

圧縮オーディオ高音質化技術

三木智之* 谷口琢也***
木村 勝**
青柳貴久***

Sound Enhancement Technology for Compressed Audio

Tomoyuki Miki, Masaru Kimura, Takahisa Aoyagi, Takuya Taniguchi

要 旨

MP3(MPEG Audio Layer 3), AAC(Advanced Audio Coding)^(注1)など圧縮オーディオ技術の進歩に伴い、カーオーディオの世界では、HDD(Hard Disk Drive)やiPod^(注2)接続による圧縮オーディオ再生機能を搭載した機種が増加している。圧縮オーディオでは、聴覚特性を利用することで、大きな聴覚的な音質劣化なしに、大幅な情報量圧縮を行っている。しかしながら、限られた容量内で多くの楽曲を楽しむために圧縮率を高めると、聴覚特性の範囲を超えて音の情報量が削減される傾向があり、クリア感や奥行き感がオリジナルソース(非圧縮のCDなど)に比べて劣化することがある。そこで、圧縮率の高い楽曲でも良い音質で楽しむために再生時の信号処理で音質補正を行う技術が開発されてきている。

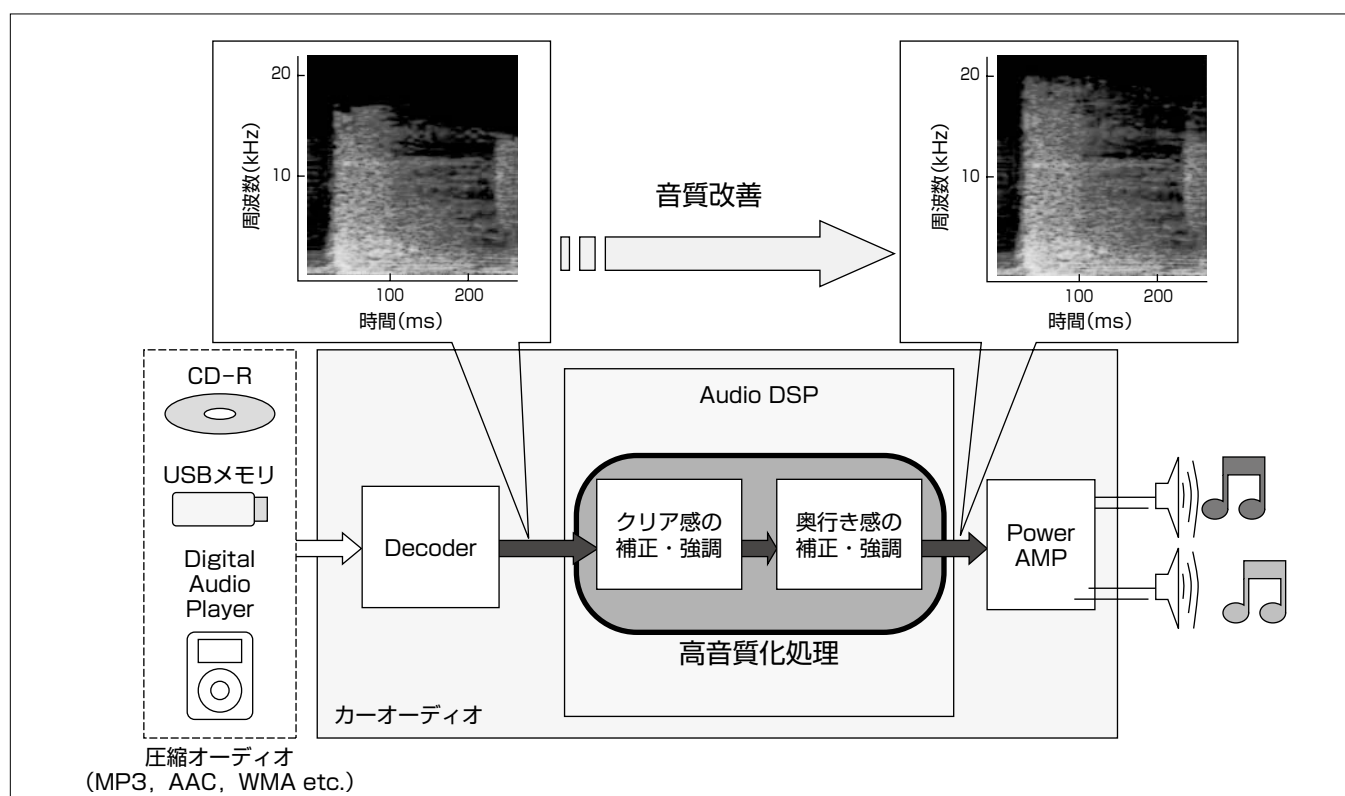
(注1) AACは、Dolby Laboratories Licensing Corp. の登録商標である。

