

— 消防隊員に対する一酸化炭素の影響(第2報) —

鵜 飼 恒*
 川 田 丈 昭**
 野 尻 忠 弘**
 遠 藤 昇**
 斎 藤 義 照***
 永 田 陽 一**

1. はじめに

近年建築物の耐火、不燃化が進んでいるが、一方これらの建築物から火災が発生した場合、長時間にわたる消火活動を要する場合が多くなっている。

火災の際に発生する煙の中には表1に示すように大量の一酸化炭素(CO)が含まれており、消防隊員は消火活動の際にCOの暴露を受けることを余儀なくされている。

このように消火活動に従事する消防隊員はCOの暴露の機会が多い職業でありながら、消防隊員の職業性CO暴露に関して我国ではまだ調査されていない。

さきに消防隊員は

- 平常時どの程度のCOを体内に保有しているか。
- 消火活動の際にCO体内保有量はどの程度ふえるか。

等について中間報告を行ったが、今回は調査期間が終了したことから、期間内の確定値を報告するとともに、COの人体に影響する影響、COの排出経過、喫煙との関係などについて、以後に得た知見を加え若干の報告をする。

2. 調査方法

(1) 調査対象者

昭和53年1月1日から昭和53年12月31日までに発生した火災において、消火活動に従事した消防隊員238人について調査した。

表1 火災実験における一酸化炭素濃度の最高値

火 災 実 験	一酸化炭素濃度(%)	場 所
三菱仲15号館 (S. 36年)	3.0	火 災 室 中 層
赤羽公団住宅 (S. 37年)	5.6	火 災 室 中 層
東京海上ビル (S. 42年)	1.3	火 災 室
中央鉄道病院 (S. 43年)	2.0	4階床上1.5m (火災室は2階)
旧労働省庁舎 (S. 48年)	1.5	3階床上1m (火災室は1階)
旧米軍王字キャンプ (S. 48年)	2.3	6階床上3m (火災室は2階)
プレキャストコンクリート住宅火災(S52年)	5.0	火 災 室 中 層
耐煙耐熱訓練 (訓練塔)	0.35	1 階 訓 練 室

東京消防庁消防科学研究所測定
 なお一般人を想定した対照者として、消火活動の経験のない消防学校学生86人について調査した。

(2) 調査方法

Ringold らの方法による呼気採取法により実施した。

深呼吸して20秒間息を止めた呼気を採取袋にとり、非分散型赤外線分析計(堀場AIA 23AS)によ

* 第四研究室長 ** 第四研究室 *** 多摩消防署

り呼気中のCO濃度を測定し、Jonesの式により、血中一酸化炭素ヘモグロビン(CO-Hb)濃度に換算した。

$CO-Hb(\%) = 0.2 \times CO(ppm) + 0.5$ (Jonesの式)

(3) 統計処理

グループごと平均値について、studentのt検定法により有意差の有無を判定した。

なおこれを累積度数分布図により、図表にあらわした。

表2 消防隊員と消防学校学生のCO体内保有量の比較(全員・平常時)

差の検定表		
	消防隊員	消防学校学生
例数(n)	238	86
平均値(mean)	3.12	2.50
最高値(max.)	9.62	5.88
最低値(min.)	0.68	0.74
標準偏差(S.D.)	1.88	1.42
有意差	有(P < 0.01)	

なおこれを非喫煙者と喫煙者に分けて調査した結果は表3、表4に示すように、CO-Hbの平均値は、非喫煙グループの場合、消防隊員1.47%、消防学校学生0.92%であった。喫煙グループの場合、消防隊員は3.98%消防学校学生は2.81%であった。いずれも消防隊員の、CO体内保有量(CO-Hb)が大きく、顕著な有意差(P < 0.001)があった。

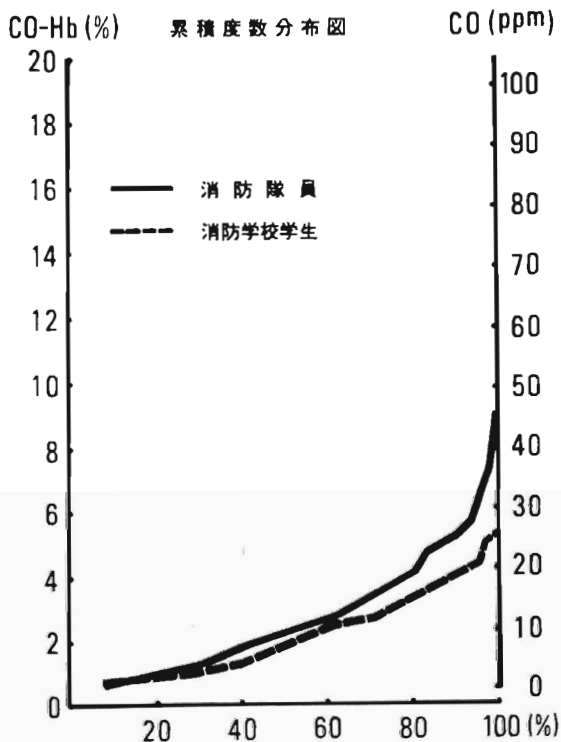
イ 喫煙本数によるCO体内保有量の相違

表2の喫煙する消防隊員156人について1日当りの喫煙本数を、A:30本以上、B:20~29本、C:10~19本、D:1~9本に分けて比較したところ、表5のように喫煙本数の多

3. 調査結果

(1) 消防隊員の平常時におけるCO体内保有量

ア 消防隊員と消防学校学生(一般人)の比較
消防隊員238人と消防学校学生86人についてCO-Hb濃度を比較した値は表2に示すように、消防隊員の平均値は3.12%、消防学校学生は2.50%であり、差の検定を行ったところ危険率P < 0.01で有意差があった。



