ヘリコプターによる消火及び消火剤散布実験結果について

中　川　輝　男*
松　川　　渉**
長谷川　活　治***
赤　荻　　勇***
大　山　繁　之***

1. はじめに

大地震が東京を直撃した場合，多くの火災が発生し，その幾つかは延焼拡大して多くの消防力がないと消火することは困難であろうという推察がなされているが，その消防力も建物，塀の倒壊，道路の亀裂及び消火栓の破壊等により消防車両が充分に活動出来ないことも予想され，これらの事態に対処するため当庁においても種々の対応策が検討されている。その方策の一つとしてヘリコプターを利用した空からの消火活動が検討されているが，大地震にともなう市街地火災から発生する熱気流及び煙により，ヘリコプターの行動も制限される恐れがあり，これらの状況の中でヘリコプターをいかに運用したら効果的な消防活動が出来るか研究されている。今回の実験も，この研究の一環として実施したものである。

2. 実験目的

現有ヘリコプターの消火能力，消火剤散布範囲及び各種消火剤の適応性等を把握し，今後の消火活動の資料とすることを目的とする。

3. 実験日時、場所及び天候

(1) 予備実験

日時　昭和50年8月29日（金）13時から15時まで
場所　千葉県東葛飾郡浦安町猫実
天候　晴，風位風速　南南東2.5m/S　温度31℃　湿度45%

(2) 本実験

日時　昭和50年12月10日（水）9時から15時まで
場所　江東区辰己三丁目地先12号埋立地
天候　晴，風位風速，北々東2.0m/S　温度8℃　湿度65%

4. 実験及び観測項目

(1) 予備実験

ア　消火剤の違いによる散布範囲と分布量
イ　散布高度の違いによる散布範囲と分布量
ウ　目視観測
エ，写真観測

(2) 本実験

ア，消火剤の違いによる散布範囲と分布量
イ，散布高度の違いによる散布範囲と分布量
ウ　ヘリコプター機種の違いによる散布状況
エ，ヘリコプター散布速度の違いによる散布状況
オ，消火効果
カ，目視観測
キ　写真観測

5. 実験方法及び設定

(1) 予備実験

実験場に図－1のような直径20mの円を4ヶ所に画き，その中心より8方向の放射状に2m間隙で分布量測定容器を置き，表－1の順序でヘリコプター（アルエットⅢ型）内に設置した機内散布装置に400ℓの水又は水ゲル消火剤を積載し，20m円の直上，高度20m及び30mから散布し，それぞれの散布範囲，分布量等を調べた。

(2) 本実験

ア，散布実験

実験場に図－2のようなホバリング散布範囲測定用の直径30mの円を3ヶ所及び飛行散布範囲測定用の直径72mの半円を1ヶ所画き，その中心より8方向及び5方向の放射状に3m間隙で，分布量測定用紙コップを置き，表－2のような順で各種消火剤をヘリコプター（アルエットⅢ型及びSA 330 F型）内に設置した機内散布装置に400ℓ及び800ℓ積載し，高度50m，100

