

ISSN 0452-2982
UDC 629.735.45
629.7.018.7
007

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-684

ヘリコプタパイロットの視覚情報取得 に関する飛行実験

川 原 弘 靖 ・ 若 色 薫 ・ 船 引 浩 平
田 中 敬 司 ・ 渡 辺 顯

1995 年 7 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

ヘリコプタパイロットの視覚情報取得 に関する飛行実験*

川 原 弘 靖^{*1} 若 色 薫^{*1} 船 引 浩 平^{*2}
田 中 敬 司^{*2} 渡 辺 顯^{*1}

A Field Study on Visual Cues of Helicopter Pilots

Hiroyasu KAWAHARA^{*1}, Kaoru WAKAIRO^{*1}, Kohei FUNABIKI^{*2}
Keiji TANAKA^{*2}, Akira WATANABE^{*1}

Abstract

Recently, the number of dead and injured by helicopter accidents has been rapidly increasing. One of the reasons is that the number of helicopters being utilized by commuters and for leisure is increasing, in addition to use for spraying agricultural chemicals or for cargo transportation.

Among the accidents, there are still many cases in which contact is made with power lines when spraying of an agricultural chemical.

The National Aerospace Laboratory of the Science and Technology Agency (STA) conducted an urgent research for helicopter transportation safety in order to study the causal factors of helicopter accidents. In the research, several experiments were conducted.

This report describes the following two cases based on in-flight experiment recordings :

① flight experiment results to measure the helicopter pilot's visibility of high-voltage cables which exist in a mountainous region, and

② flight experiment to obtain helicopter pilot's visibility acquisition performance when spraying of an agricultural chemical.

Keywords : flight experiment, helicopter, pilot visual cues and human engineering

概 要

近年、ヘリコプタの事故による死傷者数が急増している。これはヘリコプタの登録台数が増えたこと、従来からの薬剤散布や物資の輸送に加えて通勤としての利用やレジャー等人員の大量輸送利用が増えたことが考えられる。事故の内容について見ると相変わらず高圧線や木材搬出用索道への接触事故、薬剤散布中における電線等への接触事故が絶えない。

科学技術庁ではヘリコプタの事故原因の究明に資する資料を得ることを目的として、平成2年度に「ヘリコプタの運航安全に関する緊急研究」を実施した。

本研究ではまず第一に①山間部や谷間に渡渉するケーブル・高圧線等の視認性、②模擬薬剤散布時におけるパイロット視覚情報取得に関する飛行実験を実施した。

本報告はこれら実験の内容及び結果について報告する。

* 平成7年4月19日 受付 (received 19 April 1995)

*¹ 制御部 (Control Systems Division)

*² 飛行実験部 (Flight Research Division)

1. はじめに

近年、ヘリコプタは従来の薬剤散布や山間部の資材輸送、災害救助、報道取材等の利用から、最近では人員輸送を目的としたコンピュータとしての利用或いはレジャーでの活用等その使用目的が多様化している。これらの需要急増に伴い機体の登録機数も増加し、ピーク時には10年前のほぼ2倍に相当する1,300機以上となったが¹⁾、現在でもおよそ1,000機程度登録されている。

一方、このようにヘリコプタの利用が活発化すると同時に事故件数の割に死傷者数が急増し社会問題化している。運輸省の航空事故調査委員会の資料等によれば、ヘリコプタ事故の約6割が操縦者や整備不良等人に拘わる要因によるものとされている²⁾。

事故の要因としては単純な操作ミスによるものもあるが、ヘリコプタに特有な要因、例えば①低高度での飛行（地上障害物の存在）、②山間地における飛行（複雑な地形、変化しやすい気象）、③飛行場以外での離着陸（運航支援設備の未整備）、④操縦装置の複雑さや操縦の困難さ等から、パイロットに高度な操縦技術を要求すること等が主な要因となっているものと考えられる。

ヘリコプタの運航安全向上のためには、これら要因に着眼した研究を遂行することが重要であると考え、平成

2年3月から平成4年3月にかけて①山間部等のケーブル・高圧線等の視認性、②模擬薬剤散布時の視覚情報取得特性についてアイマークレコーダを用いた飛行実験を実施したので、その内容、結果について報告する。

2. 飛行実験

2.1 実験目的

(1) 高圧線、あるいは山間部の谷間に渡橋する工事用索道（木材搬出用）等の視認性

(2) 模擬薬剤散布時におけるパイロットの視覚情報取得特性

に関する実験を通してパイロットの視覚特性を明らかにし、ヘリコプタ運航安全に資する資料を得ることを目的とする。

2.2 実験日時及び場所

実験日時及び場所、実験に使用した機体、実験機材等について表1に示す。また図1に実験に使用したAS-350B型ヘリコプタの外観を示す。

2.3 実験パイロット

実験パイロットは被験者パイロット（機長席）と安全パイロットの2名1組とし、一回の実験飛行時間は約

表1 ヘリコプタ飛行実験項目等一覧

実験項目、実験機材等		
薬剤模擬散布	実験年月日	平成2年3月18～21日
	実験実施場所	福島県双葉郡双葉町
	使用実験機	AS-350B
ケーブル等の視認性 (1)	実験年月日	平成2年3月18～21日
	実験実施場所	福島県双葉郡双葉町
	使用実験機	AS-350B
ケーブル等の視認性 (2)	実験年月日	平成4年3月19日
	実験実施場所	埼玉県秩父郡秩父町
	使用実験機	AS-350B
実験使用機材		
視認性記録関係	S-VHS ビデオカメラ アナログ型ストップウォッチ 35mm カメラ	
視点移動記録関係	アイマークレコーダ EMR-600 ビデオレコーダ CCD 小型カメラ&ビデオレコーダ 35mm カメラ	
操縦操作量記録関係	16 チャンネルPCM データレコーダ	
蓄電池関係	12V20Ahr ニッケド電池 15V 4Ahr ニッケド電池 12V36Ahr 自動車用鉛電池	



図1 AS-350B 型実験機

表2 ヘリコプタ飛行実験参加パイロット数

年 月 日	実 験 内 容	パイロット数
平成2年 3月18日 ～19日	① 模擬葉剤散布 ② ケーブル等の視認性 (初春の冬枯れ)	2名
平成3年 7月23日 ～24日	① ケーブル等の視認性 (夏期の新緑)	2名
平成3年 11月 27日	① ケーブル等の視認性 (秋期の紅葉)	2名
平成4年 3月 日	① ケーブル等の視認性 (冬季の雪景色)	2名

20分とした。これはアイマークレコーダを装着して20分以上飛行するとパイロットの疲労が著しく増すため、20分以上の長時間の飛行は避けるようにしたためである。各実験に参加した実験パイロット数を表2に示す。

また通常の操縦状況とアイマークレコーダ装着時の頭部の動きを比較すると、アイマークレコーダ装着時にはあまり激しく動くとヘッドユニットがずれてしまうため、動きの範囲と速さに制約があることを認識して実験を実施した。

2.4 実験記録装置

(1) アイマークレコーダ

小型CCDカメラと眼球移動計測のためのLED光線を光学的に合成し、外部視界と眼球移動マークとが同時にビデオ記録できるようにした光学計測装置で、専用の

解析ソフトにより視点移動軌跡、停留点移動軌跡、停留時間頻度分布等の解析が可能である。図2にアイマークレコーダのヘッドユニットの外観を、図3にパイロットへの装着状況、図4にビデオ記録例を示す。またアイマークレコーダの基本原理、機能を付録1に示す³⁾。

