

一酸化炭素の区画外への拡散状況に関する検証

眞田 良仁*, 菊地 遼輔*, 大森 俊介*, 飯田 明彦*, 細谷 昌右*

概要

本検証では、一酸化炭素発生室のみならず、同一建物内の別室、廊下、階段、別フロアを含む室外での一酸化炭素濃度の変化状況を把握することにより、発生した一酸化炭素が室外へ拡散する状況及びその危険性を明らかにし、防火管理上の安全対策及び一般住宅の事故防止対策に資するとともに、消防活動上の留意事項として役立てていくことを目的とした。

その結果、一酸化炭素の室外への拡散傾向を確認することができたことに伴い、発動発電機等の屋内使用の危険性や建物内全体における一酸化炭素拡散の危険性、換気の必要性等を明らかにし、防火管理上の安全対策及び一般住宅の事故防止対策、消防活動上の留意事項に資する考察を示すことができた。

1 はじめに

建物内において、発動発電機（以下「発電機」という。）やエンジン式のコンプレッサー、又は燃料消費をする火気設備といった一酸化炭素（以下「CO」という。）の発生を伴う機器（以下「CO発生機器」という。）の使用中にCO中毒となる事例は多く存在する。飯田らは以前、室内空間におけるCO発生機器使用による検証や寝たばこによる布団の火災再現検証を行い、CO発生室内におけるCOの発生・拡散挙動を明らかにしている¹⁾。しかし、この検証報告ではCO発生室内のみの拡散状況の把握に留まっており、室外への拡散状況については触れていない。CO中毒となる事例の中には、同一建物内ではあるもののCO発生機器の使用室とは別室又は別フロアでCO中毒による死傷者が発生した事例も少なからず存在する。当庁管内においても、屋内でのCO発生機器の使用中に同一建物内の上階でCO中毒者が複数名生じたとともに、高濃度のCOを観測した事例が報告されている。いずれも発生したCOが室外へ拡散していたことにより中毒者が発生したものと考えられるが、COの発生室外への拡散による中毒の危険性については未知の

部分が多い。そこで、COの室外への拡散挙動を明らかにし、CO発生室外においても中毒症状が発生する危険性を示すことができれば、CO発生機器使用時の事故防止啓発、CO中毒の危険を伴う災害活動（危険排除や火災）の安全管理に寄与できると考えられる。

本検証では、CO発生室のみならず、同一建物内の別室、廊下、階段、別フロアを含む室外（以下「区画外」という。）でのCO濃度の変化状況を把握することにより、発生したCOが区画外へ拡散する状況及びその危険性を明らかにし、防火管理上の安全対策及び一般住宅の事故防止対策に資することを目的とするとともに、消防活動上の留意事項として役立てていく。また、検証結果から、防火管理対策等に活用するCO拡散シミュレーション映像の作成についても検討する。

2 COの物性

COは無色無臭で水に溶けにくく、アルカリ水溶液やエタノールには溶ける。気体比重は0.97、沸点-192.2℃、融点-235℃、引火点-191℃、発火点608℃、爆発範囲12.5～74.2%である。COの毒性については表1に示す。

表1 急性CO中毒症状²⁾

大気中CO濃度 (%)	吸入時間	血中COHb濃度 (%)	影響
0.01~0.02	—	10~20	比較的に強度の筋肉労働時間呼吸促進、時に軽い頭痛
0.02~0.03	5~6時間	20~30	頭痛、耳鳴り、眼閃発
0.03~0.06	4~5時間	30~40	激しい頭痛、悪心、嘔吐、外表の鮮紅色、やがて運動能力を失う
0.07~0.1	3~4時間	40~50	頻脈、呼吸数増加、やがて意識障害
0.11~0.15	1.5~3時間	50~60	チェーンストーク呼吸、間代性痙攣を伴い昏睡、意識障害、失禁
0.16~0.3	1~1.5時間	60~70	呼吸微弱、心機能低下、血圧低下、時に死亡
0.5~1	1~2分	70~80	反射低下、呼吸障害、死亡

* 装備安全課

3 隣室へのCO拡散状況についての検証

(1) 発電機使用時のCO拡散状況

ア 実験方法

イ 実験室 (図1)

A L C 鉄骨造の実験室 (3.3m×3.6m×高さ2.1m) を準耐火構造 (石膏ボード12.5mm両面2枚張り) の壁でCO発生室と隣室に隔てた。壁には戸当たりにより遮煙性能を有する「防火設備の構造を定める件 平成12年5月24日建設省告示第1360号」に準ずる防火設備を設置した。CO発生機器はCO発生室の左の壁際中央に設置した。

なお、「JIS A2201 送風機による住宅等の気密性能試験法」に準じ、本実験室の差圧等を測定した結果、実験室の相当隙間面積 (単位面積当たりの隙間の大きさ) は28cm²/m²であった。この値は一般的な住宅の値 (相当隙間面積10cm²/m²) より大きいものであり、本実験室は一般的な住宅よりも換気量が多いものと言える。

ロ CO濃度測定

赤外線ガス分析計 (CO濃度測定範囲: 0~20%) を用い、CO発生室及び隣室それぞれの中央 (高さ1.50m) の2か所で測定した。

ハ CO発生機器

発電機 (燃料: 無鉛レギュラーガソリン、定格出力600W、総排気量: 49.4cm³) を使用した。

ニ 実験条件

表2に示す条件で30分間発電機を運転しCO濃度の測定を行った。

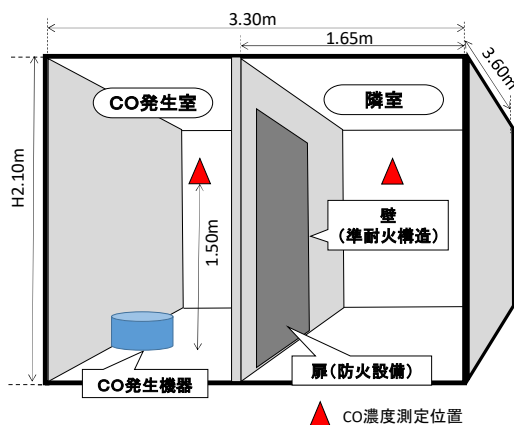


図1 実験室の設定状況

表2 実験条件

	発電機の設定	扉の状態
① 扉閉鎖条件	無負荷運転	閉鎖
② 扉開放条件	無負荷運転	開放
③ 排気送気条件	実験室外部で無負荷運転 排気ガスのみ内部へ送気	閉鎖
④ 負荷運転条件	定格300W負荷運転	閉鎖

イ 実験結果

(ア) 扉閉鎖条件 (図2)

発電機運転開始から5分後にCO発生室のCO濃度が上がり始め30分後には0.67%まで上昇した。隣室もCO発生室と比較して緩やかではあるが15分後からCO濃度が上昇している様子が確認でき、30分後には0.15%までCO濃度が上昇した。

(イ) 扉開放条件 (図3)

CO発生室と隣室のCO濃度の時間変化がほぼ一致している様子が確認できる。

(ウ) 排気送気条件 (図4)

扉閉鎖条件と比較するとCO発生室及び隣室の両方CO濃度が低く推移している様子が確認できる。

(エ) 負荷運転条件 (図5)

