

# 宇宙航空研究開発機構研究開発資料

## JAXA Research and Development Memorandum

---

クレーンを用いた航空機騒音伝搬特性計測飛行実験

石井 寛一, 五味 広美, 奥野 善則

2008年2月

宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

クレーンを用いた航空機騒音伝搬特性計測飛行実験

Flight Tests using Cranes to Measure the Effect of Propagation  
on Aircraft Noise

石井 寛一<sup>\*1</sup> 五味 広美<sup>\*1</sup> 奥野 善則<sup>\*1</sup>  
Hirokazu ISHII<sup>\*1</sup> Hiromi GOMI<sup>\*1</sup> and Yoshinori OKUNO<sup>\*1</sup>

\* 1 総合技術研究本部 飛行システム技術開発センター  
Flight Systems Technology Center, Institute of Aerospace Technology

2008年2月

February 2008

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 実験方法 .....	2
2.1 地上計測システム .....	3
2.2 機体搭載システム .....	4
2.3 実験場 .....	4
2.4 実験ケース .....	5
3. 結果 .....	7
3.1 クレーンによる音源騒音計測の有効性 .....	9
3.2 斜め伝搬特性 .....	9
3.3 水平伝搬特性 .....	9
4. おわりに .....	11
参考文献 .....	12

# クレーンを用いた航空機騒音伝搬特性計測飛行実験\*

石井 寛一<sup>\*1</sup>, 五味 広美<sup>\*1</sup>, 奥野 善則<sup>\*1</sup>

Flight Tests using Cranes to Measure the Effect of Propagation on Aircraft Noise \*

Hirokazu ISHII<sup>\*1</sup>, Hiromi GOMI<sup>\*1</sup> and Yoshinori OKUNO<sup>\*1</sup>

## Abstract

Since noise issue is a key impediment to the widespread use of aircraft, noise abatement flight is one of the solution as well as reduction at source. In order to establish noise abatement flight procedures, it is necessary to develop a precise noise model to predict source noise and the propagation effects. Although noise levels need to be measured at both the source and the observer to obtain propagation effects, it is unable to measure noise levels emitted from source flying in the air by ordinary method. In the experiment shown here, microphones were fixed at the boom top of cranes to measure noise at nearer positions to the source. The propagation effects were estimated from the difference between noise levels at the crane microphone and the ground microphones. The result shows the relation between sound attenuation and wind condition with smaller ground effects.

## 概 要

航空機による騒音被害の対策の一つとして低騒音飛行方式の開発が進められており、地上騒音予測モデル、すなわち、音源モデルと騒音伝搬モデルの精度向上が必要とされている。騒音伝搬のデータを得るためには、音源と受音点において騒音を計測する必要があるが、航空機の場合には音源が上空にあるため、通常の方法では音源騒音を計測することができない。本実験ではクレーン先端にマイクを取り付けることにより、音源の近くにおける騒音を高精度に計測した。上空の音源から地上へ斜めに伝搬する場合には、地上に配置したマイクの計測値との差から2点間の伝搬減衰を推定し、音源を見上げる仰角が10度以下では順風と逆風で約5dBの差が認められた。また2台のクレーンを用いて高度45mの水平伝搬特性を計測し、地表面の影響を低減して風向による減衰の変化を得ることができた。本資料は、騒音伝搬モデルの開発・検証に資するデータを提供することを目的として、実験方法および結果をまとめたものである。

## 1. はじめに

航空機の活用を阻む要因の一つとして地上の騒音被害が挙げられ、その対策として音源対策、低騒音飛行方式、土地利用計画・管理、運用制限が併用されている<sup>[1]</sup>。騒音問題が特に顕著となる空港周辺では、予測した地上騒音に基づいて飛行経路が設定されており、地上騒音の予測モデルが不可欠となる。地上騒音を高精度に予測するためには、機体（音源）から発生する騒音と、その騒音が地上に伝搬する間に受ける影響の両者の予測精度をバランス良く向上する必要がある。

騒音伝搬モデルの高精度化は、航空機騒音に限らず、自動車や鉄道等の交通騒音、工場騒音等に共通した研

究課題であり、近年では屋外の騒音伝搬にPE (Parabolic Equation) 法等の数値計算を適用し、実測値と比較検証した研究成果が多数報告されている<sup>[2,3]</sup>。しかし、航空機以外の騒音は音源と受音点の両者が地上にあることから、これらの研究も地表面近くの音源を対象としたものが中心となっている。航空機騒音が斜めに伝搬する場合には、減衰量が理論モデルとして確立されている距離減衰と空気吸収減衰<sup>[4]</sup>に加えて、気温分布・風による屈折や地表面による反射・吸収等の影響を受ける。実際の伝搬減衰から距離減衰と空気吸収減衰の理論値を除いたものは過剰減衰等と呼ばれている。文献5では過剰減衰を受音点から音源を見上げる仰角の関数としてモデル化しているが、気象条件によっては誤差が大き

\* 平成20年1月11日受付 (received 11 January 2008)

\*1 総合技術研究本部 飛行システム技術開発センター (Flight Systems Technology Center, Institute of Aerospace Technology)



図1.1 実験用ヘリコプタ MuPAL-ε概観

表1.1 単位換算表

単位	読み	換算値
ft	feet	0.3048m
NM	nautical mile	1852m
fpm	feet per minute	0.00508m/s
kt	knot	0.5144m/s
deg	degree	0.01745rad
rpm	revolutions per minute	0.1047rad/s

くなる場合がある。航空機騒音の伝搬モデル開発における課題として、以下の2点が上げられる。

第1の課題は、音源から発生する騒音の計測が困難であり、正確に把握できないことが挙げられる。すなわち、騒音伝搬特性は音源側と受音点側の2点の計測値の差から求められているが、航空機騒音では音源が上空を飛行しているため、音源騒音を定量的に計測した例が無い。そのため、文献6では旅客機の発生騒音として機種毎に一定の値を仮定して過剰減衰を推定している。しかし、航空機から発生する騒音は飛行条件に依存するため、算出された伝搬減衰を用いても実際の値と異なる場合がある。

第2の課題は、時々刻々変化する大気条件の影響をモデル化することである。航空機の騒音は遠方まで伝わるため、伝搬経路上の温湿度および風向風速等の大気条件の影響を強く受ける。しかし、現在一般的に使用されているモデル<sup>[7]</sup>では、長い期間における平均的な騒音に対する暴露を予測することを目標としており、短期間（飛行中、1日等）における気象の変動の影響は考慮していない。一方、地上の音源と受音点の間の伝搬減衰の風による変動は、伝搬距離が100m程度でも10～20dBになるという計測結果が報告されている<sup>[8]</sup>。

宇宙航空研究開発機構（以下、JAXAという）では低騒音飛行の研究を進めており<sup>[9]</sup>、これまでに騒音予測モデルの開発のための飛行実験を実施してきた<sup>[10-12]</sup>。本資料で報告する飛行実験は、その一環として、騒音伝搬モデルの開発・検証に供するデータを取得することを目的

