



Title	換気回数の低い室内における都市ガスの燃焼と一酸化炭素の発生
Author(s)	伊藤, 献一; 山根, 清隆
Citation	北海道大學工學部研究報告, 105, 9-18
Issue Date	1981-07-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41683
Type	departmental bulletin paper
File Information	105_9-18.pdf



換気回数の低い室内における都市ガスの 燃焼と一酸化炭素の発生

伊 藤 献 一* 山 根 清 隆*

(昭和 56 年 3 月 31 日受理)

Carbon Monoxide from Town Gas Burning with a Home Use Heater set in a Poorly Ventilated Room

Kenichi ITO* and Kiyotaka YAMANE*

(Received March 31, 1981)

Abstract

Carbon monoxide formation from a gas burning heater for home use set up in a poorly ventilated room was studied. Test room used was a 1/10 scale model and with a volume of 1 m³. Town gas (6B) and LPG were burned using a semi-premixed burner set up in the test room. An aerated and a confined burner were examined with various loads, primary or secondary air ratios, and ventilation cycles. O₂ and CO concentrations in the room and those in burned gases were measured.

The results showed that O₂ in the room continues to decrease until the flame blows off, and that extreme CO formation occurs at an early stage when the load is larger or the air ratios are smaller. In a burner condition which gives a slow decrease in O₂ concentration and a late blow-off, the resulting CO in a room increases and becomes a hazard. LPG burning gives a small amount of CO because of early blow-off.

1. 緒 言

近年、瞬間ガス湯沸器、暖房器具、ガス風呂などのガス器具が、一般家庭、オフィスを問わず我々の日常生活において常備品となってきた。一方、建物の気密性は、冷暖房効果を高めるための必要性から著しく向上しており、とりわけ暖房器具を使用する冬期には、ほとんど密閉された状態に近い室内で、長時間燃焼器具を使用する機会が多い。こうした状況の中で、ガス器具の不適切な使用が原因とみられる不完全燃焼による中毒事故はあとをたたず度々発生している。

CO が人体におよぼす有害性に関しては周知のとおりである。その性質上、CO は無色無臭であるため、人間の感覚による早期知覚は困難である場合が多く、安全対策の面から燃焼器具を取扱う者の十分な注意を促す一方、工学的見地からも安全性を追及していくことは重要な課題である。

ガス燃焼器具を使用するにさいして、不完全燃焼における CO 発生の直接的な原因としては、器

* 機械工学科 燃焼工学講座

* Department of Mechanical Engineering, Combustion Engineering Laboratory

具の調整が不適切なため燃焼用の空気が不足する場合と、空気中の O_2 濃度が低下している場合とがある。 O_2 濃度低下と換気に関連する研究は、いくつか報告¹⁾されているものの、 O_2 濃度低下と燃焼との関連性に対する基礎的研究は、今だ十分とは言えない。

本研究では、現在最も利用率の高いと思われる都市ガスとLPGを用いて、一般住宅の一室で開放型ならびに半密閉型燃焼器を使用した状態を想定した燃焼実験を実際の1/10規模のモデルを使って行い、その自然消火過程におよぼす、燃焼器具の熱負荷、一次空気比、二次空気比および換気回数の影響を明らかにしたものである。

2. 実験装置および実験方法

2. 1 実験装置概要

実験では、一般住宅の一室 ($10 \sim 30 \text{ m}^3$) で瞬間ガス湯沸器 (熱負荷 $5000 \sim 10000 \text{ Kcal/h}$) を専用の排気設備をせずに使用する場合を想定した。モデル室の容積は 1 m^3 とし、四方の壁面は内部観察のためにビニール張りとした。天井には、換気のために小孔 ($\phi 2.5 \times 13$) をあけた亜鉛引鋼板を用いた。

実験装置の概要を、図1に示す。バーナ、燃焼筒および熱交換器は、モデル室内に図のように置かれ、モデル室内外の空気の出入は、換気回数 n を任意に設定できる換気システムによって制御される。

モデル室内の床に配管されたビニールパイプ ($\phi 10$) にあけた小孔 ($\phi 1 \times 60$) より新鮮な空気を導入し、天井を通し室内空気を排出した。換気回数は、通常の一般住宅における換気状態に近い値 ($n=0.3 \sim 1.0 \text{ 1/h}$) に設定した。

燃焼用一次空気は、モデル室内の空気を所要分だけブロウで吸入し、燃料ガスと予混合したのちバーナに送られる。半密閉型燃焼器に対する二次空気は、モデル室内の自然対流により供給される。バーナ上方には、排ガス温度測定のための熱電対および排ガスサンプリング用パイプが設置してある。また、モデル室内からもサンプリングし、 O_2 、 CO についてガス分析を行った。