扉閉鎖条件と比較して、CO発生室と隣室共にCO濃度が上昇し始める時間が早く、かつCO濃度の上昇速度が速い様子が確認できる。

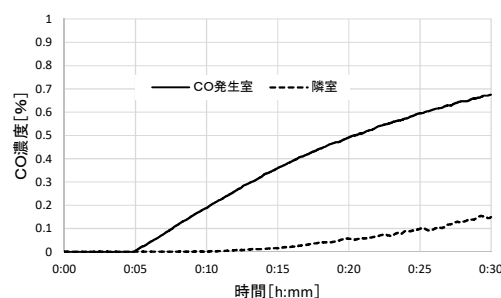


図2 扉閉鎖条件のCO濃度変化

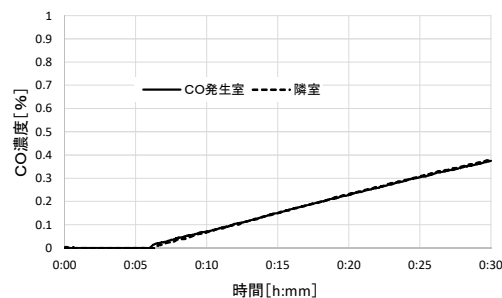


図3 扉開放条件のCO濃度変化

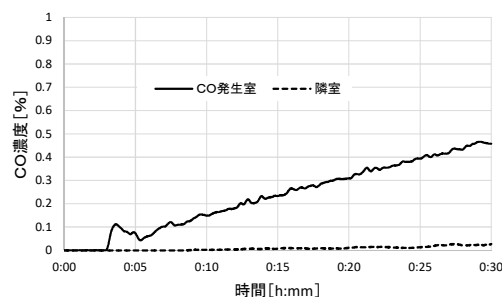


図4 排気送気条件のCO濃度変化

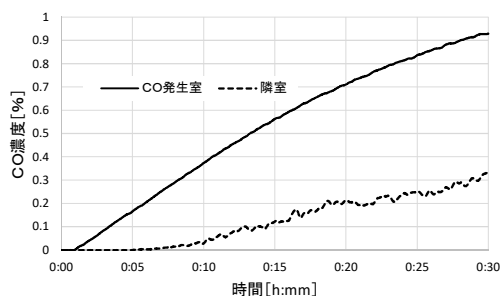


図5 負荷運転条件のCO濃度変化

(2) 発電機運転停止後のCO拡散状況

ア 実験方法

前(1)負荷運転条件と同条件で30分間発電機を運転した後、運転を停止した状態で1時間30分CO濃度を観察した。

イ 実験結果 (図6)

発電機運転停止直後のCO濃度はCO発生室が0.93%、隣室が0.33%であったが、1時間30分後にはCO発生室及び隣室ともに同じCO濃度(0.26%)となった。発電機運転停止によりCOが発生していないため、拡散によりCO濃度が低下しているものの、高いCO濃度を維持しており、発電機運転停止から1時間30分が経過しても重い中毒症状が生じるCO濃度となっている。

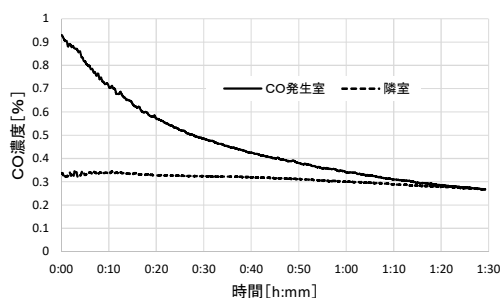


図6 発電機負荷運転停止後のCO濃度変化

(3) 可燃物燃焼時のCO拡散状況

ア 実験方法

ア) 実験室の設定

前(1)、アと同じALC鉄骨造の実験室を使用した。

イ) 測定機器

a CO濃度測定

前(1)、イと同じ赤外線ガス分析計及び測定位置によりCO濃度を測定した。

b 室温測定

K型熱電対(素線径0.32mm)を使用した。測定箇所はCO濃度測定と同様にCO発生室及び隣室それぞれの中央(高さ1.50m)に2か所とした。

ウ) 可燃物

a クリブ

有炎燃焼火災の初期を想定し、住宅用消火器の消火性能試験に用いられる0.45m×0.45mのA火災模型(1/2単位)にヘプタンを助燃材として点火した(図7)。

b 布団

シングルサイズの布団を半分のサイズにした敷布団(1.00m×1.00m、2.3kg)の中央にニクロム線を置きその上に掛布団(1.50m×1.00m、1.5kg)をかぶせ、ニクロム線に通電し、加熱することにより、布団の無炎燃焼を発生させた(図8)。

c 木炭

直径0.26m、高さ0.23mの七輪に0.5kgの木炭を入れ、ガストーチで点火した(図9)。

(ア) 実験条件

扉は閉鎖した状態とし、可燃物の点火又は加熱から2時間CO濃度及び室温の測定を行った。

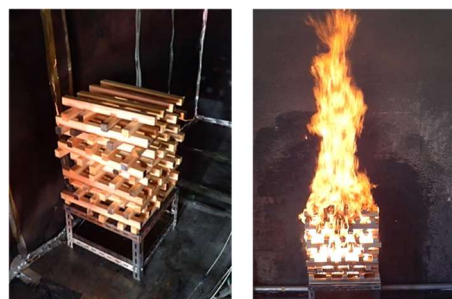


図7 クリブ(左:設置状況、右:燃焼状況)



図8 布団



図9 木炭入り七輪

イ 実験結果

ア) クリブ

a 燃焼状況

CO発生室では点火直後から炎が激しくあがって燃焼しており煙が多く発生していた。隣室から扉を見ると、扉の戸当たりの隙間から煙が漏れ出ている様子が確認できた。点火から5分後隣室は煙に覆われて視界がほとんど利かなくなった(図10)。

b CO濃度及び室温

点火直後からCO発生室及び隣室のCO濃度が急上昇している。閉鎖した扉を介した隣室でさえ吸引時間1~2分で死亡するとされる0.5%のCO濃度に5分程度で到達している(図11)。隣室の室温は50℃まで上昇し、常温を著しく超える室温となった(図12)。

