

# 一酸化炭素中毒事故に関する検証（第2報）

## 寝たばこ火災の無炎燃焼による一酸化炭素の流動拡散

飯田 明彦\*, 金子 公平\*\*, 町井 雄一郎\*, 田沼 宏志\*\*\*

### 概要

近年、当庁管内での火災件数及び死者数は減少傾向を示しているが、寝たばこに起因した火災による死傷者数は横這いとなっている。その原因として、就寝者が一酸化炭素中毒により避難が困難になる状況が推測される。

本検証では、寝たばこ火災で発生する一酸化炭素の居室内の流動、拡散状況、さらに人体に対する危険性を明確にすることを目的とした。その結果、寝たばこによる無炎燃焼で生じた一酸化炭素は居室内を対流拡散するとともに、煙感知式住宅用火災警報器等が火災を感知し作動するよりも早い段階で、人体に影響のある濃度に達する可能性があることがわかった。

### 1 はじめに

平成 22 年 4 月 1 日に一般住宅等に対して住宅用火災警報器（以下、「住警器」という。）の設置が義務化されてから、平成 23 年 7 月の時点で 80.6%<sup>1)</sup>まで普及し、近年では火災件数及び死者数は減少傾向を示している。このことから、住警器は住宅火災の死傷者の低減に寄与していると考えられる。この傾向は、住宅等で発生したたばこ火災のみに着目しても例外ではない。しかし、図 1 のように、寝たばこに起因した火災による死傷者数は、住警器の設置率に関係なく横這いである。この原因としては、寝たばこ火災においては、住警器が鳴動する前に一酸化炭素中毒により避難が困難になる状況が推測されるが、詳細な検証例がない。

そこで本検証は、寝たばこ火災で発生した一酸化炭素の濃度及び流動、拡散状況を測定し、それに対する人体への危険性を明確にすることを目的として実施した。

### 2 一酸化炭素の物性及び危険性

一酸化炭素は、無色、無臭、水に溶けにくく、アルカリ水溶液やエタノールに溶ける性質を有している。気体比重は 0.97、沸点-192.2℃、融点-235℃、引火点-191℃、発火点 608.9℃、爆発範囲 12.5~74.2%<sup>3)</sup>である。その毒性については、人体に対する一酸化炭素の中毒症状の程度をはかる手段として、血中一酸化炭素濃度（以下、「COHb 濃度」という。）が使われる。これは、血液中の全てのヘモグロビンの中に占める一酸化炭素と結合したヘモグロビンの割合で、一酸化炭素濃度と吸引

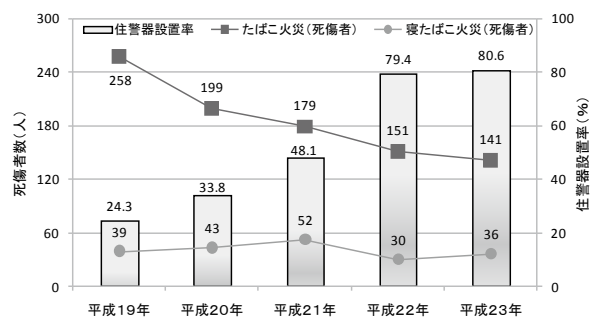


図 1 住警器の設置率とたばこ火災及び寝たばこ火災の死傷者の関係<sup>1), 2)</sup>

表 1 COHb 濃度とその症状<sup>4)</sup>

COHb 濃度 (%)	症 状
80~100	急速な死
70~80	脈拍微弱、呼吸減弱、呼吸不全そして死
60~70	間欠的けいれんを伴う昏睡、心拍呼吸衰弱
50~60	失神、呼吸数脈拍数の増加、昏睡、間欠的けいれん、チェンストークス呼吸
40~50	顔面蒼白、激しい頭痛、めまい、耳鳴、悪心、嘔吐、虚脱、失神、呼吸脈拍数増加、昏睡
30~40	強い頭痛、めまい、耳鳴、悪心、嘔気、嘔吐、脱力感、歩行困難、視覚意識もうろう、虚脱
20~30	頭痛、側頭部の脈動（ズキズキ）
10~20	前頭部の緊迫感、軽い頭痛、皮ふ血管拡張
0~10	症状現れない

\* 装備安全課、\*\* 深川消防署、\*\*\* 国分寺消防署

時間の経過に伴い増加する COHb 濃度と症状の関係は表 1 に示され、0～30%では比較的軽微な症状が、30～40%では、強い頭痛、めまい、歩行困難等の症状が現れる。続いて、40～60%では、顔面蒼白、激しい頭痛、虚脱、失神等の症状や昏睡状態を起こしうる状態となり、60～70%では、間欠的けいれんを伴う昏睡、心拍呼吸衰弱などの症状を起こしうる。さらに、70～80%の時は、呼吸減弱、呼吸不全そして死、80%以上では、急速に死に至るとされている。

### 3 実験方法

#### (1) 実験居室

##### ア 実験居室内状況

実験居室は、図 2 の幅 3.3m×奥行 3.6m×高さ 2.1m の約 6 畳に相当する広さの室内で実験を行った。

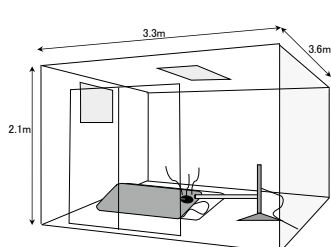


図 2 実験居室外観図



図 3 使用した寝具類の状況

##### イ 火源等

寝たばこ火災を想定し、発火源をたばこ、その着火物に寝具類を使用した。たばこの設置箇所は、実験居室の中央になるようにした。この位置に、掛け布団及び敷き布団を敷き、敷き布団上に就寝中の人物を模したマネキンを置いた。マネキン頭部の下には枕（寸法：0.43×0.63m）を敷いた。たばこは、ライターで点火した後、燃焼が安定してから、実験開始と同時に掛け布団と敷き布団の間に設置した。実験終了の判断は有炎燃焼が始まった時点とした。

