

第4回消防防災研究講演会資料

平成13年1月

消防庁消防研究所

平成12年度
第4回消防防災研究講演会

市街地火災における空中消火技術

日 時 平成13年1月26日（金）午前10：00～午後4：30
会 場 消防庁消防研究所情報管理棟大会議室

開会の辞 消防研究所長 亀井 浅道

午前の部（午前10時05分～午後0時30分）

座長 佐藤 晃由、寒河江 幸平

●市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究の概要	3
消防研究所 佐藤 晃由	
●市街地火災を想定した空中消火実験と航空消火活動基準	11
東京消防庁 中島 義男	
●投下水の散布範囲及び火災建物の温度変化	21
大分工業高等専門学校 小西 忠司	
●ヘリコプターの飛行による後流の発生	29
消防研究所 金田 節夫	

午後の部（午後2時～午後4時30分）

座長 竹元 昭夫、古積 博

●火災抑止と延焼阻止効果	37
消防研究所 竹元 昭夫	
●水投下による放射照度の変化	45
消防研究所 岩田 雄策	
●市街地火災におけるCH-47による空中消火について	51
防衛庁 友池 達也	
●市街地火災における空中消火の有効性と限界	59
(財)日本気象協会 山下 邦博	

閉会の辞 研究企画官 佐藤 公雄

午前10：05～午後0：30

午 前 の 部

市街地火災時の空中消火による火災抑止効果 に関する研究の概要

佐藤晃由（消防研究所）

1. はじめに

大震火災時には、建物の倒壊により木材等可燃物が道路や家屋間に散乱し、延焼拡大する危険性が高まるのみならず、消防水利や道路の損壊により消防活動が阻害されることから、市街地火災の拡大危険性は増大する。

ヘリコプターを利用した空中消火は機動的であり、地上から到達できない急峻な林野火災などに短時間に接近して消火活動が可能である。そのため、大震火災時における市街地火災においても、空中消火に対する期待は大きい。また、近年全国的に消防防災ヘリコプターの整備導入も進められている。しかしながら、空中からの1回あたりの放水量は極めて限られおり、将来において市街地火災に空中消火の導入を検討するためには、その特性と限界をよく知ることが必要である。

消防研究所では、以前からヘリコプターや飛行艇を用いた空中消火の研究を行ってきたが、平成9年度から平成11年度までの3年間、消防機関や防衛庁などの協力により消防防災ヘリコプター及び大型ヘリコプターを用いて、新たに火災実験を行って空中消火に影響する要因を調べ、空中消火の可能性と限界を把握する研究を行った。

本防災講演会では、これらの実験結果を基に、講演会に参加された消防防災技術者・研究者の方々と、「市街地火災における空中消火技術」について、専門的な討論を行い、将来に向けた研究計画の糧を得ることを目的とする。今回は、本編を含め、以下の8講演を予定している。

(1) 市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究の概要

平成9年度から平成11年度まで消防研究所と消防機関等が共同で行った八王子市、苦小牧市、大分市で行った空中消火実験の概要、さらに研究の一部として行った実験の画像解析とシミュレーションによる空中散布水の拡散性状結果について紹介する。

(2) 市街地火災を想定した空中消火実験と活動基準について

東京消防庁が実施した「市街地火災を想定した空中消火実験」の結果と、実験結果に基づき東京消防庁が運用する活動基準について、空中消火のあり方の一方策を概説する。

(3) 投下水の散布範囲及び火災建物の温度変化

ヘリコプターの種類、飛行高度、飛行速度および風速等の違いによる投下水の散布範囲、散布状況、燃焼家屋内外での測定温度変化から投下水の火災抑止効果について紹介する。

(4) ヘリコプターの飛行による後流の発生

上空を飛行するヘリコプターが発生する後流を地表面における風向風速の変化として捉え、野外実験で得た高度や速度の各飛行条件との関係について紹介する。

(5) 火災抑止と延焼阻止効果

消防・防災ヘリコプターによる風上への延焼阻止、飛び火火災の火災抑止及び陸上自衛隊の大型ヘリコプターによる風横への延焼阻止について、散布飛行高度・速度の飛行条件及び投下水量によって変わる投下水の散布状況と関連づけた研究成果を紹介する。

(6) 水投下による放射照度の変化

ヘリコプターによる空中消火実験において、一定の時間間隔で散水した場合の火災抑止効果等を評価するために、火災からの放射照度の変化及び延焼家屋表面温度の測定等を行ったので、その実験結果を紹介する。

(7) 市街地火災におけるCH-47による空中消火

防衛庁が保有する空中消火器材の概要と、山林火災時の空中消火の実施例について紹介する。さらに、大分で実施したCH-47による空中消火実験を参考にし、市街地火災発生を想定した空中消火のイメージ化を図り、運用場面からの問題点等について述べる。

(8) 市街地火災における空中消火の有効性と限界

空中消火の火災抑止効果は、投下時の諸条件に左右されることから、火災実験の結果に基づき、火災抑止効果と風速、投下水量、投下時間間隔、火災規模、燃焼状態などの関係を示し、火災抑止効果が期待できる条件を提示する。

2. 平成9年度から12年度における空中消火実験の概要

2. 1 八王子市における空中消火実験

(1) 実施日時 平成9年11月20日、午前9時～12時

(2) 実施場所 東京都八王子市宇津賀町八王子みなみ野シティ造成地

(3) 実施機関及び協力機関 消防庁消防研究所、東京消防庁、川崎市消防局、千葉市消防局、横浜市消防局

(4) 実験内容

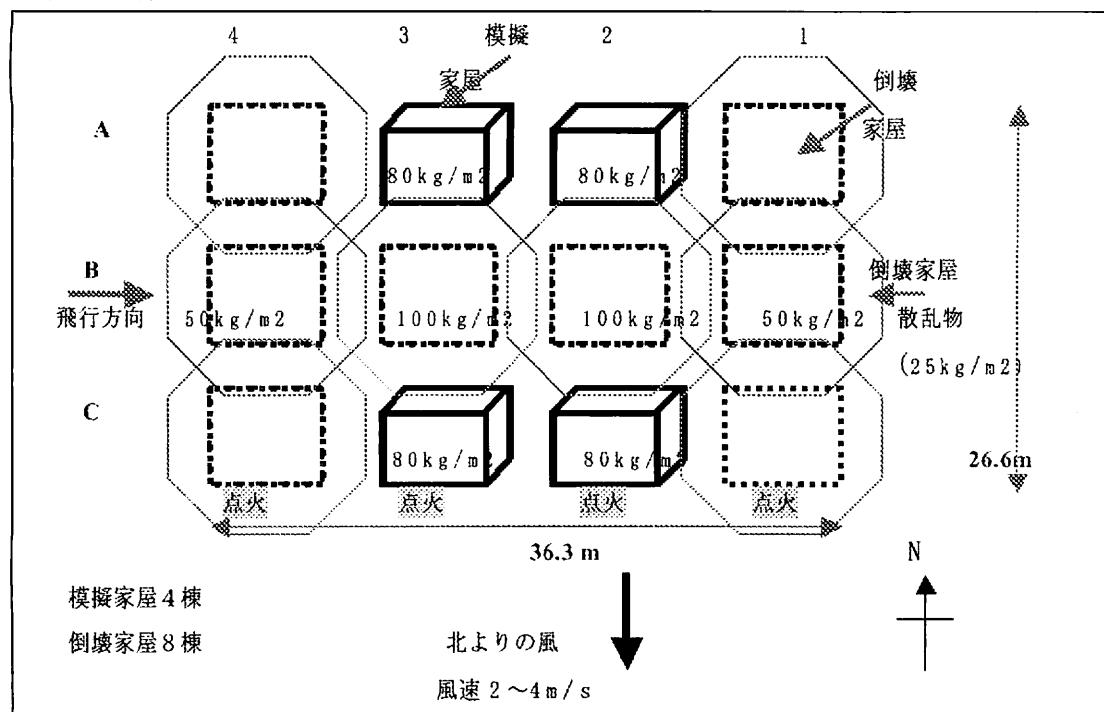


図1 八王子市での実験場概略図

図1に示す実験場において、風下南側の模擬家屋2棟と模擬倒壊家屋2棟に着火し、風下側への延焼を空中からの水散布により抑止することを目的とした。水散布に使用したヘリコプターと散布水量は以下の通り。

・東京消防庁	2機	AS365N2 (ちどり)	—	機外タンク	900L
		AS332 (スーパーピューマ)	—	機内タンク	1200L
・川崎市消防局	1機	BK-117B-2 (そよかぜ)	—	機外タンク	600L
・千葉市消防局	1機	AS365N2 (おおとり)	—	バケット	500L
・横浜市消防局	1機	AS365N2 (はまちどり)	—	バケット	500L

ヘリコプターの飛行高度は約150ft、飛行速度約20ktで、概ね1分間隔で23回散布した。1回500~1200Lの水が落下する時間は約5秒間であった。

この実験において、図2に示すように模擬家屋及び倒壊家屋のA列とB列の間の道路上の倒壊家屋散乱物を経由して、徐々に風上側B列の模擬倒壊家屋に延焼した。燃焼区域に水が散布されると一時的に炎が消え、鎮圧されるが、B列倒壊家屋下層には火が回っており、水が投下されるまでの数十秒~数分後には再び炎が大きくなつた。

2.2 苫小牧市における空中消火実験

(1) 実施日時 平成11年1月27日、午前9時45分から午後3時30分

(2) 実施場所 北海道苫小牧市宇弁天 苫小牧東部大規模工業基地内

(3) 実施機関及び協力機関 消防庁消防研究所、北海道防災航空室、苫小牧市消防本部、胆振東部消防組合消防本部、札幌市消防局、仙台市消防局、東京消防庁

(4) 実験内容

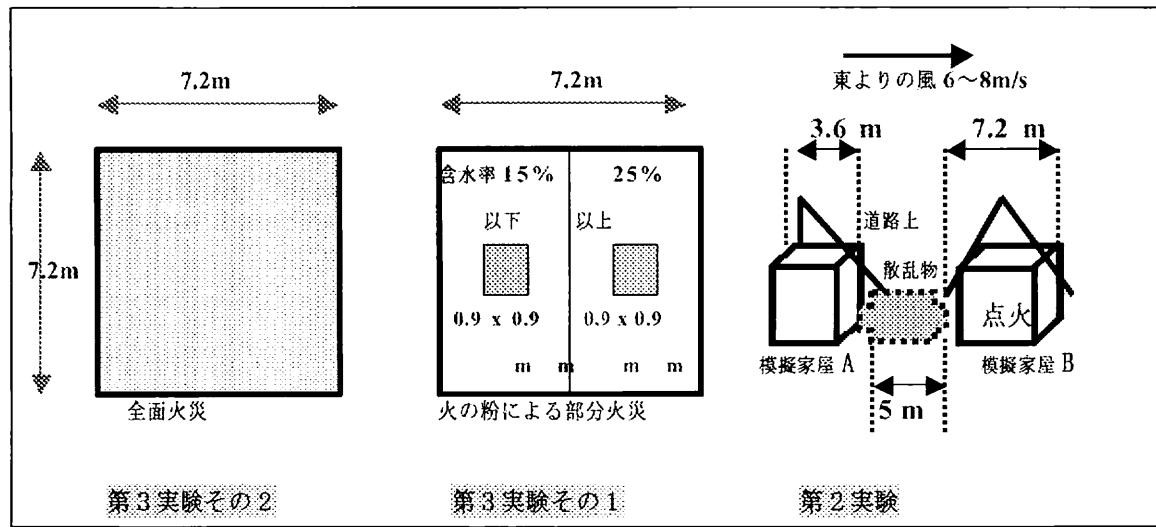


図3 苫小牧市での実験場概略図

図3に示す実験場において、下記の2機のヘリコプターを用いて、従来行われたことがない風速約10m/sの強風状態で、散布実験および空中消火実験を行った。

- ・北海道防災航空隊 1機
バケット 900L
- ・札幌市消防局 1機
バケット 900L

(1) 第1実験

飛行高度70ft～100ft、飛行速度15kt～20ktのもとで、採水マス102個を5mピッチで60m×35mの領域に配置し、投下水の散布範囲の測定を行った(図4)。高度100ftでは投下された水は、風に大きく流され霧状に拡散した。

(2) 第2実験

火災の風上方向模擬家屋Bへの延焼阻止を目的とし、飛行高度70ft～150ft、飛行速度15kt～20ftで15回水を投下した。ほぼ家屋Aと家屋Bの間に投下されたが霧状になって風に流された場合もあった。

(3) 第3実験その1

飛び火により着火拡大しつつある状態を想定し、7.2m×7.2mの木材クリップの2カ所にメタノールに浸した木綿ウエスを詰めた90cm角の領域に着火した。それぞれの木材クリップの含水率は15%以下と25%以上で異なっていた。25%以上の含水率の木材クリップの燃え方が悪く、6回の水投下のうち2回目の水投下で消炎したが、15%以下の含水率の木材クリップは深部まで燃え込み、6回の水投下で火災抑止は困難であった。

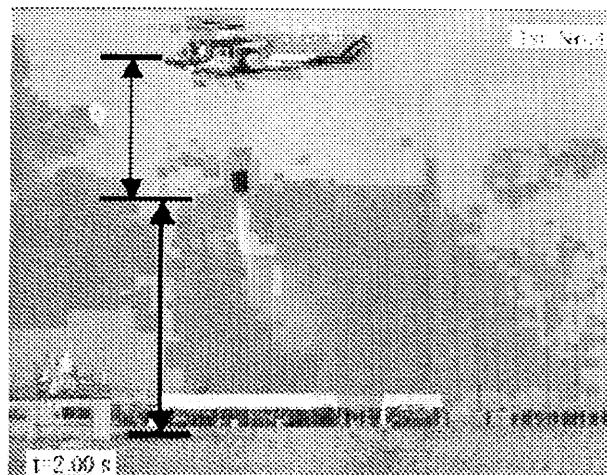
(4) 第3実験その2

7.3m角木材クリップの全面にメタノールに浸した木綿ウエスを詰め、全面着火し直接消火実験を行った。1回の水散布で燃焼域を有効にカバーできるのは約3m角程度であったため、投下水で7.3mの燃焼域全面の炎を抑止できなかった。結局、6回の水散布で火災抑止は困難であった。

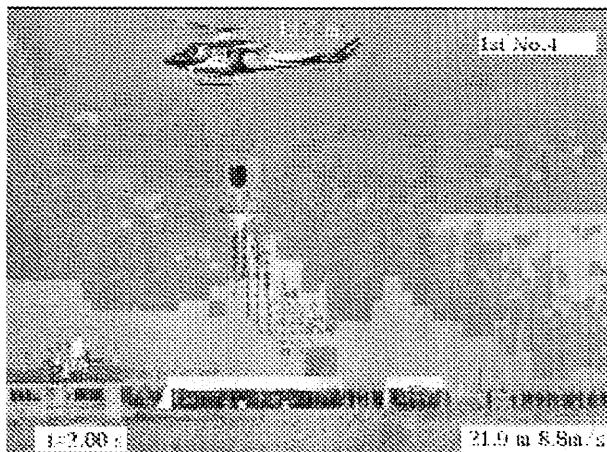
2.3 大分市における空中消火実験

(1) 実施日時 平成11年11月24日午前10時から午前11時

(A) デジタルビデオ画像



(B) 落下水の速度ベクトル解析図



(C) 赤外熱画像



図4 苫小牧市での空中消火実験

平成11年1月26日午前9時30分から12時

(3) 実施場所 大分県大分市青崎6号埋立地

(3) 実施機関及び協力機関 消防庁消防研究所、防衛省、大分県、大分市消防局、愛媛県、長崎県、福岡市消防局、大分工業高等専門学校

(4) 実験内容

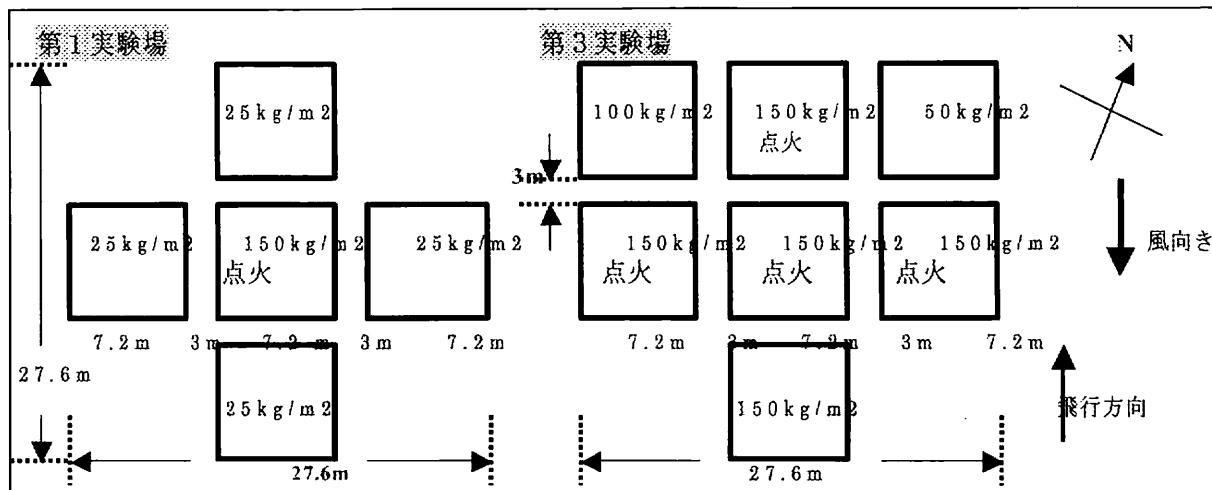


図5 大分市での第1実験及び第3実験における模擬家屋・模擬倒壊家屋の配置

水投下実験に使用されたヘリコプターと散布水量は以下の通り。

・大分県防災航空隊	1機	BK117C	— バケット	600L
・長崎県防災航空隊	1機	BK117B2	— バケット	600L
・福岡市消防局	1機	SA365N1	— バケット	540L
・防衛省	3機	CH47J	— バケット	5300L

(1) 第1実験

図5に示す第1実験場の中央の模擬家屋に着火し、周囲の倒壊家屋への空中からの消防防災ヘリコプターから20回の水投下による延焼阻止効果を調べた。風上側の延焼抑止は可能であったが、風下側延焼抑止は困難であった。

(2) 第2実験

防衛省のヘリコプターCH45Jによる強風状態(8~10m/s)における騒音、ダウンウォッシュの強さ、落下水の地上衝撃度の測定を行った。

(3) 第3実験

図5の第3実験場において4棟の模擬家屋に着火し、3機の大型ヘリコプター(CH47J)による強風状態における周囲家屋への延焼阻止及び直接消火実験を行った。水投下の時

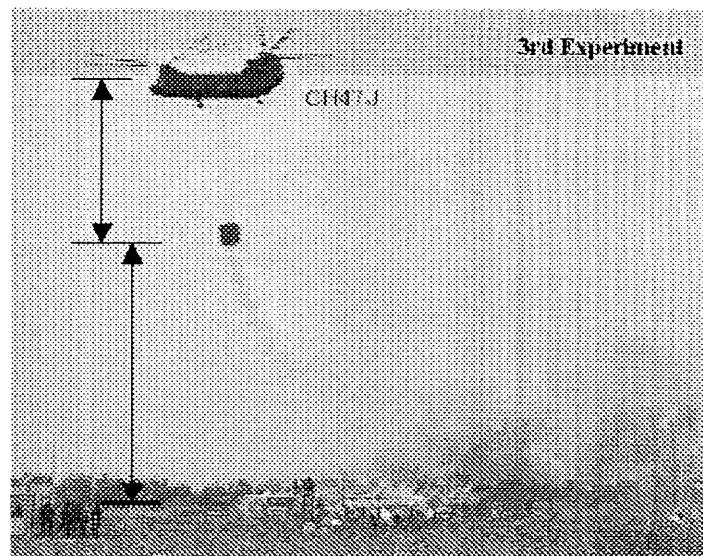


図6 大分市における空中消火実験

間隔が給水時間等の関係から約5分であったため、投下直後は炎は一時的に見えなくなつたが、5回の水投下によつても数分後には再燃し、完全な鎮圧は困難であった。

3. ヘリコプターからの投下水の落下拡散性状の解析

3. 1 研究の目的

空中からの投下水は、特に飛行高度が高い場合や高速で飛行中の場合には、外気風の影響を受けて分裂し、霧状になつて大きく流され、消火効果が減少する。実験によつて測定把握される場合はごく限られた場合にすぎないため、実験結果と併せてコンピューターシミュレーションによる把握が重要になる。このため、実験における投下水の落下拡散性状のビデオ映像をコンピューター画像解析し、落下水に関する数値シミュレーションの手法を開発することを目的とする研究を行つた。

3. 2 画像解析による速度ベクトル分布

実験で撮影したヘリコプターから投下された落下水のビデオ映像をコンピューター画像解析用ソフト FLOWVEC32 を用いて、5秒間の画像の速度ベクトル分布を解析した。

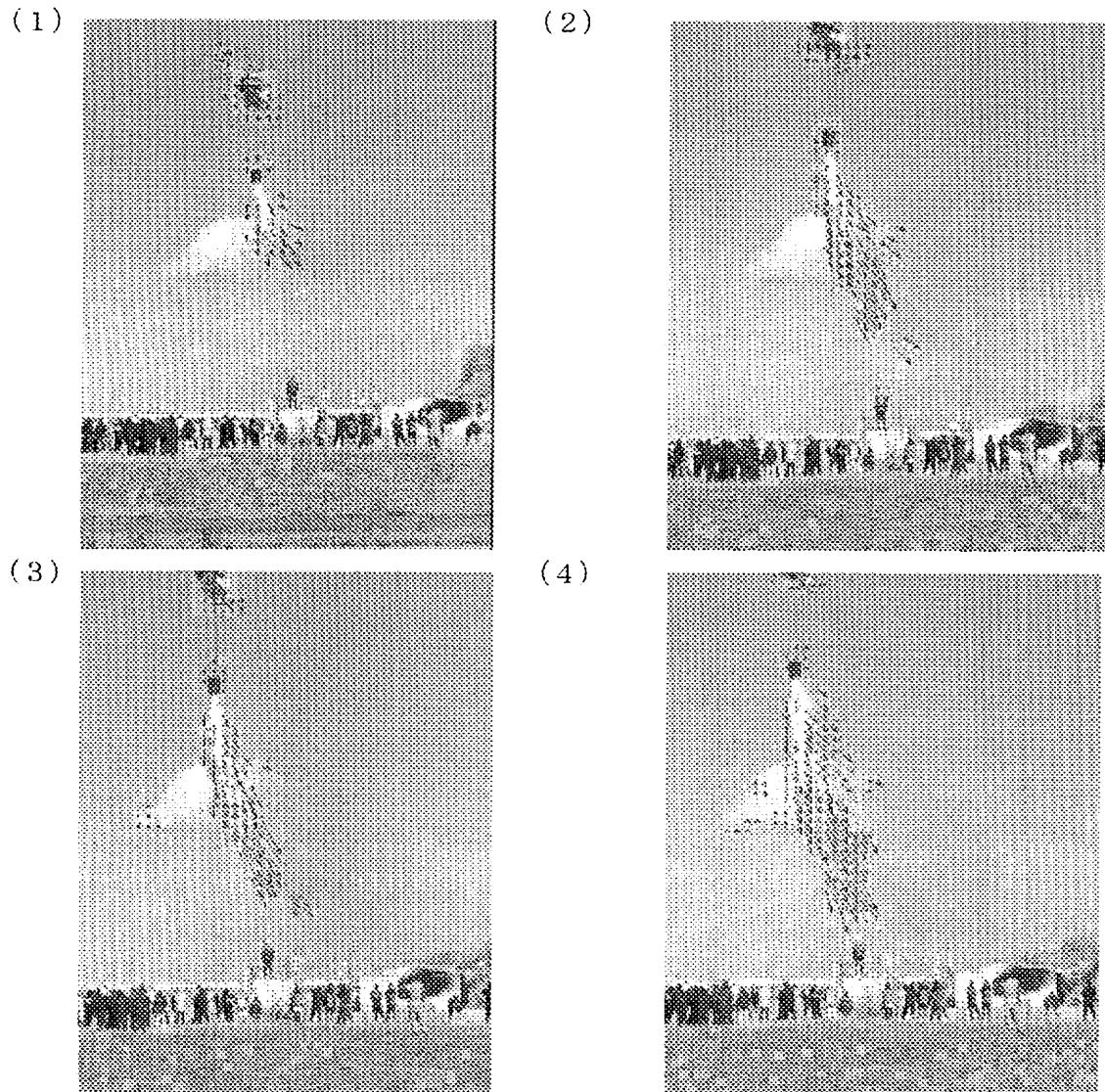
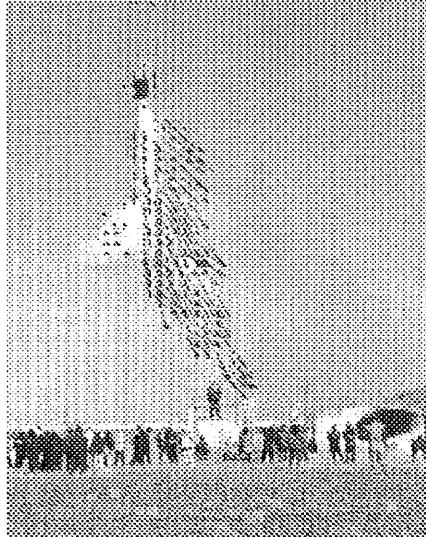


図7 画像解析による落下水の速度ベクトル (飛行方向の前方から撮影)

(5)



(6)

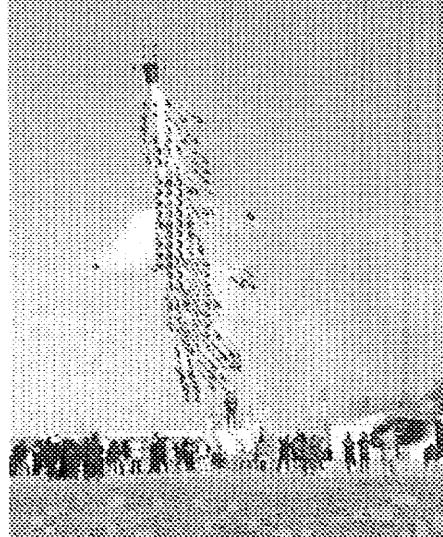


図7 画像解析による落下水の速度ベクトル (つづき)

落下水の速度ベクトルの解析の結果、飛行高度が高い場合や飛行速度が速い場合、霧状に分裂する状況が把握された。また、ホバリング状態でほぼ停止状態で投下された水は塊状で落下している状況が把握された。

3. 3 高速度ビデオ画像による落下拡散性状の把握

毎秒250枚のフル画面カラー映像が撮影できる高速ビデオカメラを用いて、バケットから（1）落下直後と（2）地面付近における落下拡散を把握した。特に、比較的高速で飛行しているヘリコプターから投下された場合の地面付近での特徴的な拡散性状として図7-(2)のようにノコギリの歯のような形状で分裂落下する様子が観察された。矢印で示すようにそれぞれのノコギリの歯のような突起はほぼ平行で間隔もほぼ等しい。また、落下直後の水の表面は風にあおられ、表面から霧状に剥離している状況が観察される。

