

沖縄県における航空機の低周波音調査 —2017年度—

城間朝彰・比嘉良作*・田崎盛也・友寄喜貴

Survey on the Low-frequency aircraft noise in Okinawa (FY2017)

Tomoaki SHIROMA, Ryosaku HIGA*, Moriya TASAKI and Nobutaka TOMOYOSE

要旨： 普天間飛行場周辺の4測定局における2017年度の航空機低周波音測定結果について、機種別に4つ（固定翼機、AH1等、MV22およびCH53）に区分し、1-80 Hzにおける1/3オクターブバンド中心周波数分析を行った。固定翼機では卓越した周波数はみられず、AH1等（AH-1ZおよびUH-1Y）およびMV22では20 Hzと40 Hzに、CH53では20-25 Hzと50 Hzに卓越周波数がみられた。基本周波数はAH1等およびMV22が20 Hz、CH53が25 Hzであり、その整数倍ごとに倍音構造が存在することが示唆された。沖縄防衛局が示した物的および心理的影響の評価基準と比較した結果、固定翼機では5-6.3 Hz付近で物的影響基準値の超過率（基準値超過回数 / 騒音発生回数 × 100）が高く、AH1等、MV22およびCH53では同基準が設定されている全周波数で超過がみられ、卓越周波数付近の16-25 Hzで特に超過率が高くなっていた。心理的影響基準値は、固定翼機では31.5-80 Hzで超過がみられ、 L_{AE} （単発騒音暴露レベル）が100 dB以上で超過率が高くなっていた。AH1等、MV22およびCH53では卓越周波数付近で超過率が高いが、20-80 Hzの広い範囲の周波数でも高い超過率がみられた。物的および心理的影響基準値の超過回数や超過率により推測される影響の大きさや L_{AE} と L_{Gmax} （G特性音圧レベルの最大値）の関係などから、機種別の低周波音による影響の大きさは概ね、固定翼機 < AH1等 < CH53 ≤ MV22であることが示唆された。

Key words: 沖縄県, 低周波音, 低周波音自動測定器, 1/3 オクターブバンド中心周波数

I はじめに

低周波音とは、人間の耳では聞き取りにくい100 Hz以下の音波と定義されており、その中でも20 Hz以下は超低周波音と呼ばれ、人間の耳ではほとんど聞き取れない。低周波音は室外機などの固定発生源のほか、自動車や航空機などの移動発生源からも発生し、音は聞こえにくい（または聞こえない）が、建具のがたつきや不快感・圧迫感などを感じるなど、物的影響や心理的影響がある。

沖縄県では航空機から発生する低周波音の現状把握と基礎データの集積を目的とし、主にヘリコプター等が配備されている普天間飛行場周辺地域における目視調査を実施してきた。しかし、目視調査では時間的および人的負担が大きいことから調査日数が少なくデータ量に乏しい状況にあった。そのため、沖縄県環境部環境保全課では2016年度に低周波音自動測定器を導入し、常時監視測定を開始した。同測定器は、既存の航空機騒音自動測定器に追加する形で導入され、普天間飛行場周辺の4測定局（野嵩局、上大謝名局、新城局および宜野湾局（図1））に設置されている。野嵩局は滑走路の北側延長直下に位置するが、滑走路からやや距離がある。上大謝名局は滑走路の南側延長直下に位置し、離着陸する航空機が真上を通過する。新城局は滑走路の延長直下ではないが、北

側から離陸した航空機が旋回し真上を通過する場合がある。宜野湾局は滑走路の東側に位置し、ヘリコプターが真上付近を飛行する場合がある。2016年度の航空機騒音測定結果では、普天間飛行場周辺において、上大謝名局

