



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

指導教員

藤沢 康平
赤林 伸一 教授

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。

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。

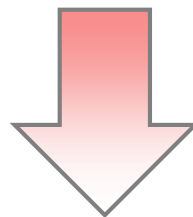
一方、住宅設備の制御にIoT※¹が取り入れられ始めている。

※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)

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。

※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)



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 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。

研究概要

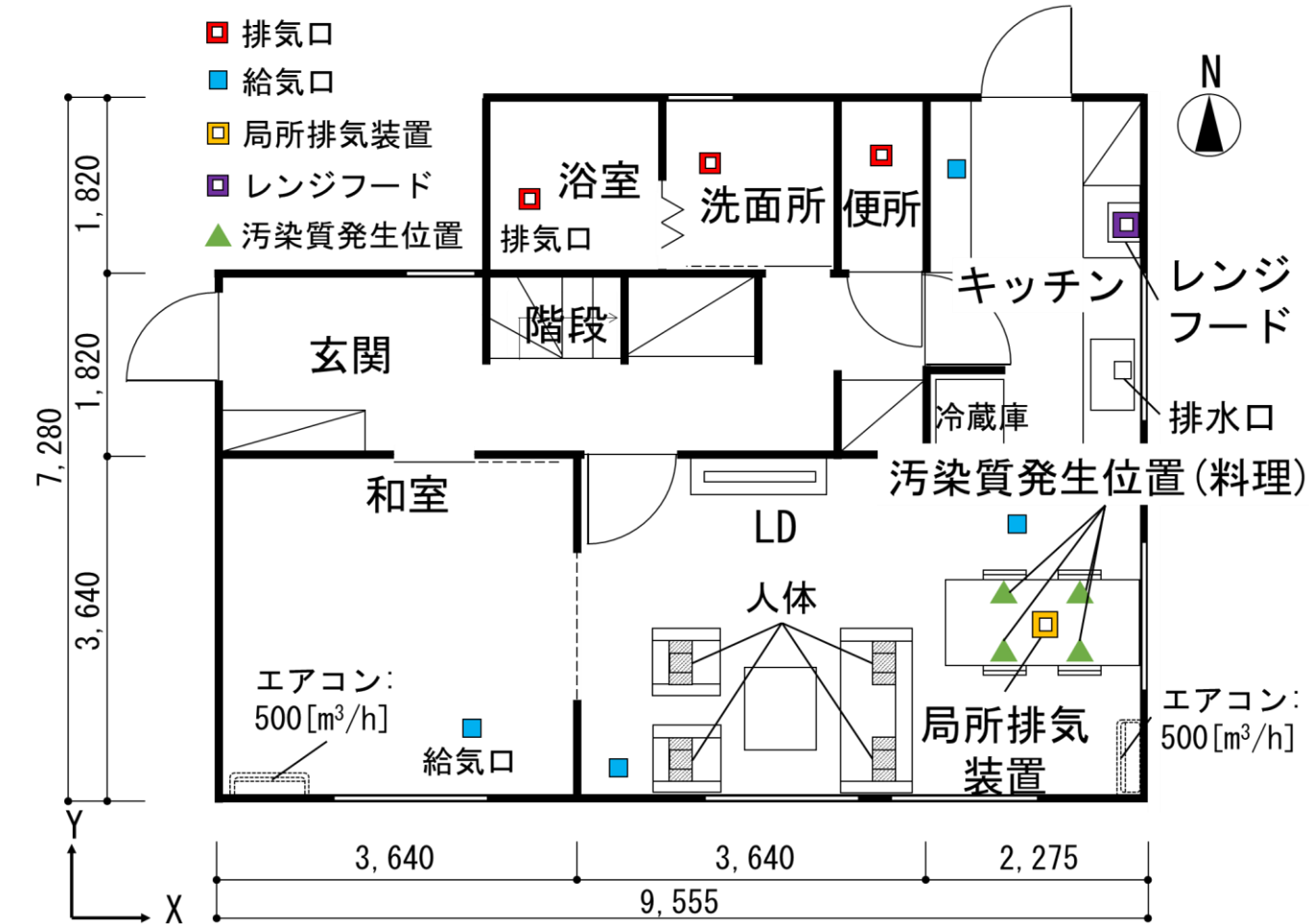
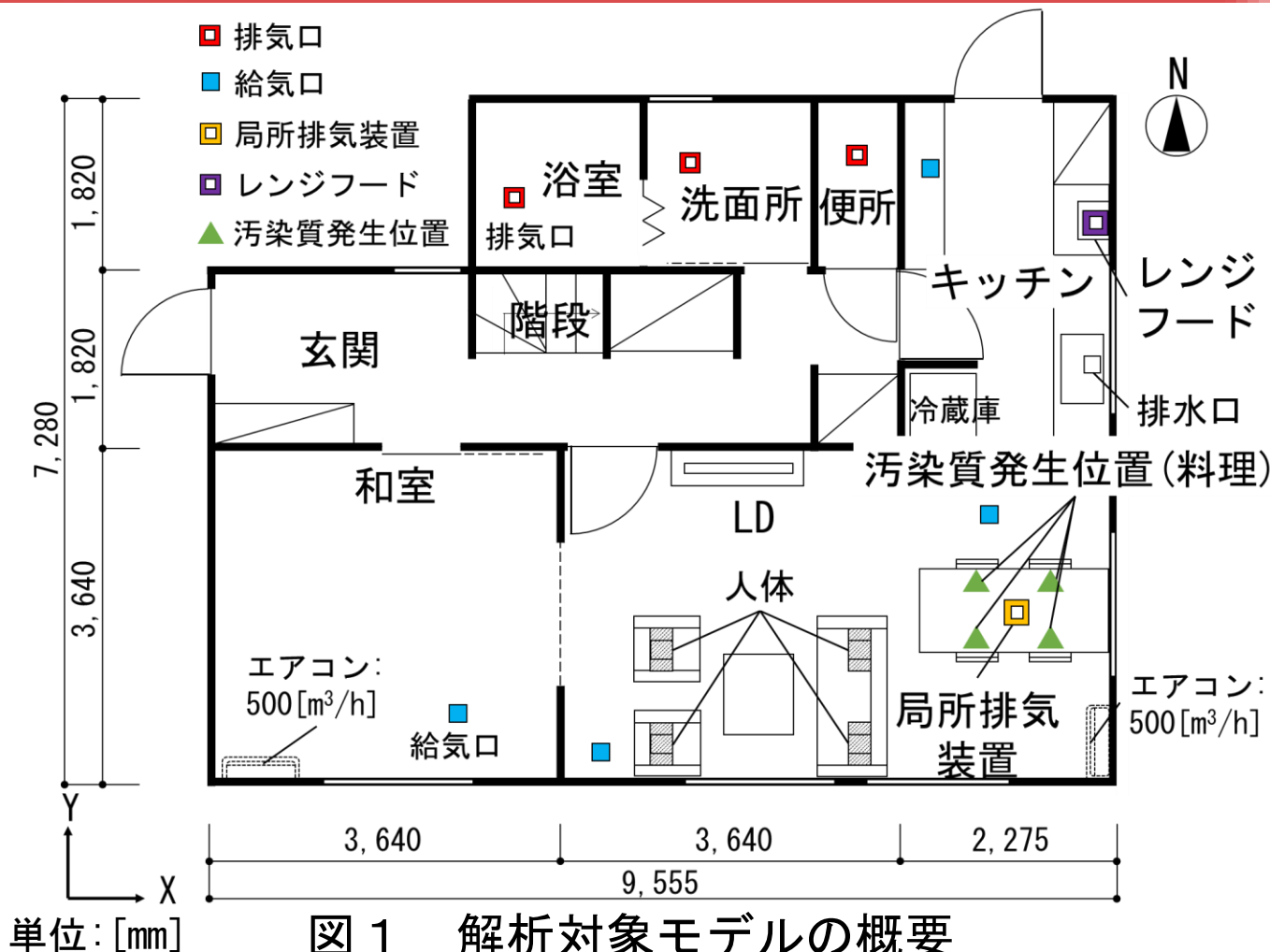
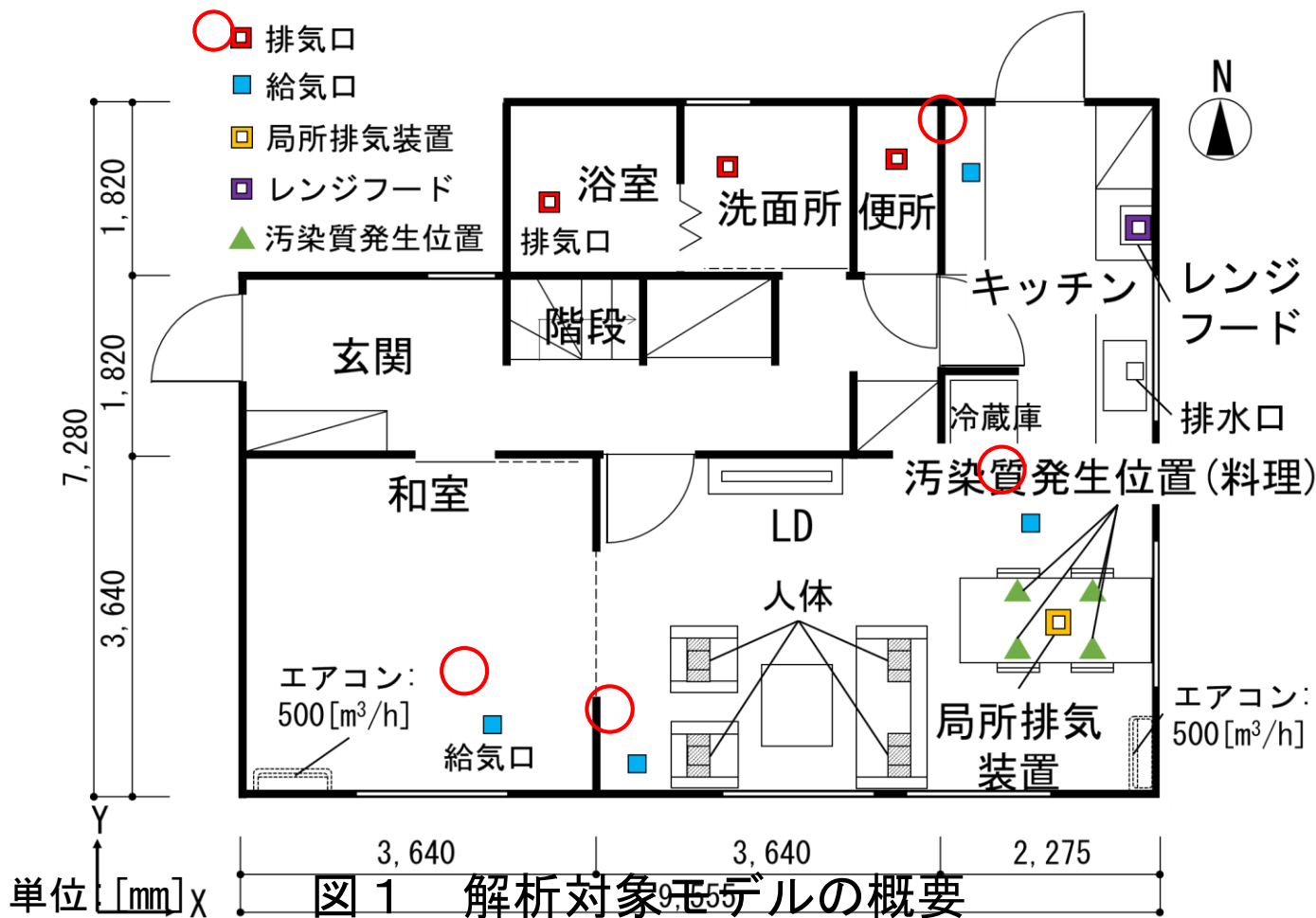


