

# 瞬間的に燃焼する火炎に対する熱量等測定方法に関する検証

町井 雄一郎\*, 金子 公平\*

## 概 要

舞台演出の特殊効果として、可燃性気体等を瞬間的に大気に放出し、これを燃焼して発生させる、いわゆるファイアボールが多く用いられている。これに対し、熱電対及び熱流束計を用いて、温度または受熱量が測定できるか否かを検証した。

その結果、瞬間的に燃焼する火炎に対する水平位置からの熱的性質の測定は、熱流束計による熱流束の測定が有効であることがわかった。また、熱電対による温度測定は、火炎の垂直方向において有効であると考えられるが、ガスの着火位置と熱電対の軸がずれている場合、測定は困難であることがわかった。

## 1 はじめに

火災予防条例(昭和37年東京都条例第65号)第23条において、特定の対象物や場所における裸火等火気の使用制限について定められている。そのただし書きにおいて、消防総監が定めた基準に適合していると認められた場合、特例的に使用制限が解除される。例として、火炎による舞台演出がこれにあたる。

昨今、この舞台演出において、従前の煙火によるものだけではなく、可燃性ガスや可燃性液体を燃焼させて、いわゆるファイアボールを作り出すという演出方法が見受けられる。従前より定められている基準では火炎高さ40cmまでの規制となっており、この演出方法の場合、全てについて個別の承認が必要となっている。

この解除承認に係る評価方法を検討するため、ファイアボールの熱的性質を測定する方法の検証が必要となった。

## 2 目的

可燃性気体等を瞬間的に大気に放出し、これを燃焼して発生させたファイアボールに対し、熱電対及び熱流束計を用いて、温度または受熱量が測定できるか否かを検証する。

## 3 検証実験

### (1) 測定資器材

データロガー(江藤電気株式会社製サーモダック F)

熱電対(K型,  $\phi 0.32\text{mm}$ )

熱流束計(MEDTHERM社製, 感度  $0.5\text{W}/\text{cm}^2$ )

ビデオカメラ, 着火用ライター

### (2) 測定方法

ア ファイアボールを作成するためには、一定量の可燃性ガスを瞬間的に大気中に放出し着火する必要がある。そこで、ガスライター用ボンベからブタンガスを風船に充填し、着火源を用いて割ると同時に着火することとした。この風船を、床面から40cmの位置に固定した。(図1)

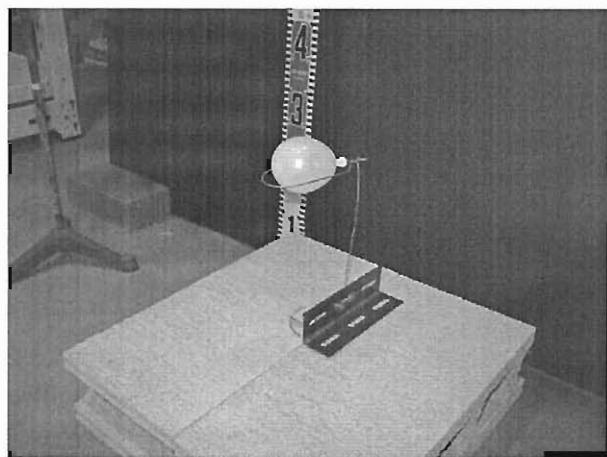


図1 ブタンガスを充填した風船

イ 熱電対を、アングルを用いて床面から45cmの位置より5cm間隔で垂直上方に9点配置し、一番上を熱電対1、一番下を熱電対9と番号を付した。これを、火源中心から水平に50及び100cmの位置となるよう設置した。(図2)

ウ 熱流束計は、床面から40cmの位置にスタンドを用いて固定し、同様に火源中心から50及び100cmの位置となるよう設置した。(図2)

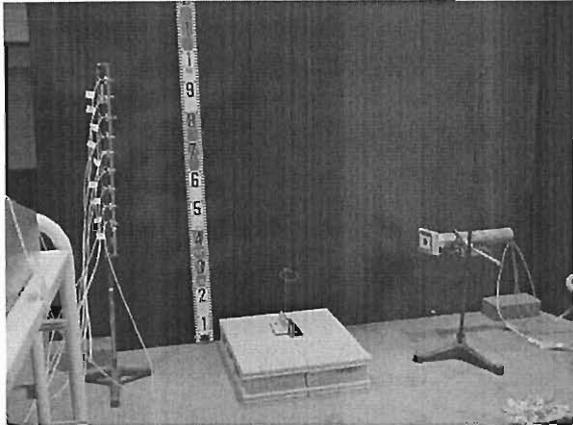


図2 熱電対と熱流束計の設置状況

エ また、イの熱電対を下端が火源直上 55 cm の位置に、熱流速計を 50 cm の位置にそれぞれ配置し、同様に測定した。このとき、室内空調による影響を考慮した送風機の風 (約 0.5 m/s) をあてた場合も併せて観察した。オ 着火はライターを使用した。(図3)



