

火災現場周辺にある有毒ガスを測定する方策に関する検証

中西 智宏*, 望月 真**, 佐藤 和広***

概 要

火災で生じる燃焼生成物には人体に影響を与える有毒ガスが多く含まれており、当庁が配置するガス測定機器では、連続測定の困難性や限定されたガス種しか測定できない等の課題がある。そこで、周辺住民及び消防隊員の安全対策に貢献することを目的として、携帯式で連続的に測定できる測定機器を用いて、火災現場周辺で発生する有毒ガスの測定及び本測定機器の有用性の検証をおこなった。

その結果、①本測定器は火災現場周辺での操作性、耐久性に優れていること ②ホルムアルデヒド、一酸化炭素及び二酸化硫黄の測定値が許容濃度等を超える事例があったことから、安全対策の必要性があること ③火災現場周辺で有毒ガスを連続的に測定することにより、周辺住民及び消防隊員の安全対策を講じる際に、数値的な判断指標として活用できること ④有毒ガスが広範囲にわたって測定された事案もあったことから、工場や倉庫などの大規模な火災では、同時に複数地点での測定が必要であることがわかった。

1 はじめに

火災によって生じる燃焼生成物は多種多様であり、人体に影響を与える一酸化炭素、シアン化水素、ホルムアルデヒド、塩化水素、硫酸化合物及び窒素酸化物等の有毒ガスが多く発生し、致死濃度に達するものの存在も過去の検証で明らかになっている。¹⁾

当庁管内では、作業所の火災に伴い発生した有毒ガスにより周辺住民が避難した事例があり、また、平成20年1月7日に韓国北西部の京畿道利川市で発生した冷凍倉庫火災では、断熱材として施工された硬質発泡ウレタンの燃焼で大量に発生した有毒ガスにより周辺住民が避難し、消防隊の活動も長時間に及んだ。

2 目的

当庁が配置するガス測定機器には、検知管や酸欠空気危険性ガス測定器があるが、検知管は定点で1回吸引測定ごとに検知管を交換しなければならないため、連続測定ができない。また、酸欠空気危険性ガス測定器は測定できるガス種が、酸素、硫化水素、一酸化炭素及び可燃性ガスに限定されている。

これらのことから、消防隊員及び住民の安全対策に貢献することを目的とし、火災現場で発生する有毒ガスを、携帯式で連続的に測定できる測定機器を検証した。

3 検証方法

(1) 測定機器

ア 測定機器の選定

現有の酸欠空気危険性ガス測定器のような携帯式で、測定対象ガスを積載替えできる機能を持ち、火災現場周辺で使用することから、耐衝撃性や防塵・防水性等を有し、ランプとブザーにより警報を発する機器を検証した結果、以下の測定器を選定した。測定器の仕様を表1に示す。



写真1 測定器外観

表 1 測定器仕様

測定原理	電気化学式	接触燃焼式	赤外線式
センサ装着数	3種まで	2種まで	
測定ガス種	63種	38種	30種
警報設定値	任意に2段階設定		
警報	ランプ、ブザー (90dB以上)		
ガス採気方式	拡散式または吸引式		
電源	NiMH 充電電池		
連続使用時間	9時間以上		
寸法、重量	155×142×74mm、1.35kg		
使用温湿度範囲	-20℃~55℃、10~95%RH		
保護等級	IP67		
データロガー	50時間		

イ ガスセンサーの選定

「火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について」¹⁾、「残火処理活動現場等に存在する粉塵等の検証と防護方策」²⁾及び「耐火室内火災における発生ガスの毒性評価」³⁾の各文献を検証した結果、8種のガスセンサー（ホルムアルデヒド HCHO、一酸化炭素 CO、二酸化硫黄 SO₂、シアン化水素 HCN、硫化水素 H₂S、二酸化窒素 NO₂、アンモニア NH₃、塩素 Cl₂）を選定した。

ウ 注意報値及び警報値の設定

選定した測定器には、測定者に危険を報知する機能として、アラームとランプ点滅機能が備わっており、任意に2段階の設定が可能である。

労働安全衛生法の管理濃度^{*1}、日本産業衛生学会勧告の許容濃度^{*2}、ACGIH（米国産業衛生専門官会議）のTLV-TWA 濃度^{*3}（時間荷重平均）及び TLV-STEL 濃度^{*4}（短時間暴露平均）を検証した結果、表2に示す注意報値と警報値を設定した。