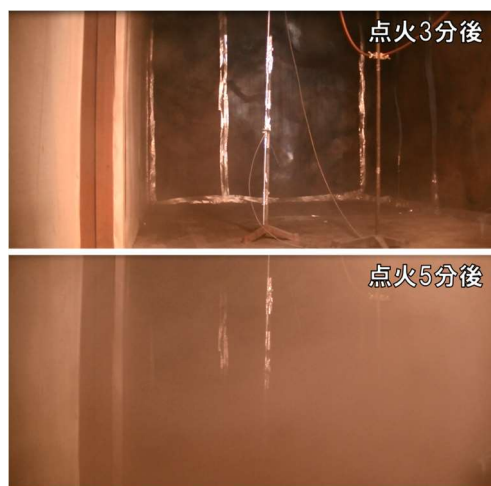


図 10 クリブ燃焼時の隣室の状況

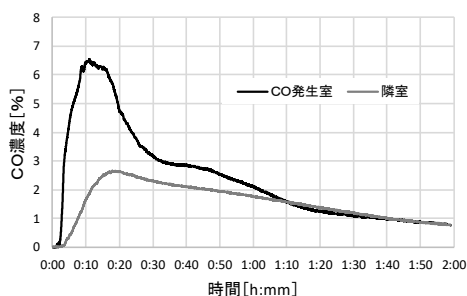


図 11 クリブ燃焼時のCO濃度変化

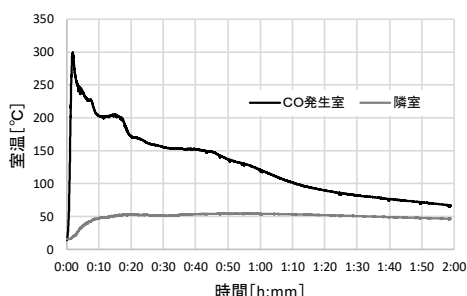


図 12 クリブ燃焼時の室温変化

時間に至るには時間を要する(図 14)。室温も隣室については大きく上昇はしない(図 15)。



図 13 布団燃焼時の隣室の状況

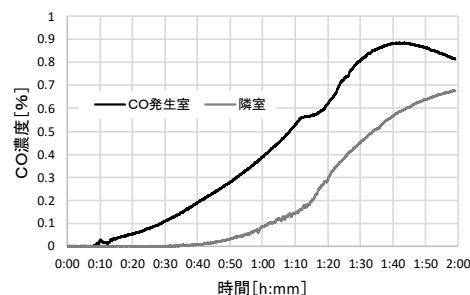


図 14 布団無炎燃焼時のCO濃度変化

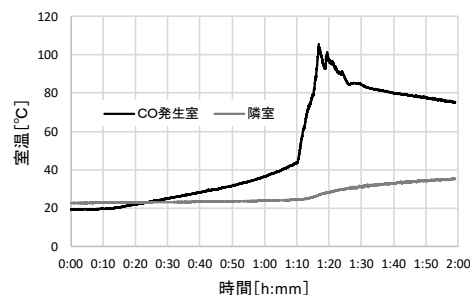


図 15 布団無炎燃焼時の室温変化

(イ) 布団

a 燃焼状況

CO発生室ではニクロム線の加熱から3分後に煙が漂うように発生した。隣室では点火から30分後でも煙がほとんど見えず、クリアな状況であったが、点火から1時間後徐々に煙が漏えいしはじめ、点火から1時間30分後には視界が利かなくなるほどの煙に覆われた(図 13)。

b CO濃度及び室温

クリブの燃焼と比較すればCO濃度の上昇が緩やかである。隣室については点火後40分が経過してからCO濃度が上昇し始めるため、中毒症状が生じる濃度及び吸入

(ウ) 木炭

a 燃焼状況

木炭は点火から2時間燃焼し続けていたが、ほとんど煙の発生が無く、CO発生室及び隣室ともに視界が悪くなることはなかった。

b CO濃度及び室温

点火後2時間が経過しても、隣室は0.1%未満の濃度であり、クリブや布団の燃焼に比べればCO濃度の上昇は緩慢である(図 16)。室温についても、隣室はほとんど上昇しなかった(図 17)。

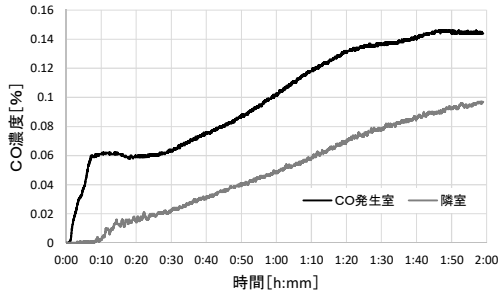


図 16 木炭燃焼時のCO濃度変化

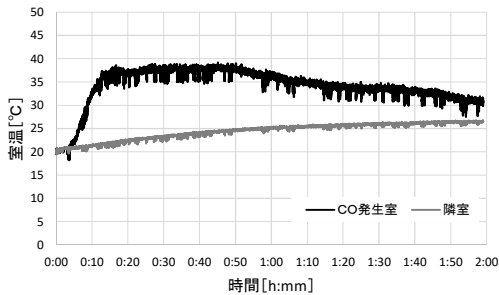


図 17 木炭燃焼時の室温変化

4 実大建物内におけるCOの拡散状況の検証

(1) 実験方法

ア 実験場所 (図 18)

東京消防庁消防学校 主訓練塔 (RC造 地上8階地下2階建) 1~3階

イ CO濃度測定機器

ア) 赤外線ガス分析計

前3、(1)、ア、(イ)と同じ赤外線ガス分析計

(イ) CO測定器 (データロガー出力式)

測定範囲: CO濃度0%~0.08%、測定時間間隔: 1秒

ウ CO発生室

CO発生室は主訓練塔2階北西の部屋とし(図18)、CO発生機器として、前3、(1)、ア、(ウ)と同じ発電機を使用した。CO発生室北壁際中央に2台の発電機を設置し、同時に作動させてCOを発生した。

エ 実験設定

(ア) CO濃度測定位置

CO発生室のみ高濃度COが測定可能な赤外線ガス分析計により測定し、その他の各部屋、廊下、階段室についてはCO測定器(データロガー出力式)による測定を行った。測定する床面からの高さは成人男性の概ね口元に位置する1.5mとした。

(イ) 扉

各部屋や廊下等を隔てる扉は戸当たりにより遮煙性能を有する「防火設備の構造を定める件 平成12年5月24日建設省告示第1360号」に準ずる防火設備の扉である。この扉は実験条件に応じて開閉を行った。

なお、図18の網掛け部分については、扉は全ての条件で閉鎖した上で、目張りにより空気の流入出が生じない措置を行った。

(ウ) 換気

各部屋は0.25m角、各廊下は0.3m角の自然換気口で換気をしたが、2階202室のみ換気が行われぬように換気口を塞いだ。

オ 実験手順

実験は表3による手順で行った。CO発生室に設置した発電機の始動し、30分間COを発生させてから発電機を停止した。その後、COの発生を停止した状態でのCOの拡散状況を1時間観察した。最後に2階屋外階段扉(図18のAで示された扉)を開放し、換気口以外からの外気が屋内に流入する影響を観察した。