図 1 解析対象モデルの概要

研究概要

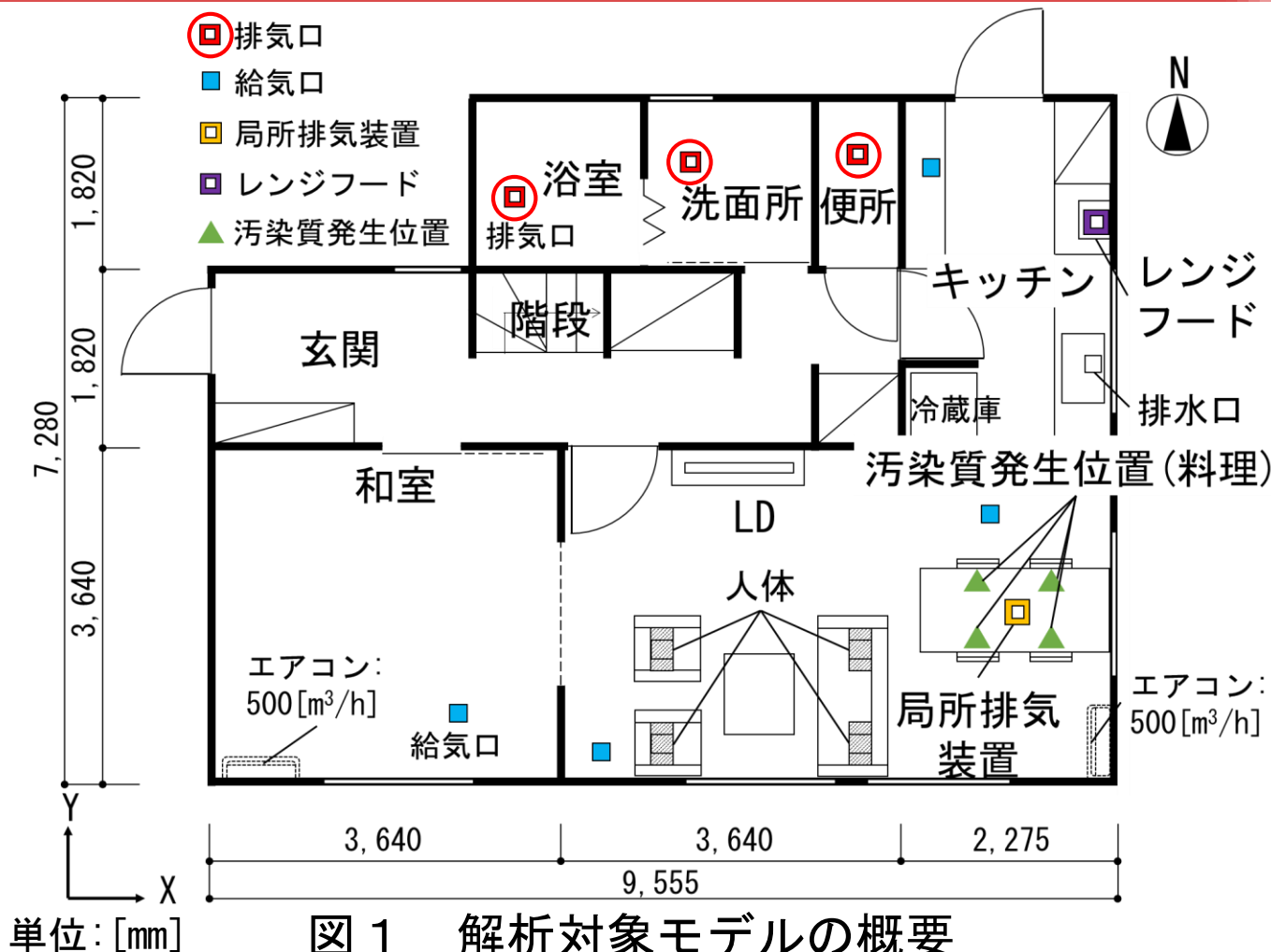


解析対象は、建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) が提案している戸建住宅モデルの 1 階部分とする。換気装置は換気回数 **0.5[回/h]** の第一種機械換気とする。



給気は和室、リビングダイニング(LD)、キッチンの天井に
 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、

研究概要



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])、

研究概要

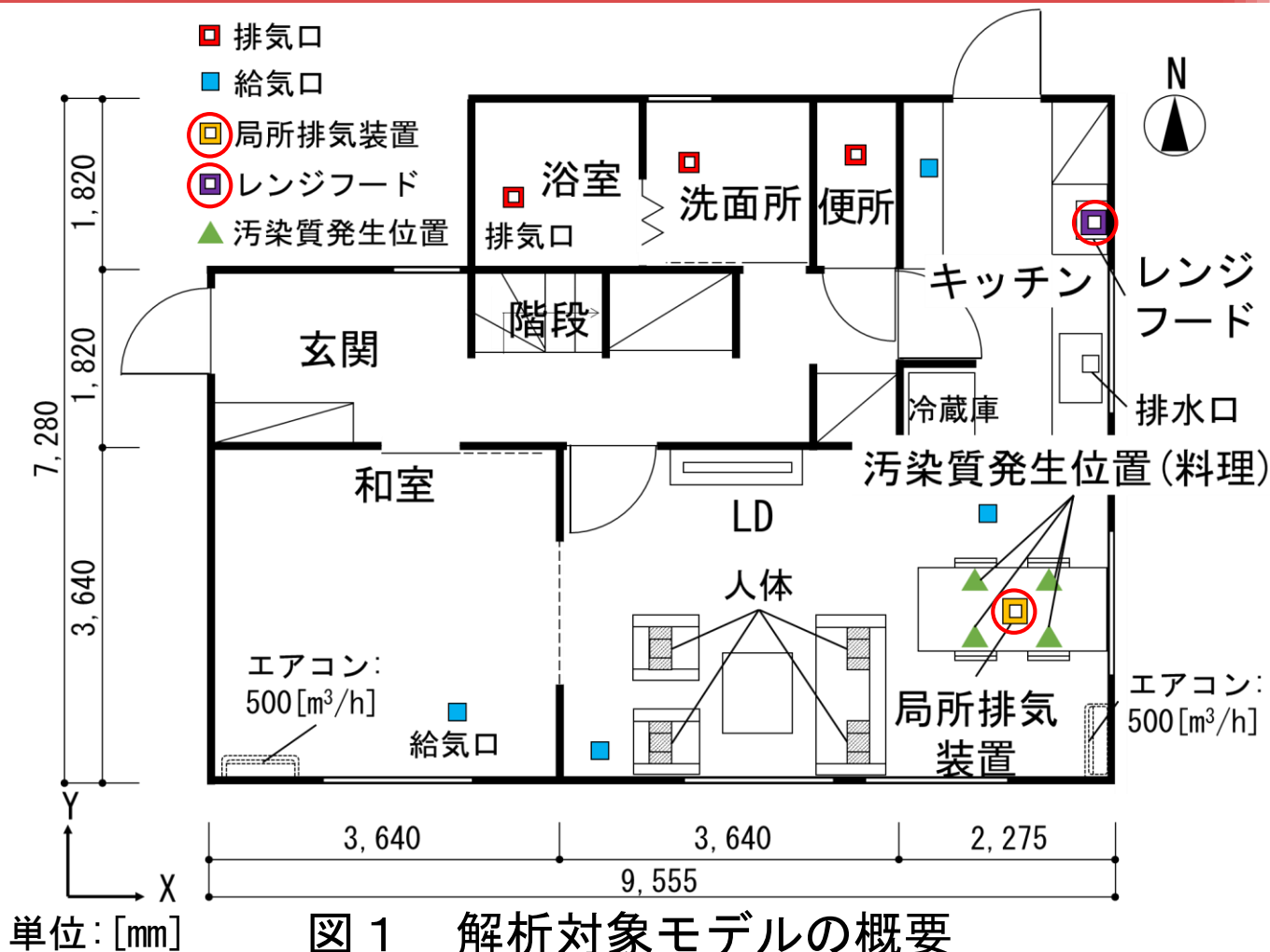


図 1 解析対象モデルの概要

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。

研究概要

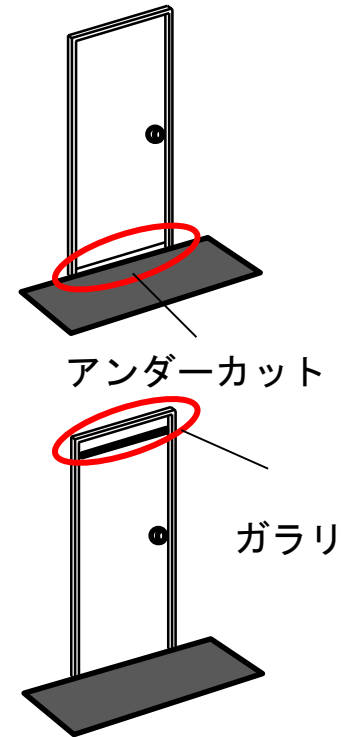
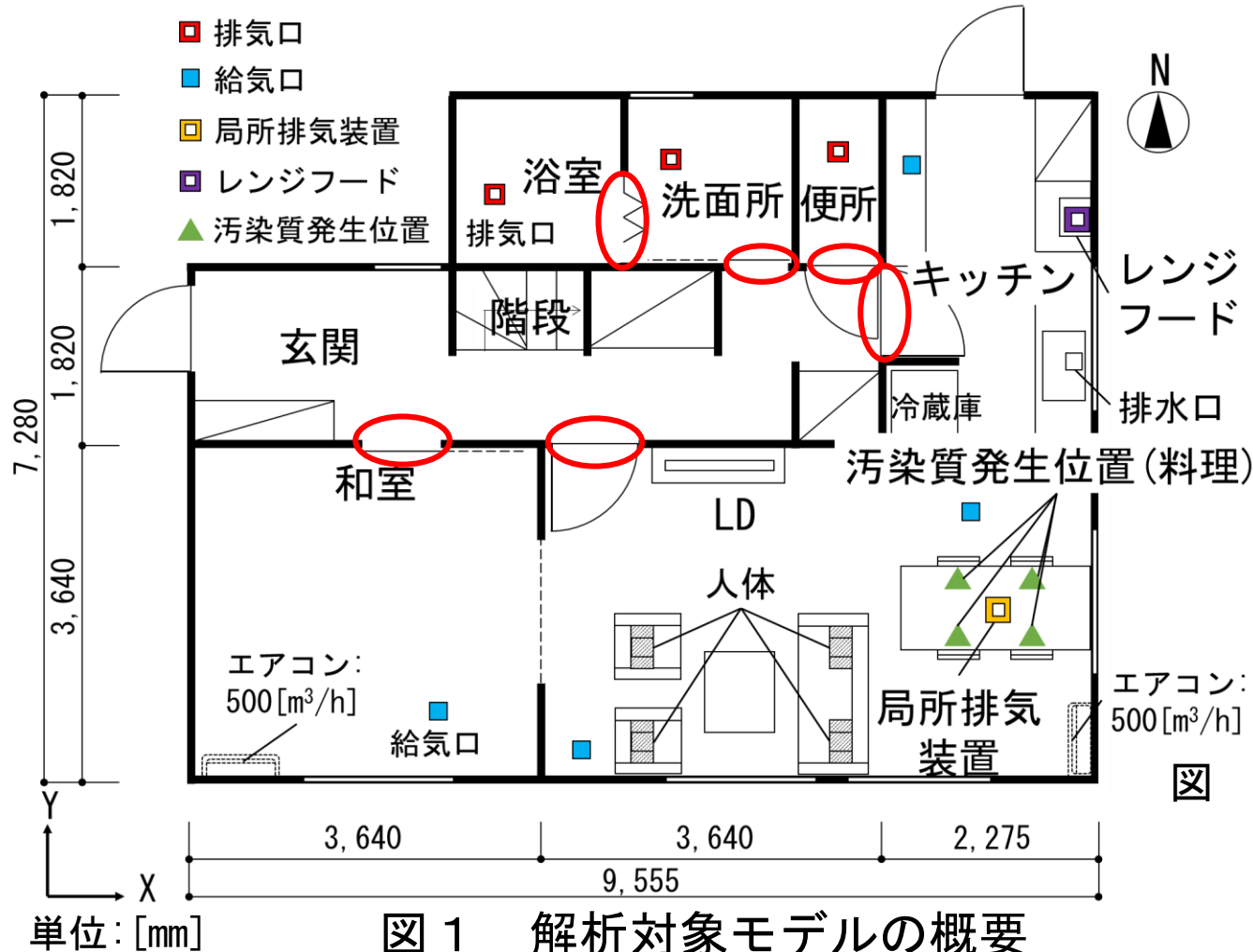