いほどCO体内保有量が大きく、それぞれの間に有意差があった。

ウ 警防経験年数による相違

警防経験10年以上の者と、10年未満の者とに分けて比較したところ、表6、表7に示すように非喫煙、喫煙グループとも10年以上の者の方の平均値が高く、喫煙者グループでは有意差(P < 0.01)があったが、非喫煙グループでは有意差はなかった。

(2) 消防活動従事による消防隊員のCO吸入量

ア 消防隊員全員について

非喫煙者47人、喫煙者117人について、平常時と消火活動直後のCO-Hb平均値を比較し

たところ、表8、表9に示すように非喫煙グループでは平常時1.45%であったものが消火活動後には3.51%と2.06% (2.4倍)、喫煙者では平常時3.80%のものが5.69%と1.89%

(1.5倍)にふえ消火活動直後にはCO体内保有量は顕著に増加することが判明した。

なお最高値は非喫煙者グループで12.10%、喫煙者グループで11.94%であった。

表3 消防隊員と消防学校学生の比較(非喫煙者・平常時)

差の検定表		
	消防隊員	消防学校学生
例数 (n)	82	14
平均値 (mean)	1.47	0.92
最高値 (max.)	4.50	1.08
最低値 (min.)	0.68	0.74
標準偏差 (S.D.)	0.63	0.09
有意差	有 (P < 0.001)	

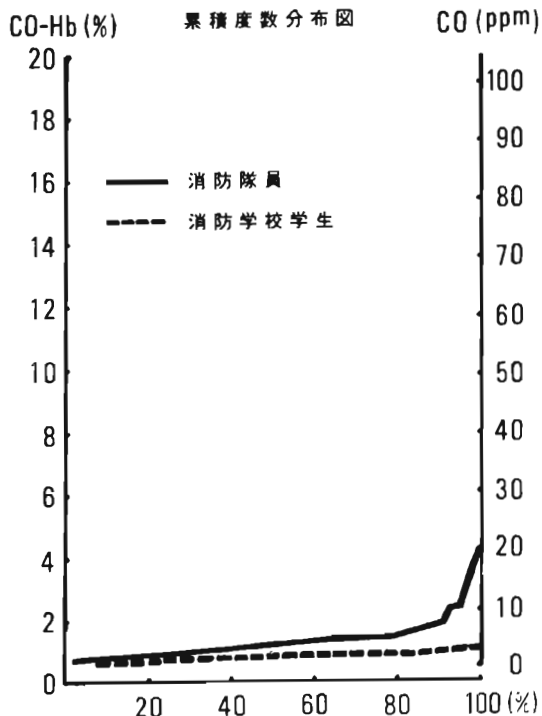


表4 消防隊員と消防学校学生の比較(喫煙者・平常時)

差の検定表		
	消防隊員	消防学校学生
例数 (n)	156	72
平均値 (mean)	3.98	2.81
最高値 (max.)	9.62	5.88
最低値 (min.)	1.30	0.74
標準偏差 (S.D.)	1.73	1.35
有意差	有 (P < 0.001)	

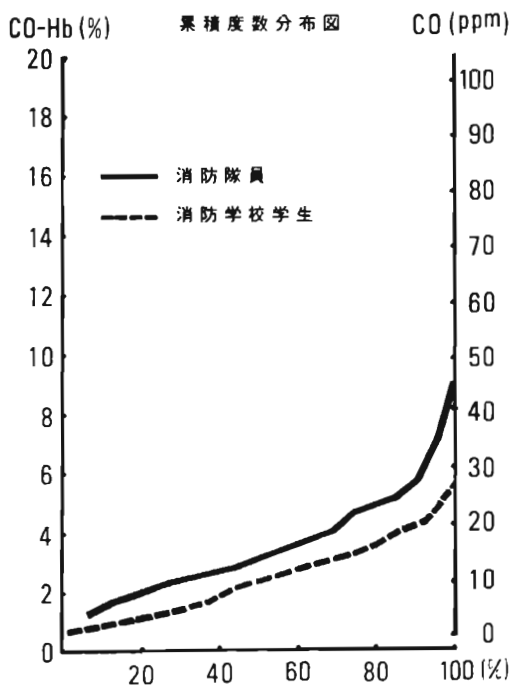


表5 喫煙本数による相違(消防隊員・平常時)

差の検定表				
	A 30本 以上	B 20~ 29本	C 10~ 19本	D 1~9本
例数 (n)	48	78	27	3
平均値 (mean)	4.80	3.96	2.67	1.43
最高値 (max.)	9.62	8.10	5.60	1.50
最低値 (min.)	1.78	1.30	1.36	1.30
標準偏差 (S.D.)	1.82	1.56	0.98	0.11
有意差	AとB 有 (P<0.05) AとC 有 (P<0.01) AとD 有 (P<0.01) BとC 有 (P<0.01) BとD 有 (P<0.01) CとD 有 (P<0.01)			

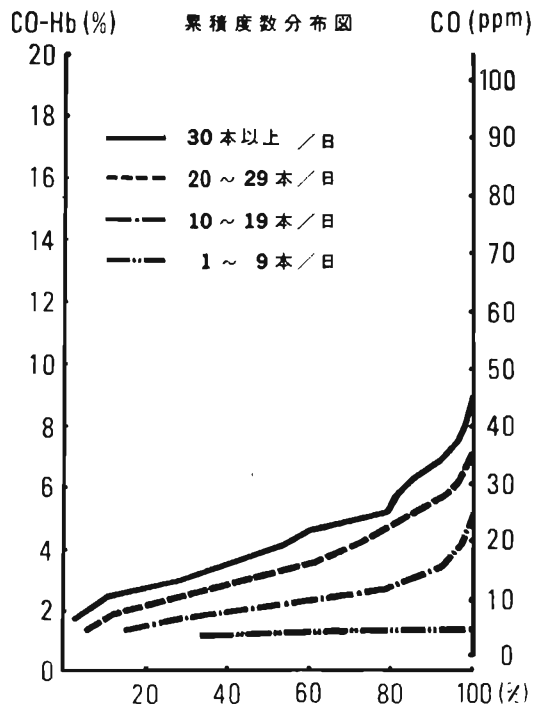


表6 警防経験年数による比較(非喫煙者・平常時)