##### (ア) たばこ

発火源として使用したたばこは、平成 23 年度第 4 四半期 日本国内販売数量第 1 位の銘柄とした。

##### (イ) 寝具類

実験に使用した寝具類の状況は、図 3 のとおり、掛け布団及び、カバーをかけた敷き布団である。寸法は、掛け布団 1.50×2.00m、敷き布団は 1.05×2.10m のものを使用した。いずれも、中綿・側地等の素材は、綿 100% のものとした。

#### (2) 一酸化炭素濃度の測定方法

一酸化炭素の濃度の測定は、以下のア、イに示す方法とした。

##### ア 一酸化炭素測定器による測定

実験居室内中央の火源を含む断面を中央断面とし、この断面内に一酸化炭素濃度を測定するための測定点を

32 箇所設定した（図 4）。各測定箇所の一酸化炭素濃度を測定するために、1000ppm の濃度まで測定できる一酸

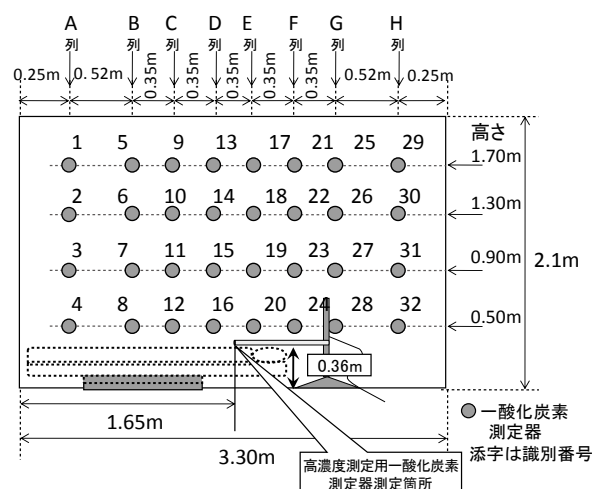


図 4 一酸化炭素測定器の配置（添字は識別番号）と高濃度測定用一酸化炭素測定器の測定箇所



図 5 一酸化炭素測定器



図 6 高濃度測定用一酸化炭素測定器

化炭素測定器を使用した。一酸化炭素測定器には、Lascar Electronics Inc. 製、データロガー-EL-USB を使用した（図 5）。

##### イ 高濃度測定用一酸化炭素測定器による測定

火源近くの高濃度の一酸化炭素濃度を測定するために、就寝中の人物の枕元相当の位置（実験居室の中央の火源上部、高さ 0.36m）で、100,000ppm まで測定できる高濃度測定用一酸化炭素測定器を使用し、測定した（図 6）。また、同時に酸素濃度も測定した。高濃度測定用一酸化炭素測定器は、富士電機システムズ株式会社製、赤外線ガス分析計 ZKJ-3 を使用した。

#### (3) 各種警報器の作動時間の計測

天井中央と壁体上部に、表 2 に示す仕様の煙感知式住宅用火災警報器（以下、「煙感知式住警器」という。）と、一酸化炭素感知式ガス漏れ警報器（以下、「一酸化炭素警報器」という。）を、それぞれ設置した（図 7）。一酸化炭素警報器と煙感知式住警器の作動時間を記録し、人体への危険性について一酸化炭素濃度の測定値との関連を検討するものとした。

上記の警報器の作動（鳴動）時間は、各警報器の外部出力信号の発信時間とした。

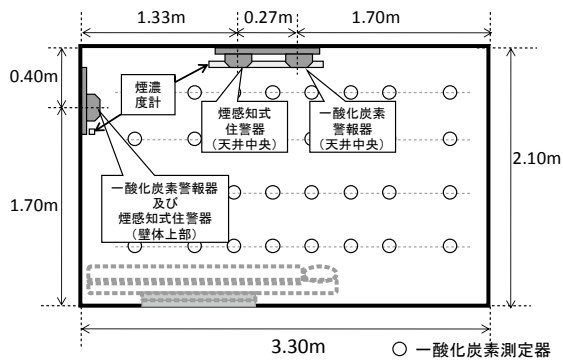


図7 煙感知式住警器、一酸化炭素警報器及び煙濃度計の設置位置

表2 煙感知式住警器及び一酸化炭素警報器の仕様

警報器種別	内 容	
煙感知式住警器	感知方式	光電式
	感知濃度	減光率 15%の濃度の煙を含む、風速 0.2~0.4m/sの気流において 60秒以内で鳴動する。
	外部出力信号	移報接点式 接点容量 DC30V以下、0.5A a接点(無電圧、無極性)
一酸化炭素警報器	感知方式	SnO <sub>2</sub> 半導体方式
	感知濃度	低濃度: 25~300ppmの時、応答速度 10分以内 高濃度: 550ppm以下の時、応答速度 5分以内
	外部出力信号	移報接点式 接点容量 DC30V以下、0.5A a接点、ON無電圧、無極性

