

ヘリコプタと障害物の接近検出方式

佐下橋 市太郎・丹 羽 登

Obstacle Warning System for Helicopters

By

Ichitarou SAGEHASHI, Noboru NIWA

Abstract: This paper deals with the warning system which warns a pilot of a farming use helicopter of transmission line, trees and etc. which are liable to obstacles the helicopter.

The experimental results on propagation and directivity characteristics of the noise generated by the helicopters Bell 47B2 and Bell 47B3, are presented.

A distance between the helicopter and a obstacle is estimated by the helicopter noise level measured at near the obstacle in relation with the noise characteristics curves.

The measurement errors due to fluctuations of the noise level are discussed experimentally.

概 要

ヘリコプタがおこす事故のうち、大部分が農薬散布時に、送電線や立木などに接触する事故でしめられており、事故防止装置の開発が望まれている。

そこで、ヘリコプタが発生する騒音の伝搬特性、周波数特性、指向特性等の測定をおこない、ヘリコプタ位置と騒音レベルとの関係を求めた。

その結果、ヘリコプタ位置を騒音レベルから、標定することとした。ヘリコプタが障害物を避けるに必要な障害物からの距離を警報位置とし、警報位置にいるヘリコプタからの騒音レベルを閾値とし、ヘリコプタが障害物に近づき、騒音レベルが閾値に達すると、パイロットに音または光などで警報する音圧方式の実用性を、実験結果に基づき検討した。即ち、地表面からの反射波による干渉、騒音出力の変動、気象条件の変化等による、騒音レベルの変動幅を測定結果から求め、警報位置の変化、警報範囲等を求める実際上の方法を述べた。尚、パルス音波伝搬時間測定法による警報方式の実験と実用化の検討をした。

は し が き

近年、ヘリコプタが多方面で利用されるようになり、とくに、農林航空事業関係でその多くが使用されている。しかし、それにともなって事故も増加しており、とくに農林航空事業関係の事故のうち、送電線などとの接触事故がその65%を占めている。

なかでも、農薬散布作業の際に、送電線や立木などの障害物に、ヘリコプタが接触する事

故が多い。

現在、このような事故を防止するため、障害物の近くに赤旗を立てて、ヘリコプタが障害物に接近したことをパイロットが目視で確認する方法がとられている。しかし、作業は気象のおだやかな朝方に行なわれ作業密度も高く、農薬を一様に散布できるよう、ヘリコプタ高度、速度を一定に保ち、障害物をさけながらパイロットは作業を行なうので、障害物に接触する事故を起すことがある。

そこで、作業中のパイロットに、ヘリコプタが障害物に危険な範囲にまで接近したことを、音響または光などで警報するような装置が切望されている。特に、経済的、取扱い簡易な装置の実用化が急がれている。

このため、財団法人航空振興財団により、ヘリコプタ事故防止装置開発委員会が組織されている。筆者等も委員として参加し、主として音響的方式について分担した。以下、この委員会によって測定されたデータを中心に、事故防止方式の実用化について述べていく。

実用上、ヘリコプタを障害物から、安全に回避させる警報位置は、障害物から 50m もあればよいとされている。

このような目的にかなうものとして、すでに、他の分野で、位置検出、または物体検出などに実用されている装置（たとえばレーダ）の転用、または改造などが考えられた。

しかし、検出したい障害物が地表に近いこと（ヘリコプタの飛行高度が 7 m ほどであることから障害物は、この程度の高さのものが目標となる）、送電線などのように細いこと、電磁波の反射率が低い樹木などであることなどのため、これら現用のものは、機能、取扱い、および経済性などを考慮すると、不適当なことがわかった。

種々検討した結果、次の方式を採用することとした。

a) 音圧方式：飛行しているヘリコプタが発生する騒音（以下ヘリコプタ騒音と呼ぶ）の伝搬特性（ヘリコプタ騒音を、地上の測定点に固定したマイクロホンで音圧レベルを測定する。マイクロホンとヘリコプタ間の距離を変えて、ヘリコプタからの音圧レベルが、伝搬距離によってどのような変化をするかを求めたヘリコプタ騒音レベル伝搬特性のこと）をあらかじめ測定しておいて、この伝搬特性から、音圧レベルを求めて、ヘリコプタ位置を標定しようとするものである。警報動作は次の方法による。

ヘリコプタが、警報位置にいるときの、測定点の音圧レベルを、さきに測定した伝搬特性のグラフから求める。この音圧レベルを警報動作の閾値とする。今ヘリコプタが移動して、測定点の音圧レベルが、この閾値に達したとき警報動作（音または光などによる）を行なうものである。

b) パルス方式：ヘリコプタからパルス音波（パルス幅 1/15 秒，周期 1/3 秒）をスピーカから発射し、障害物近辺に設けたマイクロホンで受信されるまでの伝搬時間を測定して、ヘリコプタとマイクロホン（≡障害物位置）間の距離を求める。この測定距離が警報位置に一致した場合に警報動作を行なうものである。

まず順序として、音圧方式による事故防止装置を開発するにあたり、ヘリコプタ騒音の基礎的データ（伝搬特性、周波数分布）を明らかにする目的の予備測定を行なった [1]。

このデータ [1] を基にして、実験用試験装置（以下試作装置と呼ぶ）を製作した。

次いで、この試作装置をヘリコプタに搭載して、農薬散布時に近い飛行方法でヘリコプタを飛行させ、ヘリコプタ騒音および、スピーカ音の伝播特性を測定するとともに、音圧方式による警報動作の実験を行なった。

またパルス方式による距離測定試験を行なった。

以上の実験、測定結果を参考にして、音圧方式とパルス方式による事故防止装置の可能性、距離測定精度、警報システムなどについて検討を行ない警報位置の設定方法、警報範囲などの決定方法について紹介した。

なお、本報告に使用した各種データは、筆者らが委員として参加している財団法人航空振興財団ヘリコプタ障害物接触事故防止装置開発委員会[2]が実施した3回にわたる現場試験において取得したものを使用している。

1. 障害物接触事故防止のための警報方式

パイロットは、ヘリコプタを、定められた農地範囲上空を、高度約 7 m、飛行速度約 50 km/hr で、飛行間隔を等しく保ち、障害物をさけながら、農薬が均等に散布されるように飛行させる。その典型的な例を図 1 に示した。

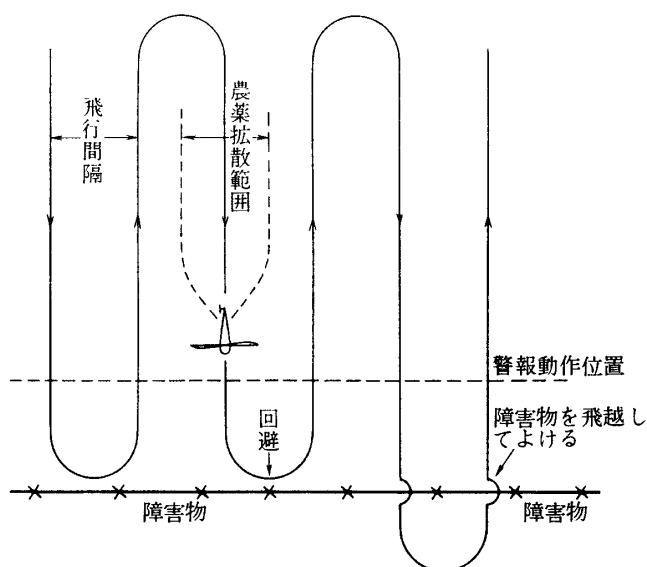


図 1 ヘリコプタによる農薬散布飛行方法のモデル

図で示すようにヘリコプタは、障害物にたいして警報位置（実際上約 50m）に接近すると、Uターンして障害物から遠ざかりながら農薬を散布する。他端面にて再びUターンし、障害物方向に進行しながら農薬を散布していく作業を繰り返す。

そこで、電子的な方法で、警報位置にヘリコプタが到達したことをパイロットに警報できるような装置があればよいわけである。

このため、さきに述べた二つの方式で、障害物接触事故防止装置の開発を試みることにしたわけで、次にその原理について述べる。

1.1 音圧方式

よく知られているように、音源（球面波）から x (m) の位置の音の強さ I_x (Watt/cm²) は、

$$I_x = (x_1/x)^2 I_1 e^{-\alpha(x-x_1)}$$

ただし I_1 : 音源から x_1 離れた位置（指標点）において表はされた音の強さ、

α : 伝搬媒質の吸収による音波の減衰量

で与えられる [3].