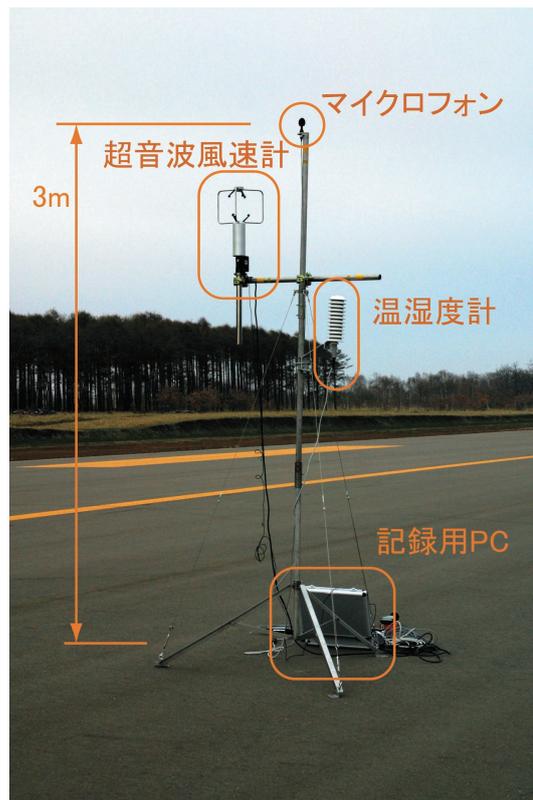


図2.1 地上計測システムの設置状況

とした。JAXAが運用する実験用ヘリコプタ MuPAL-ε (図1.1, 文献13) を音源とし、クレーン先端に固定したマイクを用いて上空の音源側と地上で同時に騒音を計測することにより、高精度な伝搬特性データを取得した。

なお本資料で用いられる単位はSI単位系に準拠するが、航空機関連で用いられる単位については、慣習的に用いられる単位を併用して表す。主な単位のSI単位系への換算を表1.1に示す。

## 2. 実験方法

本実験の目的は、上空の音源から発生した騒音が地上の計測地点に伝搬する間に受ける影響を高精度に計測することである。本実験では、クレーン先端にマイクを固定することによって音源、すなわち、ホバリングする実験用ヘリコプタから発生する騒音を計測し、地上に配置したマイクで計測した騒音との差から伝搬特性を計測した。なお、本実験ではクレーンから水平距離約100mの点でホバリングを行うため、最低安全高度以下の高度で飛行（低空飛行）することについて、航空法第81条ただし書きの規程による許可を得て実施した。また滑走路上に騒音計測システムおよびクレーンを配置しているため、滑走路西側の草地からの場外離着陸の許可を得て実施した。

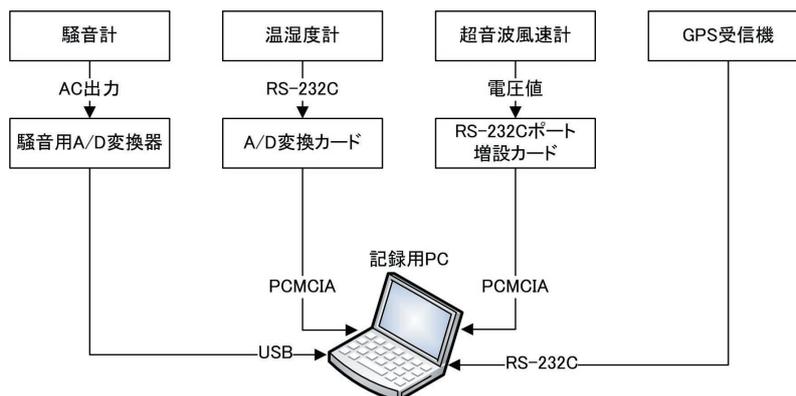


図2.2 地上計測システムの構成

表2.1 地上計測システムの構成部品

品名	メーカー	型番	備考
騒音計 (マイク)	Brüel & Kjær	Type 2236 Type 2238	
	リオン	NL-31	
超音波風速計	Young	CYG-81000	RS-232C 経由で記録
温湿度計	クリマテック	HMP45A	A/D 変換器経由で記録
記録用PC	Panasonic	ToughBook	OSは Windows XP
騒音用A/D 変換器	M-Audio	Transit USB	チャンネル数：2 サンプリング周波数：48kHz 量子化：16bit
温湿度用A/D 変換器	RATOC	REX-5054U	サンプリング周波数10Hz
GPS 受信機	システムプロデューサアソシエイツ	EasyTime	GPS ボードは Garmin GPS15H
RS-232C 増設カード	CONTEC	COM-4(CB)H	

## 2.1 地上計測システム

図2.1に本実験で用いた地上計測システムの設置状況を示し、図2.2にシステム構成を示す。本実験では、計測地点間が最大で800m離れていることと、飛行中に計測地点を移動することを考慮して、各計測地点で独立して計測するシステムを用いた。表2.1に各機器の詳細を示す。電源の無い屋外で使用するためにバッテリーによる動作が可能な機器を選定した。騒音に加えて温湿度および風向風速を計測した。各計測システム間および機体計測データとの時刻同期のために、GPSを用いて実験前に記録用PCの時刻合わせを行い、実験中はGPS時刻も同時に記録した。

図2.3のクレーンの設置状況に示すように、マイクはクレーンのブーム先端に固定した支柱およびクレーンから吊り下げたロープに取り付けた。図2.4に示すようにクレーン先端の支柱には温湿度計と超音波風速計も取り付けられた。また記録用PCを搭載するための架台を製作しクレーンに取り付けた。

