

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2報)

Research and Development for the Reduction of the Propagation of a Siren in an Ambulance (Series 2)

脇 賢*

佐々木 一 治*

大 原 義 雄*

概 要

走行途上の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いる。

これは、救急隊員と傷病者との情報交換や、救急隊員が容態を観察するとき傷病者の心音・呼吸音の確認を容易に行えるように、車内環境の整備を図ることを目的としている。

昨年の第1報に示した実験結果等をもとに、アクティブ騒音制御方式を用いたサイレン音減衰装置を2種類試作した。これらの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。

We have been promoting the research and development for the reduction of the sound of a siren propagating into an advanced life support ambulance on the run.

The inside of an ambulance should preferably be rid of noises so that a conversation with a patient can be had easily, and the patient's heartbeat and breath can be checked for precisely.

A study has been under way for the purpose of securing the environment ideal for ambulance attendants.

On the basis of the results of the tests mentioned in last year's documentation (Series 1), we produced two sound reducing devices for a siren on an active noise control system.

Then in tests, both of them showed the effectiveness for the reduction of the propagation of an ambulance siren.

1 はじめに

2 サイレン音の音圧分布把握

走行途上の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。

前報では、代表的な3車種の高規格救急車内における音圧分布等の測定と、合わせて、救急隊員に対するアンケート調査の結果を掲載したところである。

本報では、新たな2車種の高規格救急車内における音圧分布把握実験を実施した結果、及びそれらのデータを基礎資料とした上で製作したアクティブ騒音制御(ANC: Active Noise Control)方式の応用による2種類のサイレン音減衰装置について報告する。

(1) 実験の目的

前報の中で、代表的な3車種の高規格救急車内における音圧分布測定等を実施し、その分析結果を報告したところである。

その後、新たに導入された救急車2車種についても同様の測定を実施し、サイレン音減衰装置を製作する上での基礎資料をより完全なものとするを目的に実施した。

(2) 実験使用車両(写真1及び2参照)

ア D車—青戸救急(本 田 署) A 0 7 0 4 0

イ E車—有楽町救急(丸の内署) A 0 7 0 5 4

(3) 実験資器材等

実験資器材及び実験装置の設定は、前報と同様に実施した。

(4) 実験方法

前(2)の救急車について、以下の測定を実施した。

*第三研究室



写真1 D 車



写真2 E 車

ア 救急車外の騒音レベル測定

車前20m位置及び車両直前位置におけるサイレン音を精密騒音計（リオン社製）のAレンジで測定した。

イ 運転席上の騒音レベル測定

運転席上におけるサイレン音を精密騒音計のAレンジで測定した。

ウ 救急車内のサイレンの音圧分布測定

各測定面の高さは、表1のとおりとし、以下のよう

表1 各測定面の位置

	D 車	E 車
第1面	床面から150cm	床面から157cm
第2面	床面から110cm	床面から115cm
第3面	床面から 70cm	床面から 80cm

(ア) 測定装置のセンサー部分をメインストレッチャー上の第1面の位置に固定する。

- (イ) サイレンを吹鳴した状態で、8個のセンサーを前部側から12.8cmごとに後部側に移動させ、各センサー位置での騒音レベルを記録する。（写真3参照）
 (ウ) 第2面及び第3面についても、前(イ)の測定を行う。



写真3 測定風景

(5) 実験結果及び考察

ア 車外及び運転席の音圧値等

車外20m、車両直前及び運転席位置における音圧レベルの測定値は、表2に示すとおりである。

表2 各位置における音圧レベル

	D 車	E 車
車 前 2 0 m	98～100dB(A)	93～100dB(A)
車両直前位置	109～116dB(A)	105～109dB(A)
運転席部分	84～88dB(A)	74～78dB(A)

この表より、車前20m位置におけるサイレン音の音圧は、両車種とも同程度でサイレン音の要件を満足している。

これに対して運転席部分での音圧は、E車がD車より10dB(A)小さくなっており、サイレン用スピーカの取り付け形状及びボディの材質等が影響していると考えられる。

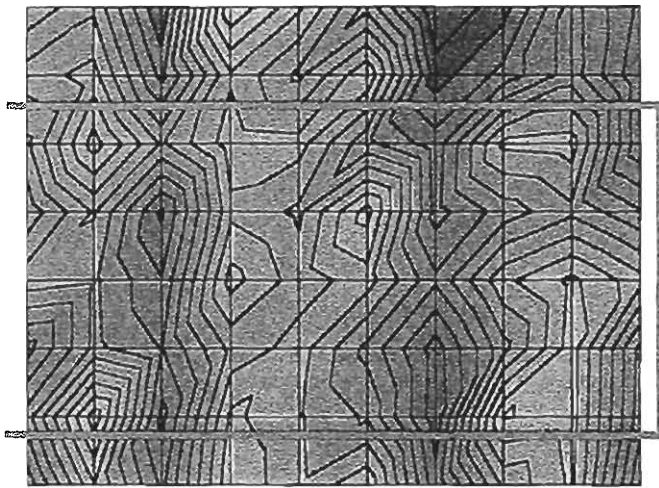
イ 救急車内の音圧分布

測定装置で集録した1面あたり80点の測定値に対して、パソコンによるマルチチャンネル音場計測システムを使用して、①770Hz成分、及び②960Hz成分ごとに騒音レベルの音圧コンター図で表現したものが図1～6である。

