

自動音場補正システムの開発

The Development of the Automatic Sound Field Correction System

太田 佳樹, 松下 文雄, 石原 博幸, 小谷野 進司

Yoshiki Ohta, Fumio Matsushita, Hiroyuki Ishihara, Shinji Koyano

要旨 マルチチャンネル・オーディオにおける最適リスニング環境の創生を目的とした自動音場補正システムを開発した。

最適リスニング環境は、各スピーカと受聴位置間で、周波数特性、レベル、タイムアライメントがほぼ一樣になることで得られる。本システムでは、音場測定用マイクロフォンを搭載し、最適リスニング環境を得られるように上述のパラメータを自動的に補正することを可能にした。

フィールドテストで検証した結果、高い精度でこれら3つのパラメータを補正していることを確認した。

Summary The authors have developed an automatic sound field correction system in order to achieve an optimum listening environment for multichannel AUDIO.

The optimum listening environment is obtained by controlling the frequency characteristic, the sound pressure level, and the time alignment between each loudspeaker and the listening position to become almost uniform. This system has a microphone to measure the sound field and it can create the optimum listening environment by correcting the above mentioned parameters automatically.

As a result of inspections during a field test, it was confirmed that these 3 parameters were corrected with high accuracy.

キーワード： 自動音場補正、タイムアライメント、マルチチャンネル、DSP

1. まえがき

既に多くのタイトルがリリースされているDVD-VideoにおいてAC-3やDTSなどのサラウンドサウンドを再生するためのマルチチャンネルシステム(所謂ホームシアタ)が普及しつつある。1999年のDVD-Audioの登場そして、2000年末からのサラウンドによる音楽タイトルのリリース開始により、今後マルチチャンネルオーディオの需要が増加するものと予想されている。しかし、従来のマルチチャンネル対応のAVアンプで最適な再生

状態を得るためには、ユーザが使用するスピーカ、試聴環境に応じて多数のパラメータをマニュアルで設定する必要があり、多大な労力を必要とする。各種パラメータを自動的にかつ高精度に設定することが可能になれば、マニア層のみならず一般ユーザ、に対しても大きく貢献し、マルチチャンネルオーディオの裾野の拡大につながる。今回、各種パラメータの自動設定を行う手法を開発したので報告する。

2. 自動音場補正システム

2.1 概要

マルチチャンネルオーディオの再生においては、各スピーカと受聴位置間の周波数特性、再生レベル、タイムアライメントを一様に揃えることが推奨されている^{(1),(2)}。これを実現するために、本システムでは、受聴位置付近に置かれたマイクロフォンによりこれらの特性を測定し、最適な状態へ自動的に補正する。ここで設定されたパラメータによりオーディオ信号を実時間信号処理する。このイメージを図1に示す。

2.2 システム構成

図2に示すように測定、分析、実時間処理は全てDSP内部で演算を行う。測定に用いるノイズ信号はあらかじめRAMにセットされている。本システムでは音場測定用マイクロフォンが搭載されており、A/Dを介してDSPと接続されている。DSPは

マイコンなどからの自動補正スタートの命令を受け、測定を開始する。出力するスピーカの制御も全てDSPで行う。測定が全て完了し、パラメータが決定した時点でDSPは信号源をノイズ信号からAUDIO信号に切り替え実時間処理を開始する。なお、周波数特性補正はユーザがセットした目標特性に近くなるように自動的に補正される。なお、図2でのD/A以降からスピーカまでのパスは実際にはスピーカの個数分だけ存在する。本システムではTI社製DSP C6701(浮動小数点DSP,1GFLOPS)を1個用いこれらの処理を行っている。

