

高規格救急車内に伝播する電子サイレン音の減衰に関する研究開発 (第3報)

Research and Development for the Reduction of the Propagation
of a Siren in an Ambulance (Series 3)

脇 賢**
 渡 邊 久 夫*
 佐々木 一 治***
 下 重 美佐男*
 高 井 啓 安*

概 要

平成7年度から、高規格救急車内に伝播する電子サイレン音を低減させる装置の研究開発を進めてきた。これは、救急隊員と傷病者との情報交換や、容態観察時傷病者の心音・呼吸音の確認が容易に行えるように、車内環境の改善を図ることを目的としている。

過去2年間の実験結果等をもとに、アクティブ騒音制御方式の応用によるサイレン音減衰装置を製作した。

これを救急車(訓練車)に搭載して検証実験を実施した結果、救急車内のサイレン音を十分に減衰させる効果のあることが確認できた。

Since 1995 we have been conducting research and development of a system which reduces the siren sound propagated inside an ambulance. This system is aimed at enabling ambulance personnel to communicate easily with the patient, and confirm the patient's heartbeat and breathing with less difficulty.

Based on the test results of the past two years, we produced the siren soundreducing equipment, by adopting the active noise control method. We put this prototype to the test by installing it on an ambulance. As a result of this it was confirmed that the siren sound was reduced sufficiently.

1 はじめに

2 両指向性と単一指向性

高規格救急車内において、救急隊員と傷病者等との情報交換や、傷病者の心音・呼吸音の確認などが容易に行えるよう、車内に伝播するサイレン音を減衰させる装置の研究開発を進めている。

消防科学研究所報33・34号に過去2年間の研究開発経過を掲載してきたところである。

これらにより得られたデータを基にアクティブ騒音制御(ANC: Active Noise Control)を応用した単一指向性スピーカー及びその制御装置を製作した。

これを救急車(訓練車)に搭載し、車内でのサイレン音の減衰効果を確認する検証実験を実施した結果及び並行して実施したパッシブ騒音制御方式による実験結果について報告する。

消防科学研究所報34号では、両指向性(ダイポール特性)のスピーカーによる騒音低減装置を製作し、実験結果について報告した。

この方法によると、緊急車両の警報音としての要件のひとつである、車前20m位置で90dB以上120dB以下という条件を満足しつつ、かつ車内のサイレン音をある程度低減できることがわかった。

その後さらに低減効果を高めるため、ANCを応用して単一指向性のサイレン用スピーカーを製作することとした。

両指向性スピーカーの場合では、後方20mの位置でも前方20mの位置と同程度のサイレン音圧がある。これに対して単一指向性スピーカーでは、この後方分の音のエネルギーが減少するため、理論上車内のサイレン音が更に減衰することが期待される。

* 第三研究室 ** 高輪消防署 *** 蒲田消防署

無指向性と単一指向性の概念を示したものが、図1である。

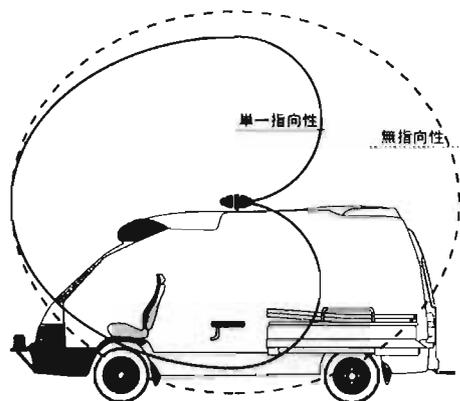


図1 無指向性と単一指向性

3 試作装置

前2の単一指向性の音響性を得るために、アクティブ騒音制御技術を応用することとした。

(1) 装置の構成

装置の構成は、図2に示すとおりである。

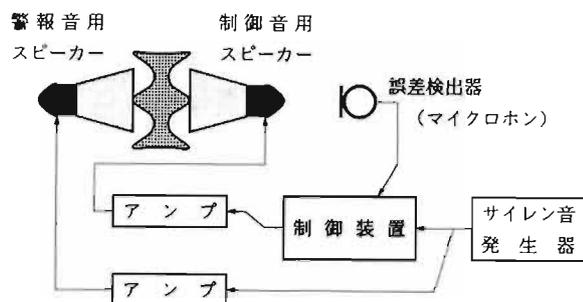


図2 装置の構成

(2) 装置の機能

ア スピーカー部 (写真1参照)