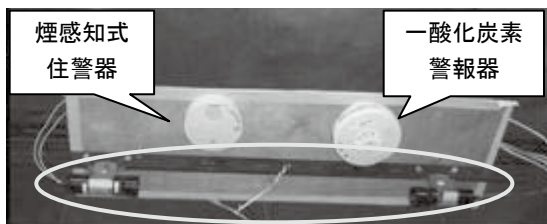


図8 煙感知式住警器、一酸化炭素警報器及び煙濃度計の設定状況  
楕円内: 煙濃度計

(4) 減光率

減光率は煙濃度計を用いて測定した(図8)。受光部—光源間の距離は0.50mとし、その出力電圧を記録した。

4 実験結果及び考察

実験居室の天井中央、壁体上部に設置した各種警報器は、表3に示すとおり順に作動した。各種警報器の作動時間とあわせて、各測定項目について結果を示し、考察する。なお、実験の終了は、有炎燃焼となった実験開始から109分後とした。

表3 煙感知式住警器及び一酸化炭素警報器の作動時間

設置箇所	警報器種別	点火からの作動時間	作動順位
天井中央	煙感知式住警器	58分16秒	3
	一酸化炭素警報器	54分45秒	1
壁体上部	煙感知式住警器	61分13秒	4
	一酸化炭素警報器	54分46秒	2

(1) 実験居室の中央断面における一酸化炭素濃度

実験居室の中央断面における一酸化炭素濃度の測定に使用した一酸化炭素測定器の識別番号は、図4のとおりである。以下に記す実験結果においては、この番号で表記するものとする。また、縦方向にグループ化して、AからHまで列名を付した。

A 測定位置別の一酸化炭素濃度変化

全体的に、いずれの測定箇所においても実験開始から終了まで濃度が上昇し、実験時間の経過とともに濃度の上昇率が高くなり、下に凸の形状のグラフを示した(図9)。さらに、天井付近から床付近までの上下で濃度が異なり、高い位置ほど高濃度となった。各測定箇所について、測定位置の列ごとに以下のような濃度変化を示した。

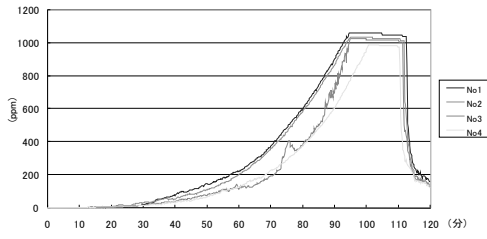
A列では、No.1、No.2は、実験終了までほぼ同じ割合で、緩やかに濃度が上昇した。No.3、No.4は85分までほぼ同じ上昇傾向を示した。その後、No.3は急上昇し、90分にはNo.4と300ppm以上の差をつけ、No.2とほぼ同濃度の1000ppmに達した。

B列では、No.5、No.6は36分までは、ほぼ同じ濃度で推移した。それ以降はNo.5が最大80~100ppm程度の差の高い濃度で上昇したが、約92分後にはNo.5、No.6はほぼ同時に1000ppmに達した。No.7、No.8は、60分までは、ほぼ同じ濃度で上昇し、それ以降も数十ppmの差は生じるが、いずれも約100分後にはほぼ同時に1000ppmに達した。

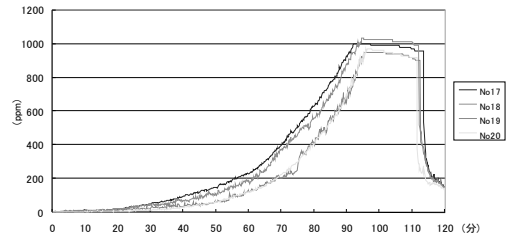
C列では、実験開始から約20分以降、濃度差が生じ、No.9、10、11、12の順に濃度が高くなっていった。40分以降は、No.9とNo.10の濃度差は約50ppmとなり、ほぼこの濃度差で、どちらも同じ上昇傾向を示した。No.10とNo.11、No.12の差は30分程度で生じ始め、最大で約150ppmの濃度差となった。No.11、No.12は、90分までほぼ同じ濃度となり、No.9、No.10より低い濃度であった。約800ppmに達した以降はNo.11の方が高い濃度で上昇し、いずれも95分以降に約1000ppmに達した。

D列では、高い方からNo.13、14、15、16の順で濃度変化した。No.13は、No.14、No.15に対して約20~30ppm程度高い濃度で上昇していたが、65分以降はさらに濃度差が生じ、87分後に1000ppm近くの濃度に達した。約67分までNo.14、No.15は、ほぼ同じ濃度を示しながら上昇したが、その後、No.15の濃度上昇が鈍化し、No.14に対し100ppm程度低い濃度で上昇した。No.16は、30分以降で他に比べて、上昇率が低くなった。そして、70分後に200ppmに達し、他の測定箇所よりも、150~250ppmも低い結果となった。その後、およそ95分で最大値に達した。

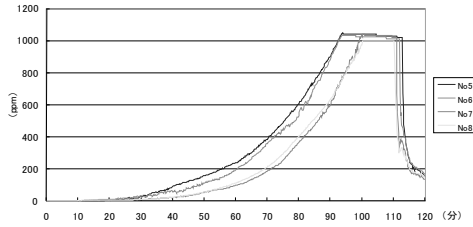
E列では、No.17、No.18は、ほぼ同じ上昇傾向を示したが、50分以降はNo.17がNo.18よりも約40~50ppm高い濃度で上昇し、約90分で最大値、約1000ppmに達



