

## 地下施設火災における煙対策に関する研究(その4)

Study of the Smoke Spread in an Underground Facility Fire (Series 4)

平 沢 正 己\*

稲 村 武 敏\*\*

杉 田 直 樹\*\*

## 概 要

密閉性の高い地下施設で火災が発生した場合の、煙の流動拡散に起因する危険性を把握することを目的として、建物の地下1階の倉庫を火点とする火災実験を行った。実験では、この建物の地下階の廊下及び地下階から最上階(10階)の屋上まで通じる階段における煙の流動速度、煙濃度、温度、一酸化炭素ガス濃度を測定した。

階段では、煙の浮力による「煙突効果」が顕著に見られた。

A full-scale fire test was conducted to study of the smoke spread in airtight constructions like underground facilities. The fire room was a storeroom in the 1st basement.

At the corridor in the 1st basement and throughout the staircase which leads up to the rooftop of the 10-story building, we measured the velocity, density, temperature of smoke and density of carbon monoxide.

In the stairway, the smoke was observed to run up with the "chimney effect."

## 1 はじめに

地下施設火災の避難安全対策、消防活動対策について、主に模型実験により煙の流動特性を把握し、対策の検討を進めてきた。

模型実験は繰り返し実施することができ、実験条件も様々に変更できるなど、研究を推進するためには真に有効な方法である。しかしながら縮小模型を用いた実験では、実際の建物等に対し「長さ」という基本的な量が異なるために、必ずしも実火災で発生する現象を模型実験で全て把握できるとは限らず、むしろ、特定の項目の再現性に意を注いだ結果、他の項目が現実から遊離してしまったり、縮小模型で把握するのが困難な現象のため、見過ごしてしまうといったことがしばしば起きているとの認識を持たなければいけない。

従って実験結果を都民指導等の施策へ活かすためには、縮小模型実験を行なうときの条件設定の吟味や、実験結果を分析する際の相似則の検討が欠かせないのは当然であるが、実大実験による確認、検証がきわめて重要であるといえる。

これまで模型実験による研究で「下層階への煙流入の危険性」、「ダクト等の竪穴を経由する煙流動の危険性」等を把握し、報告してきたところであるが、今回は、模型実験では再現することができなかった「階段における

煙濃度分布」、「階段を上昇する煙の温度分布」を調査するため実大火災実験を行なったので、概要を述べる。

## 2 実験日及び実験場所

- (1) 実施日時  
平成7年9月12日 10時20分から11時05分まで
- (2) 実験場所  
中野区江古田三丁目14番20号  
旧国立療養所中野病院 本館(野方消防署管内)

## 3 実験建物概要

- (1) 建物構造、規模  
耐火造地上10階地下1階  
建築面積 2,839m<sup>2</sup>  
延べ面積 21,368m<sup>2</sup>  
なお、この建物の地下1階は周囲がドライエリアとなっている。
- (2) 火災室  
地下1階の倉庫(約15m<sup>2</sup>)を火災室として使用した。この倉庫はドライエリア側の壁にガラス窓がある。実験時に倉庫の窓ガラスが熱で破壊すると地下室としての気密性が保たれなくなってしまうことが予想されたため、ドライエリアに面する窓は密閉した。また、天井にある換気ダクトの開口部も密閉した。この結果、