これらの図から、

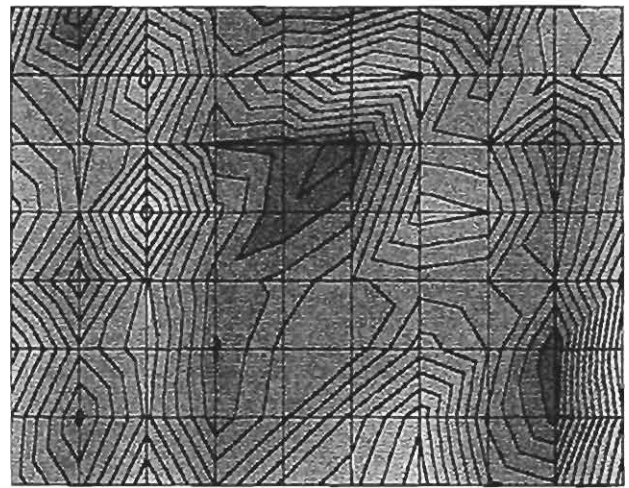
- (ア) 両車種とも各測定点における音圧のばらつきがあり、車内に面する壁等による反射の影響が大きいと推定される。

D 車



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図1-1 音圧分布 (960 $\wedge$ 第1面)



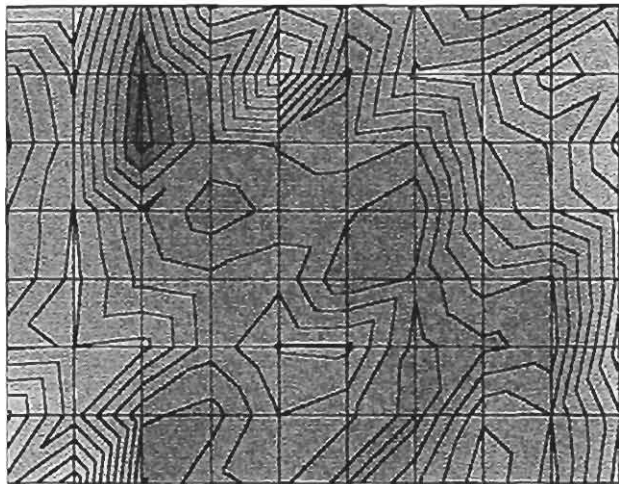
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図1-2 音圧分布 (770 $\wedge$ 第1面)

ストレッチャー位置

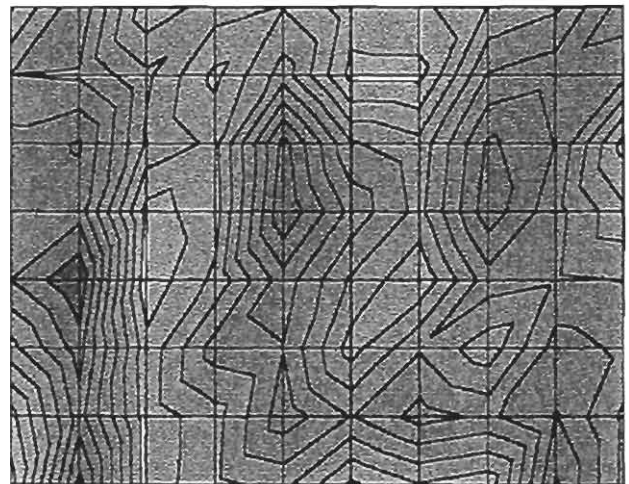
[dB]

車両前部 ⇨



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図2-1 音圧分布 (960 $\wedge$ 第2面)

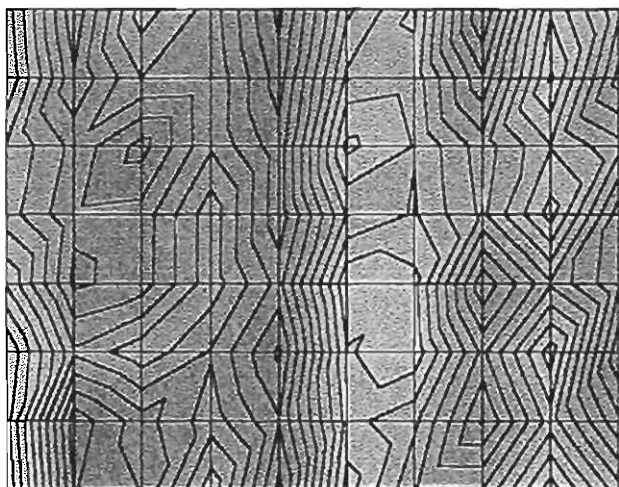


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図2-2 音圧分布 (770 $\wedge$ 第2面)

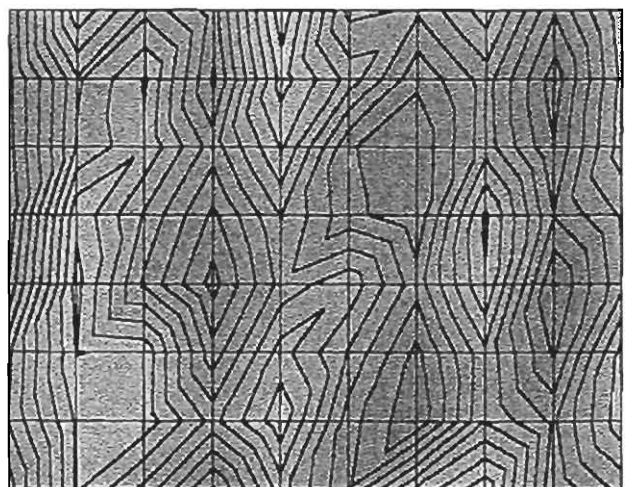
[dB]

車両前部 ⇨



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図3-1 音圧分布 (960 $\wedge$ 第3面)



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

図3-2 音圧分布 (770 $\wedge$ 第3面)