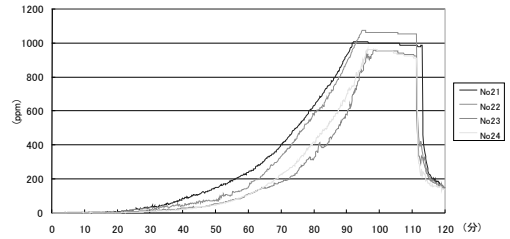
A 列 (No. 1~No. 4)



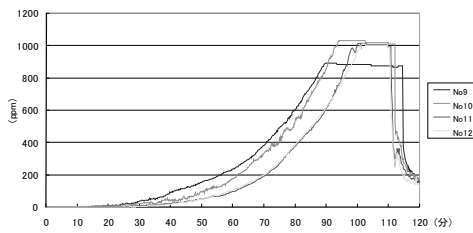
E 列 (No. 17~No. 20)



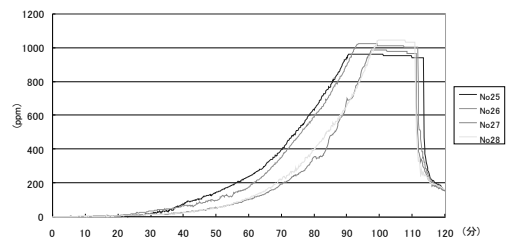
B 列 (No. 5~No. 8)



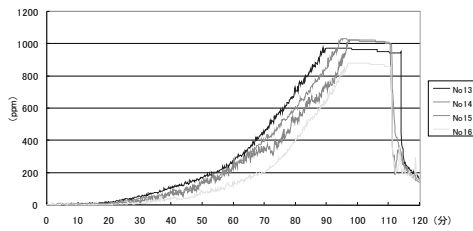
F 列 (No. 21~No. 24)



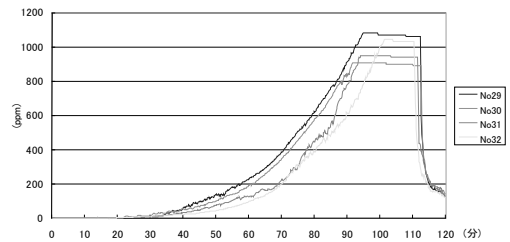
C 列 (No. 9~No. 12)



G 列 (No. 25~No. 28)

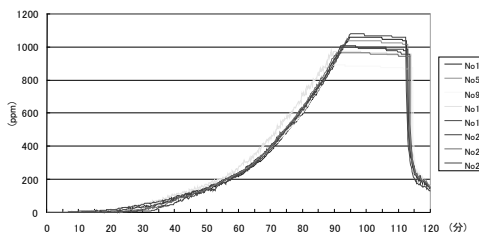


D 列 (No. 13~No. 16)

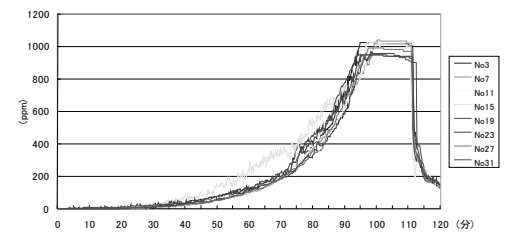


H 列 (No. 29~No. 32)

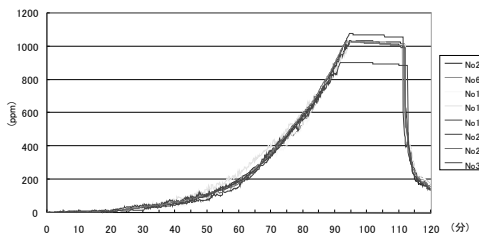
図9 中央断面に配置した一酸化炭素測定器の垂直方向の濃度変化



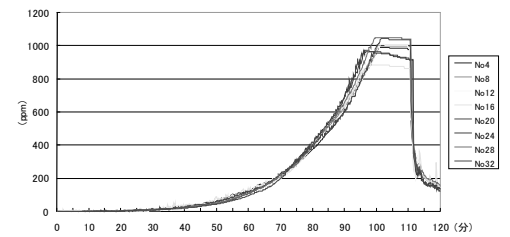
No. 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29 (高さ1.70m)



No. 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31 (高さ0.90m)



No. 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30 (高さ1.30m)



No. 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 (高さ0.50m)

図10 中央断面に配置した一酸化炭素測定器による高さ別のCO2濃度変化

した。No. 19 と No. 20 は、No. 17、No. 18 よりも低濃度だが、ほぼ同じ割合で上昇した。No. 19、No. 20 は、70 分以降で No. 17 最大 200~180ppm の差が生じ、95 分以降で最大値に達した。

F 列の No. 21、No. 22 は、35 分まで、ほぼ同じ濃度で上昇した。それ以降は No. 21 が No. 22 よりも 30~80ppm の差を生じながら上昇するが、90 分後には両者とも、約 1000ppm に達した。No. 23、No. 24 は、No. 21、No. 22 より低い濃度で変化し、65 分まではほぼ同じ濃度変化を示した。それ以降は最大 100ppm の濃度差を示し、No. 24 の方が高濃度になるものの、95 分後に両者とも約 950ppm に達した。

G 列の No. 25、No. 26 は、40 分まで、ほぼ同じ濃度で上昇した。それ以降は No. 25 が No. 26 よりも 30~50ppm 程度の高い濃度差を生じながら上昇するが、それぞれ 90 分、95 分後には、約 1000ppm の最大値に達した。No. 27、No. 28 は、65 分まではほぼ同じ濃度変化を示し、No. 25、No. 26 より低い結果となった。65 分から 90 分までは最大 100ppm の濃度差で、No. 28 の方が高濃度になるものの、97 分以降に両者とも約 1000ppm の最大値に達した。