表 3 実験手順

実験開始から	実験手順
0分後	発電機始動
30分後	発電機停止
1時間30分後	2階屋外階段扉開放
2時間後	終了

カ 実験条件

表4に示す、扉の開閉状態等を変えた4条件により実験を行った。

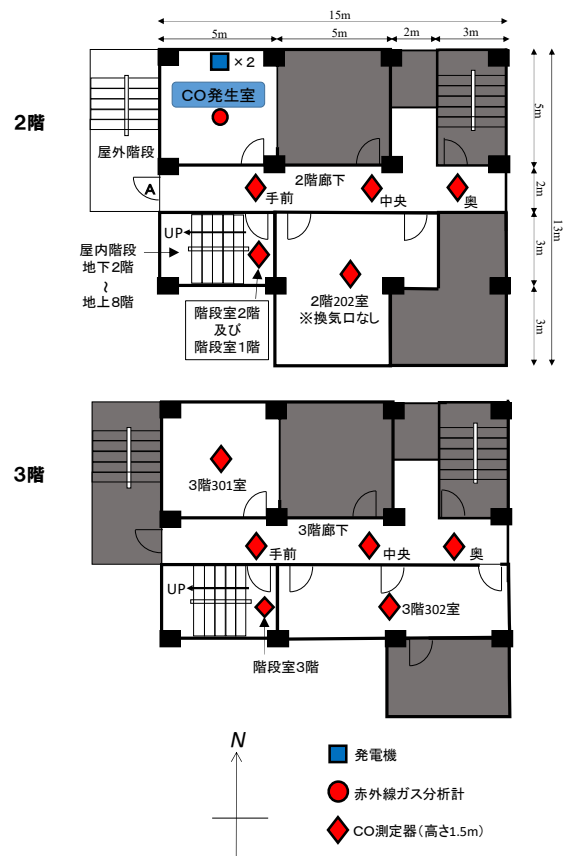
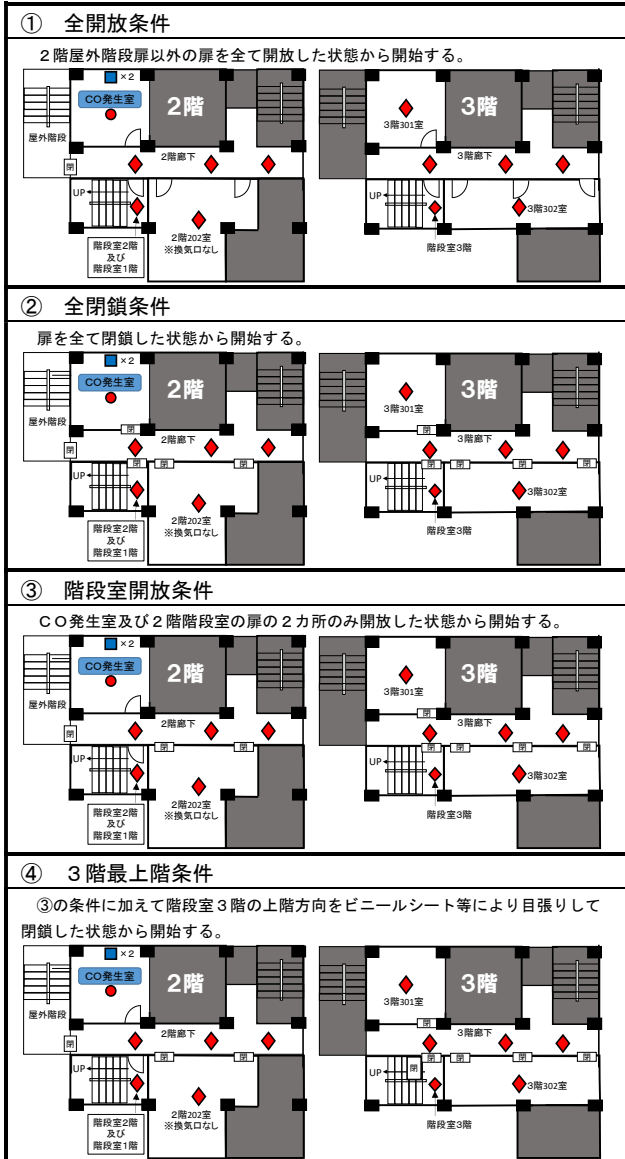


図 18 主訓練塔平面図及びCO測定箇所

表4 実大実験の実験条件



(2) 実験結果

ア 全開放条件

イ 2階のCO濃度 (図19)

a 0分後～30分後 (発電機運転中)

CO発生室、廊下手前、中央、奥、202室の順にCO濃度が上昇し始めた時間(0.01%到達時間)が早く、CO濃度もCO発生室、廊下、202室の順で高い。廊下の手前、中央、奥ではCO濃度に大きい差はない。

b 30分後～1時間30分後 (発電機停止後)

202室以外の部分では、発電機を停止するとまもなくCO濃度が低下し始め、発電機を停止してから1時間後にはピーク値と比較して5分の1まで低下している。202室は発電機を停止してから10分ほど経過してからCO濃度が低下し始め、発電機を停止してから1時間後はピーク値の3分の1程度までしか低下しなかった。

c 1時間30分後～2時間後 (2階屋外階段扉開放後)

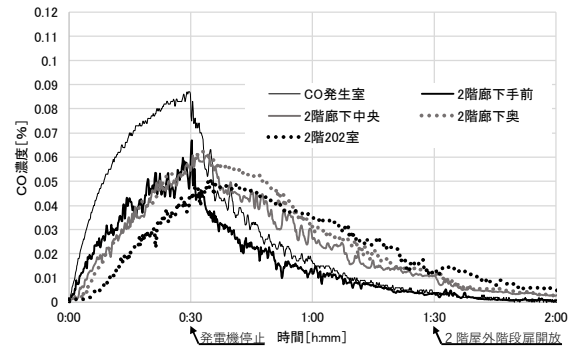
2階屋外階段扉開放後は2階全体のCO濃度が僅かに低下した。

(イ) 階段室のCO濃度 (図20)

発電機運転中については階段室のCO濃度は3階、2階、1階の順に高いことが分かる。CO発生室に近い位置にある階段室の2階よりも3階の方がCO濃度が高く、1階のCO濃度はそれと比較して著しく低い。

(ウ) 3階のCO濃度 (図21)

廊下手前、301室、その他の部分の順でCO濃度が高い。また、廊下手前及び301室については前ウの階段室3階のCO濃度の挙動に近い変化をしている。



	CO発生室	2階廊下手前	2階廊下中央	2階廊下奥	2階202室
0.01%到達時間[h:mm]	0:01	0:02	0:04	0:05	0:10
30分後のCO濃度[%]	0.086	0.056	0.054	0.056	0.043
1時間30分後のCO濃度[%]	0.004	0.004	0.011	0.012	0.012
2時間後のCO濃度[%]	0.000	0.001	0.003	0.003	0.005
CO濃度ピーク時間[h:mm]	0:30	0:30	0:30	0:33	0:35
CO濃度ピーク値[%]	0.086	0.067	0.061	0.062	0.051

図19 2階のCO濃度変化 (全開放条件)

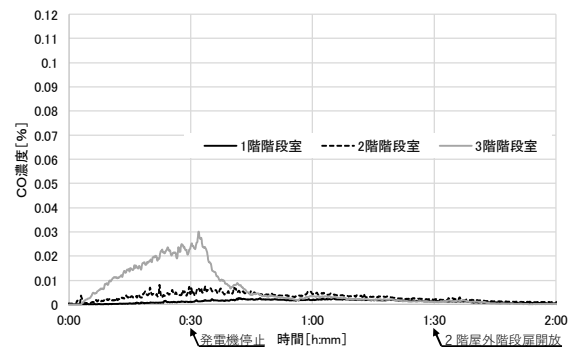


図20 階段室内のCO濃度変化 (全開放条件)

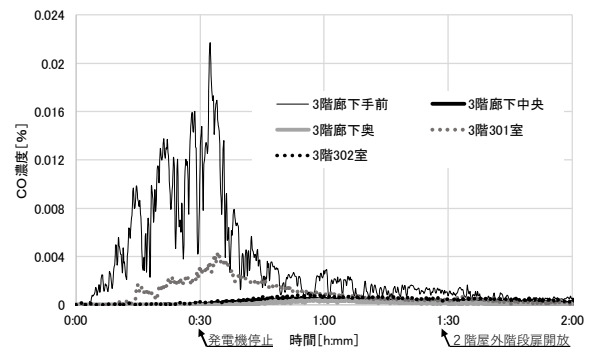


図21 3階のCO濃度変化 (全開放条件)

イ 全閉鎖条件

ア 2階のCO濃度 (図22)

a 0分後~30分後 (発電機運転中)

