

第10次南極観測用 KD60 型雪上車の騒音測定

芳野 赴夫*・熊本 芳朗*・稲垣 勝之**

MEASUREMENT OF ACOUSTICAL NOISES IN KD60 OVERSNOW VEHICLES OF THE 10TH JAPANESE ANTARCTIC RESEARCH EXPEDITION

Takeo YOSHINO*, Yoshiro KUMAMOTO* and Katsuyuki INAGAKI**

Abstract

Acoustical noises in two diesel-engine driven KD60 oversnow vehicles (KD607 with all-over cab and KD608 with cab only over driver's seat) to be used by the 10th Japanese Antarctic Research Expedition (1968-1970) were measured in October 1968, during the test run of vehicles (inside and outside) and during the idling (inside), on volcanic deposits at the foot of Mt. Fuji.

Instrument used is an Impulse Precision Sound Level Meter (type 2203 made by Brüel and Kjær, in Denmark). The noises were measured when the engine was operating at 1500-2400 rpm at a speed of 10-18 km/h during the test run, and at 600, 1000, 1500, 2000 and 2400 rpm during the idling. There

are five measuring spots inside the KD607 and one spot outside, and two spots inside the KD608. The maximum noise levels of running KD607, represented by A-Scale of the Level Meter, are 93dB inside the cabin and 96dB outside, and 100dB in KD608. The maximum noise levels when idling the engine at 2400 rpm are 81.5dB and 86dB in KD607 and KD608, respectively. The noise intensity inside the cabin during the running is below safe level given by the International Organization for Standardization, Technical Committee 43; Acoustics, except in the domain of low frequency. Ordinary conversation with somewhat loud voices is possible during the idling, but when the vehicles is running only shouts are audible.

1. は し が き

第10次南極地域観測隊（1968～1970）がみずほ高原ならびにやまと山脈の調査に使用するKD607, KD 608 雪上車のならし運転, 隊員の訓練, 走行性能試験, 居住性能試験などが, 1968年10月26日から31日まで, 山梨県南都留郡山中湖村字梨ヶ原（通称：陸上自衛隊北富士

* 電気通信大学電気通信部. The University of Electro-Communications, 14, Kojima-cho, Chofu, Tokyo.

** 国立科学博物館極地研究センター. Polar Research Center, National Science Museum, Ueno Park, Tokyo.

演習場), 標高約 1500m の富士山麓の火山堆積物地帯で実施された。この期間中, 27, 28 の両日, 午前 8 時から午後 4 時までの間, 適時上記車両の騒音測定を行なった。

両日とも天候は良く, 風速 1~2m/s であった。試験走行路面は直経約 2~3mm の粒状の礫と乾燥した砂が混合した火山堆積物からなり, 直線走行距離約 2500m, 高度差約 10m の区間を連続往復した。試験地はほぼ平坦で, 約 600~800m 離れたところに松林がある静かな環境であった。

試験地が雪面上でなく, 供試雪上車も実際に南極大陸で走行する場合とかなり条件が異なるが, この測定は将来南極において同様の測定を行なう場合の予備として, また雪上車設計の一助とも考えられるので以下に結果を述べる。

2. 供試車の諸元・性能

表 1 に供試車の諸元・性能を示し, 図 1, 2 に供試車の外観図を示す。

表 1 供試車の諸元・性能

項目	車種	KD607		KD608	
寸法					
全長×全幅×全高	(mm)	5670×2500×2680		5670×2500×2680	
車室:長さ×幅×高さ	(mm)	5000×2500×1680		2200×2500×1680	
前窓:横×高さ×厚さ	(mm)	約1000×600×6 (2カ所)		約1000×600×6 (2カ所)	
横窓:横×高さ×厚さ	(mm)	約400×450×6 (左右各1)		約550×450×6 (左右各1)	
後窓:横×高さ×厚さ	(mm)	約400×450×6 (2カ所)		約450×300×6 (右1カ所)	
非常口:長さ×幅	(mm)	約600×500 (車室中央天井1カ所)		約600×500 (操縦席助手席の天井に各1カ所)	
最低地上高	(mm)			340	
履帯幅	(mm)			700	
接地長	(mm)			3000	
重量					
車両重量	(kg)	6940		6500	
積載重量	(kg)	460		800	
車両総重量	(kg)	7400		7300	
試験時の車両重量	(kg)	7050		6600	
接地圧					
積載	(kg/cm ²)	0.177		0.174	
空車	(kg/cm ²)	0.166		0.155	
試験時	(kg/cm ²)	0.168		0.157	