\*防災課 \*\*第一研究室

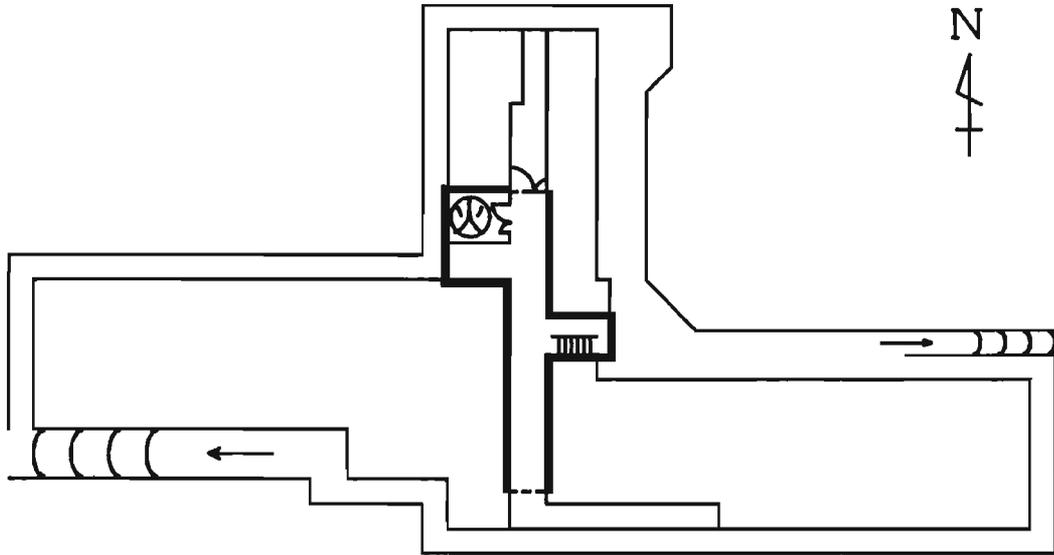


図1 実験建物平面図（地下1階）

当該火災室にある開口部は廊下への出入口のみとなった。

(3) 実験範囲

本建物のうち地下部分については、屋内階段1系統と火災室を含む範囲を実験の範囲とし、廊下をシャッター等により区画した。（図1の太線の範囲）

4 実験条件

(1) 収容可燃物量

木材約330kg。なお、火災室内の可燃物は実験のために搬入した木材のみである。

(2) 開口条件

ア 火災室

廊下への出入口（高さ1.92×幅1.16m）の扉を約1/3開放した（開口寸法は高さ1.92×幅0.40m）。

イ 地下1階廊下

廊下の両側にある機械室、厨房等の出入口は閉鎖した。なお、次項に係わる階段出入口は開放した。

ウ 階段

地下1階出入口シャッター（幅1.50×高さ2.17m）及びくぐり戸（幅0.82×高さ1.79m）、1階出入口シャッター（幅1.50×高さ2.50m）及びくぐり戸（幅0.82×高さ1.79m）、最上部出入口（幅0.82×高さ1.79m）を開放した（図2、写真1）。

(3) 点火源及び点火方法

クリブにメチルアルコール50mlをかけ点火した。

(4) 燃焼時間

10時20分～11時05分（45分間）

なお、11時20分まで測定は継続した。

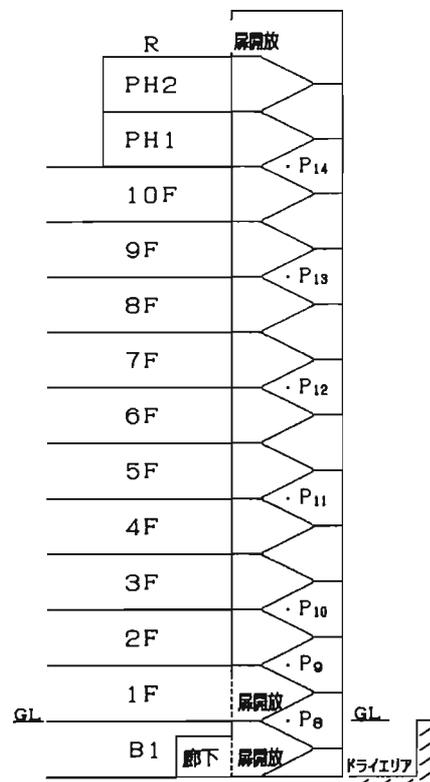


図2 階段立面図及び測定箇所

5 測定項目及び測定方法

(1) 温度

地下1階 6箇所 18点

（各測定箇所について上中下の3点を測定、図3 P<sub>1</sub>～P<sub>6</sub>、写真2）

なお、各測定点の上、中、下とは、それぞれ床面から2.0m、1.1m、0.3mの高さである。

1階 1箇所 3点  
(各測定箇所について上中下の3点を測定、図4 P<sub>7</sub>)

階段 7箇所 7点  
(各測定箇所について床の高さで1点を測定、図2 P<sub>8</sub>~P<sub>14</sub>)

計 14箇所 28点

(2) 煙濃度

階段 7箇所 7点  
(各測定箇所について床の高さで1点を測定、図2 P<sub>8</sub>~P<sub>14</sub>、写真3)

