

住宅用火災警報器に関する研究 (第1報)

宮島 敏光*, 白井 直人**, 原 聡***, 森 充弘*

概 要

平成13年の消防白書によると、住宅で発生した火災は、建物火災の約6割を占めており、建物火災による死者のうち、住宅火災による死者は、85.9%にも上る。とりわけ高齢者が多く、住宅火災による死者の55.2%を65歳以上の高齢者で占めている。さらに、火災による死者の多くは逃げ遅れによるものであり、火災の早期発見が重要視されている。

このことから、各地で様々な住宅防火対策が推進され、火災の早期発見に有効である住宅用火災警報器(以下「住警器」という)の普及促進も重要課題となっている。

そこで、本研究は、世論調査結果や火災統計、過去の文献、実験等から住警器を設置することで死傷者低減への効果や初期消火への有効性、さらには煙式住警器が作動してから避難限界となるまでの時間等について検証した。その結果、死者や焼損面積は1/3以下に減少するとともに、一定の条件下ではあるが約20分間の避難猶予があることが判断された。また、寝たばこによる燻焼火災実験においては煙式住警器が最後に作動してから発炎までの約7分間が避難の猶予時間であった。

1 はじめに

当庁においては火災の早期発見に重要である住警器の設置を火災予防運動や普及促進キャンペーンの実施などで呼びかけてきた。しかし、認知度は高まったものの、その普及率は消火器の57.3%に対し、14.9%である¹⁾。一方、米国では、州により各戸の寝室や廊下などに住警器の設置が義務づけられており、その結果普及率は90%を超え、死者が大幅に減少したと報告されている²⁾。

現在、住警器のさらなる普及に向け、その有効性や普及方策など、様々な研究がなされており、火災予防審議会においても議論されているところである。

2 住警器について

総務省消防庁によると、住警器とは、住宅の火災により生ずる熱、煙又は炎を利用して自動的に火災の発生を感知し、設置場所又は設置場所の近隣にいる者に火災が発生した旨の警報を発することができるものと定義されている³⁾。また、日本消防検定協会では、火災の発生を感知する機能を有する部分(感知部)及び警報を発する機能を有する部分(警報部)を一体化したものに電力を供給する機能を有する部分(電源部)を組み込み又は付加したものと定義されている⁴⁾。

感知性能の種類には、熱式、煙式、炎式、複合式があり、市販のものはほとんどが熱式、煙式である。それぞれの特性に応じた適した設置箇所がある。また、その

方式の違いにより、さらに細分化される(表1、写真1・2参照)。

電源にはAC電源方式、電池式が一般的であるが、ゼンマイ式のものも市販されている。電池式については日本検定協会によりその容量や、容量不足となったときの警報について基準が定められている。また、構造や耐久性、感度等についても規定があり、その基準により鑑定がなされている。

最近では、ガス漏れ警報器との複合型の住警器が登場(写真3参照)したことや、住宅性能表示基準のひとつとして盛り込まれるなど、普及率は上昇傾向にある。ま

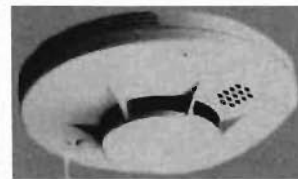


写真1 煙式住警器



写真2 熱式住警器



写真3

火災・ガス漏れ複合型

* 第三研究室 ** 成城消防署 *** 日野消防署

た、ISO で住警器の規格を標準化させようという動きがあり、外国製品の普及が予想され、今後の普及率上昇が期待される場所である。

表1 住警器の種類

種別	適応設置箇所	方式
熱式警報器	居室、台所（差動式除く）、ガレージ、押入れ	差動式
		定温式
煙式警報器	（塵埃、煙等が滞留しない）居室、廊下・階段、押入れ	イオン化式
		光電式
炎式警報器	居室・ガレージ	紫外線式
		赤外線式
		紫外線赤外線併用式
複合式警報器	—	熱複合式
		煙複合式
		熱煙複合式

3 研究内容

- (1) 住警器に関する世論調査結果等の把握
 - ア 消防に関する世論調査
 - イ 住宅防火における都民の意識調査
- (2) 火災統計から見る住警器の設置効果
 - ア 早期発見への効果
 - イ 死傷者低減への効果
 - ウ 焼損面積及び損害額等低減への効果
 - エ 初期消火への効果
- (3) 文献による住警器設置時の避難の可能性
 - 火災時に発生する燃焼生成ガスの毒性実験について

(4) 住警器の検証実験

4 研究結果

(1) 住警器に関する世論調査結果等

これまで住警器のモニター調査、聞き取り調査などいろいろな形で行われてきたが、ここでは最近行われたアンケート調査の結果について述べることにする。

ア 消防に関する世論調査¹⁾

東京消防庁で発表された「消防に関する世論調査」の平成13年度、14年度版の中での、住警器を知っているかどうか（認知度）と設置しているかどうか（普及率）の質問に対するアンケート結果によると、平成13年、14年ともに、71.0%、65.7%の人が知っているにも関わらず、設置しているのは15%以下であった。（図1参照）

