

# ウォークスルー型耐火スクリーンの開発

村岡 宏 本間 正彦  
宮川 保之

## Development of Fire-resistant Walk-through Type Screens

Ko Muraoka Masahiko Honma  
Yasuyuki Miyagawa

### Abstract

This paper describes the outlines of a walk-through type screen which supersedes a fire door or a fire shutter, experiments which investigated smoke insulation, performance, fire resistance, and fire prevention, of a Full-size prototype as well as adaptability to real buildings. This screen is made of Silica-cloth with some slits in it so that evacuees can pass through the screen freely. Furthermore, the weight of this screen is so light that it can be installed without studs in the middle of the screen. The results of the experiments show that this screen has the same performance as fire doors with regards to smoke insulation and fire resistance. No transformation nor destruction on the screen after burning at an air temperature over 1,000 °C was shown. This walk-through type screen can be adapted to smoke and fire partitions which face an atrium and fire partitions in a large office. The cost of this screen is expected to be about 20% lower than that a fire shutter made of steel.

### 概 要

従来の防火シャッター、防火戸に替わるものとして考案されたウォークスルー型耐火スクリーンの基本仕様、製作した試作品における動作特性・通気特性・耐火性能・延焼防止性能を確認するための実験、および実際の建築空間への適用方法について報告する。この耐火スクリーンの材質にはシリカクロスを用いており、扉無しでも自由に人の行き来ができるように切れ込み部を設けている。また、スクリーン自体が軽量であるため、ロングスパンにも途中で柱を設けずに設置することが可能である。実験の結果、このスクリーンには従来の防火戸なみの耐火・遮煙性能があり、1,000°Cを超える雰囲気温度の中でも防火上有害な変形・破壊が見られないことが判明した。実建物においてはアトリウムに面した堅穴区画やオフィスビル等の面積区画への導入が考えられ、コスト的にも従来品に比べ20%程度の減額が可能である。

## 1. はじめに

現在、日本では、常時開放されている開口部の防火(防煙)区画として、スチール製防火戸・防火引戸・防火(防煙)シャッターが使用されており、特に防火(防煙)シャッターはオフィスビルや大規模物販店舗における面積区画・堅穴区画として多用されている。この場合、使用するスパンが長きにわたる場合は5m程度毎に柱(方立)が、使用する区画に避難経路が貫通する場合はくぐり戸が必要となり、空間の使い勝手に支障をきたす。また、防火戸や防火引戸においても、日常時の収納スペースや壁面とのデザイン上の整合性を考慮しなければならず、設計者の頭を悩ませているのが現状である。

このような背景から、今回、火災時に降下した場合でも避難者は自由に通り抜け可能で、しかも、耐火性能・延焼防止性能・遮煙性能を持つ、シリカ布製のスクリーン(これ以降「ウォークスルー型耐火スクリーン」と呼ぶ。)を考案し、その基本仕様を決定した。また、試作品

を製作し、このスクリーンの動作特性・通気特性・耐火性能・延焼防止性能を実験等により確認したのでここに報告する。なお、このウォークスルー型耐火スクリーンの開発は大林組・ニチベイ・ユニチカの3社で共同に進めてきたものである。

## 2. 試作品の製作とその動作特性

### 2.1 基本仕様の決定

スクリーンは(株)ユニチカグラスファイバーで既に製品化されているシリカクロスを採用した。このクロスは製鉄所などの高熱環境に耐え得る耐熱カバー・カーテンなどに使用されているもので、材質はシリカ成分96%以上のシリカ布であり、コーティングはされていない。このシリカクロスはしなやかで、肌ざわりもなめらかである。また、石綿を含まず単繊維径も太いため人体に対して安全である他、吸着性・耐薬品性にも優れている。