項目	車種	KD607	KD608
機関		いすゞ南極用 DA-640 型 (過給機付)	
名称		水冷 4 サイクル 頭上弁式直列ディーゼル機関	
型式		予熱焼式	
燃焼室型式		6	
気筒数		102×130	
シリンダー内径×行程 (mm)		6373	
総排気量 (cc)		22 : 1	
圧縮比		105/2400	
定格出力 (高地燃料セット) (ps/rpm)		34/1800	
定格トルク (高地燃料セット) (kg-m/rpm)		178	
最低燃費率 (高地燃料セット) (gr/ps-hr)		25	
(200rpm 時の) 圧縮圧力 (kg/cm ²)		3000	
機関高地性能 (標高 : m)		Ai Research Manufacturing Company, TO: 705	
過給機型式		いすゞ南極用クラッチ : 乾燥単板式	
動力伝達装置 (クラッチ)		いすゞ南極用ミッション : 選択しゅう動同期嚙合弁用歯車式 前進 5 段, 後退 1 段	
変速機 名称 : 型式		6.45	
変速段		3.90	
変速比 : 第 1 速		2.60	
第 2 速		1.73	
第 3 速		1.00	
第 4 速		6.11	
第 5 速			
後退			
減速機 : 型式, 減速比		まがり歯傘歯車式 : 4.86	
差動機 : 形式, 差動比		平歯車二重差動式 : 1.90	
懸架装置		独立懸架方式 (トーションバー式) : 片側 5 本	
かじ取り装置		ドラム外径制動式 (かじ取りブレーキ) 油圧倍力操作式	
起動輪		後輪 (スプロケット) 起動, 中央複列式履帯ガイド案内ゴム板付.	
歯数		18	
ピッチ×ピッチ外径 (mm)		60×345.53	
下部転輪		ソリッドゴムタイヤ付 : 複輪 片側 5 転輪, 外径 620mm	
誘導輪		(前輪) ソリッドゴムタイヤ付 : 複輪, 外径 370mm	
履帯		チャンネル型断面, 溶接構造鉄履板ゴムヒール付, 複列シングル連結, ハードプレート駆動式, 左右各 84 枚ピッチ 120mm	
シャシ		上方開放箱形 : シヤシ内側および機関室内側に厚さ約 200mm の硬質ウレタンホームを断熱材として接着	

車種		KD607	KD608
項目			
乗員数(名)		4	2(+予備1)
ベッド数		上段 2 下段 2	ナシ
車室外板 断熱材 内張		厚さ 1.8mm の耐蝕性アルミニウム板 厚さ約 40mm のポリウレタンフォーム (外板に接着) 難燃性の処理をした孔あきレザー	
性能			
最高速度 (平坦なコンクリート舗装路上: 単車) (km/h)		30	
燃料消費率 (平坦なコンクリート舗装路上: 単車) (km/l)		1.5	
最小回転半径 (接履帯外側軌跡上) (mm)		7000	
登坂能力 (硬い土質または芝草等の自然坂路) (度以上)		25	
跳壕能力 (mm)		2000	
超堤能力 (mm)		300	
最大傾斜角 (空車) (約 度)		左右方向: 50 前後方向: 60	
暖房機性能 (標準熱量) (kcal/h)		10000	
換気性能 (最大風量) (m ³ /h)		250	自然換気