なお、上記の濃度には、8種の測定対象ガスすべてに対応したデータが示されていないため、注意報値は主に許容濃度か TLV-TWA 濃度に示されている濃度、また、警報値は主に TLV-STEL 濃度に示されている濃度に設定した。

*1 作業環境測定基準に従って実施した結果から、作業環境管理の良否を判断する際の管理区分を決定するための指標として定められた濃度

*2 労働者が有害物質に暴露される場合に、当該物質の空气中濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪影響がみられないと判断される濃度

*3 1日8時間、1週40時間の正規の労働時間中の時間荷重平均濃度として表され、大多数の労働者はその条件に連日繰り返し暴露されても健康に悪影響を受けない濃度

*4 短時間継続的（15分間）にその環境に暴露されても、耐えられないほどの刺激、慢性的なまたは非可逆的な生体組織の損傷及び麻酔作用による障害事故発生の危

険増加、自制心の喪失、著しい作業能率の低下が起こらない濃度の限界

表 2 注意報値及び警報値の設定

ガス種	注意報値	警報値	労働安全衛生法 管理濃度	日本産業衛生学会 許容濃度	ACGIH TLV-TWA	ACGIH TLV-STEL
HCHO	0.1	0.3	0.1	0.1	なし	0.3
CO	25	50	なし	50	25	なし
SO ₂	2	5	なし	なし	2	5
HCN	3	5	3	5	なし	4.7
H ₂ S	5	15	5	5	10	15
NO ₂	3	5	なし	なし	3	5
H ₂ S	5	15	5	5	10	15
NH ₃	25	35	なし	25	25	35

*単位 ppm

(2) 火災現場周辺での有毒ガス測定

測定位置は火点建物を中心に現場指揮本部、火点建物周囲、隣家及び火災警戒区域付近の路上等で、火点を一巡するように測定した。また、可能な限り火点室内についても測定した。

各測定位置で3(1)イに示す8種のガス濃度を測定した。



写真 2 測定状況

4 結果と考察

(1) 全体的な傾向

住宅火災周辺での測定では、現場指揮本部前や警戒区域外においても警報値を超える事例があった。なお、視界が遮られるほどの煤や粉塵が漂っていた場所もあり、一時的に大きく警報値を超えることもあった。

また、火点隣室、火点上階、隣棟、非開放廊下などの屋内で換気が悪い部分では、ほとんどの事例で大きく警報値を超えたが、それと比較して、延焼防止後の火点室内では低い測定値を示した。

これは、放水により室内が換気され、同時に水に可溶性成分が溶けたことにより、有毒ガスが除去されたものと考えられる。

(2) 各ガスセンサー測定値の傾向

事例1～事例24で測定された各ガスセンサー測定値の最大濃度を表3に示す。

ア ホルムアルデヒド(HCHO)

