

Title	高度感性情報再生に重要な物理要因の発見とその実現 - “ 力強さ ” 再生から発見したバランス伝送回路と C D 盤に重要な物理要因 -
Author(s)	藤本, 桂一
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1542
Rights	
Description	Supervisor:宮原 誠, 情報科学研究科, 修士

修士論文

高度感性情報再生に重要な物理要因の発見とその実現

- “力強さ”再生から発見したバランス伝送回路
とC D盤に重要な物理要因 -

指導教官 宮原 誠 教授

審査委員主査 宮原 誠 教授

審査委員 赤木 正人 教授

審査委員 小谷 一孔 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

910101 藤本 桂一

提出年月：2002 年 2 月

目次

第1章 序論

1.1 本研究の背景・目的	1
1.2 本論文の構成	5

第2章 高度感性情報に関するこれまでの研究

2.1 はしがき	6
2.2 高度感性情報とは	8
2.3 未知の物理要因・特性の発見方法	9
2.4 高度感性情報の評価に重要な評価語	12
2.5 これまでに明らかになった物理要因・特性	14

第3章 高度感性情報再生とバランス伝送回路

3.1 はしがき	17
3.2 バランス伝送回路とアンバランス伝送回路	18
3.2.1 各伝送回路の構成と特徴	18
3.2.2 各伝送回路の音質	20
3.3 バランス伝送回路の心理物理学上の利点	23
3.3.1 コモン・モード・ノイズと音質の関係	23
3.3.2 まとめ	24
3.4 バランス伝送回路の心理物理学上の欠点	24
3.4.1 ダンピングファクタの測定	25
3.4.2 電圧（電流）立ち上がり波形の測定	26
3.3.3 まとめ	24
3.5 “力強さ”に関係の強い物理要因・特性	27

3.5.1 スピーカー駆動能力の新しい考え方	27
3.5.2 トランスが“力強さ”に及ぼす影響	29
3.5.3 トランジスタの直列接続が“力強さ”に及ぼす影響	30
3.5.4 まとめ	31
3.6 バランス伝送回路の欠点を改善したアンプの評価	31
3.7 研究結果による仮説の検証	32
3.8 まとめ	33

第4章 高度感性情報再生とCD盤

4.1 はしがき	34
4.2 CDの歴史	35
4.3 予備評価実験	38
4.3.1 目的	38
4.3.2 実験方法	39
4.3.3 結果と考察	40
4.4 CD盤の諸特性の測定	41
4.4.1 目的	41
4.4.2 質量の測定	42
4.4.3 誤り率の測定	43
4.4.4 反射率の測定	44
4.5 透過光量の測定	45
4.5.1 測定方法	46
4.5.2 結果と考察	47
4.6 透過光量を変化させる物理要因	48
4.6.1 目的	48
4.6.2 実験方法	49
4.6.3 結果と考察	50
4.7 アルミニウム膜厚と高度感性情報再現の関係	52
4.8 振動が音質に及ぼす影響に関する検討	55
4.8.1 CD盤の物理的振動が原因とする根拠	56
4.8.2 これまでに行った実験の結果	56
4.8.3 検討	57
4.8.4 まとめ	58
4.9 まとめ	58

第5章 結論

5.1 まとめ ----- 60

5.2 今後の課題 ----- 62

謝辞 ----- 63

参考文献 ----- 64

第 1 章

序論

1.1 本研究の背景・目的

我々は、従来のオーディオ・ヴィジュアル・システムを越えた、全く異なる次元のオーディオ・ヴィジュアル・システムを開発することを目的に研究を行っている。

本研究の発端となったのは、特に最近のオーディオ・ヴィジュアル・システムにみられる利便性および明瞭度重視の傾向である。我々は、明瞭度重視の音や映像では、実際の作品から得られるような高度な芸術的印象を著しく失われしまうという問題点に注目している。そこで我々は、音楽もしくは絵画、写真などを高次元で忠実に再生し、芸術家が作品の創作において芸術作品に込められた思いまでも、再生することを目的に研究をスタートした。

このようなオーディオ・ヴィジュアル・システムの実現は、過去の優れた芸術作品を次世代へ伝え、文化を継承するためのデジタルアーカイブのみならず、これらを基に新しい解釈で創作する方向へ展開するために必要であると考えられる。これは、将来ブロードバンドによる、高品質のデジタルコンテンツの配信を考慮した展開でもあり、未来のマルチメディアの基盤的研究として非常に重要であると自負している。本研究は、この大きな研究の枠組みの中で、オーディオ・システムに注目している。

オーディオ・システムは、エジソンが 1877 年に蓄音機を発明して以来、進歩し続け

てきた．そして，コピーによる劣化が起きないとされるデジタル・オーディオとして，1978 年に C D (Compact Disk) が登場し，音楽・音響信号の記録媒体の主流になった．そして，音楽・音響信号を高忠実に伝送するために，伝送理論の無歪み伝送条件を満足するため，周波数特性をできるだけ高帯域まで平坦化することや，様々な歪みをできるだけ小さくする努力が行われた．その結果，音の明瞭度については，十分に再生できるようになった．そして，さらに技術が進歩した結果，現在では，既知の伝送条件の実現はほとんど達成されたかに思われる．しかし，現在の C D ， D A T (Digital Audio Tape) などのデジタル・オーディオ・システムから，生演奏で得られるものと相違ない，演奏や歌声の迫力，ニュアンス，もしくは会場のざわめきなどの雰囲気は得られるだろうか？

オーディオ愛好家は，実際の熱意のこもった演奏から得られるような感動を，音楽の再生に求めている．これについては，感動できる音を求める多くのオーディオ愛好家が納得するであろう．

我々は，オーディオ愛好家が望むような“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”までも再生する技術，人に感動を呼び起こす音を再生する技術については，決して十分とは言えないと考えている．

そこで，我々の研究室では，C D などの音楽・音響信号の記録媒体に記録された“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”などが再生されたときに人が感動すると考え，それらを再生するために必要な情報を高度感性情報と定義している（第 2 章参照）．そして，この高度感性情報を再生するために，重要な物理要因・特性を発見し，なおかつ発見した物理要因・特性を改善したオーディオ・システムの実現を目指している．

高度感性情報の再生のためには，図 1-1 に示す音楽・音響信号の伝送系において，信号を無歪みに伝送する必要がある．そこで，従来のオーディオ・システムは，周波数特性および群遅延特性が平坦でなければならないという，従来音響理論の無歪み伝送条件[1]を満たすことだけを考えて，開発が行われてきたように思われる．しかし，周波数特性や群遅延特性を完全に平坦にすることは不可能であり，いくらかの歪みは必ず生じてしまう．また，個々の物理要因・特性と音質との関係についても，明らかになっていないものが多く，オーディオ愛好家の間ではすでに常識になっているオーディオ・システムの調整（電気素子の種類，信号線の種類，システムにおける機械振動など）で音質が変わる原因については，既知の物理要因・特性では説明することが

できない．このことから，未だ発見されていない物理要因・特性が存在すると考えられる．

以上のことから，我々は音楽・音響信号の無歪み伝送のためには，まず音質と物理要因・特性との関係を明らかにし，“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”のような音質と関係の強い，未知の物理要因を改善する必要があると考えている．