差の検定表		
	警防経験 10年以上	“ 10年未満
例数 (n)	37	46
平均値 (mean)	1.55	1.42
最高値 (max.)	4.50	3.68
最低値 (min.)	0.68	0.74
標準偏差 (S.D.)	0.76	0.53
有意差	無	

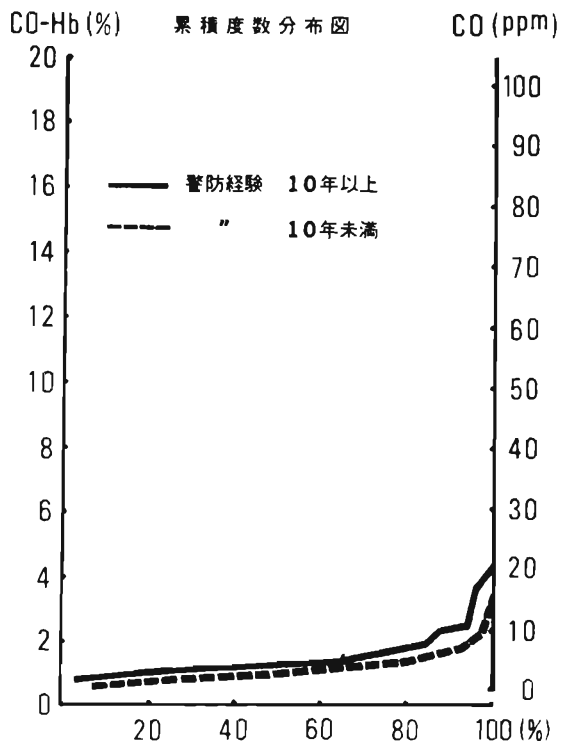


表7 警防経験年数による比較(喫煙者・平常時)

差の検定表

	警防経験 10年以上	同 10年未満
例数 (n)	56	100
平均値 (mean)	4.53	3.68
最高値 (max.)	9.62	8.26
最低値 (min.)	1.48	1.30
標準偏差 (S.D.)	1.95	1.52
有意差	有 (P < 0.01)	

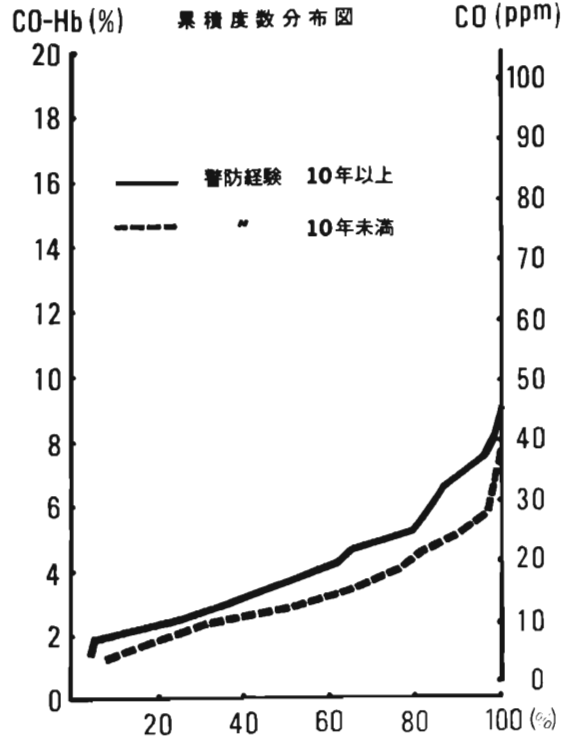


表8 平常時と消火活動後のCO体内保有量の比較(非喫煙者)

差の検定表

	消火活動後	平常時
例数 (n)	47	47
平均値 (mean)	3.51	1.45
最高値 (max.)	12.10	3.74
最低値 (min.)	1.20	0.82
標準偏差 (S.D.)	2.16	0.57
有意差	有 (P < 0.001)	

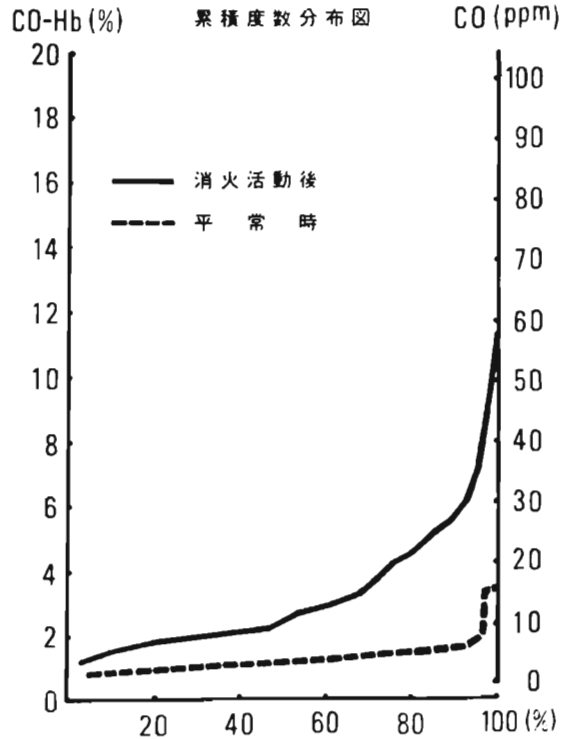


表9 平常時と消火活動後のCO体内保有量の比較(喫煙者)

差の検定表

	消火活動後	平常時
例数 (n)	117	117
平均値 (mean)	5.69	3.80
最高値 (max.)	11.94	9.62
最低値 (min.)	1.80	0.76
標準偏差 (S.D.)	2.18	1.72
有意差	有 (P < 0.001)	

