居住者の在宅数と活動状態およびガスコンロ等の使用などに依存し、他に人体に悪影響を与えるPMやVOC等が室内の空气中に滞留する場合がある。それらが室内で発生する原因は、洗剤、

\* 北海道科学大学工学部情報工学科

除菌・殺菌剤、接着剤、塗料、防臭・芳香剤、防虫剤、スプレー類の使用や住居外からの荷物の搬入・開封、調理、喫煙、超音波式加湿器の使用など様々である。こうした生活行動によって不定期に劣化する空気質を正常化するために、常時一定量の換気では過不足が生ずる可能性がある。

建物の中で人が快適と感じる空気の質を表す指標として室内空気質（Indoor Air Quality, IAQ）があり、関連して空気質センサを用いた IAQ モニター製品<sup>(4)</sup>も多い。一般に室内空気の汚染度や換気状況の評価指標として CO<sub>2</sub> 濃度を用いることができ、これを測定・モニターすることで換気の判断ができる。換気が必要な際に窓や換気扇を操作する場合、換気の風量・時間の制御は大雑把となり手間もかかる。また、過剰な換気は居住者の快適性や住宅の省エネルギー性を低下させる場合がある。例えば夏季の温暖地や冬季の寒冷地では、外気流入が室温を大きく変化させ、冷暖房機器のエネルギー消費量を増やす要因となる。同様に夏季や冬季における外気の絶対湿度が高湿度や低湿度となる環境では、外気の流入によって室内の快適な湿度が保持されず加湿・除湿器のエネルギー消費量を増やす要因となる。

室内と屋外の温度・湿度差による問題の対策として、熱交換システムの導入が挙げられる。全熱交換型のシステムならば、温度および湿度の両方の交換によって外気の温湿度の影響を受けにくい。しかし多くの機器で熱交換率が80%程度、湿度交換率が60%程度であることを考慮すると、換気量が多いほど室内の温湿度は屋外環境に近づく。外気温が-10℃に達する北海道などの寒冷地では、低温化や過乾燥に起因するエネルギー消費や健康被害が懸念される。

本研究の目的は、室内空気質の維持、健康への安全性、寒冷地を考慮した快適性および省エネルギー性の自動的確保である。そのために健康被害を引き起こす汚染物質濃度をモニターし、各計測値に基づき換気量を自動的に制御するシステムを検討する。

### 3. 空気中の汚染物質と濃度

健康被害を防ぐために表1の汚染物質の基準値<sup>(5)</sup><sup>(6)</sup><sup>(7)</sup>が建築物衛生法や環境基本法で示されており、これらを超えて上昇し続けた場合は健康被害が懸念される。症状として CO による頭痛、めまい、吐き気等の中毒症状、CO<sub>2</sub> による気分悪化、集中力低下、頭痛、めまい、倦怠感などが挙げられる。また CO<sub>2</sub> 濃度上昇では精神作業能の低下、眠気の増加お

よび作業の生産性低下などが報告されている<sup>(8)</sup><sup>(9)</sup>。PM について、特に PM<sub>2.5</sub> は粒径 2.5 μm 以下と微小であるため、人体の肺胞まで入り込みやすく呼吸器系への健康被害の恐れがある。室内の PM<sub>2.5</sub> を除去するために窓・換気口から自然吸気すると大気中の PM<sub>2.5</sub> が室内に入り込む。対して第1種換気システムは、その多くが給気フィルターによる PM<sub>2.5</sub> 除去率が98%程度の性能を有しており、室内で発生・滞留する PM<sub>2.5</sub> の除去に対し有効であると言える。

厚生労働省により人体に影響する VOC 種類と濃度指針値が示されている<sup>(10)</sup>。併せて VOC 指針値を総合的に見る指標として、総揮発性有機化合物量（Total Volatile Organic Compounds, TVOC）の暫定目標値が 400 μg/m<sup>3</sup> と示されている。諸外国でもこうした基準が設けられた例は多く、環境先進国と呼ばれるドイツの連邦環境庁（UBA）では、TVOC に関する空気質指数（Air Quality Index, AQI-UBA）<sup>(11)</sup> が細かく定義されている（表2）。これは衛生上の問題を5段階でレベル分けしたものであり、厚生労働省の TVOC 指針値はおおよそ AQI レベル2（良好）に相当する。AQI-UBA は国際的にも広く受け入れられており、半導体センサ等のメーカーである ScioSense や Renesas では、空気質センサの設計基準として採用されている<sup>(12)</sup><sup>(13)</sup>。