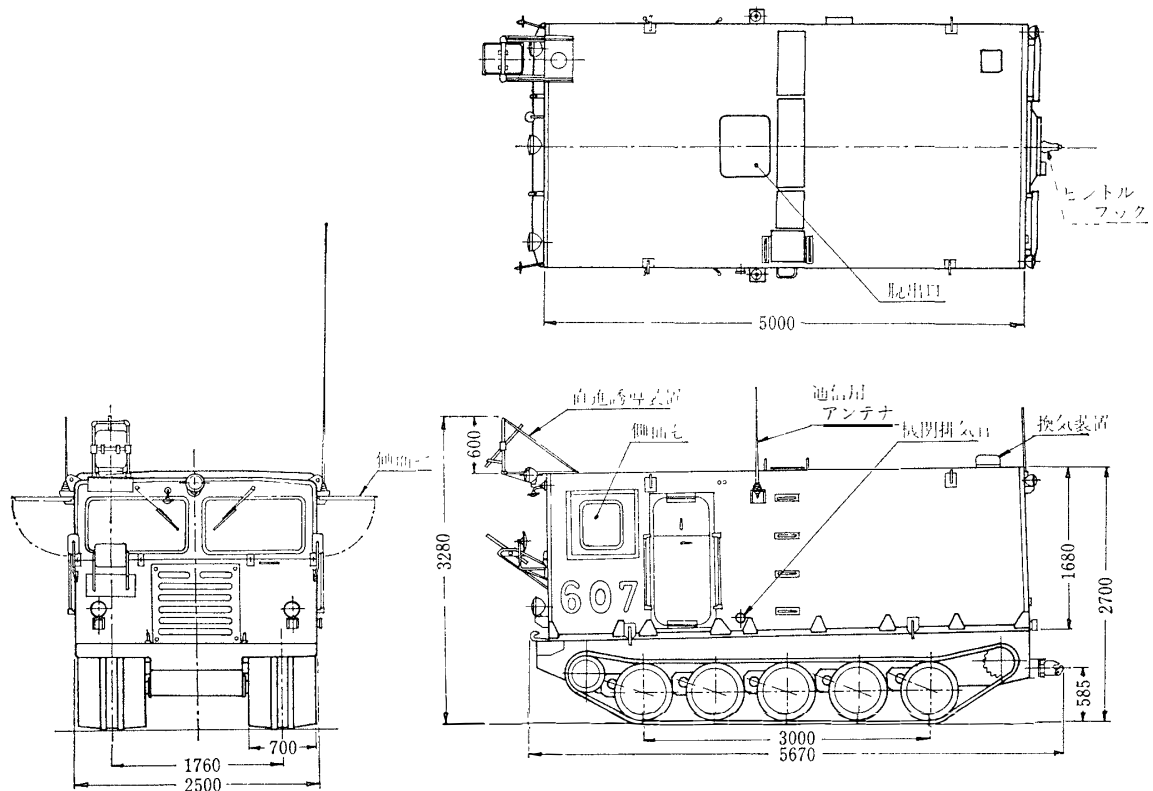


図 1 供試車 (KD607 南極観測用雪上車) 外観図

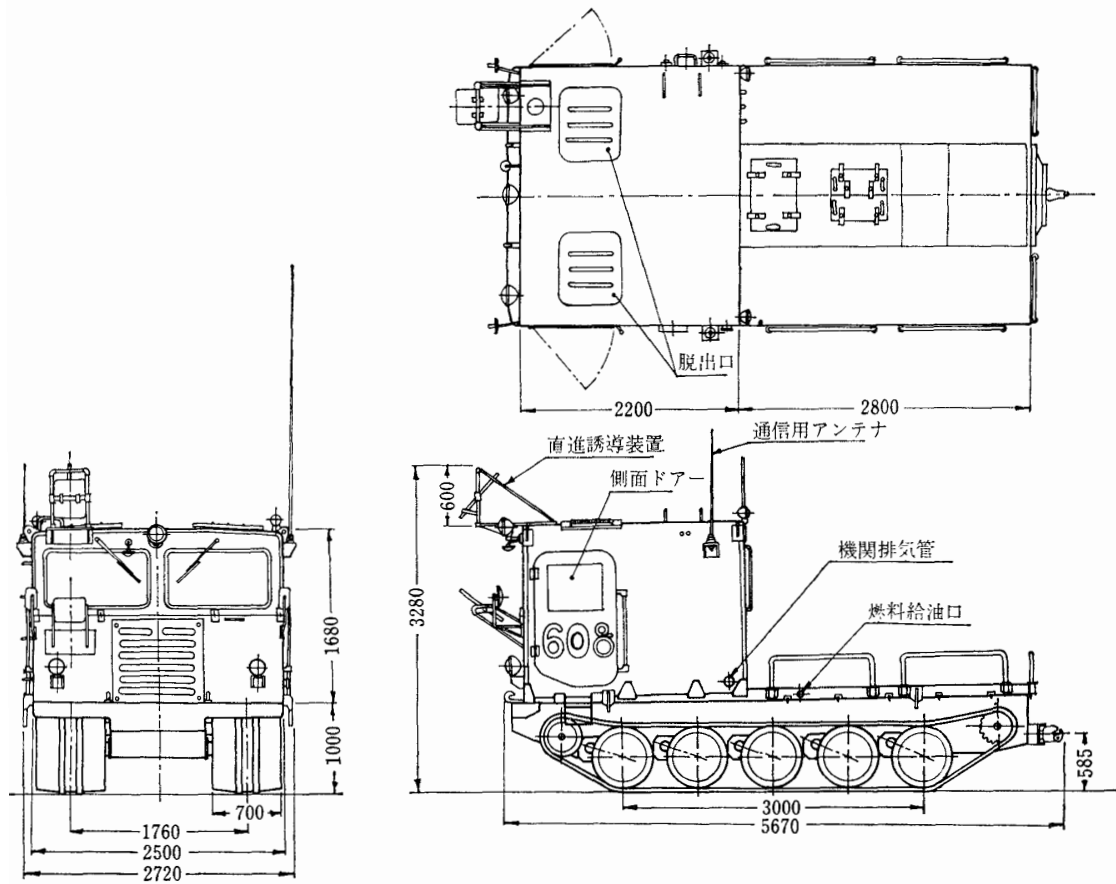


図 2 供試車 (KD608 南極観測用雪上車) 外観図

3. 測定方法

3.1. 測定器材

使用測定器はすべて国際標準化機構第43騒音技術部会(ISO/TC 43: International Organization for Standardization, Technical Committee 43; Acoustics)の規格に準じて製作された Brüel and Kjaer 社 (デンマーク) 製の携帯用精密騒音計を使用した。

1) 指示器は2203型の騒音計で、音圧測定範囲は 22~134dB において精度は ± 0.1 dB. 周波数範囲は 20~20,000Hz, これにマイクロフォン4131型を使用した。音圧範囲は自由音場 0° 入射角で 20~10,000Hz で精度は ± 0.1 dB (ただし使用範囲は 15,000Hz まで可能である。しかし精度が ± 1 dB まで低下する), 感度 $4.47 \text{ mV}/\mu \text{ bar}$ である。

音圧の較正にはピストンフォン4220型を使用した。

2) 周波数分析器1613型は、11個のオクターブバンドパスフィルターを有しており、中心周波数は 31.5, 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000, 31500Hz で、22~45000 Hz

までが測定可能範囲である。今回は周波数分析器を指示器に取り付け、中心周波数 62.5~8000Hz までの周波数分析を行なった。

3.2. 測定方法

測定器は図 3 に示すように A, B, C の聴感補正回路がある。本測定においては A, B, C 特性ならびにオクターブバンドパスフィルターの中心周波数 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000Hz の各バンドにおける音圧測定を行なった。低周波域は聴覚にはあまり問題とな