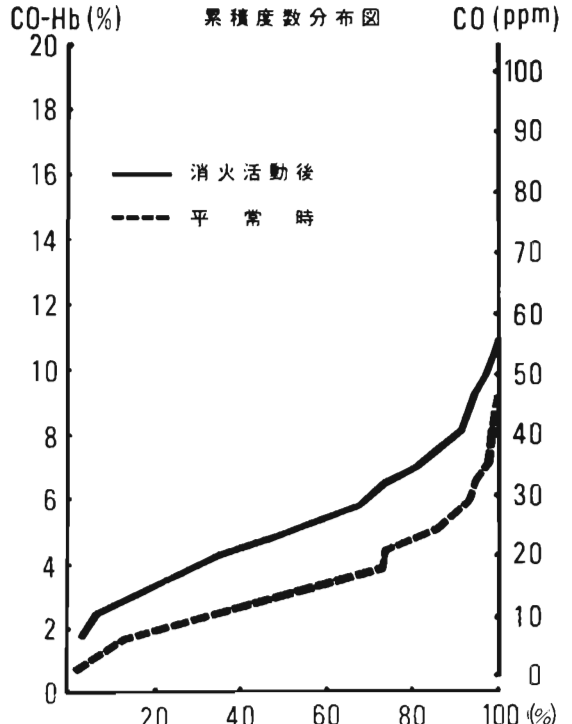


表10, 表11に示すとおりであり, 喫煙者グループでは特救隊, 隊長, 隊員, その他の順であり, 非喫煙グループでは, 隊員, 隊長, 特救隊, その他の順であった。

イ 任務別による相違

上記を A: 隊長, B: 隊員, C: 特別救助隊 (以下特救隊と記す), D: その他(指揮隊および機関員)に分けて比較した。その結果は

表10 任務別による相違(非喫煙者・屋内進入・消火活動後)

差の検定表

	A 隊長	B 隊員	C 特救隊	D その他
例数 (n)	19	26	2	9
平均値 (mean)	3.31	3.76	2.22	1.15
最高値 (max.)	8.30	12.10	2.46	1.98
最低値 (min.)	1.20	1.40	1.98	0.84
標準偏差 (S.D.)	1.94	2.37	0.34	0.33
有意差	AとD 有 (P < 0.01) BとC 有 (P < 0.05) BとD 有 (P < 0.01)			

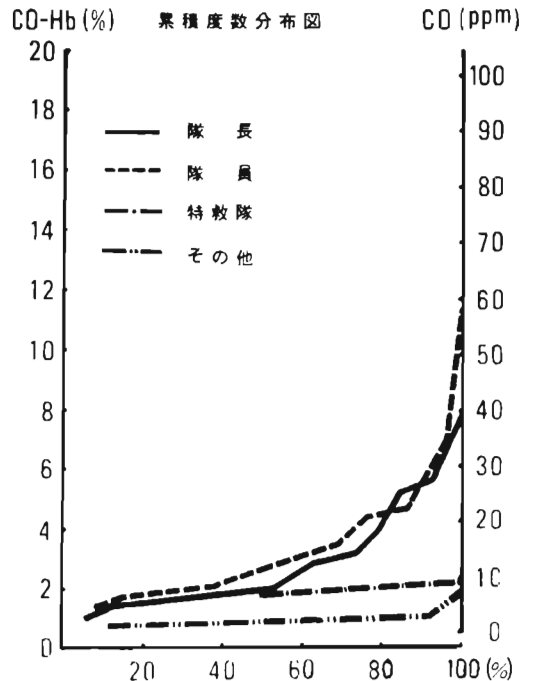
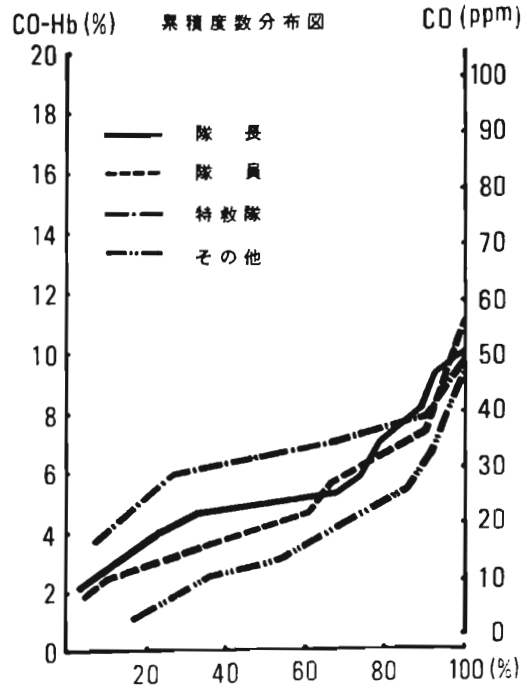


表11 任務別による相違(喫煙者・屋内進入・消火活動後)

差の検定表				
	A 隊長	B 隊員	C 特救隊	D その他
例数 (n)	33	73	12	12
平均値 (mean)	6.02	5.30	7.35	4.19
最高値 (max.)	10.90	11.94	10.66	10.30
最低値 (min.)	2.28	1.80	4.00	1.20
標準偏差 (S.D.)	2.12	2.16	1.62	2.57
有意差	AとC 有 (P<0.05) AとD 有 (P<0.05) BとC 有 (P<0.01) CとD 有 (P<0.01)			



ウ 火災建物構造別による相違

消防隊員が消火活動に従事した建物構造別に比較した結果は表12, 表13に示すように,

非喫煙グループでは, 耐火造, 木造, 防火造の順であり, 喫煙グループでは, 防火造, 耐火造, 木造の順であった。

表12 火災建物構造別による相違(非喫煙者・消火活動後)

差の検定表			
	A 耐火造	B 防火造	C 木造
例数 (n)	16	15	16
平均値 (mean)	4.90	2.77	2.83
最高値 (max.)	12.10	5.26	5.78
最低値 (min.)	1.54	1.20	1.70
標準偏差 (S.D.)	2.95	1.17	1.10
有意差	AとB 有 (P<0.05) AとC 有 (P<0.05)		

