

火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について

Analyzed gases of burning products collected at fire scenes.

鈴木 唯一郎**

武田 松 男*

稲村 武 敏*

田中 康 之*

概 要

燃焼生成ガスの毒性調査のため、世界でも稀な「火災現場での燃焼生成ガス採取」を試み、分析を実施した。この調査により次の点が確認され、今後の消防活動や住民指導を考える際の一助となった。

1. 火災室及びその付近では、人体に影響を与える多種類の燃焼生成ガスが、高濃度で発生していることが確認された。
2. 一酸化炭素とシアン化水素については、「数分間の暴露で死に至る」濃度で検出された。

We collected gases of burning products at fire scenes, and examined toxicity test. It was rarely to collect gases at fire scenes. Through this examination we confirmed the following.

1. In fire room and its surrounding, we found dense and many kinds of toxic gases.
2. By chemical analysis, carbon monoxide and hydrogen cyanide were detected rather high density of gases that drives a man to death within few minutes exposure.

1. はじめに

近年の建物火災における死者発生状況には、火災時の熱に起因するもののみならず、火災室内で発生する燃焼生成ガスの影響によるものと思われる事例が多く見られる。当庁管内で発生した火災による死因状況のうち、煙・ガスに関連して過去5年の平均で年間16.4人（火災による死者全体の20.5%）の人命が犠牲になっている。

当研究所では、火災による燃焼生成ガスの発生状況を調査し、その毒性危険の実態解明と、安全対策作成のための資料収集を目的とした各種研究を実施しており、今回その一環として研究所を挙げて火災現場の燃焼生成ガスを採取し、分析したのでその結果を報告する。

2. 採取体制と経過

昭和61年8月より4期に分けて実施してきた火災現場からの燃焼生成ガス採取（以下、「ガス採取」という。）の概要は、表1に示すとおりである。

第1期及び第2期は、当庁管内で比較的建物火災の件数が多い消防署を、第3期及び第4期ではそれに加え当研究所で機器分析する際に、比較的短時間で回収可能であること等を勧案して選定し、協力を要請したものである。

3. 実施要領

(1) 採取方法

火災現場の火災室付近で発生した燃焼生成ガス（以下、「ガス」という。）は、写真1に示す「携帯用ガス採取器」（以下、「採取器」という。）を用いてサンプリングバッグ（1ℓ及び5ℓ）に採取した。なお同一火災において努めて数回の採取を実施した。

採取器は、市販の充電式ハンディクリーナーを基に当研究所で製作したもので、火災室等から離れた場所においても採取できるように、伸縮式の採取パイプを使用した。

*第一研究室 **予防部予防課

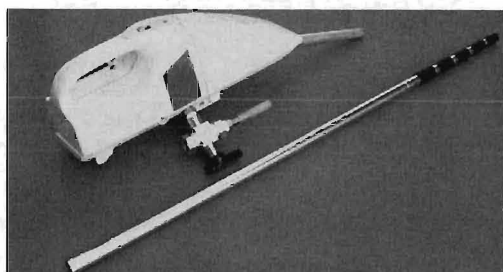


写真1 携帯用ガス採取器

(2) 分析方法

分析した毒性を有するガスの種類は、過去の火災実験結果や大学並びに防災行政機関の研究所における研究結果を参考とし、一般家庭で多く使用されている可燃物から発生する毒性を有するガス(以下、「毒性ガス」という。)のうち比較的発生量の多い「一酸化炭素」(CO)、「二酸化炭素」(CO₂)、「シアン化水素」(HCN)、「塩化水素」(HCl)、「硫黄酸化物」(SO_x)、「窒素酸化物」(NO_x)の6種類に特定した。