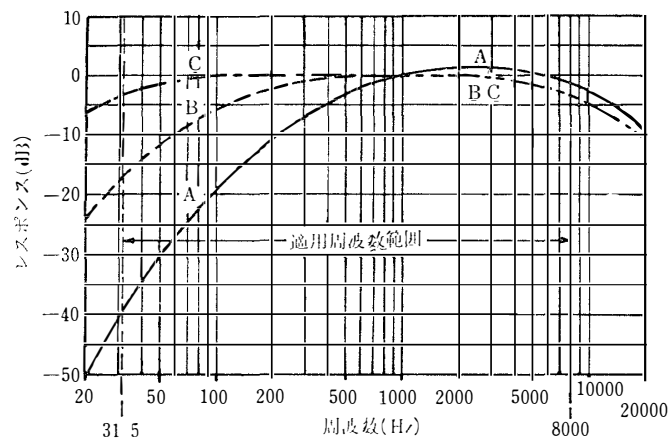


図 3 JIS 規格に規定されている騒音計の総合周波数レスポンス曲線

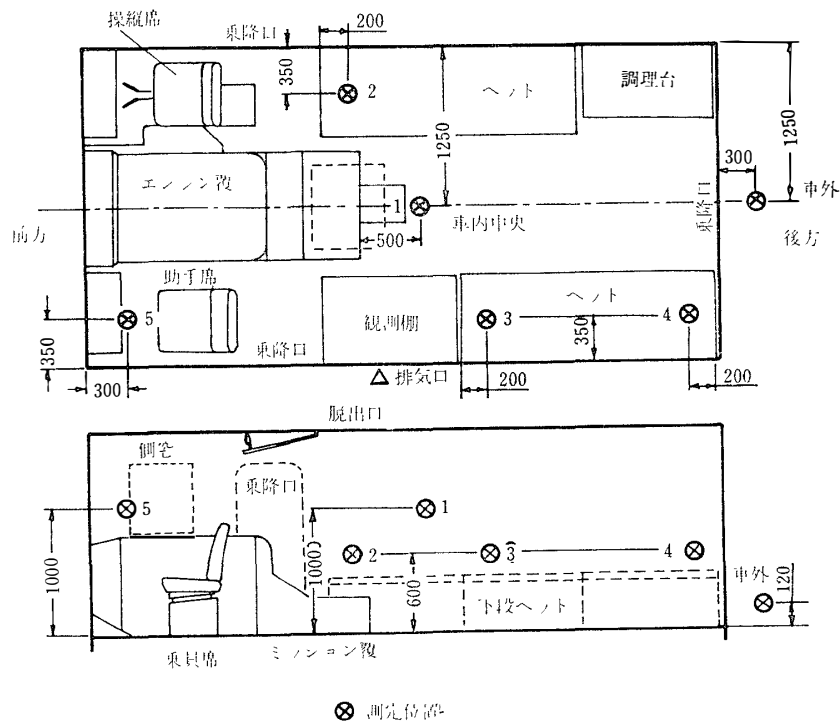


図 4 KD607 車の測定位置

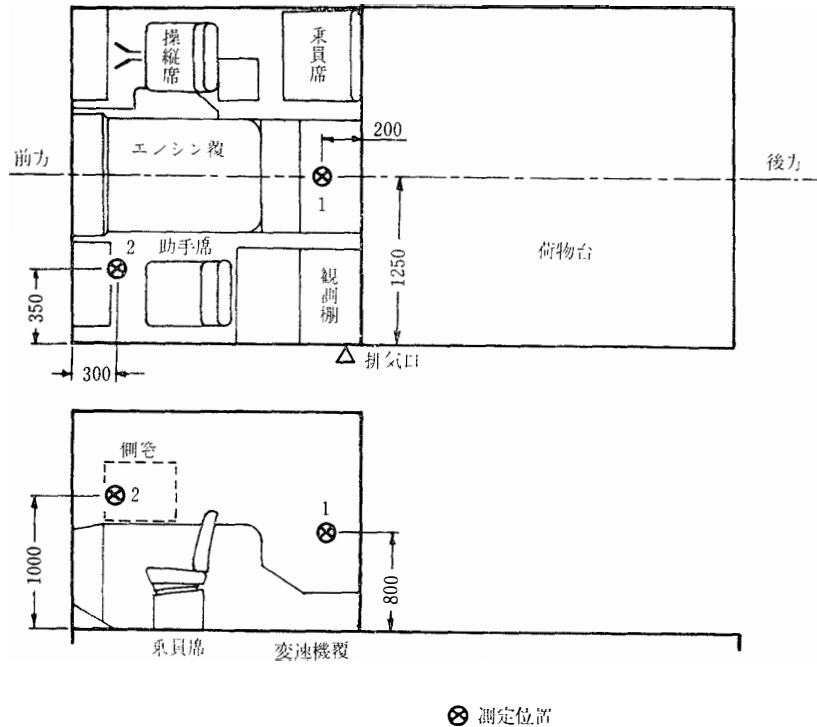


図 5 KD608 車の測定位置

らないので、簡単な A 特性を用いるのが通例である。音圧の単位には dB を用いる。

測定には測定者の影響を除くため、延長コネクター (UA0039) を使用した。マイクロフォンの感度較正にはピストンフォンを使用して騒音計の精度を 250Hz から 10000Hz の範囲内で $\pm 0.2\text{dB}$ に保つことができた。

供試車は車室両側の窓（操縦席と助手席）、車室天井面の脱出口は開放状態とし、次に示す(1)と(2)の状態ですべての騒音を測定した。

(1) 供試車の停車中におけるエンジンを無負荷状態の運転で 600, 1000, 1500, 2000, 2400 rpm の各回転数毎における助手席の騒音測定。

(2) 供試車走行中の車内および車外の騒音測定。測定位置を図 4, 5 に示す。KD607 車では車内 5 点、車外 1 点、KD608 車では車内 2 点を測定した。

