

高温・高湿度環境下における身体暴露に関する研究

Study of fire fighters' physiological limitation under hot and humid environment

染 谷 茂 美*
 正 木 豊*
 河 田 正*

概 要

本研究では、火災現場での熱傷防止研究の一環として、木材を燃焼させた室内や温・湿度が自由に設定できる熱環境室において、消防職員の高温・高湿度環境下での滞在限界実験を行った。

この実験で得た主な結果については、次のとおりである。

1. 高湿度環境下で熱中症や熱傷が発生すると考えられる領域は、暴露時間にもよるが、50°Cまでは熱中症、55°C付近は熱中症と熱傷の発生境界、60°C以上は熱傷の発生危険領域とみることもできる。
2. 火災室の温度は、床面からの高さにより相当異なるので、熱傷防止の点から低い姿勢で行動することは重要である。
3. 援護注水なく活動できる熱気の温度は、60°C（床面から高さ1 m）が限界であると考えられる。

The information of fire fighters' physiological limitation under hot and humid environment is essential to proper fire fighting on the fire scene. The study tried to find the limitation through fire tests and tests in the hot chamber. The findings were as follows.

1. When fire fighters are exposed to high humidity for a certain time, they would be burned if the temperature is 60°C or more and would surely suffer a heat stroke if the temperature is 50°C or less. The gray zone for both damages is between 50°C and 60°C.
2. The temperature near the floor is relatively low in the burning room. Fire fighters are required to fight by assuming lower posture to prevent a burn on the fire scene.
3. The temperature of 60°C is the upper limit for fire fighting if water is not applied to protect fire fighters.

1 はじめに

本実験は、火災現場での熱傷防止研究の一環として、実際に木材を燃焼させた室内や温度・湿度が自由に設定できる熱環境室で消防隊員の滞在限界を明らかにすることを目的として実施したものである。

2 実験区分

- (1) 実大火災規模の環境下での実験（実験1、実験2）
- (2) 温度・湿度が設定できる熱環境室での実験（実験3）

3 場所

- (1) 実験1 多摩市落合4000 旧友人館病院建物
- (2) 実験2 葛飾区高砂1-1 第七消防方面訓練場

*第四研究室

- (3) 実験3 渋谷区幡ヶ谷1-13-20消防科学研究所
 第四研究室医学実験室（熱環境室）

4 実施日または期間

- (1) 実験1 平成5年7月20日
- (2) 実験2 平成5年12月8日
- (3) 実験3 平成5年10月14日より11月30日まで

5 方法

- (1) 実験1について

ア 実験室等

実験室は奥行き8.5m、横2.1m（一部2.6m）高さ2.4mであり、被験者の出入口以外の給排気口は全て不燃材で覆った。写真1は室内の状況、図1は平面概要図である。この実験室内の中央よりやや奥に、火災荷重に相当する燃焼材として井桁状に組んだ杉材（長さ90cm、縦4.5cm、横3.6cm）135本ずつを2箇所に分けて設置した。