したがって，研究のアプローチとして，我々の研究室では，心理量（音質）と，物理量（物理要因）との関係を明らかにしようとする心理物理学（psychophysics）において，音質と物理要因・特性との関係を明らかにするという観点から，研究を行っている．そのために，音質に関係の強い未知の物理要因・特性を発見するための研究方法として，帰納的研究方法（第 2 章参照）を用いている．我々は，帰納的研究方法により，第一に音質（高度感性情報が再生されているかどうか）を考え，音質の主観評価実験を行う．次に主観評価結果を基に，高度感性情報を再生するためにはどのような物理要因・特性が必要であるかどうかを探索していく．そして，音質と強い関係の強い物理要因・特性を発見した後，発見された物理要因・特性を新たに考慮に加え，演繹的研究方法によって高度感性情報を再生し得るオーディオ・システムを開発する．

図 1-1 で示される録音系と再生系から成る音楽・音響信号の伝送系において，高度感性情報の再生を目的とした場合，本来なら録音系と再生系を同時に研究を行うべきである．しかし，高度感性情報を録音するためには，どのような物理要因・特性の改善が録音系に必要であるかが，現在のところ不明であり，仮に録音系が実現できたとしても，音質を確認する再生系の性能が十分でなければならない．したがって，先ず再生系から研究を行っている．再生系に使用する評価用音源には，多くの議論を経た後，「実際の“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”が記録されているようだ」と評価した音源（CD）を選出した．

我々は，これまでの研究成果として，高度感性情報をある程度再生することができるオーディオ・システムの開発に成功している[2]．しかし，我々がこれまでの研究成果によって開発したオーディオ・システムでも，“品格”の再生という点では，未だ満足いくレベルには到達していないのが現状である．

そこで，私は更なる音質の追求のため，様々なアンプの音質差を主観により調査したところ，バランス伝送回路では独特の“気品”のある音（“品格”とまではいえないが，それに近い音）が再生されることを発見した．このことから，“品格”再生を目

的としたアンプの伝送回路として，バランス伝送回路が適しているのではないかと推測するに至った．アンプにはアンバランス伝送回路とバランス伝送回路のふたつの伝送回路があり，これまでの我々の研究成果によるアンプはアンバランス伝送回路であった．

以上のことから，本研究では，高度感性情報再生のために望ましい伝送回路を求めることを目的として，高度感性情報再生という観点から，バランス伝送回路とアンバランス伝送回路の得失を明らかにするための研究を行った（第3章参照）．

一方，研究を進める中で，同一音源にもかかわらず，CD盤の種類が異なると高度感性情報の再生が大きく異なることを発見した．このことから，CD盤によって高度感性情報の再生が異なるという事実には，どのような物理要因・特性が関係しているのかを明らかにするため，CD盤に関する研究も行った（第4章参照）．今後，高度感性情報の再生に関する研究を録音系に進めるためにも，このように記録媒体に関する研究を行うことは非常に重要であると考えている．



図 1-1 音楽・音響信号の伝送

1.2 本論文の構成

全 5 章からなる本論文の構成について述べる．まず，第 1 章は本研究の基盤となる背景・目的について述べた．

第 2 章では，本研究を進めるために，重要なキーである高度感性情報について述べた．ここでは，これまでの高度感性情報に関する研究によって明らかになりつつある物理要因・特性について述べる．第 3 章以降は，本研究において，高度感性情報の再生という新しい観点からオーディオ・システムを見直した結果，新しく発見した物理要因についての実験および検討・考察を述べた．

第 3 章では，” 品格 ” の再生に注目した，アンバランス伝送回路およびバランス伝送回路の音質および物理要因・特性上の特徴について，心理物理学的に述べる．そして，高度感性情報再生のために理想的なアンプについてひとつの提案を行った．

第 4 章では，これまでの研究から録音系へ研究を拡大するために，最初に解決しなければならない問題として，音楽・音響信号の記録媒体である C D 盤において，C D 盤の種類によって音質（高度感性情報再生）が異なる原因となっている物理要因・特性を明らかにするための研究について述べる．ここでは，同じスタンパから製造した C D 盤でも，C D 盤の製造条件が異なると，音質も大きく異なるということについて述べた．そして，未完成ではあるが，高度感性情報を再生しうる C D 盤を実際に製造し，C D 盤のあるべき姿を示した．

最後に，第 5 章では本研究によって得られた結果をまとめ，この結果が高度感性情報再生に関する研究において，どのような意味があるのかについて述べる．また，今後の研究課題について述べる．

第 2 章

高度感性情報に関するこれまでの研究

2.1 はしがき

アナログ・オーディオでは記録媒体の S / N 比，周波数特性，非直線歪の影響を直接受ける．また，回転系や駆動系による回転ムラによってワウ・フラッタや変調雑音が発生する．記録媒体の機械的損傷により雑音が発生するなどの問題があった．これに対し，デジタル・オーディオは音楽・音響信号を離散的数値に変換して記録するため，上記問題を克服できるほか，原理的にコピーによる劣化がない，またエラーを訂正・補正できるなどの特徴があるとして登場した[3]．

音質の面では，アナログ・オーディオが S / N 比などの特性が悪かったこともあり，デジタル・オーディオの音は「はっきりとした音」がする，とか「クリアな音がする」という利点が言われてきた．しかし，デジタル・オーディオの音はアナログ・オーディオの音に比べて，必ずしも勝っていないという意見も多い．例えば，悪い意味で「デジタル特有の音がする」，「雰囲気が損なわれる」ということが，オーディオ愛好家などにより言われている [4][5]．それでは，良いはずのデジタル・オーディオにおいて，なぜこのような欠点が生じてしまうのであろうか？

このデジタル・オーディオの欠点を克服するために，現在オーディオ業界では，従来のデジタル・オーディオ・システム（特に C D ）の問題が，精細度の不足やダ

ダイナミックレンジ（標本化周波数=44.1kHz，量子化レベル=16bit，再生周波数帯域=DC～20kHz）の不足にあると考えられている。それは，近年発表された，人間は20kHz以上の音も感じるができるという報告[6]に基づいており，オーディオ・システムのフォーマットにも20kHz以上の音を再生できるダイナミックレンジが必要であるという考えからである。実際に，この問題を解決するために，標本化周波数や量子化レベルなどのフォーマットの改正が盛んに行われている。代表的なものにSACD（標本化周波数2.8224MHz，量子化レベル=24bit，再生周波数帯域=DC～100kHz），DVD-Audio（標本化周波数=96kHz，量子化レベル=24bit，再生周波数帯域=DC～96kHz）などがある[7]。このように，オーディオ業界では，すでにダイナミックレンジを大きくする動きが始まっている。しかし現在のところ，肝心の音質の方は“演奏の雰囲気”や“演奏の凄み”のような，高度感性情報までも含む音が再生されているとは言い難いと思われる。高度感性情報の詳しい説明は次節に示す。

一方，オーディオ愛好家の間では，CD盤の種類，オーディオのケーブル，オーディオ・システムの支持方法などの調整によって，音質が大きく変わることが常識になっている。実際に，これらの調整によって，デジタルの音質上の欠点が改善され，高度感性情報が再生されるという報告もある[8]。例えば，オーディオ愛好家の間では，周波数特性や群遅延特性などのオーディオ・システムのスペックに書かれているような物理要因・特性を持ち出すと，「そのような量と音の聴こえ方とは違う」「そのような物理量を取り上げるのはあまり意味がない」という意見がある。しかし，これらの調整がどのようにして音質に関係しているかは，科学的には明らかになっていない。