(注2) iPodは、Apple Inc. の登録商標である。

三菱電機では、新たな独自の高音質化技術によって、クリア感、奥行き感を補正・強調することで圧縮オーディオの再生でもオリジナルソースに匹敵する音質を実現した。この技術の特徴は、高域成分の補正だけでなく、すべての帯域の劣化した音成分を補正・強調することであり、自然で臨場感のある音の再現が可能である。

これらの音質改善効果は、この技術による処理前後の周波数スペクトルの時間変化を比較することで確認している。さらに、試聴による主観評価でも高い評価を得ることができた。

また、車載製品への搭載を容易にするため、この技術を実装した小型・廉価な専用ICと、自動車内でこの技術の音質のチューニングを行うためのチューニングツールを開発した。この技術と専用ICは2010年6月に発売になった市販カーオーディオ製品へ搭載しており、今後ほかの機種にも展開を進める予定である。



圧縮オーディオ高音質化処理のブロック図

圧縮オーディオ高音質化技術をカーオーディオに搭載した場合のブロック図である。当社独自のクリア感、奥行き感の補正・強調処理を、カーオーディオに搭載された専用ICで処理することによって、CD-RやUSB(Universal Serial Bus)メモリ内の圧縮オーディオの再生でもオリジナルソースに匹敵する音質を実現している。

1. ま え が き

近年、MP3、AAC等圧縮オーディオをより高音質で楽しみたいというニーズが高まってきており、圧縮オーディオ向けに音質補正を行う技術が開発されてきている⁽¹⁾。

当社では、新たに独自の高音質化技術を開発し、カーオーディオ製品への展開ができるよう、小型・廉価な専用ICの開発を行った。高音質化アルゴリズムについては、当社情報技術総合研究所で開発を行い、専用ICへの実装については当社自動車機器開発センターで行った。実際のカーオーディオ製品への展開は、これらの2部門の協力のもと、当社三田製作所で行った。この技術の特徴は、高域成分の補正だけでなく、すべての帯域の劣化した音成分を補正・強調することであり、これによって自然で臨場感のある音の再現が可能である。

2. 圧縮オーディオ技術

2.1 圧縮オーディオ技術の種類と特徴

近年、圧縮オーディオの方式として、MP3形式⁽²⁾と、AAC形式⁽³⁾が最も広く普及している。表1に、主な圧縮オーディオ技術の種類と一般的なビットレートの範囲をまとめる。また、MP3、AAC形式以外にもマイクロソフト社が開発したWMA(Windows Media Audio)形式、ソニー(株)が開発したATRAC3+(Adaptive Transform Acoustic Coding 3 plus)^(注3)も普及しているので、参考として記載する。

これら圧縮オーディオの方式は、オリジナルソース(非圧縮のCDなど)から人が感知しにくい音を削るという非可逆圧縮を施すことで音楽データの大幅な圧縮を実現しており、音楽データサイズを大幅に小さくできる利点がある反面、一般的には気がつきにくい範囲で音質が劣化してしまうことが特徴となっている。