このスクリーンには床から1,800mmの高さに至るまで、300mm間隔で、のれん状の切れ込み部が設けられて

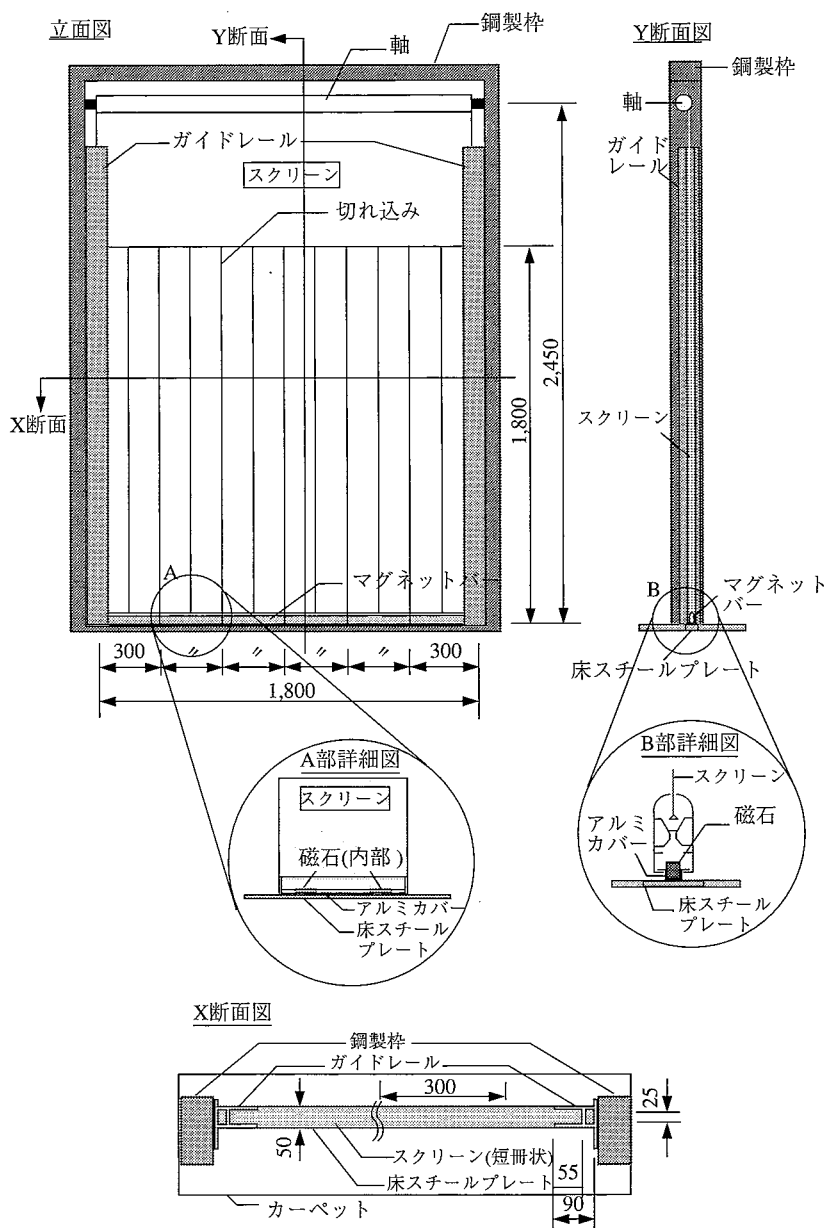


図-1 試作品概要図

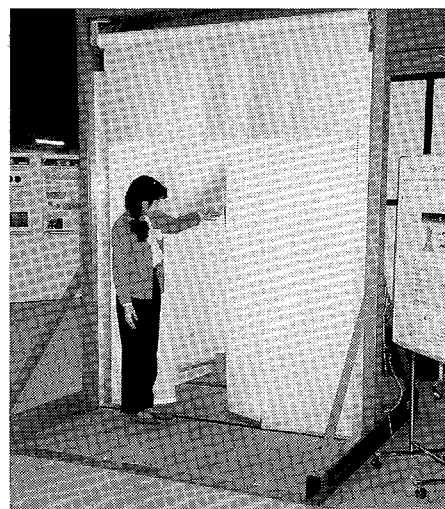


写真-1 試作品外観

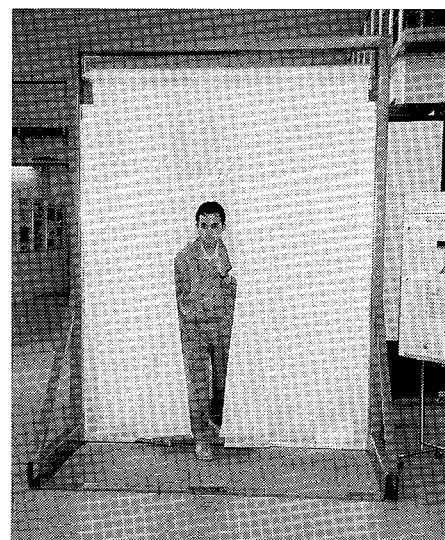


写真-2 人通過時の様子

いる。このため、人は自由に通過できるが、煙の流動はスクリーン上部において阻止される。切れ込み部は2枚重ねとし、交互に切れ込みの隙間をカバーする形で縫製されているため遮煙・遮熱性能は担保される。