3. 4 落下拡散性状に関するコンピューターシミュレーション

消防防災ヘリコプターから0.8トンの水が落下拡散する状況をコンピューターシミュレーションにより把握した。その結果を図9に示す。計算では、ヘリコプターは計算グリッド領域に静止させ、代わりに飛

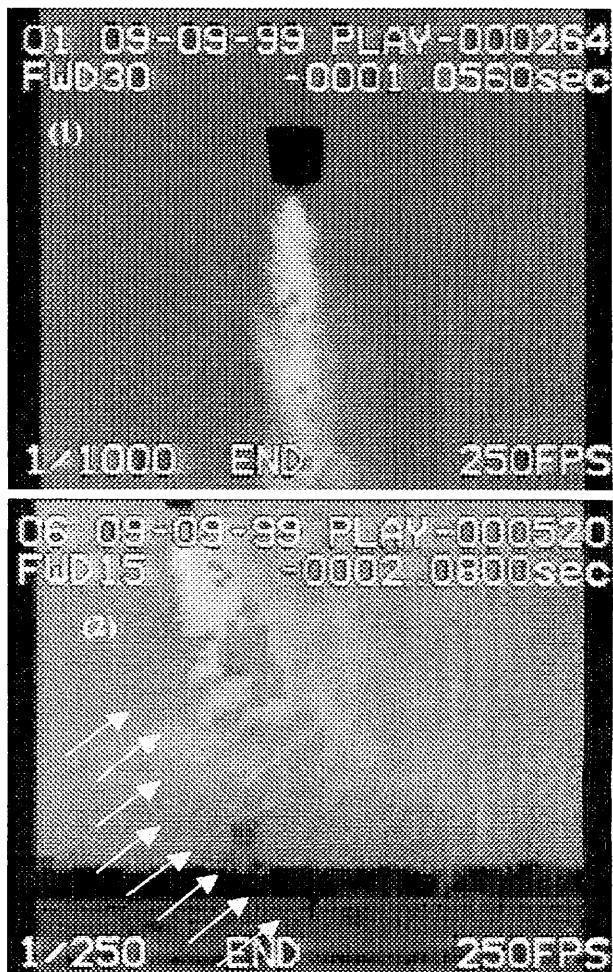


図8 落下水の高速度ビデオ映像 (1/250sec)

行速度に相当する各種の大きさの風を飛行方向の前方から与えた。また、実験条件に従い、飛行方向に直角な方向から外気風を与える、さらに、ヘリコプターの回転翼によるダウンウォッシュに相当する下向きの風速を与えた。図9及び図10に示すように、飛行速度相当の風によって落下した水は拡散する状況が観察される。

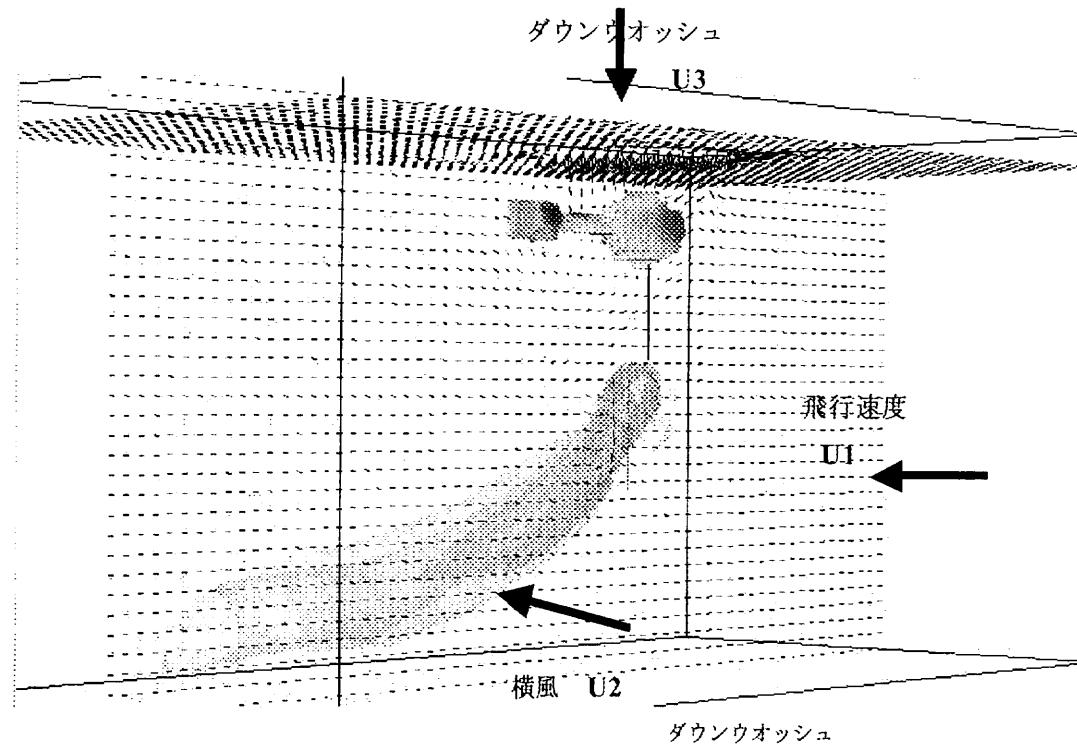


図9 数値シミュレーションによるヘリコプター懸架バケットからの放水状況

4. まとめ

本稿では、平成9年度から平成11年度まで消防研究所と消防機関等が共同で行った八王子市、苦小牧市、大分市で行った空中消火実験の概要、さらに研究の一部として行った画像解析とシミュレーションによる空中散布水の拡散性状について述べた。

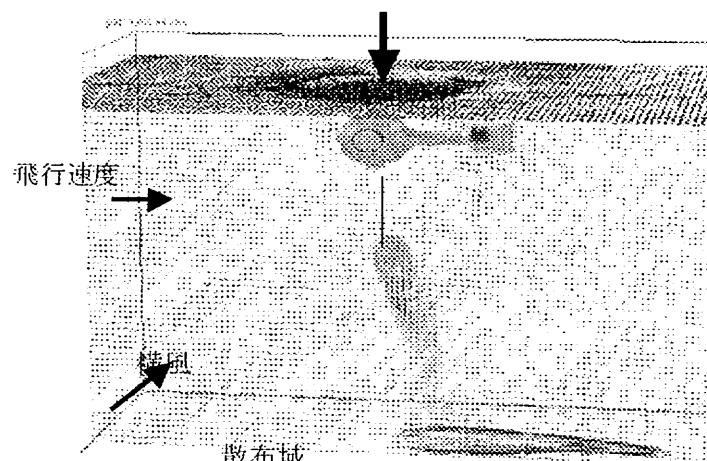


図10 地上における散水密度のシミュレーション結果

参考)

- 1) 消防研究所研究資料 第42号(平成10.3)、45号(平成11.3)、48号(平成12.3)
- 2) 第48回国際消防技術者会議資料、p.40(平成12年10月)
- 2) Satoh,K. et al : "EXPERIMENTS AND NUMERICAL SIMULATIONS OF FLOW PATTERNS OF WATER DROPLETS FROM FIRE-FIGHTING HELICOPTERS", Proc. of 2000 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, ASME-HTD, Orlando-USA, HTD-Vol.365-5, pp.57-64, 2000

市街地火災を想定した空中消火実験と航空消防活動基準

中島 義男（東京消防庁）

1. はじめに

ヘリコプターによる消火は、林野火災や河川中州の広範な枯れ草火災などにみられるような消火活動或いは消火に必要な水利が制限される状況下の火災において、実施されている。

ホバリングや低高度、低速から災害現場へのアクセスができるなど固定翼機にはない機能、特長を活かすことにより、各種災害での需要が増加している現状にある。

近時の消防防災ヘリコプターの整備により空中消火が可能な機体が増え、消火戦術上から震災時等の市街地火災に対する空中消火手段として、その実現性が各方面から期待されているところである。

そこで、当庁が「ヘリコプターによる空中消火の実効性を検討し、今後における効果的な消火装備及び消火体制の整備を図るための指針」を策定するために実施した市街地火災を想定した空中からの消火実験とその結果等に基づき策定した「航空消防活動基準」を概説するものである。

2. 消火実験

(1) 主目的

昭和51年に前自治省消防庁消防研究所と当庁で実施した市街地火災実験の検証を含めて、ヘリコプターによる空中消火の実効性を検討するものである。

(2) 調査研究方法

実験の内容が極めて高度専門的であることなどから、この調査研究を社団法人日本火災学会に業務委託した。

さらに、日本火災学会は調査研究が多岐、広範囲にわたることから各界、分野の専門家・有識者などから構成される委員会（委員長 東京理科大学教授 上原陽一、副委員長 東京大学名誉教授 東 昭他8名）と幹事会（幹事長 東京理科大学助教授 須川修身他14名）を設置し、調査研究を実施した。

(3) 調査研究事項

- ① 市街地火災の性状、② 火災街区の温度変化、③ ヘリコプター飛行の火災への影響・飛行可能領域の検討、④ 火災街区の気流等の観測
- ⑤ 空中消火の効果等（消火剤等の落下衝撃度、散布密度、消火剤等の効果、消火効果の検討）
- ⑥ 空中消火飛行方法の検討

ア 調査研究計画

予備実験、本実験（火災街区を設定した空中消火実験）、文献検索・事例研究の三つ

に分けて実施した。

この中で、本講演では本実験についてを主にその結果をまとめた。

「航空消火活動基準」は前述のとおり、本調査研究結果や関係者のアドバイス等を基に検討を行い当庁の消防ヘリコプターによる消火活動を基準化したものである。

イ 予備実験

ヘリコプターによる空中消火の基礎的データを得るため次の実験を行った。

- 高度・速度・機種・消火機材を変化させての消火剤等の散布密度・命中度
- 高度・速度・機種・消火機材を変化させての消火剤等の落下衝撃度
- 高度・速度・機種を変化させてのダウンウォッシュ
- 水と消火剤の垂直壁面への付着・浸透性

ウ 文献検索・事例研究

過去に行われた実験結果報告や災害活動事例等を基に、次の項目について考察を行った。

- ヘリコプターによる災害活動実績
- 諸外国等の運行体制
- 消火剤の人体への安全性
- 消火剤の効果
- 火災市街地上空の気温、気流等の数値解析

3. 本実験

模擬家屋及び模擬倒壊家屋を設置して燃焼させて、類似街区火災を発生し次の項目の観測を行った。

- (1) 火災性状（温度、燃焼実態、気流等）
- (2) 上空の温度変化によるヘリコプター飛行可能領域
- (3) ヘリコプター飛行の火災への影響（ダウンウォッシュ、衝撃度の影響等）
- (4) 消火効果等（機種・消火機材別消火効果、消火剤の効果等）

4. 導く主な結論項目

- (1) 空中消火効果の評価
- (2) 火災街区上空の安全飛行領域の検討
- (3) 空中消火実施手法の提言
- (4) 空中消火実施時の安全飛行管理体制への提言

5. 過去の空中消火に係る研究と実験及び主な内容

- (1) 航空機による消火法の研究

- 昭和40年～41年 前自治省消防庁消防研究所
 - ・ ヘリコプターを使用し、高度90mの位置からフラッシュオーバーになった実験木造家屋（建て面積13m²）に投下弾式消火器（直径61cm、水量72ℓ）を投下した結果、炎上家屋内に命中すれば消火が可能
 - ・ 固定翼機を使用し、高度8mの位置から消火剤直接散布方式により450ℓを散

布した結果、水の消火作用と落下衝撃力によって模型火災は瞬時に倒壊消火

(2) 航空消防活動による火災被害阻止研究

○ 昭和47年 前自治省消防庁消防研究所

- ・ 大震災火災時木造密集家屋群に対し、航空機による空中からの消火剤散布の延焼阻止或いは地域住民の避難路確保等を目的とし、木造密集家屋群を想定した木材堆積に消火剤を空中散布し、散布帯の延焼阻止の可能性を検討した。
- ・ 中型ヘリコプター（H U - 1 B）を使用し高度30mから700ℓをバケットにより散布

　　単位面積当たりのクリップブロック重量 + 助燃材重量 20kg/m²

- ・ 実験延焼進展に対して、消火剤散布密度0.58ℓ/m²の散布帯では火勢を完全に阻止し鎮火に至らしめ、その効果を確認

(3) 消防用飛行艇（C L - 215）による空中消火実験

○ 昭和49年 前自治省消防庁消防研究所

- ・ カナダ国カナディア社製消防用水陸両用飛行艇（最大消火水搭載量 5,440kg）を使用し、廃材堆積型火災の間接消火を実施した結果、火災荷重80kg/m²の廃材堆積で散布密度が2ℓ/m²のところで延焼を30分阻止
- ・ 火災荷重40kg/m²の場合、散布密度が0.5ℓ/m²の領域で、延焼は一時停止したが数分後延焼が再開

(4) 松尾鉱山廃屋火災空中消火実験

○ 昭和49年 前自治省消防庁消防研究所

- ・ 消防ヘリコプター（S A 330 F）に1,800ℓ型消火バケットにより未燃焼実験家屋に消火剤を散布し、散布直後の散布密度、パターン、付着量の測定を行い測定後家屋に点火して消火剤非散布家屋との燃焼状況の比較を行った。
- ・ 消火剤を散布しない実験家屋と散布した家屋の延焼の時間経過を測定した結果、散布した家屋は散布した家屋より数分間延焼が遅延

(5) 大震災時における航空隊の効果的運用に関する研究

○ 昭和51年 東京消防庁

- ・ 統計やこれまでに実施された各種燃焼実験、空中消火実験の結果等から理論的な手法で消火に必要な水量を算定したものである。
- ・ 火災規模を平均的な木造家屋（2階建て延べ面積100m²）と想定した場合、これに要する消火所要水量は、無駄水がない注水を行ったものとした場合760ℓ、クリップ模型を基準とした場合では2,100ℓ、当庁の統計に基づけば75,800ℓという数字が空中消火に必要な水量
- ・ 未燃建物の木造密集家屋群に対する注水散布の延焼阻止能力について、前(3)の実験によれば、廃材堆積火災荷重80kg/m²に対し2ℓ/m²の事前海水散布により延焼阻止していることから、一般木造家屋の火災荷重160kg/m²とすれば2倍の荷重となることから延焼阻止に4ℓ/m²が空中消火に必要な水量

(6) ヘリコプターによる空中消火の基礎実験（消火水の散布状況確認）

○ 平成7年 東京消防庁

- ・ 500ℓバケットで15m、30m、50m、70m、90mの高度から飛行しながらどの高度、速度が効果があるのか、1,500ℓバケットで15m、50m、90mの高度で飛行、散布した場合の効果の比較、ホバリングで200mの高度から500ℓバケット、1,500ℓバケットの散布水の飛散範囲を確認し、高度が約165ft(49m)を超える飛行高度では散布目標点への散布が困難となる他、横風等の影響が大きく、最大散布量は2.6ℓ/m²
- ・ 水、合成界面活性系消火薬剤、乳化剤系消火薬剤、ゲル化剤、高縮合磷酸アンモニウム系消火薬剤を混入した消火剤を30m、50m、70mの高度から500ℓバケットにより散布した場合の飛散範囲を確認し、いずれの消火剤も地上における散布状況に大きな違いはなく、500ℓ及び1,500ℓバケットからの散布による建物倒壊の可能性は極めて小さく、また水と消火薬剤混入消火剤との散布に大きな違いがないことから、浸透性や付着性に優れた消火薬剤を混入して使用するほうが効果的

(7) 前自治省消防庁消防研究所では、平成9年度から11年度の3ヶ年において、「空中消火技術の高度化に関する研究」を研究題目で、市街地火災に対する空中消火の可能性と限界を明らかにするために次の研究を行ったところである。

- ・ 平成9年に「空中消火による市街地火災の風上方向への延焼抑止効果」
- ・ 平成11年1月に「空中消火による延焼阻止効果及び飛びとした空中消火実験」
- ・ 平成11年11月に「空中消火による市街地火災の火災抑止効果」

6. 雜感

現在、ヘリコプターによる空中消火は火災の状態、火災上空及び周囲の環境が把握され、その消火の目的と飛行、活動条件等が整えば、空中消火活動は以前よりもより機動的に行うことができる状況にある。ただし、消防防災ヘリコプターは各消防本部或いは道府県を単位に整備されているため、市街地火災のように組織的、有機的な活動が求められる災害に即応できるハード面、ソフト面の環境整備を具体的に推進する必要がある。

前3.を見ていただければ分かるように、消防のヘリコプターによる空中消火は理論と実態を調査研究し、実施するための各種火災のフェーズとその効果を実際に近づけた条件下で多くの研究と実験を経て今日に至っている。

その実験の一つとして当庁が行った市街地空中消火実験は、ある意味ではどの条件でどう言う目的で、どんな環境であれば、どのような方法によって行えるかを確認したものとして位置づけられるのではないかと思われる。

実際の災害のケースとそれにかかるヘリコプター機動部隊（当庁は本年から航空隊を災害時には「ヘリコプター機動部隊」として位置づけた。）或いは航空隊員、航空消火活動戦術を作戦する指揮者の立場から、考察いただければ幸いである。

7. 実験結果

この実験だけでなく、消防研究所の研究や実験の結果からも空中消火は一時的に火勢を抑止することは確認されている。
~~と消防技術に関連して~~

ここでは、この実験結果の要点を消火活動技術に関連させて検討したものである。

(1) 模擬家屋の延焼状況と空中消火による効果

模擬家屋

南北 52 m、東西 41.6 m のスペースに模擬家屋 10 棟、模擬倒壊家屋 10 棟を南北及び東西にそれぞれ隣棟間隔 3.3 m で配置し、85.3 kg/m²（枠組み壁工法木造住宅 1 階建相当）、模擬家屋のうち 4 棟の屋根南側半分は木造とし、北側はトタン板葺きとし、その他の模擬家屋の屋根は全てトタン板葺きとした。

延焼状況

着火後 1 分から 2 分で点火模擬家屋の火災は最盛期となり、12 分から 13 分で街区火災の様相の延焼となった。

空中消火による一時火勢抑止現象はあったが、長時間安定した鎮圧状態を導くことは困難

空中消火実験は、点火後の 13 分から開始し、33 分間に計 14 回の連続空中消火を行い合計 10,550 ℥ の消火剤を火災街区に対して散布したが、安定した長時間の鎮圧状態が生じるまでには至らなかった。

(2) 空中消火の効果が期待できる条件

大規模な地震災害時等に地上消防力が不足した場合、或いは地上消防力が何らかの理由により遅延する場合に、火勢抑止による延焼阻止や延焼遅延を期待して空中消火を実施することができる。

その期待できる条件として

ア 屋根等の消火障害の影響

阪神淡路大震災において報告されているように、市街地火災の延焼拡大原因のうち、分かっているものは 1 位が隣棟からの延焼、2 位が飛び火となっている。全壊家屋の比率が高くなるほど、飛び火による延焼比率が高くなり、着火箇所として屋根、軒、壁の順となっている。

このことにより、トタン板葺き屋根から瓦、コロニアルなどの建物が増加していることから、倒壊建物でもそうでない建物であっても木造部の外部暴露がある未燃建物を早期に発見し、空中消火を実施すれば延焼拡大の未然防止が可能になると考えられる。

イ 地上街区の状況

大きな地震動により、瓦の落下や全半壊による建物構造木材の露出度が高い建物の方が必然に空中消火効果が高いと考えられることから、被災建物が多く存在する街区の方が、より高い空中消火の効果が期待できる。

(3) 消火機材別による比較

この実験において使用した 4 種類の消火機材のうちで、火勢抑止現象に最も影響を

及ぼした要因は、散布できる水量の大きさであり、 $1,200\ell$ を散布した大型機のバケット式及び機内タンク式の方が、 400ℓ を散布した中型機に比べ時間にして約2倍の火勢抑止時間が得られた。

命中度も機外取り付けタンク及び機内タンクの方が、過去の実験でも高いことが確認されている。また、機内の操作員による消火剤の投下より地上の隊員による消火剤の投下指示によって投下する方法が命中度、有効散布を高めることになる。

バケット式がカーテン状の落下状態をとることに対して、機外タンク式の場合は水塊となって落下し効果のある散布パターンを確認したことから、バケット式の開口部を変更することでタンク式の散布パターンを持たせることも可能と思われる。

(4) 連続消火による空中消火効果

複数の家屋が延焼拡大している街区火災の延焼先端における火災の延焼初期段階の部分に連続消火を行うための機数を振り向け連続空中消火を行い消火の効果を挙げる必要がある。

空中消火の間隔の時間は、早いければ早いほど効果が発生すると思われるが、実験だけで言えば、平均約1分30秒間隔で空中消火をしても火勢抑止効果が見られなかつたことから乱暴な言い方をすれば1分以内の間隔で消火できるようにすることを目標に機体の運用を図る必要があると思われる。

(5) 衝撃度の検証

速度20Kt、高度150ftで散布した場合に地上の人命等に深刻な影響や燃焼家屋の倒壊等の影響は観測されなかった。

衝撃度の影響を排除するためには、速度20Kt、高度150ftを最低値として飛行する必要があり、その制約の中で可能な限り低速度かつ低高度で飛行することが、有効散布密度を得る条件となる。

(6) ダウンウォッシュの検証

速度20Kt、高度200ft（最低高度150ft）で散布した場合でも、火勢を煽ったりトタン板が飛散するなどの影響は無かった。

しかし、ホバリング時のダウンウォッシュの地上での影響を見ると大型機で400ft中型機で300ftにおいて、取灰の巻き上がりやトタン板が激しく移動する等の影響がでたことから、自然風の影響にもよるが、これらの数値をホバリング高度の最低限として考えなければならない。

(7) 飛行騒音に関する検証

150ftから200ft程度低空飛行で連続的に活動した場合、騒音で地上での会話が聞き取れない状況が生じ、救助要請の声が聞き取れないことが発生する。

過去の実験で、ベル206B型ヘリコプターのホバリング状態で高度321ftのとき音圧80dbを確認しており、会話が聞き取れないレベル状況にある。こうしたことから、指揮本部及び現場の部隊とヘリコプター隊との連携の強化が求められる。

8. ヘリコプターの飛行性能と外気温度

ヘリコプターの外気温度限界は、飛行性能特性や航空燃料・潤滑油等の特性を維持するため、各製造会社とも最高温度を49°C～52°Cを限界としている。

エンジン性能は、外気温度に大きく左右され、外気温度が1°C上昇するごとに出力は概ね1%低下するとされている。また、一時であっても高温度空域に進入すると、大気密度の低下から機体揚力を失ったり、エンジン出力の極端な低下、場合によってはエンジン停止の危険もある。

9. 放射熱と煙の影響

放射熱により長時間さらされていない限り或いはヘリコプターが高温の放射熱を受ける空域を通過しても冷気をエンジンに吸い込んでいる限り飛行性能等に影響を受けることは少ない。

通常、燃焼による煙は上空に行くに従って拡散され薄くなることに加え、風上から風下に流されるため、風横からの進入が視界障害を受けないための最良の方法である。

10. 火災街区の温度分布と飛行限界

この実験での上空温度分布を見ると、25m～30mで49.2°C、その以外では高さ25mでは29°C前後、高さ45m～50mで当日の外気温度（26～27°C）の測定値を記録した。

11. 火災成長段階に応じた飛行コース

通常の市街地火災においてヘリコプターによる空中消火を行う場合を想定すると、空中消火開始までに時間を要するため、火災の最盛期から後半期の消火が予想される。

延焼面積が広範囲（ドーナツ状延焼形態）になるため、その燃焼火線先端部分の延焼拡大が進行している部分に対しては、風上側からの空中消火が必要となる。

12. 無風時の飛行方法

無風時の市街地火災に際しては、熱気流及び煙の流動方向は直上となるため、火災街区真上の飛行は絶対に避け、火災街区周辺の端を飛行コースとして選定し周回飛行による空中消火を行う必要がある。

13. 地上風（強風を含む。）に応じた飛行方向

市街地火災に対する空中消火は、火災によって発生する熱気流、煙及び気流の擾乱等がヘリコプターの飛行性能に大きく影響するため、風下側の延焼阻止を優先とする消防戦術の原則を適用することはできない。

このため、風横側の端及び風上側の3方向が可能な飛行コースとなる。この場合において風横側の飛行の場合に、その風速にもよるがボルテックス・リンクには特に注意しなければならない。

航空消火活動基準

1 基準策定

当庁では、今回の空中消火実験の結果等から震災等大規模市街地火災におけるヘリコプ

ターによる空中消火を安全かつ効果的に運用することを目的として、平成10年3月に「航空消火活動基準」を策定し、この基準のなかの大規模地震災害時の市街地火災編に空中消火活動に関する活動基準を定めた。

2 対象火災

- (1) 大規模地震により火災及び救助事象が同時に多発し、地上の消防力が明らかに不足している場合
- (2) 建物の倒壊等により地上からの接近が極めて困難で消火活動に着手することが遅延すると判断される場合
- (3) 広範囲に延焼拡大し、火面長が長く風上側の消防力が劣勢で、航空消火が有効と判断される場合
- (4) その他警防本部長が必要と認めた火災

3 運用の原則

- (1) ヘリコプターは、情報用ヘリコプター1機と複数の消防用ヘリコプターで連携運航する。
- (2) 他消防本部等の応援が得られる場合は、相互に連携して活動する。なお、この場合の統轄指揮者が活動方針、消火要領等を徹底する。
- (3) 複数の消防用ヘリコプターは、地上消防部隊の消防力が優勢となり統轄指揮者が又は現場指揮者の停止命令により活動を停止する。

4 消火用水補給要領

自己給水によることを原則とし、火災現場に近い次の水利を活用する。

- (1) 江戸川、荒川、多摩川、隅田川等の自己給水が可能な大河川
- (2) 東京湾
- (3) 自己給水が可能な湖水等

5 活動方針の決定

活動方針の決定は次の点を着目し、統轄指揮者が行う。

- (1) 火災の初期又は終期で火勢が比較的弱い、木材が露出した倒壊建物等の火災は、直接消火を主眼とする。
- (2) 火勢が強く、直接消火では消火が困難な場合は、予備散水による周囲への延焼阻止を主眼とする

6 消火活動要領

- (1) 消火活動は火勢及び気流等を考慮し、対地高度約45m～60m、飛行速度は37km/h～74km/hを目安とする。
- (2) 地上への吹き下ろし風や消火水の落下衝撃防止のため、ホバリング状態では散水しない。
- (3) 消火活動時の飛行コースは、原則として火災街区の風上側端付近を風向に対して直角に行う。なお、地上風の強弱及び火災の性状（成長段階・煙・熱気流等）により安全が確認される場合は、有効性を考慮し風下側を除き風横側端の消火コースを選定す

る。

- (4) 消火活動を実施する場合は、努めて散水する周囲で救助活動等を実施している消防隊、消防団及び災害時支援ボランティア、住民等への活動危険、活動障害を考慮して活動する。