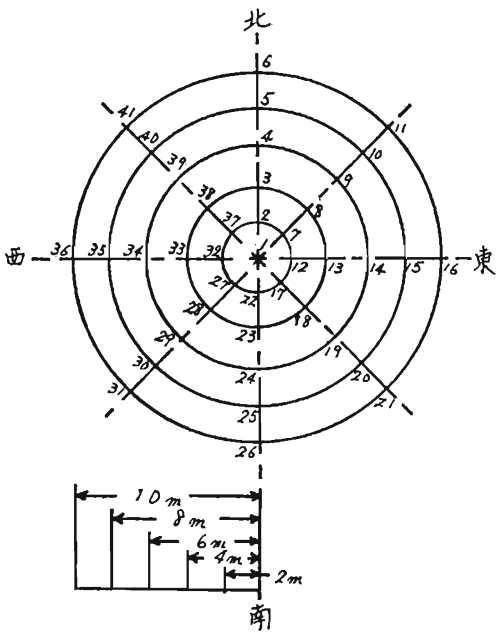
＊第一研究室長　＊＊研究所付　＊＊＊第一研究室

m及びホバリング散布，飛行散布とそれぞれ条件を変えて消火剤を散布し，消火剤の散布範囲及び分布量等を調べた。

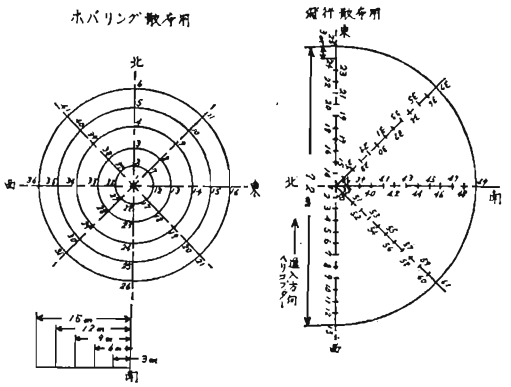
イ，消火実験

図－3のように縦11m，横2m，高さ1.3mに4.7トンの廃材を積み，その中央に温度測定用ポール及び廃材より10mへだてた東，西，北の位置に放射計を設け，点火14分30秒後に400ℓの水を積載したヘリコプター（アルエットⅢ型）2機を使用して交互にホバリング散布で消火作業を行い，消火効果の測定を行った。

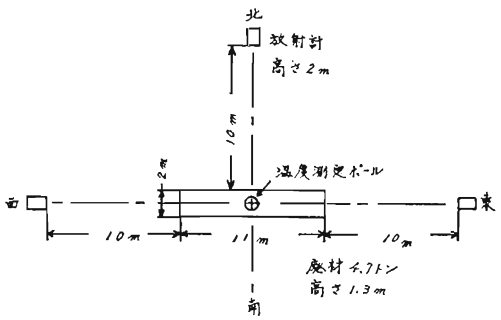
図－1　予備実験設定図



図－2　本実験設定図



図－3　消火実験設定図



表－1　予備実験散布順序

	実験 No. 1	実験 No. 2	実験 No. 3	実験 No. 4
消火剤名	水	水	水ゲル（0.2%）	水ゲル（0.3%）
散布量	400ℓ	400ℓ	400ℓ	400ℓ
散布高度	30m	20m	30m	20m
消火剤粘度			1,500CP	3,200CP
使用ヘリコプター	アルエットⅢ型	アルエットⅢ型	アルエットⅢ型	アルエットⅢ型

表—2 本 実 験 散 布 順 序

実験 No.	使用消火剤	散布量	散布高度	散布条件	使用ヘリコプター	散布器具
1	P・Fe	800ℓ	50m	ホバリング	S A 330 F 型	機内散布装置 (400ℓ) 2ケ
2	水	400ℓ	50m	ホバリング	アルエットⅢ型	〃 1ケ
3	水ゲル	400ℓ	50m	ホバリング	アルエットⅢ型	〃 1ケ
4	P・Fe	800ℓ	100m	ホバリング	S A 330 F 型	〃 4ケ
5	P・Fe	800ℓ	100m	20KTS飛行	S A 330 F 型	〃 4ケ
6	水ゲル	800ℓ	100m	ホバリング	S A 330 F 型	〃 2ケ

6. 実験用資器材

(1) 予備実験

ア	分布量測定容器	41個
イ	スケール，巻尺	各2個
ウ	ストップ・ウオッチ	1個
エ	線引き	1器
オ	フロート・ポンプ	1機
カ	機内散布装置（400ℓ用）	2器
キ	35㎜，16㎜カメラ	各1台

(2) 本実験

ア	分布量測定用紙コップ	270個
イ	コップ立て	70個
ウ	デジタル温度計	1台
エ	2ペンレコーダー	3台
オ	放射計	3台
カ	風向風速計	1台
キ	乾湿度計	1台
ク	巻尺	1個
ケ	ストップ・ウオッチ	1個
コ	上皿天秤計り	2台
サ	フロートポンプ	1機
シ	線引き	1器
ス	機内散布装置（400ℓ用）	6器
セ	35㎜，16㎜カメラ	各2台