表1 環境基準と健康被害

物質	基準値	健康被害の症状
CO	～6 ppm	200ppm～ 頭痛・吐き気 400ppm～ めまい・失神
CO <sub>2</sub>	～1000 ppm	2000ppm～ 眠気・集中力低下 4000ppm～ 頭痛・倦怠感
NO <sub>2</sub>	～0.06 ppm	5ppm～ 呼吸機能低下
PM <sub>2.5</sub>	～15 μg/m <sup>3</sup> 年 ～35 μg/m <sup>3</sup> 日	呼吸器疾患、循環器疾患、肺がんの増悪因子となる

表2 空気質指数の定義（ドイツ連邦環境庁）

AQI レベル / 評価		TVOC (ppm)
5	健康を害する	2.2 ～ 5.5
4	不良	0.65 ～ 2.2
3	中程度	0.22 ～ 0.65
2	良好	0.065 ～ 0.22
1	極めて良好	0 ～ 0.065

#### 4. IoT デバイスによるシステム構成

温熱環境調整システムは室内外の温湿度センシング機能を有しており、本研究ではこれら既存機能に加え CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> および TVOC センサを用いた空気質センシング機能および換気装置のコントロール機能を追加し、換気管理システムとしての機能拡張を行った(図1)。コントロール対象としては、全般換気である第1種換気システム、局所換気であるキッチンのレンジフード、浴室およびトイレの換気扇である。本システムでは複数のセンシングおよびコントロール装置をIoTデバイスとして導入あるいは製作し、ホストPCのプログラムで集中管理する。全IoTデバイスはLANで完結し、インターネット環境の有無に左右されない。また、クラウドサービスは用いずプログラムで柔軟に処理する。本システムの処理形態について、以下に特徴を挙げる。

- (1) 全般換気の換気量は、換気回数、空気質センサ値および局所換気状態など複数の要素を考慮し換気量を決定する。そのため一元的に状態を把握し優先順位により換気量を決定する。
- (2) 全般換気と局所換気の干渉で不都合が生ずる場合があり、それらの運転状態を把握し、適切に調整または排他運転の制御を行う。
- (3) センシングおよびコントロール部分をIoTデバイスとして分散・自律させることで、システムの拡張容易性とメンテナンス性を高める。

特徴(1)について、例えば換気の重要度がCO<sub>2</sub>正常化、PM<sub>2.5</sub>正常化、必要換気回数維持の順である場合、最高優先順位であるCO<sub>2</sub>正常化を選択し、その緊急

性や必要換気量によって換気装置を適宜制御する。また(1)および(2)について、一般にレンジフードは風量が非常に大きいため高気密住宅では室内が強い負圧となる問題がある。この場合、レンジフードを優先運転させ、第1種換気システムは給気風量を上げ排気風量を下げる連携が緩和策となる。また、浴室換気扇では、100%近い湿度の空気がリビング等になるべく流出しないよう、排気路を浴室換気扇に集中させるよう第1種換気システムの排気風量を下げる連携が有効である。(3)について、ホストPCとIoTデバイスによる構成では、先行研究での機能拡張<sup>(3)</sup>においても、プログラムコードの記述は追加機能分に対する箇所が主であり、既存コードの大幅な変更はない。これは各機能の独立性が高く、システム拡張時の開発生産性に優れている。

図2にシステム構成を示す。これは本研究におけるシステム運用環境(戸建て住宅1階部分)に即したものである。センシングIoTデバイスについて、換気管理では温度センサとして屋外に設置したものを、また湿度センサとして居室部の中央(リビング)、キッチンと浴室に設置したものを使用する。

図3は、新規追加した空気質センシング用のIoTデバイスであり、リビングに設置した。CO<sub>2</sub>およびPM<sub>2.5</sub>の測定にはラトックシステム社のRS-BTEVS1<sup>(14)</sup>を用いた。本製品にはSensirion社製の光音響NDIR方式による測定精度が高いCO<sub>2</sub>センサSCD40およびPM<sub>1/2.5/4/10</sub>が測定可能なPMセンサSPS30が搭載されている。RS-BTEVS1はBluetoothによってホストPCと通信するIoTデバイスである。TVOCの測定には

