

燃焼排ガスによる室内空気の汚染について(第4報)

齊 藤 安 正*

1. はじめに

近年、冷暖房効果の向上等のために建物の気密性が高くなる傾向がある中で、室内において換気を充分行わずに、ガストーブ等の開放型(室内の空気を燃焼に使用し、燃焼排ガスを当該室内に放出する)燃焼器具又は練炭等の家庭用固体燃料を使用した場合に発生する不完全燃焼による中毒事故(一酸化炭素中毒)が、東京消防庁管内においても毎年数10件発生している。

この事故に至る諸要因に関して、昭和51年度以降研究を継続してきた結果、石油器具及びガス器具については、所報14~16号において既に報告しているので、今回は、石油価格の上昇に対応して使用量が増加してきた練炭等の家庭用固体燃料の燃焼特性に関する実験と、建物構造が自然換気量に及ぼす影響を把握するための新旧木造住宅の換気量に関する実験を行った。その結果は次のとおりである。

2. 家庭用固体燃料の燃焼特性に関する実験

(1) 実験目的

気密性の高い室内で、家庭用固体燃料(木炭、豆炭、練炭)を使用する場合の中毒事故の危険性を把握するとともに、表1の燃料別事故件数において特に件数が多い練炭について、燃焼特性と換気効果を究明する。

表1 昭和53年中の固体燃料による中毒事故件数⁽¹⁾
(東京消防庁)

燃 料 名	件 数
練 炭	12
木 炭	4
豆 炭	1
合 計	17

表2 実験に使用した家庭用固体燃料⁽²⁾⁽³⁾

木 炭 (黒 炭)	土がまを用い400~450℃で3~4日にわたって木材を炭化したもの。着火温度は350℃ 本実験においては、長さ10cmに切ったもの6個(総重量約350g)を使用。
豆 炭	無煙炭、粉コークス、木炭粉等の主原料にパルプ廃液等の粘結剤を加えて成形したもの。発熱量5,500kcal/kg 本実験においては、7個(総重量約350g)を使用。
着 火 練 炭	主原料の無煙炭に粉コークス等を配合し、石灰、パルプ廃液等の粘結剤を加えて成形してできた普通練炭の底面に、木炭粉等を固着して着火を容易にしたもの。点火はガスこんろによる。 本実験においては、写真1に示す規格4号(直径11.65cm、高さ12cm、重量1,400g、発熱量5,600kcal/kg)を使用。
マ ッ チ 練 炭	着火練炭の着火部分の中央に、松炭、素灰等の易燃材に塩素酸カリウムを助燃剤として配合した着火炭を用いたもの。 点火はマッチによる。 本実験においては、写真2に示す規格4号(直径等は着火練炭と同じ)を使用。