図 アンダーカット、ガラリの概略

室内の扉にはアンダーカット又はガラリ※³を設ける。

※³ 和室、LD、キッチンの扉下部に850[mm]×20[mm]、便所の扉下部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700[mm]×20[mm]のガラリを設ける。

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)
トレーサー発生位置		料理 (温度固定 : 60 [°C])
熱境界条件	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] 呼気温度 : 32 [°C] 体表面温度 : 30 [°C]
		外壁 : 0.53
		床 : 1.17
		窓 : 1.31
		天井 : 0.65
	壁面 [W/(m ² · K)] (熱貫流率)	屋根 : 0.24
		間仕切壁 : 1.58
		間仕切扉 : 1.99

解析には汎用数値流体解析ソフト **STREAM ver. 13** を使用する。

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		キッチンレンジフード	60			
case1-3		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	-	0.5[回/h] (80.86[m ³ /h])	500	鉛直下向きから20°
case2-2		キッチンレンジフード	60			
case2-3		ダイニング天井局所排気装置	60			

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		キッチンレンジフード	60			
case1-3		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	-	0.5[回/h] (80.86[m ³ /h])	500	鉛直下向きから20°
case2-2		キッチンレンジフード	60			
case2-3		ダイニング天井局所排気装置	60			

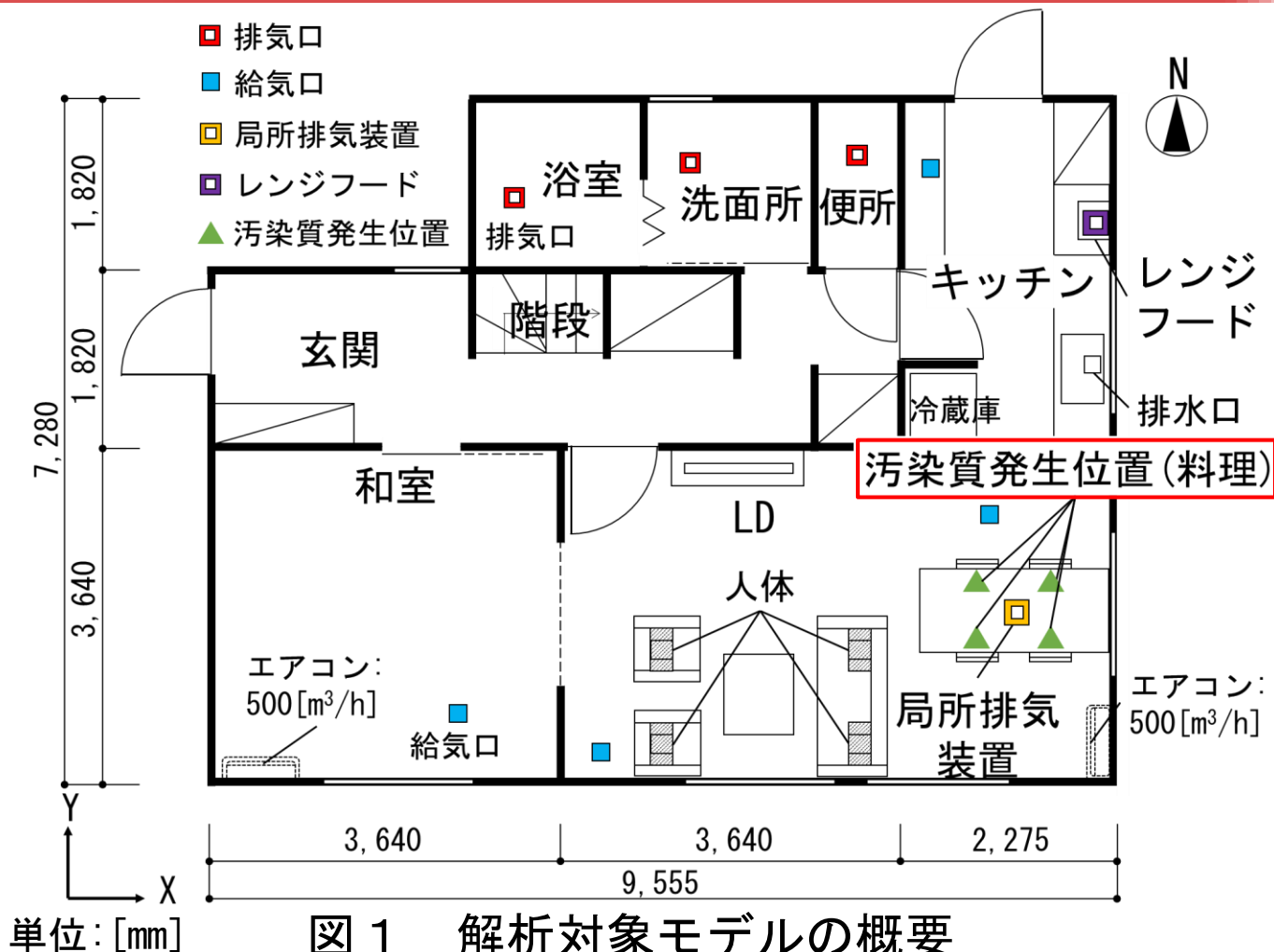
case1ではエアコンを停止し、case2ではエアコンを送風運転させる。最初に、RANSによる定常計算で気流分布を解析する。

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		キッチンレンジフード	60			
case1-3		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	-	0.5[回/h] (80.86[m ³ /h])	500	鉛直下向きから20°
case2-2		キッチンレンジフード	60			
case2-3		ダイニング天井局所排気装置	60			

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。

解析条件



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。

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		キッチンレンジフード	60			
case1-3		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	-	0.5[回/h] (80.86[m ³ /h])	500	鉛直下向きから20°
case2-2		キッチンレンジフード	60			
case2-3		ダイニング天井局所排気装置	60			

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。

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		キッチンレンジフード	60			
case1-3		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	-	0.5[回/h] (80.86[m ³ /h])	500	鉛直下向きから20°
case2-2		キッチンレンジフード	60			
case2-3		ダイニング天井局所排気装置	60			

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。

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効の算出方法〉

$$\tau_d = \int_0^{\infty} \{C_p(t)/C_p(t_s)\} dt \quad \dots (a)$$

〈名目換気時間の算出方法〉

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad \dots (b)$$

〈汚染質排出効率の算出方法〉

$$\varepsilon_f = \frac{\tau_n - \tau_d}{\tau_n} \quad \dots (c)$$

V : 室容積[m³]

Q : 換気量[m³/s]

C_p(t) : 時刻 t の算出点 P での基準化濃度[-]

C_p(t_s) : 算出点 P でのトレーサ発生停止時の濃度[-]

t_s : トレーサ停止時刻[s]

τ_n : 名目換気時間[s]

τ_d : 汚染質到達時間[s]

ε_f : 汚染質排出効率[-]

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齢の算出方法＞

$$\tau_d = \int_0^{\infty} \{C_p(t)/C_p(t_s)\} dt \quad \dots (a)$$

＜名目換気時間の算出方法＞

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad \dots (b)$$

＜汚染質排出効率の算出方法＞

$$\varepsilon_f = \frac{\tau_n - \tau_d}{\tau_n} \quad \dots (c)$$

V：室容積[m³]

Q：換気量[m³/s]

C_p(t)：時刻 t の算出点 P での基準化濃度[-]

C_p(t_s)：算出点 P でのトレーサ発生停止時の濃度[-]

t_s：トレーサ停止時刻[s]

τ_n：名目換気時間[s]

τ_d：汚染質到達時間[s]

ε_f：汚染質排出効率[-]

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。この値が大きいほど効率が良いことを示す。

解析領域内の各点におけるトレーサ濃度から、(1)式より基準化濃度を算出する。

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

解析結果

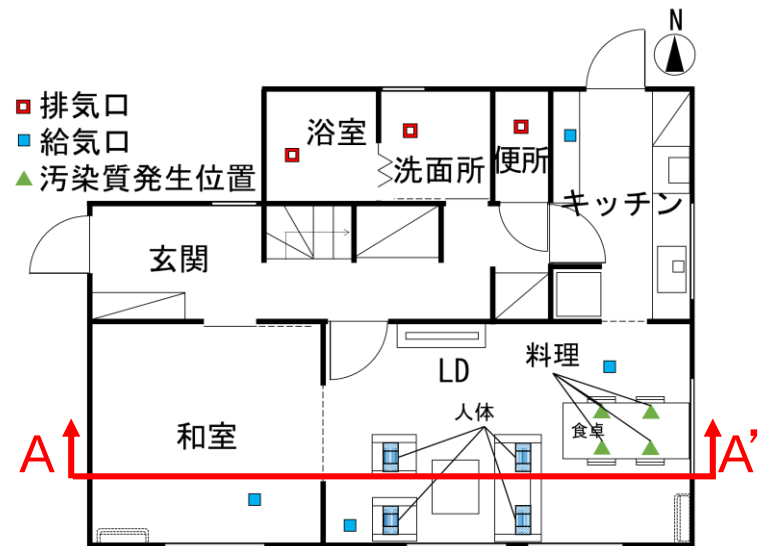
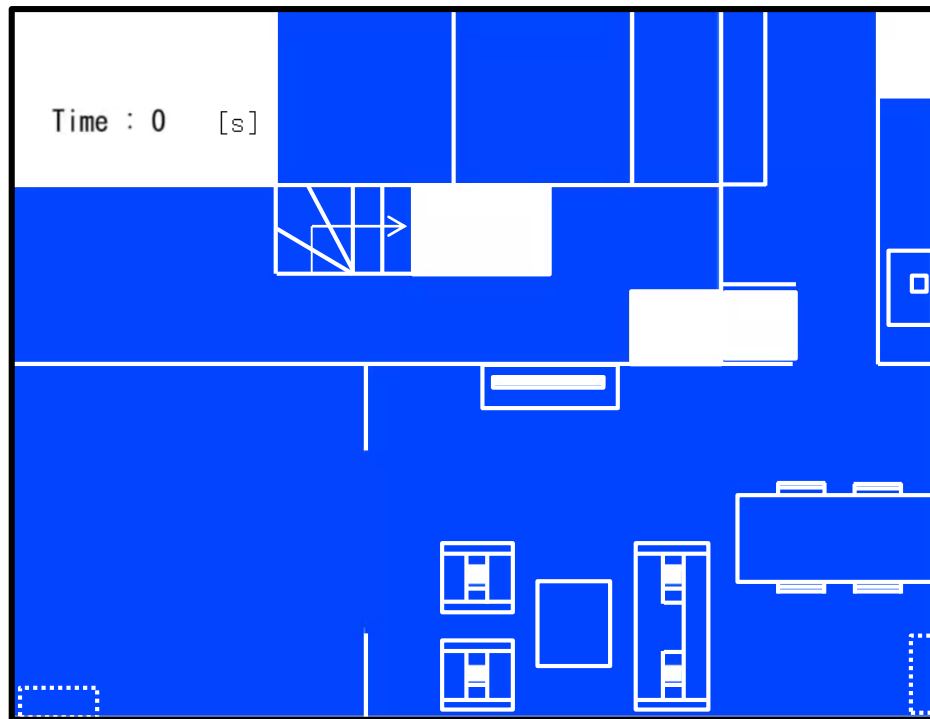