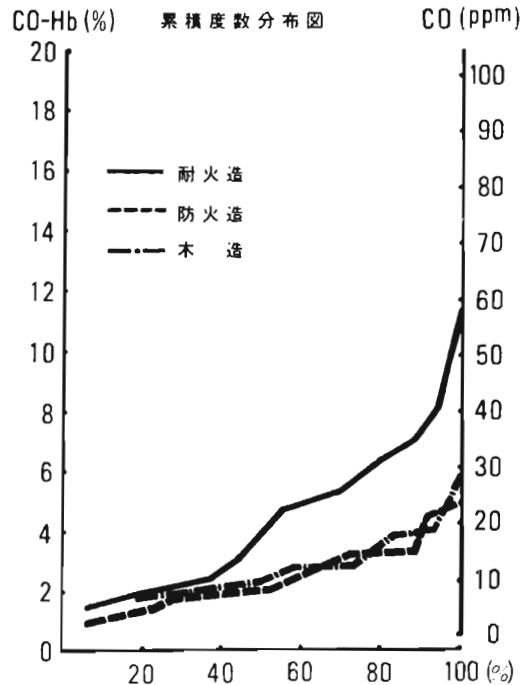
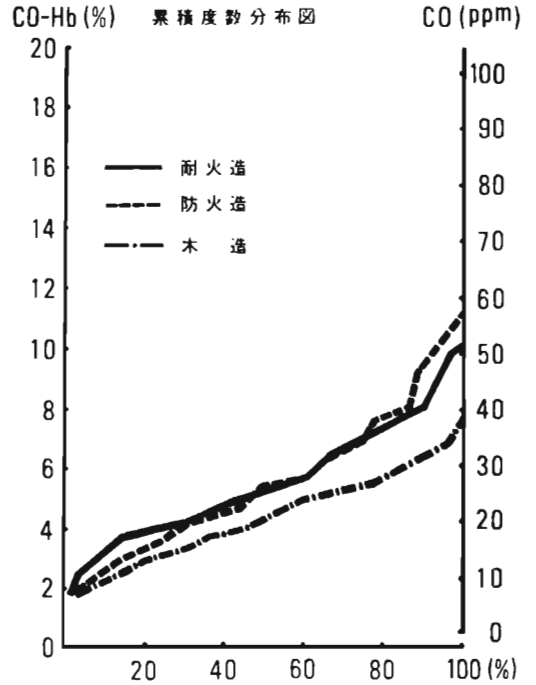


表13 火災建物構造別による相違(喫煙者・消火活動後)

差の検定表

	A 耐火造	B 防火造	C 木造
例数 (n)	46	36	35
平均値 (mean)	6.00	6.18	4.78
最高値 (max.)	10.78	11.94	8.28
最低値 (min.)	1.80	1.94	1.90
標準偏差 (S.D.)	2.05	2.56	1.63
有意差	AとC 有 (P<0.01) BとC 有 (P<0.01)		



エ 呼吸保護器具使用の有無による相違

屋内進入した者で呼吸器を使用した者と使用しなかった者に分けて比較した結果は表14,

表14 呼吸保護器具使用の有無による比較(非喫煙者・屋内進入・消火活動後)

差の検定表

	使用者	非使用者
例数 (n)	14	33
平均値 (mean)	4.19	3.23
最高値 (max.)	8.30	12.10
最低値 (min.)	1.54	1.20
標準偏差 (S.D.)	2.30	2.07
有意差	無	

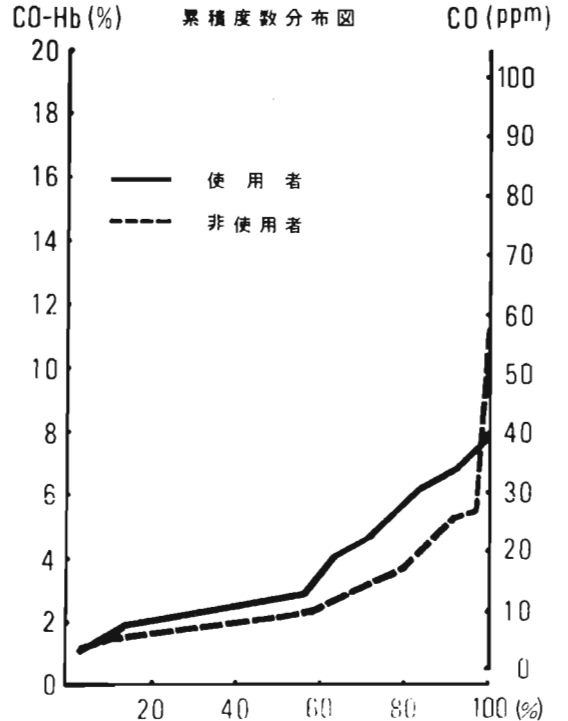
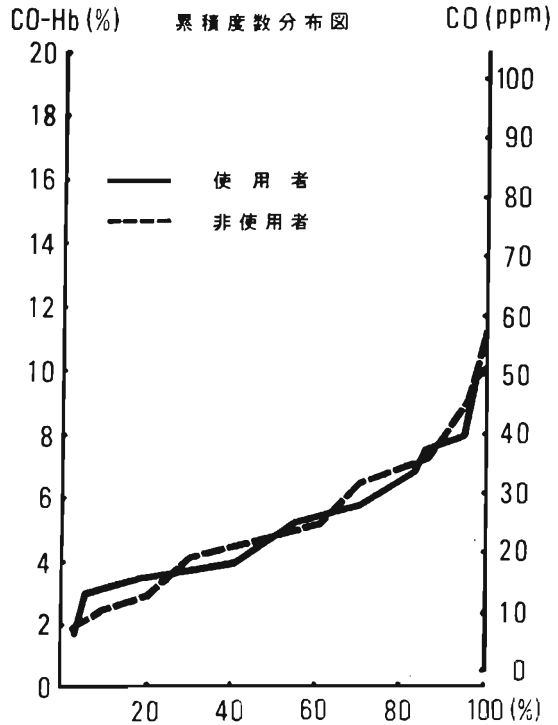