図3 着火直後の状況

カ 熱電対と熱流束計は、データロガーに接続し、着火時の熱変化を記録した。スキャンスピードは 0.1 秒/回とした。(図4)



図4 測定状況

キ 同時にビデオカメラによる水平位置の撮影を行なった。

### 3 結果

(1) 火源に対して水平に配置した熱電対及び熱流束計による測定

各実験の条件及び熱流束のピーク値を表1、各測定位置における最大値および最小値を示したピークを、図5から図8に示す。

表1 各実験の条件と熱流束ピーク値

実験番号	測定位置 [cm]	充填ガス量 [g]	熱流束ピーク値 [W/cm <sup>2</sup> ]
1	100	0.20	0.014
2		0.30	0.008
3		0.28	0.018
4		0.22	0.010
5		0.20	0.019
6	50	0.27	0.097
7		0.19	0.004
8		0.23	0.054
9		0.23	0.096
10		0.21	0.026

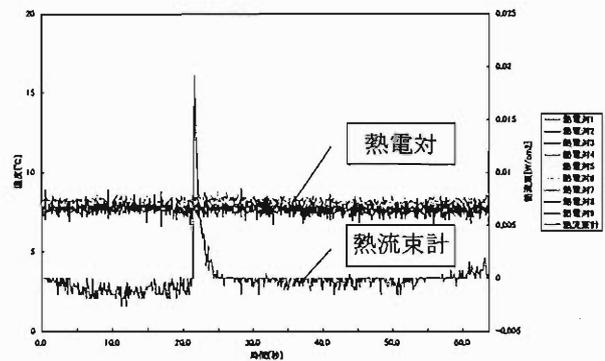


図5 測定位置 100cm における最大ピーク (実験5)

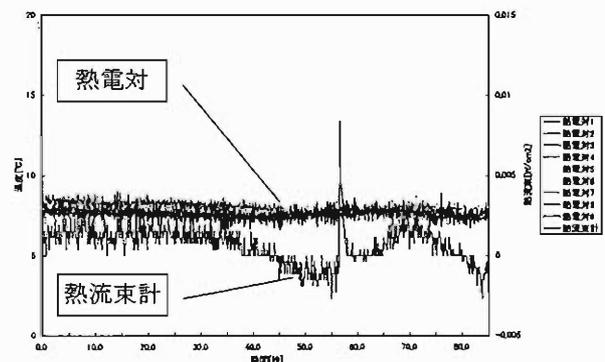


図6 測定位置 100cm における最小ピーク (実験2)

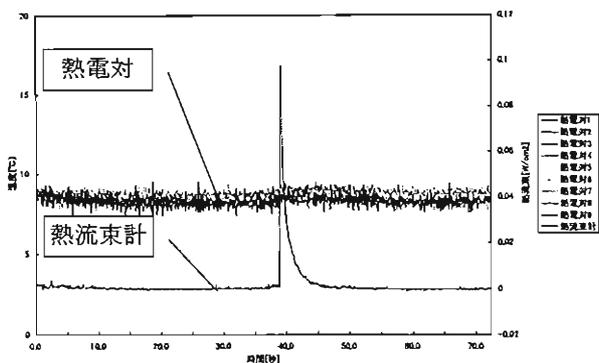


図7 測定位置 50cm における最大ピーク (実験6)

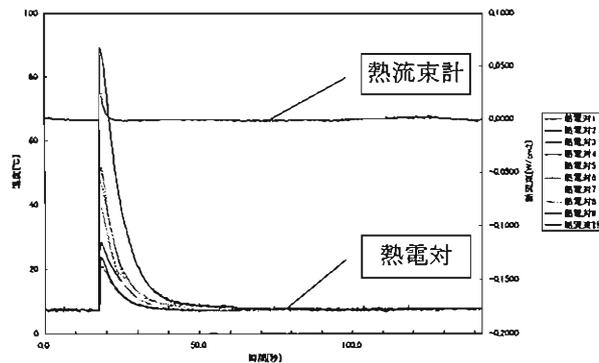


図9 実験 11 (直上熱電対, 風速 0m/s) の測定結果

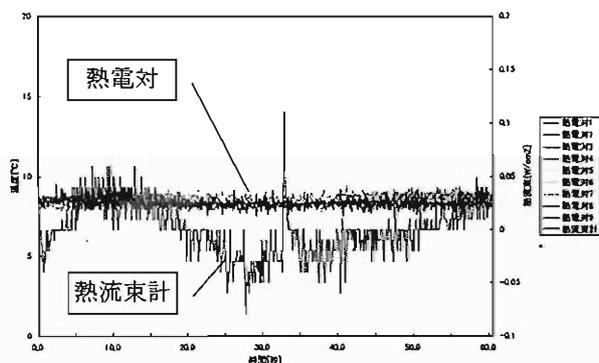


図8 測定位置 50cm における最小ピーク (実験7)