(a) アイマークレコーダの校正

アイマークレコーダの使用に当たっては予めキャリブレーションを行う必要がある。このキャリブレーション作業は被験者毎、試験開始毎に行わねばならない。キャリブレーションは図5の中心部にあるLEDランプを配置したキャリブレーションボードを用い、ボード上のLEDランプを順次点灯させ、被験者は点灯したランプを眼で追従することにより被験者固有の校正データを得て、アイマークレコーダに記憶させる。

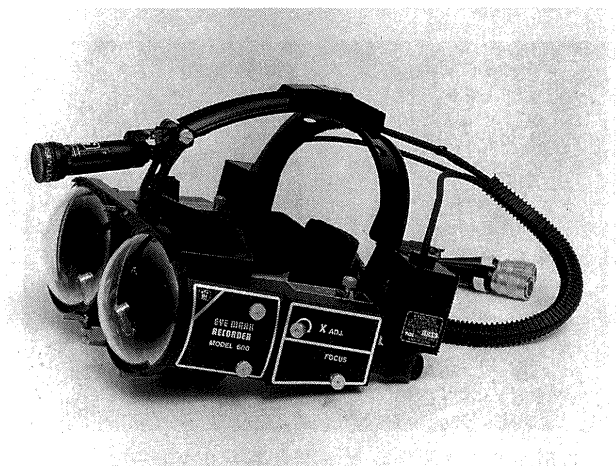


図2 アイマークレコーダのヘッドユニット外観



図3 パイロットへの装着状況



図4 アイマークレコーダのビデオ記録例

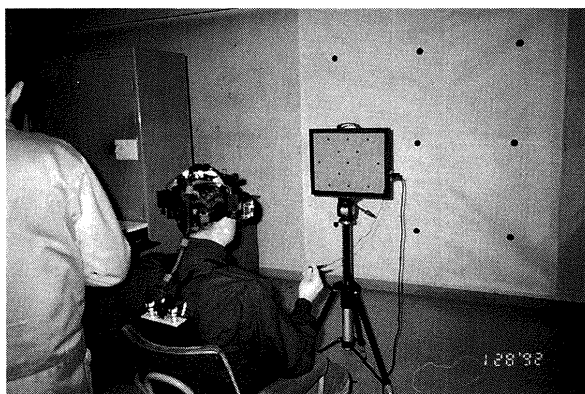
図5 アイマークレコーダのキャリブレーション
ボード外観

図5の背景の白地に黒の斑点のあるチャートは、被験者の前方2.5mの位置に上下 15° 、左右 15° の位置に直径5cm大の黒マークを配したマークレコーダの精度確認のためのチャートであり、先の被験者のキャリブレーション終了後このチャートを用いて実際のアイマークデータを取得して精度の確認を行った。

被験者は中心のマークを注視しデータ取得（記録）開始とともに左上のマークに5秒間注視し、次のマークへと順次移動し一週りしたところで記録を停止した。

一般に目標物を認知するのに必要な時間（停留時間＝認知時間）は概ね200msecと言われている⁹⁾。

アイマーク記録データは左右両眼のデータが得られるが、解析は被験者の利き目側のみを行った。データの解析条件としては、停留時間の最小分解能と停留範囲があるが、最小分解能（刻み幅）は200msec、停留範囲は視野角で 2° で解析した。図6に解析結果を示す。アイマークレコーダには撮像レンズとして写角 60° のものと 90° のものがあるが、両者とも概ね $\pm 2^\circ$ 程度の誤差範囲内にあることが確認できた⁹⁾。

(b) キャリブレーション作業の環境

キャリブレーション作業は本来実験室のような太陽光が直接あたらない屋内で行うように装置が設計されている。そのため今回のような屋外実験では実験機の駐機場から概ね50m程離れた建物の一室でキャリブレーションを行い、実験機までヘッドユニットを装着したパイロットを含め装置全体及びバッテリー等を「静かに」移動する必要があった。移動の間に激しい振動などが加わるとヘッドユニットがずれたり、配線が外れたりしてキャリブレーションの意味が失われる恐れがあるためである。

(2) 操舵量検出機構

本飛行実験ではパイロットの視覚取得特性を明らかにすることから、主として視点移動記録に重点をおいた計測を行ったが、補助的なデータとしてパイロットの操縦、操作量のデータも記録した。

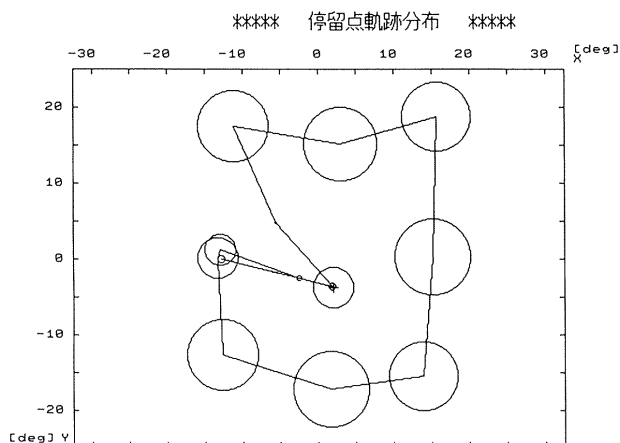


図6 アイマークレコーダ精度確認データ

ヘリコプタの操縦装置としてはピッチやバンクの姿勢制御のための操縦桿（サイクリックレバー）、プロペラブレードのピッチ（角度）及びエンジンパワーを制御するコレクティブ・ピッチ・レバー、方向制御のためのラダーペダルがあり、それぞれに位置検出用ポテンシオメータを装着した。また、これらポテンシオメータは操縦装置の機能を阻害することなく、かつ緊急時には容易に取り外しができるように配慮して装着を行った。

(3) 慣性情報計測測定

操縦操作量の計測と併せて機体の運動量（加速度、角速度）を計測した。3軸加速度（X、Y、Z軸）とピッチ、ロール、ヨーの角速度の計測が可能な計測装置を機体重心位置に搭載した。図7に慣性情報計測装置の外観を示す。

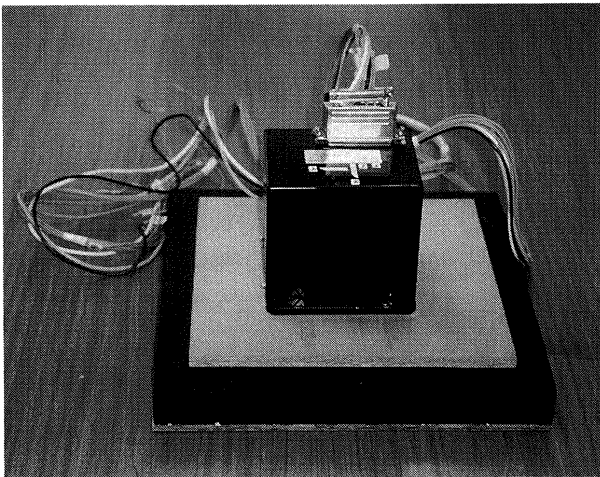


図7 慣性情報計測装置

(4) 16チャンネルPCMデータレコーダ

操舵量検出装置からのアナログ出力4チャンネル（ δc , δe , δa , δr ）、慣性測定装置からのアナログ出力6チャンネル（ A_x , A_y , A_z , p , q , r ）及び実験状況記録用音声（メモアナウンス）1チャンネルをPCM記録した。