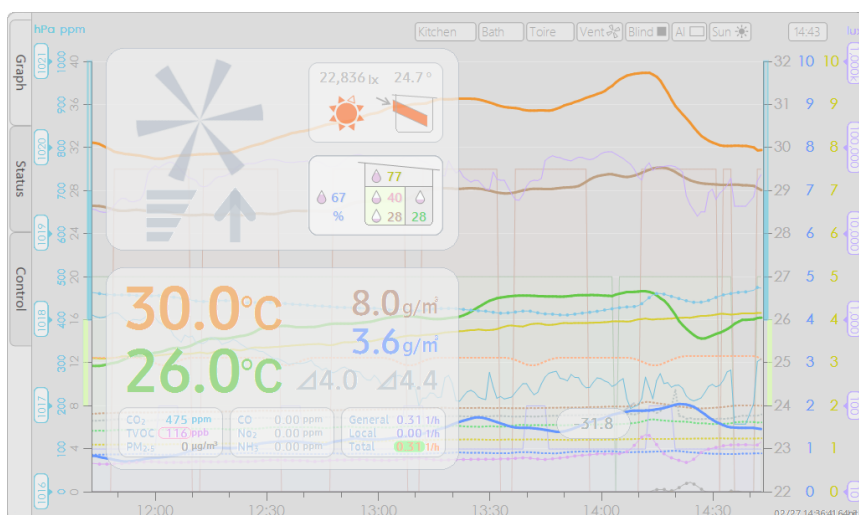


図1 換気管理システムのモニタリング画面(左)、壁に設置されたディスプレイ装置(右)

DFRobot 社の Gravity<sup>(15)</sup> (TVOC センサに ScioSense 社 ENS160 を搭載) を、また CO, NO<sub>2</sub> の測定には Pimoroni 社の PIM569<sup>(16)</sup> (ガスセンサに SGX Sensortech 社 MICS6814 を搭載) をそれぞれ用いた。ENS160 は VOC 検知器の評価基準である ISO16000-29 に準拠し、AQI-UBA に基づき設計されている。また、室内空気質に関する WHO ガイドライン<sup>(17)</sup> が示すグループ 1 の重要汚染物質 (ベンゼン, ホルムアルデヒド, ナフタレンなど, 但しラドンを除く) に対応している<sup>(11)</sup>。MICS6814 は安価なガスセンサの中では最小測定値が CO で 1ppm, NO<sub>2</sub> で 0.05ppm と比較的小さいため選定した。Gravity および PIM569 はモジュール基板製品であり、ホスト PC とのインターフェースとしてマイコンの Raspberry Pi Zero<sup>(18)</sup> (RPZ) を用い、各モジュールと I2C 接続する。RPZ は IoT デバイスとしてホスト PC と Wi-Fi 通信する。

次にコントロール IoT デバイスについて、これら

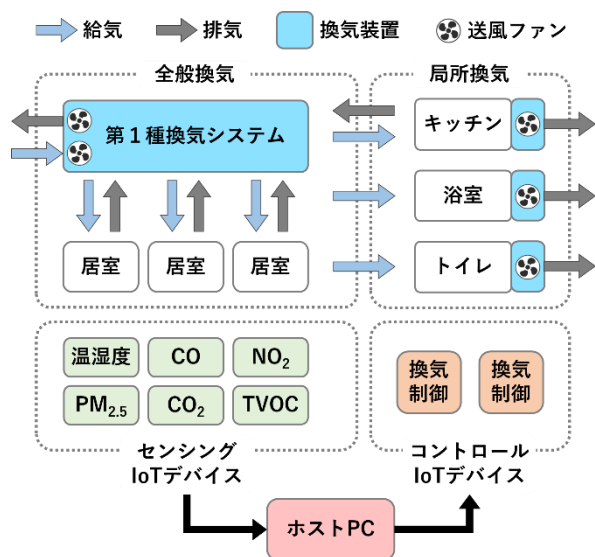


図2 換気管理システムの構成



図3 空気質センシング IoT デバイス : CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> センサ (左), TVOC センサ, CO, NO<sub>2</sub> センサ (右)

