

## 防火衣の受熱に関する検証 (第2報)

相河 好江\*, 徳永 敦司\*, 大滝 英一\*, 佐藤 良行\*\*, 鈴木 健司\*\*\*

### 概 要

平成24年度に実施した「防火衣の受熱に関する検証」では、熱流束 $5\text{kW}/\text{m}^2$ から $35\text{kW}/\text{m}^2$ の放射熱を一定時間連続で受け続けた場合には、熱傷の危険性があることを確認した。その結果を踏まえ、本検証では、フラッシュオーバーが発生するような高い熱環境下(熱流束 $10\text{kW}/\text{m}^2$ 以上)ではなく、通常の消火活動時の熱環境下(熱流束 $1\text{kW}/\text{m}^2$ から $10\text{kW}/\text{m}^2$ 以下)における熱傷危険について把握することを目的とした。

その結果、通常の消火活動時の熱環境下であったとしても、放射熱を一定時間連続で受け続けた場合は、II度以上の熱傷を生じる危険性があることを確認した。

### 1 はじめに

一般的に防火衣の耐熱性能は、消防隊員がフラッシュオーバー等の急激な火炎や放射熱に短時間ばく露された時に、その熱環境から退避するまでの時間を確保するための断熱性によって評価されている。従って、ISO<sup>(※)</sup>で定める熱伝達性試験(放射熱ばく露)等では、火炎からの放射熱に短時間にばく露された状態を想定し、放射熱流束(以下「熱流束」という) $40\text{kW}/\text{m}^2$ 及び $80\text{kW}/\text{m}^2$ といった熱量で断熱性の評価を行っている。

しかしながら、消火活動において消防隊員はフラッシュオーバーが発生する危険のある高い放射熱だけではなく、常に一定量の放射熱を受け続けており、長時間一定の放射熱を受け続けた場合には熱傷を生じる可能性が考えられる。平成24年度に実施した「防火衣の受熱に関する検証」<sup>1)</sup>において、熱流束 $5\text{kW}/\text{m}^2$ から $35\text{kW}/\text{m}^2$ の熱環境下では、一定時間放射熱を受け続けた場合には、熱傷の危険が生じることが確認された。

そこで本検証では、通常消火活動中に消防隊が受ける熱環境下(熱流束 $1\text{kW}/\text{m}^2$ から $4\text{kW}/\text{m}^2$ 以下)から、火炎が拡大した時の熱環境下(熱流束 $4\text{kW}/\text{m}^2$ から $10\text{kW}/\text{m}^2$ 以下)について、ばく露時間による、熱傷の発生する危険性を把握することを目的として、検証を実施した。

(※) ISO: 国際標準化機構

### 2 検証方法

#### (1) 検証概要

防火衣及び執務服の生地で構成するモデル試料(以下「試料」という)の表面を、放射熱による熱源に一定時間(600秒)ばく露し、試料の表面側の雰囲気温度及び裏面の温度変化を記録した。

図1に実験概要を示す。

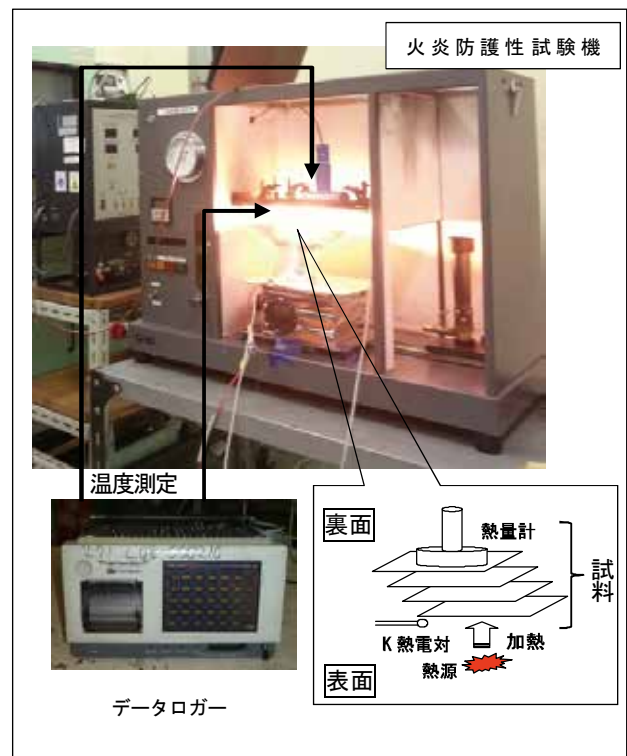


図1 実験概要

#### (2) 測定機器

ISO9151に基づく火炎防護性試験機を使用し、熱源をハロゲンヒーターとした。温度測定にはISO9151熱量計及びK熱電対を使用し、データロガーによりサンプリング周期1秒で記録した。