(5) 高解像度ビデオカメラ

ケーブル等の視認性の調査・記録用としてS-VHS型高解像度ビデオカメラを機内に設置し、窓外の外界状況を撮影記録した。図8に各操縦装置のポテンシオメータの装着状況、ビデオカメラの設置状況を示す。

(6) 一般記録用ビデオカメラ, 35mmカメラ

実験状況の記録用としてビデオカメラ及び35mmスチールカメラを用いた。

(7) ストップウォッチ

視認性調査の時間計測用としてアナログ型ストップウォッチを用いた。

2.5 操縦席各装置の相対位置関係

アイマークレコーダの停留点移動等の解析結果は視野角で表示される。そこで実験に使用したヘリコプタ（AS-350B）の計器盤、操縦装置、窓等の相対位置関係を写真計測した。計器盤等の相対角度はパイロットの目の高さや俯角により変わる。そこで機長席側で俯角は前方水平とし、目の高さを床上からそれぞれ965, 915, 865mmの3通りについて計測した。図9に目の高さ915mm（地平線が水平になる高さ）の計測写真を示す。計器盤は下方30°, 下方窓は45~60°付近に位置してい



図8 ビデオカメラ、操舵量検出用ポテンシオメータ装着状況

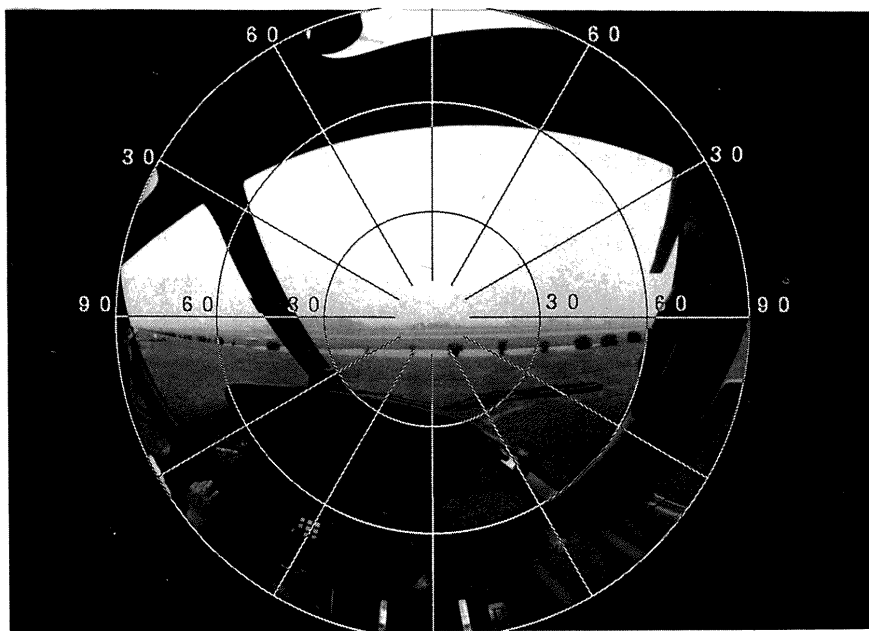


図9 計器・操縦操作装置等の相対角度位置関係

ることが分かる。

3. 飛行実験方法及び結果

3.1 飛行実験方法

(1) 工事用索道或いは高圧線等の視認性調査

山岳地における木材搬出用索道或いは高圧線等のケーブルの見え方（視認性）について調査を行った。

調査方法としては先ず谷間に渡橋する高圧線を特定し、予め決められた地点から高圧線に向かって同高度、一定速度で接近飛行を行い、試験パイロットと安全パイロットがそれぞれ高圧線を視認した時に合図を発し、それまでの時間を計測し距離の算出を行った。高圧線が視認できた後に高圧線を飛越して反対側の地点まで飛行してUターンし、復路の計測を行った。この往復を3回行った後に駐機場に帰投した。実験は表3に示す計測条件で実施した。実験は福島県双葉郡双葉町にある原子力発電所からの支線高圧線と、埼玉県秩父市の高圧線を対象とした。それぞれの地図を図10, 11に示す。

なお、実験変数としては季節による背景色の変化、一日の時間的な光量、スペクトルの変化及び機体と太陽位置との関係などを設定した。

表3 工事用索道等視認時間の計測条件

項目	条件
季節	春, 夏, 秋, 冬
時間	早朝, 昼, 薄暮
太陽位置	前方, 後方

(2) 模擬薬剤散布中のパイロットの視点移動記録

図10に示す双葉町町役場脇に駐機場を用意し、パイロットはアイマークレコーダを装着の後、模擬散布エリアに飛行し、まず散布エリアを周回して電線等の障害物を確認した後に模擬散布を開始する。模擬散布飛行は往復約10回程行った後に駐機場に帰投する。

これを当日の午後と翌日の午前と昼にそれぞれ1回ずつ行った。なお、パイロットは試験パイロットと安全パイロットの2名で、それぞれのパイロットのデータを取得した。

(3) 模擬薬剤散布の実状

ヘリコプタを利用した除草剤、殺虫剤等の薬剤散布は現在広く行われている。歴史ある農薬散布の手法であるが相変わらず散布中の墜落事故が絶えない。

ここでヘリコプタによる薬剤散布の実態についてその概略に触れることにする。まず散布時期は初夏が多く、散布時刻は早朝の4時頃から7時頃までの風の強い時刻（短時間）に実施される。散布場所の地形、障害物等は予め地図等による調査あるいは実地調査した上で作業計画を立てる。

散布作業は通常小型ヘリコプタを用い、パイロット（兼作業員）一人で、薬剤の搭載、散布地への移動（飛行）、散布、帰投し再び速やかな薬剤の搭載といったように短時間に何度も繰り返し作業を行う。この間、機内に粉霧状の薬剤が侵入するため、パイロットは手拭い或いはタオルを顔に巻き付けた状態で散布作業を行っている。

