

総務省消防庁予防課 殿

令和 3 年度

「住宅火災の早期覚知方策のあり方に

関する調査分析業務」

成果報告書

2022 年 2 月

アドバンスソフト株式会社

## 目次

<b>1. はじめに</b> .....	<b>1</b>
<b>2. 業務概要</b> .....	<b>1</b>
<b>3. 業務内容</b> .....	<b>1</b>
3.1. 解析モデル.....	1
3.2. 計算格子および計算条件.....	5
3.2.1. 平屋.....	5
3.2.2. 2階建て.....	8
3.2.3. ストープ火災の火源条件.....	12
<b>4. 燻焼火災実験との比較解析</b> .....	<b>14</b>
<b>5. 計算結果</b> .....	<b>18</b>
5.1. 平屋.....	18
5.1.1. ケース h_caseL1.....	28
5.1.2. ケース h_caseL2.....	39
5.1.3. ケース h_caseB1.....	50
5.1.4. ケース h_caseB2.....	61
5.2. 2階建て.....	74
5.2.1. ケース 2k_caseL1.....	90
5.2.2. ケース 2k_caseL2.....	101
5.2.1. ケース 2k_caseB1.....	112
5.2.2. ケース 2k_caseB2.....	126
<b>6. まとめ</b> .....	<b>139</b>

## 1. はじめに

消防庁では、これまで行われてきた住宅防火対策に加え、住宅火災の早期覚知のために講じるべき方策を検討し、住宅火災による死者数の低減に資することを目的とし、「住宅火災の早期覚知方策のあり方に関する検討部会」を立ち上げ、検討を行っている。

本業務は、付加的機能・先進的機能を有する住宅用火災警報器等の有用性の有無等を検証するため、シミュレーション等を用いて調査分析することが目的である。

## 2. 業務概要

戸建て住宅における火災を想定し、住宅は2階建て及び平屋建ての2パターンとした。火源の想定はたばこによる燻焼及び電気ストーブに衣類等が接触したことによる2種類の出火とし、火源の箇所はLDKと寝室の2か所とした。

シミュレーションは、火災による煙及び一酸化炭素の流動状況並びに延焼拡大状況（熱の流動を含む）の変化を得ることを目的に実施した。

火災シミュレーションにはFDS（Fire Dynamics Simulator）v6.7.0を利用した。

## 3. 業務内容

### 3.1. 解析モデル

対象とする平屋および2階建て戸建て住宅の平面図を図3-1～図3-2に示す。火源の場所は赤い点で記した。

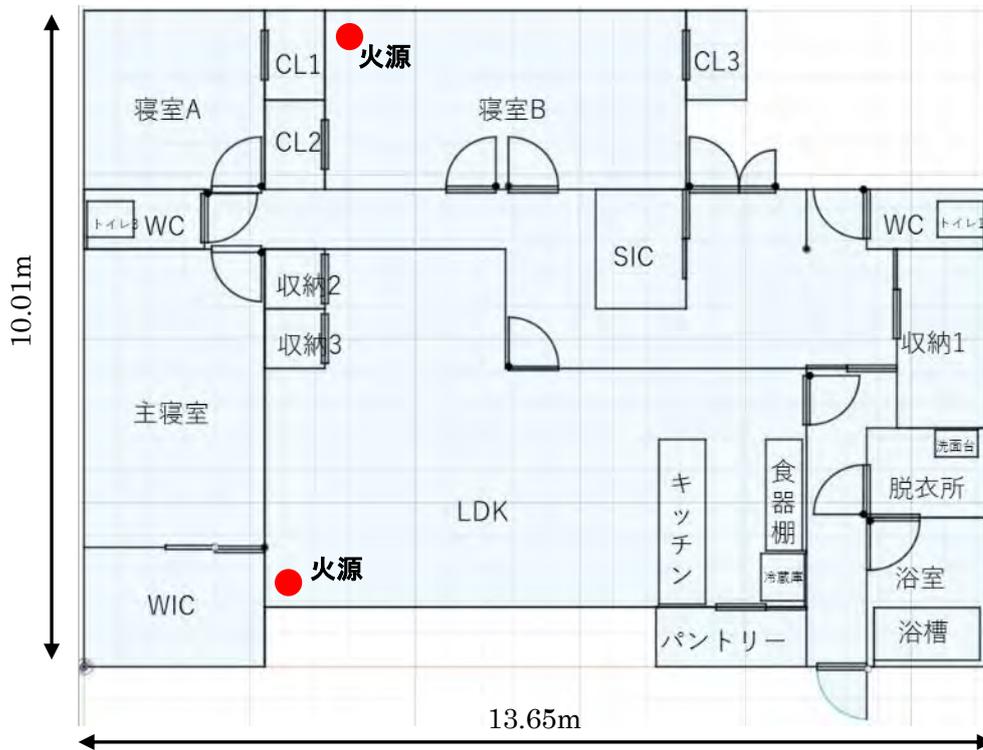


図 3-1 住宅平面図 (平屋)

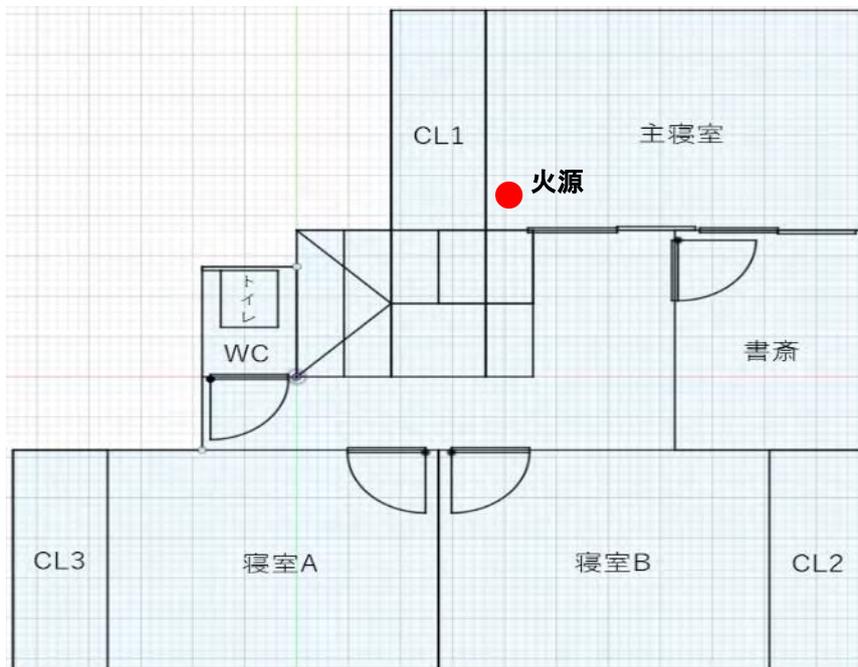
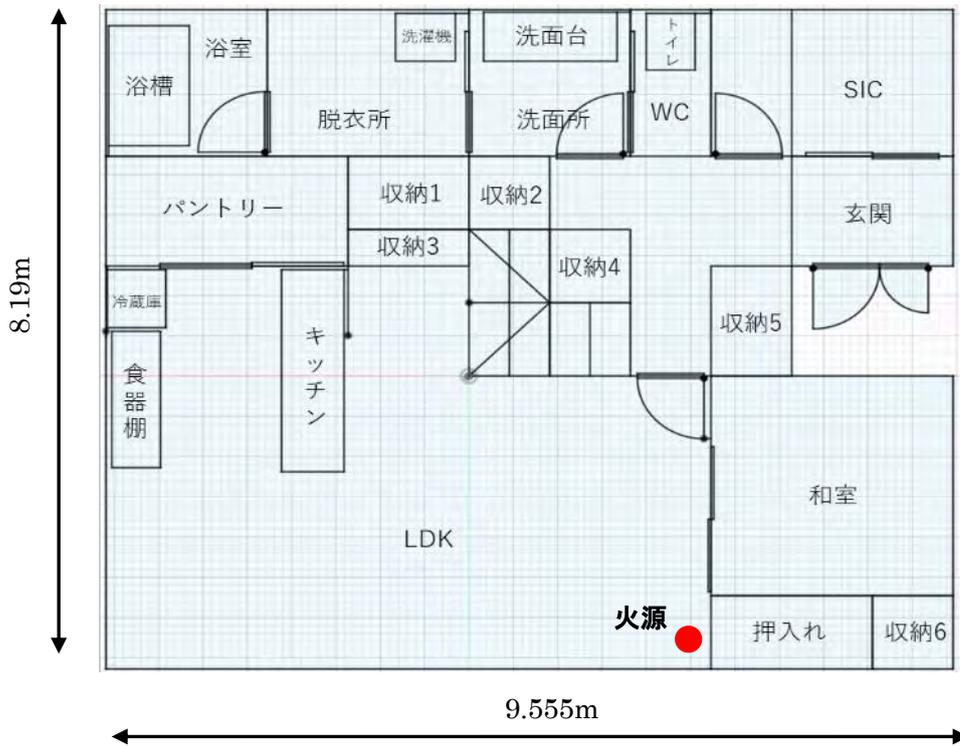


図 3-2 住宅平面図 (2階建て、上:1階、下:2階)

シミュレーションでは温度、一酸化炭素および煙の測定ポイントは各居室及び階段部分の以下に掲げる場所に設定し、温度および一酸化炭素と煙の濃度の時間変化が見られるようにした。

- ① 各居室及び階段
  - (ア) 天井の中心部分
  - (イ) 任意の壁における天井から 0.5m 離れた部分
  - (ウ) 任意の壁における床から 1.5m 離れた部分
- ② 各居室
  - (ア) 床面中心部分から高さ 1.5m の部分
  - (イ) 床面中心部分から高さ 0.3m の部分
  - (ウ) 床面中心部分から高さ 0.6m の部分

## 3.2. 計算格子および計算条件

### 3.2.1. 平屋

FDS で作成した平屋の解析モデルを図 3-3 に、計算格子図を図 3-4 に示す。  
計算格子数は 317,544(131×101×24)とした。

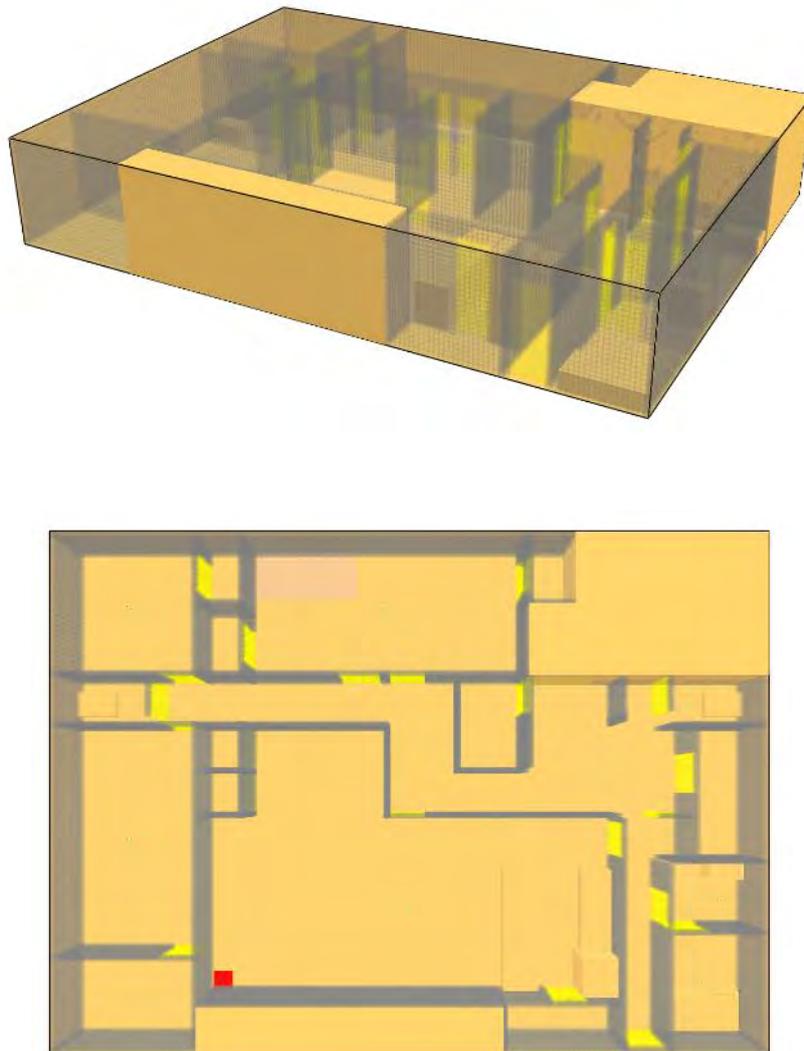


図 3-3 FDS による解析モデル図（上：鳥観図、下：平面図）

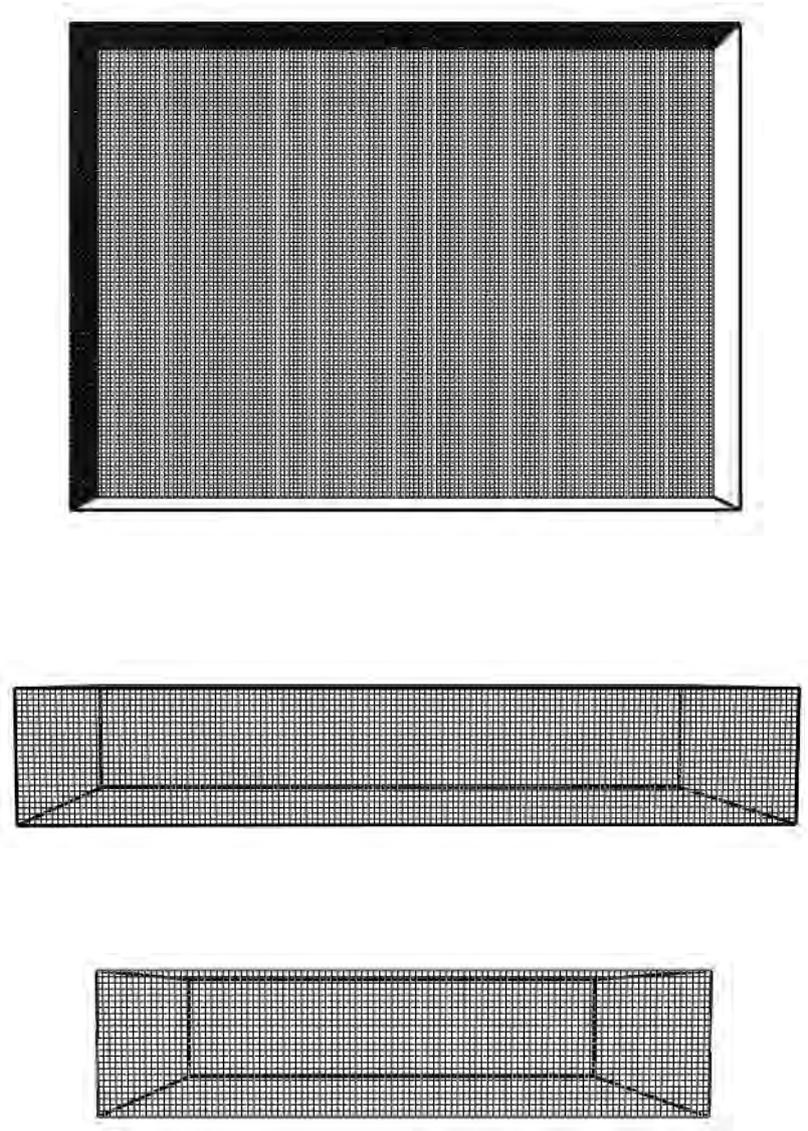


図 3-4 FDS による計算格子図  
(上：平面図、中：側面図[LDK 側]、下：側面図[主寝室側])

主な計算条件を以下に示す。

表 3-1 材質条件

項目 1	項目 2	内容
材質	壁	可燃性有機化合物
	床、天井	木材
	ドア	木材
	その他	不燃材料

その他計算条件として、火源は該当箇所に高温領域を設定。燃焼とともに煤および一酸化炭素が発生する反応モデルを採用した。ドアは全て閉まっているものとして、ドア部分の面積に対して 5%相当の隙間を設定した。

計算ケースとして、火源は電気ストーブに衣服などが接触したことによる出火とたばこによる燻焼の 2 種類、場所は LDK と寝室の 2 か所とした。解析ケース一覧を表 3-2 に示す。

表 3-2 解析ケース（平屋）

ケース名	場所	火源
h_caseL1	LDK	電気ストーブ
h_caseL2	LDK	たばこ
h_caseB1	寝室 B	電気ストーブ
h_caseB2	寝室 B	たばこ

### 3.2.2. 2階建て

FDS で作成した 2 階建ての解析モデルを図 3-5、図 3-6 計算格子図を図 3-7 に示す。  
計算格子数は 409,344(96×82×52)とした。

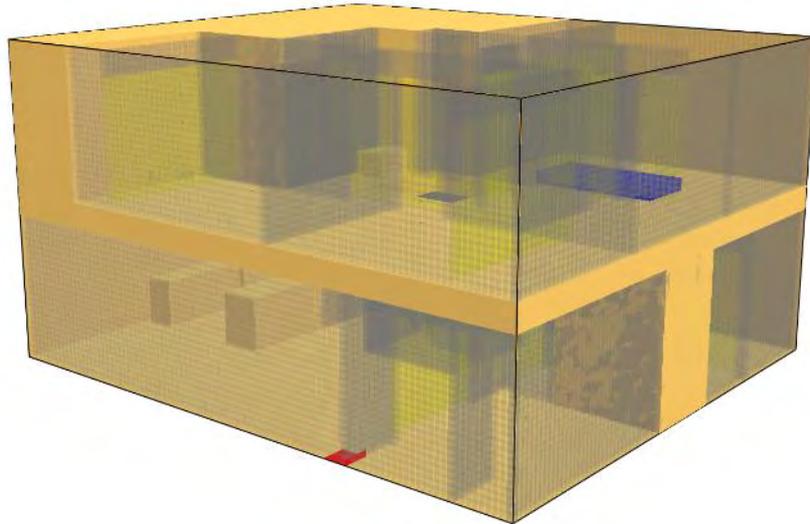


図 3-5 FDS による解析モデル図

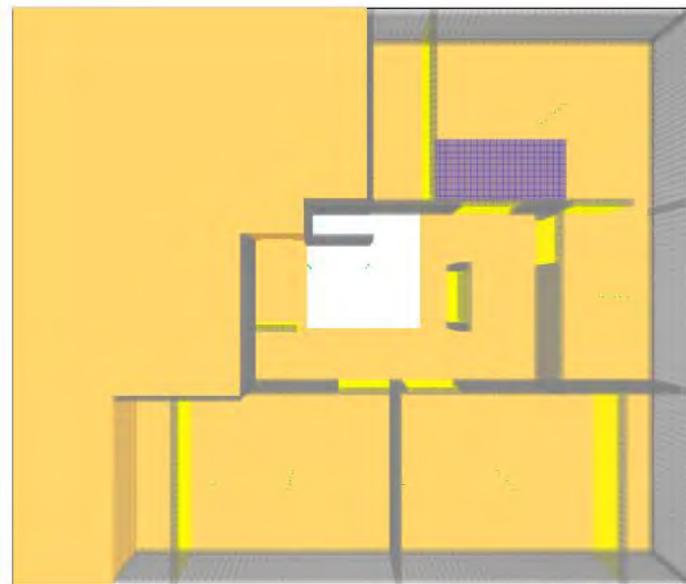


図 3-6 FDS による解析モデル図（上：1 階平面図、下：2 階平面図）

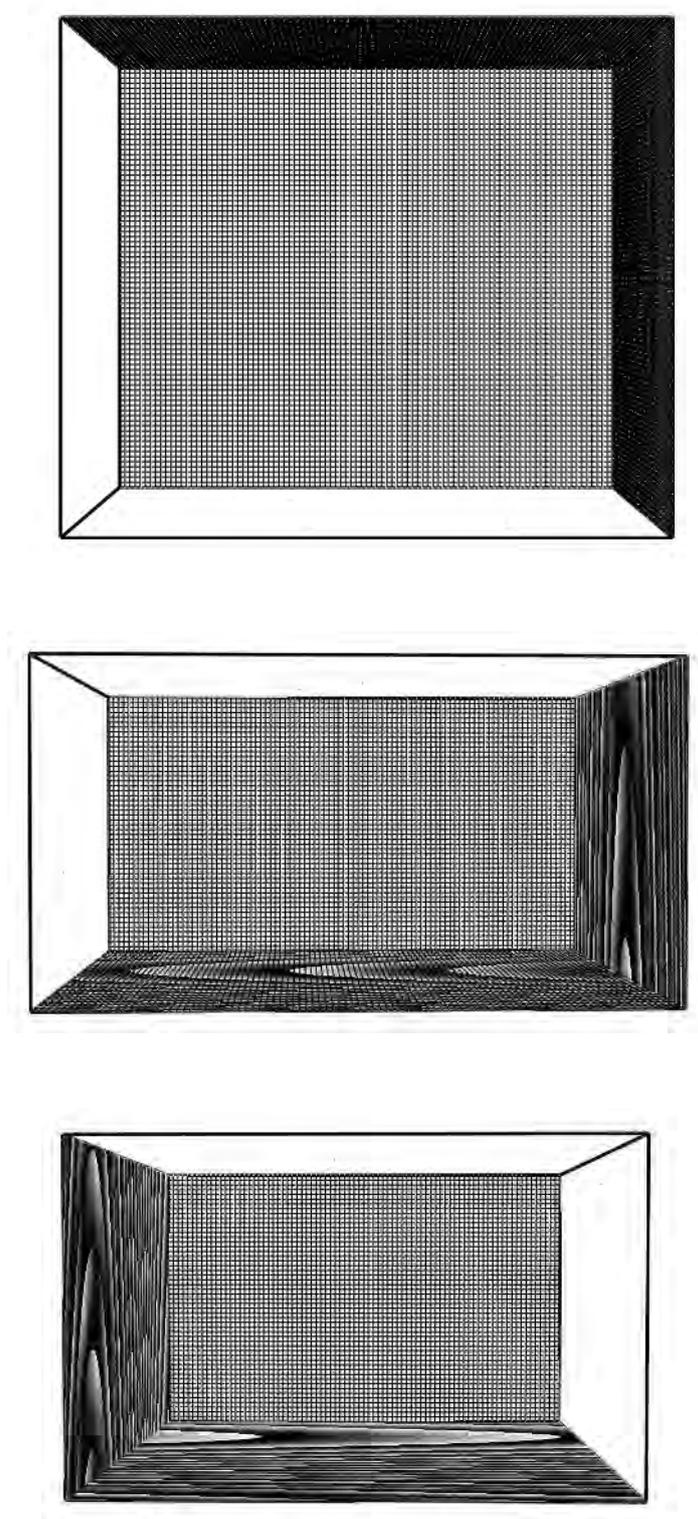


図 3-7 (上：平面図、中：側面図[LDK 側]、下：側面図[和室、玄関側])

主な計算条件を以下に示す。

表 3-3 材質条件

項目 1	項目 2	内容	備考
材質	壁	可燃性有機化合物	
	床、天井、階段	木材	
	ドア	木材	
	その他	不燃材料	

その他計算条件として、火源は該当箇所に高温領域を設定。燃焼とともに煤および一酸化炭素が発生する反応モデルを採用した。ドアは全て閉まっているものとして、ドア部分の面積に対して 5%相当の隙間を設定した。

計算ケースとして、火源は電気ストーブに衣服などが接触したことによる出火とたばこによる燻焼の 2 種類、場所は LDK と寝室の 2 か所とした。

解析ケース一覧を表 3-4 に示す。

表 3-4 解析ケース (二階建て)

ケース名	場所	火源
2k_caseL1	LDK	電気ストーブ
2k_caseL2	LDK	たばこ
2k_caseB1	主寝室	電気ストーブ
2k_caseB2	主寝室	たばこ

### 3.2.3. ストープ火災の火源条件

各ケースの火災条件について以下に記す。

LDKにおけるストーブ火災の火源条件では一辺 40 cm、厚さ 20 cmの布を置き、その上面がストーブにより 1500°Cに熱せられている条件とした（図 3-8 参照）。布の材質はナイロン生地に対応し、想定としてはストーブが布の上に倒れ、布の上面を熱している状態である。

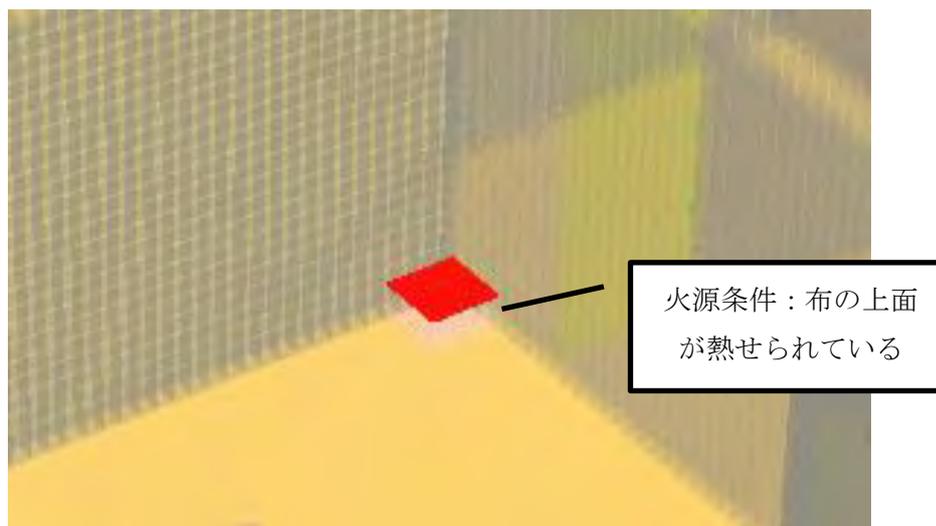


図 3-8 LDK におけるストーブ火災解析の火源条件

寝室におけるストーブ火災では長さ：2.1m×幅：1m×厚さ：0.2mの布団の上で、1辺 40 cmの面が 1500°C熱せられている条件とした（図 3-9 参照）。布団の材質としては羊毛がナイロンに覆われているものと同様の材質となっている。ストーブが布団の上に倒れ、布団の上面を熱している条件となっている。

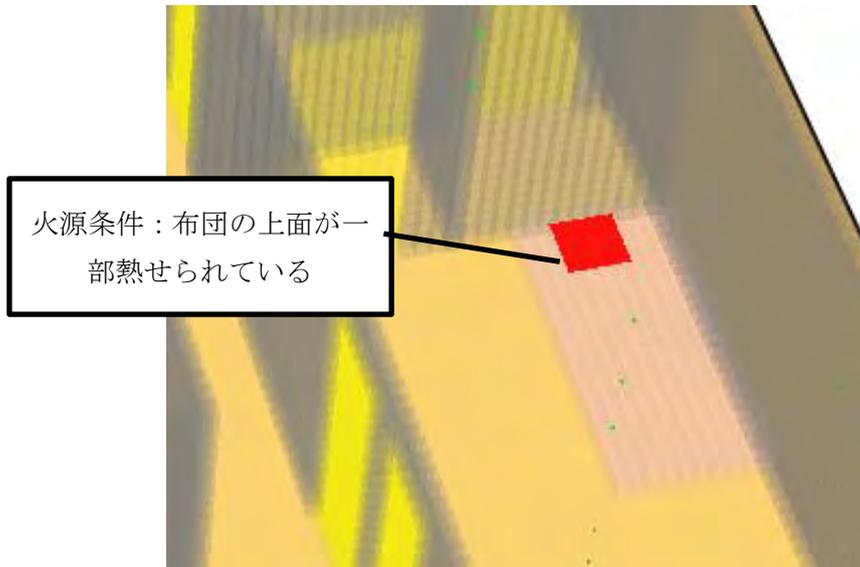


図 3-9 寝室におけるストーブ火災解析の火源条件

燻焼火災の火源については、ストーブ火災と同様にLDKでは布上、寝室では布団の上に、直径 1 cm、長さ 15 cmの円筒が 2000°Cで発熱している条件とした。詳細は次章に記す。

#### 4. 燻焼火災実験との比較解析

燻焼火災現象では、燃焼による煙の発生より前に、熱分解による CO が発生するのが特徴である。

燻焼シミュレーションをおこなうに当たり、燻焼火災実験[1]の再現解析をおこない、適切な火源条件を確認する。

実験では実験室内に布団とタオルケットを置き、火源としてタバコを置いている。実験体系を図 4-1 に示す。

[1] 波多野博憲、くん焼火災における煙・CO 警報器の有効性に関する研究（その2）、平成29年度日本火災学会研究発表会

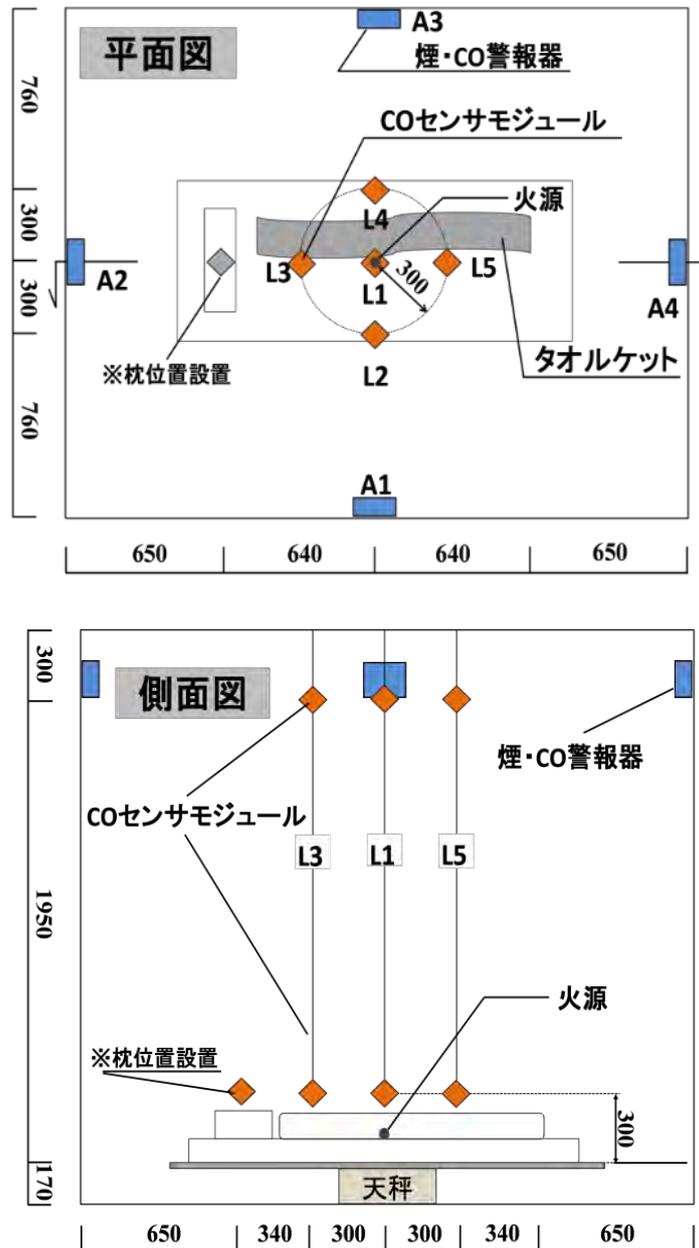


図 4-1 実験体系[1] (平面図と側面図)

解析モデルも実験室と同様の空間に布団に相当する可燃材をおき、その真上に火源をおいた(参照図 4-2)。火源は直径 1 cm、長さ 15 cmの円筒が 2000℃で発熱している条件とした。温度は感度解析より決定した。

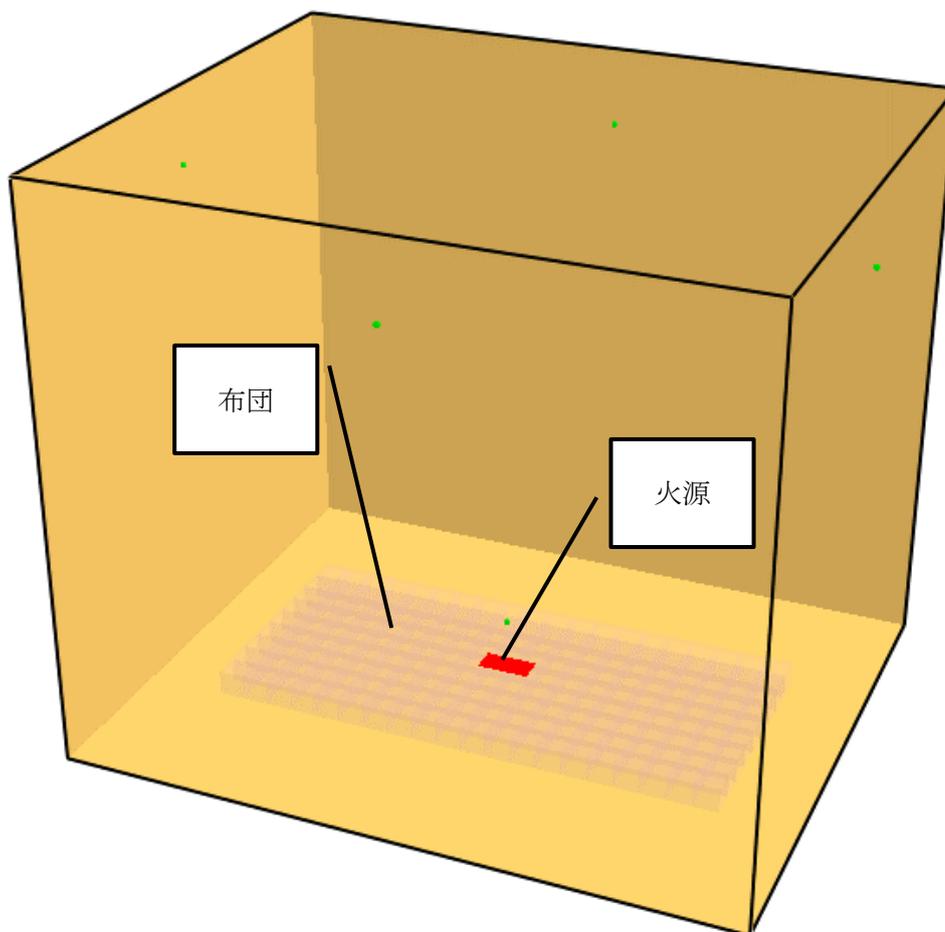


図 4-2 解析モデル

以下に実験結果(図 4-3)と解析結果(図 4-4)を示す。

CO 濃度、煙濃度の経時変化を比較すると、解析結果は実験結果をおおむねよく再現できている。したがって、以降の平屋および 2 階建ての燻焼解析ケース(h\_caseL2、h\_caseB2、2k\_caseL2、2k\_caseB2)は、火源条件を本計算と同じ条件で計算した。

警報器(A4)のCO濃度、COHb濃度及び煙濃度の推移

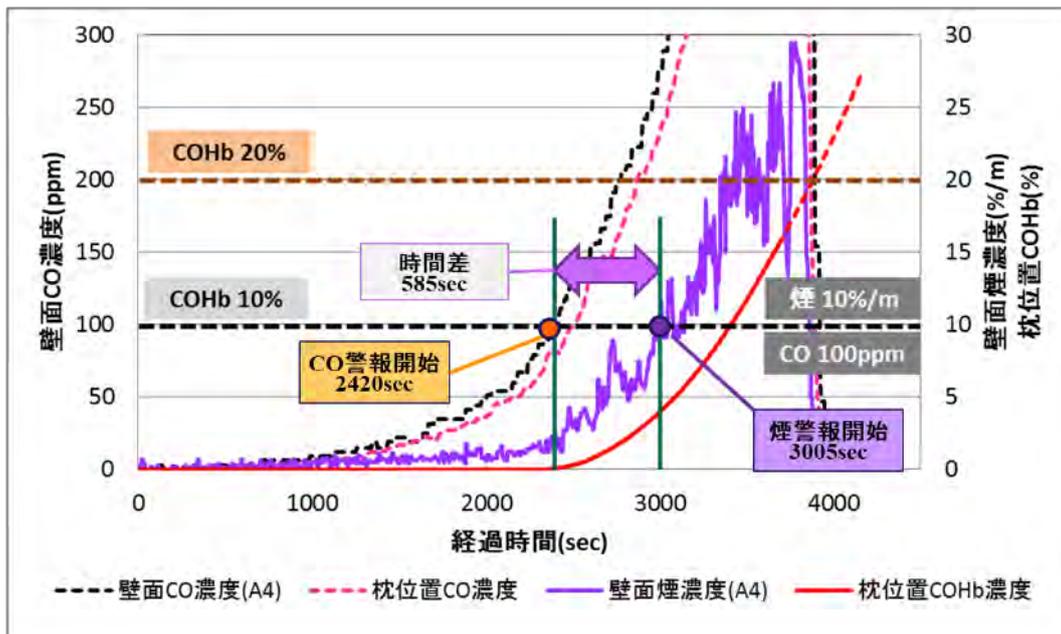


図 4-3 燻焼火災実験結果

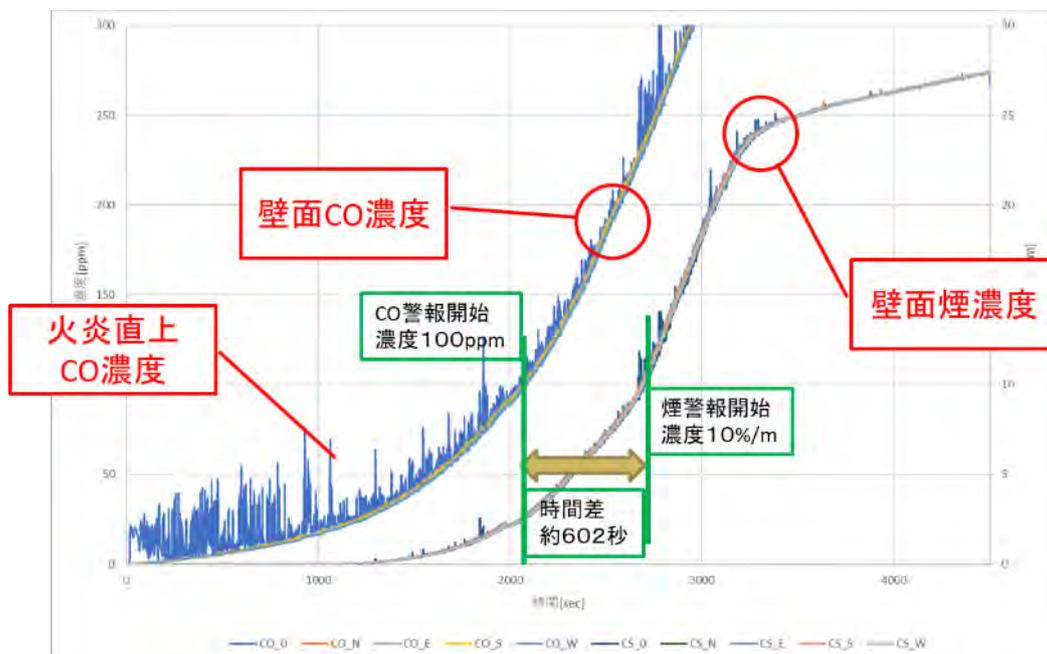


図 4-4 燻焼火災解析結果

## 5. 計算結果

以下に計算として、火源のあるLDKまたは寝室の中央断面における温度分布、一酸化炭素濃度分布および煙濃度分布を示す。また、各測定ポイントの温度、一酸化炭素濃度および煙濃度の経時変化グラフも示す。

### 5.1. 平屋

平屋における測定ポイントの位置について記す。

LDKにおける水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図5-1に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表5-1に示すとおりであり、名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

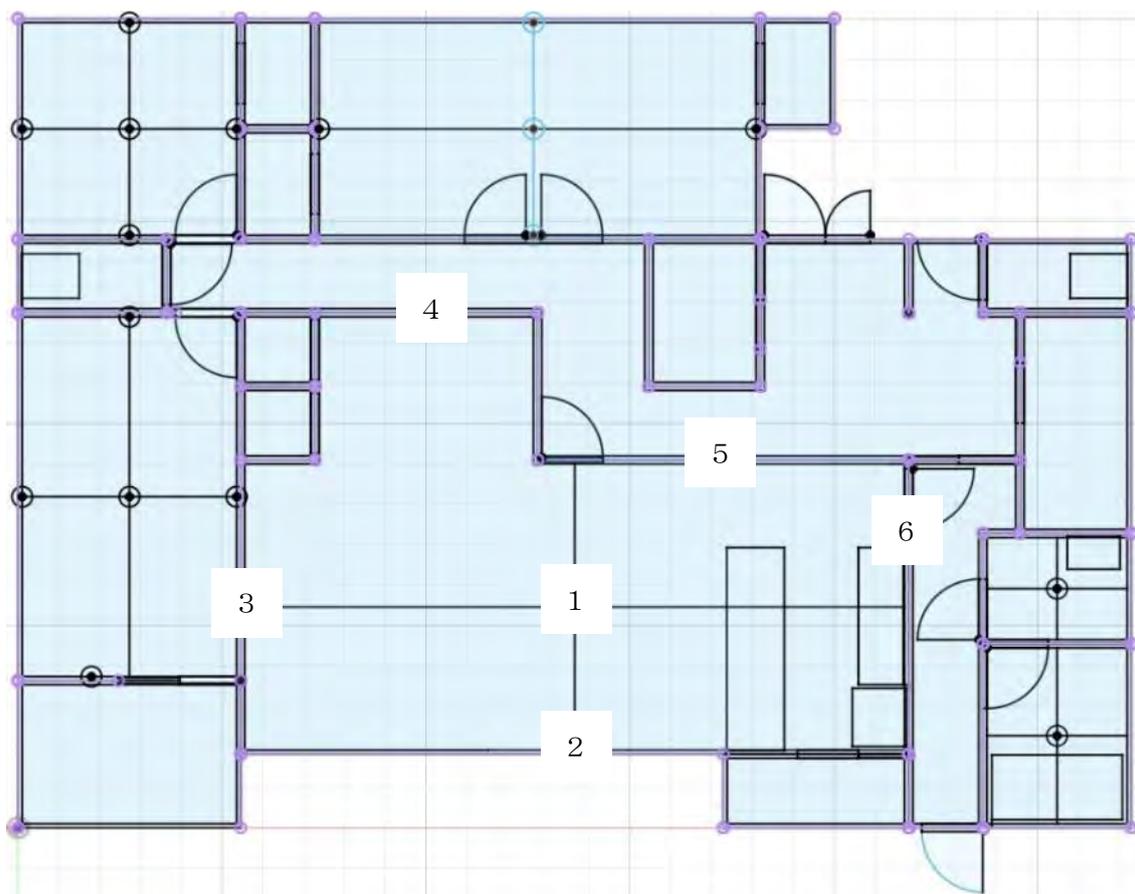


図 5-1 平屋／LDK の測定ポイント設定箇所

表 5-1 平屋/LDK の各測定ポイント設定箇所における設定高さ と名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	LDK 中央	2.4	LDK-天井
		1.9	LDK-1.9m
		1.5	LDK-1.5m
		0.6	LDK-0.6m
		0.3	LDK-0.3m
2	LDK 壁	1.9	LDK-S1.9m
		1.5	LDK-S1.5m
3		1.9	LDK-W1.9m
		1.5	LDK-W1.5m
4		1.9	LDK-NW1.9m
		1.5	LDK-NW1.5m
5		1.9	LDK-NE1.9m
		1.5	LDK-NE1.5m
6		1.9	LDK-E1.9m
		1.5	LDK-E1.5m

寝室 B における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-2 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-2 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

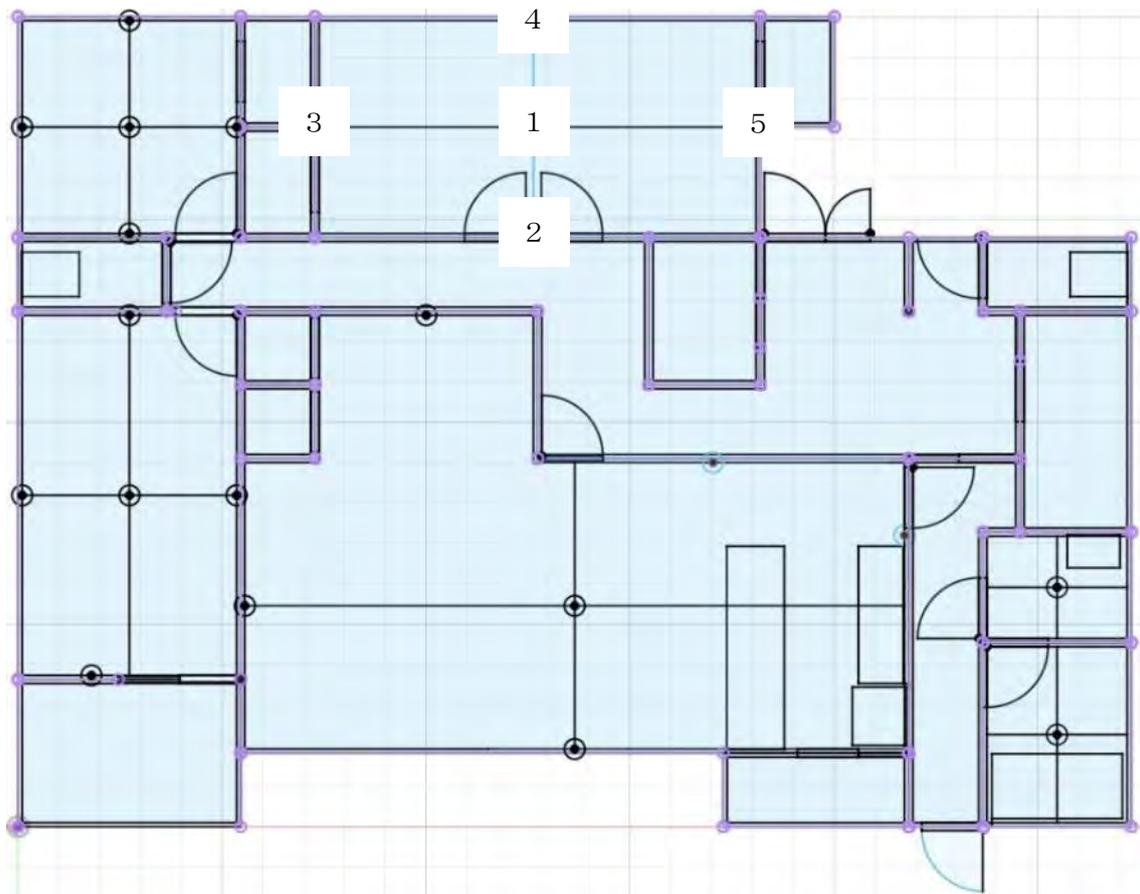


図 5-2 平屋／寝室 B の測定ポイント設定箇所

表 5-2 平屋／寝室 B の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	寝室 B 中央	2.4	寝室 B-天井
		1.9	寝室 B-1.9m
		1.5	寝室 B-1.5m
		0.6	寝室 B-0.6m
		0.3	寝室 B-0.3m
2	寝室 B 壁	1.9	寝室 B-S1.9m
		1.5	寝室 B-S1.5m
3		1.9	寝室 B-W1.9m
		1.5	寝室 B-W1.5m
4		1.9	寝室 B-N1.9m
		1.5	寝室 B-N1.5m
5		1.9	寝室 B-E1.9m
		1.5	寝室 B-E1.5m

主寝室における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-3 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-3 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

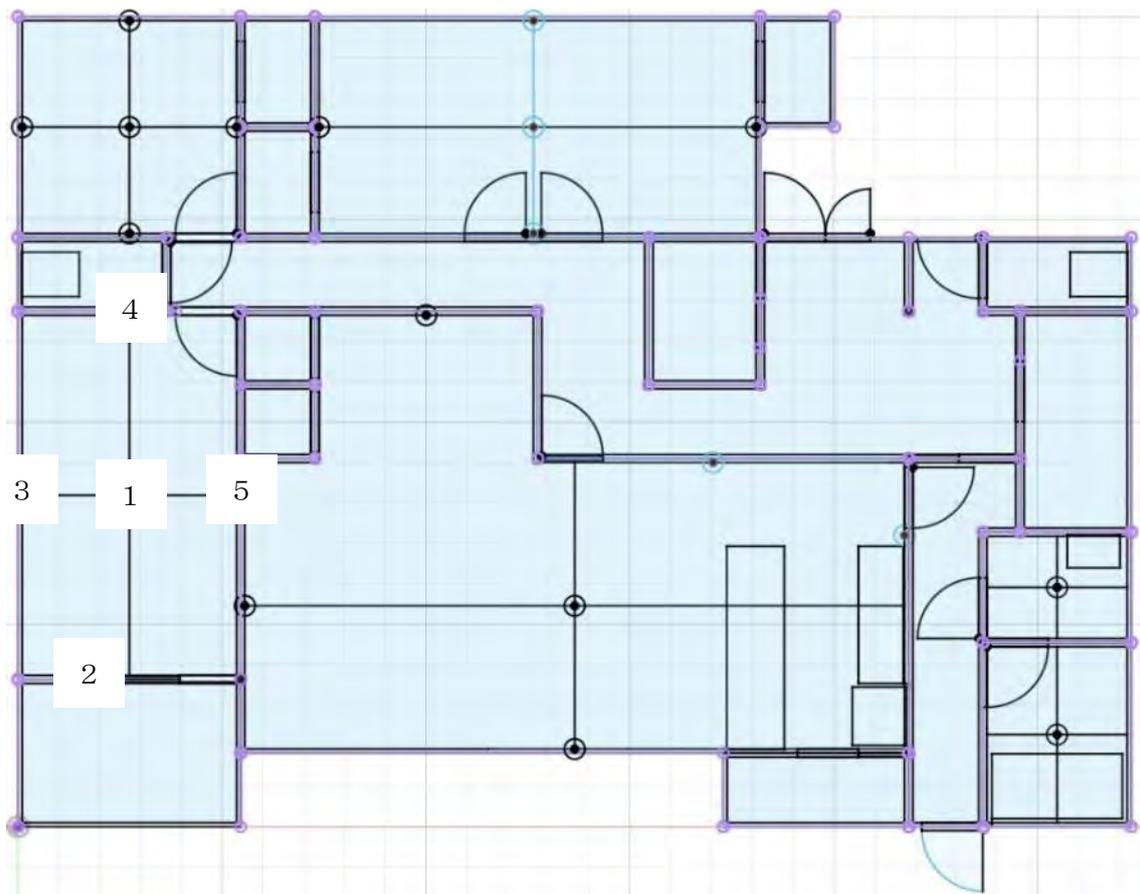


図 5-3 平屋／主寝室の測定ポイント設定箇所

表 5-3 平屋／主寝室の各測定ポイント設定箇所における設定高さとの名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	主寝室中央	2.4	主寝室-天井
		1.9	主寝室-1.9m
		1.5	主寝室-1.5m
		0.6	主寝室-0.6m
		0.3	主寝室-0.3m
2	主寝室壁	1.9	主寝室-S1.9m
		1.5	主寝室-S1.5m
3		1.9	主寝室-W1.9m
		1.5	主寝室-W1.5m
4		1.9	主寝室-N1.9m
		1.5	主寝室-N1.5m
6		1.9	主寝室-E1.9m
		1.5	主寝室-E1.5m

寝室 A における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-4 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-4 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

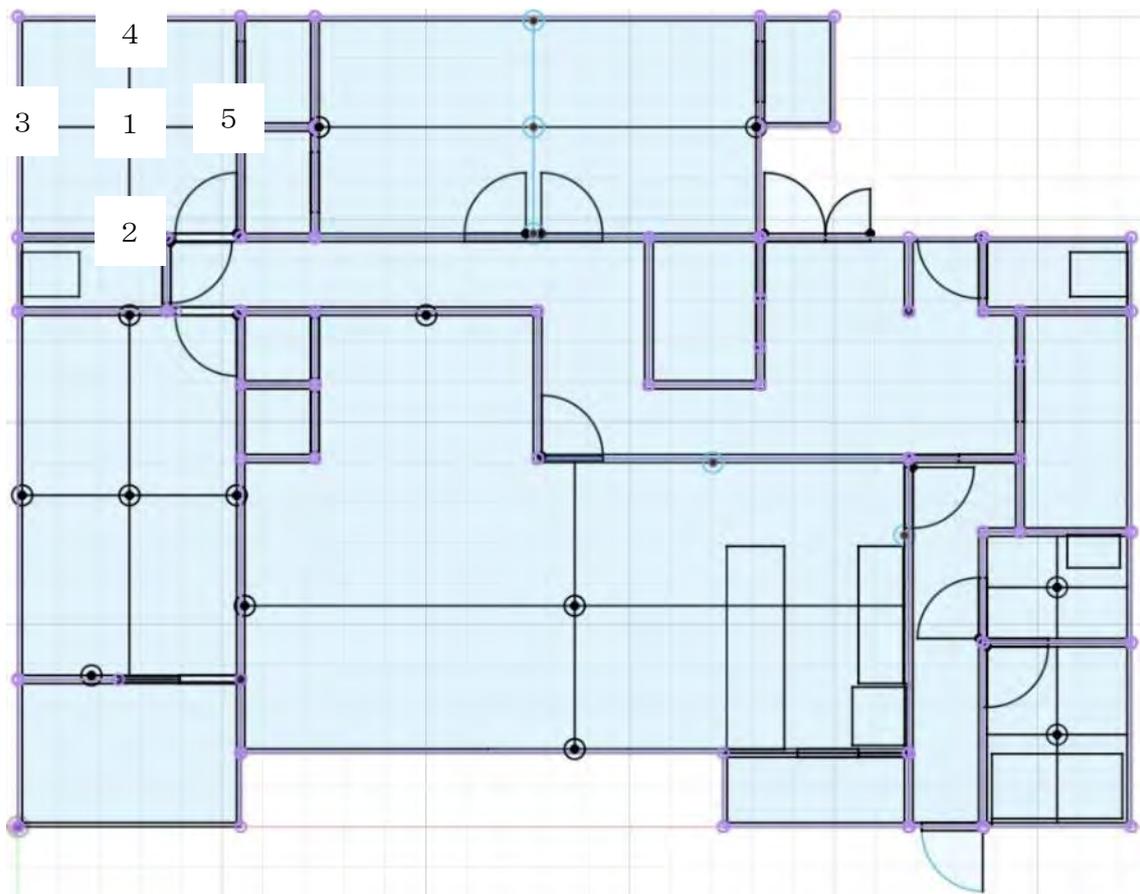


図 5-4 平屋／寝室 A の測定ポイント設定箇所

表 5-4 平屋／寝室 A の各測定ポイント設定箇所における設定高さとの名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	寝室 A 中央	2.4	寝室 A-天井
		1.9	寝室 A-1.9m
		1.5	寝室 A-1.5m
		0.6	寝室 A-0.6m
		0.3	寝室 A-0.3m
2	寝室 A 壁	1.9	寝室 A-S1.9m
		1.5	寝室 A-S1.5m
3		1.9	寝室 A-W1.9m
		1.5	寝室 A-W1.5m
4		1.9	寝室 A-N1.9m
		1.5	寝室 A-N1.5m
6		1.9	寝室 A-E1.9m
		1.5	寝室 A-E1.5m

寝室 A における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-4 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-4 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

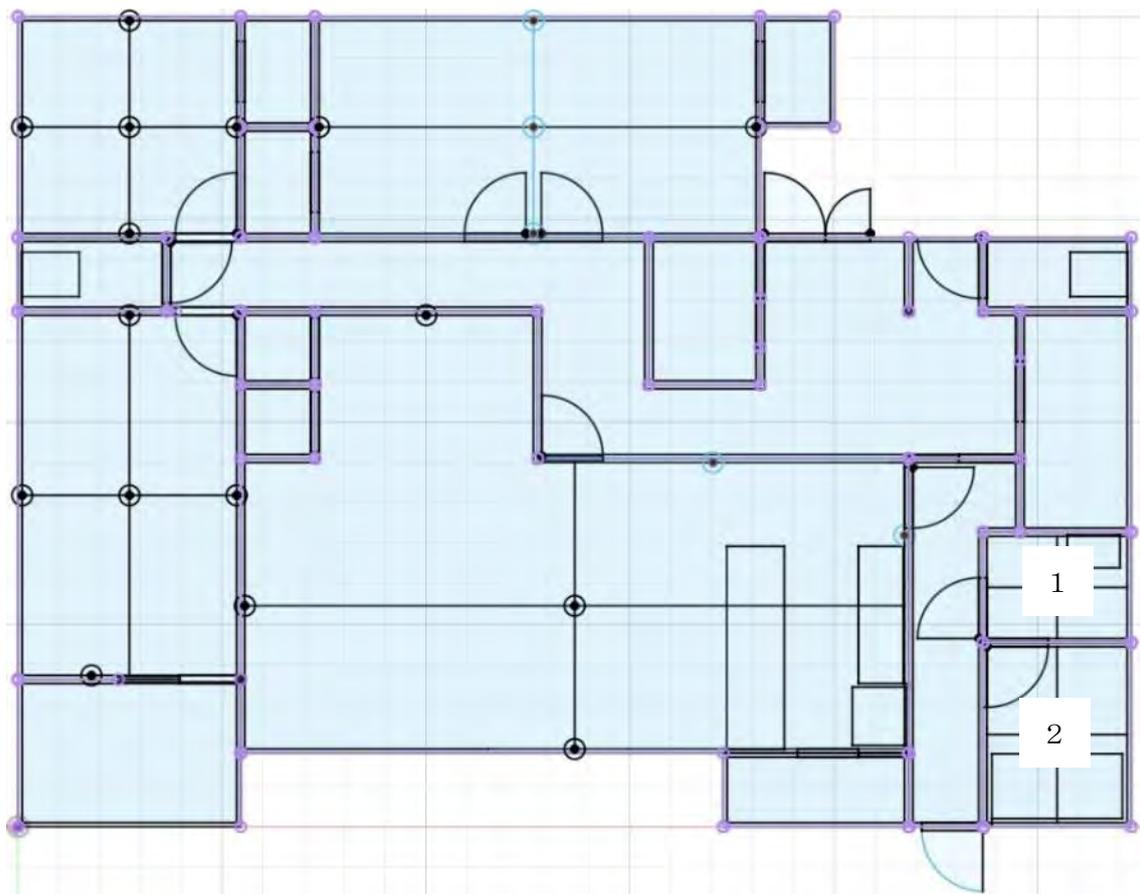


図 5-5 平屋／脱衣所・浴室の測定ポイント設定箇所

表 5-5 平屋／脱衣所・浴室の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	脱衣所中央	2.4	脱衣所-天井
		1.9	脱衣所-1.9m
		1.5	脱衣所-1.5m
		0.6	脱衣所-0.6m
		0.3	脱衣所-0.3m
2	浴室中央	2.4	浴室-天井
		1.9	浴室-1.9m
		1.5	浴室-1.5m
		0.6	浴室-0.6m
		0.3	浴室-0.3m

### 5.1.1. ケース h\_caseL1

本ケースは平屋における、LDK での電気ストーブによる火災である。火源の箇所を図 5-6 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度および温度の水平断面分布図を図 5-7～図 5-18 に示す。水平断面の高さは床から 1.5m である。

図 5-19～図 5-24 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった LDK および主寝室の濃度経時変化を示す。

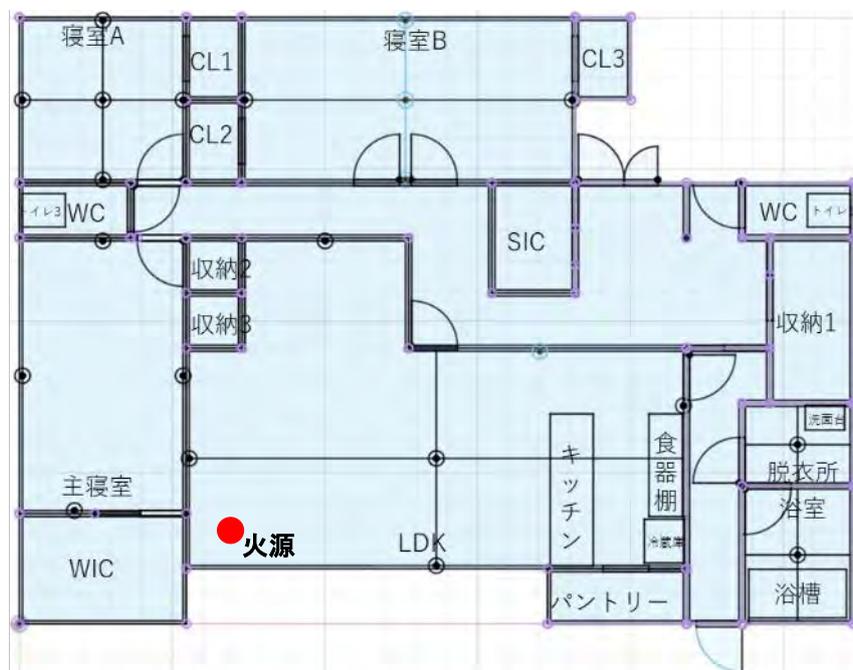


図 5-6 火源の位置

本ケースではストーブによる火災で、LDK の隅におかれた布が燃焼し、CO および煙がそこを中心に延焼する。LDK 内の CO 濃度は 2 分以内に 100ppm を超える。また煙も同様のスピードで 10%/m を超える。CO、煙のいずれも廊下に拡散し、隣接している主寝室に滞留し、約 10 分後には主寝室も CO 濃度 100ppm、煙濃度 10%/m を超える。LDK における温度は 1 分以内に 100°C 以上になり、続いて廊下の温度が上昇する結果となった。