は第1種換気システムとキッチン、浴室およびトイレの局所換気装置に対し、運転制御用の RPZ による電子制御および遠隔 AC スwitch の SwitchBot 製品<sup>(19)</sup><sup>(20)</sup> を用いて自動操作により制御する。第1種換気システムの運転では、操作パネル内の電子回路にフォトMOSリレーを用いたスイッチング回路を接続し、RPZ を介してホスト PC から換気システムを遠隔操作できるようにした。その操作内容として3段階の風量調整 (強・弱・オフ) を行っている。

## 5. 換気制御アルゴリズムの設計

換気の自動化では、全般換気における最適な換気量の決定が重要となる。これには換気回数、空気質センサ値および局所換気状態など複数の要素が関係する。目標の換気回数を維持する際、局所換気による換気量も計算に含める必要がある。また、汚染物質の除去あるいは快適性および省エネルギー性に対し、どのような状況で何を重視した制御を行うのか方針を要する。

本システムは各要素をセンシングで把握し、必要な換気量を決定し動的に換気制御するものであり、次のような設計方針とした。

- (1) 汚染物質の除去を優先し、物質濃度を定量的かつ総合的に把握して必要な換気量を適用する。
- (2) 局所換気および全般換気の状態をもとに換気量を調整し、設定した換気回数を確保する。
- (3) 汚染物質の危険度が低い場合や外出時に、快適性と省エネルギー性向上のため換気を抑制する。

これらを基本に汚染物質濃度、局所換気状態、室内湿度、外気温、外出状態などを入力データとし、表3の設定を用いて以下のアルゴリズムを適用した。

- (1) レンジフードおよび浴室換気扇は、キッチンおよび浴室の湿度が急上昇したときに調理中や入浴中であると判断し、リビングとほぼ同じ湿度レベルに戻るまで運転する。このとき各機器の概算有効風量と運転時間から換気量を把握する。
- (2) トイレ換気扇は人感センサおよび加速度センサによる便座蓋の動き検知を用い、トイレ使用形態に応じて一定時間運転し換気量を把握する。
- (3) 各事象はセンサ値などをもとに判定し、優先順位の基本的な順序付けは、各事象に対する全般換気の必要風量 (強・弱・オフ) 順とする。
- (4) 一定時間おきに次の判定処理を行う。優先順位昇順に事象を調べ、成立条件を満たせば事象に対応する全般換気制御を行い、判定処理を終了する。

アルゴリズム(1),(2)によって局所換気は完全自動化される。(1)について、キッチンや浴室の換気時間は湿度を監視しながら制御するため、換気が必要な間だけ作動させて換気量の過不足を抑えている。(3)および(4)について、表3の優先順位および風量は汚染物質濃度と換気の緊急性を考慮した。

表3の順位1では、使用した第1種換気システムの停止推奨条件に従い外気温が $-10^{\circ}\text{C}$ 以下でオフにする。なお空気汚染の総合指標である $\text{CO}_2$ の危険濃度を複合条件(論理積)とした。順位2では各物質に対して表1および2を参考に事象閾値(基準1)を設定し、換気の緊急性が高いため風量を強とした。

順位3および5は局所換気が働いた状況であり、第1種換気システムの排気を電動シャッターで閉鎖する。シャッターを用いる理由は、レンジフードな

どは排気風量が多いため、第1種換気システムのフィルターの無い排気側からの外気逆流防止や室内の負圧軽減および局所換気効率の向上のためである。排気が「—」はシャッター開放を表す。また、吸気側は局所換気の吸気路確保のため閉鎖しないが熱交換は働かなくなる。順位6の物質群は順位2より低い閾値(基準2)設定で風量を弱とし、濃度に応じた換気調整としている。

順位7以降は換気の必要性が低い状況と位置づけた。居住者外出中はオフにし、外出の検出は、別途開発したスマートロックシステム<sup>(21)</sup>とのWiFi通信で行われる。また外気が氷点下時には室内温度低下を避けオフにする。これらにより暖房機器や換気システムの省エネルギー効果が期待できる。

一定換気回数の維持に関し、高断熱高気密住宅の設計・施工に関する文献<sup>(22)</sup>によると、建材から汚染物質がほとんど放散しない住宅では、換気回数は0.3回/hでも問題がないようであると述べられている。本システムでは換気の必要性に応じて換気量を増減させるため、運用時の換気回数(Operational Air Change, OAC)は低めに設定し、汚染物質濃度に応じて換気量を増やすようにしている。そこで、住宅建材がF☆☆☆☆であることを前提にOACを0.3回/hと決めた。それに合わせて第1種換気システムの換気量レベルを切り替えスイッチで設定した。この設定では強・弱運転を組み合わせることで平均的に約0.3回/hを維持できる。