表1 各期別の採取件数、実施期間及び採取体制

期	所 属	採取件数及び事例数		実 施 期 間	採 取 体 制
1	足 立	4 件 (7 例)	6 件 (11例)	昭和61年 8 月 1 日～ 同年 8 月31日まで (31日間)	消防科学研究所員が、各消防署に出向し、24時間体制で採取した。
	西新井	2 -(4)			
2	世田谷	9 -(19)	9 -(19)	昭和62年 2 月 1 日～ 同年 3 月10日まで (38日間)	
3	目 黒	8 -(8)	38-(57)	昭和62年 4 月20日～ 同63年 8 月10日まで (約 1 年 4 ヲ月)	各消防署員により、8 時30分～17時15分の間に覚知した火災に限り採取した (土曜日の12時30分以降及び休日を除く)。
	世田谷	12-(22)			
	渋谷	5 -(10)			
	新 宿	4 -(4)			
	杉 並	9 -(13)			
4	目 黒	2 -(2)	40-(51)	昭和63年 9 月 1 日～ 同年12月26日まで (約 4 ヲ月)	各消防署員により、24時間体制で採取した。
	世田谷	17-(22)			
	渋谷	1 -(1)			
	新 宿	3 -(4)			
	中 野	2 -(2)			
	杉 並	1 -(1)			
	志 村	2 -(3)			
	西新井	12-(16)			
合 計		93-(138)			

* 「件」はガス採取を実施した火災件数を示し、「例」はガス採取事例数を示す。

第1期の分析は「ガス検知管方式」により実施したが、共存ガスの影響を受けやすく、正確な数値が得られなかったので、第2期以降は、ガスクロマトグラフ及び液体クロマトグラフにより分析した。

なお、機器分析は第二研究室が担当した。

ア ガスクロマトグラフ

火災現場において1ℓサンプリングバッグに採取したガスを当研究所に回収し、ガスクロマトグラフ（㈱日立製作所製・163-5015）に1ml注入し、一酸化炭素及び二酸化炭素濃度を測定した。カラム及び検出器は表2のとおり。

表2 ガスクロマトグラフの「カラム」及び「検出器」

	CO	CO ₂
カラム	モレキュラーシーブ5A	活性炭
検出器	熱伝導度検出器（TCD）	

イ 液体クロマトグラフ

火災現場においてガス採取した5ℓサンプリングバッグ内にその場でシリンジを用いて0.1N水酸化ナトリウム水溶液を50ml注入し、2～3分攪拌してバッグ内のガスを吸収させ、当研究所に回収した。

この事前処理された水酸化ナトリウム水溶液を0.05～0.1ml取出し、液体クロマトグラフ（㈱日立製作所製・655A-40）を使用して、シアン化水素、塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物の濃度を測定した。カラム及び検出器は次のとおり。

表3 液体クロマトグラフの「カラム」及び「検出器」

	HCN	HCl, SO _x , NO _x
カラム	SAXI-205	I-524A
検出器	電気化学検出器	電気伝導度検出器

—以下の内容については、第4期の採取結果に基づいたものである。—

4. 採取状況

(1) 火災程度

ガス採取を実施した建物火災の焼損程度別の状況では、部分焼以上の延焼火災が全体の67.5%を占め、小火は30.0%であった。なお、車両火災からの採取（2.5%）もあった。

(2) 建物構造、用途

ガス採取を実施した建物を構造別に見ると、「木造」（外壁防火構造を含む）が全体の過半数を占めており、「耐火構造」は22.5%であった。

また、用途別では「住宅」及び「共同住宅」で過半数を占め、「複合用途建物」の「住宅」部分からの採取を含めると、全体の75.0%が居住用途からの採取であった。

(3) 採取時間

火災覚知からガス採取実施までに要した時間は、5分以上10分未満の間が過半数を占めており、平均約13分であった。

(4) 消防隊の放水状況と開口部の開閉状況

ガス採取した部分の大半は、消防隊により放水が行われていた。

また、火災室等の開口部（屋内及び屋外を含む）の開閉状況も、大半が開放された状況であった。

(5) 火点等からの距離

ガス採取を実施した位置が、火点又は火災室等の燃焼実体からどの程度離れていたか（以下、「採取距離」という）を調べたところ、1m未満（直線距離、以下同じ）のものが最も多く、2m未満のものと合計すると全体の半数を占めている。