なお、試料の表面にはK熱電対を設置し、防火衣外部雰囲気温度(以下「防火衣外部温度」という)を、試料

の裏面には IS09151 熱量計を設置し、皮膚表面に相当する執務服内部皮膚表面温度（以下「執務服内部温度」という）をそれぞれ記録した。

測定機器等を図 2 に、測定状況を図 3 にそれぞれ示す。



図 2 測定機器等

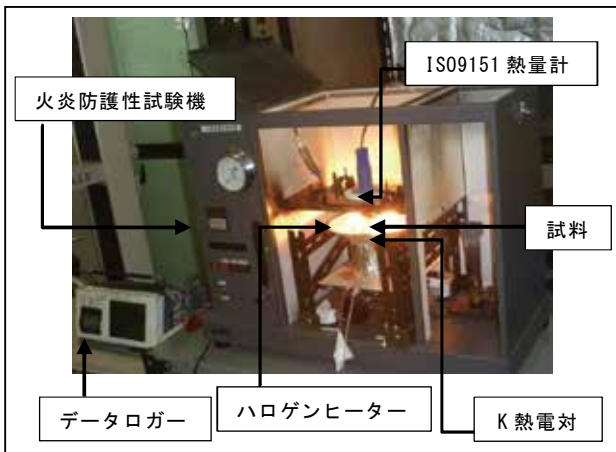


図 3 測定状況

(3) 試料

試料には、当庁で現在使用している一般職員用防火衣（以下「防火衣」という）及び執務服（第2種）に使用して

いる生地を用いた。防火衣を構成する外衣、透湿防水層、裏地及び執務服をそれぞれ15cm四方に切断し、着用した状況と同様になるよう、密着して重ね合わせて試料とした（図4）。試料は、下着を着用していない部分が熱を受け、かつ、それぞれの間に空気層がなかった場合を想定した条件とした。

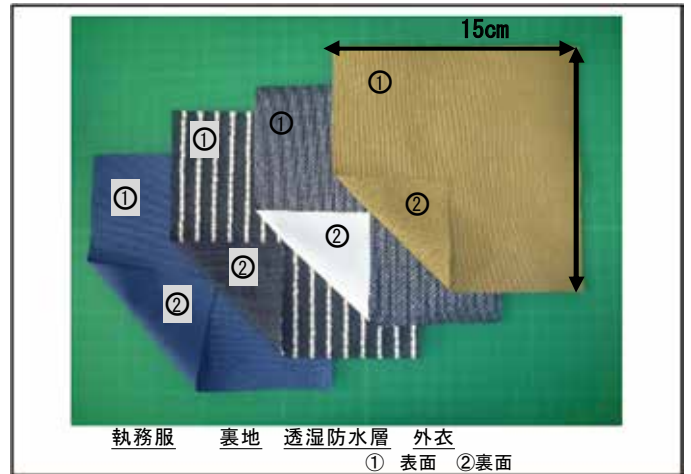


図 4 試料

(4) 実験条件の設定

ア 熱源の熱流束

「消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン」<sup>2)</sup>（以下「ガイドライン」という）に示されている「消火活動における熱環境」において、消防活動時の熱環境を火災初期での消火活動のような低い熱環境から、フラッシュオーバー時の消火活動のような高い熱環境まで4つの領域に分けて示している（表1）。

表 1 消防活動時の熱環境

	熱環境	雰囲気温度 (°C)	熱流束 (kW/m <sup>2</sup> )
①	火災初期及残火処理時の消火活動に相当する熱環境	~100 程度	~1
②	制限を受けない通常の消火活動時の熱環境	100~160 程度	1~4
③	火災が拡大した時の熱環境	160~235 程度	4~10
④	火災に巻き込まれた時及びフラッシュオーバーが発生し、短時間で避難しなければならない高い熱環境	235 程度~	10~

今回の検証では表1より、火災が拡大し、フラッシュオーバーが発生する危険がある10kW/m<sup>2</sup> (235℃程度)を上限値、通常の消火活動の範囲の最小値である1kW/m<sup>2</sup>を下限值とし、1kW/m<sup>2</sup>単位で熱源の熱流束を変化させ測定した。

#### イ ばく露時間

予備検証により、熱流束を1kW/m<sup>2</sup>から10kW/m<sup>2</sup>まで1kW/m<sup>2</sup>ごとに変化させた際の、1秒毎の防火衣外部温度を測定した。

予備検証用試料を熱流束10kW/m<sup>2</sup>の熱源に約600秒(10分)ばく露後、防火衣外部温度が約230℃に達した。表1に示している、火災が拡大した時の熱環境と近い雰囲気温度となったことから、試料のばく露時間を600秒(10分)に設定した。