7. 実 験 結 果

(1) 予備実験

散布実験における水と水ゲル消火剤の散布範囲は，散布後消火剤により土が濡れた部分を巻尺を用いて測定し，分布量は分布量測定容器内の水深をスケールで測定し算出した。その結果は図—4及び表—3に示したとおりである。分布量については，ヘリコプターが20m円の直上，高度20m及び30mから散布する際に南々東2.5mの風を受け消火剤が風下に流されたため，分布量測定容器設置箇所から散布消火剤がずれ，完全には測定出来なかった。散布範囲は図—4のように水の場合，高度20mで90㎡，高度30mで200㎡であった。また，水ゲル消火剤の場合は高度20mで111.6㎡，高度30mで174.4㎡，と散布範囲は高度に比例して面積も大きくなっている。

(2) 本実験

ア，散布実験

本実験では予備実験より散布高度を高くしたため，予備実験における散布範囲を参物にして，ホバリング散布範囲を直径30m，飛行散布範囲を72mと定めて，分布量測定用紙コップを設置した。

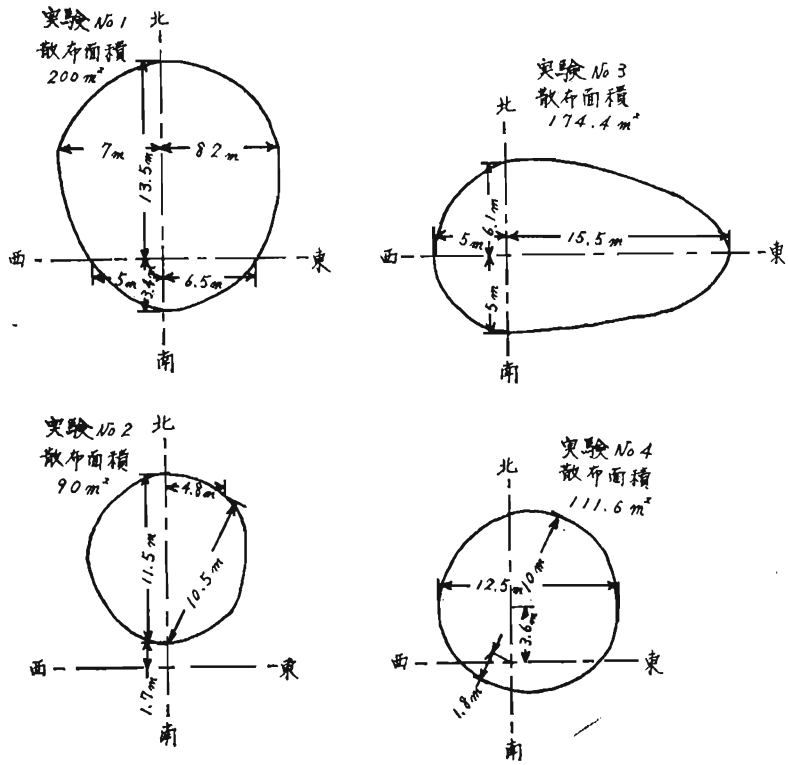
散布範囲の測定は，前日の雨で地面が濡れているため目視観測により行い，分布量の測定は分布量測定用紙コップ内の消火剤量を上皿天秤計りを用いて測定し算出した。なお実験No.1のP・Fe消火剤を高度50mから大型ヘリコプター（S A 330F型）を用いて散布する際に予想以上のメーンローターブレードによるダウンウオッシュがあり，いくつかの分布量測定用紙コップが飛散してしまった。散布範囲の結果は図—5に示すとおりであるが，ヘリコプターからの散布位置を修整しながら散布したため，散布範囲が広くなり，目視観測だけでは散布範囲測定が困難となり，分布量測定結果を参考とした。実線で示した部分は目視観測による散布範囲で，点線示した部分は分布量測定結果を参考とした散布範囲である。

分布量の測定結果は表—4，5に示すとおりで，分布量を基として有効散布量と有効散布率（表—6）を求めたが，高度50mからP・Fe消火剤を散布した場合が一番高い95.5%の値を示した。その他は高度100mから水ゲル消火剤を散布した場合をのぞき50%前後であった。100mから水ゲル消火剤を散布した場合は18.9%とかなり低い散布率しか示さなかったが，これは風向が北東から東南東方向に変化したため，適正な

