



Title	9. プロパンガス加熱法による霧の人工消散試験
Author(s)	孫野, 長治; MAGONO, Choji; 菊地, 勝弘 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 25, 181-206
Issue Date	1971-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.25.181
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13998
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p181-206.pdf



9. プロパンガス加熱法による 霧の人工消散試験

孫野長治・菊地勝弘
遠藤辰雄・李 枉雨
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和45年10月受理 —

第1章 人工消霧試験の総括

I. 序 論

飛行場の霧を人工的に消散させる試みは、2, 30年前から内外^{1)~5)}においていろいろと行なわれてきた。しかし所望の時に実用的なスケールで確実に消散させるには、現在においても0°C以上の霧に対しては加熱法しか考えられない。

しかし加熱法が平時に実用化されない主な原因は、莫大な燃料および必要な装置を大量に設置することの困難によるものである。霧日数や霧濃度が往時に比べて増大しているわけではないが、一定時間内に離着陸する航空機が飛躍的に増大しつつある現在、霧による被害は比例して増大している筈である。

近時プロパンガスが普及してきたので短時間に多量のガスを完全燃焼させることはさほど困難ではなく、燃料費も航空機1機の料金に比べて決して高価なものでないことが理論的に予想されたので、プロパンガス加熱法による人工消霧試験を実施することにした。ただどの程度のスケールで試験を実施するかが問題である。小規模ならば必ず消すことができるが実用化のための資料にはならないからである。そこで航空機の実際の離着陸に必要なスケールで実施することにこしたことはないが、経費の関係で実用の1/4のスケールで実施した。このスケールの試験ならば実用化のスケールに無理なく換算できるであろう。

II. 場所と時期の選択

実用化された場合の目標を、夏の霧の被害の多い北海道の千歳飛行場におき、なるべく同

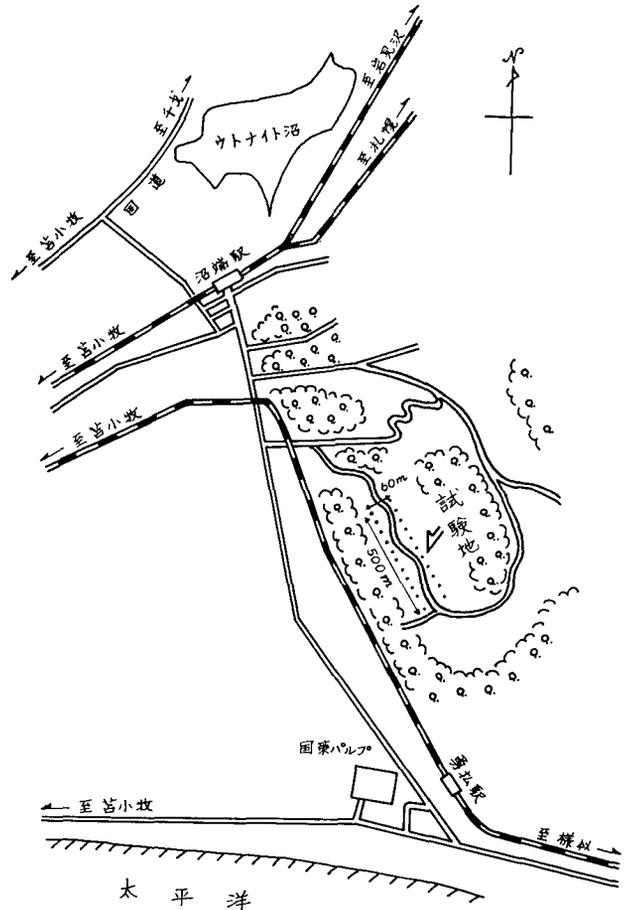
- 1) H. G. HOUGHTON and W. H. RADFORD; On the Local Dissipation of Natural Fog, Papers in Physical Oceanography and Meteorology of M.I.T. and W.H.O.I., 5 (1938), No. 3.
- 2) 中谷宇吉郎; 千島・北海道の霧の研究, 技術動員会議 (1945).
- 3) C. E. JUNGE; Methods of Artificial Fog Dispersal and Their Evaluation, Air Force Surveys in Geophysics, No. 5 (1958).
- 4) 浅井辰郎・西沢利栄; 霧や雲の人工消散に関する展望, 天気, 6 (1958), 362-372.
- 5) 浅井辰郎・西沢利栄; 霧や雲の人工消散に関する展望, 天気, 7 (1959), 1-6.

飛行場に地理的にも気象的にも近くて、しかも試験可能な場所として、第1図に示すように千歳南東の沼端の旧飛行場跡をえらんだ。旧滑走路は破壊されて起伏が多過ぎるので滑走路に平行な平坦地を試験場とした。試験を実施してから判明したことであるが、滑走路は霧時の主風向とは必ずしも平行しておらず、試験中は斜めの風を受けることが殆んどであって、試験効果も半減した。この点、今後の実用化試験の場合に留意する必要がある。

千歳飛行場の霧の障害は4, 5, 6, 7および8月にわたって生じるがもっとも頻繁なのは統計上6, 7月であることを考慮して試験期間を7月1日から1カ月とした。

III. 試験組織

これまでに英空軍および米空軍で加熱法で人工消霧試験が行なわれたが、発表された文献をみて痛感されることは、物理学的気象学的な基礎資料を殆んど欠いているので、何故実用化に成功しないのか判定することが難しく、まして我国の場合と比較検討することができない。今回は人工消霧の効果判定のみならず、できるかぎりの基礎資料を得ることに努めた。試験および観測の項目と分担は第1表の如くである。



第1図 人工消霧試験地略図

Fig. 1. Map around artificial fog dispersal experiment.

IV. 試験観測の原理

現在の規則では計器飛行の場合、水平視程半哩、垂直視程200呎が離着陸の限度とされており、1回の離陸または着陸に5分間あればよいと考えられる。この時間だけこの容積の大気中の霧を消すための熱量を計算してみよう。

簡単のため、また余裕をとって長さ1,000 m、幅100 m、高さ100 mの空間すなわち $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ の容積を考える。また風速を滑走路に平行に5 m/sec (霧時には風が弱いのが普通であ

0.8 g の霧水量を蒸発させ、しかも相対湿度が 90% であるためには、気温を 16.6°C にしなければならない。すなわち 1.6°C の昇温が必要である。このために必要な熱量は、空気の密度が 0.0013 g/cm³、比熱が 0.24 cal/g であることを考慮すれば、1 m³ について $0.0013 \times 0.24 \times 1.6 \times 10^6$ 即ち 500 cal の熱量が必要になる。したがって霧粒を蒸発させ、また 1.6°C 昇温させるためには 1 m³ について計 980 cal の熱量が必要になる。全容積 2.5×10^7 m³ に対して 2.5×10^{10} cal が必要である。

プロパン・ガスの発熱量は 1 g につき 12,000 cal であるから、上記の加熱のために、空気 1 m³ について 0.08 g のプロパン・ガスが必要になる。ところがプロパン・ガスが燃焼すると、その約 4 倍の水蒸気が発生する。この分も考慮すれば、1 m³ の空気中の霧を消すためには合計 0.1 g のプロパン・ガスを見込んでおけば充分であろう。

したがって上記の 2.5×10^7 m³ の空気中の霧を消すためには $0.1 \times 2.5 \times 10^7$ g すなわち 2.5 トン、金額にして 12 万 5 千円のプロパン・ガスが必要になるが、これは実現可能な額である。ただ 2.5 トンのプロパン・ガスを 5 分間という短時間に完全燃焼させるという技術的な問題は残るが、これは北海酸素株式会社の技術陣の 7 吋高圧バーナーの設計により解決された。

上に見積った熱量を過去の計算と比較してみよう。高橋⁸⁾ は 6×10^9 cal、吉田等⁹⁾ は 6.8×10^9 cal と計算しており、筆者等の 4 分の 1 に相当する。また英国の FIDO³⁾ では重油 2,700 ガロン、熱量にして 7.5×10^{10} cal で充分としているが、筆者等の 3 倍に相当する。

V. 試験観測方法および結果

試験観測方法は第 2 章「人工消霧用 LP ガスバーナーについて」で詳述する。またパイロットのために斜視程の資料を得る目的で、繫留気球用の空中カメラ¹⁰⁾を試作して使用した。また上空の気象を知るために、田沢誠一¹¹⁾は繫留気球用に特殊の自記通風乾湿計を試作してとりつけ、何れも成功した。

繫留気球は 21 m³ のカイツーン式のものを使用した。試験地が羽田・千歳間の航空路にあたるので高さ 100 m までしか気球をあげることができなかった。個々のガスバーナーの昇温効果は第 3 章に、総合的な試験効果は第 4 章で詳述する。

VI. 結論と謝辞

本試験は実用の 1/4 のスケールで実施され、大体原理から予期された効果を得た。したがって本試験の 4 倍の発熱能力があれば、千歳空港の夏の霧の障害は殆んど除去されるものと思われる。

8) 高橋浩一郎；加熱法による霧の消散について、千島・北海道の霧の研究 (1945), 67-80.

9) 吉田順五・高野玉吉・黒岩大助；熱式及び電気式霧消散法の予備的研究, 同上, 88-97.

10) 遠藤辰雄；繫留気球用の簡単な空中カメラの試作, 天気, 11 (1964), 247-251.

11) 田沢誠一；繫留気球用自記通風乾湿計の試作, 天気, 11 (1964), 252-253.

プロパン・ガスバーナーの設計・製作ならびに現地の配管工事ならびに操作にあたっては、北海酸素株式会社、北酸商事株式会社の絶大な協力を賜わった。また試験地の選定その他で陸上自衛隊第7師団に非常に世話になった。記して深く感謝の意を表わす次第である。

本試験の費用の大部分は日本航空工業会から支弁され、また全日本空輸の美土路昌一氏からも支援された。深甚の謝意を表す。

第2章 人工消霧用 LP ガス・バーナーについて

視程を増加させるのが本来の目的であるから、燃焼方法による場合は完全燃焼が望ましい。昭和37年の冬の予備試験¹²⁾に基づいて、LP ガス (プロパンガス70%、ブタンガス30%) を熱源とした簡単な大出力のバーナーを製作・使用した。

I. ガス・バーナーの選定

LP ガスは1 kg あたり12 m³ という比較的多量の酸素を得て始めて完全燃焼するので、燃焼前に必要な空気量の一部あるいは全部を混合しておかなければならない。

1.1 大気圧バーナー

この例としてブンゼン・バーナーがあげられる。低圧のガスにより大気圧の空気を1次空気としてそのまま吸引混合する。完全燃焼には、着火後にさらに混合して燃焼を助ける2次空気を必要とする。この形式のバーナーは多量の熱を発生することが出来ない。

1.2 風圧バーナー

ブラスト・バーナーと呼ばれるもので、1次空気を完全燃焼に必要な量だけ、送風機を用いて混合させる。この形式のバーナーは、燃焼を急速に行なわせ、焰が短くて高温を出すことが出来る。しかし作動の安定度は送風機の安定度に左右されるので、電源のない原野における試験には向かない。

1.3 高圧バーナー

この形式では、ガス圧をあらかじめ高めておいて、ノズルから噴出させ、完全燃焼に必要な1次空気を吸引するようにする。構造はブンゼン・バーナーとほぼ同じであるが、ノズルから噴出するガス圧の高い点が異なる。

消霧バーナーは、短時間内に多量のガスを完全燃焼する必要がある。この点で大気圧バーナーは不適當である。また風圧バーナーは、良好に作動している間は発熱量も大きく、強風下でも焰が安定していて都合がよいが、補助装置として多数の送風機が必要であり、全体として複雑・高価なものになり、臨時的試験用としては不向きである。