供試バーナは、市販品の瞬間ガス湯沸器に使用されているT型リボン式バーナである。これは、通常8本組み合わせで使われているものでそのうちの1ユニットを使用した。図2にバーナの構造を示す。燃焼方式は、部分予混合方式である。半密閉型燃焼器としての実験にさいしては、バーナ上方に燃焼筒を装着した。この燃焼筒を設けることにより、以下の点が可能となる。

- (1) 二次空気の制御。
- (2) 対流による不規則な乱れの防止。
- (3) 排ガス測定の精度の確保。

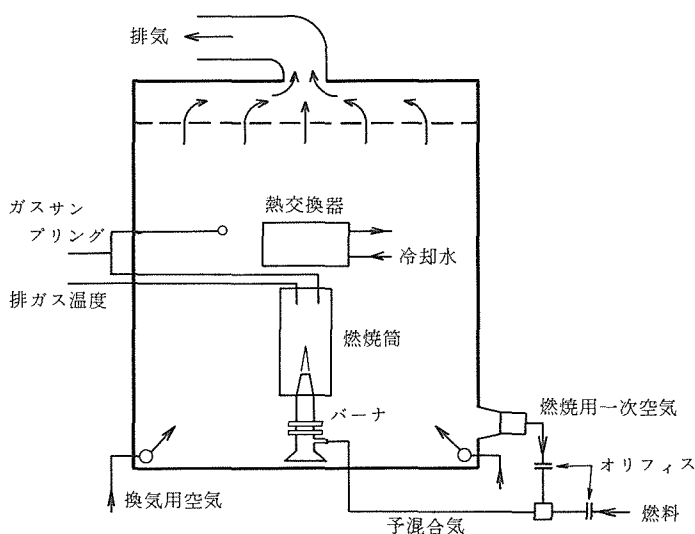


図1 実験装置概要

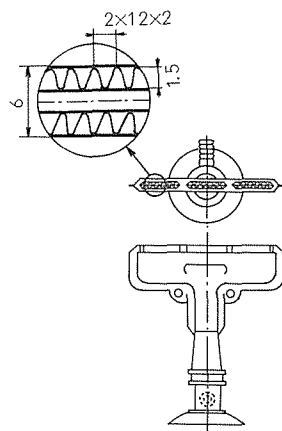


図 2 供試バーナ

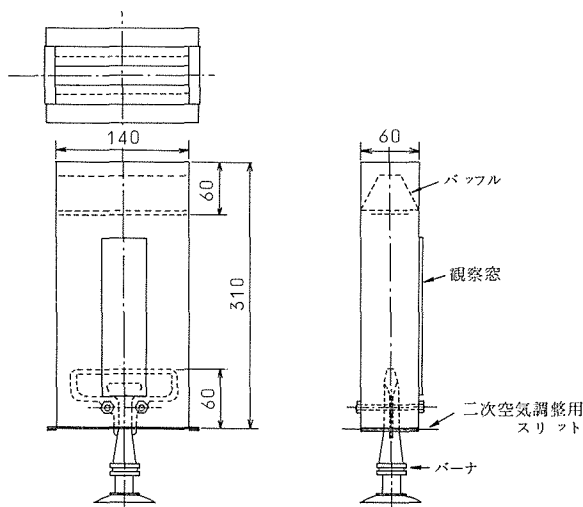


図 3 燃焼筒概要

この燃焼筒下部には、二次空気量制御のために開口面積を変えられるようにしたスリットを設けてある。図 3 に燃焼筒の概要を示す。燃焼筒の形状、寸法の決定にあたっては、つぎの点に留意した。

- (1) 燃焼筒の高さは、長時間の燃焼で火炎の長さが伸びた場合でも火炎を十分包んでいること。
- (2) 断面積は、二次空気の流速が、火炎の消炎に至るまでの時間に影響をおよぼさないような範囲で、しかも、実際の燃焼器に見合った値とした。
- (3) 燃焼筒上部には、排ガスが十分攪拌するように、バッフルを設けた。

開放型燃焼器としての実験の場合には、この燃焼筒を取りはずした。また、燃焼によるモデル室内の温度上昇をさけるため熱交換器をバーナ下流に設置した。

2.2 使用燃料

本実験において使用した燃料は、都市ガス 6 B (北海道ガス会社、札幌地区) および LPG の 2 種類である。表 1 に各々の燃料特性値を示す。

2.3 換気回数の測定方法

換気回数 n の測定はつぎのようにして行った。燃焼実験終了後、室内 O_2 濃度が数%に低下した状態より、換気装置のみを継続動作させて室内 O_2 濃度の変化を連続測定する。そして、次式より n を求めた。