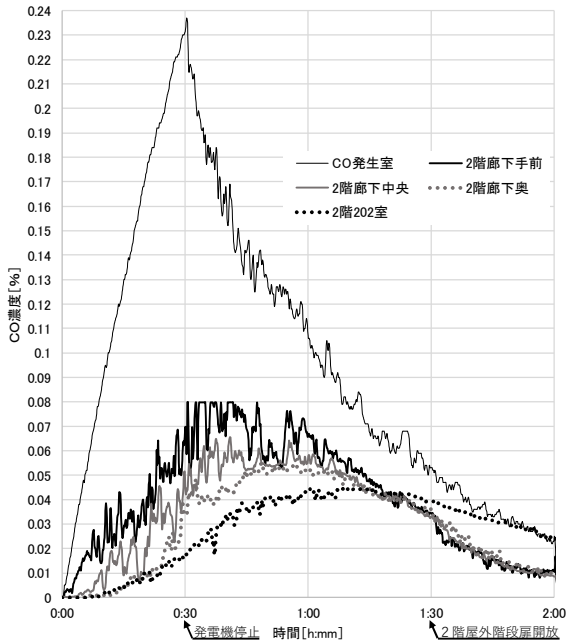
CO発生室は30分後に0.24%近くまで上昇しているが、廊下のCO濃度はその3分の1以下となっている。廊下手前は全開放条件の場合より高いCO濃度で推移しているが、廊下中央については全開放条件と同程度で推移し、廊下奥、202室については全開放条件の場合に比べて低く推移している。また、廊下手前、中央、奥、202室の順にCO濃度が高く、上昇し始め(0.01%到達時間)も早い傾向が全開放条件の場合よりも顕著に現れている。

b 30分後~1時間30分後 (発電機停止後)

廊下手前部分のCO濃度がCO測定器の測定上限(0.08%)に達してしまっているため、一部上限以上のCOの変化は観察できなかった。CO発生室は発電機停止後まもなくCO濃度が低下し始めたが、その他の部分ではCO濃度の低下が始まるのが遅くなっており、発電機停止後もCO濃度が上昇していることが分かる。さらに2階202室については発電機停止から1時間が経過してもほとんどCO濃度が低下していない。

c 1時間30分後~2時間後 (2階屋外階段扉開放後)

2階屋外階段扉開放後は廊下全体のCO濃度が低下したが、CO発生室及び202室は階段扉開放による著しいCO濃度の低下は観察できなかった。



	CO発生室	2階廊下手前	2階廊下中央	2階廊下奥	2階202室
0.01%到達時間[h:mm]	0:01	0:03	0:09	0:21	0:24
30分後のCO濃度[%]	0.232	0.08以上※	0.044	0.034	0.017
1時間30分後のCO濃度[%]	0.053	0.034	0.033	0.036	0.039
2時間後のCO濃度[%]	0.025	0.011	0.008	0.010	0.024
CO濃度ピーク時間[h:mm]	0:30	0:30※	0:40	0:48	1:00
CO濃度ピーク値[%]	0.232	0.08以上※	0.066	0.055	0.045

※CO測定器の測定上限(0.08%)に達したこと及び達した時間を表す。

図22 2階のCO濃度変化 (全閉鎖条件)

イ) 階段室のCO濃度 (図23)

階段室のCO濃度は2階、3階、1階の順にCO濃度が高くなっていることが分かる。

ウ) 3階のCO濃度

3階では階段室以外はCO濃度の上昇が確認できず、COの拡散を観察できなかった。

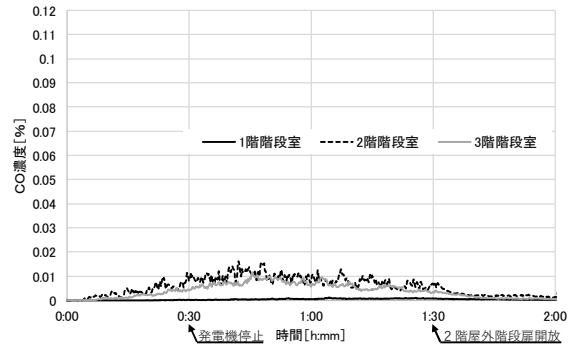
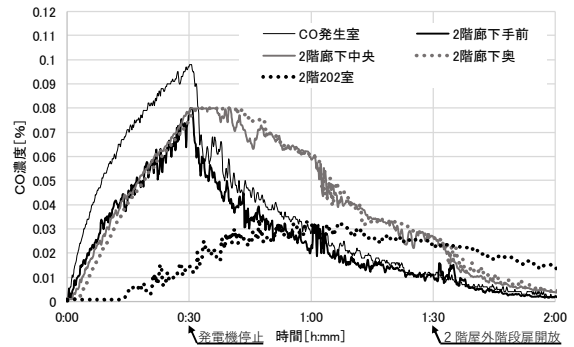


図23 階段室内のCO濃度変化 (全閉鎖条件)

ウ 階段室開放条件

ア) 2階のCO濃度 (図24)

廊下中央部分及び奥部分のCO濃度がCO測定器の測定上限(0.08%)に達してしまっているため、一部上限以上のCOの変化は観察できなかった。202室のCO濃度の上昇が緩慢で、低下に転じてからも緩やかな変化を示した。その他の部分については、CO発生停止後や2階屋外階段扉の開放時についてもCO濃度の変化は全開放条件の場合と同様の挙動であることが分かる。



	CO発生室	2階廊下手前	2階廊下中央	2階廊下奥	2階202室
0.01%到達時間[h:mm]	0:01	0:02	0:03	0:05	0:26
30分後のCO濃度[%]	0.097	0.08以上※	0.078	0.075	0.014
1時間30分後のCO濃度[%]	0.011	0.011	0.027	0.026	0.024
2時間後のCO濃度[%]	0.002	0.002	0.004	0.004	0.013
CO濃度ピーク時間[h:mm]	0:30	0:30※	0:31※	0:32※	0:58
CO濃度ピーク値[%]	0.097	0.08以上※	0.08以上※	0.08以上※	0.033

※CO測定器の測定上限(0.08%)に達したこと及び達した時間を表す。

図24 2階のCO濃度変化 (階段室開放条件)

イ) 階段室のCO濃度 (図25)

階段室開放条件の方がCO濃度は高くなっているが、全開放条件の場合とCO濃度の変化挙動が同様であることが分かる。

(ウ) 3階のCO濃度

全開放条件の場合よりも階段室3階のCO濃度は高かったが、3階では階段室以外はCO濃度の上昇が確認できず、COの拡散を観察できなかった。

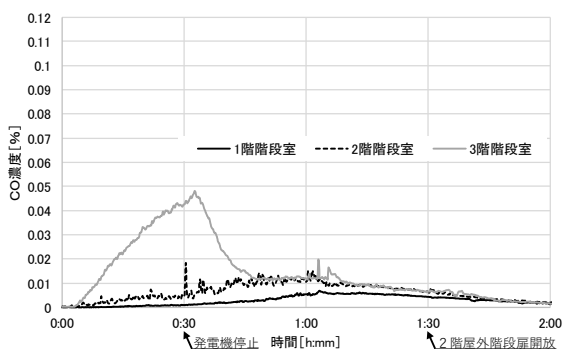


図 25 2階のCO濃度変化 (階段室開放条件)

エ 3階最上階条件

(ア) 2階のCO濃度 (図 26)

廊下部分のCO濃度がCO測定器の測定上限 (0.08%) に達してしまっている部分が多く、COの変化はほとんど観察できなかったが、CO濃度 0.08%未満での変化をみると、2階屋外階段室扉を開放すると廊下のCO濃度が急激に低下している様子は確認できる。

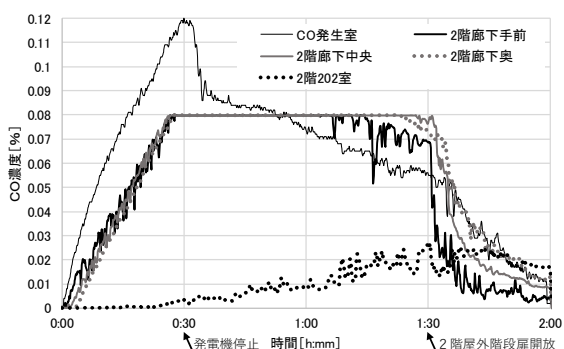


図 26 2階のCO濃度変化 (3階最上階条件)