5. 分析結果

(1) 燃焼生成ガスの分析結果

火災現場で採取したガスを分析した結果、次のような特徴が見られた。

ア 二酸化炭素及び塩化水素については、全ての採取事例から検出され、一酸化炭素は全体の94.1%から検出された。

イ シアン化水素、硫黄酸化物及び窒素酸化物はそれぞれ全体の54.9%、64.7%及び17.6%で検出された。

ウ 火災の程度に関係なく、人体に対し高い

毒性を示す濃度のガスが検出された。

(2) 燃焼生成ガスの人体への影響

今回分析を行った各種ガスには、次のような特徴が見られた。なお、今回分析を行った各種ガスの人体に対する影響は、表4に示すとおりである。

ア 労働衛生上の許容濃度を超えるガスの発生割合をみると、塩化水素(100%)が最も多く、次いで一酸化炭素(90.7%)、硫黄酸化物(51.0%)、二酸化炭素(46.5%)、シアン化水素(33.3%)、窒素酸化物(17.6%)の順となっていた。

イ 全採取事例の25.5%から「数分間暴露で

死に至る」濃度(以下「致死濃度」という。)のガス(一酸化炭素もしくはシアン化水素)が検出された。

ウ 二酸化炭素については、全採取事例の4.0%から「即、昏睡に陥る」濃度を超えるガスが検出され、塩化水素については、41.2%から「目・気道の粘膜に対する刺激により数分しか耐えられない」濃度以上のガスが検出された。

エ 硫黄酸化物は最高値でも「30分～1時間の暴露で危険」となる濃度、窒素酸化物では「1時間暴露でも耐えられる」濃度が最高だった。

表4 燃焼生成ガスの人体に与える影響

ガス 症状等	二酸化炭素 CO ₂ (%)	一酸化炭素 CO(%)	シアン化水素 HCN(ppm)	塩化水素 HCl(ppm)	硫黄酸化物 ^{*8} SO _x (ppm)	窒素酸化物 ^{*11} NO _x (ppm)
数分間暴露で致死	20 ^{*3}	0.5～1.0 ^{*5}	180	1000	500	250～775
30分間暴露で致死	10 ^{*4}	0.30	135	500	400	
30分～1時間暴露で危険	5.0～6.7	0.20	110～135	10～50 ^{*6}	50～100	100～150
1時間暴露で耐えられる ^{*1}	3.0～4.0	0.05	45～54	～10	10 ^{*9}	～100
数時間暴露で安全	1.1～1.7	0.01	20		～10	10～49 ^{*12}
労働衛生上の許容濃度 (日本) ^{*2}	0.5	0.005	10	5 ^{*7}	5 ^{*10}	5 ^{*10}