表—3 予 備 実 験 消 火 剤 分 布 量（C C）

分布量測定容器No.	実験 No. 1	実験 No. 2	実験 No. 3	実験 No. 4	分布量測定容器No.	実験 No. 1	実験 No. 2	実験 No. 3	実験 No. 4
1	35.3		53.0	123.6	22			88.3	微量
2		17.7	53.0	26.5	23			35.3	
3	264.9	229.1		88.3	24				
4	159	159		35.3	25				
5	35.3			微量	26				
6	8.8				27				微量
7	53.0		53.0	282.6	28				
8	53.0		微量	123.6	29				
9	微量			35.3	30				
10					31			35.3	
11					32			微量	微量
12	35.3		70 7	176.6	33				
13	35.3		70.7	123.6	34				
14	微量		70.7	17.7	35				
15			35.3		36				
16					37			35.3	微量
17			106		38			微量	
18					39				
19					40				
20					41				
21									

図—4 予 備 実 験 散 布 範 囲 図



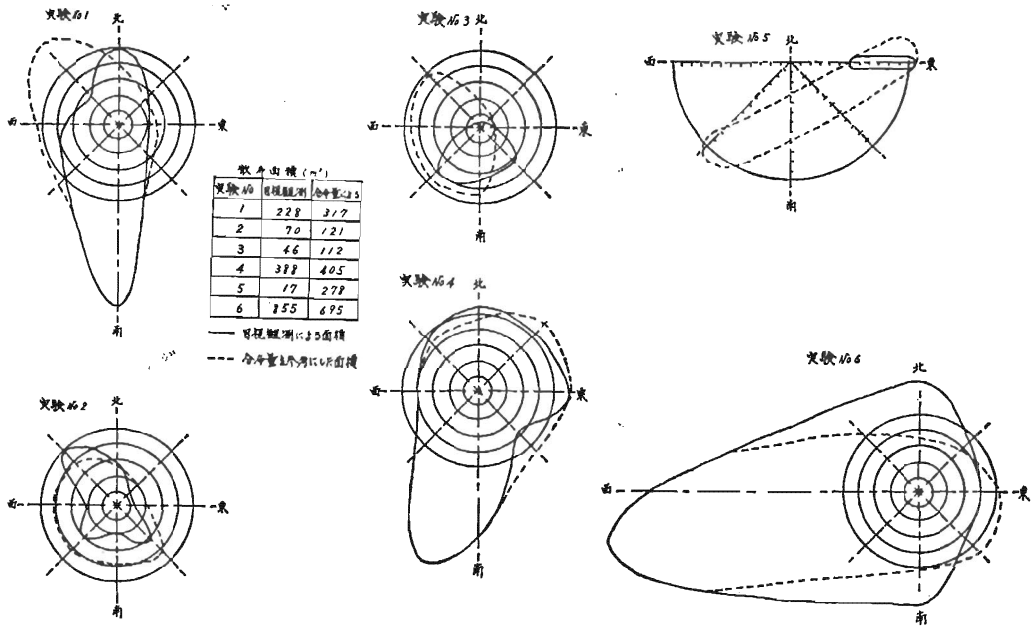
表－4　ホバリング散布分布量測定値

測点番号	測定値（g）				
	実験 No. 1	実験 No. 2	実験 No. 3	実験 No. 4	実験 No. 6
1	5	4	—	4	1
2	—	11	—	4	1
3	—	7	0	3	0
4	—	0	—	2	1
5	—	0	—	0	1
6	—	0	0	0	1
7	4	1	—	7	1
8	—	0	0	4	1
9	—	0	0	8	1
10	0	0	0	5	1
11	0	0	0	2	2
12	4	0	0	7	2
13	1	0	—	6	2
14	0	0	0	3	2
15	—	0	0	3	1
16	0	0	0	2	0
17	3	1	0	6	0
18	—	2	—	4	0
19	1	2	0	3	1
20	0	1	0	1	0
21	0	0	0	1	1
22	—	5	23	6	1
23	—	1	9	6	1
24	—	0	1	6	1
25	—	0	1	4	0
26	—	0	—	5	0
27	—	7	23	2	1
28	3	4	3	2	1
29	—	2	9	1	1
30	—	1	2	1	1
31	2	0	0	0	1
32	6	1	0	3	1
33	3	8	0	1	1
34	3	2	0	0	0
35	3	1	0	1	0
36	2	0	0	0	0
37	7	1	0	2	1
38	8	23	0	2	0
39	8	3	1	0	1
40	5	0	2	1	0
41	6	0	1	0	0