図 対象モデルの概要



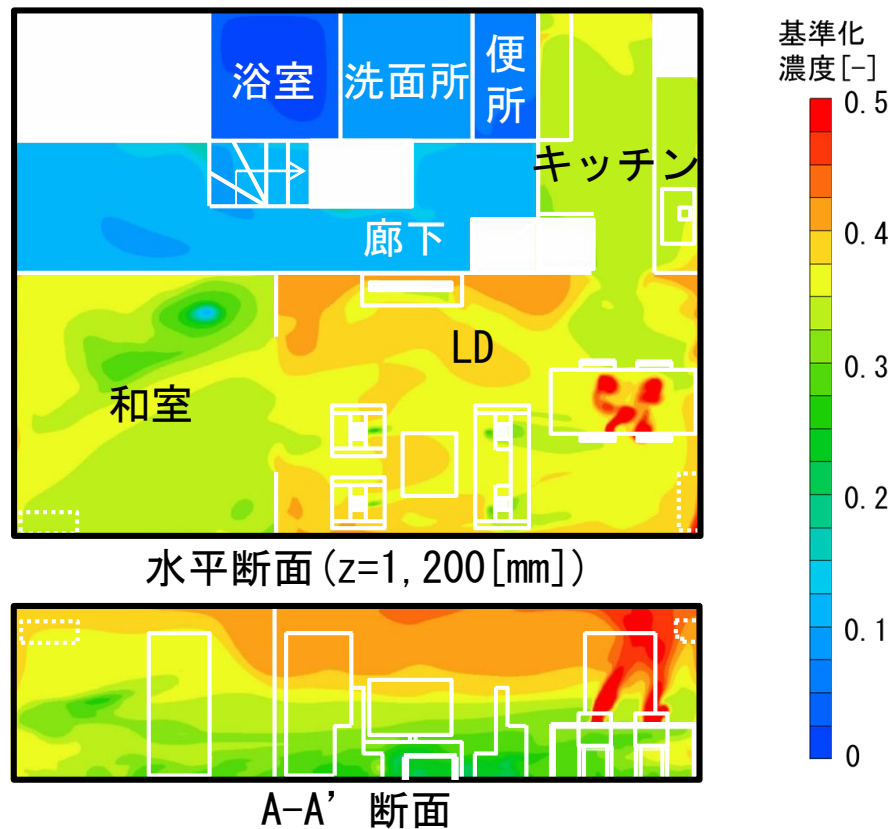
水平断面 (床上1,200 [mm])



A-A' 断面

case1-1におけるダイニングテーブルの料理から
臭気が発生して1800秒間の解析結果

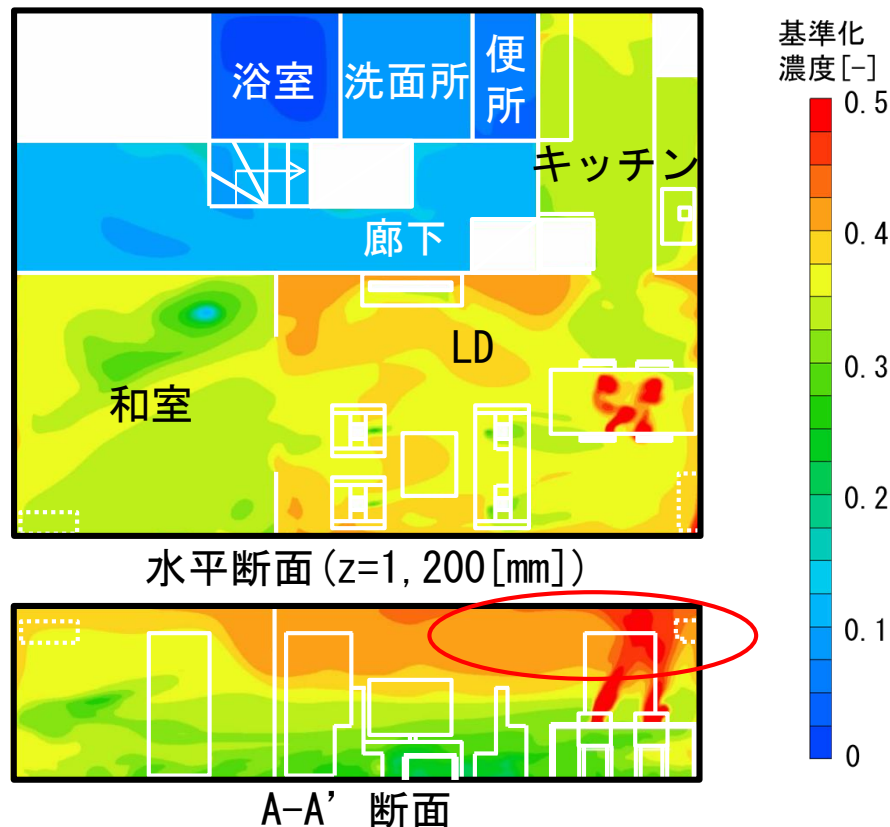
解析結果



(1) case1-1 (エアコン無、換気回数 0.5 [回/h])

排気口位置：便所、洗面所、浴室)

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

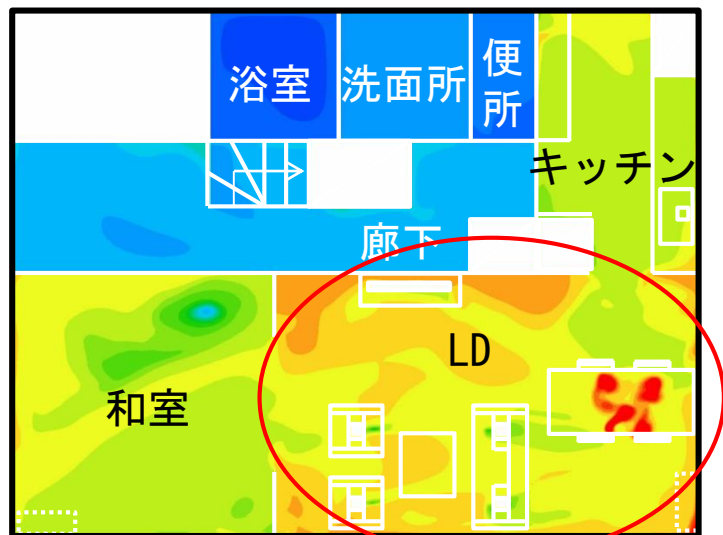


(1) case1-1 (エアコン無、換気回数 0.5 [回/h])

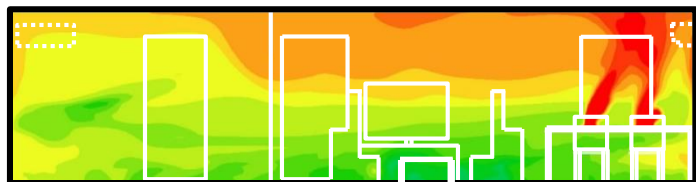
排気口位置：便所、洗面所、浴室)

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

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。

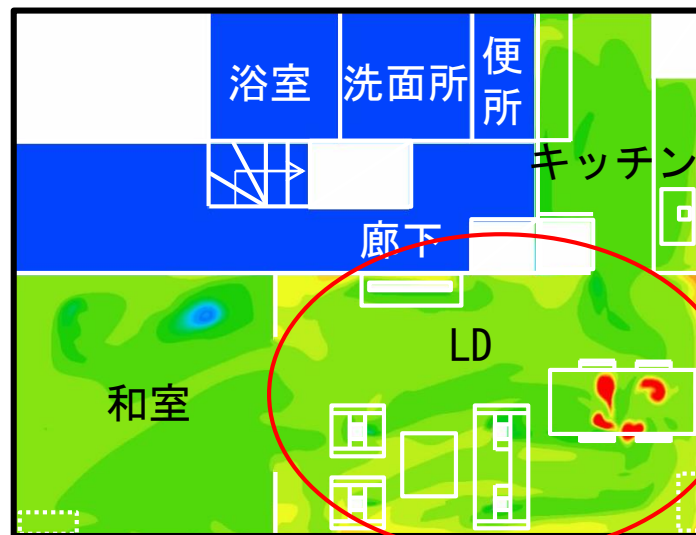


水平断面 ($z=1,200$ [mm])

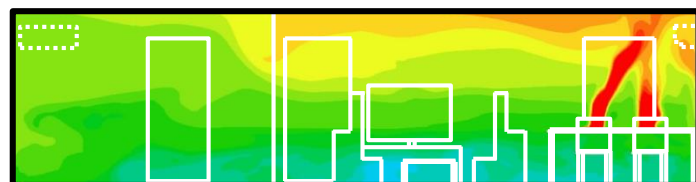


A-A' 断面

(1) case1-1 (エアコン無、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
便所、洗面所、浴室)



水平断面 ($z=1,200$ [mm])