2.3 自動補正アルゴリズムの流れ

自動補正アルゴリズムは以下の順で進められる。

Step1 周波数特性補正

Step2 レベル補正

Step3 タイムアライメント補正

各ステップは、それ以前のステップで決まった

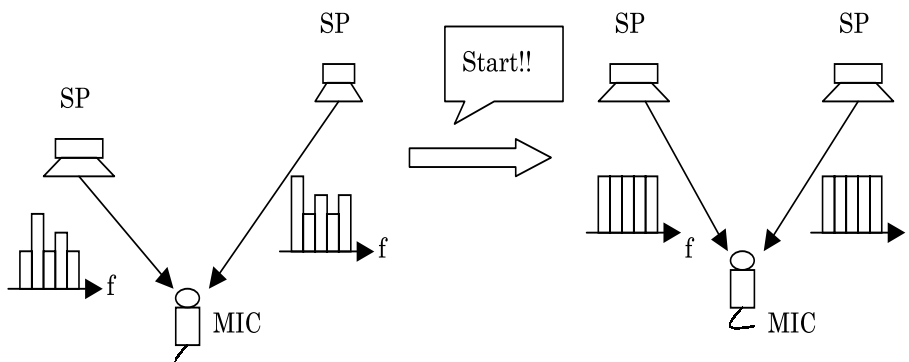


図1 自動音場補正イメージ

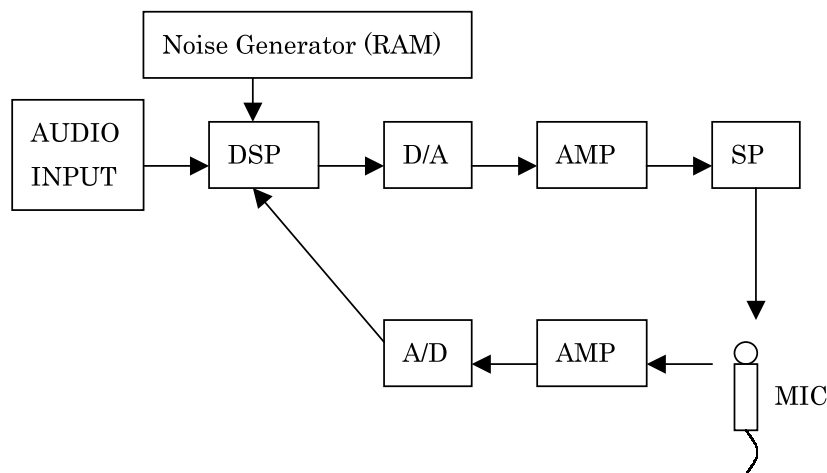


図2 システム構成

パラメータを全てセットした状態で行う。周波数特性補正部で生じるレベル、位相のずれを考慮すると周波数特性補正用のフィルタ係数の決定は、レベル、ディレイを決める前段に行うことが望ましいため上述の自動補正アルゴリズムを用いて調整を行った。

2.4 周波数特性補正 (GEQ: Graphic Equalizer)

周波数特性補正には測定用信号としてピンクノイズを用いた。測定時には、スピーカから出力される信号を音場測定用マイクロフォンで取り込み、帯域分割フィルタを通し、各帯域のパワーを計算で求める。求めたパワーをもとに各帯域のゲインを決定する(図3)。第1回目の測定時にはGEQには全バンドに0dBの係数、第2回目以降は前回の計測で求めた係数を設定する。この計測は各チャンネル独立に行われる。

本システムでは各チャンネルに対し、1回の粗調整、3回の微調整という計4回の測定を行い、最

終的なGEQの係数を算出している。

2.5 レベル補正(トリム)

高精度レベル調整を行うためには、GEQによるレベル変動が各チャンネルによって異なるので、レベル補正はGEQ係数後に行わなければならない。そこでGEQのパラメータをセットした状態でテスト信号を各スピーカから出力する。レベル補正に用いたテスト信号はTHXで推奨しているフィルタ(メインチャンネル:バンドパス、サブウーファ:ローパス)にピンクノイズを通したものとした⁽³⁾。マイクロフォンで得られた信号をC特性(JIS規格:C1505-1998準拠)に近似したフィルタに通してパワーを求める計算を行い、全てのチャンネル間でこのパワーが同一になるようにトリム値を決定した(図4)。

2.6 タイムアライメント補正 (ディレイ)