警報音用と制御音用の二つのドライバーユニット及びそれらの中央にあるホーンで構成されている。

それぞれのドライバーユニットから出力された音波は、その進行方向に垂直な面が連続的に変化するホーンに導かれ、救急車の前方向への指向特性を持った音響特性を得ている。

イ 誤差検出器 (コンデンサマイクロホン) (以下「エラーマイク」という)

警報音と制御音の誤差信号を検出し、これを制御装置に入力する。

ウ サイレン音発生器

救急車のサイレン音に適合した音 (電気信号) を生成し、警報スピーカー用アンプ及び制御装置に出

力する。

エ 制御装置

サイレン音発生器からの信号及び誤差検出器からの信号を受け、警報音と制御音の誤差信号が小さくなるように演算を行い、制御信号の合成パラメータを自動制御する。

また、制御音用スピーカーに対して、単一指向性だけでなく、両指向性や無指向性あるいは無信号となるような出力を行う選択スイッチが設けられている。

オ アンプ部

警報音用及び制御音用のスピーカーそれぞれに対して、独立したアンプが設けられている。

警報音スピーカー用アンプはサイレン音発生器の出力を受け、制御音スピーカー用アンプは制御装置からの出力を受け、それぞれを増幅する。

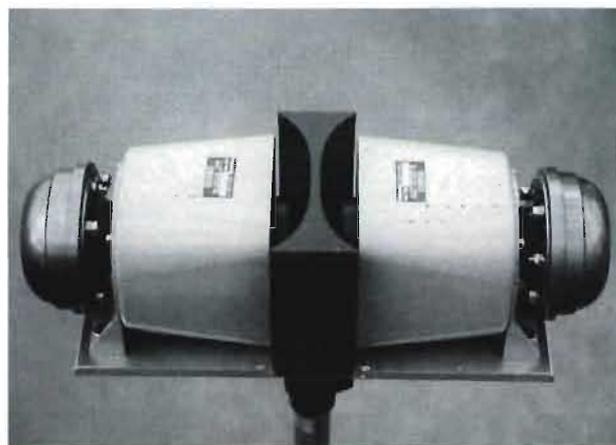


写真1 スピーカー部

4 救急車による実験

(1) 実験の目的

過去2年間の検証実験は、広報車 (ハイエース) を使用してきたところである。

それらの実験で両指向性スピーカーの効果が確認できたため、単一指向性スピーカーについてはより現実的な、実際の救急車を使用して検証することを目的に実施した。

(2) 実験使用車両 (写真2参照)

訓練車 (ベンツ)

(3) 計測機材

ア 精密騒音計

イ 音圧分布測定装置

(4) 実験方法等 (写真3参照)

ア 実験車両の条件設定

(7) 車両のエンジンは停止状態

(4) 車両の開口部 (ドア、窓) は全て閉鎖

イ 測定項目

(7) 「無指向性」にしたときの車内における音圧分布の測定

(イ) 「単一指向性」にしたときの車内における音圧分布の測定

ウ 測定条件

(7) 精密騒音計は、測定車両の前方20mで地表からの高さを1.5mの位置に設定した。この位置で各指向性の音圧を90dBに統一し、車内の音圧分布を測定した。

(イ) 音圧分布測定は、等間隔に設定した8個のマイクロホンを順次後方に移動(10回)させて、それぞれのマイクロホン位置における音圧レベルを測定した。

なお、測定位置は、救急車室内の床面から1150mm及び800mmの2種類の高さについて実施した。

(この測定面をそれぞれ「上面」及び「下面」とする)

(ウ) 単一指向性にした場合の制御点(エラーマイク位置)を

① 後方スピーカードライバの近傍

② 前①から200mm後方位置

の2カ所に設定し、それぞれの場合のデータを記録した。

(5) 実験結果及び考察

使用周波数、測定面の高さ及びエラーマイクの位置等を変更して測定を実施した。



写真2 実験使用車両



写真3 測定器の設定状況

この結果、単一指向性の場合は無指向性の場合より約10dB以上の低減効果(元の音の大きさの約半分)が得られていることがわかった。

(参考: 今回の実験で、10dBの低減というのは、元の音の大きさの約半分であると感じた。)