イ 住宅防火における都民の意識調査²⁾

第15期火災予防審議会において、「住宅防火における都民の意識調査」と称してアンケート調査が行われた。平成13年度に予備調査として一次アンケートが行われ、平成14年度に本調査である二次アンケートが行われた。その結果のうち、住警器に関する主な項目について以下に示す。

(ア) 認知度及び普及率（図1参照）

二次アンケートでは認知度79.1%、普及率19.1%となり、前記のものと同様の割合となったが、一次アンケートでは認知度56.1%、普及率39.0%となった。

(イ) 設置効果及び設置意向

住警器を設置していない人を対象に実施した、死者の発生を防止するために住警器の設置は効果があるかどうか、また、設置したいかどうかの質問についてのアンケート結果によると、効果があると思うと答えたのは一次、二次ともに70%を超えたが、設置したいという回答はそれぞれ48%、58%で、効果があると思っても、それが設置への意向につながらないことが明らかになった。

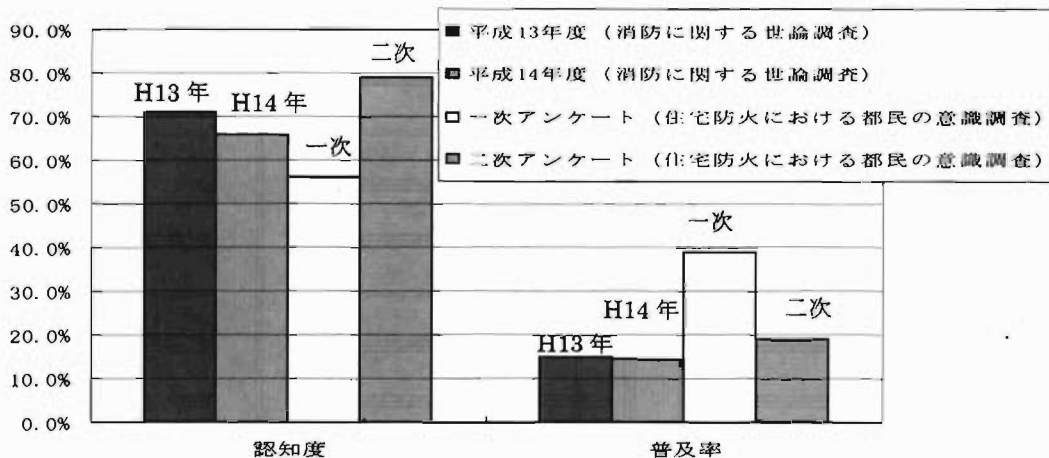


図1 住警器の認知度及び普及率

(7) 住警器の普及方策

住警器を設置していない人を対象に実施した、どのような工夫をすれば住警器が普及すると思いますかとの質問に対するアンケート結果（複数回答）によると一次、二次ともに一番多かったのが「値段を安くする。」という回答で、ほかに「消防署への自動通報などの付加機能を付ける。」「自治体が設置の援助・斡旋をする。」という回答が多かった。

(2) 火災統計から見る住警器の設置効果

住警器の設置によりどれくらい被害の低減ができるかを知るために、東京消防庁管内の平成7年から平成13年の火災統計の分析から、住警器及び自動火災報知設備（以下「住警器等」という）の設置効果について集計・分析を行った。（表2参照）

ア 早期発見への効果

出火～覚知（火災発生から消防機関へ通報されるまで）についてみると、住警器等が作動した火災はそれ以外に比べて1件当たりの平均時間は1分2秒短い。

イ 死傷者低減への効果

100件あたりの死者の発生状況を見ると、住警器等が作動した火災は1.38人、それ以外の火災は4.32人であり、住警器等が作動することにより2.94人（約7割）低減できると考えられる。また、負傷者についても同様に8.61人（約3割）低減できると考えられる。

ウ 焼損面積及び損害額等低減への効果

1件あたりの平均焼損床面積、表面積についてみると、住警器等が作動した火災はそれ以外の火災よりそれぞれ11.25㎡（約68%）、2.56㎡（約52%）少ない結果となった。損害額についてみると、1件あたり172万円（約45%）少ない。

エ 初期消火への効果

初期消火の有無についてみると、住警器等が作動した火災では約83%が何らかの初期消火が行われており、それ以外の火災の約77%を上回っている。初期消火を行ったときの成功率についても、住警器等が作動した火災は約80%で、それ以外の火災の約64%を上回る結果となった。

(3) 文献による住警器設置時の避難の可能性

火災時に発生する燃焼生成ガスの毒性実験について

この実験は、寝タバコの火が、枕がわりに使われていた座布団に着火して火災に至り、女性一名がCO中毒により死亡した事例から、死者発生原因を究明すべく再現火災実験を行っている。この報告書にある煙濃度から、煙式住警器の作動点を仮定し、そのときの周囲の状況から安全に避難可能かどうかの検証を行った。