さらに散布した畝と次の畝の間に積み残しがあると、

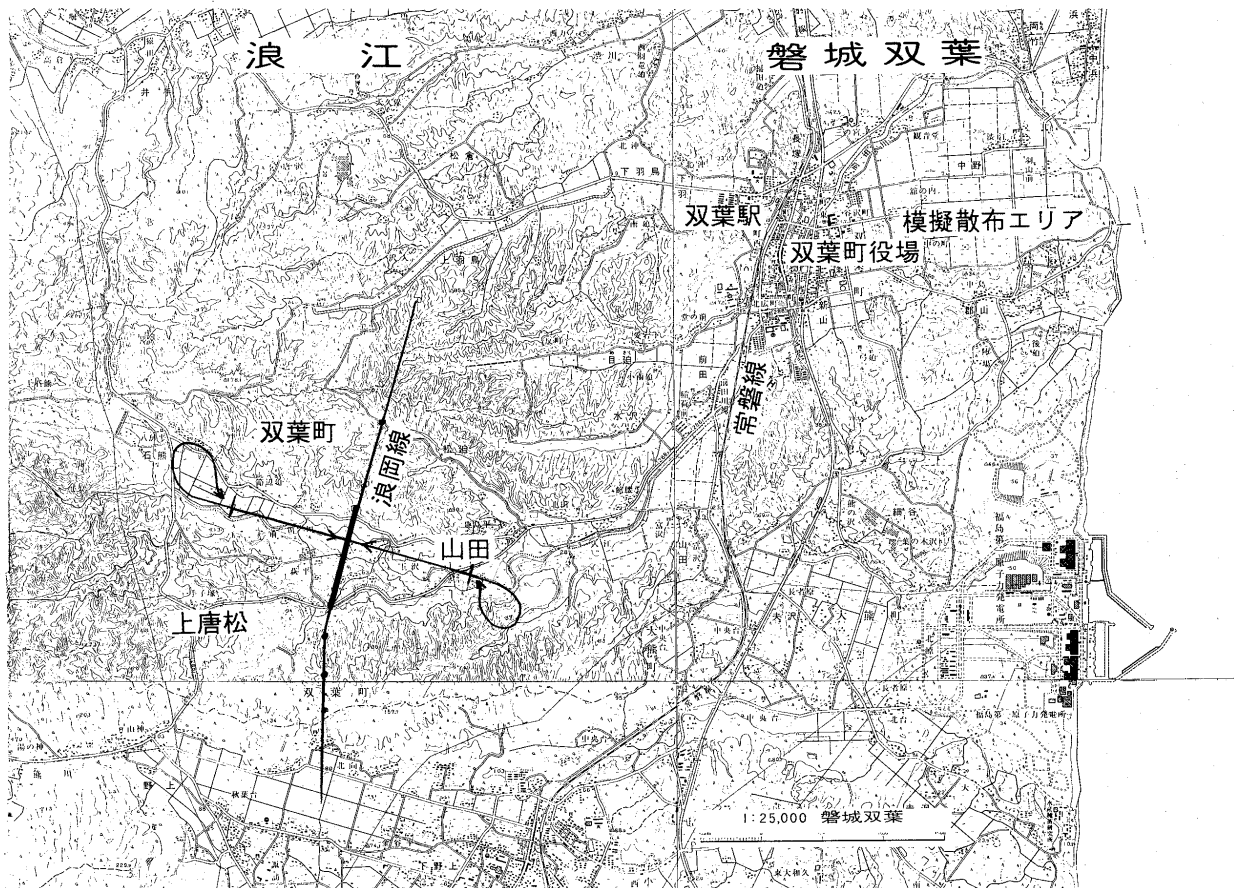


図10 双葉町周辺地図

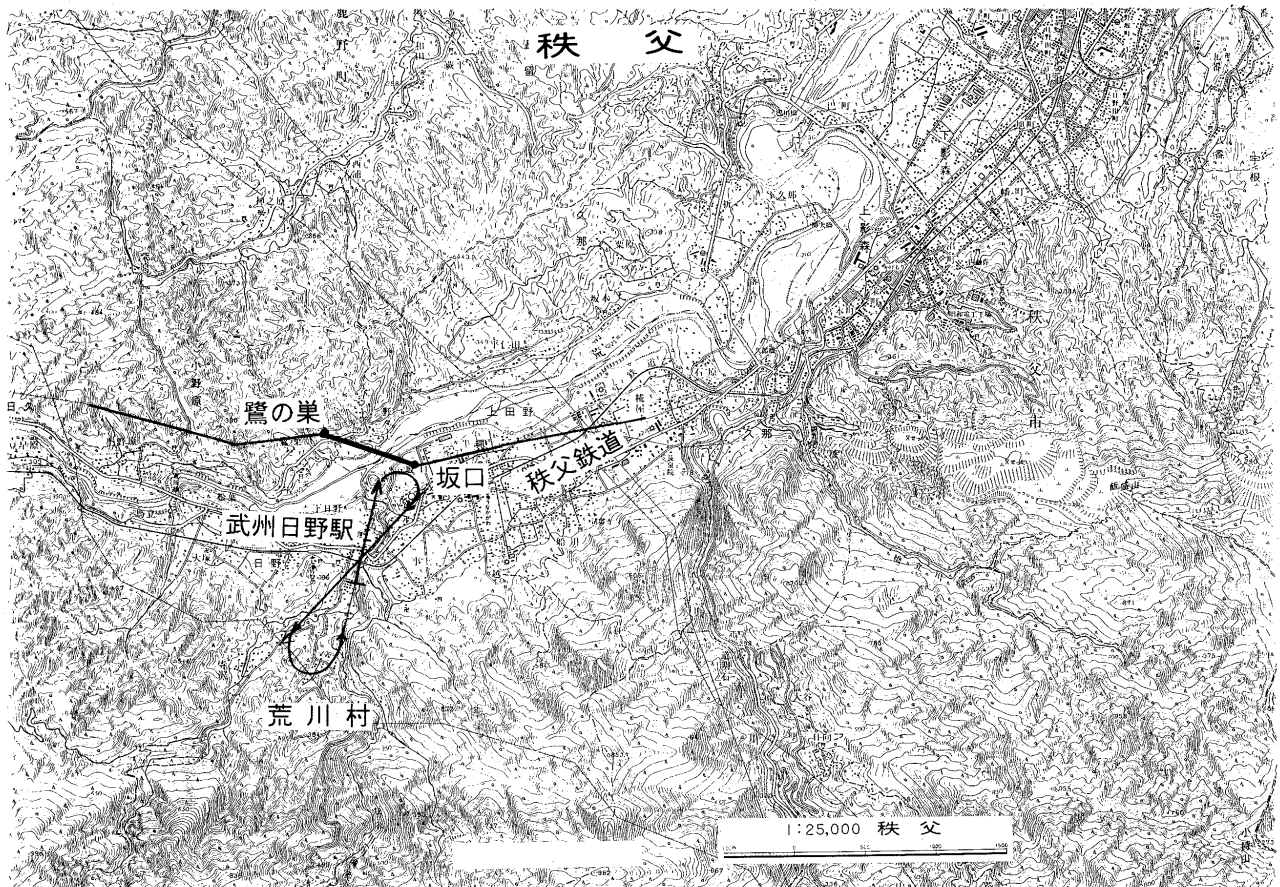


図11 秩父市周辺地図

そこから害虫や雑草の発生があるため、積み残しの無いように周到な注意を必要とする。さらに民家に薬剤が飛散しないように、微風なりとも風向きに注意を払いながら作業を行わなければならない状況である。

このような作業状況を斟酌すれば、電柱・電線などを作業開始当初では障害物として認識していても一時の注意の欠落から電線等に接触してしまうといったことが大いに予想できる。

本来、実際に散布している状況で且つ長時間に亘って視点移動記録が行えれば理想的であるが、現実には先に述べたように機内が狭く多くの実験者の搭乗が困難なこと、搭載重量が制限されるので薬剤の搭載量が少なくなること、安全パイロットの搭乗が困難であるなど、実散布状況における実際の記録は不可能である。

そこで、このような薬剤散布状況を模擬するため、過去に実際の散布作業を経験したパイロットを実験パイロットとした。このパイロットにアイマークレコーダを装着し、高度 10m、速度 20m/秒で直進散布飛行及び方向転換時の視線移動記録を行った。図 12 に実際の散布状況の写真を示す。



図 12 実際の散布状況の写真

3. 2 結果及び考察

(1) 工事用索道或いは高圧線等の視認性について⁵⁾

(a) ケーブルの太さによる視認性

山間部に渡橋している工事用索道或いは高圧線の見え方は使用しているケーブルの太さと背景色の色合いにより視認性が変わる。今回視認性の試験に使用した高圧線の地線（鉄塔の最上部に張られているケーブル）と送電線の太さを表 4 に示す。ケーブルの太さが太いほど視認しやすいことは云うまでもない。白地に黒線の細い縞模様において、縞が弁別出来る最小弁別角度は 1 分以上であると云われている⁴⁾。例えばケーブルの直径を 2 cm として弁別できる距離を計算すると約 70m となる。単純に言えば直径 2 cm の電線が 70m 先で見えることになる。しかし電線が反射して光っていたり、規則正しい曲率を描いて垂れているケーブルは自然界では目立つものと思われ、また鉄塔が視認できること等から単純な縞の弁別よりは容易となるものと考えられる。