この耐火スクリーンは従来の防火シャッターの持つ重量、熱による変形、高価格、収納スペース、降下時のパニックおよび閉鎖障害、扉の開き方向の制限、そして空間デザイン上の制約などの様々な問題点を改善することができる。そしてさらに、広々としたオープンスペース、優れた施工性、迅速な避難の実現が期待できる。またコスト的にも従来のシャッターと比較して20%程度の減額が可能となる。

## 2.2 試作品の製作

このスクリーンの動作試験を行うため、前項で述べた基本仕様に添ってウォークスルー型耐火スクリーンの試作品を製作した。試作品はスクリーン部、軸部、モータ

一部、床面スチールプレート、スイッチ（電源、UP・DOWNスイッチ）、コード等で構成されている。図-1にこの試作品の概要を示す。

## 2.3 動作試験

ウォークスルー型耐火スクリーンの開閉の信頼性、人の通過時の挙動および通過後の復旧（閉鎖）性状を把握するために、試作品を用いて動作試験を行った。

人の通過時には、特に通行を妨害する要因はなく、スムーズな通り抜けが可能である。通過後の復旧はほとんどの場合、通過以前の状態に戻るが、時折クロスがねじれる、隣接するマグネットバー同士が重なる、バーが斜めにずれて吸着するといったことがあり、スクリーンの切れ込み部分の隙間を増大させることが判明した。また、短冊状スクリーンの端部（ガイドレールよりの所）を人が通過した時に、スクリーンがガイドレールから外れる場合があることが確認された。これらの問題点とその改



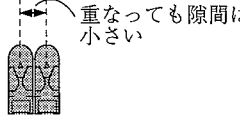
問題点	改善策(案)
○バーが斜めに吸着する。  床プレート マグネットバー	床プレートを細くする 
○バーが重なる スクリーン マグネットバー	マグネットバーを薄くする 重なっても隙間は小さい 