* 第二研究室



写真1 着火練炭

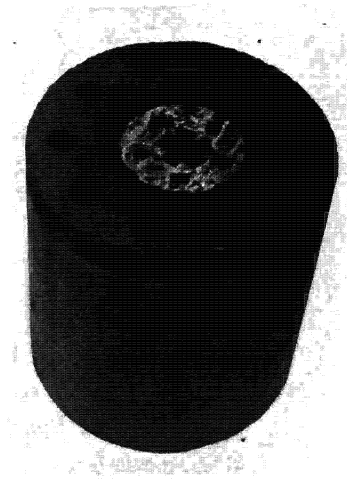


写真2 マッチ練炭

(2) 実験内容

ア 家庭用固体燃料の燃焼排ガス中に含まれる一酸化炭素濃度の測定

表2の各固体燃料を点火した直後(1~10分)において、燃焼排ガス中に含まれる一酸化炭素濃度を、次に掲げるような方法で測定し、石油ストーブと比較した。

(ア) 木炭

直径20cm ϕ 、深さ10cmの鉄製円筒容器に約6cmの厚みで灰を入れ、その上にガスこんろで、5分間加熱した木炭を置き、当該試料の上方5cmの位置で測定した。

(イ) 豆炭

木炭と同じ容器を用い、灰上にガスこんろで10分間加熱した豆炭を置き、当該試料の上方1cmの位置で測定した。

(ウ) 練炭

マッチ練炭を上つけ練炭こんろ(図1参照)内で点火し、上ぶた中央の穴の位置で測定した。

(エ) 石油ストーブ

石油消費量0.32 ℓ /hrの対流型石油ストーブの燃焼筒上部の排気口で測定した。

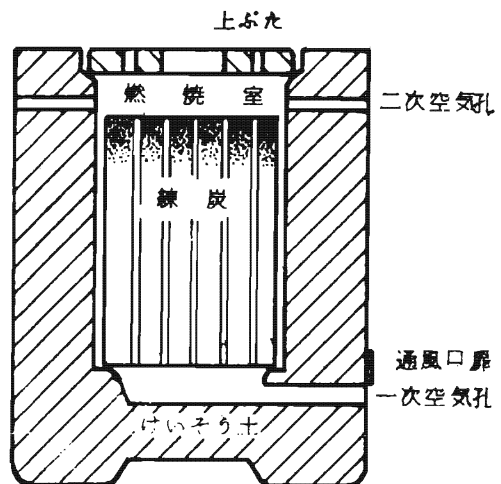


図1 上つけ練炭こんろ

イ 家庭用固体燃料を室内で使用する場合の室内各ガス濃度の測定。

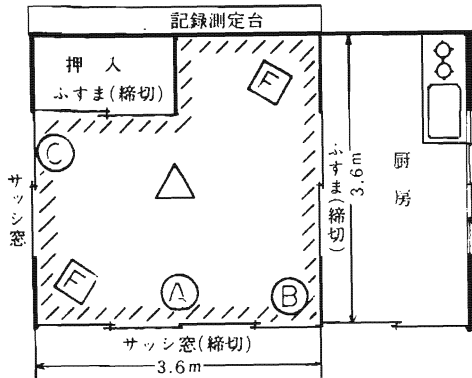
当研究所1階の総合実験室内に設置した実験ハウス(図2及び写真3)内において、表3の各種条件下で固体燃料を燃焼させた場合の室内一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度及び酸素濃度を室内中央床上1.1mの位置で測定するとともに、室内外の気温を測定した。

なお、2基のファンは室内各ガス濃度を均一にして測定する目的で使用した。

また、実験ハウスの周囲は無風に近く、実験ハウスのサッシ窓を締め切った場合の換気

回数について表4に示す。

ここで換気回数(n)は、1時間当りの換気量をQ、室内空気量をRとすると、 $n=Q/R$ で定義される。



▨：実験に使用した部屋

床面積 11.3m²

容積 26.7m³

- Ⓐ：固体燃料の位置(ファンON)
- Ⓑ： " (" OFF)
- Ⓒ：換気窓付サッシ窓
- △：ガス濃度及び温度測定位置
(床上1.1m)
- Ⓕ：ファン

図2 実験ハウス平面図

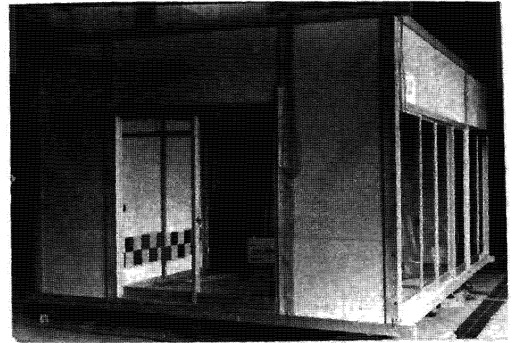


写真3 実験ハウス

表4 実験ハウスの換気回数

周囲風速 (m/s)	室内外温度差 (deg)	ファンの作動状況	換気回数(回/hr)
0.1以下	0~4	OFF	0.03~0.06
	1~5	ON	0.11~0.13
	10~20	ON	0.20~0.30

表3 家庭用固体燃料による燃焼実験の各種条件

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
燃料	木炭	豆灰	着練炭	マッチ練炭	マッチ練炭	マッチ練炭	マッチ練炭	マッチ練炭	マッチ練炭	マッチ練炭
点火方法	ガスこんろ上5分	ガスこんろ上10分	ガスこんろ上2分	マッチ	マッチ	マッチ	マッチ	マッチ	マッチ	マッチ
練炭こんろの通風口扉の状態	—	—	開	開	閉	開	開	開	開	開
点火後、室内に入れるまでの時間	5分	10分	5分	5分	1時間	1時間	5分	5分	5分	5分
燃料の位置	Ⓐ	Ⓐ	Ⓐ	Ⓐ	Ⓐ	Ⓐ	Ⓑ	Ⓑ	Ⓑ	Ⓑ
ファンの作動状況	ON	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
サッシ窓の状態	全閉	全閉	全閉	全閉	全閉	全閉	全閉	全閉 ただしサッシ窓上部の換気窓開放	サッシ窓を1時間ごとに1分間開放	サッシ窓を1時間ごとに3分間開放

(3) 実験結果

ア 家庭用固体燃料の燃焼排ガス中に含まれる一酸化炭素濃度の測定。

測定結果は、表5に示す通りで、各固体燃料の燃焼排ガス中に含まれる一酸化炭素濃度は、石油ストーブに比較して非常に高い値となった。

表5 燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度

固体燃料等	測定位置	一酸化炭素濃度(%)
石油ストーブ	燃焼筒上部の排気口	0.002
豆炭	上方1cm	0.128
木炭	上方5cm	0.260
マッチ練炭(A)	練炭こんろの上ぶた中央	0.280
(B)		0.300

一般に、ガス器具及び石油器具は、酸素濃度約21%の雰囲気において一酸化炭素を少量しか放出せず、雰囲気中の酸素濃度が一定の濃度まで低下した場合に急激に放出する傾向を持つが、この結果は、固体燃料が点火直後から室内空気を著しく汚染する危険性を持つことを示している。