	CO発生室	2階廊下手前	2階廊下中央	2階廊下奥	2階202室
0.01%到達時間[h:mm]	0:01	0:03	0:05	0:06	1:01
30分後のCO濃度[%]	0.120	0.08以上※	0.08以上※	0.08以上※	0.003
1時間30分後のCO濃度[%]	0.056	0.069	0.076	0.073	0.026
2時間後のCO濃度[%]	0.002	0.004	0.008	0.013	0.017
CO濃度ピーク時間[h:mm]	0:30	0:27※	0:26※	0:28※	1:29
CO濃度ピーク値[%]	0.12	0.08以上※	0.08以上※	0.08以上※	0.026

※CO測定器の測定上限(0.08%)に達したこと及び達した時間を表す。

(イ) 階段室のCO濃度 (図 27)

a 3階

発電機を停止してからも高いCO濃度を維持していることが分かる。

b 2階

発電機停止後すぐにCO濃度が低下し始めるが、再度緩やかに上昇した。2階屋外階段扉を開放後はCO濃度が3分の1程度まで低下した。

(ウ) 3階のCO濃度 (図 28)

3階のフロア全体でCO濃度の上昇が確認できる。廊下部分は発電機が停止してからもCO濃度が上昇している。発電機停止後30分が経過した頃にCO濃度が一度緩やかに低下し始めたが、2階屋外階段扉を開放すると再度上昇し始めた。301室及び302室は非常に緩やかで低い推移を示しているが実験終了までCO濃度が上昇し続けていることが確認できる。

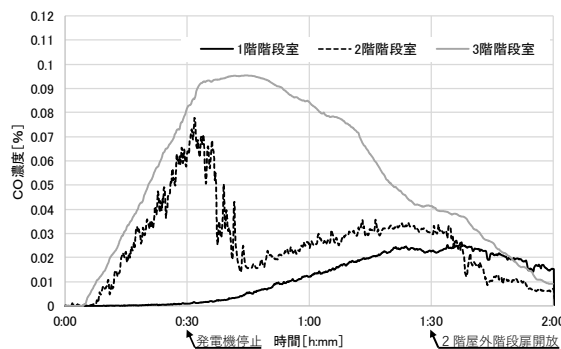


図 27 階段室のCO濃度変化 (3階最上階条件)

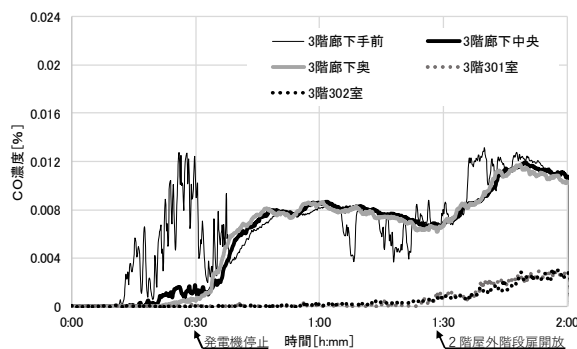


図 28 3階のCO濃度変化 (3階最上階条件)

5 考察

(1) 隣室へのCO拡散挙動についての検証

ア 発電機使用時の隣室へのCO拡散状況

(ア) 扉閉鎖条件

隣室もCO発生室と比較して緩やかではあるがCO濃度が上昇している様子が確認できたことから、遮煙性能を有した防火設備を閉鎖していても戸当たりの隙間からCOが漏れいしているものと考えられる。

(イ) 扉開放条件

CO発生室と隣室のCO濃度の時間変化がほぼ一致している様子が確認できたことから、扉を開放しているため隣室へCOが拡散しやすくなり、CO発生室と隣室のCO濃度が均一化されたと考えられる。扉閉鎖条件と比較すると、扉を閉鎖していることにより、隣室のCO濃度が上昇し始める時間が遅延し、かつCO濃度の上昇速度も緩やかになることが確認できるため、扉の閉鎖がCOの区画外への拡散を大きく抑制する効果があると考えられる。

(ウ) 排気送気条件

排気送気条件では発電機への給気が外気の新鮮空気であるため、扉閉鎖条件よりもCO濃度が低く推移したと考えられる。扉閉鎖条件のように換気が不十分な場所で発電機を運転する場合は発電機への給気が排気と混合したのとなり、より発電機からのCO発生濃度が高くなるものと考えられる。換気が悪い場合はより高いCO濃度の排気が排出される危険性がある。

(エ) 負荷運転条件

扉閉鎖条件と比較して、CO発生室と隣室共にCO濃度が上昇し始める時間が早く、かつCO濃度の上昇速度が速い様子が確認できたことから、発電機に負荷を掛けることにより燃料消費速度が上がり、排気のCO濃度が高くなったものと考えられる。

イ 発電機運転停止後のCO拡散状況

発電機運転停止から1時間30分が経過しても重い中毒症状が生じるCO濃度となっていたことから、本実験室は一般住宅よりも大きい隙間相当面積はあるものの、十分な換気を行わなければCOの発生を停止してもCO濃度が低下しないと考えられる。発電機を停止しても換気を十分に行わなければCO発生室及び隣室共にCO濃度が高い状態で維持されていることから、発電機の使用が短時間であっても、停止してから換気をしていない場所に人が留まっている場合はCO中毒に至る危険性がある。

ウ 可燃物燃焼に伴い発生するCOの拡散状況

(ア) クリブ

点火直後から隣室へ煙が漏れ出て、隣室が常温を著しく超える室温となった状況から、就寝中等で覚醒していても隣室で漏れ出した煙や室温の上昇といった異変を覚知することができると考えられるが、点火から数分で短時間の吸引でも死に至るCO濃度まで上昇するため、素早い避難が必要であると考えられる。

(イ) 布団

クリブの燃焼と比較すればCO濃度の上昇が緩やかであり、中毒症状が生じる濃度及び吸入時間に至るには時間を要する状況から、早期に煙発生等の異変を覚知すれば避難可能であると考えられる。しかし、隣室への煙の漏れいや温度上昇が僅かであるため、就寝中等で覚醒していない場合などは火災に気が付かず、吸引し続けるとCOHb濃度が上昇して行動障害が生じ、避難が困難になると考えられる。

(ウ) 木炭

クリブや布団の燃焼と比較すれば、煙の発生がほとんどない上に隣室の室温の変化も非常に少ないため、覚醒している状態でも隣室で木炭が燃焼していることに気付くのは難しい。そのため、中毒症状が生じてから異変に気付くことも考えられる。また、より多くの木炭を燃焼させた場合はその分COの発生が多くなるため、よりCO中毒の危険性が増すと考えられる。

(2) 実大建物における建物内へのCO拡散状況についての検証

ア 全開放条件

(ア) 2階のCO濃度

a 発電機運転中は、CO発生室、2階廊下手前、中央、奥、2階202室の順にCO濃度が上昇し始めており、CO濃度も上記の順で高い状況から、発生したCOが発生室に近い部分から順に拡散していると考えられる。2階廊下の手前、中央、奥ではCO濃度の0.01%到達時間及びCO濃度に大きい差はないため、廊下内ではCOが速く拡散したと考えられる。

b 発電機停止後、まもなく202室以外の部分ではCO濃度が低下し始めたことに対して、202室は低下が始まるのが遅い上にCO濃度の低下速度も遅かった。202室は換気口がないため、扉は開放状態であっても空気が滞留しやすく、CO濃度が低下しにくかったものと考えられる。

c 2階屋外階段扉開放後は2階全体のCO濃度が僅かに低下したのは、2階屋外階段扉を開放したことにより外気の流入が生じたためであると考えられる。

(イ) 階段室のCO濃度

発電機運転中、CO発生室に近い位置にある階段室2階よりも階段室3階の方がCO濃度が高く、階段室1階のCO濃度はその他と比較して著しく低いといった推移を示した結果から、階段室内ではCOが上方に拡散しやすいものと考えられる。