以上のことから、救急車においても車室内のサイレン音減衰に対して単一指向性スピーカーが有効であると確認できた。

5 パッシブ制御について

消防科学研究所報34号の「今後の研究開発方針」に記載したとおり、アクティブ制御による研究開発と並行してパッシブ方式に関する調査及び実験を実施した。

この実験では、各種の防音材料等に対して同一の条件による音の減衰量を測定するとともに、救急車に設定することを考え、車体重量の増加を抑えながら防音効果を求めるには、どのような材料が適当であるかを検証した。

(1) 測定方法等(写真4~7参照)

ア 実験使用資器材

(7) 無響箱(外形1020×1020×1070mm、有効容積500×500×500mm)

(イ) 精密騒音計

(ウ) 周波数分析器

(エ) 正弦波発生器

(オ) アンプ

(カ) スピーカー

(キ) 試料(防音材料等)16種類

イ 実験器材の設定

前アを図3のとおり設定した。

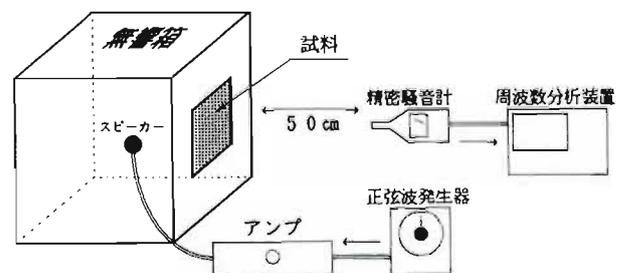


図3 実験機材の設定

ウ 試料の種類(大きさは全て、縦48cm×横43cm)

(7) 鉄板(厚さ2mm) 1枚

(イ) 鉄板(厚さ2mm) 2枚

(ウ) 鉄板(厚さ2mm) 3枚

(エ) 制振シート(厚さ1mm) 1枚

- (オ) 制振シート（厚さ1mm） 2枚
- (カ) 鉄板（厚さ2mm）+ 制振シート（厚さ1mm）
- (キ）鉄板（厚さ2mm）+ 両面に制振シート
（厚さ1mm）
- (ク）鉄板（厚さ2mm）+ 制振塗料（厚さ2mm）
- (ケ）鉛シート（厚さ0.3mm）
- (コ）鉛シート（厚さ0.5mm）
- (ク）鉛シート（厚さ1mm）
- (シ）鉄板（厚さ2mm）+ 鉛シート（厚さ0.3mm）
- (ス）鉄板（厚さ2mm）+ 鉛シート（厚さ0.5mm）
- (セ）鉄板（厚さ2mm）+ 鉛シート（厚さ1mm）
- (ソ）普通ガラス（厚さ3mm） 1枚
- (タ）普通ガラス（厚さ3mm） 2枚
（中間に2mmの空気層）



写真4 無響箱内部の状況



写真5 無響箱での測定状況



写真6 測定装置等の状況



写真7 試料（左から普通ガラス・制振塗料・鉛シート・制振シート・鉄板・二重ガラス）

エ 測定方法

(7) 図3において、正弦波発生器の周波数を770Hzに設定し、無響箱の開口部を開放し、試料をつけない状態で、離隔距離50cmに配置した精密騒音計の指針が100dBとなるようにアンプの出力を調整した。

