

車室内騒音下における再生音のダイナミックレンジ制御方法についての一考察

A Consideration of Methods for Controlling
Reproduced Audio Dynamic Range in the Noisy
Environment Created in Vehicles

富田 裕二 *Yuji Tomita*
本島 顕 *Akira Motojima*
加藤 茂樹 *Shigeki Kato*



要 旨

車室内でのオーディオ再生には、常に走行騒音によって再生音の一部が消され聞こえなくなる現象（＝マスキング）がつきものである。この騒音マスキングによる影響を回避し、騒音下でも再生音を聞き取りやすくする機能として、当社では騒音感応ボリューム(ASL= Automatic Sound Levelizer)を開発し、現在製品化を実現している。しかしながら、現行のASLには、音量感の変化が分かること等の課題が残されている。これらを解決する新たな再生音補正手段として、ダイナミックレンジコンプレッサの騒音感応ボリュームへの応用を検討している。本稿では、このダイナミックレンジコンプレッサを導入するにあたって不可欠な、騒音に応じた最適ダイナミックレンジ圧縮特性の導出方法を確立することができたので紹介する。

Abstract

Audio reproduction in vehicles usually comes with the phenomenon (called masking) in which some reproduced sound is always drowned out and made inaudible due to noise in the moving vehicle. Fujitsu Ten is now commercially producing the Automatic Sound Levelizer (ASL) as a function for making it easier to listen to reproduced sound in a noisy vehicle. However, the current ASL still has problems, such as noticeable changes in sound level. To solve these problems, we are now considering applying a dynamic range compressor to ASL as a new means for correcting reproduced sound level. This document introduces our established methods of deriving optimum dynamic range compression characteristics according to noise, which are necessary to apply a dynamic range compressor.

1. はじめに

車室内でのオーディオ再生時には走行騒音によるマスキングがつきものである。マスキングとは、2つの異なる音響信号が存在する場合、音量が大きい信号によってもう片方の信号が隠され聞こえなくなってしまう現象である。この騒音マスキングによる影響を回避するためにはいくつかのアプローチがあり、大きく二つの方法に分けることができる。一つは騒音自体を低減する方法、もう一つは再生音を補正する方法である。当社では、後者の再生音補正を選択し、その手段としてダイナミックレンジコンプレッサの応用を検討している。このダイナミックレンジコンプレッサを導入するにあたって不可欠な、騒音に応じた最適ダイナミックレンジ圧縮特性の導出方法を確立することができたので、報告する。

2. 走行騒音下での音響再生の問題点

車室内でオーディオの再生を行う場合、走行騒音によるマスキングの影響を受ける。このマスキングにより、再生音の小音量部分が走行騒音に埋もれてしまい、聞き取りにくくなってしまふ。

図-1・2に騒音によるマスキングの影響を模式的に表す。再生音を持つ本来のダイナミックレンジ（音量変化幅）に対し、図-1に示すように騒音がない場合は(a)で示す音量変化が全てそのまま聞こえるが、図-2のように騒音がある場合は実際に聞こえる音量幅は(b)のように減少してしまい、騒音に埋もれてしまう部分(c)の音は聞こえなくなってしまう。

そのため、聴取者は、走行状況に応じて頻繁なボリューム調整を行う必要があり、大変煩わしいばかりか安全性に支障をきたす可能性もあった。

3. 従来の対策

このマスキングによる問題点を解決するため、当社では騒音感応ボリューム(ASL= Automatic Sound Levelizer)を開発し、現在製品化を実現している。以下に、その動作原理と問題点について説明する。

3.1. ASLの動作原理

ASLの動作原理を簡単に説明する。図-3に構成図を示す。まず、車室内に設置したマイクロホンによって騒音を検知し、騒音量を算出する。この騒音量に対応する適切な音量補正値を通常のボリューム値に上乗せする。こうして全体の音量を増加させることにより、騒音に埋もれ聞こえなくなっていた小音量部分が聞こえる

ようになり、騒音マスキングを解消する効果が得られる。

3.2. ASLの問題点

ASLによって、走行騒音の変化に応じた自動ボリューム調整が可能となり、騒音のマスキングは解消され、聴取者がボリューム調整を頻繁に行う必要が無くなった。しかしながら、ボリュームそのものを制御するという方法をとっていることから、騒音に応じて全体の音量感の変化によるふらつき等が生じることがある。そのため、音量感変化の無い自然な補正を実現するための改善が求められていた。