そこで，我々は，高度感性情報までも含む音質の再生のためには，既知の物理要因・特性だけでは不十分であり，未知の物理要因・特性と音質との関係を明らかにする必要があると考えている。したがって，従来の無歪み伝送理論を基本とした物理要因・特性は当然満足し，その上で未知の物理要因・特性も満足させることが，高度感性情報再生にとって重要であると考えている[9]。

以上のことから，我々は，高度感性情報までも再生するオーディオ・システムを開発するためには，オーディオ・システムの調整によって変化する未知の物理要因・特性を発見しなければならないと考えている。これが，正に高度感性情報再生を目的とした研究の原点である。

2.2 高度感性情報とは

オーディオ・システムは、当初、伝送理論に基づいて人間の可聴領域（20Hz～20kHz）において、振幅周波数特性、群遅延特性が平坦であること、60dB以上のS/N比、0.1%以下の歪み率特性などの伝送条件が満たされれば、原音に忠実な音が再生できるとされてきた[10]。しかし、これらの条件を満たす多くのオーディオ・システムが製作されたが、原音から得られるような、“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”までも再生できるオーディオ・システムはほとんどないのが現状である。

オーディオ愛好家の間では、人が感動するような音の再生のためには、上記の無歪み伝送条件を満たすシステムを用意するのみでなく、システムを構成するスピーカー、アンプ、CDプレーヤーなどの支持、コードの種類などをはじめとする様々な調整は、上記特性には現れないにもかかわらず、音質を大きく変える事実があることが常識になっている。しかし、なぜこのような調整が音質に関係してくるのかは必ずしも理論的には明らかにされていない。これは、音質は主観評価でしか評価できないため、上記のような事実を科学することは非常に難しいと考えられてきたことに原因がある。しかし、我々は、この難しい研究に取り組むには主観評価から入って科学的に解析しなければ、人が感動するような音を再生できるオーディオ・システムは実現できないと考えている。

そこで我々は、CDなどの音源に含まれる、実際の“演奏会場の雰囲気”や“演奏の凄み”が再生された場合に人は感動すると考え、その感動を再生するために必要な情報を“高度感性情報”と定義した。そして、高度感性情報を再生するために必要な物理要因・特性を発見し、高度感性情報を再生するオーディオ・システムを実際に開発することを目的として研究を行っている。

我々は、まず高度感性情報を含む総合音質の再生を主目的と考え、その総合音質から重要な心理要因（音質評価語）を探る。そして、得られた高度感性情報を表す評価語から、高度感性情報の再生に重要な物理要因・特性の発見を行う。

2.3 未知の物理要因・特性の発見方法

高度感性情報再生に関する研究は、主観的な心理量と、客観的な物理量との関係を明らかにしようとする心理物理学の枠組みの中で、音質と物理要因・特性との間の関係を明らかにすることを試みている。音質は人間の聴覚や感性により、決定されるが、音質のような感覚・感性の工学的利用のためには、音質と物理要因・特性の相関関係を表したモデル（感性モデル）を構築する必要がある[11]。

人間は外的刺激を受けた場合、その刺激に対して内面に情緒的印象が現れる。それらを言語化したものが音質評価語であることから、音質評価に関する全ての音質評価語を用意し、これらと総合音質及び高度感性情報との関係を求めれば、情緒的意味を生じる全ての外的刺激は総合音質に結びつくと考えられる。

感性モデルでは、物理要因・特性 (P_i) と音質評価語 (A_j) 及び、その評価実験結果による重み (W_{mn}) の線形和的關係から、総合音質 ($Q=[W_{mn}] [A_j]$) が決定される。つまり、周波数特性や量子化ノイズなどの既知の物理要因・特性の荷重和として総合音質が決定される[12]。図 2-2 と図 2-3 に、本研究の感性モデルにおける、研究のアプローチを示す。

研究のアプローチとして、本研究では、帰納的研究方法を採用して、先ず心理物理要因を発見するという研究を進める。高度感性情報再生と関係の強い心理物理要因を発見した後は、新しく発見された物理要因・特性を考慮に加え、演繹的研究方法で、実際にシステムを開発するための研究を行う。

帰納的研究方法は、多くの観察（評価実験）による総合音質から、主目的である高度感性情報が再生されているか否かを判断することからスタートする。すなわち、多くの聴取実験を繰り返し行う中で、高度感性情報再生が変化した時の物理要因・特性を観察し、高度感性情報の再生と関係の強い物理要因・特性の発見を行う。なお、総合音質及び発見された物理要因・特性と関係の強い音質評価語を、キー評価語と定義している。帰納的研究方法のモデルを図 2-1 に示す。この、帰納的研究方法により、未知の物理要因・特性が発見された後は、新しく発見された物理要因・特性を考慮に加え、以下に記述する演繹的研究方法により、高度感性情報を再生し得るオーディオ・システムを開発する。

演繹的方法は，まず既知の物理要因・特性を向上させることにより，それに関連する音質評価語の評価が向上し，その評価結果を重みとして，線形の荷重和的關係から総合音質（高度感性情報再生）を向上させるというものである．演繹的研究方法のモデルを図 2-2 に示す．