写真1 実験室内の状況

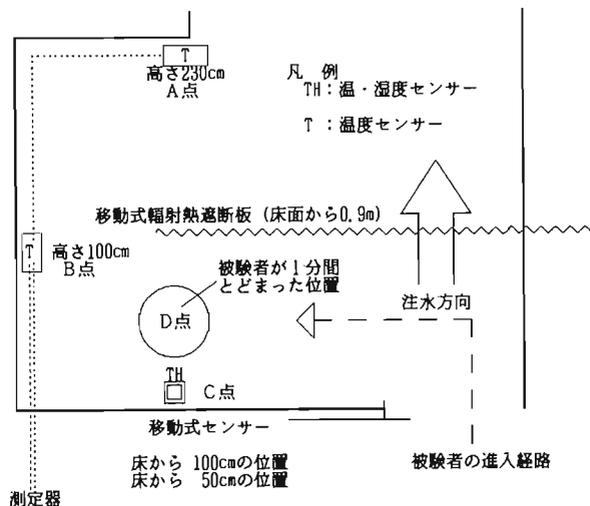


図2 旧友人館病院建物入口付近拡大図

イ 被験者の高温高湿暴露時期等

被験者として、警防隊員4名(被験者No1~4)の協力を得た。

燃焼材に点火後、A点(測定点等については図2参照、以下同じ。)の床面から高さ2mの測定点の温度が500°Cに達し、かつ視認で最盛期と認められる時期に注水を開始した。注水は、被験者とは別の隊員が行った。その後、数回注水を繰り返し、B点の床から1mの高さの温度が100°C程度に低下するのを待って、普通火災出場時のアルミックス現用防火外とうなどを着用し、さらに空気呼吸器を装着した被験者が実験室内に進入し、折り膝姿勢でD点に位置した。被験者の暴露時間は1分間とした。暴露実験終了直後、被験者に熱さ感などに関するアンケート調査を行った。

熱さ感などのアンケート調査質問事項

- (1) 中の熱さは、どの位でしたか。
- (2) 身体のどの部分が特に熱く感じましたか。
- (3) あとどの位、続けられますか。

(2) 実験2について

ア 実験室等

実験室は縦3.8m、横2.8m、天井までの高さは約2.9mの広さである。写真2はその外観、図3はその平面概要である。この実験室には、被験者の出入口以外に検索用煙道に通じる出入口があり、その上部には給排気口がある。また、実験室に隣接する燃焼炉上には、実験1と同様に杉材135本を井桁状に組み、その上に敷・掛布団を1枚ずつ置い

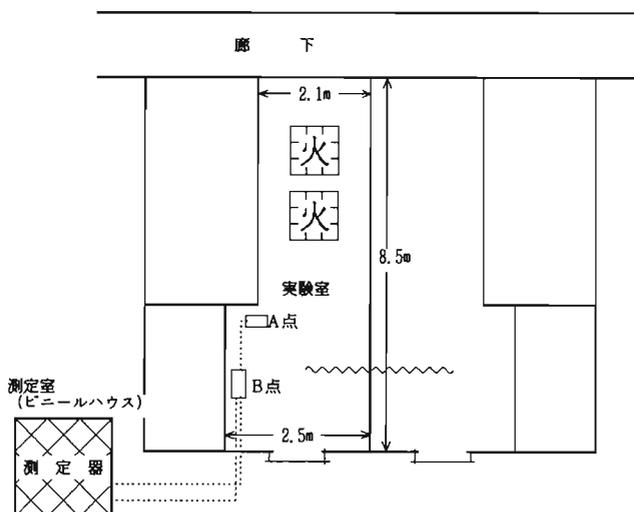


図1 実験室概要(旧友人館病院建物平面図)

