

Title	音響再生装置の伝達周波数特性補正による音質改善 : 再生音における高度感性情報の再現とjitterが音質に及ぼす妨害
Author(s)	石川, 智治; 小林, 幸夫; 宮原, 誠
Citation	映像情報メディア学会誌, 55(3): 469-473
Issue Date	2001-03-20
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4929
Rights	Copyright (C) 2001 映像情報メディア学会. 石川智治, 小林幸夫, 宮原誠, 映像情報メディア学会誌, 55(3), 2001, 469-473.
Description	

音響再生装置の伝達周波数特性補正による音質改善：再生音における高度感性情報の再現と jitter が音質に及ぼす妨害

Improvement of the Sound Quality of High Order Sensations by the Compensation of Transfer Function and the Disturbance Caused by Jitter

石川 智治[†], 小林 幸夫^{††}, 正会員 宮原 誠[†]

Tomoharu Ishikawa[†], Yukio Kobayashi^{††} and Makoto Miyahara[†]

あらまし 音響再生装置の伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）の平坦化を行い、その再生音を評価した。特に高度感性情報再現に重点をおいた。その結果、従来オーディオ評価語に関する音質は改善されたが、高度感性情報に関する音質は劣化した。その原因追求の実験の結果、特性補正のために用いた DSP 装置に起因する物理要因が高度感性情報再現を劣化させているに違いないことが明らかになった。すなわち、高度感性情報再現のためには、音響再生装置の伝達周波数特性平坦化以前に考慮すべき重要な物理要因が存在していることが明らかになった。そのひとつは再生されたアナログ信号の中に観測される時間方向の伸び縮みひずみ（jitter）であることを確認した。これまでの研究もふまえて検討すると、想像をはるかに越える少量の jitter でさえも高度感性情報再現を損ねると考えられる。

キーワード：音質評価, 高度感性情報, 伝達周波数特性の平坦化, 無ひずみ伝送, DSP, jitter

1. ま え が き

線形の通信理論に基づけば、音響再生装置に第一に要求される性能は無ひずみ伝送条件（振幅周波数特性が平坦、群遅延周波数特性が平坦：位相周波数特性が線形）を満足することである。これまでに、上記の性能向上を目指した様々な音響再生装置の開発が行われてきた¹⁾²⁾。また近年、デジタル技術の急速な進歩により、DSP(Digital Signal Processor)などが開発され、それらを用いた音響再生装置の伝達周波数特性補正に関する研究^{3)~6)}が行われてきた。

本論文は、DSP を用いて伝達周波数特性を平坦（振幅周波数特性、かつ群遅延周波数特性を平坦：直線位相）に補正、すなわち、無ひずみ伝送条件をほぼ満足させた音響再生装置の再生音の音質を評価する。次に、高度感性情報再現の立場から、音楽再生における音響再生装置の DSP を用いた伝達周波数特性の平坦化について議論を行う。

2. 音響再生装置の伝達周波数特性の平坦化

2.1 伝達周波数特性補正の考え方

DSP を用いて音響再生装置の伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）を平坦に補正するという考え方は、線形システム理論に基づいており、音響再生システム全体を電気通信的に等価回路に置き換えて議論している。2.2節の理論が成立するためには、等価回路は最小位相推移回路⁷⁾である必要がある。そのための必要条件は、機械振動的にはほぼピストン運動領域と推測され、非線形な動作や最小位相推移の範囲外と考えられる寄生振動や分割振動は振動板上の定在波や共振であり、電気信号での補正、すなわち、ボイスコイルの動きでは制御が困難であるため、補正から除去されるべきである。また、最小位相推移系であることはシステムの安定性を保証するための必要条件と考えられる。したがって、伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）の補正は最小位相推移の範囲内で行う（付録）。

2.2 伝達周波数特性の補正理論

測定される音響再生システムの伝達関数を $H(j\omega)$ とすると入力 $X(j\omega)$ 、出力 $Y(j\omega)$ に対して以下ようになる。

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega) \quad (1)$$

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \quad (2)$$

伝送系を有限個の素子によるものと限定すると、 $H(j\omega)$ は $j\omega$ の実係数有理分数式であり、分母の $X(j\omega)$ の零点は左

2000年10月10日受付, 2000年12月13日再受付, 2000年1月9日採録
†北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

(〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1, TEL 0761-51-1234)

††小山工業高等専門学校

(〒323-0806 栃木県小山市大字中久喜 771, TEL 0285-21-0321)

†School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

(1-1 Asahidai, Tatsunokuchi, Nomi-gun, Ishikawa 923-1292, Japan)

††Oyama National College of Technology

(771 Nakakuki, Oyama-shi, Tochigi 323-0806, Japan)

半面にある (Hurwitz 形). ラプラス平面では, $H(s)$ の分母の根はすべて左平面に限られることと同じである. ただし, $Y(j\omega)$ と $X(j\omega)$ は互いに素である. この時, $Y(j\omega)$ の零点は一般に左右両平面に存在するが, $Y(j\omega)$ の零点の内, 虚数軸を除いて左平面, 右平面に存在するものを集めた因子をそれぞれ $Y_1(j\omega)$, $Y_2(j\omega)$ とすると

$$Y(j\omega) = Y_1(j\omega)Y_2(j\omega) \quad (3)$$

と分解され, この分解は $Y(j\omega)$ が決まれば一意に定まる. したがって

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{Y_1(j\omega)Y_2(-j\omega)}{X(j\omega)} \cdot \frac{Y_2(j\omega)}{Y_2(-j\omega)} \quad (4)$$

$$= H_1(j\omega) \cdot H_2(j\omega) \quad (5)$$

となる.

ここで, $H_1(j\omega) = \frac{Y_1(j\omega)Y_2(-j\omega)}{X(j\omega)}$, $H_2(j\omega) = \frac{Y_2(j\omega)}{Y_2(-j\omega)}$ であり, $H_1(j\omega)$ は $H(j\omega)$ よりも位相回転の少ない特性であるため, 同一の振幅周波数特性を有し, 最小移相部分である⁸⁾. したがって, $H_1(j\omega)$ を補正フィルタに用いる. すなわち, 求めたい補正フィルタ特性 $F(j\omega)$ は, 次式の逆フィルタ $H_1^{-1}(j\omega)$ によって得られる.

$$F(j\omega) = H_1^{-1}(j\omega) = |H_1^{-1}(j\omega)| \exp(j\angle H_1^{-1}(j\omega)) \quad (6)$$

2.3 補正フィルタ設計方法

(6) 式で得られたデータにハミング窓を掛けて逆フーリエ変換したものから FIR フィルタ係数を求め, これらを DSP に転送し, 補正フィルタを実現させる.

実際の補正フィルタ係数は, 次の手順で得る.

(1) 振幅・群遅延・位相周波数特性を周波数分解能 1Hz で測定する.

(2) 測定した特性から寄生振動や分割振動が生じていると考えられる周波数とクロスオーバー周波数, バスレフの f_0 を確認する.

(3) その後, 特性上で激しい位相回転が生じていない, すなわち, DSP で制御が困難な寄生振動や分割振動が特性上に含まれていない (排除された) と判断できる範囲まで, 周波数分解能を粗くして測定する.

(4) 取り除けない位相回転は近傍の値から外挿し, その測定結果を, DSP で補正が有効な最小位相推移の範囲内とする.

測定は Brüel & Kjær 社の BK2012 を使用し, 1. 周波数範囲, 2. 周波数分解能, 3. 正弦波スイープ時間, 4. 平均化回数を測定対象に合わせて設定する. また, 補正フィルタ係数を求める時と音楽聴取時とのハードウェア性能の違いによる影響を除くために, DSP の伝達周波数特性 $F(j\omega)$ は, $F(j\omega)=1$ となるフィルタ係数を設定し, 測定する (以後, DSP の伝達周波数特性は $F(j\omega)$ と記述).

2.4 音響再生システムの構成と使用機器

音響再生システムの構成を図 1 に, 実験装置, および測定器等を表 1 に示す. これらの機器は, 特殊なものではなく, 市販されていた一般的 (平均的) なものである.

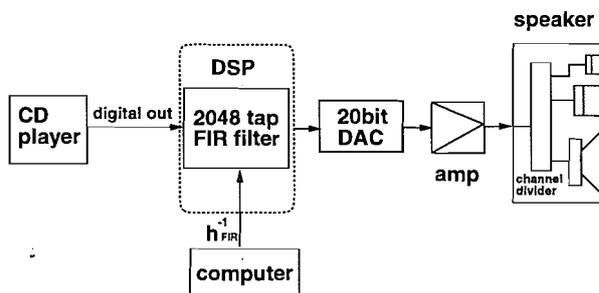


図 1 音響再生システムの構成 (片チャンネルのみ示す)
Block diagram of the sound system.

