

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：82505

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04648

研究課題名（和文）シミュレーションを用いた火災時における施設内の一酸化炭素濃度推計に関する研究

研究課題名（英文）Estimation of carbon monoxide concentration in the facility during the fire using simulation

研究代表者

本間 正勝（Honma, Masakatsu）

科学警察研究所・法科学第二部・室長

研究者番号：90356220

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：住宅火災に伴う一酸化炭素中毒死の割合が増加しているため、一酸化炭素中毒により死に至った経緯を明らかにする必要性が高まっているが、鎮火後の現場調査時には発生した一酸化炭素が残存していないため検証が困難であった。そこで本研究では、火災シミュレーションを用いた新たな一酸化炭素生成モデル手法を提案することで、燃焼実験による実測値と比べ良好な再現性で火災による建物内の一酸化炭素濃度が推計できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した新たな一酸化炭素生成モデルを用いて火災シミュレーションを行うことにより、これまでは現場調査で解明できなかった建物内の一酸化炭素の発生状況を確認することが出来るようになった。これにより、現場調査では検証が困難であった建物内での火災と一酸化炭素中毒死との因果関係を明らかにすることが可能となった。

研究成果の概要（英文）：As the rate of deaths from carbon monoxide poisoning in residential fires is increasing, there is a growing need to clarify the circumstances that lead to death from carbon monoxide poisoning. However, verification was difficult because the carbon monoxide that was generated is no longer present at the time of on-site investigation after the fire is extinguished. In this study, we proposed a new carbon monoxide generation model method using fire simulation, which made it possible to estimate the carbon monoxide concentration in buildings caused by fire with good reproducibility compared to actual measurements from fire experiments.

研究分野：安全工学

キーワード：火災 シミュレーション 一酸化炭素

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年は、建物施設の防耐火性能の向上、法医学の一酸化炭素中毒死の判定技術の向上、火災知覚・避難行動能力が低下した高齢者の増加などにより、火災に伴う一酸化炭素中毒死の割合が増加してきている。(消防庁の統計によると、平成27年中の全国の火災による死因は、「一酸化炭素中毒・窒息」が501人(32.1%)で第1位、次いでかつては第1位であった「火傷」が487人(31.2%)で第2位となっている。)

そのため、一酸化炭素中毒により死に至った経緯を明らかにする必要性が高まっているが、一酸化炭素は無色・無臭のため、一般にその存在を確認・把握するのは困難である。加えて、火災鎮火後の現場調査時には、火災時に大量に発生した一酸化炭素は現場には残存しておらず、現場での確認が困難なものとなっている。

そこで、火災シミュレーションを用いた一酸化炭素濃度の推計に期待が寄せられており、国内外で火災シミュレーションFDSを用いたこの種の研究が散見されてきているが、先ずもって、これらの多くはシミュレーションのみの検討に留まり、現実との比較検証は行われていない。また、筆者らの事前の取り組みでは、FDSを用いた一酸化炭素濃度の推計値と実験による実測値の乖離は大きく、実用に耐えうる結果が得られない課題が残っている。

2. 研究の目的

本研究では、実大規模の燃焼実験との比較検証を行い、火災時の一酸化炭素生成モデルを新たに開発し、火災シミュレーションに導入することで、実用に資する建物内の一酸化炭素濃度の推計手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 燃焼実験

燃焼実験は図1に示すように、幅40cm×奥行30cm×高さ60cmのケイ酸カルシウム板造の箱形容器に開口部を設け、火源としてLPガス燃料の流量を制御するガス燃焼装置を容器内に設置した。これら開口部の大きさやガス流量を変えることにより、換気状況や火源の発熱速度を変えた燃焼実験を行った。

燃焼実験中の一酸化炭素の生成ガス濃度は箱形容器の天井面から5cmの下方位置において、ガス濃度計(HORIBA PG-330)を用いて測定した。容器の開口部は幅20cmとし、高さ h は、10、20、30cmの3パターン、ガス燃焼装置の発熱速度は、7.1、14.1、21.2、28.3kW(ガス流量5、10、15、20L/分に相当)の4パターン、これらを組み合わせた合計12パターンの燃焼実験を実施した。

(2) 火災シミュレーション

本研究で用いた火災シミュレーションは、米国NIST及びフィンランドVTT開発のFDS(Fire Dynamics Simulator) Ver. 6.6.0を用いた。図2に示すように、解析領域は箱形容器、ガス燃焼装置の燃焼容器及びその周辺部を含む幅44cm×奥行44cm×高さ80cmとした。セルサイズは1辺1cmの立方体とし、シミュレーションの再現時間は300秒とした。また、シミュレーション内において一酸化炭素濃度の計測デバイスを燃焼実験時におけるガス濃度計の測定位置と同位置に設置した。