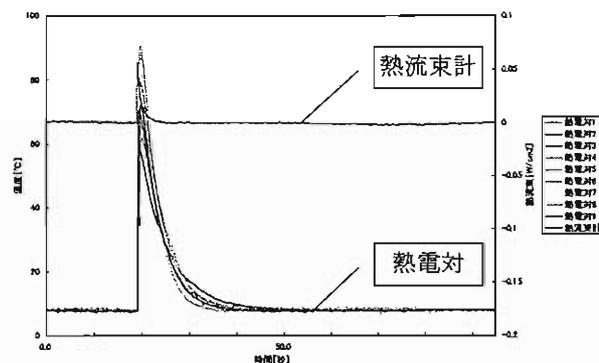


図10 実験 16 (直上熱電対, 風速 0.5m/s) の測定結果

(2) 火源直上に配した熱電対による温度測定

各実験条件における熱流束及び熱電対ピーク値を表2、風速 0m/s における実験 11 の結果を図9、風速 0.5m/s における実験 16 及び 17 の結果を図10 から図11 に示す。

表2 各実験条件及び結果におけるピーク値

実験番号	風速 [m/s]	充填ガス量 [g]	熱流束ピーク値 [W/cm <sup>2</sup> ]	熱電対ピーク値 [°C] (電対番号)
11	0	0.14	0.064	89.3 (9)
12		0.16	0.064	91.6 (8)
13		0.14	0.066	63.8 (9)
14		0.17	0.066	63.3 (9)
15		0.13	0.050	72.3 (8)
16	0.5	0.27	0.057	90.4 (4)
17		0.19	0.169	9.3 (9)
18		0.23	0.161	9.3 (4)
19		0.23	0.099	41.1 (9)
20		0.21	0.060	85.2 (9)

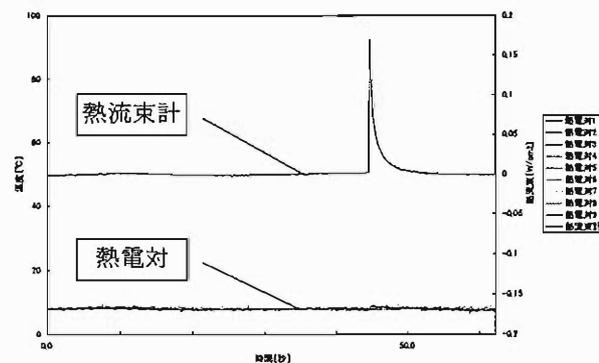


図11 実験 17 (直上熱電対, 風速 0.5m/s) の測定結果

4 考察

(1) 火源に対して水平に配置した熱電対及び熱流束計による測定

図5から図8に示す結果からわかるように、熱電対による測定値の変化は見られず、温度を測定することが困難であることがわかった。一方、熱流束計による熱流束測定では、設置位置 0.5m、1.0m 共に、小さい値であるが測定できることがわかった。よって、ファイアボールのような、瞬間的に燃焼する炎に対する熱的性質の測定方法は、熱流束計による熱流束測定が有効であると考えられる。

(2) 火源直上に配した熱電対による温度測定

実験 11 から 15 は送風なしで行なった。図 9 にあるとおり、火源の直上において、熱電対で温度の測定が有効にできることが確認できた。

実験 16 から 20 は 0.5m/s の送風で行なった。実験 16 (図 10) , 19, 20 では、熱電対により温度上昇が測定できたが、実験 17 (図 11) , 18 では、熱流束計による熱流束が測定できているにもかかわらず、熱電対の測定値に変化が見られなかった。

撮影した映像により分析し比較すると、実験 16, 19, 20 では、風船から吹き出たガスの着火位置が熱電対の直下であれば (図 12①) 、熱電対に沿って火炎が上昇していくのが確認できる。(図 12②から③)