従来から行われているインパルス応答により各スピーカとマイクロフォン間の到達時間を計測す

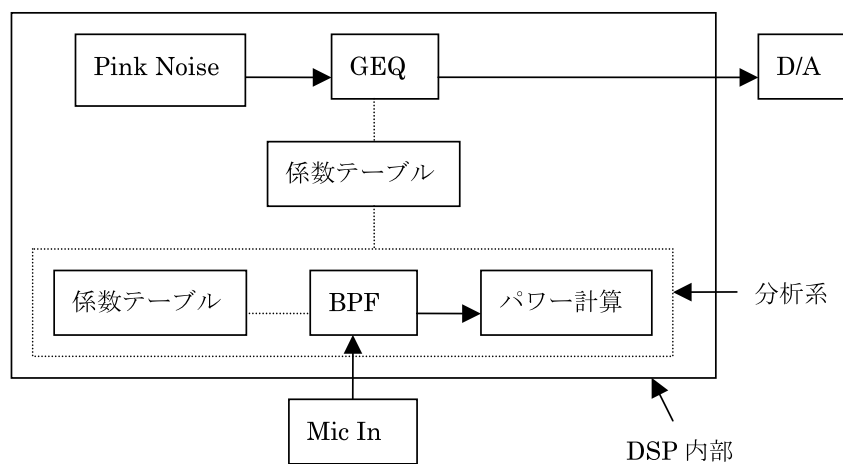


図3 周波数特性補正

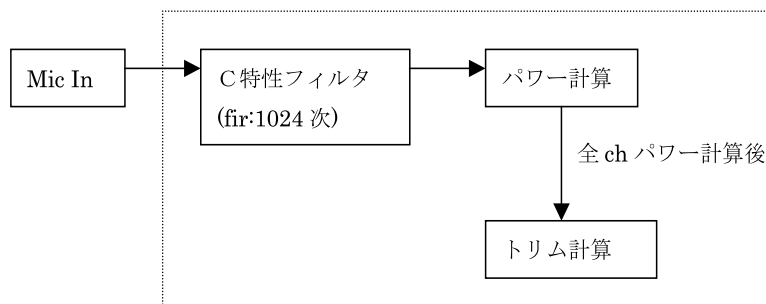


図4 トリム補正

る方法は、低域に集中する応答を示すスピーカ（例えばダイポールスピーカ）の正確な立ち上がり開始時間を算出することが困難である。本手法ではテスト信号として、低域から高域にかけて一様に減衰するスペクトル成分を持ち、時間軸上で時間0付近にエネルギーが集中している指数パルスを導入した。このようなスペクトル成分を持つことにより、低域に集中する暗騒音下でも高いS/Nで計測が可能となることに加え、サブウーファのような緩やかな立ち上がり特性を持つスピーカに対して特に効果を発揮する。さらに時間軸上で時間0付近にエネルギーを集中させることにより、立ち上がり検出を容易にする。また、応答の最大値をとる点を到達時間とするのではなく、応答の一次微分係数の絶対値に適切なスレッシュホールドを設定することにより、真の立ち上がり開始時間の検出を狙いとしている（図5）。各スピーカからマイクロフォンまでの到達時間を測定した後、各チャンネルの適正なディレイ量を算出する。