しかし、高音質を求める顧客にとっては、これまで使われてきたオリジナルソースの音と比較して劣化していることに不満があり、音質の向上が求められている。

(注3) ATRAC3は、ソニー(株)の登録商標である。

2.2 圧縮オーディオの音質劣化傾向

圧縮オーディオは、よく利用されている128kbps以上のビットレートを確保していれば、オリジナルソースと比較しても、その音質差に気がつきにくい。しかし、圧縮によって、聞こえにくい高い周波数の音やごく小さな音を削減

表1. 主な圧縮オーディオ技術の種類

種類	一般的なビットレートの範囲
MP3	128~320kbps
AAC	48~320kbps
WMA	48~192kbps
ATRAC3+	48~352kbps

しており、オリジナルソースの音質と比較すると次のような音質劣化の傾向がある。

- (1) 音のクリア感が劣化する。
- (2) 音の奥行き感が減少する。

2.3 圧縮オーディオのスペクトル分析

図1に非圧縮の音楽と、AAC及びMP3圧縮を施した音楽の周波数スペクトルの時間変化を示す。色の濃淡は音の強さを示しており、濃い色ほど音が強いことを示す。非圧縮の音楽に比べ、圧縮された音楽では、次に示す傾向が確認できる。

- (1) 高い周波数の音が消されている。
- (2) 中域から高域の周波数帯域にかけて、小さな音(微小信号成分)が消されている(色の薄い部分が増えている)。

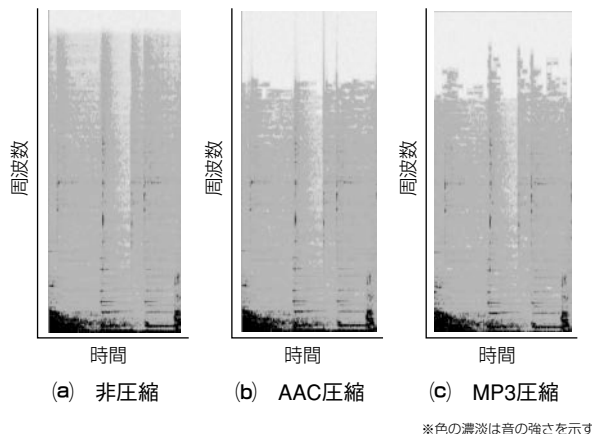
一般的に高域成分が不足するとクリア感が不足するため、2.2節の圧縮オーディオの音質劣化傾向(1)は、高域成分が圧縮によって消されてしまうこと(上記(1))が原因であると考えられる。

微小信号は、再生音像の立体感や奥行き感に関係しているため、2.2節の圧縮オーディオの音質劣化傾向(2)は、中域から高域にかけて、微小信号成分が失われてしまっていること(上記(2))が原因であると考えられる。図1では高域成分の劣化ほどは顕著にあらわれていないが、圧縮オーディオ方式及びビットレートによっては立体感や奥行き感が明らかに不足してしまうことを試聴によっても確認している。

3. 圧縮オーディオ高音質化技術

より高音質な圧縮オーディオ再生を行うために、当社は、圧縮オーディオの音質を向上することができる新たな技術を開発した。この技術は、デコード後の圧縮オーディオの信号成分をデジタル信号処理によって補正・強調し、オリジナルソースの音質に匹敵する高音質化を実現した技術である。この技術の処理ブロックを図2に示す。

この処理は、クリア感の補正・強調処理と奥行き感の補正・強調処理から構成されている。次に、各処理ブロック



の特徴について述べる。

(1) クリア感の補正・強調処理

定常性が高く処理の際に元の音信号との連続性を保ちやすい成分と、非定常で処理の際に連続性が保ちにくい成分(音の立ち上がりなど)に分離し、別々の方法で欠落した周波数成分を補正・強調することで、自然な高周波数帯域成分を生成した。また、サンプルごとに処理を行う時間軸処理を採用することで、位相特性が良く歯切れの良い高周波数帯域成分の補正・強調に成功した。