イ 家庭用固体燃料を室内で使用する場合の室内各ガス濃度の測定

(ア) 木炭及び豆炭のガス濃度変化

表3の実験1及び実験2から、木炭及び豆炭を締め切った室内で使用する場合は、図3及び図4に示すように室内一酸化炭素が比較的短時間に高濃度に達することがわかった。

室内一酸化炭素濃度は、木炭又は豆炭の量が増すと、更に高濃度になると考えられるが、今回の実験に使用した量程度でも、もし室内に人が居る場合には、表6の文献値から重症又は生命の危険すら予想される。

(イ) 着火練炭及びマッチ練炭のガス濃度変化

表3の実験3及び実験4から、着火練炭及びマッチ練炭を締め切った室内で使用する場合は、図5及び図6に示すように両練炭とも燃焼の最盛期は点火後約3時間から約5時間の範囲にあり、長時間燃焼の過程において室内一酸化炭素濃度変化に2つの極大値が現われることがわかった。

室内一酸化炭素濃度の推移において2つの

極大値が存在する理由としては、次の様に考えられる。

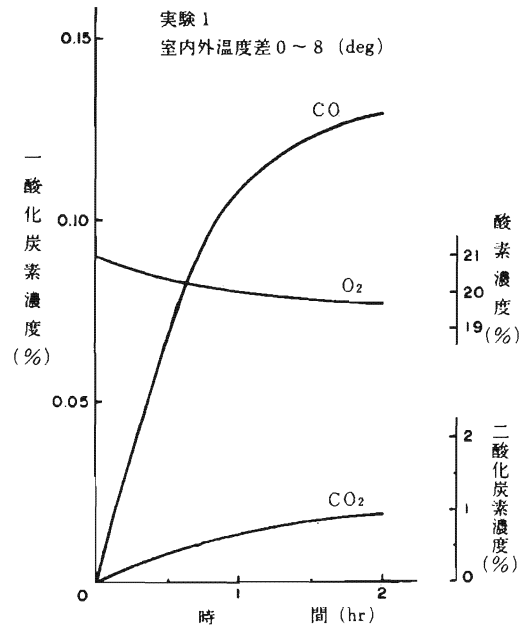


図3 室内ガス濃度変化(木炭)

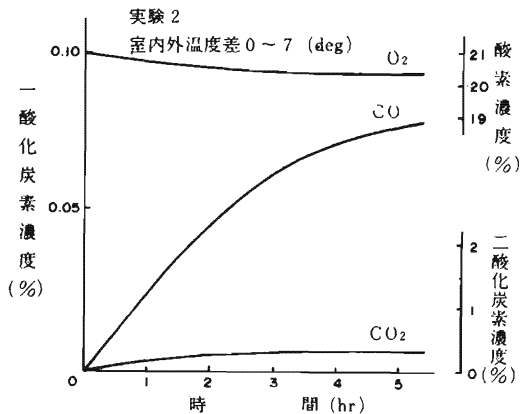


図4 室内ガス濃度変化(豆炭)

表6 一酸化炭素の暴露による各種症状⁽⁴⁾

濃度(%)	症状
0.03	1時間 頭重、頭痛。
0.05	1時間 めまい、頭重、頭痛、顔面紅潮 CO-Hb 20% チアノーゼ、耳なり、不安感
0.07	1時間 頭痛著明、興奮、手足のしびれ感。
0.10	1時間 CO-Hb 30% 呼吸促進、脈拍数増大、動悸、めまい 悪心、嘔吐
	2時間 CO-Hb 40%以上 激しい頭痛、興奮状態、手足麻痺、歩行不能、感覚障害、精神混濁
	3時間 CO-Hb 50~60% けいれん、虚脱、昏睡、チェーンストークス呼吸、死
0.15	1時間 危険。
0.20	30分 危険。
0.30	30分 死。
0.40以上	30分 死。