（以降は、出力の変更を行わない）

(イ) 無響箱の開口部に、前ウの試料を順次取り付け、それぞれの音圧レベルを周波数分析装置に記録した。

(ウ) 前(7)の周波数を960Hzに設定して同様の測定を行った。

(2) 測定結果等

ア 各試料及び周波数ごとの測定結果は表1のとおりである。

イ 表1の結果をグラフ化したものが図4である。

ウ 表1及び図4から次のことが判明した。

(7) 試料のほとんどにおいて、770Hzが960Hzより2～4dB程度減衰が大きい。

(イ) 2mmの鉄板1枚と3mmのガラス1枚の減衰量がほとんど同一である。

(ウ) 中間に空気層をもった二重ガラスは、他の試料に比べ、大幅な減衰効果がある。

エ 車両のボディに防音措置を施す場合、その重量が問題となる。

このことから、各試料の重量を計測し、単位重量当たりの減衰量を算出した結果が表2である。

また、表2の「単位重量当たりの減衰量」をグラフ化したものが図5である。

これより、次のことが判明した。

(7) 車両重量を抑えることを主眼に防音措置を行う場合は、制振シートが最も効果的である。

(イ) 金属試料の中では鉛0.3mmが最も効果的であり、鉄板は減衰効果が高いものの重量が大きいゆえに車両製作上は現実的でない。

(ウ) ガラスは、鉄板と比較して大幅に減衰量が大きく

表1 測定結果

No.	試料	770Hz(dB)	960Hz(dB)
1	なし	100.09	100.02
2	扉閉鎖	52.48	47.70
3	鉄板 1枚	78.58	82.75
4	鉄板 2枚	79.69	78.43
5	鉄板 3枚	75.13	77.51
6	制振シート	81.49	84.14
7	制振シート 2枚	79.28	83.41
8	鉄板+制振シート	75.05	79.16
9	鉄板+制振シート(両面)	74.36	79.09
10	鉄板+制振塗料	77.52	81.63
11	鉛0.3mm	81.17	83.15
12	鉛0.5mm	79.91	83.84
13	鉛1mm	76.78	80.63
14	鉄板+鉛0.3mm	75.86	80.47
15	鉄板+鉛0.5mm	77.18	79.55
16	鉄板+鉛1mm	76.92	81.59
17	ガラス 1枚	78.16	83.29
18	ガラス 2枚(中間に空気層)	71.13	74.10

表2 単位重量あたりの減衰量

No.	試料	試料重量(kg)	減衰量(dB)		減衰量(dB/kg)	
			770Hz	960Hz	770Hz	960Hz
1	鉄板 1枚	3.15	21.51	17.27	6.83	5.48
2	鉄板 2枚	6.30	20.39	21.59	3.24	3.43
3	鉄板 3枚	9.45	24.95	22.51	2.64	2.38
4	制振シート	0.40	18.60	15.88	46.50	39.70
5	制振シート 2枚	0.80	20.80	16.62	26.00	20.78
6	鉄板+制振シート	3.55	25.04	20.87	7.05	5.88
7	鉄板+制振シート(両面)	3.95	25.73	20.93	6.51	5.30
8	鉄板+制振塗料	3.72	22.56	18.39	6.06	4.94
9	鉛0.3mm	0.78	18.92	16.87	24.26	21.63
10	鉛0.5mm	1.15	20.17	16.18	17.54	14.07
11	鉛1mm	2.26	23.31	19.39	10.31	8.58
12	鉄板+鉛0.3mm	3.93	24.23	19.55	6.17	4.97
13	鉄板+鉛0.5mm	4.30	22.91	20.47	5.33	4.76
14	鉄板+鉛1mm	5.41	23.16	18.44	4.28	3.41
15	ガラス 1枚	1.44	21.93	16.73	15.23	11.62
16	ガラス 2枚(中間に空気層)	2.90	28.95	25.92	9.98	8.94