計 7箇所 7点

なお、地下1階廊下にも煙濃度計を設置したが、早期に電線類が焼損したため、有効なデータは得られなかった。

(3) 一酸化炭素濃度

地下1階 2箇所 2点  
(各測定箇所について天井に近い位置1点を測定、図3 P<sub>1</sub>及びP<sub>2</sub>、写真4)

1階 1箇所 1点  
(天井に近い位置1点を測定、図4 P<sub>7</sub>)  
計 3箇所 3点

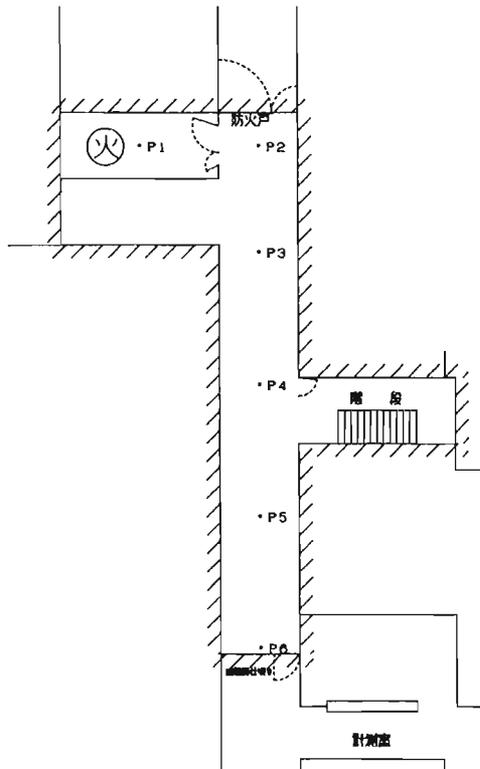


図3 地下1階測定箇所

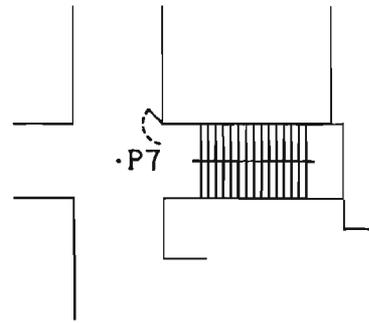


図4 1階測定箇所

6 結果

(1) 気象

風向 北北東 (北東から北西の間に分布)  
風速 2~3 m/sec  
気温 24.1°C (実験開始時)

(2) 温度

火災室内では5分頃測定点P<sub>1</sub>上部が600°C付近まで上昇したが、7分頃から一旦低下し、11分には300°C以下にまで下がった。その後16分頃から再び急激に上昇し850°C程度まで達したあと、終了時まで700°C前後の状態が継続した(図5)。

地下1階廊下の温度変化は図6~10のようになった。測定点P<sub>4</sub>は、階段の出入口直前であり、測定点P<sub>4</sub>上部の温度にほぼ等しい温度の煙が階段へ流れていることになる。

地下1階の煙濃度計が早い時点で熱により動作しなくなったため、便宜的に温度変化で煙の状態を把握することとして、各測定点の温度が測定開始時より1度以上上昇した時刻を調べた。

まず、地下1階廊下の各測定点では次のとおりである。

表1

測定点	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
上	0分40秒	1分50秒	2分45秒	3分25秒	3分35秒
中	1分10秒	2分00秒	3分20秒	3分50秒	4分20秒
下	2分40秒	6分15秒	3分25秒	5分20秒	5分10秒

測定点の上部では、この後温度上昇が著しくなっているため、この時刻に熱気先端が各測定点へ達した

ものと判断される。

廊下の各測定点の間隔は5mであり、熱気の到達速度を算出すると次のようになる。

表 2

位置	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> 間 (m/sec)	P <sub>3</sub> P <sub>4</sub> 間 (m/sec)	P <sub>4</sub> P <sub>5</sub> 間 (m/sec)	P <sub>5</sub> P <sub>6</sub> 間 (m/sec)
上	0.07	0.09	0.13	0.50
中	0.10	0.06	0.17	0.17