順位4および8は、OACのコントロールに関わる事象となり、順位8に該当しないときは既定の運転オフとなる。なお表3に記載した現在換気量とは、過去30分間の全般換気量および局所換気量(概算値)の総和である。これらの事象の制御では、換気量がOACに近づくように機能する。このような強・弱・オフ運転の選択基準として、現在換気量に対する閾値 $V_H$ または $V_L$ は、式(1)、(2)で求める。

$$\begin{aligned} R &: \text{居室容積 (m}^3\text{)} \\ T &: \text{換気回数: OAC (回/h)} \\ Q = RT &: \text{必要換気量 (m}^3\text{/h)} \\ E_H (E_H > Q) &: \text{有効換気量: 強 (m}^3\text{/h)} \\ E_L (E_L < Q) &: \text{有効換気量: 弱 (m}^3\text{/h)} \end{aligned}$$

換気量閾値 (m<sup>3</sup>)

$$V_H = Q/2 \quad (1)$$

$$V_L = Q \quad (2)$$

表3 換気制御アルゴリズムの優先順位設定

優先 順位	事象		全般換気制御	
			風量	排気
1	外気温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ $\text{CO}_2 < 2000\text{ppm}$		オフ	閉鎖
2	$\text{CO}_2 \geq 1000\text{ppm}$		強	—
2	$\text{CO} \geq 6\text{ppm}$		強	—
2	$\text{NO}_2 \geq 0.06\text{ppm}$		強	—
2	$\text{TVOC} \geq 0.22\text{ppm}$		強	—
2	$\text{PM}_{2.5} \geq 35\mu\text{g/m}^3$		強	—
3	レンジフード オン		強	閉鎖
3	トイレ換気扇 オン		強	閉鎖
4	現在換気量 $< V_H$ 外気温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 居住者在宅時		強	—
4	現在換気量 $< 0.5V_H$ 外気温 $< 0^{\circ}\text{C}$ 居住者在宅時		弱	—
5	浴室換気扇 オン		弱	閉鎖
6	$\text{CO}_2 \geq 800\text{ppm}$		弱	—
6	$\text{CO} \geq 4\text{ppm}$		弱	—
6	$\text{NO}_2 \geq 0.05\text{ppm}$		弱	—
6	$\text{TVOC} \geq 0.1\text{ppm}$		弱	—
6	$\text{PM}_{2.5} \geq 15\mu\text{g/m}^3$		弱	—
7	居住者外出時		オフ	閉鎖
7	外気温 $< 0^{\circ}\text{C}$		オフ	閉鎖
8	現在換気量 $< V_L$		弱	—
9	既定		オフ	閉鎖



今回の設定では現在換気量を過去 30 分としており、これが強・弱の切り替え周期に影響する。切り替え周期が短い場合に第1種換気システムの騒音変化が人にストレスを与える可能性を考慮し、短すぎない設定としている。また、換気回数の一定値維持に関し  $V_H$  の値を調整することで一定値をコントロールできる。これに関し、システム機能の発展として OAC の動的な調整などが考えられる。

なお、順位 4 では外気が氷点下時に室内温度低下軽減を優先し換気量を減らしている。最終順位 9 ではオフにしているが、この時点で上位のどの事象にも該当せず、汚染物質濃度が適正範囲であるから換気量をゼロにできるという判断によるものである。

## 6. システム運用実験

本システムの運用実験を行った。対象住居では IH クッキングヒーター、エアコン、FF 暖房機、FF 給湯器が設置され、燃焼による  $CO$ 、 $CO_2$ 、 $NO_2$  の室内発生は起きず、実験中  $CO$ 、 $NO_2$  はほぼゼロである。

図 4 のケース (1) は、各汚染物質が基準閾値未満、居住者が在宅および外気が非低温である平常時のものである。左が換気状態として換気量と過去 1 時

間の換気回数を 1 分毎にプロットしたものであり、右が各汚染物質の状態を基準値比（濃度÷基準 1）で示したものである。換気状態では、全般換気が強・弱を繰り返しているのがわかる。これは表 3 の順位 4 および 8 の制御によるものであり、強の継続時間は  $V_H$  に依存する。このようにして換気回数は OAC を維持するよう機能する。この例では換気回数は平均 0.31 回/h であった。また、汚染物質状態では、各汚染物質濃度が基準 1 を下回る基準値比 < 1.0 を示しており、 $CO_2$  濃度はほぼ一定で平均約 724ppm であった。無論  $CO_2$  濃度は住居者その他の発生源となる対象の状態に変動する。