H 列の No. 29、No. 30 は、40 分までは、ほぼ同じ濃度で緩やかに上昇した。それ以降は No. 29 の方が数十 ppm 高い濃度で上昇し、約 90 分で最高値に達した。No. 31、No. 32 は、No. 29、No. 30 より低い濃度で、40 分までほぼ同じ濃度で上昇を示した。No. 31 の濃度は、約 70 分で、No. 32 とほぼ同じ濃度になるが、その後、再度上昇し、約 95 分には No. 32 と 200ppm 以上の差を生じ、最大値に達した。No. 32 は約 100 分後に最大値 1000ppm に達した。

#### イ 測定高さ別の一酸化炭素濃度変化

前アで示した結果を、天井側から、高さ 1.70m、1.30m、0.90m、0.50m で、それぞれの高さ別の濃度変化を図 10 に示した。

全体として、それぞれの高さにおいて、一酸化炭素濃度はほぼ同じ濃度で上昇し、概ね 90 分ほどで測定限界に達していた。また、天井付近、すなわち高いところから高濃度となり、次第に低い位置でも濃度が上昇していくことがわかる。しかし、実験居室中央の測定箇所では、周囲と比べてやや高い濃度になる傾向があり、高さ 0.90m、0.50m の下位 2 か所の各測定値の差異が大きく、最大で 200ppm ほどになることがある。特に高さ 0.90m の No. 15 は、他と比べて差異が大きい。これは、測定点が火源直近の D 列にあって、一酸化炭素濃度の高い気流が拡散することなく上昇し、測定器を通過することが原因と考えられる。

#### (2) 就寝者の枕元相当の位置の一酸化炭素濃度等

布団上の就寝者の枕元相当の位置における高濃度測定用一酸化炭素測定器により測定した結果を、以下に示す。

#### ア 一酸化炭素濃度

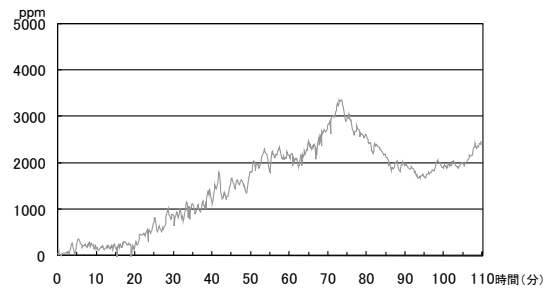


図 11 就寝者の枕元付近相当の位置の一酸化炭素濃度の変化（実験居室内中央、高さ 0.36m）

枕元相当の位置の一酸化炭素濃度は図 11 のとおりとなり、枕元では、約 35 分で 1000ppm に達した。さらにその後も上昇し、74 分で最大値約 3400ppm となった。その後、95 分までの間、約 1600ppm に低下した後、また上昇に転じた。

#### イ 酸素濃度

酸素濃度は、図 12 に示されるとおり、実験開始時の 20.9%から緩やかな減少を続け、約 75 分後の約 20%を最小値とした。労働安全衛生法規で連続換気が必要とされる安全限界の数値 18%より高濃度のため、この濃度では人体への影響は、ほとんどないと考えられる。

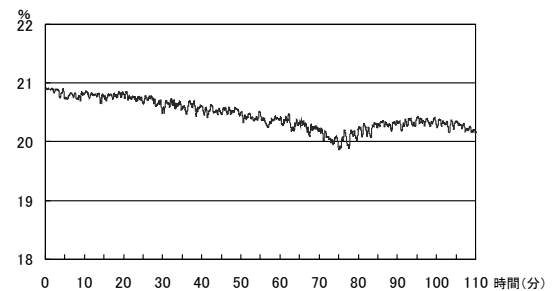


図 12 就寝者の枕元相当の位置の酸素濃度の変化（実験居室内中央、高さ 0.36m）

#### ウ 一酸化炭素濃度と COHb 濃度

表 1 に示されている一酸化炭素濃度に対する中毒の症状は、所定の濃度の一酸化炭素を所定の時間吸引した結果であり、一酸化炭素濃度の測定結果は直接適用できない。そこで、辻阪ほか（1980）の計算式<sup>4)</sup>に基づき、濃度変化する一酸化炭素、酸素とそれらを継続的に吸引した時間から COHb 濃度を算出し、本検証における人体への危険性を評価した（図 13）。なお、図 10、高さ 1.70m のグラフに示すとおり、天井付近の一酸化炭素濃度は、ほぼ同じ値で推移していることから、以降、本稿では、No. 13 の一酸化炭素測定器の示す数値を、天井付近の一酸化炭素濃度の代表値として議論する。

就寝中の人物を想定した場合、枕元相当の位置での、一酸化炭素濃度とそれに対応する COHb 濃度は、図 13 のとおりである。実験開始から 29 分後に、人体への危険性が生じる COHb 濃度が 30%（一酸化炭素濃度、約