(注) 各測定点下部は気流の乱れが著しいと判断されるため下部の計算は割愛した。

また、地下1階廊下各測定点での最高温度は次のとおりであった。

表 3

測定点	P <sub>2</sub> (分：秒)	P <sub>3</sub> (分：秒)	P <sub>4</sub> (分：秒)	P <sub>5</sub> (分：秒)	P <sub>6</sub> (分：秒)
上	387°C (4：25)	128°C (42：50)	128°C (45：15)	83°C (45：25)	80°C (45：40)
中	111°C (42：15)	62°C (47：10)	45°C (34：30)	64°C (46：25)	61°C (46：15)
下	57°C (36：30)	28°C (6：40)	34°C (36：15)	33°C (24：35)	32°C (25：00)

1階廊下の測定点P<sub>7</sub>では実験に伴う温度変化はなかった。

次に、階段内各測定点で温度が測定開始時より1度以上上昇した時刻は次のとおりである。

- 測定点P<sub>8</sub> : 3分45秒
- 測定点P<sub>9</sub> : 4分25秒
- 測定点P<sub>10</sub> : 5分55秒
- 測定点P<sub>11</sub> : 8分20秒
- 測定点P<sub>12</sub> : 11分50秒
- 測定点P<sub>13</sub> : 16分05秒
- 測定点P<sub>14</sub> : 29分10秒

これらの階段内測定点の温度変化のうち、測定点P<sub>11</sub>~P<sub>14</sub>については緩やかに上昇しているだけで、明瞭な変化は確認できなかった(図11)。

階段内の各測定点での最高温度は、次のとおりであった。

表 4

位置	温度(°C)	(分：秒)
P <sub>8</sub>	62	(46:35)
P <sub>9</sub>	44	(46:05)
P <sub>10</sub>	40	(47:10)
P <sub>11</sub>	36	(47:40)
P <sub>12</sub>	33	(48:15)
P <sub>13</sub>	32	(49:10)
P <sub>14</sub>	30	(49:35)

### (3) 煙濃度

階段内の各測定点で煙濃度が上昇を始めた時刻は、次のとおりであった(図12)。

- 測定点P<sub>8</sub> : 4分35秒
- 測定点P<sub>9</sub> : 5分10秒
- 測定点P<sub>10</sub> : 5分40秒
- 測定点P<sub>11</sub> : 8分20秒
- 測定点P<sub>12</sub> : 8分50秒
- 測定点P<sub>13</sub> : 9分50秒
- 測定点P<sub>14</sub> : 11分15秒

煙の上昇速度は次のようになる。

表 5

位置	測定点間(m)	上昇速度(m/sec)
P <sub>8</sub> P <sub>9</sub> 間	3.4	0.10
P <sub>9</sub> P <sub>10</sub> 間	3.4	0.11
P <sub>10</sub> P <sub>11</sub> 間	6.8	0.04
P <sub>11</sub> P <sub>12</sub> 間	6.8	0.23
P <sub>12</sub> P <sub>13</sub> 間	6.8	0.11
P <sub>13</sub> P <sub>14</sub> 間	6.8	0.08

### (4) 一酸化炭素濃度

火災室では3分から7分にかけて、及び17分から20分にかけての2回急激な濃度上昇があり、いずれも濃度8%以上になった。

測定点P<sub>2</sub>では火災室より若干遅れて4分から7分にかけて、及び20分から25分にかけて濃度上昇が認められ濃度1.5~2.0%程度になった。

測定点P<sub>7</sub>では、ほとんど濃度上昇が見られなかった。

## 7 考 察

### (1) 火災規模の設定について

火災室の可燃物は、実験のために搬入した木材であり、火災荷重は約22kg/m<sup>2</sup>であった。換気が制限

された区画の火災では、燃焼速度は火災室への空気流入量によって支配されるようになり、次式によって求めることができる。

$$R = (5.5 \sim 6.0) A_B \sqrt{H}$$

R : 燃焼速度 (kg/min)

$A_B$  : 開口部面積 (m<sup>2</sup>)

H : 開口高さ (m)

本実験の場合、火災室出入口の開口寸法を、高さ1.92 m、幅0.40mに設定したことから燃焼速度 R はおよそ 6 kg/min であり、木材の発熱量を 4.0~4.5Mcal/kg とすれば、火災による発熱速度は 1.8MW 程度であったものと判断される。この値は、火災想定として一般的に 1~2 MW の発熱速度で検討する例が多い中で、常識的な値を設定したものであるが、あくまで地下階の限られた区画だけが火災になっている状況での結果であることは留意する必要がある。