表 1 使用した音響再生システム, 測定器とその周辺機器
Sound and measurement system, and peripheral equipment.

(音響再生システム)	
CD transport 装置	NEC CD-10
DSP 装置	SONY SR-DX1000
D/A converter 装置	Accuphase DC-91
Preamplifier	NEC A-10X
Speaker	YAMAYA NS-1000M
(フィルタ係数転送時に使用)	
DSP Control Software	SONY Xover SR-DX1000
Computer	Apple Macintosh Quadra800
(特性測定時に使用)	
Audio Analyzer	Brüel & Kjær BK2012
A/D converter 装置	Wadia WA4000

以上の音響再生装置の伝達周波数特性 (振幅・群遅延周波数特性) の測定を補正前後で行った.

2.5 音響再生装置の伝達周波数特性補正前後測定結果
無響室でない場合の Brüel & Kjær BK2012 測定指示 (TSR mode) に従い, スピーカ (ミッドレンジユニット) の正面軸上 50cm において測定した補正前の振幅周波数特性, 群遅延周波数特性を図 2, 図 3 に, 平坦化を目的として補正を行った振幅周波数特性, 群遅延周波数特性を図 4, 図 5 に示す. なお, 測定は周波数範囲: 20Hz~22.05kHz, 周波数分解能: 27.56Hz, 正弦波スイープ時間: 16s, 平均化回数: 16 回で行った. なお, f_0 は 40Hz, クロスオーバー周波数は 500Hz と 6kHz である.

図 2~図 5 より, 伝達周波数特性 (振幅・群遅延周波数特性) はかなり平坦に補正されている (振幅周波数特性: ± 2 dB 以内, 群遅延周波数特性: ± 1 ms 以内)⁹⁾ ことがわかる.

3. 評価実験

3.1 評価実験場所

評価場所は JAIST の AV 評価室 ($H: 3.4$ m, $W: 5.3$ m, $D: 8$ m, 残響時間は 125, 250Hz で 0.4s, 500~2kHz で 0.3s, 4kHz で 0.4s) で行った.

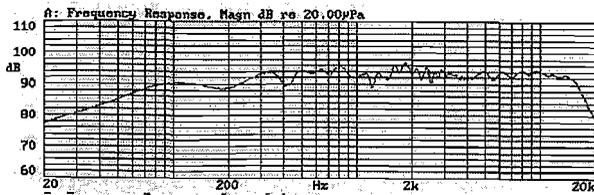


図2 補正前の振幅周波数特性
Original magnitude response.

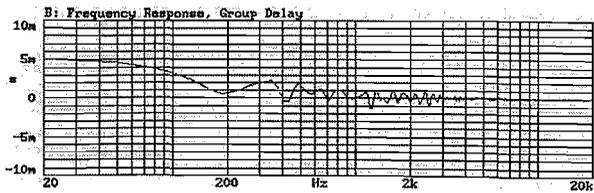


図3 補正前の群遅延周波数特性
Original group delay response.

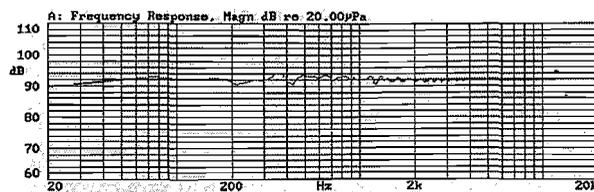


図4 補正後の振幅周波数特性
Compensated magnitude response.

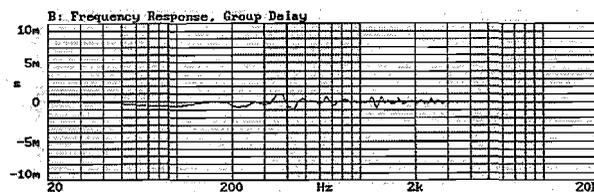


図5 補正後の群遅延周波数特性
Compensated group delay response.

3.2 評価用音源

今回実験に用いた評価用音源を表2に示す。選択した評価用音源は、高度感性情報を含む音源として複数のCDの中から探し出したもの¹⁰⁾である。

表2 評価用音源
Resources.