ア 実験方法

出火室とほぼ同容積（17.3㎡ 4畳半規模）の模擬ハウスを作成し、模擬ベッド上（床から1.2mの高さ）に、表3に示した燃焼物をタバコ（ロングピース）の火源によって燃焼させ、部屋のベッド上、上層、中層、下層の4点でガス濃度、煙濃度、燃焼速度、温度について測定している。（図2参照）

表3 燃焼物の量

焼物	材質	重量(g)
座布団	綿	1800
敷布団	羊毛	160
マットレス	ラバーフォーム (NR+SBR)	60
合計	—	2020

表2 住警器等の設置効果

	住警器等が 作動した火災	それ以外の 火災	設置効果	総務省 消防庁 ⁵⁾	火災予防 審議会 ⁶⁾	
件数（事後聞知除く）	1,231	11,123	-	-	-	
出火～覚知（1件あたり）	5分21秒	6分23秒	△1分2秒	△1分6秒	△46秒	
死傷者 (自損等除く) (人)	死者	17	480	-	-	
	100件あたり	1.38	4.32	△2.94	△2.3	△3.1
	負傷者	266	3,361	-	-	-
	100件あたり	21.61	30.22	△8.61	-	-
1件あたりの 焼損面積(㎡)	床面積	5.36	16.61	△11.25	△36.2	△10.4
	表面積	2.36	4.92	△2.56	△0.8	-
1件あたりの損害額(千円)	2,070.4	3,794.8	△1,724.4	△1,975	△2,251	
初期消火 (%)	消火あり成功	66.0	49.0	+17.00	-	-
	消火あり失敗	16.9	27.8	△10.90	-	-
	消火なし	17.1	23.2	△6.10	-	-

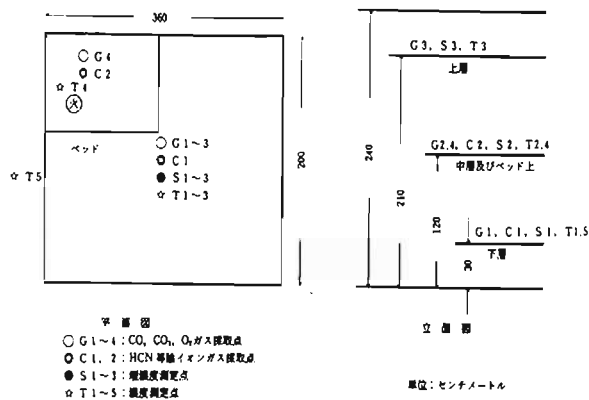


図2 実験設備及び測定点

イ 実験結果

(7) 煙濃度について

実験時の煙濃度変化を図3に示す。

光電式の住警器の感度は、「減光率 22.5%/m の煙を含む風速 20cm/s の気流に投入したとき 1 分以内に作動すること」であることから、上層の減光係数が 0.25 m^{-1} (減光率 22.5%/m) の時に作動したと仮定し、風速は無視している。

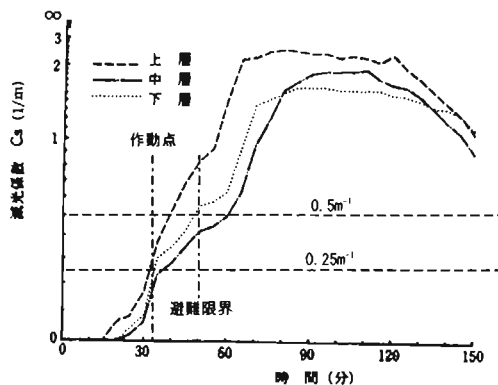


図3 煙濃度変化

実験では、ゆっくりと煙濃度が上昇し、最高で上層が 3.0 m^{-1} 程度、中層で 2.0 m^{-1} 程度、下層では 1.5 m^{-1} 程度であった。

熟知した建物内での避難可能な見通し距離の限界は 3~5m (減光係数約 0.5 m^{-1}) といわれる⁸⁾。この実験では、居室を想定しているので、熟知した建物内として考えると、煙式住警器が作動した時点では、各層 $0.1 \sim 0.25 \text{ m}^{-1}$ であり、安全に避難できる状態であるといえる。

次に、作動してから避難限界である 0.5 m^{-1} になるまでの許容時間について考える。避難時は姿勢を低くすると考えられることから、中層の煙濃度に注目すべきであるが、対流があるためか、下層のほうが煙濃度の上昇が早い。従って、下層の煙濃度が 0.5 m^{-1} となったときを

避難限界と考える。図2を見ると、煙式住警器が作動した時点から、避難限界までおよそ 20 分である。このことから、安全に避難するだけの時間の余裕が十分あるといえる。