*1 若干の中毒症状が現れる。

*2 労働安全衛生法、事務所衛生基準規則、日本産業衛生学会(昭和54年)による。

*3 数値は、それぞれの症状等の現れる濃度を示す。日本火災学会編「火災便覧」共立出版、自治省消防庁予防課監修「火災燃焼生成物の毒性」新日本法規より引用。

*4 8%で昏睡状態。

*5 1～2分で致死。

*6 目、気道の粘膜に対する刺激により、50ppmで数分しか耐えられない。

*7 5ppmで鼻腔及び咽喉に刺激。

*8 主に二酸化硫黄による影響。

*9 20ppmで目の粘膜への刺激。

*10 臭気あり。

*11 主に二酸化窒素による影響。

*12 20ppmで目、鼻、気道等の粘膜への刺激。

(3) 燃烧生成ガスの濃度と採取に係わる要素との関係

分析を行った6種類のガスの濃度とその採取に係わる要素（採取距離、採取時間、火災程度、放水の有無）との関係について検討した結果、次のような特徴が見られた。

ア 全般に、放水前の燃烧物直近において比較的高濃度のガスが採取された。

イ 致死濃度に達する一酸化炭素は、採取距離、採取時間、放水の有無にほとんど関係なく採取された。

ウ 致死濃度に達するシアン化水素は、放水前の燃烧物の直近から採取したものに多かった。

エ 水溶性の高いシアン化水素、塩化水素、硫黄酸化物は、概して放水後に比べ放水前の方が濃度が高い傾向が見られた。

比較的高い濃度が検出された一酸化炭素及びシアン化水素について前述の4要素と濃度との関係を図示したものが、図1及び図2である。

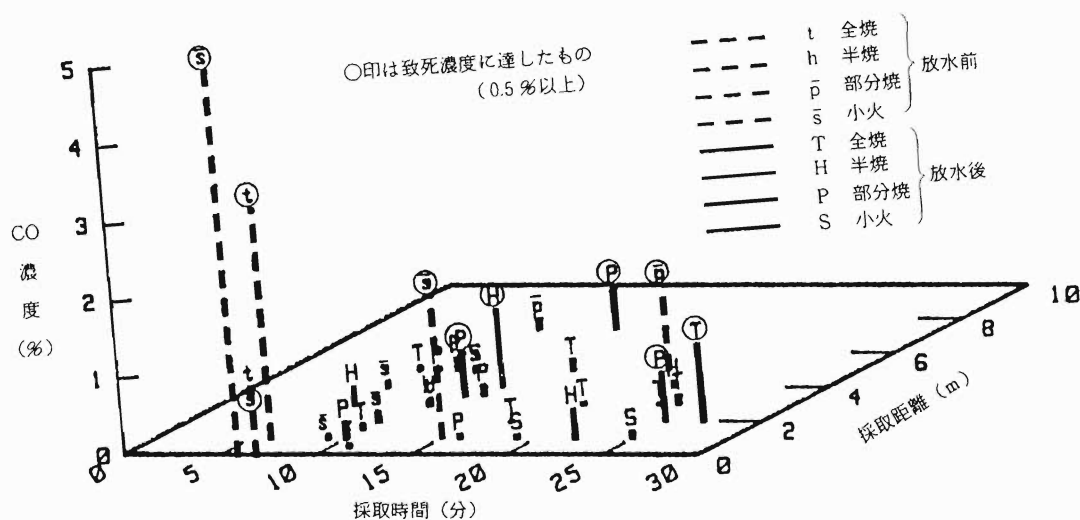


図1 一酸化炭素濃度と採取に係わる要素との関係

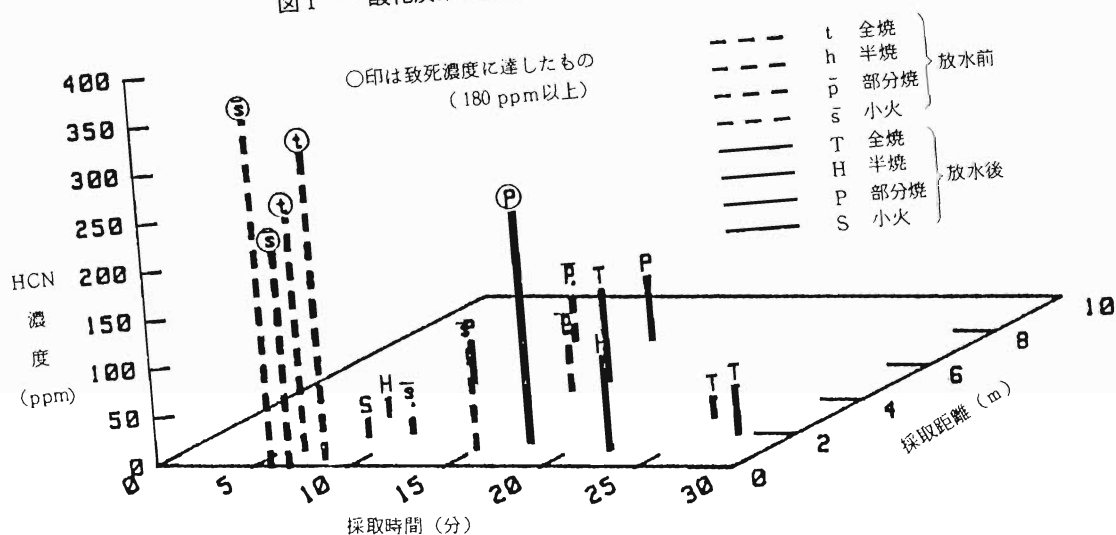


図2 シアン化水素濃度と採取に係わる要素との関係

6. 考 察

(1) 燃烧生成ガスの発生状況について

ア 一酸化炭素の発生状況

(7) 致死濃度に達する一酸化炭素が検出された火災の約73%は部分焼以上の火災であり、ガス採取時には、部屋または建物全体が延焼中であった。

(4) 致死濃度に達する一酸化炭素が、採取時間、採取距離及び放水の有無に関係なく延焼火災で多く検出されたのは、延焼火災では放水後であっても、なお盛んに燃烧している部分が存在し、そこで多量の一酸化炭素が発生しているためと推定される。