表15のように、非喫煙者、喫煙者グループとも有意差はなかった。

表15 呼吸保護器具使用の有無による比較(喫煙者・屋内進入・消火活動後)

差の検定表

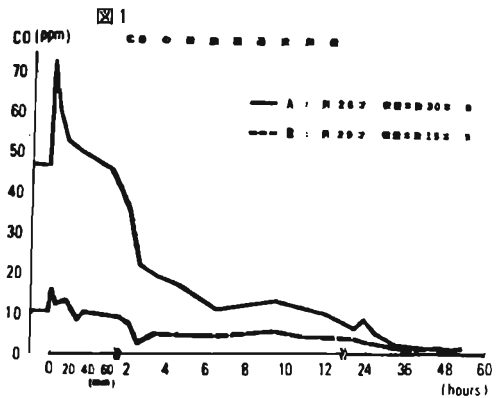
	使用者	非使用者
例数 (n)	36	81
平均値 (mean)	5.66	5.71
最高値 (max.)	10.80	11.94
最低値 (min.)	1.80	1.90
標準偏差 (S.D.)	1.99	2.27
有意差	無	



(3) COの排出経過

喫煙により体内にとり入れられたCOの排出経過を喫煙習慣を持つ2人の被験者について喫煙後禁煙させて呼気中のCO濃度を測定した結果を図1に示した。

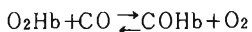
1日30本喫煙するAの場合は喫煙直後70ppmに達したが急速に減り、約2時間で30ppm程度になりその後減り1日後には10ppm程度、2日後には2ppmと非喫煙者のオーダーにまで減少した。Bは喫煙直後18ppm程度であったが2日後にはやはり2ppm程度にまで減った。



4. 考察

COの人体に対する中毒作用機構については古くから多くの学者により研究がなされているがこれらをまとめると概ね次のようになる。

COが存在する場所で呼吸をするとCOは肺胞中でヘモグロビン(Hb)と結合し、



なる化学反応により体内で平衡を保つ。平衡恒数Kは動物により異なるが、人の場合概ね250であるといわれている。すなわちCOは酸素に比べてヘ

モグロビンと。結合力が250倍も強いので、組織へ酸素を運ぶO₂-HbがCO-Hbにとってかわられる。そのためにまず第1に組織が酸素欠乏をおこす。

第2にO₂-Hbとして組織へ運ばれた酸素が、CO-Hbが存在すると酸素の解離を阻害され、酸素供給量がさらに減少する。(Halden effect)

第3にCO自体が血管を損傷させ、動脈硬化を促進する。

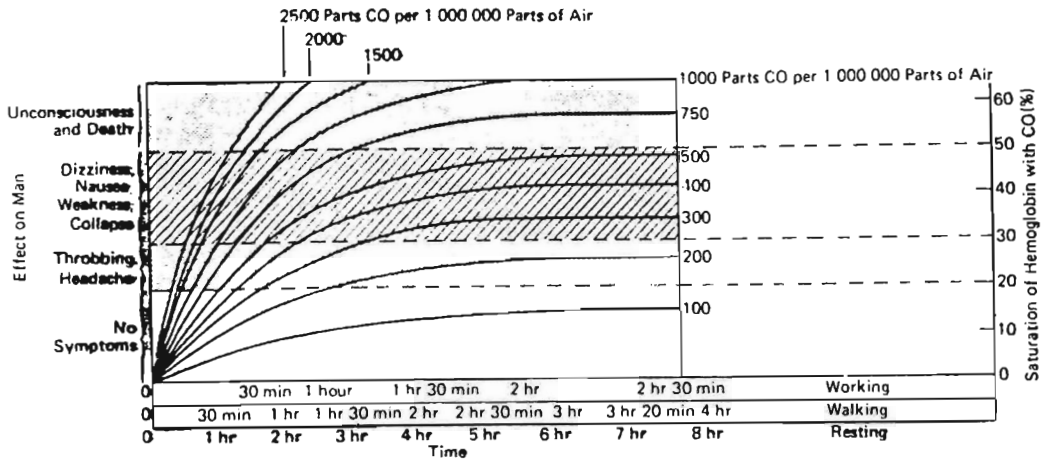
第4にCOがチトクローム呼吸酵素と結合し、COの呼吸鎖への直接阻害作用をもたらす。

等がCOの生体への中毒機構の現在の学説³⁾で

あるが環境中のCOによる人体の症状はCOの濃度と運動(呼吸量)の強さにより異なる。Spencer

らによると⁴⁾各種CO濃度による人体への影響は図2によって示される。

図2 各種濃度の一酸化炭素の人体に及ぼす影響



これによるとCO-Hbが20%未満では症状がないとされているが、これは急性CO中毒の場合であり、最近公害問題、喫煙問題等からCO-Hbが20%未満の自覚症状のないような低濃度のCOでもくりかえして吸入すると害があり、最も大きな影響を受けるのは心臓の冠状動脈であることが発表されている。⁵⁾

すなわち低濃度のCOによりひき起こされる低酸素状態が冠状動脈の内皮細胞に損傷を与え、動脈硬化を促進するとともに、心筋細胞への構造的な変化をもたらし、虚血性心疾患の発作と関連があることが証明されている。

またCOは中枢神経にも大きな影響を与え、低濃度のCOにより、視覚識別力や判断力の低下を招くことが発表されている。⁶⁾

以上のことから

(1) 消防隊員の平常時におけるCO体内保有量

消火活動に従事している消防隊員と、消火活動に携ったことのない消防学校学生について、平常時のCO体内保有量を比較したところ、喫煙者、非喫煙者ともに消防隊員の方が集団として常に有意に高いCOを保有していることがわかった、これはそれぞれが呼吸している周囲の空気中のCO濃度に有意の差がなかったことから、消火活動時のCOの影響によるものと思われる。