(ウ) 3階のCO濃度

廊下手前及び301室は階段室3階のCO濃度の挙動に近い変化をしていることから、扉を開放している条件では廊下手前及び301室のCO濃度は階段室3階からのCOの拡散の影響を受けやすいと考えられる。その他の部分もCO濃度の上昇は非常に緩慢であるものの、約0.001%までCO濃度が上昇しているため、扉を開放した条件であればCO発生室と別の階であってもフロア全体にCOが拡散しやすいと考えられる。

イ 全閉鎖条件

(ア) 2階のCO濃度

a 発電機運転中、廊下手前のCO濃度は全開放条件の場合と比較すればCO濃度が高く推移しているが、CO発生室のCO濃度から比較すれば、3分の1程度になっており、CO発生室から離れた廊下奥は全開放条件の場合より低く推移している。2階廊下手前、中央、奥の順にCO濃度が高く、上昇し始め(0.01%到達時間)も早い傾向が全開放条件の場合よりも顕著に現れていることから、CO発生室の扉を閉鎖すると廊下への発電機排気の流入が抑制され、廊下内におけるCO拡散が遅くなると考えられる。

b 発電機停止後、CO発生室はまもなくCO濃度が低下し始めたが、その他の部分ではCO濃度の低下が始まるのが遅くなっており、発電機停止後もCO濃度が上昇

していること状況から、発電機停止後もCO発生室から流出しているCO濃度の高い空気がその他の部分へ拡散していると考えられる。202室が発電機停止から1時間経過してもほとんどCO濃度が低下していないのは、202室は換気口がなく一度上昇したCO濃度が低下しづらいことが原因であると考えられる。

c 2階屋外階段扉開放後、外気が流入したため2階廊下全体のCO濃度が低下したものと考えられる。CO発生室及び202室は扉が閉鎖されており、外気が流入しなかったため、屋外階段扉開放が影響とされるような著しいCO濃度の低下は観察できなかったと考えられる。

(イ) 階段室のCO濃度

全開放条件とは異なり、2階、3階、1階の順にCO濃度が高くなっている状況から、扉が閉鎖されて階段室への発電機排気の流入が抑制されたことにより、階段室内におけるCOの上方への拡散が遅くなったものと考えられる。

(ウ) 3階のCO濃度

3階では階段室以外はCO濃度の上昇が確認できなかったため、扉の閉鎖により建物全体へのCOの拡散が抑制されたものと考えられる。

ウ 階段室開放条件

(ア) 2階のCO濃度

202室のCO濃度の上昇が緩慢で、低下に転じてからも緩やかな変化を示したのは2階202室の扉を閉鎖されていることによりCOの拡散が抑制されたためであると考えられる。その他の部分でCO発生停止後や2階外階段扉の開放時についてもCO濃度の変化は全開放条件の場合と同様の挙動となったのは、202室の扉閉鎖以外の2階の扉開閉条件が全開放条件と同様であるためと考えられる。

(イ) 階段室のCO濃度

全開放条件の場合とCO濃度の変化挙動が同様であったのは、CO発生室から階段室までの経路は全開放条件の場合と扉の開閉条件が同じであるためCO濃度の変化が同様の挙動を示したと考えられる。

(ウ) 3階のCO濃度

全開放条件の場合よりも階段室3階のCO濃度が高いにもかかわらず、COの拡散を観察できなかった結果から、階段室3階の扉を閉鎖していたことにより3階フロアへのCOの拡散が抑制されたと考えられる。

エ 3階最上階条件

(ア) 2階のCO濃度

廊下部分のCO濃度がCO測定器の測定上限(0.08%)に達してしまっている部分が多く、COの変化はほとんど観察できなかったが、他の条件よりも濃度が高く推移していたと考えられる。階段室3階でCOが滞留することに伴い、廊下のCO濃度が他の条件よりも高くなったと考えられる。2階屋外階段室扉を開放すると廊下のCO濃度が急激に低下したのは、他の条件よりも廊下のCO

濃度が高かった分、外気の流入によるCOの低下が急激になったものと考えられる。

(イ) 階段室のCO濃度

a 3階

発電機を停止してからも高いCO濃度を維持していたのは、屋内階段室内の3階から上階方向を閉鎖したことにより、3階にCOがしばらく滞留したためであると考えられる。

b 2階

発電機停止後にすぐCO濃度が低下し始めるが、再度緩やかに上昇した状況から、CO濃度が高い3階や2階廊下からCOが拡散したことにより、CO濃度が再度上昇したのと考えられる。2階屋外階段扉開放後にCO濃度が3分の1程度まで低下したのは、外気の流入が階段室2階まで影響したためであると考えられる。

(ウ) 3階のCO濃度

3階のフロア全体でCOの拡散が確認できたのは、階段室開放条件の場合よりも階段室3階で高濃度のCOが滞留したことにより、閉鎖していた階段室3階の扉から、COが漏洩したためであると考えられる。2階屋外階段室扉の開放後に3階廊下のCO濃度が再度上昇し始めた原因としては、他の条件と比較して階段室の空気が3階に流入しやすくなったためであると考えられる。3階最上階条件では階段室内に外気の流入した際の空気の逃げ場が3階を超える階に存在しない。そのため、2階屋外階段室扉の開放後に階段室3階に滞留し比較的高濃度になったCO濃度が3階廊下へ流入し、CO濃度が再度上昇したと考えられる。

オ まとめ

前ア～エの考察から、実大建物内でのCOの拡散状況は次の特徴があると考えられる。

(ア) 扉を開放している場合はCO発生室と別の部屋又は別のフロアであってもCOが容易に拡散する。

(イ) 発電機運転中(CO発生中)はCO発生室の扉が閉鎖した場合、開放状態よりも区画外のCO濃度の上昇が抑えられ、かつCO濃度が上昇し始める時期も遅延する。

(ウ) 階段室内にCOが拡散していても、階段室の扉を閉鎖していればフロア内へのCOの拡散が抑制される。

(ニ) 階段室の扉を閉鎖していても、当該階が最上階である等、階段室内のCOが滞留しやすい部分に扉がある場合は、階段室からCOが拡散してくる危険性が高い。

(オ) 外気が建物内に流入すると、外気に近い部分はCO濃度が低下するが、局所的に高濃度のCOが滞留している場合は、COが滞留していた部分から他の部分に急激に拡散して、CO濃度の上昇が生じる部分もある。

(カ) COの発生を停止させた後でも、CO濃度が高い部分からのCOの拡散によりCO濃度の上昇が生じる部分もある。

(キ) 換気がされていない部屋ではCOが外部へ拡散しづらく、CO濃度が高い状態が維持されやすい。

ク) COは上方に拡散する傾向があり、空間の上部に高濃度で滞留しやすい。

(3) CO拡散状況の可視化について

前(1)及び(2)の考察を基にCOの拡散状況を可視化した。可視化には米国立標準技術研究所 (National Institute Of Standard And Technology) が無償提供している流体シミュレーションソフト「Fire Dynamics simulator (FDS) version 6.6.0」を用いた。FDSの描画や設定、映像化には、補助ソフトウェアとして「Pyrosim version 2018.1.0417」を使用した。

