

IoT を利用した住宅の換気設計手法に関する研究 効率的な換気経路と制御方法の検討

T16K714A 藤沢 康平 指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

住宅における換気計画で、食卓の料理等から発生する臭気には局所排気が有効であるが、排気口は便所や浴室、洗面所等に設けられる場合が多く、住宅全体が換気経路となるため、臭気が住宅全体に拡散される場合が多い。一方、住宅設備の制御に IoT^{*1} が取り入れられ始めている。IoT が室内での臭気の発生を検知し、ダイニング等に設置された局所排気設備と連動すれば、臭気の効率的な排気が可能と考えられる。

本研究では CFD 解析 (RANS^{*2}) を用いて、ダイニングの食卓から発生する臭気の拡散状況を解析する。臭気の発生を早期に検知し、排気口位置を変更した場合に、臭気を速やかに排出できる換気システムの検討を行い、住宅の換気計画を IoT によって制御する為の基礎的な検討を行うことを目的とする。

2 研究概要

2.1 解析対象：図 1 に解析対象モデルの概要を示す。解析対象は、建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) が提案している戸建住宅モデルの 1 階部分とする。換気装置は換気回数 0.5 [回/h] の第一種機械換気とする。給気は和室、リビングダイニング (LD)、キッチン天井に設置した給気口 (100 [mm] × 100 [mm]) から天井に沿って横向きに行い、排気は便所の排気口 (160 [mm] × 160 [mm])、洗面所、浴室の排気口 (200 [mm] × 200 [mm])、ダイニングの天井の局所排気装置

(200 [mm] × 200 [mm])、キッチンのレンジフード (650 [mm] × 550 [mm]) を組み合わせて行う。室内の扉にはアンダーカット又はガラリ^{*3}を設ける。

2.2 解析条件：表 1 に解析の概要を、表 2 に解析条件を、表 3 に汚染質排出効率の算出方法の概要を示す。名目換気時間と室内の任意の点において汚染質濃度が定常濃度の 5 [%] となるまでに要する平均時間の差を名目換気時間で除した値を汚染質排出効率とする。この値が大きいほど効率が良いことを示す。解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver.13 を使用する。case1 ではエアコンを停止し、case2 ではエアコンを送風運転させる。最初に、RANS による定常計算で気流分布を解析する。計算結果を基にダイニングの食卓の料理から発生する臭気を模擬したトレーサを発生させ、換気経路を変更した場合の解析を行う。換気経路を切替える時間はトレーサ発生開始から 60 秒とする。食事にかかる時間を 1,800 秒と想定し、1,800 秒後にトレーサの発生を停止させる。トレーサ発生停止後、定常濃度の 5 [%] まで減衰する時間変化を解析し、表 3 (c) 式より汚染質排出効率を算出する。

3 解析結果

3.1 基準化濃度の算出：解析領域内の各点のトレーサ濃度から、(1) 式より基準化濃度を算出する。

$$\text{基準化濃度 [-]} = \frac{\text{各点のトレーサ濃度 [g/m}^3\text{]}}{\text{トレーサ発生量 [g/s] / 換気量 [m}^3\text{/s]}} \dots (1)$$

3.2 基準化濃度分布：図 2 に各 case のトレーサ発生から 1,800 秒後における濃度分布を示す。排気口位置を便所、洗面所、浴室とした case1-1 では、臭気は料理により生じる上昇気流で天井付近まで到達し、天井面に沿って部屋全体に拡散する。排気口位置をダイニングの局所

表 1 解析の概要

	乱流モデル	標準k-εモデル
解析領域 [mm]	9,555 (x) × 7,280 (y) × 2,400 (z)	
最少メッシュ幅 [mm]	10	
解析領域メッシュ数	259 (x) × 217 (y) × 84 (z)	
トレーサ発生位置	料理 (温度固定: 60 [°C])	
機器発熱 [W]	照明 (和室、LD): 31 [W] × 3カ所 照明 (キッチン): 22.8 [W] テレビ: 115 [W] 冷蔵庫: 95 [W]	
人体	密度: 1.050 [kg/m ³] 比熱: 3.475 [J/(kg·K)] 熱伝導率: 0.6 [W/(m·K)] 呼吸量: 10 [L/min] 呼吸温度: 32 [°C] 体表面温度: 30 [°C]	
壁面 [W/(m ² ·K)] (熱貫流率)	外壁: 0.53 床: 1.17 窓: 1.31 天井: 0.65 屋根: 0.24 間仕切壁: 1.58 間仕切扉: 1.99	