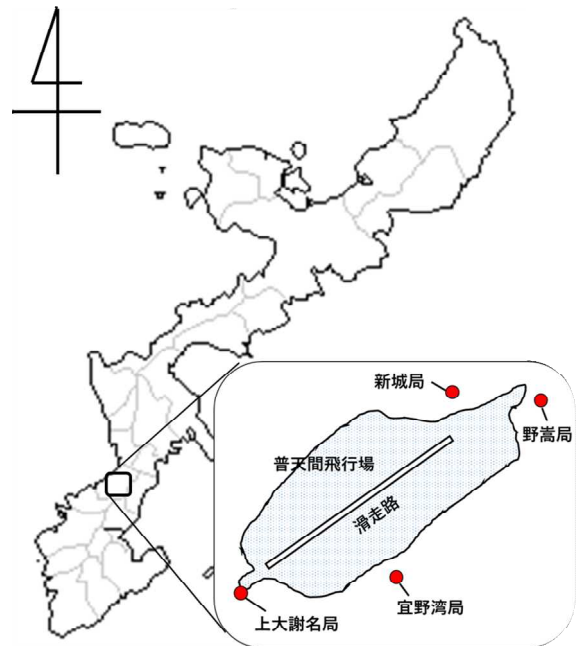


図1. 普天間飛行場周辺における低周波音測定局

* 現沖縄県環境部環境保全課

で環境基準 (L_{den}) を超過し、1日あたりの騒音発生回数は上大謝名局および宜野湾局で最多 (30回/日) であった。今回、これら4測定局における低周波音の測定結果について報告する。

II 方法

普天間飛行場周辺の4測定局 (野嵩局, 上大謝名局, 新城局および宜野湾局 (図1)) における測定結果を用いた。

低周波音自動測定システム (日本音響エンジニアリング(株)製) は、低周波音圧レベル測定装置 (日本音響エンジニアリング(株)製 DL-100/LE), 低周波音圧レベル計 ((株)アコー製 TYPE6238L), 低周波音用全天候防風スクリーン ((株)アコー製 NA-0380 改), 低周波音用実音収録機器 ((株)タートル工業製 TUSB-0216ADMZ) およびセキュリティカメラ (SONY(株)製 SNC-EB630) 等を用いた映像収録システムなどで構成されており、既存の航空機騒音自動測定システムの航空機識別装置による航空機からの騒音および低周波音の識別が可能であるとともに収録された実音や映像を用いた手動での機種ごとの識別が可能である。機種別の低周波音特性をみるため、 L_{AE} (単発騒音暴露レベル) が 80 dB 以上であり、単機で飛行し、かつ、他の騒音や低周波音が含まれていない低周波音 (実音や映像にて手動選別) について、機種ごとに4つに区分 (①UC-12W, UC-35D および外来固定翼機 (以下、「固定翼機」とする), ②AH-1Z および UH-1Y (以下、「AH1 等」とする), ③MV-22B (以下、「MV22」とする), ④CH-53E (以下、「CH53」とする)) した。普天間飛行場には固定翼機 2 機種 (UC-12W および UC-35D) および回転翼機 4 機種 (AH-1Z ヴァイパー, UH-1Y ヴェノム, MV-22B オスプレイおよび CH-53E スーパースタリオン) の 6 機種が常駐²⁾ しているが、戦闘機 (F-15 や F-18 など) や空中給油機 (KC-130 や KC-135 など), ヘリコプターなどの外来機が飛来することも多い。映像等で判別し、回転翼機については機種ごとに上記区分に分類し、固定翼機については機種ごとの分類はせず、全てを固定翼機とした。なお、夜間など、映像が不鮮明で機種が特定できなかったものは除いた。これら機種ごとに周波数 1-80 Hz において 1/3 オクターブバンド中心周波数分析を行った。

低周波音は環境基準や指針値等が設定されていないため、沖縄防衛局が『普天間代替施設建設事業に係る環境影響評価書』において環境保全のための目標値³⁾として設定した物的影響の評価基準および心理的影響の評価基

準 (以下、「物的影響基準値」および「心理的影響基準値」とする (表1)) との比較を行った。

表1. 物的および心理的影響基準値

中心周波数 (Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
物的影響基準値 (dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	92.5	99		
心理的影響基準値 (dB)	115	111	108	105	101	97	93	88	83	78	78	80	84