音源 No.	タイトル・曲名・演奏者・CD番号
音源 1	Les Larmes du Jacqueline (Offenbach): (violoncello)Werner Thomas, ORFEO, C131 851A, No.1
音源 2	REQUIEM, Pie Jesu(Faure): (conductor)Carlo Maria Giulini, (soprano)Kathleen Battle, Deutsche Grammaophon, F35G 20085, No.4
音源 3	EAGLES HELL FREEZERS OVER: "hotel california", GREFFEN GEFD-24725, No.6

3.3 評価実験方法

評価項目は既発表の評価語群¹¹⁾¹²⁾(収集した音質評価語(1322語, 192種類)から, KJ法によりまとめた35語の代表評価語)を用いた。それらを表3に示す。

表3 35個の代表評価語
35 representative assessment words.

	代表評価語 (35語)
高度感性情報評価語	Holographic 音場感, 空気感, 実在感 細かい表情の再現, 解像度, 深々さ, 気品 静寂感, まとまり, 自然さ, 滑らかさ, 安定感 抜け, 躍動感・生命感, 繊細感, 柔らかい 厚み・こく, 温かさ, 響き, 透明度
従来用いていた評価語	スピード感, 力感, 量感, 歪感, S/N感 再生帯域, 4ch音場感, 線の細さ 圧迫感・威圧感, くっきりさ, 軟らかさ, 艶 きらめき, ドライ・ウエット, 歯切れ・締まり

被験者は、評価の信頼性¹³⁾を考慮し、多くの人々の中から、事前に評価教育：代表評価語の意味を深く理解するための説明とディスカッションを行った成人9名とした。その結果、被験者自身の評価の安定性と評価の信頼性は向上した。評価は、DSPに $F(j\omega)=1$ のフィルタ係数を設定した時の再生音を規準とし、DSPに $F(j\omega) = H^{-1}(j\omega)$ の補正フィルタ係数を設定した時の再生音について行い、聴取位置は左右2つのスピーカ間隔(1.4m)の中心から垂直の方向に約3.5mで行った。なお、聴取位置は補正前と後で変えていない。また、評価尺度は、ITU-Rの7段階評価[+3:非常に良い, +2:良い, +1:やや良い, 0:同じ, -1:やや悪い, -2:悪い, -3:非常に悪い]¹⁴⁾を用いた。なお、評価用音源の提示順序はランダムに行い、再生は基本的に始めから終わりまで行った。提示回数および提示時間は被験者が評価完了するまで何度も繰り返した。

4. 評価実験結果及び考察

音響再生装置の伝達周波数特性は平坦に補正されたにも関わらず、総合評価は7段階評価の“0”であった。この理由を詳細に考察するために、各評価語の評価結果について有意差検定も行った。

4.1 評価結果の有意差検定

各評価語の評価結果の有意差検定は、1群t-検定(両側:有意水準5%以下)を用いた。その結果、評価の有意差が認められた評価語及びその評価値(平均)を表4に示す。

表4 1群t-検定の結果
Result of t-test.

代表評価語	評価値(平均)
量感	1.125
力感	0.917
再生帯域	0.917
くっきりさ	0.479
圧迫感・威圧感	0.417
S/N感	0.333
4ch音場感	0.25
自然さ	-0.708
繊細感	-0.417
静寂感	-0.333

表4より、有意差が認められた評価語の内、“量感”、“力感”、“再生帯域”、“くっきりさ”等の評価値は良い。表3より、これらは従来のオーディオ再生の評価によく使用さ

れてきた評価語である。

また逆に評価値が悪い“自然さ”，“繊細感”，“静寂感”は，表3より高度感性情報に関連する評価語である。したがって，DSPを用いた音響再生装置の伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）の平坦化は，従来オーディオ評価語に関連する音質を改善させるが，高度感性情報評価語に関連する音質をあまり改善させないばかりか，逆に劣化させる場合がある。

以上より，DSPを用いた音響再生装置の伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）の平坦化は高度感性情報再現度の改善とは独立であり，伝達周波数特性を平坦に補正する以外に考慮すべき重要な物理要因・特性が存在していると考えられる。また，評価が逆に悪くなる場合は，その重要な物理要因・特性がDSP装置を用いたために劣化している可能性があると考えられる。この音質劣化の原因となる物理要因・特性を追求するために，次の追実験を行った。