E 車

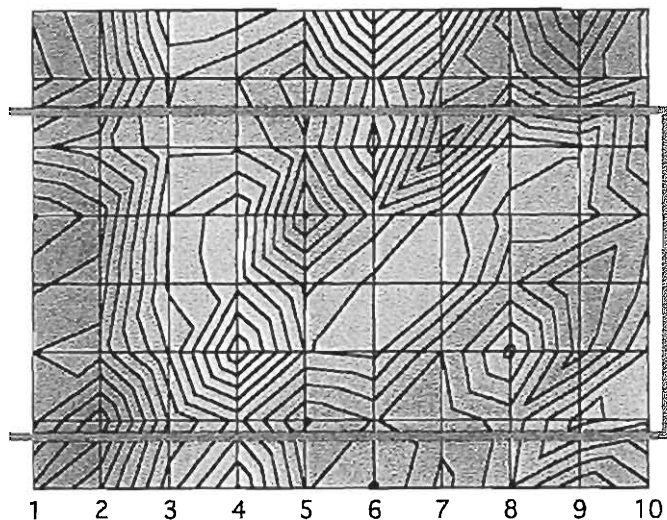


図4-1 音圧分布 (960ヘルツ第1面)

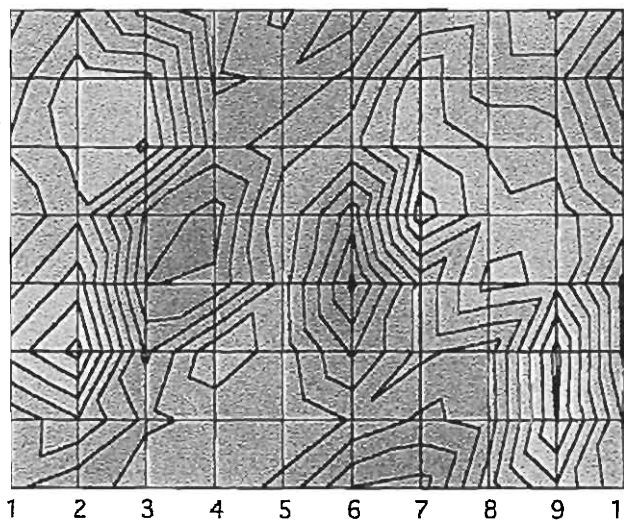


図4-2 音圧分布 (770ヘルツ第1面)

ストレッチャー位置

[dB]

車両前部 ⇨

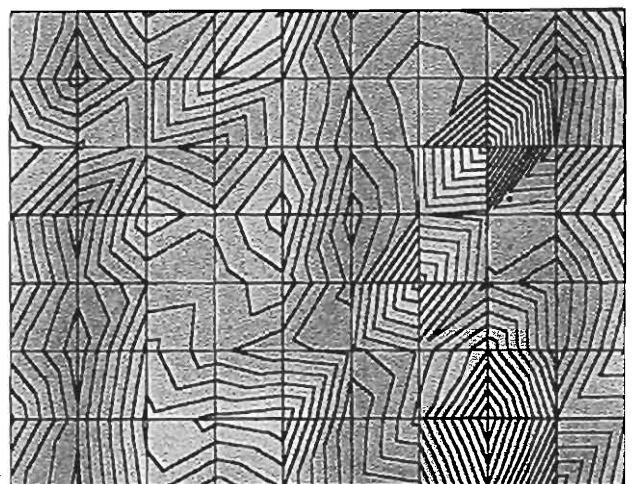


図5-1 音圧分布 (960ヘルツ第2面)

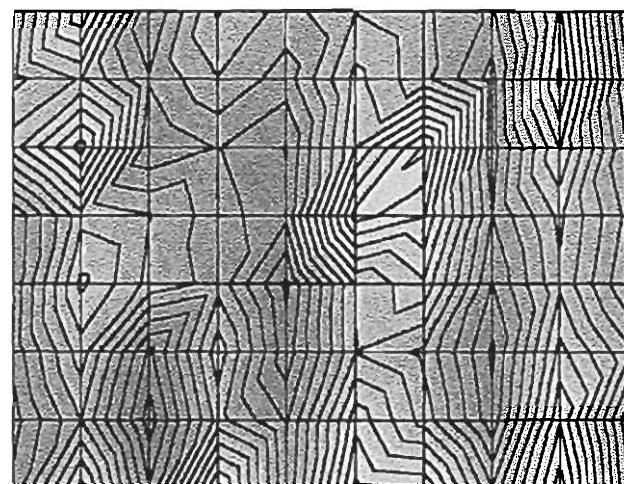


図5-2 音圧分布 (770ヘルツ第2面)

[dB]

車両前部 ⇨

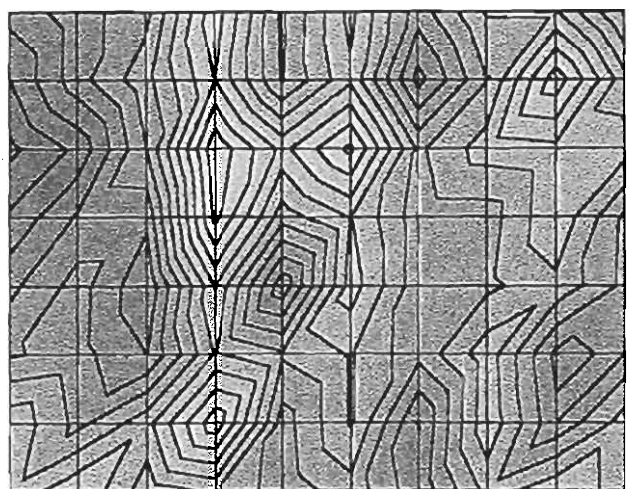


図6-1 音圧分布 (960ヘルツ第3面)