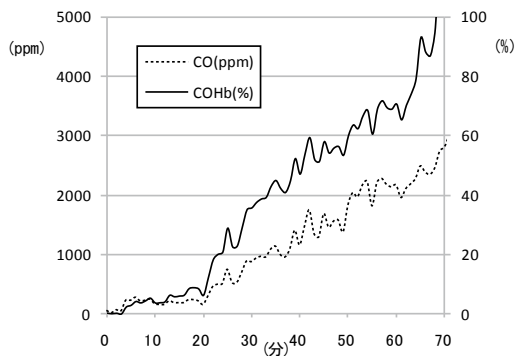


図 13 枕元相当の位置の一酸化炭素濃度と COHb 濃度

900ppm) となった。このときの火源直上の天井付近の一酸化炭素濃度は、45ppm となっており、一酸化炭素警報器は作動していない。

その後、一酸化炭素警報器が作動したのは、天井中央で 54 分 45 秒、壁体上部で 54 分 46 秒となっており、同時点での枕元相当の位置の一酸化炭素濃度は約 2000ppm まで達し、COHb 濃度で 60% をこえていた。このときの天井付近の一酸化炭素濃度は 199ppm であったため、一酸化炭素警報器は、仕様の範囲で作動したと考えられる。

また、煙感知式住警器の作動時間は、天井中央で 58 分 16 秒、壁体上部で 61 分 13 秒となっており、このときの枕元相当の位置の一酸化炭素濃度は約 2000ppm、COHb 濃度は 65% 以上となっていた。

よって、この濃度では、表 1 より「間欠的けいれんを伴う昏睡、心拍呼吸衰弱」の症状を生じうる数値となっており、各種警報器の作動時には避難不可能な状態になっている可能性がある。

このことから、本検証における 29 分後の天井付近の一酸化炭素濃度 (45ppm) 以下のうちに火災や一酸化炭素の発生を認識することができれば、就寝中の人物が安全に避難できる可能性が高くなると考えられる。

### (3) 減光率

図 14 に示すとおり、実験居室内の天井中央と壁体上部に煙濃度計を設置し、減光率を得た。

天井中央、壁体上部のいずれの減光率も、実験開始か

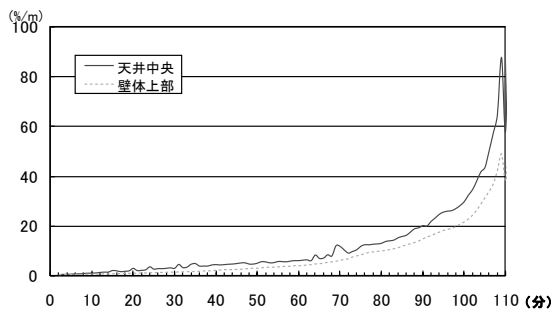


図 14 減光率の変化

ら緩やかに上昇した。初期の段階ですでに天井中央より壁体上部の方の減光率が低く、実験終了までその傾向が続いた。天井、壁体の減光率が約 15% に達したのは、それぞれ約 84 分、90 分であった。100 分を経過したあたりから、急激な上昇を示し、実験終了時の 109 分後には、それぞれ最大約 90%、50% の値に達した。

煙感知式住警器は、減光率が 15% の濃度の煙を含む 0 ~ 60 秒以内での作動を仕様 (表 2) としているが、減光率が 15% に達した時間は、天井中央で約 84 分、壁体上部で約 90 分となった。

なお、煙感知式住警器の作動時間は、天井中央 58 分 16 秒、壁体上部 61 分 13 秒となっており、この段階での減光率は、いずれも 10% 未満であった。本検証で用いた煙感知式住警器は、仕様の範囲内で、早い段階で作動したことになる。

### (4) 実験居室内の状況変化と一酸化炭素濃度変化

ここでは、実験居室内の状況の経時変化を実画像で、濃淡による変化を示した一酸化炭素分布図を用いて示す (図 15、16)。

#### ア 画像上の変化

図 15 のように、実験開始から 0 ~ 30 分では、煙の発生等の変化が緩慢であり、画像では視覚的な変化は特に認められない。画像上では明瞭ではないが、白煙の上昇を確認することができたのは実験開始から 25 分 58 秒であった。居室上部で煙の濃度が確認できるようになったのは 40 分後であった。その後、次第に白煙が充満していくのが確認できるようになり、最終的に約 109 分で有炎燃焼に移行した。

#### イ 一酸化炭素濃度の分布

図 16 に示すとおり、40 分までは一酸化炭素濃度の分布に顕著な変化は認められないが、それ以降は居室中央の一酸化炭素濃度が周囲より高く、床付近でも高くなっている。50 ~ 60 分で、実験居室上部の一酸化炭素濃度上昇が、より顕著になった。60 分以降で、両側の壁体付近下部にも一酸化炭素の濃度上昇が認められた。80 分 ~ 90 分にかけて、居室全体の一酸化炭素濃度は急速に上昇しているが、100 分までは高さ 1.70m、1.30m の位置が、高さ 0.90m、0.50m の位置に対して高い濃度となり、上下二層に分布した状態を維持している。100 分以降では、居室全体が測定の上限に近いかそれ以上を示し、これまでの二層状の濃度分布を示さなくなった。

また、全体的に実験居室中心軸の一酸化炭素測定箇所 D 列 (No. 5 ~ 8) の一酸化炭素濃度は周囲に比べて高濃度で、両側の壁体付近 (No. 3、No. 31) も周囲の測定箇所比べて高濃度になる傾向があった。

このことから、火源から発生した一酸化炭素を含む煙 (気流) が居室中心に沿って上昇し、天井中心付近から周囲に拡散し、滞留することで (図 17)、実験居室天井側 (上層) の一酸化炭素濃度が高くなったものと考えられる。また、天井に沿って壁体方向へ拡散した気流は壁