高圧バーナーは、前述のようにブンゼン・バーナーと基本的に構造が同じであるから製作

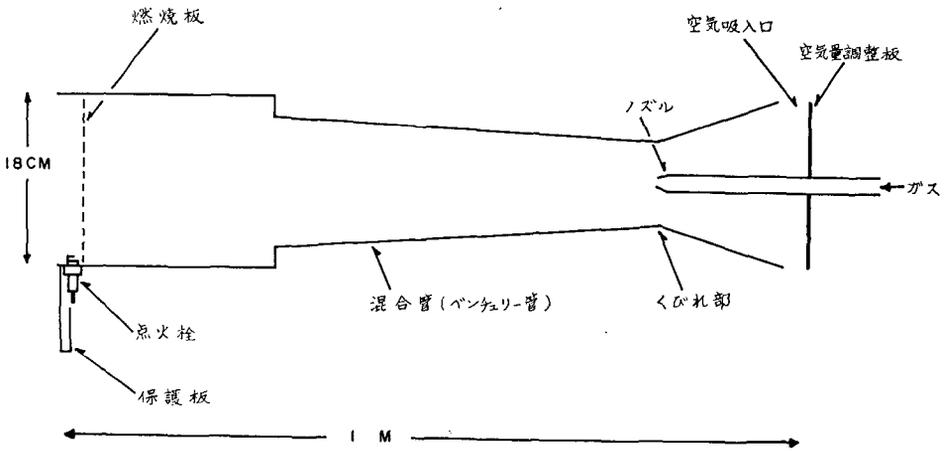
12) 孫野長治・織笠桂太郎・菊地勝弘・木村忠志；加熱式人工消霧の予備試験，北海道大学地球物理学研究報告，11 (1963)，19-24。

は容易である。また予圧が必要になるが、LP ガスは貯溜タンクの中に液相で充填されて常温で既に6気圧の気相と平衡しているの、コンプレッサーなどの補助装置なしに消霧に必要な熱量をまかなうだけのガス量をバーナーに送りこんで完全燃焼させることは容易であり、5 m/sec 程度の風があっても焰が吹きけされることはなかった。

消霧用加熱バーナーとしては高圧バーナーの形式が適しているの、これを開発・使用することにした。

II. 消霧用高圧バーナーの開発

高圧バーナーの基本的構造は第2図に示すようにベンチュリ管のくびれ部にガスを噴出するノズルを位置させたもので、ノズルから噴出するガスの負圧によりベンチュリ管内に空気が吸引されてガスと混合する。それで単位時間内のガスの消費量すなわち発熱量はノズルの直径で圧力が定まり、さらにノズルの直径で、与えられた圧力のガスを完全燃焼させるために要する混合管の長さ、焰口やくびれ部の直径などが決定される。



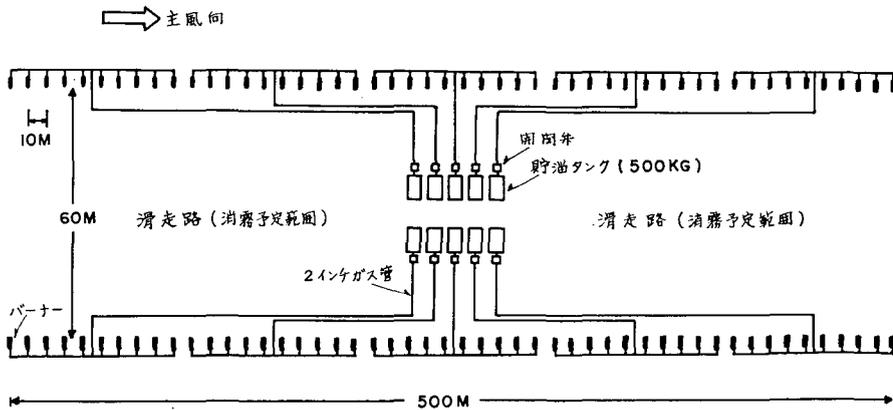
第2図 消霧用LP ガス高圧バーナーの構造

Fig. 2. Construction of high-pressure L.P. gas burner for fog dispersal.

各部の寸法は予備試験¹²⁾によって実験的に決定された。最終的に使用されたものは、第2図に示すように焰口径18 cm、長さ1 mで、焰口部にはバックファイヤーを防ぐために蜂巢状に孔をあけた燃焼板を、写真1にみられるように取り付けて完全燃焼を助けた。6気圧の圧力差のもとで毎分1.5 kgの燃焼能力がある。写真2はこれらのバーナーを試験場に配置した状況を示す。地表に対しては45°、風向に対しては60°の角度で風下側に向くようにその都度調整した。逆風になると焰口部の補助装置が過熱するからである。

III. バーナーの配置と作動

バーナーの熱出力を所定の空間に一様に分布させることは非常に困難で、実際にはバーナーの近傍が極端に昇温する。したがって消霧の効果はバーナーの配列と風向によって大きく影響される。今回の試験では、実用の場合になるべく近づける意味で、第3図のように仮想滑走路(幅60m)の両側に対向させて50本ずつ、10m間隔で計100本を配置した。100本のバーナーを10ブロックに分け、各ブロックに500kgの貯溜タンクを1基ずつ連結した。配管は内径2インチの鉄管で、総延長は2,100mに及び、その経費は設置、撤収費も含めて100個のバーナーの製作費に近かった。



第3図 貯溜タンクとガス・バーナーの配置

Fig. 3. Distributions of storage tanks and gas burners.

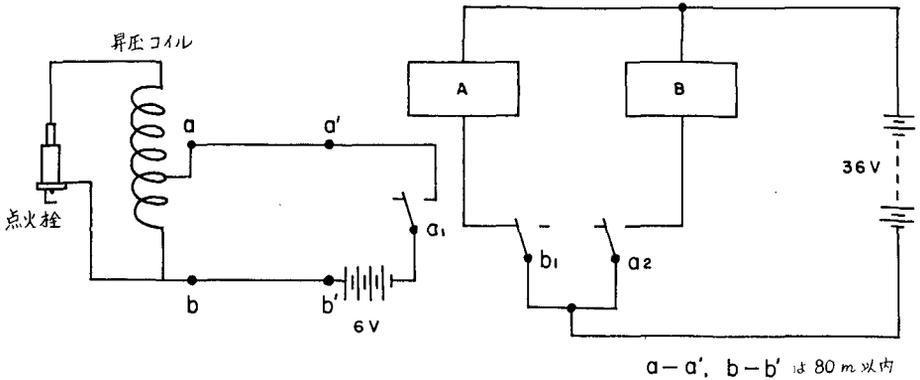
操作の便宜上、10個の貯溜タンクは第3図および写真3に見られるように滑走路の中央部に集結し、それぞれに開閉弁をつけて全体の操作を中央部で行なうようにし、また各ブロックを独立に点火することも可能にした。タンクの開閉弁は手動なので、全バーナーを点火するのに最小限約1分を要した。また開閉弁をとじた後も、配管内に残ったガスのため、約1分半の間燃焼がつづいた。日射による極端な昇温や夜間の冷却を防ぐために、写真3に示すような貯溜タンク群は天幕で格納した。

個々のバーナーの昇温効果は第3, 4章で述べる。

IV. 点火装置

個々のバーナーの点火は、貯溜タンクの弁の開閉と同時に進行なうことが望ましいので、確実性の高いことと遠隔操作の容易なことから電気火花による着火方式を採用した。この点で自動車のエンジンの点火システムが好適であり、また特性のそろった部品を大量に入手しやすい利点もあるので、自動車の点火栓とイグニッション・コイルを使用した。

自動車のイグニッション・コイルは一種のオートトランスであり、1次電流を急速に切る際に2次側に高電圧が発生する。1次電流を断続する機構の原理を第4図に示す。断続器と末端のコイルを結ぶ図の $a-a'$ 、 $b-b'$ 間の結線の抵抗と分布容量が1次電流の急速な変化をさまたげる要素になるが、この部分の結線の長さや太さには制限があり、電源が6Vの場合、50芯のビニール単線を使用して80mが最大限らしいことが実験的に判明した。



第4図 点火装置原理図

Fig. 4. Electric circuit for ignition.

また接点 a_2 は、断続を完全におこない、しかも1次電流が最大値に達した後には切れる必要があるため10 cps 前後の割合で作動しなくてはならない。このため接点 a_2 を多接点リレー A の接点群のなかに含ませ、いま一つのリレー B とともに第4図右側に示すようなユニバイブレーターを構成した。リレーには A, B とともに高見沢電気製の KT 型を使用した。36V をこの回路に与えたとき、約 20 cps で接点 a_2 が開閉した。

この回路の作動は次のようになる。まずリレー A が作動して接点 a_1 と a_2 が閉じる。この時イグニッション・コイルに1次電流が流れ、同時に接点 a_1 によりリレー B が作動して接点 b_1 が開くので、リレー A は作動を停止し、接点 a_1 と a_2 は再度開かれて回路は最初の状態に復帰する。接点 a_1 と a_2 の開閉動作には A, B 両リレーのタイム・ラグが含まれるが、この間にイグニッション・コイルの1次電流は、点火栓に火花を飛ばせるのに充分な値に達する。

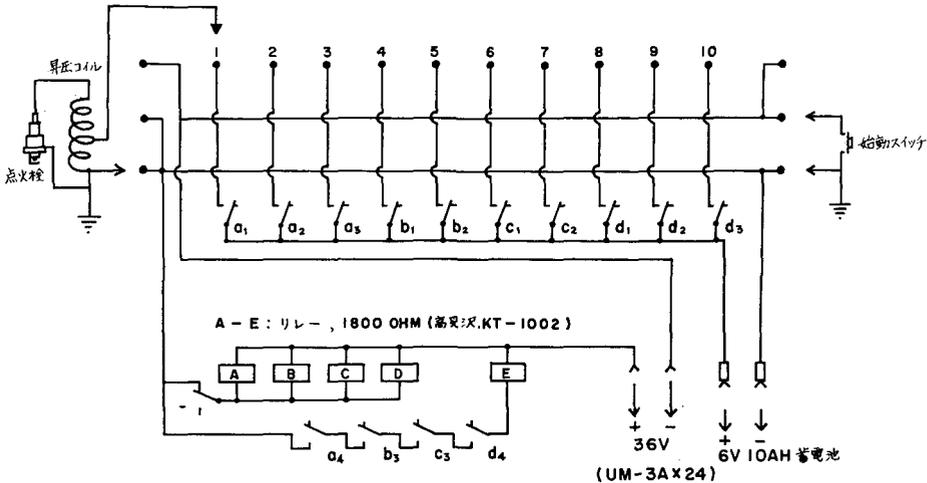
使用したリレーの接点電流容量は公称 0.3 A であるが、電圧が低いので $0.1 \mu\text{F}$ のコンデンサーで簡単な火花消去をおこなっただけで、平均 0.6 A の1次電流に対し充分役に立った。

第5図は実際に使用した電流断続機構の回路図であるが、各イグニッション・コイルは、1次電流を切断後、相互に孤立させなくてはならないので、リレーの接点は各コイルの一つずつ必要になる。さらに1次コイルと接点の間の長さを80m以内にする制限から、前述したブロックの一つごとに、第5図に示すような断続点を含む機構を1台ずつ使用することにした。

使用したリレーは4組の接点をもっているため、10組の接点は4個のリレーに分配した。第5図の A, B, C, D のリレーがそれである。各リレーに属する接点には小文字で同じ符号を

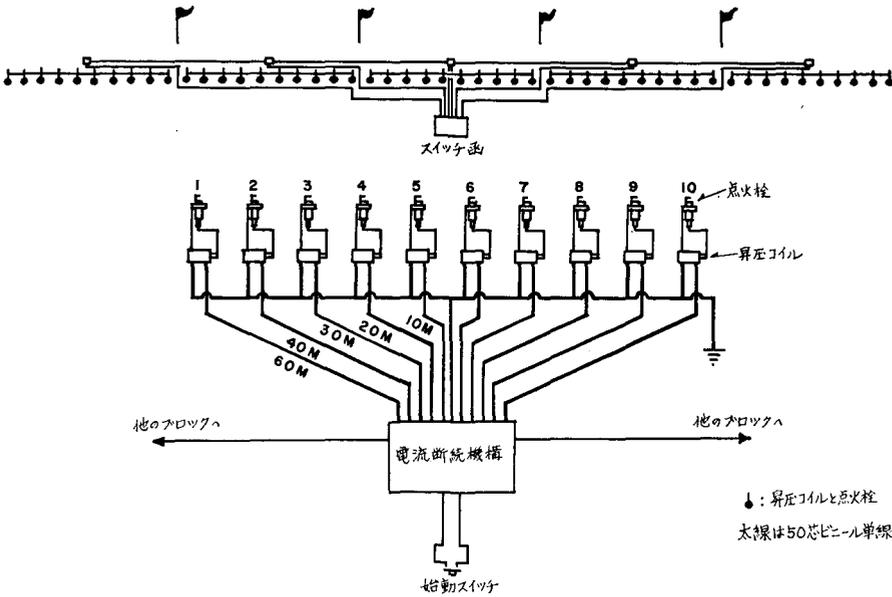
つけてある。リレー E は、第 3 図の B リレーに相当するもので、A, B, C, D リレーの断続動作をくり返させる作用をする。これと直列に A, B, C, D リレーの接点を一つずつ結線して全リレーの動作を確実にした。

イグニッション・コイルと点火栓は、断続機構の 10 個のターミナルにアースを共有させて



第 5 図 電流断続機構結線図 (バーナー 10 本分)

Fig. 5. Electric circuit for interrupters for 10 burners.