5. DSP装置の有無による高度感性情報再現の違いの評価実験と高度感性情報再現に重要な物理要因の考察

図1において音響再生システムにDSP装置を挿入せず，CD transportのデジタル信号出力をそのままD/A変換した時の再生音を規準として，図1の構成のままの音響再生システムを用いてDSPに $F(j\omega)=1$ のフィルタ係数を設定した時の再生音を評価した。評価実験場所，音源や方法，音源等は3章と同様の条件で行った。従来音響理論では，DSP装置は理想伝達関数を実現しているため，音質の変化はないと考えられる。それにも関わらず，得られた評価結果は，全評価語（35語）における7段階評価で，良くて“0”であり，総合評価は“-1”であった。この結果を更に詳細に考察するために，1群t検定も行ったところ，“自然さ”，“実在感”，“細かい表情の再現”，“躍動感・生命感”等の高度感性情報評価語（表3）の評価が，DSP装置をハードウェア上のシステムとして挿入することにより，悪くなることが明らかになった。一方，従来オーディオ評価語（表3）については，殆どの評価が劣化していないことが明らかになった。

以上より，高度感性情報再現のためには，DSP装置を用いて音響再生装置の伝達周波数特性（振幅・群遅延周波数特性）の平坦化を行う以前に，考慮すべき重要なDSP装置に起因する物理要因が存在していることが明らかになった。

ここで，高度感性情報再現に重要な物理要因を探求するために，更に追実験を行った。具体的には，図1の音響再生装置を用い，インパルスを入力し，アンプ出力波形を測定した。測定はアドバンテスト社製FFT Analyzer: R9211を用い，サンプリング周波数：256kHz，量子化レベル：16bitで行った。“波形の時間的位置をできるだけ正確に掴むため，波形が鋭く変化するピークディップ部分に注目し，13個を選出し，そのピークディップが1サンプル（約

4 μ s）以上ずれない”という条件を与えて観測した。その結果，50回の試行のうち，条件を満足した回数はDSPがある場合が5回，DSPがない場合が30回であった。一般的に，誤差は正規分布であると仮定されるが，最悪の場合も考慮して，誤差が一様分布であると仮定すると，DSP装置が時間伸び縮みひずみ（jitter）を6倍にしていると観測されたことになる。すなわち，このことが高度感性情報再現を劣化させている原因のひとつであると考察される。

上記結果は，高度感性情報再現における我々の一連の研究^{15)~20)}の中で，jitterが高度感性情報再現を劣化させていることの一つの実証例であるとも考えられる。この実証以外にも，我々は数nsオーダの僅かなjitterでさえも，高度感性情報再現を大きく劣化させていることを多くの実験を通して明らかにしてきている¹⁹⁾²⁰⁾。具体的には，AUDIO PRECISION社のAudio Analyzer: SYSTEM TWO CASCADEを用いて，デジタル・オーディオ・インタフェース上で数nsオーダのjitterを故意に発生させることにより，高度感性情報再現が大きく劣化する（7段階評価で非常に悪い：“-3”）こと¹⁹⁾や，デジタル入出力装置の違いによりjitter量が大きく異なり（7段階評価でやや悪い：“-1”～悪い：“-2”の違いがある），そのjitter量が高度感性情報再現の劣化度合と比例関係にあること²⁰⁾を明らかにしている。

すなわち，音響再生システムにDSP装置をハードウェア上のシステムとして挿入することに起因して，時間伸び縮みひずみ（jitter量）が増加し，高度感性情報再現を損ねていると考察している。

6. 検討とまとめ

我々は，高度感性情報再現に注目して，高忠実な音楽再生という非常に難しい問題に取り組んできた結果，2つの仮説を立てるに至っている²¹⁾。仮説1は精密な波面再生であり，仮説2は再生された音像へのエネルギー集中である。ここで，我々の数多くの実験的研究^{15)~20)}から，現段階の「精密な波面再生の実現」という意味は，例えば，2wayスピーカシステムのWooferとTweeterユニットの前後位置関係を，各ユニットの直接音を聴きながら0.1mm以内の精度で調整した場合に，多くの評価者が音楽再生時に身体を前後・左右に大きく動かしても音像，そして高度感性情報再現が殆んど変わらないと評価しているという実験的事実によるものである。よって，2wayスピーカシステムのWoofer・Tweeterの前後位置関係の調整は，静的な波面再生を実現していると推測しており，その時間精度は，従来の常識を遥かに越える程に精密であるということである。したがって，仮説1で言及している精密な波面の再生を損ねる原因のひとつとしては，デジタル機器で生じるjitterが関係していると考えられ，それが高度感性情報再現（特に“空気感”²¹⁾）を損ねること¹⁹⁾²⁰⁾を明らかにしつつある。