表 1 使用燃料の特性値

	都市ガス 6 B	L. P. G Ⅰ号
総 発 熱 量 kcal/m ³	5,000	24,320
ガ ス 組 成 Vol%	H ₂ 49.4	C ₂ H ₆ 1.1
	CO 7.0	C ₃ H ₈ 97.4
	CH ₄ 11.2	C ₄ H ₁₀ 1.5
	C ₂ H ₄ 1.8	
	C ₃ H ₆ 3.4	
	C ₃ H ₈ 0.2	
	C ₄ H ₁₀ 3.6	
	CO ₂ 1.5	
	O ₂ 0.6	
	N ₂ 7.8	
理 論 空 気 量 m ³ /m ³	4.529	23.8
理 論 火 炎 温 度 °C	2,100	2,150
燃 焼 速 度 cm/sec	58	43
燃焼限界 空気中 Vol%	下 限	5.8
	上 限	37.2
		2.2
		9.5

$$n = \frac{V}{R} = \frac{-2.303}{t} \log \frac{(O_2)_R - (O_2)_a}{(O_2)_{R0} - (O_2)_a}$$

ここに	V	: 換気量	m^3/h
	R	: モデル室気積	m^3
	n	: 換気回数	$1/h$
	$(O_2)_a$	: 室外 O_2 濃度	%
	$(O_2)_R$	: 時間 $t=t$ における室内 O_2 濃度	%
	$(O_2)_{R0}$	: 時間 $t=t_0$ における室内 O_2 濃度	%

3. 実験結果および考察

3. 1 開放型燃焼器としての燃焼

(a) 火炎状態の時間変化

熱負荷 $Q=1000$ Kcal/h, 換気回数 $n=0.3$ において, 開放型燃焼器としての燃焼実験を行った。都市ガス 6 B を燃料とした場合に点火時の火炎の状態は, 燃焼開始時における一次空気比 m_1 の値によりつぎのように異なる。

m_1 の小さい場合 ($m_1=0.3$) には, 火炎の高さは大きく, 内炎と外炎の区別がなく, 色はオレンジ色で変動が大きく不安定である。 m_1 を大きくするに従って, 今まで放物線状であった外炎の輪郭が三角形に近いものとなる。外炎は紫色に, 内炎は透明に近くなって, 区別がはっきりしてくる。さらに m_1 を大きく ($m_1=0.6$) とすると, バーナ口付近に 1 mm 程度の青緑色の炎が認められるようになって, 全体に無色透明に近くなる。燃焼時には, 騒音を伴うが火炎は安定する。

以上のように, 初期の火炎の状態には相違があるものの, その後の時間経過に伴う火炎状態の変化は, m_1 がいずれの値においてもあまり違いがない。すなわち, 時間経過に従い火炎はしだいに, オレンジ色の炎が成長し, 内炎と外炎の判別が困難になってくる。時間とともに徐々に成長してゆく火炎は, やがて伸びきったと思われる頃には一定の形をとどめず激しく揺らぎだす。このような状態になると, 排ガス温度は急激に低下する。さらに時間が経過すると, 火炎はバーナ口より浮き上がり, バーナの数 cm 上方で空気と十分に混合した部分のみが燃焼している。この状態では未燃燃料が出ている可能性が大きい。 O_2 濃度がさらに低下して, 消炎となる。

(b) O_2 濃度および CO 濃度

O_2 および CO 濃度の時間変化を図 4 に示す。排ガス中の O_2 濃度 $(O_2)_E$ 図(a)および室内の O_2 濃度 $(O_2)_R$ 図(a)は, 燃焼開始とともに低下し始める。以後, ほぼ一定の速度で低下を続ける。濃度減衰は, 理論計算によれば指数関数的に表わされる²⁾ので, 厳密には, 時間に対するガス濃度の減衰は一定とならない。しかし, 実験の範囲内では, ほとんど直線的に低下しているとみてよい。

m_1 を変えても $(O_2)_R$ の減少速度には影響していないようである。一方, 消炎時の O_2 濃度は m_1 によりいくぶん差があり, 10~12%であった。これは, m_1 の違いにより消炎までの時間に差があるためであり, 時間が長くなればなるほど $(O_2)_R$ 濃度は低下する。 m_1 が大きくなるに従い消炎時間は短縮される傾向がみられる。

$(O_2)_E$ に対しては, m_1 の影響がある。点火時において, m_1 が大きくなるに従い $(O_2)_E$ は高い値を示し, 減少速度も緩やかになっている。 m_1 が小さいと, 時間的にも早く O_2 不足状態に陥り易いことを示している。また, $m_1=0.7$ 以外は, 点火後約 30 分で $(O_2)_E$ は最少値に達し, その後上昇する現象がみられる。これは, 燃焼終盤に燃焼温度の低下と不完全燃焼のために燃焼にあず