7 安全管理

- (1) ヘリコプターの運航に際しては、航空関係法令、航空規程等を遵守し、安全管理の徹底を図る。
- (2) 各級指揮者は、ヘリコプターの消火活動範囲が広範囲かつ立体的になることから、隊員を掌握して規律ある部隊行動を行う。
- (3) ヘリコプターが活動中は、警戒区域内の進入を制限する。
- (4) 各級指揮者は、周囲の状況変化等による活動危険を察知した場合は、直ちに指揮本部長に報告するとともに、状況により障害物の除去等必要な措置をとる。
- (5) 各級指揮者は、低空飛行及びホバリング時に、風圧により資機材等が飛ばされないよう十分配意する。

最後に

ヘリコプターによる空中消火活動は、複数の機体による活動が最も有効であることから今後の課題の一つである関係機関による事前の教育や合同訓練を行うことが実災害に生きる第一歩となることを再認識していただき、より多くのこの種の機会をつくり実施していくかなければならないと考えております。

今後とも、関係機関並びに関係者の御理解と御支援をお願い申し上げます。

参考文献

「市街地火災空中消火調査研究報告書 平成9年2月 社団法人日本火災学会、市街地火災空中消火に関する調査研究委員会、東京消防庁」

投下水の散布範囲及び火災建物の温度変化

小西 忠司 菊川 裕規 (大分高専 機械工学科)
佐藤 晃由 寒河江 幸平 (消防研究所)

1.はじめに

大震災時においては、通行障害や消防水利の不足が予測されることから火災が拡大する危険性が極めて高い。このような条件下の火災に対して、地上からの消防能力には限界が生じるため、ヘリコプター等の航空機を用いた空中消火の可能性に期待が寄せられている。

消防研究所は、平成9年度から「空中消火の高度化に関する研究」の一環として平成9年に八王子⁽¹⁾で、平成11年に苦小牧⁽²⁾で実験を行い、風上側に拡大する火災に対して空中消火の延焼阻止効果について検討してきた。今回の大分実験の目的は、消防防災ヘリコプターから連続的に水投下した時の延焼方向別の火災抑止効果および防衛庁保有大型ヘリコプターによる火災抑止効果を検討するために実施された。

本報告では、消防防災ヘリコプターと防衛庁保有大型ヘリコプターに対して投下水の散布範囲および火災抑止効果について検討し、燃焼区域面積に対して最適なヘリコプターのサイズと飛行速度の予測、さらに火災を抑止するために必要な水投下間隔の予測について記述する。

2.実験方法

2.1 投下水散布範囲の測定

投下水の散布範囲は、地上4地点（飛行コース下の実験場を挟んだ相対する2地点、飛行コースの真横の実験場を挟んだ相対する2地点）および空中（防災ヘリコプター）からのビデオ撮影、地上（飛行コース真横）での目視により、それぞれ観測した。空中からのビデオ撮影は、第1実験については愛媛県消防防災ヘリコプター、第3実験については大分県消防防災ヘリコプターがそれぞれ担当し、空中消火ヘリコプターおよび実験場を俯瞰する形で行われた。地上でのビデオ撮影は、高さ2mの足場パイプで組んだ観測台および高所工作車上で行った。

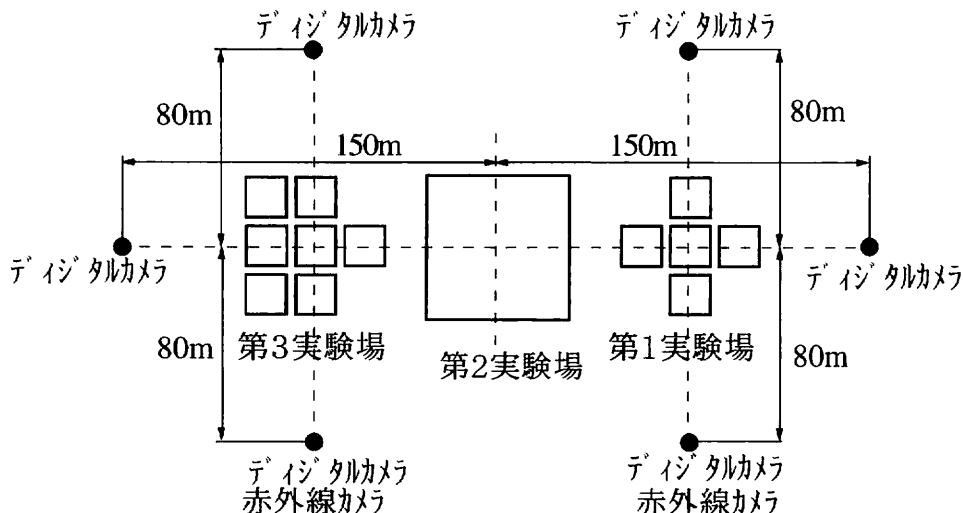


図1 計測機器設置場所

2.2 建物温度測定

火災建物温度は、図1に示す実験場中心より約80m南西方向（山側）に設置した赤外線カメラおよび図2に示すように建物内部に設置した熱電対によりそれぞれ行った。第1実験、第3実験とも中心家屋へは高さ50cm、100cm、170cmの3本の熱電対を設置し、他の家屋は、高さ50cm、100cmの2本の熱電対を設置した。使用した熱電対は、クロメル-アルメル(K-type)である。熱電対の設置方法は、家屋内廃材の倒壊による熱電対ポールの倒壊や断線、投下水による短絡を防止するために熱電対被服部にアルミテープを巻き、外径40mmの鉄製ポールに通して家屋中心部に固定した。

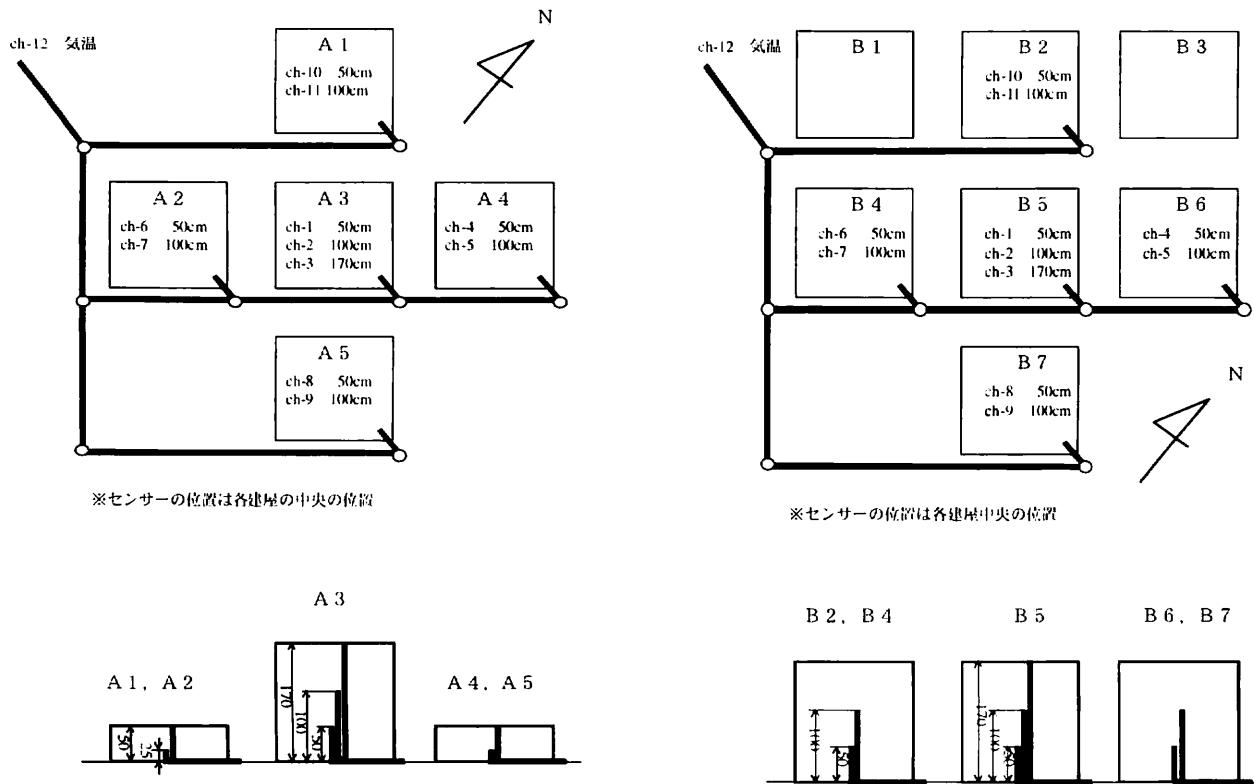


図2 熱電対設置位置（左；第1実験、右；第3実験）

3. 投下水散布性状

水投下は第1実験で20回、第2実験では2回、第3実験では5回行われた。水投下は、第1実験が9回目までの奇数回目が大分県防災ヘリコプター、11回目から19回目までの奇数回目が長崎県防災ヘリコプター、2回目から20回目までの偶数回目が福岡市防災ヘリコプターでそれぞれ行った。散布水量は、大分県防災ヘリコプターおよび長崎県防災ヘリコプターが600 ℥、福岡市防災ヘリコプターは540 ℥で、第2、第3実験は防衛庁保有の大型ヘリコプター(CH-47)での水投下で散布水量は5300 ℥であった。

ビデオ観測等より求めた散布範囲を、第1実験については図3左の(1)～(20)、第3実験については図3右の(1)～(5)に示した。散布面積は、図3から求めた散布範囲を円ないしは長円で近似して求め、平均散水密度は投下水が全て散布範囲に落ちたとして求めた。散布範囲の確定は難しいが、ここでは散水開始直後、水は霧状になるが、少しするとまとまって落ちるのが見え、そのまとまって見えるものの落下位置から、散水終了時に霧になる直前のまとまりが

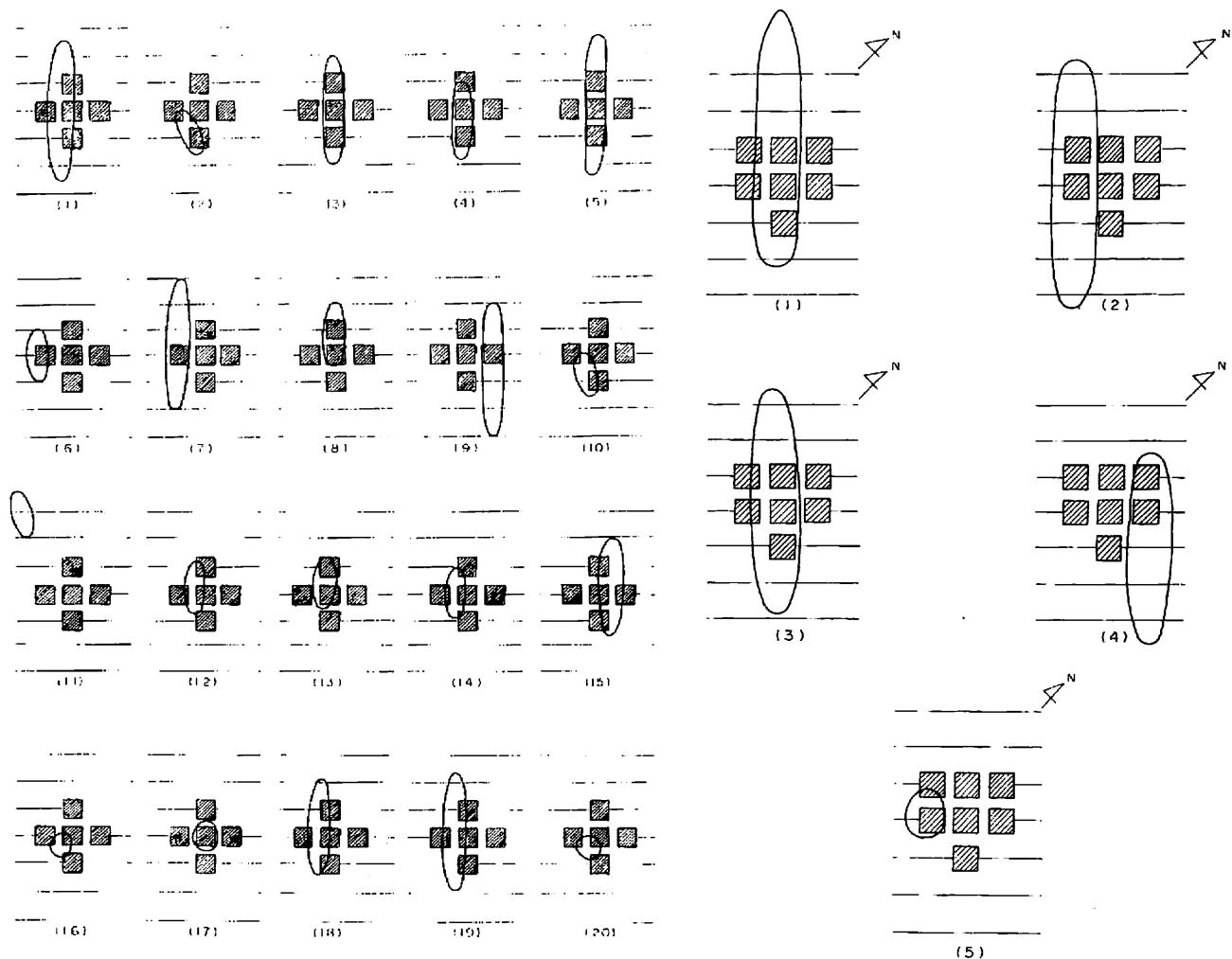


図3 散布範囲（左；第1実験、右；第3実験）

見える水の落下位置までを散水範囲の長さとした。幅については風上側は霧状の部分が少なく、落下位置が分かるが、風下側は霧状になる前の水の落下曲線を外挿して求めた。

図4および図5は、散水面積および平均散水密度について飛行速度が0 k t (ホバリング)、5 k t, 20 k tについてそれぞれ中型ヘリコプターと大型ヘリコプターの相違を示している。第1実験では、散布範囲の最大幅10m以下、最大長さ70m以下、散布面積50～400m²、最大散布密度4.4 ℥ / m²であった。苦小牧実験と比較すると、苦小牧では風速10m/sで、かつ風を横切る飛行だったので、散布範囲の幅は10～20mと今回の大分での第1実験のそれよりも大きい。散布範囲の長さは、今回の実験では風に向かって飛行したので、苦小牧実験より長くなかった。飛行高度は双方とも100ftである。第1実験における炎上領域の大きさは、中央の家屋A3が約50m²、周囲の家屋4棟の一部を加えると約120m²程度であり、炎上領域の幅は約15m、長さは約18mであった。

第2実験、第3実験での散布範囲の長さは約50～70m、幅は約13m、散布面積は約600～900m²で、平均散布密度は6 ℥ / m²以上であった。第2実験における採水マス散布密度の測定結果と比較すると、第3実験での散布密度と妥当な値であった。第3実験の炎上区域は、風横に28m、風向き方向に28m、面積約800m²で、散布面積はホバリング時を除いて平均800m²であった。実験時は風が強く、平均風速約9m/sの風が吹いていたので霧状になつて

飛散した水量が割合あったと思われる。

ホバリング状態での散布範囲の大きさは、苫小牧では約100m²で、今回の第1実験では消防防災ヘリコプターが平均60m²、大型ヘリコプターが140m²であった。第1実験時は風速約2m/s、第3実験時は風速約9m/s、苫小牧での散布水量は約900ℓで、実験時の風速は約9m/sであった。

投下目標と図3の散布範囲から確認すると第1実験1回目の投下を除いて概ね対象地点に命中している。さらに命中度を良くするためには同じヘリコプターが連続して同じ目標に投下すること、地上員による投下状況の通報および投下の誘導、低高度および低速度により投下すること、パケットの高度を低く（パケットを長吊りに）すること、多数機が連続して同じ目標に投下すること等が各消防庁より提案された。

図6は、散水面積と散水密度の関係について大分実験および八王子実験について示している。図中の数字は飛行速度を表しており、また飛行高度は大分実験の場合中型ヘリコプターで約100～150ft、大型ヘリコプターで約150ft、八王子実験では125～200ftである。何れの場合も散水面積と散水密度の関係は反比例であり、飛行速度の増加に伴い右下がりの曲線になる。平成10年度に行われた予備散布効果の実験を見ると、火災荷重10～25kg/m²において火災抑止効果が認められる散布密度は20ℓ/m²以上であり、また本実験においても図12～14に示すように火災抑止効果が認められる散布密度は20ℓ/m²以上である。従って、本図より炎上（散布）面積が決定すると火災抑止効果に最適なヘリコプターの大きさ、飛行速度が予測可能である。つまり、第1実験のように炎上面積が120m²程度の火災時では中型ヘリコプターが飛行高度100ft程度でホバリングして散布するのが効果的であり、第3実験のような炎上面積が800m²程度の大規模火災時には大型ヘリコプターを飛行速度5～10kt、飛行高度150ft程度で空中散布する方法が火災抑止効果が高いと考えられる。

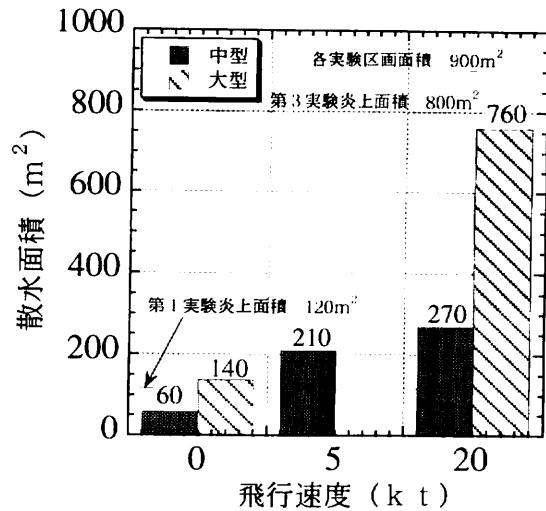


図4 飛行速度と散水面積の関係

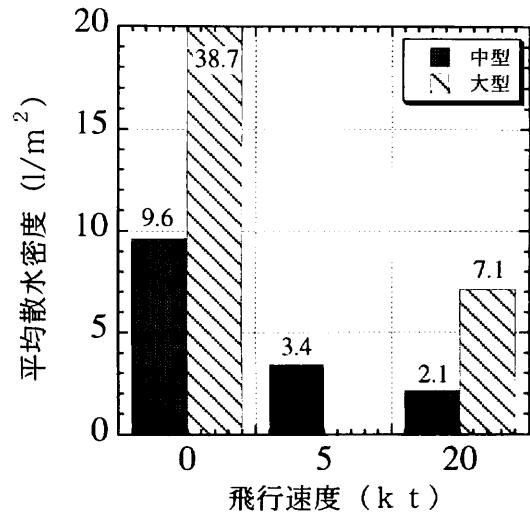


図5 飛行速度と平均散水密度の関係

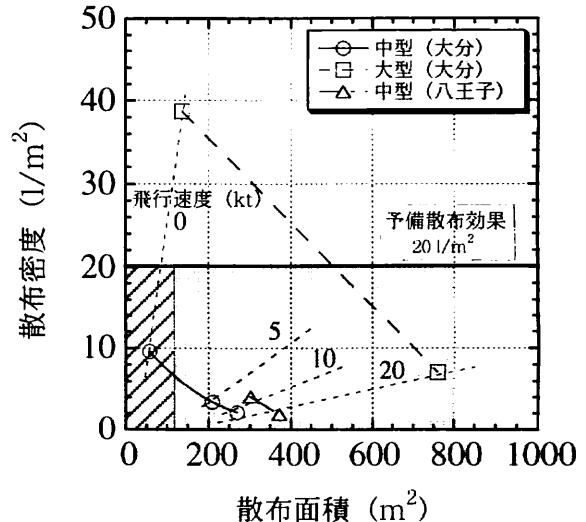


図6 散水面積と平均散水密度の関係

4. 建物温度変化

4.1 第1実験

図7は、第1実験中央家屋A3の建物温度の時間変化を示している。燃焼初期では、点火直後は黒い煙が上がり、窓枠付近では、酸素量が多いので燃焼が激しく火炎が吹き出していた。熱電対 Ch - 2(100cm)、Ch-3(170cm)は点火後10分程度で最高温度付近に達しているが、Ch-1(50cm)が最高温度に達するまでには25分間もかかっており、燃焼が内部に達するまでに時間がかかることを示している。また、燃焼初期段階での水投下により、熱電対温度は大きく下降するが、温度が回復する時間も早い。燃焼中期においては、点火から30分後には家屋の壁板は燃え尽きており家屋内部の木材の燃焼の様子が見える。Ch-1(50cm)、Ch - 2(100cm)、Ch-3(170cm)とともに燃焼温度が約1000°Cの高温度で安定していることから燃焼が家屋全体に広がったと考えられる。一方、燃焼中期段階での水投下は、熱電対の温度降下は燃焼初期よりも小さいが回復する時間は遅くなっている。赤外線カメラの写真によるとの燃焼温度降下も燃焼初期に比べて大きくなっている。火勢も燃焼初期段階に比べて小さくなっている。燃焼後期は、煙りもほとんど発生しなくなり、Ch-1(50cm)、Ch - 2(100cm)、Ch-3(170cm)の燃焼温度は水投下後には100%まで回復することはなくなり投下回数を重ねるにしたがって低くなっている。赤外線カメラの燃焼温度降下も同様に大きくなっている。水投下によってほとんど消えかかっている様子が観察される。風下家屋A5については、撮影映像による観察では一部分しか燃焼していないにもかかわらず燃焼温度が高い。これは、風下家屋A5が一番激しく燃焼している中央家屋A3の風下に当たるため、高温の燃焼ガスによる昇温であると考えられる。

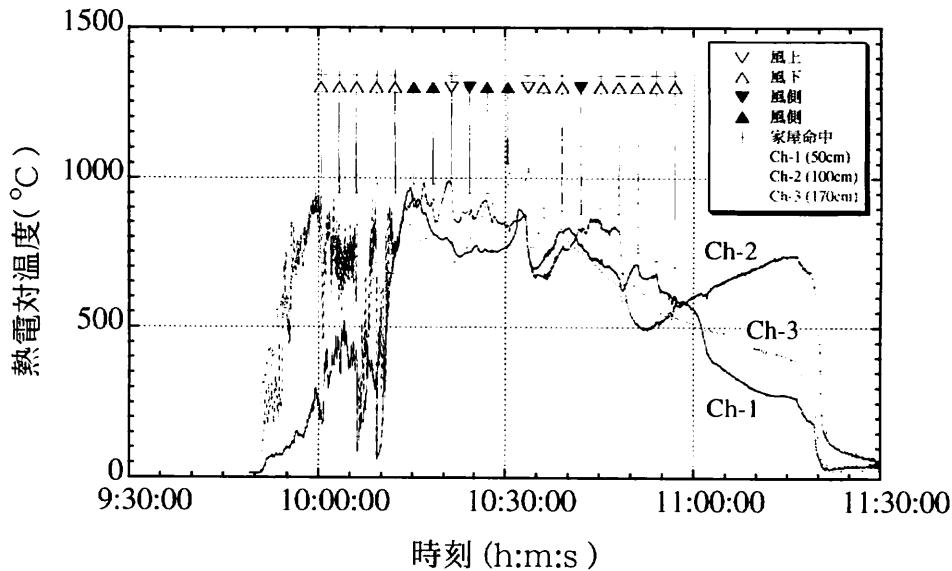


図7 建物温度の経時変化 第1実験中央家屋A3

4.2 第3実験

図8は、第3実験家屋B4における家屋温度の時間変化を示している。風側家屋B6以外では、点火後約10分で高さ50cmの位置に設置した熱電対温度が急激に上昇している。これは、点火後約10分で燃焼が内部まで広がったと考えることができる。またビデオ画像より、燃焼初期では火の勢いが一番強い状態である。また、建物温度は約900°Cの高温で安定していており、この状態では、水投下してもほとんど100%回復することが熱電対の出力から観察され

る。一方、30分以降は燃焼後期に入り、温度は下がりはじめている。しかし、風側家屋B6は例外で、温度が下がりはじめるのがかなり早くなっていた。

風下家屋B7の温度変化に注目すると、水投下一回目後の温度降下は約500°Cであり、温度回復時間はかなり早い。それに比べて水投下三回目後の温度降下は約200°Cで一回目よりも小さい。また、温度回復時間は一回目に比べると遅くなっている。中央家屋B5についても同様な結果が見られる。以上のことより、燃焼初期は、火勢は強いが水投下による温度降下は大きく、投下後の温度回復時間は早い。これは、燃焼初期には燃焼しているのは表面だけだが、未燃焼部分が回りにたくさんあり火勢が強いので、水を投下しても火の勢いは衰えにくいと考えられる。燃焼中期は火勢は弱いが水投下による温度降下は小さく、温度回復時間は遅い。これは、燃焼後期には、燃焼が内部に広がっていて、そこに水を投下しても内部が燃焼しているため急激に温度を下げるることはできず、水を蒸発させながらゆっくり温度上昇していくと考えられる。風上家屋B2では、高さ50cmに設置した熱電対の温度はゆっくり上昇している。これは風上家屋B2は、内部に火が広がる前に水投下が開始されて、予備散布の影響により内部の燃焼が遅くなつたためと思われる。次に、風側家屋B4に注目すると、水投下五回目後は急激に温度が下がっていることが観察できる。これは水投下5回目では、防衛府大型ヘリコプターがホバーリングにより、家屋B4に集中的に水を投下したためである。その時の実画像および赤外線画像によれば、風側家屋B4の火は完全に消えたかのようにみえ、集中的な水の投下によりB4の火災はいったん鎮火したように見えたが、約30分後には水投下前の温度に回復している。これは、表面の温度は低くなり火炎は消えたが、内部の燃焼部分には水が行き渡らずに、内部の温度は十分下がっていなかつたからだと考えられる。そのため、未燃焼部分が燃え出して水を蒸発させながら、ゆっくりと燃焼しはじめたと考えることができる。

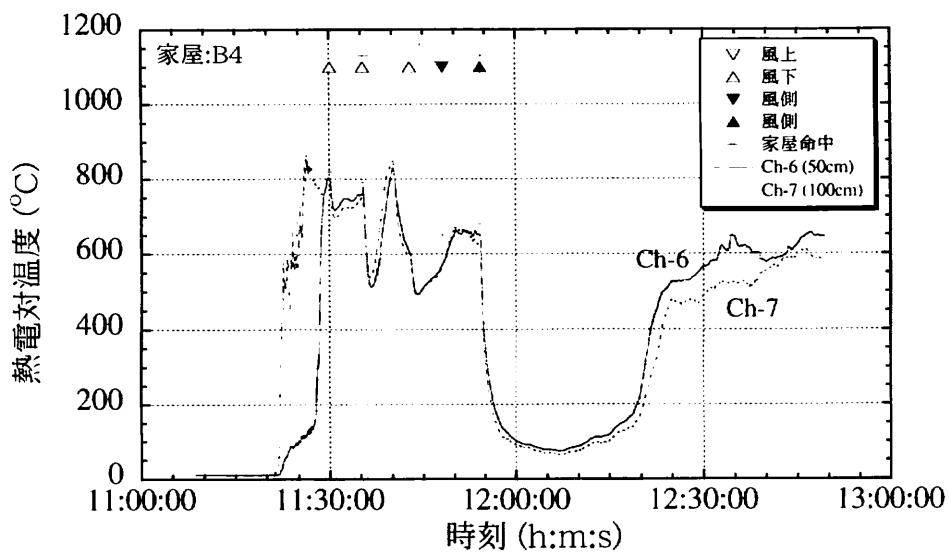


図8 建物温度の経時変化 第3実験中央家屋B4

4.2 投下水の家屋内部への浸透度

図9は、第1実験中央家屋A3の家屋中心部、高さ50cmの位置に挿入した熱電対による水投下時の温度変化である。横軸に累積投下水量、縦軸に家屋温度を示し、図中+印は当該家屋に水が命中したこと、Chは熱電対のチャンネル番号、()内は熱電対高さを表している。