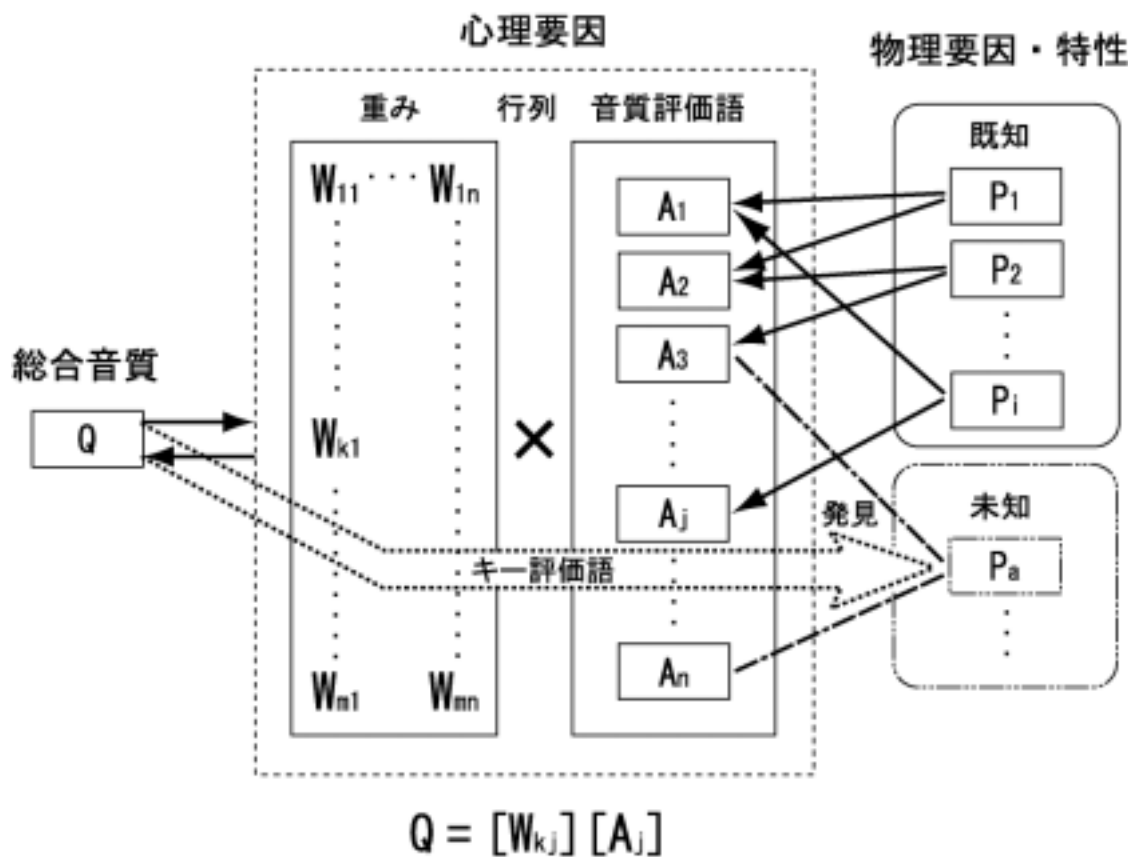


図 2-1 帰納的研究方法

2.4 高度感性情報の評価に重要な評価語

高度感性情報を再生するには、生体信号を用いて定量的に測定しようという試みもされている[13]が、現在のところ高度感性情報が再生されているかどうかは主観評価を用いて判断するしかない。しかし、従来の評価語は必ずしも高度感性情報再生を表していない。そこで、高度感性情報の再生を評価する評価語に関する多くの研究が行われてきた。その結果、高度感性情報の再生と関係の強い代表評価語（35語）が明らかにされ、また、総合音質と関係が強く、かつ物理要因とも関係の強い、高度感性情報を再生するオーディオ・システムの開発中にキー評価語が発見されている。

（１）代表評価語

人間が音楽を聴いた時に生じる感動・感情を表現する言葉を、3年間にわたるオーディオ雑誌から選出し、延べ1322語からKJ法によりグループ化した評価語である。また、衆目評価法やデマテル法により、図2-3に示すような、高度感性情報を表す評価語の階層構造が明らかになった[14]。この図で、上部階層の評価語は、下部階層のものより高度感性情報において重要である。

（２）キー評価語

オーディオ・システムを開発する中で、ある物理要因・特性を変化させた時に、演奏の“凄み”や“空気感”などの具体的表現があれば、それを手がかりとして評価実験の結果を整理し、未知の物理要因・特性の発見を助けることができる。

そこで、総合評価及び、物理要因・特性と強い関係がる評価語をキー評価語と定義している。次に宮原、石川らが明らかにしたキー評価語[15]の例を示す。

これらのキー評価語群の中で、本研究では、特に“力強さ”、“空気感”、“透明感”に注目して研究を行った。

凄み（凄さ）、空気感、胸に染み込む、重心の低さ、緊張感、のり、響き、抜け、力強さ、温かさ、音の締まり、透明感、奥行き感



図 2-3 評価語の階層構造

2.5 これまでに明らかになった物理要因・特性

これまでに、2.3 節で述べたような帰納的研究方法により、様々な高度感性情報再生に重要な物理要因・特性が明らかになりつつある[9][16][17]。以下にこれまでに発見された代表的な物理要因を挙げる。

- 時間の伸び縮み歪みの抑制
- 超低周波の音の再生
- 点支持による振動の防止
- スピーカーボックスの Q を高めること
- コモン・モード・ノイズの抑制
- 非磁性部品を用いた非直線歪みの排除
- 回路と電源の動的インピーダンス整合

これらの研究結果により我々は、高度感性情報を再生するためには、次に示すような 2 つ条件を満足するオーディオ・システムを開発する必要があるという仮説を提唱するに至った[18]。

仮説 1 (信号の時間軸精度の重要性)

人間は、ある時刻の音とそれよりも過去に発せられた音との時間的関わり合いを知覚している。即ち、信号の振幅方向と時間方向の結合でもたらされる音情報を知覚している。時間方向の歪み知覚の鋭さは振幅方向の歪み知覚に匹敵し、「標本化の時間位置精度は信号の量子化精度と同格に重要である」。そして、「nsec. 以上の時間伸び縮み歪みが生じているデジタル・オーディオは音質上問題が生じている」。CD システム (標本化周波数=44.1kHz, 量子化レベル=16bit) を例に挙げると、量子化レベルの 1LSB は 1 ナイキスト間隔の $\frac{1}{2^n}$ と仮定すると、16[bit/sample] は 0.35[nsec] に相当する。

仮説 2 (エネルギー放出の重要性)

更に、「深刻さ」、「凄み」、「胸に染み込む」などの高度な感性に訴える音の再生のためには、デジタル再生でもアナログ再生でも同様であるが、psec.精度に時間歪みを抑えて明確な音像を再生し、且つその音像にパワーを集中させ、その音像から音響パワーをよどみなく吐き出せるような音の再生が必要である。」

この実現には、オーディオ・システムやその素子の時間方向の時間揺れを超高精度 (psec.) に抑え込むことや、電源、回路、信号系の再検討、そして音響空間へ音を反射なく放出する条件 (無反射伝達) が必要である。

これら 2 つの仮説から、現在のところ高度感性情報再生のためには、精密な時間精度と瞬時エネルギー放出を満足する、波面がそろった音を再生することが重要であるという仮説が立てられている。波面がそろった音とは、高度感性情報を表す評価語では「品格」が再現された場合である。本研究では、「品格」を表す評価語として、「空気感」と「力強さ」という評価語を用い、この両方を満足した場合に「品格」が再生されるとしている。

また、これまでの実験・研究結果により、図 2-4 に示すような高度感性情報再生に重要な物理要因・特性と高度感性情報再生との関係を推測するに至っている。上記の仮説を証明するには、このような多くの高度感性情報再生に重要な物理要因と音質との関係を心理物理学的に明らかにし、この仮説を検証する必要がある。したがって、本研究では、バランス伝送回路とCD盤について、高度感性情報再生に重要な物理要因・特性を発見し、音質との関係を心理物理学的に求めた後、その結果を基に、仮説を検証する。