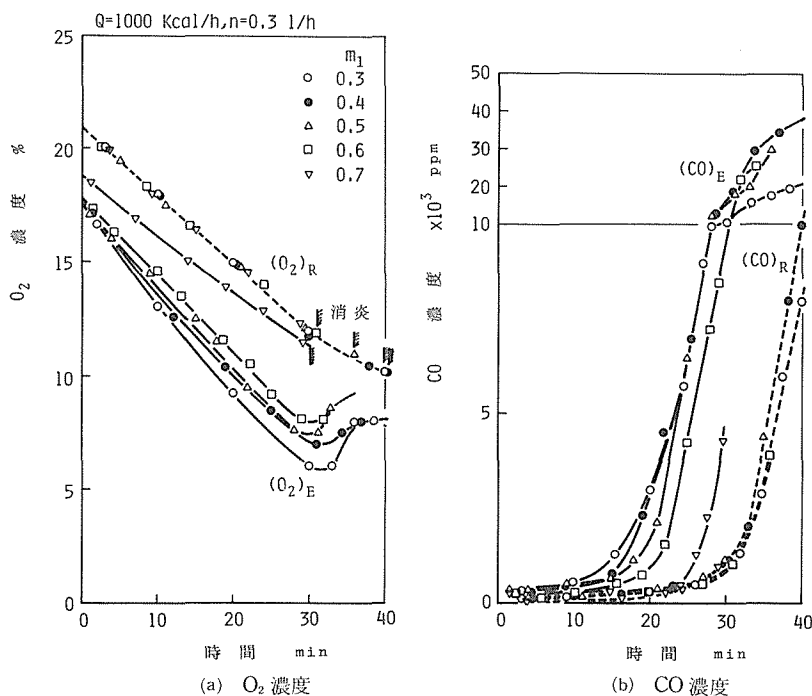


図 4 O_2 および CO 濃度の時間変化 (6 B ガス)

からない O_2 がそのまま排出されているからであると考えられる。

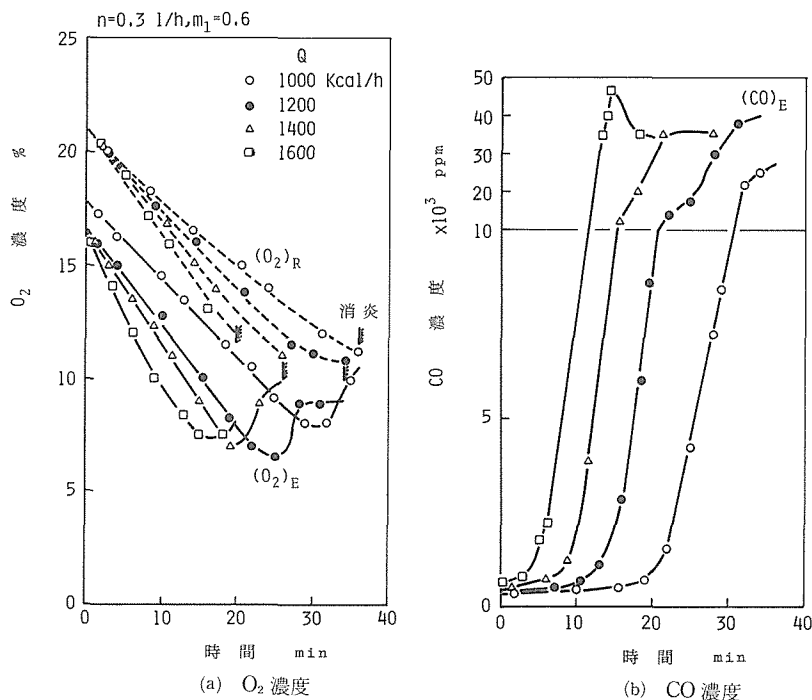
排ガス中の CO 濃度 $(\text{CO})_E$ 図(b)および室内の CO 濃度 $(\text{CO})_R$ 図(b)とも、はじめのうちは 100 ppm のオーダーできわめて緩やかな上昇をするが、ある時間を過ぎると、これまでとは比較にならない急激な増加を示し、数分間で 10000 ppm にも達する。このような立上り現象は、 m_1 の違いによって点火後 20~30 分でおきており、 m_1 が小さくなるにつれて立上り時間は早くなる傾向を示す。また、 $(\text{CO})_R$ は、 $(\text{CO})_E$ の追従する値であるから、やや時間的に遅れて $(\text{CO})_E$ と同じような変化を示す。

(c) 熱負荷の影響

図 5 に、熱負荷 Q の影響を示す。 $(\text{O}_2)_R$ の減少速度は Q の高い方が大きい。消炎時の O_2 濃度は、いずれの場合も 11% 程度である。したがって消炎時間は高負荷ほど短くなっている。換気回数 n が一定である限り Q を増すことによって O_2 消費量が大きくなるので、より速い速度で $(\text{O}_2)_R$ は減少する。