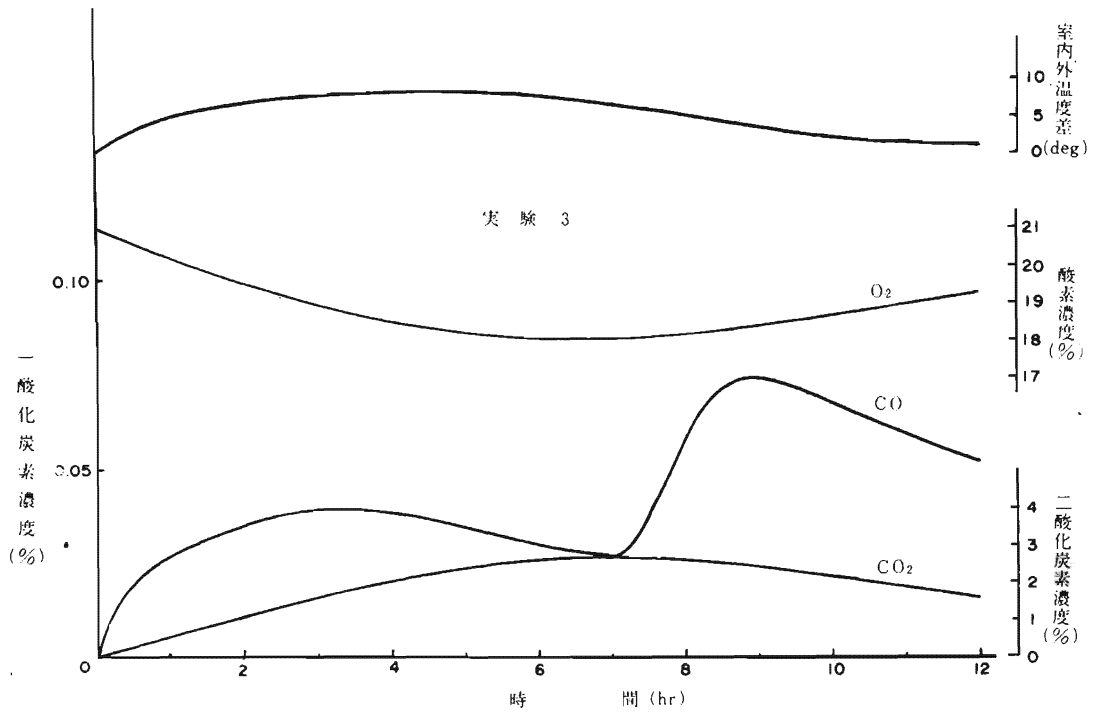


図5 室内ガス濃度変化と温度変化 (着火練炭)

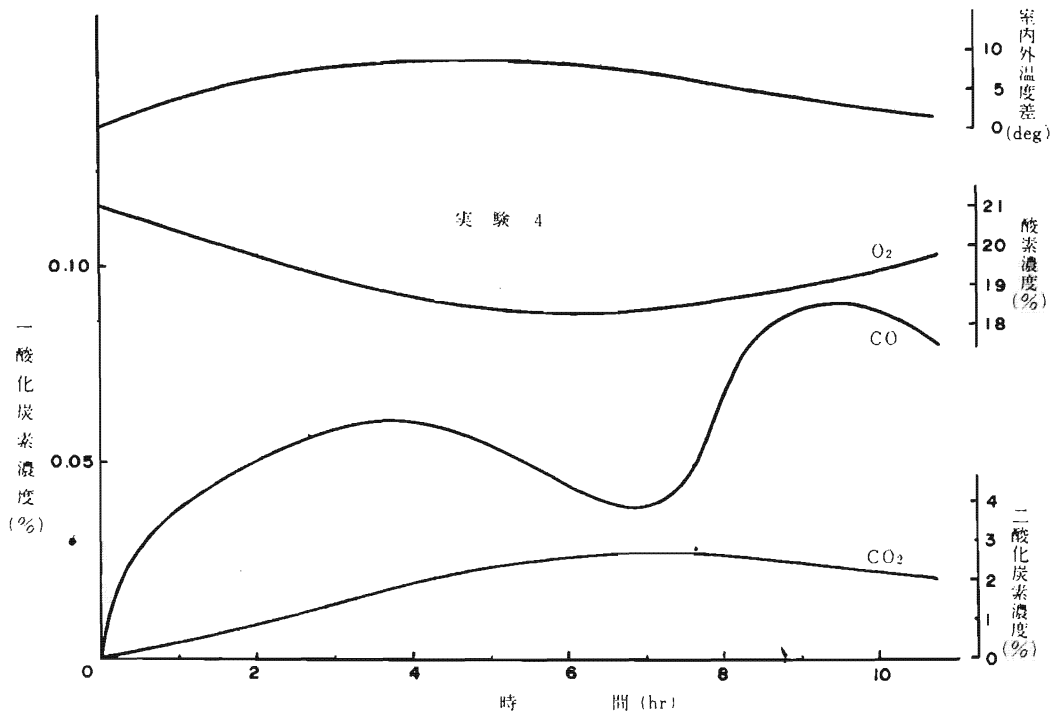


図6 室内ガス濃度変化と温度変化 (マッチ練炭)

つまり、文献⁽⁵⁾によると一酸化炭素の発火温度は609(°C)であるが、燃焼室中央の温度変化を示す図7からわかるように、点火直後は

練炭こんろの燃焼室温度が発火温度より低い
ため、発生した一酸化炭素は燃焼せず室内へ
放出され、室内一酸化炭素濃度は、急激に上昇

するが、燃焼室温度が発火温度以上になると、室内へ放出される一酸化炭素量は、自然換気によって室外へ運び出される一酸化炭素量より減少するため、室内一酸化炭素濃度は低下する。(最初の極大値)

そして、燃焼の最盛期を過ぎると燃焼室温度は低下し、点火後約7時間経過すると一酸化炭素の発火温度以下となるため、一酸化炭素が再度大量に放出され、室内一酸化炭素濃度が急激に上昇する。(第二の極大値)

これらの極大値は、部屋の換気量及び燃料の特性により決定されると思われるが、両練炭とも第二の極大値が最初の極大値より高くなる傾向が見られた。

また、両練炭を一酸化炭素濃度に関して比較すると、マッチ練炭が着火練炭より全体に

高くなる傾向が見られたが、この差は、着火練炭がガスこんろ上で上部の面全体を加熱されるのに対し、マッチ練炭は上部の面の中央部のみで点火が終了し、練炭こんろの燃焼室の温度上昇が着火練炭に比較して遅れるためと思われる。