第 6 図 上図: 片側 50 本のバーナーの点火結線図

下図: 1 ブロック (バーナー 10 本) の点火結線図

Fig. 6. Upper: Electric circuit for igniting 50 burners in one side.
Lower: Electric circuit for igniting 10 burners in one block.

つないだ。この装置は、リレー用の電源として3号乾電池24個と着火用の6V・10AH蓄電池を内蔵している。作動は押ボタン・スイッチによって開始される。この押ボタンへの配線は通過電流が50mA程度なので、2~300mは容易に延長できるから、押ボタンだけを中央部の貯溜タンクの地点に集めて、タンクの開閉弁の操作と合わせて点火操作がおこなえるようにした。

第6図に点火系統の結線図を示す。上半分は片側のバーナー5組に関するもので、断続機構から各イグニッション・コイルへの配線は省いてある。下半分は1ブロックに関するもので、押ボタン・スイッチのアースは各ブロックと共有している。図では省略してあるが、押ボタン・スイッチのアース回線に250mAフル・スケールの電流計をいれて、各ブロックの断続機構の作動を点検できるようにした。写真4は断続機構の外観である。

V. 風雨の影響

試験中、点火装置そのものは充分の確実性をもって作動した。しかし野ざらしのガスバーナーに簡単に装着したために次のような難点が見出された。

ガスバーナーの焰口が逆風ぎみになると、点火栓とイグニッション・コイルを結ぶビニール被覆の高圧ケーブルが燃焼する例が多く認められた。点火栓自体は耐熱性の高い材質で作られていたので簡単な保護板をつけただけで充分と思われたが、ガス圧の低下につれて焰口から噴出する焰の勢が弱まり、焰の先が風に吹きまげられてビニール被覆部が火をかぶるようになり遂には燃焼してしまう。焰をかぶっても引火しないように不燃性にするか、または焰が逆向きになっても充分なカバーを考える必要がある。

雨露のために点火栓の火花間隔が短絡するものがあつた。そこで使用しない時はビニールの袋を全部のバーナーの焰口にかぶせた。そのために使用直前に100個の袋を外すのに無用の時間を要した。この点実用化の場合に注意すべきである。

前に述べたように点火系統の作動は設置後も確実であつたが、蓄電池の点検と充電にかなりの手数を要し、リレーの破損が2回、2つのブロックで生じた。電源のない野外実験では蓄電池の使用は避けられないが、リレーは多接点リレーを用いてA, B, C, Dリレーを1個にまとめるのが改良すべき点と思われる。またこの種の試験でさけられないことかも知れないが数キロの配線を行なうことに多大の労力を要した。

点火装置の開発・設置・操作は木村忠志、織笠桂太郎が担当した。

VI. あとがき

高圧バーナーの作動はガス圧に大きく影響されるので、貯溜タンク内の液相ガスの温度が一定に保たれることが望ましい。しかしガスの急激な放出によってタンク内の液が急激に蒸発し、その気化潜熱によって液温も急激に低下した。タンクの外側が霜で白くなる位であつた。今回の試験では500kgのタンク1基で10個のバーナーを受けもつ割合で配管したが、常温か

らスタートした場合、予期通りに 1.5 kg/min の割合で完全燃焼したのは最初の 2 分間にすぎず、その後は燃焼速度が急に衰えて黄色の焰がみえるようになった。高圧ビニール被覆線が燃えるのもこの時期である。

この圧力低下を防ぐためには貯溜タンクに十分な加熱装置をつけるか、容量を数倍にしないてはならない。または電磁弁を各バーナーにつけた液体バーナーを使用するのも一つの方法であろうと思われる。

第 3 章 線状に配置されたガスバーナー による昇温効果について

I. ま え が き

プロパン・ガスバーナーは、現地の主風向に沿って滑走路の両側に線状に配列された。いま 1 個のバーナーによる昇温効果は、バーナーからある程度離れると効果が実際には零になる。しかし個々のバーナーの昇温効果が重畳されると効果範囲（昇温域）の拡大が期待される。このことを検討するために、サーミスターを用いて個々のバーナーの昇温区域を詳細に測定した結果、上記の目的がかなり達成されたことが判った。

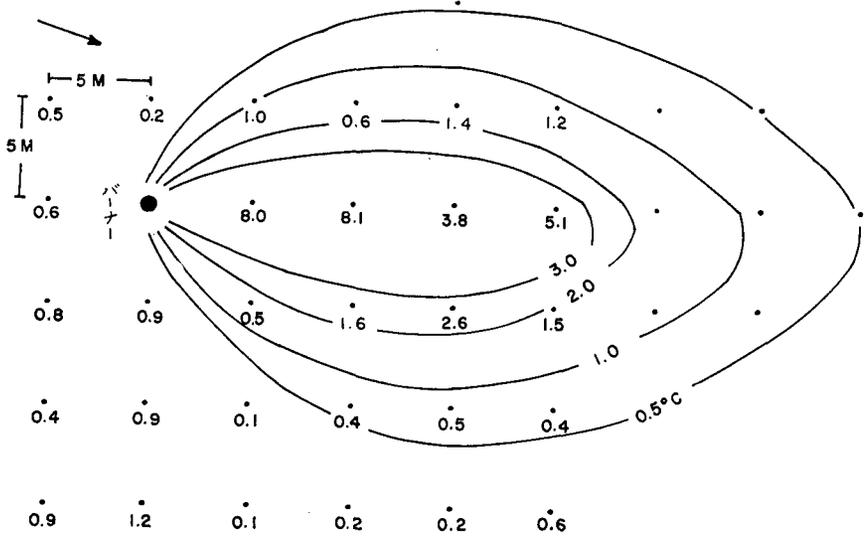
II. 測定法と結果

まず 1 個のバーナーを燃焼した場合と、2 個のバーナーを燃焼した場合の昇温域を比較して、重畳効果の有無を測定した。バーナーの風下に格子状に 5 m おきに測点を設置した。高さは地上 3 m と 5 m で、測定は写真 5 のように 2 個のサーミスターを用いた。昇温分布に時間的変動がないものとして、各測点の気温を移動しながら順次測定した。また写真 6 にみられるように発煙筒をつかって昇温効果の昇温部の 3 次元的な拡散の様子も観察した。

測定は 7 月 28 日午前 10 時頃、半晴、風速 4~5 m/sec の状態でおこなった。

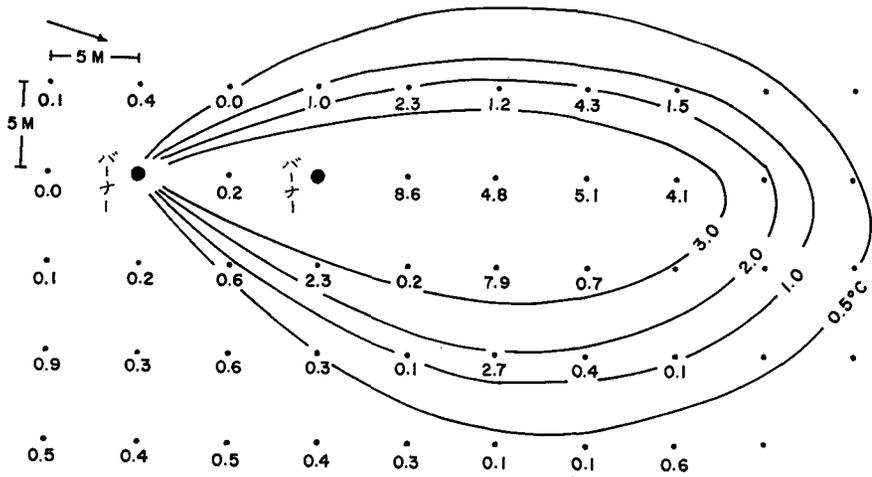
第 7 図はバーナー 1 本の場合の 5 m の高さにおける昇温（測定値 - 燃焼前の気温）の水平分布を示す。図中の矢印は風向を示す。第 8 図はバーナー 2 個の場合である。消霧試験によれば、0.5°C の昇温が実際の霧消しに必要な限度と考えられる。そこで 0.5°C の等温線に着目すると、第 7 図からわかるように 0.5°C の等温線の最大幅は約 20 m であったが、2 個の場合は第 8 図でみられるように約 25 m になっており、25% の増加にあたる。これは 0.5°C の等温線の外側にある 0.3°C や 0.4°C の部分が重なって 0.5°C の昇温域になったものである。すなわち昇温効果の重畳現象が確認された。このことは判りきったことのように思われるが、バーナーを無限に稠密に配置するわけには行かないので間隔をふさぐ意味でも重要である。

第 9、第 10 図は高さ 3 m で測定した場合の分布である。5 m の場合とよく似ているが、いくらか範囲が狭くて昇温域がバーナーよりになっている。これは写真 6 でみられるように昇温



第7図 地上5mにおける昇温効果の水平分布
(バーナー1個の場合)

Fig. 7. Horizontal distribution of temperature rise at 5m above ground surface, in case of one burner.

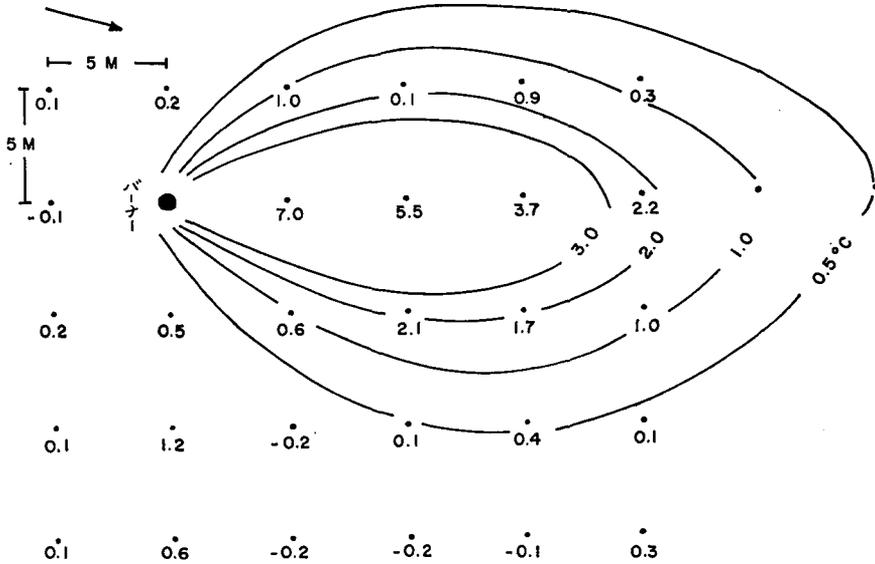


第8図 地上5mにおける昇温効果の水平分布
(バーナー2個の場合)

Fig. 8. Horizontal distribution of temperature rise at 5m above ground surface, in case of two burners.