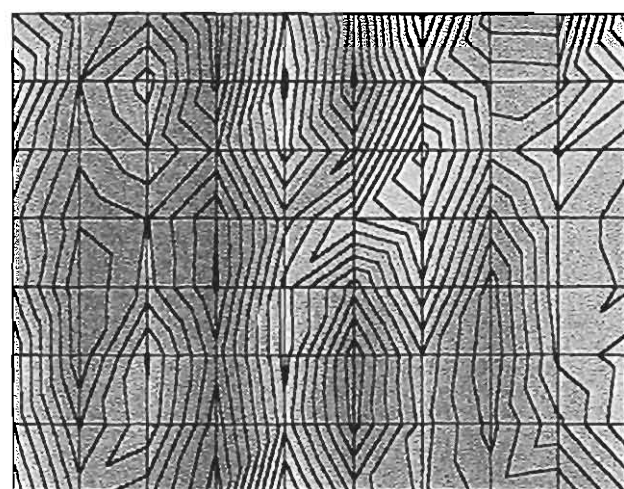


図6-2 音圧分布 (770ヘルツ第3面)

(イ) 大きな山と谷が、交互にあらわれている部分がある。これは、狭い空間の反射による定在波と考えられる。

ウ 測定した各面ごとのデータから、それぞれの最大値と最小値を抽出したものが表3である。

表3 音圧分布測定の各面における最大及び最小値

	D車(最大/最小)		E車(最大/最小)	
	960Hz	770Hz	960Hz	770Hz
第1面	92.7 / 69.8	92.8 / 66.4	82.8 / 54.2	80.5 / 61.3
第2面	91.0 / 67.3	89.8 / 71.4	84.0 / 53.8	83.1 / 55.5
第3面	88.6 / 66.9	87.7 / 66.6	82.5 / 58.3	83.1 / 57.1

[単位：dB(A)]

この表から同じ条件ごとに比較すると、

(ア) D車は第1面の値が最も大きく、第2面、第3面と低くなるにつれて小さくなっている。

このことから、サイレン音が天井から多く伝播していると考えられる。

(イ) E車の各段の値は、前(ア)の傾向は見られず、ボディの防音性能がD車と比べて良好であることがわかった。

(ウ) 前アと同様に、後部室内においてもE車はD車より10dB(A)前後静かである。

(エ) E車の最小値には54dB(A)という小さなレベルもあるが、D車では測定した全域にわたって65dB(A)を超えており、通常の会話等に支障をきたす状況である。

3 サイレン音の減衰方策

アクティブ騒音制御技術を利用して救急車内のサイレン音を小さくする方法として、次の2パターンを検討した。(図7参照)

方策1 — 車室外のサイレン用スピーカから、車室内に向かって放射されるサイレン音のパワーを小さくする。

方策2 — 救急車内に存在するサイレン音を検出し、それに対してアクティブ制御を行う。

この考え方に基づいて、2種類のサイレン音減衰装置を試作した。(写真4及び5参照)

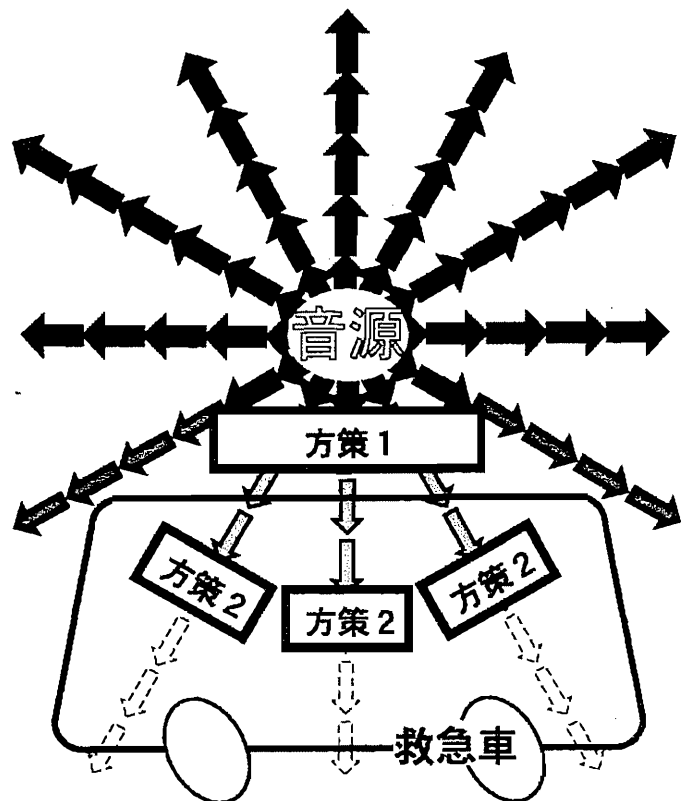


図7 サイレン音の減衰方策

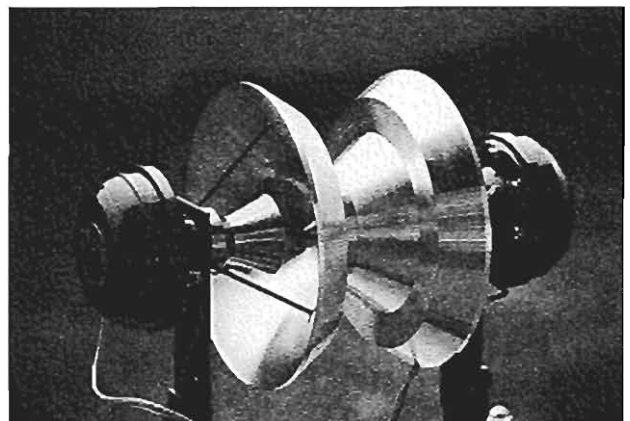


写真4 試作装置1

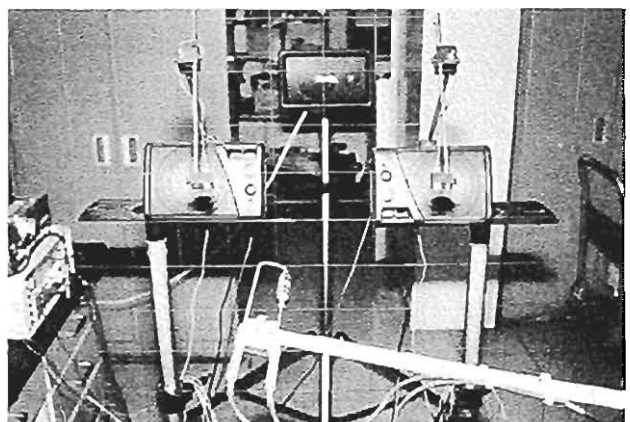


写真5 試作装置2

4 試作装置 1 (指向性スピーカ)