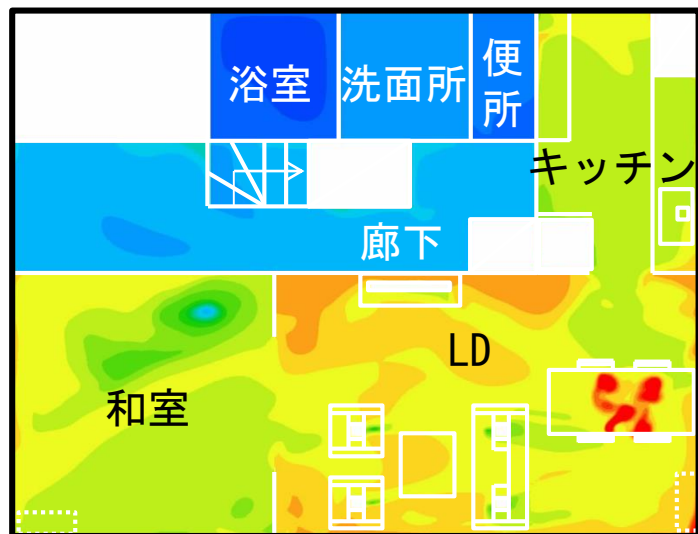


A-A' 断面

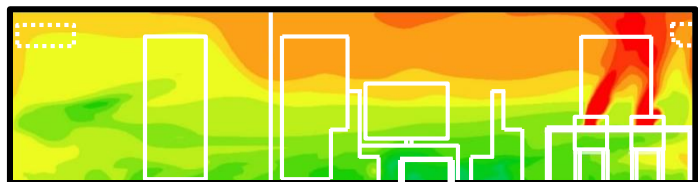
(2) case1-3 (エアコン無、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
ダイニング局所排気装置)

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

排気口位置をダイニングの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程度低下する。

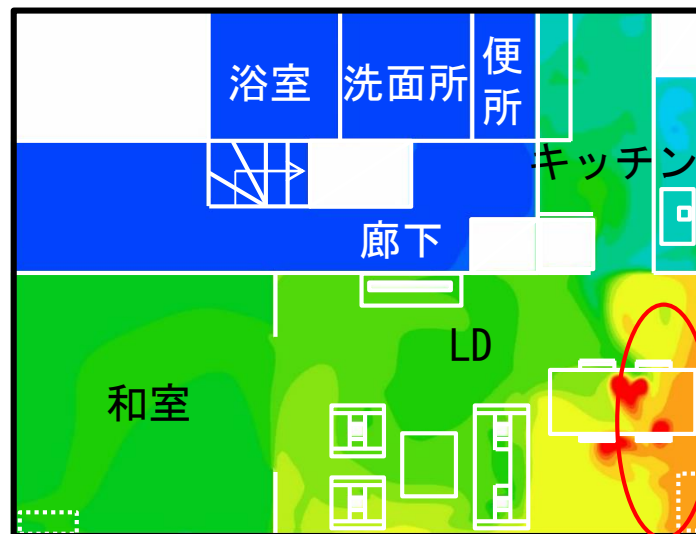


水平断面 ($z=1, 200$ [mm])



A-A' 断面

- (1) case1-1 (エアコン無、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
便所、洗面所、浴室)



水平断面 ($z=1, 200$ [mm])



A-A' 断面

- (3) case2-3 (エアコン有、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
ダイニング局所排気装置)

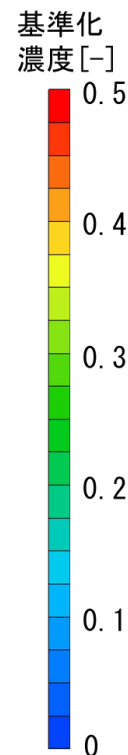
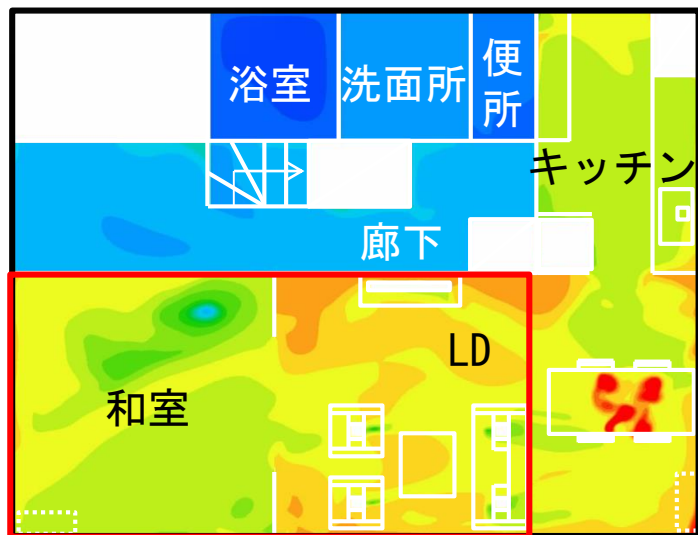


図2 各caseのトレーサ発生から1,800秒後における濃度分布

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。

解析結果

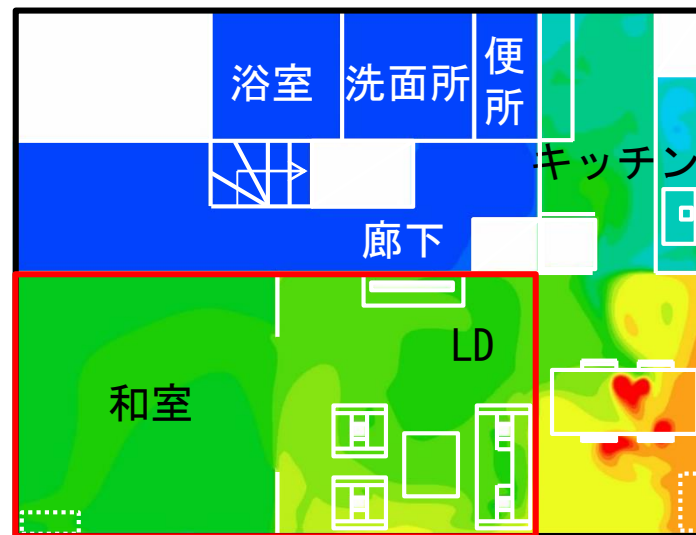


水平断面 (z=1, 200 [mm])



A-A' 断面

(1) case1-1 (エアコン無、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
便所、洗面所、浴室)



水平断面 (z=1, 200 [mm])



A-A' 断面

(3) case2-3 (エアコン有、換気回数
0.5 [回/h] 排気口位置：
ダイニング局所排気装置)

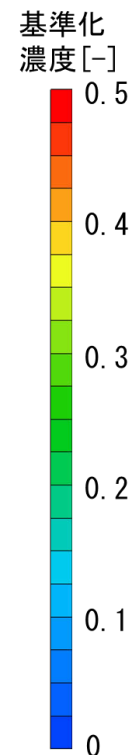
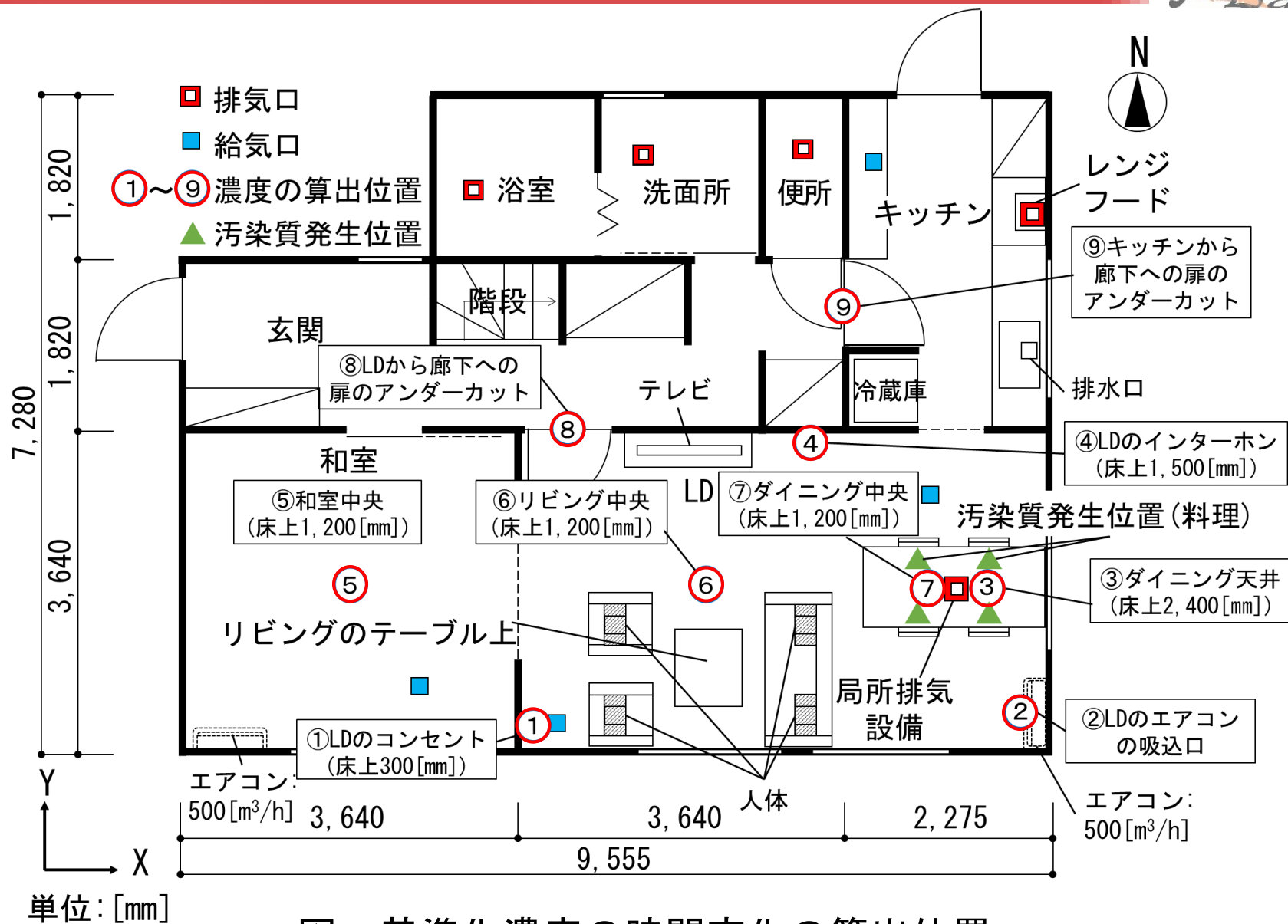