III 結果および考察

L_{AE} が 80 dB 以上であり、単機で飛行し、かつ他の騒音や低周波音が含まれていない機種毎の騒音発生回数はそれぞれ、固定翼機では448回, AH1等では1,424回, MV22では880回, そしてCH53では1,097回計測された。これら全ての騒音データについて、機種ごとに1-80 Hzの低周波音における1/3オクターブバンド中心周波数分析を行った (図2)。固定翼機では12.5-16 Hz付近を谷としたグラフとなり、卓越した周波数はみられなかった。AH1等およびMV22では20 Hzと40 Hzに, CH53では20-25 Hzと50 Hzに卓越周波数がみられた。ヘリコプターのローターなどから発生する低周波音領域における基本周波数は、回転数を N , ローターの枚数を Z とすると、基本周波数 f は『 $f = NZ / 60$ 』として表される⁴⁾。MV22については、ローターの回転数 397 rpm⁵⁾とローターの枚数3枚により基本周波数約20 Hzが算出され、またFFT分析により基本周波数20.5 Hzとその整数倍ごとに倍音構造が存在し、それが卓越周波数20 Hzと40 Hzと一致したことから、MV22の基本周波数が約20 Hzであることが田崎ら⁶⁾により報告されている。今回の測定結果でも、MV22については、同様の測定結果を示していることから、MV22の基本周波数は約20 Hzであり、倍音構造が存在すると考えられる。基本周波数と倍音構造が卓越周波数として現れると仮定すると、AH1等の基本周波数は約20 Hz, CH53の基本周波数は約25 Hzとなり、その整数倍の倍音構造をそれぞれ持つと推測される。また、ローターの回転数は不明だが、AH1等のローター数が4枚, CH53のローター数が7枚であることから、AH1等の基本周波数がMV22とほぼ同程度であり、CH53の基本周波数はMV22よりやや高い値となっても妥当であると考えられる。

機種別における周波数毎の物的影響基準値との比較では、固定翼機では周波数5-31.5 Hzの低い部分で基準値超過がみられ、AH1等, MV22およびCH53では、同基準値が設定されている全ての周波数 (5-50 Hz) において超

過がみられ、特に卓越周波数である 20 Hz または 25 Hz において多く超過がみられた。また、心理的影響基準値との比較では、固定翼機では比較的少ないが、周波数 31.5-80 Hz で超過がみられた。AH1 等や MV22, CH53 では、周波数 16-80 Hz で超過がみられ、特に卓越周波数や 40-80 Hz の周波数で多く超過していた。これらのことから、AH1 等、MV22 および CH53 は固定翼機に比べ物的および心理的影響が大きいことが示唆された。

物的影響基準値の超過率等を機種や周波数別に比較するため、 L_{AE} を 5dB ごとに区分し、両基準値に対する超過回数および超過率（基準値超過回数 / 騒音発生回数 × 100）を求め、表 2 に示した。機種ごとの騒音発生回数は全機種において L_{AE} の値が 90-95dB の範囲で最多であったが、固定翼機では 85-95dB で約 80% を占め、AH1 等では 90-95dB、MV22 では 85-100dB、CH53 では 90-100dB で多く発生していた。

物的影響基準値の超過回数および超過率は、固定翼機では 5-6.3 Hz に超過回数が比較的多く超過率も高くなっていた。AH1 等、MV22 および CH53 では 16-25 Hz の卓越周波数付近で超過回数が多く超過率も高いが、AH1 等では 5 Hz に、MV22 では 40 Hz にも高い傾向がみられ、固定翼機よりも影響が大きいことが示唆された。MV22 および CH53 は AH1 等と比べ、 L_{AE} の値が高い部分で超過回数が多く超過率が高い傾向にあり、特に MV22 は L_{AE} が 100 dB 以上でも超過回数が多く超過率が高いことから、機種別の物的影響の大きさは、固定翼機 < AH1 等 < CH53 ≤ MV22 の順になると考えられる。