図 5-19～図 5-21 からわかるように LDK において約 50 秒から 70 秒で急激に濃度および温度が上昇するが、これは LDK に隣接している WIC の堺の壁が延焼により焼け落ち、WIC への気流に流入により LDK 内の流況が変化するためである（図 5-8、図 5-12、図 5-16）。

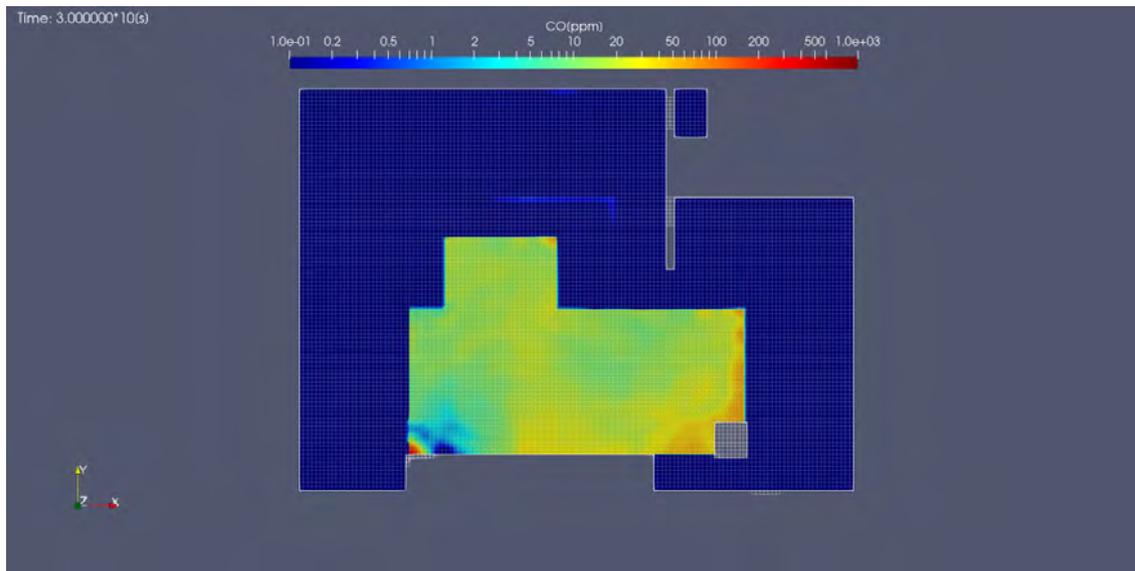


図 5-7 CO 濃度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

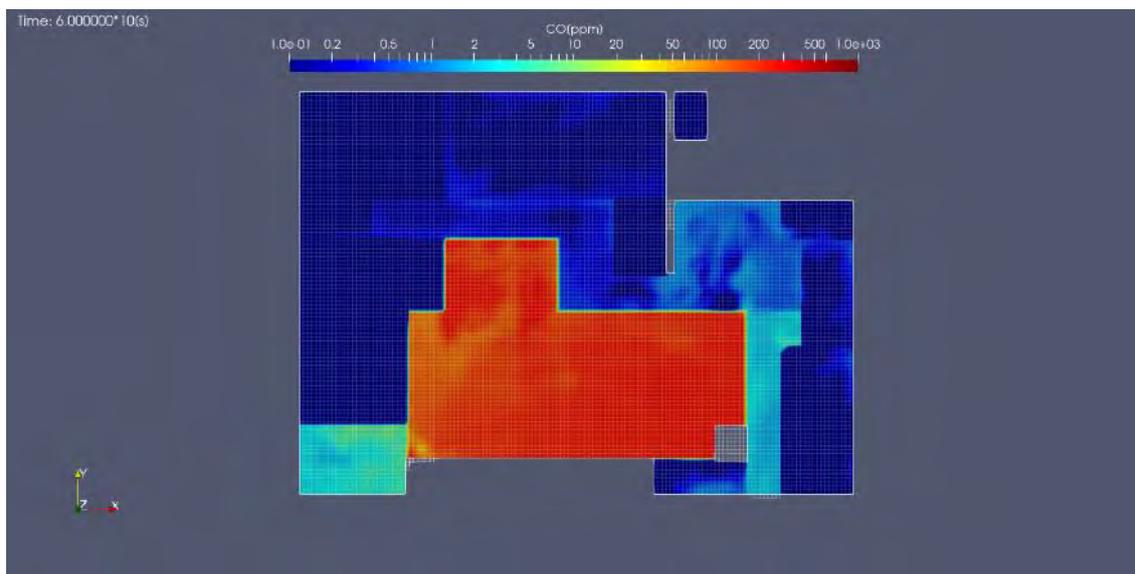


図 5-8 CO 濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

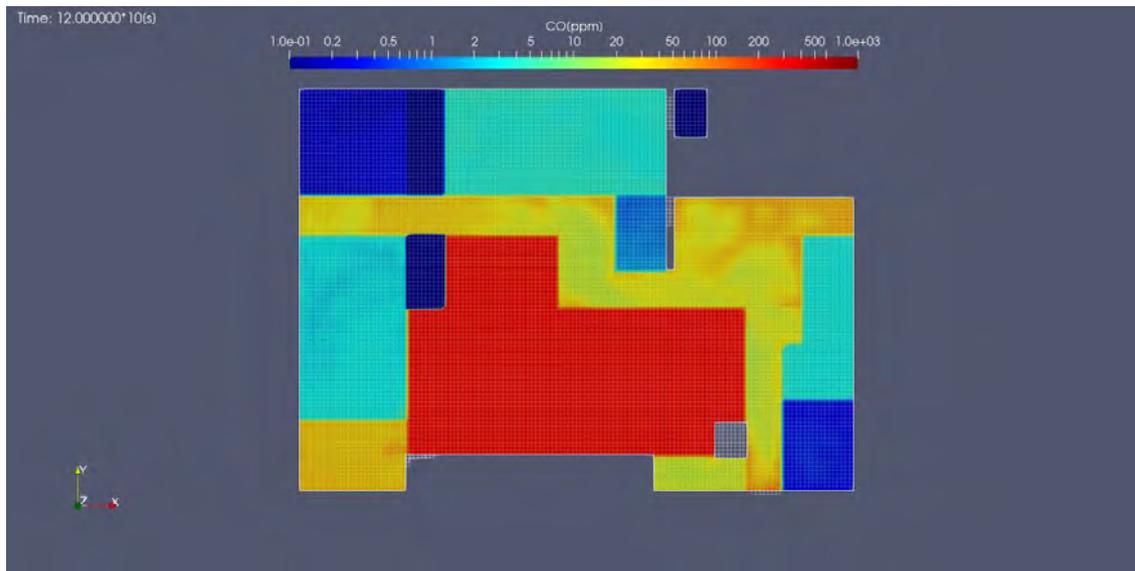


図 5-9 CO 濃度分布 (120 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

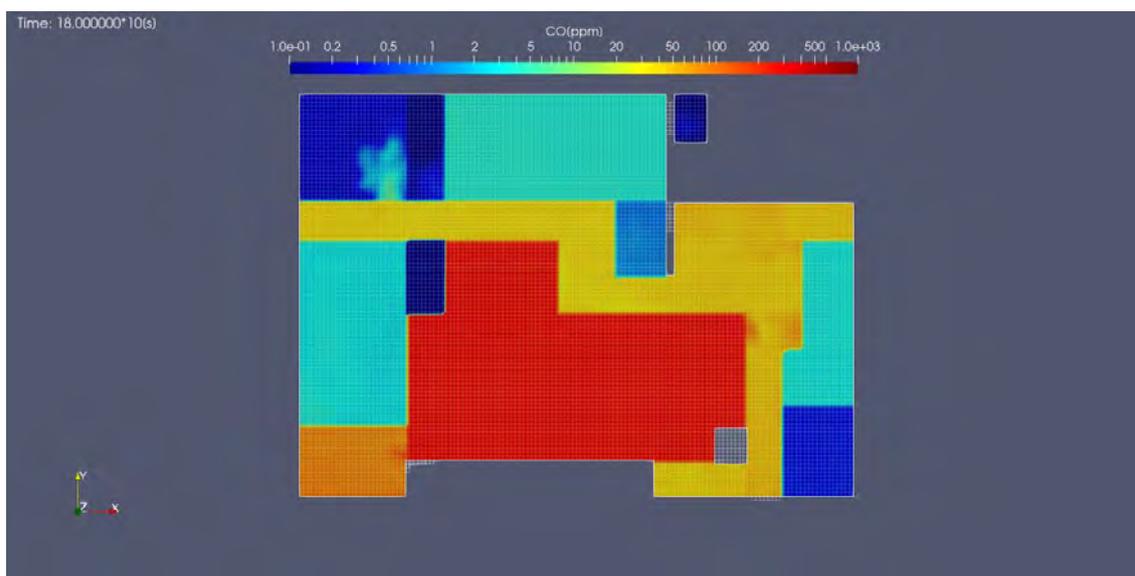


図 5-10 CO 濃度分布 (180 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

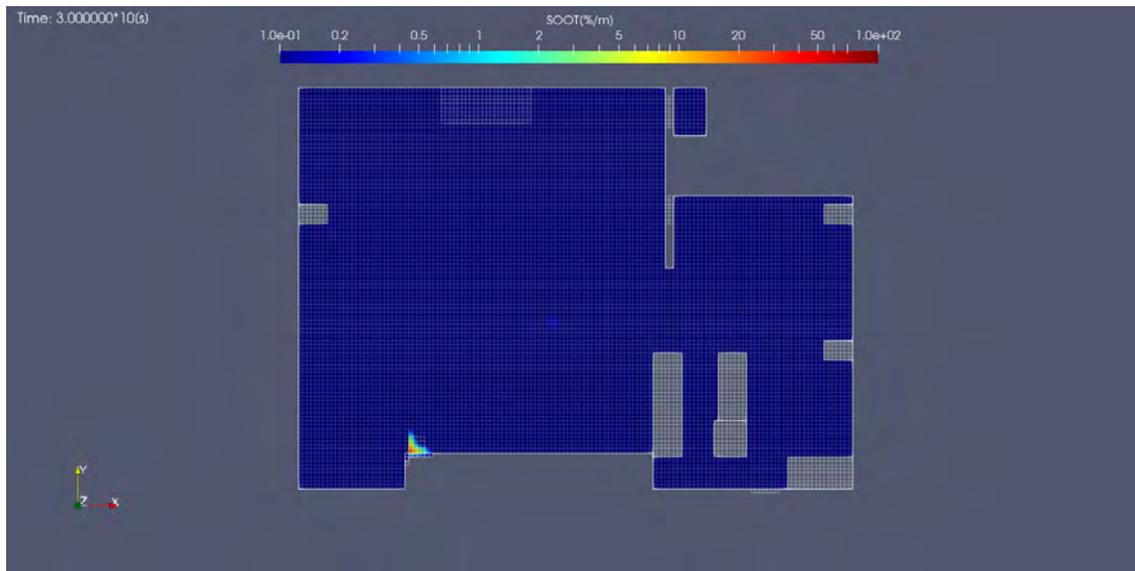


図 5-11 煙濃度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

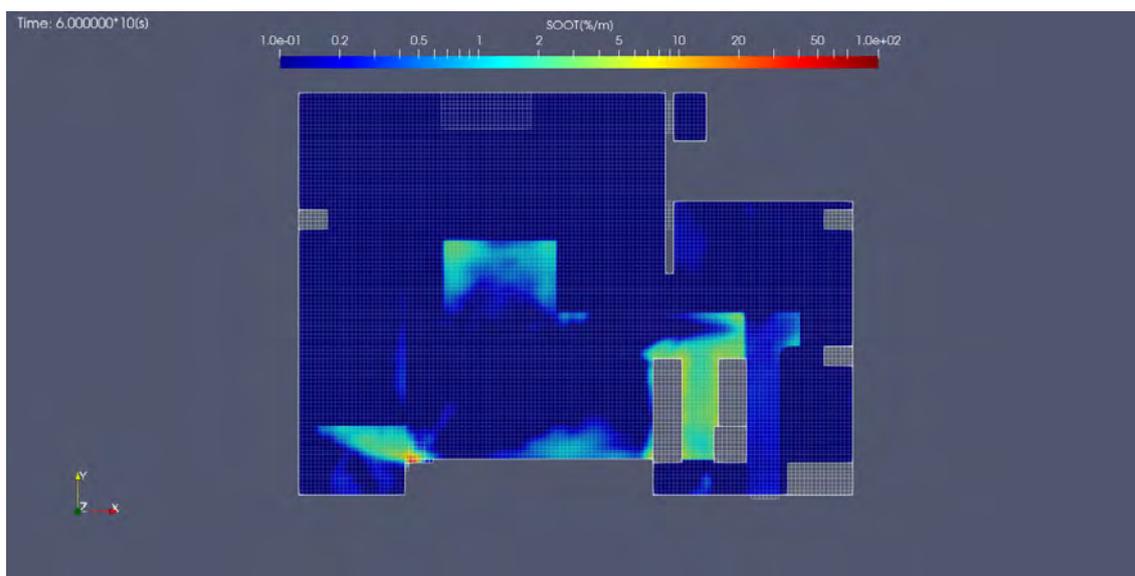


図 5-12 煙濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

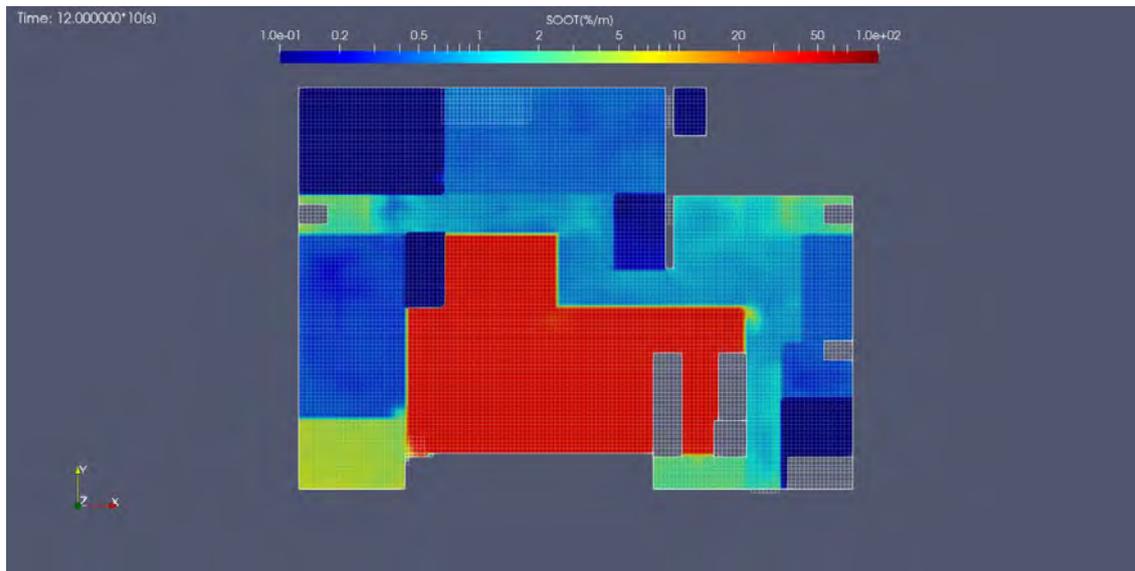


図 5-13 煙濃度分布 (120 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

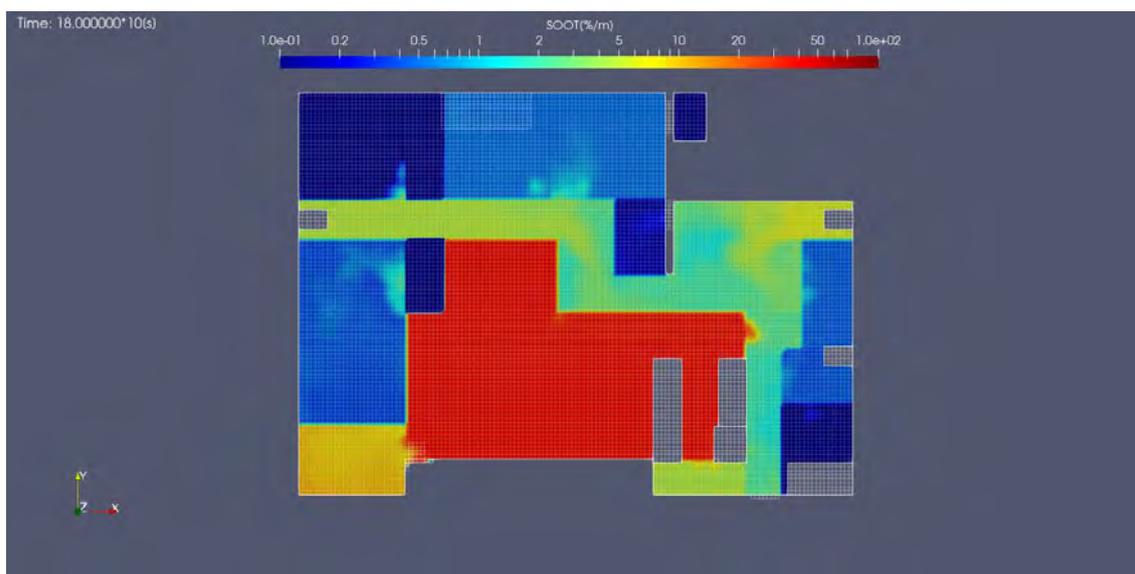


図 5-14 煙濃度分布 (180 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

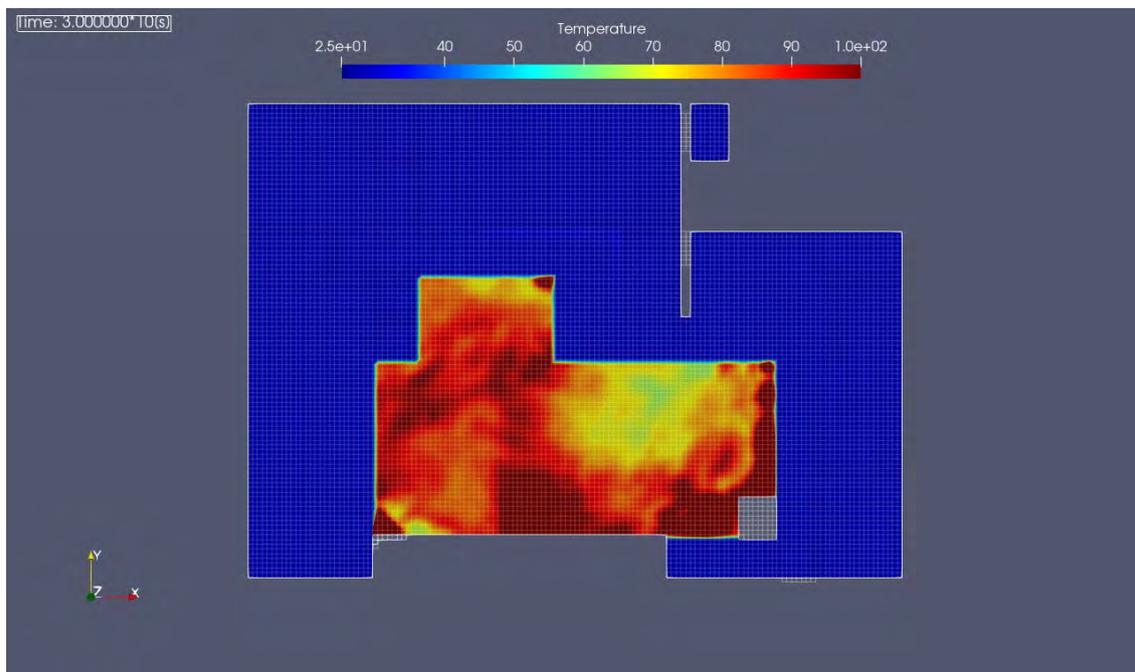


図 5-15 温度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

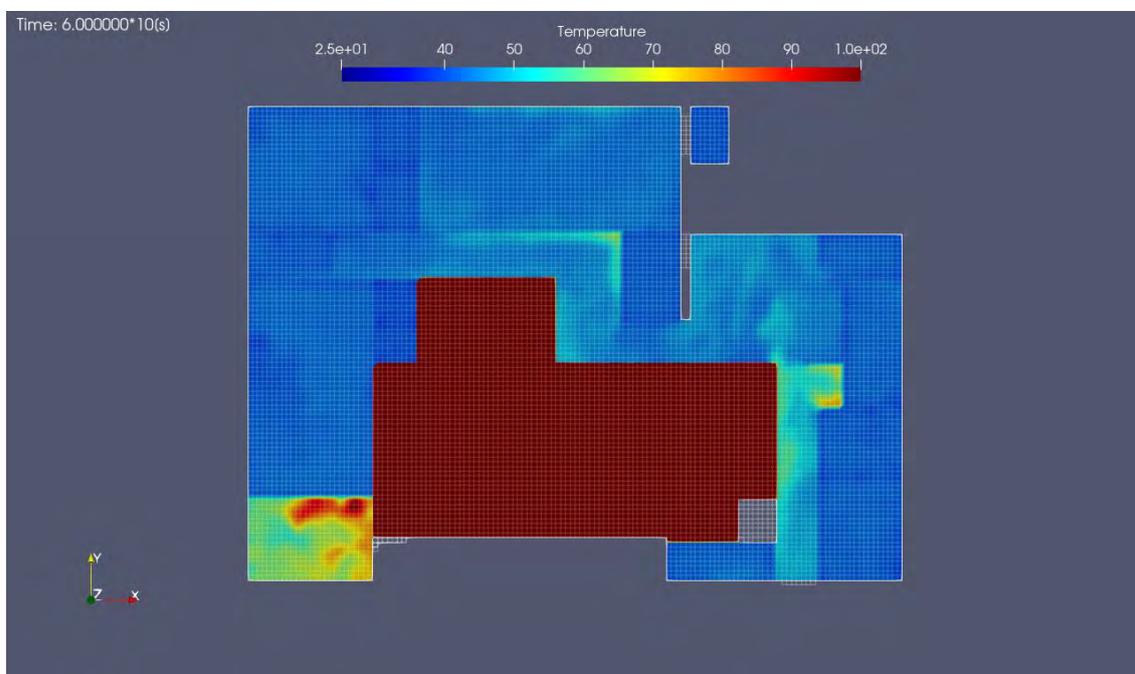


図 5-16 温度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

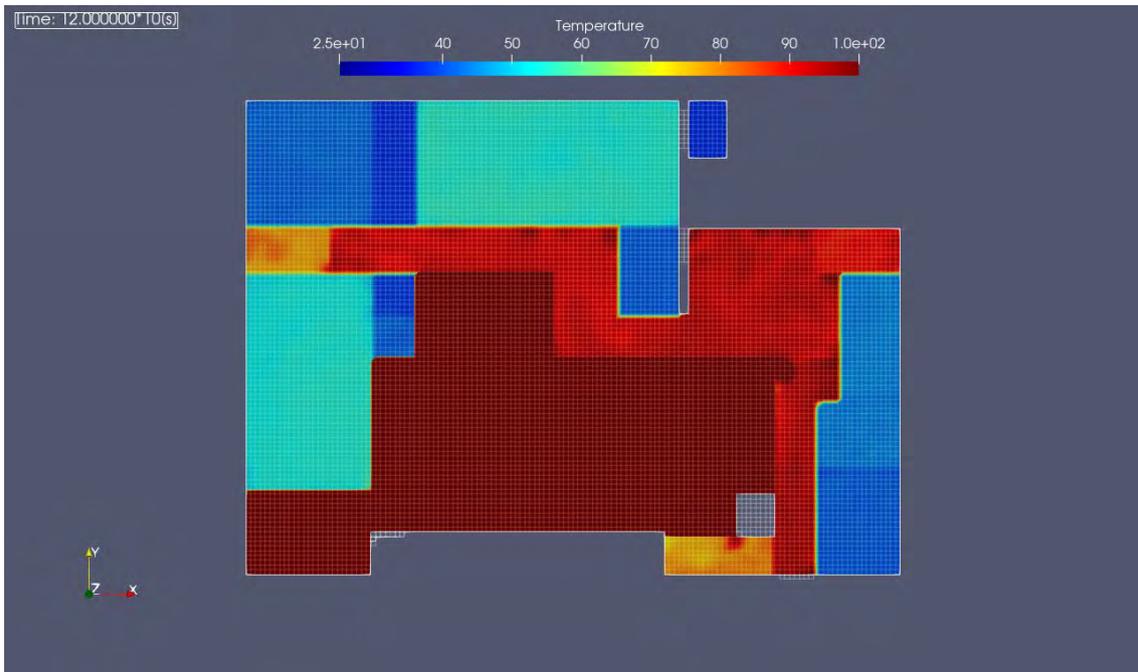


図 5-17 温度分布（120 秒後、床から 1.5m、単位：ppm）

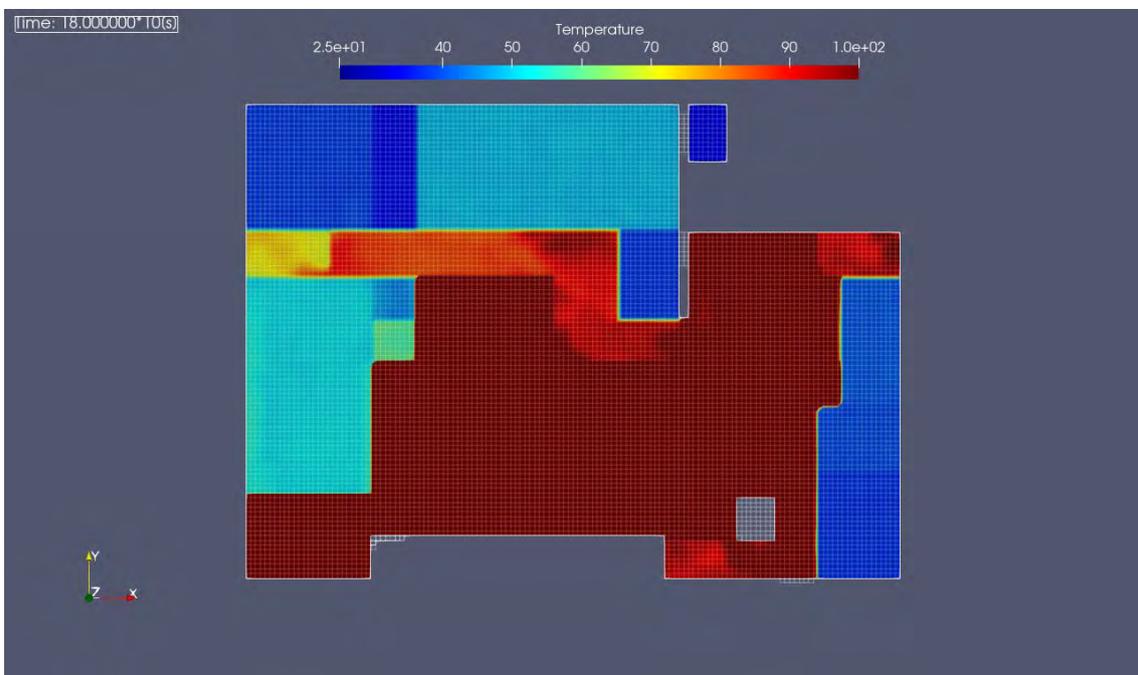


図 5-18 温度分布（180 秒後、床から 1.5m、単位：ppm）

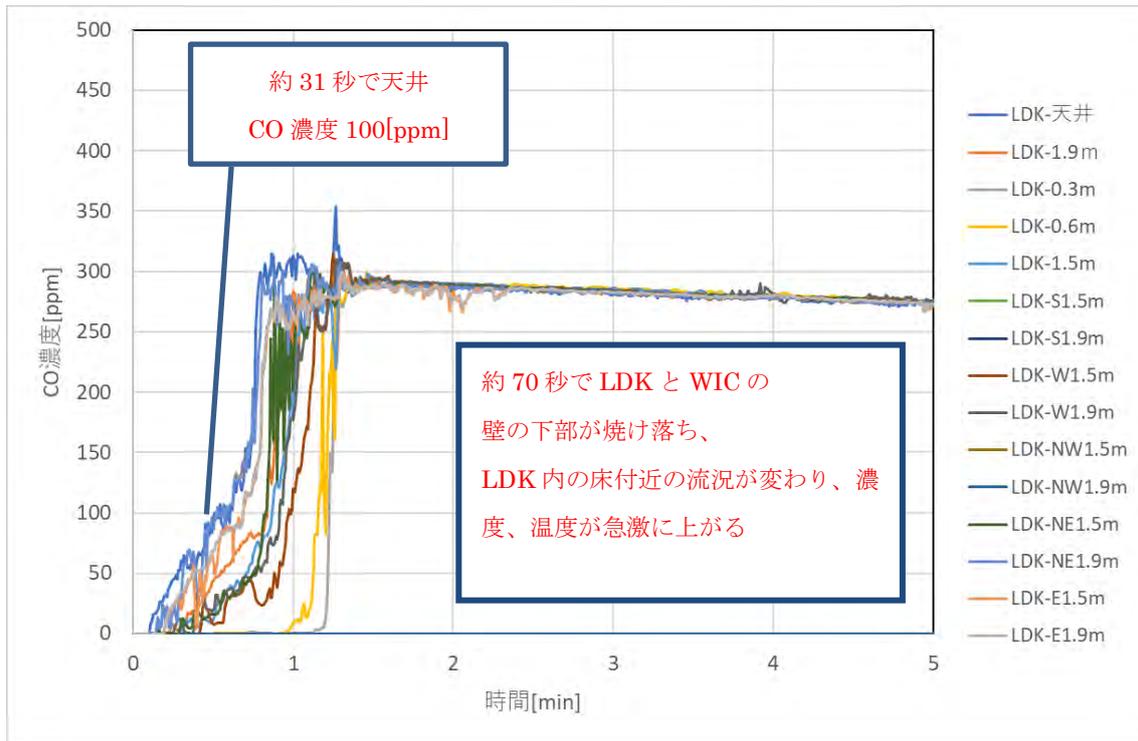


図 5-19 LDK における CO 濃度経時変化

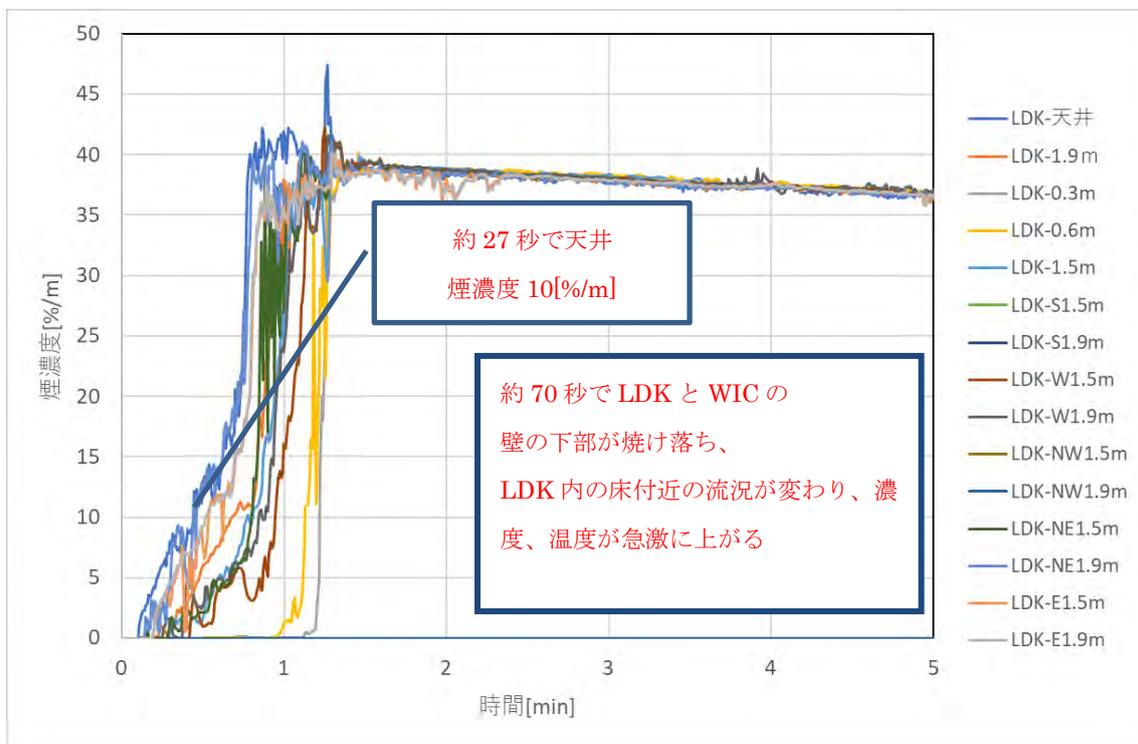


図 5-20 LDK における煙濃度経時変化

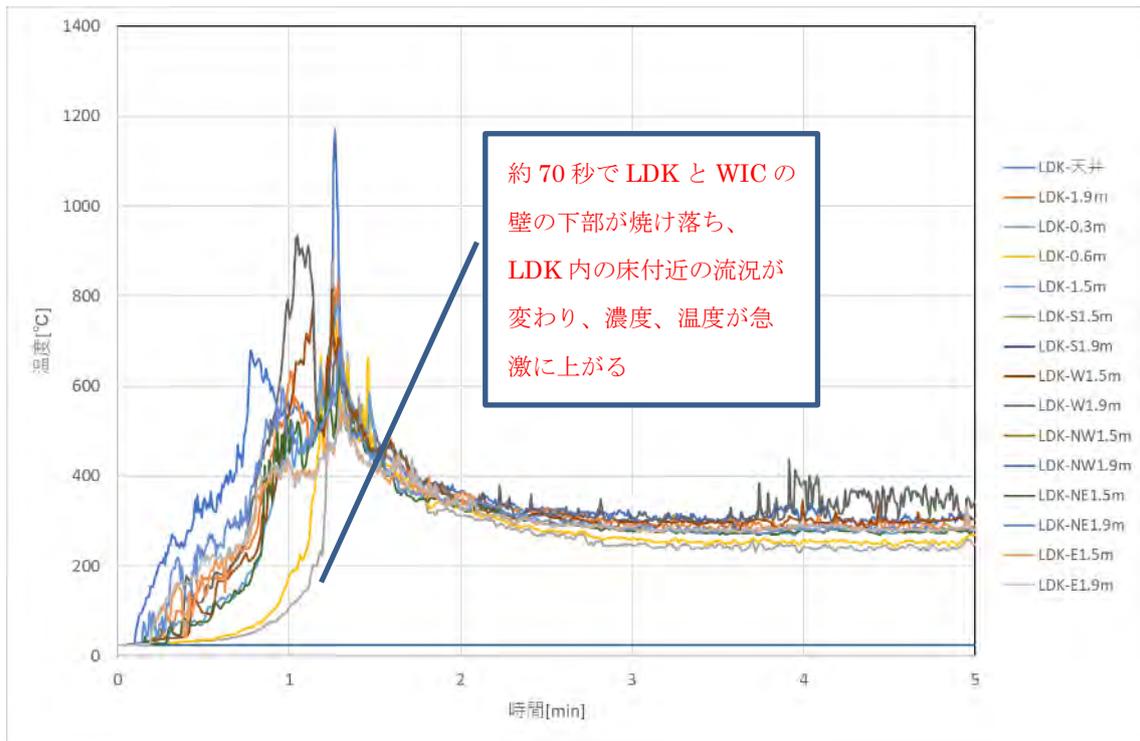


図 5-21 LDK における温度経時変化

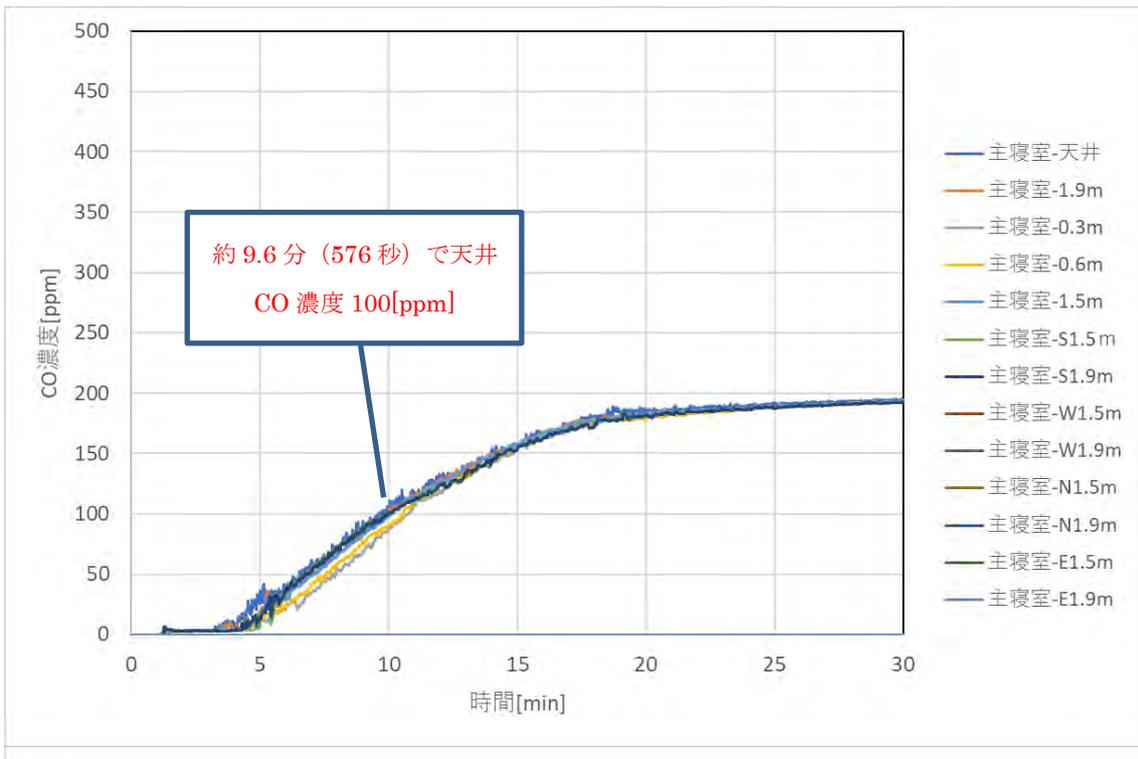


図 5-22 主寝室における CO 濃度経時変化

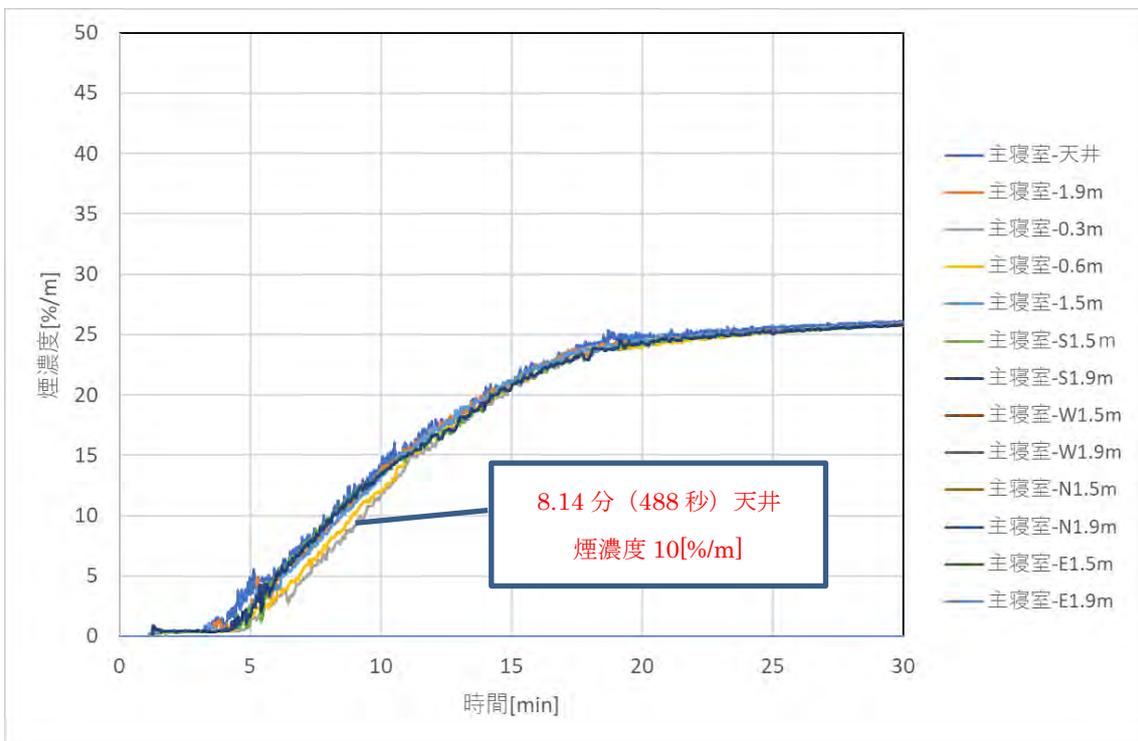


図 5-23 主寝室における煙濃度経時変化

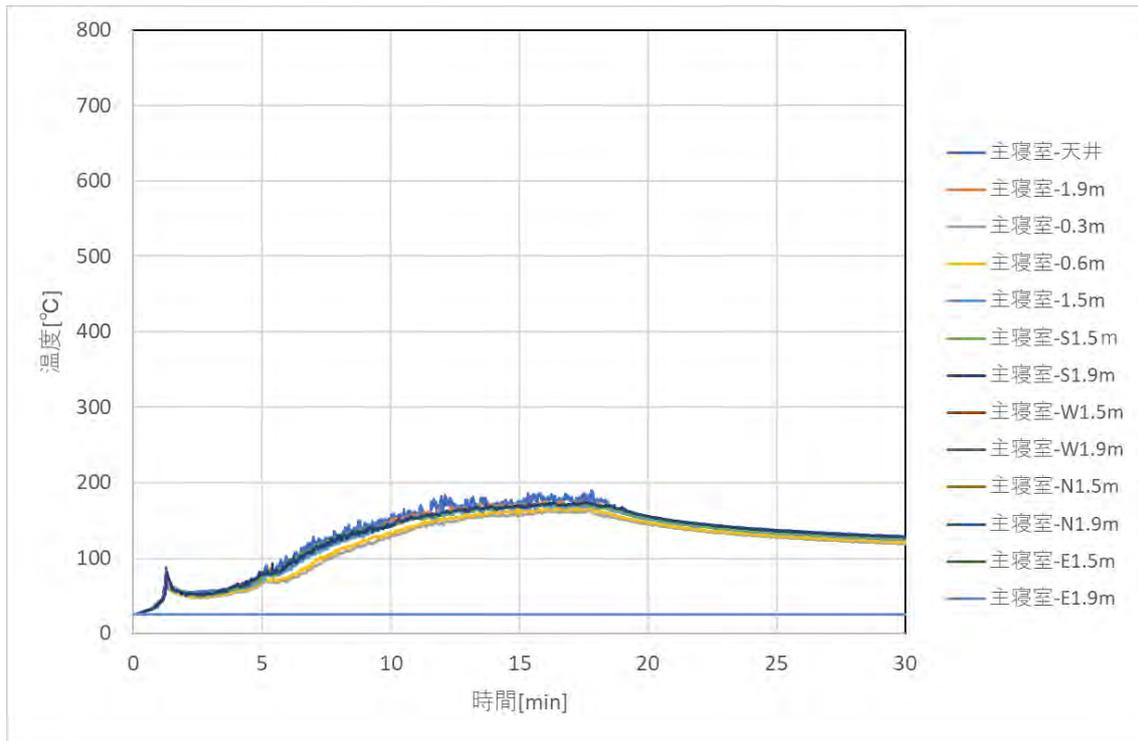


図 5-24 主寝室における温度経時変化

### 5.1.2. ケース h\_caseL2

本ケースは平屋における、LDK でのたばこによる火災である。火源の箇所を図 5-25 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度および温度の水平断面分布図を図 5-26～図 5-37 に示す。水平断面の高さは床から 1.5m である。

図 5-38～図 5-43 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった LDK および主寝室の濃度経時変化を示す。

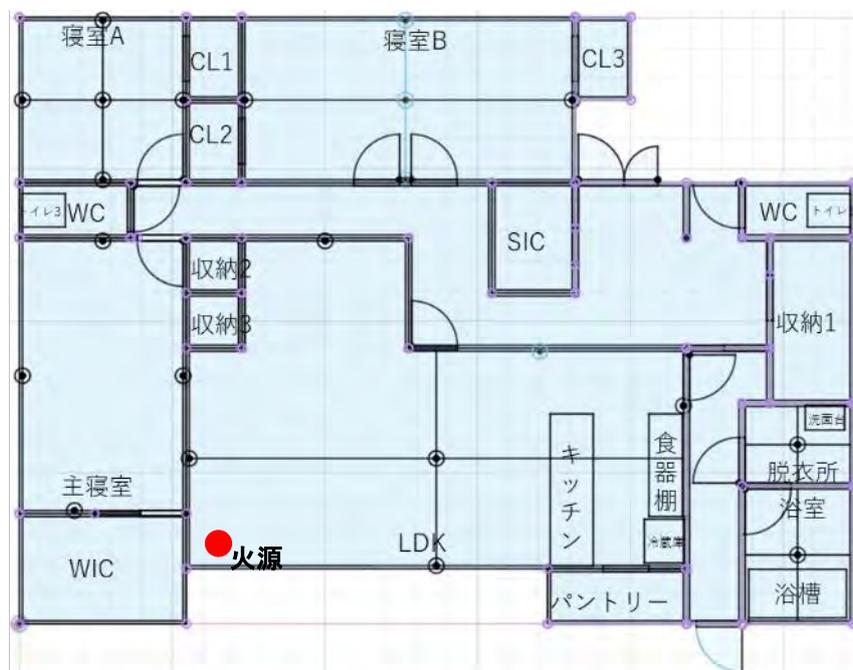


図 5-25 火源の位置

前ケースのストーブ火災に比べ本ケースは燻焼火災のため、まず熱分解により CO が発生し、遅れて燃焼による煙の発生が始まる。CO 濃度が 100ppm になるのは約 48 分後であるが、濃度が 10%/m を超えるのはその約 5 分後であった。CO および煙の発生量が少ないため、LDK 以外は CO 濃度 100ppm、煙濃度 10%/m を超えることはなかった。