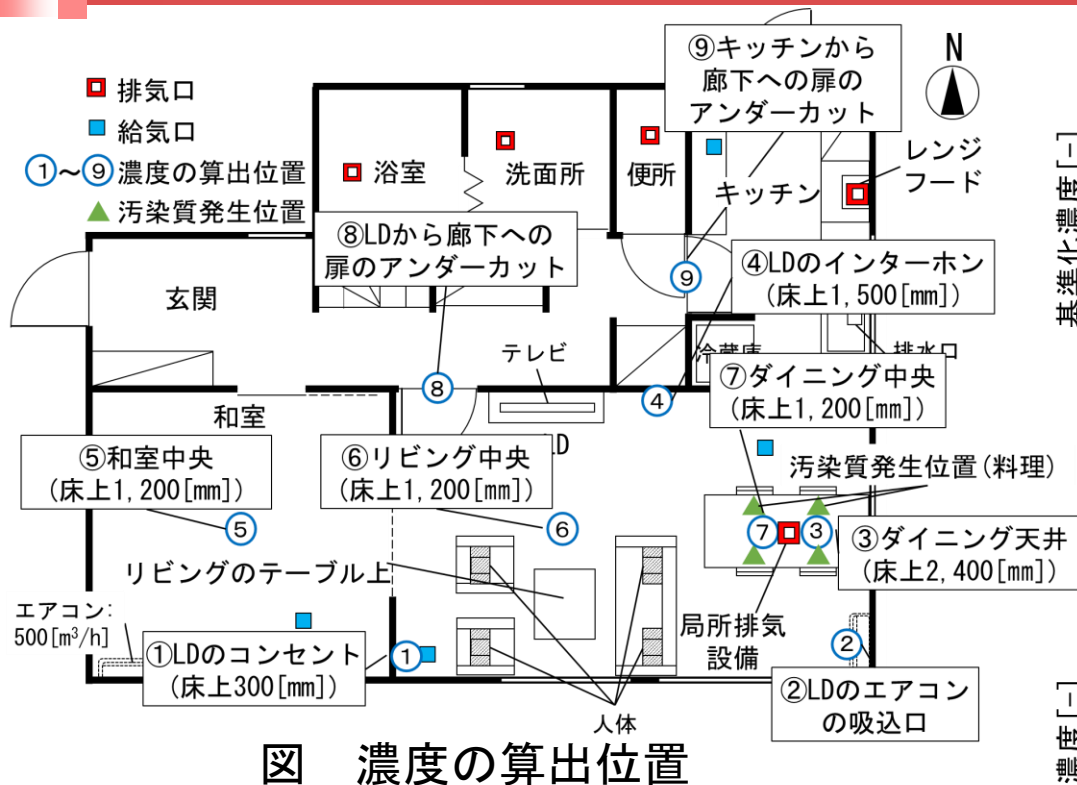
図2 各caseのトレーサ発生から1,800秒後における濃度分布

和室、リビングにおいて基準化濃度は低下する。

解析結果



解析結果



- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| ① —■— LDのコンセント | ⑥ —●— リビング中央 |
| ② —▲— LDのエアコンの吸込口 | ⑦ —◆— ダイニング中央 |
| ③ —◆— ダイニング天井 | ⑧ —...— LDから廊下への扉のアンダーカット |
| ④ —✕— LDのインターホン | ⑨ —...— キッチンから廊下への扉のアンダーカット |
| ⑤ —▲— 和室中央 | |

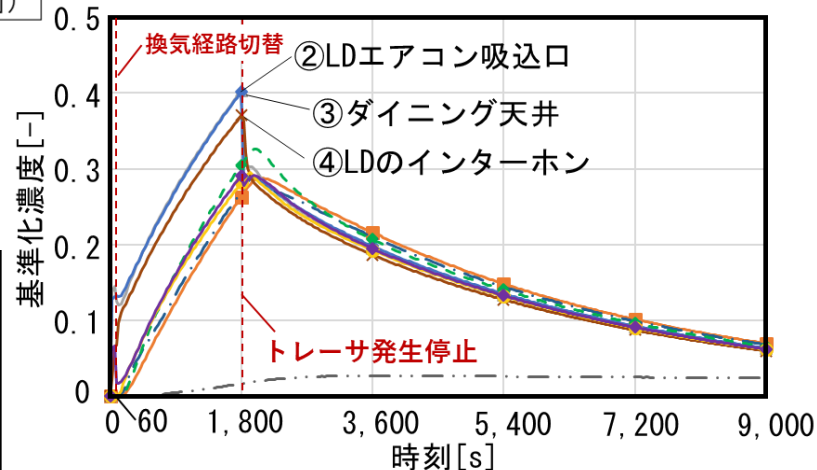
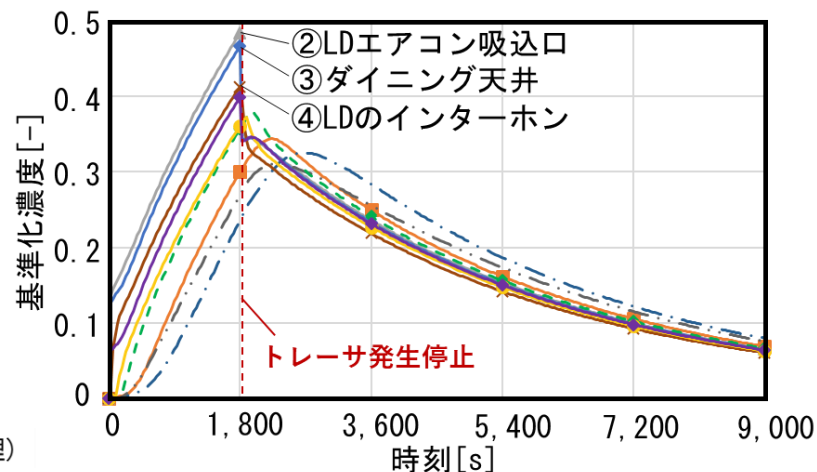
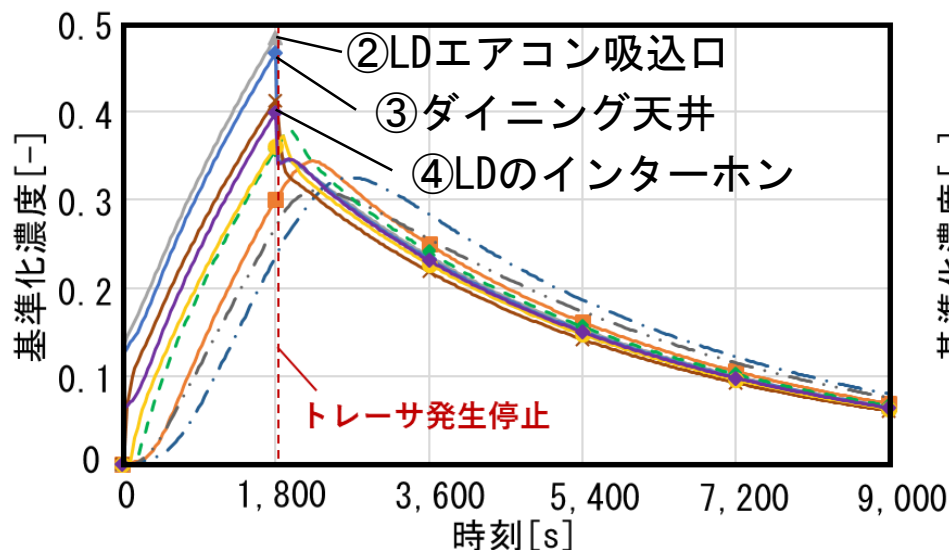
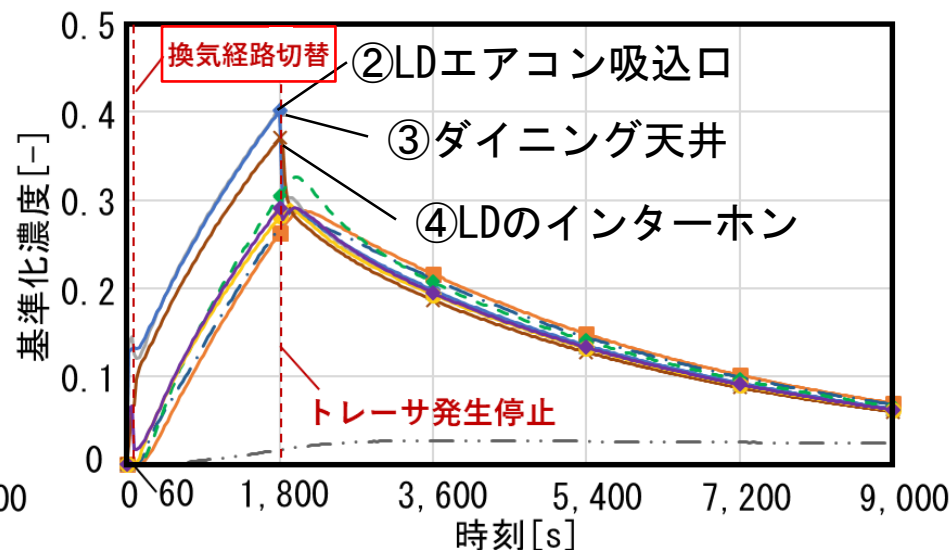


図3 case1-1とcase1-3の各算出点における基準化濃度の時間変化

- ① — LDのコンセント ② ▲ LDのエアコンの吸込口 ③ ◆ ダイニング天井 ④ ✕ LDのインターホン ⑤ ▲ 和室中央 ⑥ ● リビング中央
⑦ ◆ ダイニング中央 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



(1) case1-1 (エアコン無、
排気口位置：便所、洗面所、浴室)

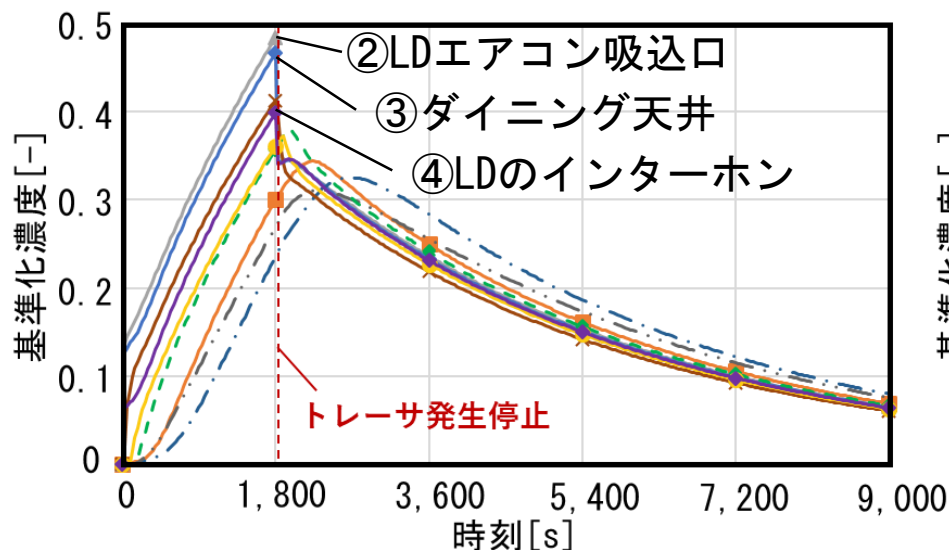


(2) case1-3 (エアコン無、
排気口位置：ダイニング局所排気装置)

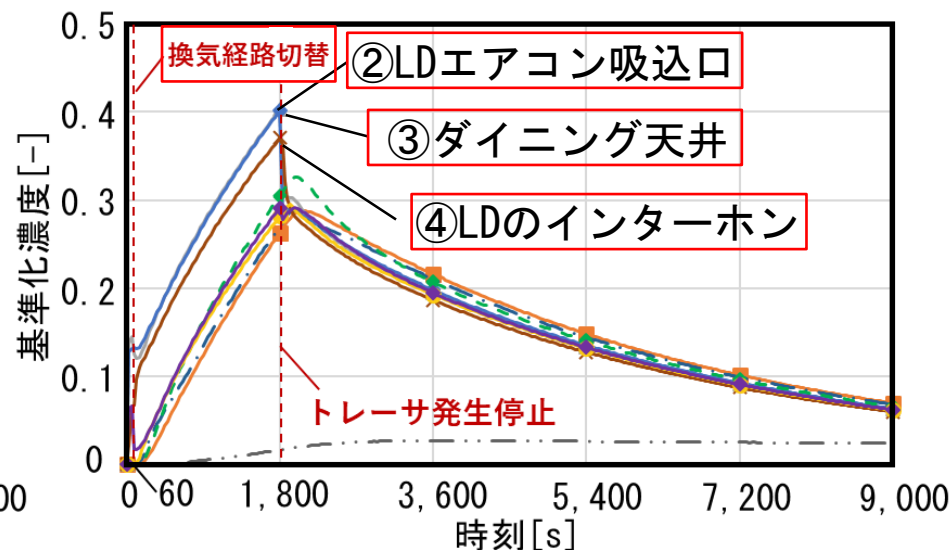
図3 case1-1とcase1-3の各算出点における基準化濃度の時間変化

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②LDのエアコン吸込口、③ダイニングの天井、④LDのインターホンでは0.1程度小さくなるが、