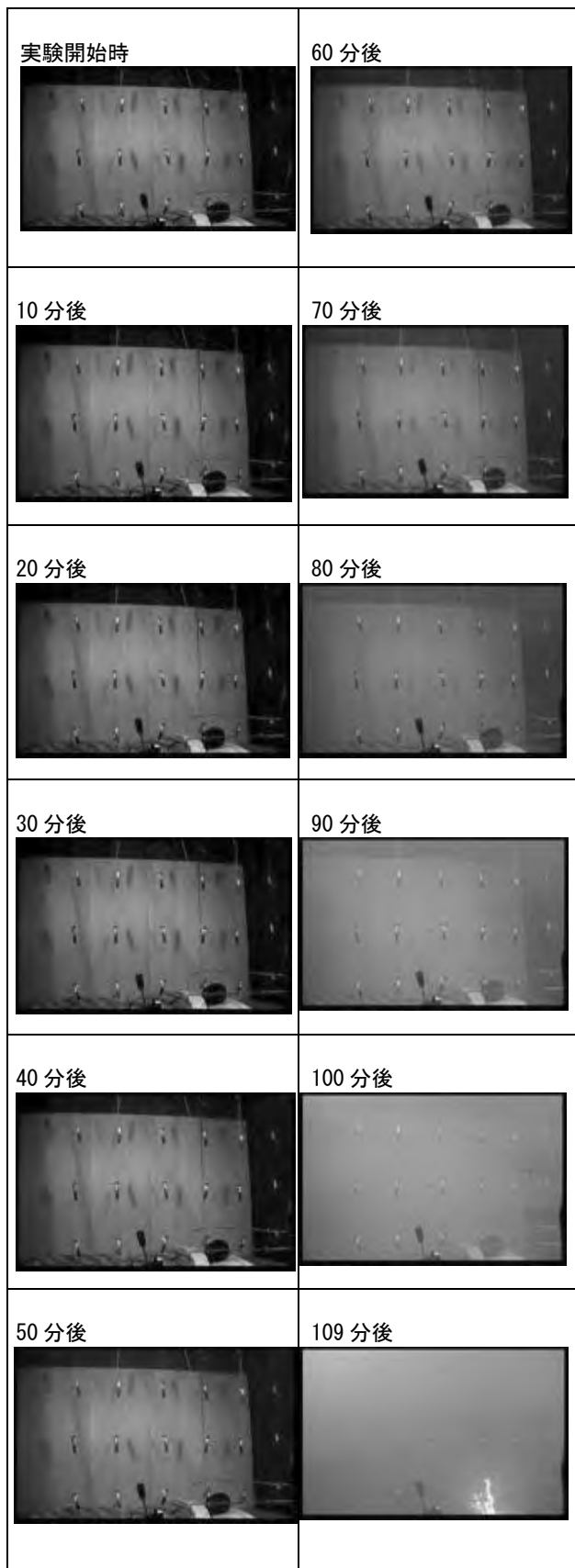


図 15 実験居室内の状況変化

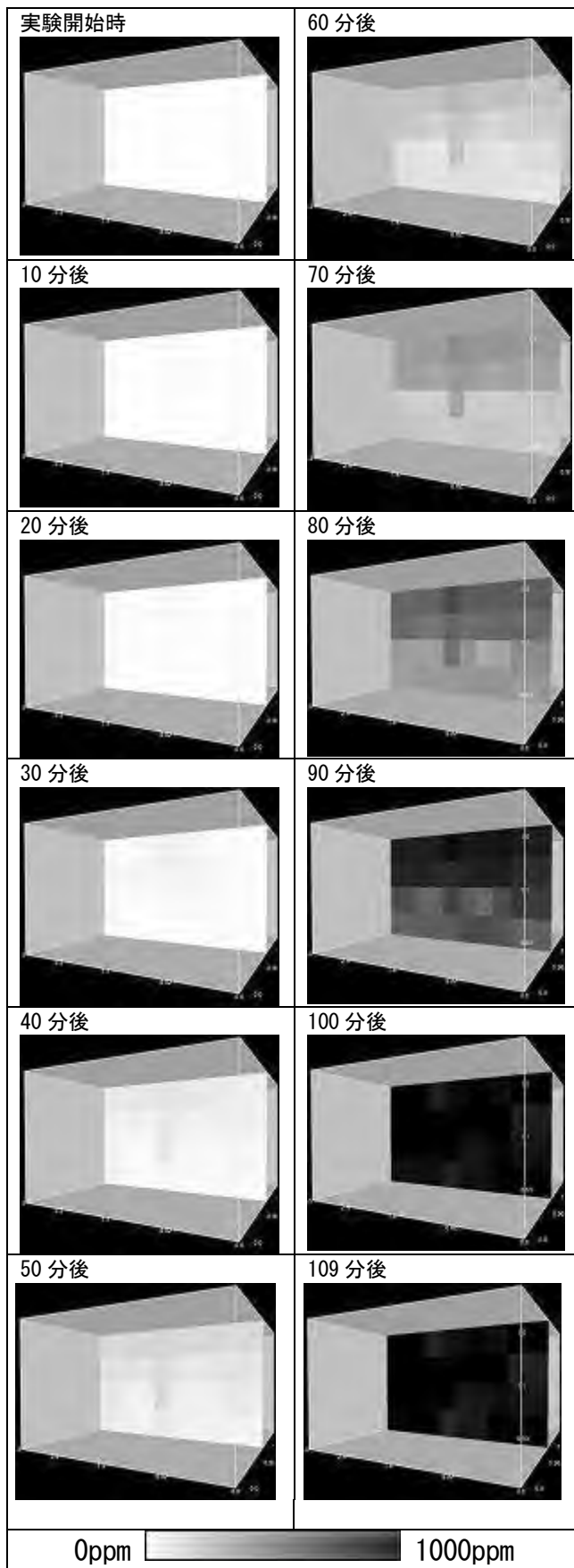


図 16 実験居室内の一酸化炭素濃度分布の変化

体に達した後、壁体に沿って降下する動きが確認できる。さらに、着火から 60 分以降では壁体に沿って降下した気流は床付近にも達するようになったため、着火から 70 分後、床付近全体が比較的高濃度となる状況が確認できた。