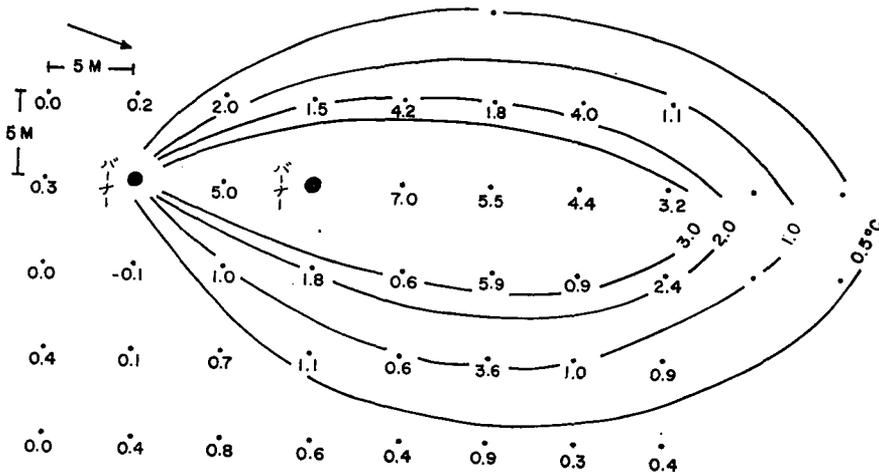
域が風下に斜に上昇して拡がるためと思われる。

第11図はバーナーを1本燃焼して主風向に沿った風下側の昇温分布を示す。以後の測定は全部5mの高さで起ったものである。図は風向に対して熱の縦の拡がりを示したもので、横軸はバーナーからの距離をメートルで表わし、縦軸は温度の上昇分を示す。0.5°C以上の昇温域を推定するために図の曲線を数式にあてはめてみると、温度上昇を $y^{\circ}\text{C}$ 、距離を $x\text{m}$ として



第9図 地上3mにおける昇温効果の水平分布
(バーナー1個の場合)

Fig. 9. Horizontal distribution of temperature rise at 3m above ground surface, in case of one burner.

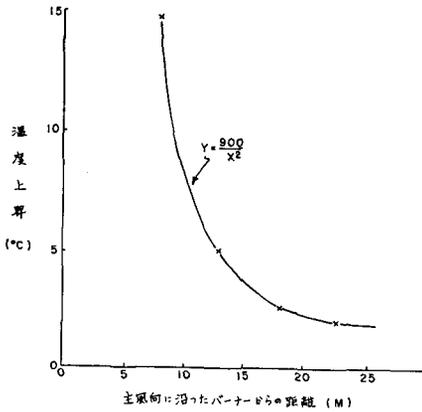


第10図 地上3mにおける昇温効果の水平分布
(バーナー2個の場合)

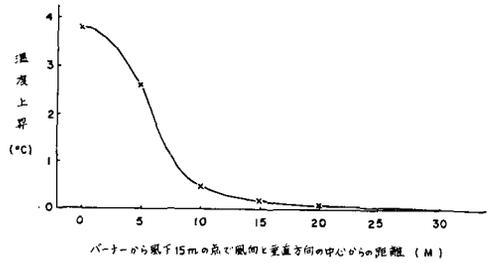
Fig. 10. Horizontal distribution of temperature rise at 3m above ground surface, in case of two burners.

$y=900/x^2$ の形になった。これは1個のバーナーを単独に燃焼した場合の分布である。

第12図は横軸にバーナーから風下15mの点で風向と直角方向の距離をとってある。左右対称と仮定して半分だけを示してある。図からわかるようにバーナーの直ぐ後方部分が必要以上に昇温され、实用限度を0.5°Cとすれば昇温域の内は前に述べたように幅20mとなる。

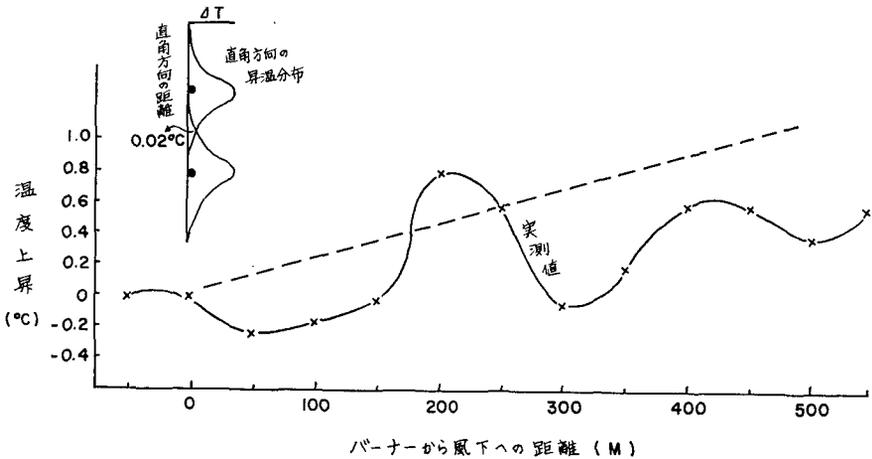


第11図 風下の昇温分布 (風向に平行)
 Fig. 11. Distribution of temperature rise along leeward wind direction.



第12図 風下の昇温分布 (風向に直角)
 Fig. 12. Distribution of temperature rise, vertically to wind direction.

実際の消霧試験では幅 60 m の滑走路の両側にバーナーを 10 m おきに片側 50 個計 100 個を配置した。そこで滑走路の中央部 (バーナーから 30 m) の線に沿ってバーナー列の入口から風下の終端まで昇温分布を測定した結果が第 13 図である。全部のバーナーを点火しているので、この場合は横 2 線の重畳効果と縦 50 個の重畳効果が期待されるわけである。×印実線は実測値を示す。理由はわからないが、バーナーの列内にはいつてからも昇温効果に大きな変動はあるが、徐々に増加して 300 m では 0.5°C、終端の 500 m では 0.6°C の昇温効果が観測された。この効果はこのあと 2~300 m は続いていたであろう。



第13図 バーナーの列間の中央における昇温分布
 Fig. 13. Distribution of temperature rise along wind direction between two burner lines.

III. 考 察

第 7~12 図でみられたように、バーナーを単独に燃焼した場合には熱が比較的狭い部分に集中して昇温域は案外に狭かった。しかし昇温域を無理に地上付近で拡散する必要はないと考

えられる。その理由はバーナーの風下直後に集中した高温の空気は急速に上昇して2~300 mの上空に拡散するに相違ないからである。離着陸のためには、ある程度の高さの視程も必要であるからである。

また多数のバーナーを燃焼させた場合には縦横の重畳効果が期待されるからである。たとえば第11図で、滑走路中央では両側のバーナーから30 mの距離がある。横方向30 mの距離ならば、第12図から推測されるようにバーナー1個で0.01°C、両側2個の重畳効果で0.02°Cの昇温効果が期待される。これが縦方向に50個の分が逐次重畳されれば、第13図の破線のように風下500 mの距離では1°Cの昇温効果がある計算になる。実測値は変動はあるが計算値をやや下回った。これには風向が必ずしもバーナーの列に平行していなかったことと、風速にも変動があったためであろう。

今回の測定では鉛直方向の昇温分布の測定がなされなかったが、逆転層の高さは300 m前後^{6),7)}と考えられることから、昇温部もほぼこの高さに及ぶものと思われる。実際の消霧試験では青空が薄く見えたこともある。

また第13図から想像されるように、昇温効果は試験滑走路の後方にも2~300 m程度伸びているものと思われる。後述の視程の測定では、この部分が考慮されていない。

第4章 プロパンガスの燃焼による霧の消散効果

I. ま え が き

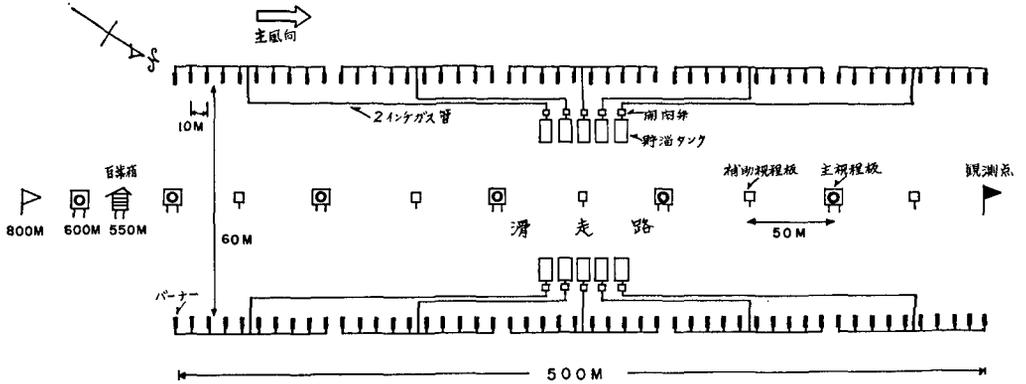
霧の消散効果は、最終的には水平ならびに垂直視程の増加によって判定すべきものであるが、これはその時の気象および物理的要素によって大きく左右される。しかし近年各国で実施された消霧試験には上記の付随要素の記述を欠くものが多く、垂直視程も殆んど測られてないようである。われわれは今回の試験においては上述の点に留意して関係する要素をできるだけ多くまた詳細に測定することに努めた。

II. 効果の測定方法

各種の量を表わす場合に、試験地の面積が広大であり場所によっても大きな変動があると思われるので、視程などの観測点のバーナーに対する関係位置を第14図に示す。また今後地上と称するのは地表から5 mの高さのことである。この高さは地上滑走中の航空機のパイロットの眼の高さに相当する。

II.1 水平視程の測定

視程板は第14図および図版 III の写真7に示す如く、両側のバーナーの列の中央に100 mおきに設置し、風下から風上に向かって測ることにした。後に、その中間にさらに補助視程板を追加した。視程板は観測点からの視角が一定(同じ大きさに見える)になるように遠方ほど距



第14図 ガスバーナー、視程板の配置図、距離(m)は右端の観測点からの距離で示す

Fig. 14. Distribution of gas burners and visibility plates. Distances are shown by distances from the observation point at the right end in meters.

離に応じて大きくすべきものであるが、実際に製作・設置するうえの都合で、観測点から250m以内は50cm角これより以遠は100cm角に統一した。また目立つように黒色の地に黄丸印の模様をつけた。

しかし実際に霧がかかって視程すれすれの距離になると模様の有無は問題ではなく、白い霧を背景に灰色の角形の視程板が見えかくれするだけであった。なお視程が500mを超える場合は、550mと850mの距離に赤旗をたてて目印とした。また視程が600mを超える場合には観測点を風下にさらに100m移して測定した。

II.2 垂直視程の測定

繫留気球の索に25mごとに布切をつけて垂直視程の測定を試みた。しかし目標の認知は対称物体の大きさに左右されるため、精確な値は得られなかった。たとえば地上から100m上空の気球が見える時でも、75m上空の布片が見えないこともあった。しかし如何なる場合でもプロパンガスの燃焼中は垂直視程は50m以上であった。

II.3 斜視程の測定

パイロットのために実際に必要とされるのは上空から斜前下方の斜視程である。そこで図版IVの写真9のように繫留索の地上50m高さに自動カメラ¹⁰⁾を斜前下方に向けてとりつけて、一定時間ごとに地上の物体を撮影した。写真10は霧のない時の試験滑走路の全景である。写真の中央が繫留索である。試験滑走路の中央に道路があって、上述の移動観測に便利であった。写真の左端にはずたずたに破壊された旧滑走路がみえる。

II.4 地上気温および湿度の測定

試験滑走路の風下後端の5mの高さに自記温湿度計(サーミスター及び毛髪)を設置した。この計器の時間的おくれが大きいので、7月7日以降は測定感部の保護覆を除いて使用した。

それでも時間おくれが1分たらずあった。

II.5 上空の気温・湿度の測定

繫留気球の特別な自記通風乾湿計¹¹⁾を試作してとりつけ、地上50mまたは25mの気温と湿度の変化を測定した。

II.6 風の測定

風向は自記風向計により、風速は目測によった。霧のある時は風が弱くて通常の自記風速計は多くの場合作動しなかったからである。

II.7 霧粒の測定

霧粒の測定には、油を塗布したガラス片に一定体積の空気中に含まれる霧粒を吸入・衝突させて顕微鏡で撮影する、いわゆるインパクト方法¹³⁾を採用した。この方法で霧粒の粒径分布が測定され、その合計から霧水量も計算される。

一方では霧水量計¹⁴⁾を用いて風に露出した細線に付着した霧粒を集めて霧水量を直接に測定する方法も試みたが、霧水量が少なすぎたためと風が弱すぎたために検出できる程度の霧水が付着しなかった。

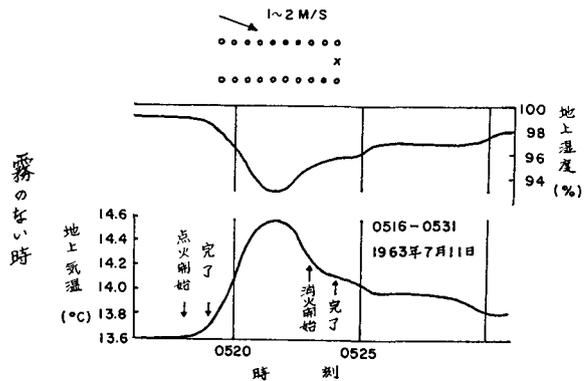
III. 消散効果

試験期間の昭和38年の7月中に、7日の早朝、11日の夕刻および24日の夕刻と3回の機会があり、この間計7回の消散試験を実施した。なお比較のために霧のない時にも同様の形で燃焼試験をおこなって昇温効果の測定を実施した。

III.1 霧のない時の昇温効果

7月11日の早朝は、霧がなかったけれども、その他の気象条件が霧時とよく似ていたので燃焼試験を実施して昇温、乾燥効果を測定した。第15図はバーナーの列に対する風の条件、および燃焼による地上気温の上昇と湿度の減少の時間変化を示す。点火開始、点火完了、消火開始および消火完了の時刻をそれぞれ矢印で示してある。

図からわかるように、地上温度は点火完了後に約1°C上昇し、湿度も



第15図 霧のない時の、湿度、地上気温の燃焼試験による時間変化。上方の図はバーナー列に対する風向風速を示す

Fig. 15. Time change of air temperature and humidity at surface during non fog period. Wind speed and direction to burner line are shown at upper picture.

