

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：33603

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651170

研究課題名（和文） ツインタワー型高層建物に見られた開放型煙突効果による火炎拡大機構の実験的解明

研究課題名（英文） Experimental Research on Flame Length when a Fire Source Locates nearby Walls of Corner Configuration and Parallel Configuration

研究代表者

須川 修身 (SUGAWA OSAMI)

諏訪東京理科大学・システム工学部・教授

研究者番号：60162856

研究成果の概要（和文）：壁近傍での火炎は、空気の流入量が制限されるため、開放空間での火炎性状と異なる。1 枚壁やコーナー（2 壁面）近傍の火炎性状に関する研究は、数多く行われてきた。しかし、壁に挟まれた状況での火炎性状は、ほとんど研究されていない。本研究では、二壁面間（建築物）に挟まれた火炎を想定し、その火炎性状および延焼の危険性を実験的に明らかにすることを目的とした。実験は、壁角度  $0^\circ$ （二の字）および壁角度  $90^\circ$  で隅部に隙間あり（ハの字）の 2 種類とした。実験には、セラミックボードの 2 壁面および一辺  $100\text{mm}$  ( $=D$ ) の正方形 LPG バーナーを火源として使用した。壁角度  $0^\circ$  の場合は、発熱速度 ( $Q$ ) は  $1.5\sim 6.0\text{kW}$  の範囲で変化させ、バーナーの開口淵と壁端を基点とした離隔距離 ( $S$ ) は、 $0\sim 400\text{mm}$  に変化させた。壁角度  $90^\circ$  の場合は、 $Q=7.5\sim 30\text{kW}$  とし、壁と火源の離隔距離は ( $S=$ )  $0\sim 500\text{mm}$  とした。火炎高さは画像から読み取り、壁面間の温度をそれぞれ測定した。その結果、壁角度  $0^\circ$ 、 $S/D=0$  の場合、火炎は双方の壁にランダムに沿って流れ、ビデオによる火炎長さは自由境界下と比べて約 1.5 倍に伸長した。 $0<S/D\leq 2$  かつ  $Q<4.5\text{kW}$  の範囲では、壁に向かって火炎が広がり、線状火源のような性能を示した。 $Q>3.5\text{kW}$  の時は、火炎からの上昇気流が卓越するため、自由境界下の火炎長さと同様になった。 $S/D>3$  となると熱量に関係なく、火炎長さは壁の影響を受けないことが分かった。壁角度  $90^\circ$  の場合、 $S/D\leq 3$  の範囲では、開口部の狭い方へ火炎が倒れる性状が見られた。壁角度  $90^\circ$  の場合は、火源に対する開口面積が隅部方向へ狭くなるため、空気の流入速度が変化し、火炎が倒れる様に作用したと考えられる。壁角度  $90^\circ$  では、火源径の 5 倍離隔した場合においても、壁の影響を受け火炎が倒れることが分かった。

研究成果の概要（英文）：The flame height behavior was studied experimentally with two walls configurations which have setting of a corner having a slit at the deep-corner and a paralleled-walls configuration. These two configurations were adopted to simulate the fire behavior occurred nearby typical twin towers configuration as was occurred in Pusan, Korea, 11th Oct., 2010. Model walls of ceramic boards with  $1.8\text{m(H)}$  by  $0.9\text{m(W)}$  with  $0.02\text{m}$  thick of were used and a square diffusion sand gas burner (LPG) of  $0.1\text{m}$  by  $0.1\text{m}$  (representative size of  $D$ ) was also set and used as a model fire source giving  $7.5 - 30\text{ kW}$  with the separation ( $S$ ) between walls to the burner having  $0 \leq 0.5\text{m}$ . In the case of a corner with a slit ( $0.1\text{m}$  width) at deep corner between two boards, the flame height showed the highest at around the deep corner and which decreased with the increase of separation distance. We found also that the clear flame inclination toward corner and this phenomenon gave the decrease in flame height. The corner configuration gave the convective flow against the fire plume or flame flow as similar as the chimney effect. And no obvious effect on the flame height-elongation when the burner location stood aloof 3 times farther of its size  $D$  from the corner. In the case of walls with parallel configuration, the diffusion flame not only expanded horizontally with walls surface but also elongated vertically 1.5 times longer than one in free boundary condition with showing flip-flap snuggling behavior against each wall. The flame height decreased with increase of separation, and no obvious

effect on the flame height-elongation when the burner separated 3 times farther of its size D from walls. It is necessary for fire safety to establish the valid physical model which can estimate the flame height when a fire source locates nearby twin buildings and/or plural buildings.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：