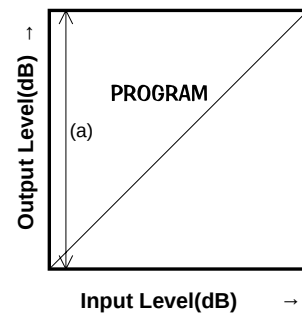


図-1 マスキング説明（騒音のない場合）
Fig.1 Explanation of Masking (when there is no noise)

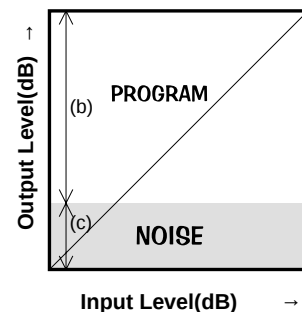


図-2 マスキング説明（騒音のある場合）
Fig.2 Explanation of Masking (when there is noise)

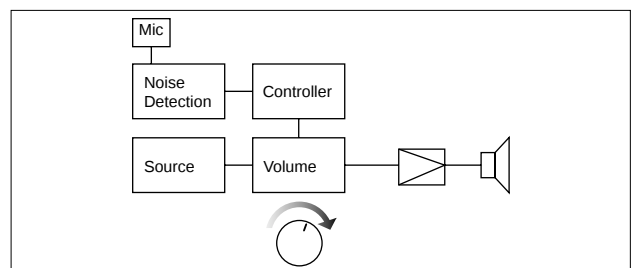


図-3 ASL構成図
Fig.3 ASL Block Diagram

4. 騒音感応型ダイナミックレンジコンプレッサ

従来型ASLの問題点を解決し、「音量感を一定に保ち、聞き易くする」新しいASLを開発するにあたり、単に音

量のみを補正するだけでなく、再生音の音量幅＝ダイナミックレンジを補正する必要がある。その一方策としてダイナミックレンジを圧縮する「ダイナミックレンジコンプレッサ」の応用を検討している。

4. 1. 動作原理

まず、ダイナミックレンジコンプレッサの動作について説明する。

ダイナミックレンジコンプレッサとは、再生音のダイナミックレンジを圧縮する機能である。大きな音は小さく、小さな音は大きくすることにより、全体の音量変化幅を小さくする作用を持つ。このダイナミックレンジコンプレッサを利用し適切な圧縮特性を実現することにより、騒音のマスキングを受ける小音量部分のみの音量を持ち上げ、元々マスキングを受けない大音量部分はそのままの音量を保ち、結果として全体の音量感を変化させることなく騒音に埋もれてしまう小音量部分を聞こえるようにすることが可能となる。(図-4)

このマスキングの影響は騒音の状態に応じて変化するため、適切な補正のためには異なる圧縮特性が必要である。そこで、騒音の変化に応じて圧縮特性を変化させる「騒音感応ダイナミックレンジコンプレッサ」を構成することにより、音量感変化の少ない自然な補正を実現することができる。構成図を図-5に示す。

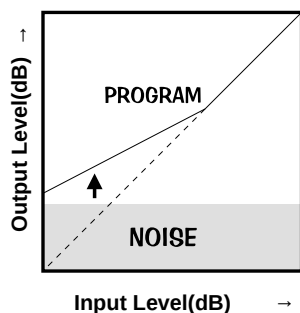


図-4 コンプレッサ動作説明
Fig.4 Explanation of Compressor Operation

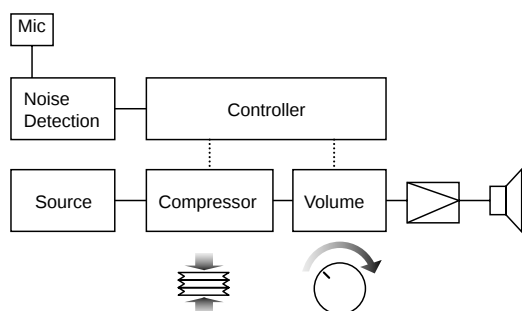


図-5 騒音感応コンプレッサ構成図
Fig.5 Noise-Sensor-Equipped Compressor Block Diagram

5. ダイナミックレンジ圧縮特性の導出

ダイナミックレンジコンプレッサの圧縮特性は図-4のような入出力特性で表されるが、製品化するためには、騒音によるマスキングの影響を回避するような圧縮特性を求める必要がある。本章では、心理実験によるダイナミックレンジ圧縮特性の導出方法について説明する。