(イ) 室内の温度について

燃焼物以外、温度上昇は緩慢で、最高温度は上層でも約 40°C である。中層、下層にいたっては常温程度であり、人体に影響を及ぼす温度には至っていない。このことから、住警器の作動点を含め、安全に避難できる状態であるといえる。

(ロ) ガス濃度について

避難時に問題になると考えられるベッド上、中層に注目すると、煙式住警器作動時の濃度は、ともに CO 0.05% 以下、 CO_2 約 0.1% 、 O_2 約 21% 、 HCN 0% であり、人体に影響を及ぼすような濃度ではなく、安全な避難は可能である。個別のガスについては、 CO_2 ガスは最高値約 3% 、 O_2 ガスは最低値約 17% 、 HCN ガスは最高値約 7.5 ppm で、避難に支障が出るほどの濃度には至らなかった。 CO ガスについては人体に強い影響を与えられる 0.1% 台に達するまで緩慢に上昇し、約 50 分を要した (図4 参照)。このことから、煙式住警器作動から約 20 分避難行動の猶予時間があると考えられる。その後は急激な増加が見られ、短時間暴露で危険と思われる 0.3% 以上の濃度になるのにベッド上で約 70 分、中層で約 80 分であった。

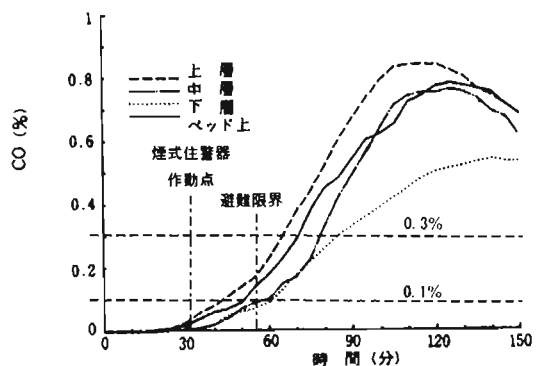


図4 CO濃度変化の比較

ウ まとめ

この実験結果から次のことが言える。ただし、熱、煙、ガスが相互に及ぼす作用や、心理的動揺などを無視した場合に限るものである。

- ・ 煙式住警器が作動したとき、温度、煙濃度、ガス濃度は人体に影響を与える状態に至っておらず、安全に避難行動を開始することが出来る。
- ・ 煙式住警器が作動してから、煙濃度及び CO 濃度が避難限界と思われる状態になるまで、約 20 分の猶予がある。
- ・ 温度、 CO_2 、 O_2 、 HCN に関しては、避難に支障があるような状態にはならない。

(4) 住警器の検証実験

ア 実験概要

この実験は、8畳程度の住宅居室において、死亡事例の多いたばこを火源とし、寝具から出火した、いわゆる寝たばこによる燻焼火災を想定した実験である。

実験では、可燃物が枕のみの場合と敷布団、掛布団、枕の場合の2種類の燃焼実験を実施した。寝具直上の天井部に設置された住警器が作動した時及び作動後に避難限界と判断される時のガス濃度 (O₂、CO、CO₂)、温度、煙濃度について測定記録を行い、住警器の設置効果について検証した。

イ 実験日時

平成 15 年 3 月 12 日 (水)、3 月 14 日 (金)

ウ 実験場所

消防科学研究所 燃焼実験室 移動実験室

エ 実験方法

表 4 に示す住警器及び表 5 に示す寝具を使用し、可燃物の種類、設定の違いにより、表 6 のとおり実験を行った。測定器等の配置を図 5、図 6 に示す。

表 4 実験に使用した住警器

メーカー	熱・煙	方式	電源	住警器番号
A社	煙式	光電式2種	単4乾電池×4	①
	熱式	定温式	〃	②
B社	煙式	光電式2種	9V乾電池×1	③
	熱式	定温式	〃	④
C社 ※1 移報接点無し	煙式	光電式3種	AC100V	⑤
	熱式	差動式	〃	⑥
D社	煙式	光電式2種	9V乾電池×1	⑦
E社 ※2 ガス、CO複合	熱式	定温式	AC100V	⑧

※1 C社製住警器は、移報できるよう改造し実験に用いた。

※2 E社製住警器は、CO及び都市ガス漏洩検知の兼用型である。

表 5 実験に使用した寝具

枕	中入り綿：綿 100%、表地：ポリエステル 100%
敷布団	中入り綿：綿 100%、表地：綿 100%
掛布団	中入り綿：ポリエステルおよび綿 各 50%

表 6 実験詳細

※ 実験時、開口部は閉鎖した。

実験	測定器配置	実験日	気温湿度	可燃物	実験内容
実験 1	図 6-1	3 月 12 日	11℃ 55%	枕	枕の上にたばこ 1 本を置く。
実験 2	図 6-1	3 月 12 日	12℃ 55%	敷布団 掛布団 枕	マネキンを寝かせ、布団と枕との間にたばこ 1 本を挟む。(枕、敷布団には綿 100%のカバーをかける。)
実験 3	図 6-2	3 月 14 日	12℃ 60%	枕	枕の上にたばこ 1 本を置く
実験 4	図 6-2	3 月 14 日	11℃ 56%	敷布団 掛布団 枕	マネキンを寝かせ、布団と枕との間にたばこ 1 本を挟む。(枕、敷布団には綿 100%のカバーをかける。)