(1) サイレン音の指向性

救急車のサイレン用スピーカは、救急車のボディの前方上部に固定されている。

救急車の車種によって若干異なるが、ホーン型スピーカ 1 個又は 2 個を、車前方向に向けて設置している。この外観形状から、サイレンは車前方向への指向性(出力音圧レベルの方向による違い)をもっているように感じられるが、実際に測定してみると、ほとんど無指向性であることがわかった。

つまり、救急車の車室内方向(下側)にも他の方向と同じように大きな音圧が加わっている。

このことが、救急車の車室内においてサイレン音が障害となる大きな要因になっていると考えられる。

(2) ホーン型スピーカの指向性の改善

警報音としての要件のひとつに、車前20mの位置で90dB以上120dB以下でなければならないと定められている。(道路運送車両の保安基準第49条第1項第2号)

このことから、車前方向に対する指向性をもたせることによって、車室内に伝播するサイレン音を減少させることができるのである。

ホーン型スピーカの指向性は、

①再生する音の周波数

②ホーンの長さ

③ホーンの開口部面積 によって決定される。

指向性を鋭くするには、①の周波数を高くする、②の長さを長くする、③の面積を大きくする、のいずれかまたはそれらを複合させればよい。

ここで、①は救急サイレン音の要件として960Hz及び770Hzと決められており高くすることはできない。

また、②はホーン部分を折り返すことによって外見上の長さをかえずに疑似的にホーン長を長くすることができる。

よって、③の変化に対する指向性を表4に示した条件のもとでシミュレートしてみた。

表4 シミュレーションのための条件

ホーンの長さ	600mm (固定)
ホーン開口部直径	15cm、20cm、30cm、40cm
評価点位置	30、60、90度方向
ホーンの軸方向(0度)の音圧は、100dB 一定	