以上の騒音測定を A, B, C 特性による音圧レベルとオクターブバンドパスフィルターによる周波数分析を行なった。

4. 測定結果および検討

供試雪上車の騒音が乗員に及ぼす影響の解析を中心に、測定結果について述べる。騒音が

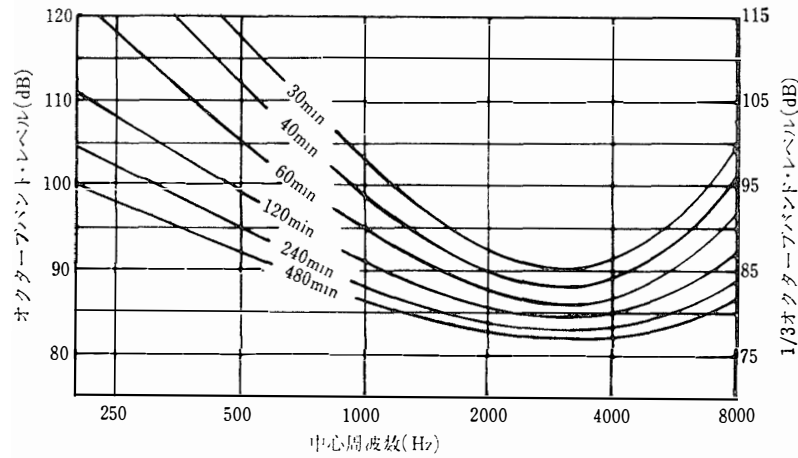


図 6 騒音の許容基準（1日8時間以下の連続暴露の許容時間）

聴覚に及ぼす影響については、数種の評価方法があるが、過去の南極での行動（1日の走行時間約8～10時間、旅行期間3～5カ月間）も考慮して、ここではISO/TC43が提唱する騒音が日常会話に及ぼす影響についての騒音評価基準と、日本産業衛生協会がISOの基準に準じて勧告した騒音の許容基準（1969年）を適応することにした。

日本産業衛生協会の勧告では、図6に示すように、騒音の周波数と音圧レベルの関係で連続的な暴露の許容時間を考慮して許容基準（限界）を定めている。図6に示す許容限界であれば、1日のうち8時間以内の暴露が常習的に10年以上続いた場合でも、永久的聴力損失（NIPTS or PTS: Noise-Induced Permanent Threshold Shift or Permanent Threshold Shift）はあまり問題とならないと述べられている。

またこの基準は騒音計のA特性で測定した結果90dBであったとすれば、この騒音に8時間さらされた場合には許容基準の限度となることに相当している。

ISOおよび日本産業衛生協会の勧告では、A特性のみによる測定では不十分なので、騒音の周波数分析を行なうことを原則とし、測定には日本標準規格（JIS）を準用することとされている。

4.1. 停車中の車内騒音

供試車を停車させ、エンジン回転数を無負荷状態で、600、1000、1500、2000、2400rpmと変えて助手席の騒音を測定した。この場合A、B、C特性による音圧レベルとオクターブバンドパスフィルターによる周波数分析を4回ずつ測定した。その平均値を表2および図7、図8に示した。

この場合、エンジン回転数2400rpmのとき助手席の騒音レベルが最も高かった。A特性

表 2 KD607 車の車内中央部 (測定位置図 4 の No. 1) ならびに KD608 車の変速機覆上 (測定位置図 5 の No. 1) の騒音測定結果 (単位 dB)

供試車	エンジン回転数 rpm	600	1000	1500	2000	2400
	音圧特性					
KD 607	A	60.0	64.0	70.0	76.5	81.5
	B	68.5	72.5	78.0	83.0	87.0
	C	77.0	80.0	84.0	88.0	91.0
KD 608	A	64.0	69.0	75.0	82.0	85.0
	B	75.5	78.5	85.0	90.0	93.0
	C	87.0	90.0	91.5	95.0	97.0

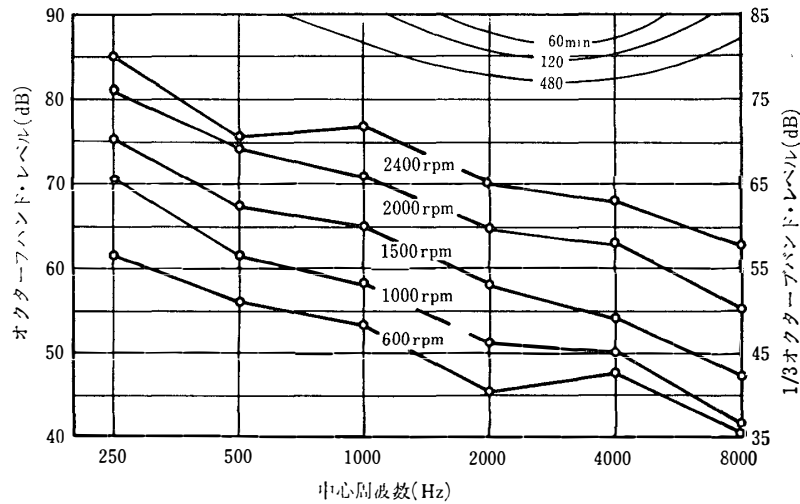


図 7 KD607 車の停車中における助手席の騒音レベルと周波数との関係 (図右上の細い実線は 1 日 8 時間以下の連続暴露の許容時間を示す)

で KD607 車は 81.5dB, KD608 車は 85.0dB であった。この騒音は低周波域で大きく、高周波域になるにしたがい小さくなっており、図 6 に示す日本産業衛生協会の許容限界以下であった。騒音レベルの大きかった回転数 2400rpm の場合でも、許容限界以下であったので、乗員が聴力障害を起こすことはない。

KD607 車の騒音レベルに比較して、KD608 車の騒音レベルが高いのは、図 4, 図 5 からわかるように、KD608 車の車室は KD607 車に比べて小さく、車室の大きさや構造の影響によるためと思う。

供試雪上車のエンジン室は車内の前方にあり、エンジン覆内側には断熱と遮音のため、厚さ約 20mm の硬質ウレタンホームが接着されているが、エンジン自体からの輻射音とエンジンの振動により誘発される車体各部の振動音とが重合している。