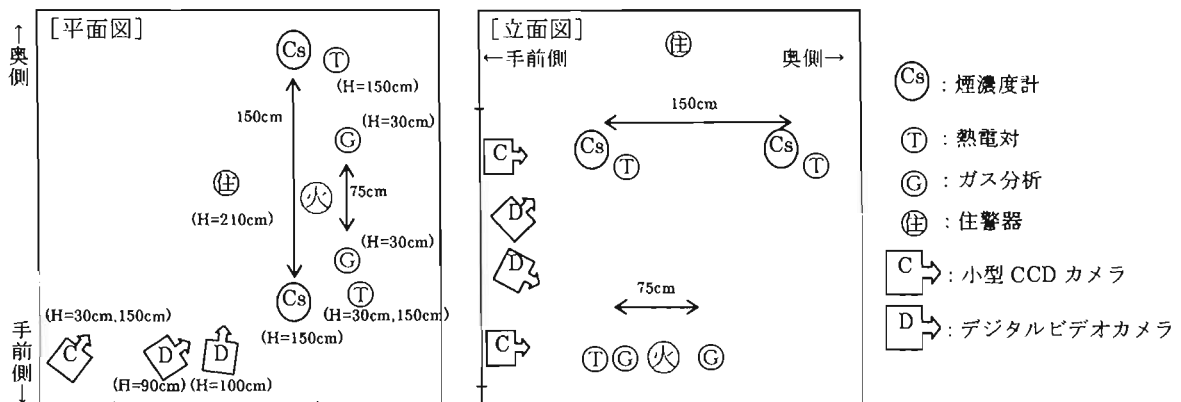


図 5 測定器等配置 (実験 1・2)

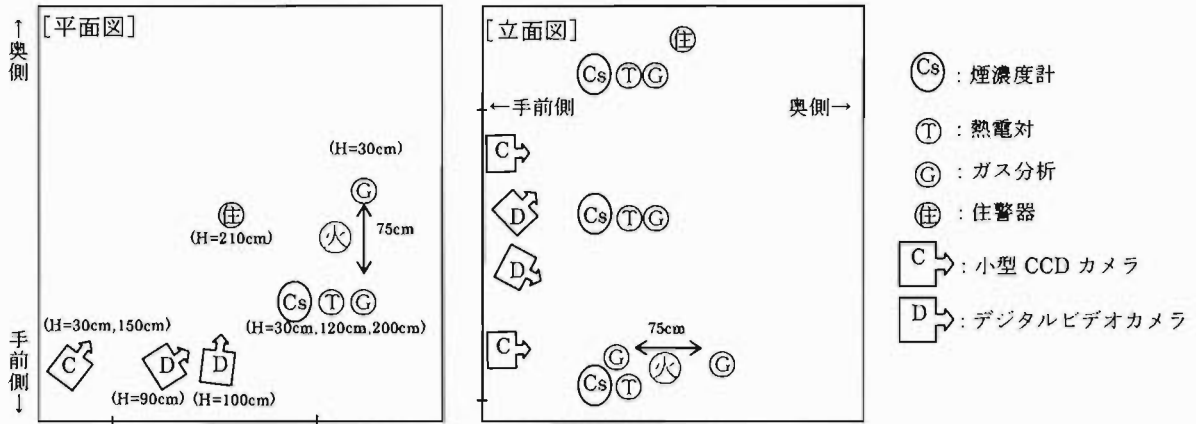


図6 測定器等配置 (実験3・4)

オ 実験結果と考察

(7) 住警器作動時間

各実験における住警器の作動時間は以下になった。なお、熱式住警器についてはすべて作動しなかったため除外した。

(イ) 煙、ガスの広がり方について

実施した4回すべての実験において、煙はまず床上1m前後まで上昇して煙の層を形成し、その後徐々に上層に拡散することが確認された。

一例として実験3の温度、煙濃度、ガス濃度変化を図7～図9に示し、住警器作動時の状況を写真4・5に示す。

まず、温度と煙濃度について比較すると、点火から10分前後で床上30cmの温度上昇が大きくなるのに伴い、中層の煙濃度が上昇している。これは、燃焼範囲の拡大により、燃焼物周囲の温度と煙の発生量が上昇したものと考えられる。点火から15分を過ぎると、上層の温度が20℃を超えたところで、上層の煙濃度が急上昇している。このことから、上層の温度上昇に伴い、煙も上昇したと考えられる。