#### (5) 実施手順

ア 試料位置に設置した熱流束計を用いて、熱源から受ける熱流束の値(kW/m<sup>2</sup>)を測定し、熱源をボルトスライダーにより一定の出力に制御する。

イ 試料を熱源に600秒(10分)ばく露し、ISO9151熱量計及びK熱電対を用いて執務服内部温度及び防火衣外部温度の変化を記録する。

ウ 試料の変色、変形、炭化等の状況を記録する。

上記ア～ウを、熱流束を1kW/m<sup>2</sup>から10kW/m<sup>2</sup>まで、1kW/m<sup>2</sup>ずつ変化させてそれぞれ3回ずつ測定を行い、各熱流束における温度変化の平均値を算出する。

### 3 検証結果

#### (1) 防火衣外部温度

表2に上記実施手順で測定した防火衣外部温度の値を示し、図5にグラフを示す。

なお、表2では縦軸に時間経過(秒)、横軸に熱流束(kW/m<sup>2</sup>)をそれぞれ示す。

#### (2) 執務服内部温度

表3に執務服内部温度の値を示し、図6にグラフを示す。

なお、表3では縦軸に時間経過(秒)、横軸に熱流束(kW/m<sup>2</sup>)をそれぞれ示す。

また、図7に各熱流束の防火衣外部温度及び執務服内部温度をそれぞれ示す。

#### (3) 放射熱伝達指数 (RHTI)

ISO9151等の熱伝達性試験で定める、断熱性を評価する指標である放射熱伝達指数(Radiant Heat Transfer Index (以下「RHTI」という))により、熱傷危険を評価した。

RHTI12は、初期温度から12℃上昇するまでに要する時間(秒)を示す。これは、人間の皮膚の表面温度が平均32℃という前提を基にして、12℃上昇し皮膚に痛みを感じる44℃に達するまでに要する時間を示している。

RHTI24は、初期温度から24℃上昇するまでに要する時間(秒)を示す。これは、同様に、皮膚表面温度が24℃上昇し、II度熱傷を生じる56℃に達するまでに要する時間を示している。

RHTI24-RHTI12は、初期温度から12℃上昇した後、24℃まで上昇するまでに要する時間(秒)を示す。これは、皮膚に痛みを感じた後、II度熱傷を生じる温度に達するまでに要する時間を示している。

表4は、放射熱伝達指数について、RHTI12、RHTI24、RHTI24-RHTI12、(RHTI24-RHTI12)/RHTI12をそれぞれ示したものである。

なお、熱流束1kW/m<sup>2</sup>では、初期温度から24℃以上上昇しなかったため、RHTI24を算出できなかった。

図8は、RHTI12、RHTI24及びRHTI24-RHTI12においてのばく露時間を熱流束で比較したものを示す。

#### (4) 変色、変形状態

図9に試料を各熱流束で600秒ばく露した際の変色状況を示す。

なお、試料の変化は目視により確認した。

熱流束1kW/m<sup>2</sup>から6kW/m<sup>2</sup>においては、表面、裏面共に、変色は確認できなかった。

熱流束7kW/m<sup>2</sup>では、透湿防水層裏面に若干の変色が確認できた。

熱流束8kW/m<sup>2</sup>では、透湿防水層表面及び裏面に若干の変色が確認できた。

熱流束9kW/m<sup>2</sup>、10kW/m<sup>2</sup>では、外衣、透湿防水層ともに、表面及び裏面に若干の変色が確認できた。

なお、どの試料においても、炭化等の破損、裏地及び執務服の変化は確認できなかった。

### 4 考察

#### (1) 熱傷危険

ア 表3より1kW/m<sup>2</sup>において、執務服内部温度は600秒の時点においても約40℃であり、II度熱傷を生じる温度(56℃)に達していなかった。このことから、表1で示す、火災初期や残火処理時に相当する熱環境下においては、熱傷の危険性は低いと考えられる。

イ 1kW/m<sup>2</sup>～4kW/m<sup>2</sup>において、表2及び図5より検証で測定した防火衣外部温度は2kW/m<sup>2</sup>では最大約88℃、4kW/m<sup>2</sup>では最大約125℃であり、表1で示す、制限を受けない通常の消火活動の熱環境下での雰囲気温度100℃～160℃より低い温度を示していた。