約 50 分後に LDK と WIC の壁の下部が焼け落ち、WIC に CO と煙が流れ込んでいく。それと同時に LDK 内の濃度および温度が下がり始める。

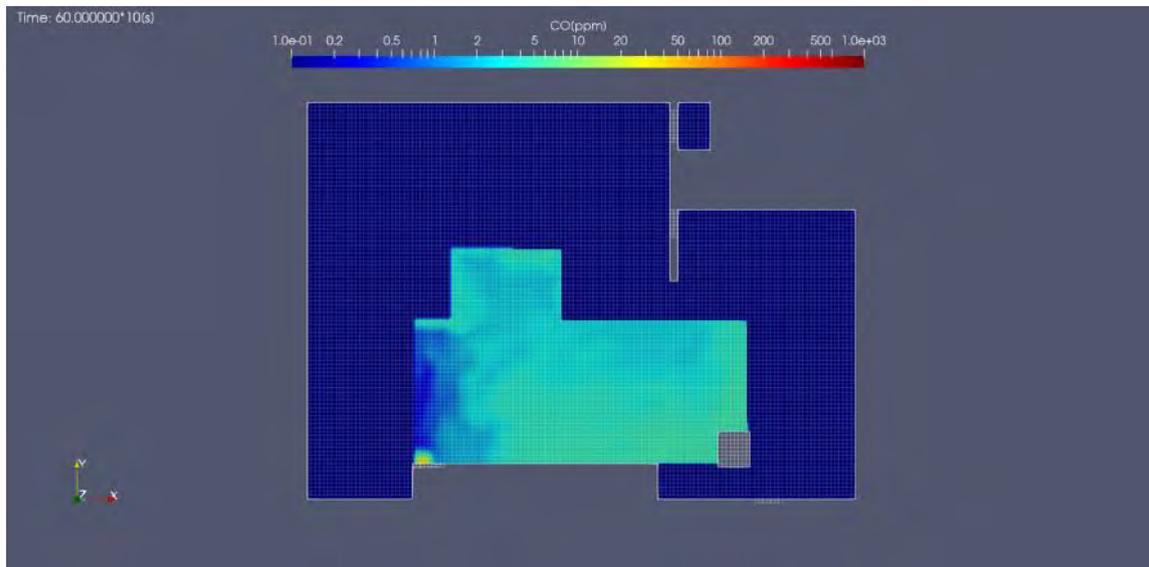


図 5-26 CO 濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

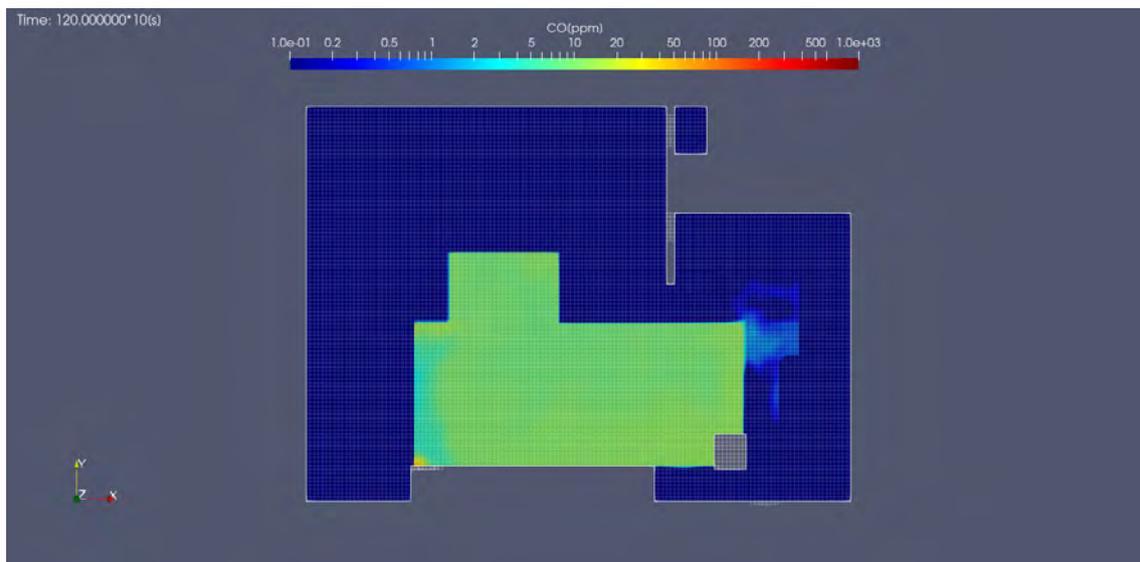


図 5-27 CO 濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

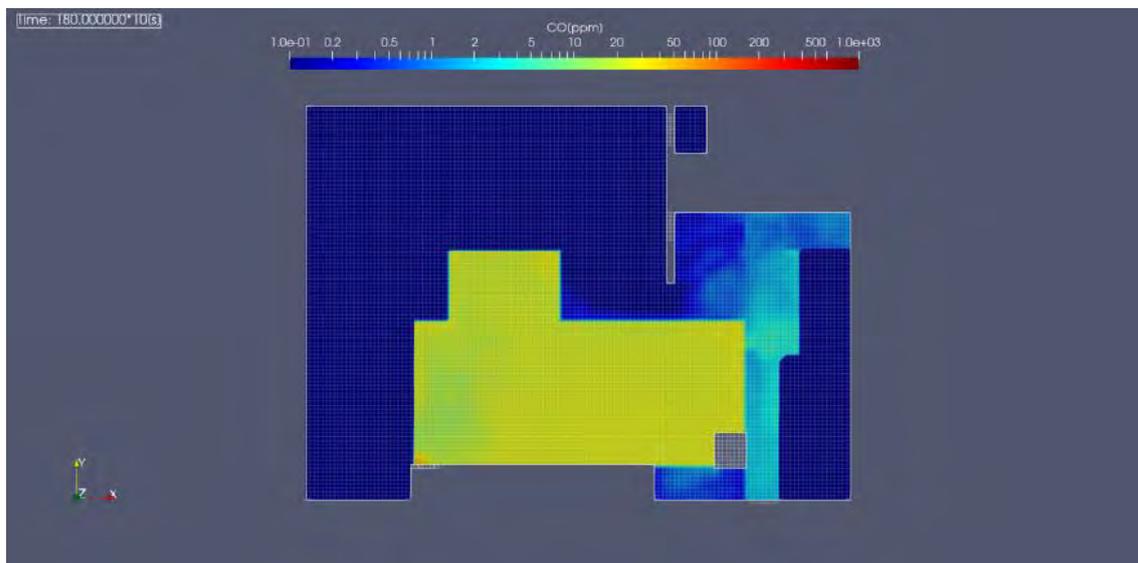


図 5-28 CO 濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

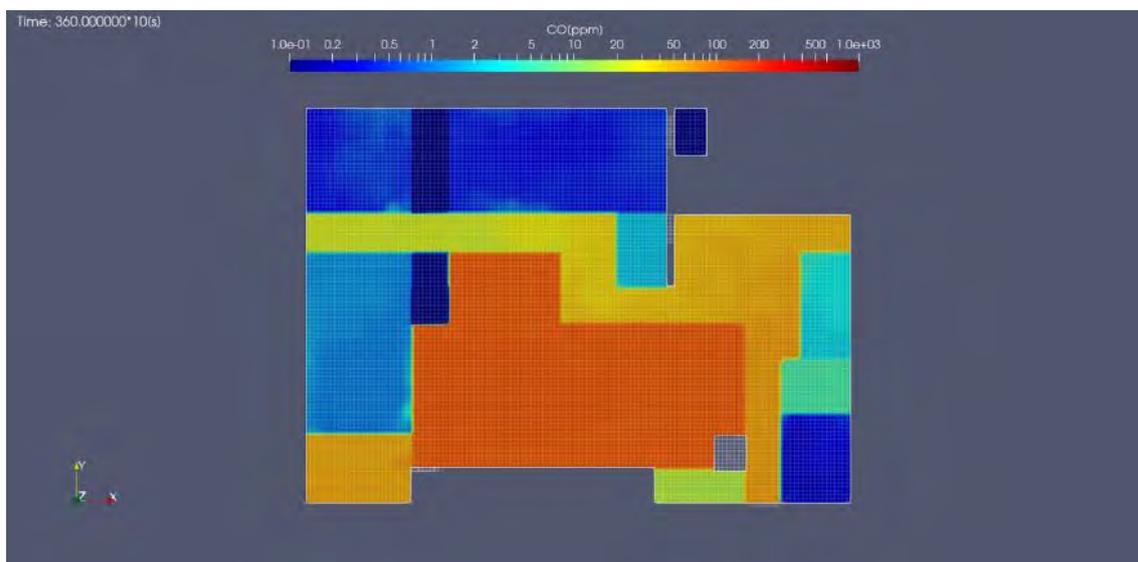


図 5-29 CO 濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

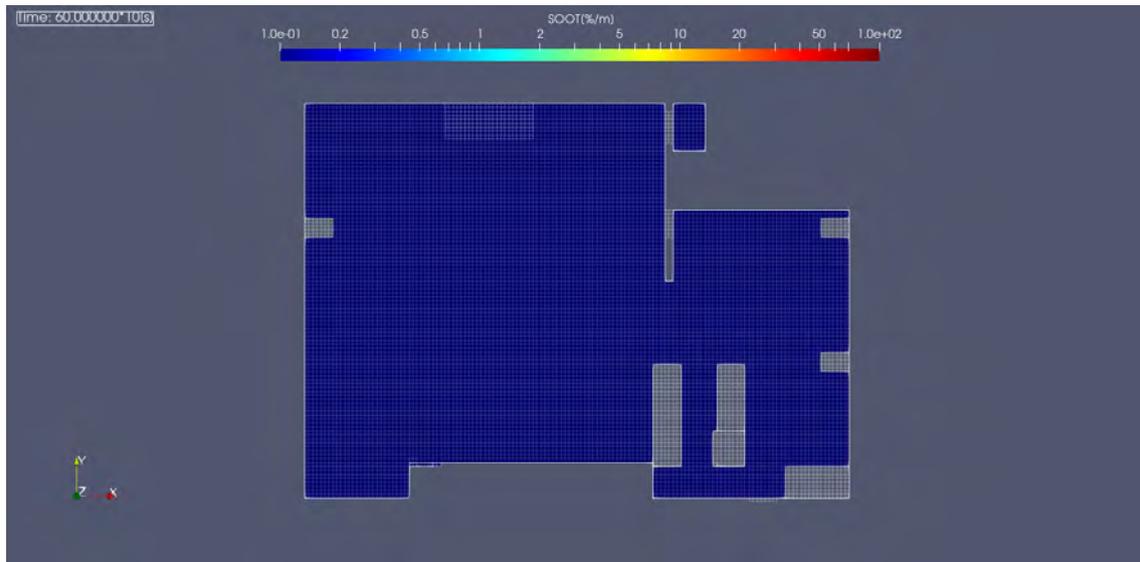


図 5-30 煙濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

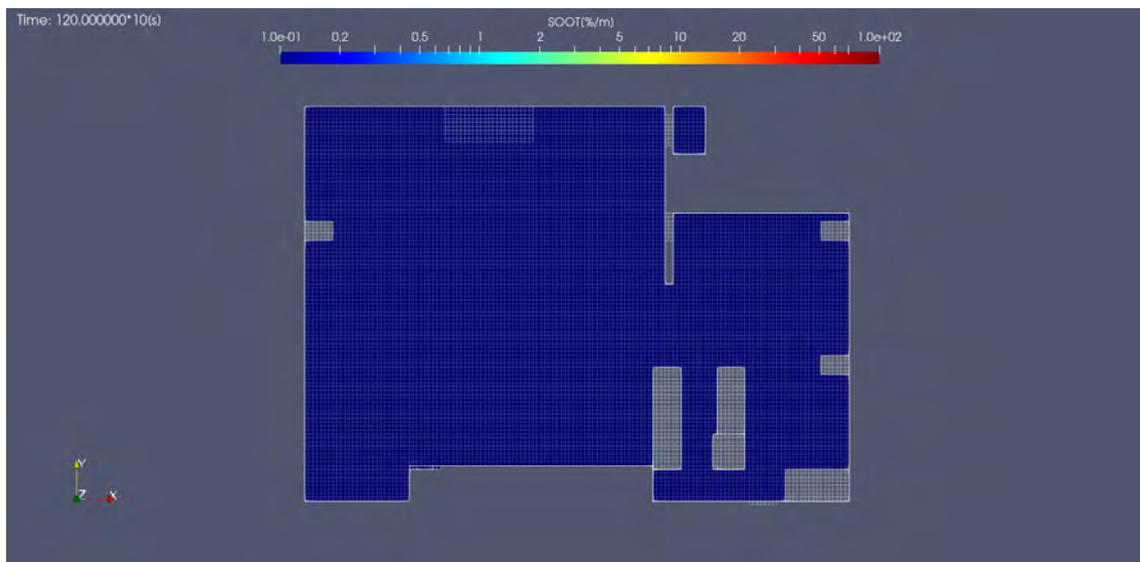


図 5-31 煙濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

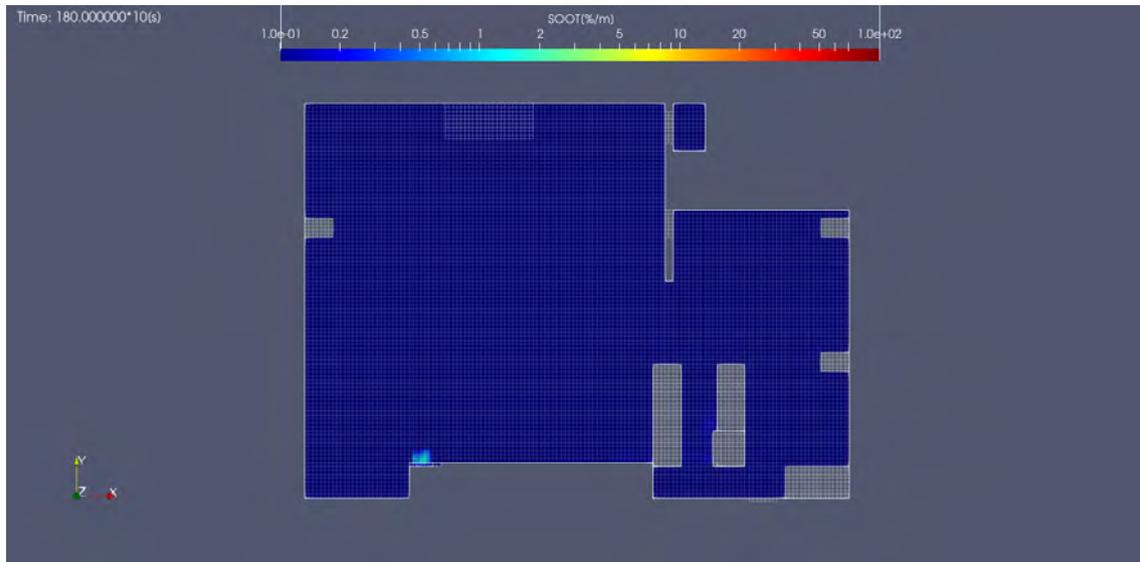


図 5-32 煙濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

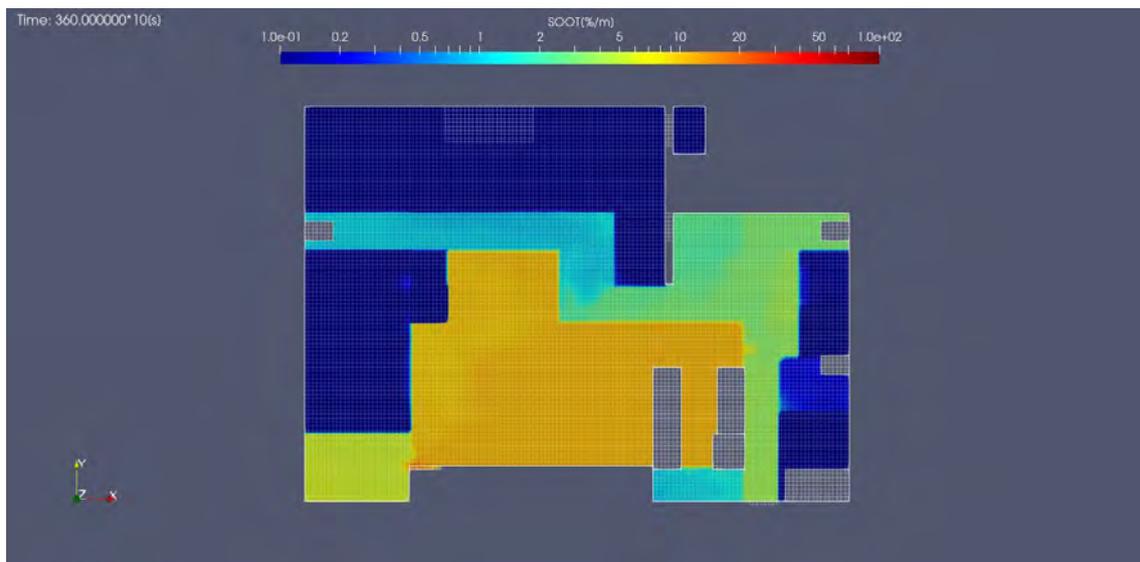


図 5-33 煙濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

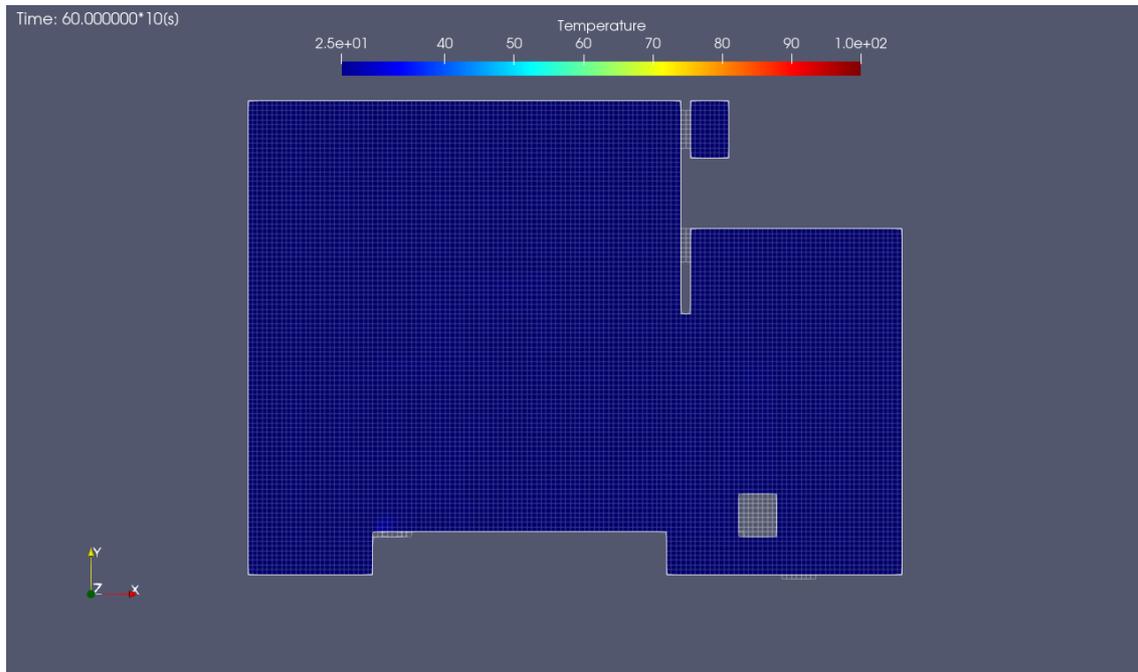


図 5-34 温度分布（10分後、床から 1.5m、単位：%/m）

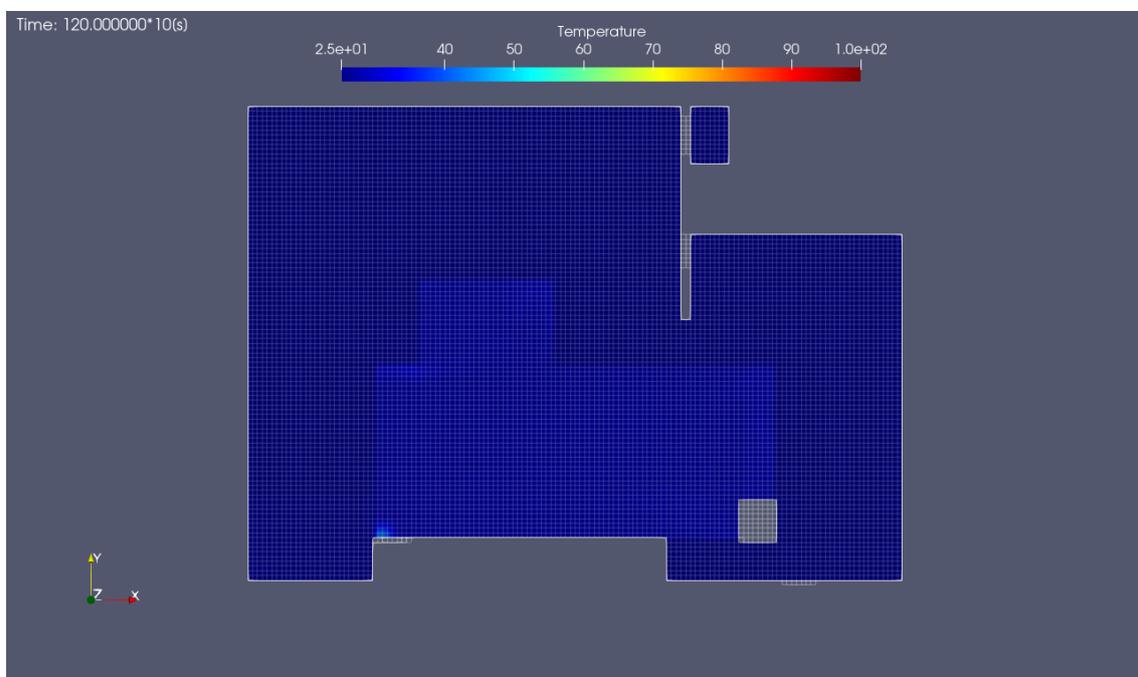


図 5-35 温度分布（20分後、床から 1.5m、単位：%/m）

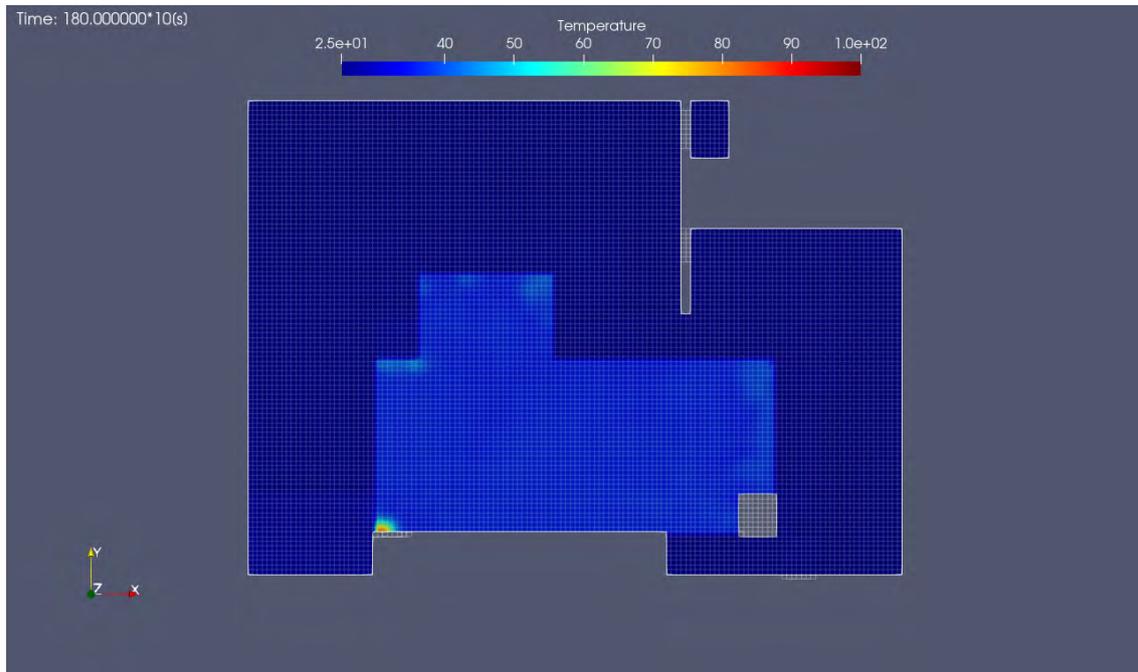


図 5-36 温度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

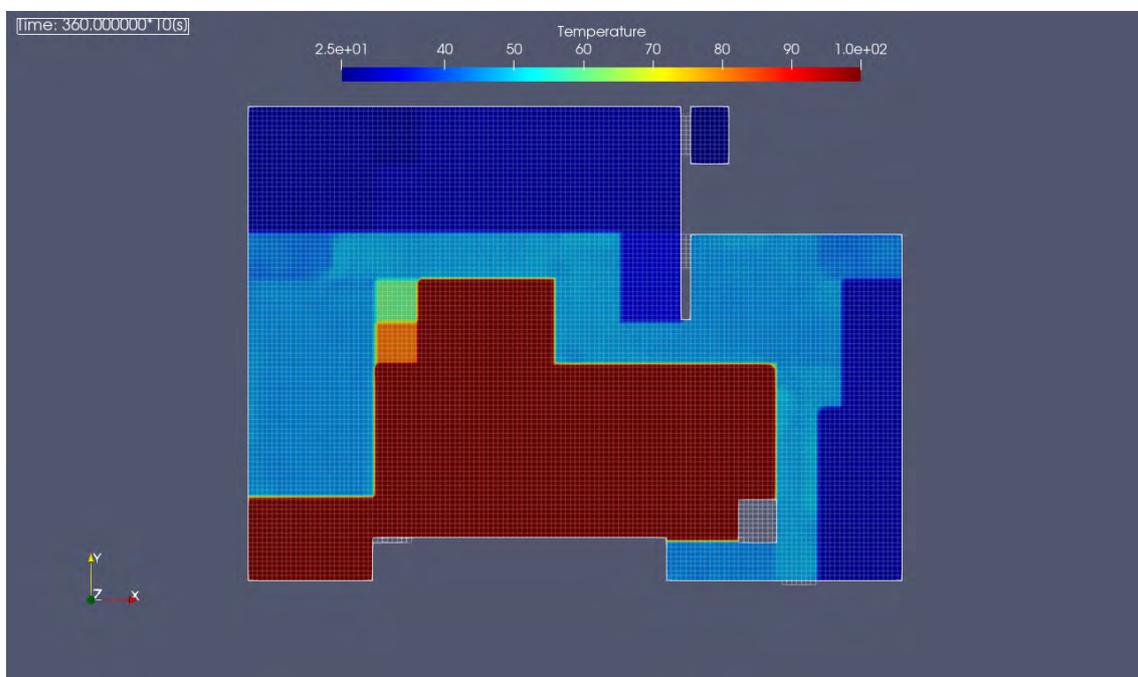


図 5-37 温度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

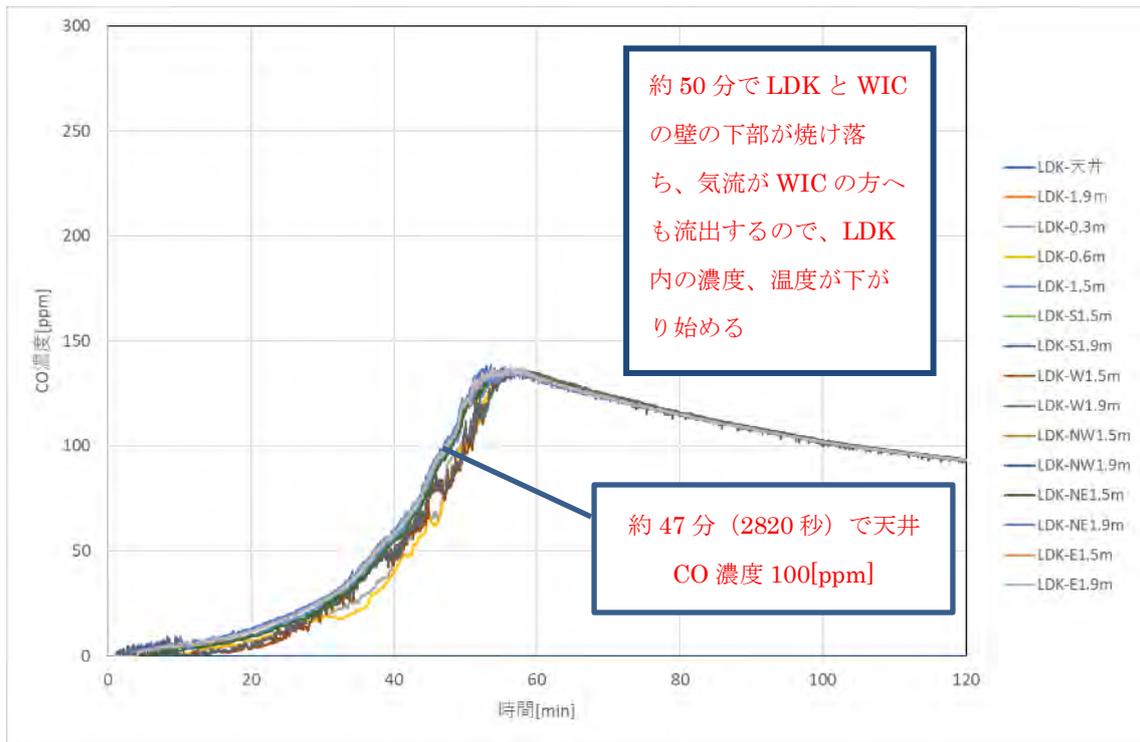


図 5-38 LDK における CO 濃度経時変化

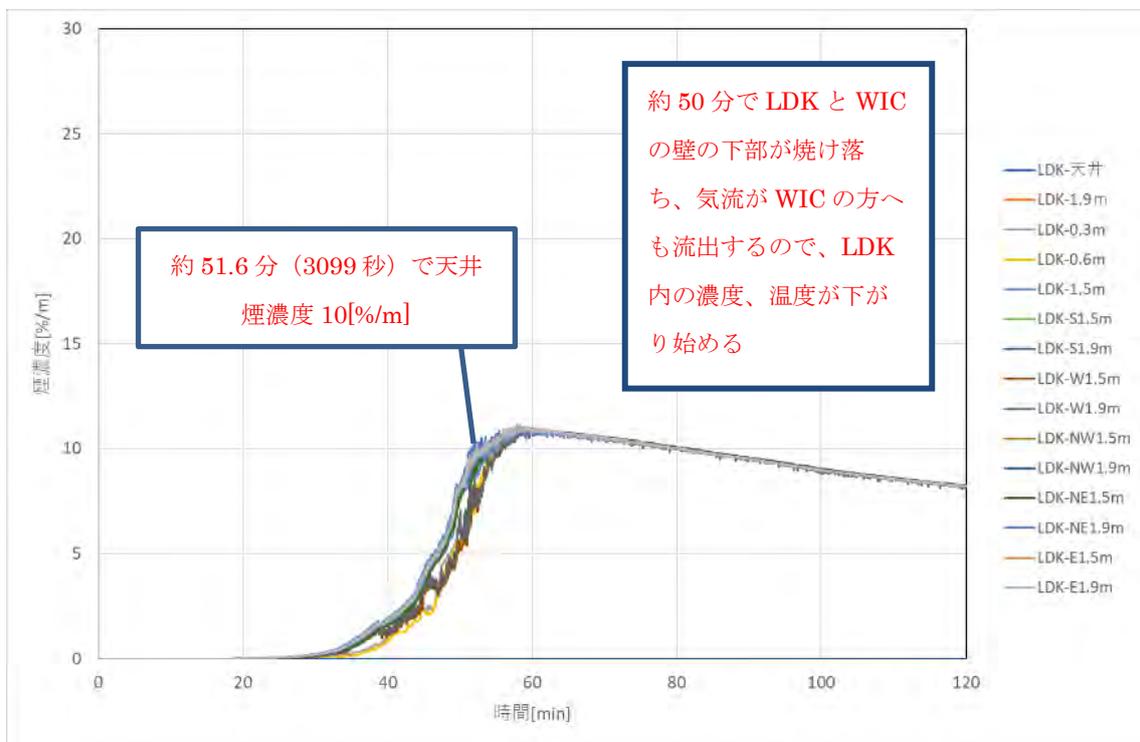


図 5-39 LDK における煙濃度経時変化

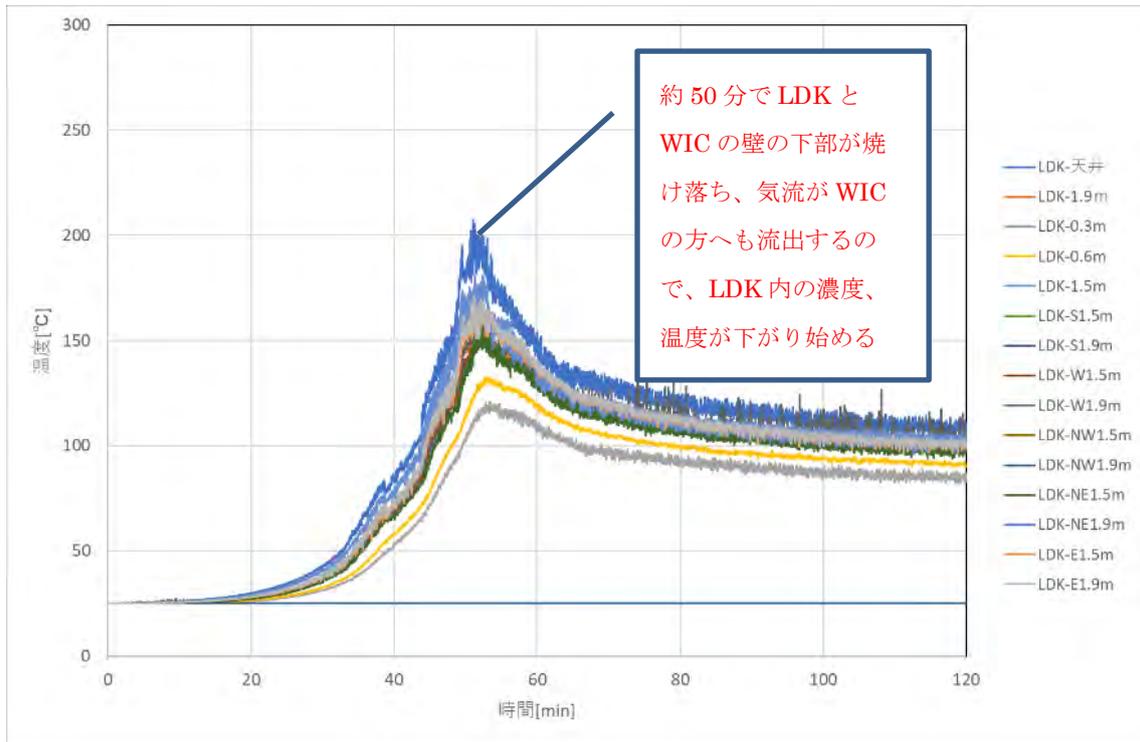


図 5-40 LDK における温度経時変化

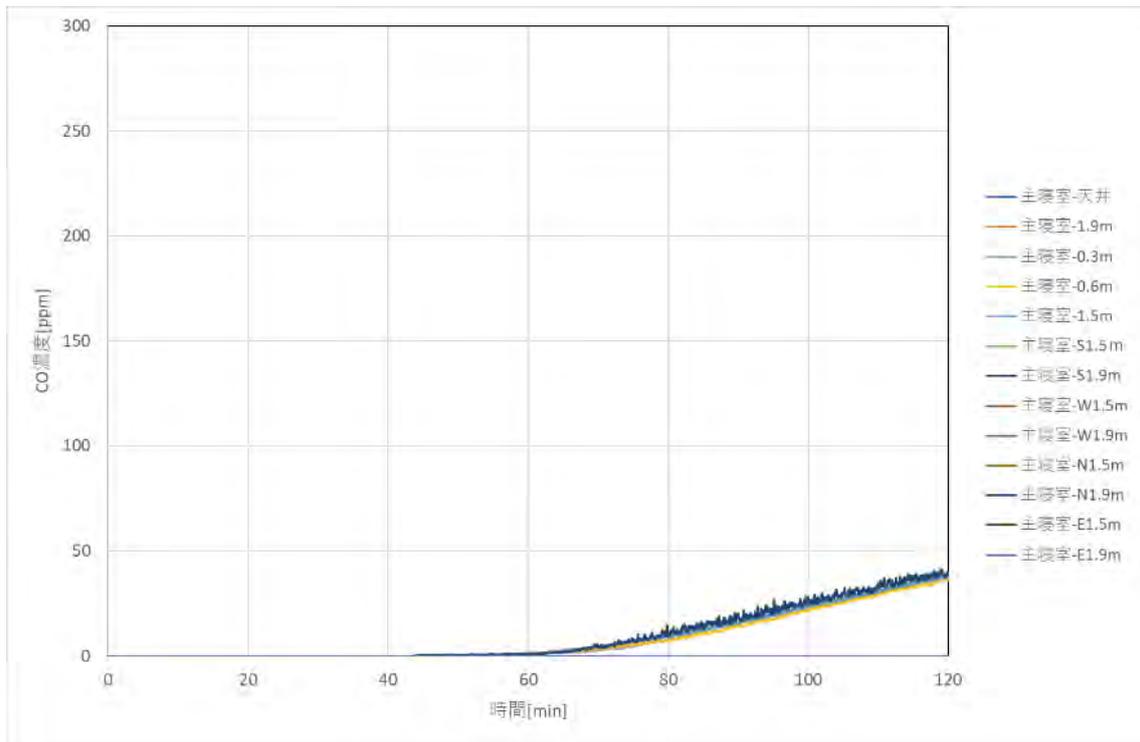


図 5-41 主寝室における CO 濃度経時変化

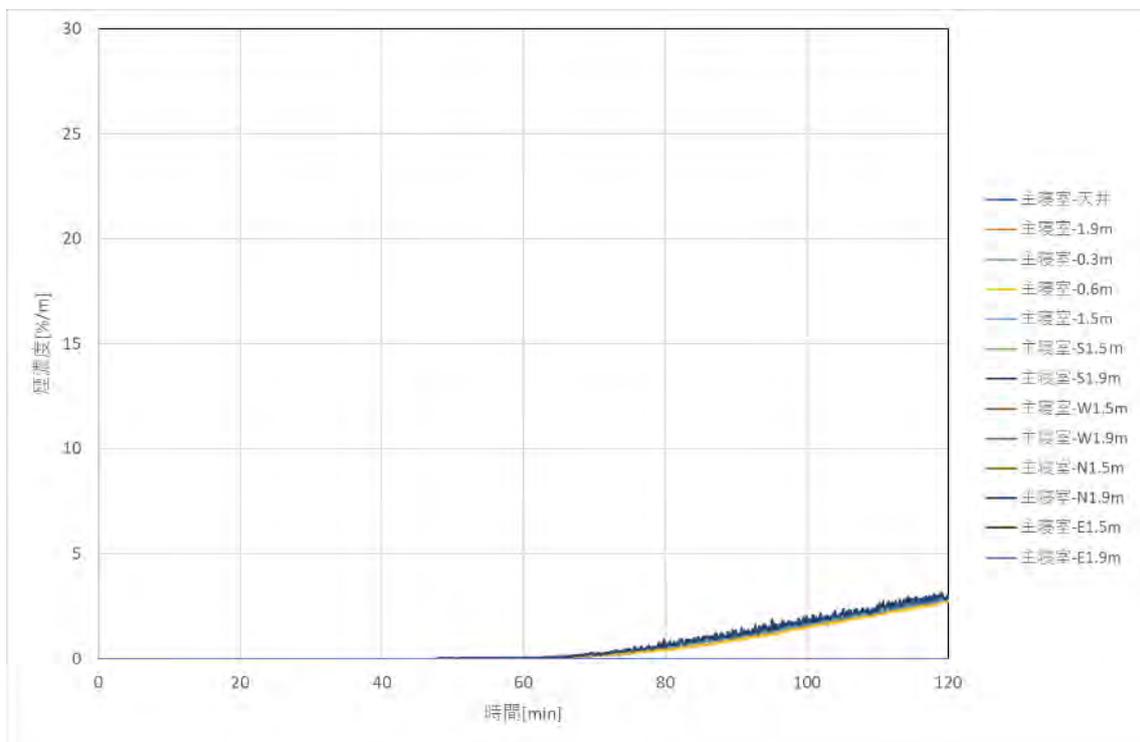


図 5-42 主寝室における煙濃度経時変化

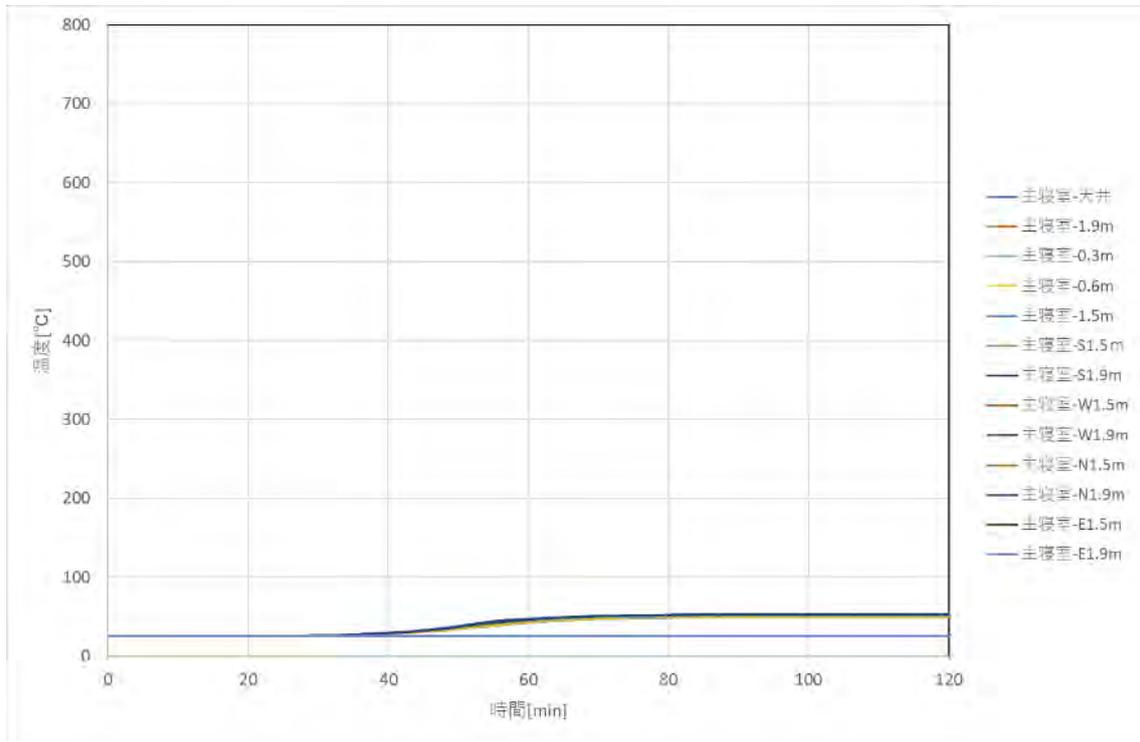


図 5-43 主寝室における温度経時変化

### 5.1.3. ケース h\_caseB1

本ケースは平屋における、寝室 B での電気ストーブによる火災である。火源の箇所を図 5-44 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-45～図 5-56 に示す。水平断面の高さは床から 0.3m である。

図 5-57～図 5-62 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった寝室 B および寝室 A の濃度経時変化を示す。

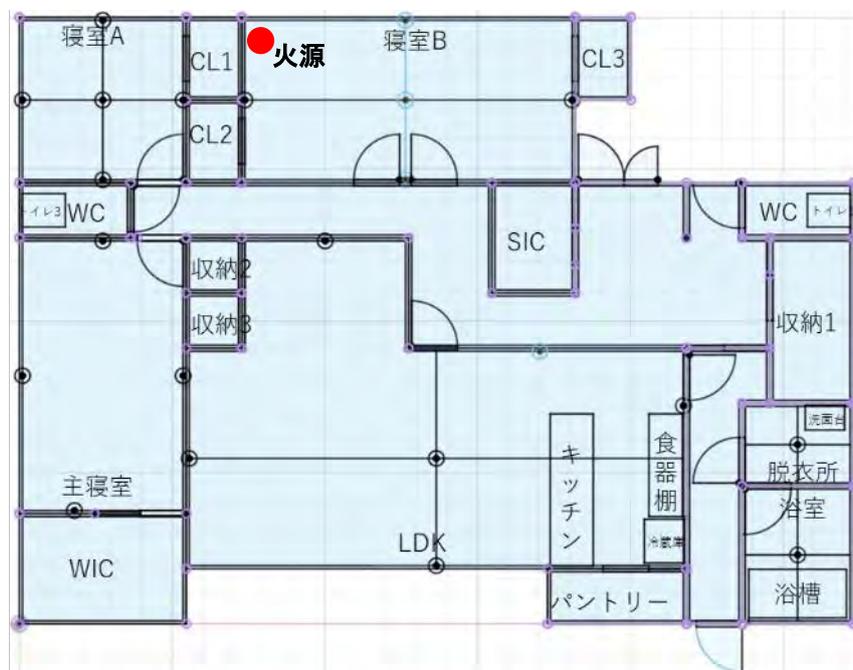


図 5-44 火源の位置

平屋の寝室 B におけるストーブ火災で、布団の上面で火災が発生し延焼する。ストーブ火災のため、寝室内の蒲団がすぐに燃焼し、CO と煙がほぼ同時に発生していく。濃度および温度は約 1 分を過ぎた辺りから急激に上昇し、2 分以内に CO 濃度が 100ppm を超え、煙濃度も同様に 2 分以内に 10%/m を超える (図 5-57、図 5-58)。寝室 B の温度が 100°C を超えるのは 1 分以内である (図 5-59)。約 70 秒後に天井全体が高温になり延焼し、その後すぐに部屋全体が燃えたため CO、煙および温度が急上昇した。寝室 A は廊下を通じて CO と煙が拡散し、徐々に濃度と温度が上昇するが、CL1 (クローゼット) を通じて延焼し (図 5-56)、約 6 分後には寝室 A も燃焼し、500°C 近くまで温度が上がる結果となった (図 5-62)。