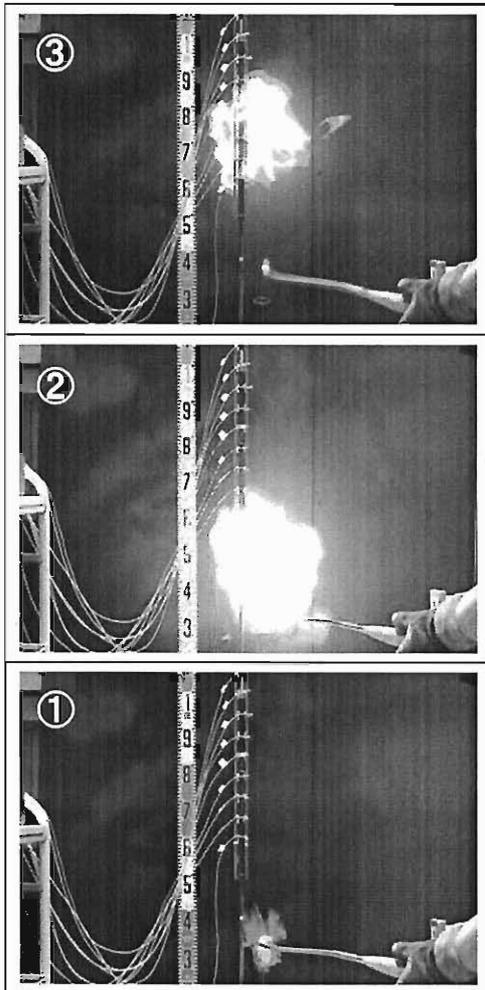


図 12 風船直上で着火した場合の燃焼の様子

一方、実験 17, 18 のように着火位置が熱電対の軸とずれている場合 (図 13①) 、燃焼後の火炎が熱電対から外れて上昇していくのがわかる。(図 13②から③) これにより、熱電対での測定に差が生じたものと考えられる。

また、図 12②から③及び図 13②から③の火炎の動き

をみると、燃焼開始後は、その位置からほぼ直上に火炎が遷移していくのが確認できる。このことから、火炎に対して風速 0.5m/s の風の影響はほとんど無いものと考えられる。

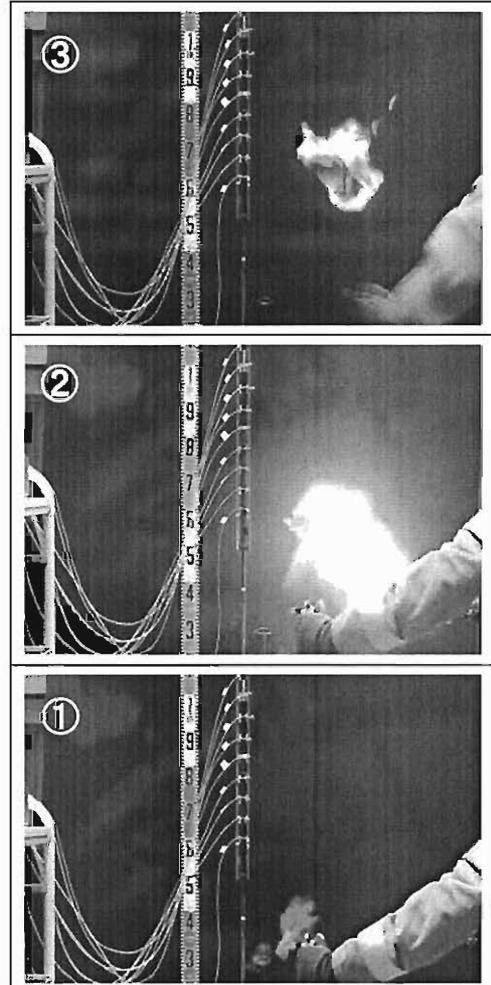


図 13 風船側面で着火した場合の燃焼の様子

5 おわりに

- (1) ファイアボールのような瞬間的に燃焼する炎が与える周囲への影響に対して、水平位置からの測定は、熱流束計による熱流束の測定が有効であると考えられる。一方、熱電対による温度測定は、困難であることが確認された。
- (2) 火源の直上において、熱電対によるファイアボール自体の温度測定は可能であると考えられる。しかし、ガスの着火位置と熱電対の軸がずれている場合、測定は困難であると考えられる。
- (3) 火炎の上昇に対し、風速 0.5m/s の風による影響はほとんどないと考えられる。

# Verification of the Method for Measuring the Calories of Instantaneous Flames

Yuuichirou MACHII\*, Kouhei KANEKO\*

## Abstract

So-called fireballs, produced through the ignition of the flammable gas instantaneously emitted to air for a special stage production effect, are widely used. We verified whether it is possible to measure the temperature or the received calories of fireballs with a thermocouple and a heat flux meter.

As a result, it was found out that, when measuring the thermal property from a horizontal position, knowing the heat flux using a heat flux meter is effective. In addition, we also found out that, although temperature measurement using a thermocouple would be effective in the vertical direction of the flame, it is difficult to measure it if the ignition position of gas is displaced from the axis of the thermocouple.