## (2) 地下1階の状況について

地下1階の廊下では、熱気の到達速度が最大 0.5m/sec でこの値を煙の流動速度と考えると、当研究所で過去に行なった実験<sup>※3</sup>での値 0.8m/sec や 神の報告<sup>※4</sup>にある 0.5m/sec と同程度の値であることがわかる。この値は、火災室から離れた位置で測定されており、火災室近傍では小さい値であったが、この理由は、不要の延焼を防ぐため火災室周辺の天井を破壊してあったこと、また、廊下の途中に防火区画の垂れ壁があったこと等のため熱や煙が蓄積しやすい状態になっており、流動拡散が抑制されたものと思われる。

一酸化炭素濃度は人体に重大な影響を与えるレベルに達していた。

防火衣と空気呼吸器を装着した観測員が実験中数回にわたり、火災室から 10m 離れた測定点 P<sub>3</sub> まで近づいた際、中腰の状態を姿勢を低く保てば、特に危険を感じる状態では無かったが、各測定点の温度から見ても姿勢を低くすれば熱の影響を避けられることが分かる。

## (3) 階段における煙の挙動と温度、濃度について

階段（縦シャフト）における煙の流動については、縦シャフトの下方部で外気側の圧力が高くなって外気側からシャフト内に空気が流入し、上部では逆に縦シャフト側の圧力が高くなって外へ空気が流出する、いわゆる「煙突効果」が発生し、階段の1階出入口では、強い吸い込みが観測された。

今回の実験の階段内の煙の上昇速度は、神の報告<sup>※4</sup>における 1.5~4.0m/sec、鈴木<sup>※5</sup>の報告<sup>※5</sup>における 2.0~5.0m/sec に比較しはるかに小さい値であった。この点については火災室と階段が 10m 以上離れていて、煙が階段に流入する時点で既に空気と混ざり合って温度が下がっているため、熱気や煙が到達した測定点 P<sub>3</sub>

でも実験開始時より温度が約 10°C 上昇しただけであり、あまり大きな浮力は発生していないことが推定され、従ってこの結果になったものと思われる。なお、この後階段内に煙が充満するに従って上昇気流が強くなり、1階の階段出入口で強い吸い込みが確認されたものであり、この時点での煙の速度は初期段階より明らかに大きいと思われるが、煙濃度測定や温度測定からは判断できないため推定の域を出ない。

各階にある階段出入口のうち、今回の実験で開放したのは地下1階、1階、最上階である。1階の階段出入口では大量の新鮮空気が階段内に吸い込まれ、地下1階から上昇してくる煙と混合して急速に上昇する様子が目視できたが、この空気による混合希釈効果で階段内の温度、煙濃度、一酸化炭素濃度等の上昇が抑制されていると判断される。これは、今までの模型実験による「地下火災発生時に階段の地上階の扉を開くと煙の排出が促進され、火災階以外の階へ煙侵入が少なくなると地下施設全体の危険性が減少する。」という地上階の扉を開放する効果が、地下施設部分のみならず地上階の危険性低減にも寄与するのではないかという見通しが得られたことになる。なお、1階の扉を開放することにより、階段内の地上部分では煙流動の速度が高まり、煙が早期に上階に達するようになるため、温度、煙濃度等があまり高くないとはいえ安全性が低下することがないかを総合的に検証する必要がある。

## 参考文献

- 1 日本火災学会編：火災便覧
- 2 建設省住宅局建築指導課監修：新・排煙設備技術指針 1987年版 日本建築センター
- 3 消防科学研究所報 平成3年 28号 東京消防庁消防科学研究所
- 4 消防科学研究所報 平成5年 30号 東京消防庁消防科学研究所
- 5 消防科学研究所報 平成6年 31号 東京消防庁消防科学研究所
- 6 消防科学研究所報 平成7年 32号 東京消防庁消防科学研究所
- 7 大規模建築物及び特異建築物等の消防対策に関する調査研究報告書（特異な開放空間を有する共同住宅等の防火安全性について）平成8年3月 東京消防庁
- 8 フェスク 1982.6 「東京海上火災ビル火災実験」 消防研究所 神忠久
- 9 建築防災 1987.4 建築研究所 鈴木弘昭