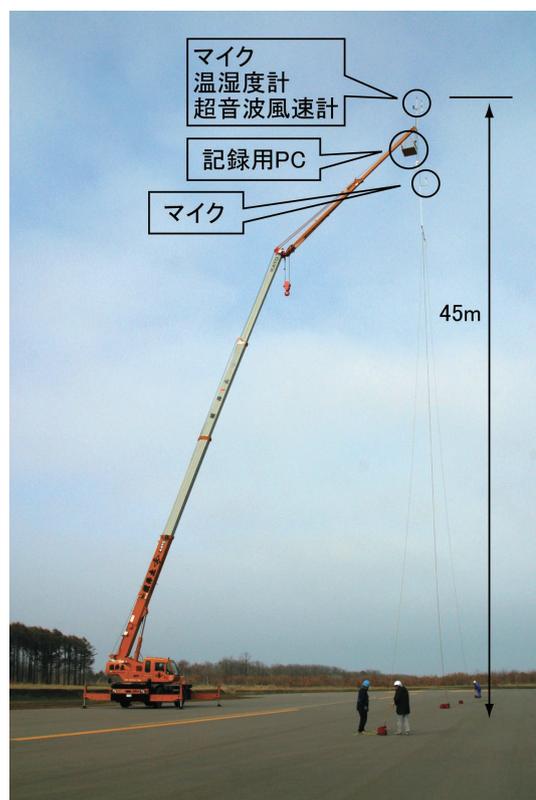


図2.3 クレーンを用いたマイクの設置状況

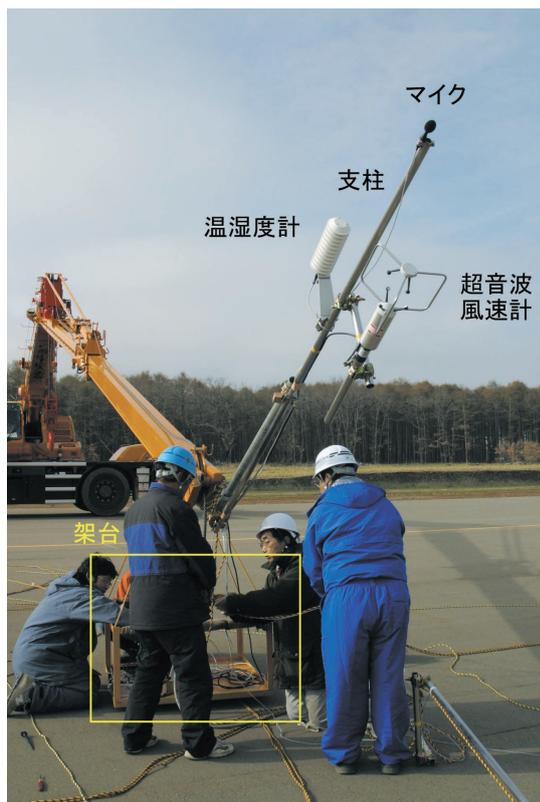


図2.4 マイク取り付け作業

## 2.2 機体搭載システム

表2.2に実験用ヘリコプタ MuPAL-εの主要諸元を示す。MuPAL-εに標準装備されている実験システムのうち、計測システムおよびコックピット・ディスプレイ・システムを使用した。機体の位置・姿勢の計測に使用したDGPS/INS (Differential Global Positioning System/ Inertial Navigation System) 複合システムでは、INSのドリフト誤差をDGPSで補正し、かつINSによる高レート出力が得られる。このシステムの仕様精度は水平方向1m、垂直方向2m (文献13) であり、データ出力のレートは50Hzである。

MuPAL-εの計器板には、実験内容に応じて表示方法をプログラムすることが可能なディスプレイが搭載さ

表2.2 実験用ヘリコプタ主要諸元

型式	三菱式MH2000A型
最大離陸重量	4500kg
エンジン	双発MG5-110 2×876shp
メイン・ロータ	
半径	6.1m
翼弦長	0.40m
ブレード枚数	4
回転数	317rpm
テール・ロータ	
半径	0.55m
翼弦長	0.087m
ブレード枚数	10
回転数	3500rpm
性能	
最大水平速度	140kt
最良上昇率速度	70kt

れている。本実験ではホバリング高度の維持を高精度に行うために、ディスプレイ上の高度計の感度を10倍 (通常は長針1周が1000ftだが、本実験では長針1周が100ft) に設定した。パイロットはディスプレイおよび下方カメラによる映像を参考にしてホバリング位置に移動し、実験中は外視界を確認して飛行した。

## 2.3 実験場

本実験は北海道大樹町の多目的航空公園 (以下、航空公園という) で実施した。図2.5に航空公園の概観 (平面図) を示す。航空公園は長さ1000m、幅30mの舗装した滑走路を有しており、滑走路の周囲は長さ1360m、幅120mの草地 (着陸帯を含む) となっている。滑走路は東側が低く、その勾配は0.37%である。図2.6に滑走路に直交する断面を示す。滑走路中心線が最も高く、両側に向かって滑走路上は1.3%、草地は2.5%の勾配となっている。草地の周囲は1~1.5mの段差があり、さ

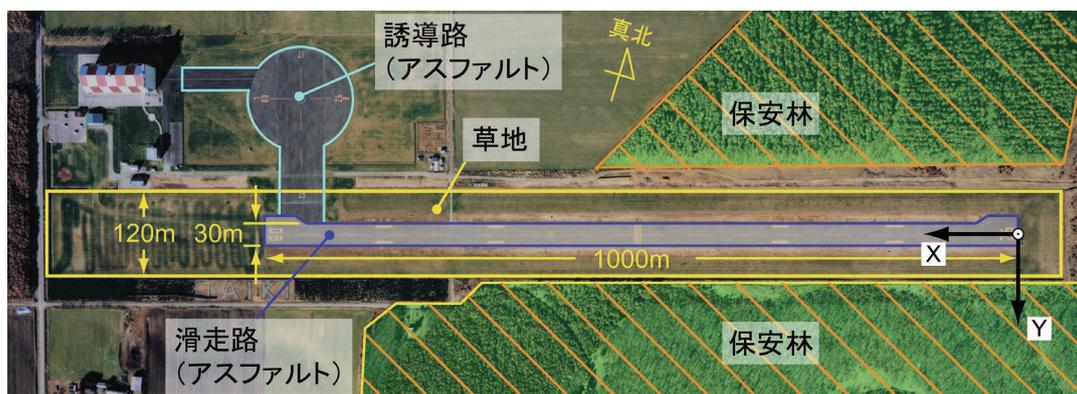


図2.5 大樹町多目的航空公園の概観

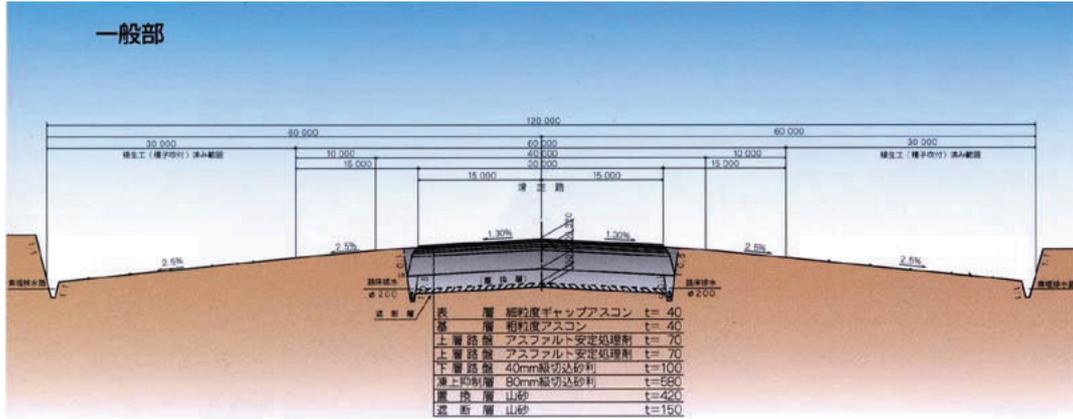


図2.6 航空公園の断面（提供：大樹町）

らに外側は保安林（高さ約10m）等がある。

本資料で用いる座標系は、図2.5に示すように滑走路の東端を原点とする右手直交座標系で、滑走路方向をX軸の正、南側にY軸の正、上方にZ軸の正とした。なおX軸は滑走路両端を通るため、上述したように局所水平に対して0.37%傾くことになる。

2.4 実験ケース

表2.3～2.5に本実験で実施したケース一覧を示す。機体から発生する騒音は、メイン・ロータの騒音が特に大

きいことから、機体の高度をメイン・ロータ・ハブの中心の高度とした。以下に各ケースの詳細を述べる。

斜め伝搬特性計測 (SL)

斜め伝搬特性計測の実験ケースは、地面性状がアスファルト（滑走路）と草地、ホバリング位置が東側と西側（伝搬方向が東⇒西および西⇒東）をパラメータとし、さらにマイクから機体を見上げる仰角の条件を増やすためにクレーンの高さを変えて設定した。図2.7(a)に機体とマイクの配置の平面図を示す。クレーンは1台で、ホバリング位置に合わせて移動して計測した。前節