また、表4より2kW/m<sup>2</sup>では、RHTI24は221秒、4kW/m<sup>2</sup>では、RHTI24は125秒であった。

このことから、表1で示されている制限を受けない通常の消火活動の熱環境下では、約2分から4分程度放射熱にばく露されれば、II度熱傷の危険があることが考えられる。

表2 防火衣外部温度

時間(秒)	1kW/m <sup>2</sup>	2kW/m <sup>2</sup>	3kW/m <sup>2</sup>	4kW/m <sup>2</sup>	5kW/m <sup>2</sup>	6kW/m <sup>2</sup>	7kW/m <sup>2</sup>	8kW/m <sup>2</sup>	9kW/m <sup>2</sup>	10kW/m <sup>2</sup>
0	24.7	27.6	30.8	31.6	34.5	37.3	39.2	38.2	41.7	43.8
1	24.8	27.8	31.0	33.4	34.6	37.5	39.3	38.4	45.0	44.1
10	32.1	44.7	49.7	61.7	71.9	80.3	90.0	94.4	108.3	118.5
20	38.0	58.1	65.7	78.3	94.3	103.6	123.9	128.4	138.6	150.2
30	41.7	64.3	74.3	88.9	105.3	117.6	137.0	140.9	153.8	169.8
40	44.2	67.6	79.0	94.6	111.6	125.9	142.4	149.4	162.0	175.7
50	45.7	70.2	82.4	98.1	115.5	129.3	147.1	152.6	168.0	181.5
60	46.8	71.7	84.9	101.2	119.4	132.5	150.3	156.5	171.1	186.5
70	47.2	72.7	87.0	103.8	121.2	135.7	152.1	157.9	173.5	188.8
80	48.1	73.8	88.7	105.5	123.7	137.1	152.4	160.7	175.2	188.3
90	48.3	74.6	90.6	105.7	124.7	139.5	153.8	162.3	175.2	188.2
100	49.1	75.2	92.1	107.2	126.1	140.4	154.4	162.8	176.7	190.4
110	48.9	76.1	92.3	108.2	125.7	140.8	155.4	163.8	177.1	189.6
120	49.3	76.8	92.8	109.0	126.3	141.6	156.7	165.0	178.6	192.0
130	49.7	77.2	93.4	109.1	127.4	142.1	158.4	166.6	179.2	192.1
140	50.4	77.4	94.2	110.3	129.1	142.1	158.3	167.2	179.8	195.3
150	51.8	77.7	95.2	111.2	129.7	144.0	159.8	168.3	180.3	194.6
160	51.4	78.3	95.0	112.7	129.9	144.5	159.6	168.9	182.6	195.4
170	51.6	78.3	95.4	113.0	131.0	145.6	160.2	169.1	183.7	194.9
180	50.9	78.5	95.7	113.4	131.3	145.9	162.1	171.5	183.7	196.8
190	51.2	78.8	95.9	113.8	131.2	147.2	161.7	171.2	183.6	198.7
200	52.0	79.8	96.2	114.7	132.2	145.6	163.2	171.9	184.8	197.8
210	51.9	80.5	96.4	114.1	132.6	147.7	164.9	172.7	185.0	198.0
220	52.2	81.4	97.0	115.0	133.2	148.7	164.8	173.0	187.1	198.8
230	52.3	81.9	99.1	115.3	133.7	148.6	164.0	173.8	187.8	198.8
240	52.5	82.6	98.5	115.7	134.6	150.2	163.9	175.1	188.3	200.2
250	52.6	82.5	98.7	116.5	135.4	151.0	165.4	174.7	188.3	201.0
260	52.9	82.2	98.5	116.6	135.6	151.2	166.9	176.7	189.8	202.4
270	53.1	81.8	99.0	116.9	135.8	151.7	166.4	177.3	191.4	203.9
280	53.2	82.7	99.4	117.2	136.0	151.4	167.3	178.2	192.5	204.6
290	52.7	83.4	99.7	117.6	135.6	152.3	168.2	179.8	191.6	203.1
300	53.2	83.6	100.5	118.0	136.4	153.0	168.2	179.4	192.2	204.1
310	53.4	83.9	101.4	118.3	138.1	153.4	169.0	179.9	191.9	208.2
320	53.5	83.4	101.1	118.2	139.2	153.8	170.6	180.5	191.8	208.2
330	53.4	83.3	101.5	119.9	138.7	153.6	170.7	181.6	193.0	208.0
340	53.4	83.5	101.2	120.1	138.4	155.1	170.5	181.7	196.0	210.2
350	53.5	83.7	101.4	120.5	139.3	156.7	171.3	180.8	195.5	208.6
360	53.3	84.0	101.4	120.5	138.8	155.4	170.6	181.1	195.0	209.1
370	53.7	84.6	102.1	120.5	140.0	155.8	170.8	182.1	195.2	208.5
380	54.8	84.8	102.2	120.8	139.5	156.6	170.9	183.9	195.7	209.4
390	54.0	85.5	102.2	121.8	140.5	157.1	172.3	183.0	196.9	210.7
400	54.8	85.1	102.3	121.3	139.9	157.6	172.7	182.9	197.2	210.2
410	54.8	85.4	102.6	121.3	140.2	156.5	173.5	184.2	197.5	210.9
420	54.9	85.4	102.9	122.1	141.3	158.4	172.5	186.6	198.3	212.3
430	54.9	85.8	103.1	122.2	141.7	158.2	173.8	183.5	196.9	214.7
440	54.9	86.1	103.5	122.1	142.3	157.9	173.9	185.8	197.8	214.2
450	55.1	86.5	103.9	122.3	142.9	158.4	173.1	184.8	198.4	212.0
460	55.4	86.5	104.5	122.4	142.1	158.2	174.2	185.0	200.2	214.1
470	55.4	87.0	104.1	123.2	142.0	157.3	175.4	184.8	202.3	212.4
480	55.0	86.6	103.4	123.3	143.0	158.1	174.9	185.6	201.0	214.5
490	55.7	86.7	104.3	123.2	143.0	159.8	175.9	188.4	199.2	214.2
500	55.4	86.5	104.3	123.4	142.9	159.2	176.5	187.4	198.8	216.3
510	55.3	86.9	104.8	124.4	144.5	159.4	177.0	187.1	200.9	213.6
520	55.9	87.0	105.2	124.2	143.7	159.4	178.2	187.6	202.8	211.1
530	56.0	87.1	105.4	124.6	144.3	160.2	177.1	188.7	201.6	215.9
540	55.6	87.2	105.8	124.3	144.5	162.0	176.1	188.5	203.6	217.5
550	55.6	87.5	105.6	124.9	143.5	161.7	177.8	190.6	202.8	215.2
560	56.8	87.4	105.8	124.3	144.7	161.9	178.7	191.7	203.2	216.5
570	57.3	87.5	105.5	124.1	145.1	162.2	178.5	191.3	203.9	217.3
580	57.2	87.8	106.7	124.8	143.7	162.2	178.4	191.8	204.6	217.0
590	56.4	87.5	106.5	125.0	144.8	161.8	179.8	191.8	207.5	216.6
600	56.6	88.0	106.2	125.2	144.6	162.4	182.2	190.9	204.0	218.4