投下水の家屋内部への浸透度は、水散布密度(命中率)、家屋屋根の有無および家屋屋根と家屋内部の燃焼状態により影響されると考えられる。図9において1回目～4回目まではCh-1(50cm)の温度降下が大きく燃焼内部まで水が浸透しているが、8回目、12回目～14回目、16回目～20回目は温度変化が小さく燃焼内部まで水が浸透していない。また、4回目までは燃焼温度が低く徐々に温度上昇しており、燃焼初期の段階であり燃焼が内部へと拡大していると考えられる。5回目以降は燃焼温度も高温で安定しており温度降下もあまり見られない。特に家屋への散布密度の高かった、8回目、13回目、16回目、17回目、18回目、20回目においても温度降下はあまり見られない。

投下水が家屋に命中しているにも拘わらず温度降下が顕著でない理由として、①熱電対が点計測であるということ、②熱電対付近の燃焼温度が高温のため投下水が瞬間に蒸発し熱電対の温度が下がらないこと、③熱電対の被覆が焼けて正確な温度表示されていないことが考えられる。しかし、投下回数が増えるにつれて燃焼温度は徐々に下がってきていること、12,17回目の投下では温度が低下しているなどの理由から、本原因は熱電対が点計測であり、投下水が熱電対の接合部に当たっていないことが原因と考えられる。事実、赤外線カメラによる家屋外部の温度計測では水投下により家屋温度は低下している。

図10および図11は、第3実験中央家屋B5の高さ50cm, 100cmに設置した熱電対による水投下時の温度変化である。図3の散布範囲によるとB5には4、5回目の投下水は命中していないにも拘わらず熱電対の温度降下が見られる。これは、項目3で述べたように実験中に風が強く(平均風速約9m/s)、霧状になって飛散した水による温度降下と思われる。

4.3 火災抑止効果

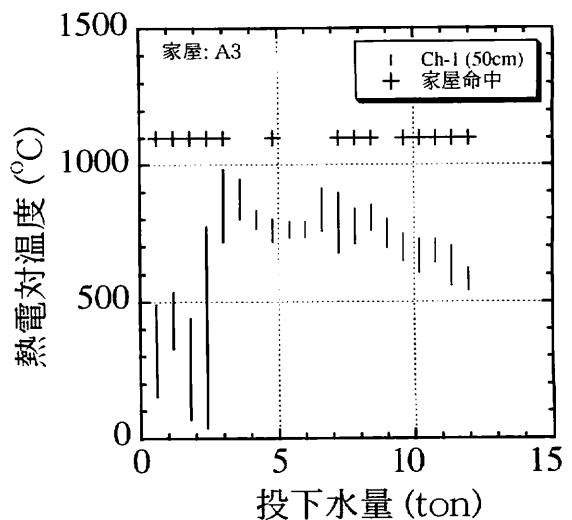


図9 投下水の建物への浸透度 第1実験

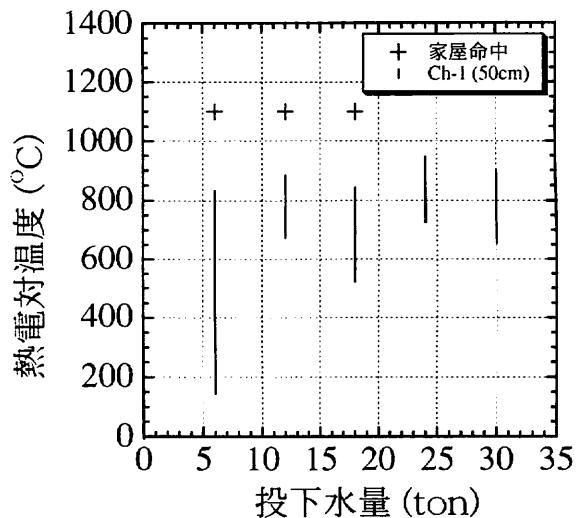


図10 投下水の建物への浸透度 第3実験

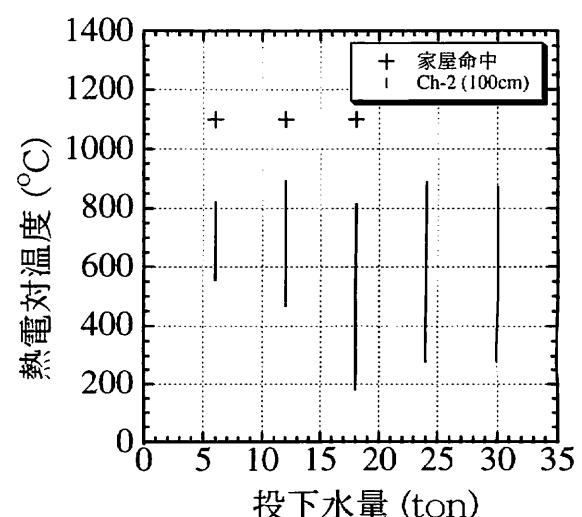


図11 投下水の建物への浸透度 第3実験

図12～図14は、第1実験および第3実験において、赤外線カメラおよび熱電対によって計測した建物温度の経時変化から求めた火災抑止時間、温度降下、温度回復率をそれぞれ示している。対象とした家屋は第1実験では中央家屋A3、第3実験では風側家屋B4であり、投下水が当該家屋に命中した測定値のみをプロットした。図12に示すように散布密度の増加につれ抑止時間がほぼ正比例して増加する傾向が見られた。また、図13より温度降下は、散布密度 10 l/m^2 までは急増し、 10 l/m^2 以降あまり変化がないことが分かった。また、図14より温度回復率も温度降下と同様な傾向が見られる。以上の結果より、散布密度 20 l/m^2 程度（例えば中央家屋 50m^2 に 1t の水を投下した場合に相当する）で火災抑止時間が10分程度、温度降下が約 500°C 、温度回復率が約40%となる。シミュレーション⁽³⁾によれば投下間隔3分の場合、第3回目の水投下でほぼ火災が鎮火できることが予想される。

5.まとめ

(1) ヘリコプター（バケット）のサイズをパラメータとすると、散水面積と散水密度の関係は反比例関係になり、飛行速度の増加に伴い右下がりの曲線になる。本曲線から炎上区域の面積が決定すれば予備散布を目的とした火災抑止効果に対して最適なヘリコプターの大きさ、飛行速度が予測可能である。

(2) 水散布時の建物温度の経時変化より散水密度と抑止時間、温度降下、温度回復率の関係を得ることができた。本結果より、火災を抑止するために必要な水投下間隔を予測することが可能である。

参考文献

- (1) 自治省消防庁消防研究所 市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書、消防研究所研究資料第42号、1998
- (2) 同上45号、1999
- (3) 同上46号、2000

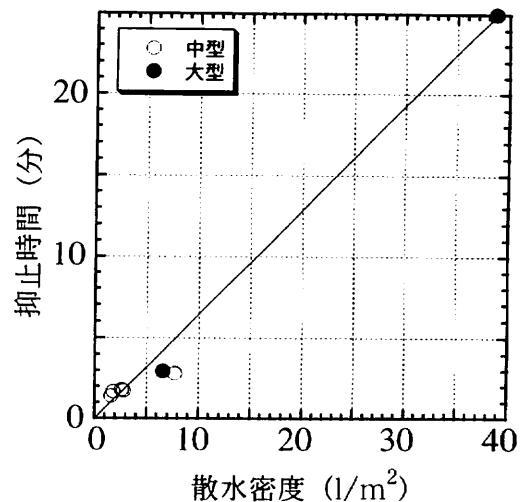


図12 投下水による火災抑止時間

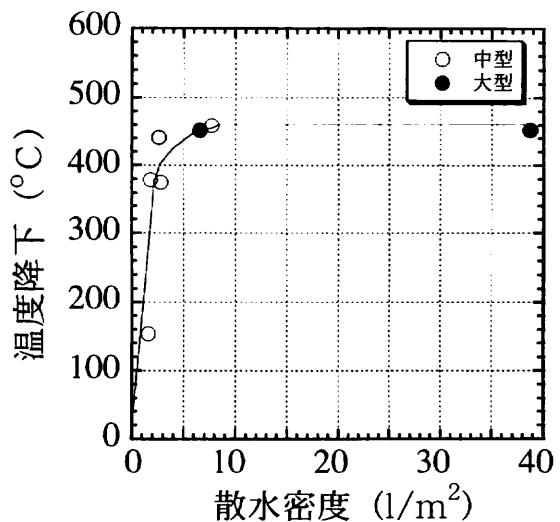


図13 投下水による温度降下

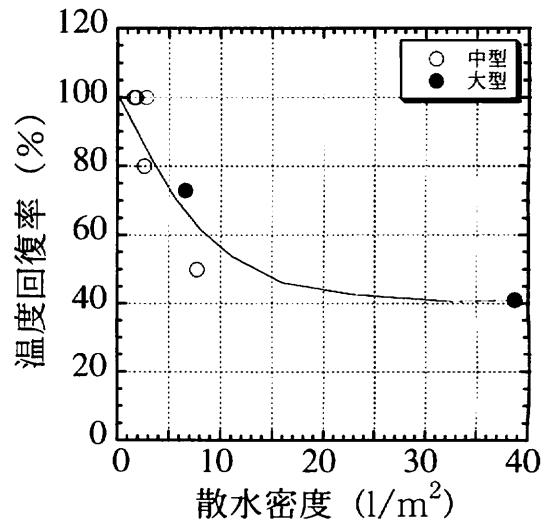


図14 投下水による温度回復

ヘリコプターの飛行による後流の発生

金田節夫（消防研究所）

1. はじめに

前進飛行をするヘリコプターからは機体重量を支持する揚力と前進速度を与える推力を発生させるため、ローター（回転翼）からの吹き下ろしによる斜め後方への後流（ダウンウォッシュ）が発生する。後流の主流である吹き下ろしの旋回流は地表面に到達した後、後方へ地表面と平行に流れ、その流れの両端部では渦流を含んで紙を丸めた様な形状の上下に回転した旋回流を伴って拡がる¹⁾。地表面における気流の変化は鉛直成分の主流が地表面に到達した場所から順次遠方へ伝わり、自然風等により減衰され、消滅する。このためヘリコプターが直上を通過しても、その後流は斜め後方に向かっているので、即座には直下の地表面へ後流による気流変化は起こらず、ある時間遅れて気流変化が発生する。さらに、側方に拡がる両端部の気流変化はより一層遅れてかなり遠方まで到達すると考えられる。この気流変化はヘリコプターによる消防活動を行う上で、火災場上空を偵察あるいは消火用水の散布飛行をする時に、地上の火災を煽ってしまったり、燃焼物を飛ばして飛び火火災を発生させる事等が懸念され、火災燃焼部のみならず地上で消防活動をしている作業者も考慮する必要がある。このため、現在行われている林野火災へのヘリコプターによる空中からの消火活動時には、原則として地上の要員が散布域から退避した後、散布飛行をすることとしているが、不可抗力で地上の要員が退避不能となった場合は、直近の窪地等に身を伏せて散布の終了を待つ事としている²⁾。そこでこの後流の状況を定量的に把握し、具体的な対応のための検討資料を得るために、消防活動に用いるヘリコプターから発生する後流を測定したものである。ここでは各種のヘリコプターを用いて行った野外実験における後流の発生状況と測定結果について述べる。

2. 野外実験における計測

当所では過去3カ年に渡りヘリコプターを用いた野外実験を行い、その中で後流の状況を把握するため、次の計測を行った。

平成9年は上空で発生した後流の地表付近での状況を把握するため、ヘリコプターからの放水により立ち昇る水蒸気や火災の煙の動きを撮影し、通過前後で明瞭に動きの変化があるものを後流の一部と考え、火点直上通過時から動きの発生するまでの時間遅れを画像から測定した。また、飛行高度及び速度の測定は、ヘリコプターの進入を正面及び側面から、機体と地表面を同一画面に入るように一定の固定アングルでビデオ撮影し、その画像よりヘリコプターの機体全長を基に高度と移動距離を、また画像上に写し込んだ時刻を元に移動距離から飛行速度を求めた³⁾。

平成10年は飛行条件を正確に把握するため、レーザー距離計による飛行高度及び速度の測定を行った。飛行方向を側面から望む位置にレーザー距離計を設置し、放水前から放水後までの距離計と機体中心部間の直線距離及び仰角を数秒間隔で測定し、地上からの高度に換算した。さらに機体の移動に伴う距離計の旋回角から直前の測定点との移動距離及

び所要時間を求め、各測定点間の区間平均速度を算出した。一飛行当たり十回以上の測定を行い、放水時に測定できなかった場合には、放水開始時刻よりその高度と速度とを比例配分により推定した。さらに、地表面における後流を把握するため、超音波風向風速計による後流の一成分である垂直風速及び風向・水平風速の測定を行った。飛行経路直下の測定点に地上 1.5(m) の高さで超音波風向風速計を設置し、水平及び垂直の風向風速を 1 秒間隔で、測定点直上通過以前から放水終了までを測定した。飛行方向に対してかなり強風の横風条件での飛行となり、安全を最優先し、30.5(m) から 45.7(m) [100 ~ 150(ft)] の高度で、且つ目標に放水を到達させることとしたため、パイロットの状況判断による高度と速度でヘリコプターは飛行した⁴⁾。

平成 11 年は大型ヘリコプターによる後流の測定を行った。測定は一辺 30(m) の正方形の実験区域外周に各種色の異なる旗を立て、ヘリコプター通過前後の旗のたなびきをビデオ撮影し、観察した。また、実験区域中心部の地上に、前年同様超音波風向風速計を設置し、通過前からの風向風速変化を測定した。さらに、この風向風速計設置点の後方 50(m) で飛行経路左侧 100(m) の位置において一般気象観測用の風向風速計を設置し、側方への後流の状況を観測した。ヘリコプターは実験区域中心線上を経路とするように飛行し、その飛行条件である高度及び速度は平成 9 年と同じ方法で、画像から測定した⁵⁾。

3. 野外実験の結果

平成 9 年は AS332、AS365 及び BK117 の 3 機種 5 機により、23 回の散布飛行を行った。この内、画像から後流の一部と観られる水蒸気や煙の動きが 4 回の飛行に現れた。特に、3 機種の中で一番大型の AS332 の飛行を前方から撮影した画像には、飛行方向と平行に半円形の煙の流れが発生し、後流の後方に発生する対称渦流の片方と同じ形状が確認できた。これら現象の観られた機種、飛行条件、地上風速等を表 1 に示す。表中、火点直上通過後から水蒸気や煙の動きが

表 1 後流の確認できた飛行

機種	高度 (m)	速度 (m/s)	地上風速 (m/s)	時間遅れ (s)	形狀
AS365	41	13	2.1~2.3	約 15	後方への流れ
AS332	37	13	2.2~3.3	約 12	半円形の流れ
AS365	35	11	2.1~3.3	約 12	後方への流れ
AS332	28	12	1.8~2.5	約 9	半円形の流れ

確認できるまでの時間を時間遅れとし、さらに水蒸気や煙の動きを形状とした。3 機種の中で一番小型の BK117 の 3 回の飛行の画像にはこれらの煙等の動きは観られなかつた。

さらに AS332 や AS365 が表中の飛行条件よりも低い高度や速度でも飛行したが、煙等の動きは観られなかつた。ヘリコプターの上空通過による地上の風速変化等の定量的な結果を得る事はできなかつたが、発

表 2 後流の確認できた飛行

機種	高度 (m)	速度 (m/s)	地上風速 (m/s)	時間遅れ(s)	後流速度		飛行番号
					水平	垂直	
Bell412	24.7	7.2	6.1	4	—	3.7	1-5
Bell412	33.1	8.9	8.4	12	8.0	2.0	3-1-1
Bell412	25.7	11.0	7.3	8	11.3	6.8	3-2-4
Bell412	25.2	8.3	7.6	11	14.5	6.8	3-2-6

生頻度は少ないながらも、今回飛行条件下において後流の発生を確認する事ができた。

平成 10 年は Bell412 の 1 機種 2 機により、33 回の散布飛行を行った。この内、30 回

の飛行についてレーザー距離計による高度と速度のデータが得られ、前年までの画像による測定では得られなかった放水に至る高度と速度の推移を、数秒単位で精度高く求めることができた。しかし、今回は平均風速 $6 \sim 9$ (m/s) の横風を受けて飛行することとなり、放水された水を散布対象に到達させることを目標としたため、投下水の横流れを考慮したパイロットが設定した飛行経路より若干偏った経路を飛行した。飛行経路直下にはならなかつたがその近傍に設置した超音波風向風速計の記録からは4回の後流による変化が測定された。表2に4回の飛行条件を示す。図1に風向風速結果の一例を、図2にこの飛

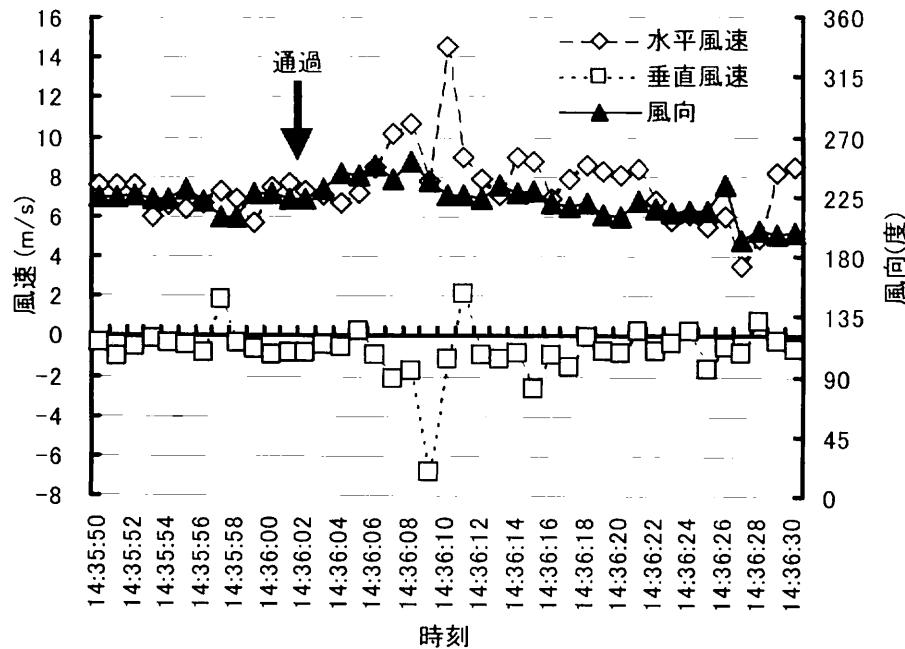


図1 地表の風向風速変化(第3実験その2-6)

行時の機体中心部の高度と速度の推移を示す。図1より地上の自然風が7(m/s)前後の横風であっても直上通過11秒後にその水平風速最大値は14.5(m/s)を、さらに通過前はほぼ0(m/s)の垂直風速も下向きに7(m/s)を記録した。図1中の下向き矢印↓は飛行経路直近の超音波風向風速計直上を通過した時刻を、同様に図2中の下向き矢印↓の内、直線部が実線は風

向風速計直上を通過した時刻を、破線は放水を開始した時刻を示す。図2より、パイロットは散布目標へ放水を到達させようとして、かなり速度を減速させていることが分かる。また、放水開始点からの高度変化が少なく、この機体では放水による約900(kg)程度の重量変化でも高度に変化を与えていないことが分かった。

平成11年は国内で

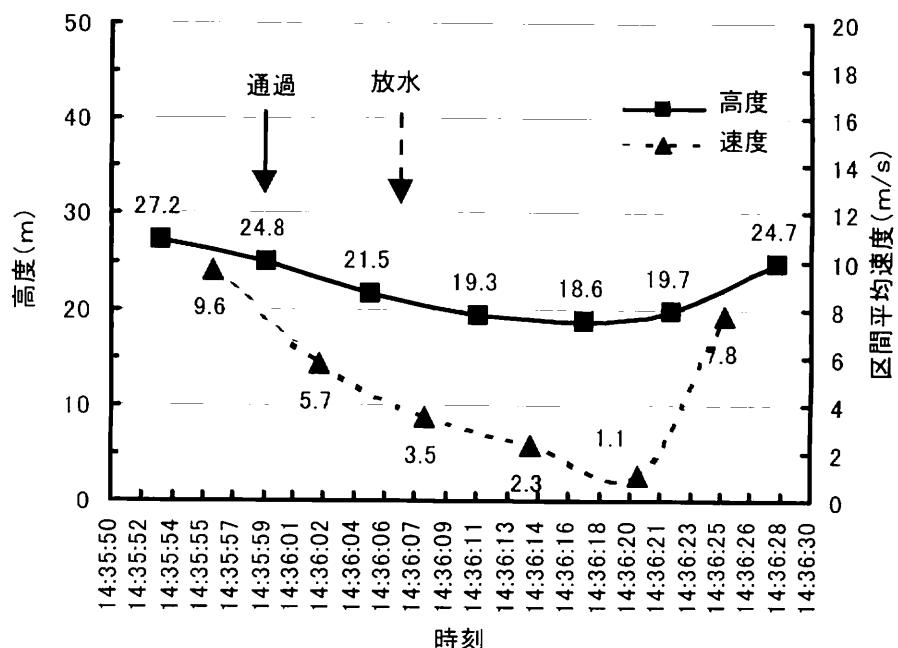


図2 高度と速度の推移(第三実験その2-6)

は最大級の大型ヘリコプターである CH-47J の 1 機種 2 機により、4 回の通過飛行と 2 回の散布飛行を行った。通過飛行時の平均風速は 4 ~ 6(m/s)、散布飛行は 8 ~ 10(m/s) の飛行方向に正対した自然風であった。前年はパイロットの判断により高度と速度が決定されたため、飛行条件を一定にする事ができなかったので、今回は一定の高度と速度で目標点直上をほぼ北西方向 [磁針方位 325 度] に飛行する経路とした。飛行実験区域外周に立てた旗のたなびきの観測結果からは、観測中常時旗のたなびきが激しく、後流による気流変化は判別できなかった。

前年の結果より地上で後流を

容易に特定できる現象として、機体通過後に水平方向の大きな風速変化があった。実験区域中心で飛行経路直下の位置 (A 点とする) に超音波風向風速計を設置し、各飛行毎に風向風速の記録より通過後に風速最大値が発生するまでの時間を飛行条件と共に表 3 に示す。尚、2 回の散布飛行については風速の変化が明確に特定できなかったため、示していない。

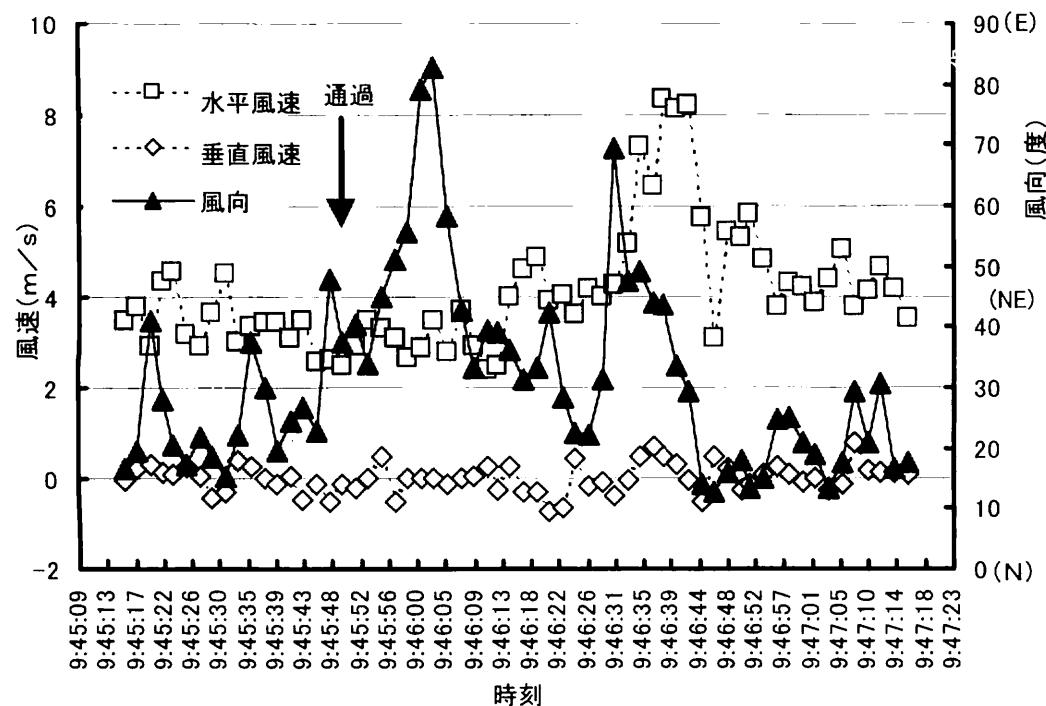


図3 A点における風向風速の変化(飛行番号2)

A点における結果の一例を図3に示す。同図より通過 15 秒後に約 60 度の大きな風向変化が発生しており、変化した方位は飛行方向に対しほば直角であった。しかし、同時に水平風速の変化は生じておらず通過 45 秒後になって、

最大風速 8.3(m/s) が発生し、且つ旋回流の特徴を示す上下方向に垂直風速の若干の変化も発生した。一般気象観測用の風向風速計の位置 (B 点とする) における測定結果を図 4 に示す。図 4 において通過時刻を示す下向き矢印 ↓ は飛行経路と直角の方向で B 点を臨む飛行経路直下点 (C 点とする) 上を通過した時刻を示す。C - A 点間の距離は 50(m) であり、