また、音源の出力と、 α が既知で、音源から x (m) の位置の音の強さ I_x が測定できれば、上式から、音源までの距離 x が求まる。

音圧方式では、上式の音源にヘリコプタ騒音を、マイクロホンとヘリコプタ間距離を x としたとき、マイクロホン位置のヘリコプタ騒音による音の強さを測定したことに相当するものであり、 α 及び騒音の出力が不明であるので、あらかじめ、 x に対するヘリコプタ騒音レベルの変化を求めておいて、しかる後、騒音レベルを測定して、先に求めておいたデータからその音源までの距離 x に相当するヘリコプタ位置を求めようとするものである。

1.2 パルス方式（パルス音波伝搬時間測定法による方式）

音源として、ヘリコプタに搭載したスピーカから、パルス音波を発射し、音源から l (m) 離れた測定点（略障害物位置に設けたマイクロホン位置）に到達するまでの、パルス音波の伝搬時間 t (秒) をカウンタで測定し、 l を次式で求める。（計数動作は 3-1-3 を参照）

$$l = c \cdot t \text{ (m)}$$

ただし C : 空気中の音の伝搬速度 (m/s)

したがって、計数用のクロック周波数の周期を、音波が空気中を 1 m 伝搬するのに要する時間と同じに選べば計数カウント数で距離 (m) が表示され、パイロットは、ヘリコプタと障害物までの距離を知ることができる。また計数回路に一致回路を付加して、任意に設定した計数に、計数値が達した時、警報動作を行なわせることも可能となる。

2. ヘリコプタ騒音の基礎的測定

ヘリコプタ騒音の伝播特性、および周波特性などを騒音計で測定した。

測定条件を、農薬散布時の条件に近ずけるため、ヘリコプタはよく使用されるベル 47 G2 を使用し、全重量 (2400kg) で、高度 7 m、飛行速度 50km/hr で飛行させた。

2.1 ヘリコプタ騒音特性測定法

測定は図 2 に示した構成で行なった。

騒音計は 2 台使用し、ブリュエル・ケア社製 2112 形は 5~40kHz の範囲の周波数分析用に、日本電子測機製 JEC-SLP-21 と JEC-OF-13 の組合せは、63~8000Hz の範囲の周波数分析用に分担して使用した。

周波数分析器のフィルタの中心周波数は、2 台とも切換えスイッチで、選択できる。

各周波数ごとの伝播特性は、ヘリコプタを図 2 の +Y から -Y 方向に飛行させて、測定した。

騒音計の、増幅器の特性は、平端な (C) 特性である。

測定結果は、ペンレコーダ、データレコーダで記録した。なおヘリコプタが +150m、-50m

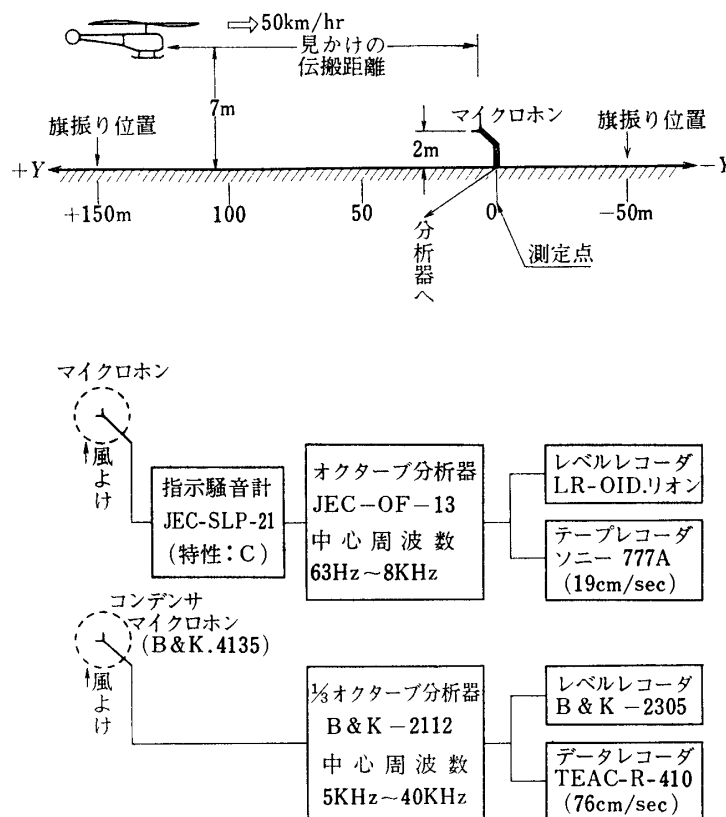


図 2 ヘリコプタ騒音の伝搬特性の基礎測定構成図

地点上空を通過した時期は、旗振りで確認し、記録者が、記録上に印しをした。

2.2 測定結果

測定した伝搬特性の一部を図 3 に、また周波数分布は図 4 に示した。

以上の測定結果から、ヘリコプタが飛行中に発生する騒音について次のことがわかった。

- i) 単位距離の伝播で減衰する量は、周波数が高いほど多く、したがって高い周波数が音圧レベル差の検出には有利である。
- ii) 周波数成分は、超音波領域にまで分布している。40kHz で暗騒音より 18dB 音圧レベルが高い。
- iii) a) ロータの回転の影響と思われる約 10Hz, 5dB ほどの規則的な音圧レベルの変動と、b) マイクロホンに、地表面からの反射波と、音源から直接到来した音波とが加わる、干渉と思われる不規則な音圧レベルの変動が観測された。

3. 試作装置

本装置は、あらかじめ既知の場所にある障害物に、飛行中のヘリコプタが危険な範囲に接近した場合そのことをパイロットに警報するものである。警報方法は、音、光によるか、またはヘリコプタと障害物との距離関係をメータまたは計数管によって表示する。