(b) ケーブル等の視認距離

一般にパイロットの監視能力は日頃の訓練や職務上から一般人に比べ優れているものと思われる。高圧線の視認性実験は先にも述べた通り福島県双葉郡双葉町にある原子力発電所からの支線高圧線と、埼玉県秩父市の高圧線を対象として実施した。

まず双葉町の高圧線は福島第二原子力発電所からの支線で送電電圧 500KV、鋼心のアルミより線で太さは 28.8mm なので弁別角 1 分としたならば 99m で視認できることになるが、実際にはもっと遠くから視認可能ではないかと予測できる。実験時期は 3 月の早春で畑や背景の山は茶系統である。ケーブルの色は黒系統色であるが実験で得られたケーブルまでの視認距離はパイロット 2 人とも平均で概ね 100m であり、計算による予測値と実測値とがこの計測条件ではよく一致していた。

次に秩父市の高圧線は一本の鉄塔の左右で電力系統が

表 4 高圧線の種類と特徴

高 圧 線	電 圧 (Kv)	電力線 mm ²	地 線 mm ²	その他
福島県双葉町 双 葉 線	500	410×4 (22.8φ×4)	16×2 (4.5φ×2)	アルミ被鋼心 アルミより線
埼玉県秩父市 鷲ノ巣線	33	100	55	1本の鉄塔の 片側に鷲ノ巣 線、もう片側 に三峰線
三 峰 線	66	100 (11.3φ)	(8.4 φ)	銅の裸線

別になっており、送電電圧も異なるがケーブルの太さは同一で11.3mmであり計算では視認予測距離は38mとなる。実験時期は初春の降雪時に行ったが、雪は樹木の下に落ちており背景は濃紺色である。実験で得られた視認距離はパイロット2人の平均で900mと遙か遠くから視認できた。これは先に述べた弁別角とは大きく異なり、ケーブルが銅の裸線で光って見えたとか、ケーブルの垂れ下がり等から視認できたものかと推測される。

また双葉町で参画した実験パイロットと秩父での実験パイロットとは同一のパイロットではなく、「視認できた」の判断基準に個人差（「微かに見えて」からか「はっきり見えてから」か等）も有るかと推測する。

何れにしても同種の実験でこのような差が生じることは実飛行時においてもいろいろな状況によりケーブルの視認性に大きな差が生じることは予想される。

またこれらの視認距離についてのパイロットコメントとして、飛行速度が増す程この視認距離は短く（ケーブルに接近）なるとの意見も得られている。ただし、この実験はケーブルに向かって飛行し、かつ対象のケーブルがどの距離で見えるかの判定をパイロットに課してのデータであり、ケーブルの所在が明らかでない場合ではまた異なった結果になるものと思われる。さらに通常の運用では既知のケーブルに対してはケーブルに向かって飛行するようなことは無く、特に薬剤散布などではケーブルを背にして遠去るように飛行するように作業計画を立てるようにしているようである。いずれにしても山間地での高圧線、工事用索道の視認距離は多くの要因によって大幅に変動するものと考えるべきである。

(c) 季節・背景による視認性の変化

ケーブル色と背景色との関係で視認性が変わるのは当然である。ケーブルが黒系統色の場合、背景が空のような明るい白とか青系の場合には視認が容易であり、背景が山肌等の黒系統の場合には視認性が悪くなるものと予想できる。そこで季節として背景色の異なる3月の冬枯れの時期は福島県双葉町でのデータ、6月の初夏と冬の降雪時は埼玉県秩父市でのデータについて考察する。

まず3月の冬枯れ時の背景は全体的に茶系統の色合いが多く、ケーブルの色（黒色が多く、稀に白色系統が見受けられる）との弁別がはっきりでき、背景が田圃の場合（稲が刈られている）にも同様に良く識別することができた。

次に新緑の時期では、背景が濃い緑或いは濃い青系統になるので黒系統のケーブルでは見え難くなることが予想されたが、実験では特に顕著な差は見られなかった。

次に降雪時の実験は、降雪の次の日に実施したが、実際には雪の殆どは樹木の下に落ちてしまい、上空から観察する限り濃紺系統の樹木の間まばらに白い雪が見え

る程度であった。ただしゴルフ場等で樹木の無い場所では一面に白い雪景色であり黒系統の高圧線は良く弁別視認することができた。

またヘリコプタの飛行高度がケーブルより低く背景が空となる場合では割合と目立ち易く、飛行高度がケーブルより高く、ケーブルを見おろす様な場合では背景が山肌（地面）となり、全体的に見え難くなる。

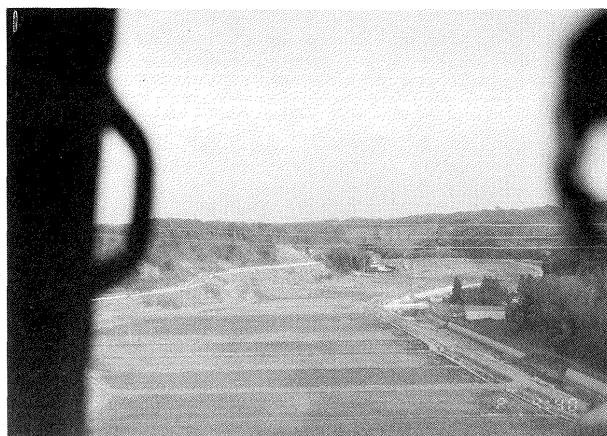
(d) 時間による見え方

昼間は当然視認性が良いことは予想できる。早朝の場合は太陽が上昇するにつれて全体が明るくなり見え易くなって来るが、夕方は太陽が沈むにつれて夕闇となり視認性が悪化してくる。

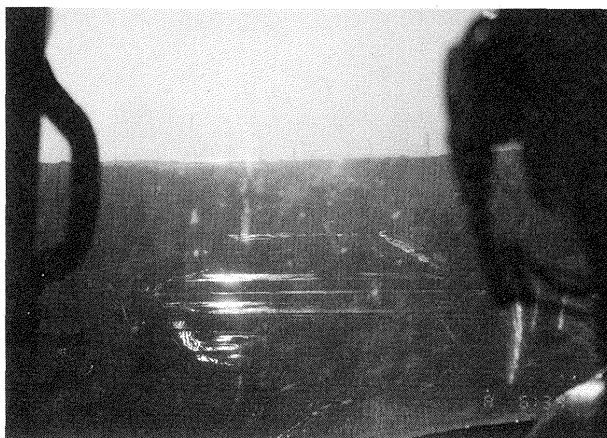
昼間と早朝及び夕焼けの太陽光スペクトルの差による視認性の変化には差がなかった。

(e) 太陽位置による見え方

太陽位置が機体後方つまりケーブルに陽が当たっている場合は目的のケーブルは良好に視認でき、ケーブルの前方にある場合は殆どなにも見えないことが判った。さらにキャノピー（風防）の細かい傷が太陽光を乱反射して、より視認性を悪化していることが判った。図13(a),