図-2 動作試験により判明した問題点と改善策案

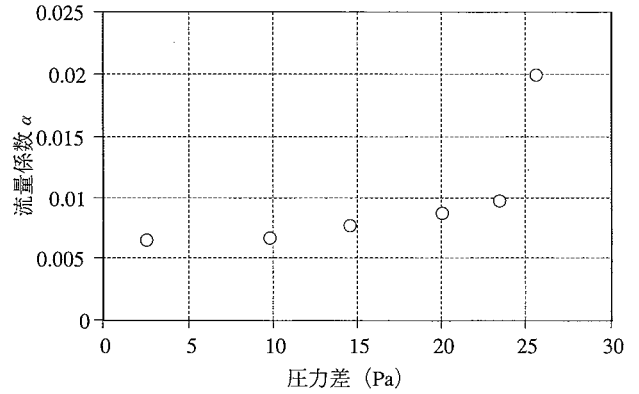


図-4 圧力差と流量係数の関係

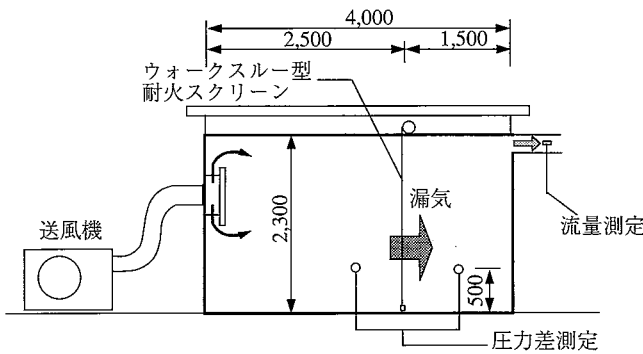


図-3 通気特性実験概要図

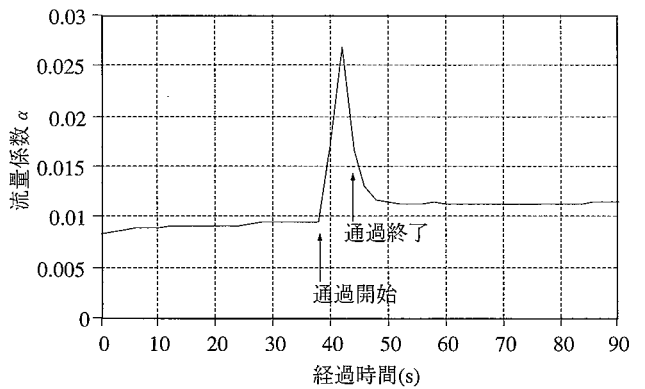


図-5 人通過時における流量係数の変動

善策をまとめると図-2 の様になる。

### 3. 通気特性に関する実験

#### 2.1 実験概要

図-3 に示すような間口1,900 mm、奥行き4,000 mm、高さ2,300 mmの実験小屋にウォークスルー型耐火スクリーンを設置し、スクリーンによって分割された一方の室に加圧した場合の両室間の圧力差、すなわち試験体前後の圧力差と、試験体からの漏気量を測定し通気特性の指標となる流量係数を算出した。加圧にはインバータ制御機能付送風機を用い、周波数により風量を変化させた。また、加圧空気がスクリーンに及ぼす風圧の影響を防ぐため吹き出し口には風除板を取り付けた。漏気量は非加圧室より流出する空気の流れを熱線風速計により測定し、算出した。

#### 3.2 ウォークスルー型耐火スクリーンの通気特性

試験体前後の圧力差  $\Delta P$  (Pa) と、試験体からの漏気量  $Q$  (kg/s) との関係は次式で表される<sup>1)</sup>。

$$Q = \alpha A (2\rho\Delta P)^{1/2}$$

この式を用い、 $A$  をスクリーンによって仕切られる開口面積 ( $m^2$ ) として、スクリーン閉鎖時における各時間ごとの流量係数  $\alpha$  と、試験体前後の圧力差  $\Delta P$  との関係の平均値を求めると図-4 のようになる。試験体前後の圧力差が 10 Pa 程度までは流量係数は 0.0065 とほぼ一定であるが、10 Pa を超えてから徐々に増加し、20 Pa では流量係数が 0.0088 となる。これは、給気量の増加に伴う圧

表-1 各種扉閉鎖時の流量係数

建物部位	流量係数 ( $\alpha A$ を部位面積 $A$ で割った値)
階段片開き扉	0.005~0.012
階段両開き扉	0.003~0.005
建物内部扉	0.004~0.007
エレベーター扉	0.008~0.014
防煙シャッター	0.0005
防火シャッター	0.0055
防火ダンパー	0.013

力差の上昇にしたがって、スクリーンがはらみ、その結果切り込み部の隙間面積が若干増大したことによる。また、圧力差が 25 Pa を超えると流量係数は 0.02 となり急増することがわかる。しかしこれは、スクリーンが圧力差によりガイドレールから外れたために出来た隙間の影響で、切り込み部の隙間の増大による影響ではないことが確認された。表-1 に通常の開口部に使用される各種扉の閉鎖時の流量係数を示す<sup>2)</sup>。これらの値とウォークスルー耐火スクリーンの閉鎖時の流量係数と比較すると、今回実験に用いた試験体は、防煙シャッターと比較すると、約10倍流量係数が大きくなるが、防火シャッターや建物内部に使用される通常の防火戸と比較すると流量係数の値は同程度であることがわかる。

#### 3.3 避難時の通気特性の変化

図-5 は一定の給気量で加圧した状態で、スクリーン

を人がゆっくり歩いて通過した場合の流量係数の時間的推移をグラフにしたものである。この結果から、人が通過する間は一時的に流量係数が増大することがわかる。しかし、この時の流量係数は0.027であり、通常の開口部に使用される各種扉の開放時における流量係数(0.6~0.7)と比較すると、かなり小さい値となっている。これは、人が通過する場合においても、写真-2に示すように通常の扉のように完全に開放されるのではなく、短冊状のスクリーンが体にまとわりつき、必要最小限の開口面積しかオープンにならないためである。通過後もマグネットバーの効果により速やかに閉鎖されるため、増大した流量係数も比較的速やかに減少する。ただし、復旧した場合にマグネットバーが若干定位置よりずれて吸着するため、通過前の状態と比較すると約20%流量係数が増大することが判明した。