いずれにしても、気密性の高い部屋で使用する場合は、両練炭とも木炭及び豆炭同様、十分な換気が不可欠となることがわかった。

(ウ) 練炭こんろの通風口扉の効果

練炭こんろの通風口扉の状態が練炭の燃焼特性に与える影響を知るために、通風口扉を開放した場合(実験4)と閉鎖した場合(実験5)について実験を行った結果を図8に示す。

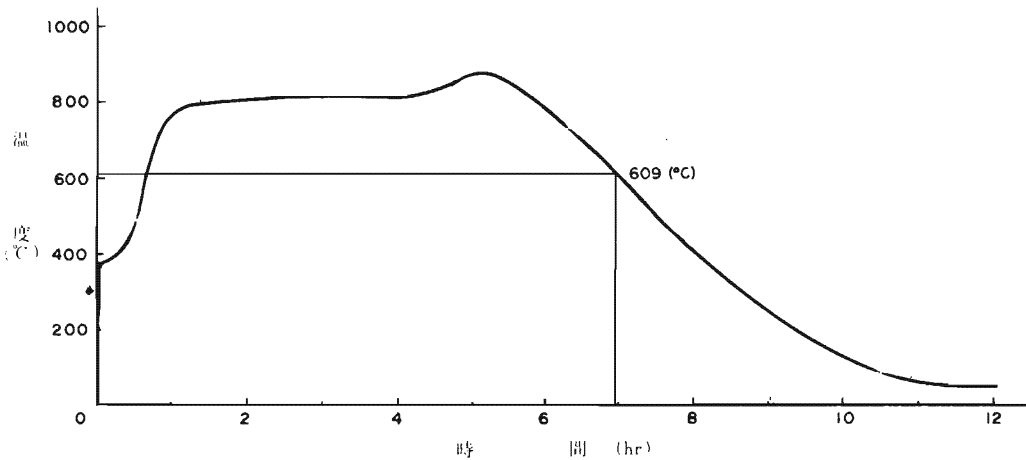


図7 練炭こんろの燃焼室中央の温度変化(マッチ練炭)