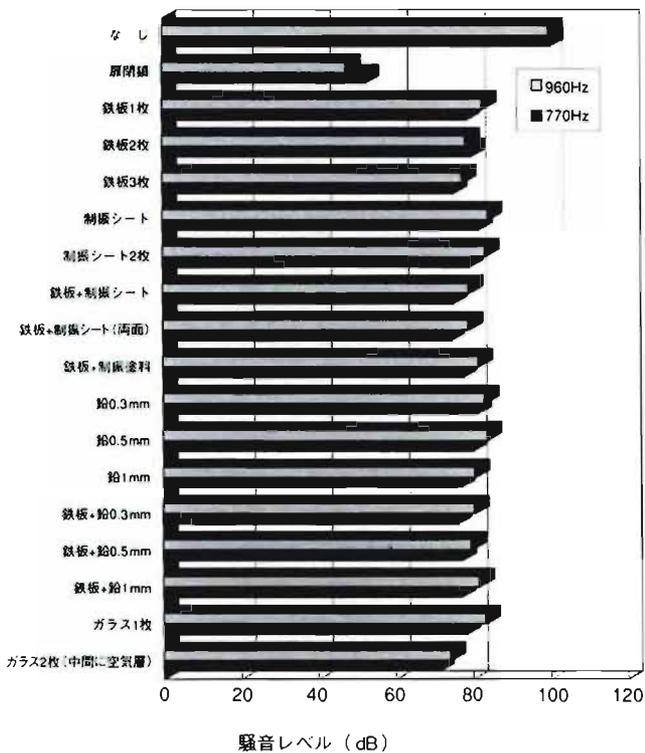


図4 測定結果

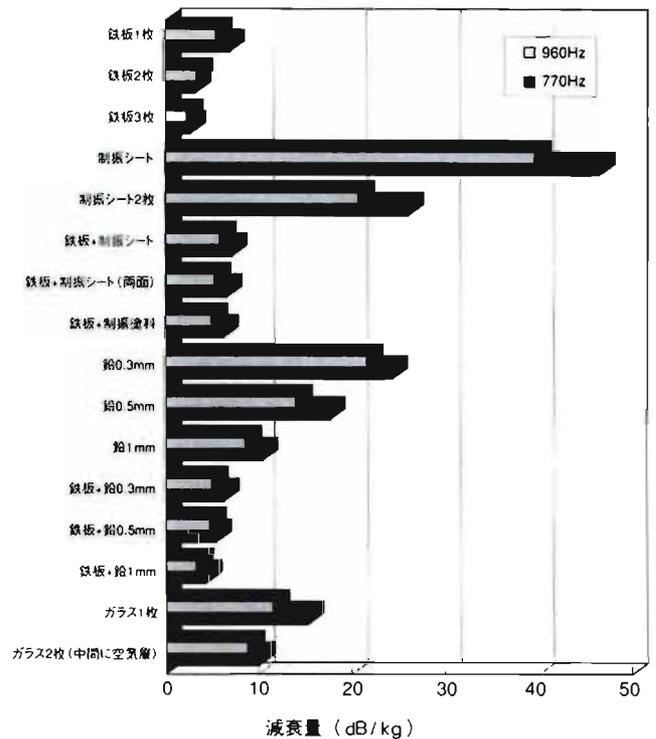


図5 単位重量あたりの減衰量

なっている。

このことは、救急車の防音措置を実施する場合にボディ（金属等）への防音対策に主眼をおくほうが効果的であることを示している。

(1) 制振塗料は、厚さ2mmの鉄板に塗布したため、十分な効果が得られなかった可能性が大きい。

(3) 総合判定

今回の実験では、16種類の試料を使用した。

これらの試料に対して、救急車のサイレン音を構成する2つの周波数による減衰効果の測定を実施した。

その結果、減衰量では二重ガラス、単位重量あたりの減衰量では制振シートが最も優れていることがわかった。

救急車の防音において、サイレン音を効果的に減衰させるには、防音材の加工性（制振シート及び0.5mmまでの鉛シートはハサミ等で裁断可能）及び防音材の重量を総合的にみて、制振シート及び鉛シート0.3mmを使用することが最も現実的であると結論づけられる。

6 まとめ

- (1) アクティブ騒音制御技術を応用して製作した単一指向性スピーカーを使用することにより、救急車内のサイレン音を約10dB以上低減できることが判明した。
- (2) この装置の使用により、車内の騒音が減衰すると同時に車外における側方・後方のサイレン音も小さくなるので、交差点進入時等には、制御装置に組み込んだ切替えスイッチで簡単に無指向性にして、周囲車両に対する注意を喚起することにより安全対策が図られる。
- (3) アクティブ騒音制御による指向性スピーカーの使用と合わせて、ボディの裏側に制振シート等の材料を貼ることでさらに静かな車内環境を生み出すことができると考えられる。

7 その他

本研究開発の実施にあたり第三研究室は、松下電器産業株式会社と共同研究を進めており、試作装置に関する特許を共同で出願した。

なお、実験に際し、方面訓練場、広報車及び訓練車の借用にご協力いただいた各所属の皆様は、心より御礼申し上げます。