物的影響基準値と同様、機種や周波数別の心理的影響基準値超過回数と超過率を表 3 に示した。固定翼機では比較的超過回数は少ないが、周波数 40-80 Hz において超過回数が多く、 L_{AE} が 100 dB 以上になると超過率が高くなっていた。AH1 等では卓越周波数付近の 20 Hz および 40-63 Hz に超過回数が多く超過率が高くなっていた。MV22 および CH53 でも同様であるが、80 Hz にも高い傾向がみられた。AH1 等、MV22 および CH53 では比較的低い L_{AE} の値 (80-90 dB) でも超過率が高い部分があり、広い範囲の周波数 (20-80 Hz) で高い超過率がみられた。 L_{AE} の値における超過回数および超過率の比較により、機種別の心理的影響の大きさは、物的影響と同様、固定翼機 < AH1 等 < CH53 ≤ MV22 の順と考えられる。

最後に、機種別の騒音レベルに対する低周波音レベルを比較するため、機種ごとの L_{AE} と L_{Gmax} (G 特性音圧レベルの最大値) の関係を図 3 に示す。全機種において L_{AE} が 90-95 dB に集中していた。 L_{AE} 90 dB に対する L_{Gmax} の

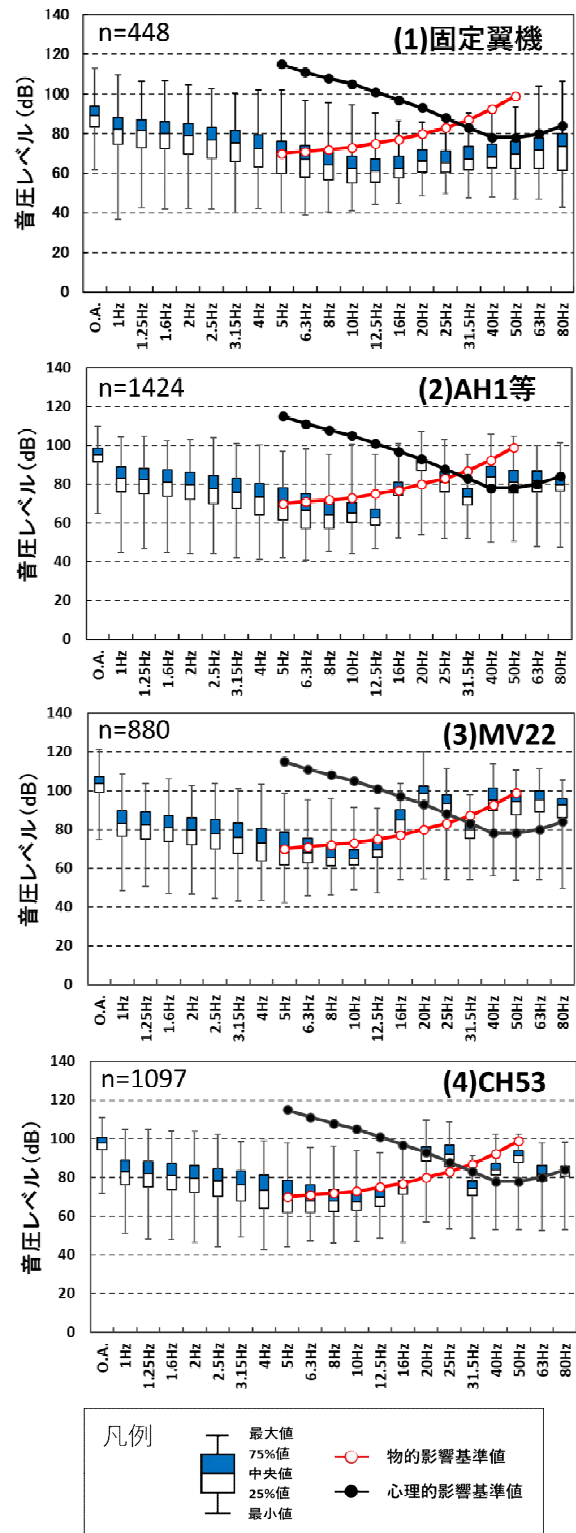


図 2. (1)固定翼機, (2)AH1 等, (3)MV22 および(4)CH53 の 1/3 オクターブバンド中心周波数分析結果。横軸は 1/3 オクターブバンド中心周波数を示し、O.A.は 1~80 Hz における各周波数帯域の合成値を示す。