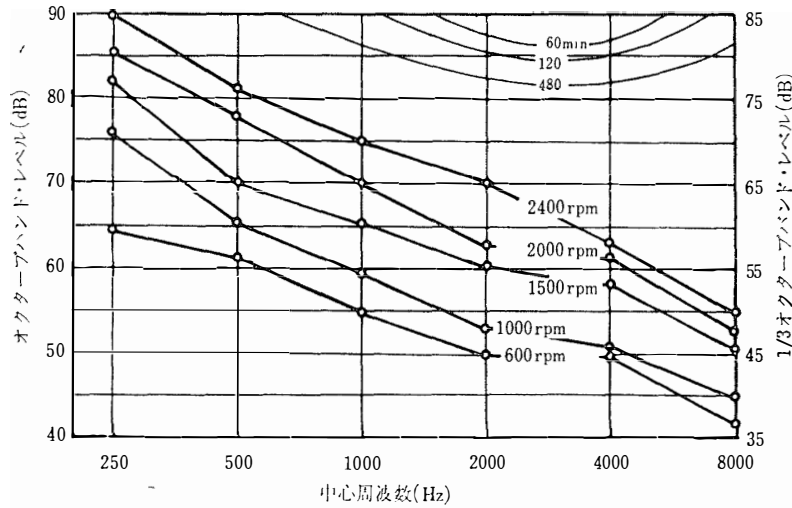


図 8 KD608 車の停車中における助手席の騒音レベルと周波数との関係
 (図右上の細い実線は 1 日 8 時間以下の連続暴露の許容時間を示す)

4.2. 走行中の車内外の騒音

走行中 (速度 11~18km/h, エンジン回転数 1500~2400rpm) に車内および車外騒音を A, B, C 特性の測定と周波数分析を行なった. 測定は 4 回ずつ行ない, その平均値を表 3 および図 9, 図 10 に示した.

これらの結果からわかるように, 走行条件が異なるので, 断定的な結論は下しにくい, 低周波域で騒音レベルが大きい. KD607, KD608 車の車内ではエンジンに近い助手席付近の騒音が大であり, KD608 車は KD607 車に比して騒音が大きい. また KD607 車は図 9 に示す車内各部の騒音に差はみられるが, 走行条件が同一でないため, 比較することは困難である.

供試車	KD607					KD608		
	測定位置 1	2	3	4	5	車外	1	2
エンジン回転数 (rpm)	2000	1500	2200	2400	2400	2200	2200	2000
変速機位置	第 4 速	第 4 速	第 4 速	第 3 速	第 4 速	第 3 速	第 4 速	第 4 速
速度 (km/h)	14	11~12	16	11~12	17~18	10~11	15	13~14
音圧特性								
A	83	84	85	82	93	96	100	88
B	96	98	104	96	107	106	109	98
C	107	114	113	106	119	115	120	117

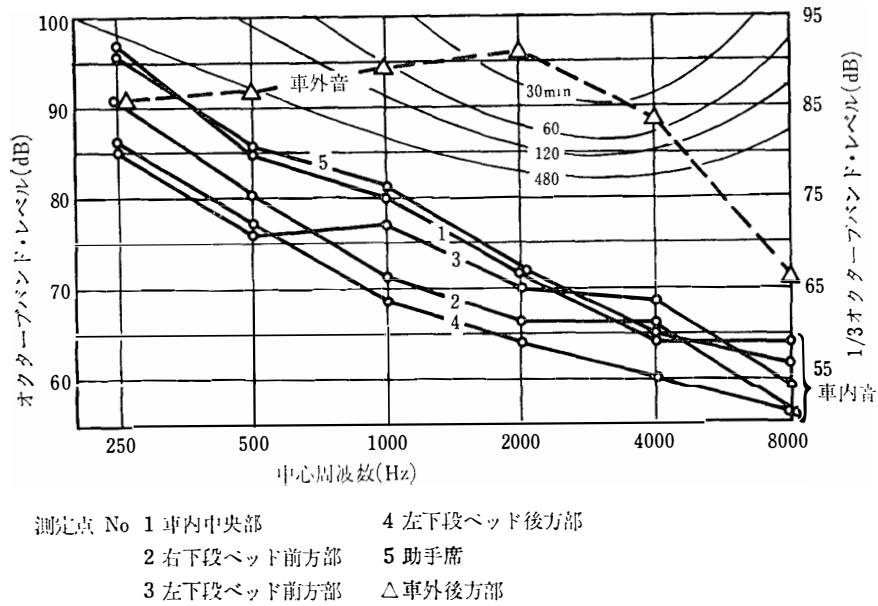


図 9 KD607 車の走行中における車内および車外騒音レベルと周波数との関係 (図右上の細い実線は 1 日 8 時間以下の連続暴露の許容時間を示す)

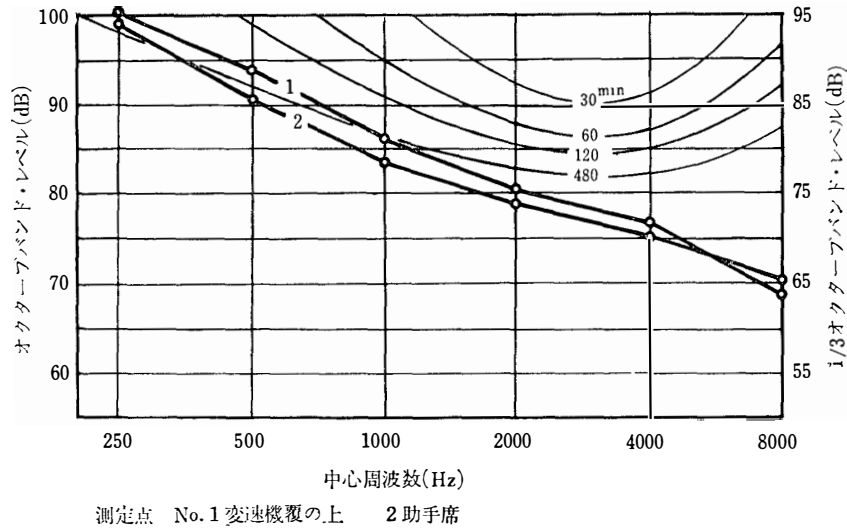


図10 KD608 車の走行中における車内および車外騒音レベルと周波数との関係 (図右上の細い実線は 1 日 8 時間以下の連続暴露の許容時間を示す)