24事例のうち、23事例で大きく警報値を超えた。事例5の火点下階及び事例9の路上で、100ppm(測定上限)以上であった。

換気の悪い室内で測定した場合、ほとんどの事例で最大値が10ppmを超えたが、屋外や鎮圧前後の室内では、10ppm以下の場合が多かった。

測定値が0.0ppmの1事例は、延焼防止後に測定を開始し、火点建物周囲のみ測定した事例であった。

表3 事例1～24で測定された最大濃度

	HCHO	CO	SO ₂	HCN	H ₂ S	NO ₂	NH ₃	Cl ₂
注意値	0.1	25	2	3	5	3	26	0.5
警報	0.9	50	5	5	15	5	95	1
1	16.5 北露地	36.0 指標本部	1.0 指標本部	0.3 北露露地	0.0	0.0	3.0 指標本部	0.05 指標本部
2	9.0 活動現場	16.0 活動現場	0.3 活動現場	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	27.0 火点室内	42.0 火点室内	2.7 火点室内	0.6 火点室内	0.7 火点室内	0.0	0.0	0.0
4	41.5 火点室内	68.0 火点室内	0.6 火点室内	2.0 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0
5	100over 火点下階	190.0 火点下階	4.8 火点下階	0.9 火点下階	1.1 火点下階	0.0	0.0	0.05 火点下階
6	7.0 活動現場	19.0 活動現場	0.2 活動現場	0.4 活動現場	0.0	0.0	0.0	0.05 南露露上
7	89.5 指標2階	130.0 指標2階	6.7 指標2階	0.2 指標2階	1.4 指標本部	0.6 指標本部	---	---
8	5.5 火点室内	7.0 火点室内	0.6 火点室内	0.2 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0
9	100over 南露露上	149.0 指標3階	2.7 指標3階	1.2 南露露上	1.2 南露露上	0.0	0.0	0.0
10	55.5 火点室内	218.0 火点室内	3.2 火点室内	1.3 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0
11	3.0 火点室内	4.0 火点室内	0.0	0.4 指標本部	0.0	0.0	4.0 火点室内	0.0
12	24.0 活動現場	38.0 活動現場	2.1 活動現場	0.8 活動現場	0.0	0.0	3.0 活動現場	0.0
13	10.0 火点上階	13.0 火点上階	1.0 火点上階	0.0	0.0	0.0	2.0 火点上階	0.0
14	1.5 南露露地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	37.0 火点隔壁	20.0 火点隔壁	1.9 火点隔壁	4.2 火点隔壁	0.0	0.0	0.0	0.0
16	94.5 火点上階	149.0 火点上階	9.1 火点上階	1.4 火点上階	0.6 火点上階	0.0	0.0	0.0
17	39.5 火点室内	46.0 火点室内	0.8 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	16.5 火点室内	16.0 火点室内	1.1 火点室内	0.4 火点室内	0.0	0.0	2.0 火点室内	0.0
19	9.0 火点室内	11.0 火点室内	0.7 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	10.0 活動現場	21.0 活動現場	0.6 指標3階	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	10.0 火点室内	19.0 火点室内	0.6 火点室内	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	56.0 火点上階	---	---	1.4 火点上階	---	---	---	---
24	61.6 活動現場	---	---	0.4 活動現場	---	---	---	---

イ 一酸化炭素(CO)

24事例のうち、10事例で注意報値を超え、6事例で警報値を超えた。一酸化炭素が高い値を示す位置では、ホルムアルデヒドも高い値を示した。

事例10で最大218ppmが測定されたが、頭痛や耳鳴りなどの生理的影響はなかった。

ウ 二酸化硫黄(SO₂)

24事例のうち、7事例で注意報値を超え、3事例で警報値を超えた。二酸化硫黄が高い値を示す位置では、ホルムアルデヒド及び一酸化炭素も高い値を示した。

エ シアン化水素(HCN)

24事例のうち、1事例で注意報値を超えた。他15事例で0.2～2.0ppmが測定されたが、シアン化水素に特有の臭気は感じられなかった。

オ 硫化水素(H₂S)

24事例のうち、すべての事例で注意報値を超えなかった。5事例で0.6～1.4ppmが測定されたが、硫化水素に特有の臭気は感じられなかった。

カ 二酸化窒素(NO₂)

24事例のうち、すべての事例で注意報濃度を超えなかった。1事例で0.6ppmが測定されたが、他23事例での測定値は0.0ppmであった。

キ アンモニア(NH₃)

24事例のうち、すべての事例で注意報濃度を超えなかった。5事例で2.0～4.0ppmが測定されたが、アンモニアに特有の臭気は感じられなかった。

ク 塩素(Cl₂)