値を比較すると、概ね、固定翼機 < AH1 等 < CH53 < MV22 となっており、物的および心理的影響の大き

さと一致した。また、回転翼機における機種ごとの自重および総重量（または離陸最大重量）⁷⁾は、AH1等が不明および約 8,400 kg、MV22 が約 15,000 kg および約 27,400 kg、CH53 が約 15,000 kg および約 31,600 kg であり、AH1等 < MV22 ≤ CH53 の順であった。固定翼機は重量が全く異なる大型外来機も含まれるため除いた。回転翼機における機体重量順は、物的および心理的影響の大きさ順や L_{AE} に対する L_{Gmax} の値の大きさ順と概ね一致しており、低周波音による影響と機体の重量にはある程度の比例関係が存在することが示唆された。

IV まとめ

機種ごとの低周波音レベルの1-80 Hzにおける1/3オクターブバンド中心周波数分析の結果、固定翼機では卓越周波数はみられず、AH1等およびMV22では20 Hzおよび40 Hzに、CH53では20-25 Hzおよび50 Hzに卓越周

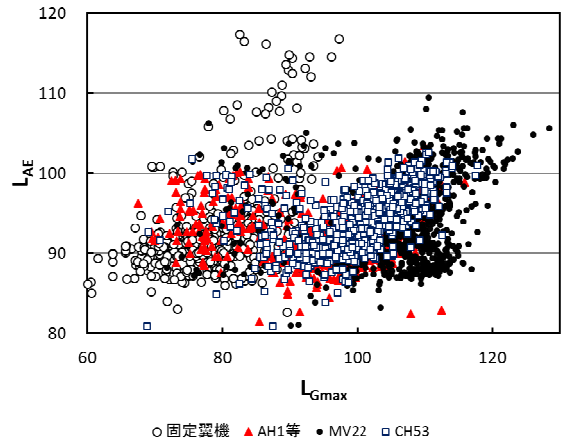


図3. 機種別の L_{AE} および L_{Gmax} の関係。

波数がみられた。その卓越周波数により、基本周波数はAH1等およびMV22では約20 Hz、CH53では約25 Hzであり、その整数倍ごとに倍音構造が存在することが示唆

表2. 機種別における周波数ごとの物的影響基準値超過回数と超過率（基準値超過回数 / 騒音発生回数 × 100）。網掛けは基準値超過回数が多いほど、また基準値超過率が高くなるほど濃い。

機種名: 固定翼機 (n = 448)		周波数ごとの物的影響基準値超過回数										周波数ごとの物的影響基準値超過率(%)										
L_{AE} (dB)	騒音発生回数 割合	周波数(Hz)										周波数(Hz)										
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40
80~85	3 1%	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	67	33	33	33	33	0	0	0	0	0	0
85~90	144 32%	73	50	36	17	6	4	3	1	0	0	51	35	25	12	4	3	2	1	0	0	0
90~95	217 48%	100	66	33	14	7	3	4	0	0	0	46	30	15	6	3	1	2	0	0	0	0
95~100	31 7%	16	12	6	3	1	3	3	0	0	0	52	39	19	10	3	10	10	0	0	0	0
100≤	53 12%	31	27	16	11	12	12	10	5	4	0	58	51	30	21	23	23	19	9	8	0	0