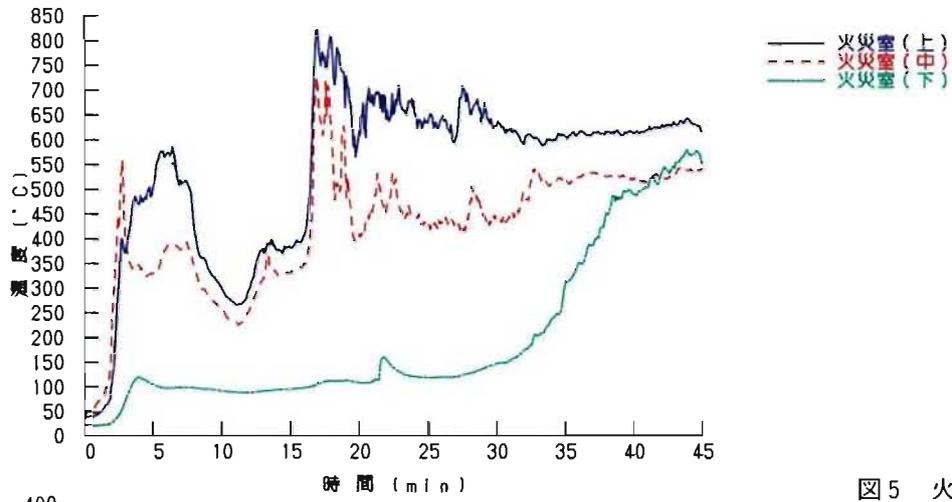


图5 火灾室温度

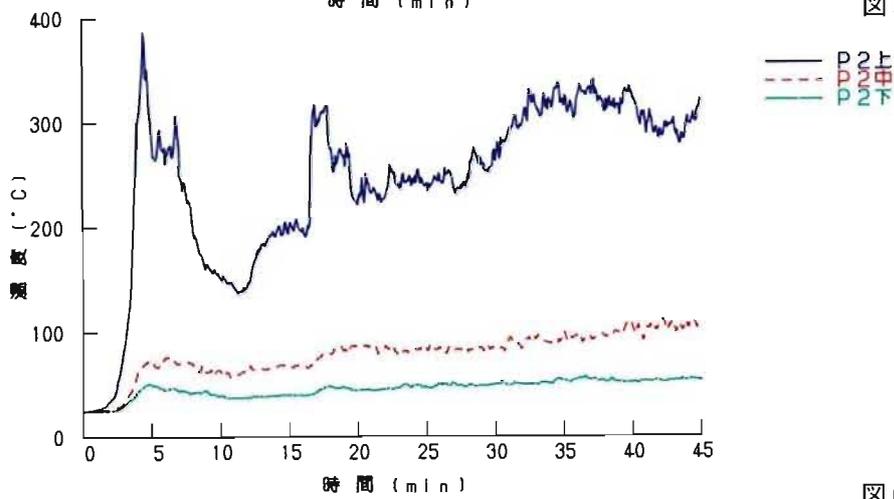


图6 地下1階廊下P<sub>2</sub>温度

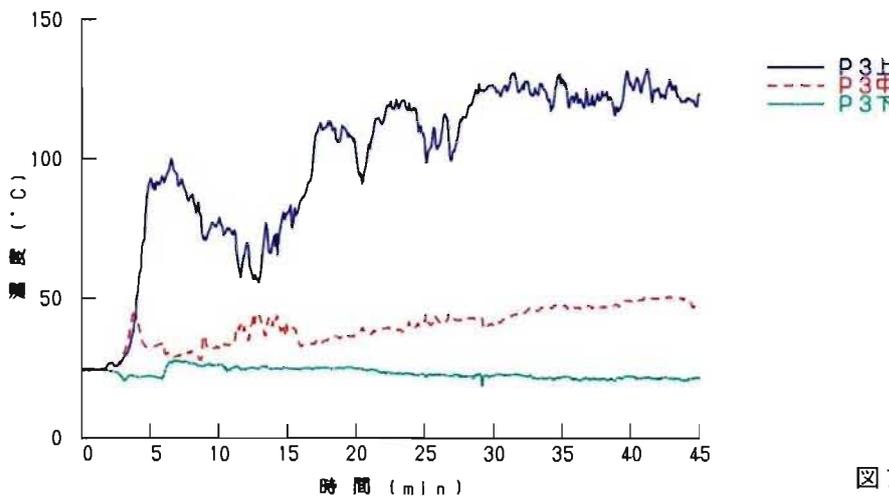


图7 地下1階廊下P<sub>3</sub>温度

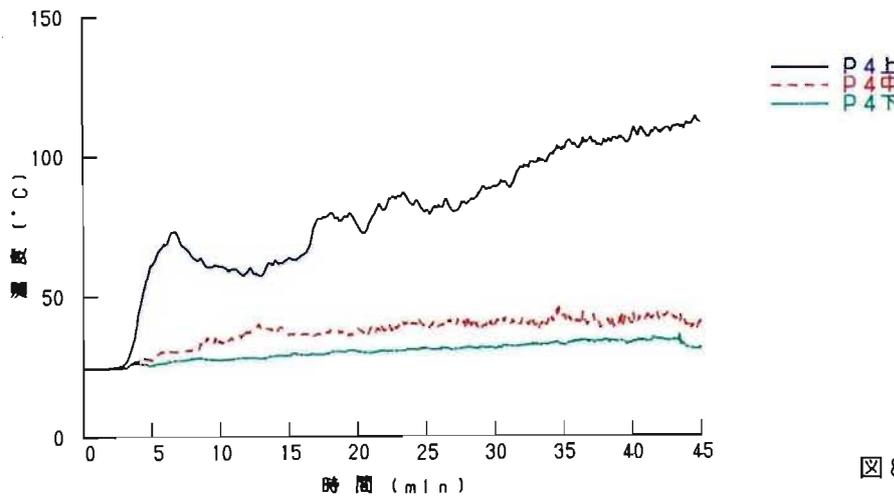