KD607 車の車内前方の騒音レベルはかなり大きく、許容限界に近い。しかし、乗員が 1 日のうち 8 時間連続してこの騒音にさらされても聴力損失を起こすことはないであろう。

KD608 車については、図10からわかるように、車内騒音レベルが大きく、特に低周波域では許容限界を越えている。ISO などの基準では、この低周波域の騒音に長時間さらされる

と聴覚障を起こすことがあると警告している。間歇的な騒音であれば、音圧レベルと暴露時間との関係で回復時間を取ることで、聴覚障害の影響を避けることができる。ISOの提唱によると、たとえば助手席の騒音レベルがA特性で90dBあると、35分間騒音にさらされる毎に最低4分間以上の回復時間を取れば、間歇的に騒音にさらされていることになる。よって間歇的暴露の1日の合計が8時間となっても聴力障害は起こさないであろう。

走行中の車内騒音はエンジン、変速機、駆動装置、走行装置および車体の振動が発生原因となっており、さらに履帯自体の振動音、履帯が露面を打つ音、砂礫を噛み込む音などが加わりかなり複雑である。

車室外壁の内側には断熱と遮音のために厚さ約40mmの軟質のポリウレタンフォームが接着しており、内張りには吸音性も考慮して、難燃性穴あきレザーが用いてあるため図9に示すように、車外音は遮音されて車内には影響していない。車内後方の騒音はエンジン覆、変速機の覆、床板、熱交換器の覆、下段ベッド下の格納棚外板、調理台などの金属製品の二次的振動から起因している音も含まれているため、騒音レベルが高くなっているものと思われる。走行中の車内振動を解析するため、車内各所の騒音と車体各部の振動測定を行なったが、実際には露面の変化に応じて走行条件は時々刻々と変化しているためと資料不足につき削除した。

4.3. 騒音が日常会話におよぼす影響

騒音が日常会話を妨害する度合についてISO/TC43の提唱がある。音声の高音域の成分は、エネルギーは小さいが聴覚に影響する明瞭度に重要な役割をなし、騒音の中で500~5000Hz程度までの声を聴取する時の明瞭度となる。

車内騒音を会話者の耳の位置で周波数分析を行ない、500, 1000, 2000Hzを中心周波数とするオクターブバンドの音圧レベルから次に述べる騒音評価数(NR数: Noise Rating Number)を求め、その3つのNR数の中の最大値を用いて「普通の声で日常会話が可能距離:d」および「大声で話せば日常会話が可能距離:D」の2つについて評価している。

ISOではNR数を次の式で算出している。

$$L = a + bN$$

$$N = (L - a) / b$$

Lはオクターブバンドレベル(dB)。aとbは表4の係数。

aとbは表4に示すように中心周波数1000Hzを中心とし、低周波域のNR数を低く、高周波域が高くなるよう作られている。

NR数85を聴力保護の限界とし、このNR数以下であれば10年間連続暴露されても日常会

表 4 オクターブバンド・レベルの中心周波と係数 a および b との関係

オクターブバンド・レベルの中心周波数 (Hz)	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
係数 a	35.5	22.0	12.0	4.8	0	-3.5	-6.1	-8.0
係数 b	0.790	0.870	0.930	0.974	1	1.015	1.025	1.030

話には無視できる程度の聴力損失しか生じないと言われている。

参考とするために KD607 車の車内で日常会話が可能な距離について、22~33才の健康な男性10人を対象として実測したが、個人差、慣れの差が大きく、たえず走行条件が変化しているため、この方法で得た実測値は使用できなかった。雪上車内で会話をするために、人と人との最低間隔（限界値）を実測すると、0.2~0.3m が限界であった。よって雪上車内で日常会話ができる限界値を 0.2m と定めて評価する。

NR 数と日常会話が可能な距離 (d と D) との関係を表 5 に示した。

表 5 NR 数と日常会話が可能な距離 (d と D) (単位 m)

NR数	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
d	7	4	2.2	1.3	0.7	0.4	0.22	0.13	0.07	0.04
D	14	8	4.5	2.5	1.4	0.8	0.45	0.25	0.14	0.08

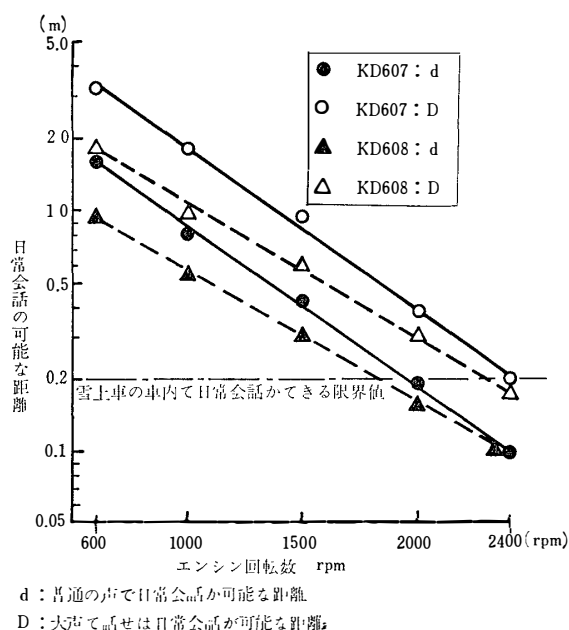


図11 停車中（ただしエンジン回転数 600, 1000, 1500, 2000, 2400rpm）の雪上車の助手席付近での日常会話可能な距離とエンジン回転数との関係