燃焼実験との比較は以下に示す3つの異なるモデルによるシミュレーションで行った。

- ①既存モデルのシミュレーション
- ②既存モデルの応用手法によるシミュレーション
- ③新たな二段階の反応となる一酸化炭素生成モデルを導入したシミュレーション

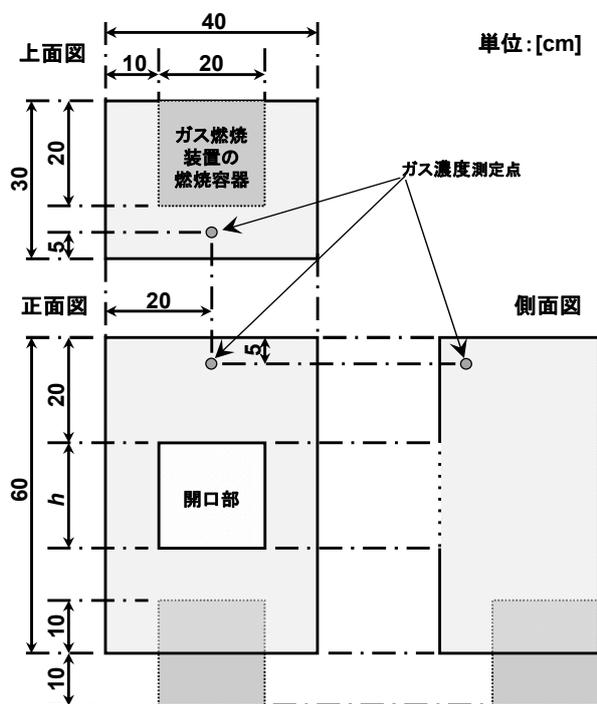


図1 燃焼実験の配置状況

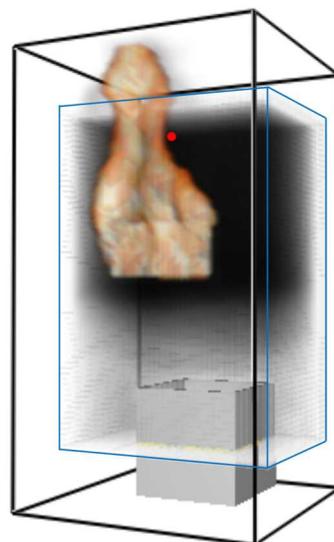


図2 火災シミュレーション

4. 研究成果

(1) 燃焼実験の結果

燃焼実験は各パターンにおいて点火から 5 分間燃焼を継続して実施した。箱形容器の開口高さ及び火源用ガス燃焼装置の発熱速度別の酸化炭素濃度(点火後 1~5 分間平均値)の測定結果を図 3 に示す。この図より、箱形容器の開口高さの値が小さいほど、火源用ガス燃焼装置の発熱速度値が大きいほど、燃焼時の酸化炭素濃度は高くなる傾向にあることが明らかになった。また、開口高さを一定とした場合、発熱速度と酸化炭素濃度の関係は必ずしも線形関係とはならないことも明らかとなった。実験時の燃焼形態を、発熱速度 28.3kW 時にて比較すると、開口高さ 10cm の場合は主に開口部付近で燃焼が継続する換気支配型の燃焼、開口高さ 30cm の場合は主に容器内で燃焼が継続する燃料支配型の燃焼、開口高さ 20cm の場合は断続的な換気支配型の燃焼を示した。よって、これら燃焼形態の違いが、実験で計測された酸化炭素濃度に影響していると考えられた。

(2) 火災シミュレーションの再現結果

①既存モデルのシミュレーション

酸化炭素の収率をすべてのパターンにおいて一定値($y_{CO}=0.3$)に設定してシミュレーションを実行した結果を図 4 に示す。この図より、シミュレーション再現された酸化炭素濃度は、開口高さや発熱速度により若干変化はみられるものの、これらの変数値の違いによる変化は小さく、いずれのパターンにおいても比較的近い値の酸化炭素濃度がシミュレーション再現され、図 3 の燃焼実験による測定結果と比べ、大きく乖離する結果となった。

②既存モデルの応用手法によるシミュレーション

上記①の結果を受けて、燃焼実験時の燃焼形態を参考に、表 1 に示す「継続的な燃料支配型燃焼」、「断続的な換気支配型燃焼」、「継続的な換気支配型燃焼」の 3 タイプに分類し、これら 3 タイプの燃焼形態別に異なる酸化炭素の収率($y_{CO}=0.05, 0.3, 0.6$)を設定してシミュレーション再現した結果を図 5 に示す。この図 5 では細部にて若干実験値とは乖離がみられる箇所もあるが、図 4 と比較しても概ね図 3 の実験値に近い酸化炭素濃度がシミュレーション再現される結果となった。