24事例のうち、すべての事例で注意報濃度を超えなかった。3事例で0.05ppmが測定されたが、他21事例での測定値は0.00ppmであった。

(3) 測定器の性能

24の火災現場において測定を行い、実用上から耐久性及び操作性について検証した結果は以下のとおり。

ア 耐久性

(7) 耐水性

火災現場周辺で、消火水がかかっても正常に機能した。

(イ) 耐煙性

火災現場周辺で、煤や粉塵を吸っても正常に機能した。

(ロ) 耐衝撃性

測定器を首にぶら下げた状態で活動し、測定器相互の衝突や、他の物体への衝突などの衝撃を受けても正常に機能した。

(エ) 耐候性

低温(冬季の気温)状態で、正常に機能した。

火災現場における高温多湿の環境下で、正常に機能した。

(オ) 耐汚損性

測定器の外装の汚れは、ガスセンサー内までは及ばず、拭き取るだけで初期性能を保つことができた。

(カ) 各部位の信頼性

タッチパネルの機能は、初期性能を保つことができた。ショルダーベルトは、使用時に切れることはなく耐久性は十分であった。

しかし、ポンプ取り付けネジは、繰り返しの使用により緩くなったので、耐久性を向上する必要がある。

(キ) 充電電池の持久性

週1回の充電で、複数回の測定が可能であった。

しかし、充電電池の特性として、電池残量がある状態で充電・放電の繰り返しにより機能が低下する恐れがある。(電池のメモリー効果)



写真3 煤や粉塵中での測定状況(事例9)

イ 操作性

(ア) キーの操作性

ファンクションキー設定で、使用頻度の高い機能をショートカットできた。

(イ) ディスプレイの視認性

バックライトが付いており、暗がりでも視認性が高かった。

(ウ) 測定記録

データロガーは、最短1秒間隔で測定値を記録でき、活動状況の時間を記録しておくことにより、その時間帯での測定値の推移を確認することができた。

(エ) 警報

警報音とともに、測定器上部にある警報ランプの点滅により、注意報及び警報を明瞭に覚知することができた。

ウ 特性

(ア) ガスセンサー

検証した測定器に装着できるガスセンサー数は、各方式ごとに、電気化学式3、接触燃焼式1、赤外線式1の計5種のガスセンサーである。

3(1)イで選定した8種のガスセンサーはすべて電気化学式に対応するため、3(1)アで選定した測定器本体2台に電気化学式3種ずつ計6種(ホルムアルデヒド HCHO、一酸化炭素 CO、二酸化硫黄 SO₂、シアン化水素 HCN、硫化水素 H₂S、二酸化窒素 NO₂)を装着し測定を行った。

残る2種(アンモニア NH₃、塩素 Cl₂)については、

A社製同等機種に装着し測定を行った。

(イ) タイムラグと連続測定

測定開始後、その現場での値を示すまでに数秒要した。また、高濃度のガスが測定された場合、測定値が0に戻るまでに時間を要する場合があった。

(ウ) 干渉ガス

搭載されたガスセンサーの特性により、目的とする成分以外にも反応する場合がある。

5 干渉ガスについて

(1) ガスセンサーの干渉ガス

単一の気体を測定する場合には、その値をそのまま読み取ることができるが、混合気体を測定する場合は、ガスセンサーの特性上、干渉ガスの影響を考慮しなければならない。

そこで、メーカーが独自に他ガスの影響を1種ずつテストしたデータシートの結果を活用した。

(2) 現場から採取した気体の成分分析

火災現場の気体は、建物の建材や収容物など様々な燃焼生成物の混合気体であり、また、火災現場により構成比も変化すると思われる。

そこで、干渉ガスが存在するかを確認するため、事例7、事例8及び事例10の現場で気体を採取し、以下の条件で、阻害物質除去装置付ガスクロマトグラフ質量分析装置(以下「ENTECH-GC-MS」という。)を使用し、成分分析を行った。

ア 測定機器

阻害物質除去装置

ENTECH 7100A (ENTECH Instruments inc.)

ガスクロマトグラフ質量分析装置

Agilent Technologies 6890N Network GC System (Agilent Technologies 社)

Agilent Technologies 5973 inert MSD (Agilent Technologies 社)

イ 分析条件

阻害物質除去装置

・3ステージトラップ
第1: -150°C→10°C
第2: -30°C→180°C
第3: -160°C

・昇温速度 10,000°C/min
・スイープパージガス ヘリウム
・パルスガス 乾燥空気

ガスクロマトグラフ質量分析装置

・カラム HP-1 (60m×0.32mm×1.00μ)
・オープン温度 40°C→220°C (昇温5°C/min)
220°C→240°C (昇温15°C/min)
240°C (2min ホールド)

・昇温速度 5°C/min
・注入口温度 220°C
・検出器 MS (四重極型質量分析器)