(2) 消火活動によるCOの吸入

消火活動後のCO体内保有量は平常時に比べて顕著に上昇することが明らかになった。

CO-Hbの平均値は、非喫煙グループでは約3.5%、喫煙者グループでは5.7%であり、また最高値は非喫煙グループでは12.1%、喫煙者では11.9%であった。

この程度の体内CO量が単純に急性の特異的中毒作用を起こすとは考えがたいが、消火活動中の消防隊員のエネルギー消費は激しく、組織における酸素需要量が著しく増加していること、および、この測定結果は消火活動後の測定といっても、ほとんどが帰署後に呼気採取しており、消火活動終了から帰署までに1~2時間を要していることから、消火活動直後のCO-Hb値はこの値よりさらに高いと考えられる。

以上のことを考慮するとこれらの体内CO量は、健康な消防隊員の場合それほど問題とする量ではないと思われるが心臓の冠状動脈の酸素運搬量になんらかの限界を有する隊員の場合、虚血性心発作を起こし得るに足る量であると考えられる。

また中枢神経に作用し、判断力や識別力の低下をきたす量であると思われる。

(3) 呼吸器使用とCO体内保有量との関係

屋内進入した者で呼吸器を使用した者としなかった者のCO体内保有量を比較したところ、非喫煙者、喫煙者グループともに有意差がなかった。

第1報で、耐煙耐熱訓練時の呼吸器の使用結果から呼吸器は屋内進入時終始つけて使用すると、COを完全に防護できることがわかっているため、使用者と非使用者を比較すると、使用者のCO体

内保有量の方が少いはずであるが、今回の測定結果で、呼吸器をつけた者も、つけなかった者も差がなかったことの原因については第1報で述べたように。

- 呼吸器をつけた者が防ぎよした火災は、耐火造火災が多く、使用しなかった者が防ぎよした火災に比べてCOが濃い火災であった。
- 呼吸器着用時間に限界があることを意識して最少限度にしか使用しなかった。
- 面体の密着度が十分でなかったために面体内に煙が入りCOを吸入した。

こと等をあげたが、以上の理由のほかには次のことが考えられる。

アメリカのボルチモア消防隊員について、ジョンズホプキンス大学のRadfordら⁷⁾が、消防隊員519人について、消火活動後のCO-Hb濃度を測定しているが、

- ① 呼吸器を消火活動中終始つけていた者。

- ② 断続的につけていた者。

- ③ 使用しなかった者

に分けて比較したところ表16表17のとおりであり非喫煙者、喫煙者グループともに、断続的に使用した者と、使用しなかった者の間に有意差がなく、終始つけていた者と、断続的に使用した者および使用しなかった者の間に有意差があることが発表されている。

すなわち、呼吸器は断続的に使用した場合COを防護する意味からはあまり効果がないと述べている。

我々の調査では、終始つけていた者と断続的に使用した者に分けて調査は行なっていないので今回の呼吸器使用者と非使用者の間に有意差のなかったことの原因については、呼吸器を断続的に使用した者が多かったことも原因の1つではないかと思われる。

表16 呼吸保護器具使用の有無による相違(ボルチモア消防隊員・非喫煙者)

差 の 検 定 表

	A 使用者	B 非使用者	C 断続的 使用者
例数 (n)	26	150	29
平均値 (mean)	1.42	2.47	3.38
最高値 (max.)	—	—	—
最低値 (min.)	—	—	—
標準偏差 (S.D.)	1.39	1.87	4.88
有意差	AとB有 (P<0.002)		

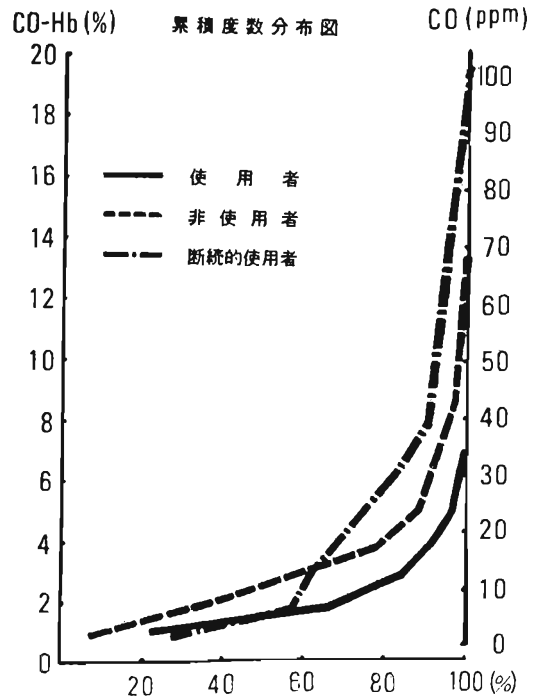
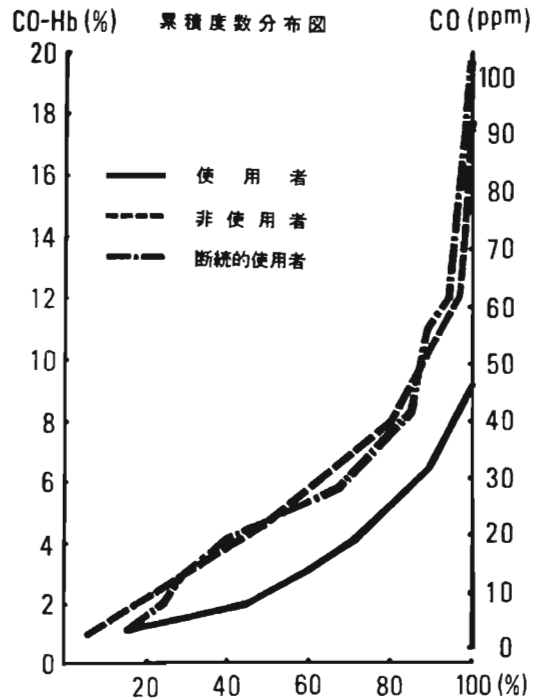