#### 4. 耐火性能・延焼防止性能に関する実験

##### 4.1 実験概要

実験小屋(厚さ40mmの耐火パネル貼り、鉄骨枠組)の内部に、空間を2室に仕切る形で耐火スクリーン試験体を設置した。一方の部屋の床面中央に鋼製燃焼パン(500mm角)を設置し、n-ヘプタンを燃焼させた。燃焼室および非燃焼室には天井付近と床面付近にそれぞれ2カ所の給気口(幅1,840mm、高さ175mm)が設けられている。燃焼室には送風機により所定量にて給気を行った。試験体(スクリーン)に直接、吹き出し気流が動圧として作用することのないようにこの給気口には風除板が取り付けられている。実験小屋内部にはK型熱電対(素線径0.3mm)を計36カ所、Gardon型放射計を燃焼室と非燃焼室にそれぞれ1カ所、設置した。また、耐火スクリーンで仕切られた2室間の圧力差および2室のCO<sub>2</sub>濃度も同時に測定した。各計測はデータロガーにより5秒間隔で記録された。実験小屋の諸寸法、各計測点の位置を図-6に示す。

##### 4.2 実験条件

実験はn-ヘプタンの燃焼量とファンによる給気量を変化させ、表-2に示すように5ケースについて行った。

##### 4.3 実験小屋内における燃焼速度

今回の実験で使用した燃焼面積0.25m<sup>2</sup>のパンでは自由空間における液面降下速度が0.0058cm/sとなり、これを平均燃焼速度に換算すると446kWとなる。しかしながら、閉鎖空間では加熱された室内空気からの対流熱や壁・天井からの放射熱の影響により、燃料表面への入射熱が増大し、その結果、自由空間と比較して燃料蒸発速度が増大する。このため、燃焼継続時間も自由空間の平均276秒に対し、実験小屋内で燃焼させた場合は205秒と減少した。この時の平均燃焼速度を換算すると601kWとなる。また、燃焼速度の時間的な推移についても、自由空間では燃焼速度は時間の経過とともにほぼ一定の値をとるが、閉鎖空間では変動する。すなわち、区画火災におけるフラッシュオーバー現象と同様に燃焼の初期

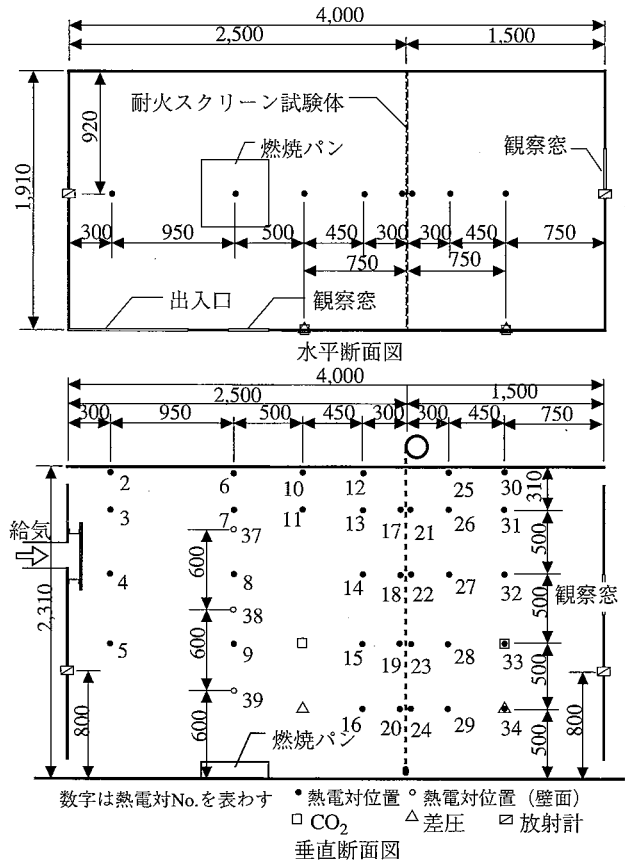


図-6 燃焼小屋および測定位置概略

表-2 実験ケース

実験ケース	n-ヘプタン燃焼量(ℓ)	ファン給気量(Kg/s)	備考
case1	2	給気なし	
case2	3	給気なし	
case3	4	給気なし	
case4	6	1.9	・壁面温度測定
case5	4	2.8	・壁面温度測定 ・放射受熱量測定