- ・検出器温度 150℃
- ・キャリアーガス ヘリウム



写真4 気体採取状況

ウ 成分分析結果

ENTECH-GC-MS 測定の結果を図1、2に示す。測定時間が0～30分の間で主に、表4に示す成分が検出された。これらの成分中で、ガスセンサーの干渉ガスとしてデータシート中に記載があるものは、ベンゼン、トルエン、キシレン(o-キシレン)、二酸化炭素、アセトアルデヒド、エチルアルコール、アセトンであった。

エ 成分分析結果に対する考察

データシートから、ENTECH-GC-MS で検出された成分がそれぞれ単体で空气中に存在した場合、ガスセンサーの測定値に1ppm 影響するにはかなり高濃度で存在しなければならないものが多いことがわかった。

表4 成分分析結果

番号	名称	番号	名称
①	2,3-ブタジエン	⑪	二酸化炭素
②	2-メチルフラン	⑫	プロペン
③	ベンゼン	⑬	プロピン
④	トルエン	⑭	クロロメタン
⑤	3-メチレンヘプタン	⑮	アセトアルデヒド
⑥	エチルベンゼン	⑯	1,3-ブタジエン
⑦	o-キシレン	⑰	エチルアルコール
⑧	スチレン	⑱	アセトン
⑨	ピネン	⑲	フラン
⑩	1-プロピニルベンゼン	⑳	1,3-シクロペンタジエン

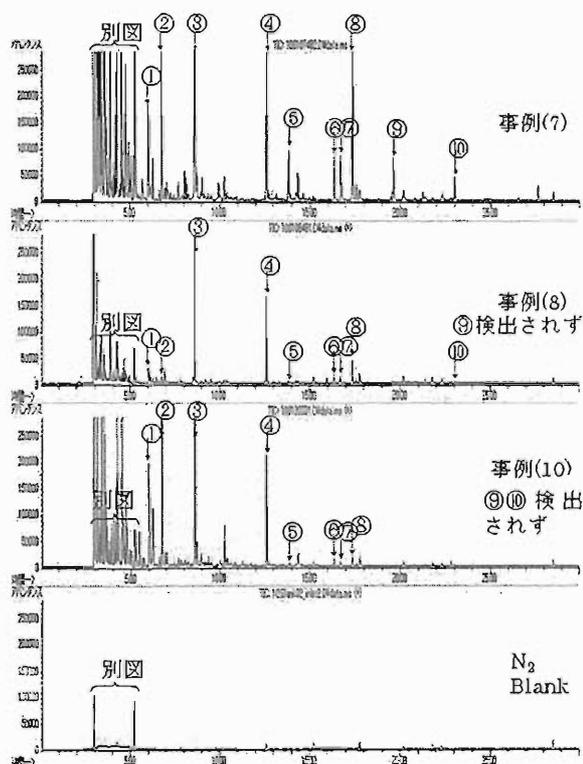


図1 ENTECH-GC-MS 測定結果(0～30分)

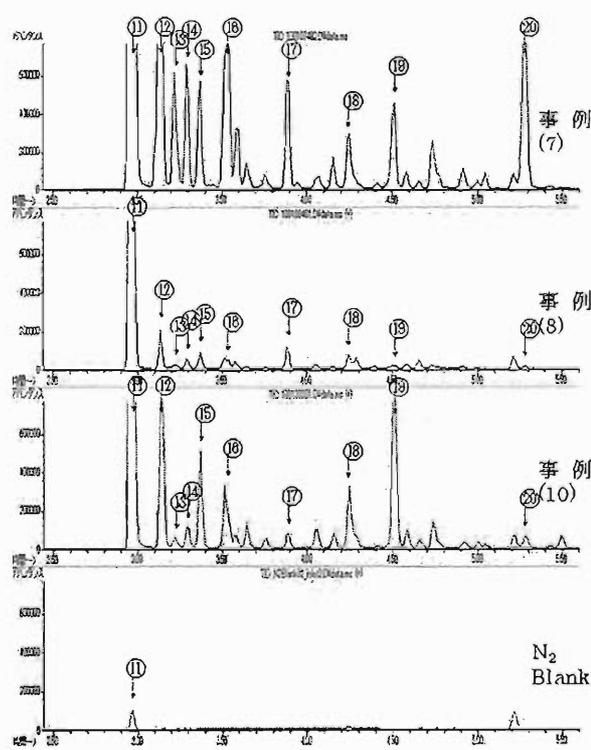


図2 ENTECH-GC-MS 測定結果(0～0.5分の拡大図)