したがって，本論文で得た結論，すなわち，音響再生シ

システムに DSP 装置をハードウェア上のシステムとして挿入することに起因して、高度感性情報再現が劣化する原因が jitter であることは、我々の研究で至った仮説 1 に対するひとつの実証例であると考えられる。しかしながら、この発見は、従来オーディオ評価語に注目して研究開発を進めていく上では、現われて来ず、高度感性情報再現に注目した結果、得られた事実である。

また、昔から巷では (1) クリック音を聴けば、音響再生装置の音質がわかる。(2) 良い音の再生のためには「Speaker の伝達周波数特性にこだわるな」などといわれて来た。本論文で得た結論は、このことの正当性を、ある一面で示している。すなわち、音響再生装置の無ひずみ (高忠実) 伝送は、まず、周波数領域上で振幅・群遅延周波数特性の平坦化を検討すべきであるが、それ以上に、音楽再生における音の重要な情報はドラム・パート部分に存在することから、詳細に過渡音の再現性を時間領域上で検討すべきである。

また、ミキシング、マスタリング等の録音現場では、例え音響再生装置の伝達周波数特性 (振幅・群遅延周波数特性) が同一であっても、DSP 装置の違いから音質が異なってしまうという事実が存在し、それは経験的に常識であると聞いている。本論文はこの事実を実証したともいえる。

今後は、仮説 1 の精密な波面再生に関する定量的測定や実験的に明らかになりつつある仮説 2 のエネルギー集中に関連する物理要因の定量的測定を行い、高度感性情報再現を可能にする音響再生装置の開発を目指す。これらに関することは次の機会に報告したい。

本研究は、日本学術振興会・未来開拓推進事業“未来映像音響制作と双方向臨場感通信を目的とした高品位 Audio-Visual System の研究”プロジェクト JSPARFTF97P00601 の援助により行った。また、本研究を進めるにあたり、多大な御教示を頂きましたソニー株式会社顧問、スタート・ラボ社長 中島平太郎様、DSP 装置の使用に際し、御指導頂きましたソニーサウンドコミュニケーション株式会社 高田寛太郎様、CAV カンパニー 米田道昭様、評価実験に御協力頂いた皆様に深く感謝致します。

<付録>

寄生振動とは、スピーカが主として高音域において、ボイスコイルの動きに 1:1 に対応しないで振動するものと解釈できる。また、分割振動は、ボイスコイルから離れた周辺部に行くほど位相が遅れることと、エッジ付近でのインピーダンスの不整合のために反射されて戻ってくることで生じる定在波である。

我々がここで示したいことは、DSP による信号の制御、すなわち、ボイスコイルの動きでは制御できない振動は、制御対象としないということである。寄生振動は全く制御できないが、分割振動はある程度制御できる可能性はある。しかし、このような非線形現象は正弦波スイープによる周波数特性と実際の音楽信号が入力された場合では、異なっ

た動作をすると考えられる。したがって、寄生振動、分割振動の制御はしないように信号処理した。

[文 献]