表3 執務服内部温度

時間(秒)	1kW/m <sup>2</sup>	2kW/m <sup>2</sup>	3kW/m <sup>2</sup>	4kW/m <sup>2</sup>	5kW/m <sup>2</sup>	6kW/m <sup>2</sup>	7kW/m <sup>2</sup>	8kW/m <sup>2</sup>	9kW/m <sup>2</sup>	10kW/m <sup>2</sup>
0	21.2	20.1	20.5	20.5	23.5	25.0	25.4	25.4	25.3	27.8
1	21.2	20.1	20.6	20.5	23.5	25.0	25.5	25.5	25.4	27.8
10	21.3	20.3	20.9	21.0	24.0	25.6	26.1	26.2	26.5	28.8
20	21.6	21.2	21.9	22.5	25.9	27.8	28.8	29.2	30.0	32.7
30	22.2	22.4	23.4	24.5	28.5	30.9	32.4	33.2	34.8	38.0
40	22.7	23.8	25.2	26.7	31.3	34.4	36.5	37.8	39.9	43.9
50	23.3	25.2	27.1	29.0	34.3	37.9	40.7	42.5	45.2	49.8
60	23.9	26.6	28.9	31.3	37.2	41.4	44.8	47.1	50.2	55.4
70	24.5	28.0	30.7	33.5	40.1	44.8	48.8	51.5	55.0	60.9
80	25.0	29.3	32.3	35.6	42.9	48.2	52.6	55.8	59.7	66.2
90	25.6	30.5	34.1	37.8	45.6	51.4	56.3	59.9	64.3	71.4
100	26.1	31.8	35.7	39.8	48.3	54.6	59.9	64.0	68.7	76.4
110	26.6	33.0	37.4	41.7	50.8	57.6	63.4	68.0	73.1	81.3
120	27.2	34.1	38.9	43.6	53.4	60.6	66.9	71.9	77.3	86.1
130	27.7	35.2	40.4	45.5	55.8	63.5	70.2	75.5	81.4	90.7
140	28.1	36.3	41.9	47.4	58.1	66.2	73.4	79.1	85.3	95.1
150	28.6	37.3	43.3	49.1	60.4	68.9	76.4	82.7	89.1	99.4
160	29.0	38.4	44.7	50.8	62.6	71.5	79.4	86.0	92.8	103.6
170	29.4	39.4	46.0	52.5	64.7	74.0	82.3	89.3	96.4	107.6
180	29.9	40.3	47.3	54.1	66.8	76.4	85.1	92.5	99.9	111.5
190	30.3	41.2	48.6	55.6	68.8	78.7	87.8	95.6	103.2	115.2
200	30.7	42.2	49.8	57.1	70.8	81.0	90.5	98.5	106.5	118.8
210	31.0	43.0	51.0	58.6	72.6	83.1	93.0	101.4	109.5	122.2
220	31.4	43.9	52.1	60.0	74.4	85.2	95.5	104.3	112.6	125.5
230	31.8	44.7	53.2	61.4	76.0	87.2	97.8	106.9	115.4	128.7
240	32.1	45.5	54.3	62.7	77.8	89.2	100.2	109.5	118.2	131.7
250	32.5	46.3	55.3	64.0	79.4	91.1	102.4	112.0	120.9	134.7
260	32.8	47.1	56.3	65.2	81.0	93.0	104.5	114.4	123.5	137.5
270	33.1	47.8	57.2	66.4	82.5	94.8	106.6	116.8	126.0	140.3
280	33.4	48.5	58.2	67.6	84.0	96.5	108.6	119.0	128.4	142.9
290	33.7	49.2	59.1	68.8	85.4	98.1	110.6	121.2	130.7	145.4
300	34.0	49.9	60.0	69.9	86.8	99.8	112.4	123.2	132.9	147.9
310	34.2	50.5	60.8	71.0	88.2	101.4	114.3	125.2	135.1	150.3
320	34.5	51.2	61.7	72.0	89.5	102.9	116.0	127.1	137.2	152.6
330	34.8	51.8	62.5	73.0	90.8	104.4	117.7	129.1	139.2	154.8
340	35.0	52.4	63.3	74.0	92.0	105.8	119.3	130.9	141.2	156.9
350	35.2	53.0	64.2	75.0	93.2	107.2	120.9	132.7	143.1	158.9
360	35.5	53.6	64.9	75.9	94.4	108.5	122.4	134.5	144.9	160.9
370	35.7	54.1	65.6	76.9	95.5	109.8	123.9	136.1	146.7	162.8
380	36.0	54.6	66.4	77.8	96.6	111.0	125.3	137.7	148.4	164.6
390	36.2	55.2	67.0	78.6	97.7	112.3	126.7	139.3	150.1	166.4
400	36.5	55.7	67.7	79.5	98.7	113.5	128.1	140.8	151.7	168.1
410	36.6	56.2	68.4	80.3	99.8	114.6	129.4	142.3	153.2	169.8
420	36.8	56.7	69.0	81.1	100.8	115.7	130.6	143.7	154.8	171.5
430	37.0	57.1	69.6	81.8	101.7	116.8	131.9	145.1	156.2	173.1
440	37.2	57.6	70.2	82.7	102.6	117.8	133.1	146.4	157.7	174.5
450	37.4	58.1	70.9	83.4	103.5	118.8	134.3	147.6	159.0	176.0
460	37.6	58.5	71.4	84.1	104.4	119.8	135.4	148.9	160.4	