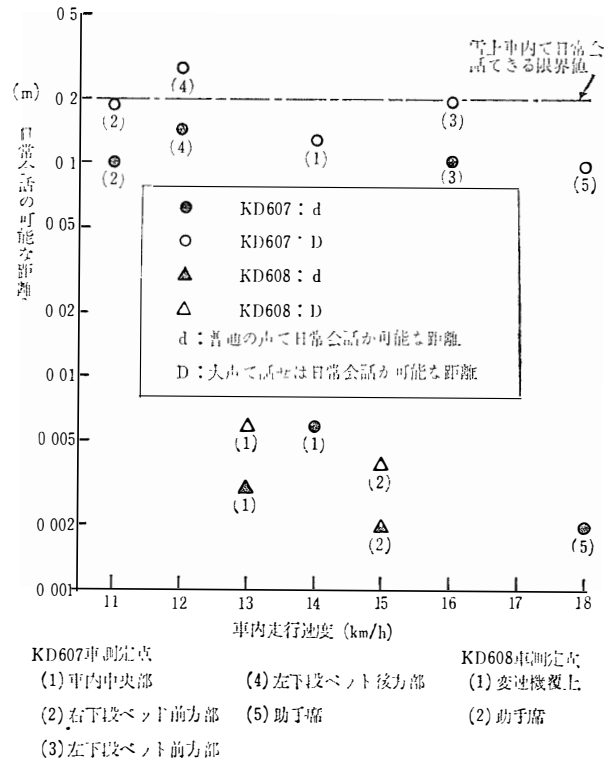


図12 供試雪上車 (KD607, 608 車) の走行中に車内で日常会話が可能な距離と走行速度との関係

4. 3. 1. 停車中のエンジン騒音が日常会話に及ぼす影響

前に示した停車中の測定結果から d および D を計算してみると図11に示す通りである。

図11が示すように、エンジン回転数 2000rpm 以下であれば、普通の声で日常会話は可能であり、2000rpm 以上では大声で話せば日常会話はできる。

4. 3. 2. 走行中の騒音が日常会話に及ぼす影響

走行速度 (速度 11~18km/h, エンジン回転数 1500~2400rpm) と車内での会話可能な距離 (d と D) との関係を図12に示した。

この測定では例数が少ないので、詳しい検討はできないが、車内を前方と後方の2つに区分すると、KD607 車の車内前方 (操縦席と助手席) で日常会話を行なうことは困難である。

しかし、大声で単語程度を命令的に話すならば、かろうじて通ずるであろう。

車内後方では大声であれば日常会話を行なうことが可能である。

KD608 車の車内で日常会話を行なうことは不可能であるが、大声で単語程度を命令的に話すならばかろうじて通ずるであろう。

両車ともエンジン室付近での日常会話は不可能に近い。大声で単語程度の内容を命令的に

話してかろうじ通ずるようでは正常な会話状態といえない。

5. ま と め

以上を総括すると、次のとおりである。

1. 供試車の停車中にエンジンを無負荷運転したとき発生する車内騒音で、乗員が聴力障害の影響を受けることはないであろう。

2. 供試車の走行中の車内騒音で最も高かったのは、車内前方のエンジン室付近で、周波数分析の結果、KD607 車の低周波域は許容限界に最も近接している。しかし、1日8時間程度連続して騒音にさらされても乗員の聴覚に及ぼす影響はないであろう。

KD608 車の車内騒音は、日本産業衛生協会の示す許容限界を越えており、連続暴露では1日4時間以内、間歇的暴露では、音圧レベルと暴露時間との関係で回復時間を取れば、1日8時間以上暴露されても聴力損失を起こす心配はないであろう。

3. 供試車の停車中にエンジンを無負荷運転したとき、車内騒音が日常会話に及ぼす影響はエンジン回転数 2000rpm 以下では普通の声で会話可能、2000rpm 以上は大声で話さなければ会話できない。

4. 供試車が走行中に操縦席、助手席および車内中央付近の乗員が日常会話を行なうことは困難である。しかし、車内後方では大声で話せば日常会話を行なうことは可能である。走行中の車内各所において普通の声で容易に会話できる状態とするには、NR 数を70以下にとどめる改良が必要であろう。

5. 車内騒音は全般的に低周波域が大きくなっているのは、エンジンの回転から起因していると思われる。走行中の車外後方部の騒音レベルは 2000Hz を最高とし、低周波域と高周波域とが低下している。図10の曲線から車外音は車壁によって遮音され、車内影響していないといえる。車内騒音で約 1000Hz 以上の高周波域の遮音は比較的容易であるが、1000 Hz 以下の低周波域の遮音については困難であり、研究する必要がある。

6. 騒音の発生源解析のために車体各部の振動測定も行なったが、測定資料の不足につき十分な解析ができなかった。

当研究にご指導、ご協力下さった国立公衆衛生院の長田泰公氏、国立科学博物館極地研究センターの楠宏氏、防衛庁技術研究本部の細谷昌之氏、株式会社小松製作所に深く感謝します。

文 献

日本音響材料協会 (1967) : 騒音ハンドブック, 技報道, 44-99.

自動車技術会（1970）：騒音．新編自動工学ハンドブック，第5章，108-126.

日本産業衛生協会（1969）：許容濃度等の勧告．産業医学，**8**，390-394.

（1970年2月6日受理）