表 2 解析条件

解析 case	汚染質検知前の排気口位置	汚染質検知後の排気口位置	換気経路切替時刻 [s]	換気回数 [回/h] (換気量 [m ³ /h])	エアコン循環風量 [m ³ /h]	エアコン吹出角度
case1-1	便所、浴室、洗面所排気口	便所、浴室、洗面所排気口	-	0.5 [回/h] (80.86 [m ³ /h])	停止	
case1-2	便所、浴室、洗面所排気口	キッチンレンジフード	60			
case1-3	便所、浴室、洗面所排気口	ダイニング天井局所排気装置	60			
case2-1	便所、浴室、洗面所排気口	便所、浴室、洗面所排気口	-	0.5 [回/h] (80.86 [m ³ /h])	500	鉛直下向きから 20°
case2-2	便所、浴室、洗面所排気口	キッチンレンジフード	60			
case2-3	便所、浴室、洗面所排気口	ダイニング天井局所排気装置	60			

表 3 汚染質排出効率の算出方法の概要

〈ステップダウン法による汚染質排出の算出方法〉	V: 室容積 [m ³]
$\tau_d = \int_0^{\infty} (C_p(t) / C_p(t_s)) dt \dots (a)$	Q: 換気量 [m ³ /s]
〈名目換気時間の算出方法〉	C _p (t): 時刻 t の算出点 P での基準化濃度 [-]
$\tau_n = \frac{V}{Q} \dots (b)$	C _p (t _s): 算出点 P でのトレーサ発生停止時の濃度 [-]
〈汚染質排出効率の算出方法〉	t _s : トレーサ発生時刻 [s]
$e_p = \frac{\tau_n - \tau_d}{\tau_n} \dots (c)$	τ _n : 名目換気時間 [s]
	τ _d : 汚染質到達時間 [s]
	e _p : 汚染質排出効率 [-]

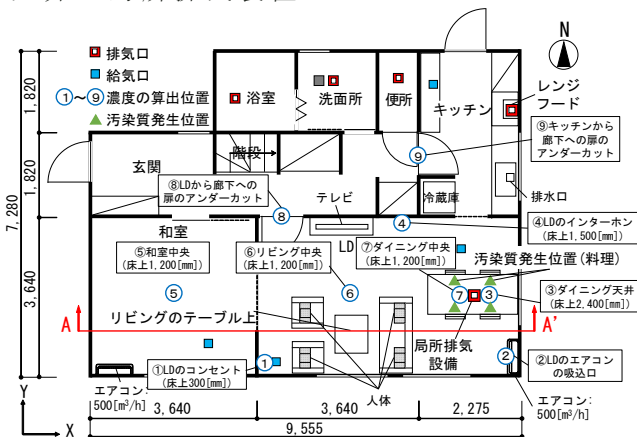


図 1 解析対象モデルの概要

排気装置とした case1-3 では、case1-1 に比較して LD 全体の基準化濃度が 0.1 程度低下する。エアコンを送風運転とし、排気口位置をダイニングの局所排気装置とした case2-3 では、case1-1 に比較して東壁面及びエアコン周辺で基準化濃度が高くなるが、和室、リビングにおいて基準化濃度は低下する。

3.3 基準化濃度の時間変化：図 1 の①～⑨に基準化濃度の算出位置を示す。図 3 に case1-1 と case1-3 の各算出点における基準化濃度の時間変化を示す。トレーサ発生から 60 秒後に排気口位置を便所、洗面所、浴室からダイニングの局所排気装置に変更した case1-3 では、case1-1 に比較してトレーサ発生から 1,800 秒後の基準化濃度が② LD のエアコンの吸込口、③ダイニングの天井、④ LD のインターホンでは 0.1 程度小さくなるが、トレーサ発生停止後の濃度減衰は⑧ LD から廊下への扉のアンダーカット、⑨キッチンから廊下への扉のアンダーカットを除いて概ね同様となる。

3.4 ステップダウン法による各算出点の汚染質排出効率：図 4 に各 case の汚染質排出効率を示す。エアコンを停止した場合、排気口位置をレンジフードとした case1-2 では、case1-1 に比較して、① LD コンセントを除いたどの算出点でも汚染質排出効率は 0.01 ～ 0.09 程度低

くなる。排気口位置をダイニングの局所排気装置とした case1-3 でも、case1-1 に比較して、汚染質排出効率は 0.01 ～ 0.09 程度低くなる。エアコンを送風運転とした場合、排気口位置をダイニングの局所排気装置とした case2-3 では、各算出点の汚染質排出効率は case2-1 に比較して 0.01 ～ 0.1 程度高くなる。概ねどの点においても換気回数が同じ場合、排気口位置を切り替えても、汚染質排出効率は殆ど変化しない。

4 まとめ

- ①排気口位置をダイニング局所排気装置とした case1-3 では、case1-1 に比較して LD 全体の基準化濃度が 0.1 程度減少する。
- ② case1-3 では、case1-1 に比較して② LD のエアコンの吸込口、③ダイニングの天井、⑤ LD のインターホンでのトレーサ発生から 1,800 秒後の基準化濃度が 0.1 程度小さくなる。
- ③概ねどの点においても換気回数が同じ場合、排気口位置を切り替えても、汚染質排出効率は殆ど変化しない。