(ウ) 二酸化炭素濃度は、火災室の温度が高くなるにつれて増加するといわれている。図3に示すように二酸化炭素濃度の増加につれて一酸化炭素濃度も増加する傾向がみられ、高濃度の一酸化炭素が発生するのは、高温下の燃烧が盛んな状況であると推定される。

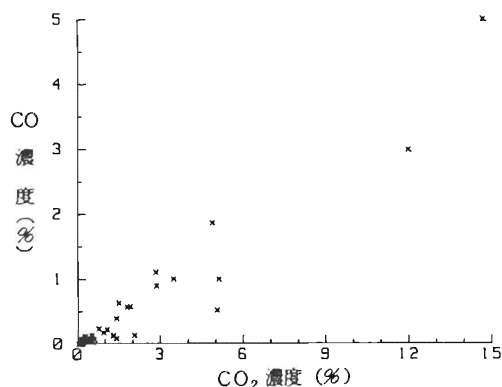


図3 火災現場から採取した燃烧生成ガス中の一酸化炭素濃度と二酸化炭素濃度の関係

イ シアン化水素の発生状況

(7) シアン化水素が致死濃度に達した採取事例は火災の中、またはその直近から採取したものに限られており、そのうちの80%は放水前に採取されたガスから検出されている。

採取時の火災の状況はいずれも小屋裏や部屋全体が盛んに燃烧している時期であった。

(4) シアン化水素発生時の燃烧の度合いを見るため、シアン化水素濃度と二酸化炭素濃度／二酸化炭素濃度比との関係を図4に示した。

火災現場において採取したガスで高濃度のシアン化水素が発生しているのは、火災の程度に係わらず、二酸化炭素濃度／一酸化炭素濃度の値が10以下の場合に限られ、一般的にいわれている、低換気状態における有炎火災の最盛期、即ち高温酸素不足の状況下であったことを示している。

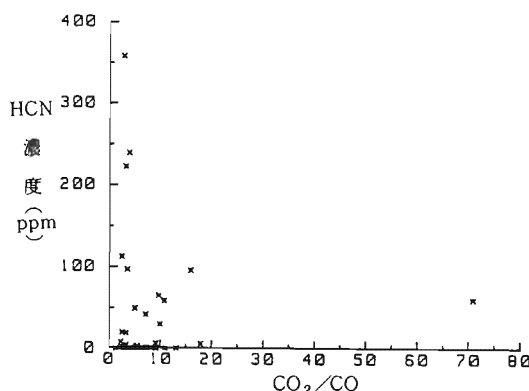


図4 火災現場から採取した燃烧生成ガス中のCO₂/COとHCN濃度との関係

(ウ) シアン化水素は、一般に400～500℃で生成され、高温になるほど、また空気量が不足するほど多く生成されるが、今回のガス採取の結果でも、このような状況下で致死濃度に達するガスが採取されている。

(2) 一酸化炭素とシアン化水素の毒性について一酸化炭素濃度とシアン化水素濃度との関係を図5に示した。

図5においては、一酸化炭素濃度の増加につれてシアン化水素濃度も増加する傾向が見られるが、毒性等価直線を上回る点は、一酸化炭素濃度の比較的高い範囲では皆無であり、シアン化水素濃度が一酸化炭素濃度を毒性的に上回ることはほとんどないことを示している。