試作装置の構成を図 5 に示す。

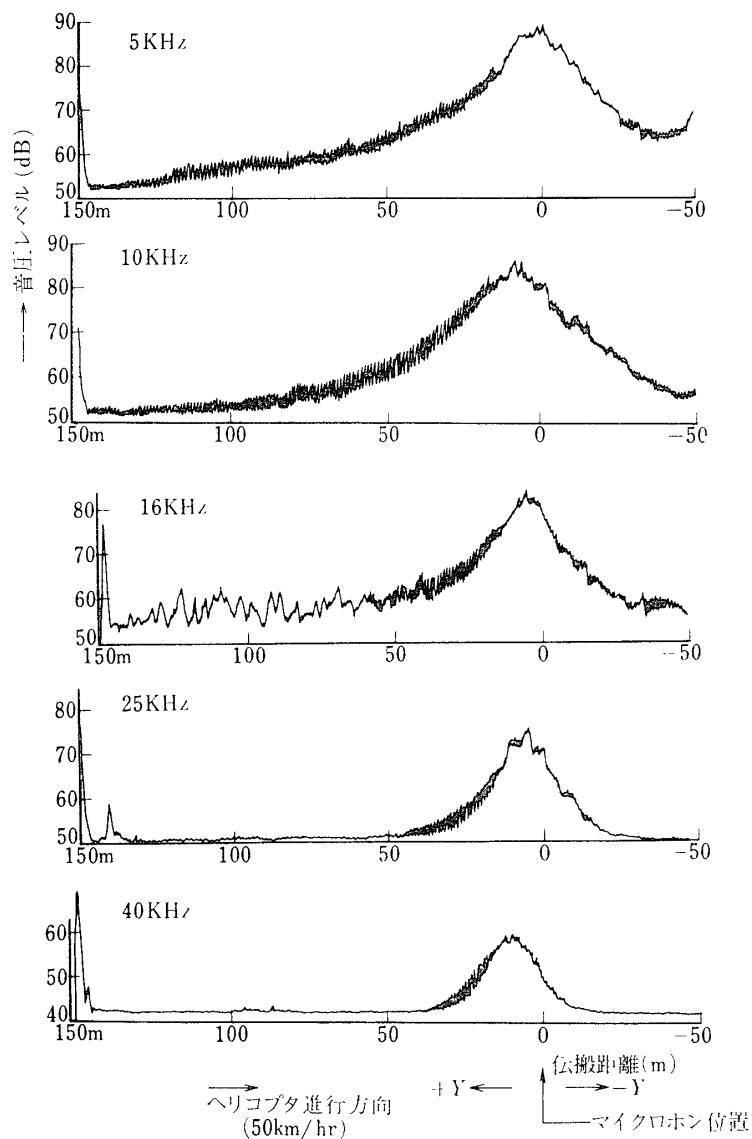


図 3 ヘリコプタ (川崎式ベル G 2) 騒音の伝搬特性
 気象条件 気温: 19~21°C, 湿度: 63~69%,
 風速: 1~1.8m/s, 風向: 南々西

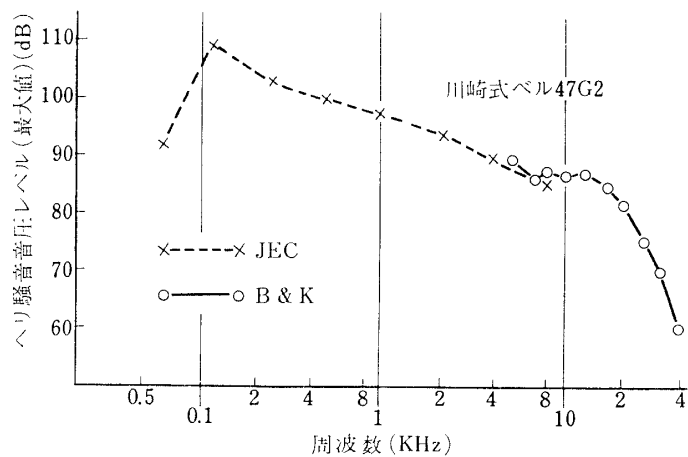


図 4 ヘリコプタ騒音の周波数分布特性

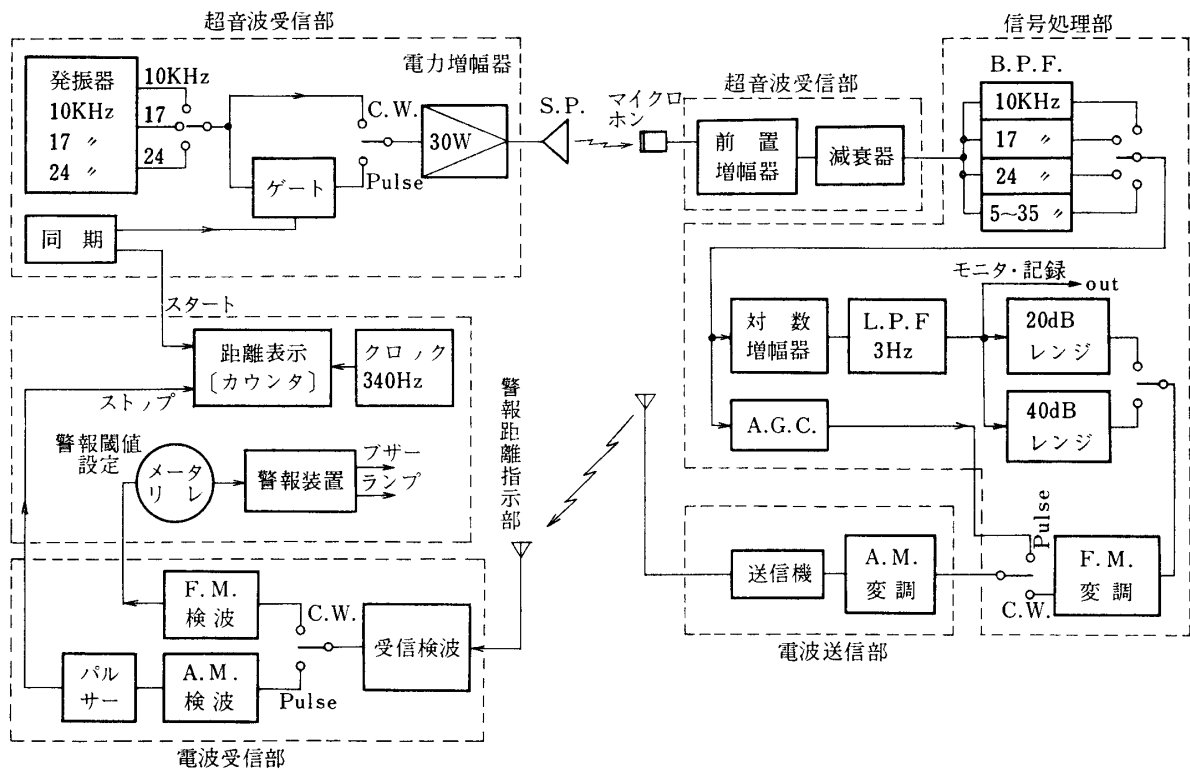


図 5 ヘリコプタ障害物接触事故防止用
実験用試作装置構成図

装置は、音圧方式、およびパルス方式の実験が行なえるようになっており、図に示したように、地上装置、機上装置およびアンテナなどで構成されている。

以下、各部動作をまず音圧方式によって概略を説明する。

3.1.1 音圧方式の地上装置の動作

測定点に設置したマイクロホンで、受信されたヘリコプタからの音波は、帯域通過フィルタで、必要な周波数成分のみを選択し、以後の信号処理に使用される。

フィルタの出力を対数増幅後、3Hzの低域通過フィルタで、信号中の脈動成分(2.2参照)を除去する。平滑化された信号は、周波数変調器で、音圧レベル変化0~20dBに対して100~1000Hz、または音圧レベル変化0~40dBに対して100~1000Hzの割合で周波数変調を受け、測定点における音圧レベルの値は、無線周波数送信機によって機上側に伝送される。

3.1.2 音圧方式の機上装置の動作

ヘリコプタ側の音源には、ヘリコプタ騒音自身と、電気入力30Wのスピーカ音で、周波数が10, 17, 25KHzと選択して使用でき、連続波または、パルス音波が発射できる。

地上装置から、電波で返送されてきたマイクロホンで測定した測定点の音圧レベルは、検波器で復調され、測定点の音圧レベルに対応した電気信号に変換され、メータリレーに加えられ、音圧レベルで指示されるようになる。