表－5　飛行散布分布量測定値（実験No.5）

測点番号	測定値（g）	測点番号	測定値（g）	測点番号	測定値（g）	測点番号	測定値（g）
1	0	17	0	33	0	49	0
2	0	18	0	34	0	50	0
3	0	19	0	35	0	51	0
4	0	20	1	36	0	52	0
5	0	21	1	37	0	53	0
6	0	22	0	38	0	54	0
7	0	23	1	39	0	55	0
8	0	24	2	40	0	56	0
9	0	25	1	41	0	57	0
10	0	26	0	42	2	58	0
11	0	27	0	43	2	59	2
12	0	28	0	44	0	60	3
13	0	29	0	45	0	61	0
14	0	30	2	46	0		
15	0	31	2	47	0		
16	0	32	0	48	0		

図—5　本実験消火剤散布範囲図



散布位置までヘリコプターを修正するのに時間を要したためと思われる。

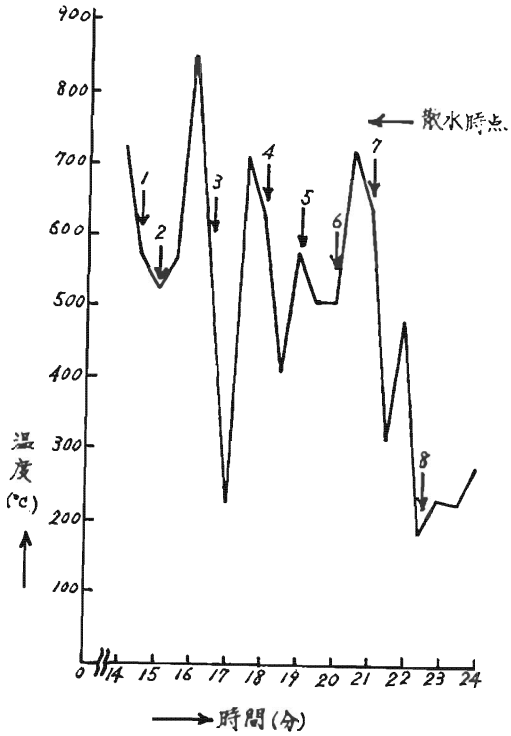
表—6　有効注水率

実験No.	散布量(ℓ)	有効注水量(ℓ)	比率(%)
1	530	506.2	95.5
2	400	197.2	49.3
3	400	200.3	50.1
4	800	454.8	56.8
6	800	151.2	18.9

イ　消火実験

ヘリコプターによる消火実験は2機のヘリコプター（アルエットⅢ型）により，交互8回にわたり計の水を散布し消火を実施したが，鎮火するまでにいたらず，表—7及び図—6，7に示すように，廃材の温度はヘリコプターから消火剤を散布すると一時的には下がるが，すぐ温度が上昇してしまっており，また放射量の変化もヘリコプターが燃焼している廃材の上空にくると，メーンローターブレードのダウンウオッシュの影響により火災が横に流れて，放射量が増加する結果になった。なお本実験時の気象状況は表—8のとおりである。

図—6　廃材燃焼温度曲線



8.　考　　察

(1)　散布高度と散布範囲の関係について

水及び水ゲル消火剤の散布高度と散布範囲の関係を

表—7　消火実験消火効果（航空隊目視観測結果）

機種	JA9071（かもめ）アルエットⅢ型				JA9121（みずたま）アルエットⅢ型			
回数	高度（m）	散水量（ℓ）	的中度	火勢に対する影響	高度（m）	散水量（ℓ）	的中度	火勢に対する影響
1	33	100	可	なし	33	100	優	あり
2	50	70	やゝ良	ほとんどなし	33	100	優	あり
3	50	0	可	なし	33	70	良	やゝあり
4	50	180	良	やゝあり	33	80	優	あり