図29は「3、(1) 発電機使用時の隣室への拡散状況の扉閉鎖条件」、図30は「4 実大建物における建物内へのCO拡散状況についての検証の全開放条件」を再現したシミュレーション映像の一部である。扉の隙間からCOが漏れいしている状況やCOが上方に滞留している状況、建物全体にCOが拡散する状況といったCOの拡散傾向を再現できている。

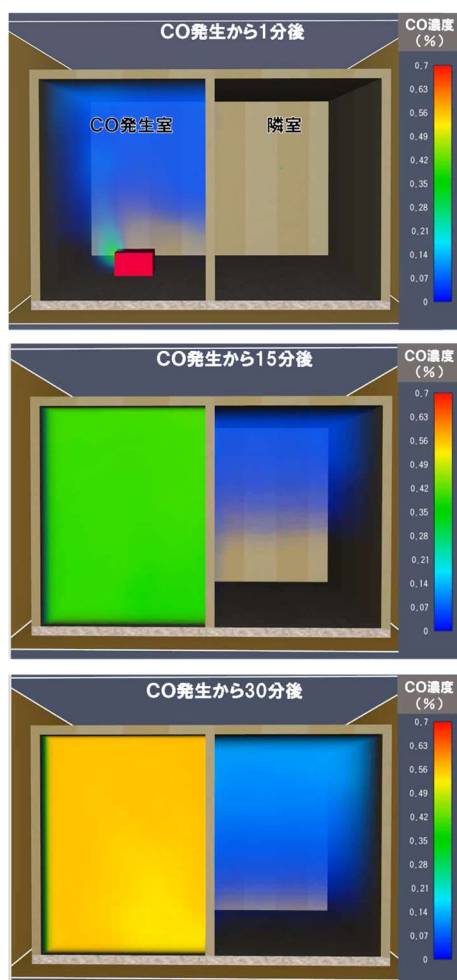


図29 発電機の使用時の隣室への拡散状況のシミュレーション映像 (扉閉鎖条件 発電機 発生CO濃度7% 室温20°C)

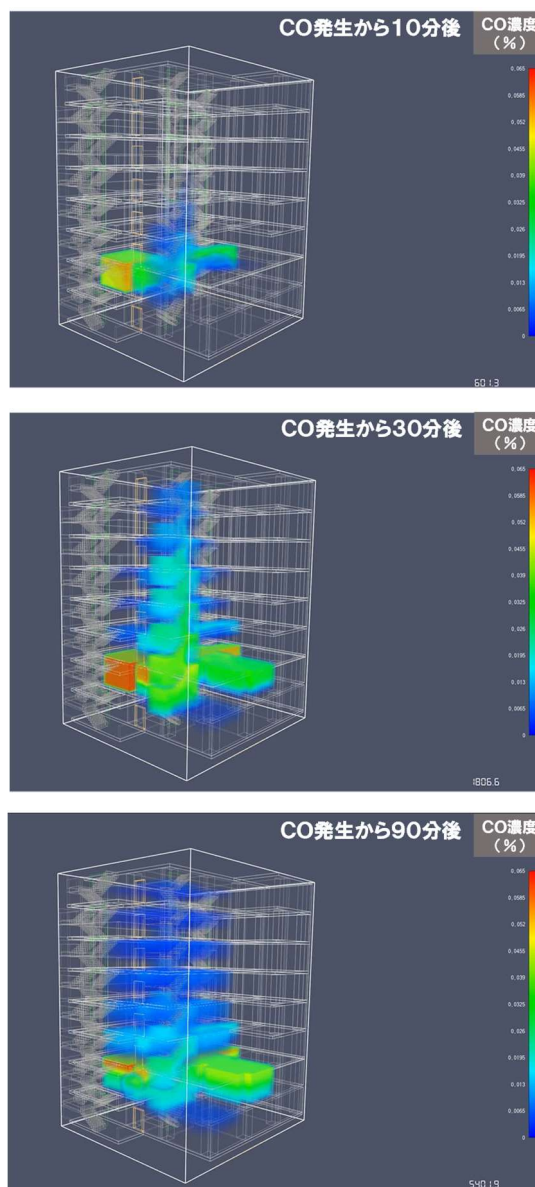


図30 実大建物における建物内への拡散状況のシミュレーション映像 (全開放条件 扉開放 発電機 CO濃度7% 室温20°C)

6 おわりに

本検証により、COの発生室外への拡散による中毒の危険性が明らかになった。このため、得られたCOの拡散状況の傾向から以下の4点への活用が見込まれる。

(1) 防火管理上の安全対策

ア 屋内や換気の悪い場所でのCO発生機器の使用は短時間であっても、CO中毒となる危険性が十分にあることから、工事中の建物等で長時間発電機を使用する場合は、CO発生機器は換気の良い場所で使用するとともに、これに加えて区画外へのCO拡散についても注意喚起する必要がある。

イ 飲食店等で炭火を使用する際は煙の発生量が少なくともCOは発生していることから、十分な換気が必要で

あり、CO漏えいのことを考慮してCO発生室以外にもCO警報器を設置することが有効である。

ウ 火災時には扉を閉鎖して避難することを指導しているが、CO発生室から区画外へのCOの拡散を抑制することができるため、CO中毒防止のためにも扉を閉鎖することが有効である。

(2) 一般住宅の事故防止対策

寝たばこ火災に見られる布団等の無炎燃焼は隣室への煙の流入や室温の上昇が少なく、CO濃度が上昇している状況でも火災を覚知しづらい。火災の早期発見及びCO中毒防止のために住宅用火災警報器はCO警報機能があるものを設置することが有効である。

(3) 消防活動上の留意事項

ア CO発生が停止または建物内への外気の流入によって、CO濃度が低下する部分もあるが、CO濃度の低下がほとんどない部分やCO濃度が上昇する部分もあるため、建物内でCOが発生した場合は建物全体を十分に換気する必要がある。

イ CO発生が停止しても前アのように予測しづらいCOの拡散に備え、酸欠空気危険性ガス測定器を活用することが有効である。

(4) CO拡散状況を可視化した動画資料

本検証で得られたCOの拡散挙動の知見を取り入れ作成したシミュレーション映像は肉眼では見えないCOが可視化されており、見る者がCOの拡散状況を理解しやすいことから、防火管理上の資料又は消防隊に対する安全管理上の教養資料としての活用が期待できる。

7 謝辞

本検証にあたり、東京理科大学大学院の関澤愛教授から深いご見識による貴重なご助言を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

1) 飯田ほか：「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」東京消防庁消防技術安全所報第50号、pp.130-137（2013）

2) 日本火災学会編：「火災便覧第3版」（1997）

Study on Carbon Monoxide Diffusion Outside the Room

SANADA Yoshihito*, KIKUCHI Ryouzuke*, Omori Shunsuke*,

IIDA Akihiko*, HOSOYA Masasuke*

Abstract

This study examines the changes in carbon monoxide concentration not only in the carbon monoxide generation room but also in the adjacent spaces including rooms, corridors, stair wells, and other floors in the same building. It also clarifies the situations in which carbon monoxide leaks outside the generation room as well as associated dangers. Safety measures in fire protection management and accident prevention measures for general households were also considered and are intended for use in firefighting activities.

The results confirmed the diffusion trends of carbon monoxide outside the room, and clarified the danger of interior activate generators, the risk of carbon monoxide diffusion throughout the building, and the necessity of ventilation, etc. This study contributed to the clarification of the safety measures in fire protection management, the accident prevention measures for general households, and other measures taken during firefighting activities.

*Equipment Safety Section