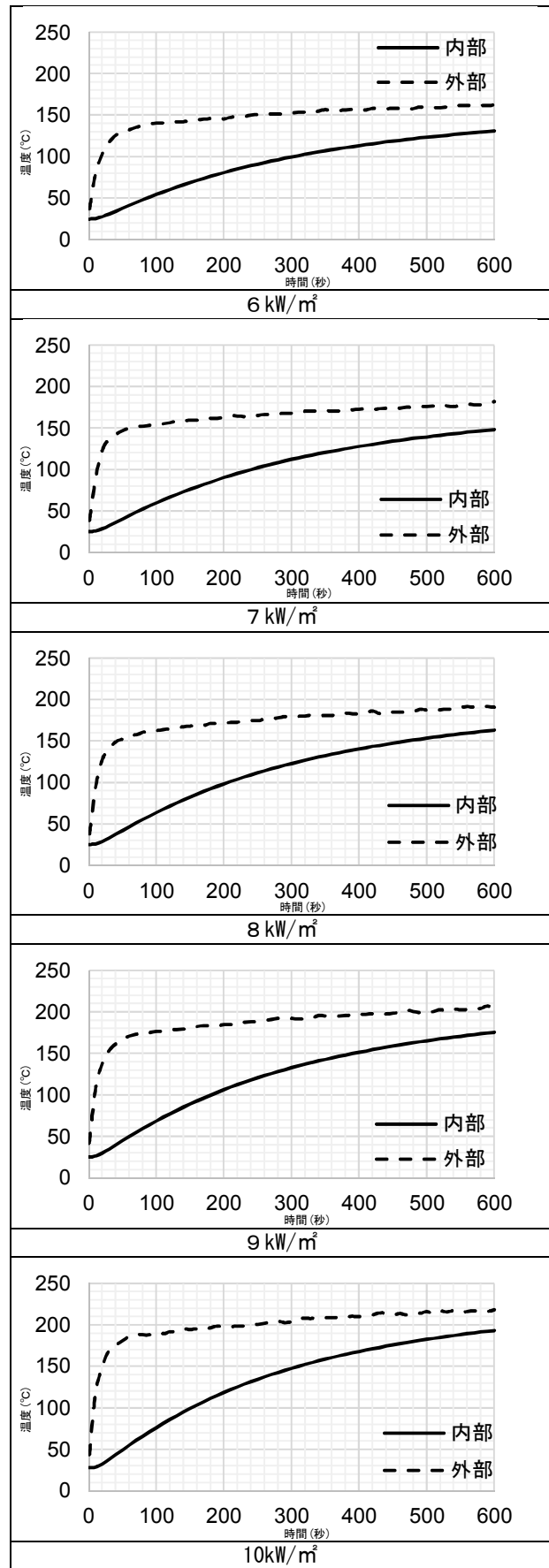
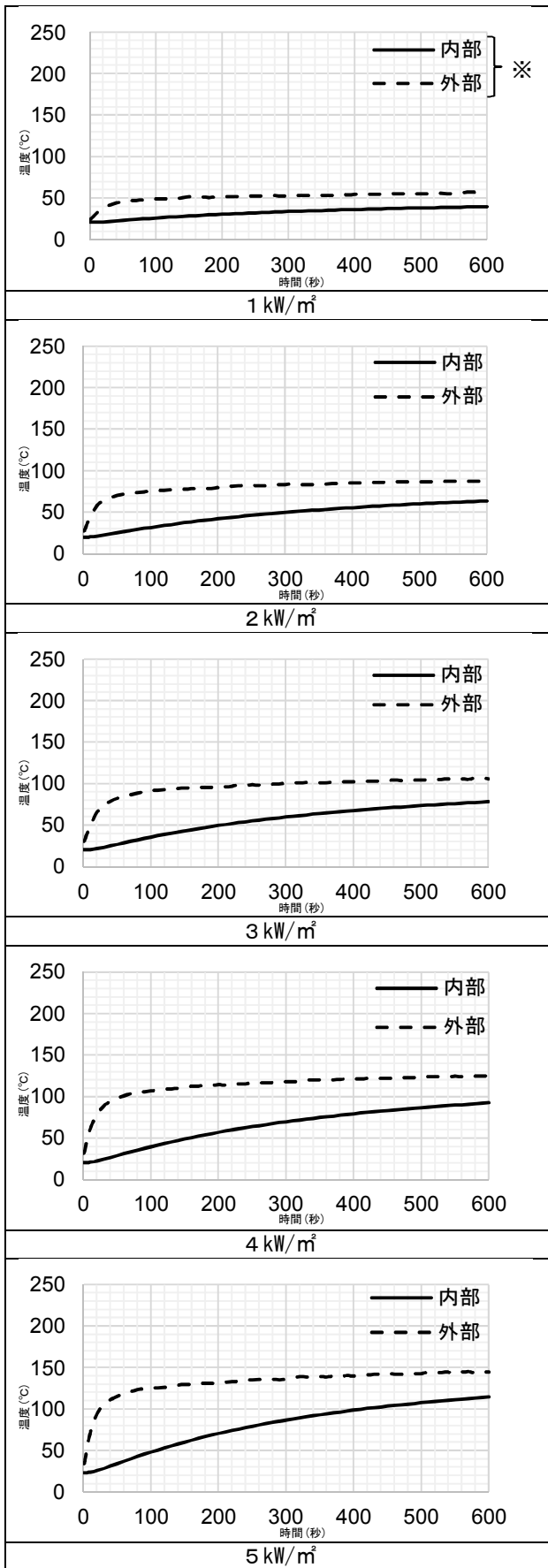