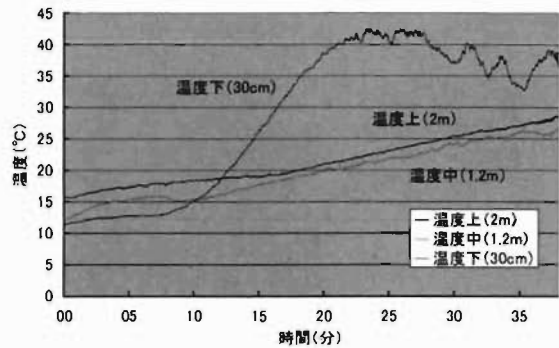


図7 温度変化 (実験3)

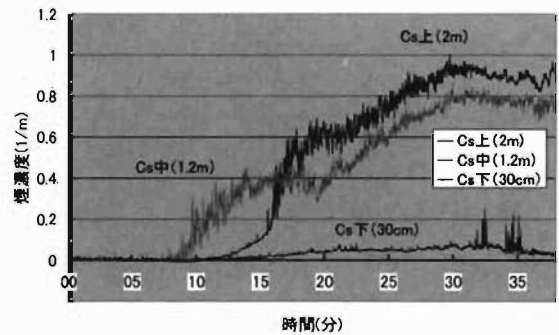


図8 煙濃度変化 (実験3)

表7 住警器作動時間

	住警器番号				
	①	③	⑤	⑦	⑧(CO警報のみ)
実験1	11分51秒	11分35秒	14分40秒	11分03秒	19分50秒
実験2	15分12秒	15分20秒	15分03秒	14分26秒	作動せず
実験3	15分20秒	15分07秒	15分14秒	14分52秒	21分15秒
実験4	11分28秒	11分42秒	11分07秒	10分39秒	17分33秒

※熱式については作動せず

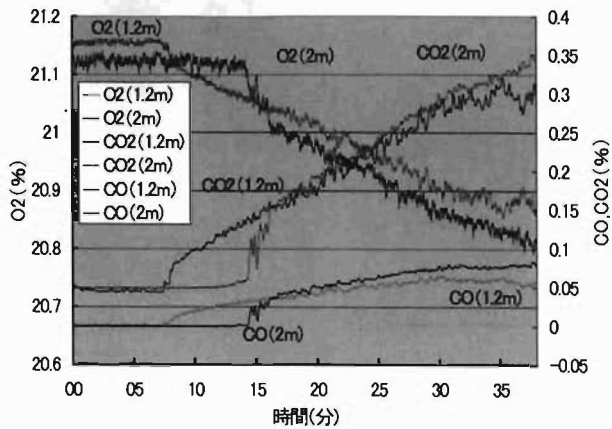


図9 ガス濃度変化(実験3)

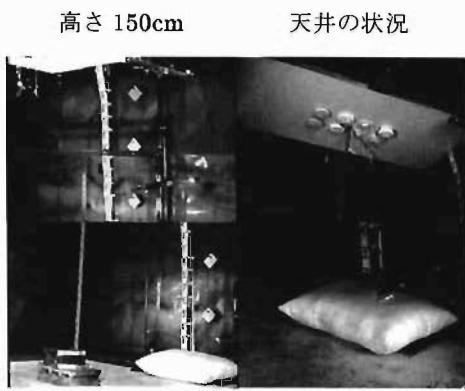


写真4 実験直前(実験3)



写真5 住警器作動時(実験3)

次に、煙濃度とガス濃度を比較すると、上層、中層において、同様の濃度変化を示している。点火から15分を過ぎたところで上層、中層の濃度が逆転しているところも一致しており、ガスも温度上昇に伴い上昇している。

(ウ) 住警器の設置効果について

a 熱について

熱による避難限界を周囲温度 45°C ⁹⁾と仮定して住警器

の設置効果について検証を行った。

今回、実験2及び実験4において、それぞれ22分50秒、17分52秒に布団及び枕から発炎したため、消火し実験終了とした。

周囲温度は、実験1及び実験3の床上30cmを除き、発炎するまでは $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ が最高であった。実験1の床上30cmにおいて 45°C を超えたのは、測定点(熱電対)と火点が近かったことが考えられる。つまり、就寝者が燃焼の拡大により、火災に気付く前に熱傷を負う可能性があるといえる。

実験1～実験4の温度変化を図10～図13に示す。実験1の限界を床上30cmでの 45°C に達した点とし、実験2及び実験4では発炎時を避難限界として考える。それぞれ、最後に作動した煙式住警器と、CO警報作動時、避難限界をみると、煙式住警器が作動した時点ではまだ限界値に達しておらず、避難可能な状態といえる。作動してから避難限界までの時間の猶予は最長で7分半、最短で5分半程度となった。一方、CO警報が作動したときには避難限界までにほとんど時間の猶予がなく、実験2にいたっては作動する前に限界を超えている。このことから、温度の観点からいえば、不完全燃焼用のCOセンサは燻焼火災時には有効ではないといえる。