機種名: AH1等 (n = 1424)		周波数ごとの物的影響基準値超過回数										周波数ごとの物的影響基準値超過率(%)										
L_{AE} (dB)	騒音発生回数 割合	周波数(Hz)										周波数(Hz)										
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40
80~85	6 0%	4	3	1	1	2	2	5	2	1	1	67	50	17	17	33	33	83	33	17	17	0
85~90	237 17%	123	88	60	49	29	54	211	41	3	0	52	37	25	21	12	23	89	17	1	0	0
90~95	953 67%	462	335	231	149	90	574	889	371	21	73	48	35	24	16	9	60	93	39	2	8	0
95~100	217 15%	118	84	56	51	23	148	176	136	23	89	54	39	26	24	11	68	81	63	11	41	3
100≤	11 1%	11	6	7	5	1	8	9	7	3	5	100	55	64	45	9	73	82	64	27	45	18

機種名: MV22 (n = 880)		周波数ごとの物的影響基準値超過回数										周波数ごとの物的影響基準値超過率(%)										
L_{AE} (dB)	騒音発生回数 割合	周波数(Hz)										周波数(Hz)										
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40
80~85	5 1%	2	2	1	0	0	1	4	1	0	1	40	40	20	0	0	20	80	20	0	20	0
85~90	219 25%	110	77	47	24	99	163	203	162	52	80	50	35	21	11	45	74	93	74	24	37	4
90~95	321 36%	162	115	84	48	44	240	309	279	16	224	50	36	26	15	14	75	96	87	5	70	14
95~100	189 21%	98	72	50	34	25	165	178	166	8	156	52	38	26	18	13	87	94	88	4	83	50
100≤	146 17%	75	62	46	30	28	125	134	120	22	116	51	42	32	21	19	86	92	82	15	79	57

機種名: CH53 (n = 1097)		周波数ごとの物的影響基準値超過回数										周波数ごとの物的影響基準値超過率(%)										
L_{AE} (dB)	騒音発生回数 割合	周波数(Hz)										周波数(Hz)										
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40
80~85	4 0%	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	50	25	25	25	25	0	25	0	0	0	0
85~90	99 9%	52	34	27	14	5	11	86	50	0	0	53	34	27	14	5	11	87	51	0	0	0
90~95	500 46%	241	178	128	84	67	108	469	411	2	10	48	36	26	17	13	22	94	82	0	2	0
95~100	459 42%	254	205	176	110	152	232	431	414	5	46	55	45	38	24	33	51	94	90	1	10	3
100≤	35 3%	20	17	16	13	21	31	34	33	2	15	57	49	46	37	60	89	97	94	6	43	23

表 3. 機種別における周波数ごとの心理的影響基準超過回数と超過率. 網掛けは表 2 と同様.

機種名: 固定翼機

LAE (dB)	騒音発生回数	周波数ごとの心理的影響基準値超過回数												周波数ごとの心理的影響基準値超過率(%)											
		周波数(Hz)												周波数(Hz)											
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
80~85	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85~90	144	0	0	0	0	0	0	1	0	2	7	3	4	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5	2	3
90~95	217	0	0	0	0	0	0	0	0	15	26	24	11	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12	11	5
95~100	31	0	0	0	0	0	0	0	2	12	16	13	10	0	0	0	0	0	0	0	6	39	52	42	32
100≤	53	0	0	0	0	0	0	1	23	38	39	40	39	0	0	0	0	0	0	2	43	72	74	75	74

機種名: AH1等

LAE (dB)	騒音発生回数	周波数ごとの心理的影響基準値超過回数												周波数ごとの心理的影響基準値超過率(%)												
		周波数(Hz)												周波数(Hz)												
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63
80~85	6	0	0	0	0	1	2	2	2	4	4	4	2	0	0	0	0	0	17	33	33	33	67	67	67	33
85~90	237	0	0	0	0	0	19	16	13	144	106	79	29	0	0	0	0	0	8	7	5	61	45	33	12	
90~95	953	0	0	0	0	1	291	174	48	788	626	561	219	0	0	0	0	0	31	18	5	83	66	59	23	
95~100	217	0	0	0	0	0	143	88	56	174	164	162	124	0	0	0	0	0	66	41	26	80	76	75	57	
100≤	11	0	0	0	0	0	7	5	5	8	9	8	6	0	0	0	0	0	64	45	45	73	82	73	55	