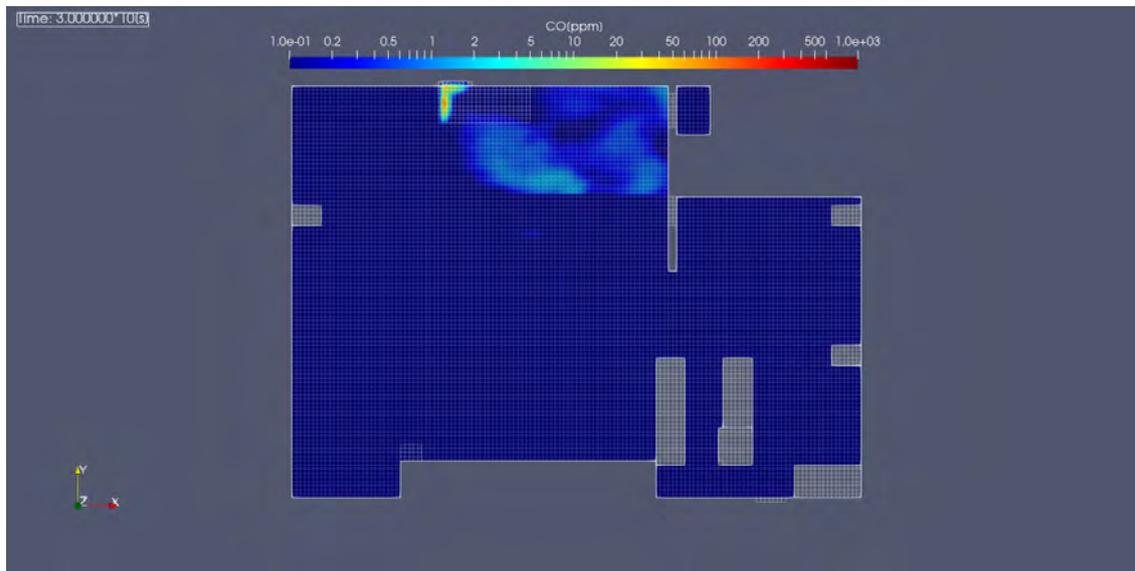


図 5-45 CO 濃度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

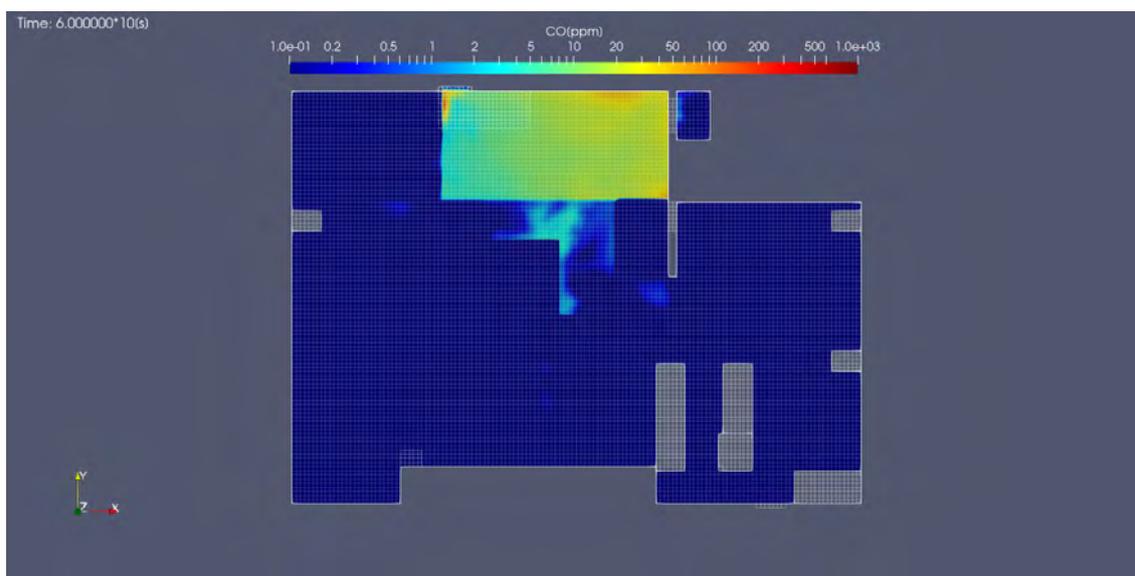


図 5-46 CO 濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

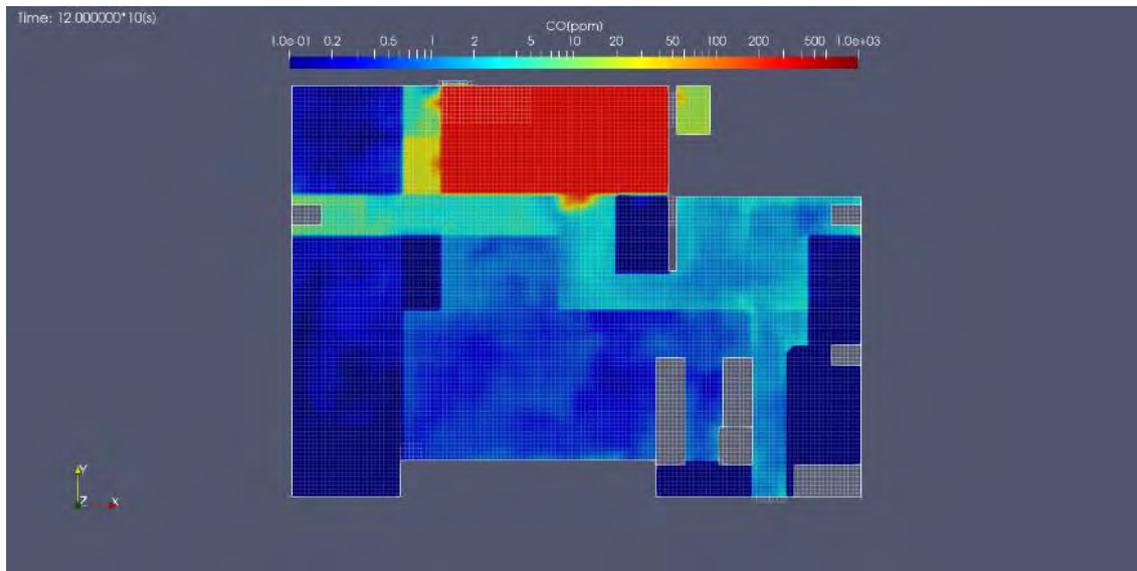


図 5-47 CO 濃度分布 (120 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

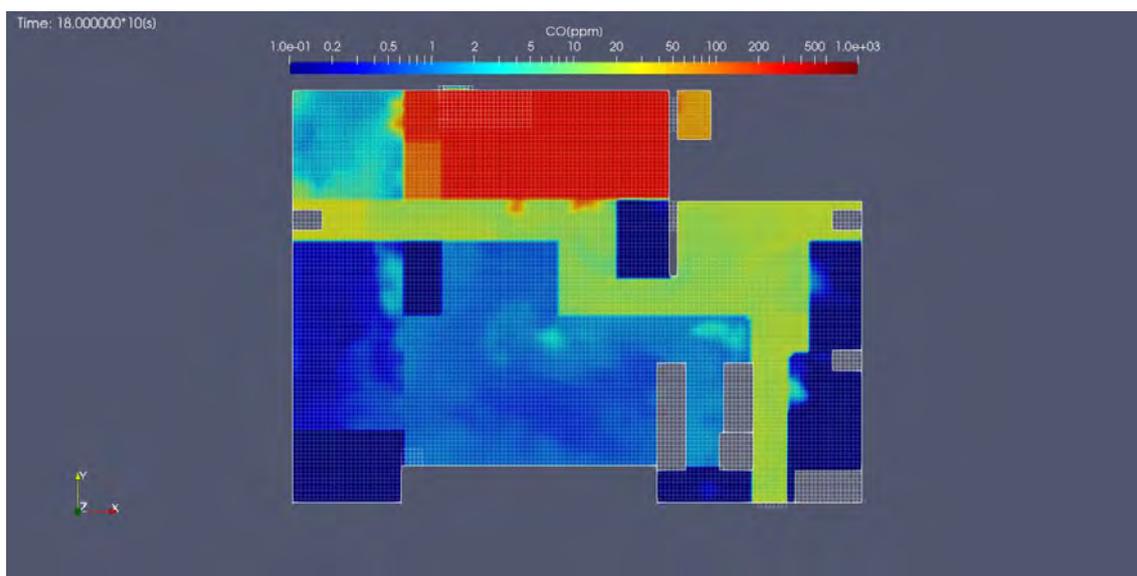


図 5-48 CO 濃度分布 (180 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

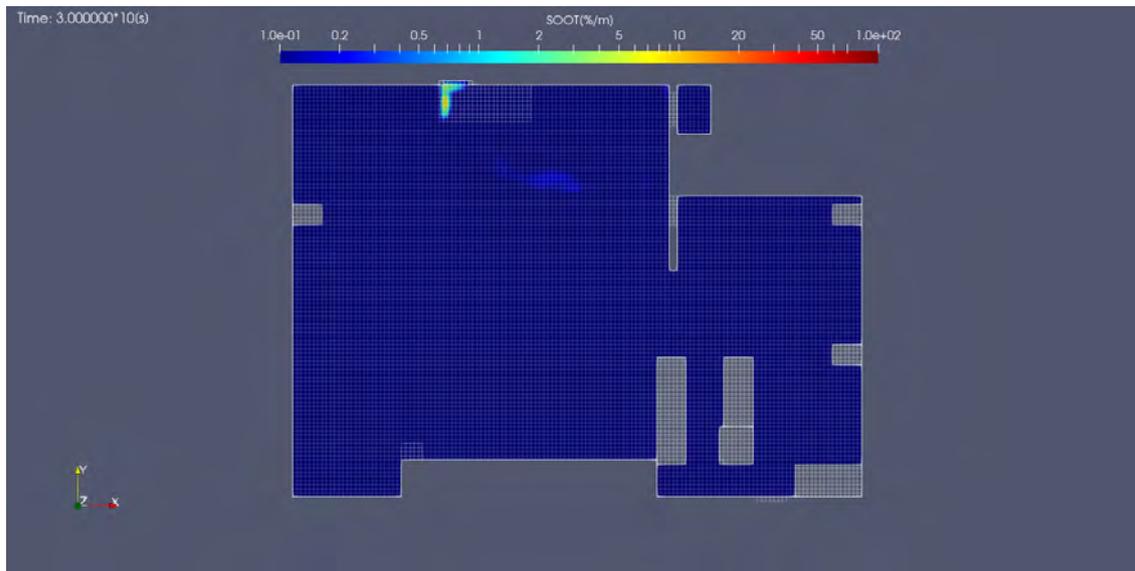


図 5-49 煙濃度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

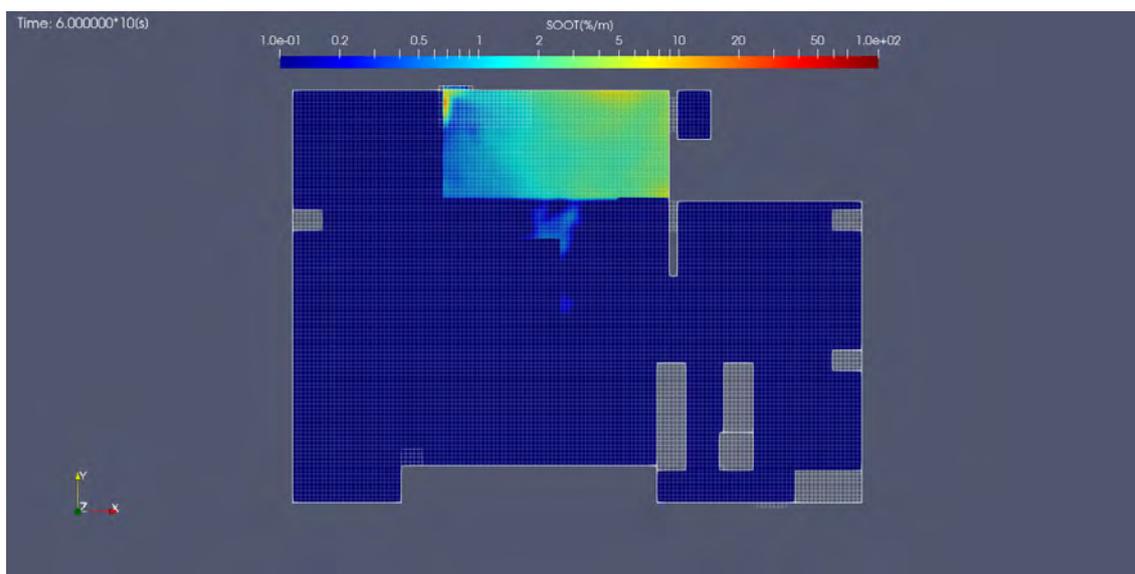


図 5-50 煙濃度分布 (60 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

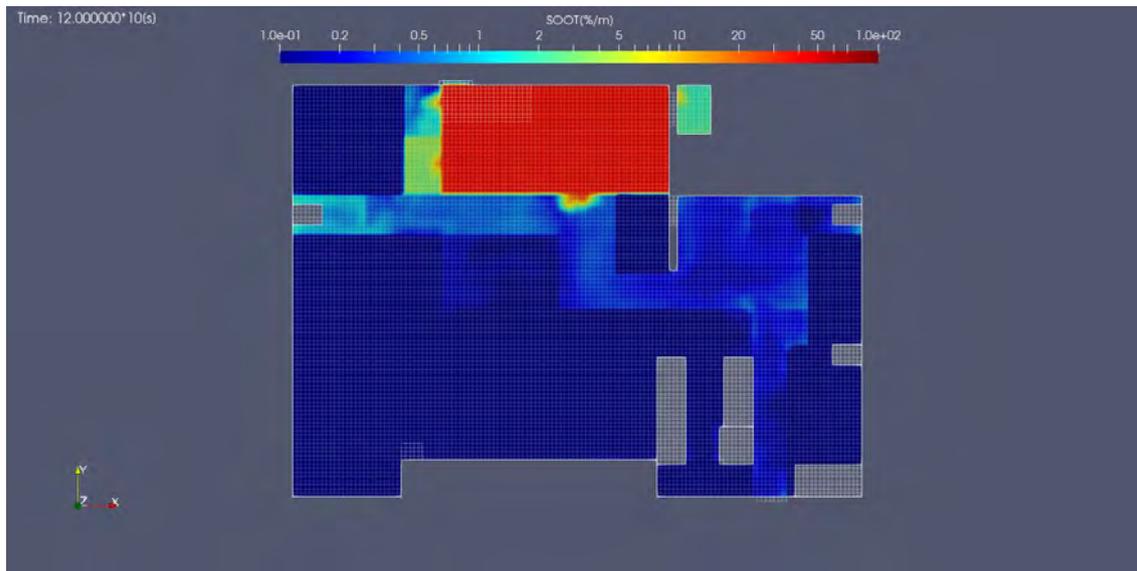


図 5-51 煙濃度分布 (120 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

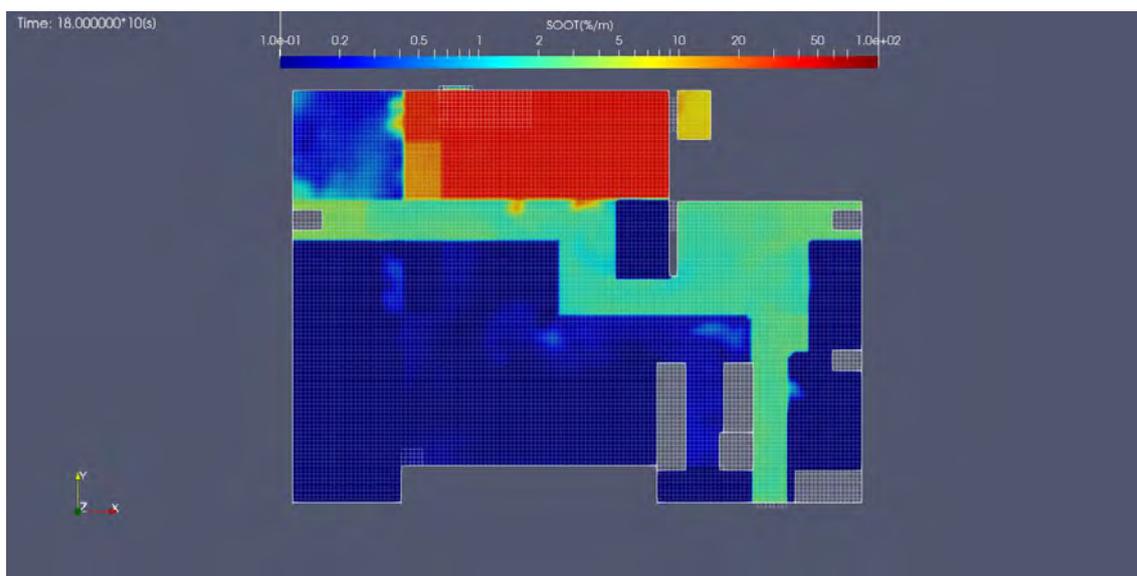


図 5-52 煙濃度分布 (180 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

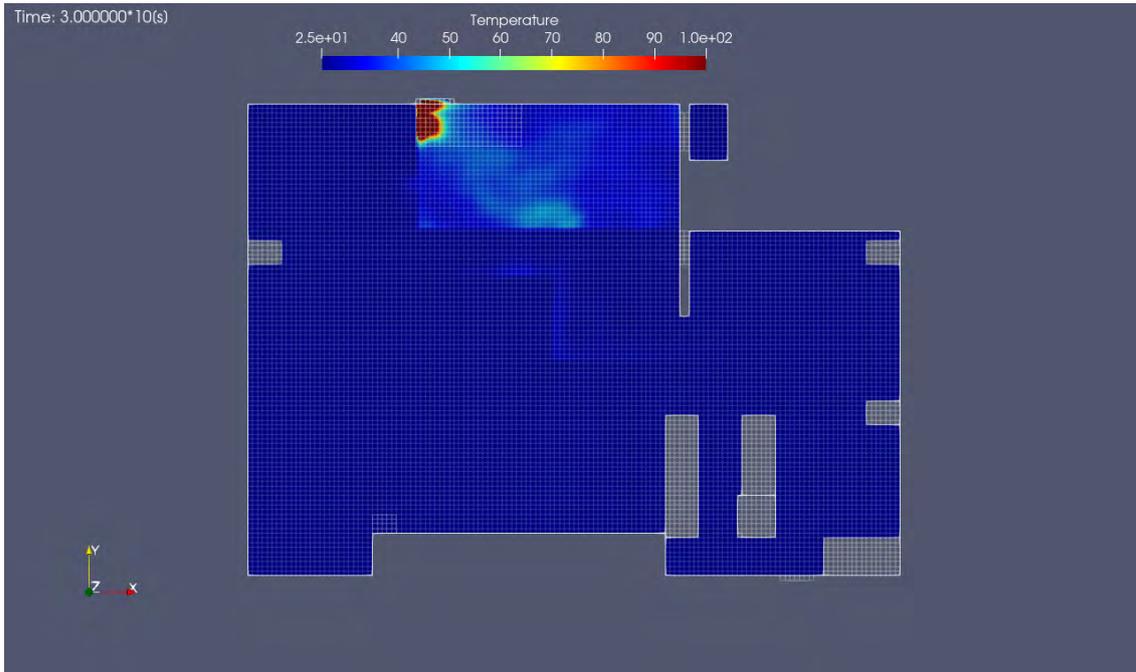


図 5-53 温度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

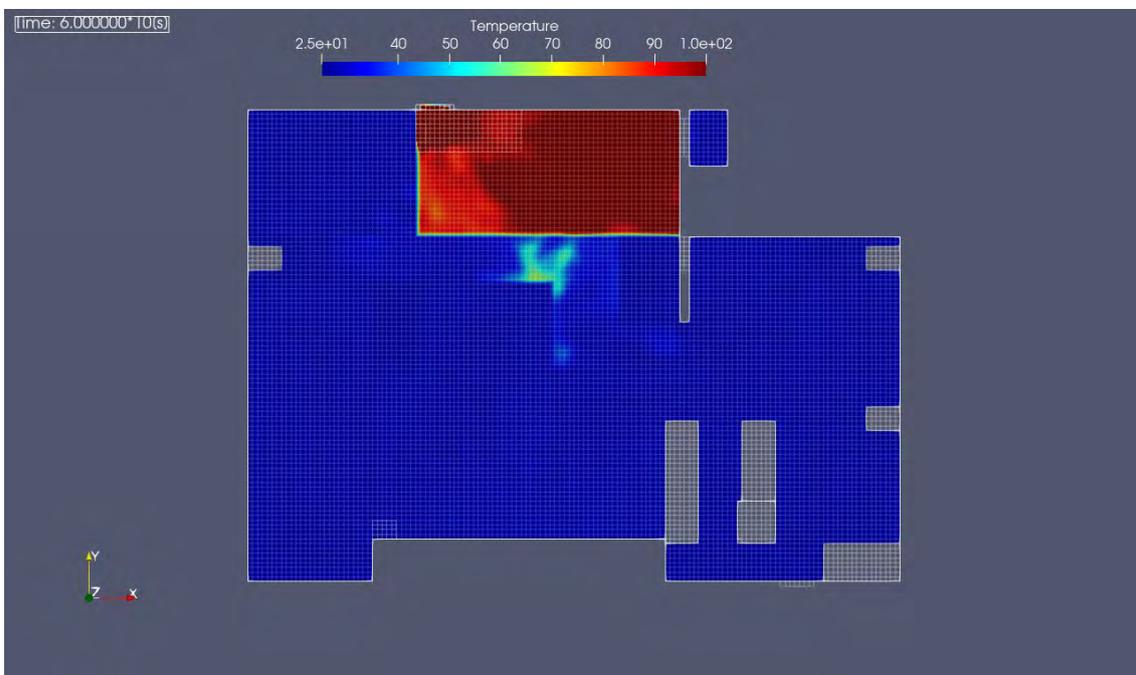


図 5-54 温度分布 (60 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

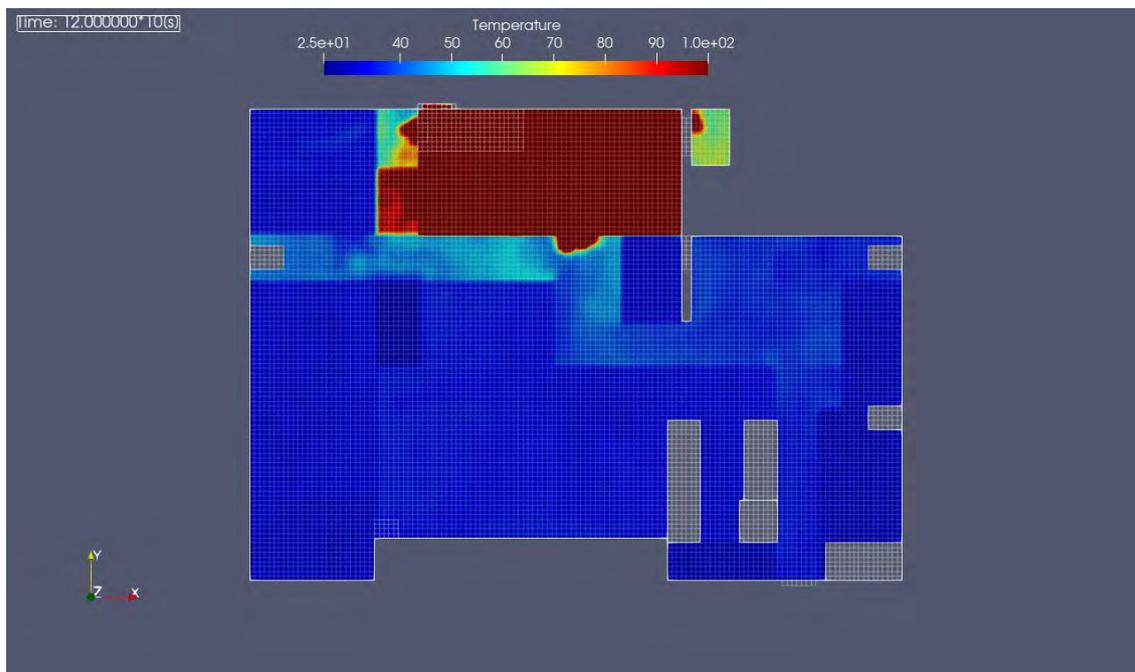


図 5-55 温度分布（120 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

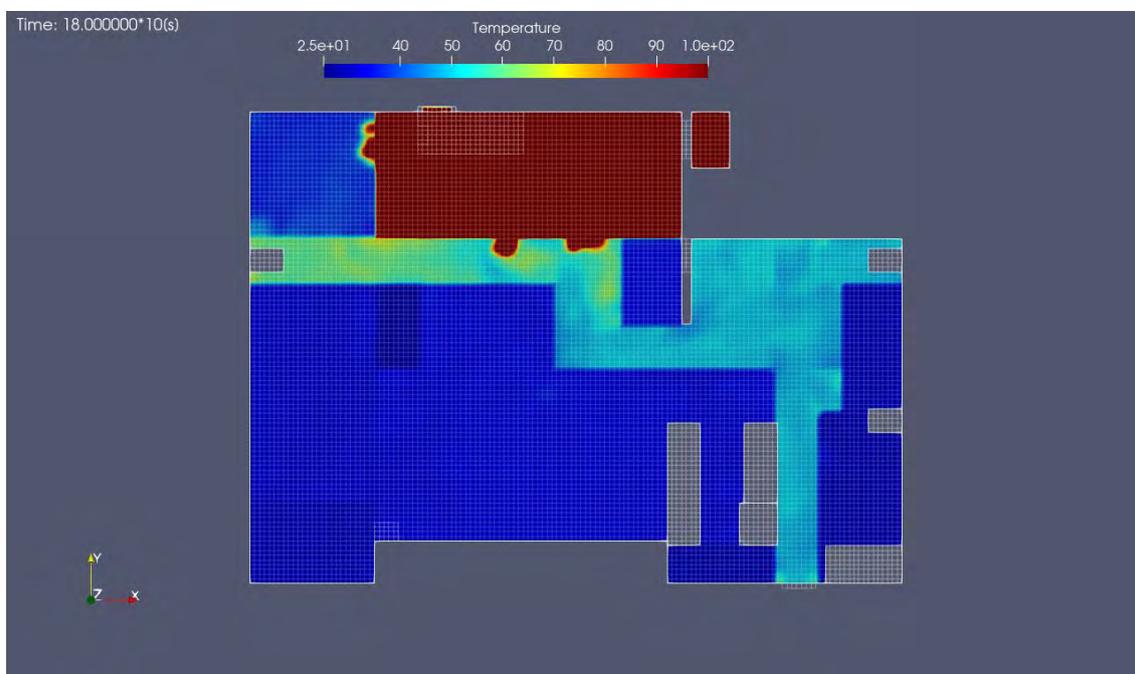


図 5-56 温度分布（180 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

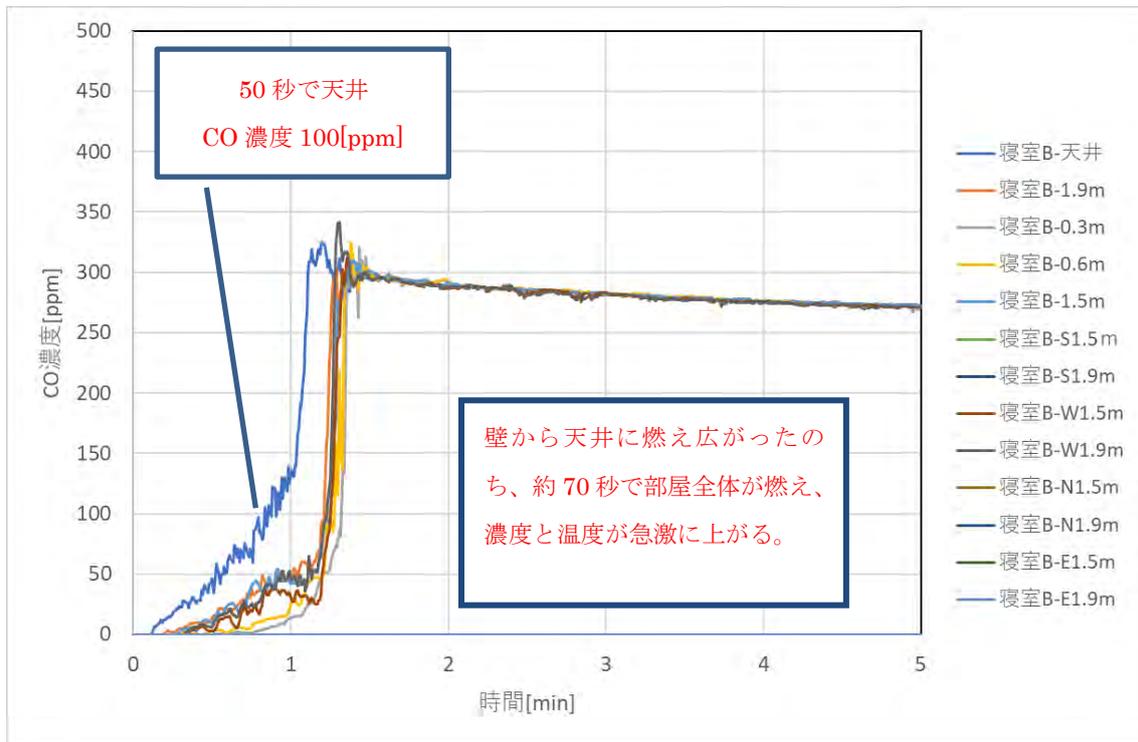


図 5-57 寝室 B における CO 濃度経時変化

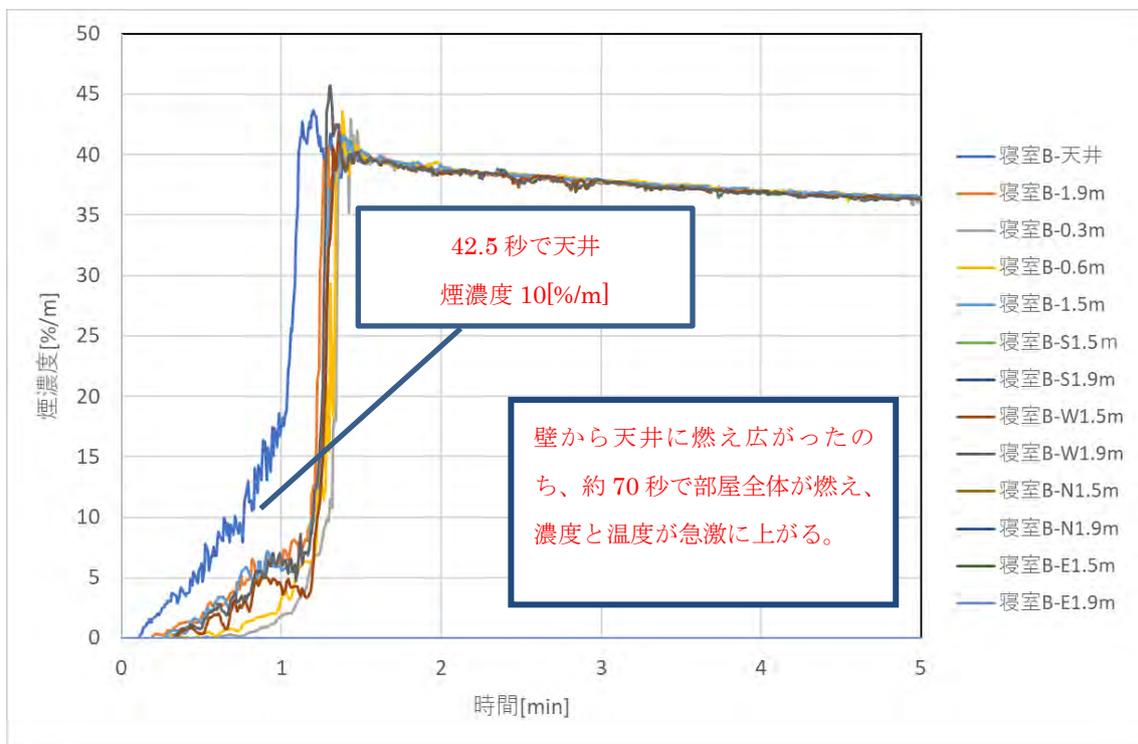


図 5-58 寝室 B における煙濃度経時変化

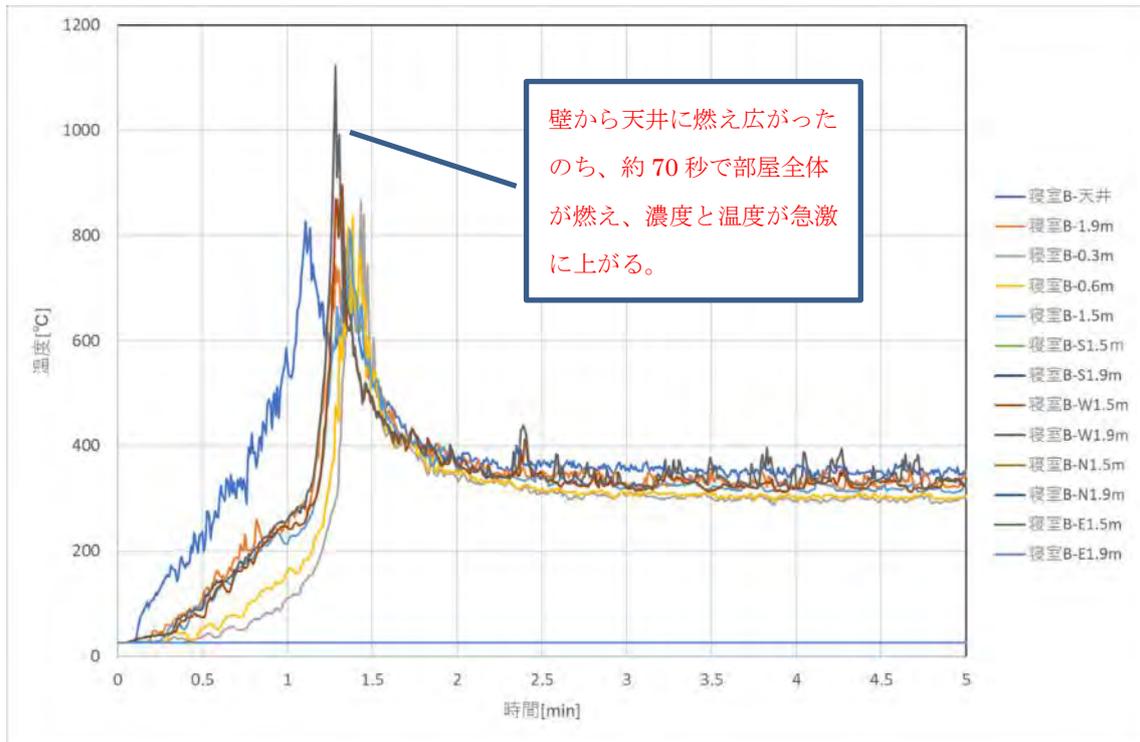


図 5-59 寝室 B における温度経時変化

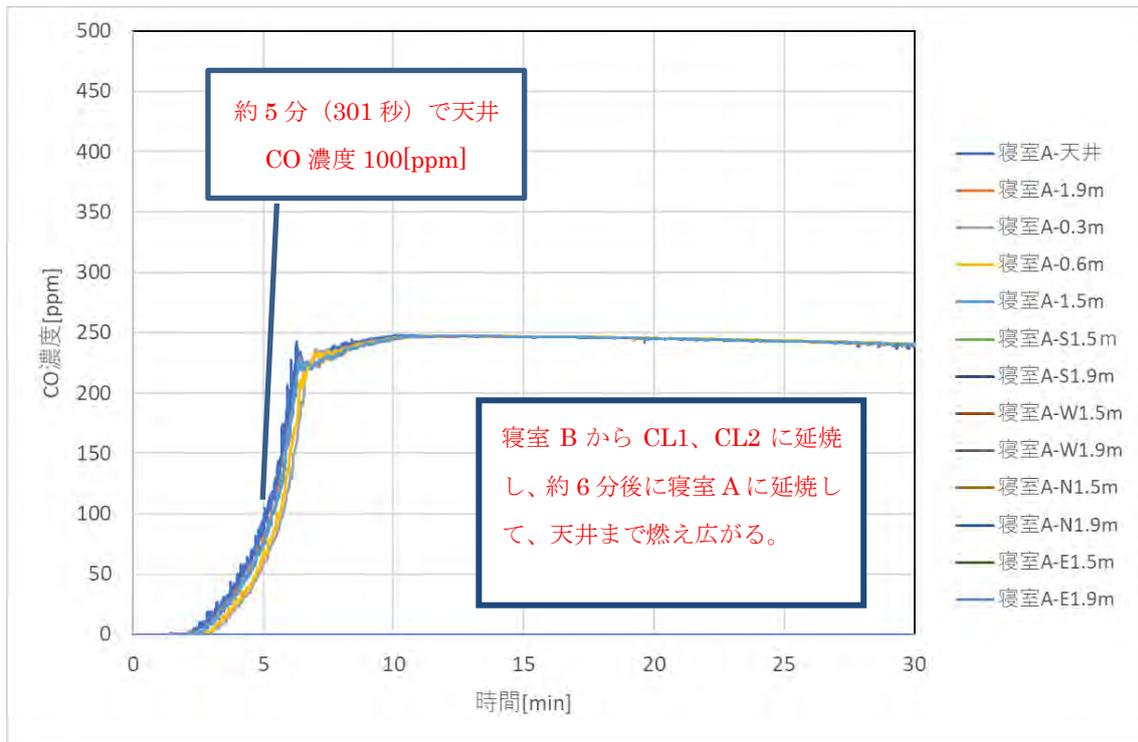


図 5-60 寝室 A における CO 濃度経時変化

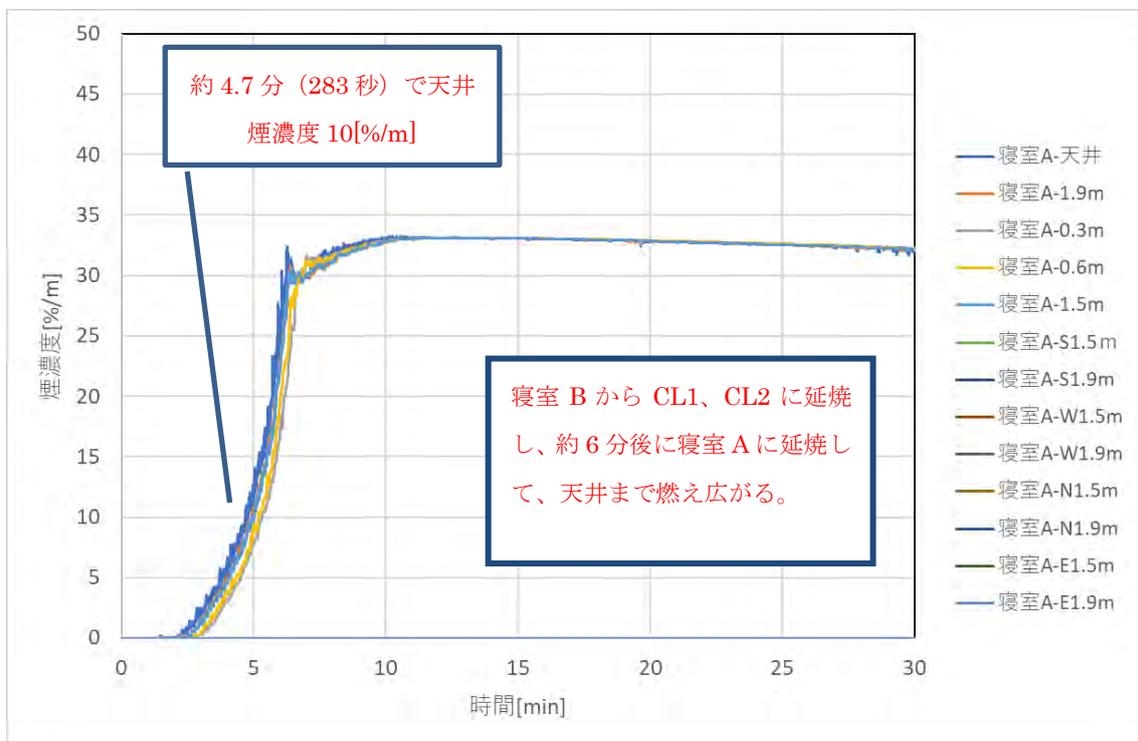


図 5-61 寝室 A における煙濃度経時変化

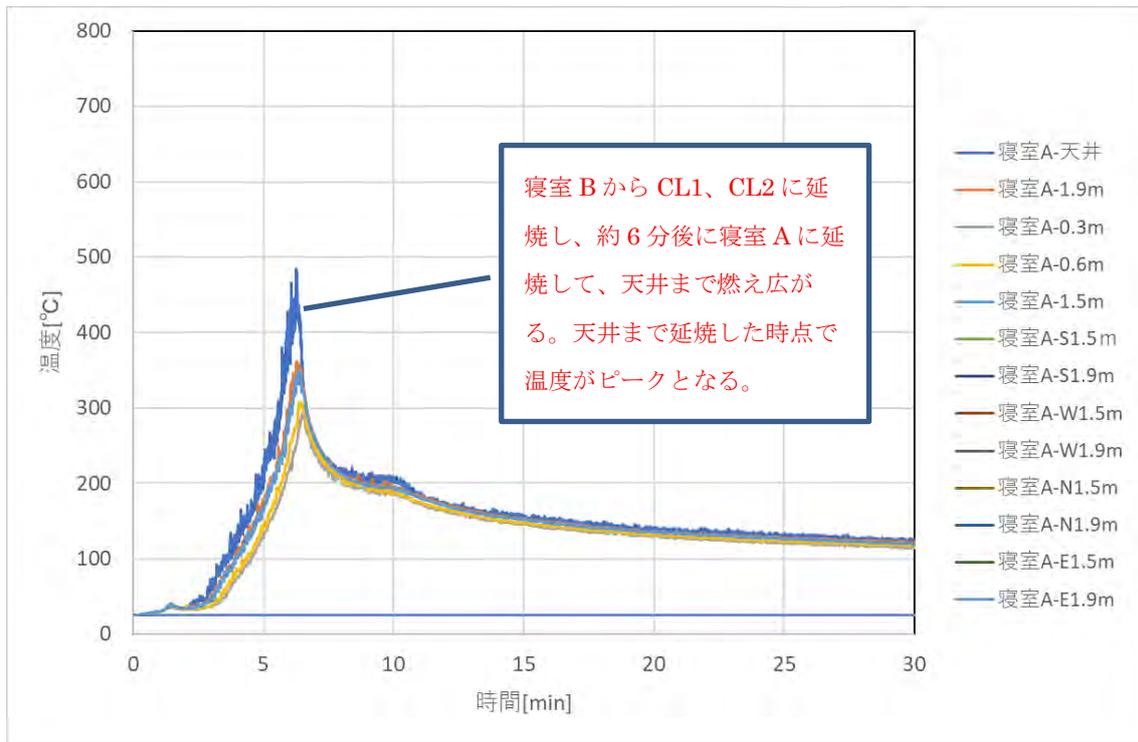


図 5-62 寝室 A における温度経時変化

#### 5.1.4. ケース h\_caseB2

本ケースは平屋における、寝室 B でのたばこによる火災である。火源の箇所を図 5-63 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-64～図 5-75 に示す。水平断面の高さは床から 0.3m である。

図 5-76～図 5-84 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった寝室 B、寝室 A および LDK の濃度経時変化を示す。

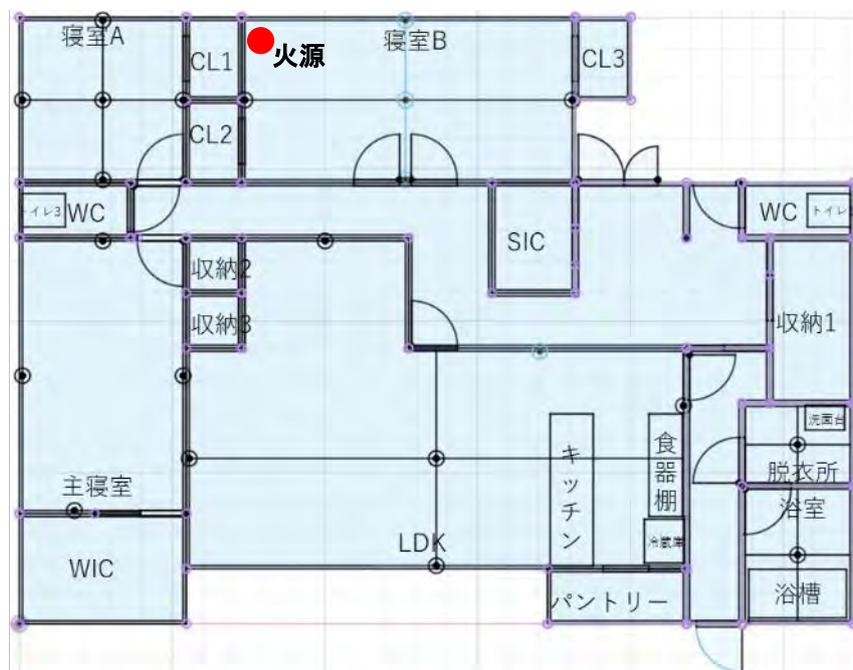


図 5-63 火源の位置

平屋の寝室 B における燻焼火災で、布団の上面におかれたタバコからまず CO が発生し、その後火災により煙濃度が上がり温度も上昇する。寝室 B で CO 濃度が 100ppm を超えるのは 32 分後で、LDK の燻焼火災より早いのは、部屋の容積が小さいためと考えられる。煙濃度が 10%/m を超えるのはその約 2 分後であった。その後廊下に拡散していくが、開始から約 30 分後に寝室 B が激しく延焼し、クローゼット (CL1、CL2) を通して隣接している寝室 A にも延焼、拡散で CO 濃度が上がる。寝室 B で CO 濃度が 100ppm を超えるのは寝室 B が超えてから約 10 分後であった。玄関側の領域も遅れて濃度が上昇し、LDK はその影響で濃度および温度が上がっていくが、影響は小さい。これは LDK の大きさに対し、扉の位置が寝室 B から比較的離れているためと考えられる。