图8 地下1階廊下P<sub>4</sub>温度

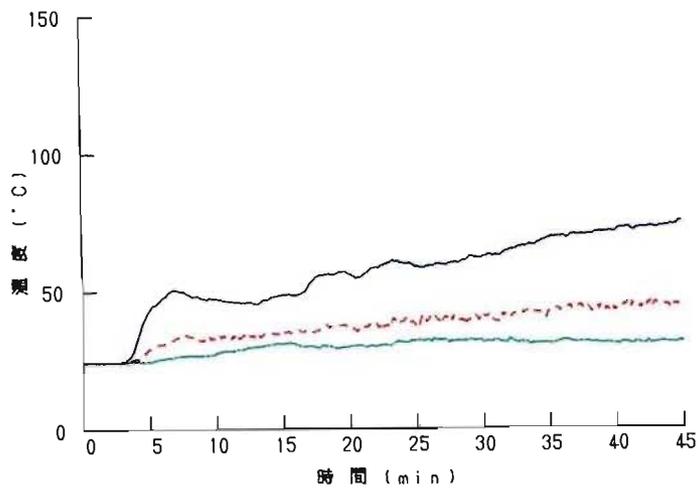


图9 地下1階廊下P<sub>5</sub>温度

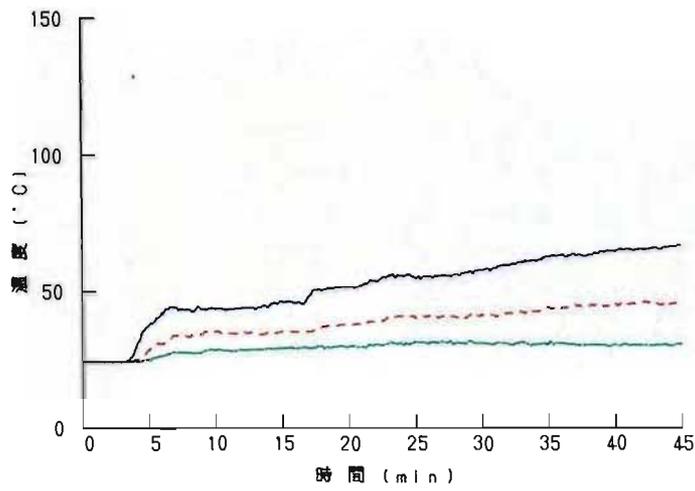


图10 地下1階廊下P<sub>6</sub>温度

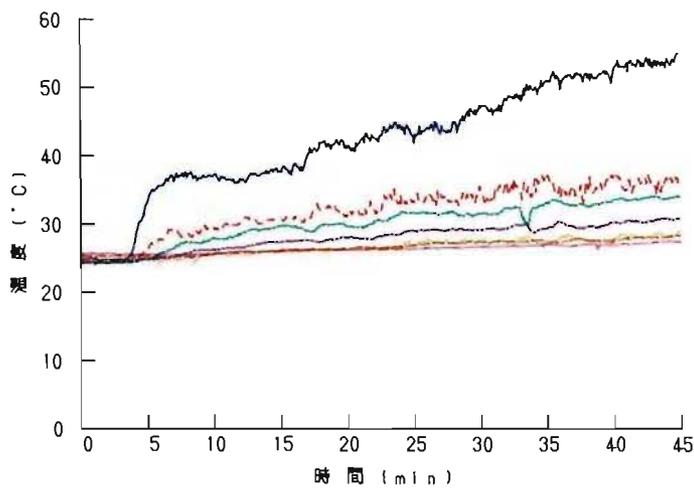