図7 防火衣外部温度及び執務服内部温度

※ 内部：執務服内部温度  
外部：防火衣外部温度

熱流束 kW/m <sup>2</sup>	RHTI 12(秒)	RHTI 24(秒)	RHTI24- RHTI12 (秒)	(RHTI24-RHTI12) /RHTI12	RHTI24に達する 防火衣外部温(°C)
1					
2	102	221	119	1.17	81.4
3	81	159	78	0.96	95.2
4	66	125	59	0.89	109.1
5	54	97	43	0.79	125.3
6	48	83	35	0.73	137.7
7	41	71	30	0.73	151.4
8	38	64	26	0.68	156.7
9	35	57	22	0.62	171.3
10	33	52	19	0.57	182.5

表4 放射熱伝達指数の比較

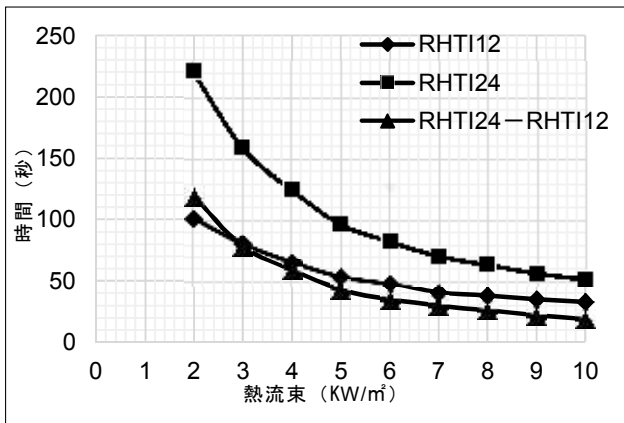


図8 放射熱伝達指数の比較

ウ 4 kW/m<sup>2</sup>~10kW/m<sup>2</sup>において、表2及び図5より検証で測定した防火衣外部温度は4 kW/m<sup>2</sup>では前イのとおり最大約125°C、10kW/m<sup>2</sup>では最大約220°Cであり、表1で示す、火災が拡大した時の熱環境下での雰囲気温度160°C~235°Cより低い温度を示していた。