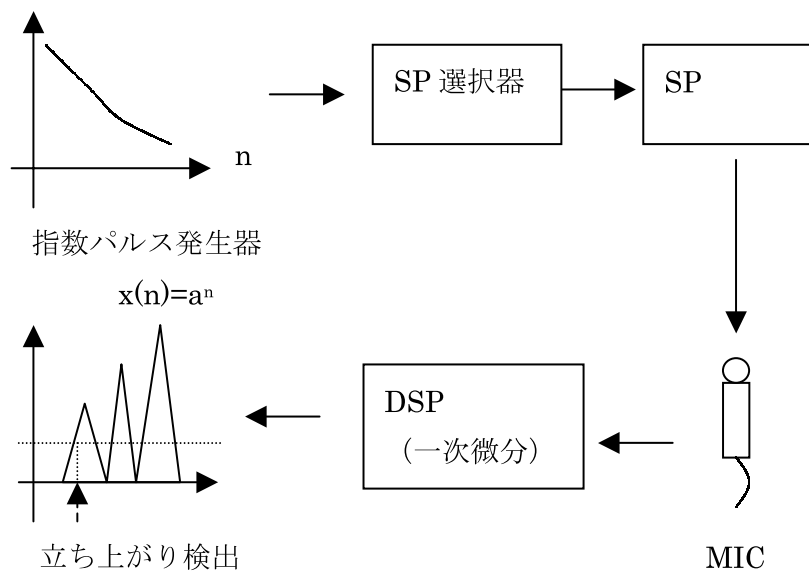


図5 到達時間測定系

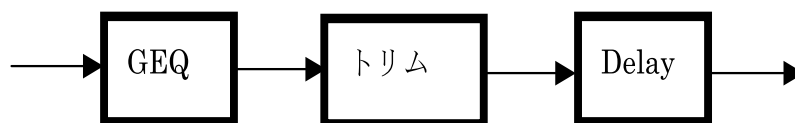


図6 信号処理ブロック

2.7 実時間信号処理

本システムにおける実時間信号処理には大きく

1. 周波数特性補正のためのグラフィックイコライザ(GEQ) ,
2. 各チャンネルレベル補正のためのトリム
3. 各スピーカからマイクロフォン位置までの到達時間を補正するためのディレイ

の3つの機能がある（図6）。

本システムでは、上述の3つのパラメータを自動的に設定する。なお、GEQはメイン5チャンネルに対して適用し、サブウーファは補正しない仕様とした。

GEQは各スピーカに設定した目標特性に近づくように設定される。目標特性はデフォルトで全てフラットとしたが、ユーザの好みに応じてチャンネルごとに変えることも可能である。トリムは全てのスピーカ再生レベルが聴感上等しくなるように設定される。ディレイは全てのスピーカが音響的に等距離になるように各チャンネルの遅延時間を設定する。

3. フィールドテスト

3.1 周波数特性補正

GEQによる補正精度の確認のために部屋、スピーカを変えて測定実験を行った。補正結果例を図7に示す。補正後は全帯域に渡り、ほぼフラットな特性が得られていることが確認できる。

測定条件

スピーカ：PIONEER製 S-LH3

場所：総合研究所内会議室

(部屋サイズ:L3.1 × W7.0 × H2.7[m])

3.2 レベル補正

マイクロフォン位置での音圧レベルを75dBCにし、アンプのボリュームを-25 ~ +10dB変化させた時のDSP内部での音圧測定値を求めた。このときの暗騒音レベルは約50dBCであった。結果を表1に示す。表中のTI測定値はDSP内部でのパワー計算結果を示している。以下の結果からS/Nが10dB程度で1dB以内の誤差で安定した結果が得られた。

測定条件

スピーカ：PIONEER製 S-AX10

場所：総合研究所試聴室

3.3 タイムアライメント補正

5つのスピーカに対してタイムアライメント補正值を求めたときの、立ち上がり開始時間の最大誤差とスレッシュホールドレベルの関係を調べた。スピーカは全てLH-3(PIONEER製)で場所は総研試聴室である。スレッシュホールドレベルの0dBは一次微分係数の絶対値の最大値としてある。スレッシュホールドを適正に選ぶことにより各チャンネル間数cmの誤差でタイムアライメントを設定することが可能になる(図8)。この値は聴覚による検知限以下となった。