警報動作を行なう音圧レベル（閾値）はメータリレーの接点位置によって設定される。したがって、ヘリコプタが移動して、測定点（マイクロホン位置）の音圧レベルが、この設定値に達するとメータリレーの接点が閉じて、警報動作を行なうようになっている。

3.1.3 パルス方式の動作

図 5 によって説明する。

まず、機上装置のスピーカから、パルス音波（パルス幅 1/15 秒，周期 1/3 秒）を発射する。それと同時に図 5 の計数回路のゲートを開き，クロック信号（340Hz）の計数を開始する。

地上側マイクロホンで受信したこのパルス音波は，増幅後，ただちに電波で機上装置に返送される。

機上装置は，この電波を受信し，受信パルスの包絡線の立上りで，計数回路の計数動作を停止させる。

このようにして，測距結果は，m/1カウント で直読することができる。

3.1.4 試作装置のおもな性能

おもな性能を第 1 表に示した。

4. 試作装置による測定

試作装置をヘリコプタに搭載するまえに，装置の性能測定も含め，地上（野外）で，試作装置の音響出力（スピーカ音）の伝播特性，音圧方式，およびパルス方式の警報及び測距性能などを測定した。

また，ヘリコプタ騒音中におけるスピーカ音による動作の有効性について検討した。

次いで，この装置をヘリコプタに搭載して，ヘリコプタ騒音および，スピーカ音について伝搬特性，測距性能などの測定を行なった。

これらの結果から，ヘリコプタ障害物接触事故防止装置の実用化について具体的な検討を行なった。

4.1 試作装置の地上試験

地上装置を自動車に搭載，機上装置を固定局として地上設置し，自動車を移動させ，音源（スピーカ音）とマイクロホン間距離を変え，下記の測定を行なった。

測定は図 6 に示した構成図で行なった。

- i) スピーカから，周波数 10, 17, 25 KHz の連続波の音波を放射して，スピーカ音の伝搬特性を測定した。
- ii) パルス方式による距離測定動作試験
- iii) 音圧方式による警報動作試験

4.1.1 地上測定結果

- a) スピーカ音の伝搬特性結果は図 7 に示した。
- b) パルス方式による測距データは表 2 に示した。100m を除き，計数表示の 1 カウント（1 m に相当）の誤差である。100m は巻尺による距離測定の誤差も影響していると思われるが不明である。
- c) 音圧方式による警報動作試験：図 7 の 50m 位置の音圧レベルを閾値として，自動車を

表 1 地 上 装 置

超 信 音 号 波 処 受 理 部	受信周波数 (フィルタにより選択)	10, 17, 25 KHz 非同調 (5~30 KHz)
	変調感度 (選択)	音圧変化 0~20 dB で 100~100 Hz " 0~40 dB で 100~100 Hz
	受信感度 最大受信音圧レベル	音圧レベル 30 dB (電圧 10 μ V) 120 dB 但し 0 dB=0.0002 μ br
	マイクロホン	無指向性 コンデンサマイクロホン
無 線 送 信 部	送信周波数 " 電 力 変調方式 最大変調周波数	162~172 MHz 帯 100 mW FM. 30 KHz
電 源	D. C. 12V, 自動車用電源	

機 上 装 置

超 音 波 送 信 部	超音波発振周波数 電 気 出 力 波 形	105 17, 25 KHz (選択) 30W 連続波 又はパルス波 (周期 1/3 秒, パルス幅 1/15 秒)
無 受 信 線 部	受信周波数 総合感度	162~172 MHz 帯 -80 dBm
警 距 報 表 示 部	メータ・リレー 警 報 測 距 表 示 クロック周波数	音圧レベル表示 { 0~20 (dB) (選択) { 0~40 (dB) ブザー又はランプ表示 10進 2桁 (表示管) 340 Hz (1m/1カウント)
電 源	D. C., 24V, ヘリコプタ電源を使用	

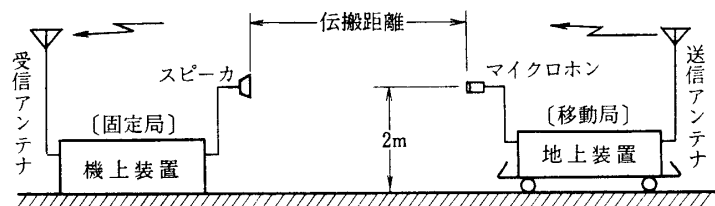


図 6 試作装置特性の地上測定構成図

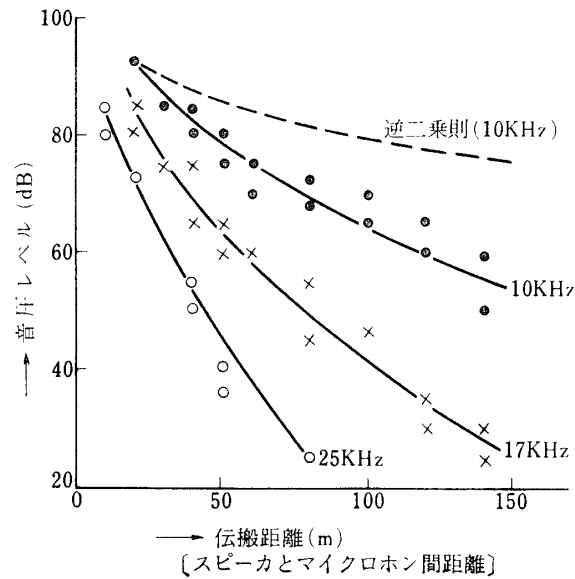


図 7 試作装置音響出力の伝搬特性測定結果 (地上)

表 2 超音波パルス伝搬方式による測距例

測定距離 (m)	パルス方式による測距結果 (m)		
	10 KHz	17 KHz	25 KHz
10	11~12	11~12	10
20	20~21	20~21	20
40	40~41	40	レベル不足
80	79~80	79~80	〃
100	96~97	96~87	〃

表 3 ヘリコプタ騒音と試作装置スピーカ音の測定点音圧レベルの比較

*音源	ヘリコプタ位置	
	伝 搬 距 離	
ヘリコプタ 川崎式ベル47G 2 騒音	20 m	50 m
	77 (dB)	60~64 (dB)
ヘリコプタ47G 3 B 騒音	20 m	50 m
	73	61~64
試作装置 スピーカ音 (電気入力 30 Watt)	20 m	50 m
	95	80

* 測定用フィルタ (1/3oct.) 10kHz を使用

移動 (50km/hr) した結果, 警報動作設定位置に対し $\pm 5\text{m}$ 以内で警報動作を行なった。

ここで試作装置をヘリコプタに搭載した場合, ヘリコプタ騒音中で, スピーカ音による音圧方式警報動作, パルス方式による測距などが行なえるか, 否か検討する。

さきに行なったヘリコプタ騒音の伝搬特性例図 3 と, スピーカ音の伝搬特性例図 7 から, 音源から同じ距離の測定点の音圧レベルを比較のため表 3 に示した。参考のため後日測定した値 (図 10(b)) も記載した。

スピーカ音による音圧レベルがヘリコプタ騒音に比べ 15~20dB 高いことがわかる。

A(dB), B(dB) の二つの音圧レベルを加算した音圧レベル Z(dB) は, $A - B$ が 10~20 dB もあると, $Z \approx A$ となる。すなわち, ヘリコプタ騒音と, スピーカ音の合成音圧レベルは,