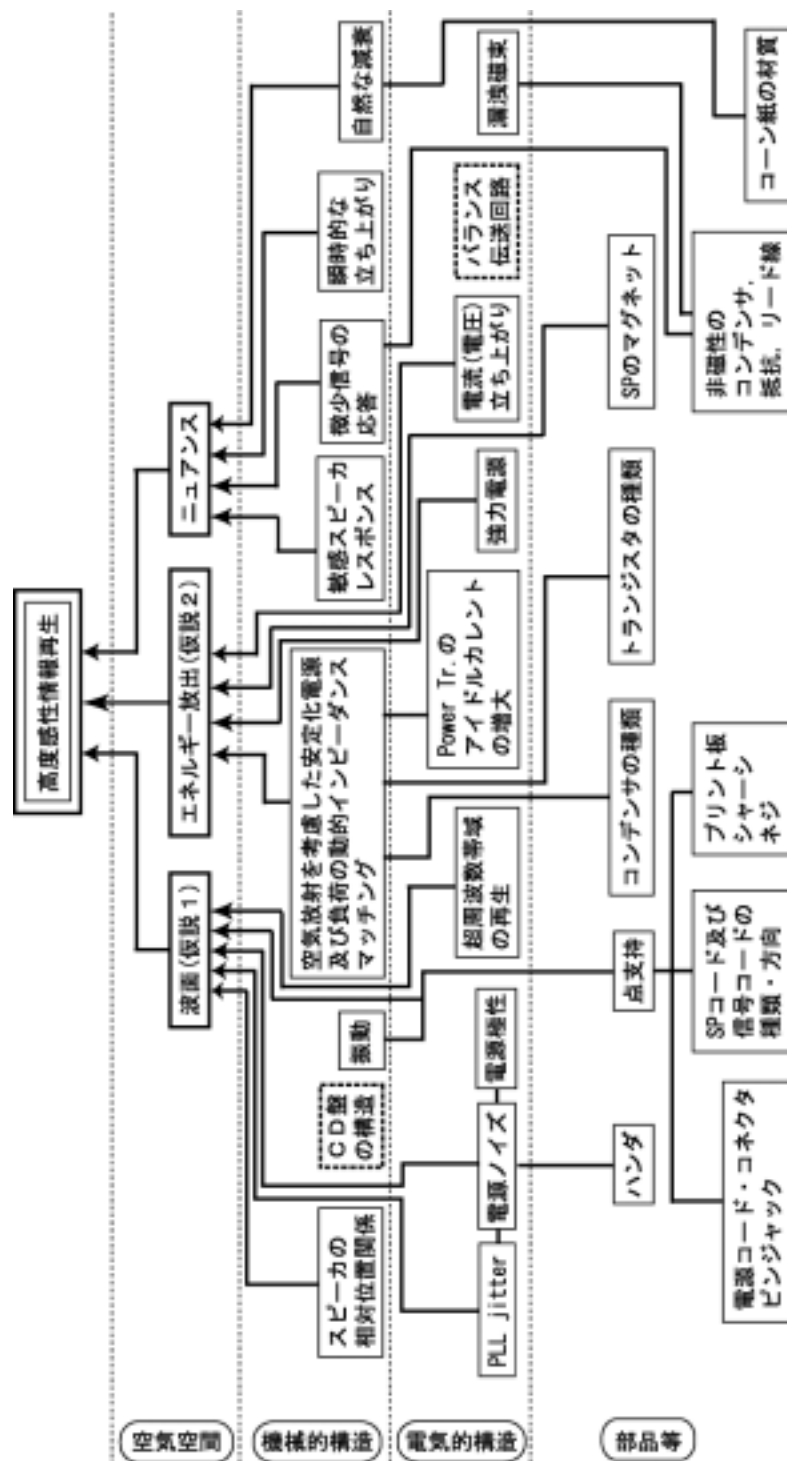


図 2-4 高度感性情報再生と物理要因・特性の関係

第 3 章

高度感性情報再生とバランス伝送回路

3.1 はしがき

我々は、音源に含まれると考えられる人に感動を呼び起こす情報を、高度感性情報と定義している。そして、高度感性情報を再生するために重要な物理要因・特性を明らかにし、実際に高度感性情報を再生し得るオーディオ・システムを開発する、という目的で研究を行ってきたことはすでに述べた。

これまでの高度感性情報再生に関する研究により、高度感性情報再生のためには、[仮説 1]振動の精密な時間精度による音像定位と[仮説 2]瞬時エネルギー放出によるエネルギー集中を満足することが重要であるという仮説（第 2 章 2.5 節参照）が立てられている。本研究では、仮説 1 と仮説 2 の両方を満足した音を、“品格”という評価語で表す。“品格”は、高度感性情報を表すキー評価語である、“空気感”と“力強さ”を、共に満足した評価語である。高度感性情報再生に関するこれまでの研究で、実際に高度感性情報のある程度再生することができるオーディオ・システムの開発に成功している。

しかし、これまでに開発したオーディオ・システムでも、“品格”の再生については、不十分である。したがって、オーディオ・システムで、“品格”を再生することを目的として、研究を行った。

本研究において、オーディオ・システムで“ 品格 ”(“ 空気感 ” + “ 力強さ ”) を再生することを目的として、様々なアンプの音質差を主観により調査したところ、バランス伝送回路では独特の“ 空気感 ” のある音が再生されることを発見した。アンプにはアンバランス伝送回路とバランス伝送回路の2種類の伝送回路があるが、これまでの研究成果から使用していたアンプは、アンバランス伝送回路によるものであった。このことから、“ 品格 ” 再生を目的としたアンプの伝送回路には、バランス伝送回路が向いているのではないかと推測するに至った。しかし予備実験により、バランス伝送回路では、アンバランス伝送回路に比べて“ 力強さ ” が不足していることが分かった。以上のことから、本研究では、高度感性情報再生のために望ましい伝送回路を求めることを目的として、バランス伝送回路とアンバランス伝送回路の特徴を心理物理学的に明らかにするための研究を行った。

3.2 バランス伝送回路とアンバランス伝送回路

3.2.1 各伝送回路の構成と特徴

一般的にバランス回路は、電子回路素子で構成されている(電子バランス回路)が、バランス伝送回路の特徴をわかりやすく述べるため、図 3-1、図 3-2 に示すようなトランスによるアンバランス伝送回路とバランス伝送回路を用いて説明する[19]。

伝送回路は信号を伝送する時、往路(hot)と復路(cold)の二つのラインが必要である。図 3-1 に示すようにアンバランス伝送回路は伝送において、cold がアースと共通している。それに対し、図 3-2 に示すバランス伝送回路は hot, cold とともに専用のラインを使い、アースから独立させて信号を伝送している。したがって、バランス伝送回路は外来雑音(ノイズ)を打ち消すことができるという特徴がある。たとえば、図 3-2 に示すようにバランス信号源の hot と cold にそれぞれ v_1 と $v_2 (= -v_1)$ が加わり、アースとトランスの midpoint の間にノイズ v_c が加わったとする。このとき T_1 には hot 側の $v_1 + v_c$ 、 T_2 には cold 側の $v_2 + v_c$ が加わる。このとき、トランスの T_1 と T_2 の巻き数比が完全に等しく、バランス信号も完全にバラ

ンスがとれているとすれば $v_2 = -v_1$ となり，出力 $v_o = v_1 v_2 = 2v_1$ となる．こうして，バランス伝送回路は外来ノイズを打ち消すことができる．このバランス伝送回路の性能を $CMRR$ (Common Mode Rejection Ratio) で表す．