さらに、図 5 において若干実験値と乖離がみられる箇所について、トライアル・アンド・エラー法により、酸化炭素の収率を変更設定(表 2)し、シミュレーション再現した結果を図 6 に示す。これにより、図 6 では図 3 の実験値とほぼ同じ酸化炭素濃度がシミュレーション再現される結果を得た。

③新たな二段階の反応となる酸化炭素生成モデルを導入したシミュレーション

上記②既存モデルの応用手法によるシミュレ

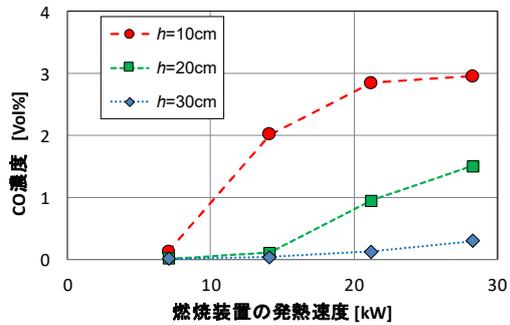


図 3 燃焼実験による一酸化炭素濃度測定結果

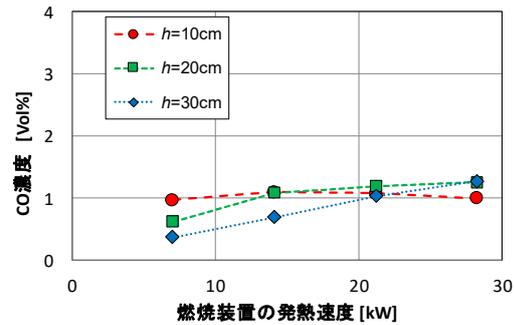


図 4 シミュレーションによる一酸化炭素濃度の再現結果 ($y_{CO}=0.3$)

表 1 燃焼実験における燃焼形態とシミュレーションにおける一酸化炭素の収率設定

開口高さ [cm]	発熱速度 [kW]			
	7.1	14.1	21.2	28.3
10	0.05	0.6	0.6	0.6
20	0.05	0.05	0.3	0.3
30	0.05	0.05	0.05	0.05

 : 継続的な燃料支配型燃焼
 : 断続的な換気支配型燃焼
 : 継続的な換気支配型燃焼

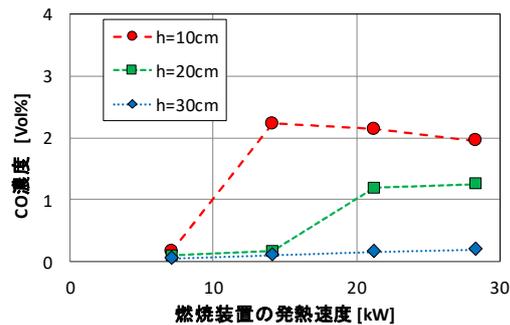


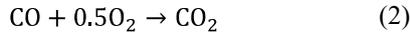
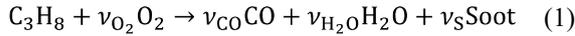
図 5 シミュレーションによる一酸化炭素濃度の再現結果 ($y_{CO}=0.05, 0.3, 0.6$)

表 2 燃焼実験における燃焼形態とシミュレーションにおける一酸化炭素の収率設定

開口高さ [cm]	発熱速度 [kW]			
	7.1	14.1	21.2	28.3
10	0.05	0.55	0.8	0.9
20	0.05	0.05	0.3	0.35
30	0.05	0.05	0.05	0.05

 : 継続的な燃料支配型燃焼
 : 断続的な換気支配型燃焼
 : 継続的な換気支配型燃焼

ーションでは、予め燃焼形態が予想できない場合に、現実の一酸化炭素濃度との乖離が懸念される問題が残る。そこで、以下に示す二段階となる一酸化炭素生成モデルを新たに導入した結果、図7に示すシミュレーション結果となった。



この図7は、既存モデルのシミュレーション結果の図4と比較して図3の燃焼実験による一酸化炭素濃度を良好に再現していた。

以上をまとめると、換気状況や火源の発熱速度を変えた燃焼実験の結果、燃料支配型や換気支配型の燃焼形態の違いが確認された。

上記の燃焼形態の違いが一酸化炭素生成に影響していることが想定され、火災シミュレーションにおいて燃焼形態を考慮した異なる一酸化炭素の収率を設定する既存モデルの応用手法にて、実測値に近い一酸化炭素濃度が再現される結果を得た。