スピーカ音のみによる値とみなしてもよいであろう（表 3 の場合）。

したがって、試作装置はヘリコプタ騒音中でも、使用が可能であろうと判断した。

4.3 試作装置・ヘリコプタ搭載実験

前節で述べたごとく、試作装置の諸特性、動作が、ヘリコプタ騒音中でも悪影響を受けないと推定したので、下記項目について測定を行なった。

- ヘリコプタ騒音、および同騒音中のスピーカ音の伝搬特性の測定
- 音圧方式による警報動作
- パルス方式によるヘリコプタ騒音中における測距性能
- ヘリコプタ騒音の指向特性の測定

ヘリコプタには、ベル 47-G 形とともによく使用される 47G 3 B 形を使い、図 8 に示した構成図で測定した。スピーカ、ヘリコプタ側受信アンテナの着装状況は写真 1 (a)、ヘリコプタ飛行状況と測定器との関係は写真 1 (b) に示した。

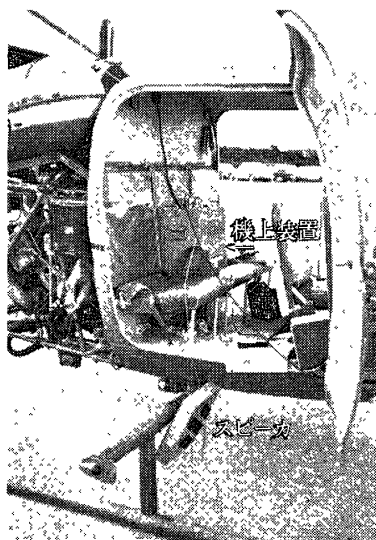
ヘリコプタの飛行方法は、農薬散布時と同じようなデータが得られるようにするために、図 8 中の、地上に画かれた飛行座標上空を高度 7 m、速度 50km/hr で飛行するようにした。

すなわち、図 8 中、+Y(150m) から、-Y(-50m) に向けて飛行し、X 方向は順次 $X=0$, 20, 40, 60 の座標上を飛行するものである。

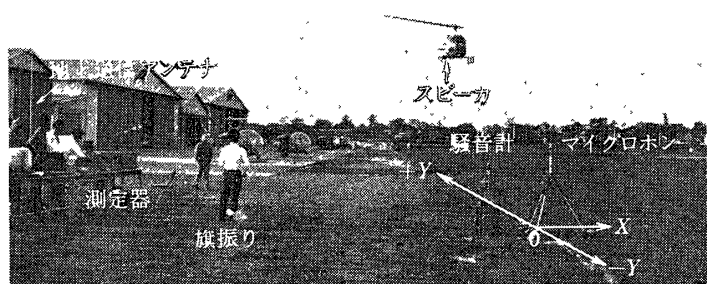
マイクロホンは、 $X=0$, $Y=0$ の測定点に受波面を $X=0$ m, $Y=50$ m, $Z=7$ m 方向に向けて設置し、ヘリコプタが警報位置にきた時、測定レベルが最大となるようにした。

ヘリコプタが、Y 方向 150, 100, 50, 0, -50m 地点の上空を通過する時期は、それぞれの位置に待機している旗振りにより確認し、データレコーダ、ペンレコなどのマーカとして記録した。

使用周波数は 10, 17KHz を用いた。25KHz は図 7 から、ヘリコプタ騒音に比べて、レ



(a) スピーカ・機上装置の
着装状況



(b) ヘリコプタ・マイクロホン・測定装置状況

写真 1 試作装置によるヘリコプタ騒音測定状況

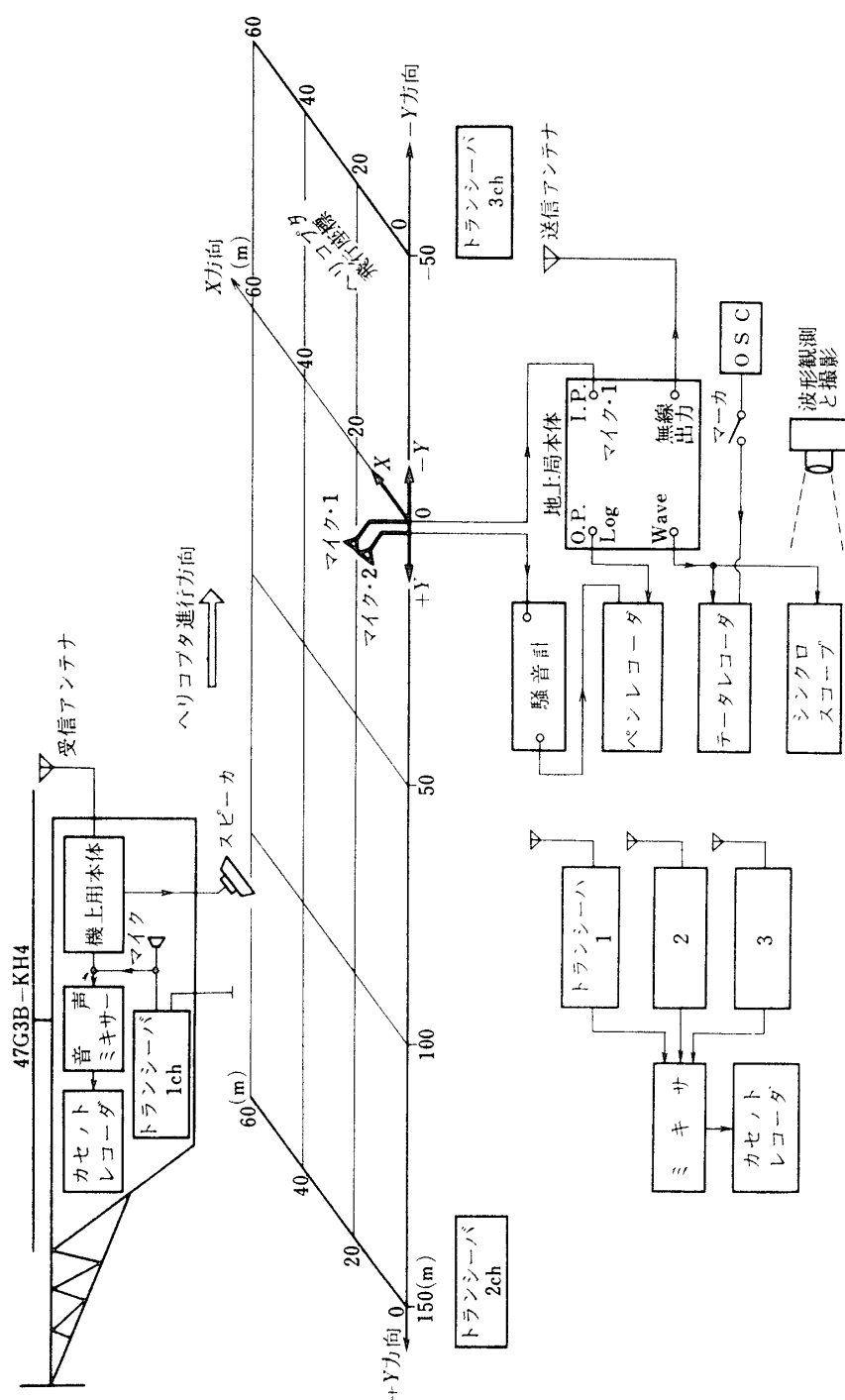


図 8 試作装置のヘリコプタ搭載実験構成図

ベル不足がわかったので使用しなかった。

4.3.1 各種音源の伝搬特性

測定結果から次の事がわかる。

i) 音源を変えた場合の伝搬特性を図 9 に示した。

ヘリコプタ騒音と比べ、スピーカ音が加わると、音圧レベルが 10~20 dB 程増加する。

なお、(a)、(b) は、同じ条件で測定した場合の伝搬特性の違いをみるために示した。(b) では不規則な変動が多い。

ii) X 方向を変化させて、ヘリコプタ騒音レベルを測定したデータの脈動分等を平滑化して、作図したものを図 10 に示す。図 11 に、この時の X=20 における生の記録データを示した。