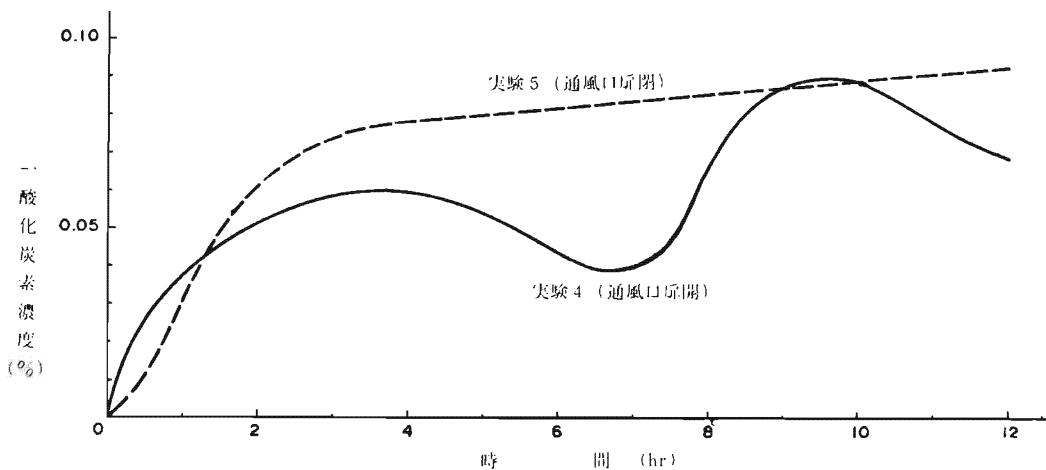


図8 練炭こんろの通風口扉の効果

図8が示すように、練炭こんろの通風口扉を閉鎖すると、室内一酸化炭素濃度は長時間高濃度を維持し、通風口扉を開放した場合には見られる2つの極大値は存在しない。

従って、通風口扉を閉鎖すると室内空気の汚染度は高くなると言える。

(エ) 練炭を点火1時間後に室内へ入れることによる効果

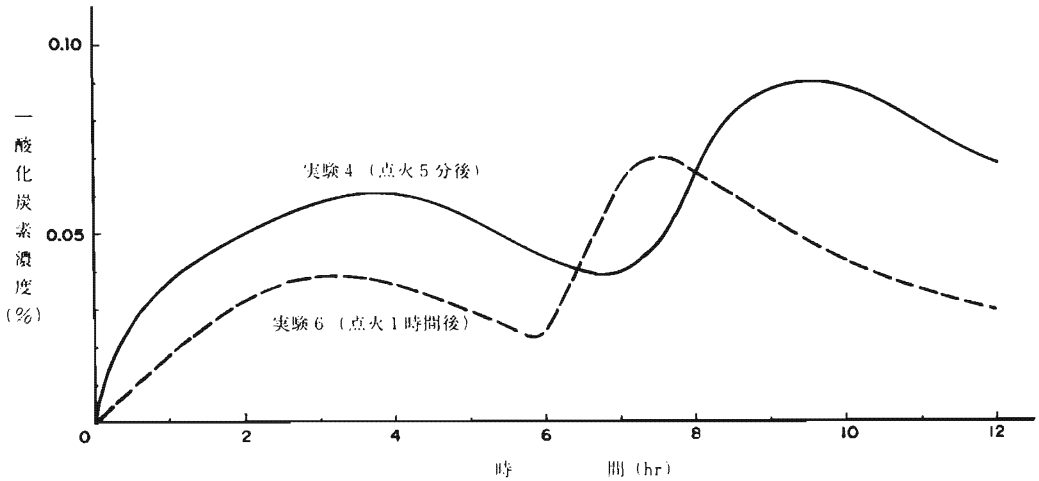


図9 練炭を点火1時間後に室内へ入れる効果

図9によると、1時間後に室内へ入れた場合は、確かに全体として室内一酸化炭素濃度が低下する傾向が認められるが、人体に安全と言える程ではなく、十分な換気を行わなければ依然として危険性は解消しないことが判明した。

(オ) サッシ窓上部の換気窓による換気効果

近年、サッシ窓上部に換気窓が付属するのが普及してきているので、写真4に示すような窓を実験ハウスのサッシ窓◎として用い、室内で練炭を燃焼させ、換気窓を閉鎖した場合(実験7)と開放した場合(実験8)について実験した結果、図10に示すように相当な換気効果が認められた。

なお、当該換気窓は高さ12cm、幅36.5cmの長方形で、下辺は床から154cmの位置にある。

(カ) サッシ窓の定期的開放による換気効果

最も一般的な換気手段である、窓の定期的開放による換気効果を把握するため、実験ハウス内で練炭を燃焼させ、換気を全く行わない場合(実験7)、サッシ窓◎を1時間ごとに1分間開放した場合(実験9)及びサッシ窓◎

日本練炭工業会は、練炭の使用方法に関するパンフレットを発行し、その中で、練炭を点火後約1時間室外に放置してから室内へ入れるよう指導しているので、その効果を確認するために点火直後に入れた場合(実験4)と点火1時間後に入れた場合(実験6)について実験を行った結果、図9に示す結果を得た。

を1時間ごとに3分間開放した場合(実験10)について実験した結果、図11に示すようにかなりの換気効果が認められ、開放時間が長いと当然のように換気効果は大きくなった。



写真4 サッシ窓上部の換気窓(左右スライド式)