$(\text{O}_2)_E$ の初期の値は、 Q の高い方が低くなる。それ以後は、時間経過とともに、ある値に達するまで $(\text{O}_2)_E$ は減少してゆき、 $(\text{O}_2)_R$ と同様にこの減少速度は Q の高い方が大きい。さらに $(\text{O}_2)_E$ は、最小値に達した後、消炎まで上昇する傾向を示すようになる。この現象は、不完全燃焼によるものと考えられ燃焼効率が著しく悪化し、酸素の消費率が低下していることを意味しており、 $(\text{O}_2)_E$ に下限の存在することを示す。ここで、 $(\text{O}_2)_E$ の最小値は、 Q の大小によらず 7~8% である。

$(\text{CO})_E$ は、前項の実験結果と同様、初期の段階での上昇は緩やかである。さらに、ある時間を経過すると急激な立上り現象を示し、 Q の増大によって明らかに立上り現象は早くなる。 $(\text{O}_2)_E$ の

図 5 熱負荷 Q の影響 (6 B ガス)

減少状態で比較しても Q の高い方が早い段階に不完全燃焼を起こすことが明らかである。

図 6 に示すように、 Q が 200 Kcal/h ずつ増すことによって、 $(O_2)_E$ の最小値に達する時間は、約 5 分ずつ早くなる。この現象は実際の室内 (10 m^3) では、燃焼器具の容量が 2000 Kcal/h 増減すると $(O_2)_E$ が最小となる時間は 5 分増減することを意味している。また、消炎時間との関係を見ると、いずれの Q の場合にも、 $(O_2)_E$ が最小値に達した後、10 分以内に消炎している。一方、図には $(CO)_E$ が急激に増加し 1000 ppm に達した時間を示してあるが、 Q の増大によってこの時間が明らかに早くなっている。また、その時の $(O_2)_R$ 濃度は、 $Q=1000$ Kcal/h において 15% であったものが、1600 Kcal/h で 19.5% となり、 $(O_2)_R$ の減少状態で比較しても、 Q の高い方が早い段階に $(CO)_E$ の急増が始まっている。言いかえると、低負荷の方が高負荷に比べて、より低い O_2 濃度でも完全燃焼し得るということである。

3. 2 半密閉型燃焼器としての燃焼

(a) 二次空気の影響

バーナに燃焼筒を取り付け、半密閉型燃焼器として燃焼実験を行った結果を図 7 に示す。開放型燃焼器の場合と同様に、 $(O_2)_E$ が最小となったのちの上昇、ならびに $(CO)_E$ の急激な立上り現象がみられる。

一次空気比 $m_1=0.6$ 一定で、燃焼筒下部のスリット開度

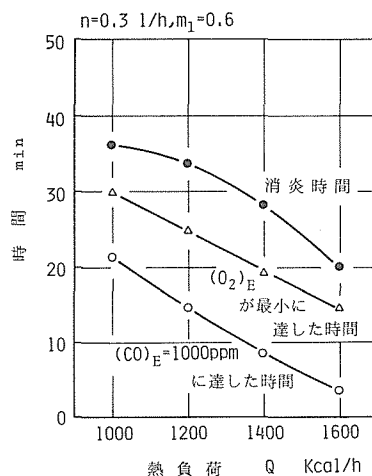
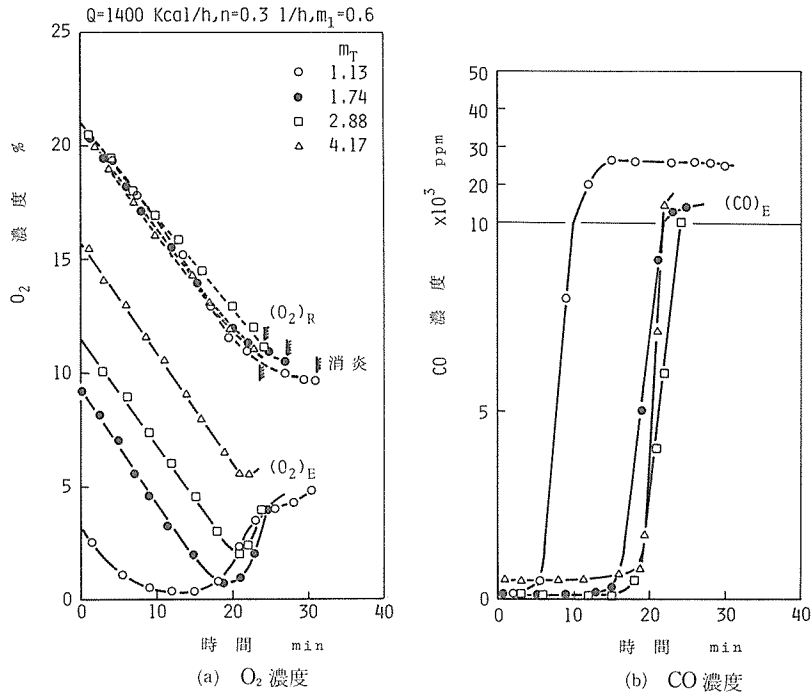


図 6 消炎過程におよぼす熱負荷の影響 (6 B ガス)