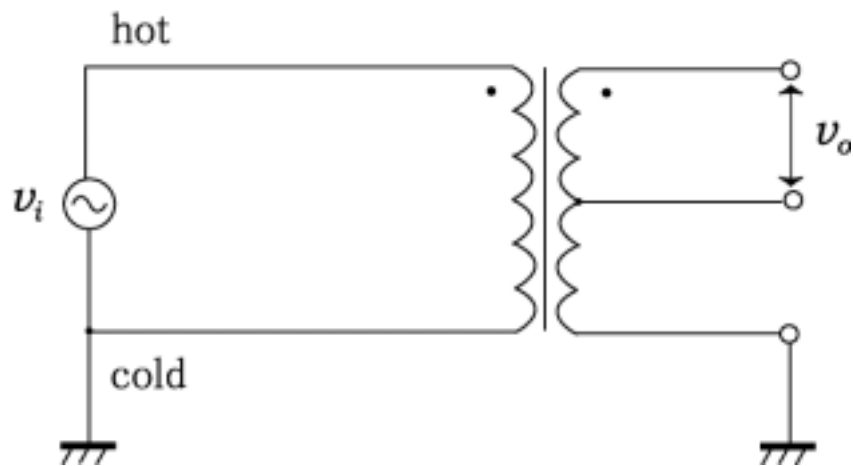


図 3-1 アンバランス伝送回路

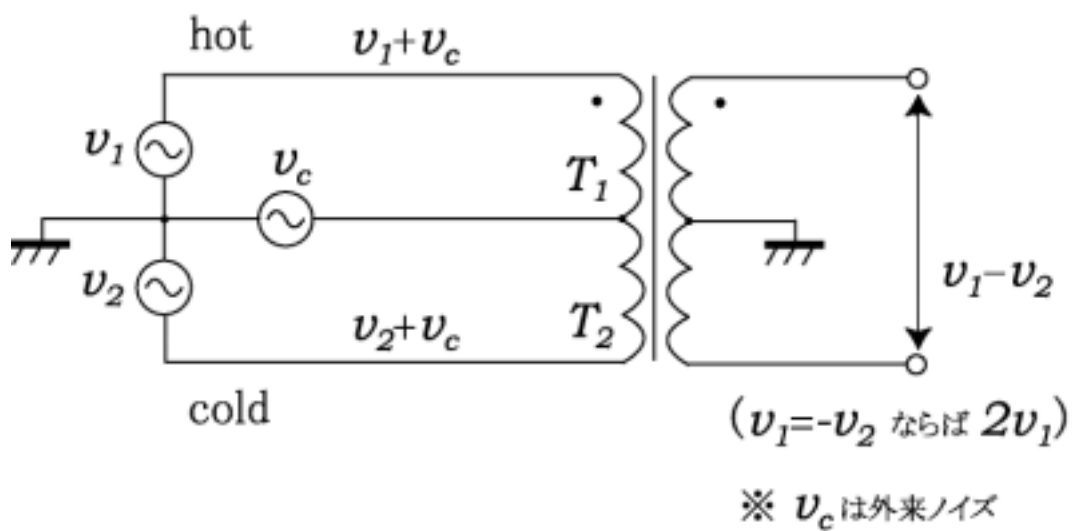


図 3-2 バランス伝送回路

3.2.2 各伝送回路の音質

まず、アンバランス伝送回路とバランス伝送回路における、音質上の特徴を明らかにするために、お互いの伝送回路における音質の比較評価実験を行った。このとき、アンバランスとバランスで変化するパラメータをできるだけ少なくするため、1台のステレオ・アンプで比較評価実験を行う。

1台のステレオ・アンプ（アンバランス回路構成）の Lch. と Rch. を図 3-3 に示すように BTL(Balanced Transformer Less)接続し、モノラルのバランス伝送回路を構成する。そして、1台のステレオ・アンプにおいて、片チャンネルを用いた場合（アンバランス伝送回路）と、BTL 接続した場合（バランス伝送回路）で、主観評価実験により音質の比較評価実験を行う。

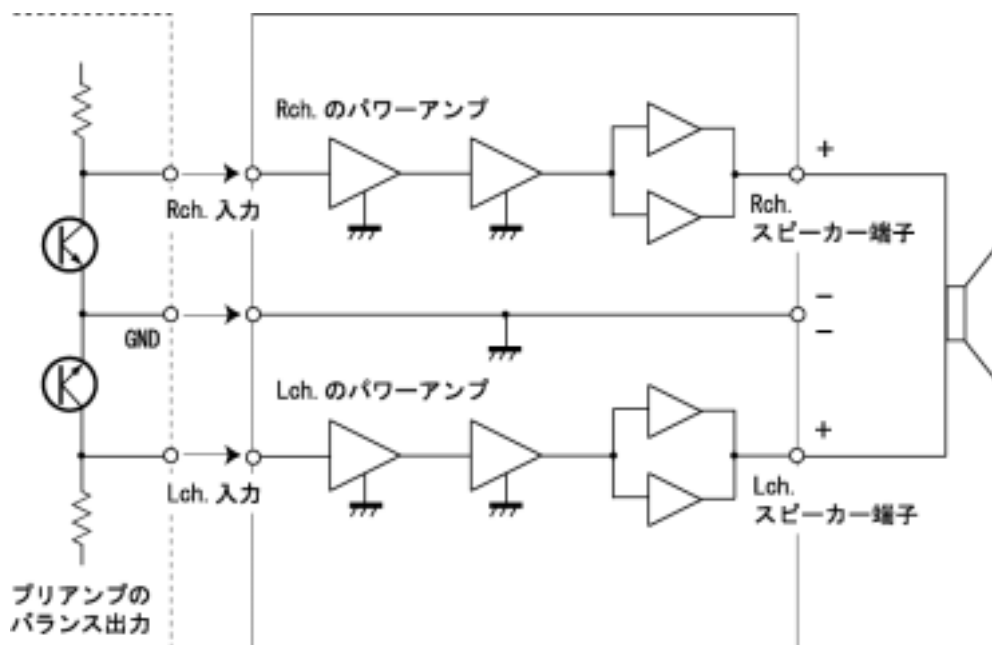


図 3-3 BTL 接続

評価用音源

今回の実験に用いた評価用音源（ＣＤ盤）を表 3-1 に示す．選択した 3 種類の音源は“ 高度感性情報 ”を含む音源として複数枚の音源から選び出したものである．また，評価試験に用いた評価語は“ 高度感性情報 ”を表す評価語の中から，これらの音源と最も関係の深いと考えられる評価語を用いた．

表 3-1 評価用音源

音源 No.	(1) タイトル (2) 曲名 (3) 演奏者 (4) 製造番号 (5) 内容
音源 1	(1) ベートーベン ピアノ協奏曲 第 5 番 変ホ長調 「皇帝」 (2) 2 楽章：アダージョ・ウン・ポコ・モッソ (Track No.2) (3) グラディミール・アシュケナージ (ピアノ) (4) F35L-50001 LONDON (PolyGram), Made in W.Germany (5) ピアノ，コントラバス，オーケストラ (ウィーン・フィルハーモニー)
音源 2	(1) バッハ 無伴奏ヴァイオリン・ソナタとパルティータ[全曲] (2) パルティータ第 2 番二短調 シャコンヌ (CD2 Track No.9) (3) ヨーゼフ・シゲティ (ヴァイオリン) (4) K28Y 222 MONO (KING RECORDS), Made in Japan (5) ヴァイオリンソロ
音源 3	(1) HARMONIES DU SOIR・WERNER THOMAS VIRTUOSE CELLOROMANTIK (2) JACQUES OFFENBACH “ Les larmes du Jacqueline ” (Track No.1) (3) ウェルナー・トーマス (チェロ) (4) C 131 851 A (ORFEO), Made in Switzerland (5) チェロ，オーケストラ (ミュンヘン室内管弦楽団)

実験環境

評価実験は北陸先端大，情報科学研究科の A-V 評価室（H：3.4m，W：5.3m，D：8.0m，温度：24 一定，湿度：47%一定，残響時間：約 0.5s）で行った．また，被験者は，高度感性情報を含む音質評価能力のある者で，評価語の意味を理解でき，且つ，ばらつきの少ない評価をする者（成人 5 名）に絞った．なお，このときの実験装置を図 3-4 に示す．