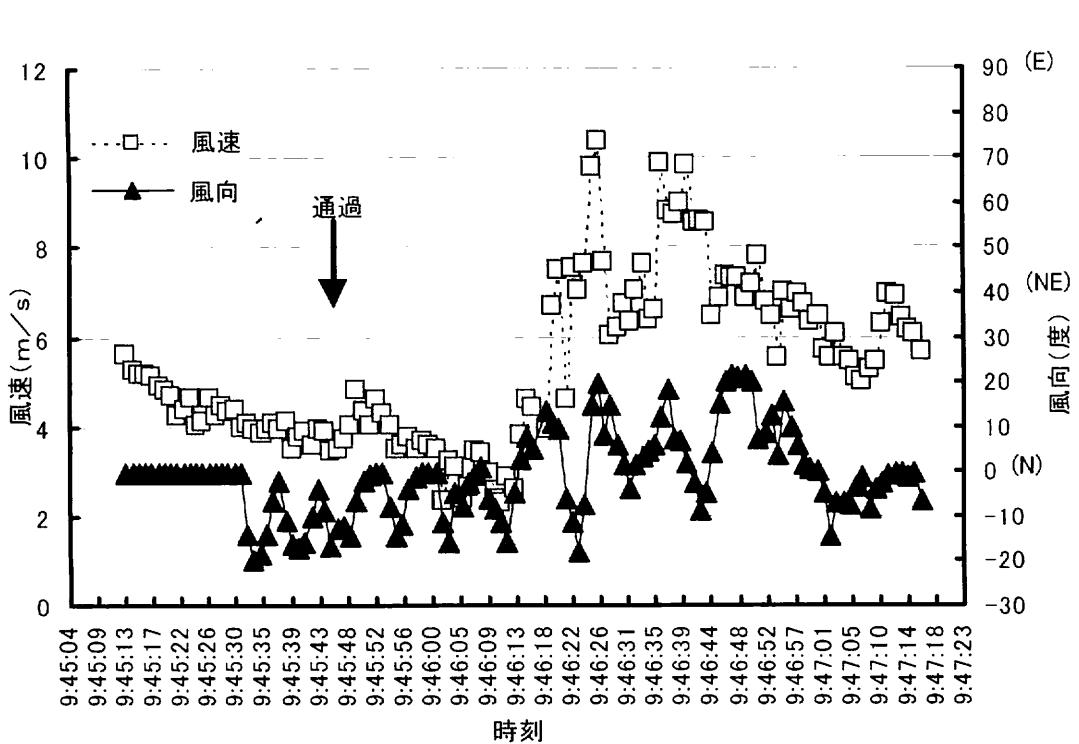


図4 B点における風向風速の変化(飛行番号2)

飛行番号2においてはC点上を通過後、約4.2秒後に機体はA点直上を通過した。また、図4より通過41秒後に水平風速の変化が発生し、最大風速8.3(m/s)を示し、図3と同様に風向の変化も発

生した。C-B点間の距離は100(m)であり、後流がB点に到達するまでの時間は41秒であることから、水平方向に拡がる速度は2.4(m/s)となった。表3に示した4回の飛行の水平方向に拡がる速度と飛行高度及び速度との関係を図5に示す。同図において画像から求めた速度は対地速度とし、当日は自然風に正対する飛行となつたので対地速度に地上風速を加えたものを対気速度として示す。後流の拡がる速度と高度及び両飛行速度との関係は明確な傾向を示すものではなかった。しかし、A B両点における通過前の自然風が4(m/s)前後であっても、後流は自然風を横切り、その拡がる速度も4(m/s)以下であり、100(m)遠方まで到達する事が分かった。

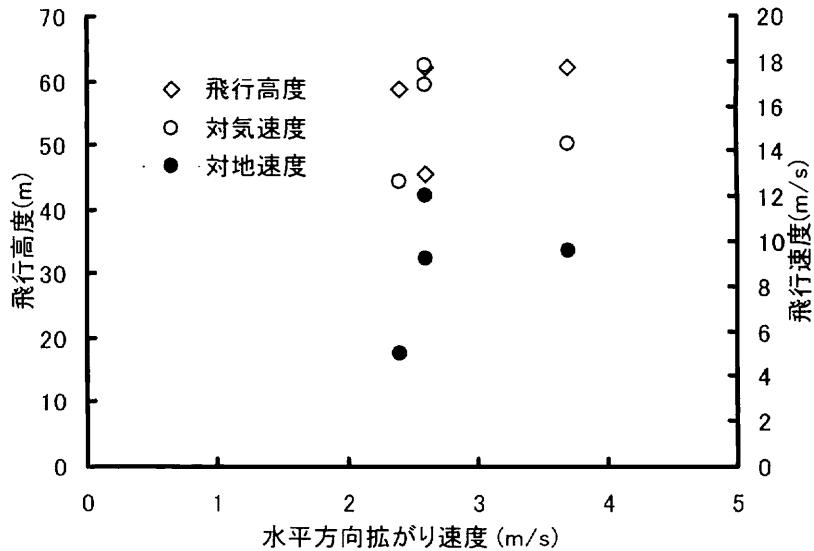


図5 後流の水平方向拡がり速度と飛行高度・速度

4. 考察

これまでの3回の野外実験の結果、全体として定量的な検討資料を得ることはできなかった。そこで高度、速度あるいはその両者の積のどの要因に地表面への後流の到達が支配されるのかを検討した。表1、2及び3の中から直上通過後から後流の確認できた時間または最大風速値の発生するまでの時間とこれら要因との関係を調べた。3要因の内、高度

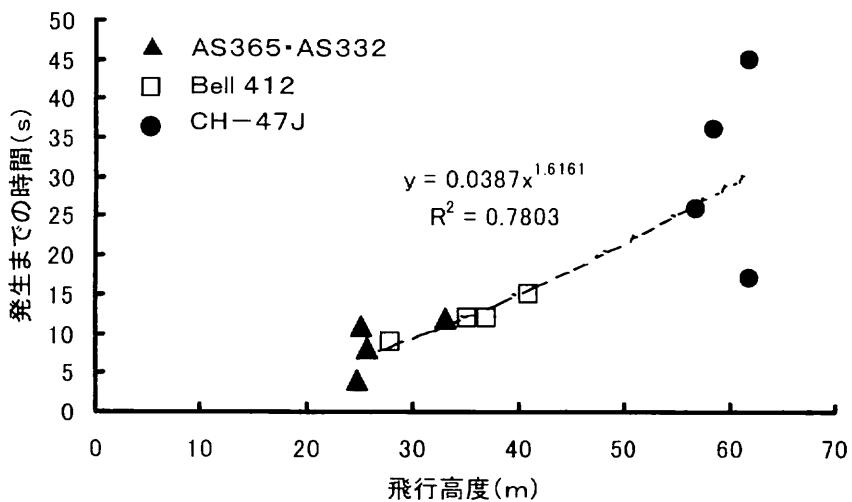


図6 通過から後流発生までの時間と飛行高度

と発生までの時間の関係を図6に示す。図6から高度が上昇すると、後流の発生までの時間は長くなり、高度が下がるとその時間は短くなる右上がりの相関の高い傾向となった。10年のBell412及び11年のCH-47Jは飛行時にかなりの自然風があつたためか、発生までの時間に差があるの較べ、9年のAS365・AS332では殆ど差が無く直線状に並んだ。さらに9年及び10年の指標のほぼ延長上に11年の指標が在った。各年の資料数が少ないながらも後流の発生までの時間は、高度の要因に関係の深いことが分かった。さらに、これらの指標の近似式を求めることで、発生までの時間を推定できる事が分かった。しかし、速度あるいは高度と速度との積の要因については、図6の様な傾向は見つけ出せなかった。

5.まとめ

平成9年には煙や水蒸気の動きから後流の一部である対象渦流を捉えることができた。10年はヘリコプターの高度や速度の推移及び地表面における水平、垂直方向の風速を、精度高く測定することができた。11年は飛行経路の側方への拡がりを測定することができた。この結果、地表面における後流は飛行速度より上空を通過する高度に関係が深く、機種が異なっても近似式から推定できる事が分かった。また、後流が飛行方向と直角に水平方向へ拡がる速度は4(m/s)以下で、飛行経路から100(m)遠方まで到達することがある。

以上より、地上で待機する要員は飛行高度から後流の到達時間を推定し、その到来に備え、飛行経路から100(m)以上離れた場所で、安定した姿勢で身体を保持し、安全を見込み、1分程度警戒をする必要があると考えられる。

参考文献

- 1) D.H.Wooley : A note on helicopter spray distribution, Agric Aviation, Vol.4, P43-47, 1962
- 2) 空中消火の有効活用に関する調査研究報告書、自治省消防庁、P167-172、昭和62年3月
- 3) 金田：ヘリコプターの飛行による後流の発生、消防研究所報告第87号、P38-45、1999
- 4) 市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書、消防研究所研究報告第45号、P7-15、平成11年3月
- 5) 市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書、消防研究所研究報告第48号、P129-139、平成12年3月

(消防研究所 0422-44-8331)

午後2：00～午後4：30

午 後 の 部

火災抑止と延焼阻止効果

竹元昭夫（消防研究所）

1 はじめに

阪神淡路大震災を契機に、市街地火災へのヘリコプターによる空中消火の可能性について論議され、実験的研究が行われてきた。ここでは、ヘリコプターからの投下水による火災抑止と延焼阻止効果について、その研究成果を紹介する。

東京消防庁が平成8年度に日本火災学会に委託して行った研究¹⁾では、消防ヘリコプターによる空中消火の火災抑止の継続時間は、投下水量500Lクラスの中型機では約10～30秒程度、投下水量1000Lクラスの大型機では約40秒～1分程度であり、その状態を持続させるためには、一定の時間間隔で連続的に水を投下することが必要であると結論づけている。

この研究成果を踏まえて、当研究所では平成9年度から三カ年計画で、消防・防災ヘリコプター及び陸上自衛隊の大型ヘリコプターからの投下水による延焼阻止、火災抑止効果等について実験的研究を実施した。

平成9年度には、延焼を阻止するという目的から、燃焼区域の風上側の火先線に一定の時間間隔で連続的に水を投下した場合及び未燃焼区域へ散布した場合の延焼阻止効果を調べた。

火先線が長いと1回の投下水で火先線を有効に覆いきれないで、平成10年度には、一定の時間間隔で連続的に散布した場合の効果を確かめる為に、独立家屋火災から風上家屋への延焼阻止、並びに飛び火による火災への火災抑止を目的に、消防・防災ヘリコプターからの散布実験を行った。

前年までの実験結果から、投下水量500Lクラスでは火災抑止等に効果があまり無く、投下水量900L、1200Lクラスの場合には特定の飛行条件下で延焼阻止あるいは火災抑止に時間的な効果があることが判った^{1) 2)}。そこで、平成11年度には、5300Lと投下水量が大きな陸上自衛隊の大型ヘリコプターを用いて実験を実施し、火災抑止効果について調べた。また、室内実験結果から火災荷重25kg/m²の場合には、散水密度が5L/m²であれば消火が可能であることが判ったので、消防・防災ヘリコプターによる確認実験も行った。

2 分析方法

平成9年度は風上への延焼阻止という目的から、点火家屋C列と家屋B列の通路間、C列はB列側通路境界からB列と反対方向2.0～2.5m範囲、家屋B3はC列通路側境界から家屋A方向2m範囲の散布状況及び火災抑止効果を、飛行コースの前後方向から撮影したビデオ画像を用いて分析を行った。（本講演会資料の「市街地火災の空中消火による火災抑止効果に関する研究の概要」の図1参照。以下、引用する場合は「概要の図x」として表す）

平成10年度は家屋A及びA'間の延焼阻止を目的とした第2実験では、家屋Aの風上側2m範囲とA—A'間の延焼媒体への散布状況及び火災抑止効果を、飛行コースの前後方向から撮影したビデオ画像を中心に分析を行った。また、木材クリップ火災による飛び火火災を想定した第3実験も同様に撮影したビデオ画像を用いて分析を行った。（「概要の図3」参照）

平成11年度の火災抑止効果については上空のヘリコプターから撮影したビデオ画像を中心に、飛行コースの前後左右から撮影したビデオ画像を補足的に使用して分析を行った。上空から撮影された画像は大きさが一定でないため、散布された家屋が再燃した区域をスケッチし、その区域を散布後からの秒単位で図示して、火災抑止効果を分析した。

投下水の散布状況及び火災抑止効果については以下のように用語の定義をして整理した。

* 投下水の散布状況（ヘリの進行方向から見た投下水の濃さで示している）

超高密度（●）：霧状には見えず、白い塊のような状態

濃い霧状（◎）：投下水を通して反対側の景色が見えない状態

霧状（○）：投下水を通して反対側の景色がうっすら見える状態

薄い霧状（△）：反対側の景色が霧状よりさらに良く見える状態

* 散布の燃焼区域への効果

A：効果大（無炎燃焼 60秒以上継続中）、

B：効果有（10～60秒未満に再燃）、

C：効果小（10秒未満に再燃）

* 火災抑止関係

- ・無炎燃焼とは：散布により炎が消えて、煙のみが発生している状態を言う。無炎燃焼区域内に小さな炎が発生しても、拡大しないか拡大が遅い場合には無炎燃焼が継続しているものと見なす。

- ・無炎燃焼幅とは：飛行方向と直行している家屋の幅 7.2m の内、無炎燃焼の幅が家屋の飛行方向の長さ 7.2m に渡っている区域を無炎燃焼区域と定義し、その時の幅を無炎燃焼幅と言う。

3 各年度毎の実験概要及び結果

実験の家屋配置及び実験条件等は本講演会資料の「市街地火災の空中消火による火災抑止効果に関する研究の概要」で述べられているので、ここでは結果のみについて紹介する。

3.1 平成9年度八王子実験

3.1.1 連続散布による延焼阻止帯の形成

一定時間間隔での連続散布の効果は表1に示すように全体的には明確でないが局所的に見てみると、第2グループの連続散布では家屋 C1、C1-B1 間を除く散布予定区域に 4 飛行中 3 飛行が霧状散布を行った。その結果、家屋番号 C2～C4 の B 列側の通路よりに延焼阻止帯が形成されつつあり、霧状散布であっても連続散布による効果が確認された。特に、点火から 28 分 10 秒後に開始された第4グループによる 4 機の散布での家屋 C4、C4-B4 間通路は火勢が弱まっていることもあり、濃い霧状、霧状散布であっても 60 秒以内の連続散布によって一時的な延焼阻止帯の形成が見られたが、そのまま放置すると 3~4 で再燃した。

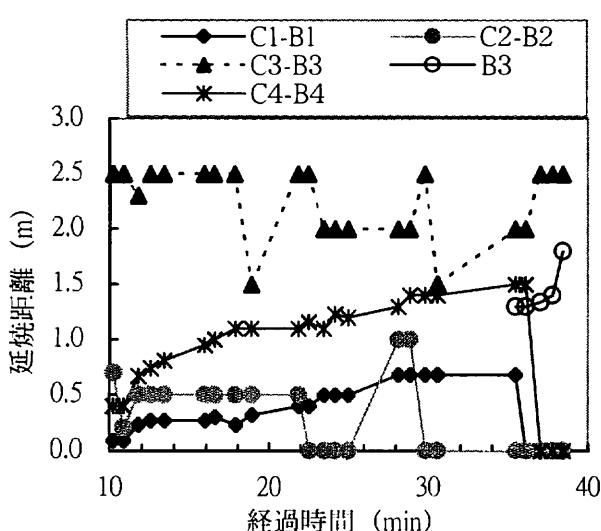


図1 C-B間通路及び家屋B3の延焼距離

軒下の火勢は弱く、また放射熱により発火した炎も比較的小さい内に、霧状の散布で消炎した。従って、消炎、再燃を繰り返しながら、飛行 No.17 以降は延焼が阻止されていることが判る。

C3-B3 間の炎は第1回散布飛行時には B 列との境界まで達していて、散布の状況により延焼先端の位置が

3.1.2 C-B 間通路の延焼阻止

散布開始からの C-B 間通路の延焼状況を図1に示す。図において、C-B 間の延焼距離が例えば 2.5m とあっても、その幅全体が燃焼していることを示しているのではない。散布による効果によって部分的に消炎している場合には、C 列との境界から一番離れている炎の位置を示している。

C1-B1 の延焼状態は表1に示すように飛行 No.1, 9, 10, 17, 18 で霧状散布されているが、あまり効果的ではなかったために、散布の影響を受けながらも徐々に延焼しているのが、飛行 No.19 の超高密度の散布で消炎した。

C2-B2 間の延焼状態は軒下の延焼媒体上に落下した瓦が延焼を抑える役目を果たしたために

軒下の火勢は弱く、また放射熱により発火した炎も比較的小さい内に、霧状の散布で消炎した。従って、消炎、再燃を繰り返しながら、飛行 No.17 以降は延焼が阻止されていることが判る。

変わっているが、概ね B 列の境界まで延焼先端が行っている。従って家屋 B3 は飛行 No.19 の散布時には本格的に燃え始め、延焼距離は 1.3m 付近まで達しており、その後急激に延焼が拡大していることが判る。

表1 平成9年度八王子実験の散布時条件と火災抑止効果

グループ	飛行番号 (m:s)	飛行高度 (ft)	飛行速度 (kt)	投下水量 (L)	平均撒水密度 (L/m ²)	散布状況とその効果	各燃焼区域毎の火災抑止効果									
							C1	C1-B1	B1	C2	C2-B2	C3	C3-B3	B3	C4	C4-B4
第1	1 (10:14)	206.7	20.8	1200	2.8	散布効果	○	△	—	○	○	○	○	○	○	◎
	2 (10:53)	213.3	27.2	600	2.9	散布効果	—	—	—	—	—	◎	—	—	○	—
	3 (11:47)	150.9	29.4	500	1.5	散布効果	—	—	△	—	△	△	—	△	—	—
	4 (12:33)	144.4	25.5	500	1.4	散布効果	—	—	○	—	△	—	△	○	—	—
	5 (13:24)	180.4	26.1	500	0.9	散布効果	—	—	△	—	△	○	○	○	△	○
第2	6 (15:58)	131.2	14.4	1200	2.0	散布効果	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○
						飛火	C	B	B	B	B	/			C	
	7 (16:58)	157.5	25.1	700	1.5	散布効果	—	—	—	○	○	○	○	○	△	○(B)
							C	B	C	煙	C	B				
第3	8 (17:53)	124.7	24.7	500	2.4	散布効果	—	—	△	—	—	—	—	○	—	—
							C							煙		
	9 (18:55)	170.6	32.5	500	1.1	散布効果	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
							C	C	A	C	A	B	C	煙	C	C
	10 (21:53)	160.8	33.7	1200	3.5	散布効果	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第4							C	C	↓	A	A	B	B	煙	C	C
	11 (22:31)	134.5	25.1	700	2.9	散布効果	—	—	—	—	—	○	○	△	○	○
								↓	↓	↓	C	C	煙	A	A	
	12 (23:29)	150.9	31.3	500	1.8	散布効果	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
								↓	s	↓				煙	A	C
第5	13 (24:11)	134.5	24.1	500	1.4	散布効果	—	—	△	△	△	○	○	○	○	○
								↓	A	↓	A	C	煙	↓	C	
	14 (25:01)	150.9	23.4	500	1.3	散布効果	—	—	—	△	△	△	△	○	△	△
								↓	↓	↓	B	C	煙	B	B	
	15 (28:10)	121.4	25.7	1200	4.6	散布効果	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第4								↓	↓	↓				煙		
	16 (28:53)	114.8	20.8	900	3.6	散布効果	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
								↓	↓	↓				煙	A	C
	17 (29:49)	144.4	30.2	500	1.5	散布効果	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第5							B	B	↓	↓	B	B	煙	B	B	
	18 (30:35)	137.8	29.8	500	1.0	散布効果	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
							B	B	↓	B	↓	B	B	煙	B	B
	19 (35:27)	91.9	23.2	1200	3.0	散布効果	●	●	●	●	●	—	—	—	—	—
							A	A	↓	A	↓					
第5	20 (36:11)	157.5	26.7	900	2.8	散布効果	—	—	—	—	—	○	△	○	○	○
							↓	↓	↓	↓	↓	A	C	A	A	A
	21 (37:06)	157.5	25.3	500	1.5	散布効果	—	△	△	—	△	—	—	△	—	△
							↓	↓	↓	↓	↓	S	C	↓	↓	
	22 (37:46)	147.6	33.7	500	1.3	散布効果	—	△	○	—	△	—	—	△	—	—
第5							↓	↓	↓	↓	↓	C	S	S		
	23 (38:25)	147.6	22	500	1.4	散布効果	—	○	○	—	○	—	○	○	—	△
							↓	↓	↓	↓	↓	C	C	↓	C	

注1) 表中の「-」は散布されなかつことを示す。

注2) 表中の斜線は燃焼をしていないことを示す。

注3) 表中の↓は上欄の状態が継続していることを示す。

注4) 各CはB列境界通路側から2~2.5mの範囲の散布状況を示す(C列各棟の全体の記述ではない)。

注5) B3はC列境界通路側から2m程度の範囲の散布状況を示す(B3の全体の記述ではない)。

C4-B4 間の延焼状況は、表 1 に示すように散布の影響を受けながらも、徐々に延焼していっているが、後述するように、超高密度の散布を受けて消炎した。

3.1.3 家屋 B3 への延焼

家屋 B3 は表 1 に示すように点火後 17 分頃から煙が発生し、35 分頃には炎を発生し、徐々に延焼が進んでいる。図 1 に示すようにヘリコプターからの散布開始時には C3-B3 間通路は延焼中で、家屋 B3 付近に炎が長時間存在していることが判る。従って、早期に C3-B3 間の延焼を阻止できなかったために、家屋 B3 の下層部に火が入り、内部から燃焼していったものである。なお、家屋 B3 へは 23 回の散布飛行のうち、散布されなかつたのは 5 回で、濃い霧状が 2 回、霧状が 11 回、薄い霧状が 5 回で、このような散布では火災荷重 $\delta 100\text{kg/m}^2$ の家屋表面は散布水で濡れても、内部まで水が浸透していなかつたものと思われる。

3.1.4 投下水量別の火災抑止効果

表 1 に示す火災抑止効果を投下水量毎に時間で示すと概ね以下の通りであった。これらから、投下水量が多くなると火災抑止時間は大きくなる傾向にあるが、散布時の飛行高度・速度の影響が大きいことが判る。

飛行高度 91.9ft、飛行速度 23.2kt で投下水量 1200L を散布した飛行 No.19 では、表 1 に示すように倒壊家屋 C1 及び C1-B1 間は効果的な連続散布は行われていなかつたが、この投下水が白い塊になって、超高密度で家屋 C1 及び C1-B1 間に散布された。その結果、消炎、煙発生中の状態が 6 分 30 秒間継続した後に、無炎燃焼状態の中に小さな炎が部分的に見え始めたが、このような状態は実験終了時（No.19 の散布後 24 分 10 秒後）まで継続した。これは多くの水滴が燃焼内部に十分浸透したためと思われる。

従って、同一投下水量でも飛行条件によって、火災抑止効果に大きな差ができると言えよう。No.19 のような飛行条件は実際的でないとすれば、火災抑止効果を上げるために投下水量を多くして、高密度の投下水が延焼阻止帯に正確に散布する必要があると言える。

500 L クラス：ほとんど 1 分以内（飛行高度：124.7～180.4ft、飛行速度：22.0～33.7kt）

600 L クラス：1 分以内（飛行高度：213.3ft、飛行速度：27.2kt）

700 L クラス：1 分前後（飛行高度：157.5、134.5ft、飛行速度：25.1kt）

900 L クラス：1.5 分前後（飛行高度：114.8ft、157.5ft、飛行速度：20.8kt、26.7kt）

1200 L クラス：1～2 分（飛行高度：121.4～206.7ft、飛行速度：14.4～33.7kt）

20 分以上（飛行高度：91.9ft、飛行速度：23.2kt）

3.1.5 予備散布による延焼阻止効果

家屋 B4、B3 及び家屋 C4-B4 間、家屋 C3-B3 間通路の延焼媒体に 1200 L と 600 L を予備散布して、予備散布しなかつた燃焼区域との比較を観測した。その結果、予備散布してから点火まで 20 分以上の時間が経過していたこと、火炎から可燃物表面への放射伝熱量が大きかったこと等から、予備撒布による延焼阻止効果は認められなかつた。また、3.1.4 で示した結果から明らかなように、濃い霧状の散布では十分に倒壊家屋の内部まで水が浸透しないので、予備散布の効果はないものと思われる。従って、延焼阻止のために未燃焼区域への散布は効果的でないので、火先線への散布が有効である。

3.2 平成 10 年度苦小牧実験

3.2.1 風上への延焼阻止効果

1) 家屋 A の火先線の延焼阻止

第 2 実験での 15 回の散布飛行時の風速は 6.1～11.9m/s あった。この為か表 2 に示すように、目標位置に効果的な散布が行われなかつた。また、家屋 A は 9 回の散布時まで屋根が部分的にあつたため、その間に収容可燃物は 8m/s 前後の強風により、ほとんど燃え尽きた状態であった。従って、点火から 23 分 22 秒後の 10 回目の濃い霧状散布で、10 秒以内に小さな再燃があつたが、火勢は下火の状態であった。従つて、12 及び 13 回目の濃い霧状及び霧状散布でも 2～4 分の火災抑止効果があつた。

2) 家屋 A—A'間の延焼媒体の延焼阻止

散布飛行終了後に家屋 A—A'間の南側延焼媒体（火災荷重 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ ）から風上側へ延焼した。これは 13 回目の散布後に家屋 A の風上で最後まで燃焼していた部分で、残っていた約 10cm 幅の小火が延焼媒体の下層部に延焼し拡大したものである。14、15 回目の飛行でこの部分に高密度の散布がされていたら、完全に延焼阻止できた可能性は大きかったものと思われる。なお、13 回目の散布終了後からの南側延焼媒体の北側面の延焼速度は相関係数 0.98 で、約 $18\text{cm}/\text{min}$ であった。

風上側の家屋 A—A'間の北側延焼媒体（火災荷重 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ ）への家屋 A からの延焼は完全に阻止できた。

表 2 平成10年度苦小牧実験の散布時条件と火災抑止効果

実験番号	飛行番号	点からの経過時間 (m:s)	飛行間隔 min:sec	飛行高度 (ft)	飛行速度 (kt)	投下水量 (L)	平均散水密度 (L/m ²)	散布された投下水の状態	風速 (m/s)	火災抑止効果のランク			備考
										A	B	C	
2	1	5:15	-	123.0	18.5	900		散布無し	6.5				
	2	7:10	1:55	66.3	17.1	900		散布無し	6.1				
	3	9:05	1:55	131.9	17.3	900		散布無し	10.4				10分頃屋根中央部から炎が噴出（温度データから）
	4	11:05	2:00	102.7	18.9	900		霧状	7.0				屋根があるため、ほとんど効果無
	5	13:00	1:55	111.5	18.1	900		薄い霧状	8.5				屋根があるため、ほとんど効果無
	6	15:05	1:55	94.2	18.3	900		薄い霧状	7.3				屋根があるため、ほとんど効果無
	7	16:59	1:54	110.9	13.0	900		薄い霧状	10.6				屋根があるため、ほとんど効果無
	8	19:13	2:14	88.9	15.4	900		散布無し	11.0				家屋中央の温度（800°C前後）は減衰し始めている
	9	21:14	2:01	89.2	10.7	900		散布無し	9.2				
	10	23:22	2:08	126.3	17.5	900		濃い霧状	9.1			○	家屋中央部でも60秒未満の効果 燃焼区域の中央温度：500°C前後
	11	25:23	2:01	107.0	16.0	900		散布無し	8.8				
	12	27:18	1:55	85.3	15.4	900		濃い霧状 濃い霧状	8.2	2' 01"			家屋A：次回散布まで無炎燃焼 家屋A-A'間延焼長10cm
	13	29:19	2:01	104.0	13.8	900		霧状 薄い霧状	6.8	4' 01"			家屋A：15回散布まで無炎燃焼 家屋A-A'間延焼長10cm
	14	31:21	2:01	118.8	19.1	900		散布無し	9.3				
	15	33:20	2:00	157.5	15.6	900		散布無し	11.9				
3-1	1	10:12	-	112.5	14.0	900	7.6	薄い霧状 散布無し	6.7			○	含水率15%以下 含水率25%以上
	2	12:10	1:58	112.2	20.6	900	5.7	薄い霧状 濃い霧状	7.1	2' 00"		○	含水率15%以下 含水率25%以上、次回散布までの無炎燃焼
	3	14:10	2:00	91.5	13.2	900	7.6	霧状 薄い霧状	8.4	消火			含水率15%以下 含水率25%以上、薄い霧状散布で消火
	4	16:05	1:55	86.3	21.0	900	5.3	霧状 霧状	4.6			○	含水率15%以下 含水率25%以上
	5	18:15	2:10	94.8	9.1	900	9.6	超高密度 濃い霧状	7.7	2' 45"			含水率15%以下、次回散布までの無炎燃焼 含水率25%以上
	6	21:00	2:45	73.8	9.9	900	12.0	霧状 散布無し	6.1	1' 06"			含水率15%以下、1' 06"から徐々に延焼拡大 含水率25%以上
	1	7:06	-	(80)	(20)	900	7.6	濃い霧状	5.3	52"			次回散布直前まで2.7m幅の無炎燃焼帯を形成
3-2	2	7:58	0:52	(80)	(5)	900	7.6	超高密度	4.1	6' 41"			5回散布直前まで1.9m幅の無炎燃焼帯を形成
	3	11:02	3:04	(80)	(20)	900	7.6	散布無し	6.2				
	4	12:20	1:18	86.6	12.8	900	7.6	散布無し	7.1				
	5	14:39	2:19	86.6	9.1	900	12.0	濃い霧状	7.5	2' 19"			次回散布直前まで2.6m幅の無炎燃焼帯を形成
	6	16:15	1:36	63.3	5.6	900	11.5	薄い霧状	6.6	不明			