また、表4より10 kW/m<sup>2</sup>では、RHTI24は52秒であった。

従って、表1に示す火災が拡大した時の熱環境下では、約1分から2分程度放射熱にばく露されれば、II度熱傷の危険があることが考えられる。

熱流束		1kW/m <sup>2</sup> ~ 6kW/m <sup>2</sup>	7kW/m <sup>2</sup>	8kW/m <sup>2</sup>	9kW/m <sup>2</sup>	10kW/m <sup>2</sup>
表面	裏面	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変色 	変色 
	表面	変化なし 	変化なし 	変色 	変色 	変色 
裏面	裏面	変化なし 	変化なし 	変色 	変色 	変色 
	表面	変化なし 	変色 	変色 	変色 	変色 
表面	裏面	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 
	表面	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 
裏面	裏面	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 
	表面	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 	変化なし 

図9 試料の変色状況

(2) 放射熱による皮膚の痛みを感じる時間とII度熱傷に至る時間との関係

本検証の条件下では、表4及び図8に示すとおり熱流束3~10kW/m<sup>2</sup>において、放射熱伝達指数RHTI12とRHTI24-RHTI12ではRHTI24-RHTI12の方が小さい値を示しており、放射熱を受けてから痛みを感じるまでの時間よりも、痛みを感じてからII度熱傷に至る時間のほうが短い。

従って、表1に示す、制限を受けない通常の消火活動の熱環境下であっても、熱流束 $3\text{ kW/m}^2$ 付近を超えると、痛みを感じてからⅡ度熱傷を生じるまでの時間の方が短いことが確認できる。

### (3) 防火衣の変色について

図9及び表3より、防火衣等の変色、変形が目視で確認できなかった熱流束であっても、執務服内部の皮膚表面温度は熱傷危険のある温度まで達していることが確認できた。

## 5 まとめ

(1) フラッシュオーバーが発生するような高い熱環境ではなく、消火の際に活動に制限を受けない熱環境下であったとしても、最長約4分程度連続で放射熱を受け続けられればⅡ度熱傷の危険性がある。通常の消火活動においても、放射熱により、熱傷を生じる危険性が常にあることを意識する必要がある。

(2) 制限を受けない通常の消火活動時の熱環境においても、皮膚表面に熱傷による痛みを感じ始めてから、Ⅱ度熱傷になる危険性までの時間が相対的に短くなる。消火活動中、皮膚表面に熱傷による痛みを感じ始めた場合、早期に熱環境からの退避が必要である。

(3) 通常の消火活動においても、最長約4分程度連続で放射熱を受ける熱環境下では、防火衣表面の変色及び変形等の損傷が目視で確認できない場合においても、防火衣内部は熱傷を負う危険性がある。防火衣表面に変化がなくとも、皮膚表面に熱傷による痛みを感じ始めた場合、早期に熱環境から退避し、防火衣等を離脱後、熱傷の有無について確認する必要がある。

## 6 おわりに

本検証では、熱流束が $2\text{ kW/m}^2\sim 10\text{ kW/m}^2$ の通常の消火活動時の熱環境下であったとしても、放射熱を一定時間連続で受け続けた場合は、Ⅱ度以上の熱傷を生じる危険性があることを確認した。

今後、本検証で実施した条件以外に、

- (1) 消火活動時の放水のため防火衣表面が濡れた状況
- (2) 消火活動時の発汗のため執務服内部が濡れた状況
- (3) 重ね合わせる試料の枚数の増加による、執務服内部温度の変化
- (4) 試料間の空気層の有無による、執務服内部温度の変化

以上の条件を付与した場合の熱傷危険の評価についても検討する余地がある。

### [ 参考文献 ]

- 1) 佐藤良行他：防火衣の受熱に関する検証、消防技術安全所報50号、pp.2-8、平成25年10月
- 2) 総務省消防庁：消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン、平成23年5月



# Study Related to the Heat Resistance of Fire Protective Clothing (Second Report)

Yoshie AIKAWA\*, Atsushi TOKUNAGA\*, Hidekazu OTAKI\*,

Yoshiyuki SATOU\*\*, Kenji SUZUKI\*\*\*

## Abstract

“The Study Related to the Heat Resistance of Fire Protective Clothing” conducted in 2012 identified the existence of the risk of the burn injuries after continuous exposure to radiant heat with a heat flux between 5 kW/m<sup>2</sup> and 35 kW/m<sup>2</sup>.

Based on these results, this new study’s goal was to determine the risk of burn injuries not under the high-temperature thermal environments in which flashovers may occur (i.e., a heat flux of 10 kW/m<sup>2</sup> or over), but rather under the thermal environments of ordinary firefighting operations (i.e., a heat flux between 1 kW/m<sup>2</sup> and 10kW/m<sup>2</sup>).

This study confirmed that even under the thermal environment of ordinary firefighting operations, if radiant heat is applied continuously for a certain length of time, there are risks that second-degree burns or worse injuries may occur.