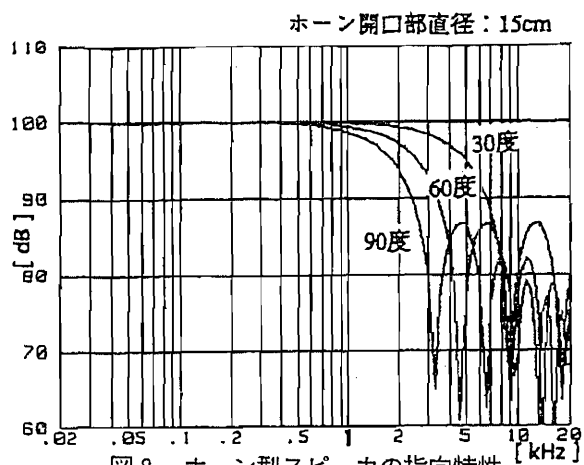


図8 ホーン型スピーカの指向特性

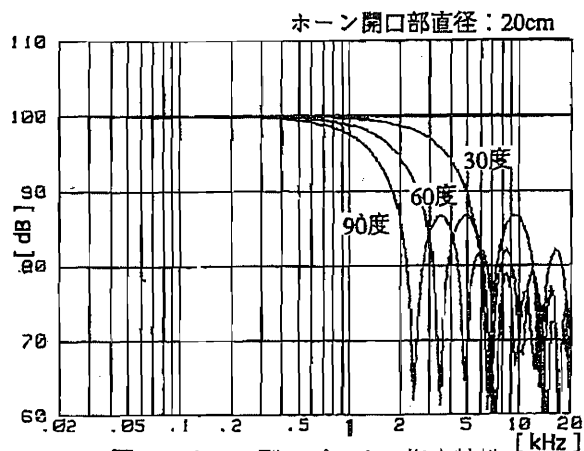


図9 ホーン型スピーカの指向特性

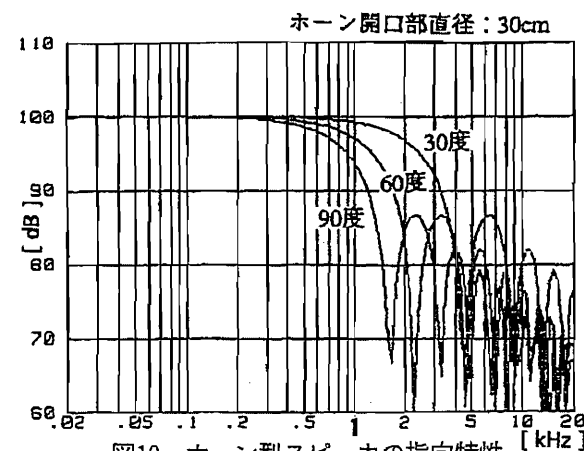


図10 ホーン型スピーカの指向特性

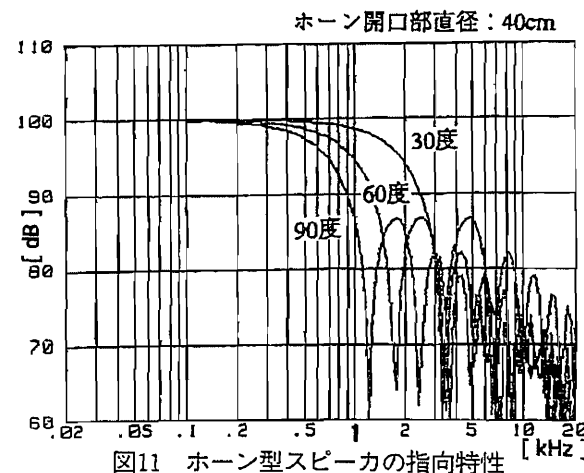


図11 ホーン型スピーカの指向特性

表4の解析結果を図8～11に示す。

これより、ホーン型スピーカを用いてサイレン音に有効な指向性をもたせるには、約40cmの開口部直径が必要となる。

これは、救急車のサイレン用スピーカとして非現実的であり、単純なホーン型スピーカによるサイレン音の指向性制御はできないことがわかった。

(3) 指向性スピーカの製作

前(2)から、サイレン音に指向性をもたせるには、ホーンの長さ及び開口部面積を変更するという方法以外の手法を用いなければならないことがわかった。

このため、アクティブ騒音制御技術を応用してダイポール特性をもったサイレン用スピーカを以下のとおり試作した。

ア ダイポール特性とは

指向性には多くの種類があり、求められる状況に応じて様々な手法が用いられている。

このうち、ダイポール特性は両指向性とも呼ばれ、その指向性は図12のようになっている。

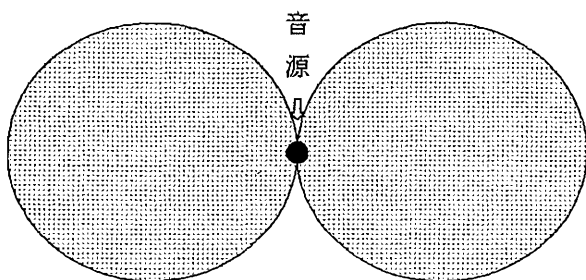


図12 ダイポール特性

このようなダイポール特性をもったサイレン用スピーカを使用すれば、無指向性の場合と比べて、音源の直下つまり救急車室内側に伝播するサイレン音が格段に小さくなると予想される。