5. 1. 擬似騒音の選定

心理実験は、走行騒音によってマスキングされる音楽信号の補正量を求めるものであるが、実際の走行騒音は、図-6、図-7に示すように車種、車速等によって特性が異なる。製品開発において、騒音を表す様々なパラメータに対し車種毎に圧縮特性を調整することは困難であるため、パラメータとして騒音レベル(単位dB(A))の変化のみに着目した制御が行なえるように、心理実験用の擬似騒音の設定を検討した。

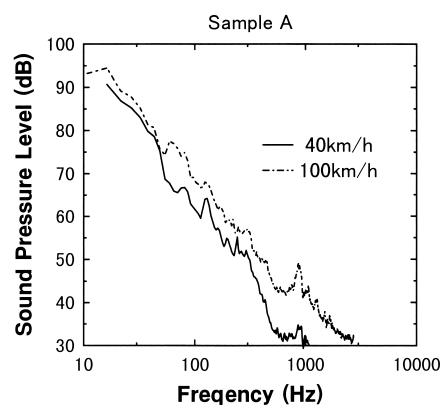


図-6 走行騒音例(車種A)
Fig.6 Examples of Noise in a Moving Car (Car Model A)

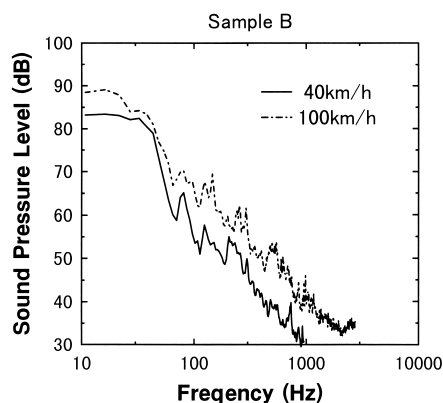


図-7 走行騒音例(車種B)
Fig.7 Examples of Noise in a Moving Car (Car Model B)

検討は、擬似騒音を極力単純化するために、ホワイトノイズにフィルタを通した音と、実際の騒音のスペクトラムを比較(最小自乗誤差を比較)して行なった。

汎用的な擬似騒音とするために、走行騒音の特性が異なるとされる以下の3車種を選定し、各4車速(40km/h、60km/h、80km/h、100km/h)のデータを用いた。

(比較検討車種)

クラウンロイヤルサルーン(セダン、6気筒)

アルテツァ(スポーツタイプ、4気筒)

ランドクルーザー(RV、V型8気筒)

検討の結果、ホワイトノイズを -9 dB/oct. のフィルタに通した音が最も誤差(最小自乗法により計算)が小さく、これを擬似騒音と仮定した。図-8に実際の騒音・擬似騒音のスペクトラム比較の一例を示す。

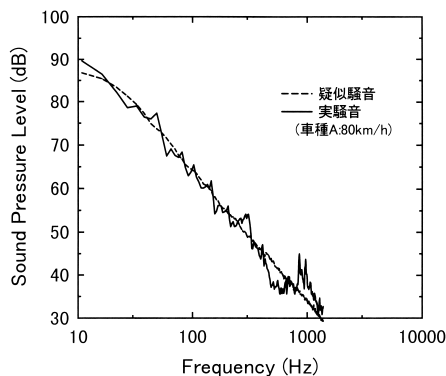


図-8 擬似騒音・実騒音スペクトル比較
Fig.8 Comparison of Similar and Real Noise Spectrums

5.2. 擬似騒音の有効性検証 (車種の違い)

仮定した擬似騒音が、ダイナミックレンジ圧縮特性導出の為の心理実験に使用出来るかどうかの検討を行なった。検討は、実際のダイナミックレンジ圧縮特性を導出するための実験と同様の心理実験を、擬似騒音と実際の走行騒音(3車種)を用いて行ない、結果に有意差がないかどうかを調べた。図-9に心理実験のブロック図を、以下に実験手順を示す。

(実験手順)

騒音の無い状態でプログラム再生音を聞く

騒音を付加する

無騒音時と同じようにプログラム音が聞こえるようにプログラム再生音量を被験者が調整する(被験者調整法)