13) 小口八郎；霧粒の大きさ及び数の測定法に就いて、霧の研究，學術研究会議 151 班霧班 (1940)，5-17.

14) 福富孝治・明石忠司；簡単な霧水量自記装置の試作，霧の研究，學術研究会議 151 班霧班 (1940)，30-32.

99% から 95% に減少した。この効果は初期の昇温効果にほぼ近く、風向がやや斜めであったことを考慮すればバーナーの設計に近い能力を発揮したものと見える。ただ点火完了後 2 分をすぎると昇温効果が急激に衰え始めたのは、貯溜タンクの温度低下に基づく圧力減によるものと思われる。

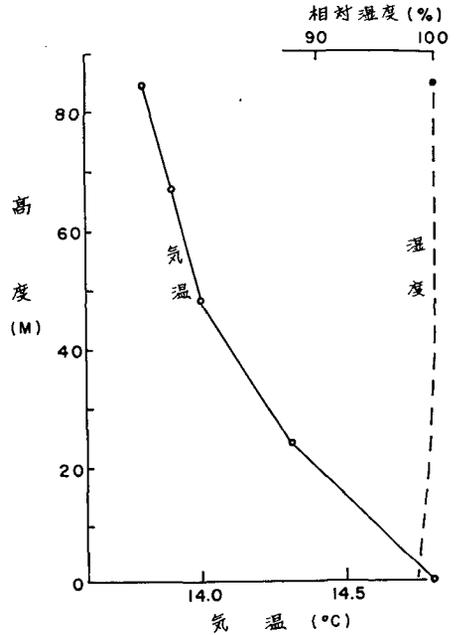
III.2 7月7日の消散試験

7月7日早朝前線性の霧が襲来した。風向が南よりであったから海霧の性質も帯びていたであろう。当日午前5時ごろ繫留気球で測定した気温と湿度の垂直分布を第16図に示す。地表附近の温度傾斜は急であったが50m以上では湿潤断熱遞減率に近い傾度を示している。湿度に関しては殆んど飽和していた。

この朝、2回の消霧試験をおこなった。結果を第17図に示す。図の上半分は第1回目の試験による水平視程の変化を示す。点火直前の水平視程は120mであったが点火開始後から徐々に視程が増加して点火完了2分後には2倍の250mに達した。消火開始後4分で視程は120mにもどった。

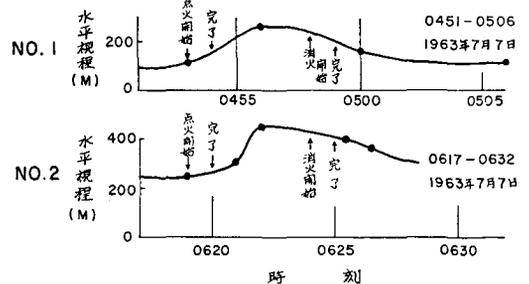
貯溜タンクの冷却により圧力が減少したので、恢復をまって1時間後に第2回目の試験をおこなった。結果は第17図下半分に示すように、開始前250m(図版V, 写真11)であった視程が450m(写真12)にまで改善され、消火後は350m(写真13)まで減少した。点火開始前に比べて消火後の視程が優れているのは、試験が朝がたおこなわれたために自然的な消散過程も加わったからであろう。

図版VIの写真は50m上空からのこの時の斜視程の変化を示す。点火前には写真14のように50m上空からは何も見えなかったが、点火30秒後には写真15にみられるように破壊された旧滑走路(図版IV, 写真10参照)がかすかに見え始め、点火1分30秒後には写真16のように地表の地物



第16図 気温と湿度の垂直分布(1963年7月7日午前5時頃)

Fig. 16. Vertical distribution of air temperature and humidity around 05 h, 7th July 1963.



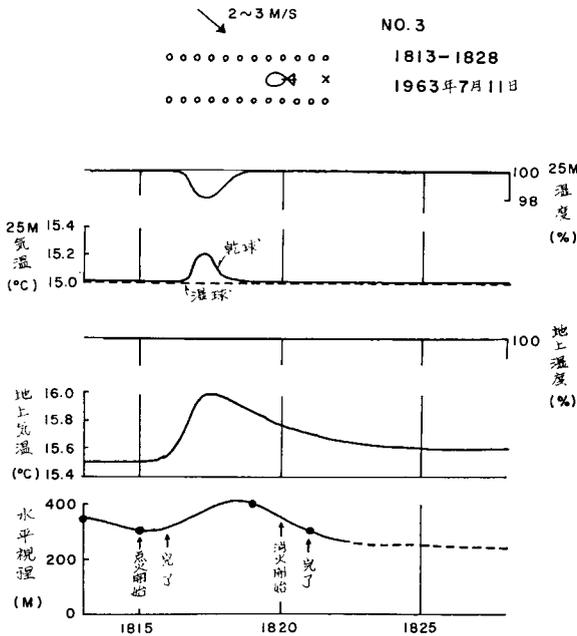
第17図 試験 No. 1, 2, 04時51分~05時06分, 06時17分~06時32分, 1963年7月7日の視程の変化

Fig. 17. Time changes in visibility in Experiments Nos. 1 and 2. 04 h 51 m~05 h 06 m and 06 h 17 m~06 h 32 m, 7th July 1963.

もみえ始めた。バーナーの焰の列は全部見えた。消火後3分には写真17のように霧の状態が大体元にもどった。

III.3 7月11日の消散試験

7月11日の夕刻、前線性の濃い海霧が襲来した。この時、計3回の消霧試験をおこなった。試験番号3の結果を第18図に示す。繫留気球の索の地上点の位置を図の上方に示してある。測点の高度は25mで当時の風向を考慮すれば、実際の測点の水平位置は図示の点よりやや下りであろう。



第18図 25m上空および地上における気温、湿度および視程の変化、試験 No. 3, 1963年7月11日, 18時13分~18時28分

Fig. 18. Time changes of air temperature, humidity and visibility at ground surface and 25 m above the surface in Experiment No. 3, 18 h 13 m~18 h 28 m, 11th July 1963.

地上25m高の測点では自記通風乾湿計の乾球は図でみられるように点火完了後、短時間だけ0.2°C上昇し湿球温度は変わらなかった。これに対応して湿度は短時間だけ2%減少したことになる。霧のない第15図と比較して昇温効果の少なかった理由の一つは、熱が霧粒の蒸発の潜熱に消費されたからであろう。またこのようにごく短時間しか昇温しなかったのは、地上でバーナーに加熱された小気塊が短時間しか気球の測点を通過しなかったためであろう。最も重要な理由は、風が滑走路に斜めであったために、加熱気塊は測点の外側で上昇したためと考えられる。

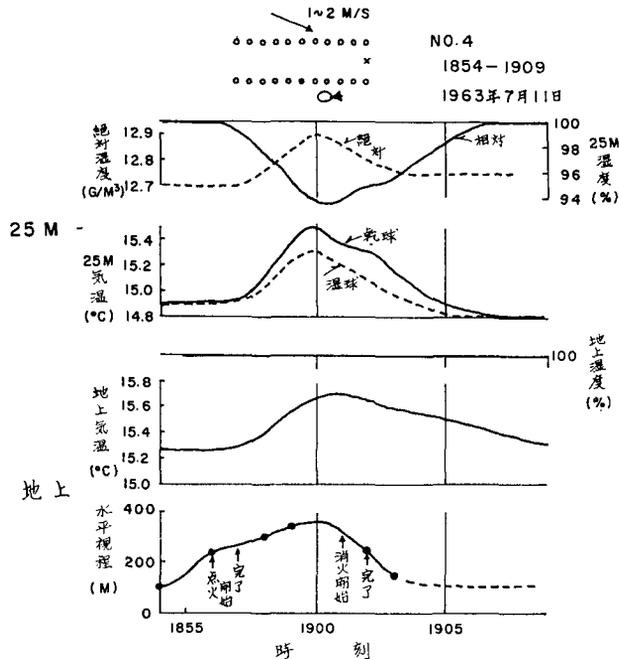
地上気温は第18図下から2段目にみられるように0.5°Cだけ上昇したが、地上の相対湿度

は100%のままでは変わらなかった。このことは霧粒が全部蒸発せず、いくらか残っていたことを意味する。

一方視程の方は図の最下段にみられるように100 m 足らずの増大があったに過ぎない。この理由は、風向が滑走路と45°近くも傾き、2~3 m/sec 程度の風速のためであろう。事実、この試験の際は滑走路の風下側の外側の方の霧が反ってよく消えたようである。

図版 VII にこの試験による水平視程の変化を示す。消火後の視程が点火前よりも悪いのは夕刻に霧の濃くなる時期に試験がおこなわれたからである。

更に40分おくらせて試験番号4の測定をおこなった。この時には風向は滑走路に大体平行になり、風速も弱まった。また繫留気球の位置を中央からバーナーの風下側に移した。



第19図 25 m 上空および地上における気温、湿度および視程の変化、試験 No. 4, 1963 年 7 月 11 日, 18 時 54 分~19 時 09 分

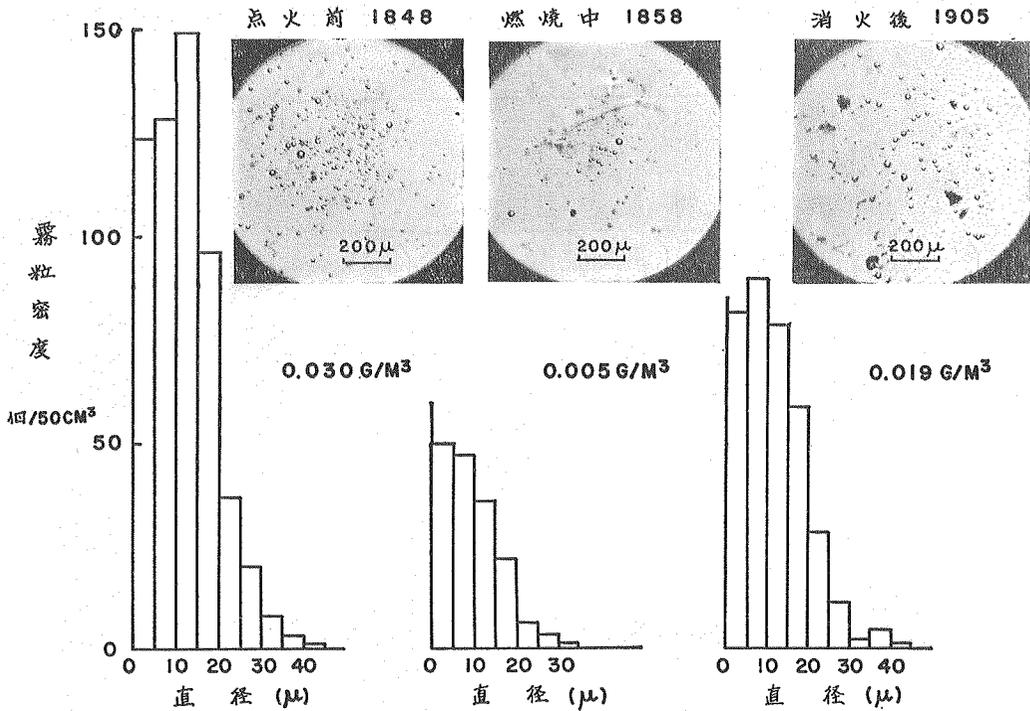
Fig. 19. Time changes of air temperature, humidity and visibility at ground surface and 25 m above the surface in Experiment No. 4, 18 h 54 m~19 h 09 m, 11th July 1963.