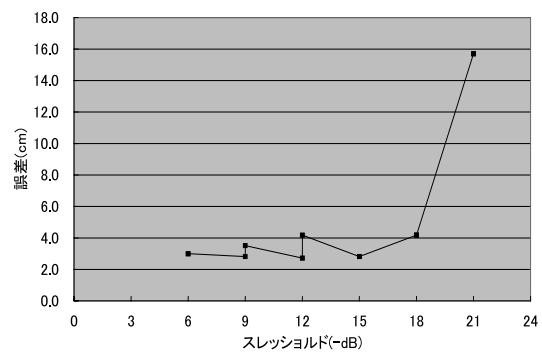


図8 タイムアライメント補正結果

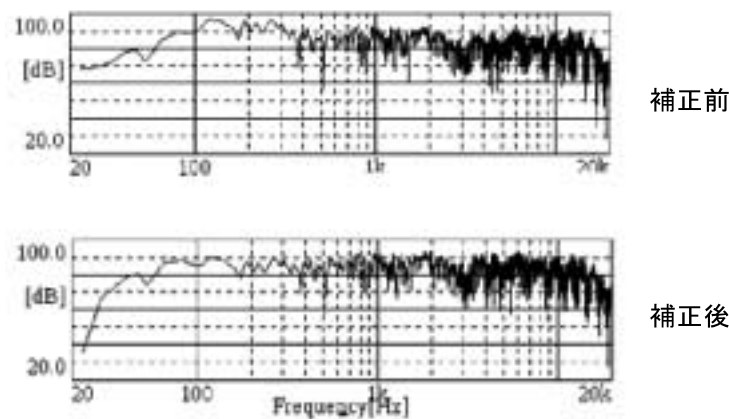


図7 GEQ補正結果

表1 レベル補正実験結果

ノイズ音圧	TI測定値					バラツキ	平均値	ノイズ音圧75dBCに 対する平均値の差	騒音計での実測値
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目				
85	163.3	163.3	163.3	163.3	163.3	0.0	163.30	10.00	84.9
80	158.3	158.3	158.3	158.3	158.3	0.0	158.30	5.00	80.2
75	153.3	153.3	153.3	153.3	153.3	0.0	153.30	0.00	75.0
70	148.3	148.3	148.3	148.3	148.3	0.0	148.30	-5.00	69.9
65	143.3	143.3	143.3	143.2	143.2	0.1	143.26	-10.04	65.0
60	138.4	138.5	138.4	138.4	138.4	0.1	138.42	-14.88	60.0
55	133.8	133.9	133.6	133.8	133.5	0.4	133.72	-19.58	55.5 ~ 57.8
50	129.7	130.1	129.1	130.4	130.3	1.3	129.92	-23.38	51.5 ~ 54.5

単位: dB

4. まとめ

マルチチャンネルオーディオにおける最適なリスニング環境の創生を目的として自動音場補正システムを開発した。本システムをさまざまな環境下でフィールドテストをした結果、実用に耐えうるだけの高い精度で音場補正が可能となった。従来、マルチチャンネルシステムに熟練したユーザしか設定し得なかった音場補正用の各種パラメータを自動的に設定できるシステムを実現した。

本システムを適用した再生システムでの試聴結果では、音場の一体感、および音像定位の明確さなどの点に於いて優位な効果が認められた。

5. 謝辞

本システムの開発に際し、測定、評価、機材の提供に協力を頂いた所沢工場 AV コンポーネント技術部の関係各位に感謝します。

参考文献

- (1)ITU-R BS.775-1 Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture
- (2)ITU-R BS.1116-1 Methods for the subjective assessment of small impairments in AUDIO systems including multichannel sound system
- (3) HOME THX SYSTEM DESIGN AND LICENSING MANUAL

筆者

太田 佳樹(おた よしき)

- a. 研究開発本部・総合研究所・モバイルシステム開発部
- b. 1996年4月
- c. デジタル信号処理技術、音場制御技術の開発に従事

松下 文雄(まつした ふみお)

- a. 研究開発本部・総合研究所・モバイルシステム開発部
- b. 1981年4月
- c. 音場制御技術の開発に従事

石原 博幸(いしはら ひろゆき)

- a. 研究開発本部・総合研究所・モバイルシステム開発部
- b. 1981年
- c. オーディオ用デジタル信号処理技術の開発を経て、1999年5月より音響関連技術の開発に従事

小谷 野進司(こやの しんじ)

- a. 研究開発本部・総合研究所・モバイルシステム開発部
- b. 1975年
- c. 入社以降スピーカの設計、開発業務に従事。現在、音場制御、音響変換器に関する研究に従事。
- d. 趣味として合唱を行っている。最近では日曜大工も。