また、新たな二段階の反応となる一酸化炭素生成モデルを導入したシミュレーションを行った結果、良好な再現性で一酸化炭素濃度が推計されるモデルが開発された。

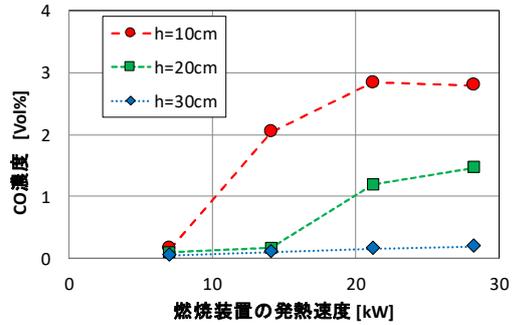


図6 シミュレーションによる一酸化炭素濃度の再現結果 ($y_{CO}=0.05, 0.3, 0.35, 0.55, 0.8, 0.9$)

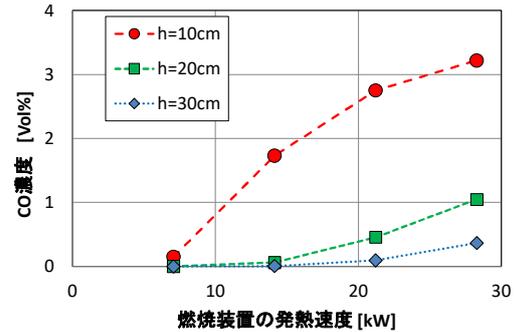


図7 新たな二段階の反応となる一酸化炭素生成モデルを導入したシミュレーションによる一酸化炭素濃度の再現結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 恒吉宏亮, 平田京一郎, 鈴木健一郎, 高橋志宗, 飛田祐志, 上田篤, 渡邊慎太郎, 市川俊和, 仲川政宏, 萩原隆男, 本間正勝, 岡本勝弘	4. 巻 Vol. 27, No. 2
2. 論文標題 ソリン放火を模擬した台所燃焼シミュレーションおよび焼損痕跡評価のための立体的可視化モデルの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本法科学技術学会誌	6. 最初と最後の頁 137-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3408/jafst.827	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本間正勝, 山崎宏樹, 藤原英之, 市川俊和, 岩下友安, 岡本勝弘, 井元大輔, 櫻井航, 浅野雅人
2. 発表標題 天ぷら油火災の初期火源モデル構築並びにそれを用いた建物火災シミュレーション
3. 学会等名 2023年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本間正勝, 小波津哲也, 中村裕之, 平田達也, 萩原正洋, 加納威, 塚本博, 宮本知昌, 山崎宏樹, 柏木伸之, 藤原英之, 岩下友安, 市川俊和, 岡本勝弘, 井元大輔
2. 発表標題 石油ストーブ溢油火災に起因した建物火災シミュレーション
3. 学会等名 日本法科学技術学会第29回学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎宏樹, 板宮裕実, 松岡裕典, 佐伯良治, 市川俊和, 本間正勝, 松岡伊織, 笠松正昭, 岡本勝弘, 柏木伸之, 岩下友安, 藤原英之
2. 発表標題 石油ストーブ溢油火災を想定した実大建物火災実験(その1) - FDS火災シミュレーション解析による建物焼拡大の解明と建物の焼損評価 -
3. 学会等名 第56回安全工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本間正勝, 山崎宏樹, 藤本純平, 柏木伸之, 市川俊和, 岡本勝弘, 平林学人, 井元大輔, 横田亮
2. 発表標題 床面に散布されたガソリン着火による初期火源モデルの構築
3. 学会等名 2022年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本間正勝, 山崎宏樹, 柏木伸之, 藤本純平, 市川俊和, 岡本勝弘, 平林学人, 井元大輔, 横田亮
2. 発表標題 ガソリン誤給油による石油ファンヒーター火災の初期火源モデル構築
3. 学会等名 第54回安全工学研究発表会講演予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間正勝, 萩原隆男, 仲川政宏, 市川俊和, 岡本勝弘, 羽合佳範, 平林学人, 井元大輔, 横田亮
2. 発表標題 箱形容器を用いた燃焼時の一酸化炭素生成状況
3. 学会等名 日本法科学技術学会第25回学術集会講演要旨集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋志宗, 平田京一郎, 鈴木健一郎, 飛田祐志, 上田篤, 恒吉宏亮, 渡邊慎太郎, 市川俊和, 仲川政宏, 萩原隆男, 本間正勝, 岡本勝弘
2. 発表標題 ガソリン放火により発生する有毒ガス濃度の検討
3. 学会等名 日本法科学技術学会第25回学術集会講演要旨集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間正勝, 萩原隆男, 仲川政宏, 市川俊和, 岡本勝弘, 羽合佳範, 平林学人, 井元大輔, 横田亮
2. 発表標題 箱形容器を用いた燃烧実験時の一酸化炭素生成状況とシミュレーション再現
3. 学会等名 第52回安全工学研究発表会講演予稿集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------