5 消防隊員及び住民の安全対策

大きく警報値を超えた有毒ガス濃度は、CO が 218ppm、HCHO が 100ppm（測定上限値）以上であった。

その生理的影響としては、200～300ppm の CO を 5～6 時間吸引することにより頭痛及び耳鳴りを生じる。⁴⁾ また、2 ppm の HCHO は粘膜への刺激を与え、50～100ppm の数分曝露で咽喉炎、気管支炎及び深部気道障害が生じる。⁵⁾

本検証の火災現場での実感では、HCHO 約 5 ppm 程度から目や鼻に刺激を感じるが多かった。

現場指揮本部付近や屋外の活動現場で警報値を超えることもあったことから、消防隊員の安全対策として、測定値と生理的影響を踏まえて、空気呼吸器や防毒マスク等の身体防護措置を講じるか否かを数値的に判断するための指標として活用できる。

また、警戒区域外でホルムアルデヒド 5 ppm 等が測定された場所において住民が口や鼻を押さえて避難することもあったことから、住民の安全対策として、測定値を目安に住民を避難させたり、窓を閉めたさせたりする等の判断をするための指標としても活用できる。



写真5 避難する住民（事例12）

6 おわりに

- (1) 本測定器は、携帯式で操作性も良く、火災現場周辺での使用に耐久性があることがわかった。
- (2) ホルムアルデヒド HCHO、一酸化炭素 CO 及び二酸化硫黄 SO₂ の測定値が警報値を超える事例があったことから、安全対策の必要性が改めて確認できた。
- (3) 火災現場で発生する様々な燃焼生成物の混合気体を測定することから、ガスセンサーの特性上、干渉ガスの問題があるが、ENTECH-GC-MS の成分分析結果とデータシートを比較すると、本測定器に搭載したガスセンサーに影響するほど高濃度で存在した成分は検出されなかった。
- (4) 火災現場で有毒ガスを連続的に測定することにより、消防隊員及び周辺住民の安全対策を講じるにあたって、数値的に判断するための指標として活用できる。
- (5) 本検証では、火点建物周囲を移動しながら測定を行

ったが、有毒ガスが広範囲にわたって測定された事例もあることから、工場や倉庫など大規模な火災ではさらに、複数地点で同時に継続的な測定も必要であると思われる。

[参考文献]

- 1) 鈴木唯一郎、武田松男、稲村武敏、田中康之：火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について、消防科学研究所報 26 号、p45-52、1989
- 2) 岡崎洋行、五味正光、海和晋史、木田清春：残火処理活動現場等に存在する粉塵等の検証と防護方策、消防技術安全所報 46 号、p87-95、2009
- 3) 守川時生、箭内英治：耐火室内における発生ガスの毒性評価、消防研究所報告 57 号、消防研究所、p67-74、1985
- 4) 火災燃焼生成物の毒性、新日本法規、p37-38、1987
- 5) 火災燃焼生成物の毒性、新日本法規、p42、1987

Verification Concerning the Measurement of Toxic Gas in the Area around the Fire Ground

Tomohiro NAKANISHI*, Makoto MOCHIDUKI**, Hirokazu SATOU***

Abstract

Although combustion products produced from a fire contain a lot of toxic gases harmful to the human body, the TFD's current gas-measuring devices have limited capabilities: continuous measurement is not possible for one type of the devices and the number of gas types is limited. This is the problem we have to solve in order to secure the safety of firefighters on scene and residents living near the incident site. We thus used the portable devices capable of measuring gases continuously and measured the gasses generating on the fire ground, and assessed their effectiveness.

As a result we found the following: (1) Good operability and durability of these measuring devices were identified. (2) In some cases the values of HCHO, CO, and SO₂ were over the warning value. This requires us to take safety measures. (3) By measuring toxic gases continuously, we can produce numeric guidelines which are utilized to assess the possible risks of nearby residents and on-scene firefighters and take preventive measures. (4) Toxic gases were detected over a wide range of areas in some cases, suggesting that we should conduct measurement in several spots at the same time in case of large-scale fires of a factory or a warehouse.