iii) 2 章の実験とことなり、ヘリコプタ騒音とマイクロホンの指向特性の影響が表われ、測定した騒音レベルの指向性が求められた (図 15)。

4.3.2 音圧方式による警報動作

測定結果図 9 の 50m 地点の音圧レベルを機上装置のメータリレの警報閾値として、ヘリコプタを飛行させて、警報動作点を求めた。

ヘリコプタ騒音の場合 70m、スピーカ音は 40m となった。図でもわかるように、音圧レベルが不規則に変動しているためと思われる。

4.3.3 パルス方式による測距動作

ヘリコプタを Y(+150m) から、測定点上空に近ずけながら、パルス方式による測距動作を行なったが、ミス計数が多く測距不能であった。

なお、ヘリコプタを地上 80m 遠方に着地させ、エンジンを停止すると、測距が正しく行なわれた。

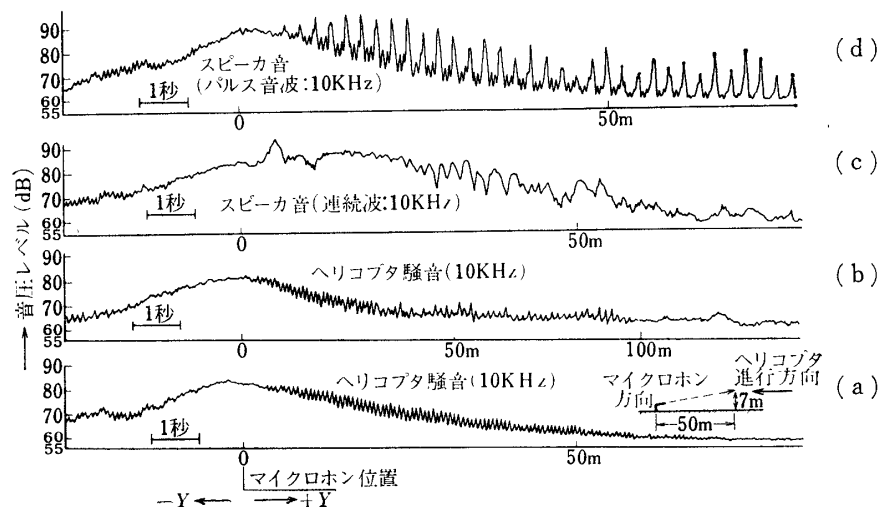


図 9 音源を変えた時の伝搬特性 (下から a, b, c, d の順)

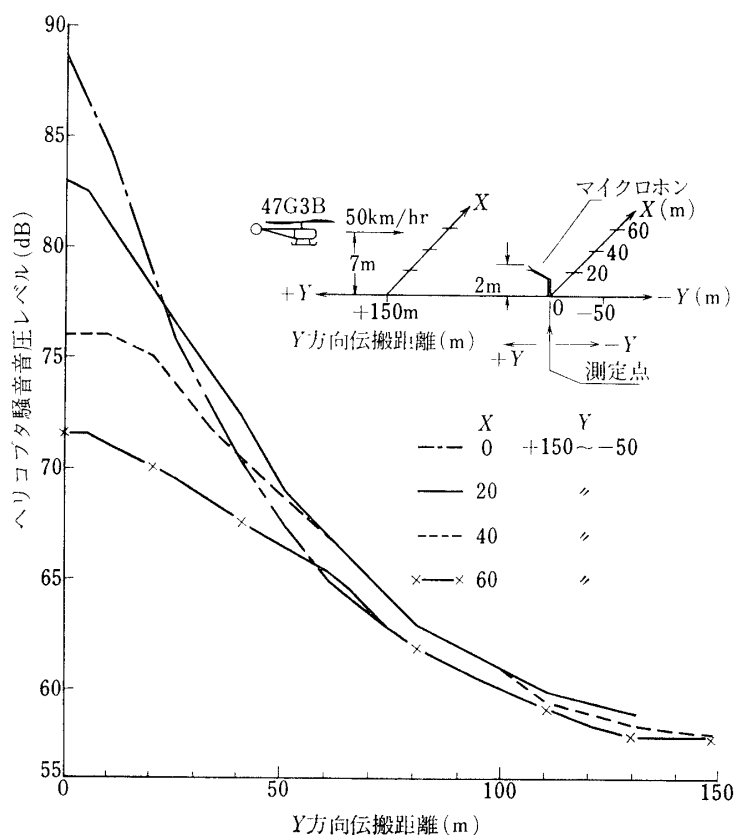


図 10 ヘリコプタ騒音伝搬特性 (フィルタ 5~35kHz)

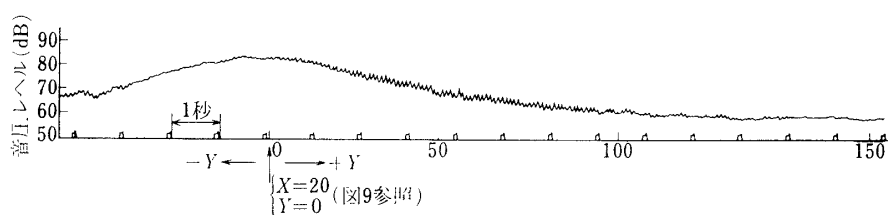


図 11 ヘリコプタ騒音伝搬特性 (フィルタ . 5~35kHz)

4.3.4 マイクロホン、スピーカ、およびヘリコプタ騒音の指向特性

試作装置に使用したコンデンサマイクロホン、スピーカの指向特性を無響室でパルス音波で測定した結果を図 12, 13 に示した。

ヘリコプタ騒音の指向特性の測定は、ヘリコプタを $Y=50$ 、高度 7 m でホバリングさせ、1 周約 10 秒で回転させパルス音を発射しながら測定した。スピーカと、ヘリコプタ騒音の指向特性が同時に求められる。測定結果は図 14 に示した。なお、図 10 を基に、測定点から同一距離に位置するヘリコプタからの騒音レベルを角度を変えて求め、グラフにしたのが図 15 である。図 14, 図 15 と比較すると大体の形状は似ているのがわかる。

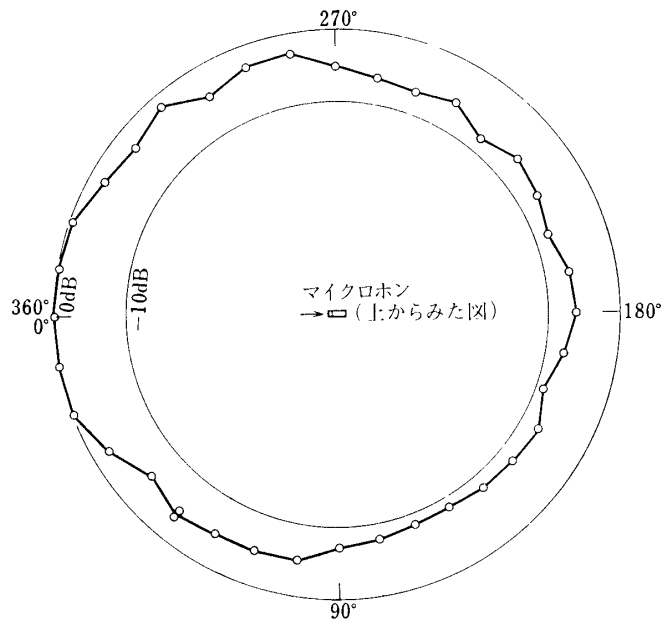


図 12 試作装置：騒音レベル測定用のマイクロホン指向特性 (10kHz, パルス)