イ 指向性スピーカの原理

一般的なアクティブ騒音制御は、減衰の対象となる騒音に、その逆位相の音を干渉させることによって消音（減衰）している。

今回試作したダイポールスピーカは、この考え方を応用したものとなっている。

構造は、同じ特性をもった2つのスピーカを背中合わせに配置し、一方がもう一方の逆位相のサイレン音で駆動されている。

これにより、2つのスピーカの接合面（音響放射主軸に垂直な面）においては、お互いのサイレン音が干渉し、音圧レベルが大きく減衰するのである。

ウ 試作装置の仕様の検討

前イの原理を具体的なものとするため、2つのスピーカの口径、音響放射面間隔及び配置形状等についてシミュレーションによる検討を行い、

- ①スピーカ口径は20cm以上とする。
- ②音響放射面間隔をできる限り狭くする。
- ③2つのスピーカは線対称に配置する。

という基本的な条件が得られた。

以上の検討結果等に基づき設計製作した試作装置1の仕様は表5のとおりである。（図13断面図参照）

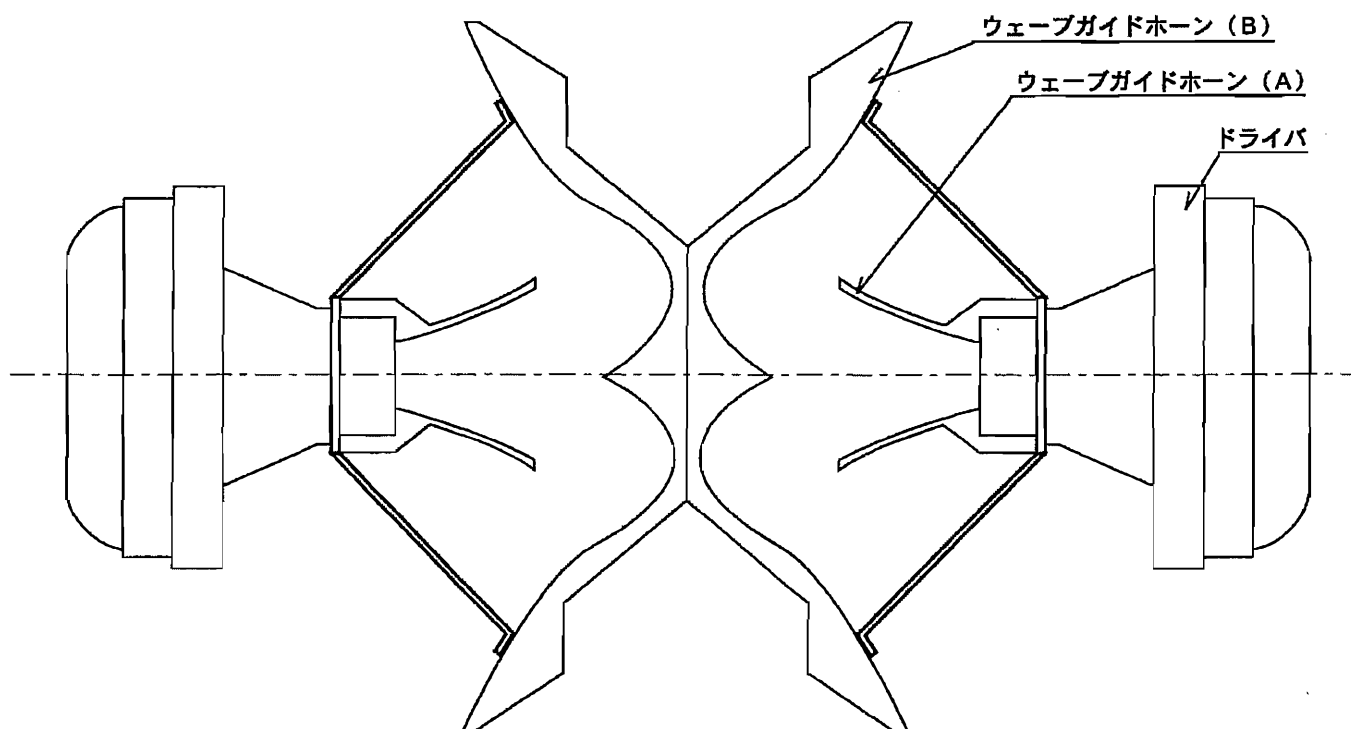


図13 試作装置1の断面図

表5 試作装置1の仕様

ドライバ部	最大入力		30W	最大外形 φ 201 ×170mm ----- 音響放射 面間隔 125mm ----- 重量： 4.86kg
	インピーダンス		16Ω	
	最大外形寸法		φ 108×82mm	
	重 量		1.2kg	
ウェーブガイドホーン部	ホーンA	最大外形	φ 53.5×50mm	
		重 量	50 g	
	ホーンB	最大外形	φ 201×63mm	
		重 量	970 g	
	組立時	最大外形	φ 201×170mm	
		重 量	1230 g	

(4) 試作装置1の音響特性

製作した試作装置1が、サイレン用スピーカとしての機能を有しているか、また、シミュレーション通りの指向特性が得られているかを確認するため、無響室内において音響特性試験を実施した。

その結果は、以下のとおりである。

ア 音響放射能力

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以下をクリアする音響放射能力があるかを確認するため、従来型スピーカとの比較を行った。

その結果、960Hzと770Hzのどちらの音響放射に対しても、従来型スピーカと同等のレベルが得られており、音響放射能力について問題ないことがわかった。

イ 指向特性

指向特性を確認するため、試作装置1の水平及び垂直方向の音圧測定を行った。(図14～17参照)

図14～17でわかるように、960Hzと770Hz及び水平・垂直のいずれにおいてもダイポール特性を有しており、スピーカの正面方向と車室方向の音圧差は、最大で20dB以上が確保されている。

なお、図16で右側に若干の歪みがでているが、これは測定に使用したスピーカの取り付け台の反射等が影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

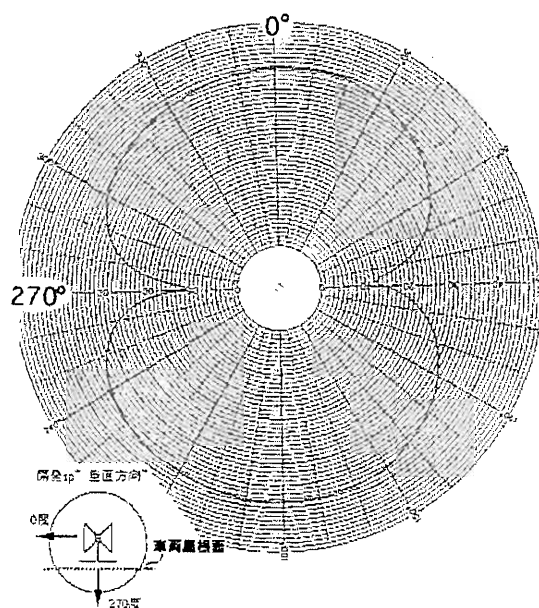


図14 指向特性 (770Hz、垂直方向)

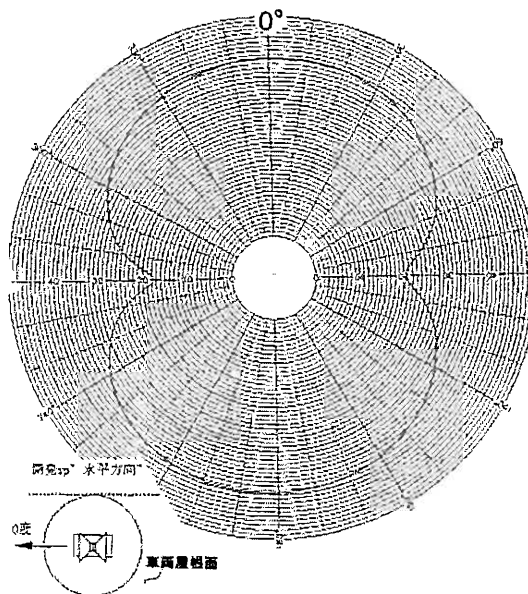


図15 指向特性 (770Hz、水平方向)

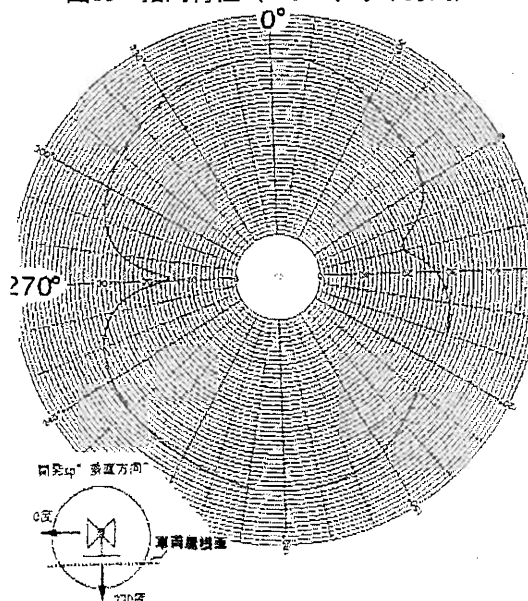


図16 指向特性 (960Hz、垂直方向)