表2.3 実験ケース一覧（クレーン1台を使った斜め伝搬特性計測）

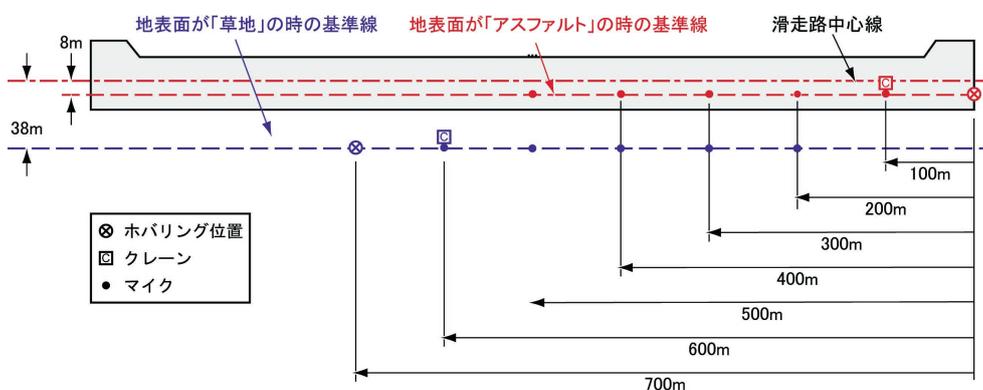
ケース	地表面	伝搬方向	高さ	機体位置		クレーン		地上計測点					計測時間 [分]		
				X [m]	Z [m]	X [m]	マイク高度 [m] Ch1/Ch2	X [m]	X [m]	X [m]	X [m]	Z [m] Ch1/Ch2			
SL1-AEH	アスファルト Y=8m	東⇒西	高	0	53.3 (175ft)	100	43/36	200	300	400	500	3/0.03	10		
SL1-AEL			低											30.5 (100ft)	24/17
SL1-AWH		西⇒東	高	700	53.3 (175ft)	600	43/36								
SL1-AWL			低											30.5 (100ft)	24/17
SL2-AE1H	アスファルト Y=8m	東⇒西	高	300	54.9 (180ft)	400	45/26	500	600	700	800	3/1.5	2		
SL2-AE1L			低											30.5 (100ft)	
SL2-AE2			高	200	67.1 (220ft)										
SL2-AE3			高	0	88.4 (290ft)										
SL2-GE1H	草地 Y=38m	東⇒西	高	300	54.9 (180ft)	400	45/26	500	600	700	800	3/1.5			
SL2-GE1L			低											30.5 (100ft)	
SL2-GE2			高	200	67.1 (220ft)										
SL2-GE3			高	0	88.4 (290ft)										
SL3-AEH	アスファルト Y=8m	東⇒西	高	0	50.3 (165ft)	100	45/26	200	400	600	900	3/1.5	2		
SL3-AEL			低											27.4 (90ft)	28/9
SL3-AWH		西⇒東	高	1000	50.3 (165ft)	900	45/26							100	800
SL3-AWL			低												
SL3-GEH	草地 Y=38m	東⇒西	高	0	50.3 (165ft)	100	45/26	200	400	600	900				
SL3-GEL			低												
SL3-GWH		西⇒東	高	1000	50.3 (165ft)	900	45/26							100	800
SL3-GWL			低												

表2.4 実験ケース一覧（クレーンを使わない水平伝搬特性計測）

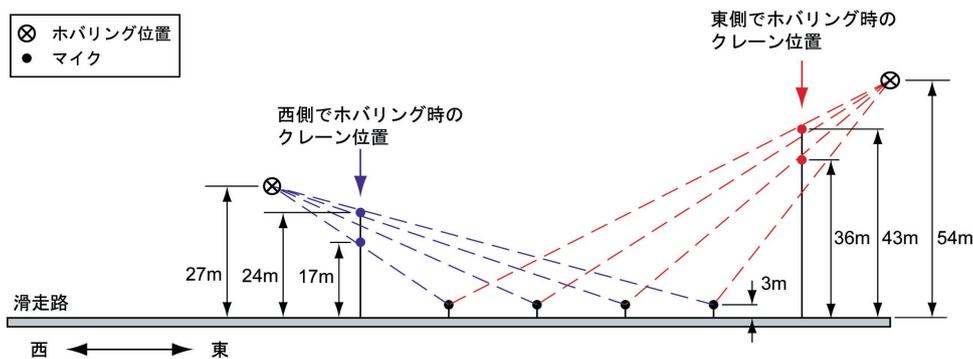
ケース	地表面	伝搬方向	機体位置		地上計測点					計測時間 [分]
			X[m]	Z[m]	X[m]	X[m]	X[m]	X[m]	Z[m] Ch1/Ch2	
HR0-AE	アスファルト Y=8m	東⇒西	0	3	100	200	400	900	3/1.5	5
HR0-AW		西⇒東	1000			600	800			
HR0-GE	草地 Y=38m	東⇒西	0			200	400			
HR0-GW		西⇒東	1000			600	800			

表2.5 実験ケース一覧（クレーン2台を使った水平伝搬特性計測）

ケース	地表面	伝搬方向	高さ	機体位置		クレーン1	クレーン2	マイク高さ	計測時間 [分]		
				X[m]	Z[m]	X[m]	X[m]	Z[m]			
HR1-AEH	アスファルト Y=8m	東⇒西	高	0	45.7 (150ft)	100	900	45/19	2		
HR1-AEL			低							18.3 (60ft)	
HR1-AWH		西⇒東	高								1000
HR1-AWL			低							18.3 (60ft)	
HR1-GEH	草地 Y=38m	東⇒西	高	0	45.7 (150ft)						
HR1-GEL			低							18.3 (60ft)	
HR1-GWH		西⇒東	高								1000
HR1-GWL			低							18.3 (60ft)	
HR2-AEH	アスファルト Y=8m	東⇒西	高	0	45.7 (150ft)	400	45/19	2			
HR2-AEL			低						18.3 (60ft)		
HR2-AWH		西⇒東	高							500	45.7 (150ft)
HR2-AWL			低						18.3 (60ft)		
HR2-GEH	草地 Y=38m	東⇒西	高	0	45.7 (150ft)						
HR2-GEL			低						18.3 (60ft)		
HR2-GWH		西⇒東	高							500	45.7 (150ft)
HR2-GWL			低						18.3 (60ft)		