(a) 太陽光の位置による見え方（後方）



(b) 太陽光の位置による見え方（前方）

図13

(b) にこの状況を示す。ヘリコプタのキャノピーは硬質プラスチックで出来ており、離陸時や低空ホバリング時に小石や砂等の吹き上げや清掃による拭きとり等により細かい「スリキズ」がつくものと推測できる。

(f) ケーブル等の飛越方法

一般に高圧線には鉄塔が有る。鉄塔の上には障害物が無いとされていることから高圧線を飛越する場合は鉄塔の上を越えるようにしている。

工事用の索道を見つける方法としてはケーブルを固定している（大きく太い）木、或いは塔を見つけることが先で、その後ケーブルの有無を確認するといった発見の順序をとっている。

(g) 工事中索道の見え方

次に予め場所を特定した工事中索道を上空より探索したところ、発見するのに相当困難を極めた。図 14 (a) は地上より見た索道で同図 (b) は上空からの写真である。場所は判っているにも拘らず上空から探索してもなかなか見つからなかった。まして通常の飛行での発見は相当困難であることが予想される。



(a) 索道を下から見た写真



(b) 索道を上から見た写真

図 14

(2) 模擬薬剤散布⁵⁾⁶⁾

薬剤散布時の飛行パターンは散布中の低高度、低速水平直進飛行と方向転回（P ターン）の 2 種類に分類できる。

(a) 模擬散布時の停留点移動軌跡

図 15 に模擬薬剤散布中におけるアイマークレコードデータから停留点移動軌跡の解析例を示す。高度 10m、機速が概ね 20m / 秒で機体姿勢はほぼ水平と考えられるがパイロットの視線方向は 30～40m 程前方の下方（ビデオ記録から）を向いており、俯角は概ね 10～15° 下方となる。したがって図 9 に重ねてみると全体に下方 15° ずらした状況を想定すれば対応できる。

まず散布飛行での高度保持は手前前方の地上からの情報から経験的に保持し（高度計の指示は低高度のため不正確）、速度はパワーと機体姿勢で一定に保持している。また直進性の維持は前方及びその左右の畝からのズレで修正している。高度 10m ではロータによる吹き下ろしによる地面効果は少ないが、風向きとか散布による重量の減少など操縦を困難にする要因は多い。記録されたビデオデータや図 15 から分かるように、散布中は他の障害物等に視線を配るといった余裕が見受けられないのが実状である。

(b) 方向転回時の視点移動

方向転回については散布終了後の畝と次の畝とをはっきり確認しながら転回するため、視点は転回中心に固定される。図 16 に方向転回時のビデオ写真を示す。方向転回の操縦方法は散布用ノズルが地面にぶつからないように一旦高度をとり、次に現在の畝と次の畝の中間に回転中心を一定に保ちながら機首を下方に向け、方向転回し（一般には P ターンと呼ばれる）、再び高度を元の高度に修正して散布に入る。薬剤の搭載量にもよるが通常

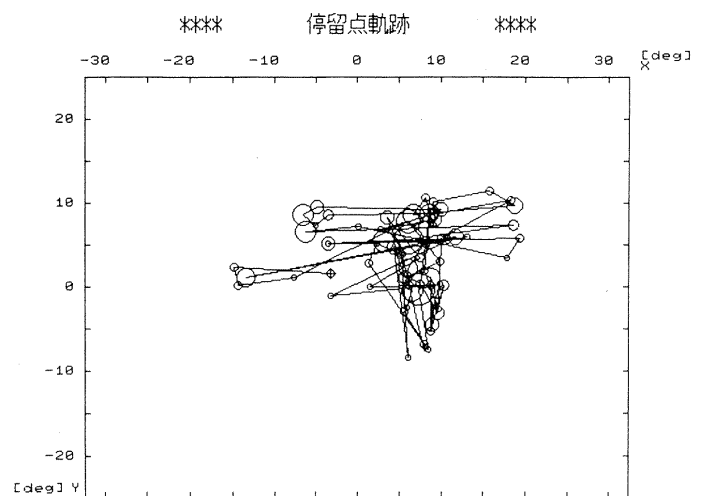


図 15 散布中のアイマークレコード解析記録
(停留点軌跡)

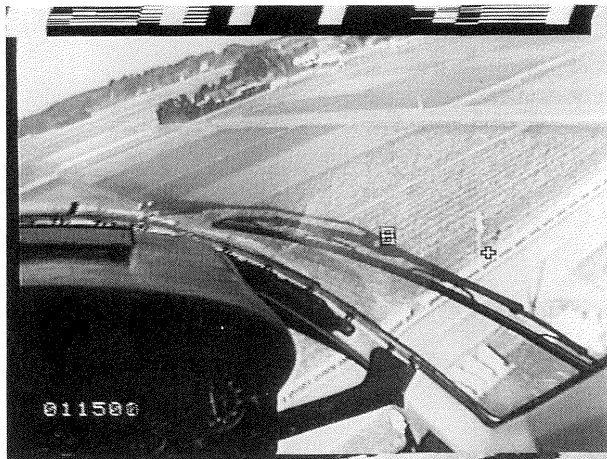


図 16 転回中のアイマークレコーダビデオ記録例

こうした繰り返しを7回～10回程度行い帰投する。

(c) 操舵量記録

2. 4項で述べたようにパイロット操舵量記録及び慣性情報データを参考データとして記録した。

操舵量記録はサイクリックレバー、ペダル、コレクティブレバーの操舵装置に簡易的にポテンショメータを取り付けて記録したものであり、ポテンショメータ出力と操舵量の対応及びアイマークレコーダとの時間的一致がとれていないので今回の実験では参考データにとどめた。図 17 に操舵量及び慣性情報記録の例を示す。

(d) 散布時の作業環境

薬剤散布時の飛行（作業）環境については3. 1 (3)項で述べたように決して良好とは言えない状況である。薬剤散布中における電線等への接触事故は散布中の「ちょっとした注意の欠如」から発生している。この「注意の欠如」は過密な散布作業やパイロットの疲労から誘発されるものと推測できる。散布作業中のパイロットの行動記録とか視点移動計測等長時間に亘ったデータを得ることにより実際の状況が把握できるものと考えられるが、視点移動計測システムについて言えば現在装置での長時間データ記録は非常に困難であるといえる。そのため何らかの方法、例えば操縦者前方にビデオカメラを設置して、間接的に視点移動記録やパイロット行動の記録を行い、時間経過に伴う注意の度合い等を解析する方法等を用いるのが有効であると考ええる。

4. 結 論

以上、一連の実験の結果及び考察から以下のことが判った。

(1) ケーブルの視認性については季節・時間での影響は少なく、太陽位置が大きな影響を及ぼしている。太陽位置が機体後方に有る場合は当然視認性が良く、前方に有る場合は逆光となるため、直射入射光がキャノピーの

細かい傷により乱反射してしまい視認性を阻害している。

(2) 背景色による視認性については茶系統の冬から春先の場合と初夏、降雪時においても特に顕著な差が観測できなかった。

(3) 雪景色の場合ではゴルフ場の芝生や野原では背景が白となるが山岳地では雪は樹木の下に落ちてしまって、背景は濃紺色になり、黒系統のケーブルは認識しにくい。

(4) 工事用索道については予め位置の確認を行った上でヘリコプタによる探索を行ったが、発見が困難であることが確認された。

(5) 薬剤散布時のパイロットの視覚情報取得については、散布中は低高度水平直進飛行となり、高度情報は手前前方或いは右下方からの視覚情報を得ており、コース維持は前方視野と前方左右の「ズレ」の情報からコース（敵）の「ズレ」を判断している。また速度の設定はエンジン出力と機体姿勢を一定に保つことで保持している。