科研費の分科・細目：複合新領域

キーワード：相似則、ツインタワー、模型実験、煙突効果、高層建物、火炎性状、火災、物理モデル

### 1. 研究開始当初の背景

- (a) 2010年10月、韓国・釜山にある住商複合高層ビル「海雲台ウシンゴールドスイート」において、大規模な火災が発生した。この建物は、「ツインタワー」形状をしている。本火災は4階付近から火炎が噴出し、建物間の吹き抜け部で、強風にも煽られてわずか20余分で火炎が屋上まで展延・拡大した。鉛直方向への延焼速度が水平方向より、4倍も速く進行した時もあった。二棟間の空間が煙突効果を発揮し、火炎が短時間で拡大したと考えられる。この建物は、外壁パネルに金色塗装のアルミニウムパネルを使用しており、パネルと壁下地の間に用いられた接着剤が引火・燃焼し、急速な展延・燃焼拡大を招いたもう1つの要因と考えられる。
- (b) 建物外壁に沿った火災伝播の研究は、スパンドレル長を決めるために開始され外壁不燃の基本設定がなされた。開口部からの噴出火炎挙動については一定の知見が得られている。また、室内の壁際（1枚壁）や部屋隅部（コーナー）での火炎挙動に関する研究もあるが、今回のツインタワー火災に見るような壁面間空間（開放型煙突空間）での火炎挙動については、未だ知られていない。
- (c) 内装材や内壁材の材質と、延焼挙動の関連に着目した研究は、多く成されているが、外壁材は単にその表層の不燃仕上げが規定され、接着材や接着層までの厚みと延焼挙動に関する研究例は少ない。

### 2. 研究の目的

本研究では、二壁面間（建築物）に挟まれた火炎を想定し、その火炎性状および延焼の危険性を実験的に明らかにすることを目的とした。特に火源に対して同じ開放空間をも

つ場合（壁角度 $0^\circ$ ）および開放空間の大きさが異なる場合（壁角度 $90^\circ$ ）の火炎性状を実験的に明らかにする。

### 3. 研究の方法

実験は、壁角度 $0^\circ$ （二の字）および壁角度 $90^\circ$ で隅部に隙間あり（ハの字）の2種類とした。

#### 3.1 壁角度 $0^\circ$ （二の字）

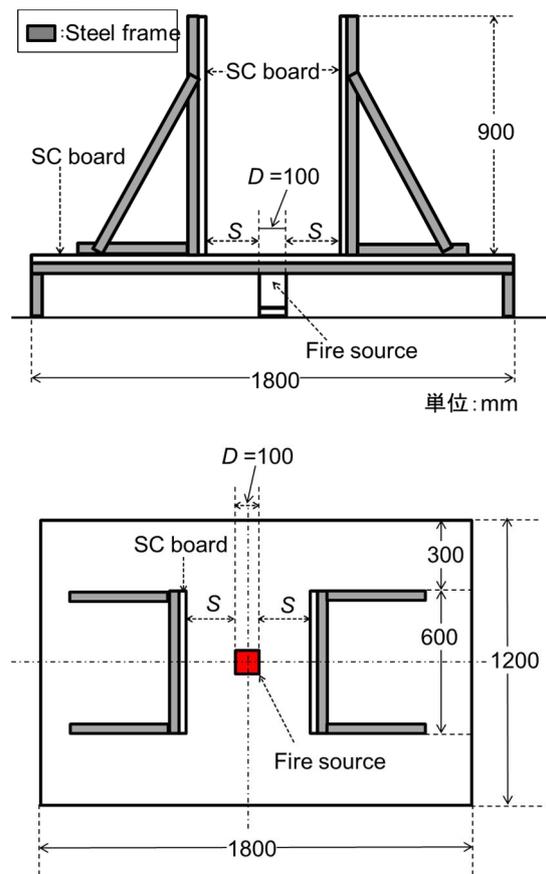


図1 壁角度 $0^\circ$ の実験模型の側面図（上）

壁角度 $0^\circ$ の実験模型の上面図（下）

壁角度 $0^\circ$ の実験は、図1に示すように、 $1800 \times 1200$ mmの床面に $100 \times 100$ mmのLPGバー

ナーを設置した。600×900mmのセラミックボード（SCボード）製の壁を2枚設置した。発熱速度（ $Q$ ）は1.5～6.0kWの範囲で変化させ、バーナーの開口淵と壁端を基点とした離隔距離（ $S$ ）は、0～400mmに変化させた。