図 5 のケース (2) は、局所換気運転時として、浴室のシャワーを数分使用した場合である。浴室湿度がリビングと同程度に戻るまで換気扇は自動運転され、この間の全般換気は、排気路を閉鎖し換気量は計算上ゼロとして局所換気のための換気量を示している。換気状態では、多めの局所換気量によって OAC を超える状態が一定時間続くため、全般換気が強となるタイミングが後送りされている。また、汚染物質状態では、換気量の増加によって僅かな濃度低下があるが、ほぼ一定値を維持している。

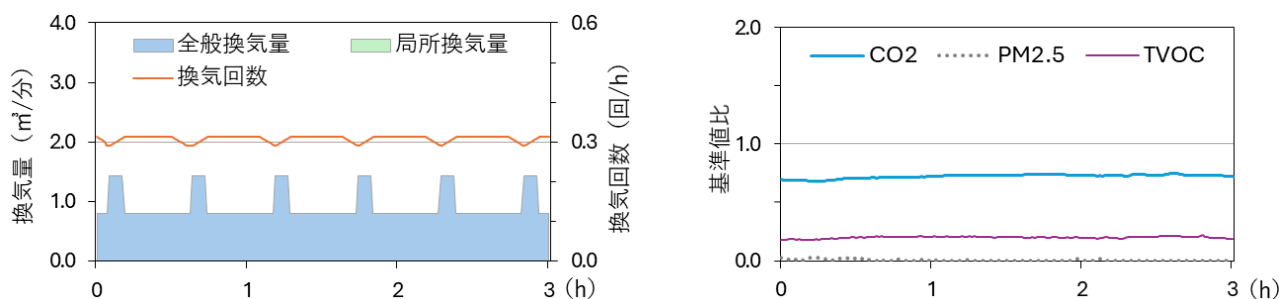


図 4 ケース (1) 平常時・換気回数維持（左：換気状態，右：汚染物質状態）

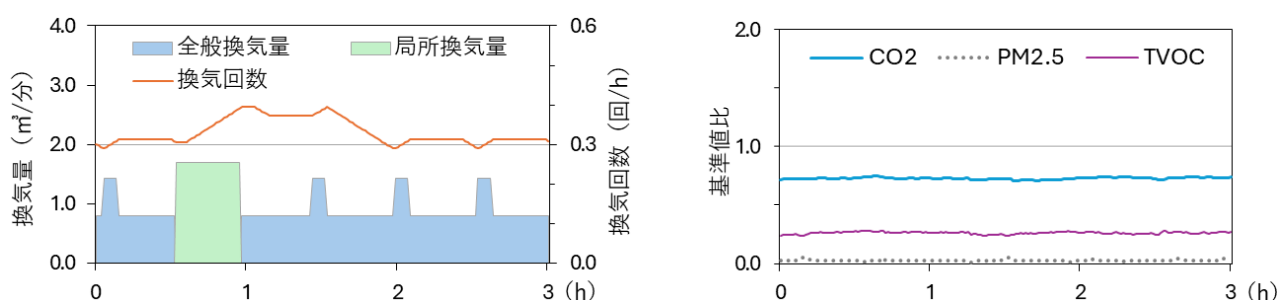


図 5 ケース (2) 局所換気運転時（左：換気状態，右：汚染物質状態）

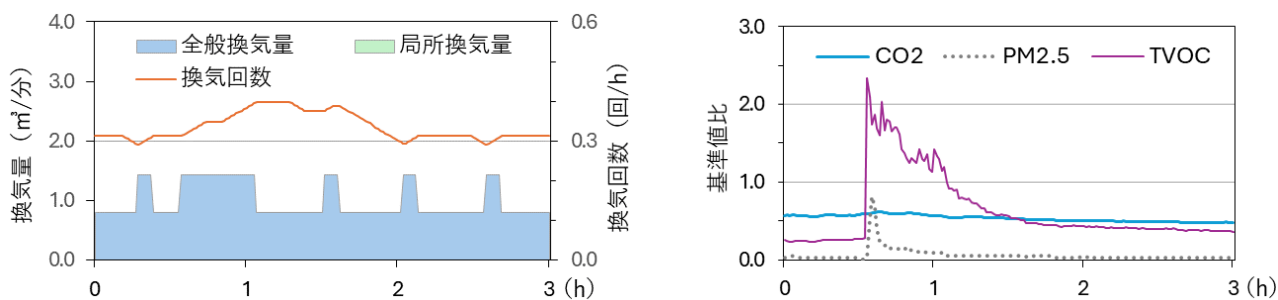


図6 ケース(3) 汚染物質濃度上昇時 (左：換気状態, 右：汚染物質状態)