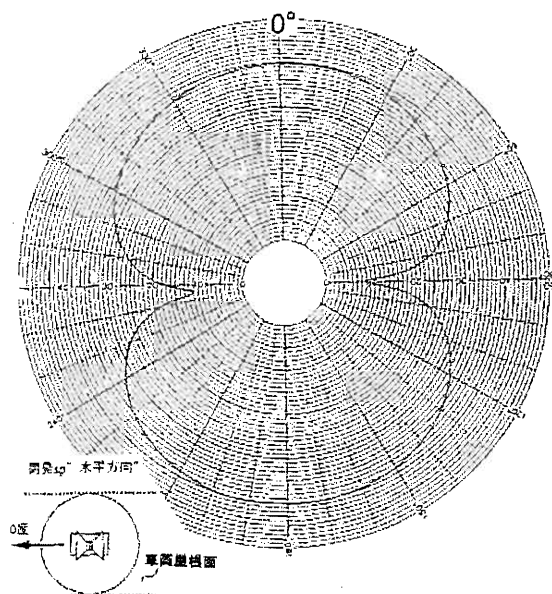


図17 指向特性 (960Hz、水平方向)

5 試作装置2 (ANC装置)

(1) 装置の構成 (写真5及び6参照)

この装置は、サイレン音を検出する回路、救急車内におけるサイレン音と制御音の誤差を検出する回路、誤差検出回路の信号が小さくなるような制御信号を発生させる回路及び制御音を発生させるスピーカから成っており、ブロックダイアグラムは図18のとおりである。

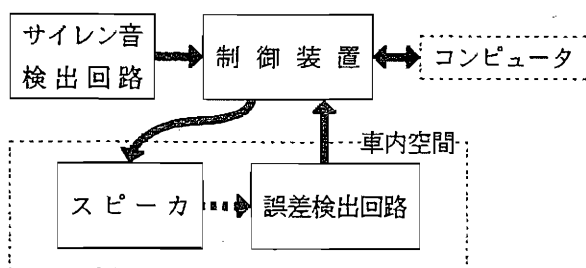


図18 装置のブロックダイアグラム

具体的な流れは、次のようになっている。

- ① サイレン音検出回路で空間のサイレン音を検出し、その信号を制御装置に送る。
- ② 検出されたサイレン音信号をもとに、制御装置がその逆位相の信号を合成し、スピーカから出力 (制御音) する。
- ③ サイレン音と制御音が干渉し減衰する。
- ④ 誤差検出回路でサイレン音と制御音との誤差を検出し、制御装置に出力する。
- ⑤ 制御装置は、誤差信号が小さくなるように制御信号の合成パラメーターを自動制御する。

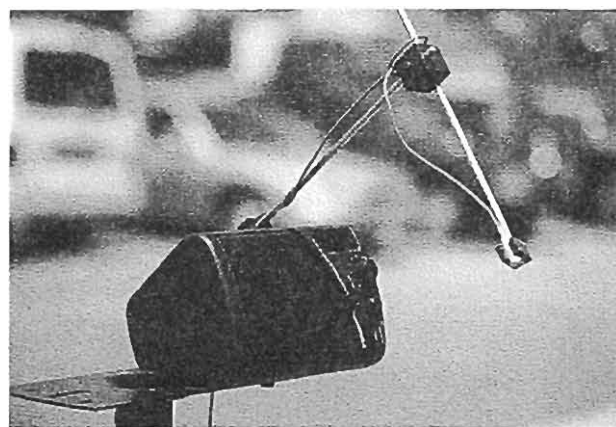


写真6 制御スピーカと誤差検出センサー

(2) 性能確認結果

前(1)の装置により、その減衰効果を確認した結果は次のとおりである。

ア 誤差検出センサー部 (コンデンサマイクロホン) 直近では、20dB以上という優れた減衰効果が得られた。

イ 誤差検出センサー部から離れるほど、その減衰効果は小さくなる。

ウ 有効な減衰効果が得られる空間は、誤差検出センサーの周囲の限られた範囲である。

(3) 考察

前(2)の結果等から、サイレン音減衰に対する有効性は認められたものの、以下に示すような点もわかった。

ア 救急処置を行う救急隊員の活動範囲の全域を減衰の対象とするためには、その容積に応じて複数組の制御スピーカ・誤差検出センサーが必要となる。

イ 救急車の車種によって車内の形状が異なっているため、それぞれごとに最適な設置位置 (制御スピーカ・誤差検出センサー) 及びその必要数を調査しなければならない。

ウ 制御スピーカや誤差検出センサーを取り付けるためにボディの補強や内装の工事を行う必要がある。

これらのことから、本装置を救急車に搭載して十分な効果を得るには現段階において上記の問題点の解決を図っていく必要がある。

6 まとめ

- (1) 前報を含めて合計5車種の救急車内におけるサイレン音環境を調査した結果、いずれの車種においても車内のサイレン音を減衰させる必要のあることがわかった。

- (2) サイレン音が救急車内に入るのは、いずれの車種においてもその屋根部分の寄与率が最も大きいことがわかった。
- (3) サイレン用スピーカに、前後方向への指向性をもたせることによって車内（下）向きの音のエネルギーを減少させ、結果として車内を静かにする方法は現実的であり十分な効果を期待できることがわかった。
- (4) 救急車内でのANCは、十分なサイレン音減衰効果が期待できるものの、それに伴うANC装置の設置をはじめとした問題点が多いことがわかった。

7 今後の研究開発方針

これまでの研究開発経過を考慮した上で、サイレン音減衰装置の救急車への現実的な搭載をめざし、引き続き次の研究開発を進める。

- (1) 試作装置1を基本として、その改良を図る。

- (2) 試作装置1で得られたダイポール特性は、周囲の状況等（①救急車の形状、②救急車の走行による影響、③周囲の走行車両による影響、④道路周囲の建築物や地形による影響）によって歪むことが予測されるためそれを補正する方策を検討する。

なお、以上の研究開発と平行して、パッシブ方式（吸音材料等を使用した方法）によるサイレン音の減衰についても調査を進める。

8 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1に関する特許を共同で出願した。

なお、実験に際し、救急車及び広報車の借用にご協力いただいた各所属の皆様に、心より御礼申し上げます。