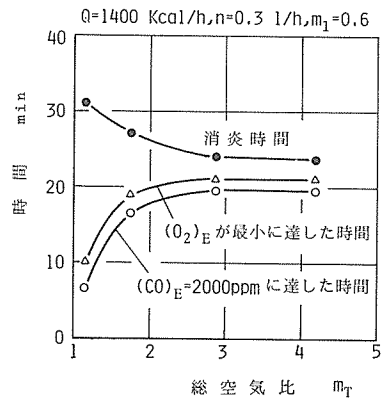
図 7 総空気比 m_T の影響 (6 B ガス)

の調整により、燃焼開始時の総空気比 m_T を変化させたとき、 $(O_2)_R$ の減少速度はさほど m_T の影響をうけていない。しかし、消炎時の $(O_2)_R$ は m_T の違いにより異なり、9.5~11%の範囲にある。 m_T が小さいほど消炎までの時間が長くなり、そのときの $(O_2)_R$ 濃度は低下する。

$(O_2)_E$ に関しては、 m_T の影響がかなりはっきりしており、 $m_T=1.13$ では、はじめから $(O_2)_E$ 濃度が極端に低く、早くから不完全燃焼をしていることが予想される。 $m_T=1.74, 2.88, 4.17$ と m_T を大きくしていくと順に初期濃度は高く、各々、時間経過とともに一定の速さで $(O_2)_E$ は低下する。 $(O_2)_E$ の最小濃度も同じく、 m_T の大きい方が高い。 $(O_2)_E$ が最小となると、 $(O_2)_R$ 濃度がいずれも 12~13%を示し、その後は不完全燃焼をおこして $(O_2)_E$ が上昇している。

$(CO)_E$ は、前節の場合と同様に初期段階では緩やかに上昇し、 $(O_2)_E$ が最小に達する時を堺にして立上り現象をおこし、消炎時には最大値に達する。

図 8 に、 m_T を変化させた時の消炎時間、 $(O_2)_E$ が最小値に達した時間および $(CO)_E$ が 2000 ppm に達した時間を示す。ここで、 $(O_2)_E$ が最小となってから消炎までの時間は、 m_T が大きくなるほど両者の差は小さいことに注目される。これは、 m_T が 1 近くでは、極端に二次空気量が不足しているために、早くから不完全燃焼をおこし $(O_2)_E$ の最小値に短時間で到達する、しかし、この場合、酸素消費が少なく、しかも $(O_2)_R$ 濃度がある程度低下しないと消炎しないので、

図 8 消炎過程におよぼす総空気比 m_T の影響 (6 B ガス)

消炎時間はかえって増加することになる。 m_T が大きくなると、燃焼にあずかる酸素が増加し、 $(O_2)_E$ の最小に達する時間は長くなる。また、消炎時間は、二次空気量の増大に伴い燃焼温度の低下、二次空気流速による吹消などによって、短縮するものと考えられる。

3. 3 LPG の燃焼

LPG を燃料として、半密閉型燃焼器で、一次空気比 m_1 を変化させた燃焼実験の結果を図 9 に示す。 $(O_2)_E$ と $(O_2)_R$ は都市ガス 6 B の場合と同じく、実験開始と同時に低下しはじめる。減少速度は、実験条件でわずかな違いはあるが都市ガス 6 B の場合と比べると、やや大きくなっている。このように各ガス成分の濃度変化の傾向をみると、いくつかの点で都市

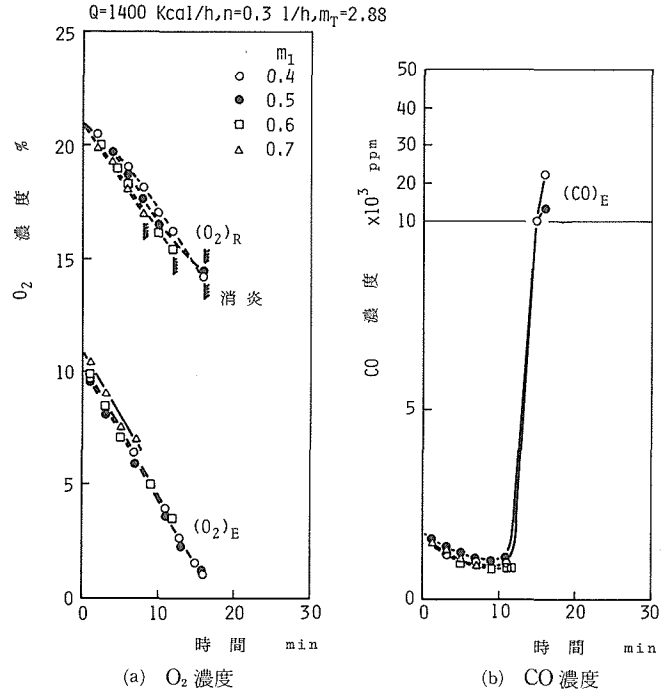


図 9 一次空気比 m_1 の影響 (LPG)