- ① — LDのコンセント ② ▲ LDのエアコンの吸込口 ③ ◆ ダイニング天井 ④ ✕ LDのインターホン ⑤ ▲ 和室中央 ⑥ ● リビング中央
⑦ ◆ ダイニング中央 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



(1) case1-1 (エアコン無、
排気口位置：便所、洗面所、浴室)

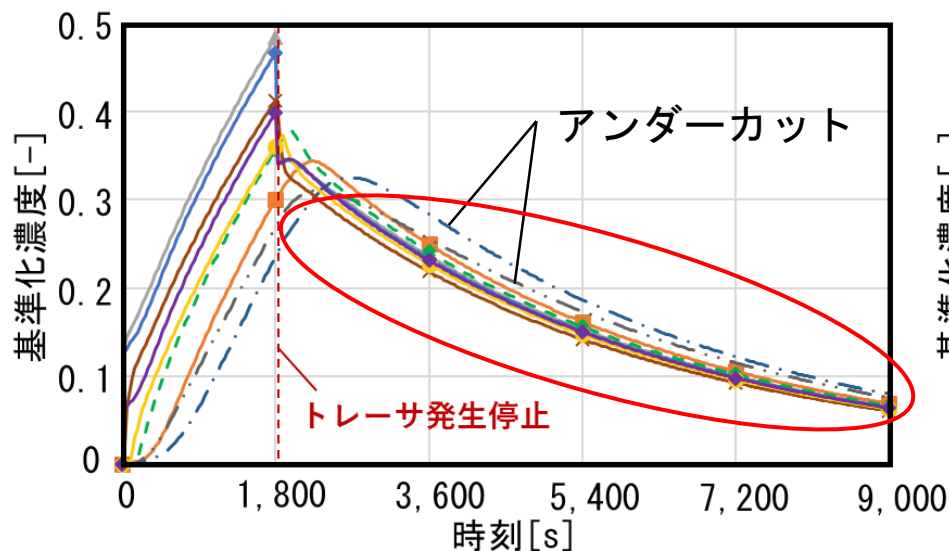


(2) case1-3 (エアコン無、
排気口位置：ダイニング局所排気装置)

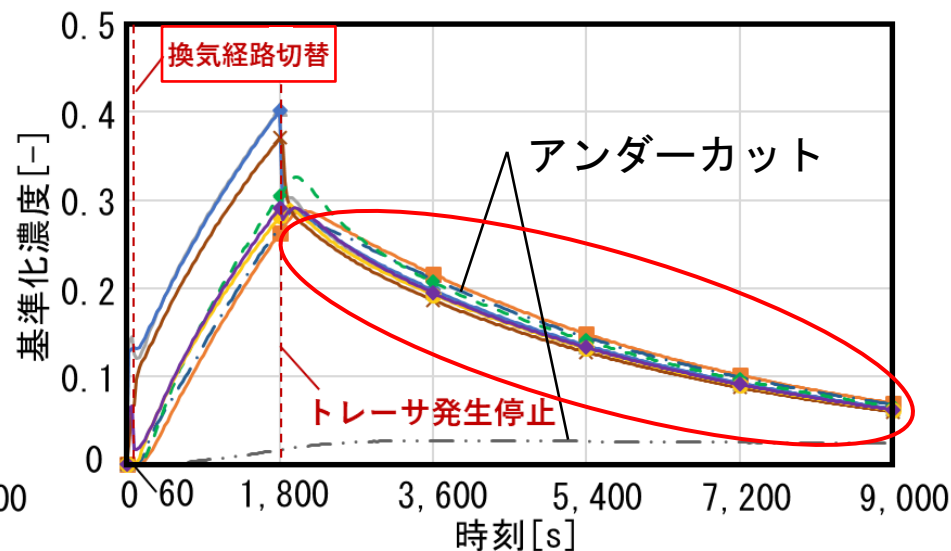
図3 case1-1とcase1-3の各算出点における基準化濃度の時間変化

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②LDのエアコン吸込口、③ダイニングの天井、④LDのインターホンでは0.1程度小さくなるが、

- ① — LDのコンセント ② — LDのエアコンの吸込口 ③ — ダイニング天井 ④ — LDのインターホン ⑤ — 和室中央 ⑥ — リビング中央
⑦ — ダイニング中央 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



(1) case1-1 (エアコン無、
排気口位置：便所、洗面所、浴室)

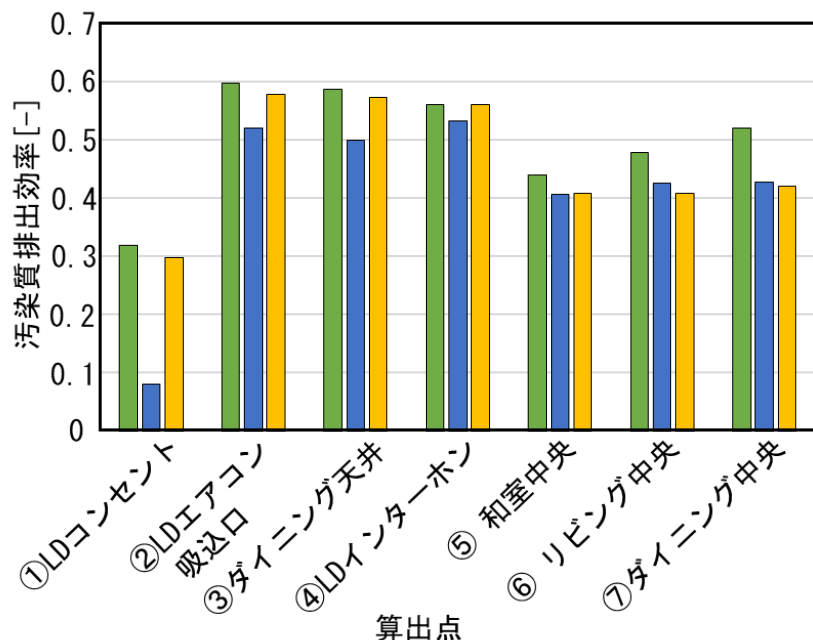


(2) case1-3 (エアコン無、
排気口位置：ダイニング局所排気装置)

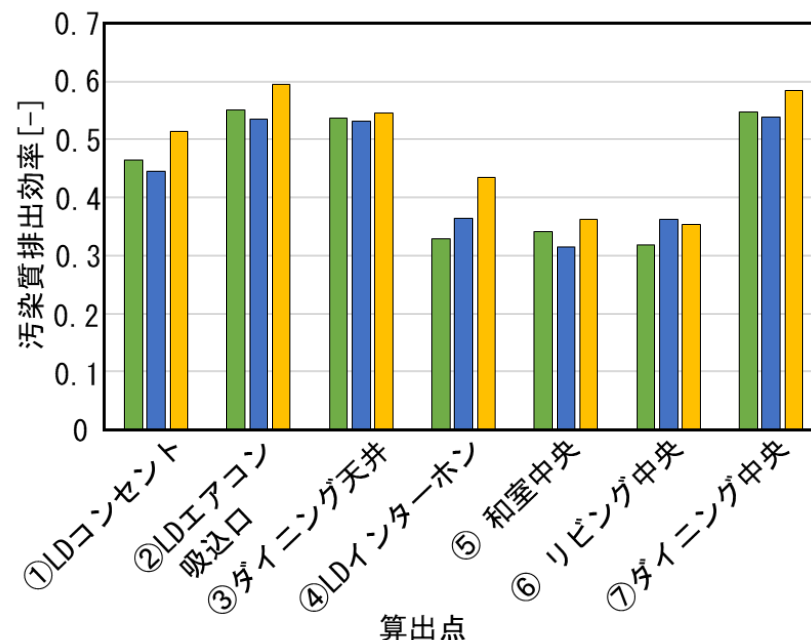
図3 case1-1とcase1-3の各算出点における基準化濃度の時間変化

トレーサ発生停止後の濃度減衰は⑧LD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。

■ case1-1、case2-1 (排気口位置：便所、洗面所、浴室)
 ■ case1-2、case2-2 (排気口位置：キッチンレンジフード)
 ■ case1-3、case2-3 (排気口位置：ダイニング局所排気装置)



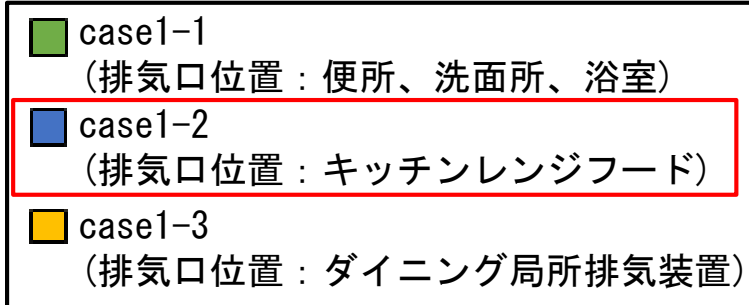
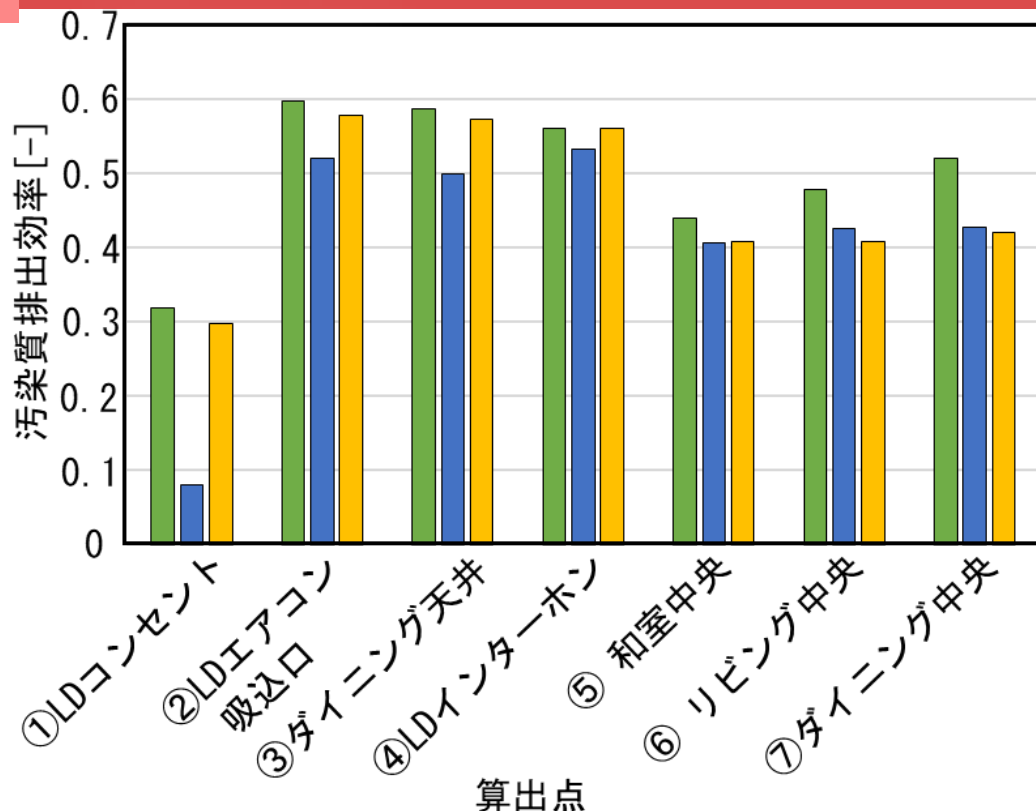
(1) エアコンを停止させたcaseの比較