注釈
 ※1 Internet of Things (インターネット経由で相互制御できるセンサーと通信機能を持った機械器具)。
 ※2 CFD 解析でレイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) を用いて解析する手法。
 ※3 和室、LD、キッチンの扉下部に 850[mm] × 20[mm]、便所の扉下部に 700[mm] × 20[mm]、洗面所の扉下部に 750[mm] × 20[mm] のアンダーカットを、浴室の扉上部に 700[mm] × 20[mm] のガラリを設ける。

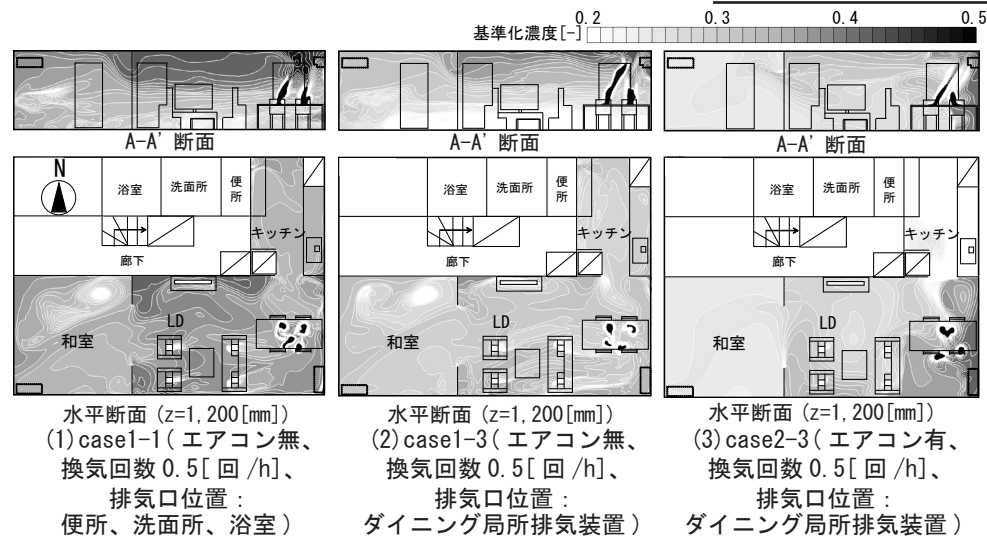


図 2 各 case のトレーサ発生から 1,800 秒後における濃度分布

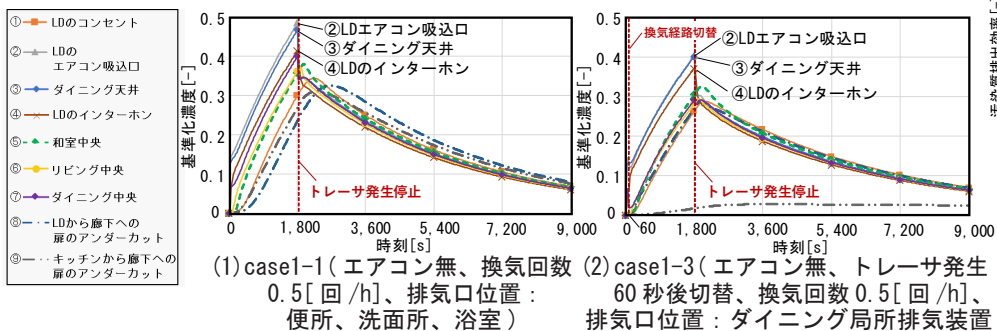
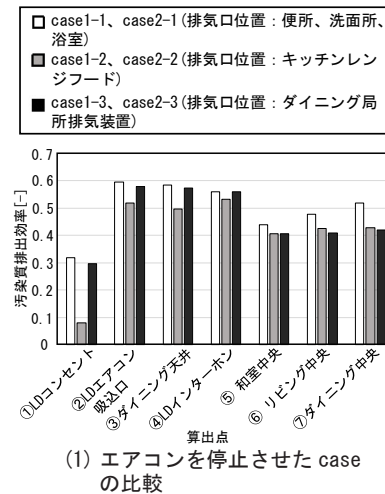
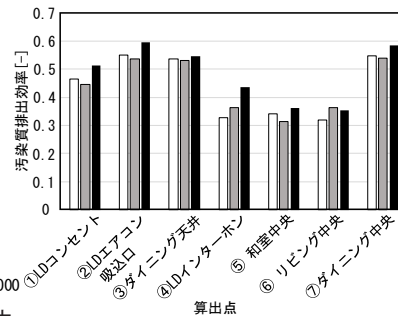


図 3 case1-1 と case1-3 の各算出点における基準化濃度の時間変化



(1) エアコンを停止させた case の比較



(2) エアコンを送風運転させた case の比較

図 4 各 case の汚染質排出効率