表—8　気象観測結果

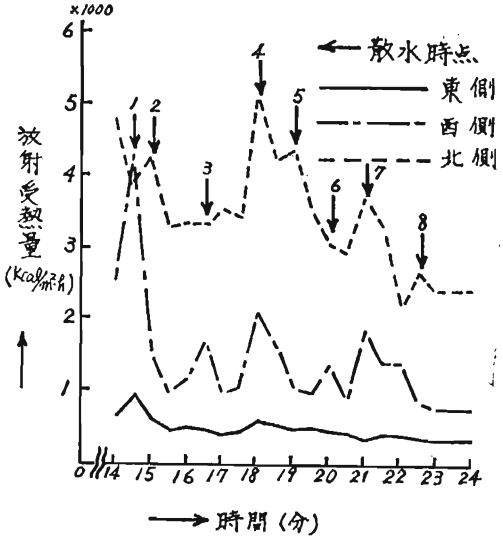
	温度(℃)	湿度(%)	風向	風速(m/s)
消火実験	7.0	71	北東	1.3
散布実験 1	7.5	71	北々東	1.9
〃 2	7.5	71	北東	2.4
〃 3	9.0	60	北々東	2.2
〃 4	9.0	60	北々東	2.2
〃 5	8.5	60	東南東	1.6
〃 6	8.0	59	東南東	1.6

みると，散布高度が高くなるにつれて散布範囲が広くなり，20m，30m及び50mの各高度別散布範囲の直径をプロットすると図—8のような曲線がえられたが，水及び水ゲル消火剤を比較すると，水ゲル消火剤の方がより散布範囲が狭くなっている。これは水ゲル消火剤の方が粘度が高いため，まとまって散布されるためである。

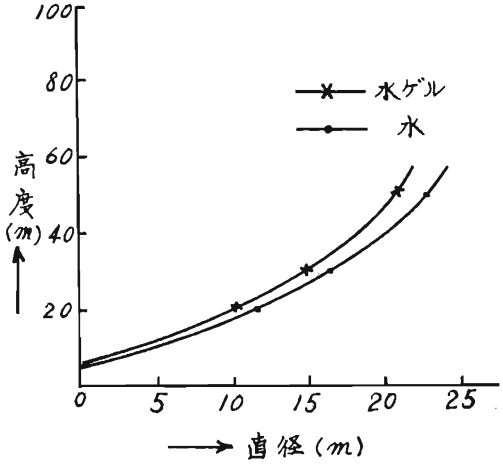
(2)　現有ヘリコプターによる消火剤散布状況について

今回の実験においては小型のアルエットⅢ型と大型のSA330F型の2機種を使用し，アルエットⅢ型には水及び水ゲル消化剤を400ℓ，SA330F型には水ゲル及びP・Fe消火剤800ℓ積載して散布を実施したが，アルエットⅢ型は機体の側面から直径 100㎜$^{\phi}$ の管を用いて散布し，SA330F型は機体底面より直径200㎜$^{\phi}$ の管を用いて散布するという若干の違いはあるが，散布後の消火剤の流れ形を観測すると，アルエットⅢ型では風により幾分流されるが，ほぼ真下に落下しているのに対し，SA330F型では散布後5m程後方に移動してから落下するという軌跡を画いている。そのためか散布範囲を見るとアルエットⅢ型では，ほぼ30mの直径内に散布されているが，SA330F型では高度50m及び100mともかなり目標よりずれて散布されており，大型のSA330F型の方が命中しにくいようである。

図—7　放射受熱量曲線



図—8　散布高度と散布面積直径との関係



その原因として考えられるのは，ＳＡ330Ｆ型の場合は機体底面の中心部に散布用吐出口があり，吐出口先端が底面と同一面上にあるため，メーンローターブレードから吹きおろすダウンウオッシュの影響を受けやすく，ダウンウオッシュが機体の湾曲面に沿って底面に巻込むので，吐出口から水又は薬液が噴出した直後でもかなり霧状に近く，機体がホバリング中に前傾姿勢になるなどの要素も加って後方へ流れやすいものと思われる。