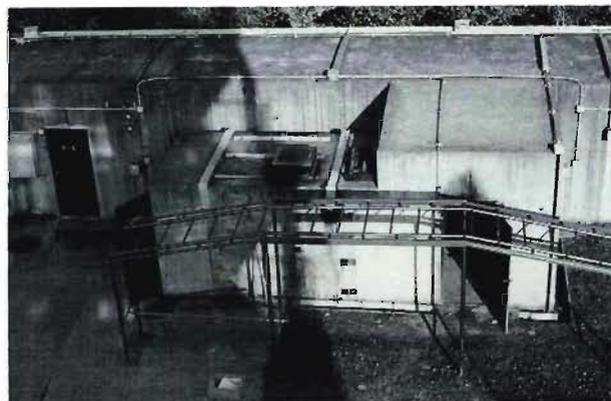


写真2 実験室の外観

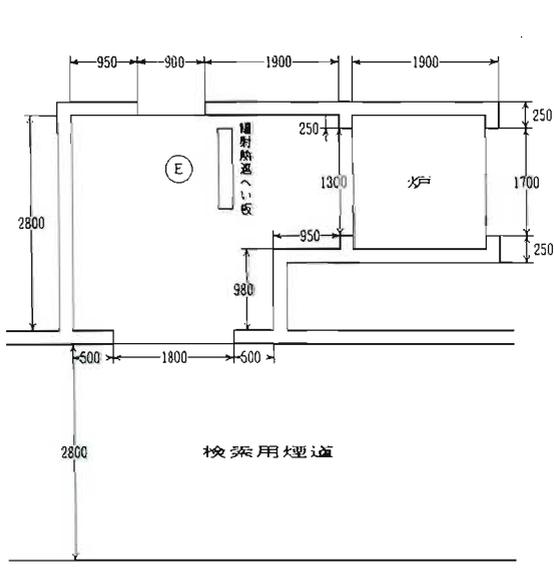


図3 実験室概要（第七消防方面訓練場平面図）

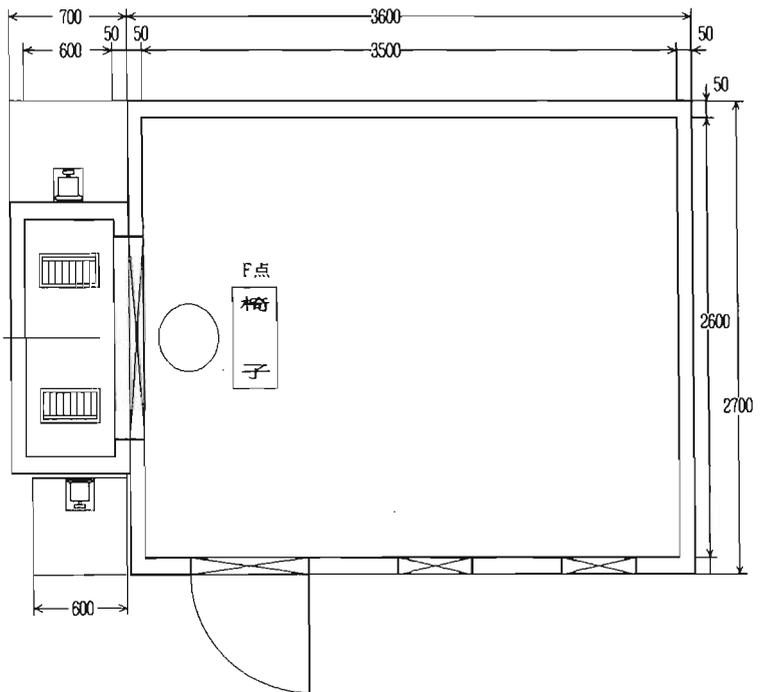


図4 実験室概要（消防科学研究所熱環境室）

た。

イ 被験者の高温高湿暴露時期等

被験者として、警防隊員9名(被験者No5～13)の協力を得た。

高温環境の設定方法や注水の時期、被験者の暴露室への入室時期は実験1と同様としたが、被験者の暴露時間は、被験者自身の熱さ感などを聞きながら決定した。なお、暴露実験終了後、実験1と同様にアンケート調査を行った。

(3) 実験3について

ア 実験室等

実験室は幅3.6m、奥行き2.7m、高さ2.3mであり、温度は-20℃から+80℃まで、湿度は30%から90%まで設定可能である。写真3はこの外観、図4はこの実験室の平面概要である。

暴露環境として、温度は、過去の実験や安全を考慮し50℃から5℃間隔で65℃まで上昇させ、湿

度は70%から10%間隔で90%まで上昇させた。

イ 被験者の高温高湿暴露の状況

被験者として、消防科学研究所の研究員5名(被験者No14～18)の協力を得た。

被験者は、①実験1と同じ服装条件及び②防火外とう・空気呼吸器を着脱した状態(執務服のみ)、の2種類に関して、F点の椅子に座り、限界に達するまで高温高湿暴露を受けた。

6 実験結果

(1) 実験1の結果

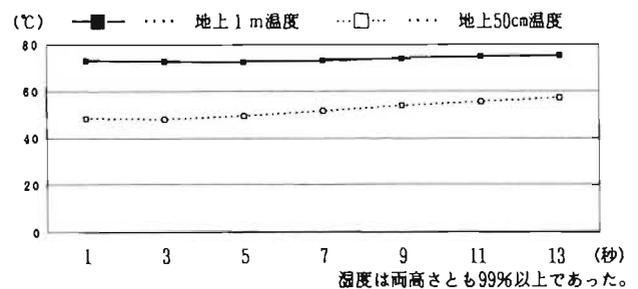


図5 被験者No.2の暴露温度(°C)