#### a) 火炎形状の計測

ビデオカメラ(SANYO:Xacti, HD1010)を用いて火炎を撮影し、得られた画像から火炎形状を読み取った。着火から5分後、1秒あたり30フレームで5分間の火炎を撮影した。撮影した動画のうち、ランダムに6秒間（90フレーム）の定常状態の火炎を抜き出し、火炎高さを計測した。

#### b) 温度の計測

火炎軸上及び火炎近傍の温度の測定には、K型熱電対（ $\phi 0.5\text{mm}$ ）を用いた。熱電対は、実験装置の横から（壁のない空間）から挿入した。熱電対は、床面から直上に100mm間隔で900mmまで10本設置し、25mm～50mm移動させ測定した。温度測定は、着火から5分後から1秒間隔に5分間、データロガー（横河電機株式会社 MX100）で計測した。

### 3.2 壁角度 $90^\circ$ （ハの字）

壁角度  $90^\circ$ の実験は、図2に示すように、2500×2500mmの床面に100×100mmのLPGバーナーを設置した。1200×1800mmのセラミックボード（SCボード）製の壁を2枚設置した。壁と壁が成す角度を  $90^\circ$ とし、隅部は、火源径分の隙間を形成させた。発熱速度（ $Q$ ）は7.5～30kWの範囲で変化させ、バーナーの開口淵と壁端を基点とした離隔距離（ $S$ ）は、0～500mmに変化させた。

#### a) 火炎形状の計測

ビデオカメラ(SANYO:Xacti, HD1010)を用いて火炎を撮影し、得られた画像から火炎形状を読み取った。着火から5分後、1秒あたり30フレームで5分間の火炎を撮影した。撮影した動画のうち、ランダムに6秒間（90フレーム）の定常状態の火炎を抜き出し、火炎高さを計測した。

#### b) 温度の計測

火炎軸上及び火炎近傍の温度の測定には、K型熱電対（ $\phi 0.5\text{mm}$ ）を用いた。熱電対は、実験装置の上から熱電対ツリーを作製し挿入した。1本の熱電対ツリーには、床面から直上に180mm間隔で1800mmまで11本設置し、それを250mm間隔で5本設置した。これを任意の位置に移動させ測定した。温度測定は、着火から3分後から1秒間隔に5分間、データロガー（横河電機株式会社 MX100）で計測した。

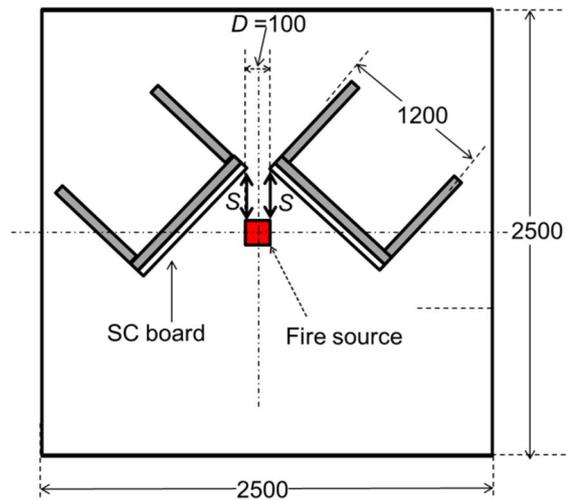
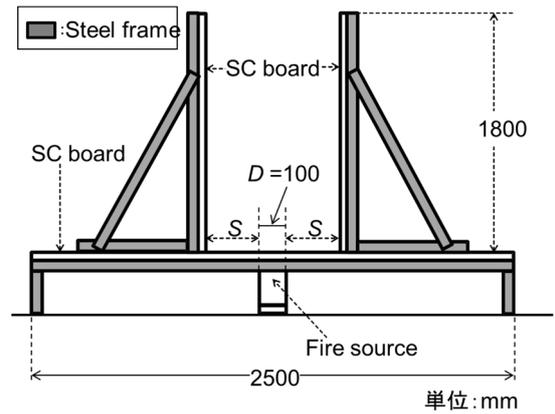