上記の調整音量(必要音量補正量)を各プログラム音量・騒音レベルについて求める。

各種実験条件を以下に示す。

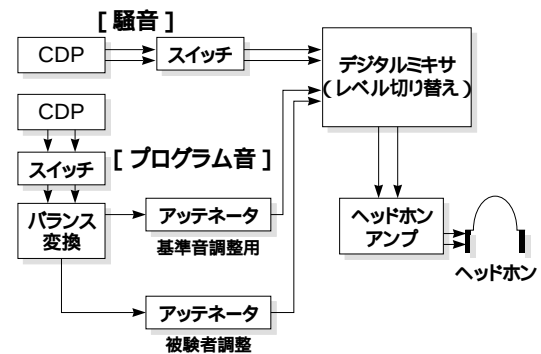


図-9 心理実験ブロック
Fig.9 Psychological Test Block

- ・被験者：10名(25歳～35歳健聴者)
- ・プログラム内容：NHKニュース男性アナウンス
(音量レベルが規定し易いプログラムとして選定)
- ・プログラム音量：40dB(A)、50dB(A)、60dB(A)、70dB(A)、80dB(A)の5種類
- ・騒音内容：実際の走行騒音3種(クラウン、アルテツァ、ランドクルーザーの走行騒音を収録)、擬似騒音(ホワイトノイズを -9 dB/oct. のフィルタに通した音)、以上全てモノラル
- ・騒音レベル：実際の走行騒音は40km/h、60 km/h、80 km/h、100 km/h走行時の騒音、擬似騒音は各車速時の騒音レベルに合わせた。

5.2.1. 実験結果

図-10、図-11に結果の一例(必要音量補正量)を示す。求めた補正量について、母平均の差に対してt検定を行ない比較した結果、実際の走行騒音(3車種)を用いた場合と、擬似騒音を用いた場合で、危険率5%で有意差はなかった。この結果から、設定した擬似騒音で、ある程度汎用的な心理実験(ダイナミックレンジ圧縮特性の導出)が可能であると考ええる。

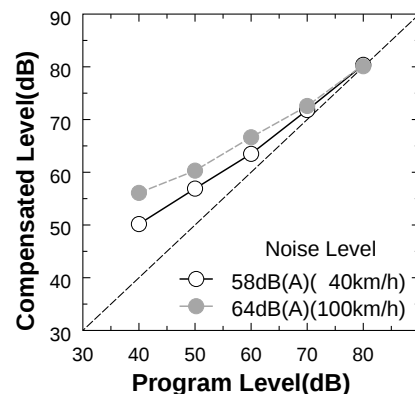


図-10 必要音量補正量(クラウン)
Fig.10 Amount of Required Volume Correction (Crown)

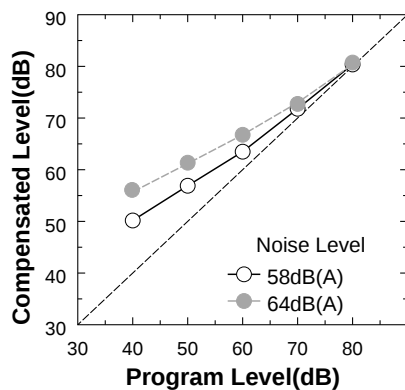


図-11 必要音量補正量（疑似騒音・クラウン相当）
Fig.11 Amount of Required Volume Correction (Similar Noise Equivalent to that of Crown)

5.3. 疑似騒音の有効性検証（両耳間相関度の違い）

続いて、走行騒音の両耳間相関度（IACC：Interaural cross-correlation）の影響について検証する。この両耳間相関度とは、両耳に入る信号の類似度を表したもので、左右の信号が全く同じであるモノラル信号の場合、両耳間相関度は1、完全な逆相信号の場合-1となる。前節ではモノラルの走行騒音を用いて検討を行なったが、実際の走行騒音では周波数によって複雑な両耳間相関度の値を示す。一例としてアルテツァの走行騒音の両耳間相関度の例を示す（図-12）。このように、周波数によって値が複雑に変化する両耳間相関度を、疑似騒音で再現することは困難なため、単純なモノラル信号の疑似騒音で代表できないかを検証する。

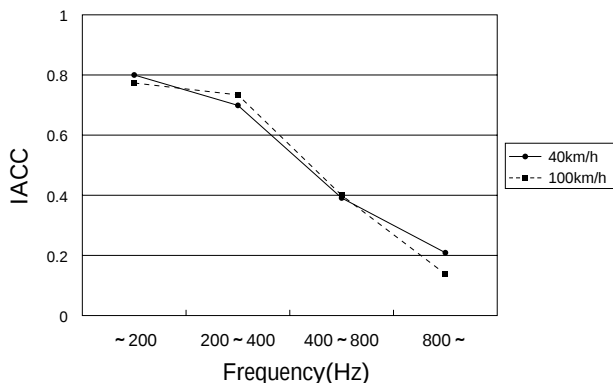


図-12 両耳間相関度例（アルテツァ）
Fig.12 Examples of Interaural Cross-Correlation (Altezza)