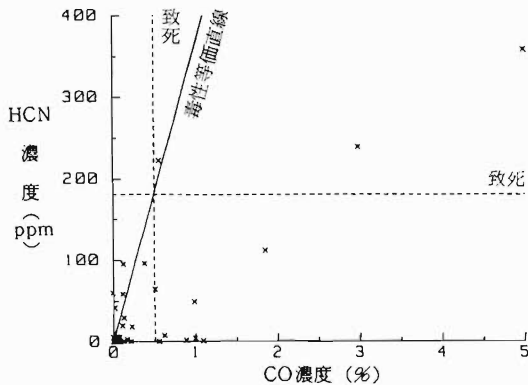


図5 火災現場から採取した燃焼生成ガス中のCO濃度とHCN濃度との関係

(3) 火災実験における燃焼生成ガスの発生状況について

近年実施された実大火災実験7例について燃焼生成ガスの発生状況を調査した結果は以下のとおりであり、併せて火災現場からの燃焼生成ガス分析結果との類似性について検討を行った。

ア 毒性ガスの発生量は、くん焼状態では少ないものの、発炎とともに増加し、フラッシュオーバー後急激に増加した。

イ 一酸化炭素は、フラッシュオーバー前の出火後わずか3～5分で出火室内では致死濃度に達し、火災最盛期には10%を超える場合もあった。

ウ 致死濃度を超えるシアン化水素は、フラッシュオーバー後の最盛期に発生する。また、合成樹脂を含む可燃物の場合に多量に発生した。

エ 酸素濃度は、フラッシュオーバー前の出火後3～6分で出火室では致死濃度にまで低下し、最盛期にはほとんど0となった。

オ 一酸化炭素及びシアン化水素以外では、アクロレイン、ホルムアルデヒド、塩化水素、硫黄酸化物及び窒素酸化物等が検出されているが、アクロレイン以外では致死濃度に達したものはなかった。

カ 可燃物の種類の違いによる影響では、合成樹脂を含む可燃物の方が、天然系の可燃物より毒性を有するガスの発生量も多く、

危険性も大きかった。

キ 発生した毒性ガスの中で、一酸化炭素の危険性に占める割合が、天然系、合成樹脂系に係わらず、火災全般をとおして全毒性ガスの中で最も高かった。

コ 毒性ガスではないが、火災の進展による急激な酸素の減少により生じる低酸素濃度の空気の危険性にも注意を払う必要がある。

実大火災実験における酸素濃度変化の1例を図6に示す。

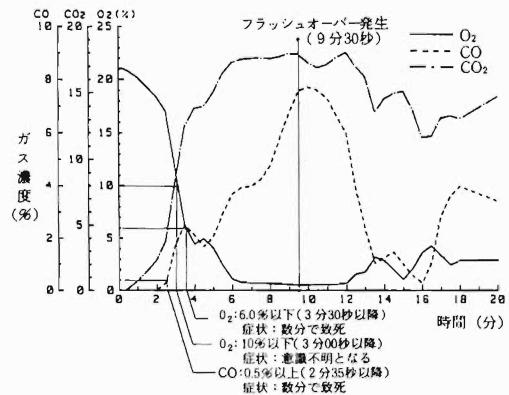


図6 火災実験における酸素濃度等の変化
(昭和62年3月木造3階建住宅火災実験火点室)

なお、イ、ウ、オ、キ、の内容は、今回実施したガス採取の結果とも同じ傾向を示している。

また、(1)イ(イ)及び(2)における関係を火災実験のデータにより示したものが、図7及び図8である。

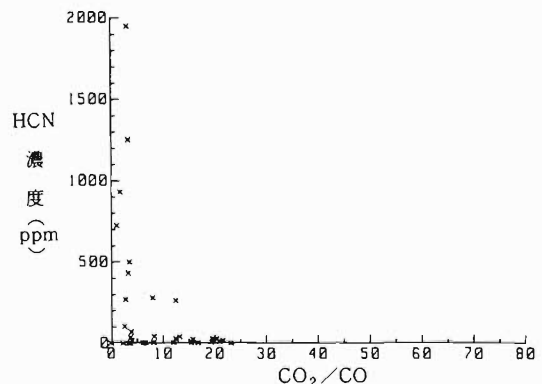


図7 燃焼生成ガス中のCO₂/COとHCN濃度との関係
(昭和62年3月木造3階建住宅火災実験火点室)