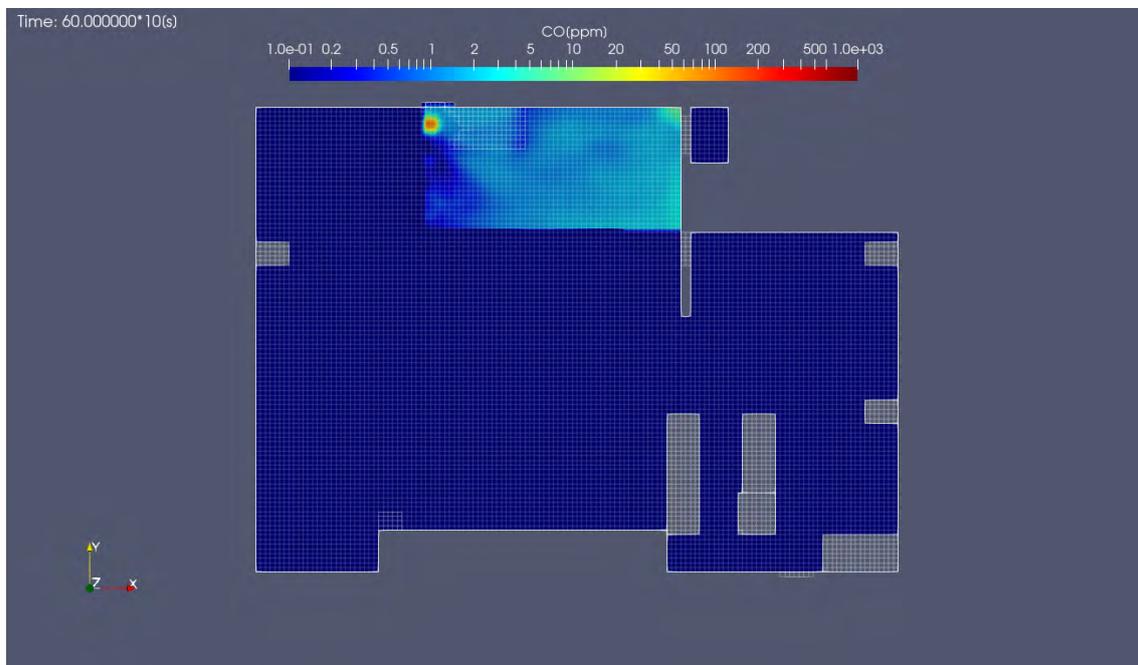


図 5-64 CO 濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

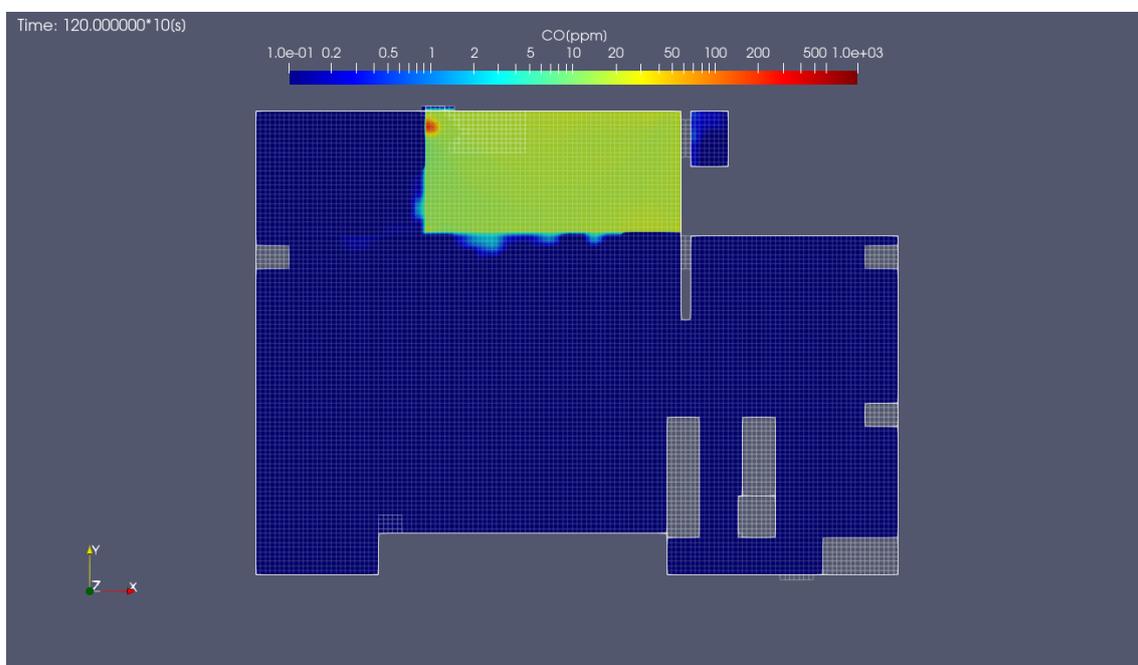


図 5-65 CO 濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

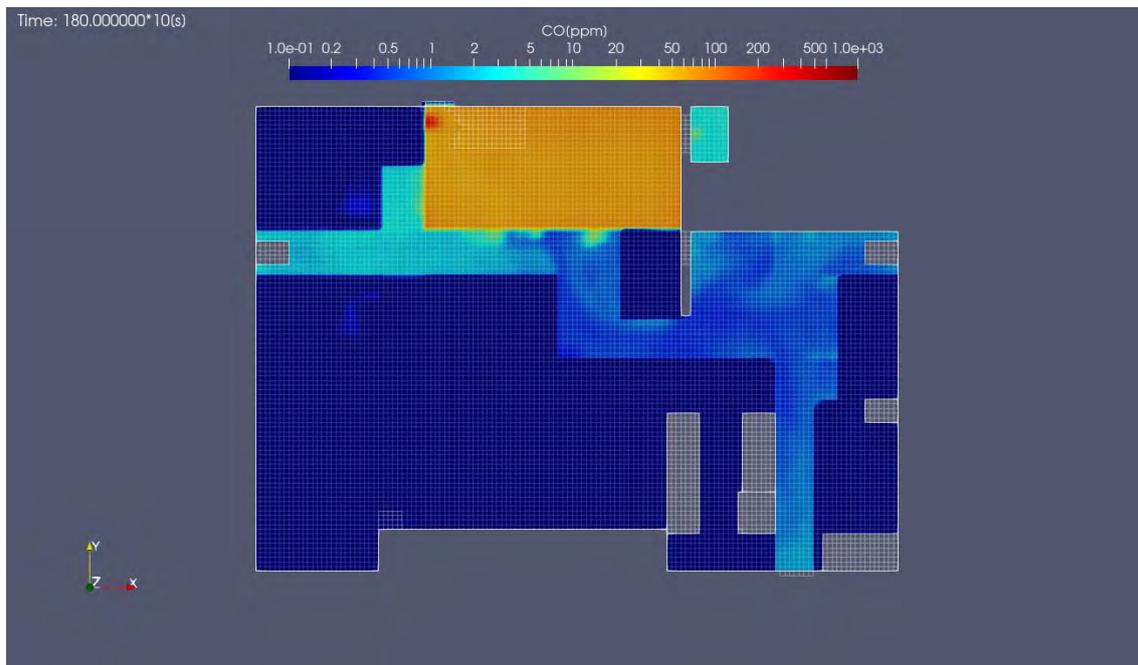


図 5-66 CO 濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

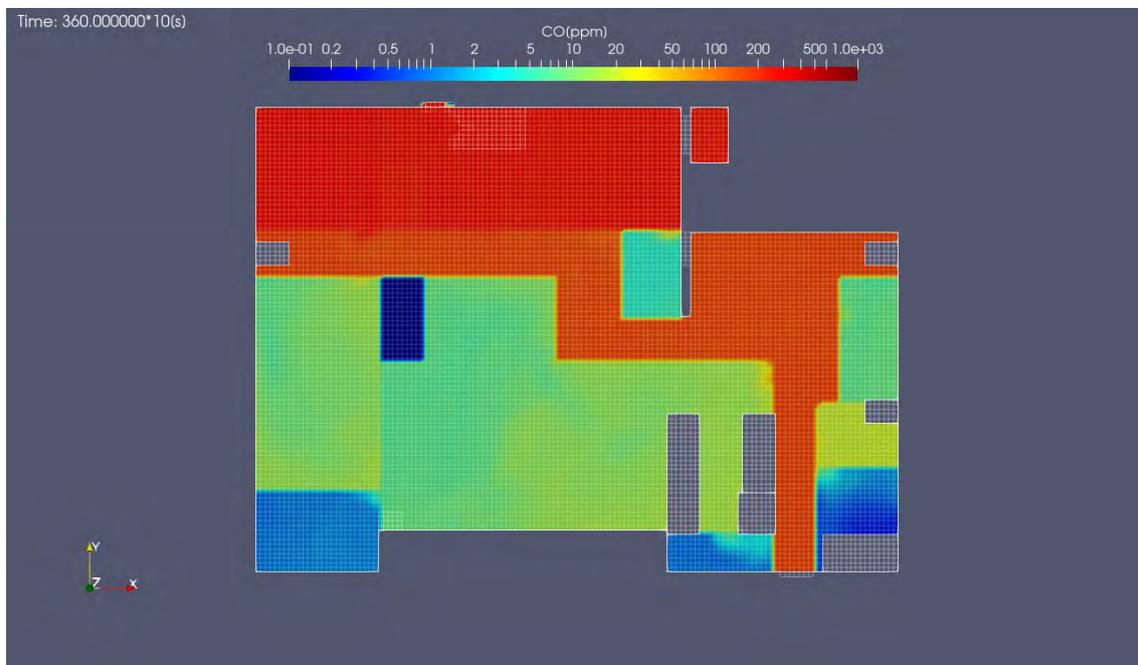


図 5-67 CO 濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

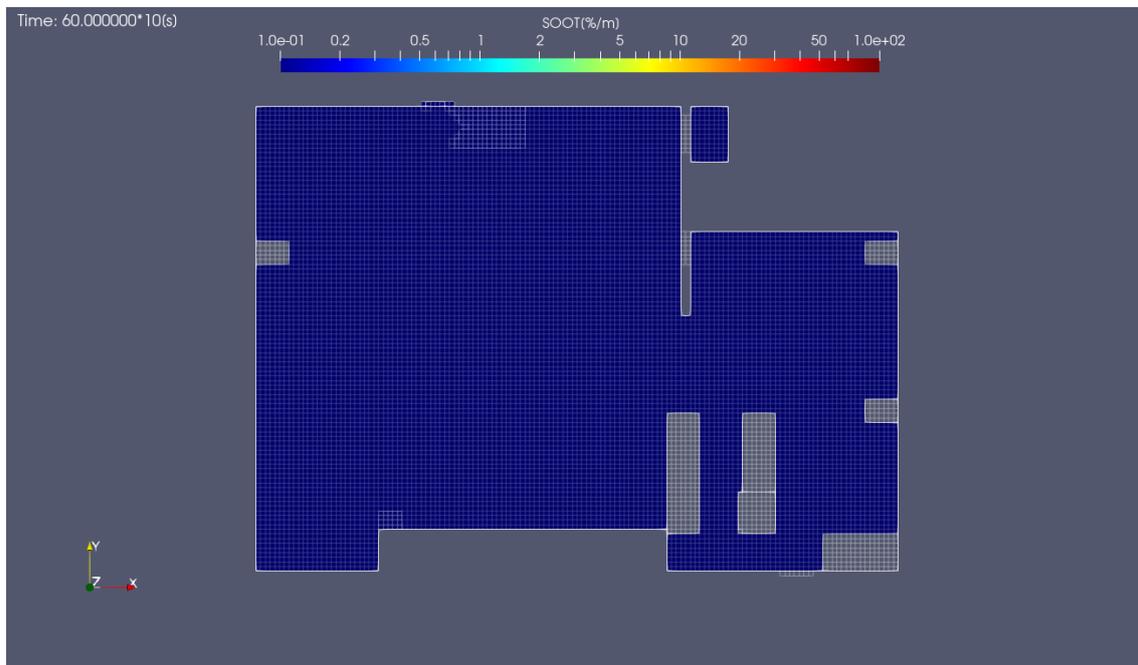


図 5-68 煙濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

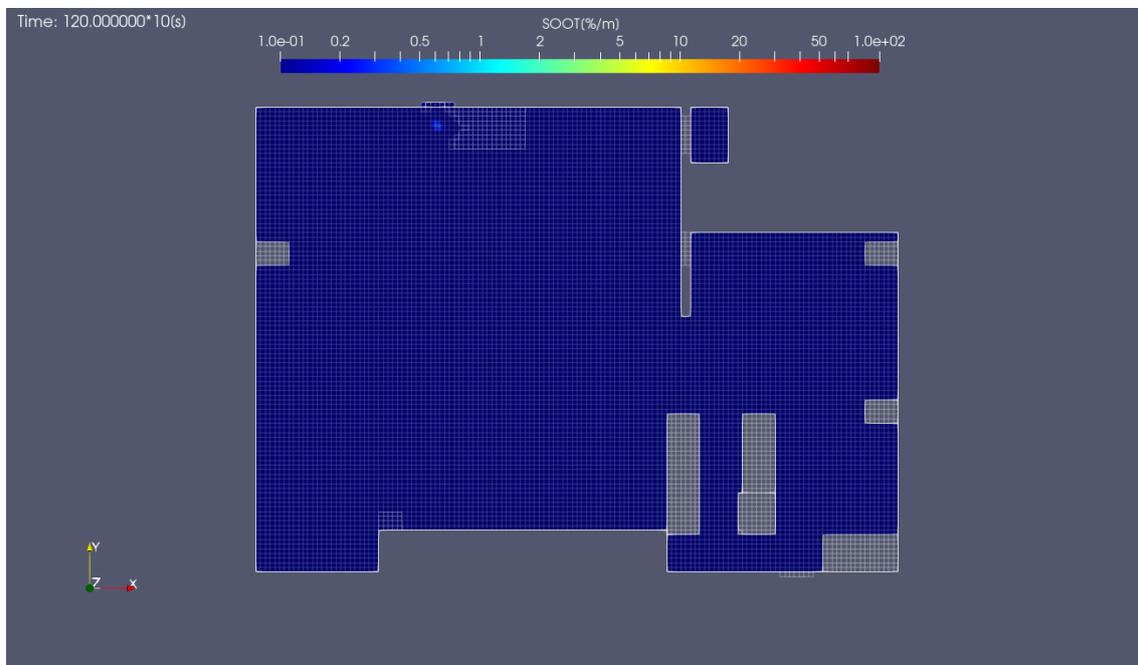


図 5-69 煙濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

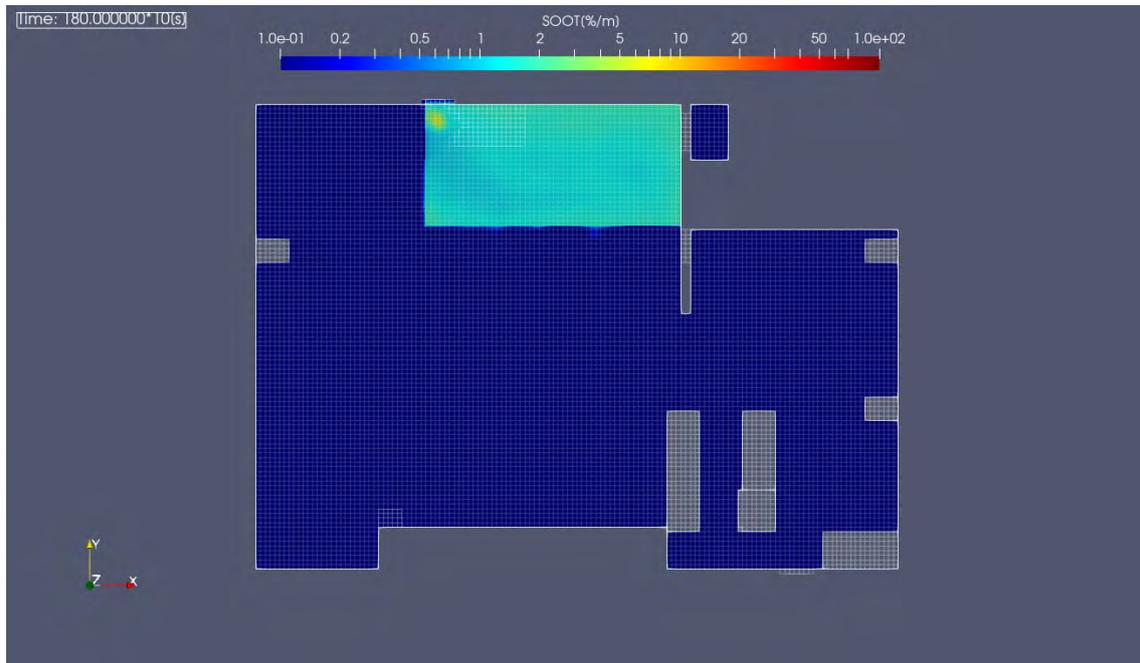


図 5-70 煙濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

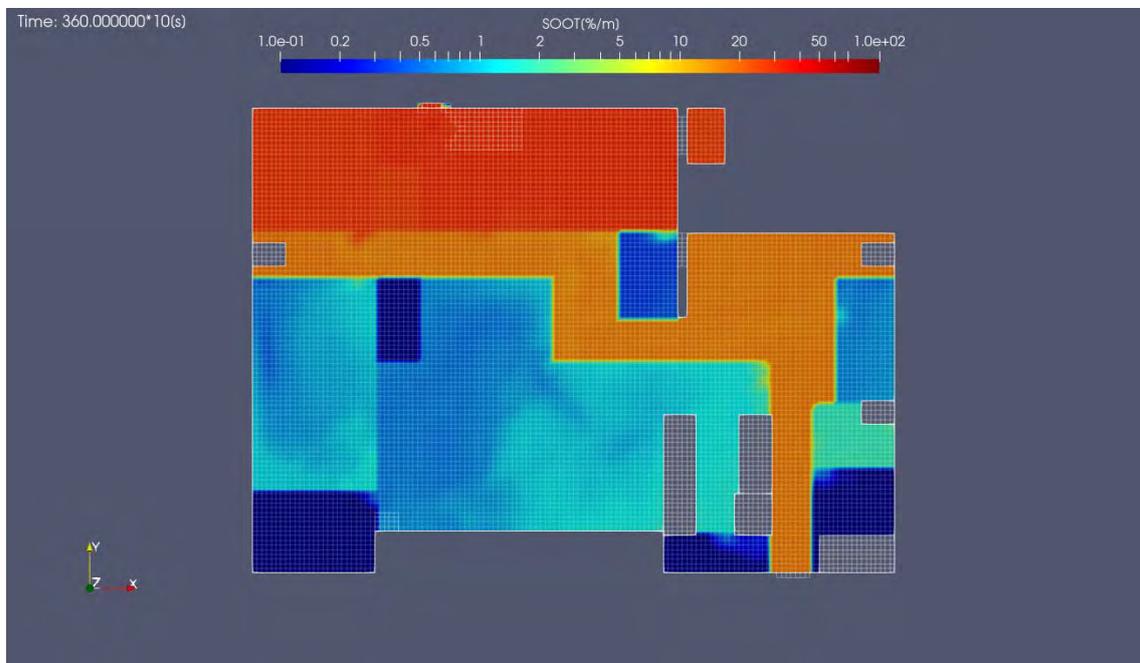


図 5-71 煙濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

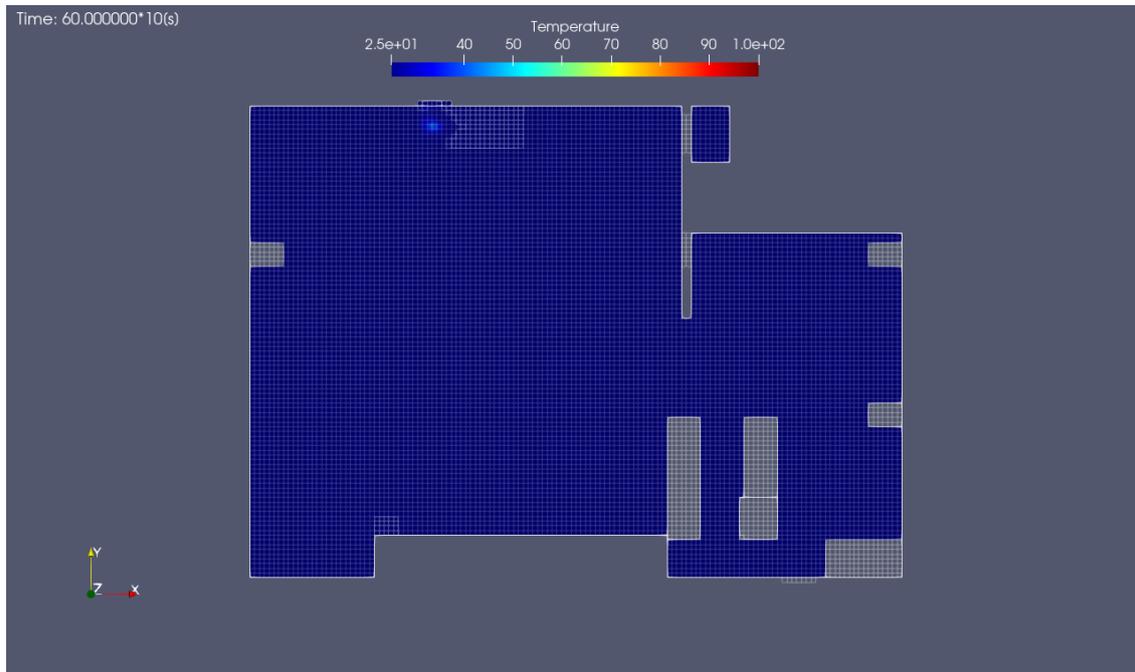


図 5-72 温度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

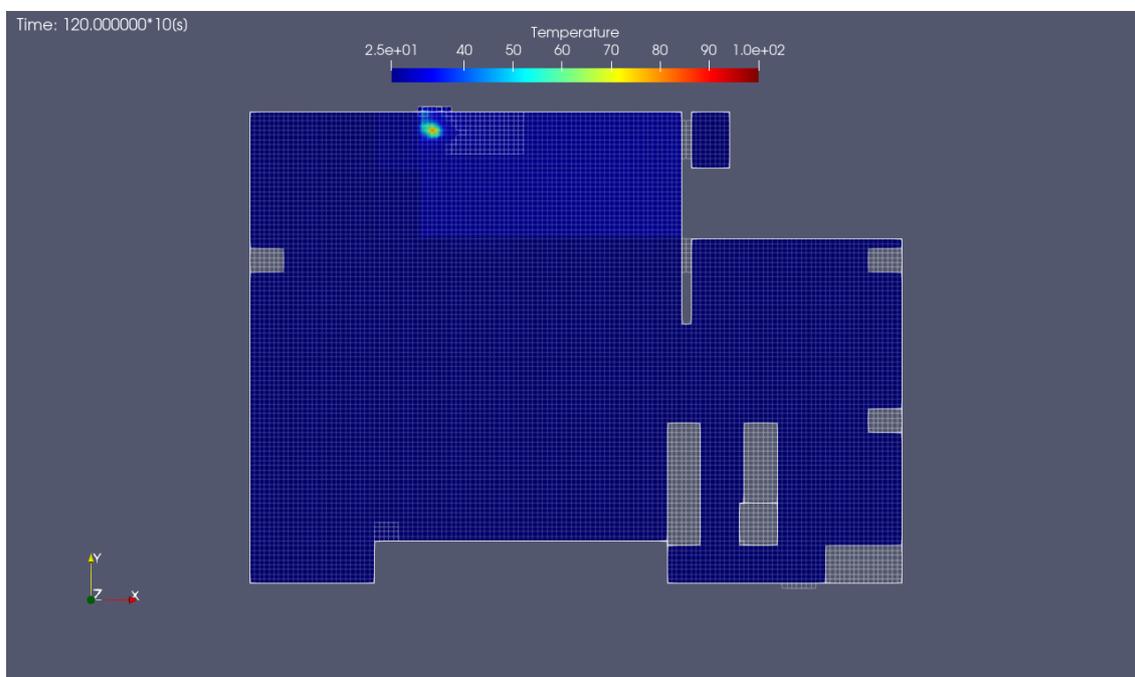


図 5-73 温度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

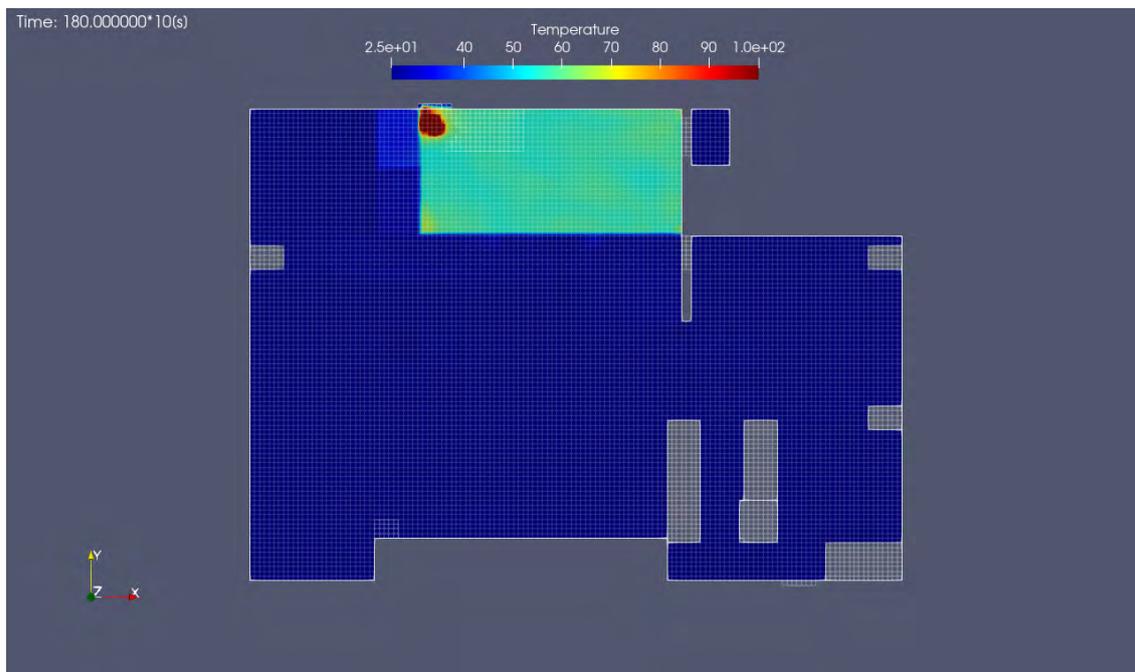


図 5-74 温度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

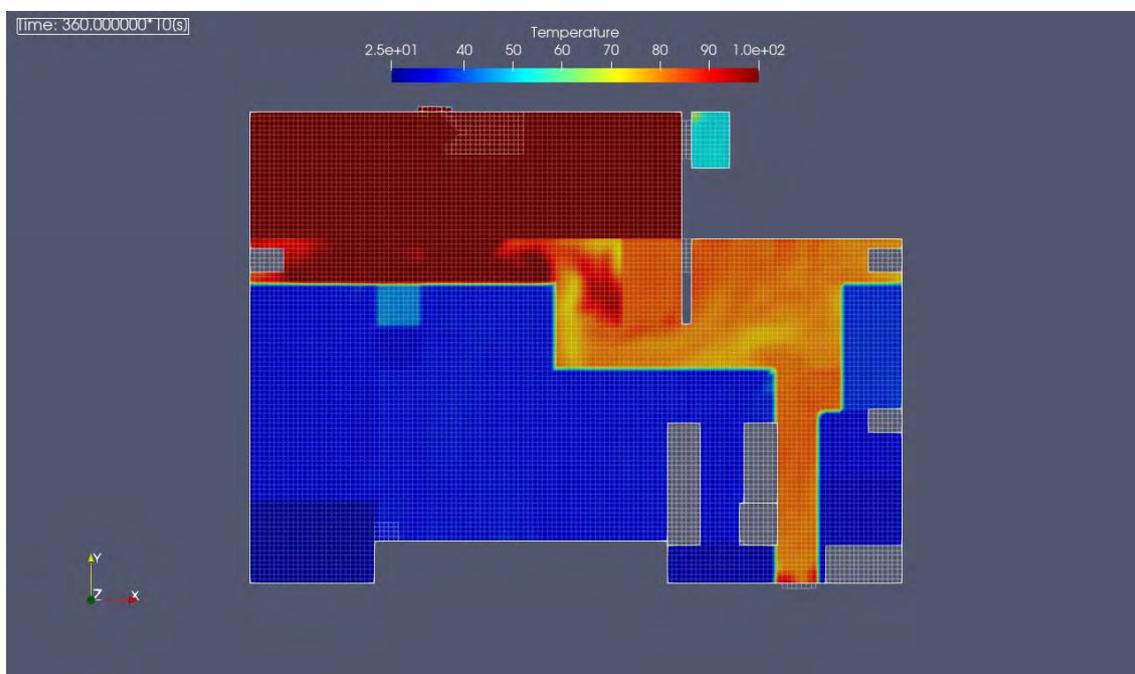


図 5-75 温度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

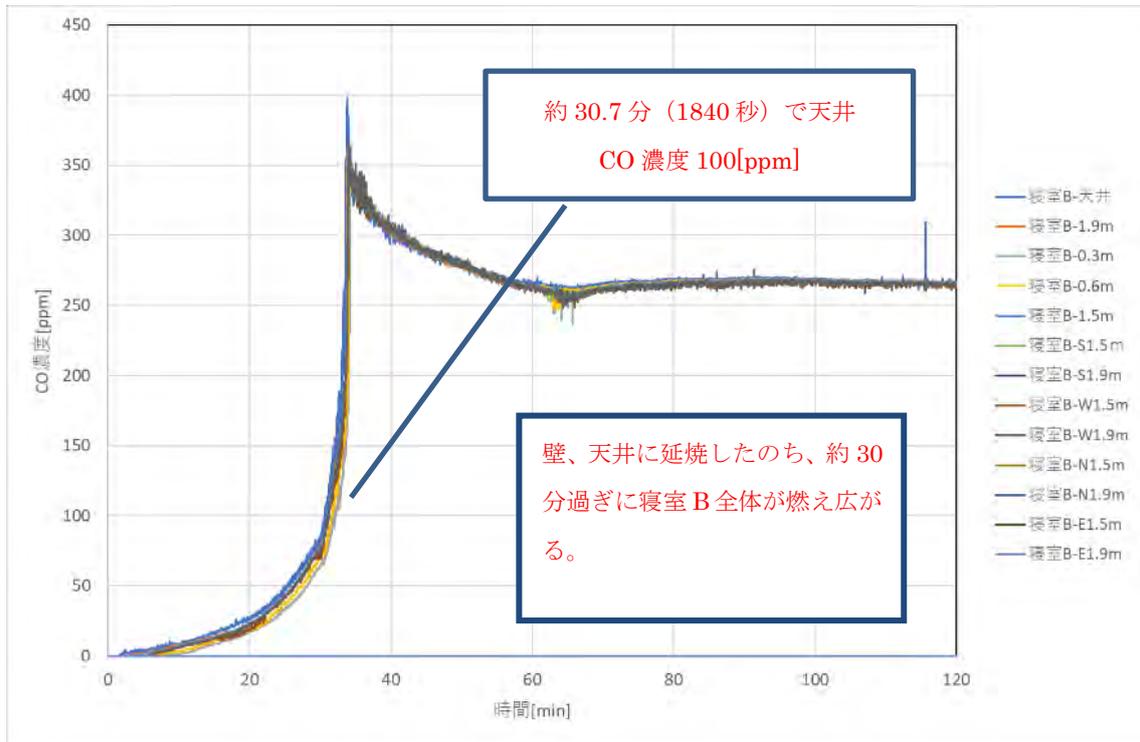


図 5-76 寝室 B における CO 濃度経時変化

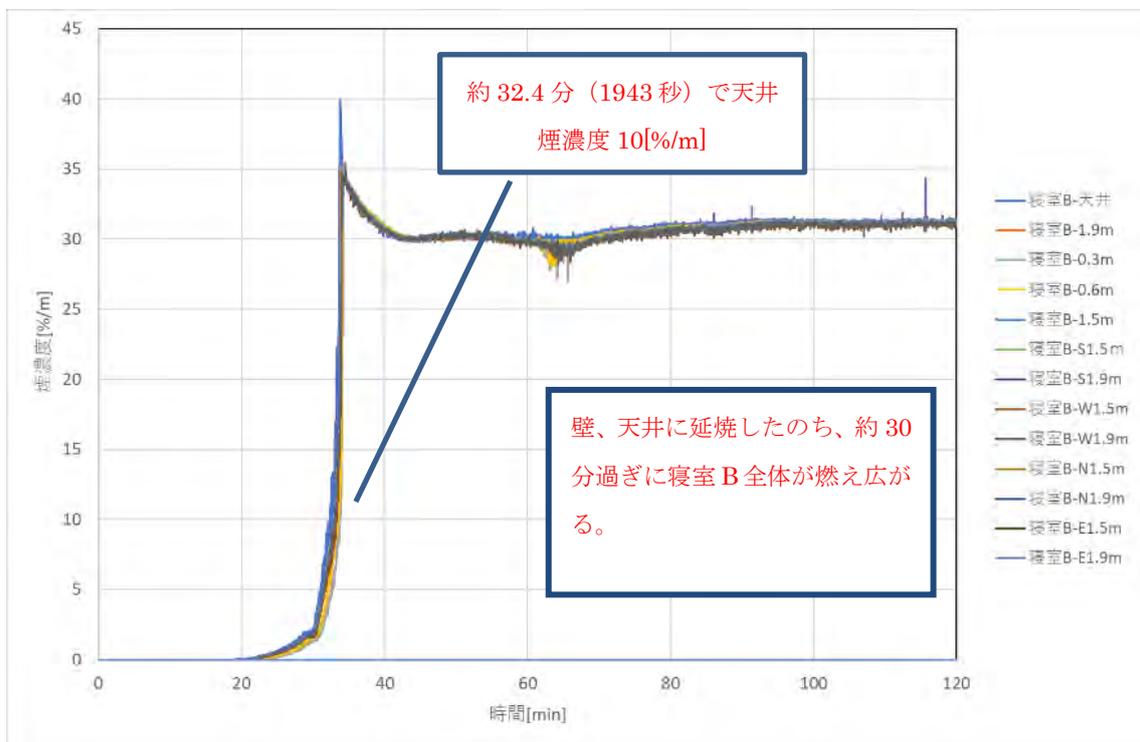


図 5-77 寝室 B における煙濃度経時変化

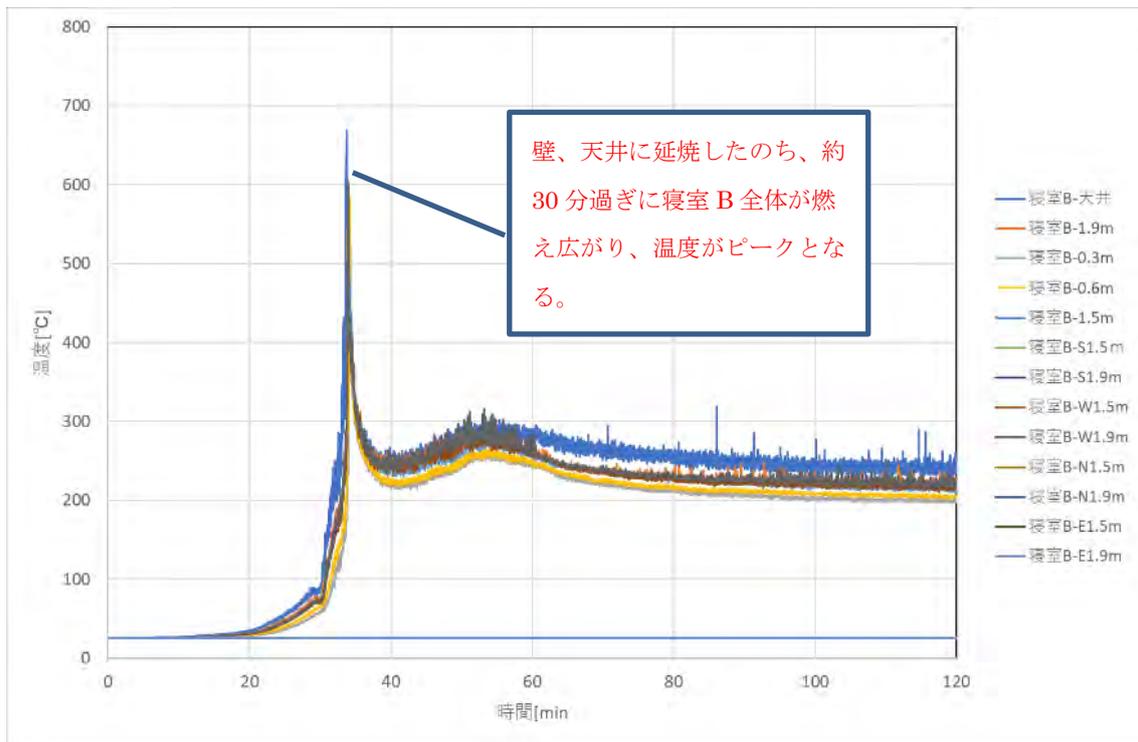


図 5-78 寝室 B における温度経時変化

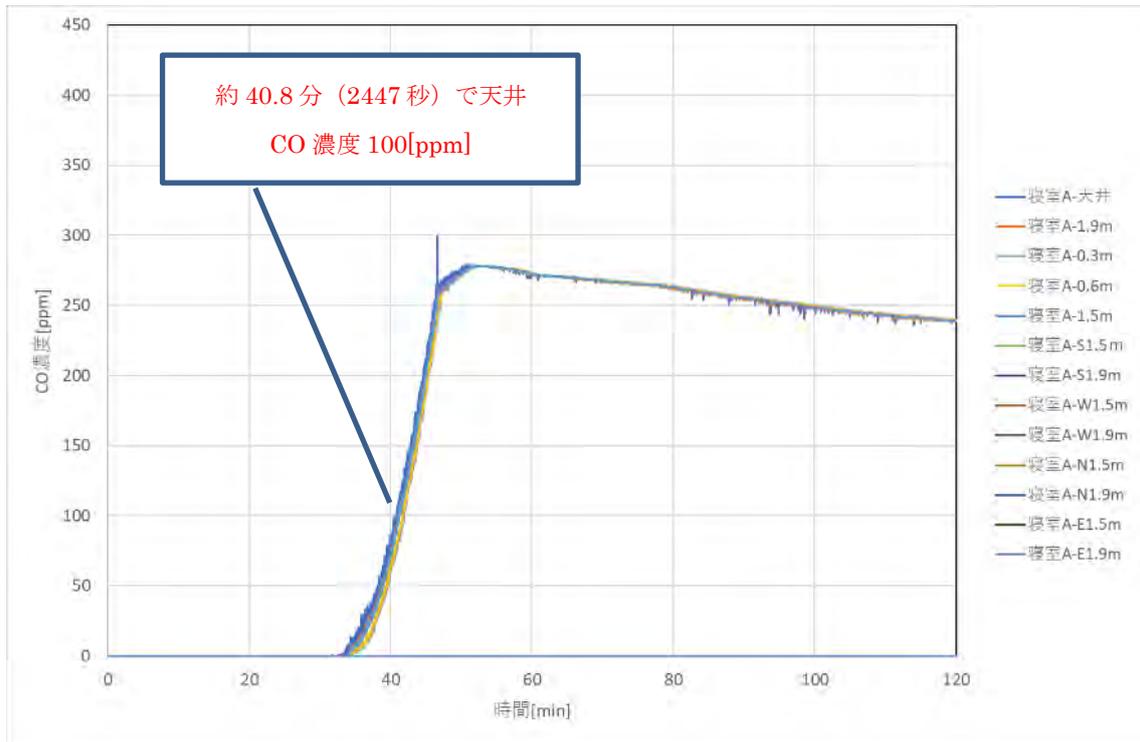


図 5-79 寝室 A における CO 濃度経時変化

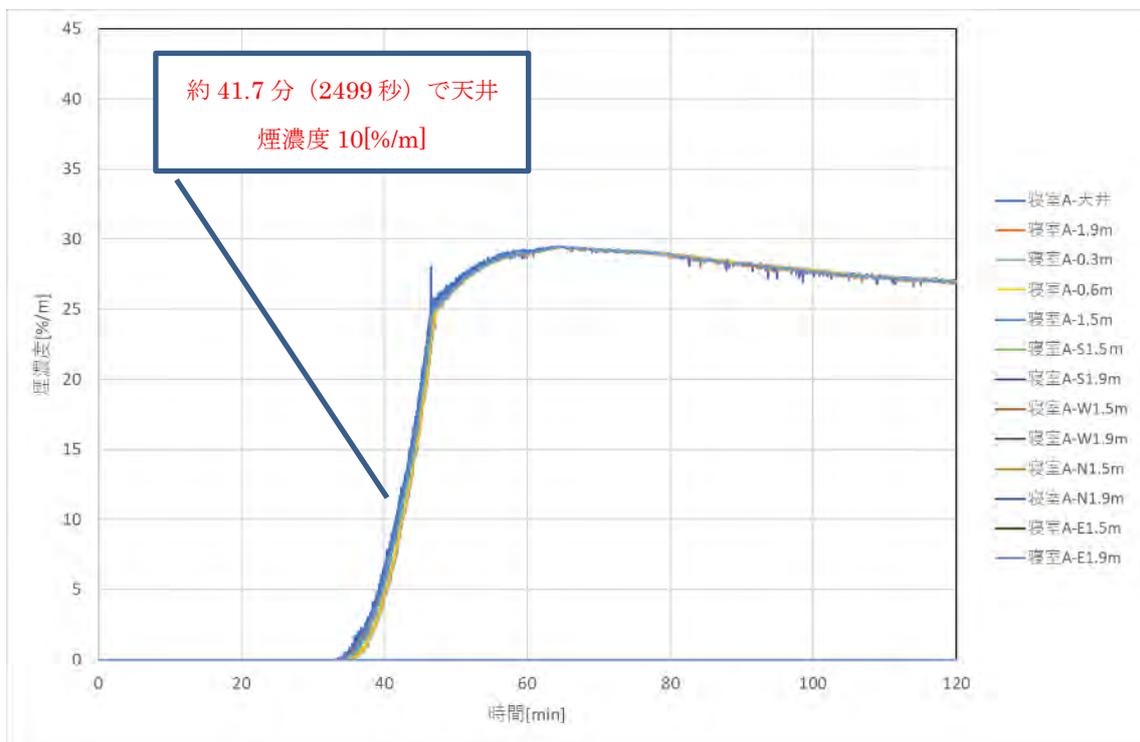


図 5-80 寝室 A における煙濃度経時変化

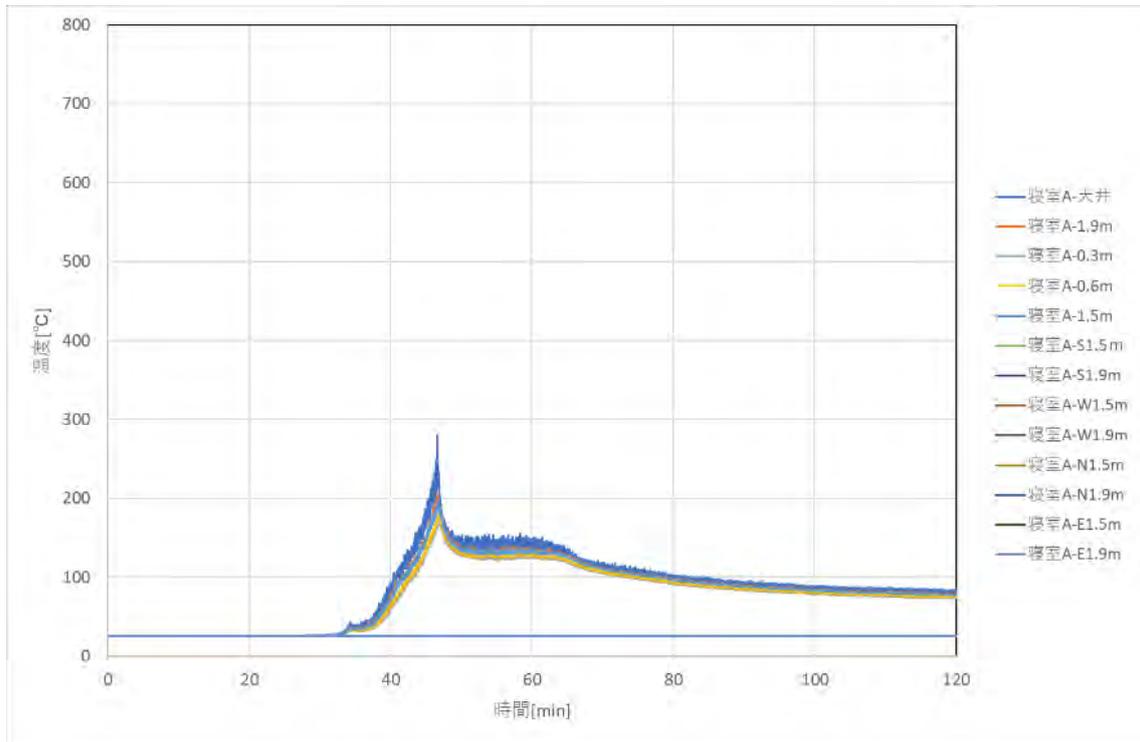


図 5-81 寝室 A における温度経時変化

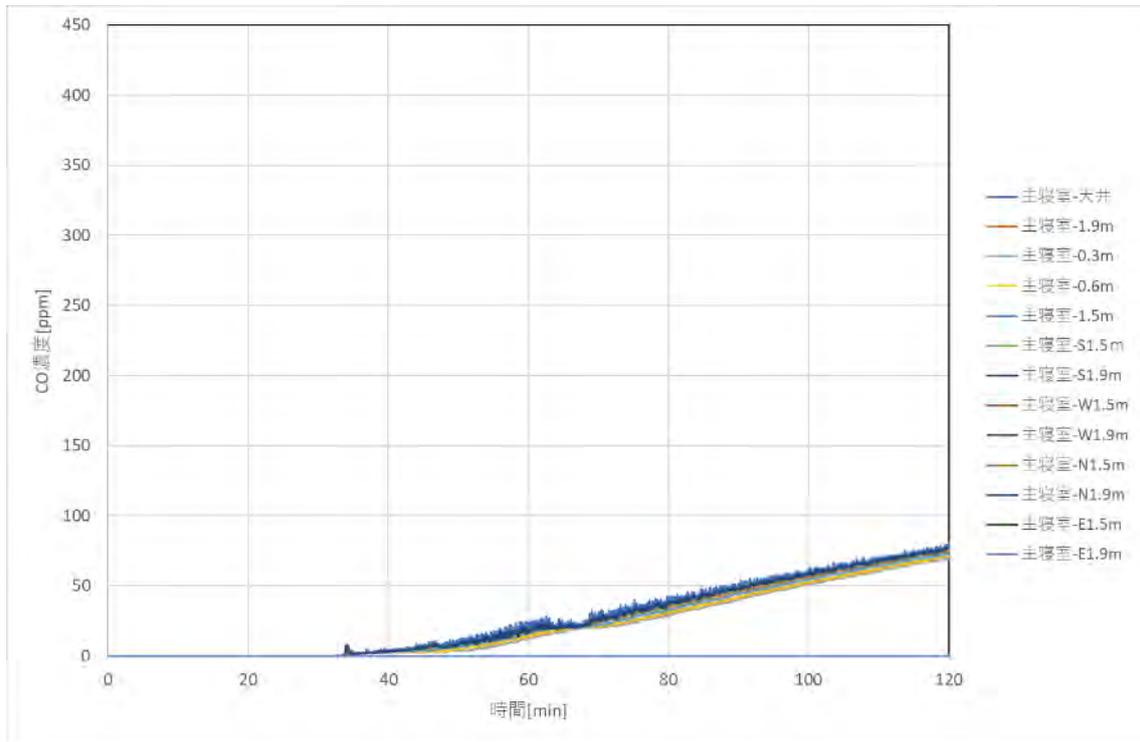


図 5-82 LDK における CO 濃度経時変化

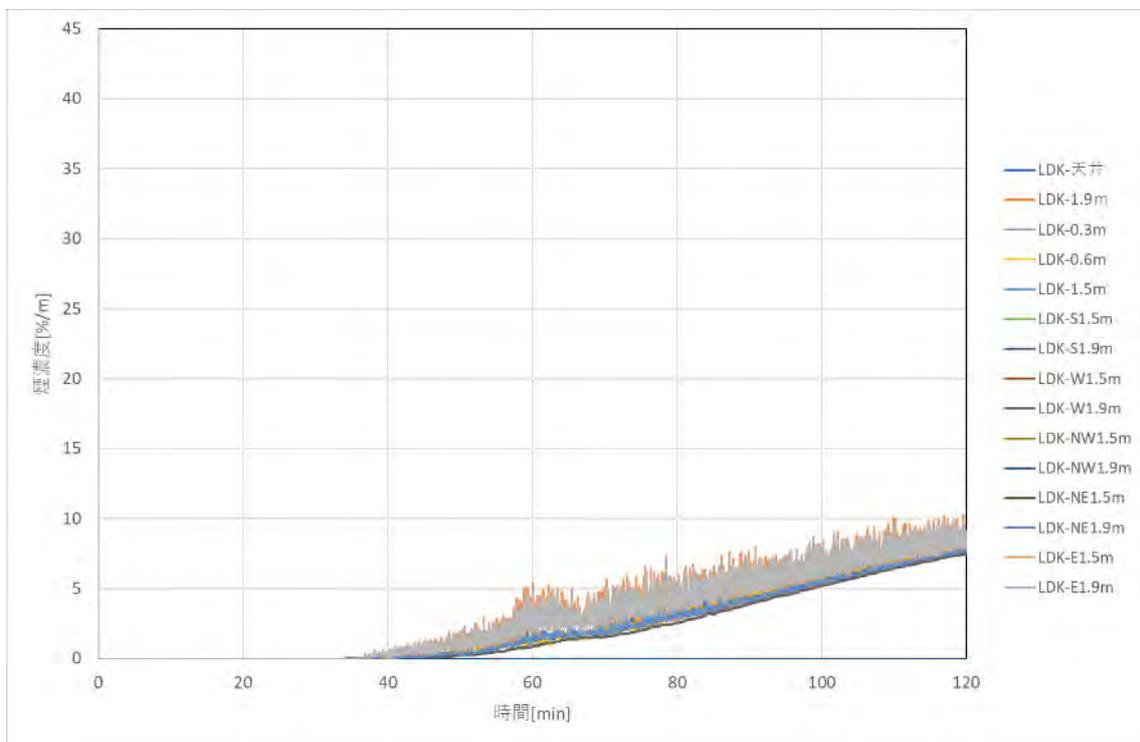


図 5-83 LDK における煙濃度経時変化

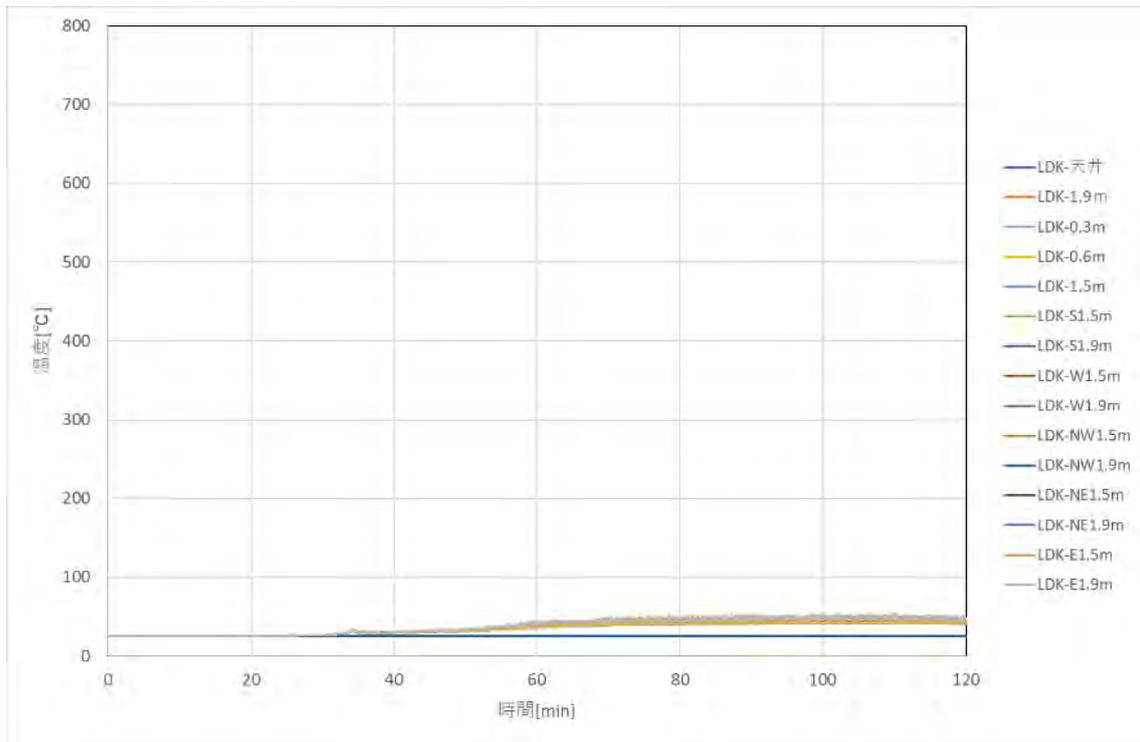


図 5-84 LDK における温度経時変化

## 5.2. 2階建て

2階建てにおける測定ポイントの位置について記す。

LDK における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-85 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-6 に示すとおりであり、名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

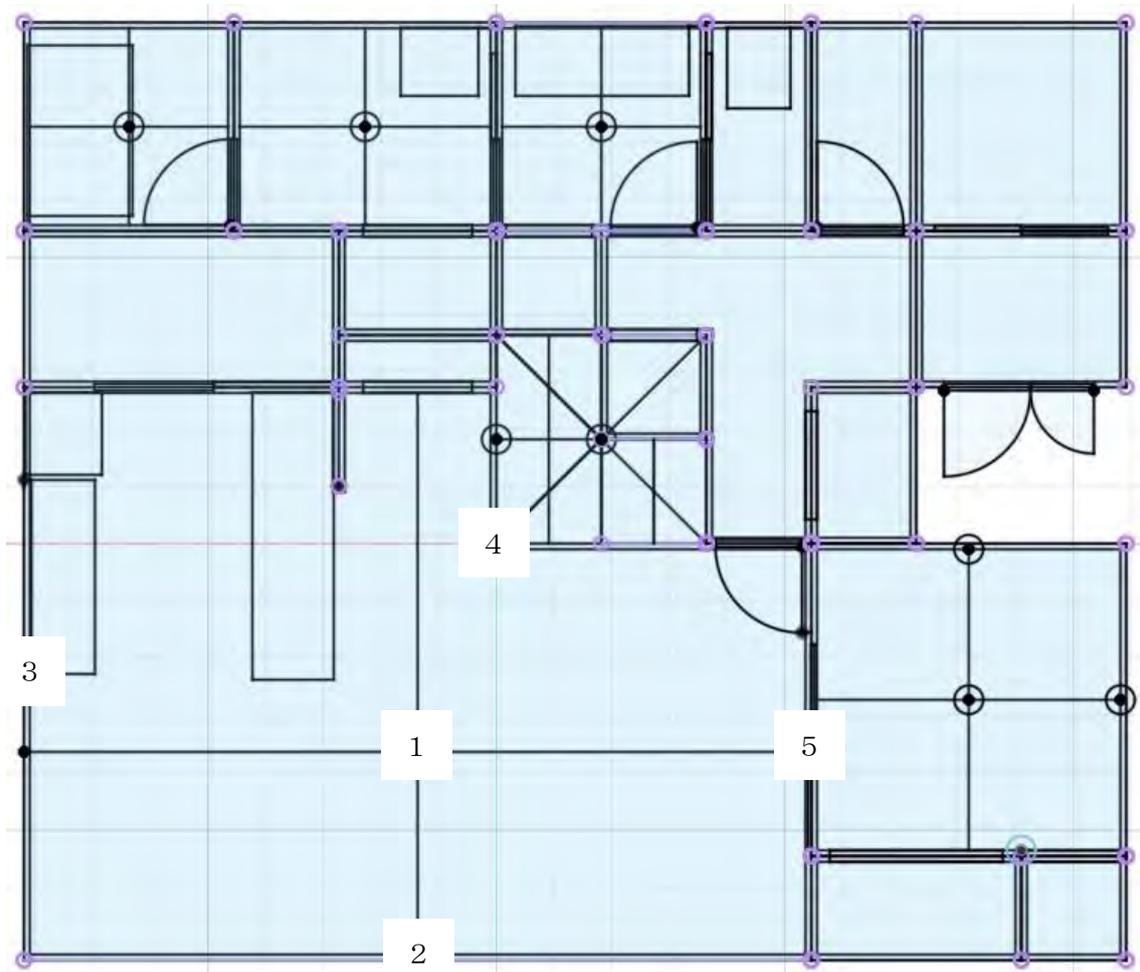


図 5-85 2階建て／LDK の測定ポイント設定箇所

表 5-6 2階建て／LDK の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	LDK 中央	2.4	LDK-天井
		1.9	LDK-1.9m
		1.5	LDK-1.5m
		0.6	LDK-0.6m
		0.3	LDK-0.3m
2	LDK 壁	1.9	LDK-S1.9m
		1.5	LDK-S1.5m
3		1.9	LDK-W1.9m
		1.5	LDK-W1.5m
4		1.9	LDK-N1.9m
		1.5	LDK-N1.5m
5		1.9	LDK-E1.9m
		1.5	LDK-E1.5m

和室における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-86 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-7 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

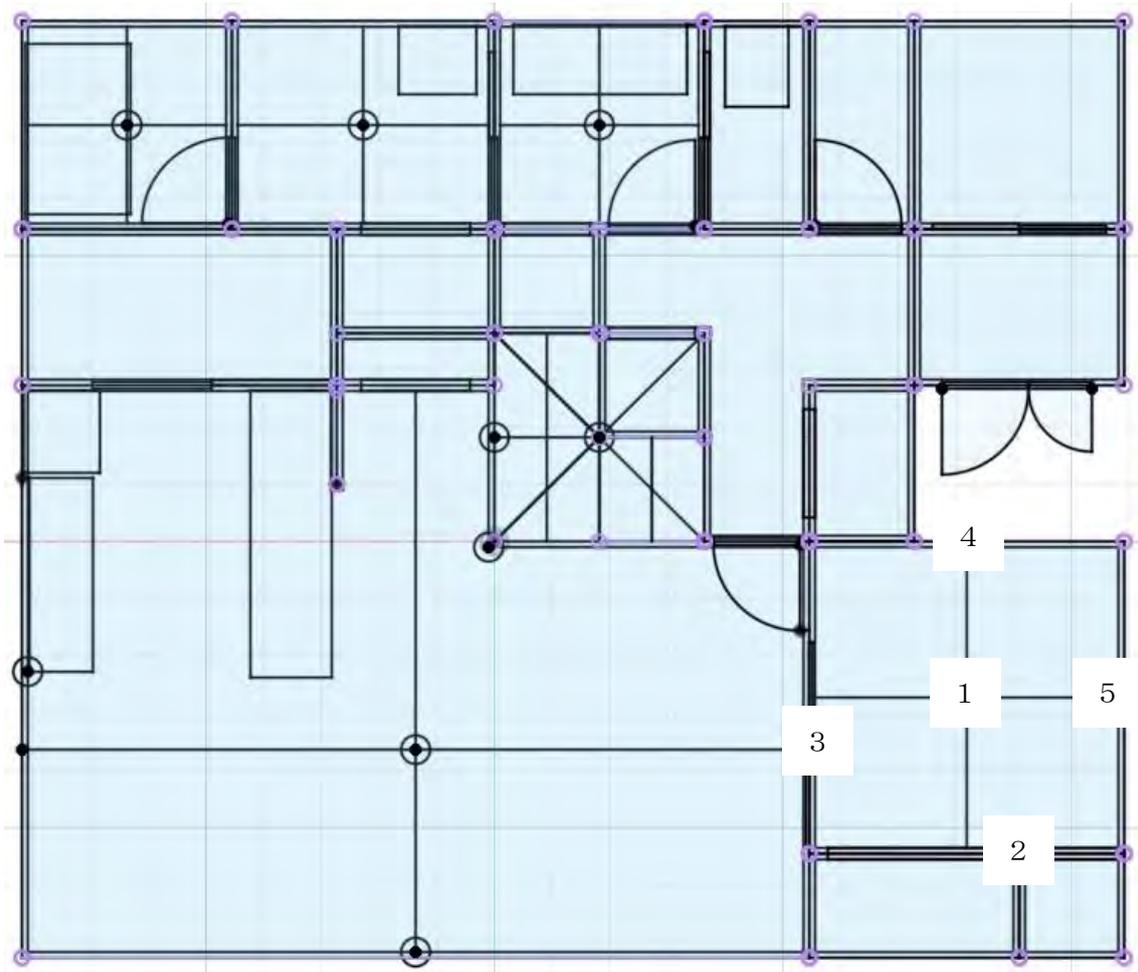


図 5-86 2階建て／和室の測定ポイント設定箇所

表 5-7 2階建て/和室の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	和室中央	2.4	和室-天井
		1.9	和室-1.9m
		1.5	和室-1.5m
		0.6	和室-0.6m
		0.3	和室-0.3m
2	和室壁	1.9	和室-S1.9m
		1.5	和室-S1.5m
3		1.9	和室-W1.9m
		1.5	和室-W1.5m
4		1.9	和室-N1.9m
		1.5	和室-N1.5m
5		1.9	和室-E1.9m
		1.5	和室-E1.5m

洗面所、脱衣所、浴室における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-87 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-8 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

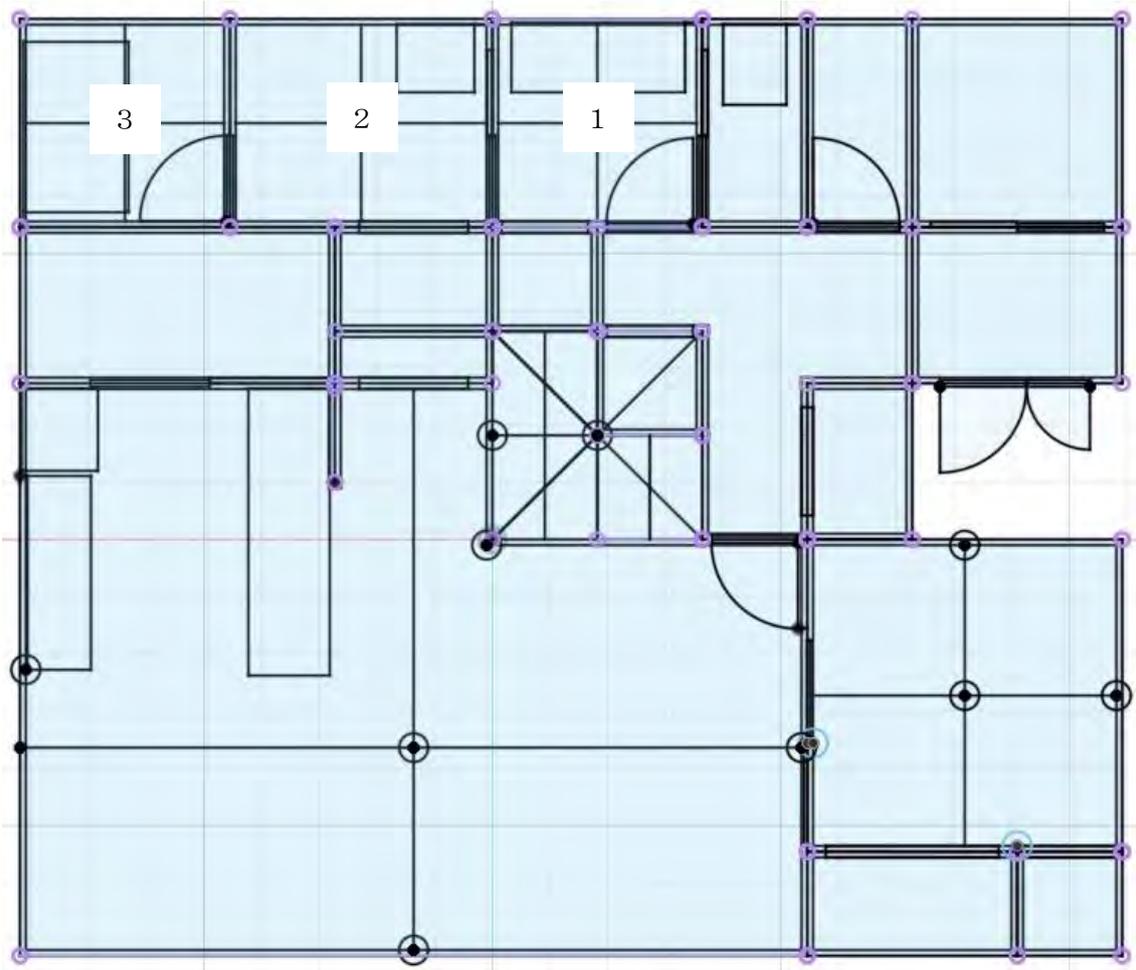


図 5-87 2階建て/洗面所、脱衣所、浴室の測定ポイント設定箇所

表 5-8 2階建て/洗面所、脱衣所、浴室の各測定ポイント設定箇所における  
設定高さ と 名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	洗面所中央	2.4	洗面所-天井
		1.9	洗面所-1.9m
		1.5	洗面所-1.5m
		0.6	洗面所-0.6m
		0.3	洗面所-0.3m
2	脱衣所中央	2.4	脱衣所-天井
		1.9	脱衣所-1.9m
		1.5	脱衣所-1.5m
		0.6	脱衣所-0.6m
		0.3	脱衣所-0.3m
3	浴室中央	2.4	浴室-天井
		1.9	浴室-1.9m
		1.5	浴室-1.5m
		0.6	浴室-0.6m
		0.3	浴室-0.3m

階段における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-88 図 5-4 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-9 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

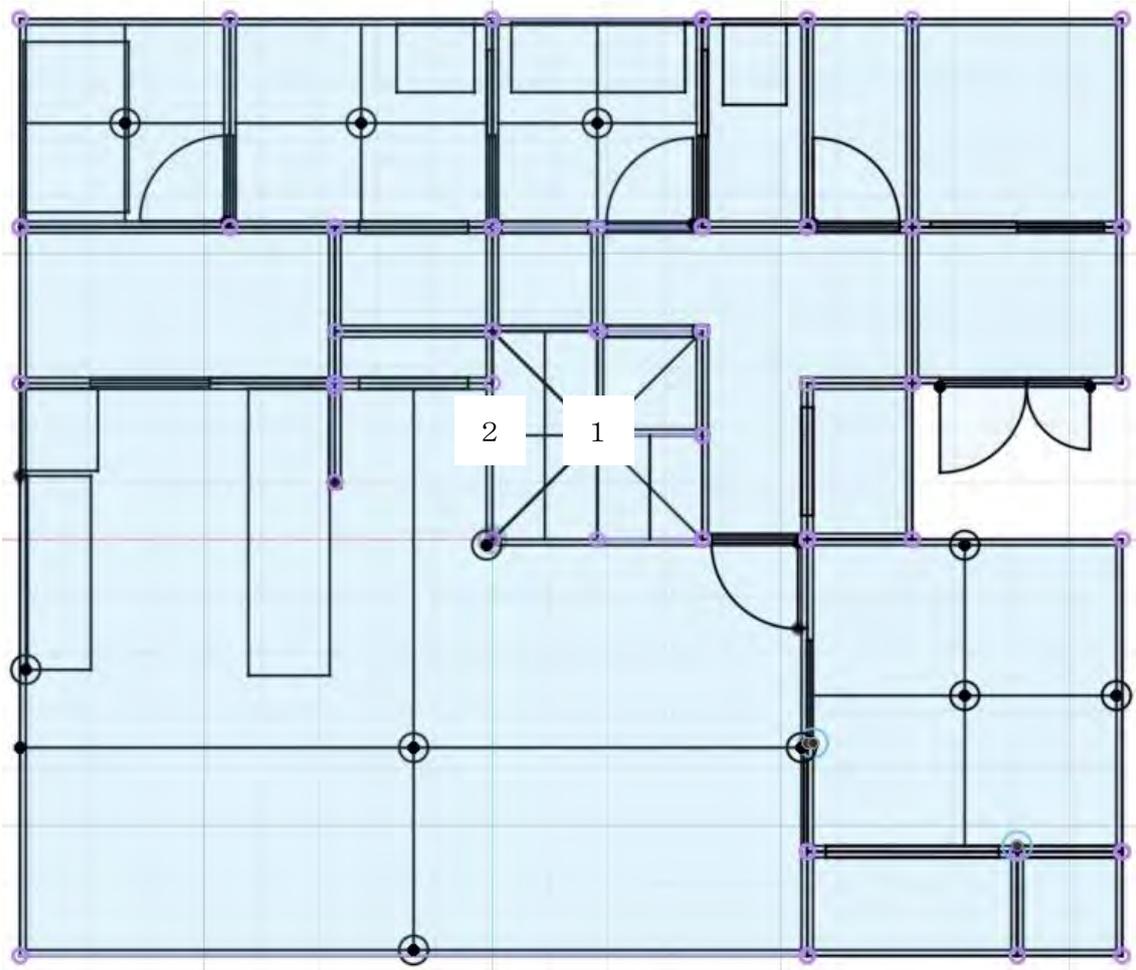


図 5-88 2階建て／階段の測定ポイント設定箇所

表 5-9 2 階建て／階段の各測定ポイント設定箇所における設定高さと名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	階段中央	2.4	階段-天井
		1.9	階段-1.9m
		1.5	階段-1.5m
		0.6	階段-0.6m
		0.3	階段-0.3m
2	階段壁	2.4	階段壁-天井
		1.9	脱衣所-1.9m
		1.5	脱衣所-1.5m

主寝室における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-89 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-10 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

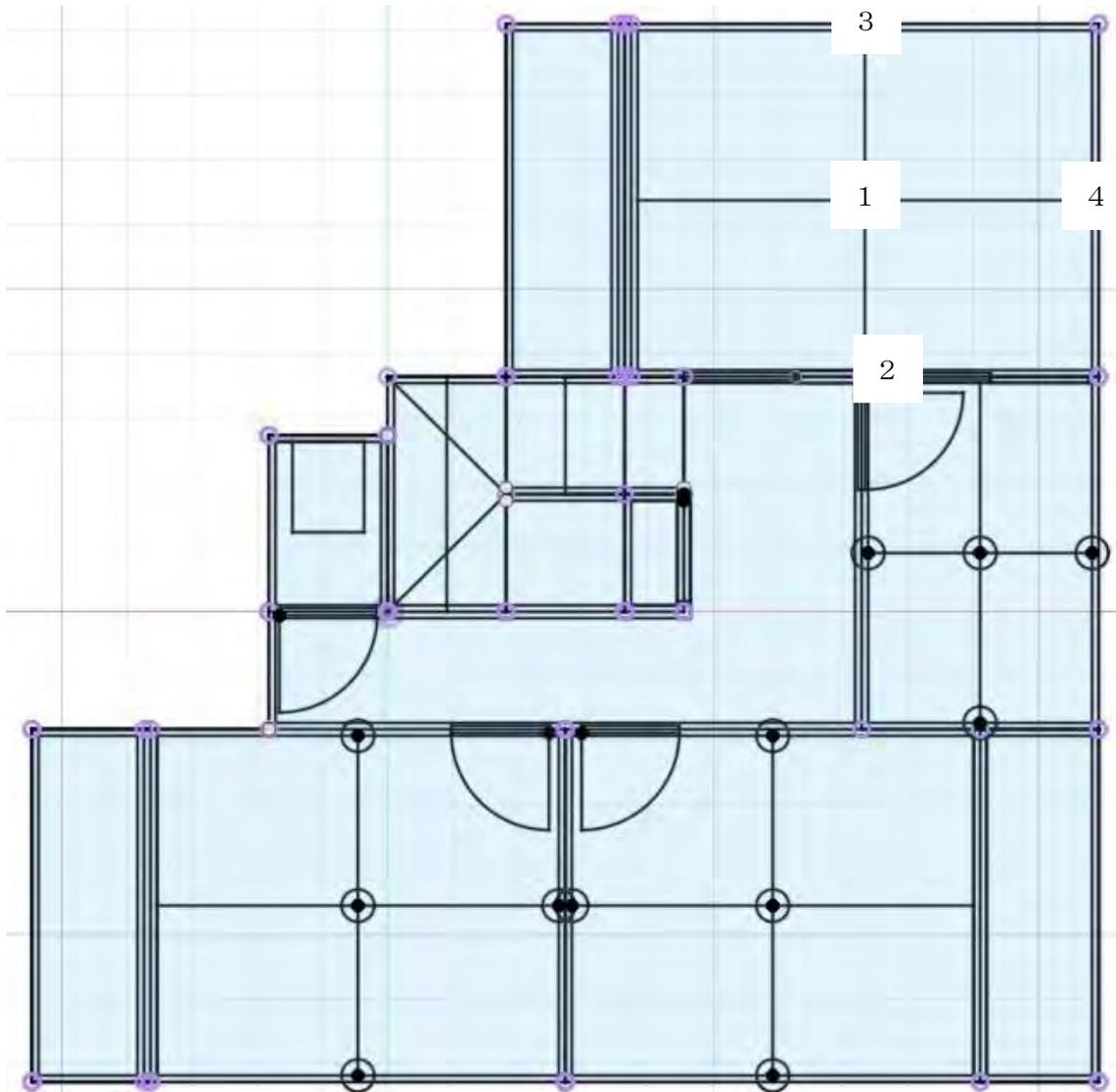


図 5-89 2階建て／主寝室の測定ポイント設定箇所

表 5-10 2階建て／主寝室の各測定ポイント設定箇所における設定高さと名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	主寝室中央	2.4	主寝室-天井
		1.9	主寝室-1.9m
		1.5	主寝室-1.5m
		0.6	主寝室-0.6m
		0.3	主寝室-0.3m
2	主寝室壁	1.9	主寝室-S1.9m
1.5		主寝室-S1.5m	
3		1.9	主寝室-N1.9m
		1.5	主寝室-N1.5m
4		1.9	主寝室-E1.9m
		1.5	主寝室-E1.5m

寝室 A における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-90 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-11 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

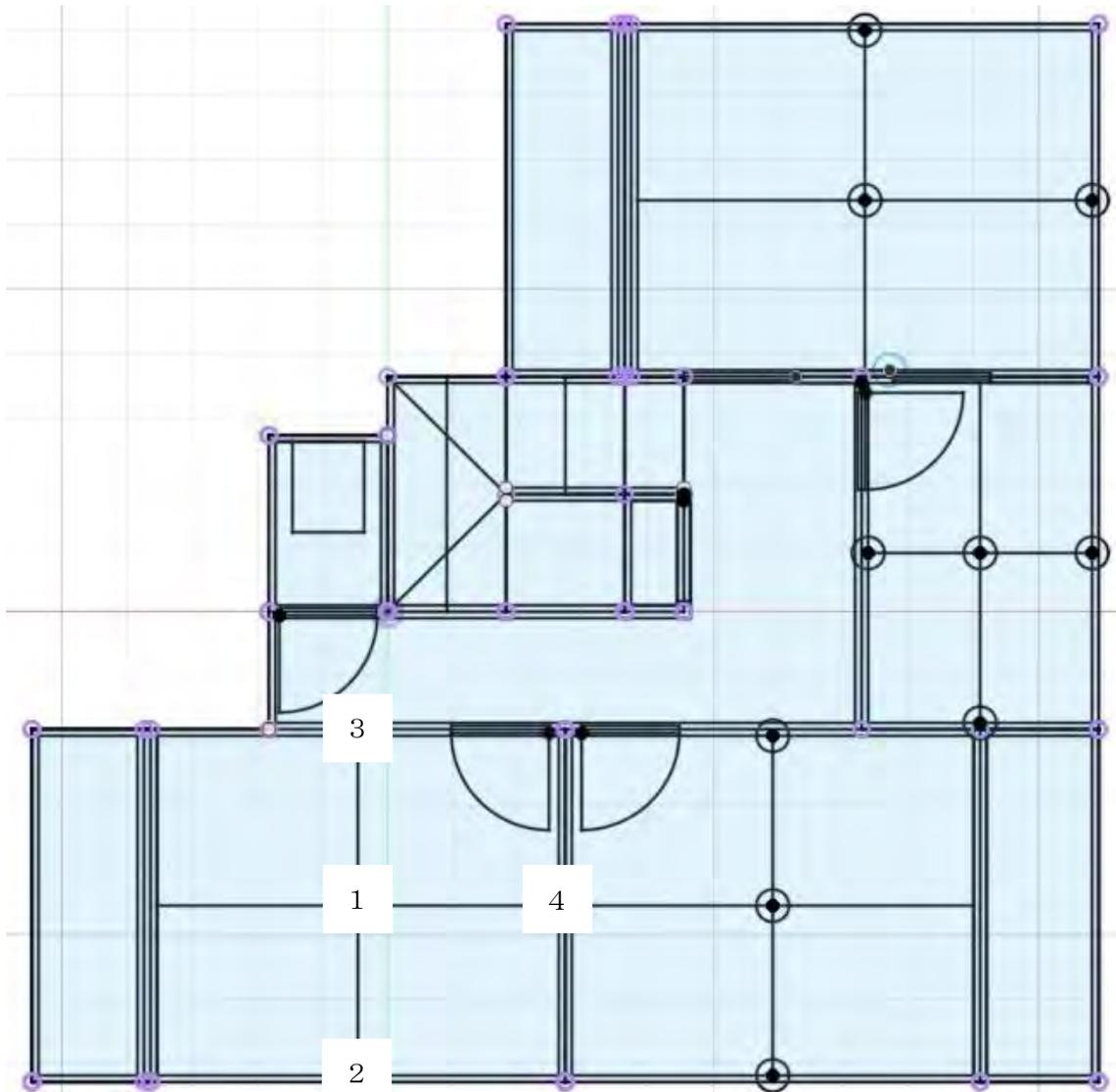


図 5-90 2 階建て／寝室 A の測定ポイント設定箇所

表 5-11 2階建て／寝室 A の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	寝室 A 中央	2.4	寝室 A-天井
		1.9	寝室 A-1.9m
		1.5	寝室 A-1.5m
		0.6	寝室 A-0.6m
		0.3	寝室 A-0.3m
2	寝室 A 壁	1.9	寝室 A-S1.9m
1.5		寝室 A-S1.5m	
3		1.9	寝室 A-N1.9m
		1.5	寝室 A-N1.5m
4		1.9	寝室 A-E1.9m
		1.5	寝室 A-E1.5m

寝室 B における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-91 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-12 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

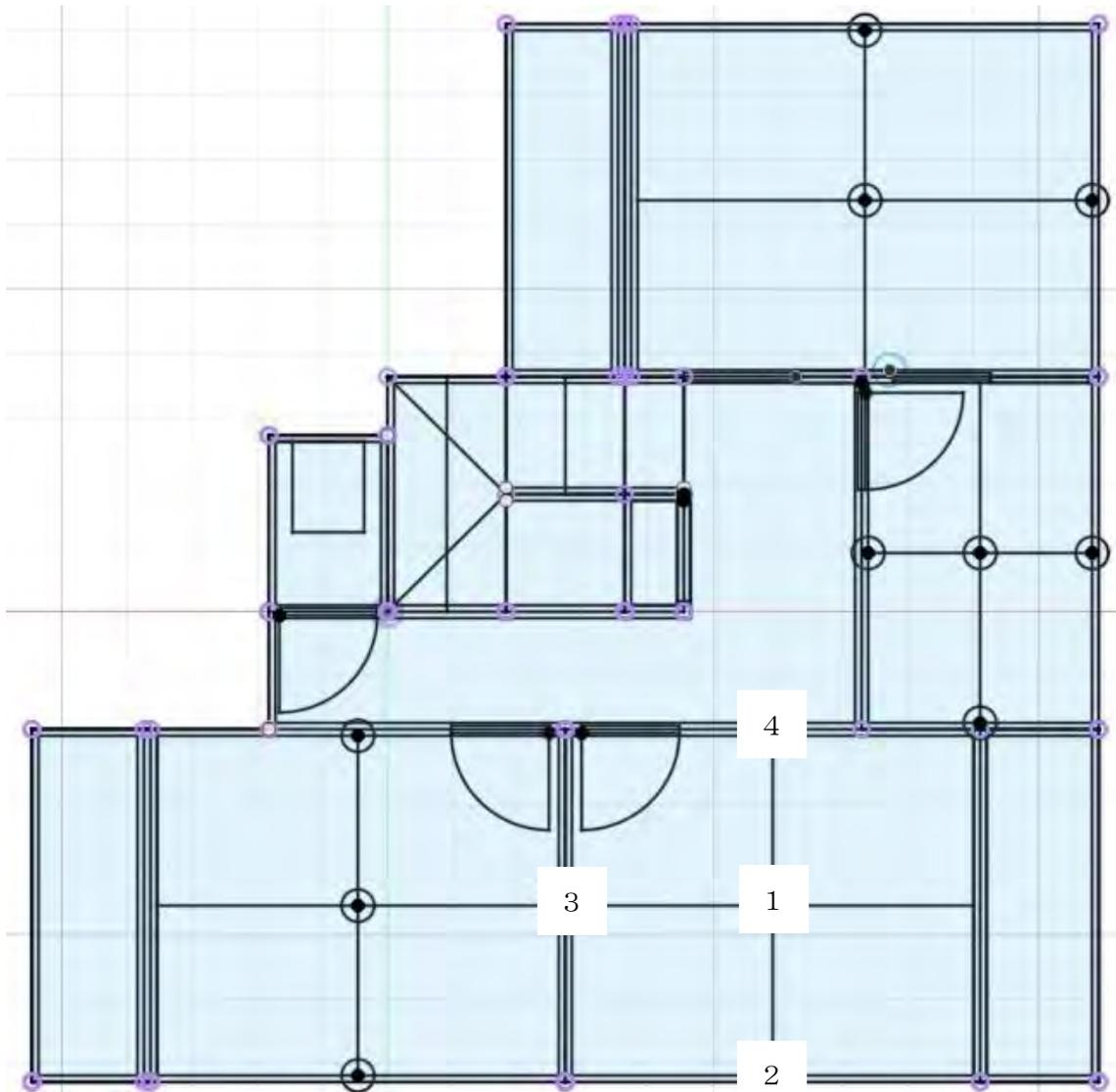


図 5-91 2 階建て／寝室 B の測定ポイント設定箇所

表 5-12 2階建て／寝室 B の各測定ポイント設定箇所における設定高さとは名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	寝室 B 中央	2.4	寝室 B-天井
		1.9	寝室 B-1.9m
		1.5	寝室 B-1.5m
		0.6	寝室 B-0.6m
		0.3	寝室 B-0.3m
2	寝室 B 壁	1.9	寝室 B-S1.9m
		1.5	寝室 B-S1.5m
3		1.9	寝室 B-W1.9m
		1.5	寝室 B-W1.5m
4		1.9	寝室 B-N1.9m
	1.5	寝室 B-N1.5m	

書斎における水平断面で見た測定ポイントの設置位置を図 5-92 に示す。図中の各番号には高さ方向に複数の測定ポイントがあり、高さは表 5-13 に示すとおりである。名称欄は各測定ポイントの名称を意味する。

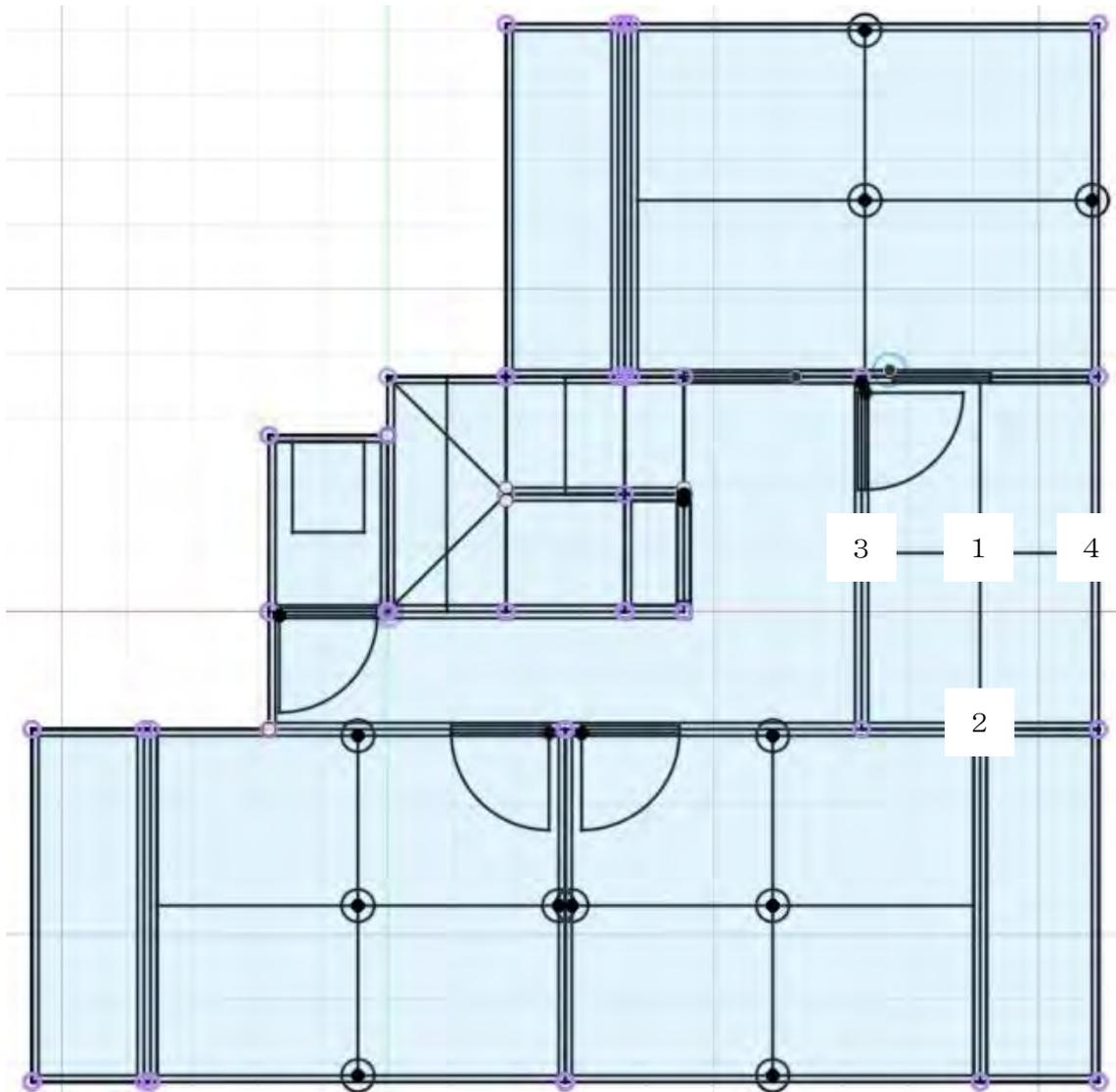


図 5-92 2階建て／書斎の測定ポイント設定箇所

表 5-13 2階建て／書斎の各測定ポイント設定箇所における設定高さと名称

No.	位置	高さ [m]	名称
1	書斎中央	2.4	書斎-天井
		1.9	書斎-1.9m
		1.5	書斎-1.5m
		0.6	書斎-0.6m
		0.3	書斎-0.3m
2	書斎壁	1.9	書斎-S1.9m
1.5		書斎-S1.5m	
3		1.9	書斎-W1.9m
		1.5	書斎-W1.5m
4		1.9	書斎-E1.9m
		1.5	書斎-E1.5m

### 5.2.1. ケース 2k\_caseL1

本ケースは2階建てにおける、LDKでの電気ストーブによる火災である。火源の箇所を図 5-93 に示す。

計算結果としてCO濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-94～図 5-105 に示す。水平断面の高さは床から1.5mである。

図 5-106～図 5-111 にはCO濃度および煙濃度の上昇が顕著であったLDKおよび和室の濃度経時変化を示す。

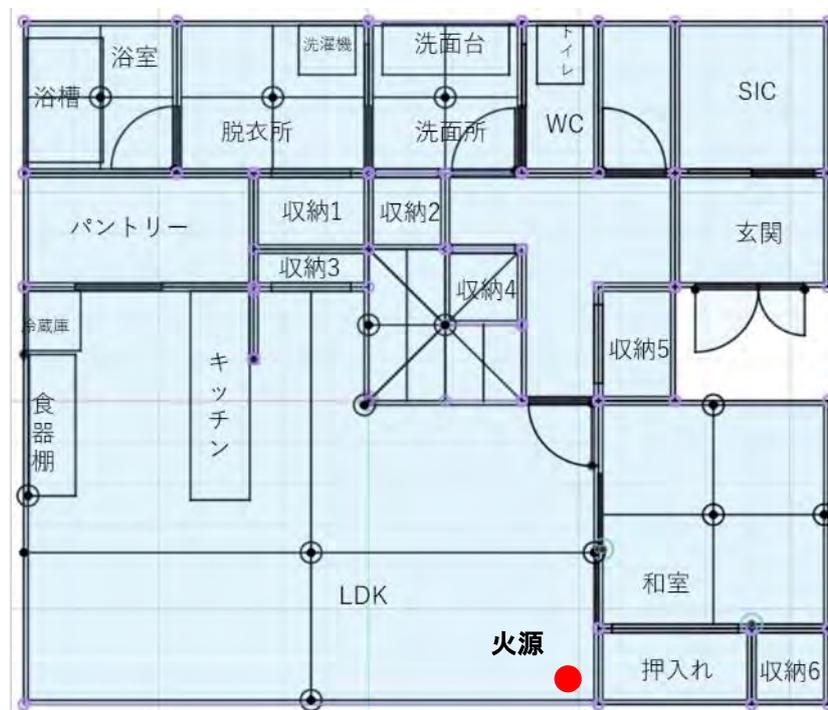


図 5-93 火源の位置

本ケースは2階建て建屋の一階にあるLDKにおけるストーブ火災である。平屋のケース(h\_caseL1)に比べてCO濃度および煙濃度が上がりにくい結果となった。理由としてはパントリー、収納3および廊下以外に隣接している和室にも押し入れを通して煙が拡散したためであり、LDKとほぼ同じ時間に濃度が上昇している。ただし、温度についてはLDKが1分前後で100℃を超え一時的に200℃まで達し、押し入れとの境も延焼するが、和室は100℃を超えることはなかった。