注 1) 飛行高度・速度欄の () 付数値は実測できなかつたため計画値を示す。

注 2) 第2実験の散水範囲は強風のため特定できなかつたので、散水密度は得られなかつた。

注 3) 第2実験の家屋Aの観察区域は家屋A'側の2m範囲の状況を示している。

しかし、家屋 A-A'間には第 1 実験の散水分布測定による水溜まりがあったことも配慮する必要があるかもしれません。

3. 2. 2 飛び火火災の火災抑止効果

1) 90cm 角規模の飛び火火災

(1) 可燃物の含水率が 25% 以上の場合

含水率の高い区域は燃え方が悪く、点火から10分12秒後の第1回散布開始時には点火用ウエスとその周辺がわずかに燃えている状態だったので、表2に示すように2回目の濃い霧状散布で消炎した。2分後の3回目の飛行では薄い霧状散布であったが、少し白煙が生じた程度で、以後は完全に消火状態であった。

従って、幅1m前後の飛び火火災で、含水率が高く燃焼が遅い場合には表面燃焼中に散布をすると消火が可能であると言える。

(2) 可燃物の含水率が 15%以下の場合

含水率の低い区域は表2に示すように飛行番号1~4までは効果的な散布が行われなかつたが、5回目に超高密度の散布が行われ、次回散布までの2分45秒間無炎燃焼が継続した。第6回は霧状散布であったが、第5回散布にプラスアルファの効果が加味され、散布効果は大きかつた。しかし、第6回散布から1分6秒後には燃焼区域の風下に当たる東側の下層部から本格的に燃え始めた。

従って、火災荷重 25kg/m^2 でも深部まで燃焼が進み、かつ風速が大きいと、上層部は消火できても風下側の下層部で延焼が進み、1回の超高密度散布では消火は困難であると言えよう。

2) 7.3m 角規模の飛び火火災

7.3m 角で火災荷重 25kg/m^2 のクリップ模型火災を全面燃焼させた火災抑止実験では、進行方向から見た投下水の散水幅は、2.8~4.5m であった。従って、進行方向に対して、クリップ幅を散布水で覆うことはできなかったが、クリップ中央部に長さ 7.3m に渡って約幅 2 m の延焼阻止帯を構築することができた。なお、クリップ中央部には第 2 回の超高密度散布から 6 分 41 秒後の第 5 回散布まで散布されなかつたが、第 5 回散布直前まで 1.9m の無炎燃焼帯が構築された。

この実験での飛行高度は 100ft 以下、飛行速度は 10kt 以下で、投下水量は 900L であり、このような飛行条件であれば、4.1m～7.5m/s の風速でも火災抑止に時間的な効果があることが判った。

▲ 18.5kt	6.5m/s	▲ 17.1	6.1	□ 17.3	10.4
◆ 18.9	7.0	■ 18.1	8.5	◆ 18.3	7.3
□ 13.0	10.6	○ 15.4	11.0	○ 10.7	9.2
○ 17.5	9.1	□ 16.0	8.8	□ 15.4	8.2
△ 13.8	6.8	● 19.1	9.3	○ 15.6	11.9

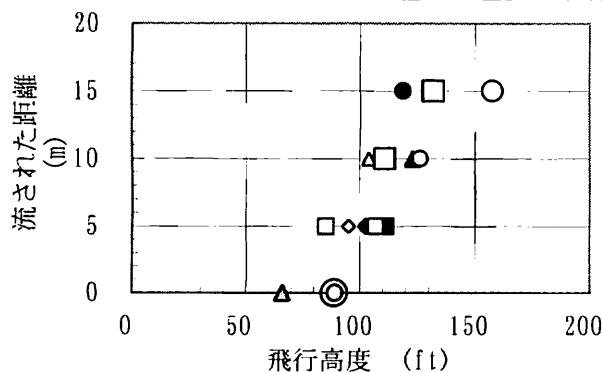


図2 飛行条件と風速による投下水の流された距離

また、今回の実験ではクリップ中央に散布したので両サイドには炎があるため、時間の経過とともに、無炎燃焼幅は狭まってくるが、風上側クリップの端に散布すれば無炎燃焼幅の狭まり方が時間的に小さくなる。このことは、燃焼区域の風上火先線への散布が延焼阻止帯を構築するうえで効果的であると言える。

3.3.3 風速が投下水に与える影響

3.3.1で述べたように第2実験ではヘリコプターから投下した水が強風で流されることが観測された。そこで、飛行高度と投下水が流された距離との関係を図2に示す。図から飛行高度が高くなるにしたがって、投下水の流される距離が大きくなることが判る。投下水の流され方は飛行速度の影響も受けれるが、飛行高度 100ft 以下、飛行速度 16kt 以下で

あれば風速 10m/s 前後でも投下水は影響を受けにくいと言えよう。

飛行高度 90ft、飛行速度 10kt 前後で散布飛行を行った「7.3m 角規模の飛び火火災」では、風速は 4.1~7.5m/s

と多少小さかったが、投下水はほとんど風の影響を受けなかったことが観測されている。

従って、飛行高度 100ft 以下、飛行速度 10kt 以下で散布すれば、投下水は風の影響を受けにくく、高密度の散布が期待できるので、小規模な飛び火火災には適用できると思われる。

3.3 平成 11 年度大分実験

3.3.1 火災荷重 25kg/m² の火災抑止効果

火災荷重 25kg/m² 区域への延焼火災に対して、飛行高度は 100ft 未満の 4 回を除くと 102~144ft、飛行速度は低速の 5 回及び高速の 1 回を除くと 10~18kt で、600L と 540L を交互に散布したが、延焼を阻止する事はできなかった。

延焼方向別の延焼速度は風上方向が 1.2~1.5m/時、風横方向が 1.5~2.8m/時、風下方向が 2.8~3.2m/時であった。室内実験と比較すると、風上方向への延焼速度は 40% 程度減少したと推定され、延焼遅延の効果があったと判断される。なお、ホバリングを除く推定平均散水密度は 1~3L/m² であった。いずれにしても、延焼阻止するためには投下水量が少ないと同一区域への連続的な散布の必要性が再確認された。

3.3.2 投下水量 5300L による火災抑止効果

各家屋の火災荷重は家屋 B1 及び B3 を除いて 150kg/m² であったが、5300L の投下水でも消火することはできなかった。しかし、図 3 に示す黒塗りマークの第 3 回散布のデータから明らかのように、9m/s 前後の強風下でも、飛行高度 150ft、飛行速度 20kt で精度良く散布すれば、幅約 3m で長さ 30m (3 棟分 + 2 通路相当) 程度の無炎燃焼帯を 2.5 分以上、構築できることが判る。また、飛行速度が遅くなるほど散水密度が増すので火災抑止時間が大きくなる傾向にある。

第 5 回散布はホバリングで水を投下したので、飛行方向に沿って家屋 B4 の中心部分から左方向の区域は

表 3 平成 11 年度大分第 3 実験の散布時条件と火災抑止効果

飛行番号	散布目標	点火からの経過時間 (m : s)	散布間隔 (m : s)	飛行速度 (kt)	飛行高度 (ft)	投下水量 (L)	平均散水密度 (L/m ²)	散布された投下水の状態	風速 (m/s)	火災抑止効果 (各家屋全城の再燃時間を示す)						
										飛行コース左側		飛行コース中央		飛行コース右側		
										家屋 1	家屋 4	家屋 2	家屋 5	家屋 7	家屋 3	家屋 6
1	家屋 B2, B5, B7	9:56	-	25.3	150.9	5300	6.1	散布の中心は目標家屋群の左側通路付近	10.4	1/2 敷布有 屋根有	1' 20"	1/4 屋根有	1' 30"	1' 20" 5/6 屋根有	散布無 屋根有	散布無
2	家屋 B1, B4	15:11	5:15	24.1	156.8	5300	6.6	散布の中心は目標家屋群ほぼ中央	11.0	散布有 屋根有	4' 20"	散布無	散布無	散布無	散布無	散布無
3	家屋 B2, B5, B7	22:46	7:35	19.7	148.6	5300	7.1	散布の中心は目標家屋群ほぼ中央	7.8	1/2 敷布有 屋根有	1' 40"	3' 20"	3' 20"	3' 20"	40" 1/3 敷布	散布無
4	家屋 B3, B6	28:03	5:17	15.2	147.0	5300	8.6	散布の中心は目標家屋群ほぼ中央	9.9	散布無 屋根有	散布無 屋根有	散布極く 少量	1' 00"	1' 00"	3' 40"	5' 00"
5	家屋 B1	34:16	6:13	0	160.1	5300	36.5	散布の中心は家屋 B4 の左寄り	9.9	50" 以上	25" 以上	散布無	散布無	散布無	散布無	散布無

注 1) 火災抑止効果の太枠は散布目標家屋を示す。

注 2) 火災抑止効果において散布目標家屋よりある左側の家屋は強風に流された投下水の影響を受けている。

25 分前後の無炎燃焼状態が継続していたと判断された。ホバリングで散布した場合、火災抑止効果は大きいが、今回のような 9m/s 前後の強風下では目標家屋に命中させるのは難しいと思われる。また、ホバリングによるダウンウォッシュの影響も体感されていることから、基本的には速度を有する散布飛行が望ましい。

表 3 から計画飛行速度より速かった第 1 回、第 2 回を除くと、散布目標家屋の各家屋の全域が再燃焼するまでに 3 分~5 分であることから、散布飛行間隔は 3 分以内が望ましいと言える。

今回の実験では風下から風上へ向かっての散布飛行であったが、上述のような火災抑止効果があったので、このような飛行コースであっても風横の火先線付近に散布すれば、延焼阻止帯を形成することは可能であろう。

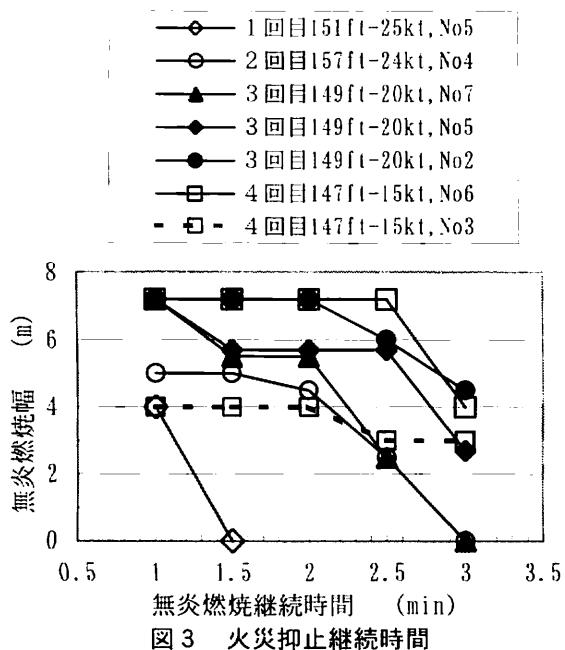


図3 火災抑止継続時間

・凡例のNoは家屋番号を示す。

隔の条件で連続的に水を投下することによって、直径 2m 前後の火災荷重 25kg/m^2 の飛び火火災を消火できる可能性が大きい。また、投下水の幅よりも燃焼幅が大きい場合には、風上側から散布すると効果的であると言えよう。このような飛行条件であれば、 $4.1\sim7.5\text{m/s}$ の風速による投下水への影響も少ない。

3) 投下水量 1200L

同じ 1200L の散布でも、飛行高度・速度によって投下水の散布状況が異なるので、火災抑止時間も変わる。なお、火災抑止時間は火災荷重や火勢の影響も受けるものと思われるが、飛行高度 100ft 以下、飛行速度 20kt 以下で最盛期を過ぎた火災に対しては、20 分前後の火災抑止時間が期待できる。

4) 投下水量 5300L

火災荷重 150kg/m^2 の家屋火災を 1 回の投下水で消火することはできないが、飛行高度 150ft、飛行速度 20kt で精度良く散布すれば、幅約 3m で長さ 30m 程度の無炎燃焼帯を 2.5 分以上、構築できる。延焼阻止帯を構築するための散布飛行間隔は 3 分以内が望ましい。

風横の火先線が 30m 程度ならば、風下から風上へ向かっての散布飛行であっても、延焼阻止帯を形成することは可能であろう。

4.2 火災抑止に与える屋根の影響

屋根があると火災抑止効果はなく、屋根が燃え抜けて開口部がある場合には、その部分は散布により一時的に火災抑止されるが、屋根下の炎により再燃が速い。また、トタン葺きの屋根は火災により家屋倒壊後も、トタン周辺は散布により火災抑止されてもトタンの下に炎が残り、その炎から火災が拡大する。

4.3 空中消火による延焼阻止のポイント

複数棟が燃焼し、風上の火先線が長い場合には、目標区域に集中的に散布し、延焼阻止帯が形成された後に、それに続く火先線を目標として散布する。

[参考文献]

- 1) 日本火災学会：市街地火災空中消火調査研究報告書（1997.2）
- 2) 消防庁消防研究所：市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書、消防研究所研究資料第 42 号（平成 10 年 3 月）、第 45 号（平成 11 年 3 月）、第 48 号（平成 12 年 3 月）

また、5300L の投下水であっても合板製の屋根が破棄されることはない。屋根が焼け抜けて炎がある部分は散布により消炎するが、屋根下の部分の炎への散布による影響はほとんど無かった。

4 3年間の火災抑止効果等に関するまとめ

4.1 投下水量と火災抑止効果

1) 投下水量 500L クラス

飛行高度・速度によって投下水は濃い霧状から薄い霧状に変化するが、火先線への火災抑止時間はいずれも 1 分以内である。このクラスの平均散水密度は $1\sim3\text{L/m}^2$ であり、火災荷重 25kg/m^2 の火災は消火できない。従って、60 秒以内の数回の連続散布で延焼阻止帯が形成されても 3~4 分後には再燃してしまうことが散水密度の面からも言える。

2) 投下水量 900L

飛行高度 100ft 以下、飛行速度 10kt 以下、1~3 分間

隔の条件で連続的に水を投下することによって、直径 2m 前後の火災荷重 25kg/m^2 の飛び火火災を消火できる可能性が大きい。また、投下水の幅よりも燃焼幅が大きい場合には、風上側から散布すると効果的であると言えよう。このような飛行条件であれば、 $4.1\sim7.5\text{m/s}$ の風速による投下水への影響も少ない。

3) 投下水量 1200L

同じ 1200L の散布でも、飛行高度・速度によって投下水の散布状況が異なるので、火災抑止時間も変わる。なお、火災抑止時間は火災荷重や火勢の影響も受けるものと思われるが、飛行高度 100ft 以下、飛行速度 20kt 以下で最盛期を過ぎた火災に対しては、20 分前後の火災抑止時間が期待できる。

4) 投下水量 5300L

火災荷重 150kg/m^2 の家屋火災を 1 回の投下水で消火することはできないが、飛行高度 150ft、飛行速度 20kt で精度良く散布すれば、幅約 3m で長さ 30m 程度の無炎燃焼帯を 2.5 分以上、構築できる。延焼阻止帯を構築するための散布飛行間隔は 3 分以内が望ましい。

風横の火先線が 30m 程度ならば、風下から風上へ向かっての散布飛行であっても、延焼阻止帯を形成することは可能であろう。

4.2 火災抑止に与える屋根の影響

屋根があると火災抑止効果はなく、屋根が燃え抜けて開口部がある場合には、その部分は散布により一時的に火災抑止されるが、屋根下の炎により再燃が速い。また、トタン葺きの屋根は火災により家屋倒壊後も、トタン周辺は散布により火災抑止されてもトタンの下に炎が残り、その炎から火災が拡大する。

4.3 空中消火による延焼阻止のポイント

複数棟が燃焼し、風上の火先線が長い場合には、目標区域に集中的に散布し、延焼阻止帯が形成された後に、それに続く火先線を目標として散布する。

水投下による放射照度の変化

岩田 雄策、古積 博（消防研究所）

1. はじめに

空中からの散水による消火・火災抑制等の可能性を検討するための消火実験が複数棟の火災を対象として行われる[1, 2]、空中消火による複数棟火災の消火が非常に難しいことが明らかになりつつある。そこで、単数棟火災に対して消防・防災ヘリコプターによる火災抑止及び風上方向への延焼阻止効果の検討のために空中消火実験を行った。また、複数棟の火災に対して大量の散水が可能な大型ヘリコプターによる火災抑止効果を調べた。

本報告では空中消火実験で得られた測定結果の中から、主に放射計及び熱画像装置による結果を基に考察を行った。

本報告中、火災抑止効果とは燃焼区域の火勢を弱める作用の意味で、また、延焼阻止効果とは燃焼区域の拡大を阻止する作用の意味で用いた。

2. 実験条件及び方法

消防・防災ヘリコプターによる実験は平成 11 年 1 月に苫小牧東部大規模工業基地で実施された。実験場内の気象条件は晴れ、風向は西南西で、平均風速は約 9m/s であった。実験概要及び実験条件の詳細については既報で報告した[3]。実験は本報告において実験 I 及び実験 II から成る。前者は 1 棟の建物火災が風上の隣接する建物に延焼する火災を想定して、後者は倒壊して可燃物が露出した家屋の火災を想定している。

大型ヘリコプターによる実験（実験 III）は平成 11 年 11 月に大分県大分市青崎 6 号埋立地で実施された。実験場内の気象条件は曇り、風向は北で、平均風速は約 9m/s であった。実験概要及び実験条件の詳細については既報で報告したが[4]、複数棟に延焼拡大した建物火災に対する火災抑止効果を調べたものである。

2.1 模擬家屋の条件及び配置

実験 I において、模擬家屋 A を燃焼家屋とし、模擬家屋 A'を延焼家屋とした。両模擬家屋の火災荷重はいずれも 130kg/m^2 とし、屋根はトタン葺きとした。模擬家屋 A'は模擬家屋 A から 5m 西側に配置した。模擬家屋 A の大きさは $7.2\text{m} \times 7.2\text{m}$ 、高さ 3m とし、模擬家屋 A'の大きさは $7.2\text{m} \times 3.6\text{m}$ 、高さ 3m とした。模擬家屋 A と模擬家屋 A'の間には可燃物として木材の廃材を配置し延焼媒体とした。延焼媒体の幅は 0.9m で、南北に 2 列配置した。火災荷重は北側の延焼媒体で 30kg/m^2 、南側の延焼媒体で 100kg/m^2 とした。実験 II においては、木材クリップを用いて実験を行った。木材クリップの大きさは、 $7.2\text{m} \times 7.2\text{m}$ 、高さ

0.3mとした。実験Ⅲにおいて7棟の模擬家屋を「干」字のように配置した。各棟の火災荷重は 50kg/m^2 ～ 130kg/m^2 である。模擬家屋の模擬家屋の間には可燃物として木材の廃材を配置し延焼媒体とした。延焼媒体の火災荷重は 25kg/m^2 、または 50kg/m^2 とした。

2.2 水の投下方法

実験Ⅰでは30分間に15回、実験Ⅱでは10分間に6回の散水をほぼ等しい時間間隔で行った。1回の水の投下量は全て900lであった。実験Ⅲでは25分間に5回の散水をほぼ等しい時間間隔で行った。1回の水の投下量は全て5300lであった。

2.3 放射計等の配置

実験Ⅰ～Ⅲにおける散水による消火効果を正確に評価するためには、火炎の放射発散度の変化を用いるべきであるが、本報告では放射計の設置位置における放射照度の変化を測定することにより代用した。

実験Ⅰにおいて、模擬家屋Aから、東、南及び北の方向にそれぞれ20m離れた位置に3台の放射計を配置した。また、模擬家屋A'の前に2台の放射計をP1及びP2の位置に配置した。実験Ⅱにおいても木材クリップから、南、西及び北の方向に20m離れた位置に3台の放射計を配置した。P1及びP2の位置に設置した放射計の受熱面は模擬家屋Aに平行になるように設定した。また、実験Ⅰにおいて散水による延焼阻止効果を調べるために、熱画像装置を模擬家屋A'から北東側約26mの距離に設置し模擬家屋A'の東壁面の温度変化を測定した。実験Ⅲでは火災家屋の周囲に6台の放射計を配置して測定を行った。

全ての実験において、放射計は三脚を用いて高さ約1.2mの位置に固定した。放射計からの出力はデータロガーを経て、パーソナルコンピューターに記録した。

3. 結果及び考察

3.1 放射照度の測定結果

実験Ⅰにおける模擬家屋Aの火災の拡大状況は火勢と火炎温度から判断して次のように分類されている[3]。即ち、火災の拡大期は点火後1分から5分頃、火災の最盛期は5分から19分頃、火災の減衰期は19分以降としている。模擬家屋Aの屋根が残っていたのは点火から約17分頃までであった。散水が火災に命中した場合には、散水後に放射照度の減少が見られた。これは散水により火勢が弱まることによって、火災からの放射熱が減少したためである。北側の位置では全ての散水で散水後の値は散水前の放射照度を下回った。それに対して、P1の位置では散水によっては散水後の放射照度は、次回の散水までに散水前の値を上回ることもあった。このことは火災区域に散水が行われても、十分に火災が抑止されなかったことを示している。また、最後の散水（飛行番号15）の終了後には目視観測によると、崩れ落ちた木材の中で散水後も残っていた火炎が、散水終了後に大きくなり、放射照度は徐々に増加していった。

実験 II における各地点での放射照度の時間変化を図 1 に示す。図中、横軸は点火開始からの経過時間を示す。また、縦軸は放射照度を示し、▼はヘリコプターから散水が行われた時点を、数字は飛行番号を示す。実験 II においては全ての散水がクリップに対して命中した。最初の散水では南、西及び北の 3 方向とも放射照度の急激な減少があったことが判る。散水後に放射照度は 3 方向とも同じ傾向で急激に減少した。目視観測によると散水後に火炎が一時的に木材クリップの表面からほぼ消えたが、散水が掛からなかった部分から火炎が大きくなつたことが観察された。その結果、再び放射照度は増加した。

実験 III において火炎は点火家屋から他の家屋に延焼していった。散水は火災区域に対して全て命中した。飛行番号 1 の散水が火災家屋に命中したにもかかわらず、火災の拡大期であったため火勢は衰えず増加したが、飛行番号 2 の場合、放射照度は減少した。飛行番号 3、飛行番号 4 および飛行番号 5 において散水後の放射照度は一時的に急激に減少したがその後再び増加した。飛行番号 5 の散水は火災の減衰期であったことや投下水がほとんど火炎が無い地点に落ちたため放射照度はあまり減少しなかった。

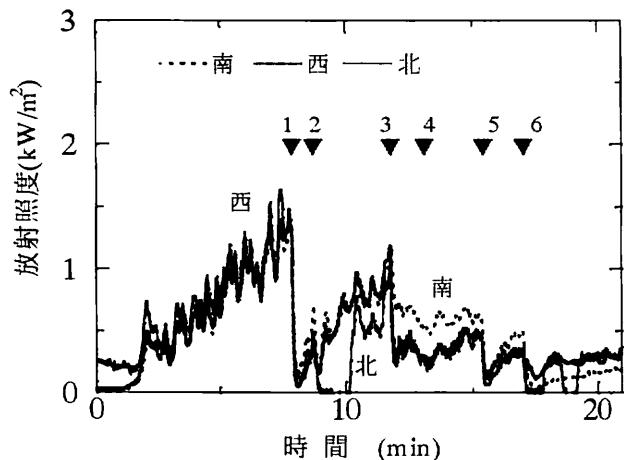


図1 実験 II における放射照度の時間変化

飛行番号 1 の散水が火災家屋に命中したにもかかわらず、火災の拡大期であったため火勢は衰えず増加したが、飛行番号 2 の場合、放射照度は減少した。飛行番号 3、飛行番号 4 および飛行番号 5 において散水後の放射照度は一時的に急激に減少したがその後再び増加した。飛行番号 5 の散水は火災の減衰期であったことや投下水がほとんど火炎が無い地点に落ちたため放射照度はあまり減少しなかった。

3.2 散水による放射照度の減少

ヘリコプターからの各散水による放射照度の変化の比較を行うために、放射照度の低減率 λ を次式で定義した[2]。

$$\lambda = (q_{av})_{after} / (q_{av})_{before} \times 100 \quad (1)$$

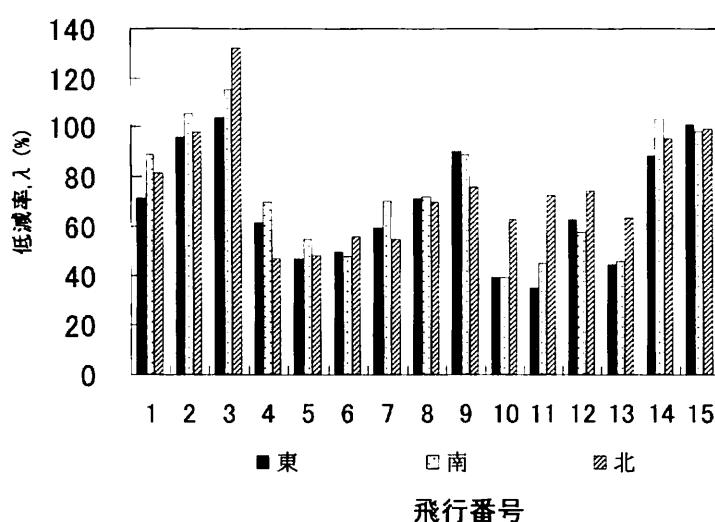


図2 実験 I における散水ごとの低減率

ここで、 $(q_{av})_{before}$ は、散水前の放射照度であり、 $(q_{av})_{after}$ は、散水後の放射照度である。 λ が 100 %より小さいほど放射照度が減少したことを示し、散水によって火災抑止効果があったと見なすことができる。投下された水が模擬家屋 A 全体に命中しない場合もあったので、各放射計ごとに λ を計算した。実験 I における東、南、北の放射計での