(2) 奥行き感の補正・強調処理

圧縮によって失われた微小な信号成分を推定・生成することで、奥行き感を補正・強調した。これによって、オリジナルソースに匹敵する奥行き感を実現した。

4. 評価

圧縮オーディオ高音質化技術の効果を評価するために、補正・強調前後の周波数スペクトルの比較と試聴による主観評価を実施した。

4.1 周波数スペクトルの比較

図3にこの技術による補正・強調前と補正・強調後のAAC圧縮オーディオの周波数スペクトルを示す。補正・強調処理を施す前の周波数スペクトルと比較すると、高い周波数の音が生成されていることがわかる。また、高い周

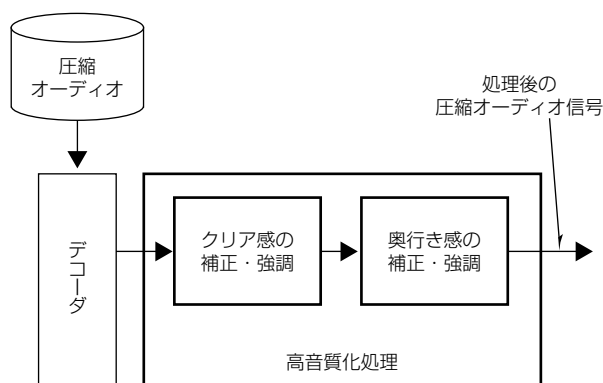


図2. 処理ブロック

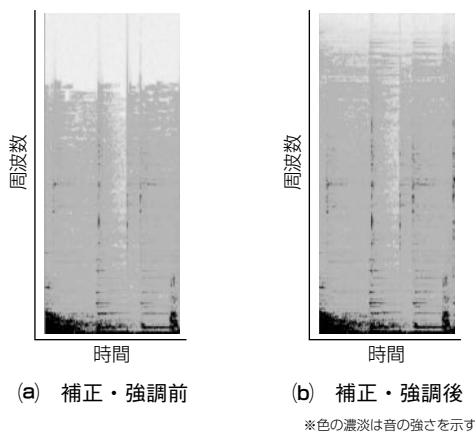


図3. AAC圧縮オーディオの周波数スペクトルの時間変化

波数領域を中心に、中域から高域にかけて消えてしまった小さな音も生成できていることが確認できる。この結果から、図1で示した非圧縮音楽とほぼ同等の周波数スペクトルを実現していることがわかる。

4.2 主観評価

次に、この技術による高音質化の効果を明らかにするため、試聴による主観評価を実施した。評価方法は、一般的なオーディオの評価で使われる方法⁽⁴⁾を基本としており、被験者は、評価音が基準音よりも良ければ50点以上の評点を、悪ければ50点以下の評点を0~100の範囲で採点する。オリジナルソースを基準音とし、それと同程度であれば50点と採点する。今回の評価に使用した圧縮オーディオは、MP3及びAACのビットレート128kbpsのものをを用いた。

評価結果を図4に示す。図中には統計学的検定法であるt検定に基づく95%信頼性区間も示した。処理音は、元のMP3、AACの圧縮オーディオと比較してスコアが高くなっており、10ポイント近くの大きな改善効果があることが認められる。また、同時に処理音は、オリジナルソースと同等の50以上のスコアを得ている。特にAACの場合は、オリジナルソースよりもスコアが高くなっており、その分散も比較的小さく、被験者が全般的に良い評価をしたと言える。

5. 車載向け専用ICの開発

車載製品へこの技術を搭載することを目的として、小型かつ廉価な専用ICの開発を行った。専用ICのスペックを表2に示す。この専用ICは、DSP(Digital Signal Proces-

