

建築工事現場火災の早期発見に向けた一酸化炭素遠隔検知技術の開発

安部健(新コスモス電機(株)) 浅香尚民(新コスモス電機(株)) 光井美穂(新コスモス電機(株)) 谷本翔吾(新コスモス電機(株))

吉岡 英樹（東京大学） 出口 嘉一（国土技術政策総合研究所）

Development of a Remote Carbon Monoxide Detection System for Early Warning of Fire Incidents in Construction Sites.

Takeshi Abe, Naotami Asaka, Miho Mitsui, Shogo Tanimoto, Hideki Yoshioka, and Yoshikazu Deguchi

1. 緒言

建築工事現場において溶接・溶断火花の飛散により断熱材に着火し大規模火災に至る火災が社会問題となっている。具体的な初期消火対策が検討されている中で火災が拡大する際の CO の空間的な発生状況を、レーザーを使った遠隔ガス検知技術[1]を用いて検知し、火災早期発見ツールとしての可能性を検証した。実験では断熱材として用いられるウレタンに引火すると、最終的には激しい炎と大量の煙が発生したが、まだ黒煙が大量に発生する前に CO 発生が確認され、迅速な避難を促すことができる可能性が示唆された。

2. トポグラフィック形オープンパスガス検知装置

ガスに吸収される波長の赤外光を空間に放射してガスを検知する方式を一般にオープンパス式ガス検知器と呼び、そのうち赤外線送信機と受信機を一体化し、地表面などを反射物として利用するものを特にトポグラフィック形オープンパス検知器と呼んでいる。トポグラフィック形は送信機と受信機が一体化されているため、送受信機間の光軸調整が不要で携帯型の検知器構成が可能である。図1に示すようにレーザーダイオードなどから放出された赤外光は、光の波長によって選択的にガスに吸収され地面などの表面で乱反射される。そして装

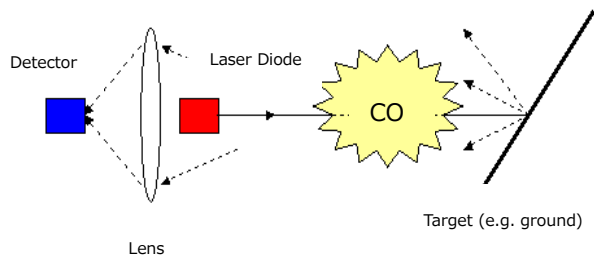


図1 トポグラフィック型オープンパスガス検知器の原理

置に戻った反射光がレンズによって検出器に集光する。
Lambert-Beer の式[2]によればガスによる光の吸収は、

$$P=K \cdot S \cdot \exp(-2 \alpha C) \quad (1)$$

となる。ここで P:受信電力(W)、K:受信効率、S:送信出力(W)、 α :吸収係数($\text{ppm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)、C:ガスのコラム密度($\text{ppm} \cdot \text{m}$)である。検知器では、受信信号を信号処理することによってコラム密度を算出している。ここでコラム密度とは、レーザー光線に沿ってガス濃度を積算した値であり、例えば爆発下限界や致死濃度などのガス濃度には直接変換できないことに注意が必要である。

今回の実験ではCO を選択的に検知できる波長およそ2.3 μ mの赤外線を使った装置により火災現場をスキャンし出火場所の特定が困難な広範囲の監視を試みた。図2に装置の外観を示す。

3. 火災実験の概要

幅、奥行き、天井高さがそれぞれ約2.4mの鋼製の骨組みに壁2面、天

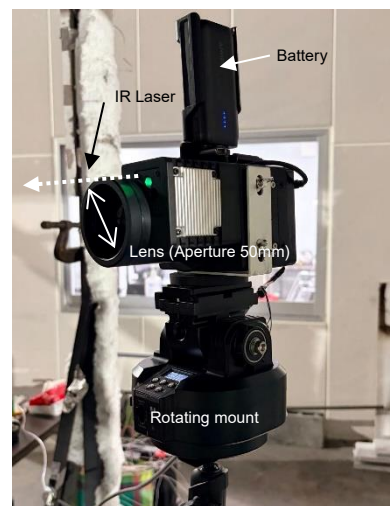


図2 レーザーCO検知器の外観

井、床に石膏ボード(12.5mm 二枚張り)を張り付けた試験体を作製、壁表面にウレタン(ケーユーケー製、現場発泡ウレタンおよそ 30mm 厚)を吹き付けた。工事現場での溶断火花からの着火を想定し、試験体コーナー部に溶断火花が当たるように試験体内に自動ガス切断機を配置、着火確認後に装置を取り出した。図 3 に示すようにレーザーCO検知器をウレタン壁の端からおよそ 4.5 mの位置に設置、床からの高さ1mの位置を往復約 12 秒で繰り返シスキャンした。検知器はウレタン表面からの微小な反射を検知できるため特段の反射物は必要ないが、データの位置関係を特定するため高反射率を有する再帰性反射板(A4サイズ)をマーカーとして 6 枚配置した。