図2 壁角度  $90^\circ$ の実験模型の側面図（上）  
壁角度  $90^\circ$ の実験模型の上面図（下）

## 4. 研究成果

### 4.1 壁角度 $0^\circ$ の場合

各動画画像から計測した火炎高さ（ $L_f$ ）と発熱量の関係を図3に示す。壁なし時の火炎長に対し、 $S/D=0$ では火炎が伸長しており、

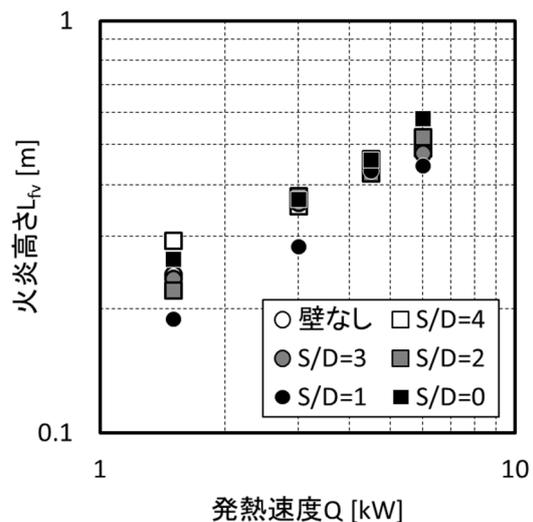


図3 画像計測の火炎高さと発熱量の関係

S/D=1 では短くなった。発熱速度が大きくなると火炎高さに大きな違いが見られなかった。図4に示す通り、S/D=0の場合、火炎は双方の壁にランダムに沿って流れ、自由境界下と比べて約1.5倍に伸長した。

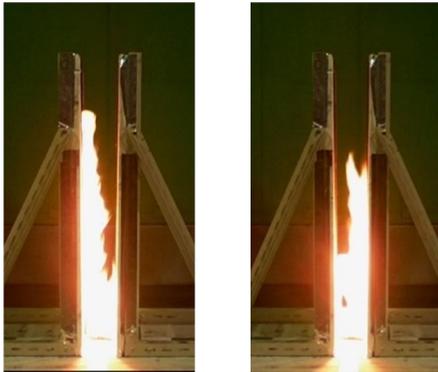


図4 S=0、Q=6kWの時の火炎

一方、計測した温度結果から、 $T=250\text{K}$ の等温度線が示す領域が火炎の外縁領域におおむね一致することから、等温度線図から平均火炎高さ ( $L_{fit}$ ) を求めた。図5は、温度計測の火炎高さ と発熱量の関係を示す。各 S/D における画像から計測した火炎高さ ( $L_{fv}$ ) と発熱量の関係を図5に示す。その結果、 $Q=4.5\text{kW}$  以下では、壁なしの場合(自由境界)よりも火炎高さは、小さくなった。

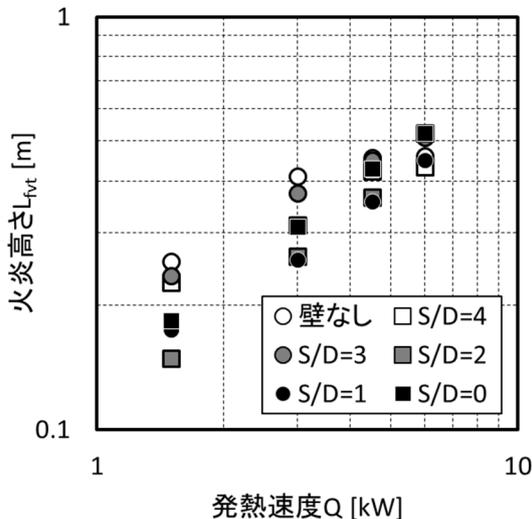


図5 温度計測の火炎高さと発熱量の関係

図6は、S/D=2の時の火炎中心軸上温度結果を McCaffrey モデル(自由境界下)と一緒に示す。 $Q=4.5\text{kW}$  以下では、McCaffrey モデルよりも全体的に温度が低くなった。