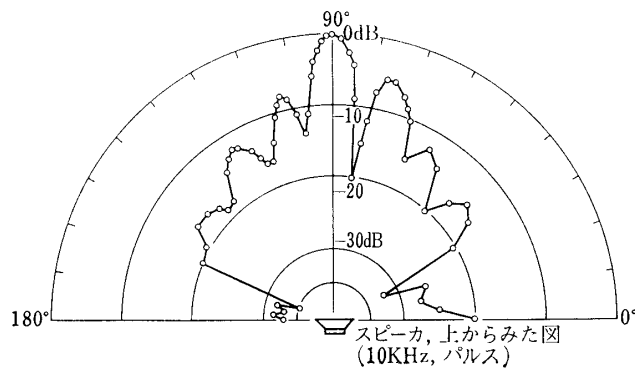


図 13 試作装置：ヘリコプタ搭載用のスピーカ指向特性 (10kHz, パルス)

5. 音圧方式およびパルス方式の実用化の可能性について

a) 音圧方式による実験例の検討

音圧方式による障害物接触事故防止装置方式は、ヘリコプタ騒音または、スピーカ音の伝搬特性が、1.1に述べたように、逆二乗則や、大気吸収によって、単純に減衰すること、湿度、風、または音響的出力などの変動がないか、または変化が少なく、再現性が良く、測定点の音圧レベルと、ヘリコプタ位置との対応が精度よく得られるということが、望ましいことである。

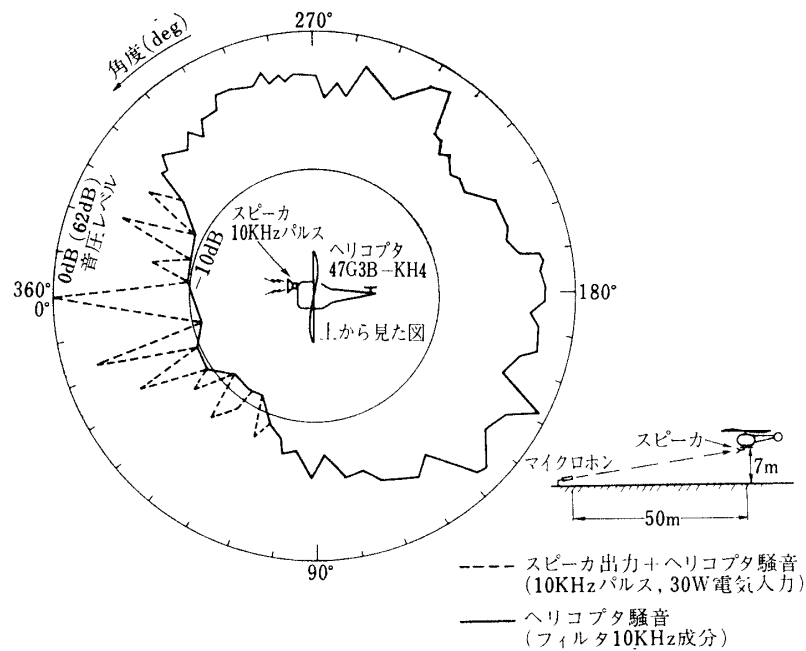


図 14 ヘリコプタ (47G 3 B—KH4)
騒音の指向特性 (10kHz 成分)

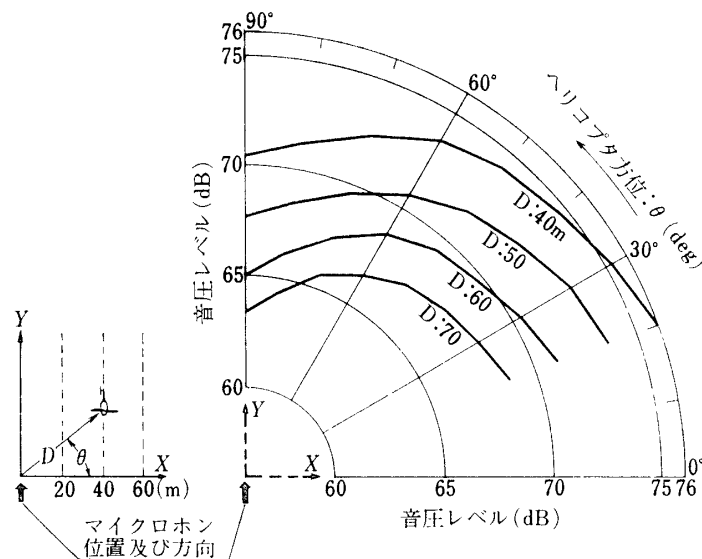


図 15 ヘリコプタ騒音指向特性 10kHz

しかし、伝搬特性の測定例をみると、規則的に変化する変動や、不規則な変動が重なり、複雑な変動をする例が多い。

音圧方式によるヘリコプタ位置の検出法は、音圧レベルの変動が複雑でない図 3, 9 (a)

の場合は、50m 近辺で約 ± 5 m の範囲内で、ヘリコプタ位置を求めることができると推定される。

しかし、音圧レベルの変動に、不規則な成分が多い図 9 (b) では、50m の警報動作位置の設定に対し、ヘリコプタを飛行させた実験では、40, 70m の警報位置となった。

伝搬特性の平滑性は、ヘリコプタ騒音のみのが、スピーカ音を加えた場合に比べ良い結果が得られた。

周波数、出力が安定な外部音源を使用して S/N を増加し、最適周波数の選択をおこない、警報動作の精度ならびに信頼性の向上を計ろうとした試みはうまくいかなかった。

以上音圧方式では、伝搬特性の変動のため、精度良くヘリコプタ位置をもとめることはむずかしい。しかし、ヘリコプタの警報位置は、数 m の精度で合う必要はないことから図 10 を基に、音圧方式による警報装置について実用性の検討を 5.1 で行なった。

b) パルス方式による実験例の検討

ヘリコプタ騒音がない場合、パルス方式による測距はカウンタの計数誤差 (1 カウント = 1 m) の精度であった。しかし、ヘリコプタ騒音中では、測距が不可能であった。

シンクロスコープで受信波形を観測すると、スパイク状の雑音が、パルスと同程度のレベルで混っており、これで計数回路をトリガしてしまう結果、計数動作が不可能になる。

パルス音波の平均レベルは、ヘリコプタ騒音の平均レベルより 10~20 dB 高いので、音圧レベルとしては十分である。したがって、電子回路の改善によってスパイク性ノイズを除去すれば、ヘリコプタ騒音中においても、パルス方式の動作が行なえるはずで、現在検討* がおこなわれている。

5.1 音圧方式による実用化の検討、

マイクロホン 1 個の場合

図 16 は、図 10 のグラフから、同じ音圧レベルが得られるヘリコプタ位置を、ヘリコプタ飛行座標上にグラフで表わしたものである。

警報動作閾値が定めれば、図 16 から、警報動作を行なう Y 方向の位置が求まる。

たとえば、警報動作閾値を 66dB と定めると、警報装置は X=20 の Y 軸上 65m で、X=60 の Y 軸上では、53m で警報動作を行ない、警報位置の最近地点は 53m、最遠地点は 65m となる。この例で、もしヘリコプタとマイクロホンの指向特性が左右対称であれば、マイクロホン 1 個の使用で、X 方向 ± 60 m、Y 方向最近地 53m、最遠地 65m の範囲について警報動作を行なうことができる。