図11から、この実験ハウス程度の気密性の高い部屋において、周囲が無風状態に近い場合には、1時間につき1分間程度の窓の開放では十分な換気と言えないことがわかる。

3. 新旧木造住宅の換気量に関する実験

(1) 実験目的

新旧木造住宅の換気量を測定することにより、

住宅構造が自然換気量に及ぼす影響を究明する。

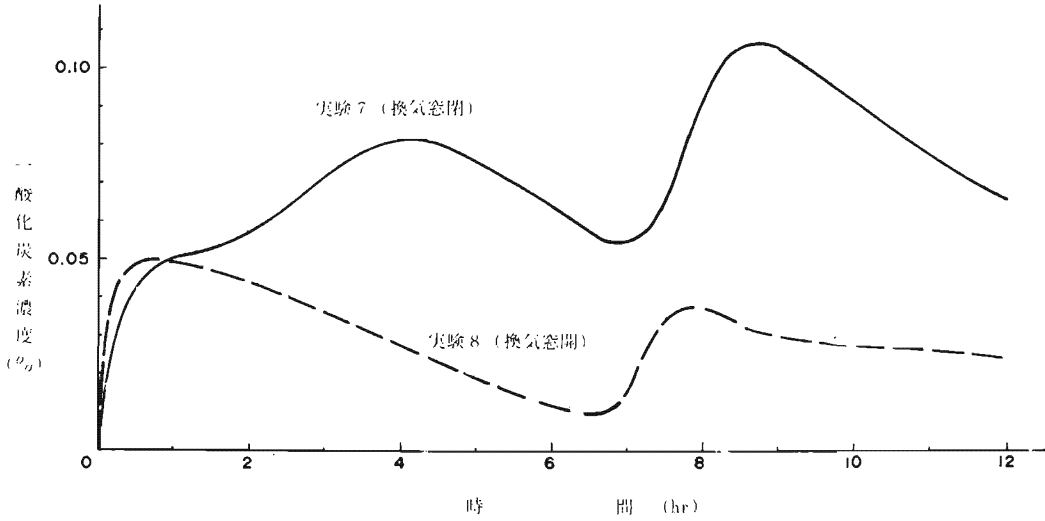


図10 サッシ窓上部の換気窓による換気効果

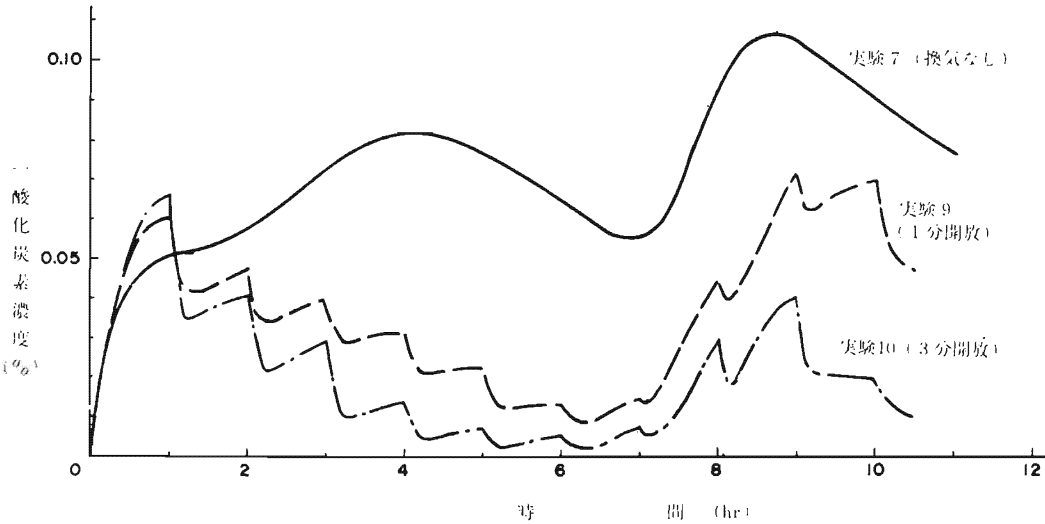


図11 サッシ窓の定期的開放による換気効果

(2) 実験内容

一般に、部屋の換気量は、部屋の構造だけではなく、気象条件の影響を大きく受けることが知られている。

今回の実験においては、無風下で室内外温度差を極力小さく抑えることにより、構造の異なる2つの部屋について換気条件が最悪の場合の換気量を測定した。

図12及び図13に示す2階建て新旧木造住宅の1階の部屋において、炭酸ガス消火器を用いて室内に炭酸ガスを放出し、ドア等の開口部を全て締め、その後の自然換気による炭酸ガス濃度の減少を測定することにより、部屋の換気量(換気回数)を

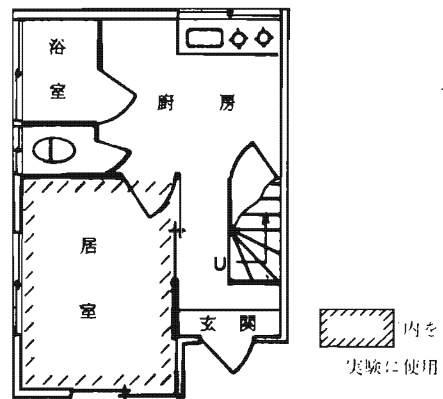


図12 新築住宅の1階平面図

算出した。

なお、換気回数の算出方法については、既に所報14号において記載済みなので、ここでは省略する。

また、炭酸ガス測定と平行して、部屋内外の気温、風位風速及び湿度を測定した。

(3) 実験結果

測定値等を表7に示すが、建築後30年経過した住宅の換気回数については表8の文献値に一致していると考えられるのに対し、新築住宅の場合は前者の $\frac{1}{2}$ 以下の数値となり、鉄筋コンクリート造洋室と同等の値となった。