写真3 実験室の外観

当日の天候は小雨、午後2時の気温は20°Cであった。被験者No 2は、4名中ただ1名、所定の退出時間前に退出した者であり、図5は、そのときのC点での温・湿度センサーがとらえた値である。この温・湿度センサーは、移動可能であり、被験者がD点に

位置する直前に実験室内に差し込んだ。測定結果は、表1のとおりである。被験者No 2の暴露環境のうち、温度は、床面からの高さ50cmで49°Cから57°C、同1mの高さで72°Cから75°Cである。また、湿度は床面からの高さが50cm及び1mともに99%以上である。

表1 実験1における暴露温・湿度

単位：温度(°C)、湿度(%)

		5秒	10秒	15秒	20秒	25秒	30秒	35秒	40秒	45秒	50秒	55秒	60秒	アンケート回答	
被験者 No 1	1 m	温度	63.6	62.9	62.8	62.7	62.8	63.4	63.7	64.0	64.1	64.2	64.4	64.8	(1)かなり熱かった (2)防火衣等で保護されていない部分 (3)あと2～3分
		湿度	100	100	100	100	100	100	100	99.8	99.6	99.2	98.8	98.1	
	50cm	温度	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	29.0	29.0	28.9	29.0	29.0	29.1	
		湿度	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
被験者 No 2 ※	1 m	温度	72.7	74.5	75.3										(1)かなり熱かった (2)耳や首のまわり (3)これ以上いられない
		湿度	99.7	99.2	99.0										
	50cm	温度	49.4	54.7	56.4										
		湿度	100	100	100										
被験者 No 3	1 m	温度	75.2	75.1	75.1	75.0	75.0	74.9	74.8	74.8	74.7	74.6	74.6	76.5	(1)かなり熱かった (2)耳や首のまわり (3)あと1分位
		湿度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	50cm	温度	39.3	39.1	38.9	38.7	38.4	38.1	37.8	37.5	37.1	36.8	36.5	36.2	
		湿度	100	97.8	96.4	93.6	89.5	85.2	80.9	76.4	73.6	71.0	69.5	66.0	
被験者 No 4	1 m	温度	46.3	45.9	45.4	45.0	44.6	44.2	43.8	43.4	43.0	42.6	42.2	41.9	(1)かなり熱かった (2)顔 (3)あと30秒位
		湿度	63.0	62.6	62.6	62.6	63.8	63.9	64.3	65.0	65.1	65.4	64.8	64.5	
	50cm	温度	29.9	29.7	29.6	29.5	29.4	29.3	29.1	29.0	28.9	28.8	28.7	28.6	
		湿度	79.0	79.0	79.1	79.7	80.0	80.3	80.4	80.7	80.8	80.7	80.6	80.4	