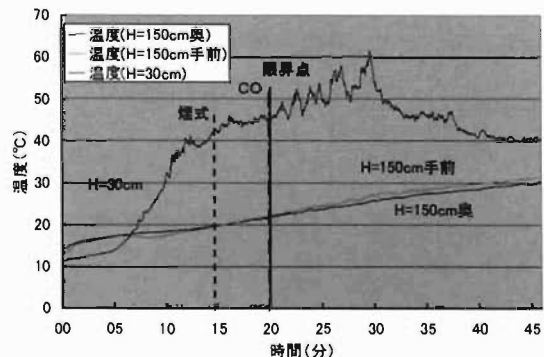


図10 温度変化(実験1)

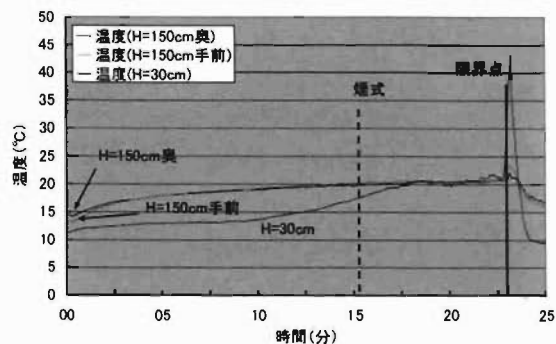


図11 温度変化(実験2)

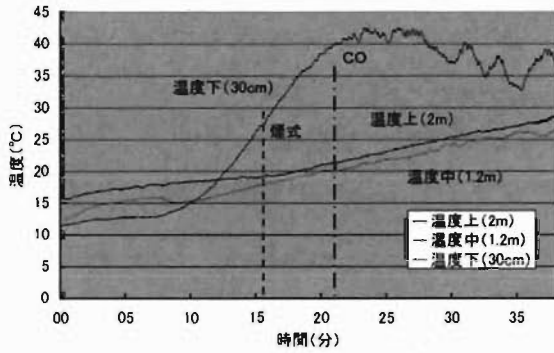


図 12 温度変化 (実験 3)



写真 7 実験 2 (煙式)

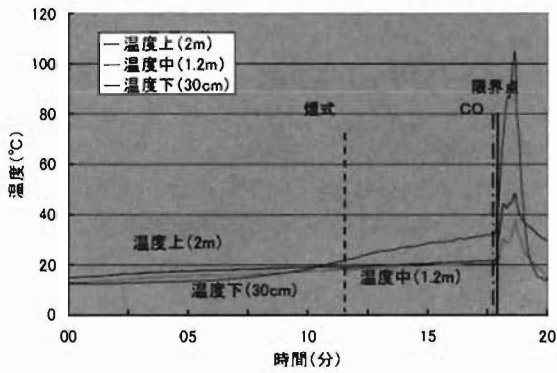


図 13 温度変化 (実験 4)

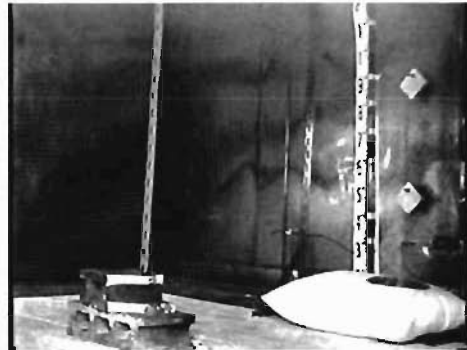


写真 8 実験 3 (煙式)

b 煙について

住警器作動時の映像から、煙による刺激を受けずに避難できるかどうかの検討を行った。

最後に作動した煙式住警器及びCO警報作動時の中層から下の状態について、写真6～写真12に示す。どの実験においても、煙式住警器作動時には中層から下では煙も薄く、姿勢を低くすれば、それほど刺激を受けることなく避難できると思われる。一方、CO警報作動時はその煙の状況から、居室から脱出するのに刺激等、少なくとも何らかの影響を受けるとと思われる。このことから、煙による避難障害の観点からいえば、不完全燃焼用のCOセンサは燻焼火災時には有効ではないといえる。



写真 9 実験 4 (煙式)



写真 6 実験 1 (煙式)



写真 10 実験 1 (CO)

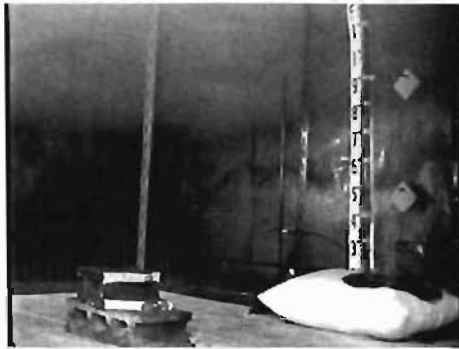


写真11 実験3 (CO)