しかし、先に述べた如くヘリコプタ騒音の伝搬

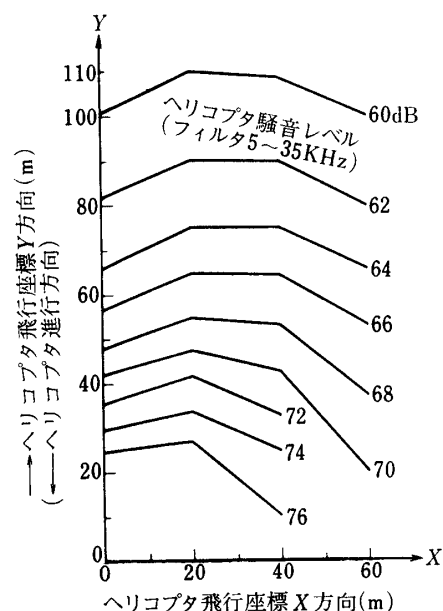


図 16 警報動作閾値と警報動作範囲の決定用ヘリコプタ騒音伝搬特性

* 相模工業大学 伊藤益敏助教授、工学院大学織野善夫助教授が担当

特性は、気象条件、波の干渉などで左右され、同じ伝搬距離でも、ある地点の音圧レベルは一つの値とならず、幅をもっている。また逆に、音圧レベルに対する伝搬距離も一地点ではなく、ある幅をもつことになる。

例えば実験結果 4.3.1 から、66dB の音圧レベルが得られる伝搬距離の幅を求め図 17 の太点線で示した。66dB が得られるヘリコプタ位置は、この点線の範囲内にある。

したがって、図 17 のようにヘリコプタが飛行する場合、機上装置の警報閾値を 66dB に設定すると、警報動作を行なう位置は、選定位置の約 $\pm 15\text{m}$ 以内におさまる。

実用的には、X 方向の警報範囲を増加する場合も多いと思われるが、その場合には、マイクロホンを適宜増加していくことによって解決される。

5.2 パルス方式による警報方式の実用化の検討

パルス方式によれば、測距精度は誤差 1 m ほどである。したがって警報精度もよいはずである。しかし、実用上次のような理由から誤差が含まれるようになる。

ヘリコプタは図 17 で示したように、飛行するので、パルス方式では、Y 軸方向のみの測距値で警報閾値を決めると、ヘリコプタ飛行座標が、 $X=0$ 以外の場合、警報位置と警報動作をおこなう位置とは異なってしまう。

図 18 で警報位置を $Y_0(\text{m})$ とする。ヘリコプタが A 点にきたときは、 Y_0 と測距離の値が等しい。しかしヘリコプタが B の位置にきたときは、ヘリコプタは警報位置にあるにもかかわらず、測距離値はまだ、警報閾値に達せず、結局、障害物に $\Delta y_0(\text{m})$ 接近した C 点に到達して、測距離と、閾値距離が一致して、警報動作を行なうことになる。

ヘリコプタ飛行座標 X 方向位置とこれらの関係を求めると、次式で与えられる

$$y_0 = x \tan(\cos^{-1} x/Y_0)$$

ただし x : ヘリコプタ飛行座標 X 方向位置

Y_0 : 警報位置

y_0 : Y_0 を閾値とした時の警報動作位置

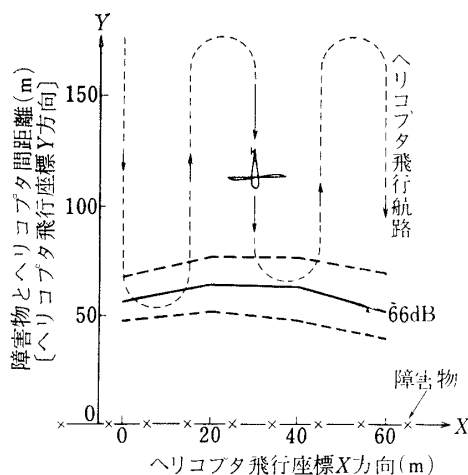


図 17 音圧方式による警報範囲の例

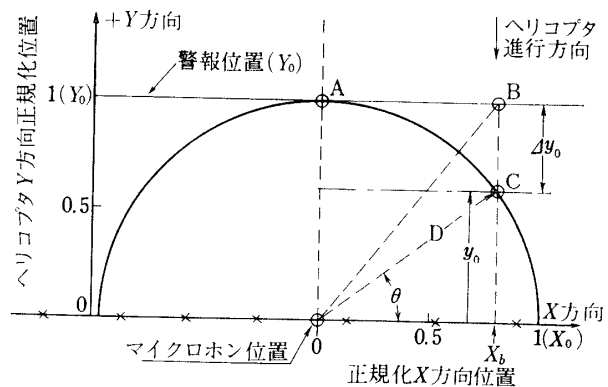


図 18 パルス方式による警報位置の誤差

これから、ヘリコプタ飛行座標の X 方向位置が変わった場合の、警報位置 Y_0 と実際の警報位置 y_0 との関係を、 X 方向も x/Y_0 で正規化して図 18 中に円で示した。

これからわかるように、パルス方式では、測距精度は高いが、警報位置は、警報動作位置と異なってしまうからマイクロホンの数を増やして、適当な処理を行なう必要がある。

む す び

農薬散布作業中のヘリコプタが、送電線や立木などの障害物に接触する事故を防ぐ方法として、ヘリコプタ騒音の伝搬特性をあらかじめ測定しておき、ヘリコプタが、障害物を回避すべき位置（警報位置）の音圧レベルを、閾値として警報動作を行なわせる方式と、パルス音波伝搬時間測定法による警報方式について、その原理と測定例について述べた。

実験用装置の試作をおこない実用化をはかるため、次の測定と検討を行なった。

- i) ヘリコプタ騒音の伝搬特性の測定
- ii) ヘリコプタ騒音の周波数分布の測定
- iii) ヘリコプタ騒音の指向特性の測定
- iv) 音圧方式による警報動作試験
- v) パルス方式によるヘリコプタと障害物間距離の測定
- vi) 音圧方式とパルス方式の実用化の検討

音圧方式では、伝搬特性に変動があり、たとえば、ある音圧レベルを与えるヘリコプタ位置は一点でない、たとえば 50m 近辺では、条件によっては、40m から、70m の範囲で同じ音圧レベルを測定点（マイクロホン位置）に与えることになる（図16参照）。

しかし、このような変動を明らかにしておけば、音圧レベルを測定することによって、実用的な範囲内でヘリコプタを確実に、障害物から回避させることができることを示した。

パルス方式は、測距精度は高いが、警報動作では実用上誤差が生じる。

なお、マイクロホンを複数個使用して、警戒範囲を拡張精度の向上等の手段が当然とられるが、具体的な方法については、さらにヘリコプタ特性の測定を重ねてから行なう予定である。

謝 辞

本報告を書くにあたり、資料を使わせていただいた財団法人航空振興財団“ヘリコプタ障害物接触事故防止装置開発委員会”の各委員に深謝申し上げます。また委員会の運営にあられた財団の伊牟田課長（現羽田トレーニングセンタ所長）に感謝いたします。

1973年 5 月 10 日 計測部

参 考 文 献

- [1] 石井聖光，平野興彦，丹羽 登，佐下橋市太郎
ヘリコプタ雑音の超音波領域での測定 日本音響学会講演論文集 昭44年 5 月，1-3-17
- [2] ヘリコプタ障害物接触事故防止委員会報告書 昭和48年作成予定
- [3] 例えば超音波技術便覧，Ⅲ-1 超音波ソーナール，P. 616，日刊工業新聞社，昭和 41 年改訂版