图11 階段温度

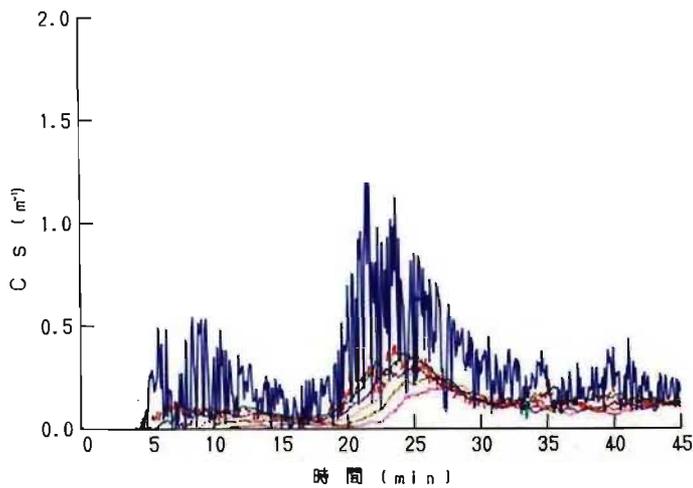


图12 階段煙濃度



写真1 階段1階出入口

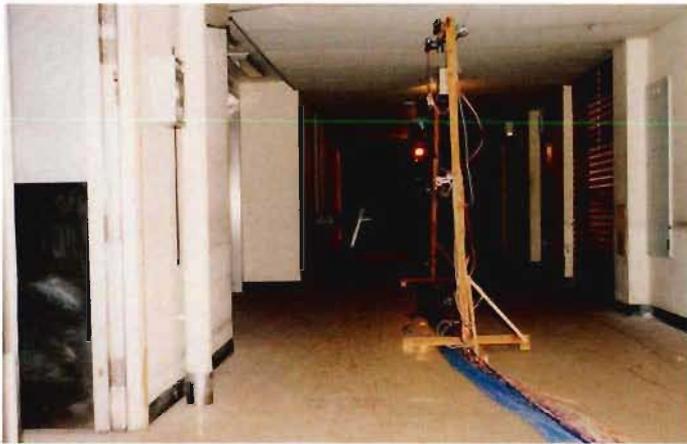


写真2 地下1階廊下

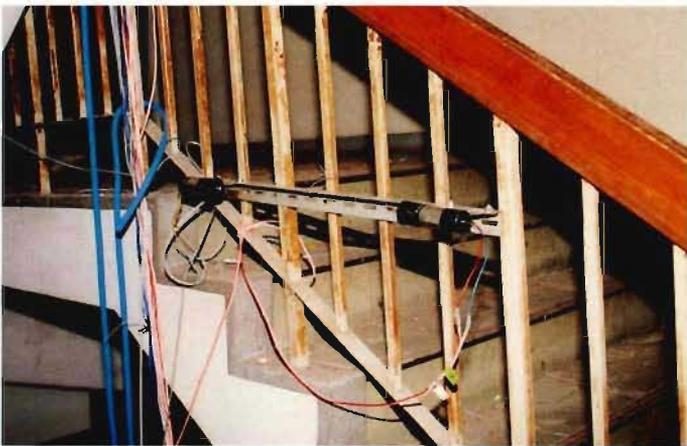


写真3 階段の測定点



写真4 ガス採取