表17 呼吸保護器具使用の有無による相違(ボルチモア消防隊員・喫煙者)

差の検定表			
	A 使用者	B 非使用者	C 断続的 使用者
例数 (n)	50	394	73
平均値 (mean)	2.84	4.76	4.64
最高値 (max.)	—	—	—
最低値 (min.)	—	—	—
標準偏差 (S.D.)	2.54	3.28	3.77
有意差	AとB有 (P<0.001)		



(4) 海外消防隊員との比較

海外の文献から、米国オクラホマシティ消防本部⁸⁾ボルチモア消防本部⁷⁾およびウエストヘブン消防本部⁹⁾の消防隊員の平常時のCO体内保有量と、本調査の結果を対比すると表12のとおりであ

る。

この結果から、当庁の消防隊員はアメリカの消防隊員の平常時のCO体内保有量より低い傾向にあることが言える。

表18 消防隊員のCO体内保有量の比較(平常時)

	非喫煙者	喫煙者	研究者
オクラホマシティ 消防本部	5.1 (8人)	10.0 (19人)	Sammons and Coleman
ボルチモア 消防本部	4.53 (207人)	5.33(177人)	Radford and Levin
ウエストヘブン 消防本部	2.11 (23人)	5.25 (28人)	Loke and Farmer
東京消防庁	1.47 (82人)	3.98(156人)	Present Study

この理由については種々あると思われるが、表19に示すように我国とアメリカでは消防職員1人あたりの火災件数が当庁の場合0.44件であるのに

比して、ボルチモアでは6.15件と13.5倍、ニューヨークでは10.56件と約24倍、ボストンに至っては29.54件で67倍とアメリカの方が大巾に大きいことも

一つの理由であると思われる。

表19 世界主要都市の火災状況(1977年)

	管内面積 (km ²)	人口 (万人)	消防職員数 (人)	火災件数 (件)	出火率 人口1万人当 りの出火件数	死者数 (人)	消防職員 1人当り の火災件数
東京	1,711	1,124	17,926	7,905	7.0	149	0.44
ニューヨーク	828	745	12,276	129,619	174.0	297	10.56
ボストン ※	124	64	2,159	63,775	996.5	42	29.54
ボルチモア ※	238	86	2,260	13,909	161.7	76	6.15
ロンドン	1,579	699	7,061	36,151	51.9	70	5.12
パリ ※	776	630	6,329	15,107	24.0	98	2.39
ベルリン	480	205	3,093	2,999	29.3	27	0.97

(消防白書による ※印は1975年の件数)

(5) COの排出経過

体内にとり入れられたCOの体外への排出時間について、Hugeesらの論文によると半減期は2～5時間であり、運動の強さにより異なると報告されている。

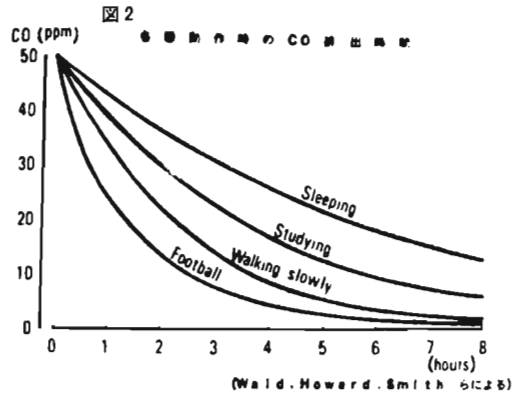
Wald,らによる運動の強さごとの排出経過の図表を図3に示した。¹⁰

我々の測定結果も概ねこの図に類似しており50ppm程度の呼気中CO濃度をもつ喫煙者も、禁煙すれば、2日位で2ppm程度と比較的早く非喫煙者のオーダーにまで低下することがわかった。

5. ま と め

以上述べたことを要約すると次のとおりである。

- (1) 消防隊員の平常時におけるCO体内保有量は消防学校学生(一般人)に比して有意に高い。
- (2) 消火活動後のCO体内保有量は平常時に比して顕著に上昇する。
- (3) 喫煙は消火活動とともにCO体内保有量を増加させる大きな要因である。



- (4) 呼吸器は、消火活動中終始つけていた場合COの吸入阻止に対して非常に有効であるが、断続的に使用した場合にはあまり効果がない。

本研究に際し、指導を賜った東京医科歯科大学公衆衛生学教室、前田博教授、高野健人助手および呼気採取に協力をいただいた、各方面本部指揮隊および消防署、消防学校の皆様に厚く御礼申し上げます。

6. 文 献

- 1) A. Ringold "Estimating Recent Carbon Monoxide Exposure." Arch Environ Health, 5, 38-48, 1962
- 2) 久保田重孝「職業病検診手技」P25
- 3) 高野健人 "一酸化炭素の生体臓器の組織呼吸に及ぼす影響" 日本衛生学会Vol33, No 5, 1978
- 4) APL Tech Digest Vol14, No 2, 1975, P 6
- 5) Goldsmith T.R. Arrow W.S "Carbon Monoxide and Coronary Heart Disease" Environmental Research 10, 236-284, 1975
- 6) 大気汚染研究 Vol 7, No 4, 1972
- 7) Radford E.P. Levin M.S.
"Occupational Exposures to Carbon monoxide in Baltimore Firefighters" Journal of Occupational Medicine Vol 18, No 9, 1976
- 8) J.H. Sammons. & R.L. Coleman "Firefighters Occupational Exposure to Carbon monoxide" Journal of Occupational Medicine Vol 16, No 8, 1974
- 9) Jacob Loke, Wayen C. Former.
"Carboxyhemoglobin Levels in Fire Fighters" Lung 154, 35-39, 1976
- 10) John R. Hughes. "Carbon monoxide Analyzer for measurement of Smoking Behavior Therapy 9, 293-296, 1978.