(a) 平面図



(b) 南側から見た側面図

図2.7 斜め伝搬特性計測の機体およびマイク配置の例

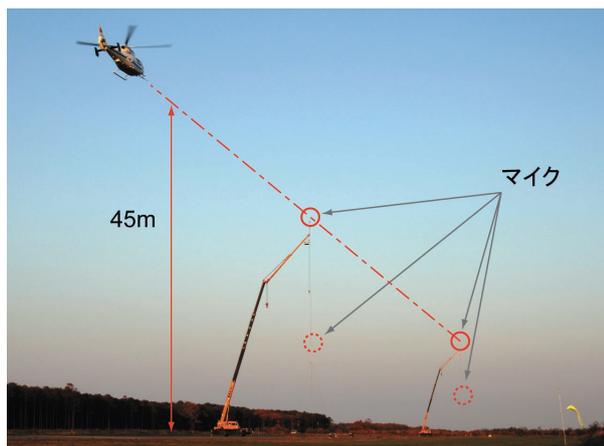


図2.8 水平伝搬特性計測の実施風景

(図2.6) に述べたように、滑走路の断面が中心線を頂点として両側に水勾配があることから、アスファルト上のケース（赤色）では基準線を滑走路中心線の南側（ $Y=8m$ ）に設定した。機体が滑走路東端（ $X=0m$ ）でホバリングし、クレーンが $X=100m$ で音源側の騒音を計

測している。草地上のケース（青色）は、滑走路南側の草地の中央（ $Y=38m$ ）に基準線を設定した。図では西側でホバリングするケースを示している。図2.7 (b) の機体とマイク配置の側面図に示すように、各クレーンおよび地上計測点には2個のマイクを異なる高度に固定した。マイクの高さは表2.3～2.5に示す。

水平伝搬特性計測（HR）

図2.8に水平伝搬特性計測の実施風景を示す。2台のクレーンを滑走路方向に300～800mの間隔で配置し、騒音が上空で水平に伝わる時の伝搬特性を計測した。各クレーンには高度45mと19mの点にマイクを取り付け、各マイクと同じ高度でホバリングした。斜め伝搬特性と同様に地表面がアスファルトと草地の場合について実施した。なお、ケース番号がHR0から始まるっている項目はクレーンを使用しないケースで、機体は地上に接地した状態で機体が浮かない程度にパワを増加した。

3. 結果

本実験では、2005年5月に1台のクレーンを用いた斜

表3.1 斜め伝搬特性計測（クレーン1台使用）の実施結果一覧

Run	実施日	ケース	機体位置 [m]			クレーン						地上計測位置 [m]			
			X	Y	Z	位置 [m]		風速 [m/s]		温度 [°C]	湿度 [%]	No. 1 X	No. 2 X	No. 3 X	No. 4 X
						X	Z	X	Y						
1	5/16	SL1-AEH	-7.4	10.1	53.7	100	43	1.3	-0.2	3.6	86.7	200	300	400	500
2		SL1-AEL	-1.9	12.6	27.0		24	1.3	0.5	3.7	87.2				
3	5/22	SL1-AEH	-4.8	10.6	53.9		43	1.5	-0.8	7.8	81.5				
4		SL1-AEL	-2.0	11.0	31.2		24	2.4	0.1	7.1	84.9				
5		SL1-AWL	697.4	9.3	31.7	600	24	4.4	1.1	7.0	86.6				
6		SL1-AWH	701.2	8.9	54.9		43	6.2	3.0	6.2	91.2				
7	10/22	SL2-AE1H	299.0	10.2	60.7	400	45	3.8	3.1	12.2	88.6	500	600	700	800
8		SL2-AE2	204.0	9.5	71.0		45	3.0	2.3	12.2	88.7				
9		SL2-AE3	2.0	9.5	93.2		45	3.8	3.0	12.2	89.0				
10		SL2-AE1L	305.4	8.9	34.8		28	2.3	2.5	12.3	89.1				
11		SL2-GE1H	301.5	37.1	59.1		45	2.2	3.6	12.3	87.9				
12		SL2-GE2	199.6	39.9	71.5		45	2.0	2.7	12.2	88.0				
13		SL2-GE3	-1.2	40.9	90.9		45	1.9	3.5	12.2	88.1				
14		SL2-GE1L	310.2	35.3	34.6		28	0.5	1.9	12.2	88.4				
15	10/23	SL3-AEH	3.3	4.6	54.3	100	45	-1.1	7.1	10.7	64.2	200			900
16		SL3-AEL	0.6	3.1	31.0		28	-0.7	3.8	10.7	65.6				
17		SL3-GEH	0.1	32.7	53.6		45	-1.0	5.3	10.4	65.7				
18		SL3-GEL	0.7	33.7	30.6		28	-0.7	6.8	10.4	64.9				
19	10/24	SL3-GWH	998.2	37.0	53.8	900	45	-1.4	-4.8	14.0	52.3	100	400	600	800
20		SL3-GWL	998.7	37.3	30.8		28	-1.1	-5.9	13.8	54.6				
21		SL3-AWH	995.9	6.7	53.1		45	-4.4	-5.5	14.8	36.3				
22		SL3-AWL	1000.6	6.6	30.9		28	-2.7	-3.8	15.2	38.4				
23		SL3-AEH	-1.1	5.0	53.3	100	45	-5.1	-4.4	15.3	38.1	200			900
24		SL3-AEL	-1.5	4.8	31.4		28	-5.6	-3.7	15.6	36.4				
25		SL3-GEH	-0.6	35.0	53.6		45	-4.1	-4.6	15.6	35.7				
26		SL3-GEL	-1.5	35.5	30.8		28	-5.9	-2.0	15.7	35.7				

表3.2 水平伝搬特性計測（クレーン無し）の実施結果一覧

Run	実施日	ケース	機体位置 [m]			地上計測	地上計測 (No.1)				地上計測位置 [m]			
			X	Y	Z		位置 [m]	風速 [m/s]		温度 [°C]	湿度 [%]	No.2	No.3	No.4
			Z	X	X	Y		X	X			X		
27	10/24	HR0-GE	1.7	37.6	4.3	3	100	-5.8	-1.8	15.8	39.5	200	400	900
28		HR0-AE	0.6	7.9	3.8			-6.9	-0.8	15.7	40.6			
29		HR0-AW	998.2	8.1	3.5			-5.9	-0.6	15.3	43.3	600	800	
30		HR0-GW	999.1	38.2	3.4			-4.4	-0.6	15.1	43.7			
31		HR0-AW	(1000)*	(8)*	(3)*			-6.1	-0.9	14.7	41.4	200	400	
32		HR0-AE	1.0	8.4	4.4			-4.6	-1.4	13.9	43.9			
33		HR0-GE	2.2	37.4	2.8			-5.3	-1.4	13.5	45.0			