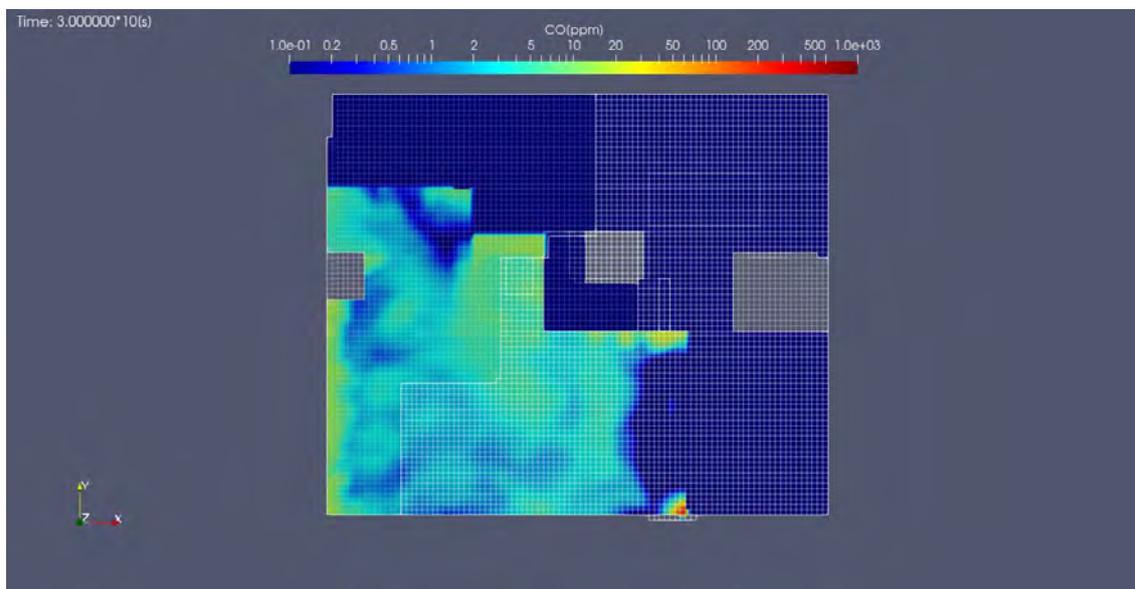


図 5-94 CO 濃度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

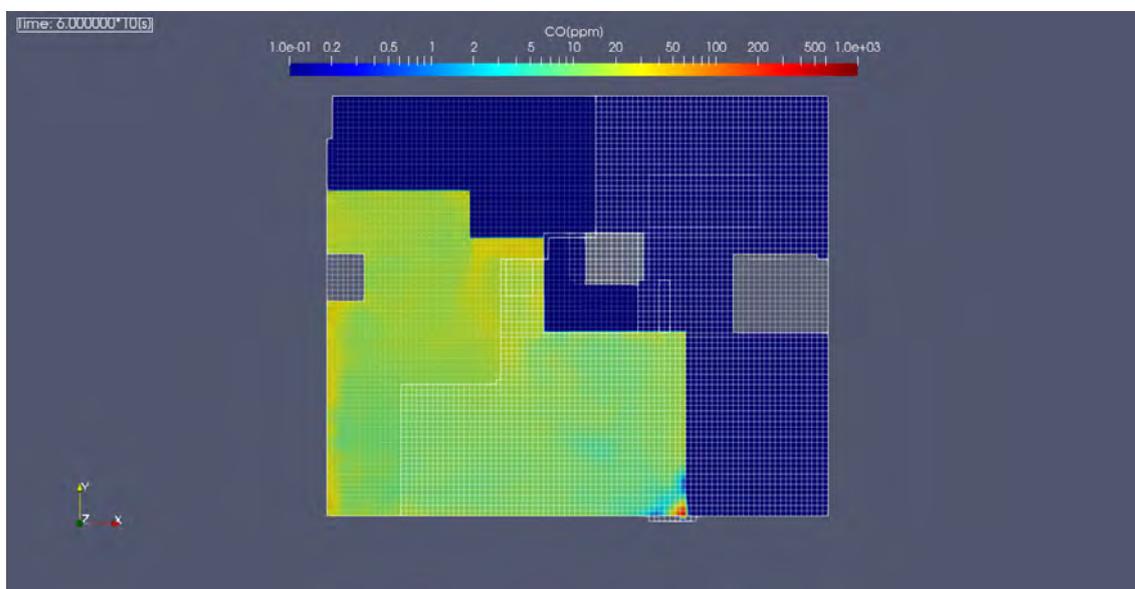


図 5-95 CO 濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

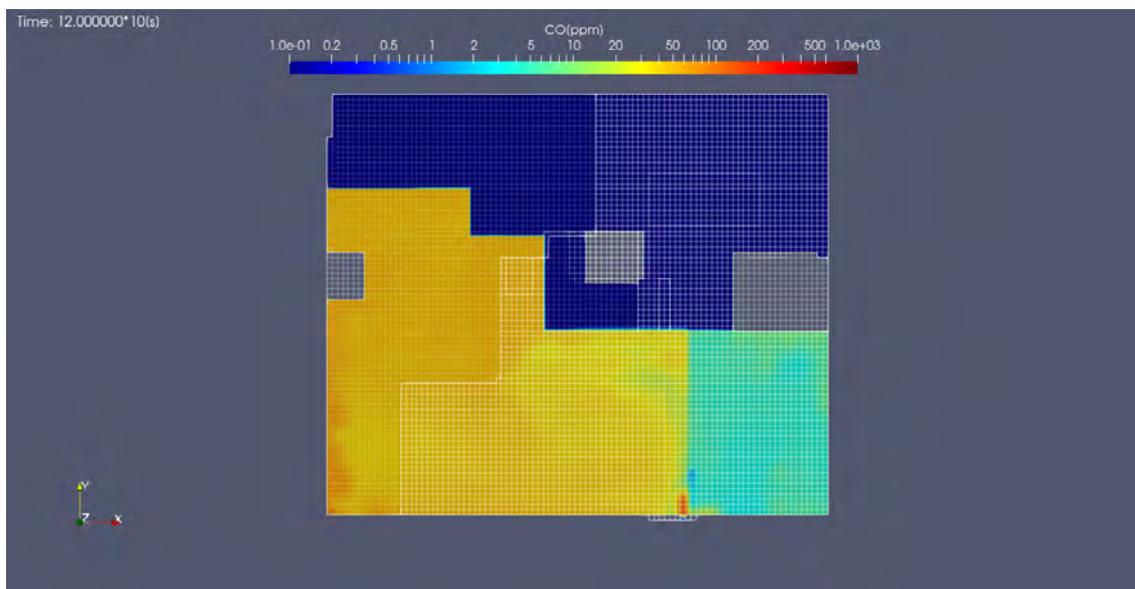


図 5-96 CO 濃度分布 (120 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

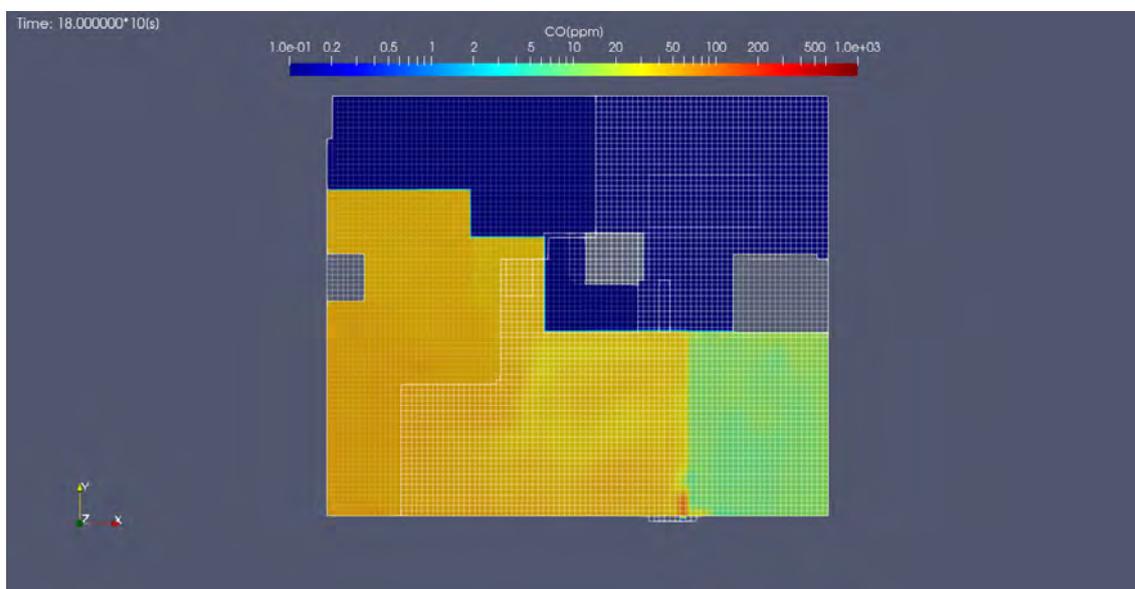


図 5-97 CO 濃度分布 (180 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

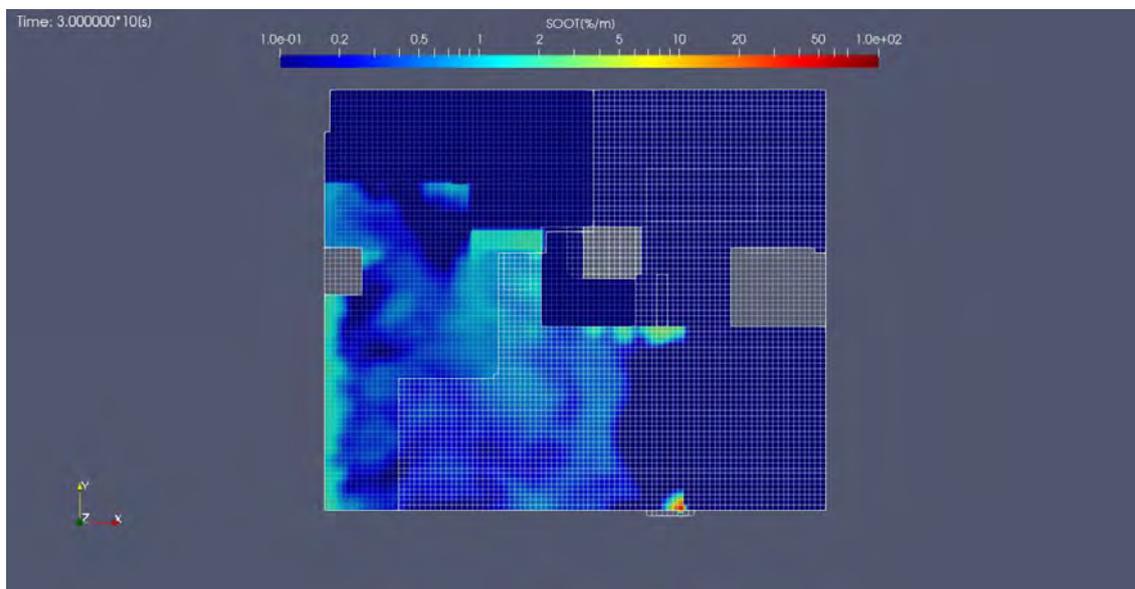


図 5-98 煙濃度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

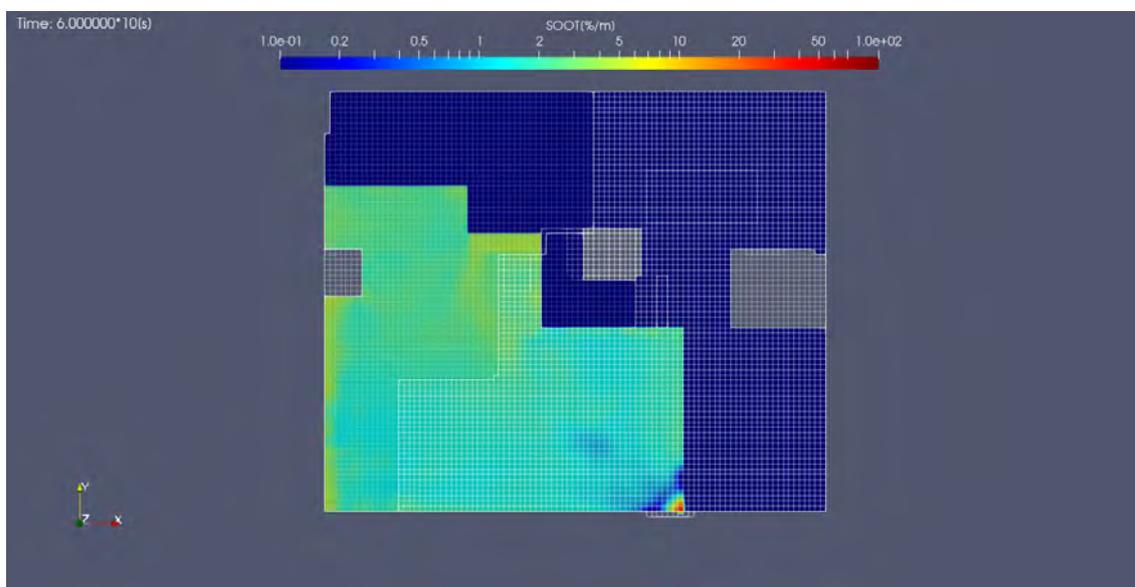


図 5-99 煙濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

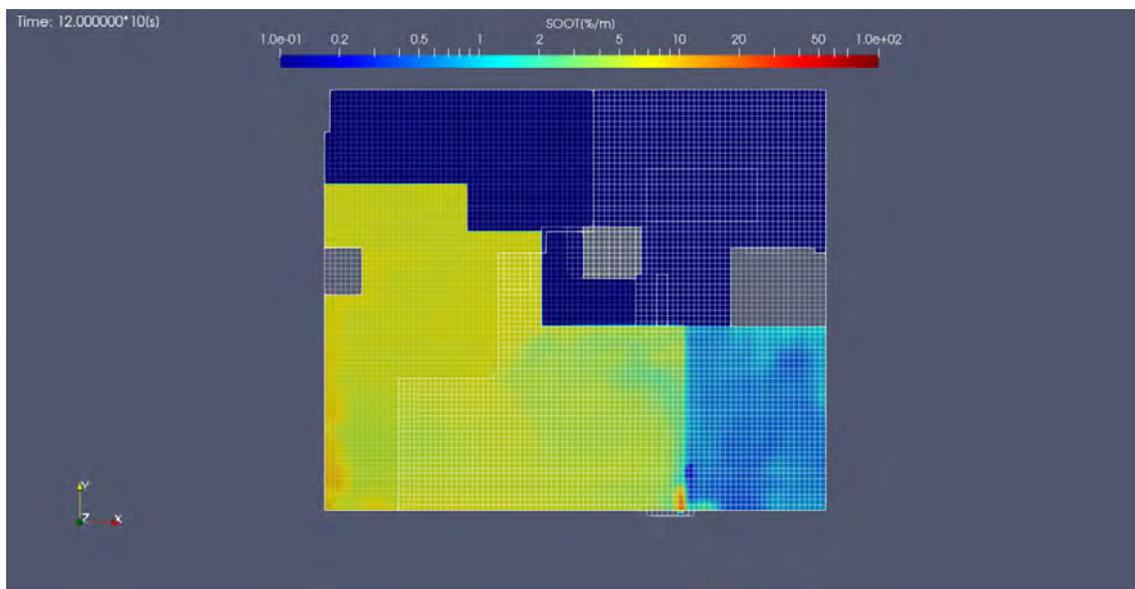


図 5-100 煙濃度分布（120 秒後、床から 1.5m、単位：%/m）

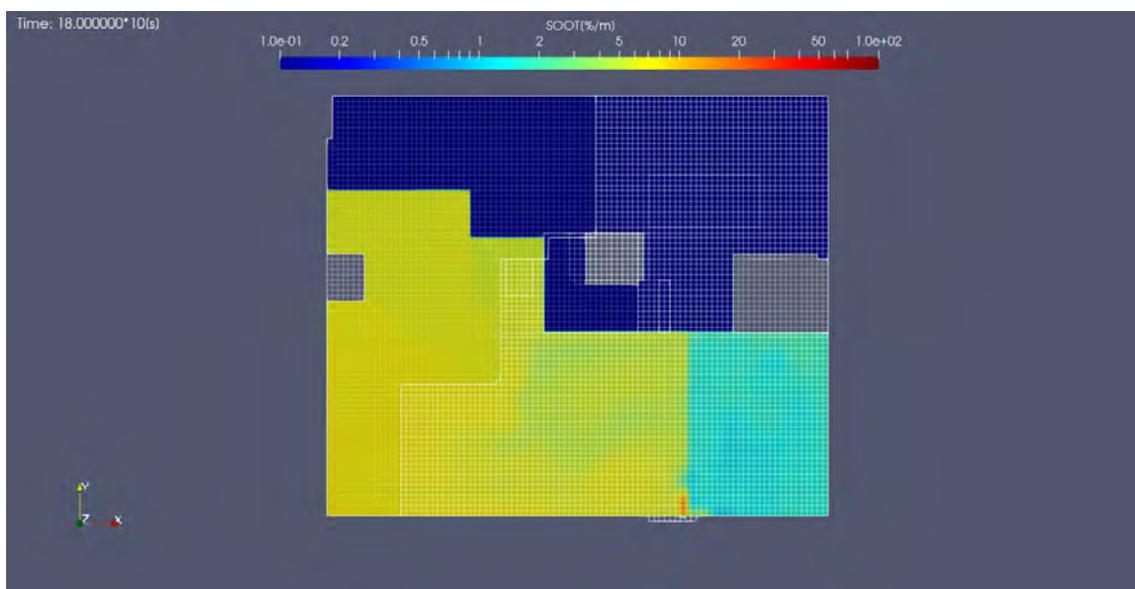


図 5-101 煙濃度分布（180 秒後、床から 1.5m、単位：%/m）

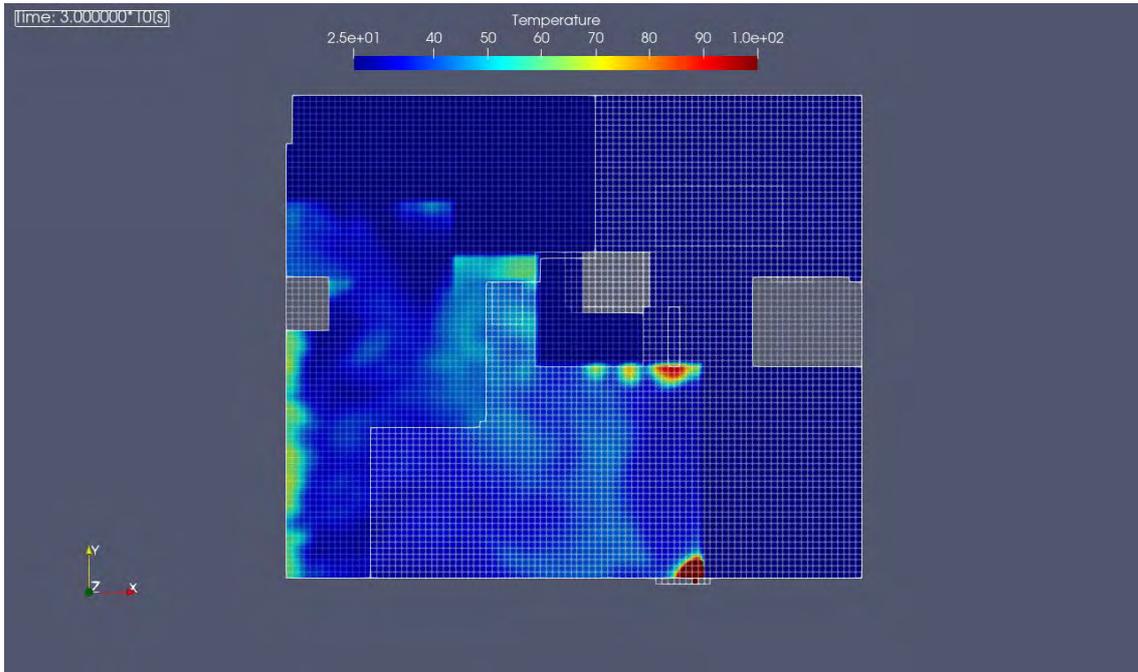


図 5-102 温度分布 (30 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

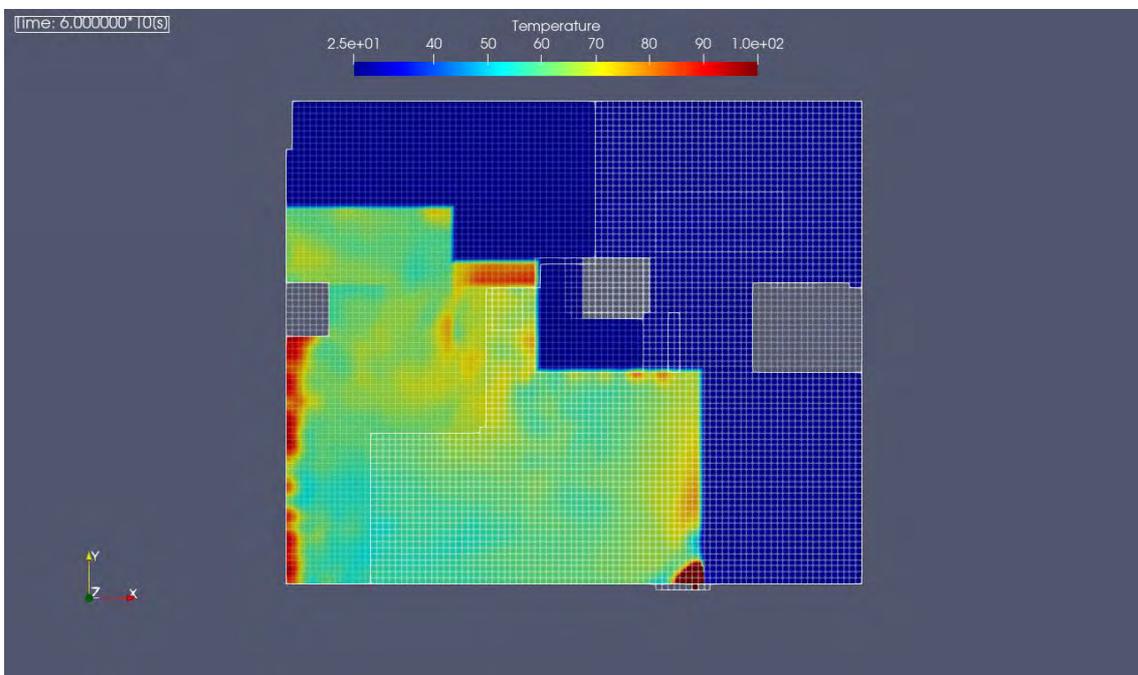


図 5-103 温度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

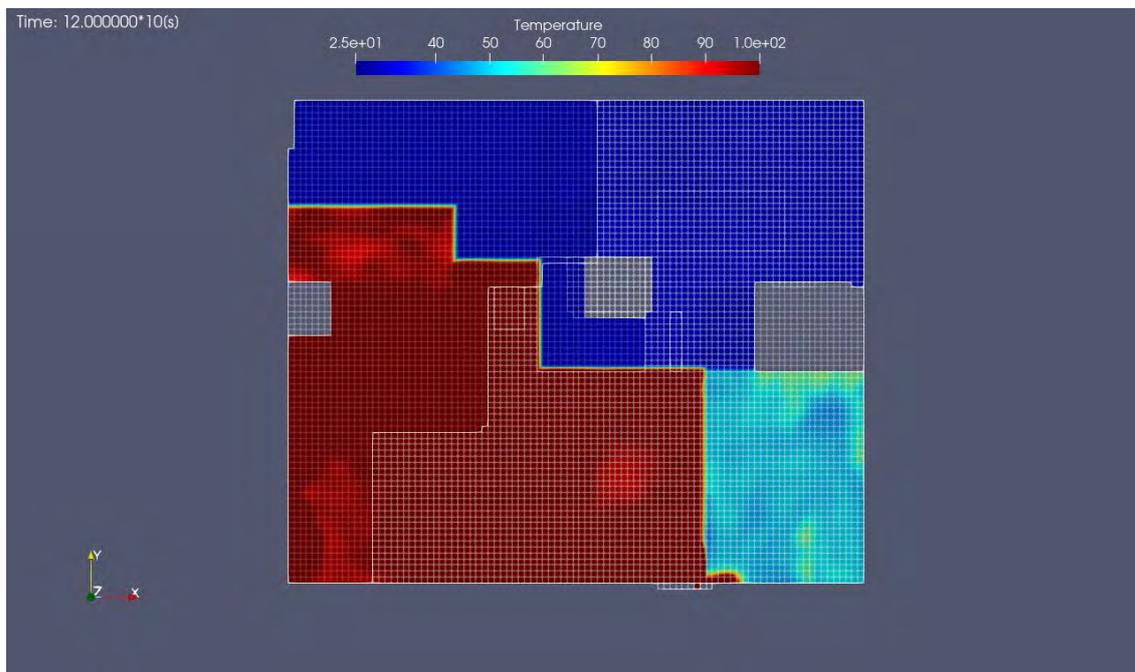


図 5-104 温度分布 (120 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

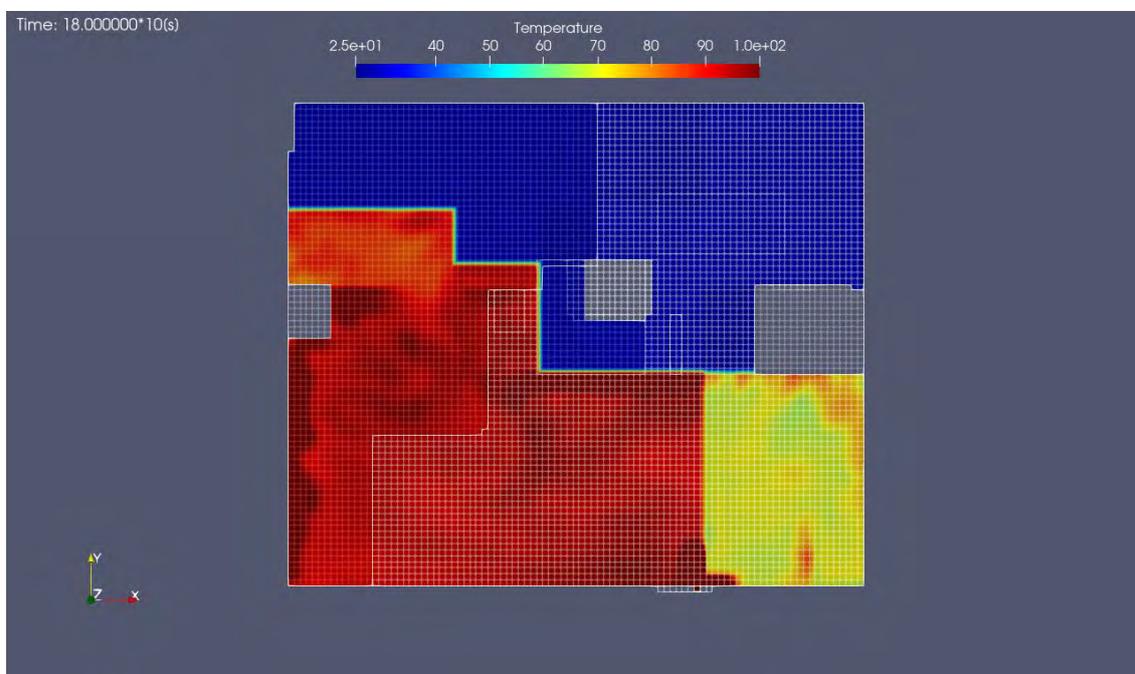


図 5-105 温度分布 (180 秒後、床から 1.5m、単位 : %/m)

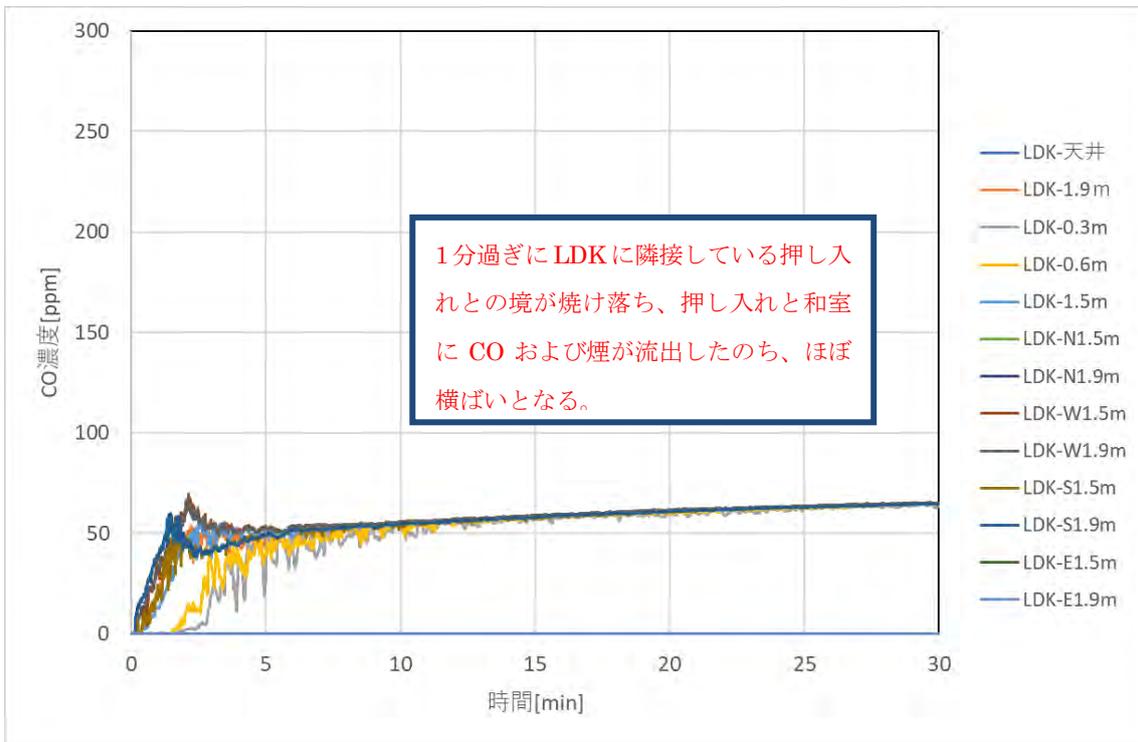


図 5-106 LDK における CO 濃度経時変化

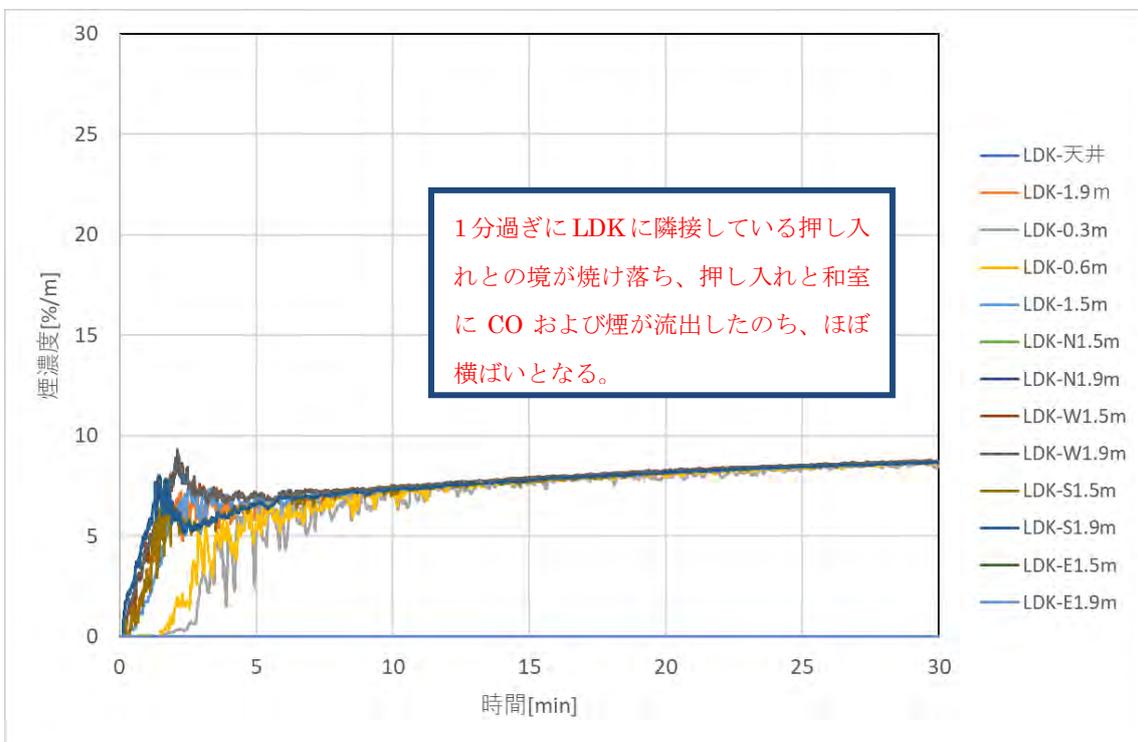


図 5-107 LDK における煙濃度経時変化

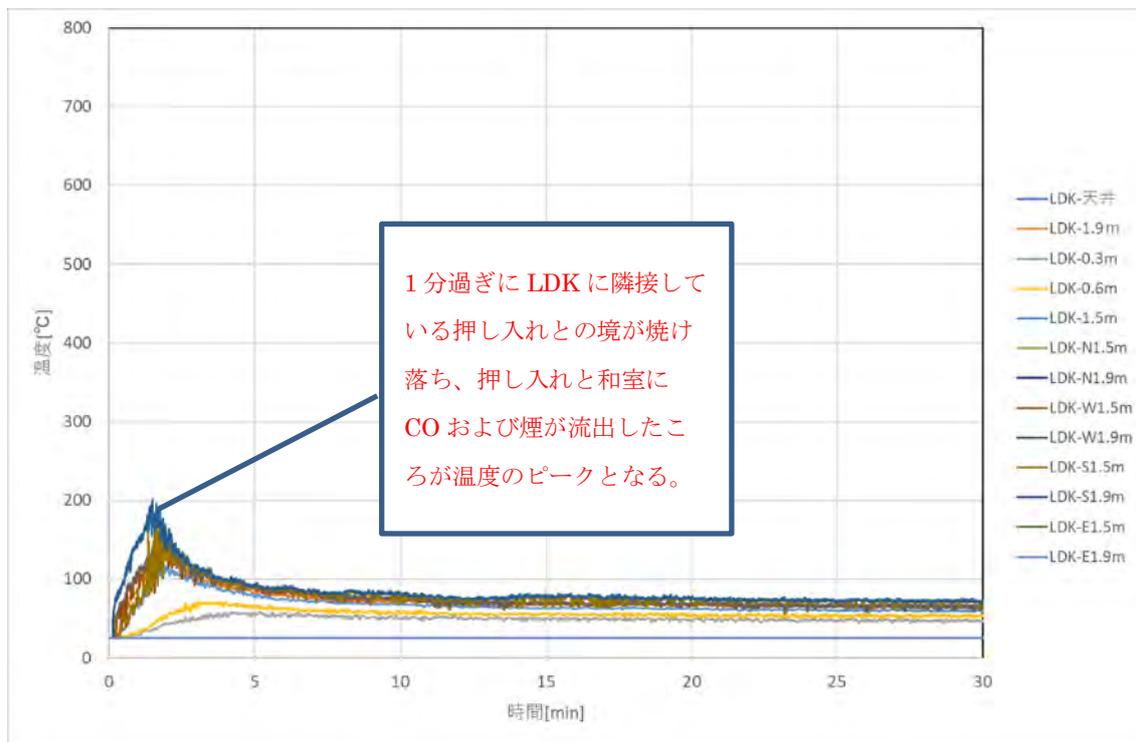


図 5-108 LDK における温度経時変化

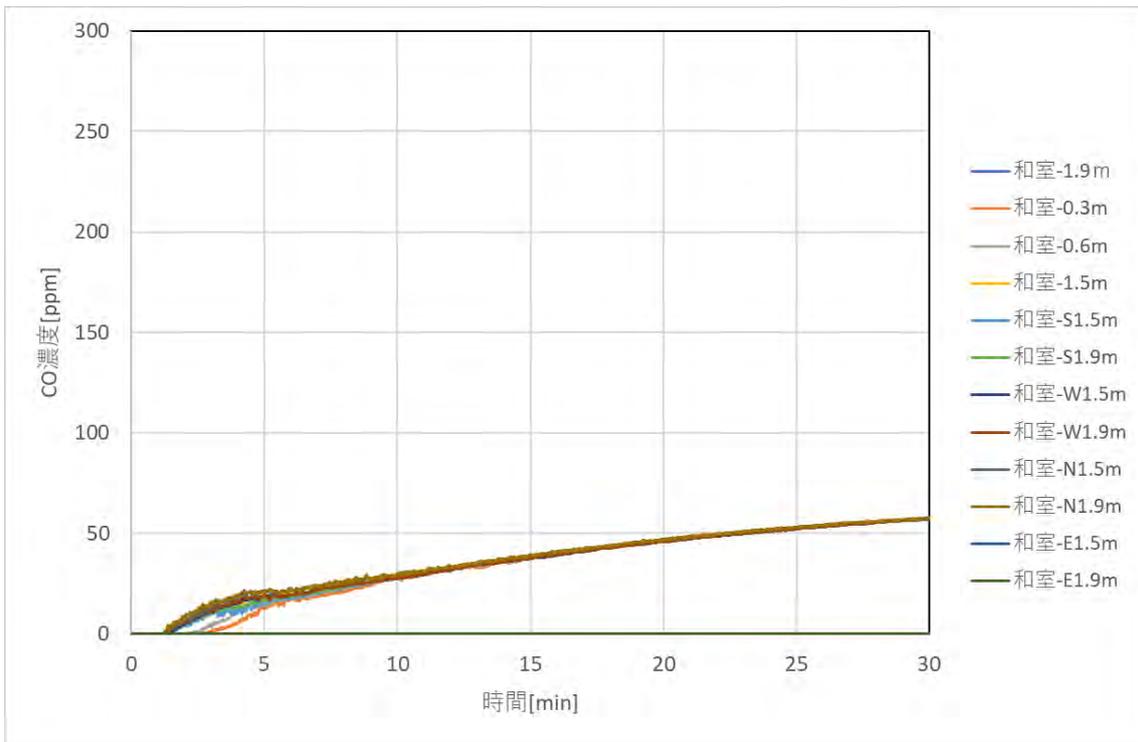


図 5-109 和室における CO 濃度経時変化

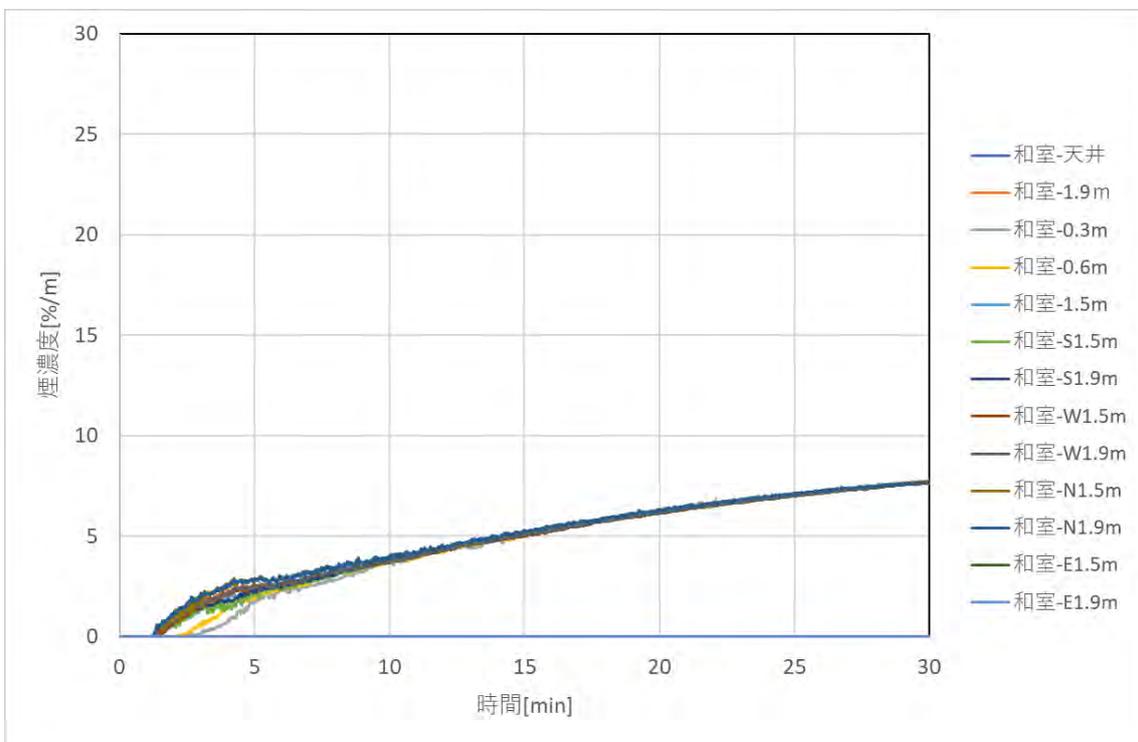


図 5-110 和室における煙濃度経時変化

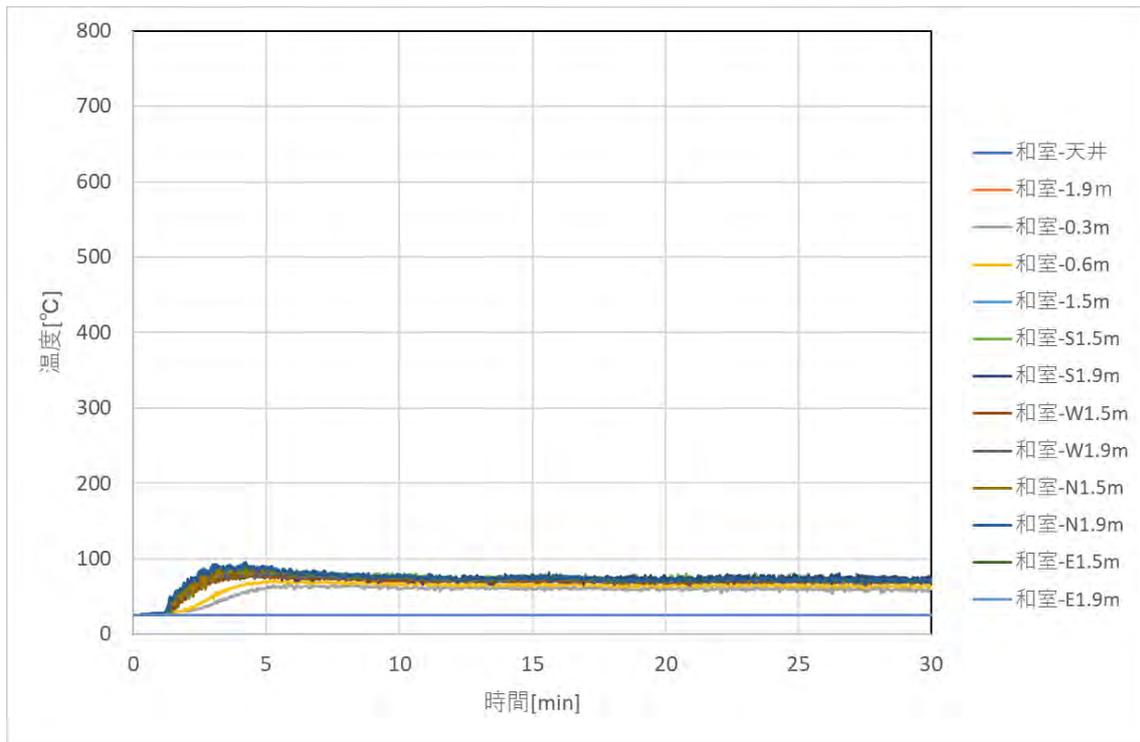


図 5-111 和室における温度経時変化

### 5.2.2. ケース 2k\_caseL2

本ケースは2階建てにおける、LDK でのたばこによる火災である。火源の箇所を図 5-112 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-113～図 5-124 に示す。水平断面の高さは床から 1.5m である。

図 5-125～図 5-131 図 5-111 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった LDK および和室の濃度経時変化を示す。

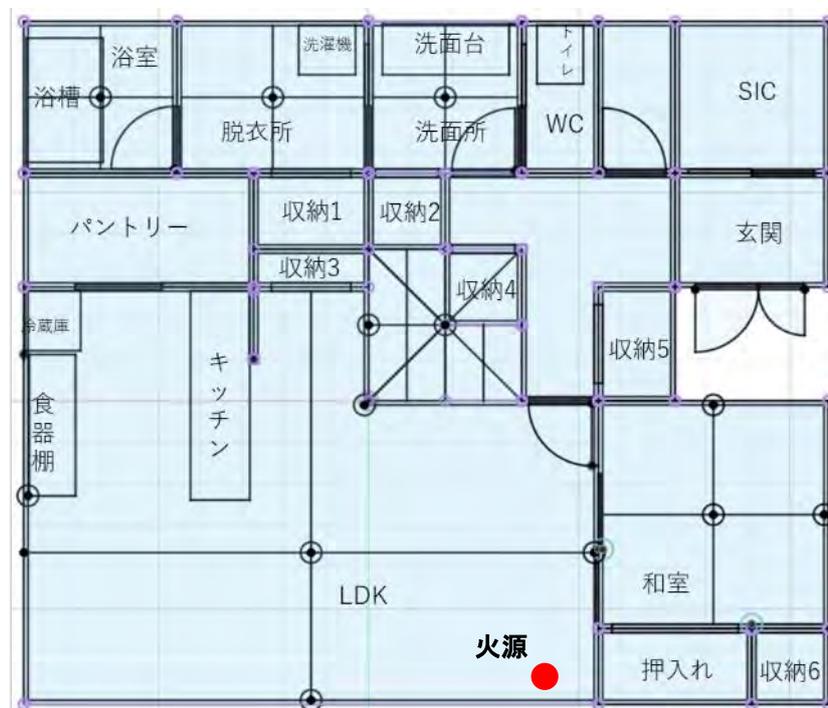


図 5-112 火源の位置

2階建て建屋の LDK における燻焼火災で CO 濃度が 100ppm を超えるのは約 47 分後、煙濃度が 10%/m を超えるのは 54 分後であった。次いで濃度が上がるのは和室で、CO 濃度が 100ppm を超えるのは約 58 分後、煙濃度が 10%/m を超えるのは約 67 分後となった。また廊下と階段を通じて 2 階まで拡散している結果となった。温度については LDK において 40 分過ぎに 100℃ 近くまで上がるが超えることはなく、60℃ 前後で定常的になる。