結果は第 19 図にみられるように、25 m 上空では乾球が 0.6°C 上昇し湿球は 0.4°C だけ上昇した。このことは相対湿度が 100% から 94% に減少し、絶対湿度は 0.15 g/m³ だけ増大したことに相当する。いいかえれば霧粒がこの分だけ蒸発したにもかかわらず空気が乾燥したことを意味する。

第 19 図の下段にみられるように地上気温は 0.4°C 上昇したが地上湿度は依然として 100% であった。このことは見かけ上、霧粒の蒸発が先ず行なわれ、蒸発し終わってから乾燥が始ま

ることになる。しかもこの過程は 25 m 上空の方がすすんでいるように見える。また水平視程は 100 m から 300 m に増大した。貯溜タンクの圧力の回復が充分でなかったにもかかわらず、この程度の好成績を得たのは上述のように風向がほぼ平行で風速が小さかったためである。上空に青空がみえた。

NO. 4 1963年7月11日

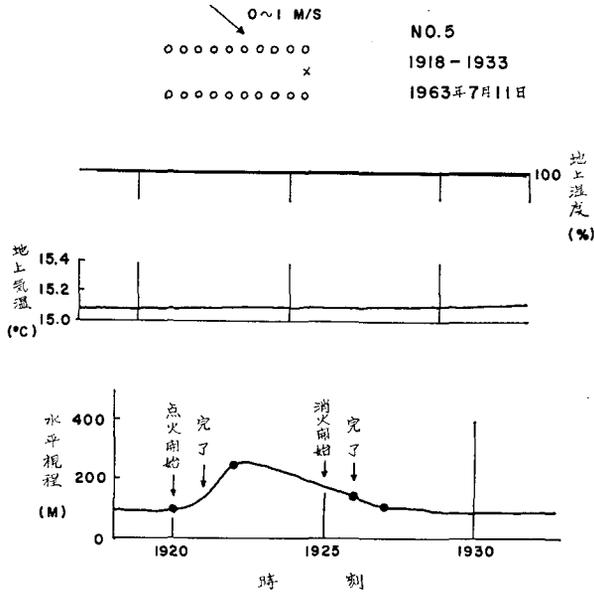


第 20 図 霧粒分布および霧水量の変化，試験 No. 4
 Fig. 20. Time changes of fog size and fog liquid content in Experiment No. 4.

試験番号 4 の場合の霧粒観測の結果を第 20 図に示す。点火前の 18 時 48 分には図の左に示すように霧粒直径の最大が 45 ミクロンに及び、50 cc (霧吸入器の容積) 中に約 600 個含まれていたが、燃焼中の 18 時 58 分には図の中央に示すように最大直径が 35 ミクロンに減少し、50 cc 中の数も約 200 個となって 1/3 に減少した。消火後の 19 時 05 分には大体もとに戻った。この時の霧水量を霧粒分布から計算すると、点火前が 0.03 g/m³、燃焼中が 0.005 g/m³、消火後は 0.02 g/m³ となり加熱消散の影響はみられるが、しかし絶対値は水平視程から予想されるよりは遙かに小さい。この原因の一つは地表面附近の霧粒は上空に比べて小さくて数も少ない性質があるからである。しかし視程に関しては 100 m と云った濃霧であった。夕刻のため仮に霧がなくても視程が悪かったことも原因の一つであろう。

試験番号 4 に引続き、貯溜タンクの圧力の低下したままで更に 20 分後に No. 5 の実験を

おこなった。結果は第 21 図にみられるように地上の気温や湿度に何等の変化も認められなかったが、視程に関しては 100 m から 250 m に増大させる効果が認められた。視程変化の状況を図版 VIII に示す。試験中は風向がまた斜めになったけれども風速は殆んどなかった。



第 21 図 地上の昇温乾燥効果と水平視程の変化，試験 No. 5，1963 年 7 月 11 日，19 時 18 分～19 時 33 分

Fig. 21. Time changes of air temperature, humidity and visibility at ground surface in Experiment No. 5, 19 h 18 m~19 h 33 m, 11th July 1963.

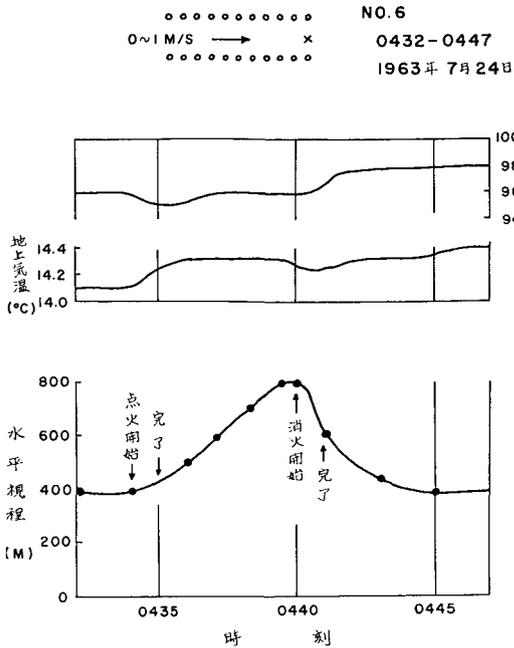
III. 4 7 月 24 日の消散試験

7 月 24 日の早朝，試験地に薄い地上輻射霧が発生した。霧頂は約 50 m のごく薄いものであったが，地上の水平視程は 400 m であって離着陸の限度を超えた濃さであった。

第 22 図に試験番号 6 の結果を示す。図の上段にみられるように風が弱くてしかも滑走路に平行していたので霧の消散に最も適した条件であった。ただ日の出後であったので気温が自然に上昇する過程にあったために，昇温効果は図でみられるように明確ではなかったが，視程は 400 m から 800 m に増大し，消火後は 400 m に戻ったので，試験の効果は明瞭であった。

貯溜タンクの圧力の回復をまって更に試験番号 7 の観測をおこなった。結果は第 23 図にみられるように風の条件に恵まれていたが昇温効果は顕著ではなかった。しかし視程のほうは 400 m から 900 m に増大した。試験後には附近の霧も自然に消散したので明確な対比は得られなかった。

試験前後の霧の消散状況を図版 IX，および X に示す。図版 IX の点火直前の写真 24 に比べて点火後の写真 25，26 において地平線附近の地物の視程が遙かに改善されたことがわかる。



第2表 地上水平視程 (m) の変化, 1963年7月
 Table 2. Improvement in visibility (m) July 1963.

試験番号	1	2	3	4	5	6	7
日付	7/7	7/7	7/11	7/11	7/11	7/24	7/24
時刻	04:51 ~05:06	06:17 ~06:32	18:13 ~18:28	18:54 ~19:09	19:18 ~19:33	04:32 ~04:47	05:23 ~05:38
点火前	120	250	350	100	100	400	500
燃焼中	250	450	400	300	250	800	900
消火後	120	350	300	150	100	400	800
備考	前線性の 海霧	前線性の 海霧	前線性の 海霧 風向	前線性の 海霧	前線性の 海霧	輻射霧	輻射霧 燃焼中に 霧暗れる

ガスの消費量は5分間に2.5トンの設計であったが圧力低下のために予定の半分しか消費できなかった。

ガス圧の低下が防止されれば効果は倍増したであろう。

2. 風の影響 当初の計算では滑走路に平行に風速5 m/secで出発した。実際の霧時の試験中には風速が3 m/secを超えることはなかったが、風向は45°も斜めになることがあった。風が斜めに吹く場合はバーナーを多数配列しても重畳効果がなくなるので効果は激減する。また風が斜めの場合は試験区域外の風下側が反って視程のよい場合もあった。

3. 加熱域の長さ バーナーを500 mの長さに配置した。しかしこの場合区域内の霧を完全に消しても視程を800 m以上にするには困難である。例えば視程100 mの時に500 mの長さを完全に消霧しても合計600 mに延長できるに過ぎない。

上述の難点を考慮して将来同様の試験を実施する時には次のように改良したい。

1. バーナーを1,000 mの長さに配置すること。従って今回に比し2倍のバーナーが必要になる。
2. 貯溜タンクの減圧を防ぐための加熱装置をつけるか、または液体バーナーに切り換えること。
3. 風が斜めに吹く場合を考慮して加熱能力を2倍にすること。従って今回に比して1項の分も加えて計4倍(400個)のバーナーが必要になる。

上述の3点が改良されれば加熱能力は今回の8倍となり、この地方の夏の霧については800 m以上の水平視程が確保されるであろう。このためには5トンのプロパンガスを毎分1トンの割合で燃焼させる必要がある。一見莫大な量にみえるけれども、このことの実行の可能性を今回の試験で立証し、それに対応して飛行場の濃霧の消えることを実証した次第である。

附 記

今回の試験結果を基礎にして、昭和39年実際の飛行場に恒久的な設備の費用の見積りは、北海酸素株式会社で3億円、航空自衛隊では2億円と算出した。

本試験は7年も前に実施されたものである。しかし試験研究の意義は失われてはいない。この間に参加者の大部分は第1表に示したように転任・就職または死亡した。筆者等一同は深く感謝の意を表す。

9. Artificial Dispersal Experiments of Warm Fog by Burning Propane Gas

By Choji MAGONO, Katsuhiro KIKUCHI, Tatsuo ENDOW
and Chung Woo LEE

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Artificial dispersal experiments of warm fog were made by burning propane gas at a former landing strip near Chitose Airport in Hokkaido in July 1963.

It was designed to burn 2.5 tons of propane gas in 5 min. for each experiment in order to obtain heat of 2.5×10^{10} cal. for warming the air to 2.5×10^7 m³ with the intent of evaporating fog droplets in the air. For this purpose, 100 burners with a diameter of 18 cm were distributed along both sides of the runway which had a length of 500 m. At the time of the experiment the airport was covered by an advection sea fog extending from the Pacific Ocean.

The burners were ignited simultaneously by conventional car plugs and ignition coils. In addition to the usual surface observation, a captive balloon was used to measure the vertical distribution of temperature and humidity of air layers lower than 100 m height above the ground surface and to measure the oblique visibility. The observation equipments gave satisfactory results.

The air temperature of the fog near the surface ranged from 12° to 15°C and the air was saturated during the fog. The wind speed was 0 to 3 m/sec and the wind direction was nearly parallel to the runway. The diameter of fog droplets was smaller than 45 μ .

It was usual in the experiments that the air temperature rose to about 0.5°C by the propane gas burning. The relative humidity decreased by several percent, but at times no decrease was seen. The maximum diameter of fog droplets decreased from 45 μ to 35 μ , and the number density of fog droplets dropped to half of the original count, during the burning experiments. The horizontal visibility was improved to twice the length of original visibility, namely from 100-400 m to 250-800 m by the experiments.

It was noted during the burning experiments that the rate of burning decreased

to half of computed rate, owing to the depression of pressure in the storage tanks of propane gas. This depression was caused by the rapid evaporation of liquid propane in the tanks. It was also noted that when the wind direction was in parallel or nearly in parallel to the runway the burning experiments were most effective, equal to the theoretical computations, however it was not so effective when the wind was oblique to the runway.

The experiments were made in a 1/4 scale of the practical use, and it was confirmed that the computation was reasonable and the heating fog dispersal method by propane gas is appreciable for practical use.

The cost of the installation for permanent practical use was computed to be around 55,000 to 80,000 dollars.

図版 I 使用した 18 cm バーナー, 500 kg 貯溜タンクと点火装置

Plate I Burners with diameter of 18 cm, 500 kg storage tanks and ignition system, used.