\*HR0-AWは計測不良により目標位置を示した。

表3.3 水平伝搬特性計測（クレーン2台使用）の実施結果一覧

Run	実施日	ケース	機体位置 [m]			クレーン高度 [m]	クレーン No.1					クレーン No.2
			X	Y	Z		位置 [m]	風速 [m/s]		温度 [°C]	湿度 [%]	位置 [m]
			Z	X	X	Y		X				
34	10/27	HR1-AWH	993.8	7.2	47.5	45	100	2.4	-0.5	10.7	56.9	900
35		HR1-AWL	996.3	7.7	19.4	19		2.3	-0.3	10.9	56.7	
36		HR1-AEH	-1.6	7.0	51.2	45		2.2	-0.3	10.8	56.4	
37		HR1-AEL	-0.9	6.5	23.3	19		2.6	-0.6	10.7	57.0	
38		HR1-GEH	2.0	36.5	50.9	45		2.5	1.0	10.8	53.4	
39		HR1-GEL	3.0	36.9	23.1	19		2.4	0.6	10.8	53.5	
40		HR1-GWH	997.4	37.9	47.2	45		2.8	0.2	10.8	52.7	
41		HR1-GWL	996.7	37.8	19.5	19		2.6	0.2	10.7	53.5	
42		HR2-GWH	495.5	37.1	48.8	45		3.7	0.4	10.5	53.1	400
43		HR2-GWL	496.6	37.3	21.5	19		3.5	0.5	10.5	53.0	
44		HR2-GEH	-0.1	36.7	50.7	45		3.0	0.2	10.4	54.6	
45		HR2-GEL	1.0	38.2	23.1	19		2.5	0.0	10.5	55.3	
46		HR2-AEH	0.9	6.4	50.8	45		3.2	1.2	10.5	59.7	
47		HR2-AEL	1.5	7.3	23.1	19		3.2	1.1	10.5	59.0	
48	HR2-AWH	495.2	6.9	49.4	45	3.1	1.1	10.5	59.5			
49	HR2-AWL	497.3	7.1	21.4	19	2.9	0.9	10.5	60.4			
50	10/28	HR2-AWH	496.8	7.4	47.9	45	1.1	-0.8	12.6	37.3	400	
51		HR2-AWL	497.7	9.0	20.8	45	1.5	-1.8	12.2	41.5		
52		HR2-AEH	0.3	5.6	49.5	45	1.5	-1.0	12.2	36.6		
53		HR2-AEL	-1.8	5.9	22.4	45	1.5	-1.7	12.0	44.0		
54		HR2-GEH	-3.6	36.3	50.1	45	1.4	-2.2	11.3	53.5		
55		HR2-GEL	-0.3	36.9	22.3	45	1.2	-2.1	11.0	59.5		
56		HR2-GWH	495.0	37.0	48.2	45	1.7	-1.2	10.8	56.9		
57		HR2-GWL	496.0	38.3	20.6	45	1.6	-0.8	10.9	56.8		
58		HR1-GWH	1000.7	38.4	46.5	45	2.2	-0.7	11.2	51.6	900	
59		HR1-GWL	1001.4	38.4	19.0	45	1.7	-1.0	11.2	55.2		
60		HR1-GEH	-1.4	36.4	50.0	45	1.5	-1.5	11.1	56.7		
61		HR1-GEL	0.9	36.6	22.4	45	1.3	-1.7	11.2	57.6		
62		HR1-AEH	-3.6	5.6	49.7	45	1.4	-1.5	11.2	67.8		
63		HR1-AEL	-1.9	7.0	22.5	45	1.5	-1.6	11.2	65.5		
64		HR1-AWH	995.9	6.7	46.3	45	1.5	-1.8	11.2	69.2		
65		HR1-AWL	1000.2	7.1	19.1	45	1.5	-1.3	11.1	68.8		

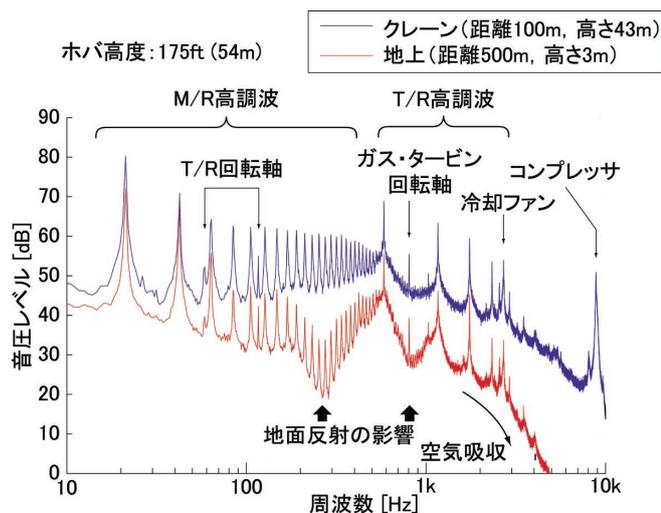


図3.1 クレーン・マイクと地上マイクの音圧スペクトル

め伝搬特性計測を、2005年10月には同じく斜め伝搬特性計測と2台のクレーンを用いた水平伝搬特性計測を実施した。表3.1～3.3に実施結果の一覧を示す。

### 3.1 クレーンによる音源騒音計測の有効性

まず機体（音源）から発生する騒音の計測におけるクレーンの有効性を示す。図3.1にケースSL1-AEH (Run 1) において計測した騒音データに65536 ( $=2^{16}$ ) 点のFFT (Fast Fourier Transform, 高速フーリエ変換) を適用して求めた音圧スペクトルをデータのオーバーラップ無しで200回分の平均したもの（全体のデータ長は約273秒）を示す。赤線は水平距離が500mとなる地上計測点で取得したデータを示す。この点は機体から見てクレーンに固定したマイク（以下、クレーン・マイク）と同方向となるため、音源の指向性による違いを排除して比較できる。地上マイクでは地表面反射によるスペクトルの谷（例えば周波数300および800Hz付近）が見られる他、高周波成分が空気吸収により減衰していることが分かる。一方、青線で示したクレーン・マイク（音源からの水平距離100m）の計測結果では地表面反射の影響が低減されており、クレーン・マイクによる音源騒音の計測が有効であることが確認できた。また、安定したホバリングができていることからロータ騒音の高調波と同時に機体各部から発生した騒音が鋭いピークとして表れている。図中に、機体の仕様を基にこれらのピークの周波数から推定した音源を併せて示す。

次に、機体が音源として一般的なスピーカと比較して大きいことから、本実験の機体・マイク配置において機体が点音源と見なせるかについて検討する。図3.2に斜め伝搬特性計測のケース（SL2-AE1～3およびSL2-GE1～3）から求めた機体とクレーン・マイクの距離による

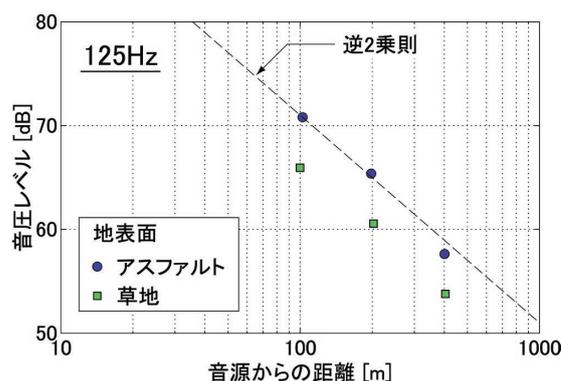


図3.2 伝搬距離と音圧レベルの関係

音圧レベルの変化を示す。ここで、空気吸収による減衰が小さい低周波領域で比較するために、中心周波数125Hzの1/3オクターブバンド音圧レベルを用いた。破線は点音源の距離減衰（逆2乗則）を示しており、その傾きが計測結果と一致していることから、本実験のように100m以上離れた点では機体を点音源と見なすことができると言える。