- 1) 中島平太郎：“ハイファイスピーカ”，日本放送出版協会 (1972)
- 2) 石井伸一郎，中尾寛次，高橋賢一，上野孝文：“スピーカの位相特性について”，信学技報，EA75-16，pp.17-25 (1975)
- 3) R.J.Wilson, G.J.Adams and J.B.Scott：“Application of digital filters to loudspeaker crossover networks”，84th Audio Eng. Soc. Convention, No.2600[F-4], (1988)
- 4) 飯田勝彦：“「位相と音質」位相管理と音作り”，AES 東京コンベンション'95 予稿集，E-4，pp.170-173 (1995)
- 5) H.Tokuno, O.Kirkeby, P.A.Nelson, H.Hamada：“Inverse Filter of Sound Reproduction Systems Using Regularization”，IEICE Trans. Fundamentals, E80-A, 5, pp.809-820 (1997)
- 6) M.Karjalainen, E.Piirilä and A.Järvinen：“Comparison of Loudspeaker Equalization Methods Based on DSP Techniques”，J. Audio Eng. Soc., 47, 1/2, pp.14-31 (1999)
- 7) H.W. ボーデ 著，喜安善市 訳：“回路網と帰還の理論”，岩波書店，pp.248-250 (1962)
- 8) 川上正光 著：“基礎電気回路”，コロナ社 電気通信大学講座，第 13 巻，pp.257-267 (1960)
- 9) B.C.J. ムーア 著，大串健吾 監訳：“聴覚心理学概論”，誠信書房，pp.322-327 (1995)
- 10) 宮原誠：“高品位 Audio-Visual System 先端技術インフラの研究”，オーディオビジュアル複合情報処理，13-6，pp.39-46 (1996)
- 11) 石川智治，冬木真吾，宮原誠：“音質評価語の多次元空間におけるグルーピングと総合音質に重要な評価語”，信学論誌，J80-A, 11, pp.1805-1811 (1997)
- 12) 石川智治，小林幸夫，國藤進，宮原誠：“高度感性情報に注目した音質評価語の階層構造解析”，信学技報，CQ98-62，pp.15-20 (1998)
- 13) 宮原誠，守田幸徳：“音質を表現する評価語の調査分析”，日本音響学会誌，52，pp.516-522 (1996)
- 14) ITU-R：“Subjective assessment of sound quality”，Recommendation BS1284 (1982)
- 15) 冬木真吾，小林幸夫，石川智治，宮原誠：“デジタル音楽信号の jitter に起因する高度感性情報の欠落 - “雰囲気”，“空気感” (深さ) の激減衰化”，信学技報，EA97-104，pp.9-16 (1998)
- 16) 小林幸夫，石川智治，宮原誠：“CD Player の時間伸び縮み歪み特性と高度感性情報再生の評価”，信学技報，EA98-17，pp.1-6 (1998)
- 17) 小林幸夫，石川智治，宮原誠：“高度感性情報再現を損なう時間伸び縮み歪み”，信学技報，EA99-39，pp.83-88 (1999)
- 18) 小林幸夫，赤堀肇，宮原誠：“高度感性情報を損なうデジタル信号ジッタの影響”，信学技報，CQ99-48，pp.7-14 (1999)
- 19) 赤堀肇，石川智治，小林幸夫，宮原誠：“デジタル・オーディオ・インタフェース (AES/EBU) の jitter と音質の関係”，信学技報，EA99-40，pp.1-8 (1999)
- 20) 三井実：“音のゆらぎと高度感性情報の再現に重要な物理要因との関係についての研究 - 波面再生と高度感性情報再現との関係についての研究 -”，北陸先端科学技術大学院大学修士論文 (2000)
- 21) 宮原誠：“新世代オーディオ：音響・音楽の高度感性情報知覚モデル - 信号の時間伸び縮み歪と digital 音-”，信学技報，EA98-20，pp.23-30 (1998)



いしかわ ともはる
石川 智治 1995 年，神奈川工科大学工学部情報工学科卒業。1997 年，北陸先端情報科学研究科博士前期課程修了。現在，同大学博士後期課程在学中。高品位 Audio-Visual 信号処理の研究に従事。



こばやし ゆきひろ
小林 幸夫 1980 年，長岡技科大・電子機器卒業，1982 年，同大学院修士課程修了。同年，松下電器産業 (株) 入社，1988 年，小山職業能力開発短大講師。1991 年，群馬職業能力開発短大講師，1997 年，日本学術振興会未来開拓事業リサーチ・アソシエイト，2000 年，小山高等専門学校助教授 博士 (工学)。



みやほら まこと
宮原 誠 1964 年，東京工業大学工学部電子工学科卒業。1966 年，同大学院修士課程修了。同年，NHK 入社，1968 年，同研究所テレビ研究部。1978 年，長岡技科大助教授，1987 年，同大学教授。この間 1983 年，UC,Davis 客員教授 (1 年間)。1992 年，北陸先端大教授。1997 年，学振未来開拓事業・未来映像・音響創造研究代表，工学博士，正会員。