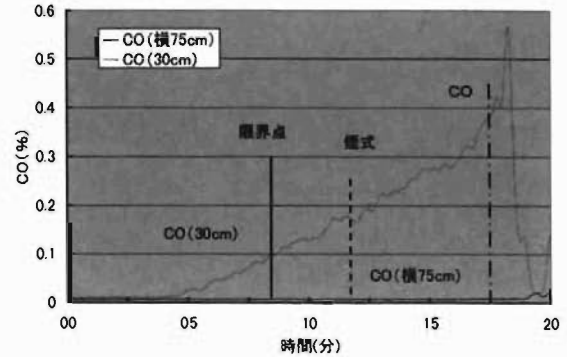


図14 CO濃度変化 (実験4)



写真12 実験4 (CO)

c ガスについて

実験で測定した各ガスについて、それぞれ O_2 15%以下、 CO_2 5%以上、CO 0.1%以上を避難限界¹⁰⁾と仮定して検討を行った。

実験4での発炎時の床上30cm (住警器作動時 O_2 20.8%、 CO_2 0.34%、CO 0.18%) 以外では、避難限界を超えることがなく、最高でも O_2 21.0%、 CO_2 0.15%、CO 0.035%であり安全に避難できるといえる状態であった。発炎時を避難限界とすると、熱による検討と同様に、最後に作動した煙式住警器から発炎までの約7分間が避難の猶予時間となる。一方、火源直上である床上30cmでは、 O_2 、 CO_2 については、住警器作動時には避難限界を超えることなく安全であったが、COに関しては作動する前に限界点 (CO 0.1%) を超えた場合があった。

(図14) によって、就寝者が煙を直接吸い込み、避難あるいは人体に影響を及ぼすおそれがある。しかし、煙を直接吸い込むことがなければ、住警器が作動してからも十分避難することができる。

5 まとめ

今年度行った文献調査、火災統計調査、検証実験等により、住警器の設置による効果、安全性はある程度示せたといえる。また、実験において、4箇所から撮影することにより、煙の状況、住警器作動時の状況が都民指導

に活用できる映像も作成した。

今後、住警器等の設置効果をより明らかに示すためには、夏期の室温の高い環境時での寝たばこ火災や着火からすぐに発炎する電気ストーブ火災等多様な実験を実施し、熱、煙、ガス濃度の生理的影響に加えて心理的影響も検証していかなければならない。また、それらの相加・相乗効果についても考慮に含めなければならぬだろう。

しかし、世論調査からもわかるように、設置効果、安全性を示すことが普及率の向上に直結するものではない。このことから、来年度はさらなる調査、実験に加えて、都民の防災意識向上等の普及方策を検討していくことも必要であろう。

【参考文献等】

- 1) 東京消防庁予防部広報課：「消防に関する世論調査」(平成13年、14年)
- 2) 火災予防審議会：「第15期火災予防審議会答申」(平成13年、14年)
- 3) 消防庁予防課長通知：「住宅用火災警報器に係る技術ガイドライン」(平成3年)
- 4) 日本消防検定協会：「住宅用火災警報器の鑑定細則及び消防用機器等鑑定規定」(平成11年)
- 5) 総務省消防庁：「新たな住宅防火対策の推進について」(平成13年)
- 6) 火災予防審議会：「着衣着火火災及び住宅用火災警報器等の設置効果の分析」(平成14年)
- 7) 清水 栄信ほか：「火災時に発生する燃焼生成ガスの毒性実験について」消防科学研究所報 (昭和62年)
- 8) 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 (昭和62年)
- 9) 長谷見雄二：「火事場のサイエンス」井上書院 (昭和63年)
- 10) 東京消防庁消防科学研究所監修：「火と煙と有毒ガス」東京法令出版 (昭和61年)

A STUDY OF RESIDENTIAL FIRE ALARMS

Toshimitsu MIYAJIMA*, Naoto SHIRAI**, Satoshi HARA***, Mitsuhiro MORI*

Abstract

According to a 2001 Fire Department white paper, fires originating in residential areas accounted for about 60% of all building fires, while deaths from residential fires account for as much as 85.9% of all building fire deaths. Elderly victims are particularly common, with 55.2% of all residential fire victims being 65 and older. Many of those who fall victim to fires failed to escape in time, thus making early detection of fires a primary objective.

In all areas of the country progress is being made on various fire prevention measures, one important measure being the spread of residential fire alarms, which can be effective in early fire detection.

Using data from public opinion surveys, fire statistics, past research, and experiments, this research investigated the effectiveness of residential fire alarm installation in reducing the number of fire victims and in aiding firefighting, as well as determining the amount of time left for evacuation after a smoke-detector alarm detects a fire. Our results indicate that when fire alarms are installed, deaths and the area consumed by fires can be reduced to 1/3 and, though arrived at under certain conditions, there will be approximately 20 minutes to evacuate. In experiments performed to simulate fires caused by smoking in bed, there were about seven minutes for evacuation from the time the smoke alarm was triggered to the outbreak of a fire.

*Third Laboratory **Seijyou Fire Station ***Hino Fire Station