※被験者No 2の最終数値にあつては、経過時間13秒のもの。

被験者No 2は、1分間室内にとどまることができず、約13秒で暴露実験を中止し、熱さ感等について「かなり熱い」、「耳や首のまわりが特に熱い」と回答している。

折り膝姿勢での頭部は、床面からの高さが1mに達していないことや、耳の位置などはさらに低いことなどから、暴露温度は70°C以下であると推測される。

(2) 実験2の結果

実験日の天候は雨、午後2時の気温は7°Cであった。

被験者の暴露時間については、実験室内の環境条

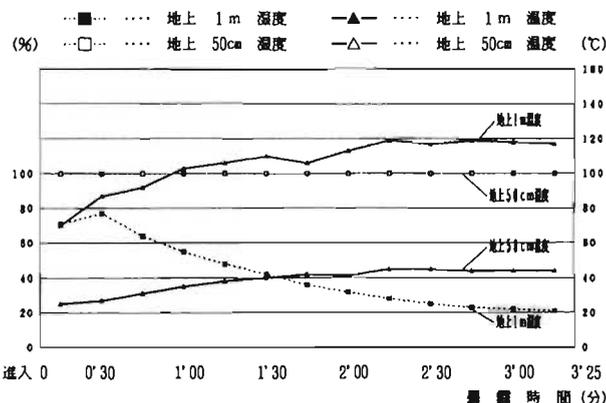


図6 被験者No.13の暴露環境

件をもとに被験者の安全を考慮し、被験者ごとに任意に設定した。アンケート結果から9名の被験者のうち、熱さ感を最も感じたのは被験者No13であった。図6は、被験者No13の実験時の温・湿度を示したものである。この温・湿度の測定では、被験者に移動用の温・湿度センサーを持たせ、図3のE点に位置させた。E点での測定結果は表2のとおりである。

被験者No13の暴露環境は、床面から高さ50cmの温度は27°Cから45°C、湿度は100%、同じく1mの点では87°Cから118°C、湿度は77%から22%であった。さらに、参考までに設置した1.3m地点のセンサーは、100°Cから190°Cを示した。

これらの温度や湿度の変化を子細にみると、温度は注水直後に急激に低下し、注水を停止すると、徐々に上昇した。一方、湿度は温度とは逆に注水直後、

急激に上昇し注水を停止すると、徐々に低下した。

以上のことから、火災室には火勢による急激な温度の上昇や注水による水分量の激しい変化が起きていたことがわかる。

次に熱さ感についてみると、実験当日は雨天で、気温も低く肌寒かったため、熱気内で熱さを感じるのに時間がかかる状況であった。アンケート調査から、暴露時間の経過とともに、「耳」、「手」や「頬」などの耐熱保護の弱い部分に熱さ感を訴えていることが明らかになった。なかでも「耳」は汗腺がないため、最も早く痛みを感じる特徴を示した。この痛みは、皮膚温度が45°C以上に達すると起こるといわれていることからみて、痛みを感じた被験者の皮膚は、この温度に近かったものと考えられる。

表2 実験2における暴露温・湿度

単位：温度(°C)、湿度(%)

		0'30	1'00	1'30	2'00	2'30	3'00	3'30	4'00	4'30	5'00	暴露時間	アンケート回答	
被験者 No 5	1 m	温度 湿度	85 94	118 94	142 96							1分30秒	(1)やや熱い (2)耳 (3)あと3分位	
	50cm	温度 湿度	26 100	28 100	31 100									
被験者 No 6	1 m	温度 湿度	86 95	146 95	148 96	149 75	142 61					2分30秒	(1)熱かった (2)耳 (3)あと5分	
	50cm	温度 湿度	19 100	27 100	34 100	34 100	36 100							
被験者 No 7	1 m	温度 湿度	94 93	129 94	122 87	117 74	125 62	125 45				3分00秒	(1)やや熱かった (2)手、頭部 (3)あと2分	
	50cm	温度 湿度	26 100	26 100	29 100	31 100	29 100	31 100						
被験者 No 8	1 m	温度 湿度	53 80	97 91	105 88	101 79	98 71	94 60	82 51	82 47	91 42	91 37	5分00秒	(1)やや熱かった (2)耳、頬、手 (3)あと5分
	50cm	温度 湿度	19 93	25 100	27 100	28 100	30 100	29 100	26 100	27 100	29 100	28 100		
被験者 No 9 [※]	1 m	温度 湿度	107 94	122 96	— —	55秒	(1)やや熱かった (2)耳、首 (3)あと2分							
	50cm	温度 湿度	23 100	28 100	— —			— —						
被験者 No10	1 m	温度 湿度	82 94	93 96	104 97	110 97						2分00秒	(1)やや熱かった (2)頬、手の間接 (両手) (3)あと5分	
	50cm	温度 湿度	24 100	35 100	38 100	43 100								
被験者 No11	1 m	温度 湿度	82 84	95 69	100 60	95 46						2分00秒	(1)熱かった (2)耳 (3)あと1分	
	50cm	温度 湿度	32 100	37 100	39 100	41 100								
被験者 No12	1 m	温度 湿度	94 54	108 42	116 33	118 26						2分05秒	(1)熱かった (2)耳、頬、手、 首、おでこ (3)あと1分	
	50cm	温度 湿度	31 100	38 100	39 100	43 100								
被験者 No13	1 m	温度 湿度	87 77	103 55	110 42	113 32	117 25	118 22				3分25秒	(1)熱傷しそうだ (2)上肢、面体か らはみでた部 分 (3)あと2分	
	50cm	温度 湿度	27 100	35 100	40 100	41 100	45 100	44 100						