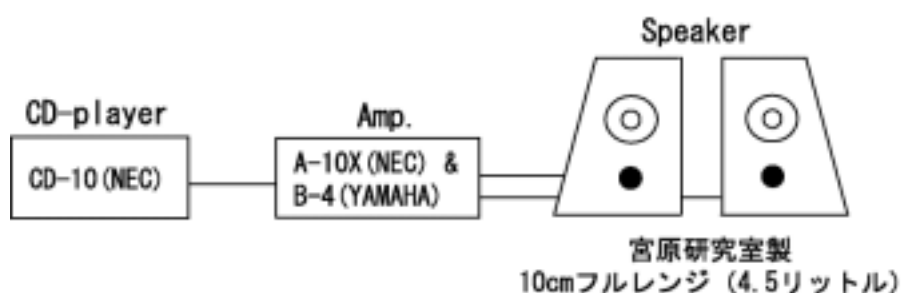


図 3-4 実験装置

比較評価実験の結果，バランス伝送回路とアンバランス伝送回路では，それぞれ一方が良いものは，他方が悪いという特徴があることが分かった．この比較評価結果を表 3-2 に示す．

表 3-2 音質の比較評価の結果

評価語	アンバランス伝送回路	バランス伝送回路
“ 空気感 ”	基準	+1.5
“ 透明感 ”	基準	+2.0
“ 気品 ”	基準	+1.0
“ 力強さ ”	基準	-1.5
“ 凄み ”	基準	-1.0

表 3-2 の結果から，高度感性情報再生のうち，“空気感”や“透明感”という点ではバランス伝送回路の方が良いが，“力強さ”，“凄み”に注目すると，アンバランス伝送回路の方が良いということが言える．

“空気感”の再生は高度感性情報再生のための仮説 1（精密な時間精度の実現による音像の定位）に，“力強さ”の再生は仮説 2（瞬時エネルギーの放出によるエネルギー集中）を表している．そのことから，バランス伝送回路は，宮原の仮説 1（精密な時間精度による音像の定位）の再生に優れている．また，アンバランス伝送回路では，仮説 2（瞬時エネルギーの放出）に関係があるのではないかと推測した．

以降では，このバランス伝送回路の利点及び欠点について，心理・物理学的に検証する．また，バランスの欠点を補足する方法について検討する．

3.3 バランス伝送回路の心理物理学上の利点

バランス伝送回路では，音質上“空気感”，“透明感”が良くなった．本章では，なぜこのように音が良くなったのかを心理・物理学的に検証する．

前章で述べたようにようにバランス伝送回路では，コモン・モード・ノイズ除去率（CMRR）が良いという特徴がある．このコモン・モード・ノイズを除去する効果が，バランスの音質上の特徴に関係しているのではないかと推測した．そして，この推測よりノイズと音質との関係を明らかにするための実験・検討を行った．

3.3.1 コモン・モード・ノイズと音質の関係

コモン・モード・ノイズは，アースを巡るノイズである．今回，オーディオ・システムに次に示すようなコモン・モード・ノイズ対策[21]を施した場合に，どのように音質上の特徴あるかを評価した．

- (1) ノイズフィルタ
- (2) ノイズカットトランス
- (3) 電線を燃えること

その結果，これらのコモン・モード・ノイズ対策を行うと，音質上では，“空気感”や“透明感”が良くなるということが確認された．

3.3.2 まとめ

上記の実験結果から，バランス伝送回路の音質及び物理・特性上の長所として，“空気感”や“透明感”が良いのはバランス伝送回路のコモン・モード・ノイズを除去するという特徴と強い関係がある”という考察を行った．

3.4 バランス伝送回路の心理物理学上の欠点

これまでの実験結果から，バランスアンプではノイズを抑制することによって，“空気感”，“透明感”が良くなるということが明らかになった．しかし，逆にアンバランスよりも“力強さ”等が減じて聴こえるという実験結果が得られた．“空気感”，“透明感”等が良くなったために心理的に“力強さが”減じて聴こえるのか，或いはより物理的理由；即ちバランスとアンバランスではスピーカーの駆動能力が異なるのではないかと推測した．

3.4.1 ダンピング・ファクターの測定

現在のスピーカーは「定電圧駆動」で使われることを前提として設計されている。定電圧性とは、負荷インピーダンスにかかわらず一定電圧を供給できるということであるので、負荷側からアンプを見たインピーダンスがゼロ（に近い）ということである。よって、出力インピーダンスが小さいほど「スピーカーの逆起電力を吸収し、電磁制動をかける能力が大きい」ことを表し、スピーカーのインピーダンスをアンプの出力インピーダンスで割ったものを「ダンピング・ファクター（DF）」と称し、制動能力を表している。そこで、アンバランス及びバランス伝送回路においてのスピーカー駆動能力を確認するため、ダンピング・ファクターを測定した。ダンピング・ファクターの測定には、図 3-5 に示すオン/オフ法を用いた[20]。

測定結果を図 3-6 に示す。この結果から、バランス伝送回路とアンバランス伝送回路で、ダンピング・ファクターはほとんど同じであることが分かった。

Z_{SP} : スピーカーのインピーダンス

Z_{OUT} : アンプの出力インピーダンス

$$Z_{OUT} = 2R_L \frac{E_{OFF} - E_{ON}}{2E_{ON} - E_{OFF}}$$

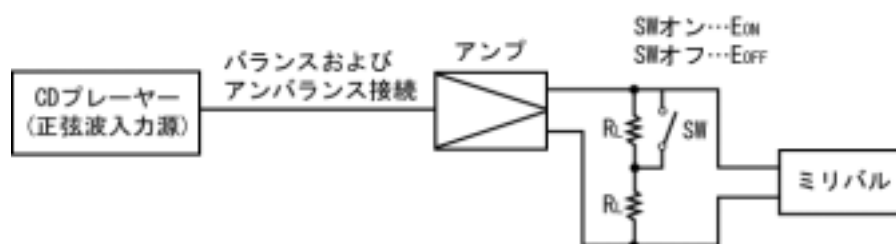


図 3-5 オン/オフ法

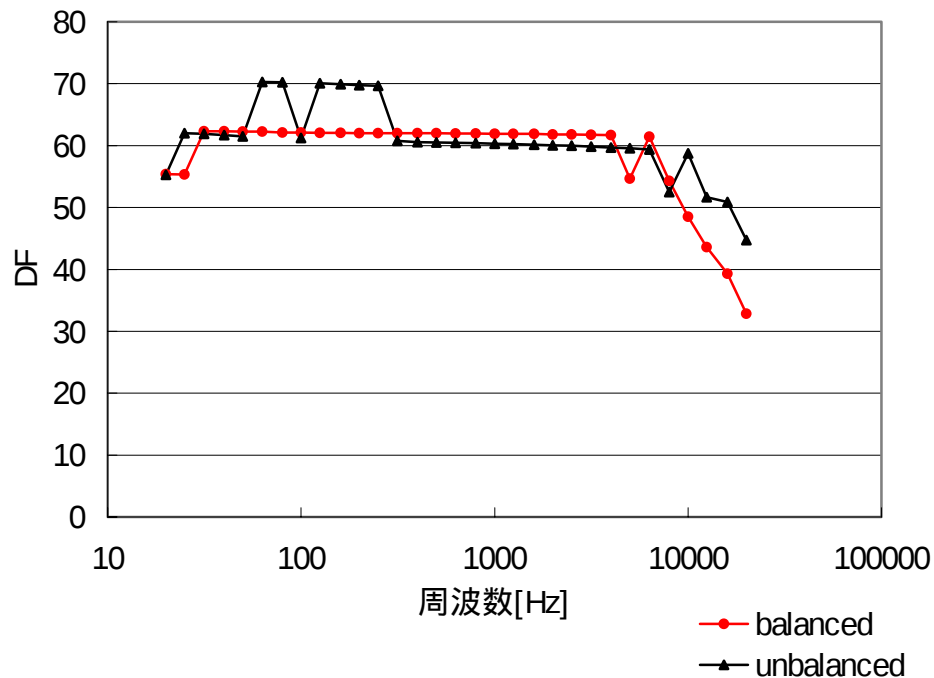


図 3-6 ダンピング・ファクターの測定結果

3.4.2 電圧（電流）の立ち上がり波形の測定

20 [μ s]のレンジで電圧及び電流の立ち上がり波形を測定してみたところ , バランスとアンバランスで差異は得られなかった .