入を図2に示す。飛行番号4から13において、入は全ての放射計で減少した。散水が燃焼区域に命中すると放射照度の減少が見られたことを示している。また、火災の減衰期の散水である飛行番号9から13において放射計によって入が異なった。散水が燃焼区域に命中しても、部分的に木材内部の火炎を乱し、その結果、放射照度が大きくなつたことが理由である。

入の平均値は各散水ごとの散水後に生じた放射照度の変化を比較するための指標となると考えられる。全ての散水の中で飛行番号10の時に、東、南及び北の位置の平均低減率は最小となり、47%であった。また、飛行番号10におけるP1及びP2の位置での平均低減率は42%であった。この理由は火災の減衰期であったことや飛行番号10において、投下された水が模擬家屋Aに十分に散水されたためである。なお、東京都八王子市で1998年に行われた複数棟火災の空中消火実験では平均低減率の最小値は55%であった[5]。

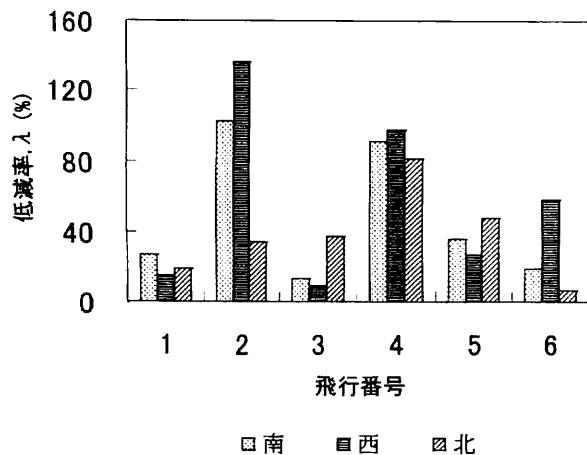


図3 実験IIにおける散水ごとの低減率

実験IIにおいて南、西及び北の放射計での入を図3に示す。飛行番号1において火炎が一時的に木材クリップ表面からほぼ消え、入が大きく減少した。放射照度の測定結果は飛行番号2の散水前には木材クリップ表面の火炎が弱まっていたことを示している。クリップ表面の火勢が弱まつた($(q_{av})_{before}$ が小さかった)ため、飛行番号2による入の減少は小さかった。同様の理由で、飛行番号4における入は、飛行番号3のものと比較して減少しなかつた。

実験IIIにおいて火災区域が広く時間の経過とともに延焼していくために測定位置によって低減率は大きくばらついた[4]。平均低減率は散水番号4で最も小さくなり、33%であった。投下水の命中した範囲に近い測定位置では低減率は大きく下がり0近くまで減少したのに対し、投下された水の命中した範囲から離れた放射照度の測定位置では低減率はほとんど減少しなかつたといえる。これは火災区域が広く火災荷重も大きい($50\text{kg/m}^2 \sim 130\text{kg/m}^2$)ことから、一時的ではあるが火災を部分的に抑制することが可能でも火災区域全体の火災を抑止することができなかつたためと考えられる。

3.3 散水後の放射照度の時間変化

散水による火災抑止効果を論じるためには、放射照度の減少量の他に、放射照度が再び増加に転じるまでの時間も考慮に入れる必要がある。そこで、次のような「復帰時間」を定義した。

復帰時間：散水後の放射照度が散水前の値に戻るまでの時間(s)

ただし、散水前の放射照度に戻らない場合は、散水後の放射照度が、次の散水までに極大値に達するまでの時間(s)とする。従つて、復帰時間が長いほど散水による火災抑止効果

が大きいことを示す。

実験 I における P1 の位置での放射照度の時間変化から求めた「復帰時間」を図 4 に示した。散水が模擬家屋 A 及び模擬家屋 A'に命中しなかった場合は除いた。「復帰時間」は火災の最盛期には短く、火災の減衰期には長くなる傾向となつた。飛行番号 10 以降の「復帰時間」が長い理由については、模擬家屋 A の壁及び上部が燃え尽きた状態であった火災（減衰期）に対して散水が行われたためである。

実験 III では実験 I 及び実験 II よりも放射照度の降下量は大きかったが、放射照度の復帰時間も長くなつた。復帰時間の平均は約 3 分間であった。表面の火炎が完全に消炎するため非常に大きく低減されるが、その効果は短時間で倒壊した木材等の内部に存在する火炎および周囲に存在する火炎により容易に火炎は大きくなつて、放射照度は速やかに上昇することが分かつた。

3.4 延焼家屋の表面温度の変化

実験 I の散水終了後に模擬家屋 A はほぼ燃え尽きたが、模擬家屋 A' には延焼しなかつた。目視観測によると散水終了後に南側延焼媒体の北側において火災が風上側へ約 0.2m 延焼していたことが観察された。模擬家屋 A' 壁面の A ~ D 点について、測定された熱画像のデータから放射率を 1 と仮定して温度を求めた。C 点は P1 に設置した放射計の位置に相当する。実験 I における模擬家屋 A' の壁面温度の時間変化を図 5 に示す。図中、横軸は点火開始時からの経過時間を示す。また、縦軸は壁面温度を示し、▼はヘリコプターから散水が行われたことを、数字は飛行番号を示す。各測定点での壁面温度は点火約 10 分で最高温度（D 点において約 300 °C）に達した。火災の最盛期に行われた飛行番号 5 及び 7 において模擬家屋 A' の壁面温度は大きく低下した。

それに対して、火災の減衰期の表

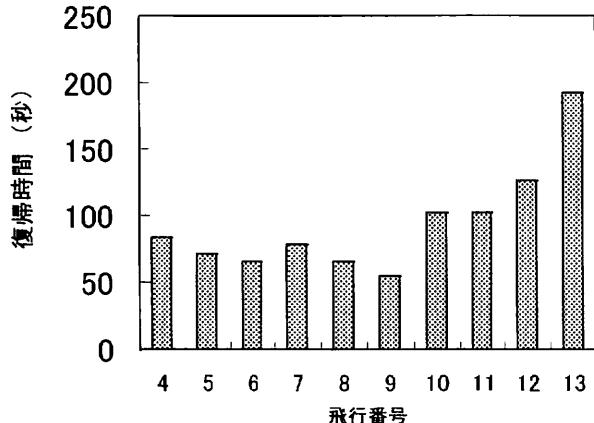


図4 実験 I における復帰時間

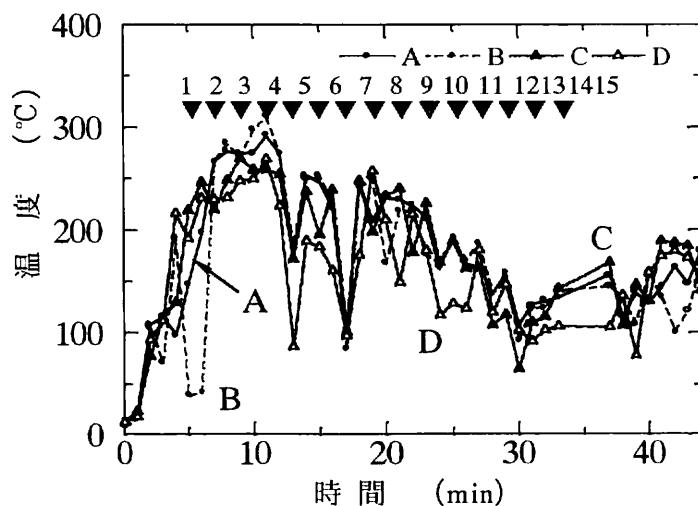


図5 実験 I における家屋A' 表面の温度変化

面温度の低下は火災の最盛期の低下に比較して小さかった。また、飛行番号 1 における B 点における温度低下は、霧状になった水がわずかに模擬家屋 A'に掛かったためのものであつた。

全ての散水において散水によって低下した壁面温度は、散水後に上昇したものの散水前の値よりも低くなつた。他方、模擬家屋 A'が風上にあつたことや屋根に庇があつたために、投下された水は模擬家屋 A'の壁にほとんど掛からなかつたと考えられる。従つて、壁面温度の低下は散水によって火災からの放射照度が減少したためと考えた方が理解できる。火災の減衰期において散水が行われている間は壁面温度は低下傾向にあつたが、散水終了後には火炎からの放射照度が増加したため再び上昇した。

4. 結論

消防・防災及び大型ヘリコプターによる空中消火実験において、火災の初期段階から一定時間間隔で水を投下した。散水による効果を評価するために、散水直後における放射照度の変化及び延焼家屋表面の温度変化の測定を行つた。その結果を以下に要約する。

- (1) 消防・防災及び大型ヘリコプターからの散水によって放射照度は減少した。しかし、可燃物内部に残っていた火炎が散水から約 1 ~ 3 分後には火勢を取り戻したため、放射照度は再び増加した。
- (2) 燃焼家屋の火災からの放射照度が散水によって減少するために、風上に位置する延焼家屋壁面の温度は散水前の温度より低下した。従つて、燃焼家屋への散水には、燃焼家屋から風上に位置する延焼家屋への延焼を阻止する効果が認められることが判つた。

参考文献

- 1) 古積博、昆文雄、須川修身、岩田雄策：市街地火災空中消火実験－その 2 火災性状－、日本火災学会研究発表会概要集、p.60(1997)
- 2) 竹元昭夫、山下邦博、佐藤晃由、古積博、寒河江幸平、金田節夫、岩田雄策：市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究－その 1 複数棟火災の風上への延焼阻止－、消防研究所報告、No.88, p.64(1999)
- 3) 自治省消防研究所：市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書(1999.3)
- 4) 自治省消防研究所：市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書(2000.3)
- 5) 自治省消防研究所：市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書(1998.3)

(連絡先：消防研究所 0422-44-8331)

市街地火災におけるCH-47による空中消火について

友池達也（第1ヘリ団）

1 はじめに

平成7年1月17日の阪神淡路大震災を契機に、市街地火災に対するヘリコプターによる空中消火の可能性に期待が寄せられている。阪神淡路大震災以降、課題となっていた市街地火災の消火についての研究を、消防研究所と共同で実施してきた。

第1ヘリコプター団は、山林火災時の災害派遣にCH-47により過去16件出動して、放水732回、水量約5千トンを空中散布しその威力を発揮した。空中消火は、水又は消火剤を混入して実施する場合があるが、今回の実験においては、水による消火要領を検討したことから、市街地火災における水使用の場合の基本的要領について述べる。

2 山林火災時の空中消火要領

(1) 空中消火に必要な消火器材

現用の山林火災時の消火器材としては2種類があり、その各種諸元は、図1のとおりである。

図1 消火器材

野火消火器材Ⅰ型 (BANBI BUCKET)

SIMSFIBERGDS社(カナダ)製造

全長:約11.1m

高さ:約2.4m

直 径:約2.2m

重 量:約135kg

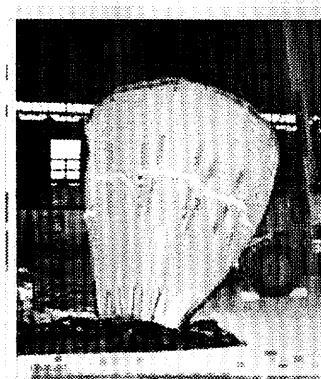
運搬可能水量:約7500L

放水面積:25m×150m
(150ft 40ft飛行時)

取水時間:約30秒

組立所要時間:8名で10分
(人力で実施)

地上給水は不可能



野火消火器材Ⅱ型 (BIG DIPPER BUCKET)

SIMSFIBERGDS社(アメリカ)製造

全長:約20.0m

高さ:約2.2m

直 径:約2.5m

重 量:約570kg

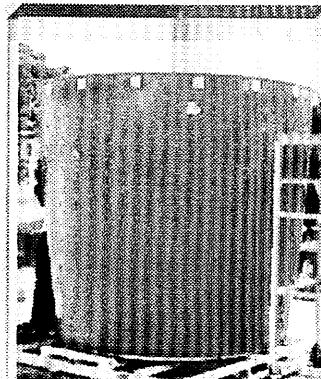
運搬可能水量:約7500L

放水面積:25m×200m
(150ft 40ft飛行時)

取水時間:約60秒

組立所要時間:6名で50分
(フォークリフト使用)

地上給水が可能



(2) 空中消火を実施するための必要な施設

必要な施設としては、空中消火を準備をするためのCH-47の着陸点（準備地域）、取水するための給水点、継続的に実施するための燃料補給点がある。

ア 着陸点（準備地域）

着陸点（準備地域）は、野火消火器材の組立等空中消火を準備する地域であり、空中消火活動の拠点となるため、火災現場及び現地対策本部の近傍が適している。

地積については、CH-47の運用機数にもよるが、最低でも2～3機の着陸地積約100m×150m（約50m×50m／1機）が必要である。また、小型・中型ヘリコプターとの混合運用する場合は、CH-47のダウンウォッシュの影響を考慮してCH-47固有の着陸点（準備地域）を設けることが望ましい。

イ 給水点

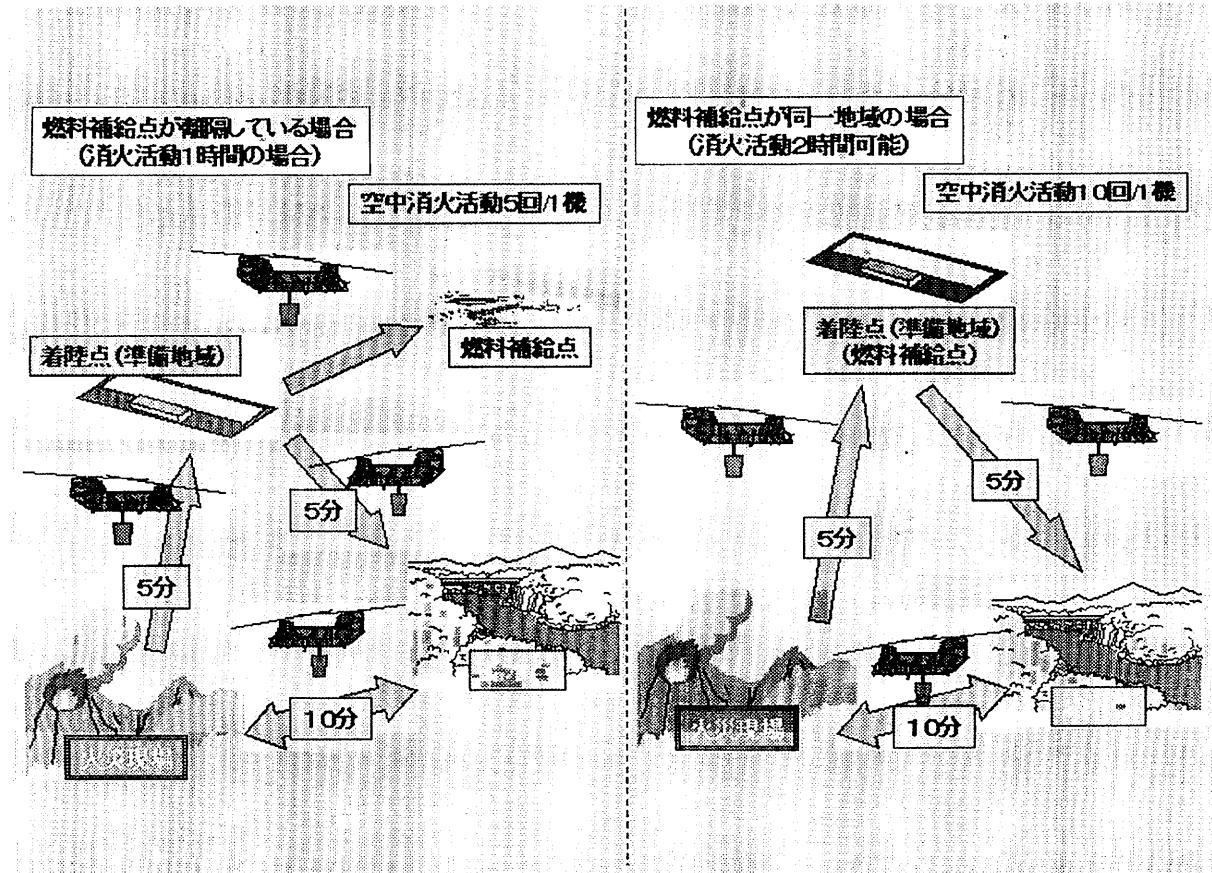
給水点は、河川・ダム・ため池等を使用している。使用条件としては、野火消火器材の高さが2.2m～2.4mあることから3m以上の水深が必要である。また給水点は、火災現場の近傍が適している。

ウ 燃料補給点

継続的な空中消火活動を実施するため、燃料補給が必要である。このため、燃料補給点は、着陸点（準備地域）と同一地域とし、或いはその近傍に設定し、効果的且つ継続的な空中消火活動を実施することが必要である。

燃料補給点の位置による空中消火効果の一例は、図2のとおりである。

図2 燃料補給点の位置による空中消火効果の一例



(3) 空中消火を安全且つ効果的に実施するための処置

ア 情報の収集及び情報の交換

- (ア) 空中消火を安全且つ効率的に実施するため、先行的に小型ヘリ（O H - 6）を飛行させ、継続的に情報（他機・地上消火活動状況）を収集させるとともに火点への誘導が必要である。
- (イ) 消防・防災ヘリ等と共同した消火活動を実施する場合は、お互いに情報交換するとともに行動を確認し合うことで航空機間の安全を確保する必要がある。

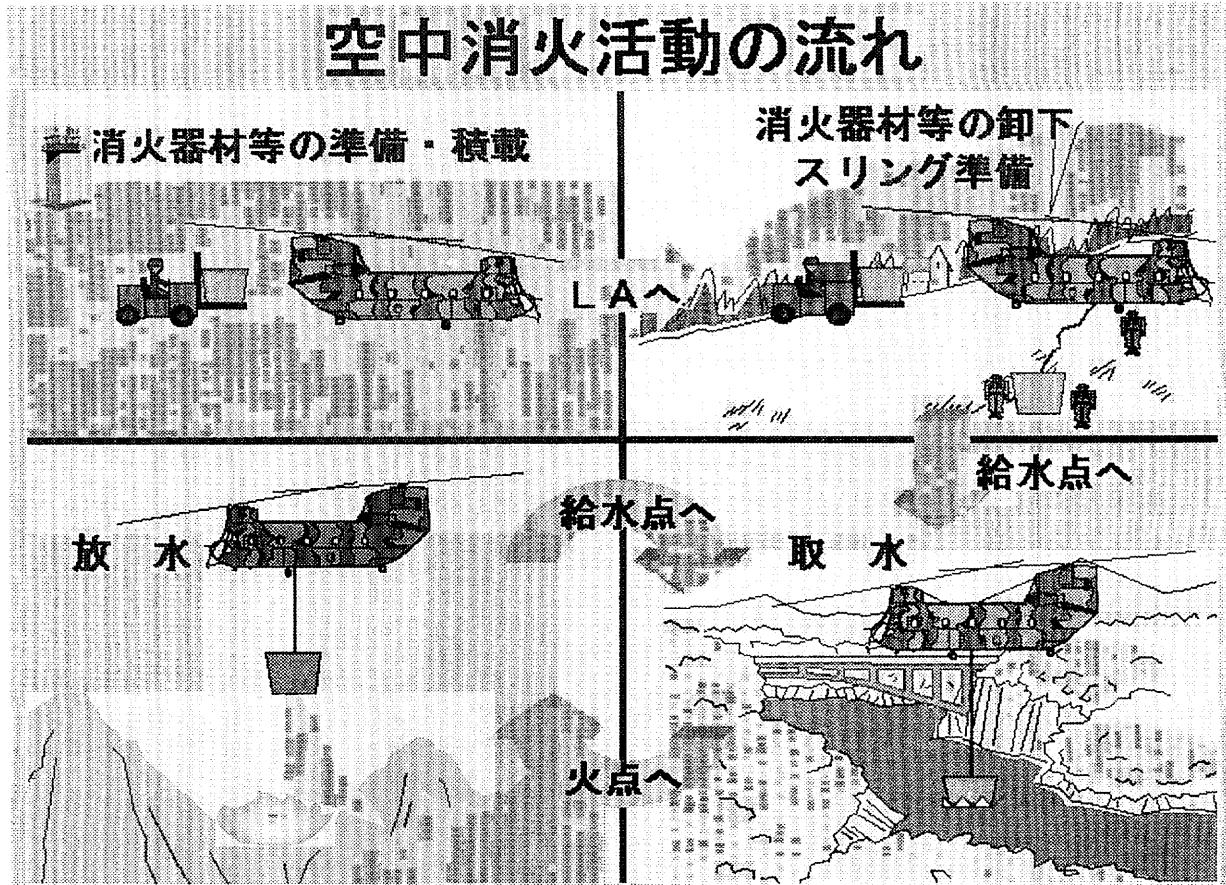
平成12年2月18日～20日の間実施した埼玉県小鹿町の山林火災においては、防災ヘリとの共同消火活動となつたが、防災周波数（VHF）により、お互いに情報を交換するとともに行動を確認し合うことで、安全を確保しながら空中消火を有効に実施した。

イ 人員等に対する危害防止の処置

- (ア) CH-47のダウンウォッシュによる2次災害を防止するため、特に、給水点への小型船舶等の進入防止が必要である。
- (イ) 消火器材の不時落下等による危害防止のため、人家等のない場所を飛行経路として選定するが、選定できない場合は、ヘリコプターの通過時人員・車両等の通行統制が必要となる。

(4) 山林火災の空中消火活動の一例は、図3のとおりである。

図3 山林火災の空中消火活動の一例



3 市街地火災におけるCH-47による空中消火

(1) 空中消火に必要な消火器材

使用する消火器材は山林火災時と同様である。但し、市街地周辺の地形特性を考慮すると、ヘリコプターにより吊り下げた状態で給水出来る可能性が低いため、野火消火器Ⅱ型を使用することが有利であると推測できる。

(2) 空中消火を実施するために必要な施設

山林火災同様に、着陸点（準備地域）、給水点、燃料補給点が必要である。ここでは、山林火災との相違点等について述べる。

ア 着陸点（準備地域）

市街地の特性上、着陸点は、学校・競技場・公園等のグランド及び駐車場・河川敷等に限定される。また、ガソリンスタンド等爆発性のある施設・燃焼による有毒ガスの発生などが考慮されることから、市街地に所望の地積が得られないため、山林火災と比較すると火災現場から離隔する状況が多いと考えられる。

地積については、前回の実験の結果（火災抑止時間約3～4分）から考慮すると多数のCH-47の運用となり、このため広い地積（4～5機運用した場合は、約200m×300m）が必要である。地積が確保できない場合は、分散着陸して空中消火の準備をしなければならない。

また、自治体によっては、広域防災拠点として公園等を指定しているところもあり、これを活用出来れば有利である。

イ 給水点

市街地周辺の地形特性から考慮すると、給水点は河川に限定されると考えられる。また、実験の結果（火災抑止時間約3～4分）から、火災現場に近いほど有利と言える。（火災現場までの距離を10kmとすると飛行時間約5分）

しかし、市街地周辺の河川は、所望の水深（3m以上）が得られるかどうか分からぬ状況であり、水深がない場合には、野火消火器材Ⅱ型を使用し、地上において給水することになる。この場合、消防水利等（給水車・消火栓・河川・プール等）の使用の可否を早期に確認する必要がある。

ウ 燃料補給点

山林火災時と同様である。但し、災害により道路・橋等の損壊があれば着陸点（準備地域）或いは燃料補給点への燃料車等の推進は困難であり、燃料補給点は火災現場から離隔する状況が考えられる。

(3) 効果を得るための空中消火

ア 飛行要領（諸元）

実験の結果から、効果を得るためにには、5L/m²の散布密度による連続性をもつた空中消火を実施することである。この際、飛行高度を適切に選定し、ダウンウォッシュの発生によって火災を煽らない飛行に努めることが重要である。このため飛行諸元としては、対地高度200FTの場合は10kt以下、対地高度250FTの場合は5kt以下の飛行が適切と考える。

高度・速度に応じる散布範囲（密度）は、下表のとおりである。

表 高度速度に応じる散布範囲（密度）

飛行諸元 散布密度	5 L / m ² 以上	10 L / m ² 以上	15 L / m ² 以上
200 FT · 10 kt	40 m × 14 m	13 m × 5 m	6 m × 5 m
250 FT · 5 kt	26 m × 14 m	16 m × 10 m	7 m × 6 m

イ 消火対象箇所及びその消火要領

効果ある空中消火を実施するためには、空中消火の特性・飛行要領から消火対象箇所（物）を明確にし、消火要領を確立することが重要である。

水による空中消火であることから、木造の建物に最も有効であり、ビル等のコンクリート製の建物には比較的効果が少ないと思われる。但し、実験結果からすると連続的に散布することにより、温度を下げることが出来、延焼阻止という効果は期待できると思われる。

木造の建物等において、効果が期待できる消火対象箇所は、実験の結果より、4箇所あり、その消火要領について検討し意見を述べる。

(ア) 外壁に延焼着火して、内部に火炎が侵入しようとする木造建物

延焼阻止が目的であり、延焼阻止時間は10～15分、よって、10～15分以内の間隔による連続した空中消火により目的を達成できると考える。

(イ) 屋根が延焼落下した木造建物

火災抑止が目的であり、火災抑止時間は3～4分、よって、3～4分の間隔による連続した空中消火により目的を達成できると考える。更に、火炎が衰退した場合のホバリングによる放水は消火可能と考える。また、屋根のある家屋及びビル火災においても、散布面積の広さから物件の温度を下げ、抑止・阻止の効果が得られると推測する。

(ウ) 飛び火延焼火災（初期）及び家屋間にある樹木

延焼阻止が目的であり、外壁に延焼着火した木造建物の場合と同じ消火要領であるが、特に、迅速な対応が要求されるため、航空機と火災現場との連絡手段の確保が重要である。

(エ) 火災衰退期にある木造建物

ホバリングによる放水を実施し、消火を目的とする。

(4) 問題点及び検討事項

ア 施設に関する問題点及び検討事項等

建築材等の燃焼による有毒ガス・煙等の発生及びガソリンスタンド等危険物貯蔵所の位置等から空中消火の活動の制限が考えられる。また、市街地周辺の地形特性から、

給水点は河川に限定され且つ水深は3m以下の市街地が多いと推定され、災害による消防水利（給水車・消火栓・河川・プール等）の使用不能及び河川敷ヘCH-47が着陸出来ない場合も予想される。

このため、いかなる風向においても、風上側に常に各施設が確保出来るよう市街地及び周辺の公園・競技場等のグランド並びに消防水利（給水車・消火栓・河川・プール等）等を整備して活用することが重要である。

イ 空中消火時の問題点及び今後の検討事項等

（ア）給水点～火災現場間における人員・車両等の統制

特に、給水点からの飛行については、約6～7tの水を懸吊している状態であり器材・航空機等の不具合により不時落下した場合、地上の家屋の損傷及び住民を死傷させる可能性がある。このため、人員・家屋のない飛行経路を選定する必要があるが、選定できない場合は、人員・車両等の通行統制を実施する必要がある。