これらの結果から、 $0 < S/D \leq 2$  かつ  $Q < 4.5\text{kW}$  の範囲では、壁に向かって火炎が広がり、線状火源のような性状を示した。 $Q > 3.5\text{kW}$  の時は、火炎からの上昇気流が卓越するため、自由境界下の火炎長さと同様になった。 $S/D > 3$  となると熱量に関係なく、火炎

長さは壁の影響を受けないことが分かった。

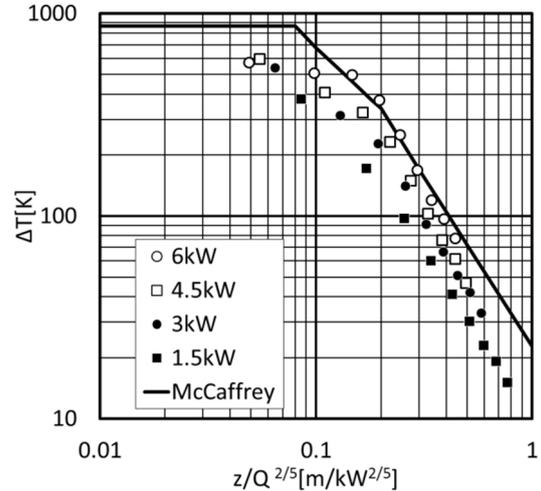


図6 S/D=2の時の火炎中心軸上の温度

#### 4.2 壁角度 $90^\circ$ の場合

各動画像から計測した火炎高さ ( $L_{fv}$ ) と発熱量の関係を図7に示す。壁なし時の火炎長に対し、最高で約1.4倍程度延びた。また、熱量が大きくなっても、全体的に火炎が延びている事が分かる。これは、 $0^\circ$ の場合と同様に、火炎が壁に沿って流れたためである。

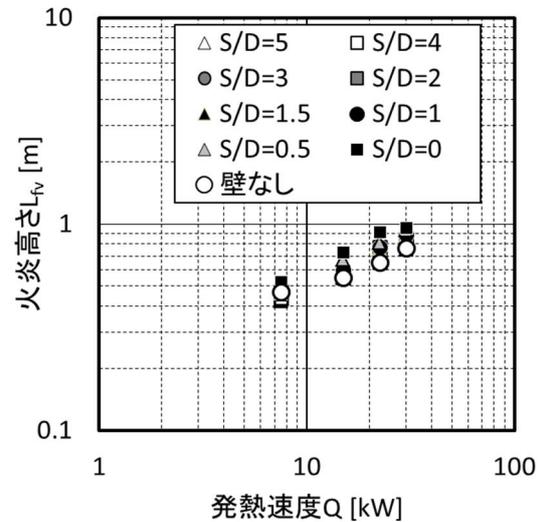


図7 画像計測の火炎高さと発熱量の関係

一方、計測した温度結果から、等温度線図 ( $T=250\text{K}$ ) から平均火炎高さ ( $L_{fit}$ ) を求めた。各 S/D における画像から計測した火炎高さ ( $L_{fv}$ ) と発熱量の関係を図8に示す。その結果、 $S/D \leq 0.5$  の時には、自由境界下に比べ火炎高さが高くなり、 $S/D \geq 1$  の時には、自由境界下とくらべ火炎高さは、低くなった。温度による火炎高さは、自由境界下と比べて低くなる傾向が見られた。火炎が壁をランダムに沿うように流れるため、定常的に  $T=250\text{K}$  の温度範囲を示す位置は低くなるためと考

えられる。また、火源に対する開口面積が隅部方向へ狭くなるため、空気の流入速度が変化し、火炎が倒れる様に作用したと考えられる。

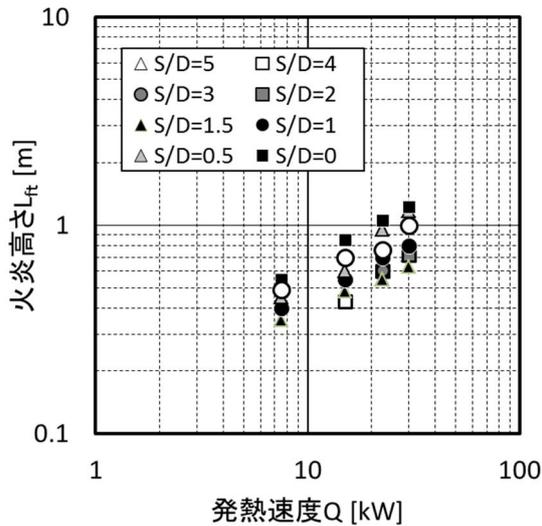


図 8 温度計測の火炎高さと発熱量の関係 (壁角度 90°)