実験方法は前節の心理実験方法と同じで、使用する騒音として、実際の走行騒音（3車種）をダミーヘッドで収録したものをを用いて必要音量補正量を求めた。この結果と、前節で求めたモノラル騒音（3車種）の必要音量補正量との有意差を検討した。

5.3.1. 実験結果

図-13に結果の一例を示す。求めた補正量について、モノラル騒音時の補正量との差をt検定し比較した結果、3車種ともにステレオ騒音を用いた場合と、モノラル騒音を用いた場合で、危険率5%で有意差はなかった。この結果より、実際の走行騒音の複雑な両耳間相関度に疑似騒音を合わせ込まなくても、モノラル騒音で評価が可能であると考えられる。

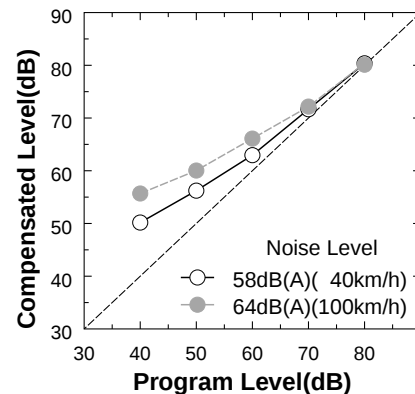


図-13 必要音量補正量（ステレオ・クラウン）
Fig.13 Amount of Required Volume Correction (Stereo of Crown)

5.4. ダイナミックレンジ圧縮特性の導出

ダイナミックレンジ圧縮特性を求める心理実験に、モノラルの疑似騒音を用いることが可能であることがわかったので、この疑似騒音を用いて圧縮特性を求めた。

実験方法は疑似騒音検証の場合と同じで、各騒音レベル、プログラムレベルに応じた必要音量補正量を求めた。

結果を図-14に示す。この結果より騒音レベルが57dB(A)（クラウン40km/h相当）、プログラムレベルが40dB(A)といった小音量部分は約12dB圧縮してやれば良く、80dB(A)といった比較的音量が大きい部分は、ほとんど圧縮の必要がないことが分かる。各騒音レベルに対し

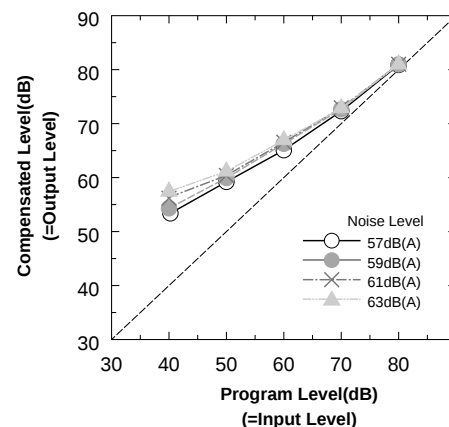


図-14 ダイナミックレンジ圧縮特性
Fig.14 Dynamic Range Compression Characteristics

てこの圧縮特性を適用することにより、今後は騒音レベルのみをパラメータとした制御が可能となる。

6. まとめ

本検討により、騒音に応じたダイナミックレンジ圧縮特性の導出法を確立することができた。特に、騒音の状態を表すパラメータを騒音量のみとする簡略化が可能となったことにより、ハード構成や演算処理の簡略化が可能となり、製品化に向け大きく前進した。

今後の課題として、ダイナミックレンジ圧縮特性を実現するハードを構成し、音楽信号等による効果確認を行うことにより、さらに具体的な製品化検討を進める予定である。

また、新ASLのねらいとしてもう一つの課題である「騒音変化への追従性を向上させる」ための、より高度な騒音検知アルゴリズムも現在別途開発中である。これらを併せた、音量感の変化を抑え自然な補正効果を持つ新ASLを完成させ、製品化を行う予定である。

筆者紹介



富田 裕二（とみた ゆうじ）

1993年富士通テン(株)入社。以来、車載用音響システム開発に従事。現在、富士通テン(株)AVC本部コンポーネント事業部要素技術部AEプロジェクト在籍。



本島 顕（もとじま あきら）

1983年富士通テン(株)入社。以来、車載用音響システム開発に従事。現在、富士通テン(株)AVC本部コンポーネント事業部要素技術部AEプロジェクト在籍。



加藤 茂樹（かとう しげき）

1979年富士通テン(株)入社。以来、車載用音響システム開発に従事。現在、富士通テン(株)AVC本部コンポーネント事業部要素技術部次長。