### 3.2 斜め伝搬特性

図3.3に地表面がアスファルトの場合の過剰減衰を、地上の計測地点から機体を見上げる仰角で整理する。過剰減衰はクレーン・マイクと地上マイクの音圧レベルの差から求めた伝搬減衰の実測値と、距離減衰と空気吸収減衰の理論モデルによる推定値の差である。音圧レベルは上述のFFTの結果から図中に示した1/3オクターブバンドの周波数を抽出し、スペクトルのエネルギーを合計して求めた。地上マイクの高さが3mの場合には、特に500Hz以下の1/3オクターブバンドで地表面反射の影響を強く受けており、結果が大きく変動している。また1kHz以上の周波数では仰角による過剰減衰の変化は小さい。地上マイクの高さが0.03mの場合には、過剰減衰は仰角が10度以下で大きくなっており、風向きによる変化が認められる。過剰減衰が負の値となっているのは、地上側のマイクの計測値が地面反射により音圧レベルが増大したためと考えられる。アスファルト面で完全反射すると仮定すると音圧レベルは最大で6dB増大することになる。

### 3.3 水平伝搬特性

図3.4に300mの間隔で配置した2点のクレーン・マイクで計測した騒音から求めた水平伝搬特性を示す。上段は地表面がアスファルトで、下段は草地の場合である。いずれの図においても伝搬方向に対して逆風の場合を青線で示し、順風の場合を赤線で示した。また黒線は距

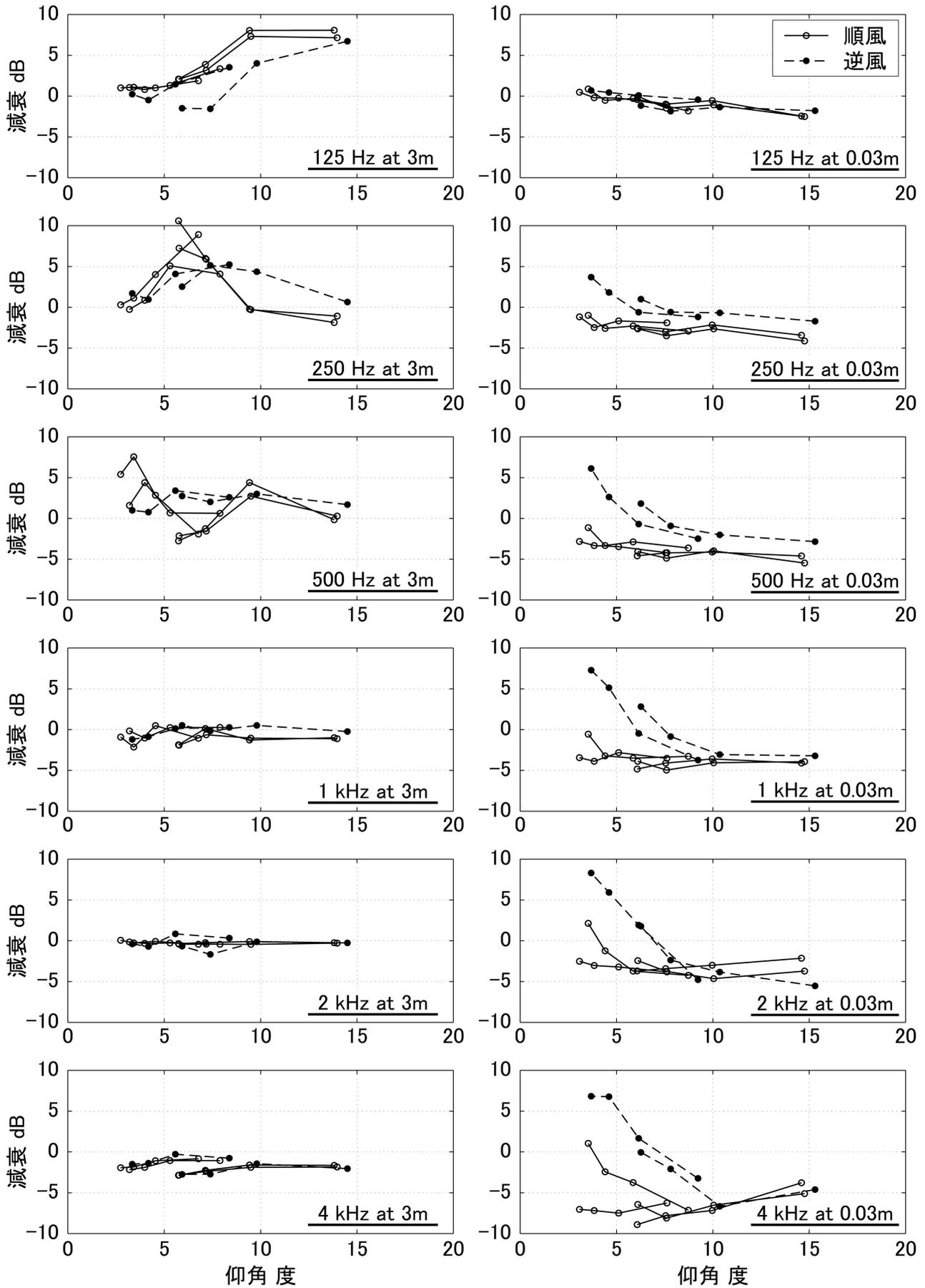
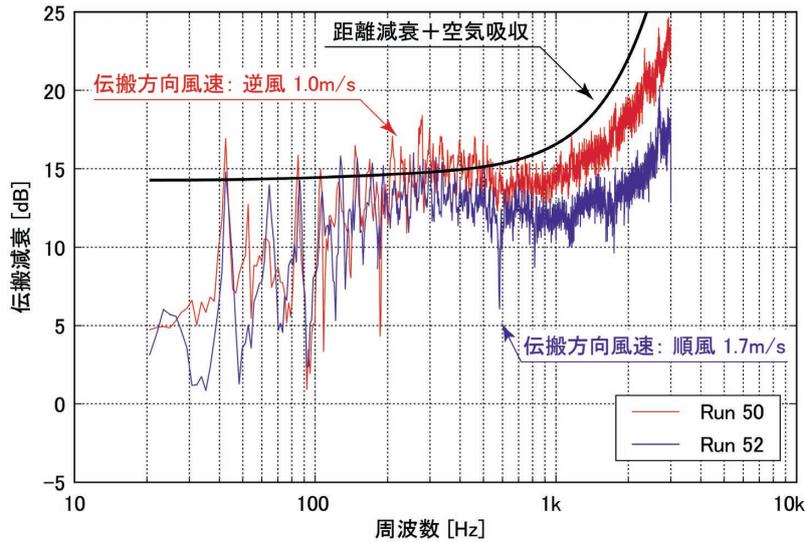
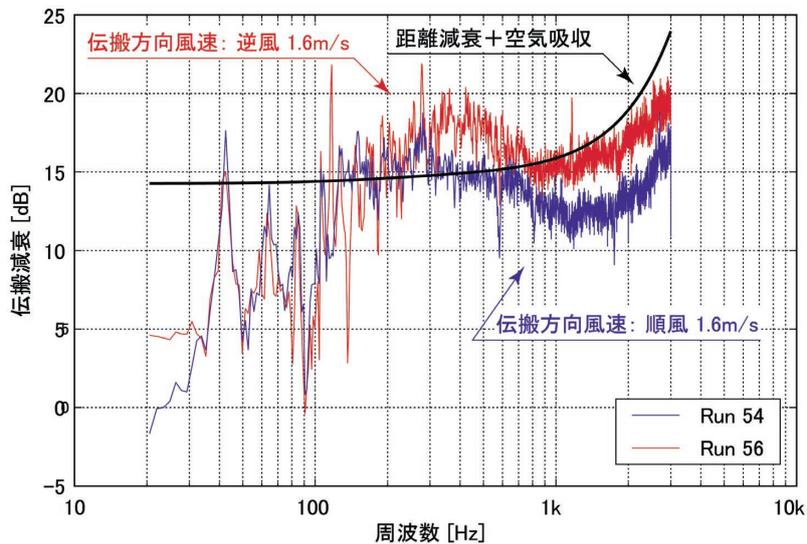