図 9 に  $S/D=0, 1, 5$  の時の火炎中心軸上温度結果を McCaffrey モデル (自由境界下) と一緒に示す。 $S/D=0$  の時は、壁により空気の流入が制限されるため、火炎中心軸上温度は、自由境界下よりも高くなった。 $S/D=1$  の場合、熱量が大きくなると、火炎中心軸温度がばらつく傾向が見られた。これは、火源への酸素流入が、壁により制限されるが、火源径ほど壁が離れているため、一定量の空気の流入は得られる。そのため、熱量が小さい場合には、火源に向かって大きく倒れ込むこともない。しかし、熱量が大きくなるにつれ、空気の流入の影響を受けるため、開放空間の狭い方へ向けて火炎が倒れるもしくは火炎がランダムに動くため、中心軸上の温度がばらつく結果が得られたと考えられる。また、 $S/D=5$  の場合は、火炎中心軸上温度は、全ての熱量において、自由境界下に比べ、低くなった。

図 10 に各発熱量および離隔距離における、火源中心の等温度線図を示す。火源中心を 0 とし、-100 は開口部が広い方、+100 は開口部が狭い方 (隅部方向) を示す。 $S/D=0$  の場合、画像や温度計測から得られ火炎高さの結果と同様に、自由境界下に比べ、壁の影響を大きく受けるため、壁に沿って火炎が大きくなる結果が得られた。 $S/D=3$  以上でなおかつ 15kW 以上の熱量の時、火炎は開口部が狭い方へと倒れ込む性状が確認できる。熱量が 30kW の時には、火炎からの浮力が支配的となり、他の熱量に比べ立ち上がった。壁により形成される、開口部の広い方から狭い方へ、空気の流入速度が変化するため、 $S/D=5$  の離

隔距離および 30kW の熱量においても、火炎に影響を与えることが分かった。

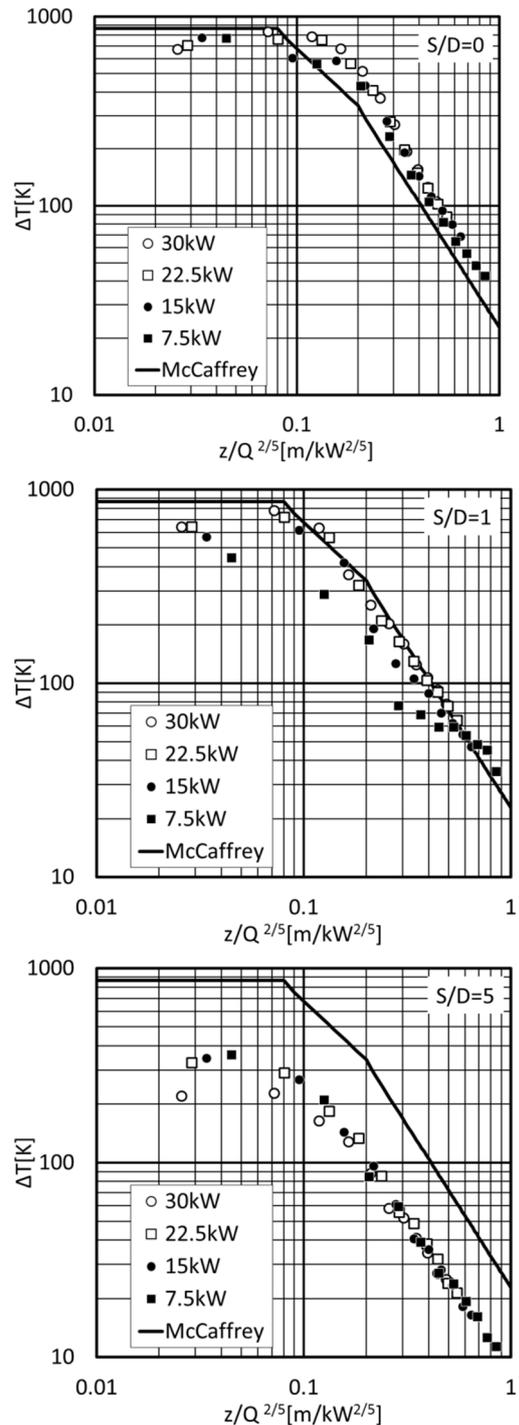


図 9 火炎中心軸上の温度 (壁角度 90°)