(6) 散布した敵から次の敵に移る場合の機体の方向転回は敵の飛ばし（積み残し）を避けるため旋回の回転中心を現在の敵と次に散布する敵の中間に固定し、一点注視の状態で転回している（P ターン）。

(7) 機内に薬剤が侵入し、パイロットの作業環境を悪化している。

(8) 実験に使用した AS-350B 型ヘリコプタは操縦席と客席との間に隔壁（仕切）がなく、計測用ビデオカメラの設置やパイロットとのコミュニケーションがスムーズに行うことができた。

(9) 実験機材の電源の殆どがバッテリー駆動であったため、バッテリー消費量の管理に神経を使った。またアイマークレコーダのキャリブレーション手法や、ヘッドユニットの「ズレ」に対する対策等、今後の実験に向けて幾つかの検討すべき項目が明らかになった。

5. 対応策の提案

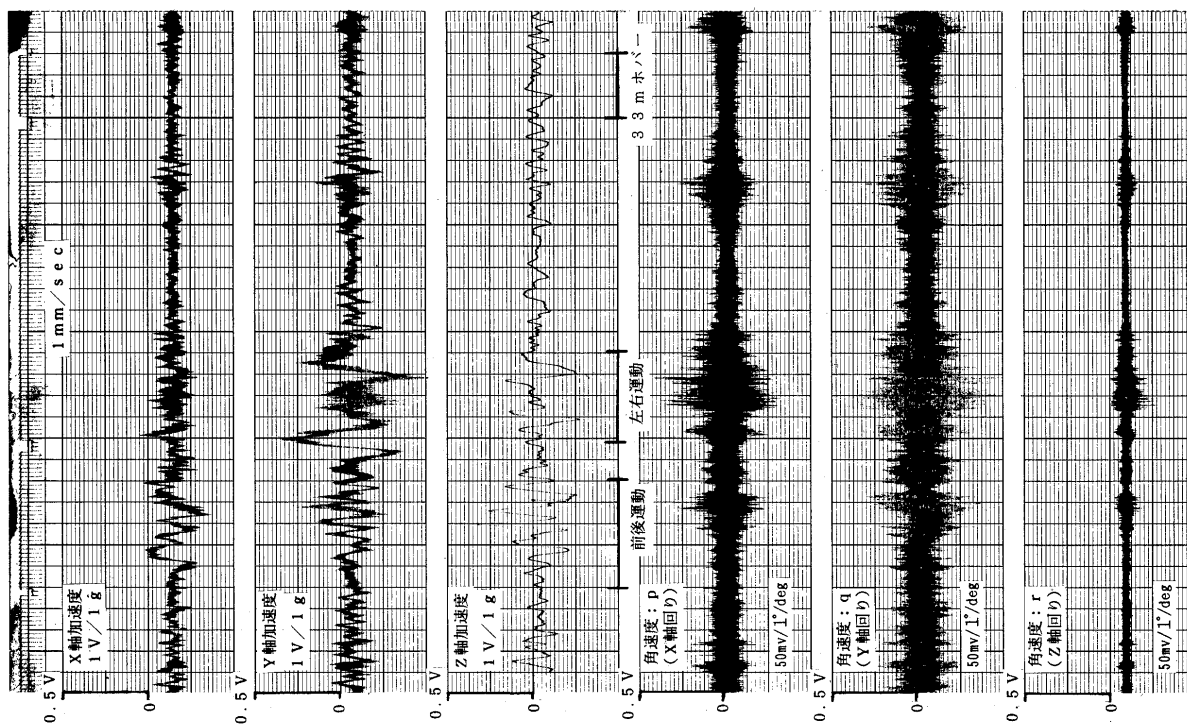
以上、得られた実験結果からいくつかの対応策を提案する。

(1) ケーブル等の視認性の向上を図るために高圧線の鉄塔や高圧線そのものに目立つ色彩で塗装するとか、工事用索道の塔等には目立つ標識や旗をたてる（自然環境を考慮しながら）とかして、発見を容易にする。

(2) ヘリコプタの風防の「キズ」が前方（太陽方向）の視認性を阻害している。「キズ」の発生を極力抑える防止策として風防の清掃方法やプラスチックのハードコート処理技術等について検討する。

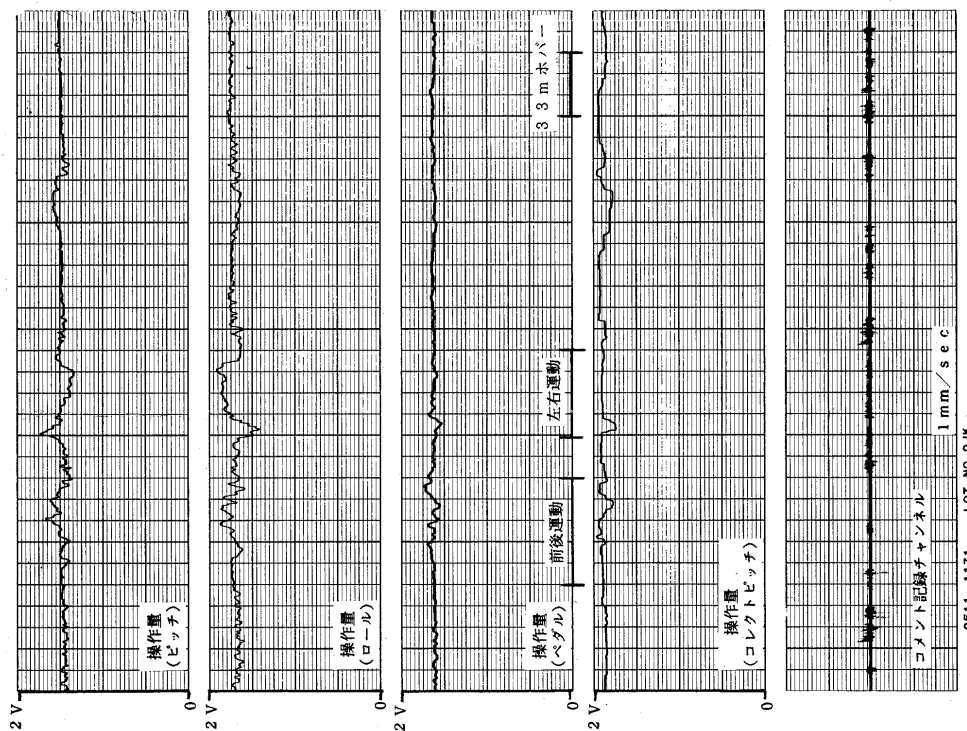
(3) 薬剤散布におけるパイロットの作業環境を保つためには機内の機密性を高めて薬剤の侵入を極力抑え、散布時のパイロットの作業環境を改善する。