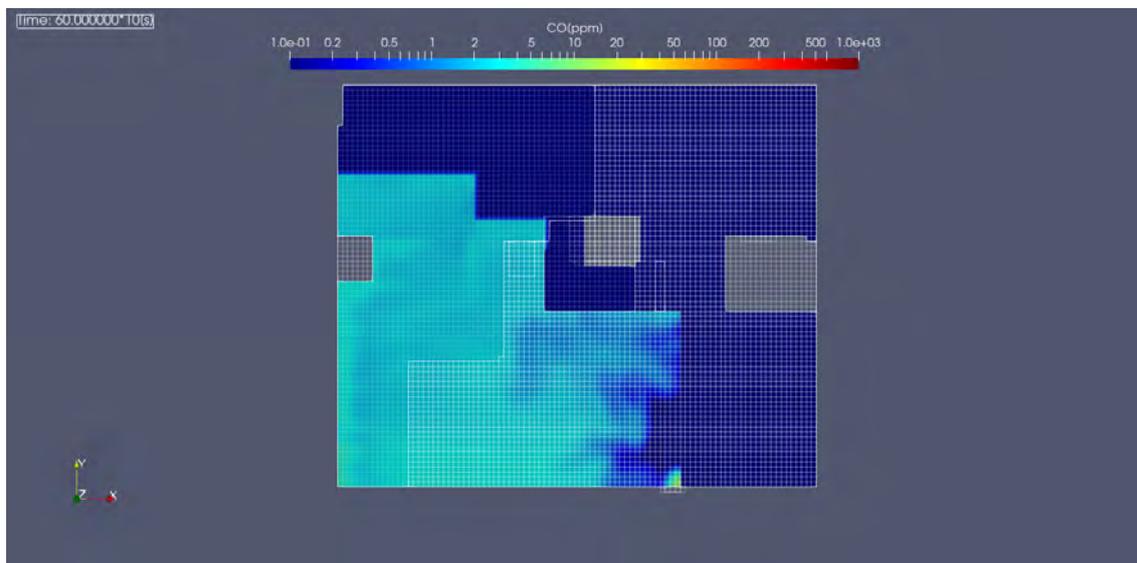


図 5-113 CO 濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

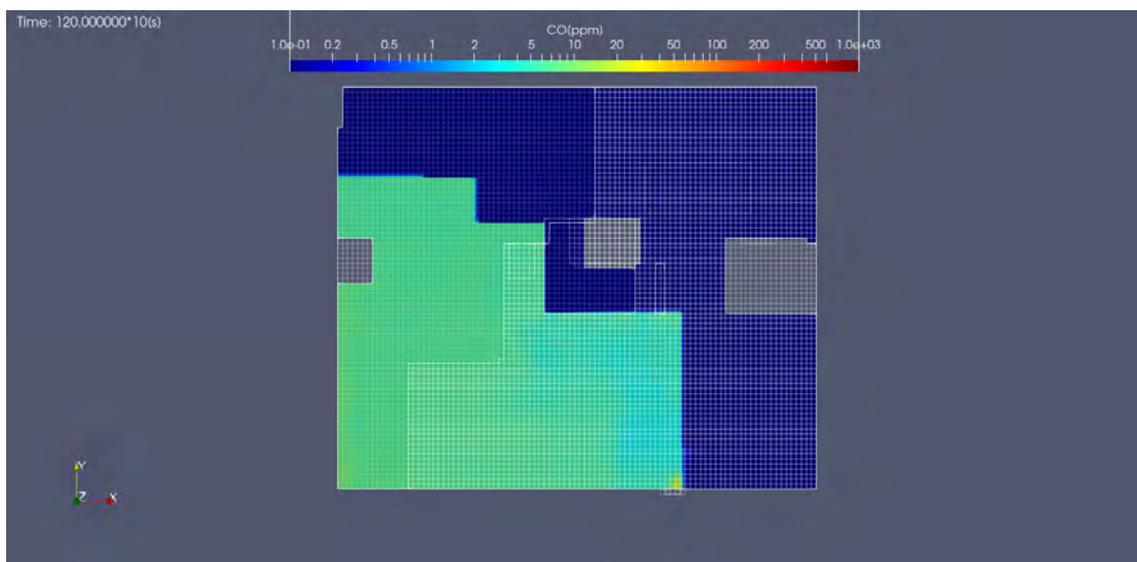


図 5-114 CO 濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

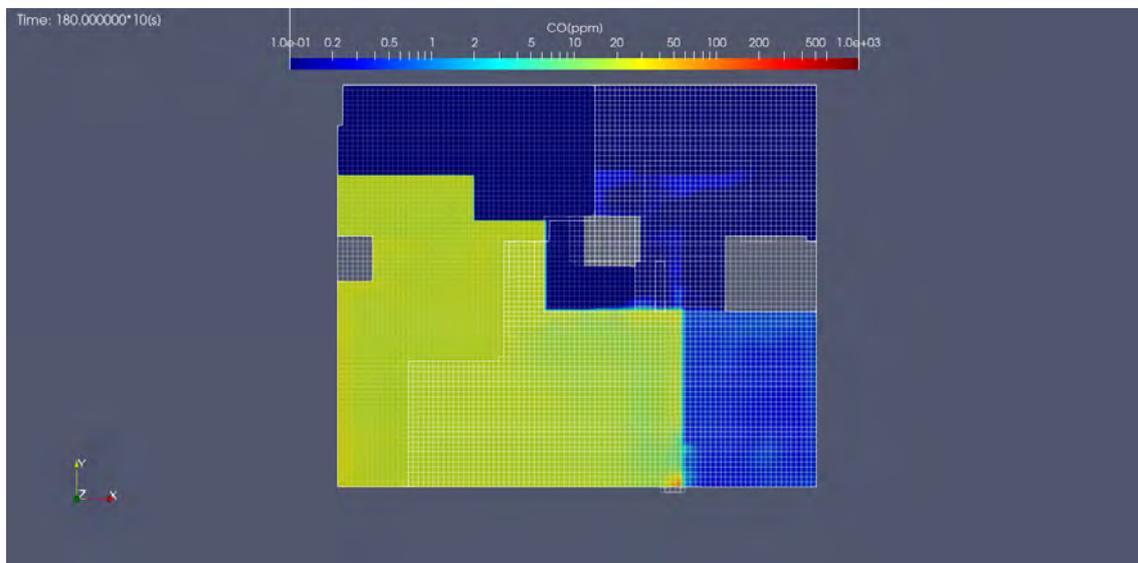


図 5-115 CO 濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

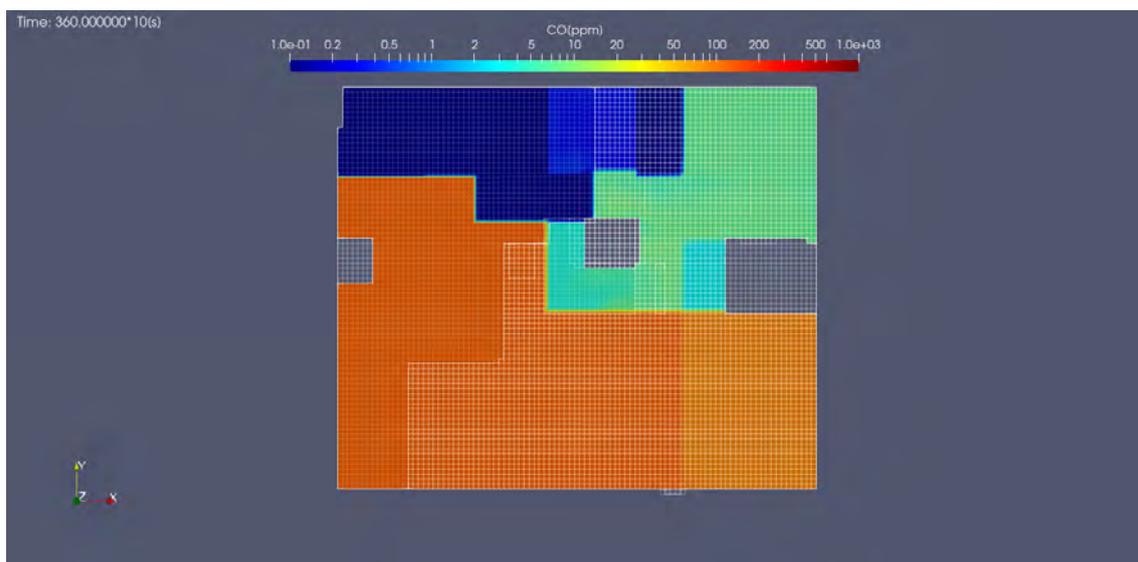


図 5-116 CO 濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

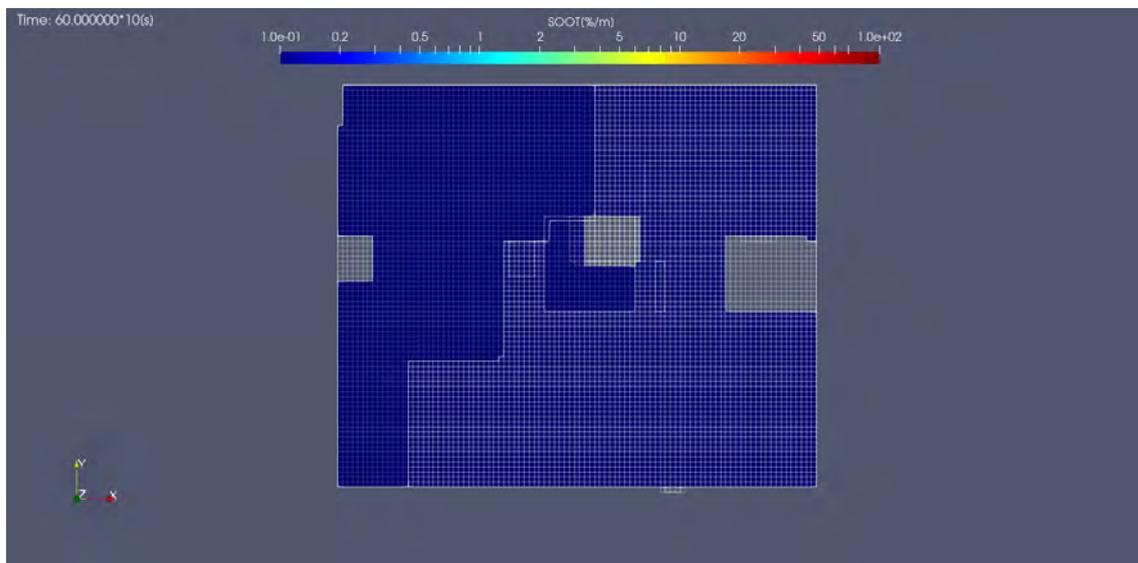


図 5-117 煙濃度分布（10 分後、床から 1.5m、単位：%/m）

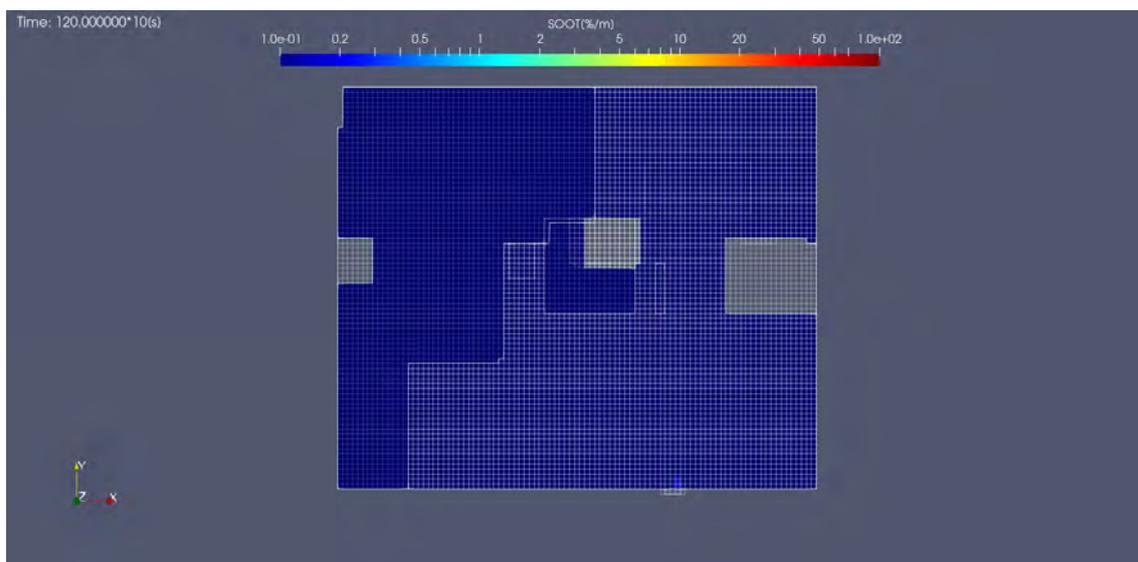


図 5-118 煙濃度分布（20 分後、床から 1.5m、単位：%/m）

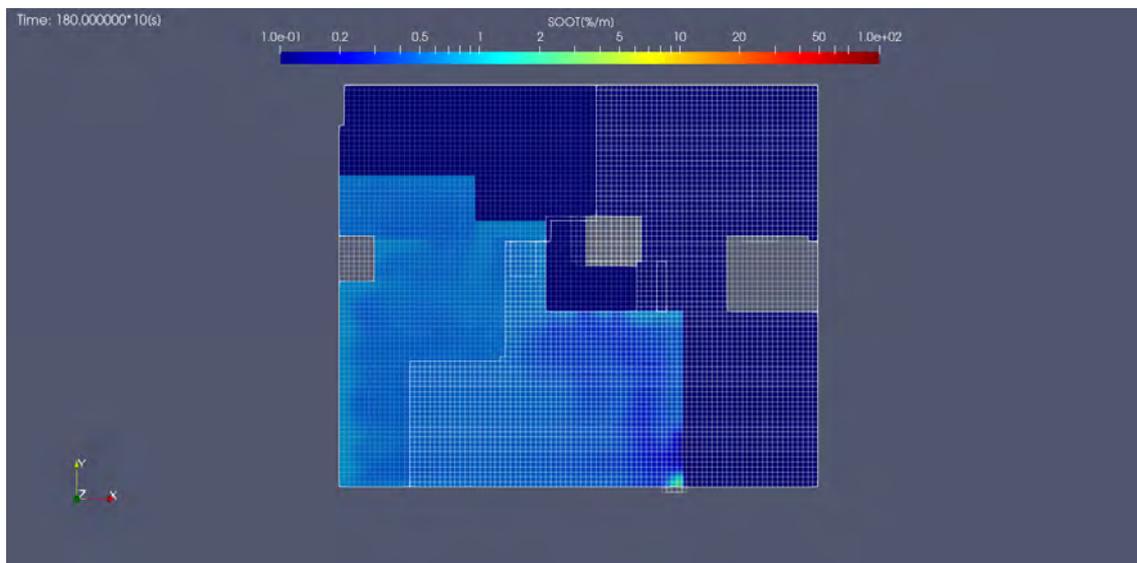


図 5-119 煙濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

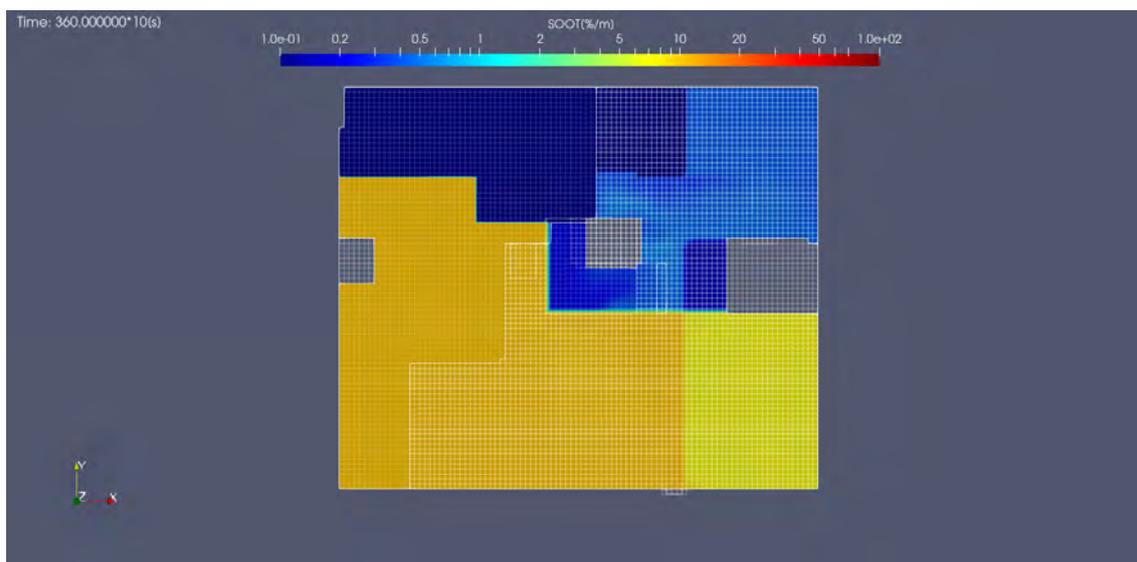


図 5-120 煙濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

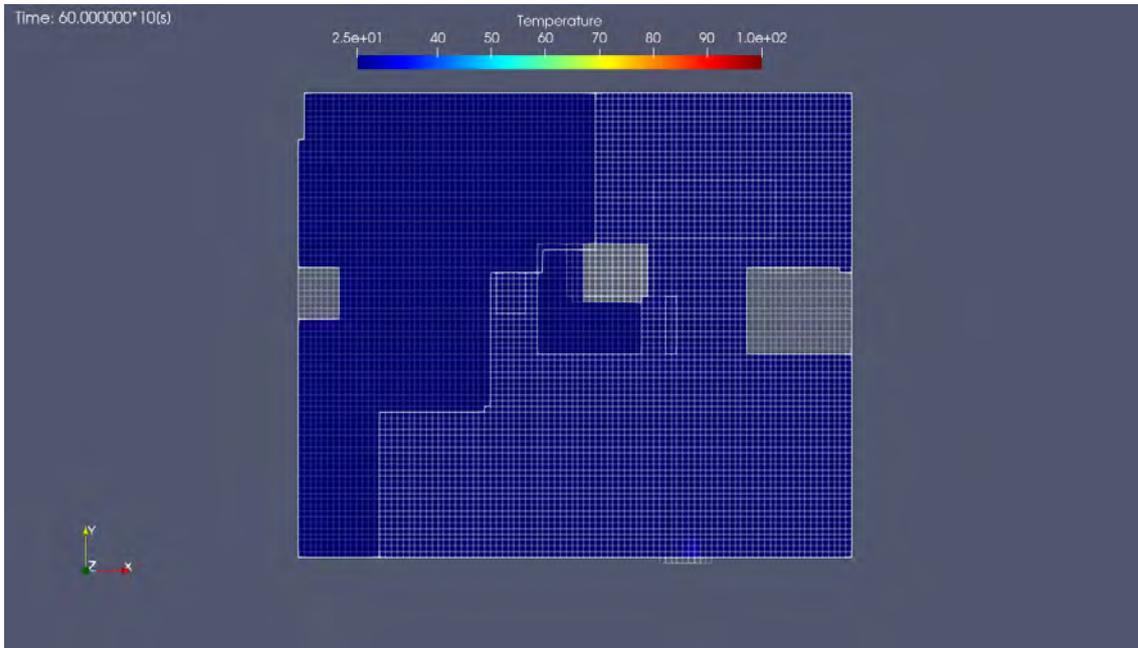


図 5-121 温度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

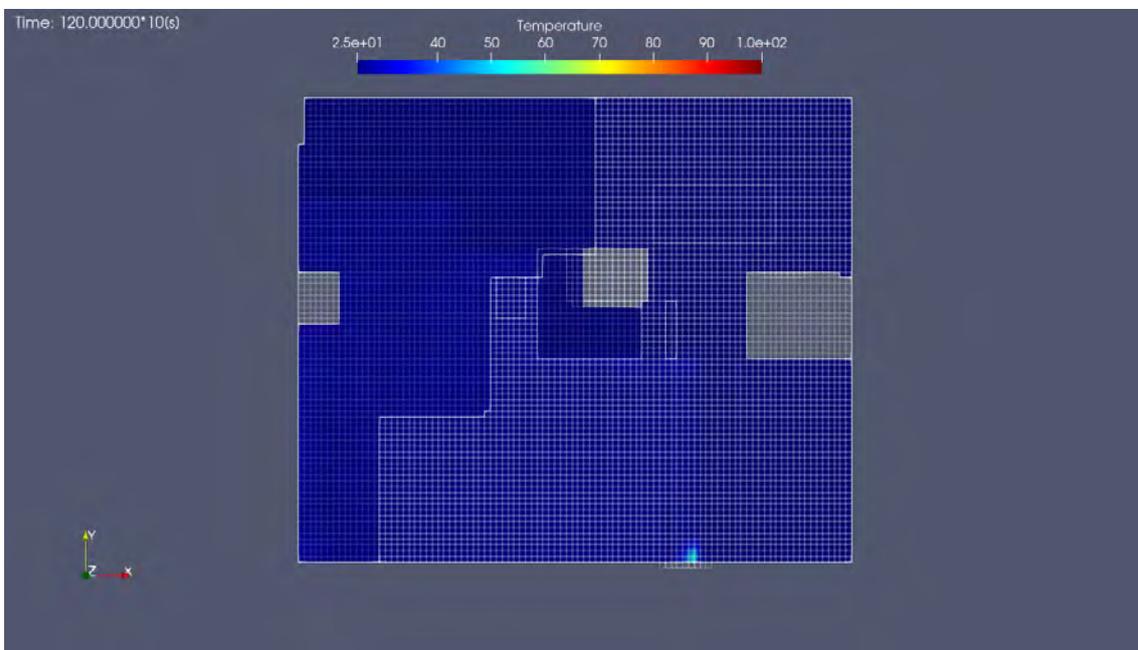


図 5-122 温度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

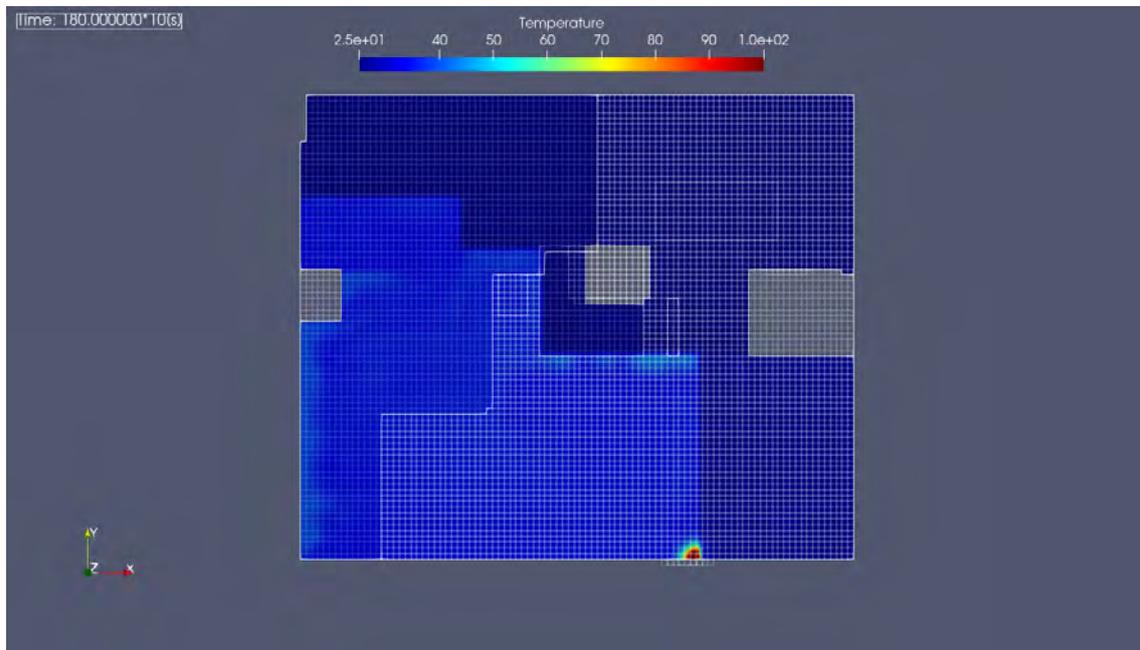


図 5-123 温度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

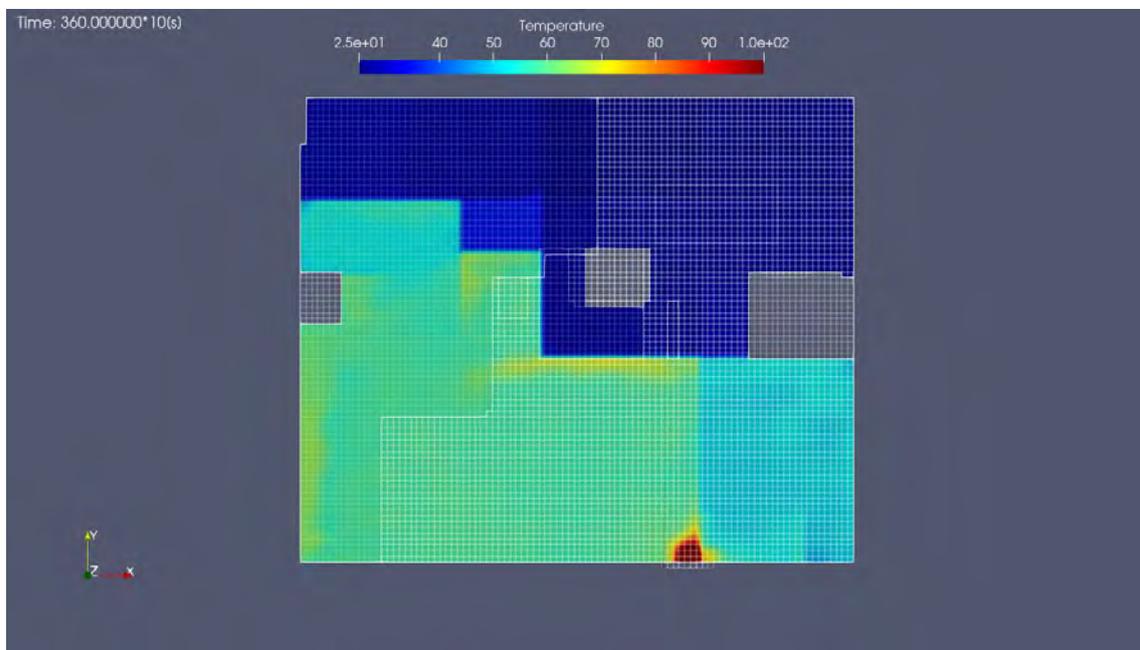


図 5-124 温度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

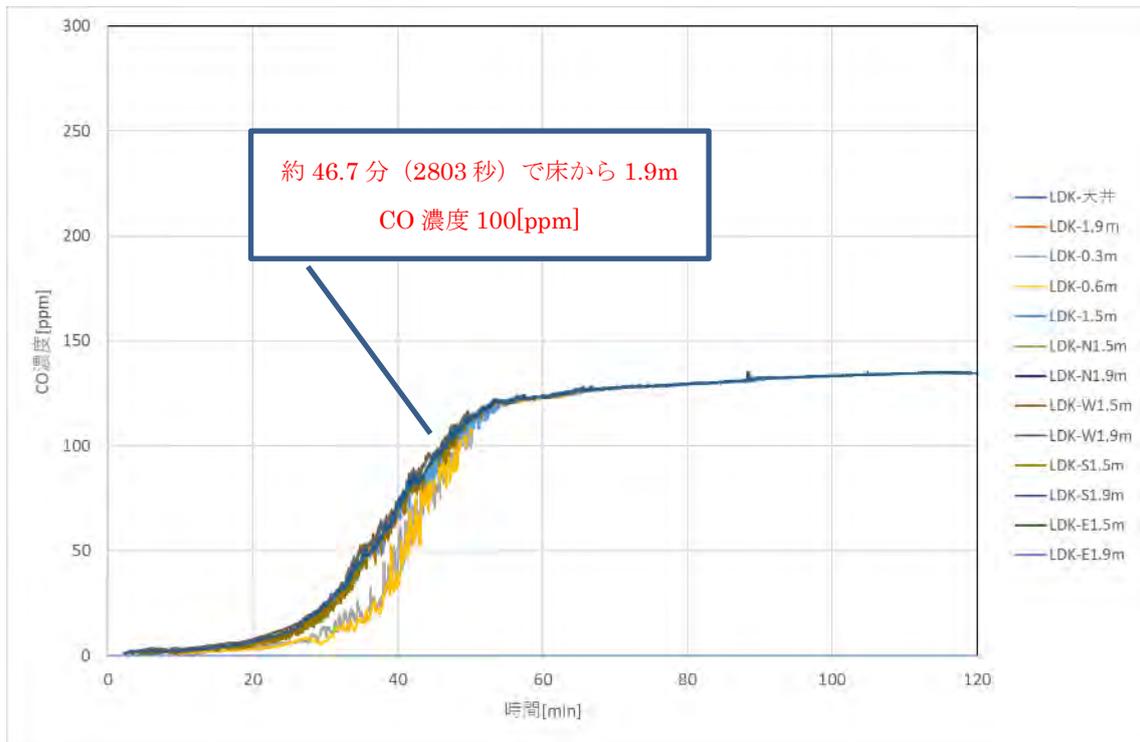


図 5-125 LDK における CO 濃度経時変化

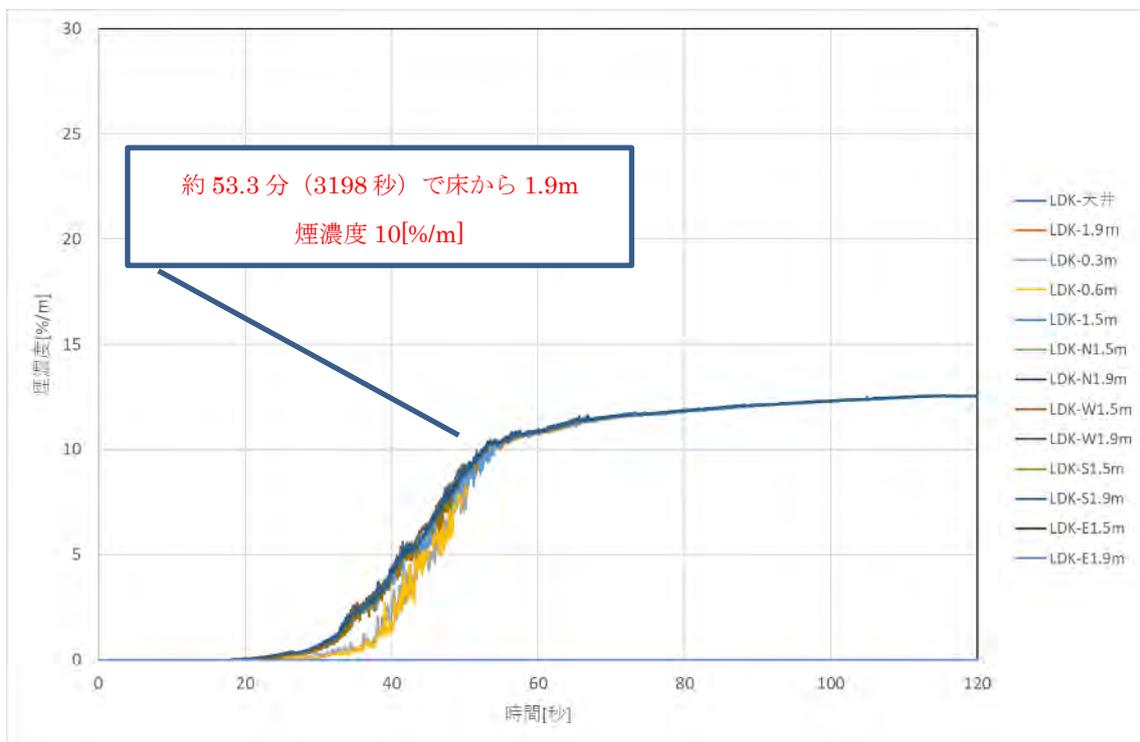


図 5-126 LDK における煙濃度経時変化

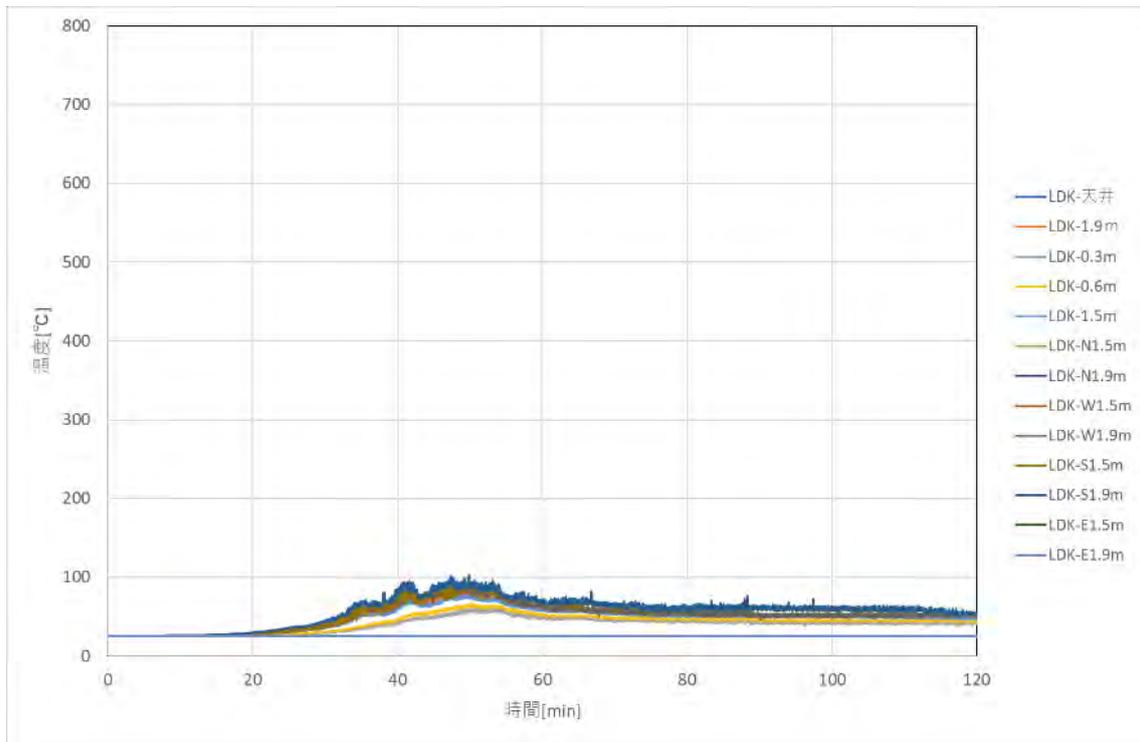


図 5-127 LDK における温度経時変化

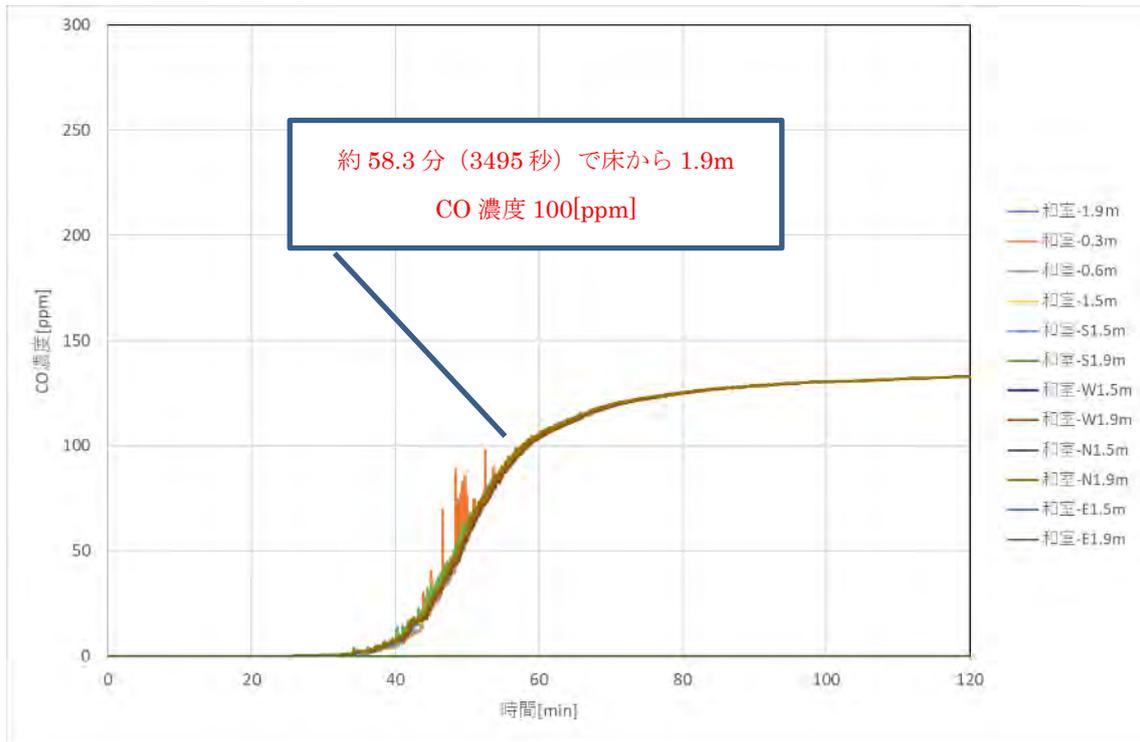


図 5-128 和室における CO 濃度経時変化

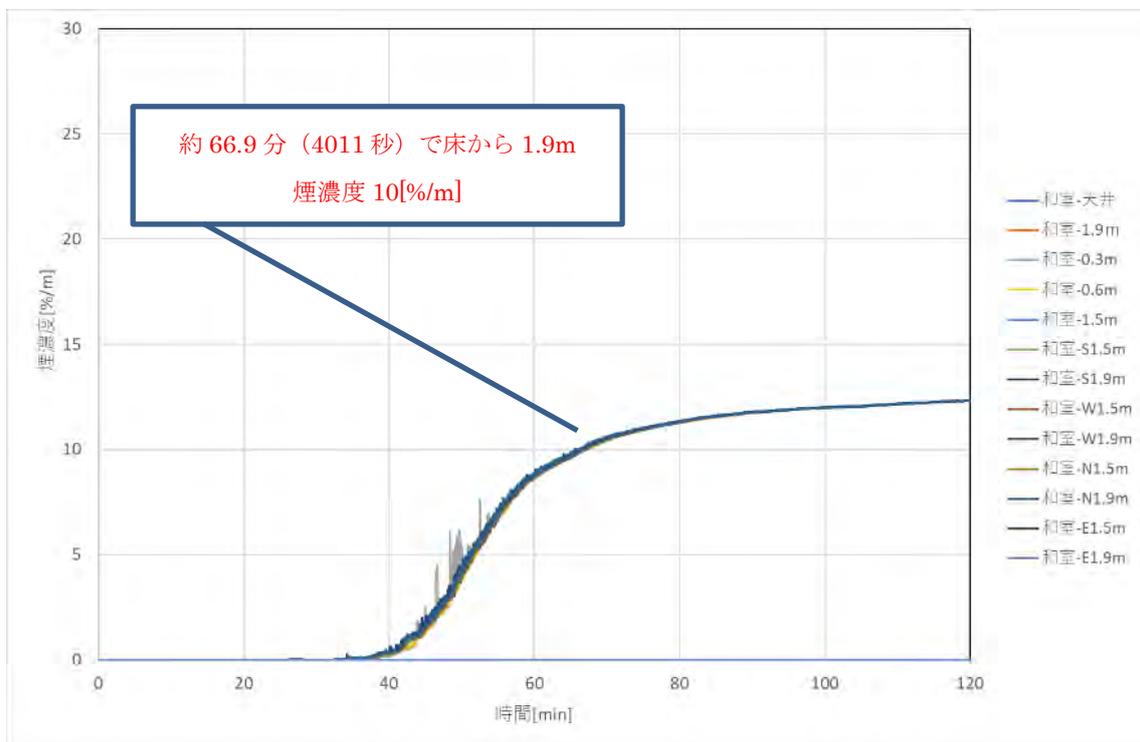


図 5-129 和室における煙濃度経時変化

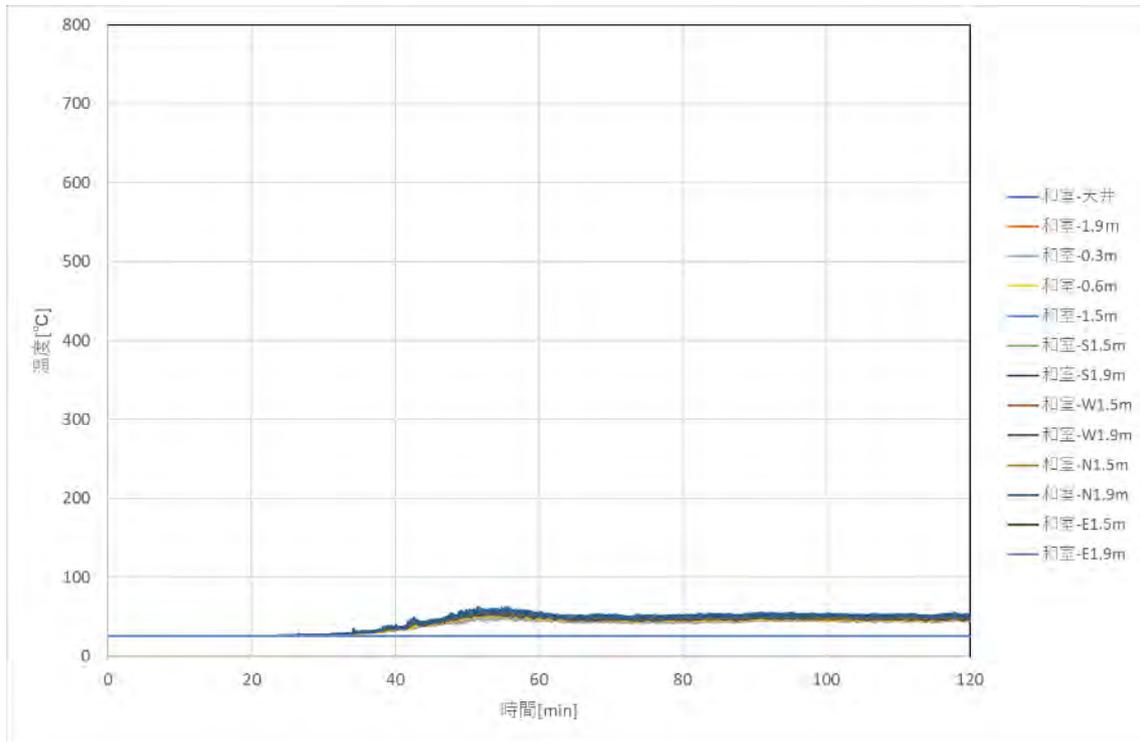


図 5-130 和室における温度経時変化

### 5.2.1. ケース 2k\_caseB1

本ケースは 2 階建てにおける、主寝室での電気ストーブによる火災である。火源の箇所を図 5-131 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-132～図 5-143 に示す。水平断面の高さは床から 0.3m である。

図 5-144～図 5-152 図 5-111 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった主寝室、書斎および階段の濃度経時変化を示す。

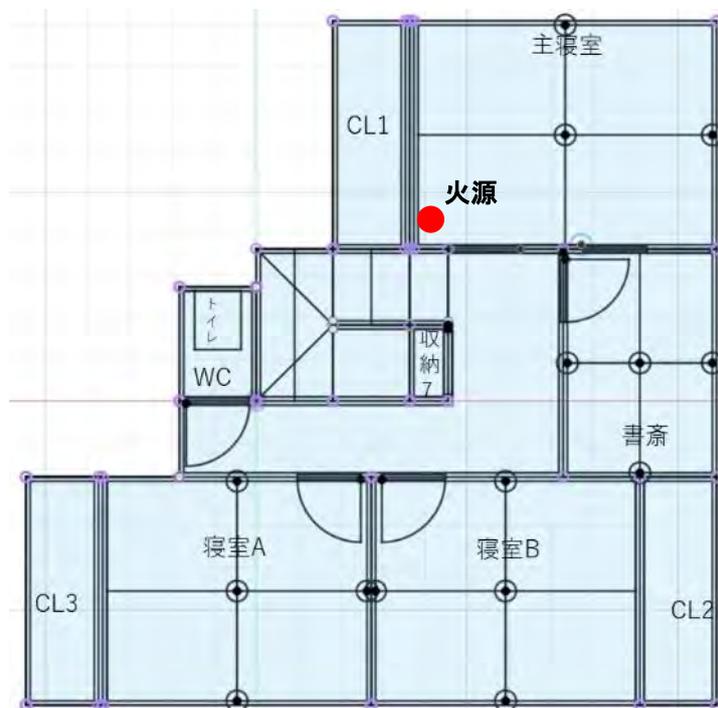


図 5-131 火源の位置

2 階建て建屋の 2 階にある主寝室でのストーブ火災である。主寝室では布団から壁、天井へと延焼し、CO 濃度 100ppm、煙濃度 10%/m を超えるのは約 4 分後であり、すぐに隣接の書斎に拡散、延焼し、その後 CO と煙は廊下を通じて 2 階の寝室 A、B と階段から 1 階に拡散している。主寝室の温度は 2 分以内に 100°C を超え、書斎にもすぐに延焼する現象となっている。寝室 A、B の濃度および温度と比べると廊下と階段領域が高くなっており、寝室 A、B が火源から離れており、なおかつ扉が閉まっているためと考えられる。約 8 分頃に階段領域の濃度および温度の上昇率が高くなる (図 5-150～図 5-152) が、これは主寝室の延焼により隣接しているクローゼット (CL1) 内の濃度および温度が急に上昇したことが起

困っている。

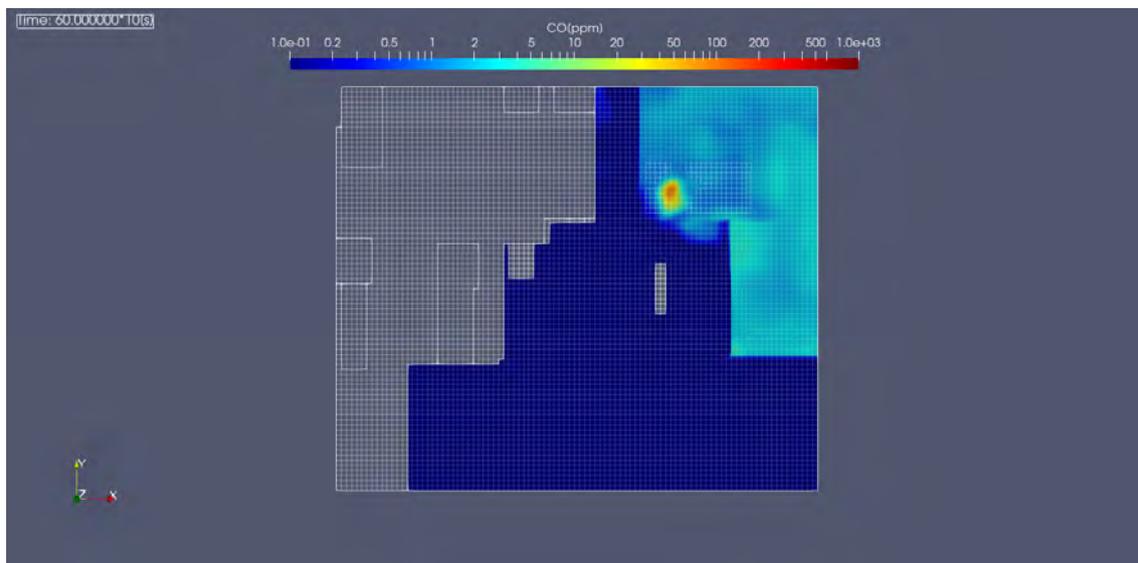


図 5-132 CO 濃度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

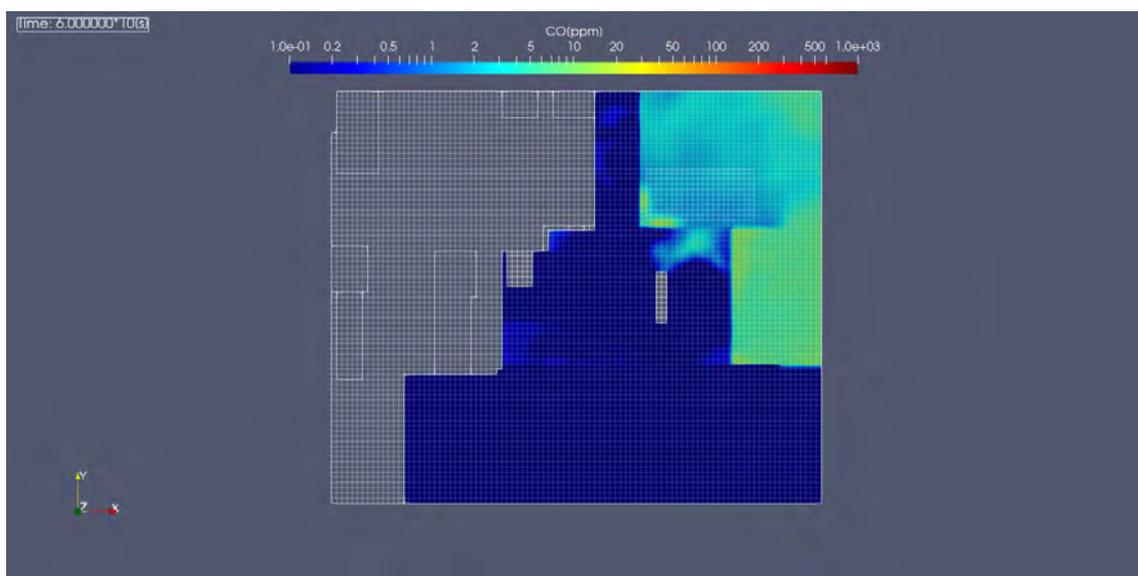


図 5-133 CO 濃度分布 (60 秒後、床から 1.5m、単位 : ppm)

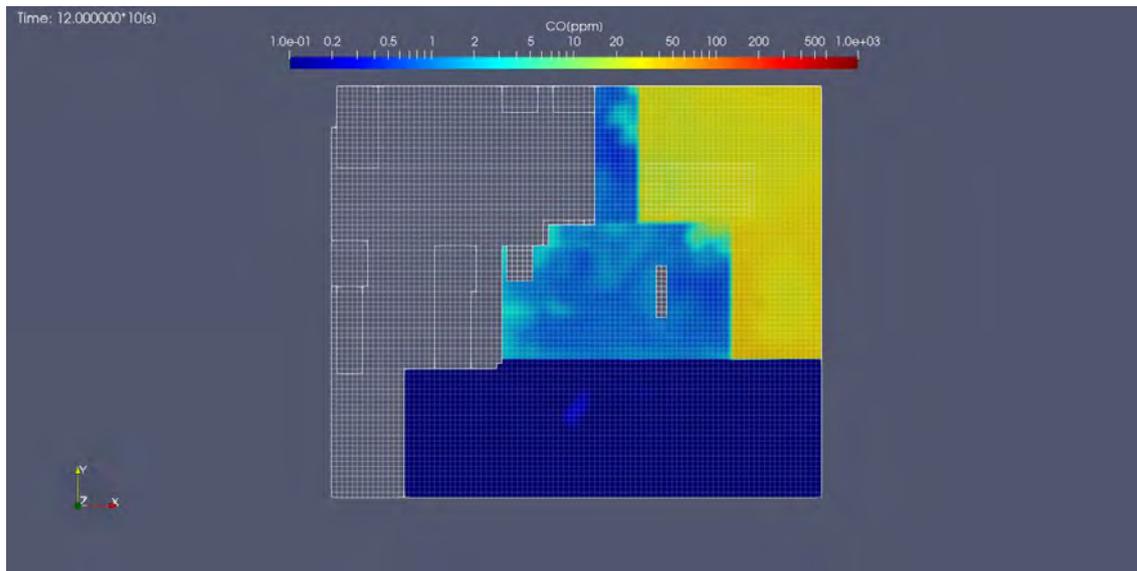


図 5-134 CO 濃度分布 (120 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

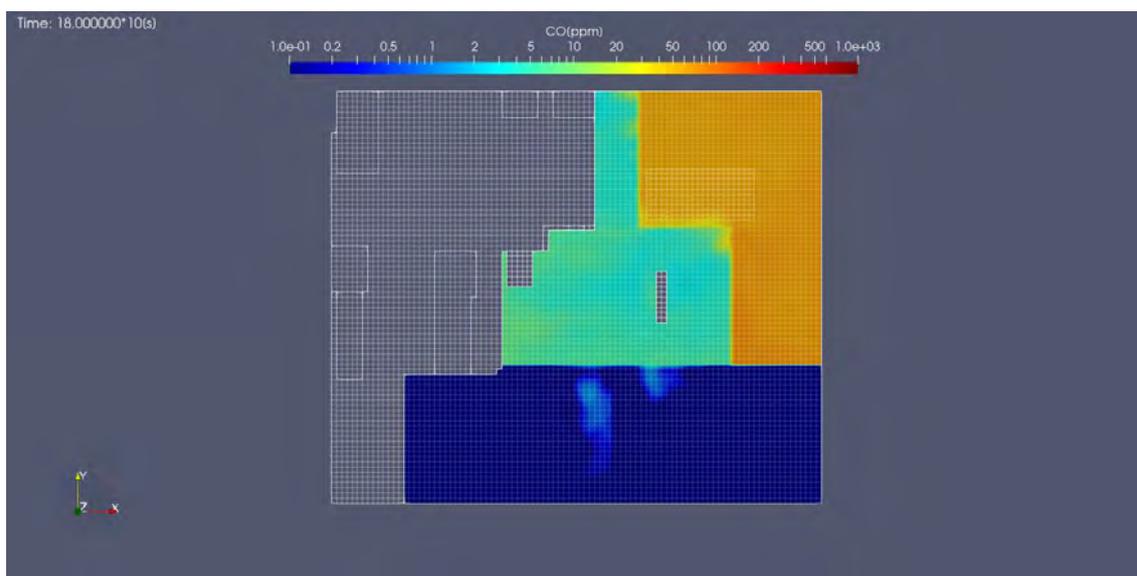


図 5-135 CO 濃度分布 (180 秒後、床から 0.3m、単位 : ppm)

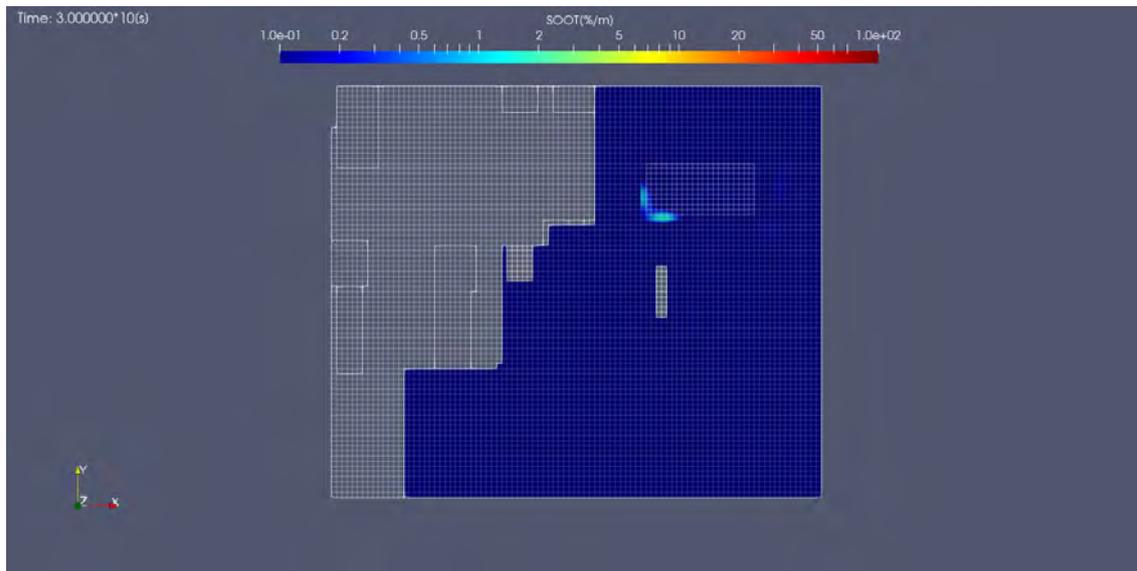


図 5-136 煙濃度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

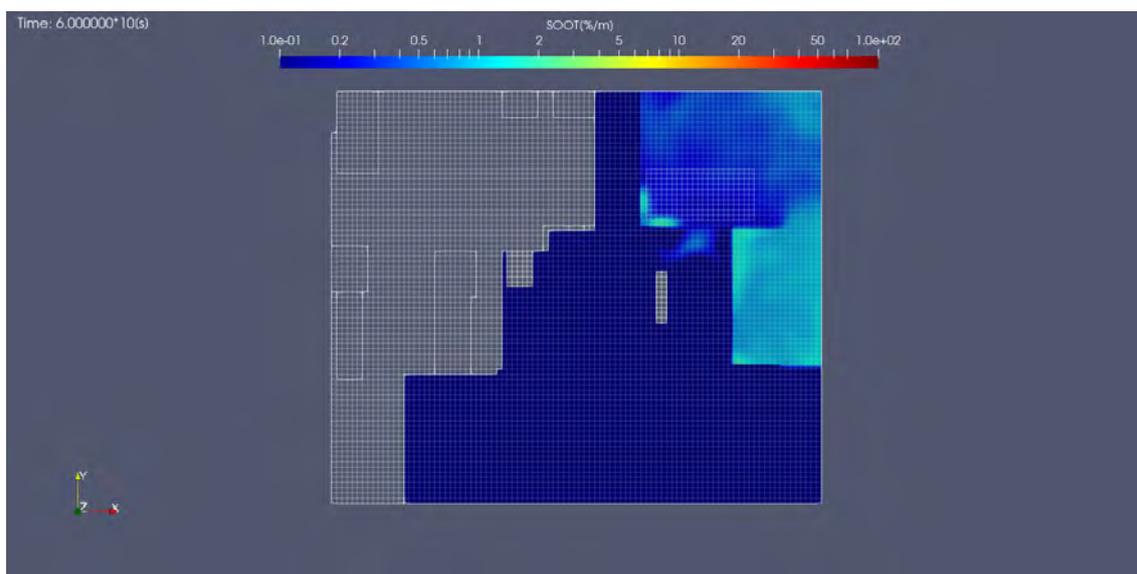


図 5-137 煙濃度分布 (60 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

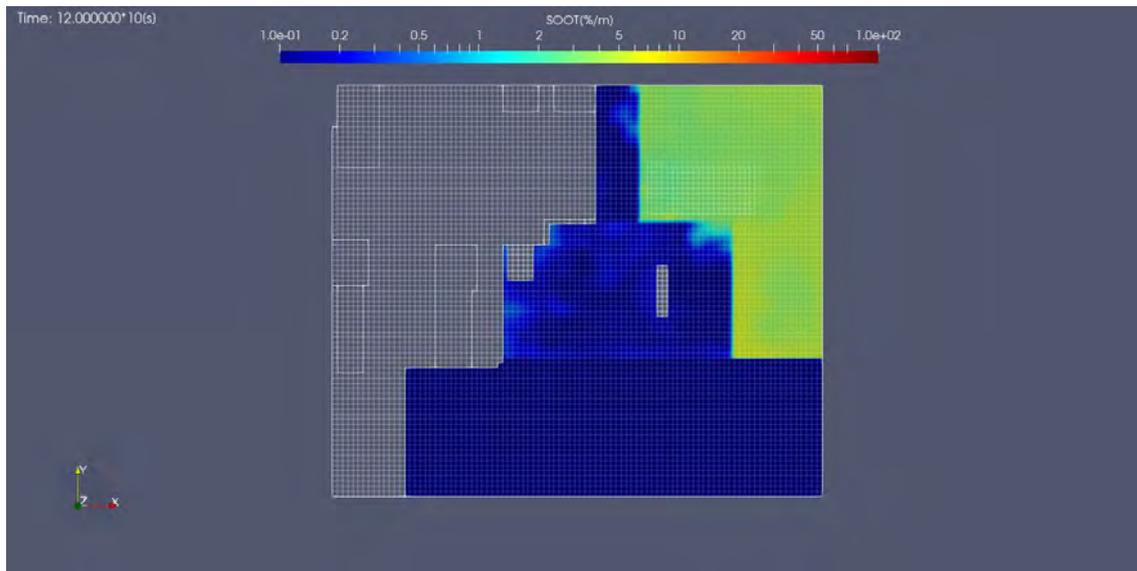


図 5-138 煙濃度分布（120 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

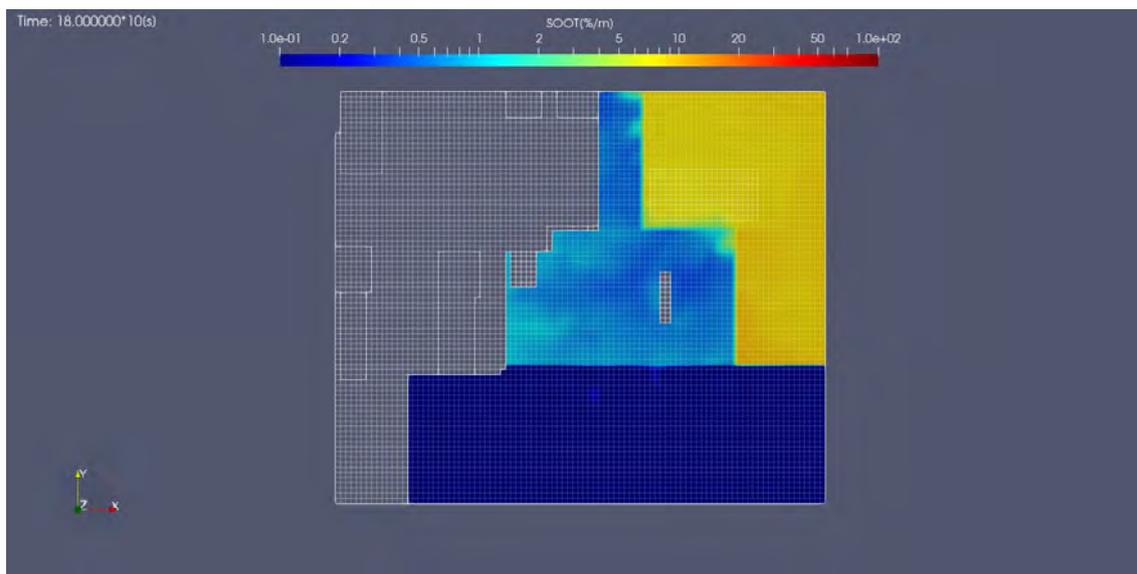


図 5-139 煙濃度分布（180 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

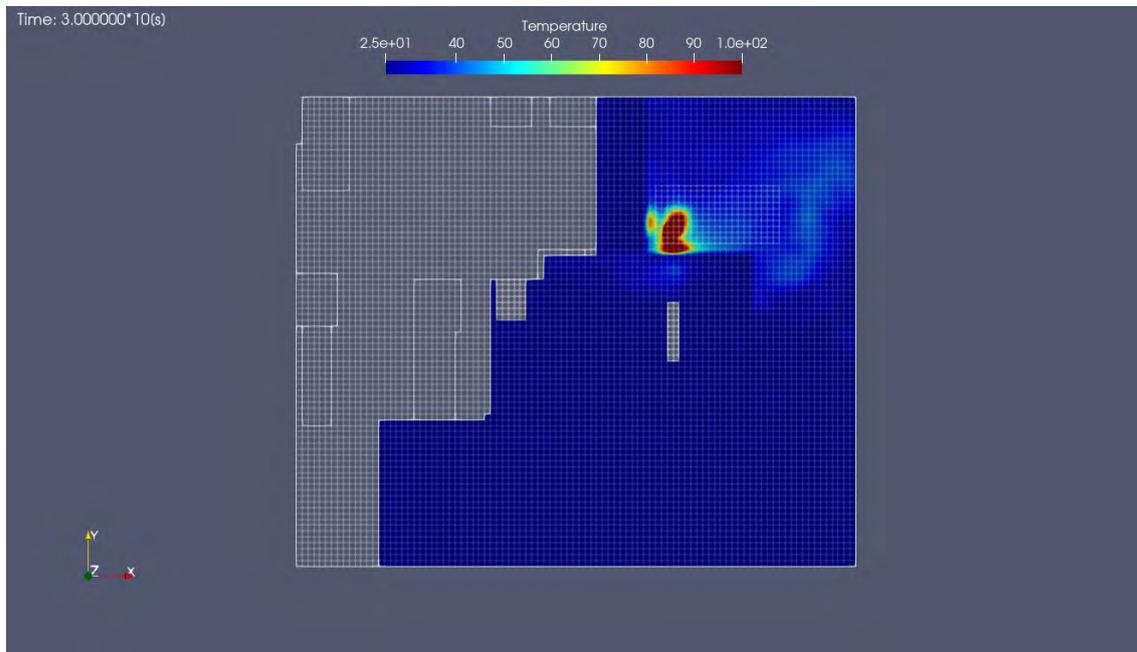


図 5-140 温度分布 (30 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

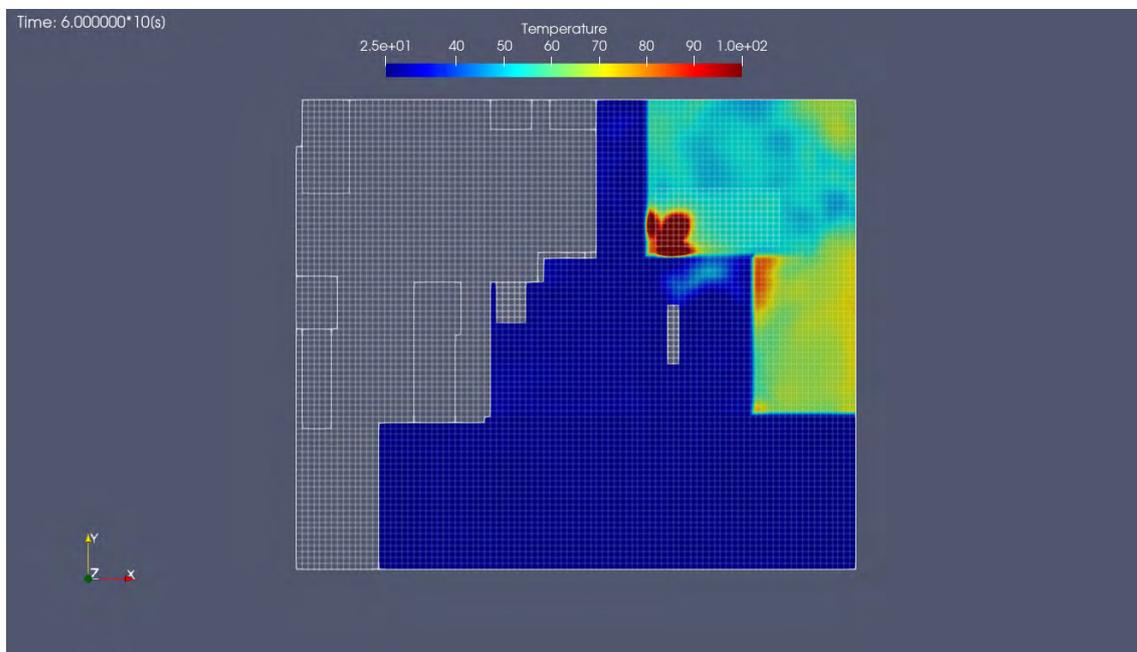


図 5-141 温度分布 (60 秒後、床から 0.3m、単位 : %/m)