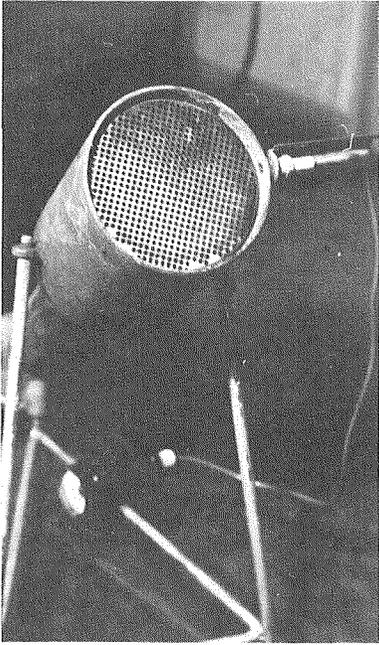


写真 1 バーナーの焰口と点火栓
Photo. 1. Flame output and ignition plug.

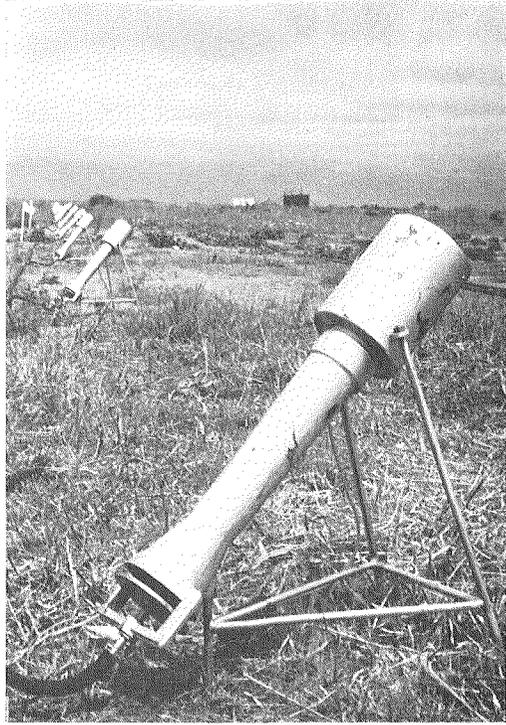


写真 2 配置されたバーナー
Photo. 2. Burners, distributed.

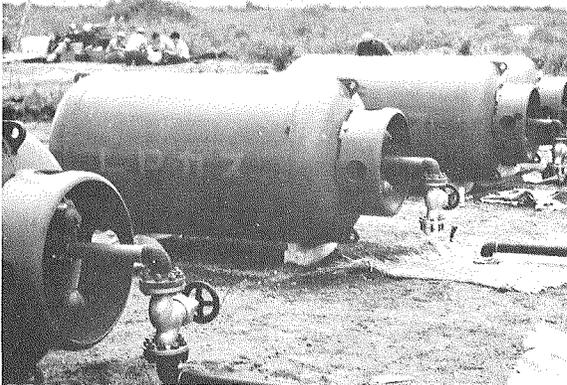


写真 3 貯溜タンク
Photo. 3. Storage tanks.

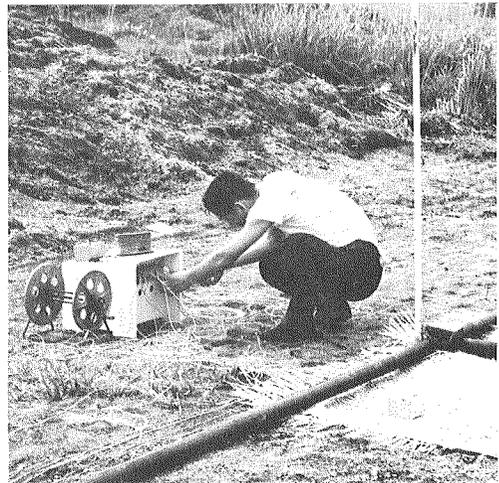


写真 4 点火装置の点検
Photo. 4. Adjustment of ignition system.

図版 II バーナー附近の気温の測定と加熱空気の拡散実験

Plate II Measurement of air temperature near a burner and diffusion experiment of heated air.

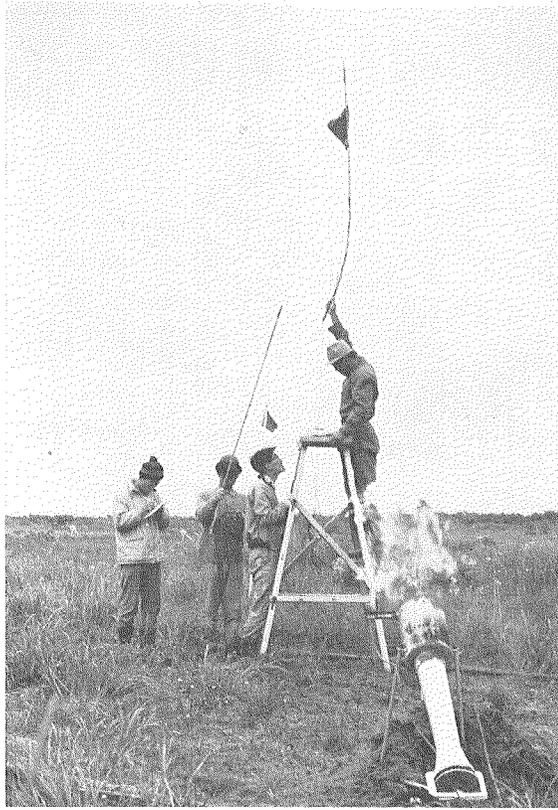


写真 5 サーマスタターによる地上 3 m, 5 m の気温の測定

Photo. 5. Measurement of air temperature at 3 and 5 m above ground surface by thermistors.

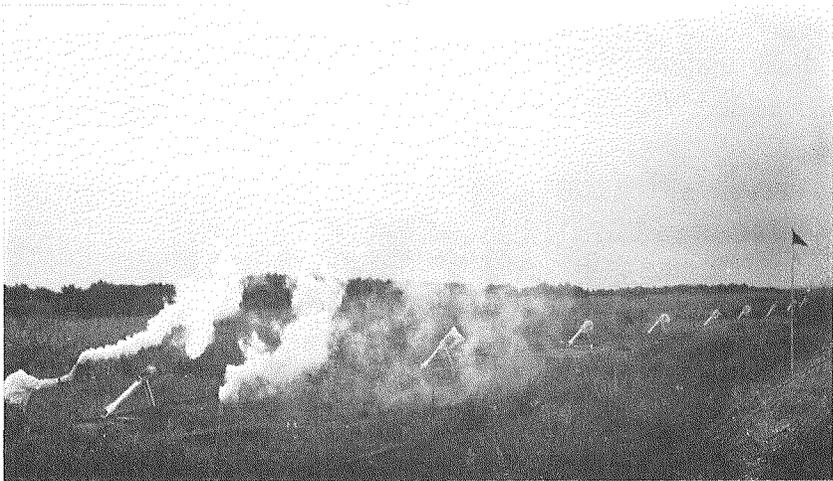


写真 6 発煙筒による加熱空気の拡散実験

Photo. 6. Experiment of diffusion of heated air near firing burners.

図版 III 視程板とバーナー

Plate III Visibility plates and burners.

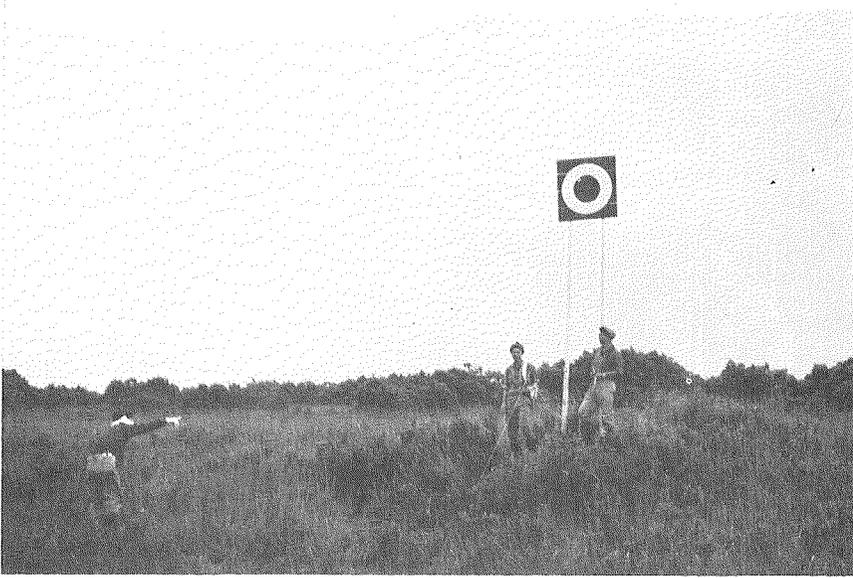


写真 7 視程板 (地上 5 m) の設置

Photo. 7. Setting of a visibility plate 5 m above ground surface.

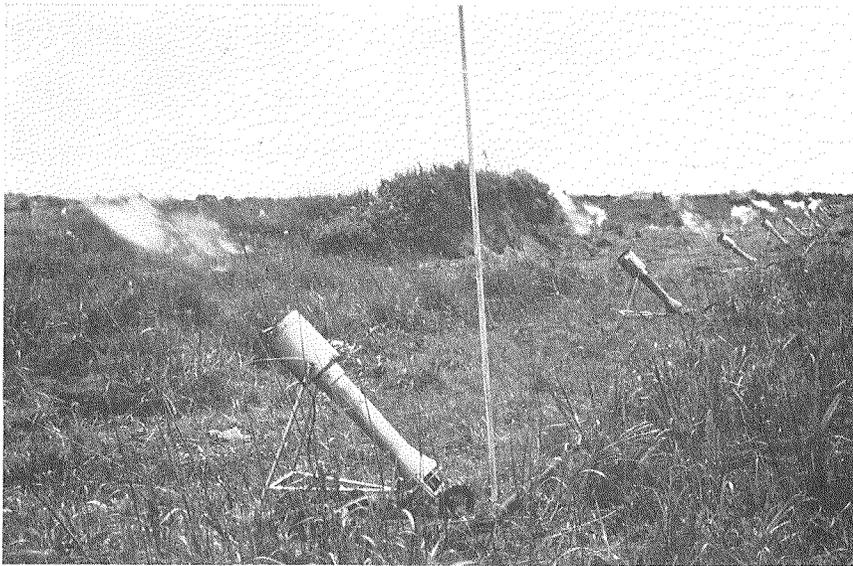


写真 8 燃焼中のバーナーの列

Photo. 8. Firing burners.

図版 IV 繫留気球にとりつけた自動空中カメラと試験場全景
Plate IV Aerocamera mounted on a captive balloon and the experiment area.

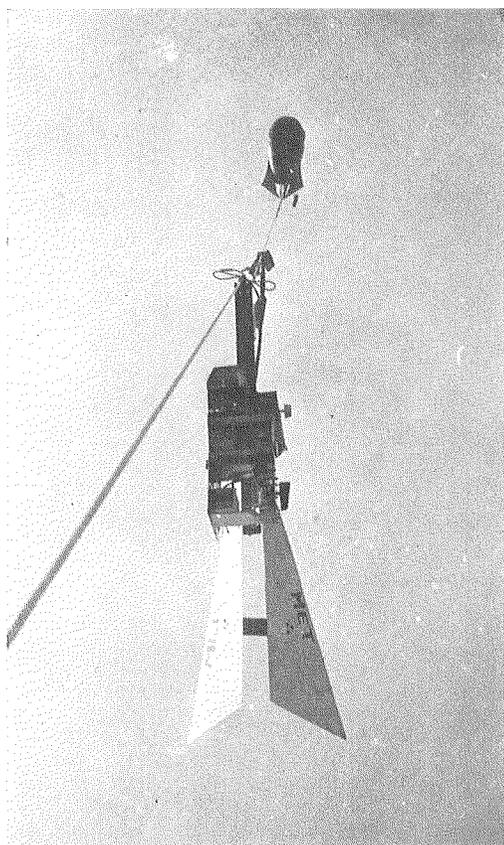


写真 9 繫留気球と空中カメラ
Photo. 9. Aerocamera mounted on a captive balloon.