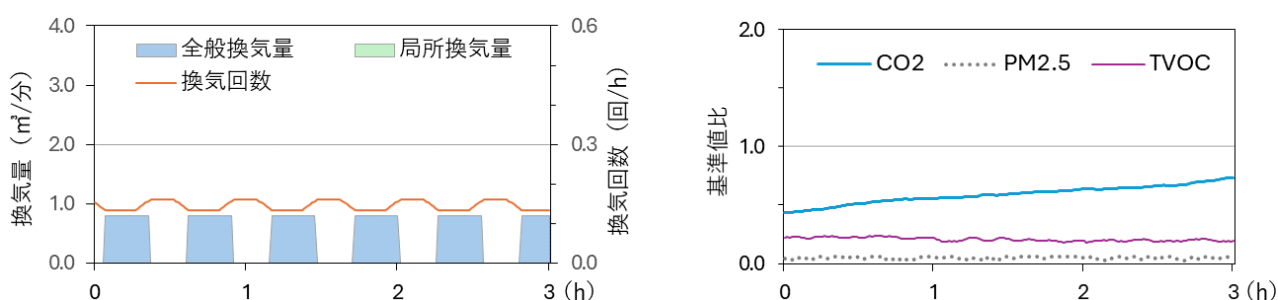


図7 ケース(4) 外気低温時 (左：換気状態, 右：汚染物質状態)

図6のケース(3)は、汚染物質濃度上昇時として、一般家庭用のシールはがしスプレー（有機溶剤形クリーナー）をリビングで数秒間使用した際のものである。本製品にはガス（LPG）や溶剤（リモネン）が含まれており VOC に該当する成分を有する。本ケースでは順位 2 の TVOC 濃度条件が該当し、基準値比 1.0 以上の間、強運転となる。換気状態では、換気回数上昇が見られる。汚染物質状態では、TVOC が急上昇しその後下降している。この下降は汚染物質の室内への拡散、換気による希薄化であると推察される。スプレー使用は短時間であるが、基準値比 1.0 以上の時間は比較的長いので、窓を開けレンジフードを回すなどの強制換気の併用が有効であろう。高濃度時間に応じ、安全措置を促す表示・警報などのシステム機能追加が今後の発展である。

図7のケース(4)は、外気温がマイナス値のときのものである。換気状態を見ると、順位 4 の現在換気量  $< 0.5V_h$  の条件により、弱運転を断続的に繰り返し、換気回数は平均 0.15 回/h と OAC の約 0.5 倍となる低い値を平均的に維持している。本ケースでは、室内温度の低下を避けるよう快適性と省エネルギー性を優先するよう機能し、汚染物質濃度が安全

レベルであるため、OAC (0.3 回/h) の維持よりも換気量削減が優先的に行われている。使用している第 1 種換気システムの消費電力を見た場合、製品仕様に基づく消費電力量を算出すると、表 4 のようにケース(1)に対し約 56%の削減となっている。さらに、ケース(1)で OAC を 0.5 回/h とし、それに合わせて装置の換気量レベルを上げた場合のシミュレーションに対しては約 81%の削減となる。なお、換気量が少ないため人の呼吸で蓄積される  $CO_2$  の濃度は増加傾向にある。よって、いずれ基準値を超えて順位 2 あるいは 6 の条件に該当することとなり、省エネ運転よりも  $CO_2$  濃度の正常化を優先する制御へと移行し換気量が増加することとなる。

表 4 第 1 種換気システムの消費電力

	強運転量	弱運転量	消費電力量
ケース(1) 平常時	19.9%	80.1%	8.94Wh
ケース(4) 外気低温時	0.0%	56.4%	3.97Wh
電力削減率			55.6%
電力削減率 (ケース(1) OAC 0.5 回/h に対し)			80.7%