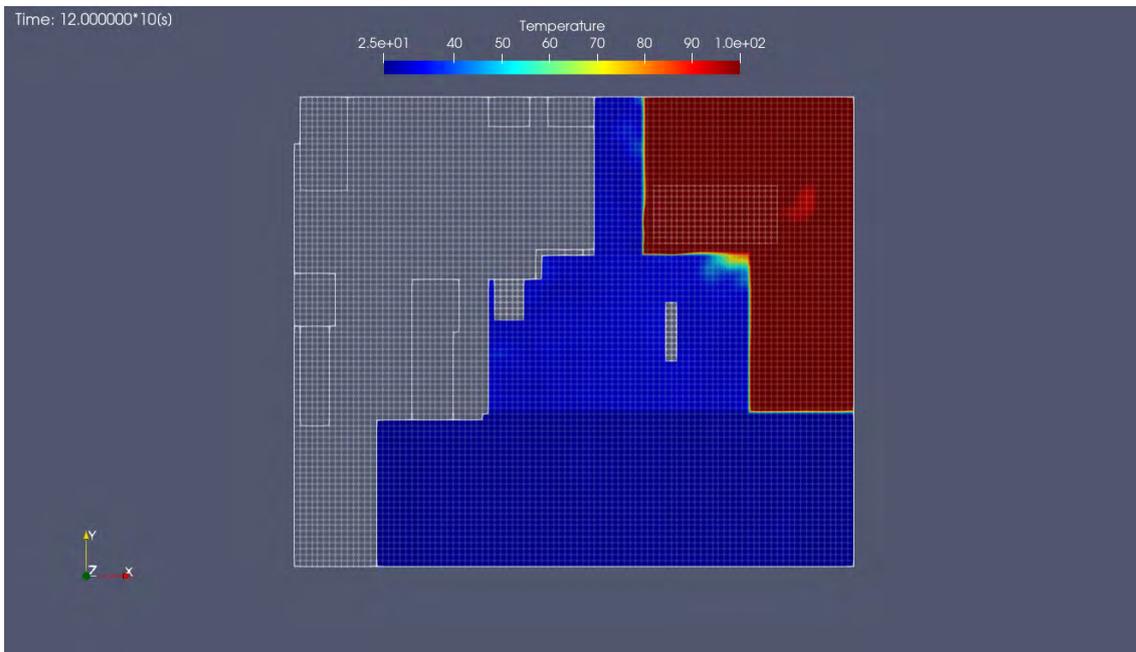


図 5-142 温度分布（120 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

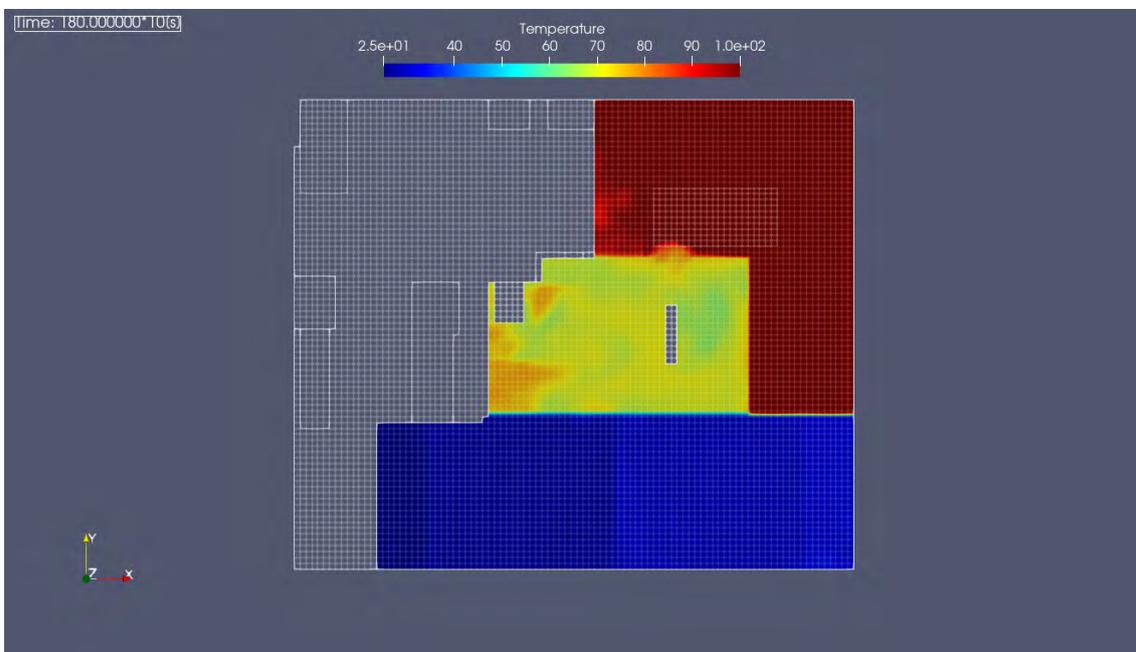


図 5-143 温度分布（180 秒後、床から 0.3m、単位：%/m）

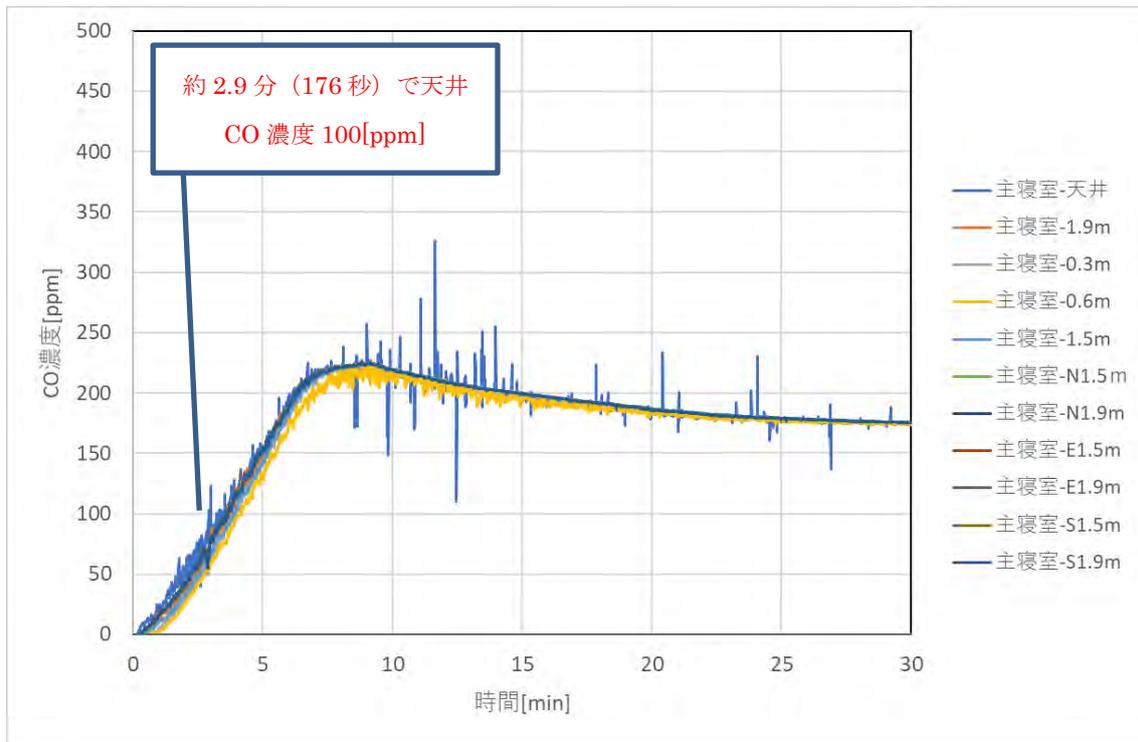


図 5-144 主寝室における CO 濃度経時変化

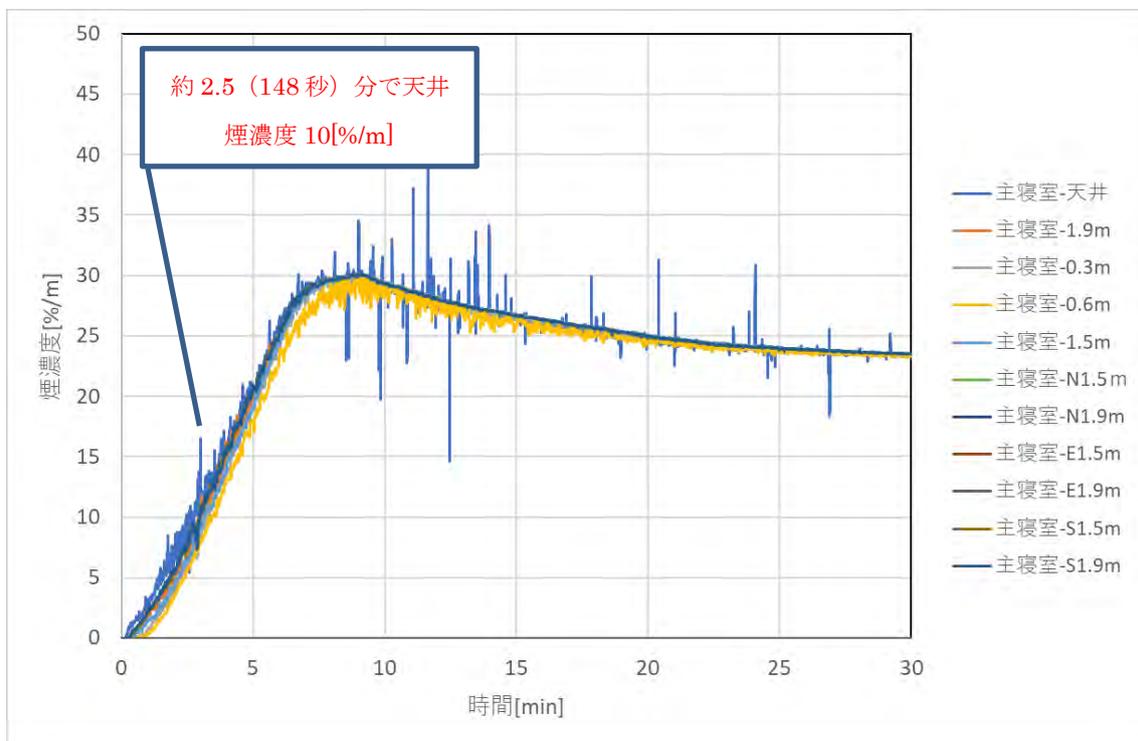


図 5-145 主寝室における煙濃度経時変化

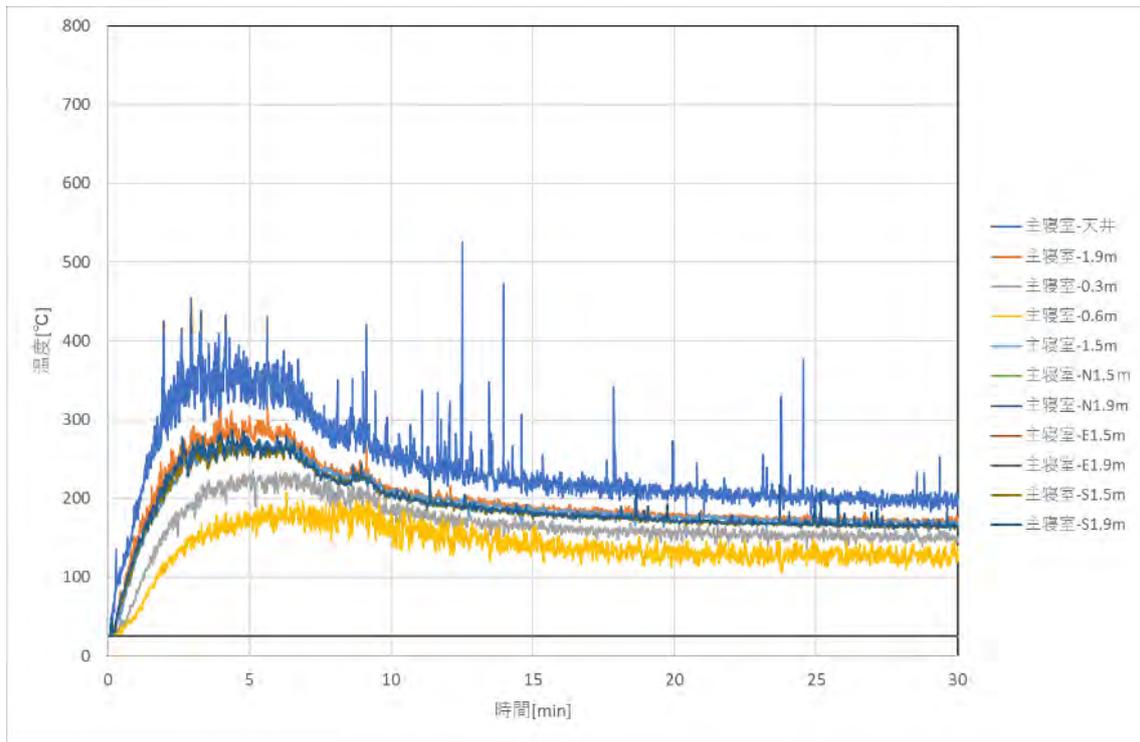


図 5-146 主寝室における温度経時変化

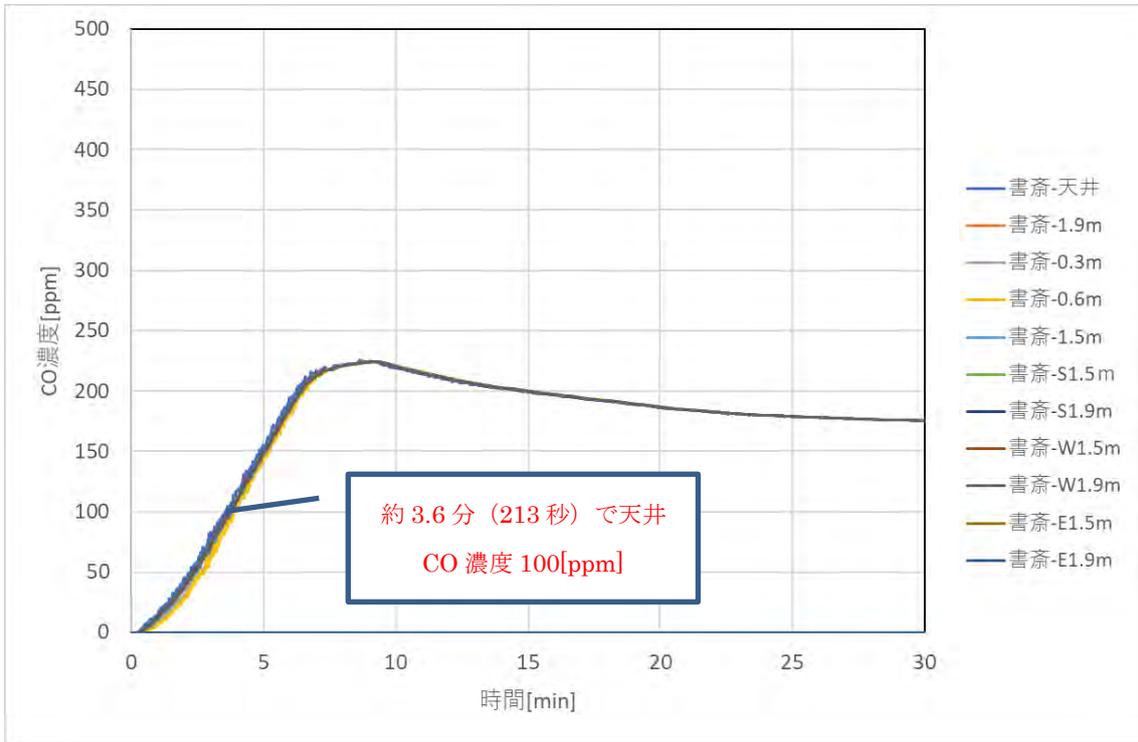


図 5-147 書斎における CO 濃度経時変化

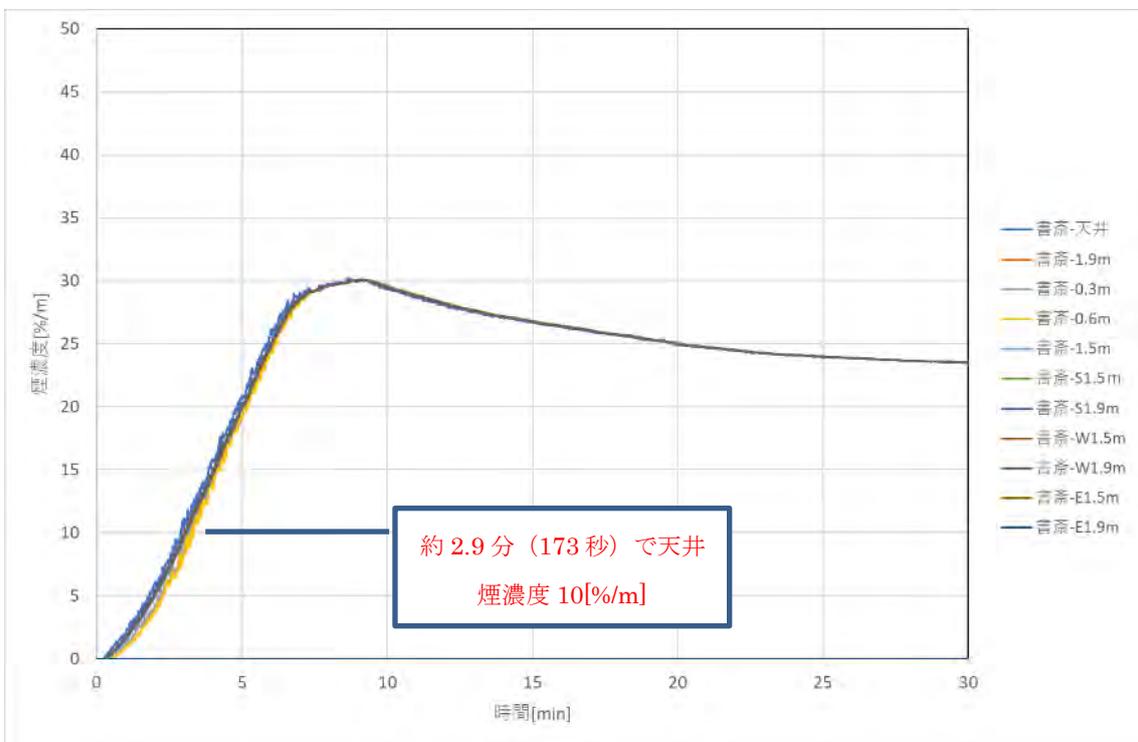


図 5-148 書斎における煙濃度経時変化

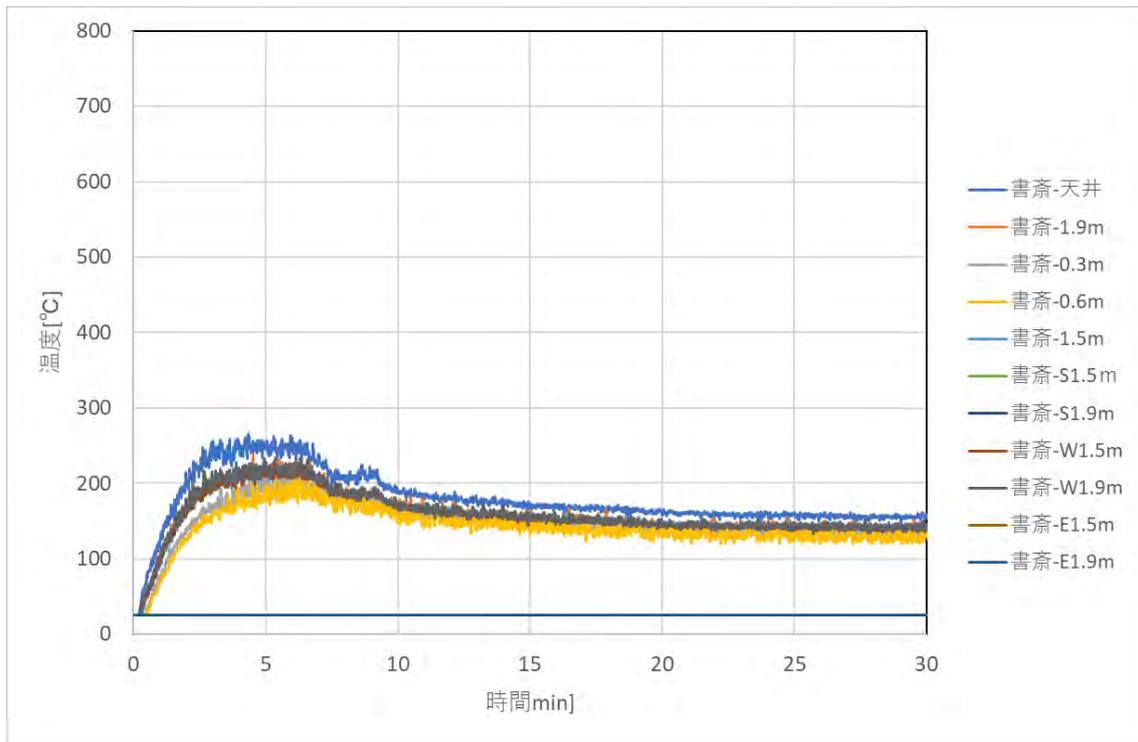


図 5-149 書齋における温度経時変化

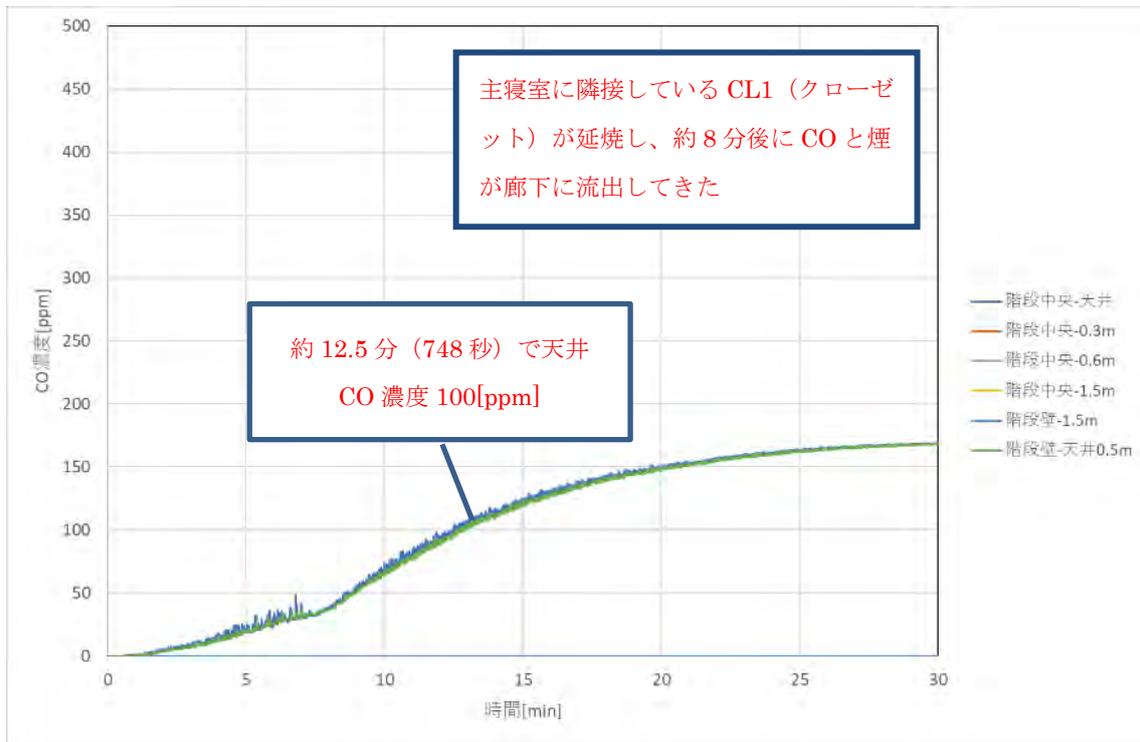


図 5-150 階段における CO 濃度経時変化

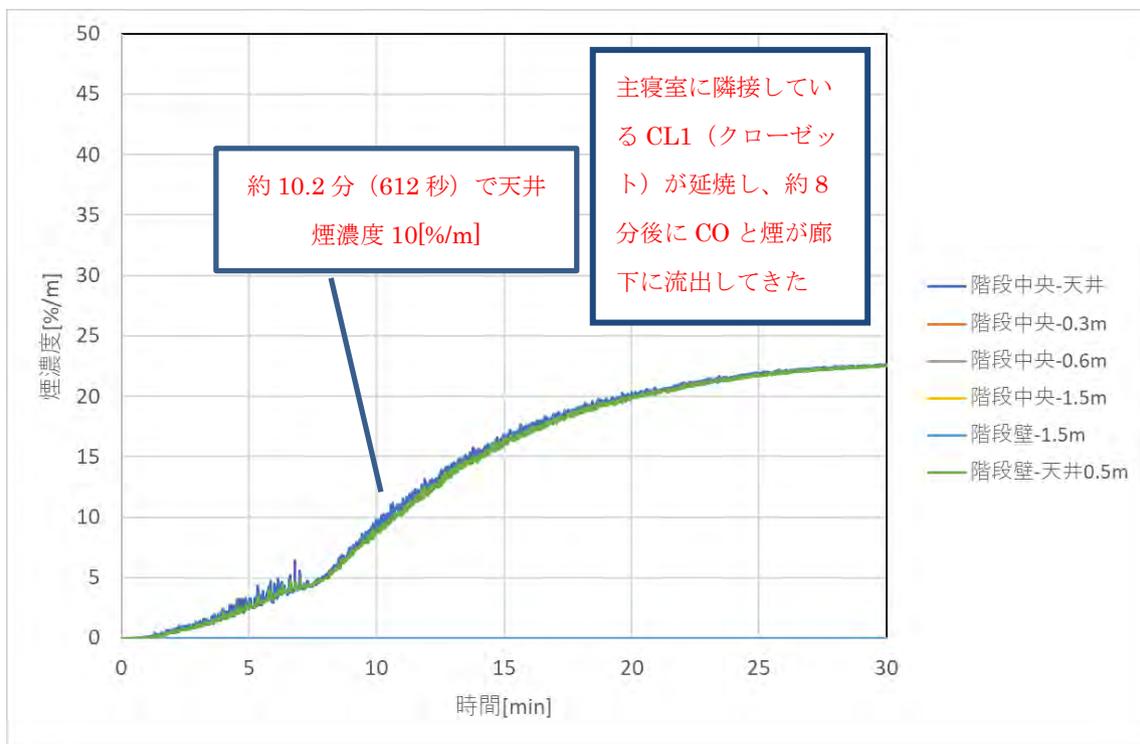


図 5-151 階段における煙濃度経時変化

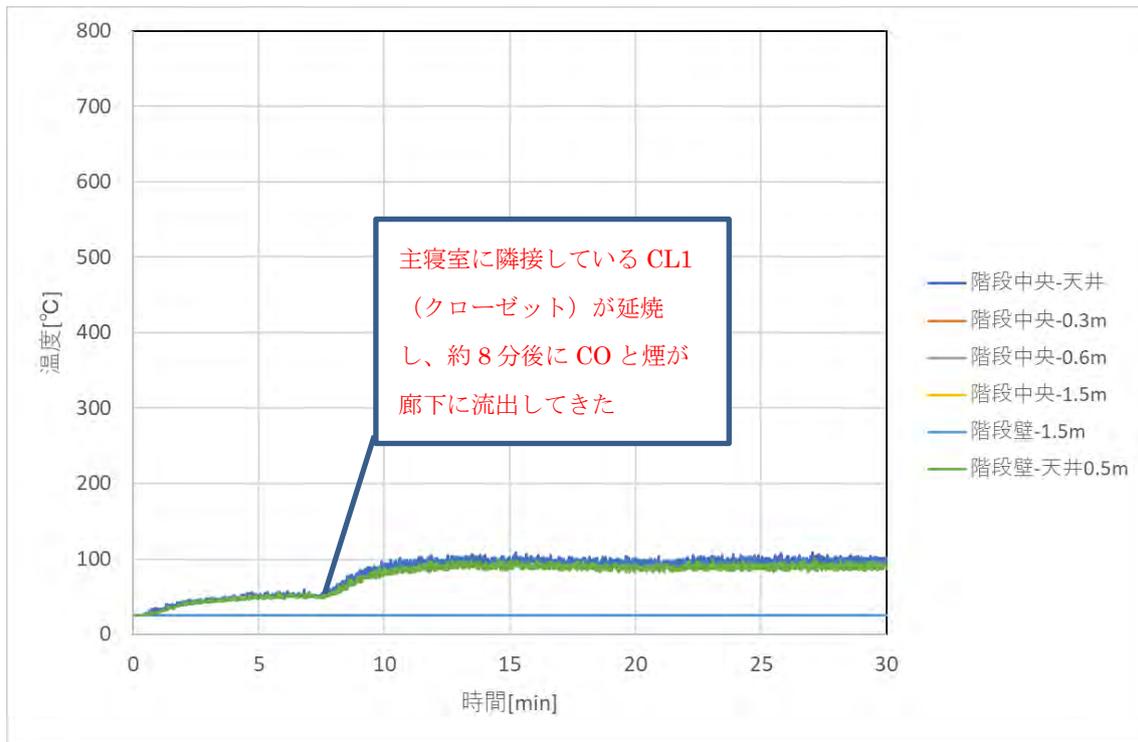


図 5-152 階段における温度経時変化

### 5.2.2. ケース 2k\_caseB2

本ケースは 2 階建てにおける、主寝室でのたばこによる火災である。火源の箇所を図 5-153 に示す。

計算結果として CO 濃度、煙濃度の水平断面分布図を図 5-154～図 5-165 に示す。水平断面の高さは床から 0.3m である。

図 5-166～図 5-174 には CO 濃度および煙濃度の上昇が顕著であった主寝室および書斎の濃度経時変化を示す。

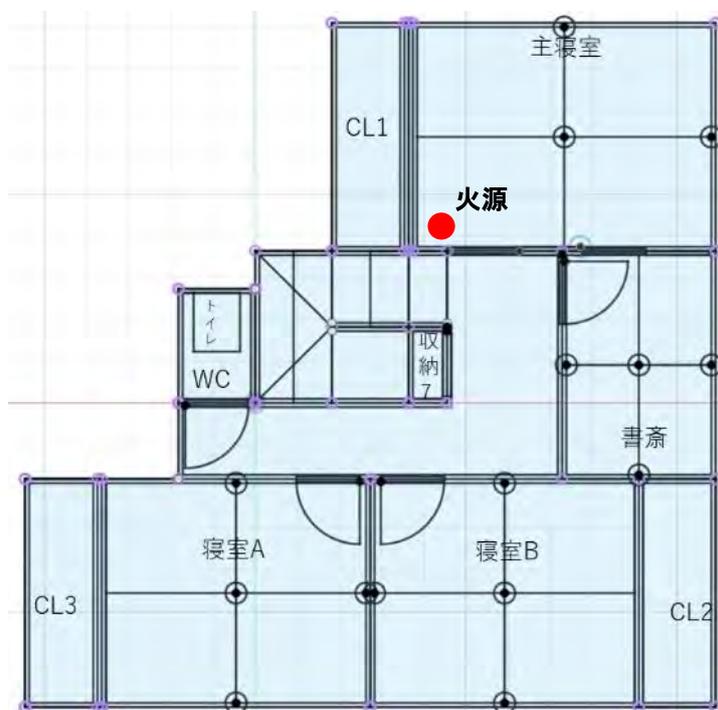


図 5-153 火源の位置

主寝室における燻焼火災のケースであるが、主寝室において CO 濃度が 100ppm 超えるのは約 38 分、煙濃度が 10%/m を超えるのは約 45 分で、隣接する書斎もほぼ同時刻であった。その約 5 分後に階段でも CO 濃度 100ppm、煙濃度 10%/m に到達する。

煙濃度および温度の上昇の様子から書斎まで延焼しており、廊下および階段はその火災により発生した CO および煙が拡散している現象となっている。

約 33 分で濃度と温度の上昇率が上がる傾向がみられる (図 5-166～図 5-171) が、これは主寝室での燻っていたのが本格的に燃焼し始めたためである。

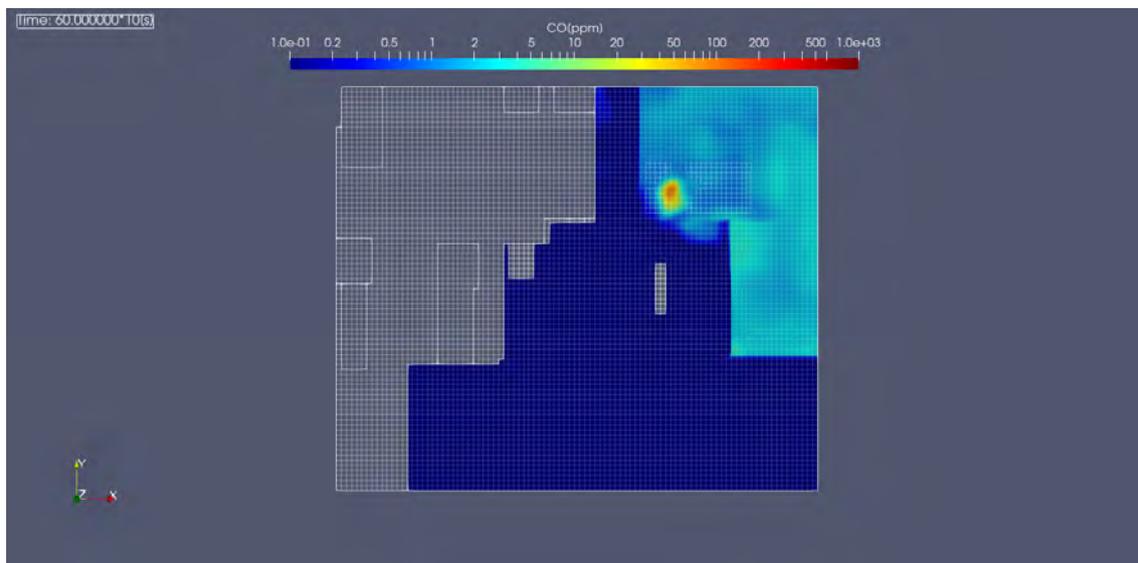


図 5-154 CO 濃度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

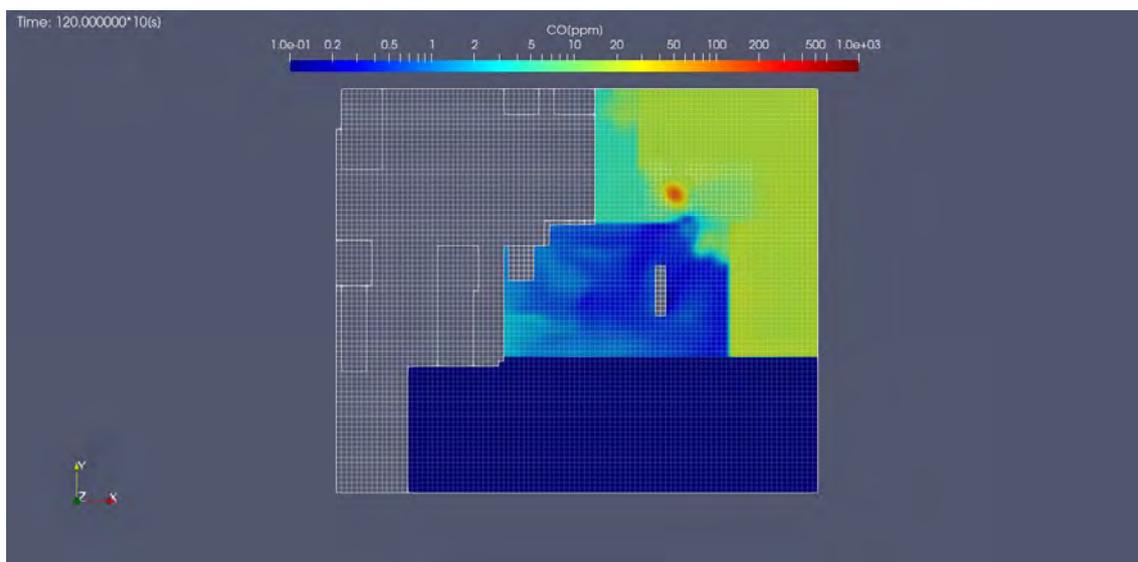


図 5-155 CO 濃度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

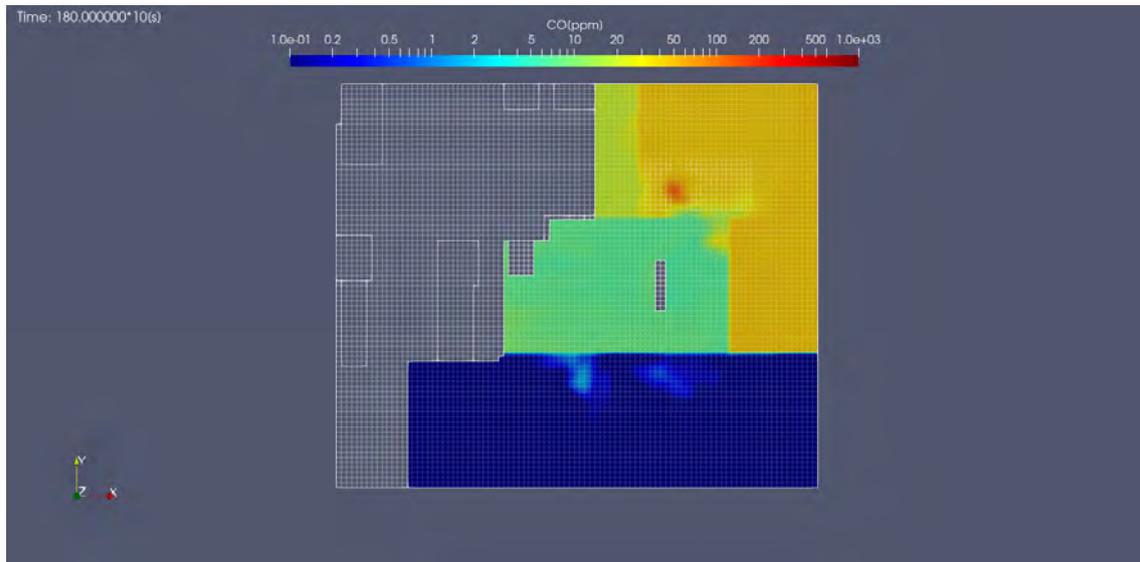


図 5-156 CO 濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

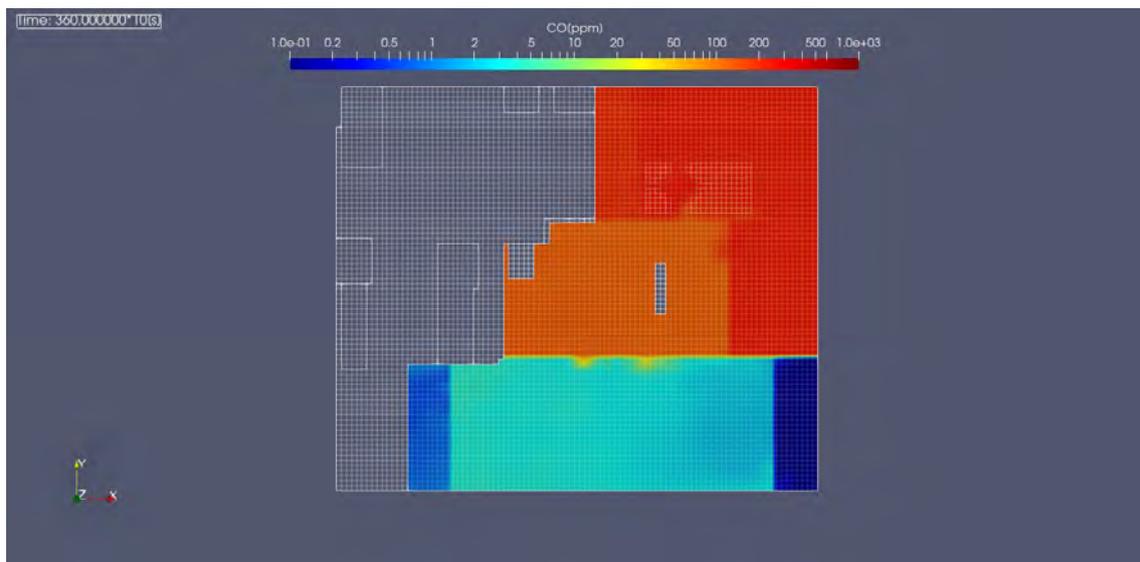


図 5-157 CO 濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : ppm)

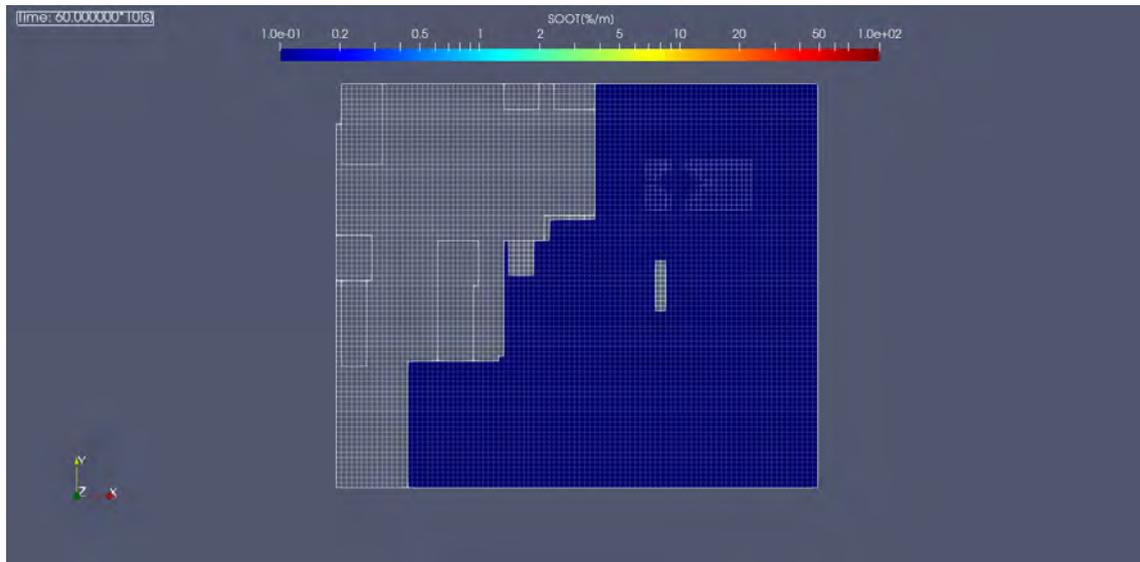


図 5-158 煙濃度分布（10 分後、床から 1.5m、単位：%/m）

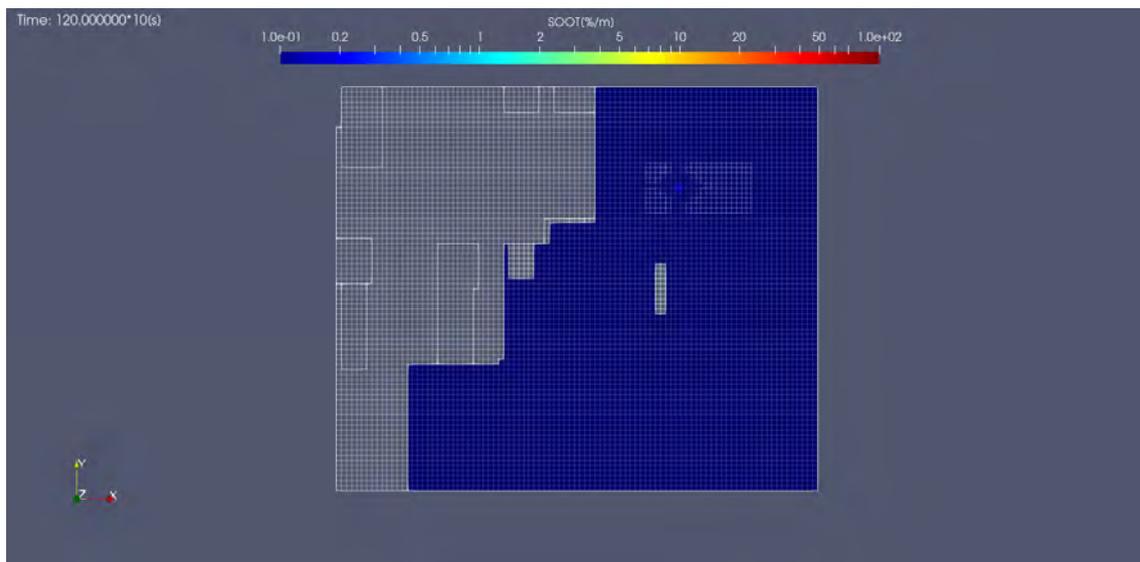


図 5-159 煙濃度分布（20 分後、床から 1.5m、単位：%/m）

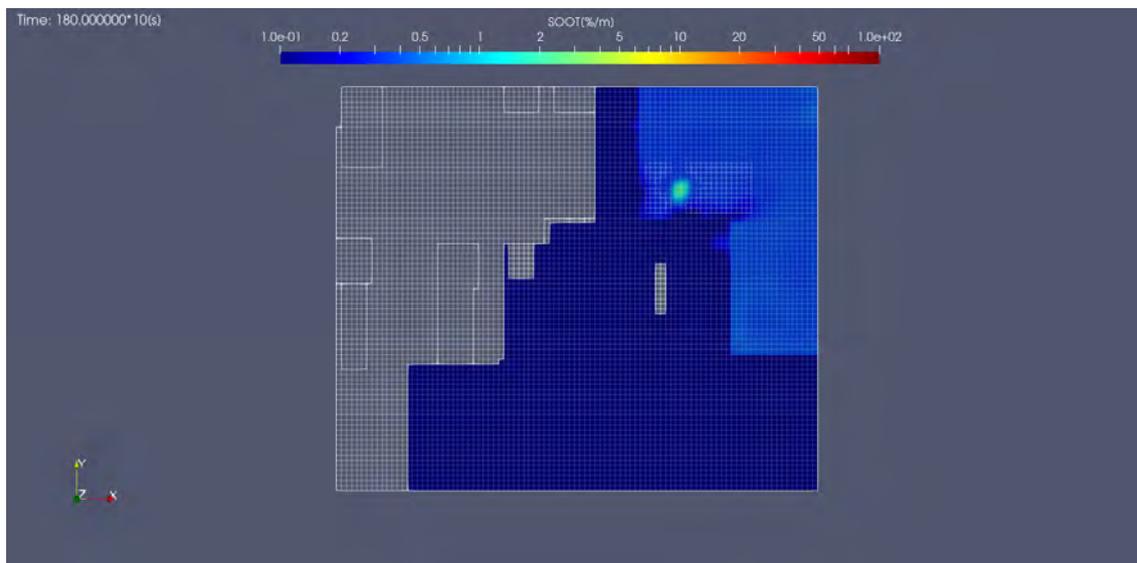


図 5-160 煙濃度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

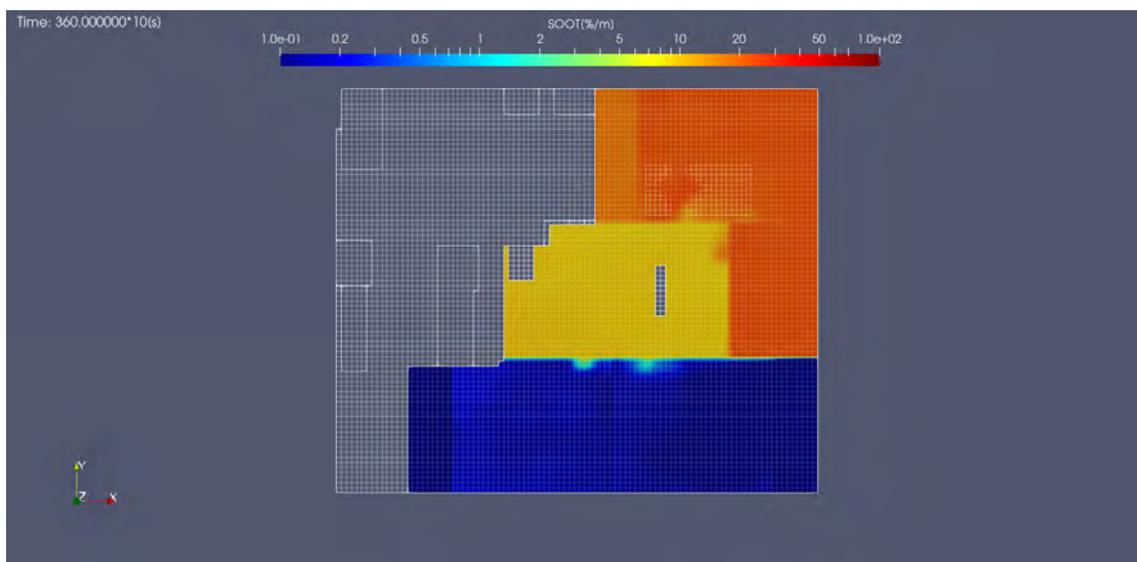


図 5-161 煙濃度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

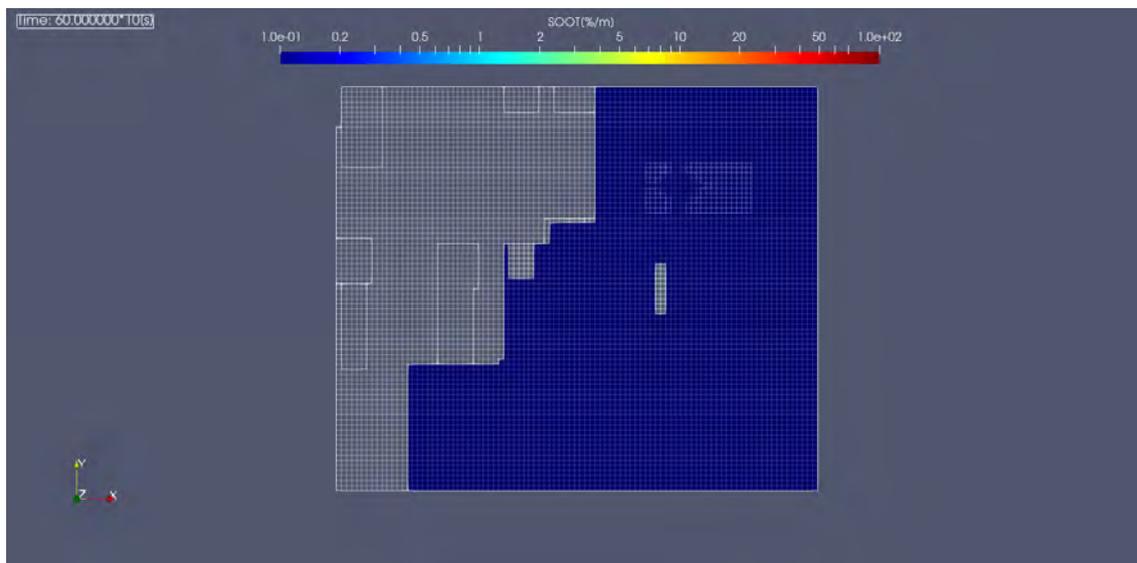


図 5-162 温度分布 (10 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

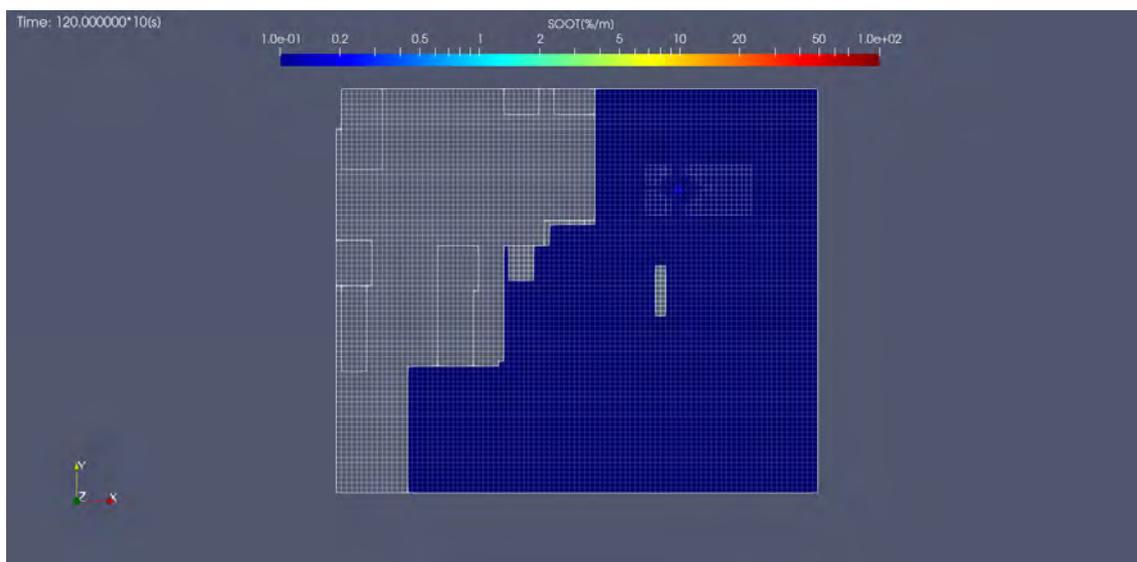


図 5-163 温度分布 (20 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

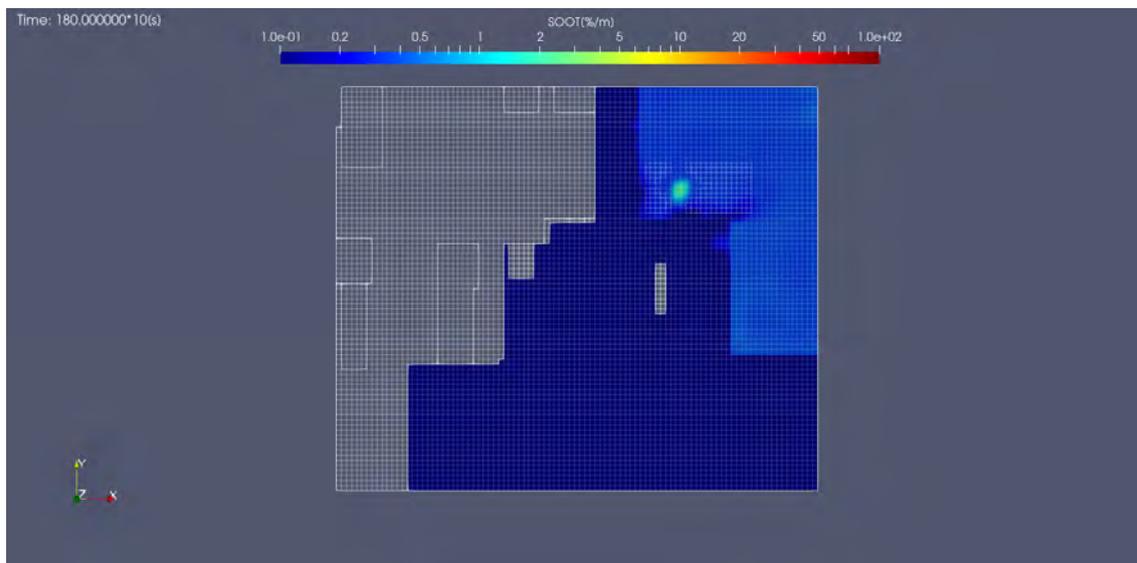


図 5-164 温度分布 (30 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

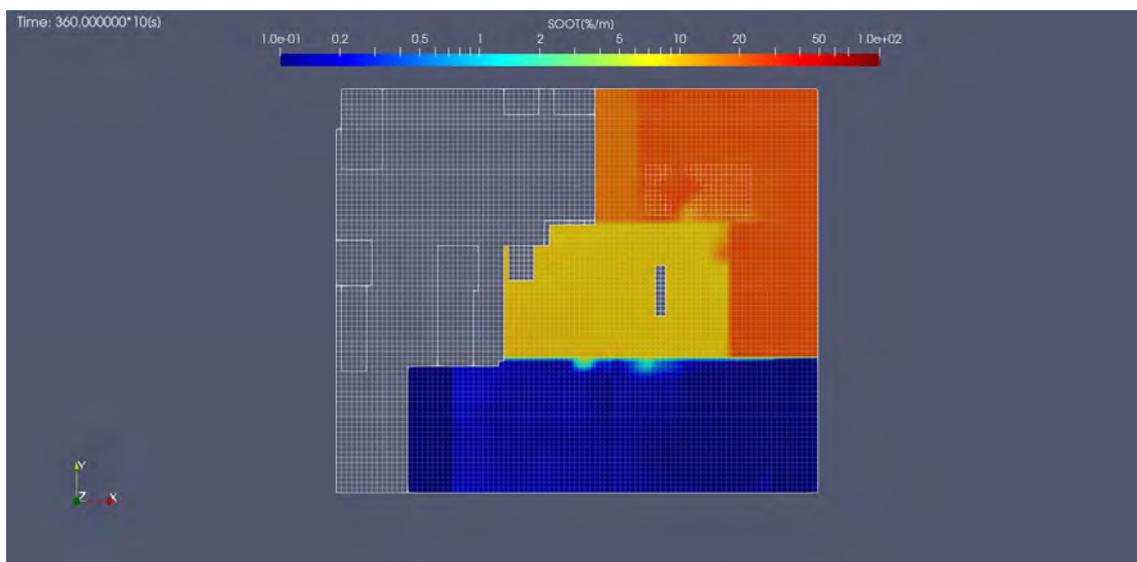


図 5-165 温度分布 (60 分後、床から 1.5m、単位 : %/m)

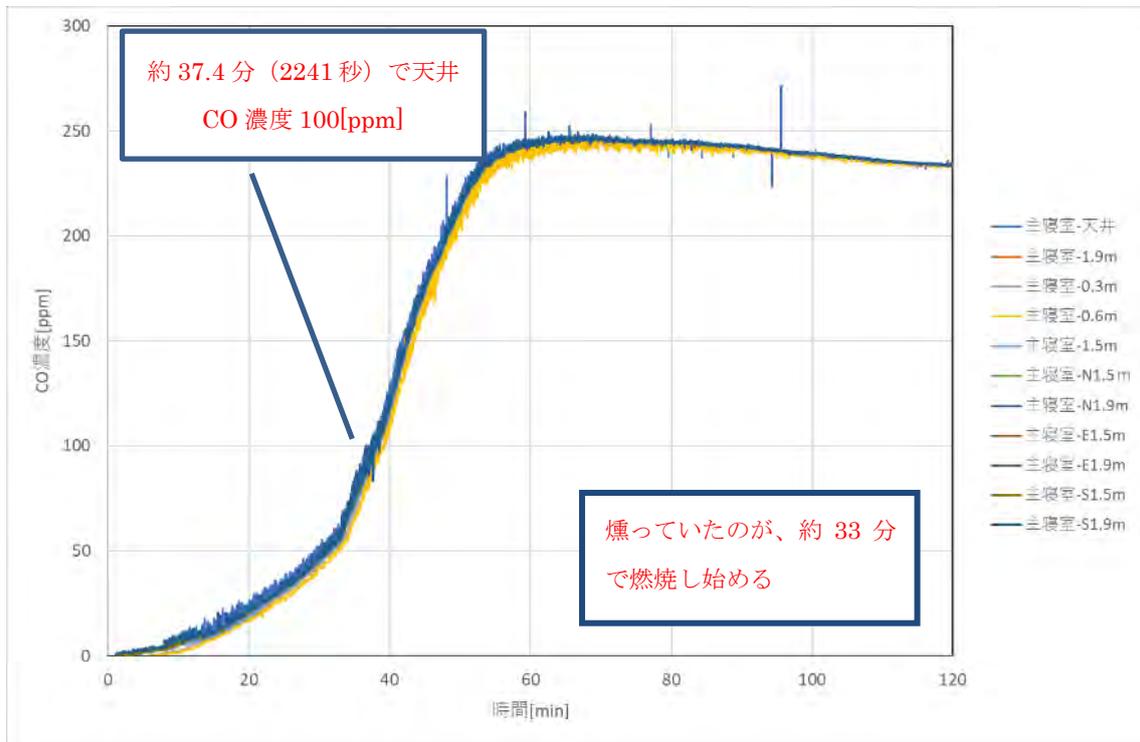


図 5-166 主寝室における CO 濃度経時変化

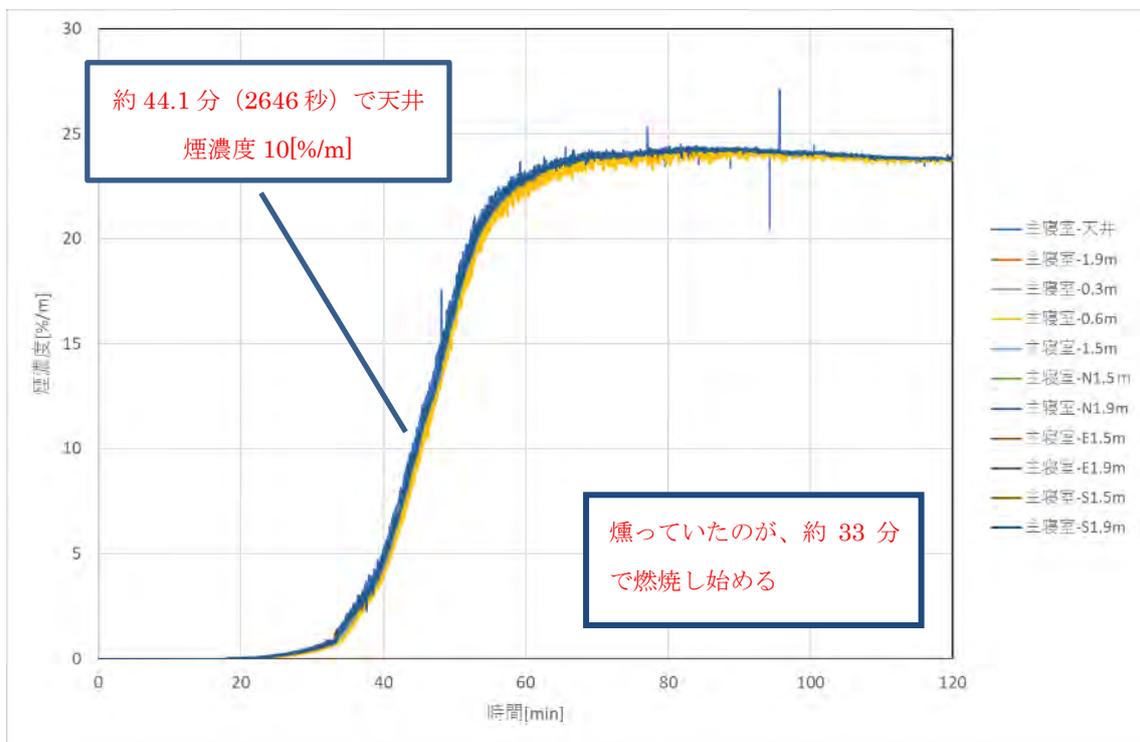


図 5-167 主寝室における煙濃度経時変化

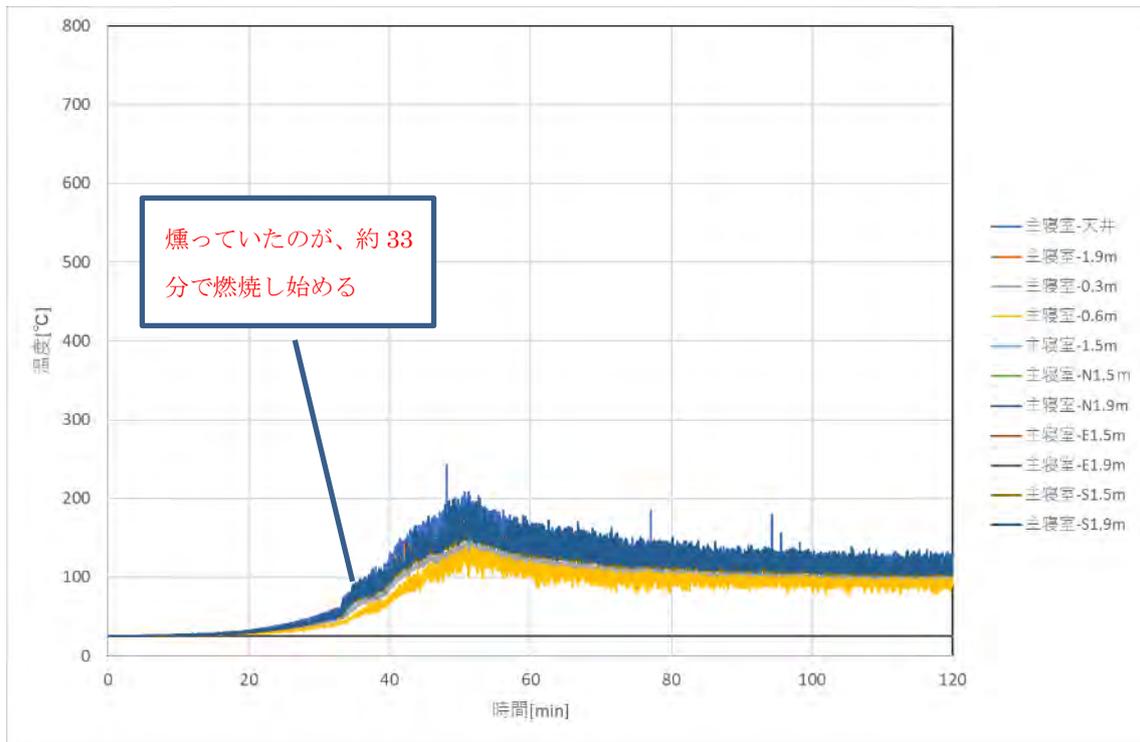


図 5-168 主寝室における温度経時変化

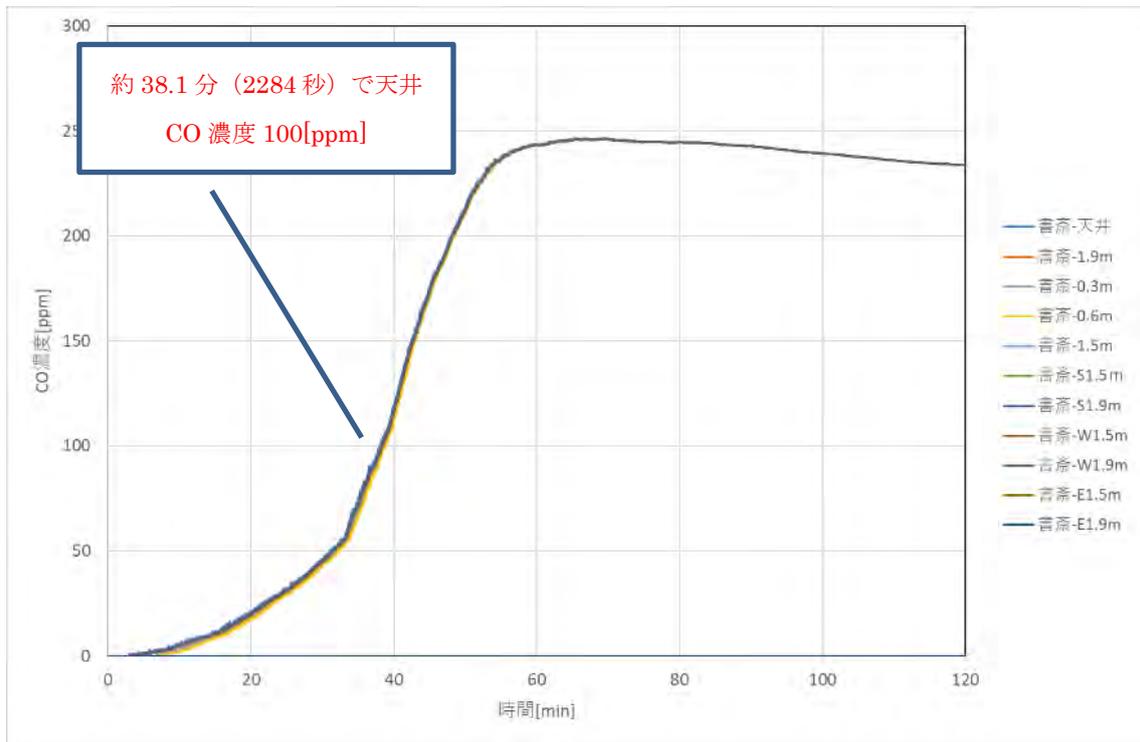


図 5-169 書斎における CO 濃度経時変化

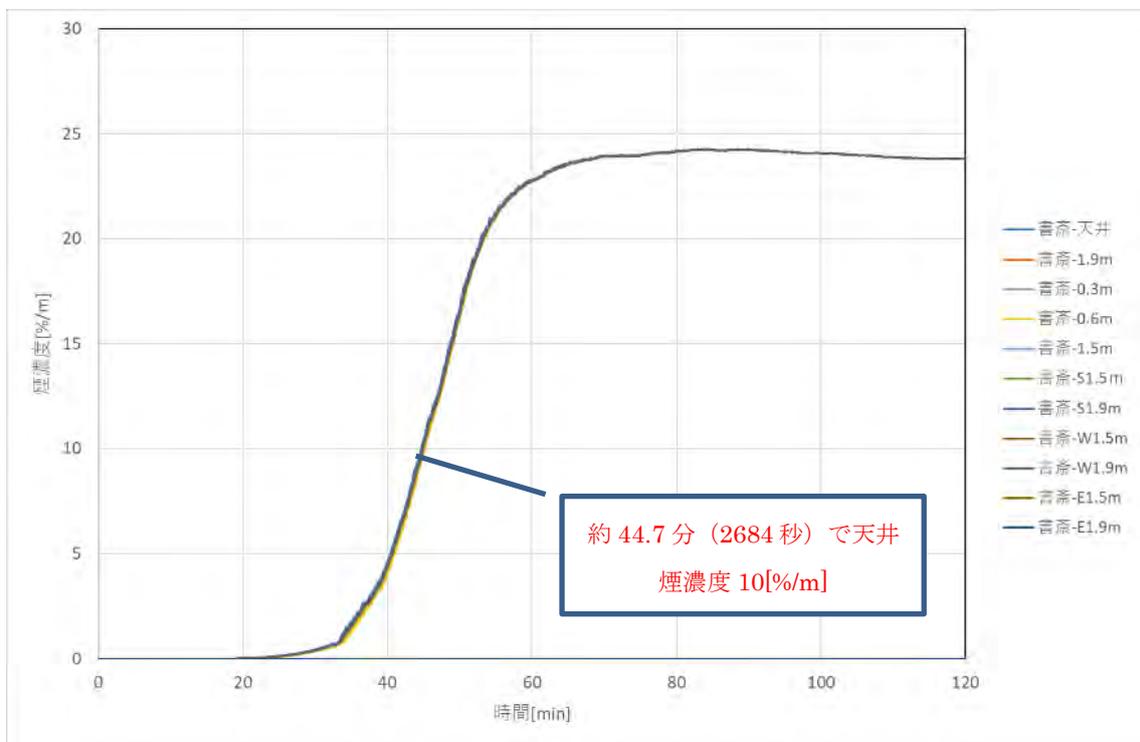


図 5-170 書斎における煙濃度経時変化

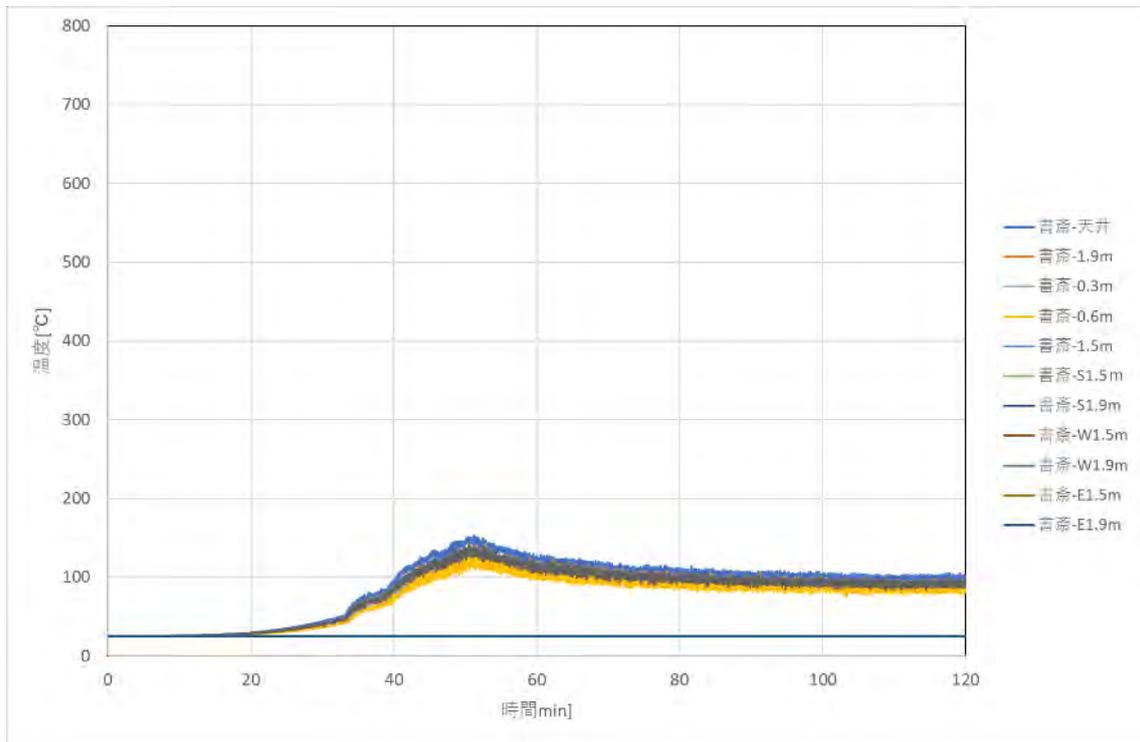


図 5-171 書齋における温度経時変化

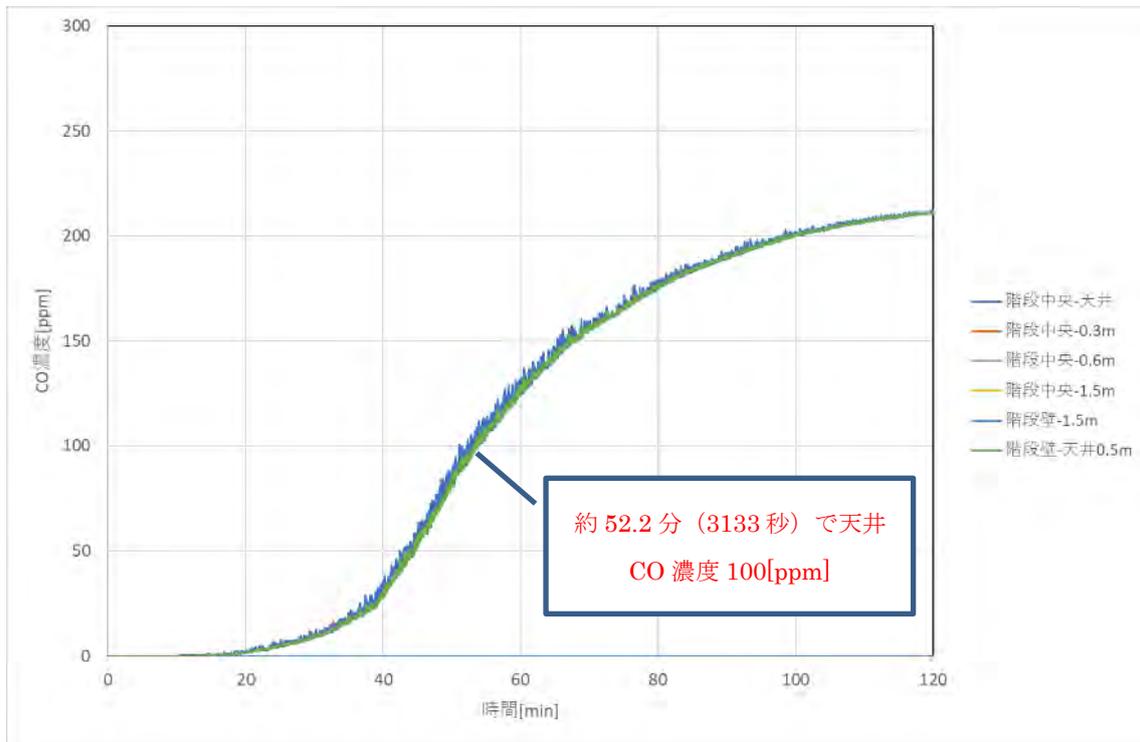


図 5-172 階段における CO 濃度経時変化

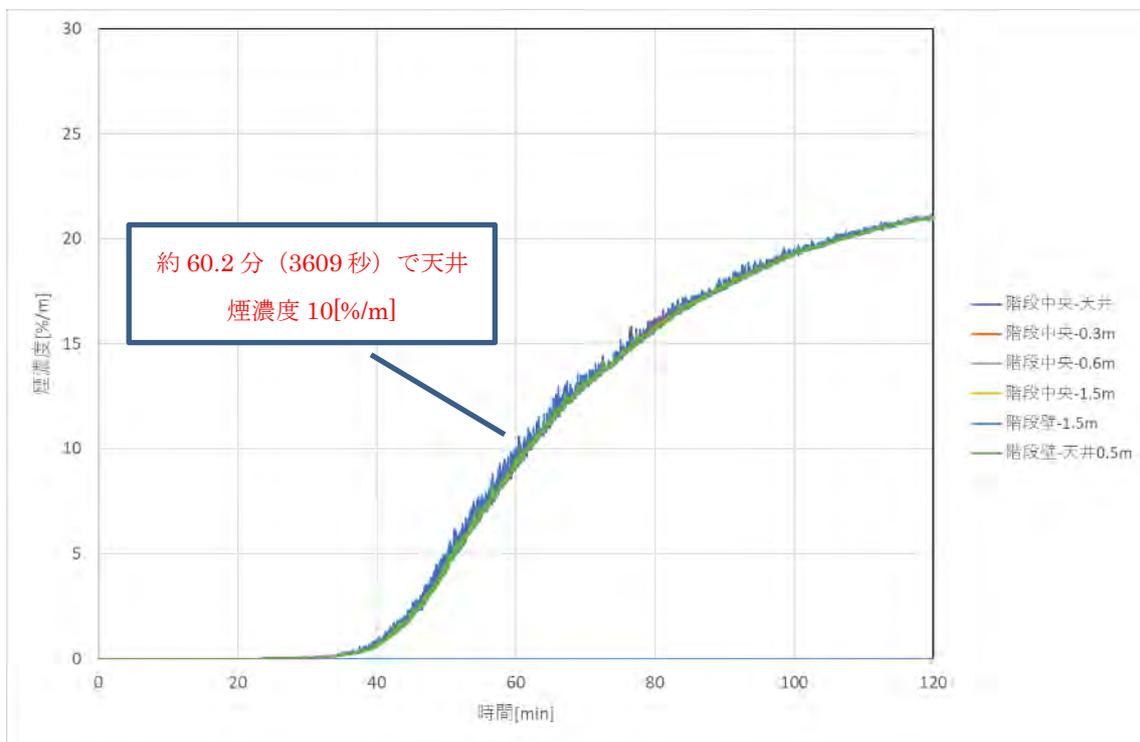


図 5-173 階段における煙濃度経時変化

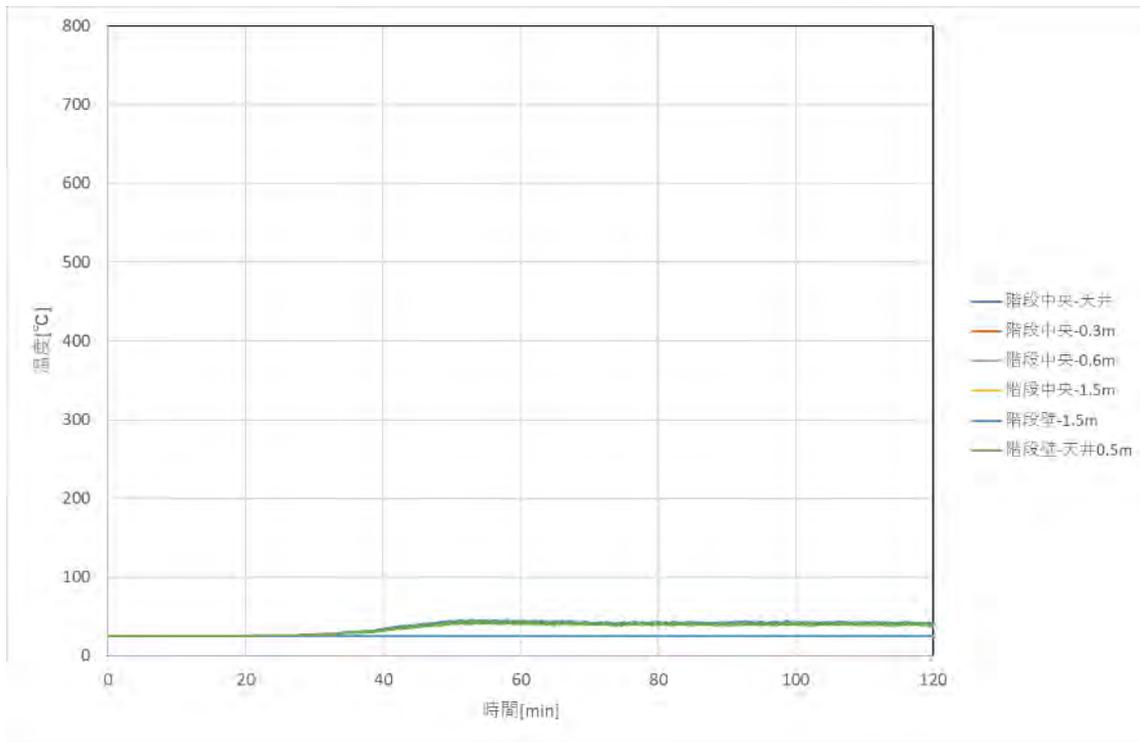


図 5-174 書斎における温度経時変化

## 6. まとめ

住宅用火災警報器等の有用性の有無等を検証する目的で、平屋および二階建て住宅をモデルとした3次元火災シミュレーションをおこなった。

温度、一酸化炭素および煙を評価パラメータとし、測定ポイントにおける時間変化と空間的な分布の確認をおこなった。

全ケースを通して以下のような結果が確認できた。

- ・ 燻焼解析の特徴として、まず熱分解によるCOの発生が先に起こり、続いて温度上昇とともに煙の発生が起こる現象が本シミュレーションで確認できた。
- ・ 平屋のLDKでの計算結果より、通気性が比較的小さい居室ではCOおよび煙濃度の上昇が顕著であり、容積は小さいが通気性のよい寝室よりCO、煙が溜まりやすい傾向がある。
- ・ 火災元の居室に次いで、扉を介して隣接している部屋の他に、廊下、階段の空間はCO、煙が拡散しやすいために濃度も上がりやすい傾向がある。