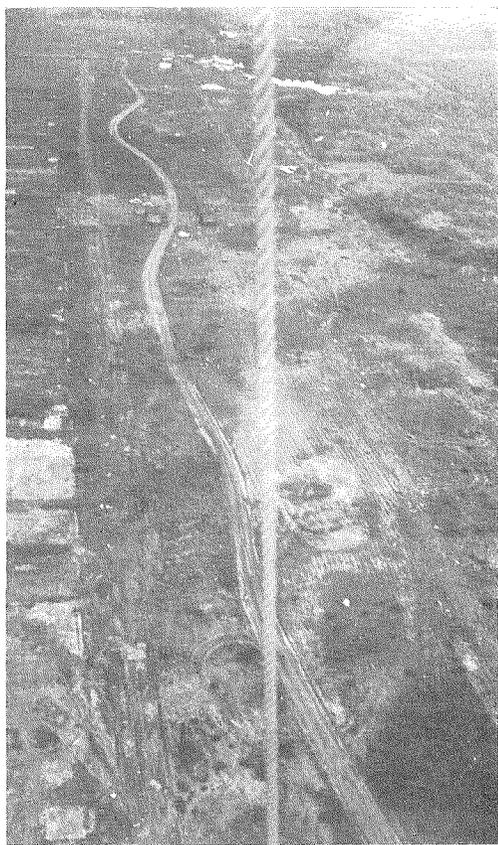


写真 10 空中カメラの撮影した試験場全景
Photo. 10. Oblique view of experiment area taken by the aerocamera.

図版 V 消霧試験 No. 3 の視程変化, 1963 年 7 月 7 日,
06 時 17 分 ~ 06 時 32 分

Plate V Change of visibility in Exp. No. 3, 06 h 17 m ~
06 h 32 m, 7th July 1963.

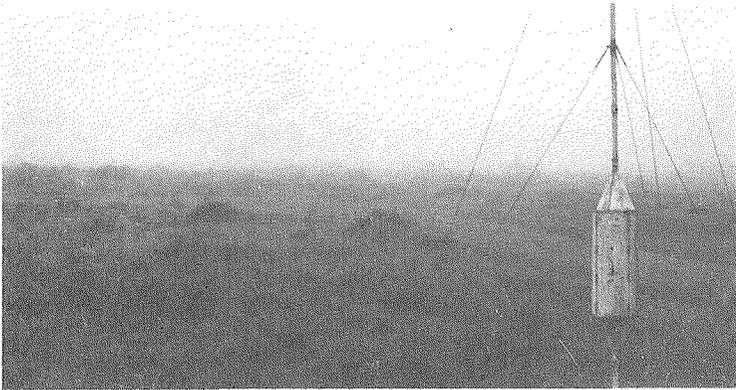


写真 11 点火直前, 視程 250 m

Photo. 11. Before burning, visibility 250 m.



写真 12 点火後 5 分, 視程 450 m, パーナーの焰がみえる

Photo. 12. 5 min. after burning, visibility 450 m, flames are seen.



写真 13 消火後, 視程 350 m

Photo. 13. After extinguishing, visibility 350 m.

図版 VI 空中カメラで50 m 上空より観測した斜視程の変化,
試験 No. 3, 1963 年 7 月 7 日, 06 時 17 分~06 時 32 分

Plate VI Change of oblique visibility taken by aerocamera from
50 m height above ground surface in Exp. No. 3, 06 h
17 m~06 h 32 m, 7th July 1963.

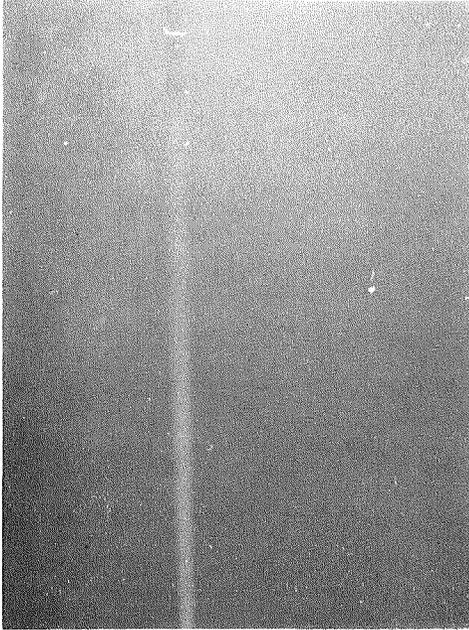


写真 14 点火直前

Photo. 14. Before burning.



写真 15 点火後 30 秒, 焰が見える

Photo. 15. 30 sec after burning, flames are seen.

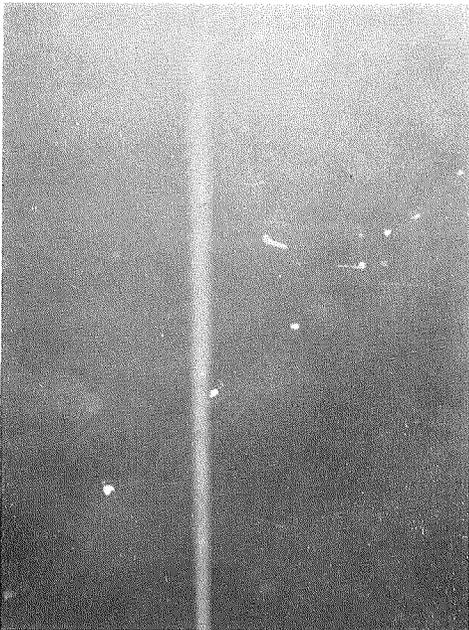


写真 16 点火後 1.5 分

Photo. 16. 1.5 min. after burning, things
on ground surface are seen.

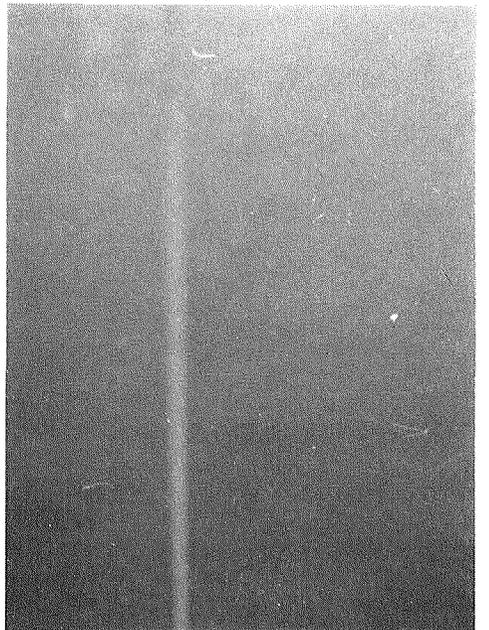


写真 17 消火後 3 分, 霧の状態が元に戻った

Photo. 17. 3 min. after extinguishing, fog
recovered to original state.

図版 VII 試験 No. 4 の視程変化, 1963 年 7 月 11 日,
18 時 54 分 ~ 19 時 09 分

Plate VII Change of visibility in Exp. No. 4, 18 h 54 m ~
19 h 09 m, 11th July 1963.



写真 18 点火直前, 視程 300 m

Photo. 18. Before burning, visibility 300 m.



写真 19 点火後 30 秒, 視程 350 m

Photo. 19. 30 sec after burning, visibility 350 m.



写真 20 消火後 20 分, 視程 150 m

Photo. 20. 20 min. after extinguishing, visibility 150 m.

図版 VIII 試験 No. 5 の視程変化, 1963 年 7 月 11 日,
19 時 18 分~19 時 33 分

Plate VIII Change of visibility in Exp. No. 5, 19 h 18 m~
19 h 33 m, 11th July 1963.



写真 21 点火直前, 視程 100 m

Photo. 21. Before burning, visibility 100 m.



写真 22 点火後 1 分, 視程 250 m

Photo. 22. 1 min. after burning, visibility 250 m.



写真 23 消火後 1 分, 視程 120 m

Photo. 23. 1 min. after extinguishing, visibility 120 m.

図版 IX 試験 No. 7 の視程変化, 1963 年 7 月 24 日,
05 時 23 分 ~ 05 時 38 分

Plate IX Change of visibility in Exp. No. 7, 05 h 23 m ~
05 h 38 m, 24th July 1963.

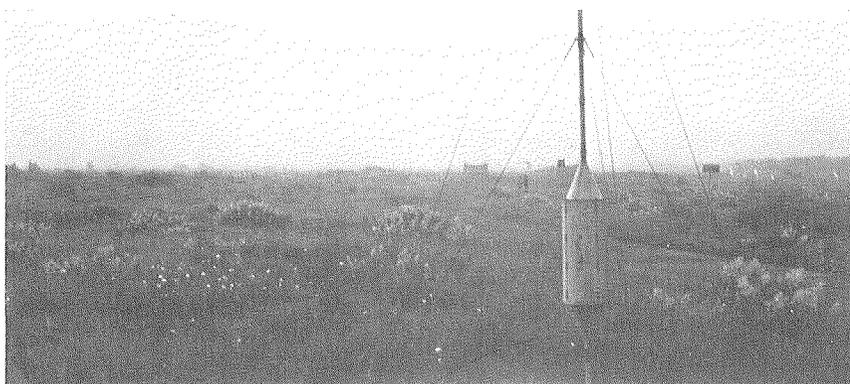


写真 24 点火直前, 視程 500 m

Photo. 24. Before burning, visibility 500 m.

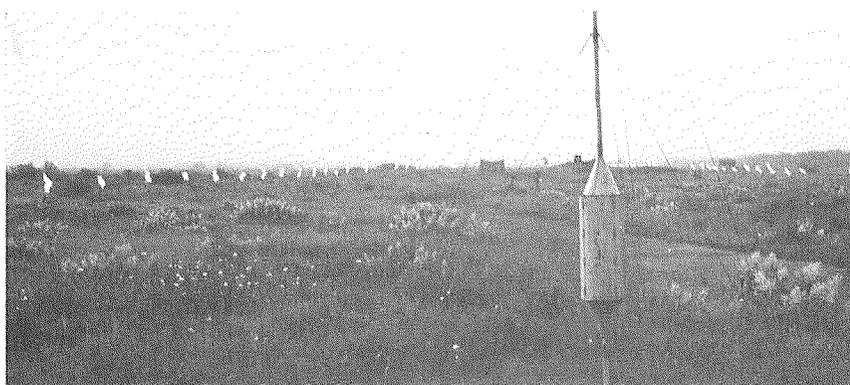


写真 25 点火後 1.5 分, 視程 700 m

Photo. 25. 1.5 min. after burning, visibility 700 m.

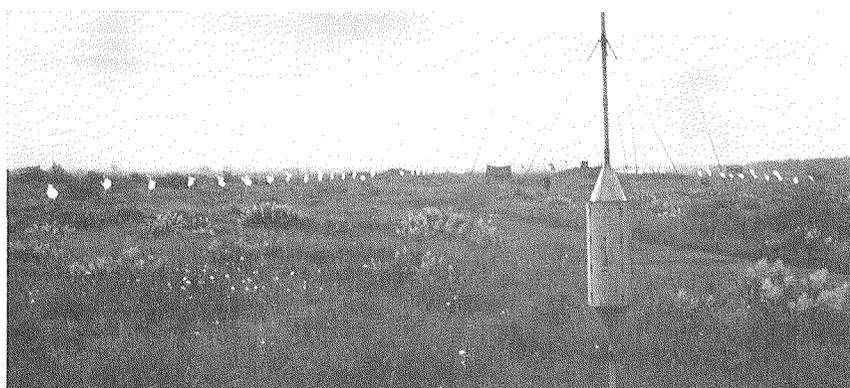


写真 26 点火後 2 分, 視程 800 m

Photo. 26. 2 min. after burning, visibility 800 m.

図版 X 25 m 上空より観測した斜視程の変化, 試験 No. 7,
1963 年 7 月 24 日, 05 時 23 分~05 時 38 分

Plate X Change of oblique visibility from 25 m height
above ground surface in Exp. No. 7, 05 h 23 m~
05 h 38 m, 24th July 1963.



写真 27 点火直前

Photo. 27. Before burning.



写真 28 点火後 2 分, 左上方に水溜りが
みえ始めた

Photo. 28. 2 min. after burning, several
ponds have appeared.