（イ）空中消火実施前までの、火災現場及び周辺の生存者等（住民）の有無の確認

倒壊した家屋に下敷きになっている生存者を、空中消火を実施することによって圧死させる可能性がある。このため、空中消火前から地上救助部隊との連絡手段を確保する必要がある。

（ウ）有毒ガス等への対応

火災現場周辺は、色々な形態の火災が混在し、有毒ガスの発生が予想される。安全の確保のため、空中消火前から先行的・継続的に情報を収集することが重要であり、有毒ガス発生を承知させるシステムが必要である。

（エ）地上物件の爆発への対応

地上物件の爆発は、空中で察知することは困難であるため、地上からの迅速な連絡が必要である。空中消火間は、延焼しているガソリンスタンド及び化学工場等の空中消火及び上空の飛行は困難である。

（オ）空域の使用統制

火災現場及び給水点周辺は、空中消火のための防衛庁・防災・消防ヘリ及び警備のための警察ヘリ、消火活動等を取材するための報道関係ヘリでかなり混雑することが予想される。また、孤立者の救出及び患者等の空輸任務をするヘリについても予想される。

このため、消火活動現場において消火担任地域を明確に区分するとともに、煙の方向・高さ等を考慮して、進入・離脱のポイント及び飛行高度等を設定し、一元的な飛行の統制・調整をする機関の設置が必要がある。

ウ 法に関する問題点及び検討事項

（ア）空中消火が原因での家屋の倒壊及び倒壊による周辺住民等の死傷に対する法的処置

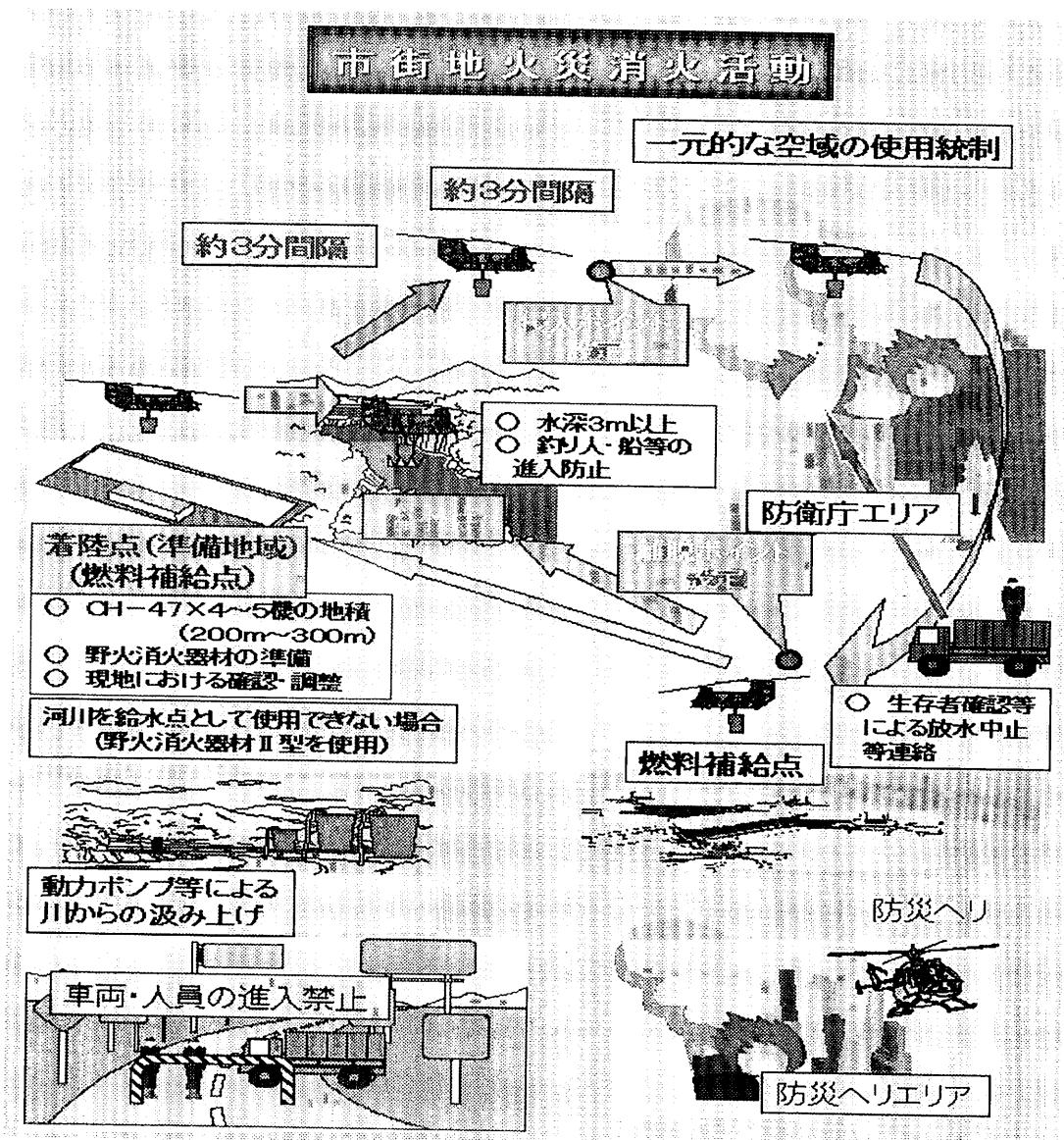
（イ）燃料補給点におけるホットリューフェールによる燃料補給の消防法の適用除外

（ウ）災害派遣時の航空事故（消火器材の落下等）の航空法の適用除外

（エ）物件の曳航の航空法の適用除外

(5) 市街地火災の空中消火活動の一例は、図4のとおりである。

図4 市街地火災の空中消火活動の一例



4 おわりに

実験の結果から、市街地火災に対するCH-47による空中消火は、消火対象箇所を明確にし、連続性ある運用により、火災抑止・延焼阻止の効果があることが分かった。この効果を維持・促進させるためには、市街地における各施設の確保及びヘリコプター(CH-47含む)の飛行の統制・調整を一元的に実施するとともに、給水点～火災現場間での人員・車両等の統制を確実に実施して、安全を確保することが必要である。

また、市街地での空中消火については、建材物等の燃焼による有毒ガスの発生、危険物の混在等各種問題を抱えており、より小規模のうちに迅速に消火が行われることが極めて重要である。このため、消防をはじめとする防災関係機関の連携は、今後一層重要なと考えている。

市街地火災における空中消火の有効性と限界

山下邦博* ((財)日本気象協会)

1. 震災時の市街地火災

林野火災に対する空中消火法¹⁾は既に実用化されており、現在、年間に数十件の林野火災に対して空中消火が実施されている。空中消火の実施件数は、消防防災ヘリコプターが整備されるにつれて増加する傾向にある。しかし、市街地火災に対しては空中消火は殆ど実施されてこなかった。この理由としていくつか考えられるが、その一つは建物の屋根が消火障害となり、水を投下しても大きな効果が期待できないと判断されることによる。

大震災時には道路破壊や家屋倒壊により道路が寸断され、消防隊の駆け付けが遅れたり、場所によっては地上から火災現場への接近が困難になる。また、消火栓システムが破壊されて消防水利が不足し、長時間にわたる放水ができないくなる。このような特異条件下の市街地火災においてヘリコプターを使った空中消火の可能性に期待が寄せられている。

空中消火を実施するかどうかは、災害現場の最高指揮者の判断によるが、この一連の研究は、空中消火の可能性の広がりを検討するとともに非常時の判断材料となる資料を作成する目的で行った。市街地火災の消火を図る場合、再燃危険性がなくなるまで放水することが必要であるが、そのためには長時間に及ぶ活動と多量の水が必要である。空中消火で消火が達成されなくても、地上消防隊が火災現場に到着するまでの間、空中消火により延焼阻止が達成できるのであれば、空中消火に一定の効果があったと判断できる。

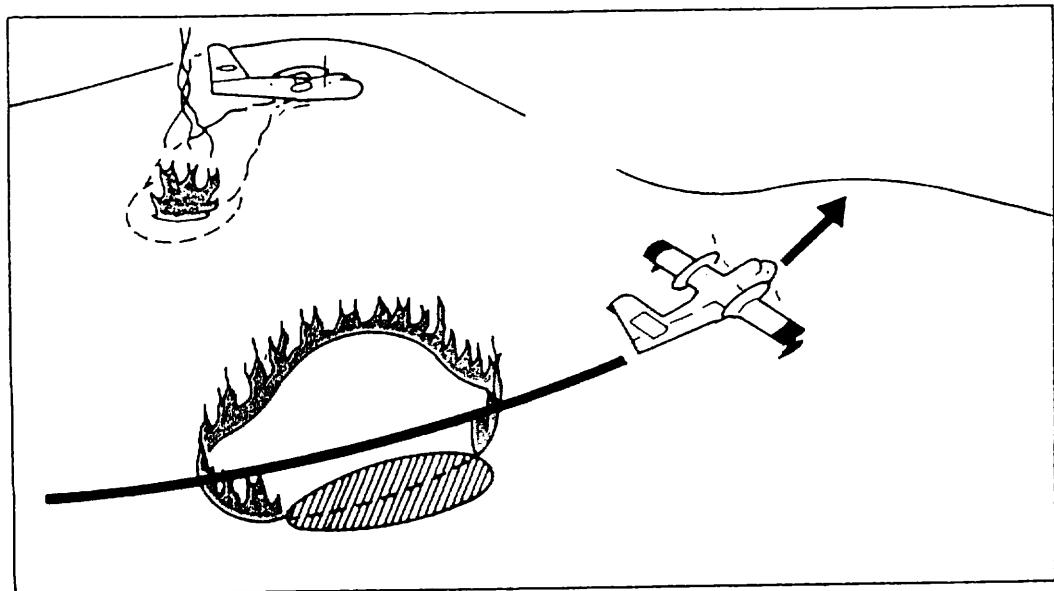
市街地火災における空中消火の可能性について過去にも検討されているが、地震による建物群の破壊については考慮されなかつた。大震災時には家屋の倒壊や可燃物が道路上に散乱することにより建物が燃え易くなり、延焼危険性が増大する。そこで、今回の実験では道路上に可燃物が散乱したり、屋根が破損した市街地火災を想定して空中消火の可能性について検討した。

研究を推進する上で、林野火災において実施されている消火法を参考にした。林野火災の直接消火法は、水を火災上に投下して直接消火を図る方法であり、間接消火法は燃焼区域の周囲にある未燃区域に投下して、延焼阻止を図る間接的な消火法である。カナダにおいて消防飛行艇を使って実施されている消火法を図1に示す。

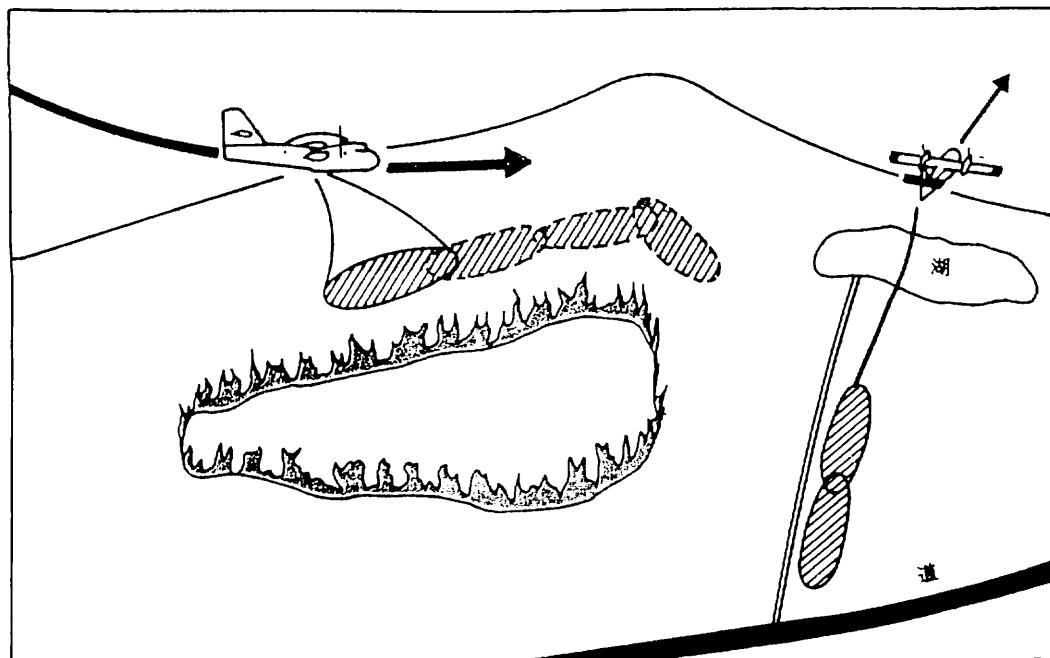
2. 空中消火の効果とその評価法

市街地火災は、建物から建物への火災拡大であり、建物（可燃物）が分離独

*元 消防庁消防研究所 第1研究部長



直 接 消 火



間 接 消 火

図 1 消防飛行艇を使った直接消火と間接消火（カナダ）

立している点に特色がある。このため、隣接家屋に延焼拡大する過程で隣接建物外壁に延焼着火する瞬間があり、この延焼着火現象が火災拡大を左右する。加えて、時間の経過とともに燃焼範囲が拡大し、個々の建物の燃焼状態（火災初期、最盛期、減衰期）が刻々と変化し、火災の拡大危険性が変わる。

空中消火法は、このような延焼拡大メカニズムを考慮し、適切な箇所に水を投下することにより火災拡大の連鎖を断ち切ることである。空中消火（水の投下）は、本来、消火を目的にして航空機から水を投下するものであるが、限られた時間内に搬送できる水量が、火災の消火に必要な水量の数十分の一、数百分の一（あるいは数千分の一）であることから、その結果として火災抑止にとどまってしまう。

空中消火により期待される効果は以下の通りである。

- (ア) 消火
- (イ) 燃焼抑制
- (ウ) 延焼阻止
- (エ) 延焼遅延

この研究報告では、ここでは上記の(イ)、(ウ)、(エ)を火災抑止効果として考察した。

・火災規模が小さい場合、消火対象箇所は自ずと炎上建物とその隣接建物に限定される。火災規模が大きくなれば消火対象地点が増えることから、戦略消火法が求められる。水を投下した時の火災の変化はさまざまで、火災全域にわたって鎮圧される場合、限定された区域しか鎮圧できないことがある。また、前述したように、水の投下によって消火が達成されなくても、火災抑止効果が期待できる。

火災抑止時間は、水の投下によって火勢が著しく弱まっている時間として表すことができる。この火災抑止時間は、散水密度、散水範囲、火災規模、火災の燃焼状態、風速などに依存するが、複数回の実験で種々の条件下の火災抑止時間を求めることができた。予想されるように、火災抑止時間は散水密度が大きくなればそれにつれて長くなる傾向がある。

空中消火の効果の評価は、水を投下した直後の火災の変化を観測して行われる。その評価には毎回評価と総合評価がある。毎回評価は水を投下した都度行う評価で、水を投下した時の火災抑止時間の長短で判断できる。一方、総合評価は連続投下した後の累積効果を評価するもので、最終目標がどの程度達成できたかについて評価するものである。

具体的な判断項目は以下の通りである。

- ・累積火災抑止時間
- ・延焼速度の減少率
- ・隣接家屋への延焼着火時間遅れ

以下に平成11年11月に大分市で行った空中消火実験の結果を基にして効果の評価方法を示す。この方法は、毎回評価及び総合評価のいずれも5段階の評価とし、評価の数値が小さいほど高い効果があったことを表す。総合評価の結果を左右する各種条件として、消火対象区域面積、消火対象地点数、平均の投下時間間隔、投下回数、水の投下速度、建物間距離、平均風速などがある。これらの諸条件についてもそれぞれランク付けした。このランク付けでは、それぞれの数値が大きいほど目標達成が困難であることを表す。

第1実験では3機の消防防災ヘリコプターを使って3分間隔で水を投下したことから、時間当たりの水の投下速度は、10トン/時となる。一方、第3実験では3機の大型ヘリコプターから平均して5.5分間隔で水を投下したことから時間当たりの水の投下速度は64トン/時である。また、第1実験では風が弱かったのに対して、第3実験は強風下で実施された。このような条件によって空中消火の効果は左右されることから、単純比較はできない。

大分で行った第1、第3実験について総合評価の結果を表1に示す。第1実験においては、延焼阻止が達成できなかったこと、連続的に投下した時の家屋A3の累積火災抑止時間が28分であったこと、延焼速度の減少率は50%程度であったこと、などから総合評価は(4)と判断される。この実験では、1回あたりの投下水量が少なかったが、飛行高度と飛行速度を調整することにより火災抑止効果を高めることができたと判断される。

第3実験では7棟の市街地火災の消火が果たせなかつたものの、家屋B1への延焼着火時間を10分程度遅らせたこと、家屋B4への火災抑止時間が20分以上になっていることなどから火災全域についての総合評価は(4)である。投下回数は少ないが、投下水量が多いことから広い範囲にわたって火災抑止がはかられた。このように大型ヘリコプターを使った空中消火は、一度に大量の水を投下できることから、消火対象地点の火災規模、火災荷重などに応じて飛行速度を調節することにより、火災抑止効果を高めることができた。

総合評価では、投下回数が増える程、また、投下時間間隔が短い程、評価結果は向上する。総合評価を行う一つの目的は、消火への到達度を示すことであり、消火を達成するために更に必要な機数や投下回数を予測する指標となる。

3. 火災抑止時間内での連続投下の必要性

空中消火の効果を高めるには、消火対象地点を絞ること、投下時間間隔を火災抑止時間よりも短くすること、また、低速で飛行して散布密度を高めること、無駄水を少なくなるように対象家屋に効率よく命中させることなどが大切である。しかし、ヘリコプターを使った空中消火では、水は上から下方に投下されることから、屋根や可燃物の表面が散水障害となり、屋根の下側と体積可燃物内部まで消火することができない。

一方、火災が継続して、時間が経過すると燃焼が進行し、屋根の落下焼失、

燃焼による体積可燃物の減少がある。空中消火の数学的モデルを構築する場合にはこのような特徴を取り込むことが必要である。そこで、燃焼による可燃物量の減少を燃えている可燃物の高さにおき換えて、構築した数学的なモデルを以下に示す。

火災抑止時間 (∇t) に比較して水の投下時間間隔 (T_0) が長い場合、水を n 回投下した時の燃焼可燃物の高さは以下の式で近似される。このような場合には水の投下は火災抑止時間の延長に寄与するものの、水を連続的に投下しても消火するまでは至らない。

$$H = H_0 - R' \{ t_1 + (n-1) (T_0 - \nabla t) \} - wh$$

この式で、 H_0 ：初期の可燃物の高さ (m)、 R' ：可燃物高さの燃焼による減少速度 (m/分)、 ∇t ：火災抑止時間 (分)、 w ：散布密度 (l/m^2)、 h ：1回の水の投下で消火できる深さ (m)、 t_1 ：空中消火を開始する時間 (分)、 T_0 ：水の投下時間間隔 (分)、 n ：水の投下回数とする。

一方、水の投下時間間隔を1回の水投下による火災抑止時間よりも短くすることが出来れば、連続して水を投下することにより火災を鎮圧することができる。水を n 回投下した時の燃焼区域の高さは以下の式で表される。

$$H = H_0 - R't_1 - nwh + (n-1)T_0 k$$

この式で k は再燃する場合の火災の拡大速度 (m/分) であり、火災を鎮圧するまでの投下回数 (n) は次式で表される。

$$n > 1 + \{ (H_0 - R't_1 - wh) / (wh - T_0 k) \}$$

投下回数を小さくするには、散水密度 (w) を大きくすること、投下時間間隔 (T_0) を短くすることがともに有効である。また、散布密度 (w) を大きくするには飛行速度を小さくし、飛行高度を低くすることで達成できる。しかし、散布密度を大きくする場合には、火災の拡大と人命危険性を考慮してダウンウォッシュと落下衝撃度の影響を念頭におくことが不可欠となる。

4. 空中消火の限界と効果的な活用策

市街地火災における空中消火の効果は、気象条件、市街地条件、火災規模、空中消火の実施方法（ヘリの種類、機数、投下時間間隔、消火対象地点の決定）などで異なることから、複数回の大規模の実験を行い、ヘリコプターから水を投下した時の散水特性、散水密度と火災抑止時間の関係を求め、空中消火の特性と限界についてそれらの傾向を把握することができた。この一連の研究で得られた成果の概要は以下の通りである。

(1) 空中消火法の特性と限界

地上の消防活動と比較してヘリコプターを使った空中消火法の特徴を以下に示す。

- (ア) 水散布が不連続であること
- (イ) 散水継続時間が6～8秒であること
- (ウ) 屋根が健全な状態で残っていればそれが散水障害となり、その下側に散水の死角が生じること
- (エ) 体積可燃物においてはその表面が屋根と同じように散水障害の要因となり、可燃物内部に散水の死角が生じること
- (オ) 外壁に放水しても大部分が流下すること
- (カ) 火炎から強い放射熱を受けると付着した水が短時間で蒸発すること
- (キ) 可燃物に付着した水も時間の経過とともに流下し、一部は蒸発して減少すること
- (ク) 投下した水が風に流されることから必然的に無駄水が多くなり、消火を図る上で効率が悪いこと

このような空中消火法の特性に起因して、ヘリコプターから水を投下しても市街地火災を完全に消火することは困難であるが、一定の火災抑止効果が期待できる。

(2) 空中消火の有効性と効率的な活用法

ヘリコプターを使った空中消火は機動性があり、地上から接近できない場所でも短時間で到達できる利点がある。そこで、前述した空中消火法の特性と限界を把握した上で、以下の点を考慮して活動することにより効果を高めることができる。

- (ア) 消火対象箇所を明確にすること
- (イ) 水投下の目的（消火、延焼阻止、火災抑止、延焼遅延など）を明確にすること
- (ウ) 対象家屋への命中精度を高めること
- (エ) 敷布回数を多くすること
- (オ) タイムリーに散布すること

火災が建物から建物に延焼拡大するときには、最初に外壁に着火して、その後に火炎が建物内部に侵入する。一旦、火炎が建物内部に侵入すれば屋根が散水障害となり、空中消火による延焼阻止は期待できなくなる。そこで、外壁への延焼着火を防ぎ、延焼着火した場合にはそれを初期段階のうちに水を投下することにより延焼阻止を図ることが効果的である。

市街地火災を消火するには膨大な水が必要である。東京消防庁の研究報告では、建物火災を再燃火災が起きないように消火するのに1平方メートルあたり1トンの水が必要である。

ヘリコプターで搬送できる水量は限られることから空中消火の効果が期待できる場所を選ぶ事が不可欠である。今回の一連の実験の結果から、空中消火の効果が期待できる箇所は以下の通りである。

- (カ) 初期の市街地火災（1棟火災あるいは複数棟火災）
- (キ) 飛び火延焼火災
- (ク) 市街地火災の風上方向の延焼阻止
- (ケ) 家屋間にある樹木の難燃化
(水投下で濡らすことにより強固な延焼遮断帯の構築)
- (コ) 火災減衰期にある建物火災

火災は風に煽られて拡大し、飛び火火災が発生する。飛び火火災の発生場所は、火災現場から離れた場所であり、しばしば道路がないことから、地上消防隊の現場到着が遅れる。さらに、飛び火の発生によって消防隊の活動が分散される。このような飛び火火災に対して、ヘリを使った空中消火は機動性に優れていることからその効果は期待できる。空中消火の対象箇所を決定する場合、市街地火災の全容を把握し、タイムリーに必要な箇所に集中的に水を投下することが望ましい。

あとがき

市街地火災は林野火災と比較すると、地形条件、可燃物の種類と量、火災規模、延焼速度、発熱速度などが異なることから、両者を比較検討しながら市街地火災に適した空中消火法を確立して行くことが必要である。特に、火災現場に簡易水槽を設置し、そこにヘリコプターにより消火水を搬送し、可搬式ポンプと使って周囲の火災を消火したり、ジェット・シュータに水を入れて火災現場に搬送して、人界戦術で延焼阻止を図るなど火災の環境条件によっては効果的な消火法も考えられるので、ヘリコプターの多様な活用方法について実践的な訓練を行って検討することが望まれる。

参考文献

- (1) 消防庁防災課：林野火災におけるヘリコプターの活用について：消防研修（消防大学校）平成11年3月
- (2) 日本火災学会：市街地火災空中消火実験報告書（平成9年3月）
- (3) 辻英機、千葉博：建物火災における消火水量の分析調査：消防科学研究所報告 第16号、(昭和54年)
- (4) 自治省消防庁消防研究所ほか：市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書：平成10年3月
- (5) 自治省消防庁消防研究所ほか：市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書：平成11年3月
- (6) 自治省消防庁消防研究所ほか：市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書：平成12年3月

表1 総合評価（第1実験（全域、家屋A5）と第3実験（全域、家屋B1））

- 1 消火あるいは延焼阻止に成功
- 2 累積火災抑止時間（60.1分以上）、延焼速度低下率（10%以下）
- 3 累積火災抑止時間（30.1分～60分）、延焼速度低下率（10.1-30%）
- 4 累積火災抑止時間（10.1分～30分）、延焼速度低下率（30.1-70%）
- 5 累積火災抑止時間（10分以下）、延焼速度低下率（70.1%以上）
(但し、延焼着火時間の遅れは累積火災抑止時間と同じ評価する)

・連続投下の条件

	対象区域 消火対象区域の火災面積 (m ²)	第1実験（全域） 380 (2)	第3実験（全域） 530 (3)
5	101棟以上の火災		
4	21～100棟火災		
3	6～20棟火災		
2	2～5棟火災		
1	1棟火災 (76 m ² として計算)		
	消火対象地点数	5 (3)	7 (4)
5	11以上		
4	6～10		
3	3～5		
2	2		
1	1		
	投下時間間隔	3分 (3)	5.5分 (4)
5	11分以上		
4	5.1～10分		
3	3～5分		
2	2分		
1	1分		
	投下回数	20 (3)	5 (5)
5	5回以下		
4	6回～10回		
3	11回～50回		
2	51回～100回		
1	101回以上		
	水の投下速度 トン/時	12 (4)	64 (2)
5	10トン/時以下		
4	10.1～30トン/時		
3	30.1～50トン/時		
2	51～100トン/時		
1	100トン/時以上		
	火災の進展段階	最盛期 (5)	最盛期 (5)
5	最盛期の火災		
4	拡大期の火災		
3	再燃火災、飛び火火災		
2	未燃焼状態（火災が近くに接近）		
1	未燃焼状態（火災が十分に離れた場所）		
	建物間距離	3m (4)	3m (4)
5	1m以下		
4	1.1～3m		
3	3.1～7m		
2	7.1～10m		
1	10.1m以上		
	平均風速	2 m/s (2)	9 m/s (4)
5	10.1 m/s以上		
4	7.1～10.0 m/s		
3	3.1～7.0 m/s		
2	1～3.0 m/s		
1	無風下		