したがって、図 16 での一酸化炭素濃度分布の変化から、実験居室内の垂直方向の一酸化炭素濃度の流動・拡散の状況は対流拡散であると考えられる。また、水平方向への流動・拡散状況は、高さ 1.70m の濃度分布において、中心から周囲への比較的速い拡散が認められることから、ほぼ様な拡散を示すと考えられる。さらに天井付近の一酸化炭素は、60 分以降において、両側の壁体、そして床面へと拡散する特徴がある。

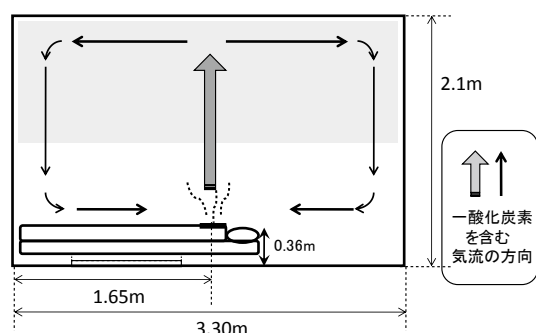


図 17 一酸化炭素が居室内で流動拡散するイメージ

#### ウ 一酸化炭素警報器と煙感知式住警器の作動時間

続いて、実験居室内の状況変化（図 15）、一酸化炭素の濃度分布（図 16）及び減光率（図 14）等から、一酸化炭素濃度と煙濃度の関係について検討する。

実験開始から 25 分 58 秒で、白煙の上昇が確認できたが、実験居室内で白煙が充満するまで、さらに時間を要し、図 15 では、70 分以降ようやく煙の発生が明瞭に認識できる状態であった。天井中央の煙感知式住警器は、58 分 16 秒に作動し、この時の天井付近の一酸化炭素濃度は、約 230ppm であった。壁体上部の煙感知式住警器は、61 分 16 秒で作動し、この時の天井付近の一酸化炭素濃度は約 280ppm（図 9、10）であった。これらの煙感知式住警器が作動した時の減光率は 10%に満たなかった（図 14）。これに対して、仕様上の煙感知式住警器の作動する減光率 15%に達した時間は、天井中央の煙濃度計で約 84 分であった。このときの天井付近の一酸化炭素濃度は 800ppm であった。壁体上部の煙濃度計が減光率 15%に達した時間は約 90 分となり、このときの天井付近の一酸化炭素濃度は 980ppm となっていた（図 9、10）。よって、煙感知式住警器が、仕様に示された減光率に達するよりも早く作動したことから、避難上有効に作動していたことが確認できた。

また、各一酸化炭素警報器が作動した 54 分 45 秒、54 分 46 秒の時点では、天井付近の一酸化炭素濃度は約

200ppm であったため、一酸化炭素警報器は、その仕様の範囲内で作動したことになった。上述のとおり、一酸化炭素警報器が作動した時の減光率はいずれも 10%未満であったことから、一酸化炭素警報器は煙の流動拡散よりも早く、一酸化炭素の流動拡散を感知したものと考えられる。

このように、煙感知式住警器と一酸化炭素警報器は、仕様の範囲内で正常に作動していたが、一酸化炭素警報器が作動した時、枕元相当の位置の一酸化炭素濃度は約 2000ppm に達し、COHb 濃度が 60%をこえていた（図 13）。減光率または、煙感知式住警器の作動時間から、認識できる煙の流動・拡散状況よりも早く、一酸化炭素濃度が人体に影響を生じる濃度になる場所があることを示唆している。

## 6 おわりに

- (1) 寝たばこ火災の無炎燃焼で生じた一酸化炭素の流動状拡散状況は、対流拡散であった。
- (2) 枕元相当の位置の、寝たばこ火災による無炎燃焼で発生した一酸化炭素濃度は、一酸化炭素警報器や煙感知式住警器が火災を感知し、作動するよりも早い着火後約 29 分で約 900ppm に達し、継続して吸引した時の COHb 濃度は推定値で 30%を超えた。これは避難行動に障害が生じる可能性がある濃度であった。
- (3) 一酸化炭素警報器が作動したのは、着火後約 55 分であった。この時の枕元相当の位置の濃度は約 2000ppm で、COHb 濃度の推定値は 60%を超えていた。煙感知式住警器が作動したのは、天井中央に設置したもので着火後 58 分 16 秒、壁体上部に設置したもので着火後 61 分 13 秒であった。

このことから、寝たばこ火災において煙感知式住警器が作動した時には、より致命的な状態になっている可能性が確認できた。

#### [参考文献]

- 1) 東京消防庁編：「火災統計資料平成 24 年度版 火災による死者の実態～住宅火災による死者ゼロをめざして～」(2012)
- 2) 東京消防庁編：「平成 24 年度版 火災の実態」(2012)
- 3) 日本火災学会編：火災便覧（第 3 版）、(1997)
- 4) 辻阪信嗣他：「家庭用ガス器具の低換気率室内での燃焼（酸欠燃焼）の危険性 -CO 中毒のダイナミックモデルとその適用例-」、安全工学、vol.19、No.3 (1980)