5. 主な発表論文等  
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須川 修身 (SUGAWA OSAMI)

諏訪東京理科大学・システム工学部・教授  
研究者番号：60162856

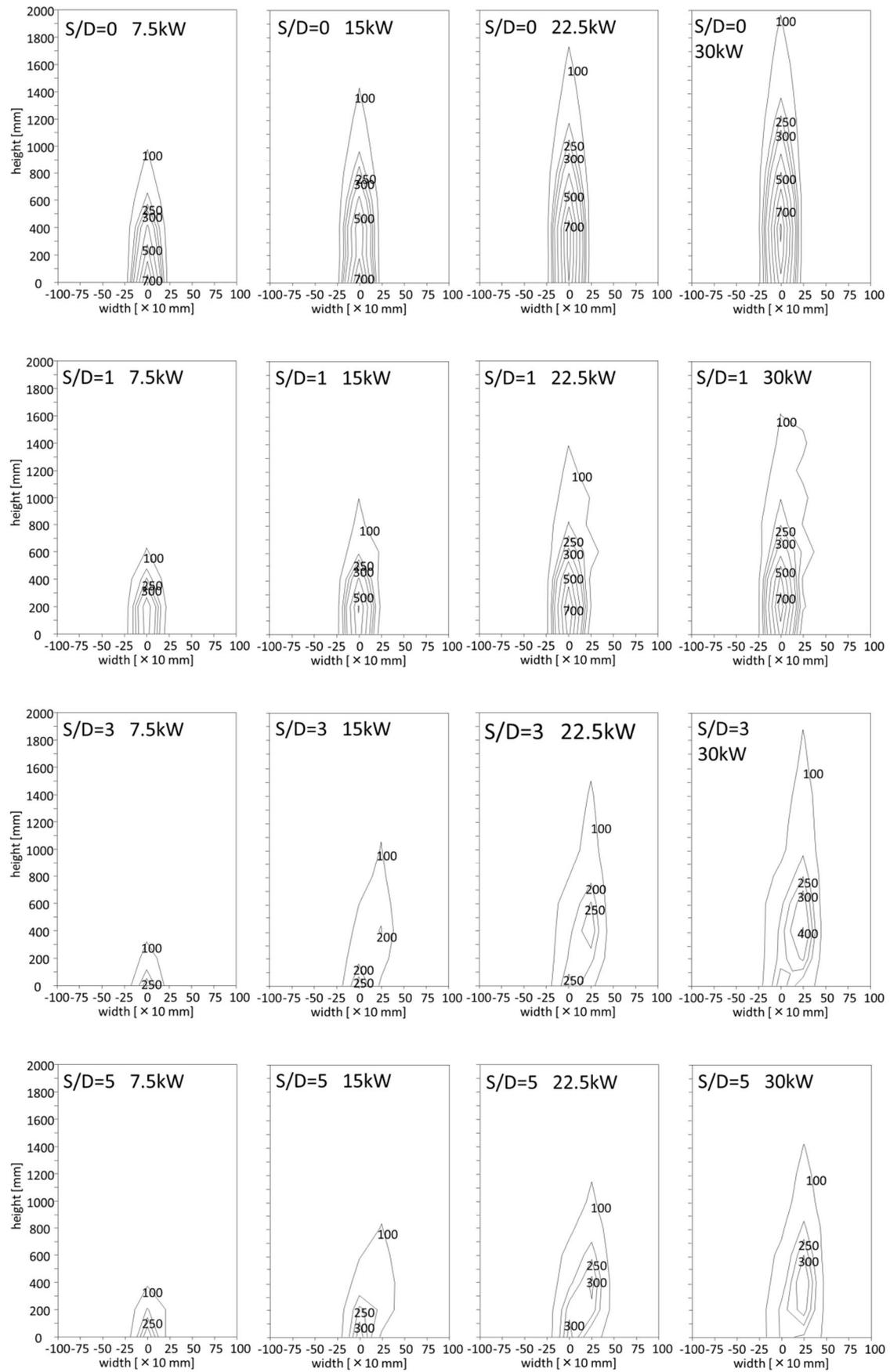


図 10 火源中心の等温度線図