(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

解析結果

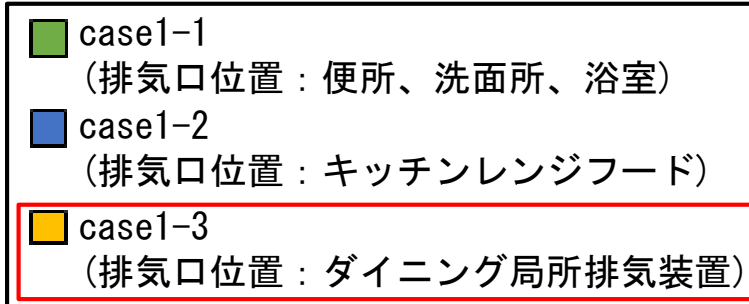
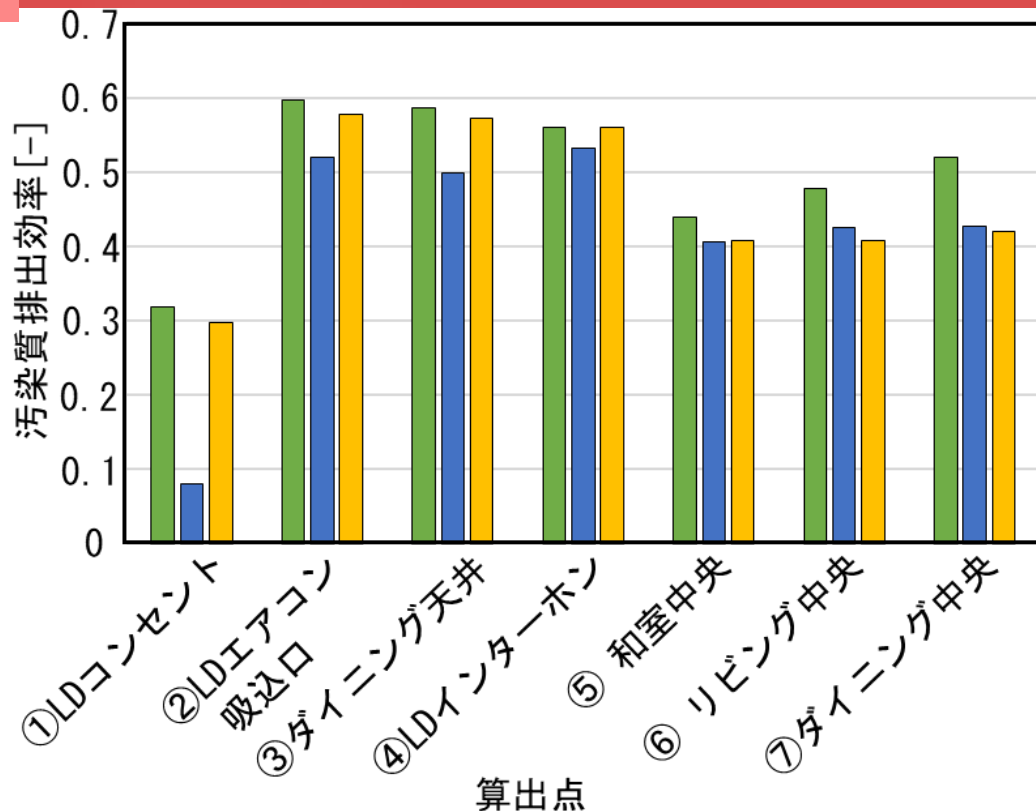


(1) エアコンを停止させたcaseの比較

図4 各caseの汚染質排出効率

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、①LD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。

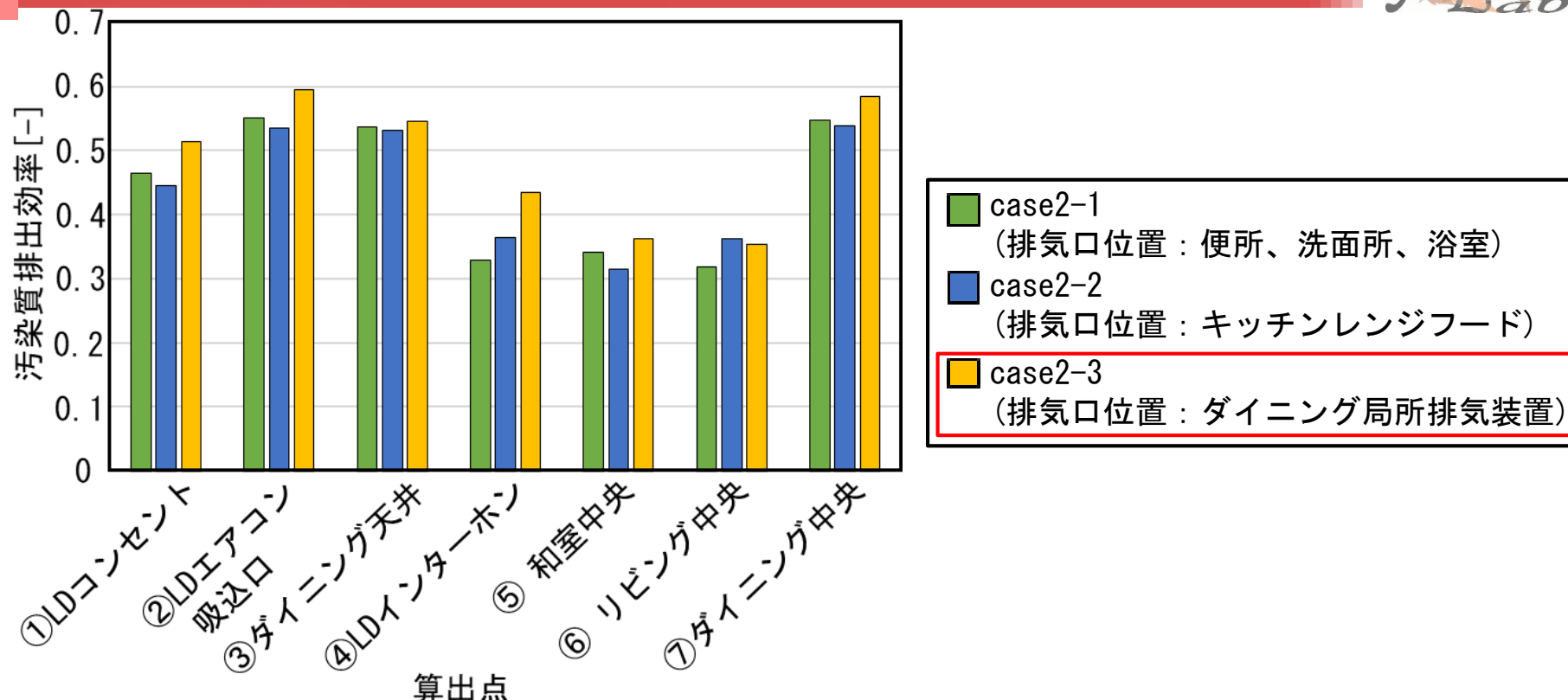
解析結果



(1) エアコンを停止させたcaseの比較

図4 各caseの汚染質排出効率

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。

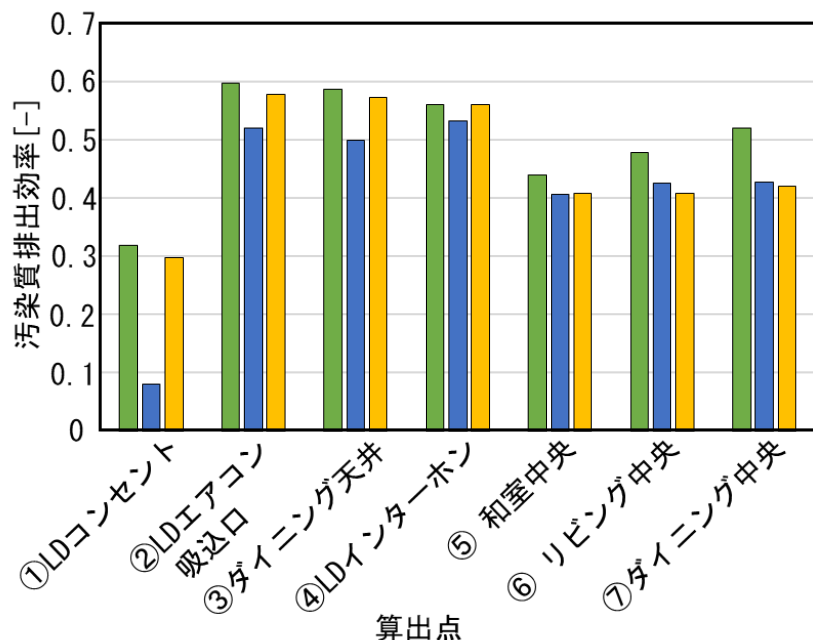


(2) エアコンを送風運転させたcaseの比較

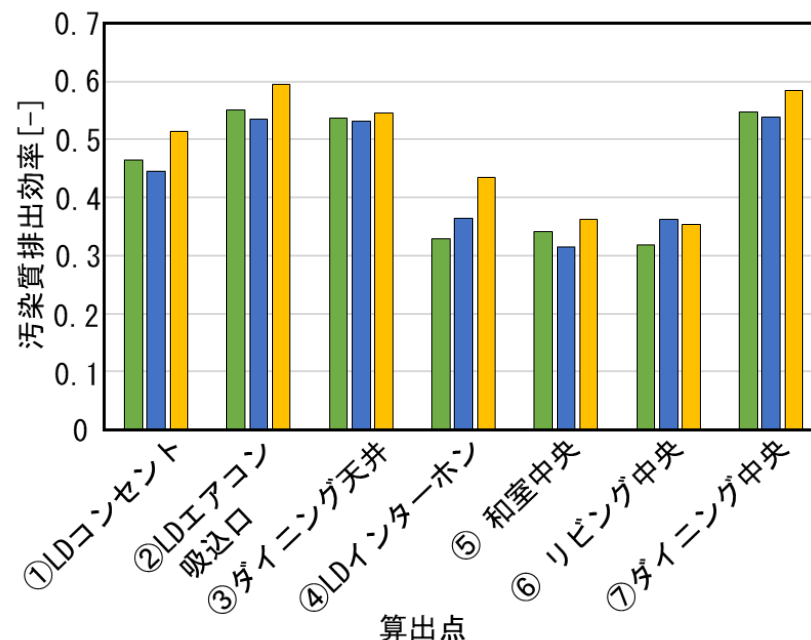
図4 各caseの汚染質排出効率

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。

■ case1-1、case2-1 (排気口位置：便所、洗面所、浴室) ■ case1-2、case2-2 (排気口位置：キッチンレンジフード)
■ case1-3、case2-3 (排気口位置：ダイニング局所排気装置)



(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

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。

- ① 排気口位置を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②LDのエアコンの吸込口、③ダイニングの天井、⑤LD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。