※被験者No9 については、55秒の時点で技術的トラブルにより以後計測不能となった。(最終数値は、55秒時のもの)

(3) 実験3の結果

表3は、消防活動時の装備で温度50°Cから65°Cまで、湿度70%から90%までの環境下で暴露した時の被験者の平均滞在限界時間である。

表3 平均滞在限界時間（防火服着用）

		温度			
		50°C	55°C	60°C	65°C
湿度	70%	不実施	28分00秒	14分42秒	6分06秒
	80%	30分00秒	21分48秒	7分30秒	3分13秒
	80%	30分00秒	21分48秒	7分30秒	3分13秒
	90%	30分00秒	15分00秒	3分19秒	1分30秒

温度50°C、湿度90%では、滞在限界時間30分であり、被験者は、熱傷への懸念より蒸し暑さの不快感と急激な体温の上昇を感じており、熱傷より熱中症の危険を訴えた。一方、温度55°C、湿度90%では、滞在限界時間は15分であり、被験者は、体温の上昇も感ずるが股間などの耐熱保護されていない部分の熱さに耐えきれず実験を途中で中止しており、熱傷危険が発生していたものと考えられる。

体温上昇については、温度55°C、湿度90%、10分間暴露で37.9°Cであった被験者の体温は、温度50°C、湿度90%、30分間暴露で39.7°Cとなった事例からも明らかのように、体温を上昇させる要素として、温度や湿度に加えて暴露時間が相当影響を及ぼしているといえる。

以上の結果から考察すると、飽和状態に近い高湿度環境下での熱中症及び熱傷防止の目安として温度をみると、暴露時間にもよるが、50°Cまでは熱中症の発生危険領域と考えられる。また、55°C付近が、熱中症と熱傷の発生境界領域、60°C以上は熱傷発生危険領域とみることができる。

表4は、実験3の環境条件で防火服を着用せず行った場合の結果を示している。

湿度90%の滞在限界時間をみると、50°Cでは9分36秒、55°Cでは2分30秒、60°Cでは23秒であり、65°Cの場合は熱傷危険があるため実施できなかった。

以上のように、防火服や呼吸器を着装した場合と着装しない場合とでは、暴露時間に圧倒的な差が現れており、防火服や呼吸器が消防隊員を熱気から保護していることが実証された。

表4 平均滞在限界時間（防火服着用なし）

		温度			
		50°C	55°C	60°C	65°C
湿度	70%	24分20秒	13分30秒	3分00秒	26秒
	80%	17分43秒	6分06秒	31秒	9秒
	80%	17分43秒	6分06秒	31秒	9秒
	90%	9分36秒	2分30秒	23秒	不実施

7 まとめ

- (1) 注水後の火災室内は、温度や湿度が急激に変化し、給排気口の確保が不十分な場合、80%以上の高湿度になることもある。高湿度下で、熱中症や熱傷が発生すると考えられる領域は、暴露時間にもよるが、50°Cまでは熱中症、55°C付近が熱中症と熱傷の境界で、60°C以上は熱傷とみることができる。
- (2) 火災室内の温度は、床面からの高さにより相当異なるので、低い姿勢で行動することは、熱傷等防止の点からみても重要であるといえる。
- (3) 消防隊員が援護注水なく活動できる熱気の温度は、60°C（床面から1mの高さ）が限度であると考えられる。

8 今後の対応

実験において、消防隊員の活動環境が概観できたので、今後は文献調査に加えて、真火災での温度や湿度の測定を行い、実験データと併せ消防隊員の活動限界を解明する。

また、この測定結果をふまえ、消防隊の活動可否の判断補完に役立つ器具等の試作検討を行う。