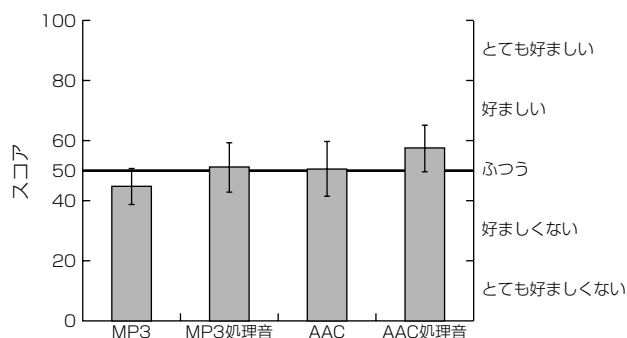


図4. 主観評価結果

表2. 専用ICのスペック

DSPコア	演算方式	固定小数点(32ビット)
	動作速度	73.728MHz
	演算部けた数	56ビット(32ビット×24ビット演算可)
内蔵RAM	データ	768×32ビット
	係数	384×24ビット
I/O (1組搭載)	I ² Sポート	44.1/48kHz, 16/20/24ビット
	I ² Cポート	入力1(4入力切替式), 出力1
Clock部	PLL, OSC内蔵	
Package	QFP 48pin (7.0mm×7.0mm)	

QFP: Quad Flat Package

sor) コア及びデータ、係数メモリ用内蔵RAM(Random Access Memory)を搭載している。これに加えI/O (Input/Output) インタフェースとして、I²S(the Inter-IC Sound bus) 音声出力ポート、DSP制御用のI²C(Inter Integrated Circuit)データ入出力ポートとClock部としてPLL(Phase Locked Loop)、OSC(Oscillator)などをそれぞれ一つ備えるほぼ最低限度の構成となる。ただし、I²Sポートの入力側には、セレクトが具備されており、4つの入力を切り替えて使うことができる。また、I²Cポートを利用して補正処理のパラメータ調整を可能としており、圧縮方式の種類やビットレートに応じて最適な補正処理をさせることも可能である。演算方式は固定小数点となるが、オーディオ信号を32ビットで扱えるので、一般的な32ビット浮動小数点演算方式のDSPと比較して演算精度の差は少ない。

この専用ICへの高音質化技術の実装には、DSPコアを約30MHz、内蔵RAMを約300k Word使用した。残りのコア、メモリはほかの音響技術の搭載に利用した。専用ICから抽出したオーディオデータと浮動小数点演算処理したオーディオデータを比較し、ほとんど差のない高音質が得られていることを確認した。

また、カーオーディオにこの専用ICを搭載するにあたり、車室内という特殊な環境で最適な音質を実現するためには、実際の車室内でのチューニングが必要となる。それを可能とするために、パソコンから専用ICにパラメータを送信し、リアルタイムに音質の調整を行えるチューニングツールを開発した。このツールの構成としては、高域の補正量などのパラメータを入力すると、専用ICのパラメータ値を自動で計算しパソコンのシリアルポートに送信することができるアプリケーションと、パソコンからのシリ

アルデータをカーオーディオのマイコンが受け取れるシリアルデータに変換するインタフェース基板からなる。

6. む す び

より高音質な圧縮オーディオ再生を行うために、圧縮によって失われた高周波成分や微小信号成分を補正・強調する高音質化技術を開発した。この技術によって、圧縮オーディオで、高域だけの補正でなくすべての帯域を補正・強調し、クリア感・奥行き感のある自然な音質を実現した。また、この技術を実装した小型・廉価の専用ICと、音質のチューニングを行うためのチューニングツールの開発を行った。これらの技術とIC、チューニングツールを使用し、2010年6月発売の当社市販カーオーディオ製品に圧縮オーディオ高音質化機能を搭載した。今後ほかのカーオーディオ製品に対してもこの技術の展開を進めていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 藤山晃治, ほか: サンプル値制御理論を用いた圧縮オーディオ向け高域補正技術, システム制御情報学会論文誌, **20**, 1, 31~38 (2007)
- (2) Information technology-Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1, 5Mbit/s-Part3: Audio, ISO/IEC 11172-3 (1993)
- (3) Information technology-Coding of audio-visual objects-Part3: Audio, ISO/IEC 14496-3 (2009)
- (4) 渡辺 馨: オーディオ信号の劣化の評価法, 音響学会誌, **63**, 11, 686~692 (2007)