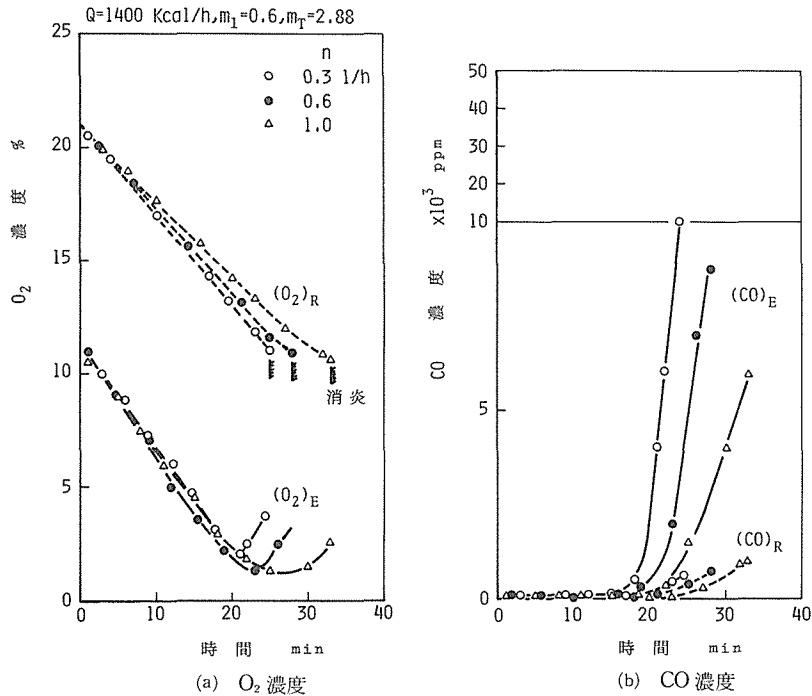
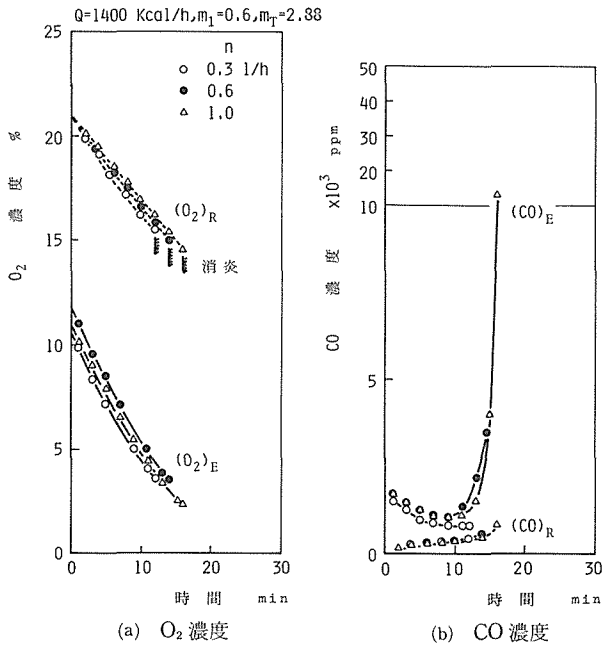
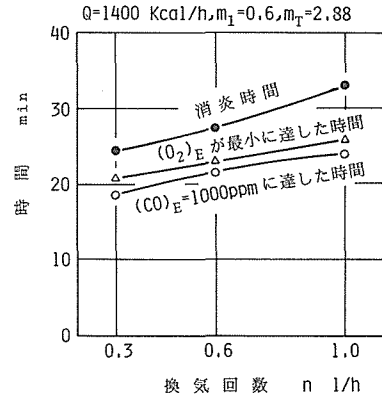
ガス 6 B の場合と異なっている。その一つは、消炎時間が、都市ガス 6 B に比べて極端に早く、 m_1 が増加すると著しく減少することである。また、 $(O_2)_E$ が最小となったのちにさらに上昇する現象が生じなかったことも大きな特徴である。都市ガス 6 B の場合には、消炎の条件に $(O_2)_R$ が重要な関係を持つことが実験結果から推測されたのに対し、LPG の場合、都市ガス 6 B に比べて、発熱量が大きく理論空気量も大きいのにに対して、可燃範囲が狭く、しかも燃焼速度が遅いことなどが影響し $(O_2)_R$ 、 $(O_2)_E$ が十分減少する以前に、消炎に至るものと考えられる。CO 濃度は、 $(CO)_R$ 、 $(CO)_E$ のいずれも、都市ガス 6 B の場合に比べて低い。 $(CO)_E$ の立ち上がり現象は、 $(O_2)_R$ が 16% 前後まで低下するとおこっている。都市ガス 6 B の場合は、 $(O_2)_R$ が 14% 程度で立ち上がり現象がみられたから、LPG の方が、高い $(O_2)_R$ で不完全燃焼をおこしていることになる。しかし、CO の到達濃度は、LPG の方がはるかに低くなっている。