の段階では燃焼速度は比較的緩慢であるが、ある段階まで達すると閉鎖空間(区画)全体に一気に燃焼が拡大し、燃焼速度も急増する。

##### 4.4 燃焼時の状況

case1, 2を除いて、点火後約2分で燃焼室全体が炎に包まれ、燃焼室の上部開口より火炎が噴出した。燃焼実験中、スクリーン裏面へは多少の漏煙は見られたが、裏面への発炎(裏面へ火炎が吹き出ること)は見られなかった。今回の実験では、n-ヘプタンの燃焼量が4ℓ以上では、燃焼の途中から区画火災特有の燃焼室全体が火炎に包まれる換気支配型の燃焼形態に移行するが、3ℓ以下では換気支配型の燃焼形態には移行しなかった。これは加熱時間が短いため燃焼室雰囲気温度が燃料の蒸発速度を飛躍的に増大させるに十分な程上昇しなかったものと考えられる。

4.5 実験結果および考察

燃焼実験によって得られた知見を以下に列挙する。

① 各ケースとも点火後2分程度で温度が急激に増加している。しかし、case1では燃焼量が少なかったためか、温度が急激に増加する前に燃料切れとなった。

② 強制給気を行った実験の方が燃焼室内部の各点の温度は高い。特に case4, 5 では熱電対の測定限界温度を超えたため(約1,200°C)測定不能となった測定点も見られた。

③ case5における燃焼最盛期の温度分布に着目すると、燃焼室側においては火源の位置からスクリーン側にずれた位置で最高温度を記録しているが、これはスクリーンに正対している側壁からの給気の影響によるものと考えられる。また、耐火スクリーンで仕切られた非燃焼側ではスクリーンの近傍のみ高温部が存在し、しかも天井面に近いほど高温となった(図-7参照)。

④ スクリーンの表面温度については case5 において最高約1,000°Cを記録しているが、この時のスクリーンの裏面温度は最高で430°C程度であった(図-8参照)。

⑤ case5 においては唯一燃焼室内における放射熱量を測定している。燃焼側の耐火スクリーンの正対した壁面における床面から800mmの点における放射受熱量は最大32kW/m<sup>2</sup>に達した(図-9参照)。実験に用いたGardon型放射計の視野角は150°であるため実際の壁面への放射入熱は測定値より35%大きいものと考えられる。したがって実際には最大で43kW/m<sup>2</sup>程度の放射入熱があったものと考えられる。一般に区画火災においてフラッシュオーバーが発生するためには床面へ20kW/m<sup>2</sup>の放射が必要であると言われており、この値がほとんどの可燃物を口火着火させるに十分な入射熱であることから、このcase5の実験における燃焼室では実際の区画火災に相当する壁面への放射熱が十分再現されていたものと考えられる。

一方、非燃焼側のスクリーンに正対した同じく床面から800mmの高さにおける放射熱量は最大2.2kW/m<sup>2</sup>であった。この値と燃焼室における壁面への放射入熱量を直接比較することはできないが、耐火スクリーンを放射検定面とみなして非燃焼側の測定点における形態係数を算出すると0.356であることから、耐火スクリーンからの放射発散度は6.1kW/m<sup>2</sup>程度とみなすことができる。したがって、今回の実験で使用した耐火スクリーンは火災からの放射熱を81~86%遮断したと考えられる。

⑥ case4 においては燃焼側のCO<sub>2</sub>濃度が9%に達した(図-10参照)。一方、耐火スクリーンで仕切られた非燃焼室側のCO<sub>2</sub>濃度はほとんど上昇していない。実際の火災においても安全区画側への煙の漏出を極力抑えられるものと期待できる。