図3.3 アスファルト上における斜め伝搬の仰角と過剰減衰の関係



(a) 地表面がアスファルトの場合



(b) 地表面が草地の場合

図3.4 水平伝搬（高さ45m，クレーン間距離300m）における伝搬減衰

離減衰と空気吸収減衰の理論モデルによる推定値である。1kHz以上の周波数では、空気吸収による減衰量の増加の傾向は実測値と推定値は一致している。また風速1~2m/s程度であっても順風と逆風で5dB程度の差が得られている。一方、300~400Hzの範囲に見られるように、地表面反射による伝搬減衰の増加が認められる。

図3.5に逆風時と順風時の過剰減衰の差を示す。高さ19mの場合には、周波数が2kHz以下の領域で風向による差が表れており、同時に地表面性状による差が示されている。高さ45mの場合には、地表面がアスファルトと草地の結果がよく一致しており、高度を上げることでより地表面の影響を低減できている。従って過剰減衰の差は風向の影響によるものと考えられる。

#### 4. おわりに

クレーン先端に固定したマイクを用いて騒音伝搬特性を計測するための飛行実験を実施した。ホバリングする実験用ヘリコプタを音源として使用し、クレーン・マイクと地上マイクを用いて、両者の音圧レベルの差から伝搬減衰を推定し、以下の結果を得た。

- ・クレーン固定マイクにより音源側の騒音を高精度に計測することが可能であった。高さ45m，機体からの水平距離100mの点で計測した結果では、地上マイクと比較して地面反射の影響が小さく、機体を構成する様々な音源から発生する騒音を特定できた。
- ・上空の音源から地上へ斜めに伝搬する場合の特性を

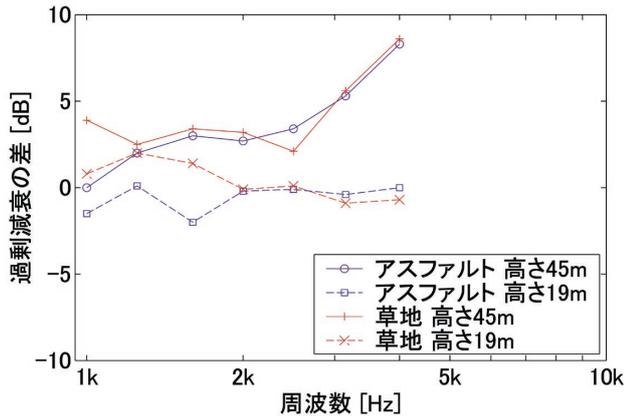


図3.5 逆風時と順風時の過剰減衰の差

計測するケースを実施し、仰角と過剰減衰の関係を得た。特に地表面近くに配置したマイクから得られた過剰減衰は、音源の仰角が10度以下で風向による影響が強く出ており、順風時と逆風時で約5dBの差が認められた。

・2台のクレーンを使用することにより、高さ45mで地表面の影響を低減した水平伝搬特性計測を実施した。風向による過剰減衰(伝搬距離800m)の差は中心周波数4kHzの1/3オクターブバンドで10dB程度であった。

上空の音源から地上へ斜めに伝わる場合の伝搬特性には風の鉛直方向分布も影響するが、本実験では地上側の計測に地表面反射の影響が含まれるため、両者を分離して計測することはできなかった。今後は、騒音大気伝搬特性と風の鉛直分布の関係を得るために、係留気球を用いて高度200mにおける斜め伝搬特性を計測する手法を開発する。

本実験では多くのケースを実施し、騒音伝搬モデルの開発・検証に資するデータが取得できた。今後はこれらのデータを用いて航空機の騒音予測モデルの高精度化を進めると共に、低騒音飛行の実用化に向けた研究を行う予定である。また、本稿に示したデータはJAXA内外における騒音伝搬の研究開発に広く提供していく予定である。

### 参考文献

- International Civil Aviation Organization, Assembly Resolution, A33-7, 2001.
- Gilbert, K. E. and White, M. J., "Application of the Parabolic Equation to Sound Propagation in a Refracting Atmosphere," Journal of Acoustical Society of America, Vol. 85, No. 2, pp. 630 ~ 637, 1989.
- Yamamoto, K. and Yamashita, M., "Measurement and Analysis of Sound Propagation over Lawn," Journal of Acoustical Society of Japan (E), Vol. 15, pp. 1 ~ 12, 1994.
- International Organization for Standardization, "Acoustics -Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere," ISO 9613-1, 1993.
- Society of Automotive Engineers, "Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise During Takeoff and Landing," AIR 1751, 1981.
- 篠原直明, 牧野康一, 月岡秀文, 吉岡 序, 山田一郎, 「航空機騒音予測時の地面による過剰減衰の評価方法—上空飛行時の騒音伝搬における評価式の改良—」, 日本音響学会講演論文集, 3-8-9, 2004年9月.
- Olmstead, J. R., et al., "Integrated Noise Model (INM) Version 6.0 Technical Manual," Report FAA-AEE-02-01, Office of Environment and Energy, Federal Aviation Administration, January 2002.
- Parkin, P. H. et al., "The Horizontal Propagation of Sound From a Jet Engine," J. Sound & Vibration, Vol. 1, 1964, Vol. 2, 1965.
- 石井寛一, 伊海田皓史, 土屋武司, 五味広美, 奥野善則, 「実験用ヘリコプタによる低騒音最適飛行の研究」, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-07-021, 2008年2月.
- 石井寛一, 五味広美, 奥野善則, 「実験用ヘリコプタ MuPAL-εによる地上騒音計測飛行実験」, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-04-036, 2005年3月.
- 石井寛一, 五味広美, 奥野善則, 「機外搭載マイクによるヘリコプタ BVI騒音計測飛行実験」, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-04-037, 2005年3月.
- 石井寛一, 五味広美, 奥野善則, 「実験用航空機 MuPAL-αによる地上騒音計測飛行実験」, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-04-038, 2005年3月.
- 奥野善則, 又吉直樹, 照井祐之, 若色 薫, 穂積弘毅, 井之口浜木, 船引浩平, 「実験用ヘリコプタ MuPAL-εの開発」, 航空宇宙技術研究所資料 TM-764, 2002年6月.

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-07-012

---

発行 平成20年2月29日

編集・発行 宇宙航空研究開発機構

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

URL: <http://www.jaxa.jp/>

印刷・製本 株式会社 実業公報社

---

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記をお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1

TEL: 029-868-2079 FAX: 029-868-2956

---

©2008 宇宙航空研究開発機構

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