(4) パイロットの作業負担軽減のための何らかの方策



(a) 慣性航法装置出力記録

図 17 慣性航法装置, 操舵出力記録例



(b) 操舵出力記録

を検討する。

6. おわりに

ヘリコプタ操縦時のパイロット視点移動に関する一連の飛行実験を行い、運航安全確立に資するデータを取得することができた。

これらの実験結果及び考察で提案した何項目かについて今後さらに検討を重ね、ヘリコプタの事故防止に寄与する資料を提供したいと考える。

最後に飛行実験実施にあたり、有意義なご意見、ご指導を戴いた科学技術庁ヘリコプタ技術委員会（緊急研究推進にあたり設置）の委員の方々及び模擬薬剤散布の飛行実験場所を提供して戴いた福島県双葉郡双葉町町役場の方々、実験機及びパイロットの提供等実験実施にご協力戴いた本田航空㈱の多くの方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 科学技術庁：ヘリコプタの運航安全に関する緊急研究報告書，1991. 6
- 2) 運輸省事故調査委員会事務局報，1987，1988，1989，1990
- 3) ㈱ナック：アイマークレコーダ（EMR）取扱説明書，1991
- 4) 和田，他：感覚+知覚ハンドブック，1969. 8，P257～P258
- 5) 川原，他：日本人間工学会，第33回大会講演集，P386～387，1992. 5
- 6) 川原，他：日本航空宇宙学会，第29回飛行機シンポジウム，P266～269，1991. 10
- 7) 川原，他：日本航空宇宙学会，第30回飛行機シンポジウム，P386～387，1992. 10

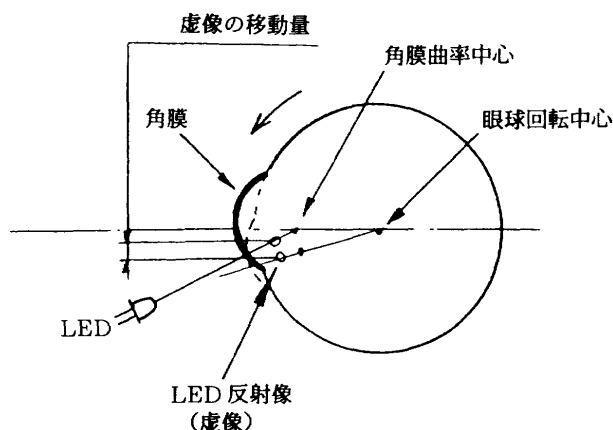
付録 1. アイマークレコーダの機能、原理

アイマークレコーダはヒトの目の動き（視点）を光学的に計測し、外部視界撮像用カメラのビデオ信号と重畳してビデオテープに記録するものである。

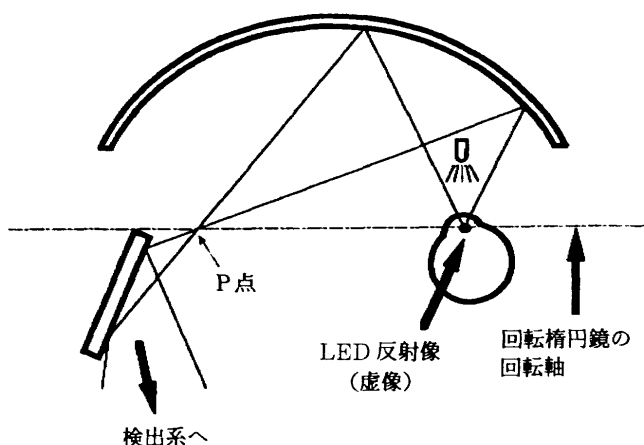
記録されたビデオデータ（アイマークデータ）は別に用意された解析ソフトウェアにより、アイマークの軌跡表示、視点移動軌跡表示、累積停留時間分布の3次元表示、累積停留時間頻度表示等の解析ができる。

またヘッドモーション検知装置と組み合わせて頭部の動きを補正した解析も可能としている。

付図1に眼球運動検出の原理図を、付図2に眼球と楕円鏡及び検出用光学系との位置関係を示す。眼球にLED光を照射すると、角膜の表面で反射し、角膜表面と角膜の曲率中心との間にLEDの虚像ができる。図の眼球の回転中心と角膜の曲率中心とLEDの虚像の位



付図1 眼球運動検出の基本原則

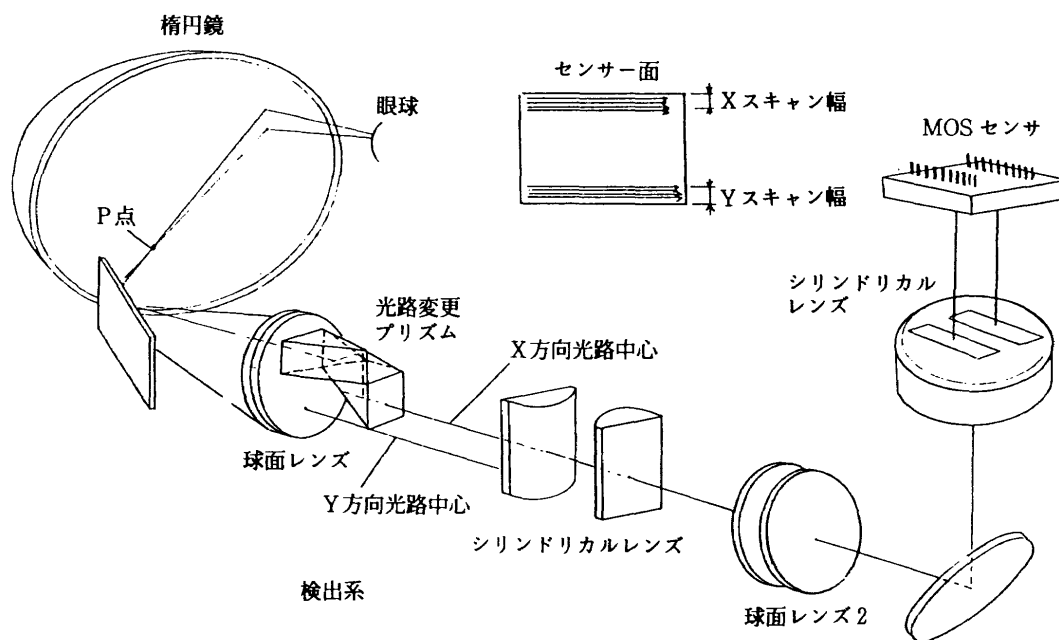


付図2 眼球と楕円鏡及び検出用光学系との位置関係

置がずれているために、目が動いたときにこの虚像の位置も移動する。ここではこのLEDの虚像をアイマークと呼んでいる。

付図3にLED虚像と楕円鏡、検出用光学系の位置関係を、付図3にアイマークレコーダの基本原則図を示す。眼球角膜に照射された前述の原理に従ってLED光は角膜で反射され、近赤外光のみを反射する特殊コーティングされた楕円鏡内面でさらに反射して図のP点の空間で結像する。このP点の像を光学系のセンサ面で再結合する際、X、Y方向のセンサ面上で2次元的に分割させるために、球面レンズ1の後部にX、Yの分離プリズム及びシリンドリカルレンズを設置してセンサ面上部にX信号、下部にY信号を結像する。

このセンサ出力をデジタル処理して用いてアイマークをX、Yの位置を表すシンボル（右目は□、左目は+マーク）と、別に設けている外部視界用CCDカメラの映像信号とを重畳してビデオ信号に出力する。これにより被験者が外部視界カメラの映像内の何処を見ているかをモニタすることができる。



付図3 アイマークレコーダの原理図

原理的には以上の光学・電気系の組合わせで眼球移動データが取得できるが、実際の計測にあたっては眼球移動位置の校正や取得データの補正を施して視野範囲±

25°（最大50°円）の範囲で線形性のあるデータが得られるように設計されている。

航空宇宙技術研究所資料684号

平成7年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182
印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山5-6-17