⑦ 本報で報告した5ケースの実験の他にも予備実験等を行っており、合計9回の燃焼実験を行ったが、写真-3に示すように、耐火スクリーン自体には防火上有害な変形、破壊、脱落等は見られなかった。(アルミ製ガイド

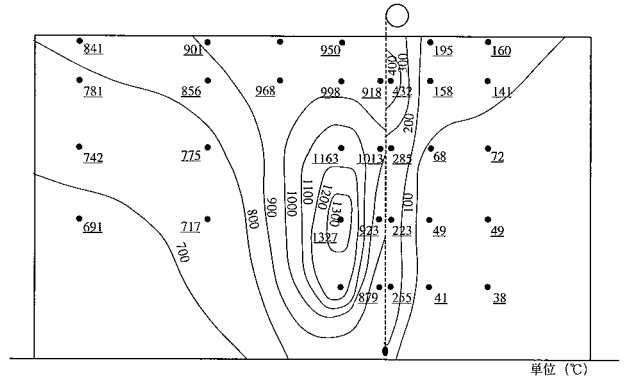


図-7 燃焼最盛期の温度分布 (case5)

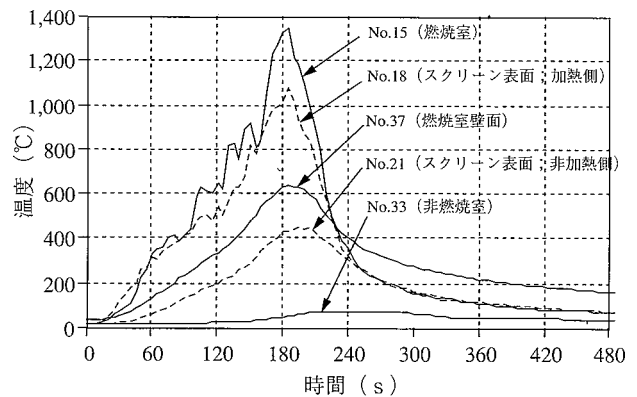


図-8 各部位代表温度の時間的推移 (case5)

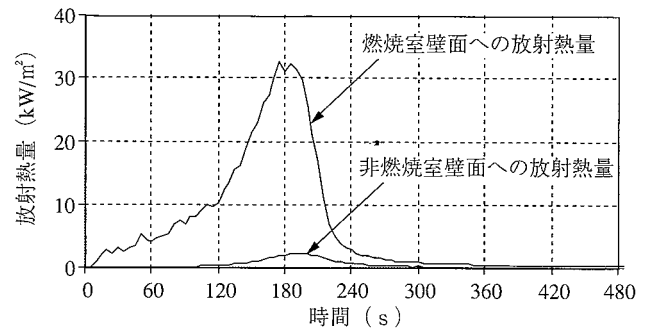


図-9 放射受熱量の時間的推移 (case5)

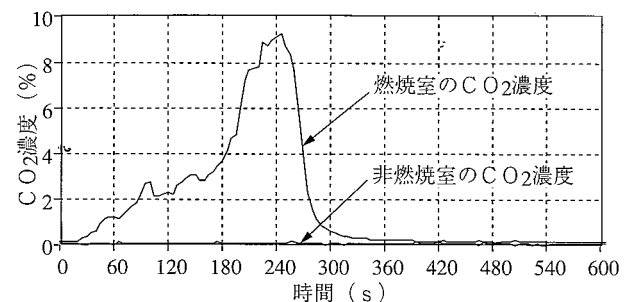


図-10 CO<sub>2</sub>濃度の時間的推移 (case4)

レールが一部熱のため表面が溶融したが、防火上あるいは遮煙上問題となるほどの変形は見られなかった。)

以上、実験の結果得られた知見等について述べてきたが、実際の火災において防火区画として有効に機能するためには加熱時間として20分から1時間程度を見込まなければならず、(平成2年建設省告示第1125号より、甲種防火戸および乙種防火戸と同等以上の防火性能を有するものの指定については甲種防火戸においては60分、乙種防火戸においては20分の標準加熱試験を行う必要がある。)その点では、今回の燃焼実験においては燃焼継続時間が短いため、耐火・延焼防止性能を確認するための有用なデータが得られたとは言いがたいが、火災の初期から盛期に至るまでの段階においては避難安全上有効な耐火・延焼防止性能を十分有していると考えられる。したがって、今後は1時間程度継続して標準加熱を与えられる実験方法を検討する必要がある。