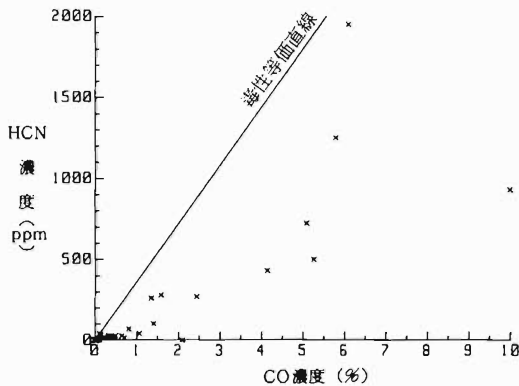


図8 燃焼生成ガス中のCO濃度とHCNの関係
(昭和62年3月木造3階建住宅火災実験火点室)

(4) 燃焼物の特定

今回実施したガス採取では、部屋又は建物全体が延焼中の例が多く、燃焼物の特定は困難であった。

なお、今回のガス採取において致死濃度以上のものも検出された一酸化炭素は全ての有機物から、また、シアン化水素は含窒素材料のアクリル繊維、ナイロン、ポリウレタン等のプラスチックや羊毛等の蛋白系天然繊維の燃焼から発生することが確認されている。

7. ま と め

火災現場で採取された燃焼生成ガスのうち、致死濃度に達したものは一酸化炭素とシアン化水素のみであった。

また、同一火災において一酸化炭素とシアン化水素の毒性危険を比較すると、一酸化炭素の方がシアン化水素の毒性より強い傾向が見られた。

火災現場では、火災の成長に伴うガスの発生状況の変化及び燃焼物と発生するガスの関係が把握できない等の問題があり、また、火災現場における採取ガス分析結果と実大火災実験における採取ガスの分析結果に類似性が認められたことから、今後は実大火災実験をとおしてこれらの事項について解明を行う予定である。

さらに、延焼火災における低酸素濃度の空気についての検討、また、新素材や複合素材の開発が盛んな現在の社会情勢下では、火災時に今までに検出されていない毒性ガスの発生が予想されることから、その分野での研究も必要となってくると

考えられる。

8. おわりに

本研究の実施にあたっては、火災現場で、消火と救助活動等、寸秒を争う消防活動と並行して迅速にガス採取を行うという困難な作業が伴い、また採取したガスの濃度が火災ごとに大きく異なる等、分析検討にも時間を要した。このようなことから、当研究所を挙げての対応となり、3年余りを費やす結果となった。

最後に、採取計画の立案に際し尽力して頂いた警防課、並びにガス採取に直接携わった関係各消防署職員の協力に心より感謝します。

9. 参 考 文 献

- (1) 日本火災学会編「火災便覧」共立出版，昭和59年3月
- (2) 自治省消防庁予防課監修「火と煙と有毒ガス」昭和61年9月
- (3) 守川，箭内「耐火室内火災における発生ガスの毒性評価」消防研究所報告，第59号，1985
- (4) 東京消防庁「火災の実態」，昭和63年版
- (5) 財団法人日本住宅・木材センター「住宅部材性能向上事業報告書，実大火災実験編，木造3階建（3戸連続長屋形式）住宅の火災性状」，昭和62年3月
- (6) 自治省消防庁消防研究所「旧富士見病院火災実験について」（「廃止済み病院施設を使用した実験・訓練報告書」清水市他，昭和61年10月）
- (7) 前澤「安全工学」共立出版，昭和48年10月
- (8) 守川「スモルダリングによる有毒ガスと煙の発生特性」スモルダリング（くん焼）に関する研究討論会資料，平成元年2月
- (9) 齋藤，箭内「実規模室内火災実験における火災性状と発生ガス」消防研究所報告，第59号，1983
- (10) 岸谷「煙の発生と有毒ガス」火災科学セミナーテキスト（ビル火災における煙などの諸問題）昭和49年3月
- (11) 守川，箭内「室内火災実験における有毒ガスの発生」消防研究所報告，第62号，1986