## 7. まとめ

本研究では、快適な住環境のための温熱環境調整システムの機能拡張として、空気質センシングと換気量調整アルゴリズムを用いて換気装置を制御する換気管理システムを開発した。主流となる第1種換気システムの導入に際し、設置義務による標準換気回数以上での常時稼働がなされるなか、健康への安全性を優先しつつ、快適性と省エネルギー性を実現するために本システムは貢献できるものと思われる。今後、より安全性を追求し安心できる住環境のための換気管理システムとして発展させたい。

## 参考文献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁：省エネ住宅，[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/general/housing/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/)，参照日：2024-1-30。
- (2) 深井裕二：IoT デバイス構築による温熱環境調整システムの開発，北海道科学大学研究紀要，pp.1-6，No.50，2022。
- (3) 深井裕二：温熱環境調整システムにおける日射制御 IoT デバイスの開発，北海道科学大学研究紀要，pp.33-38，No.51，2023。
- (4) 日本カノマックス株式会社：IAQ モニター，<https://www.kanomax.co.jp/product/detail1035/>，参照日：2024-1-30。
- (5) 厚生労働省：建築物環境衛生管理基準について，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/>，参照日：2024-1-31。
- (6) 環境省：二酸化窒素に係る環境基準について，<https://www.env.go.jp/kijun/taiki2.html>，参照日：2024-2-12。
- (7) 環境省：微小粒子状物質による大気汚染に係る環境基準について，<https://www.env.go.jp/kijun/taiki4.html>，参照日：2024-2-12。
- (8) 小崎智照，松澤七海，百岳香奈：高濃度の二酸化炭素が覚醒と精神作業能へ与える影響，人間工学，pp.76-83，No.58.2，2022。
- (9) 坂井遥祐，近本智行，具島豊治，湯浅明子，信長賢輝：室内のCO<sub>2</sub>濃度が人の生産性と生理心理量に及ぼす影響に関する研究－タイピング・計算による作業性・疲労度の検証－，環境工学研究，pp.9-12，No.359，2022。
- (10) 厚生労働省：室内空気中化学物質の室内濃度指針値について，[https://www.mhlw.go.jp/web/t\\_doc?dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1](https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1)，参照日：2024-1-31。
- (11) ScioSense：Intelligent Air Quality Beyond CO<sub>2</sub> – For Indoor Air Quality Monitoring and Demand-Controlled Ventilation，<https://www.sciosense.com/wp-content/uploads/2023/12/Indoor-Air-Quality-white-paper.pdf>，参照日：2024-2-6。
- (12) ScioSense：ENS160 Digital Metal-Oxide Multi-Gas Sensor，<https://dfimg.dfrobot.com/nobody/wiki/cbe10f01b67c3fee6d365039eb54f52c.pdf>，参照日：2024-2-8。
- (13) Renesas：Overview of TVOC and Indoor Air Quality，<https://www.renesas.com/us/en/document/whp/overview-tvoc-and-indoor-air-quality>，参照日：2024-2-8。
- (14) ラトックシステム：Bluetooth 環境センサー RS-BTEVS1，<https://www.ratocsystems.com/products/sensor/airco2/rsbtevs1/>，参照日：2024-2-12。
- (15) DFRobot：Gravity：ENS160 Air Quality Sensor，<https://www.dfrobot.com/product-2526.html>，参照日：2024-2-12。
- (16) Pimoroni：MICS6814 3-in-1 Gas Sensor Breakout (CO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>)，<https://shop.pimoroni.com/products/mics6814-gas-sensor-breakout?variant=39296409305171>，参照日：2024-2-12。
- (17) World Health Organization：WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010。
- (18) Raspberry Pi Foundation：Raspberry Pi Zero，<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero/>，参照日：2024-2-8。
- (19) SwitchBot：SwitchBot ボット，<https://www.switchbot.jp/products/switchbot-bot>，参照日：2024-2-8。
- (20) SwitchBot：SwitchBot プラグミニ，<https://www.switchbot.jp/products/switchbot-plug-mini>，参照日：2024-2-8。
- (21) 深井裕二：スマートロックシステムの開発におけるIoTデバイスの導入検討，北海道科学大学研究紀要，pp.159-164，No.48，2020。
- (22) 鎌田紀彦：本音のエコハウス，エクスナレッジ，2018。