3. 4 換気回数の影響

換気回数 n が、都市ガス 6 B および LPG の燃焼に与える影響について、実験結果を図 10 および図 11 に示す。

都市ガス 6 B の場合、図 10 に示すように、 $(O_2)_R$ は、実験開始と同時に低下し、以後、消炎に至るまで低下を続ける。その速度は、はじめのうちはほとんど直線的であるが、時間経過につれて、やや緩やかになってゆく。 n の影響は、 n の大きい方が、 $(O_2)_R$ の低下が緩やかであることは当然であるが、しかし、 $n=0.3$ から $n=0.6$ と、 n を倍増したことに比べ $(O_2)_R$ は割合に小さい変化である。これは、換気量にくらべて燃焼に要した空気の割合が大きく、この程度の n の変化では $(O_2)_R$ の低下を抑制することが不十分であったことを意味している。

$(O_2)_E$ の減少速度に、 n の影響はほとんどなく、 $(O_2)_E$ の最小値は 2% 前後であり、それ以後、上昇をはじめるが、 n の大きい方が消炎までの時間は長くなり、上昇速度も小さくなる。 $(O_2)_E$ は、

図 10 換気回数 n の影響 (6 B ガス)図 11 換気回数 n の影響 (LPG)図 12 消炎過程におよぼす換気回数 n の影響 (6 B ガス)

これまでの実験結果と同じ傾向を示し、ある時間を過ぎると、立上り現象を見せる。しかし、 n を増すことによって、立上り現象は遅れ、濃度の増加割合も緩やかになる。

消炎時間は、図 12 に示すように、 n の増加にほぼ比例して伸びる。 n を増大することにより全体の現象は遅れる。現象の遅れの中でも、 $(CO)_E$ の立上り後、消炎までの時間が、 n の大きい方が長くなっていることは、それだけ n の大きい方が不完全燃焼の時間が長いということを意味す

るものである。明らかに、図 10 に示すように消炎時の $(CO)_R$ は、 $(CO)_E$ が低いにもかかわらず n の大きい方が高くなっている。したがって、CO の蓄積という点で、換気回数が大きければ安全であるとは一概には言いきれない。

LPG の場合、 O_2 および CO 濃度の時間的変化は、前項で述べたと同様な傾向を示す。消炎時間は、都市ガス 6 B と同じように、 n の増加とともに比例して遅れる。また、 n の増加にしたがい $(CO)_E$ の最大濃度は増加する。LPG における燃焼は、同一条件での都市ガス 6 B に比べ、一般に消炎時間が早く排ガス中の CO 濃度もあまり高くない。

4. 結 論

ある一定の換気回数で換気が行なわれている室内において、都市ガス 6 B を燃料として燃焼器具を使用した場合、排ガスおよび室内空気中の O_2 、CO 濃度に関して、つぎのことが明らかになった。

(1) 排ガス中の O_2 濃度は、燃焼開始直後から低下するが、それには限界がある。 O_2 濃度は最小値を示したのち上昇し消炎に至る。室内の O_2 濃度は、燃焼開始直後から低下し、消炎に至るまでこの傾向は続く。消炎時の O_2 濃度は、10～11%であった。排ガス中の CO 濃度は、室内 O_2 濃度がある値まで低下した時、突然不完全燃焼を起し急激に増加する。以上のような、変化の傾向は、開放型、半密閉型燃焼器のいずれについても同じである。

(2) 半密閉型燃焼器において、総空気比 m_T が増加するにしたがい、CO の多量発生が遅れ、消炎に至る時間は短くなる。

(3) 熱負荷 Q を増すにしたがって、全体の現象は早く進行する。高負荷で使用する場合、CO 発生が早いのでより早く危険な状態が訪れる。低負荷では、CO 発生より早く室内の酸欠状態に陥る可能性がある。

(4) 換気回数 n を増すことによって、全体の現象は遅れる。つまり、 n の増加によって、不完全燃焼している時間が長くなり、CO の蓄積という見地から、 n を大きくすれば安全とは一概に言いきれない。換気については、汚染空気の排出と室内 O_2 濃度を十分に維持することに心がけるべきである。

(5) 都市ガス 6 B と LPG の燃焼を比較した場合、LPG の方が、消炎は極めて早く、CO 発生量もはるかに少ない。これは、燃料の燃焼特性の違いによるものと考えられる。

なお、本研究を行うにあたり、実験において学部生手塚成夫君の協力を得たことに謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 石原正雄；空気調和・衛生工学会近畿支部環境工学研究会資料，第 6 号（昭 41）
- (2) 輪 千 正；日本火災学会誌，27（昭 52），1，p. 3～14