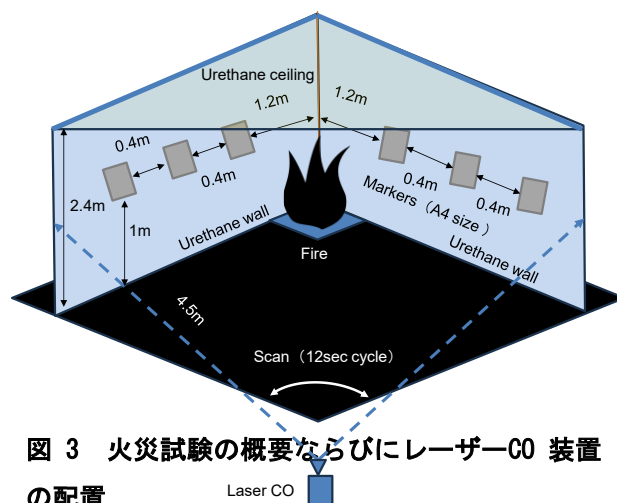


図 3 火災試験の概要ならびにレーザーCO 装置の配置

4. 火災試験の経過

0:00 溶接機からの火花により着火
0:40 黒煙がウレタン表面から出始める。
0:50 天井に黒煙到達。煙濃度はさほど高くない。
1:15 炎急速拡大。白・黒煙の煙濃度上昇
1:25 天井まで延焼、炎が最大。大量の煙
1:30 溶接機退出開始
1:35 天井から火粉。黒煙⇒白煙に移行。
1:40 白煙が充満
1:50 消火開始
2:00 鎮火



図4 ウレタン火災の時間経過。まだあまり煙が出ていない（0:43）頃にCOを検知した。

図5に火災によるCO発生の様子を示す。数値は機器の設置点からレーザー照射しているウレタン表面までのCO濃度の積分値であるが、火災発生直後にはCOは火炎の近傍に集中していると考えられることから、火炎周りの相対的な分布をある程度示していると考えられる。火花をウレタン表面に照射後、約40秒後から黒い煙が発生、10秒ほどで天井に煙は達するが、煙の濃度はまだそれほど高くない。その後ウレタン表面から激しく火炎が発生しおよそ20秒程度で一気に天井に燃え広がり、黒煙と白煙が混じった高濃度の煙が発生した。その後、天井にも延焼し火の粉が落ちてくる状況となり、煙は黒煙から白煙に移行して充満した。消火活動により点火からおよそ2分で鎮火した。目視により、天井における煙濃度がある程度高くなるのは実験開始後50～60秒程度であったが、COの指示値は20秒～30秒経過程度で火炎の近傍で上昇を開始しており、煙に比べて少なくとも約30秒程度早く異常を検知できる可能性が示唆された。布団などの中で煙の発生が抑制される所謂寝たばこ火災などの場合には煙検知機に比べてCO検知器が3分程度早く検知できるとの報告もあるが[3]、ウレタン火災の場合には引火とともに煙が発生するため、

CO検知と煙増加の時間差は小さくなっている。しかし、煙が増加してから10秒程度という短時間で火炎が急速に拡大することから、このタイミングでの30秒は貴重な初期消火あるいは避難時間となりうる。光学式の検知方式であるため煙や炎が検知を妨害することが懸念され、実際非常に激しく火炎が発生したり煙が充満したりした状況においては測定値が得られない状況が発生したが、火災発生の初期段階においては問題なくCOの発生を検知することが確認された。

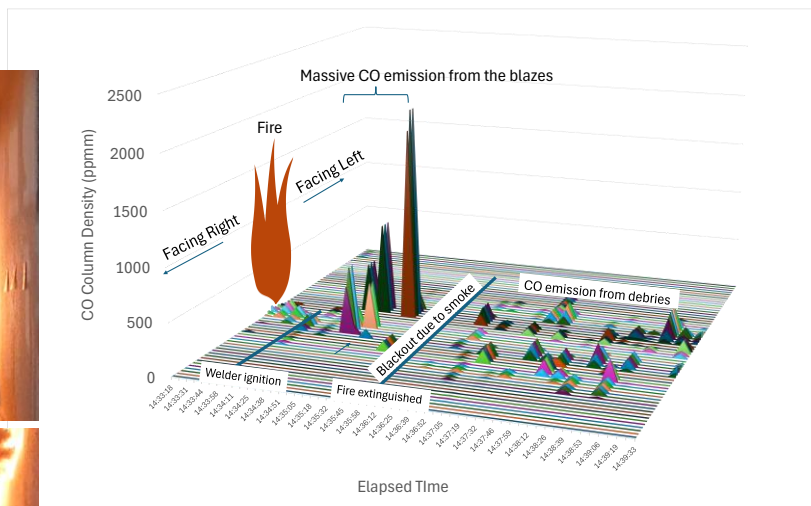


図5 火災の進展に伴うCOの発生の様子

5. 結言

工事現場におけるウレタン火災についてレーザーを用いたCO検知による火災の早期検知の適用性について検討を行い煙検知に比較してより早く火災を検知できる可能性が示唆された。定置型の煙式火災警報器は、工事現場の粉塵などによる誤動作の懸念、さらには検知器設置場所と火災発生場所の相対的な位置関係により、火災を検知できるタイミングが遅れることが懸念されるが、レーザーをスキャンして広範囲の火災検知する方法は、そうした問題を回避する可能性を示唆している。今後は従来の煙検知器を現場に設置しての比較検討などを通してさらなる適用性の検討を進めていく。

謝辞

本研究は科研費研究課題/領域番号 25K01365(建築工事現場の死者を伴う大規模火災のメカニズム解明と死者数低減に向けた新技術開発)の一部として行われたものである。また、レーザーCO検知装置を提供いただいた東京ガスエンジニアリングソリューションズ(株)、JFEスチール(株)、(株)ガスターに謝意を表す。

参考文献

- [1] 世界初の高感度携帯型レーザー式一酸化炭素検知器を開発 <https://www.tokyogas-es.co.jp/information/press/2024/20240514.html> (2026.2.6アクセス)
- [2] 光学技術の基礎用語 https://www.optics-words.com/kogaku_kiso/Lambert-Beers-law.html (2026.2.6アクセス)
- [3] 一酸化炭素中毒事故に関する検証(第二報)寝たばこ火災の無炎燃焼による一酸化炭素の流動拡散、消防技術安全所報、pp.130-137、50号(平成25年)