機種名: MV22

LAE (dB)	騒音発生回数	周波数ごとの心理的影響基準値超過回数												周波数ごとの心理的影響基準値超過率(%)												
		周波数(Hz)												周波数(Hz)												
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63
80~85	5	0	0	0	0	0	1	0	0	4	3	4	1	0	0	0	0	0	20	0	0	80	60	80	20	
85~90	219	0	0	0	0	44	137	114	93	191	181	183	131	0	0	0	0	0	20	63	52	42	87	83	84	60
90~95	321	0	0	0	0	10	226	250	35	308	290	301	284	0	0	0	0	0	3	70	78	11	96	90	94	88
95~100	189	0	0	0	0	6	161	157	55	175	169	171	169	0	0	0	0	0	3	85	83	29	93	89	90	89
100≤	146	0	0	0	0	8	119	113	88	130	127	125	119	0	0	0	0	0	5	82	77	60	89	87	86	82

機種名: CH53

LAE (dB)	騒音発生回数	周波数ごとの心理的影響基準値超過回数												周波数ごとの心理的影響基準値超過率(%)											
		周波数(Hz)												周波数(Hz)											
		5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
80~85	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
85~90	99	0	0	0	0	0	5	22	1	69	90	26	8	0	0	0	0	0	5	22	1	70	91	26	8
90~95	500	0	0	0	0	0	154	293	7	446	484	238	102	0	0	0	0	0	3	59	1	89	97	48	20
95~100	459	0	0	0	0	1	313	391	32	430	432	386	260	0	0	0	0	0	68	85	7	94	94	84	57
100≤	35	0	0	0	0	0	32	32	19	34	33	33	33	0	0	0	0	0	91	91	54	97	94	94	94

された。

物的影響基準値との比較では、固定翼機では周波数 5-6.3 Hz に超過がみられた。AH1 等, MV22 および CH53 では同基準が設定されている全周波数 (5-50 Hz) で超過がみられ、特に卓越周波数付近で超過回数が多く超過率も高くなっていた。

心理的影響基準値との比較では、固定翼機では周波数 31.5-80 Hz で超過がみられ、L_{AE} が 100 dB 以上で超過率が高くなっていた。AH1 等, MV22 および CH53 では卓越周波数付近で超過回数も多く超過率も高いが、広い範囲の周波数 (20-80 Hz) で高い超過率がみられた。

機種ごとの L_{AE} と L_{Gmax} の関係では、同レベルの L_{AE} に対する L_{Gmax} の大きさは固定翼機 < AH1 等 < CH53 < MV22 の順となり、物的および心理的影響基準値の超過回数や超過率により推測される機種別の影響の大きさ順と一致した。また、回転翼機における機体の重量順とも概ね一致し、低周波音による影響と機体重量にはある程度の比例関係が存在することが示唆された。

V 参考文献

- 1) 沖縄県環境部環境保全課 (2017) 平成 28 年度航空機騒音測定結果. p.44.
- 2) 宜野湾市基地政策部 (2018) まちのど真ん中にある普天間飛行場. p.6.
- 3) 沖縄防衛局 (2011) 第 6 章 6.5 低周波音. 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書, p.71.
- 4) 日本音響材料協会編 (1975) 騒音対策ハンドブック. 技報堂, 東京都, 758pp.
- 5) Acree, C.W. (2005) Effects of V-22 Blade Modifications on Whirl Flutter and Loads. Journal of the American Helicopter Society, 50.3:269-278.
- 6) 田崎盛也ら (2014) 沖縄県における軍用機から発生する低周波音について, 沖縄県衛生環境研究所報, 48:59-62.
- 7) 佐瀬了 (2017) 航空情報 2017 年 3 月号増刊世界航空機年間 2016-2017. 株式会社せきれい社, 東京都, pp.107-357.