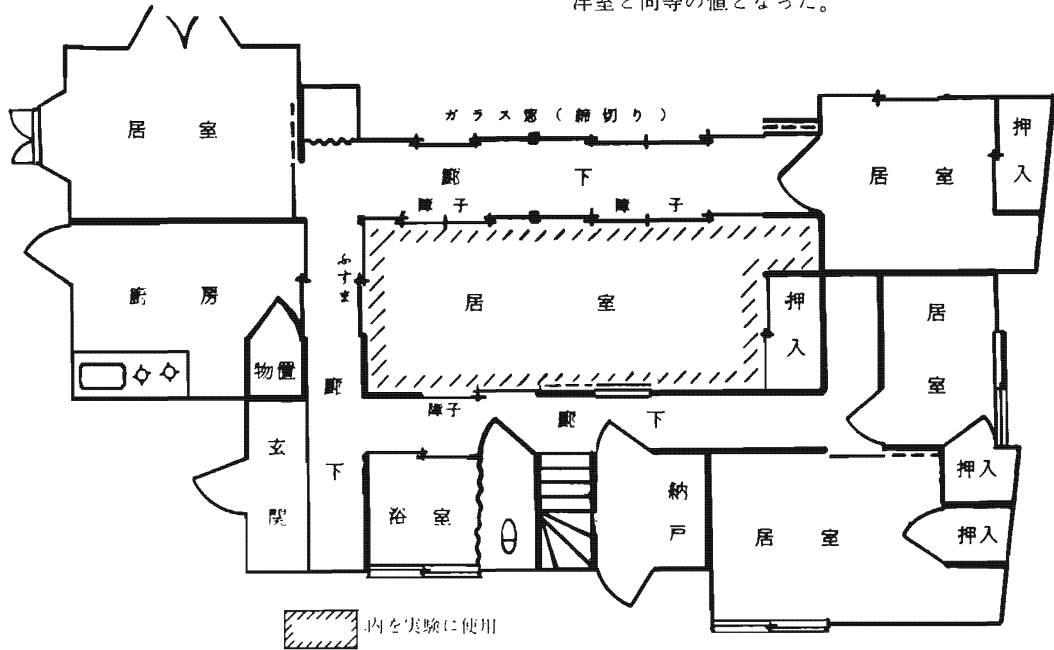


図13 建築後30年経過した住宅の1階平面図

表7 住宅の各種換気条件等と換気回数

各種換気条件等	木造（新築）	木造（建築後30年）
測定日時	昭和55年1月23日 12時00分～16時00分	昭和55年1月24日 14時00分～16時00分
建物所在地	大田区多摩川一丁目	世田谷区代沢四丁目
実験室		
床面積	6畳, 9.4 (m ²)	11畳, 18.0 (m ²)
空気容積	22.1 (m ³)	42.1 (m ³)
種別	洋室	和室
床構造	合板	畳上にジュータン敷
壁	合板上クロス張り	真壁しっくい仕上げ
天井	石膏ボード	竿縁天井
気象条件		
天候	快晴	快晴
風位風速	南西0.1(m/sec)以下	無風
湿度	38 (%)	39 (%)
室内外温度差	0.5～2.0 (deg)	4.8～5.1 (deg)
換気回数	0.35～0.55 (回/hr)	0.82～1.43 (回/hr)

表8 換気回数の常識値⁽⁶⁾

自然換気は窓や隙間から行われるが、それらが建物の大きさに比例する。したがって、自然換気量も部屋の容積にほぼ比例すると考えられている。

機械換気も臭気の除去や温湿度の調整などのため、はなはだしく異なった形式の建物でないかぎり、大体常識的な換気回数を与えて設計するのが通常である。

	建物の種類	風速	室内外温度差	換気回数	
自然換気	鉄筋コンクリート造 洋室	1 m/sぐらい の静かな日	5 deg程度	0.3~1.0回/h	渡
	木造・大壁造 洋室		5 deg程度	0.5~1.5回/h	
	木造・真壁造 和室		5 deg程度	0.5~3.0回/h	
	木造・真壁造 和室		10deg	2.5~6.5回/h	辺
	内外板壁(中空) 和室		5 deg	1.5~4.5回/h	
	公営鉄筋アパート	vm/s	5 deg程度	1 + 0.75v回/h	藤井
機械換気	私室	2~3回/h	食 堂	8~10回/h	法律
	事務室	3~4回/h	厨 房	20~30回/h	
	事務室(空調用ともで)	7~10回/h	便 所	10回/h	
	喫煙室	7~8回/h	地下駐車場	10回/h以上	

両建物の換気回数における相違は、今回の実験における気象条件にほとんど差が見られない以上、建物構造の相違によるものと考えられる。

従って、最近の木造建物においては、自然換気に関して鉄筋コンクリート造と同等の換気量しかないものが存在することが判明したと言える。

4. ま と め

(1) 家庭用固体燃料の燃焼特性に関する実験においては、現在市販されている製品の一部について実験を行ったため、断定はできないが、次のことが考えられる。

ア 気密性の高い部屋内において、固体燃料を使用する場合は、一酸化炭素中毒の危険性が大きいので必ず換気を行う必要がある。

イ 練炭は点火直後だけではなく、燃焼後期においても一酸化炭素を多量に放出するので、特に注意する必要がある。また、練炭こんろの通風口扉を閉鎖すると、更に危険性が高くなる。

ウ サッシ窓上部の換気窓による換気効果は、相当大きいことが確認された。また、窓の定期的開放による換気効果も同様に確認されたが、開放時間が短いと危険性が解消しないので注意しなければならない。

(2) 新旧木造住宅の換気量に関する実験の結果、最近の木造建物の中には、気密性において鉄筋コンクリート造程度のものがあることが実証さ

れた。

従って、このような建物においては、事故防止のため、換気窓又は換気扇の設置、燃焼器具のFF化等のハード面における対策と、燃料及び燃焼器具に関する知識の普及、換気(窓の開放)の習慣化等のソフト面における対策が必要と思われる。

5. お わ り に

現在、省エネルギーの観点から多くの分野において見直しが行われており、建物についても気密性を高めることにより冷暖房効果を高める傾向が見られる。

しかし、屋内で使用される燃料及び燃焼器具が今後も従来通りとすると、中毒事故防止のための各種対策を実行しなければ、事故増加の可能性は充分あると思われる。

従って、今後の問題としては、省エネルギー対策と室内空気汚染防止対策の間における調和を、いかに早急に実現するかということになると思われるが、そのためには今後も各種データの蓄積について努力する必要があると考える。

6. 文 献

- (1) 東京消防庁生活安全課：固体燃料による事故防止について
- (2) 燃料協会：燃料便覧、コロナ社
- (3) 神谷桂男：燃料と燃焼の化学、大日本図書

(4) 猿田南海雄：日医会誌

(5) 正田強・秋田一雄：燃焼概論，コロナ社

(6) 斎藤平蔵：建築気候，共立出版