## 5. 建築空間への適応

この耐火スクリーンを実際の建築空間に適応する場合、従来の方法では現行基準による区画の性能と同等以上の性能をこのスクリーンに求める必要があった。すなわち、現行法令では建築物の部位あるいは防火対策別にその仕様が求められており、使おうとする部位における区画の仕様を満足するものでなければならないからである。しかし、最近では建築空間において使用される部位が求められる性能を建築物の形態・用途・使用状況を考慮することで総合的に評価しようとする、いわゆる性能的防火設計法が開発されているため、必ずしもこの耐火スクリーンが法規的な区画の仕様を満足していなくても実際の物件に適用できる可能性は十分にある。例えば、ウォークスルー型耐火スクリーンは防火防煙シャッターと比較すると遮煙性能が劣るため、吹き抜けやエレベーターロビーなどの縦穴区画に用いる場合は使用条件をよく考慮する必要があるが、アトリウム等の大空間に面する縦穴区画であれば、大空間における蓄煙や煙の希釈を考慮して避難安全性に関わる性能評価を行えば十分に適応可能であると考えられる。

## 6. おわりに

常時開放型の防火区画・防火防煙区画の代替として、火災時に降下しても、避難者が自由に通り抜け可能であり、しかも、耐火性能・延焼防止性能・遮煙性能を有するウォークスルー型耐火スクリーンを考案し、その基本仕様を決定した。そして、この基本仕様に基づいて試作品を製作し、スクリーンの動作特性・通気特性・耐火性

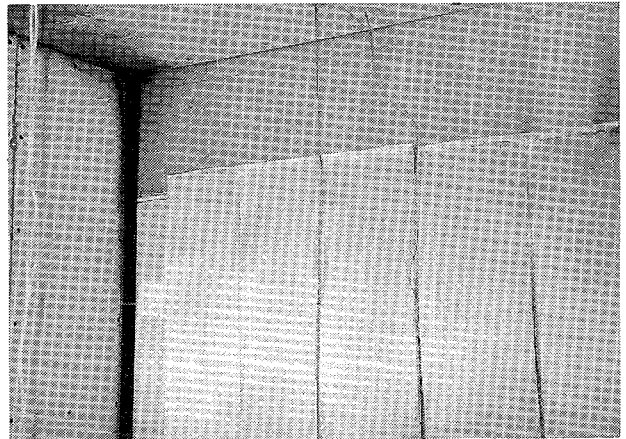


写真-3 燃焼実験後のスクリーンの状況

能・延焼防止性能を確認するための実験を行った。

実験の結果、動作特性に関しては巻き上げ時の短冊状スクリーン同士のからみや人が通過した後のマグネットバーのずれが問題となることが判明した。また、通気特性に関しても、人が通過した後のマグネットバーのずれに起因する遮煙性能の低下の問題が明らかとなった。

耐火性能・延焼防止性能に関しては燃焼実験における燃焼継続時間が短かったため、実火災に匹敵する火災加熱に対する十分なデータが得られなかったが、少なくとも1,000°C以上の雰囲気温度に対してスクリーン自体が燃焼したり、破損したりすることがないことや、スクリーン裏面への発炎、漏煙もないことが確認された。また、耐火スクリーンにより火災ゾーンからの放射熱は81~86%遮断されることも判明した。したがって、これらの性能を有する耐火スクリーンは、区画を飛び越えての延焼防止または避難安全に対して有効であると考えられる。

今後はさらにスクリーン区画の遮煙性能向上に努めるとともに、避難者通過後のスクリーンの遮煙性能の確保、および長時間加熱が継続した場合のスクリーンの耐火性能・延焼防止性能について検討を続ける必要がある。さらに、実際の建築空間への適応に向けて長大スパンに適合する巻き上げ機構の検討や天井裏空間の省スペース性を考慮した収納ボックスの設計等を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 田中喙義：建築火災安全工学入門，日本建築センター，p. 163~191，(1993)
- 2) 国土開発技術研究センター：建築物の総合防火設計法（第1巻 総合防火設計法），日本建築センター，p. 56，(1988)