また，ＳＡ300Ｆ型の水槽の吐出部パイプの管径は100㎜$^{\phi}$で，これが２～４槽連結して吐出口付近では管径200㎜$^{\phi}$となるため，各槽からの流出水（又は薬液）がぶつかり合って乱流状態で落下する影響も無視できないものと思われる。これに対しアルエットⅢ型は機内水槽から100㎜φのパイプを通して機体左側部分から直接落下するため，乱流を形成する要因は殆んどなく，ダウンウオッシュの片面だけの巻込みで，投下する薬剤等が後方等へ流れる要因は余り見当らない。アルエットⅢ型の場合は若干ながら右へ流れるのが普通のように思われる。したがって現在の散水装置から見る限りではアルエットⅢ型の方が命中率は良い。いずれにしても，メーンローターブレードが起すダウンウオッシュは薬剤等の散布にかなり大きな影響を与え，ブレードの回転面直径の大きいＳＡ330Ｆ型の方が当然風圧も大きいから，吐出口の下端はできるだけ機体底面より下げて，ダウンウオッシュの影響を少なくするように考慮すべきである。しかし着陸時に影響を及ぼさないよう機体底面で折曲るようにするか，又はホース状にして巻上げるなどの方法を検討すれば，命中率の向上をはかることができると思える。

(3) 飛行速度と散布範囲について

今回の実験においては飛行散布は毎時25ノットの速度で１回しか行わなかったので，傾向を把握するまでにいたらなかったが，散布範囲の消火剤の分布量を見ると，ほとんど分布量測定用紙コップ内には消火剤が入っておらず，消火剤が広い範囲に飛散してしまったものと思われる。ホバリング散布では平均54.1％の有効散布率が得られており，これらのことから今回の実験結果においては，狭い火面で消火剤が少ない場合にはホバリング散布により集中散布が適しているが，広い火面で多量の消火剤を散布出来る場合には飛行散布が適していると思える。

(4) 消火剤別散布状況について

実験に使用した消火剤は水，水ゲル及びP・Fe消火剤の３種類であるが，運用方法としては水は安価で手軽に入手出来るので消火水として多く利用されているが，上空から散布した場合霧状になり空中に飛散してしまい，有効に使用される率が低下するという欠点がある。一方水ゲル及びP・Fe消火剤は水に比較して粘度が高いため散布後霧状になりにくく，有効水量も多くすることが出来る利点がある。また木材等の壁面に付着するため延焼防止効果も水より良いが，高価であり消火剤を準備するのに手がかかり，P.Fe消火剤は異種の薬品を散布時に反応させて消火剤とするため，散布前に混合すると固まるという，取扱い上と価格の面で欠点があるが，装置の開発や使用量が増加することにより改善されるものと思える。

(5) 消火効果について

消火実験においては4.7トンの廃材を700ℓの水を使用して消火を試みたが，鎮火するまでにいたらず，ヘリコプターによる消火活動が大変に困難であることを示す結果となった。使用した消火水量から廃材面積１㎡当りの水量を算出すると31.8ℓとなり，消防隊が消火するに使用している統計上の平均水量757.6ℓ/㎡と比較すると23.8分の１であり，実験結果のホバリング散布における有効散布率の平均値54.1％を考慮すると43.4分の１となり水量的に消火するには，かなり厳しい条件となっている。また，建物内部が延焼している場合，散布した水又は薬剤は屋根を伝って流失してしまい，直接の消火効果は期待できないので，現有ヘリコプターの限定された水量で，ある程度の消火効果を得るためには，屋根が焼け抜ける時点まで待たねばならず，逆に屋根が焼け抜けた時点の火勢を考えた場合には焼石に水という結果になりかねない。

効率的な空中消火を行なうためには，大量の水又は薬剤を集中的に投下すれば理論的には可能であるが，過去の震災事例を見ても倒壊建物には概ね屋根が残っている場合が多く，空中消火による効果については速断し難い。

9. おわりに

今回の実験により当庁の有するヘリコプターを使用した場合の消火効果，消火剤散布範囲及びヘリコプターの散布性能等の傾向を把握することは出来たが，大量の水又は薬剤を搭載できるカナダ製カナデアＣＬ-215又は新明和工業(株)製ＰＳ－１型飛行艇等の航空機を使用した大量の消火水を利用した消火方法については，大量の水を一時期に放水されることによる建物の破壊及び人命安全上の問題点等もあり，今後の研究を待ちたい。