3.4.3 まとめ

アンバランス伝送回路とバランス伝送回路のダンピング・ファクターを測定した結果 , ダンピング・ファクターはほとんど同じであることが明らかになった . このことから , バランス伝送回路において “ 力強さ ” 再生が不足原因は , ダンピング・ファクター以外にあると考えた .

3.5 “力強さ”に関係の強い物理要因・特性

前節では、バランス伝送回路の音質上の欠点について、心理物理学的に明らかにした。本研究では、“品格”(“空気感” + “力強さ”)を再生するアンプとして、バランス伝送回路に注目している。したがって、本節では、“力強さ”再生に強い関係のある物理要因・特性を明らかにし、バランス伝送回路で“力強さ”を再生することを目的にいくつかの実験・検討を行った。

3.5.1 スピーカー駆動能力の新しい考え方

従来の音響理論において、スピーカー駆動能力は、出力インピーダンスとスピーカーのインピーダンスの比であるダンピング・ファクターで表されるとされてきた。しかし、前節でアンバランス伝送回路とバランス伝送回路のダンピング・ファクターを測定した結果、ダンピング・ファクターはほとんど同じであることが明らかになった。

このことから、バランス伝送回路において“力強さ”再生が不足原因は、ダンピング・ファクター以外にあると考えた。そして、オーディオ・システムに存在する浮遊容量 (stray capacitance) に注目した。実際のオーディオ・システムには、図 3-7 に示すような浮遊容量がある。そのため、必要最低限のパワーアンプに供給しただけでは、スピーカーを駆動するのには不十分ではないかと推測した。

例えば、1000pF の浮遊容量が存在したとすると、1ns 内に 1V の電圧を供給する場合、

$$\begin{aligned}Q &= CV \\&= 1000 \times 10^{-12} \times 1 \\&= i t \\10^{-9} &= i \times 10^{-9} \\i &= 1[A]\end{aligned}$$

このようになり、1A という大きい電流を供給する必要がある。このため、スピーカーを駆動するのは電流であるため、電流供給能力の足らない状態では、“力強さ”の再生が不足すると考えられる。

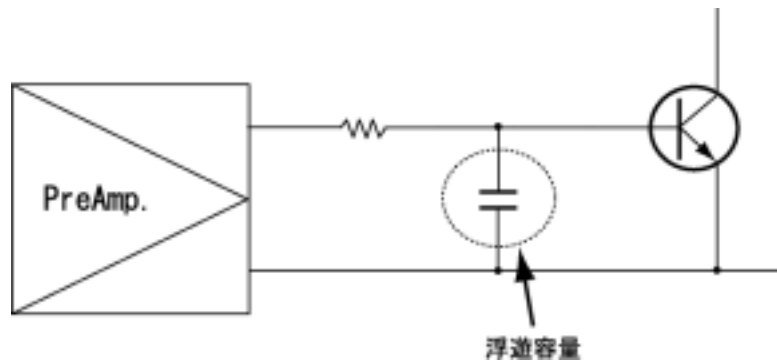


図 3-7 オーディオ・システムの浮遊容量

浮遊容量は，当然バランス伝送回路にも当然存在すると考えられる．しかも，バランス伝送回路では，アンバランス伝送回路に比べて 2 倍の素子数が存在するため，浮遊容量も 2 倍になると考えられる（図 3-8 参照）．このことから，バランス伝送回路では，アンバランス伝送回路よりも大きい電流を供給する必要があるのではないかと考察した．即ち，バランス伝送回路において“力強さ”再生が不足する原因は，電流供給の不足によるスピーカ駆動能力の不足にあるのではないかと考察した．

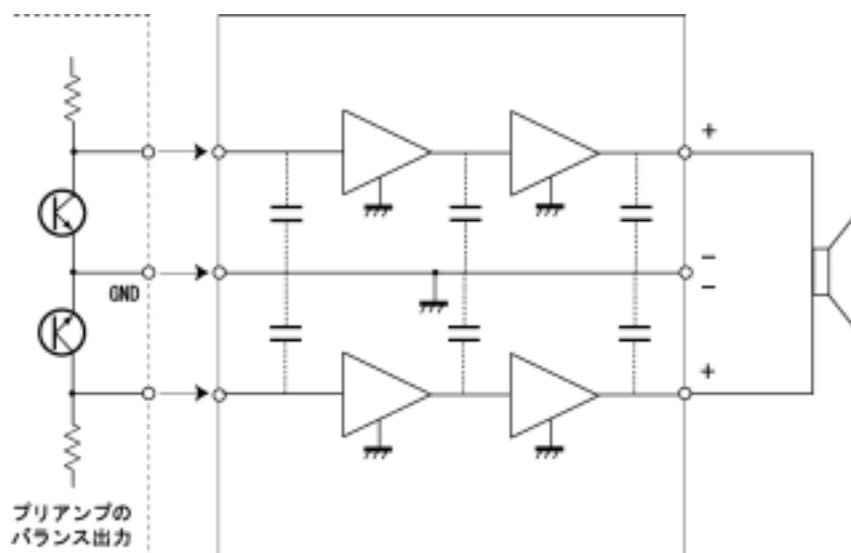


図 3-8 バランス伝送回路の浮遊容量

3.5.2 トランスが “ 力強さ ” に及ぼす影響

入力系に注目すると、バランス伝送回路において、正相と逆相の入力信号を作り出す方法としては、トランスを用いたものと電子素子を用いたもの（電子バランス回路）がある。この中で、トランスを用いたものに注目した。そこで、トランスには多くの浮遊容量が存在し、その上受動素子であるため、パワーの増加がないことから、“ 力強さ ” が悪くなるのではないかと推測し、以下の実験を行った。

実験と考察

図 3-7 に示すようなバランス・アンバランス変換回路（LUNDAHL）[22]を用いて、トランスを用いたバランスと電子バランスの音質の比較評価を行った結果、トランスを用いると “ 力強さ ” が悪くなることが確認された。

実際に、LHH1000（PHILIPS）の CD-トランスポートのバランス出力部は純正では、トランスを用いてバランス伝送回路を構成している（正相と逆相の信号を作り出している）が、これを Marantz 製の電子バランス出力回路 WG232J101 に交換したところ、“ 力強さ ” が良くなった。

この一例ではあるが、トランスを用いたバランス伝送回路は、電子バランス回路よりも “ 力強さ ” が悪いようである。このことから、トランス及び電子バランス回路について次のような考察を行った。

（１）トランス

アンバランス・バランスの変換ができ、電圧比の変換ができるが、受動素子のためパワーの増加はない。また、コイルで構成されているため、浮遊容量が多い。

（２）電子バランス回路

出力は入力信号のパワーを増大し、負荷となるメインアンプの入力回路等の損失要因で失われるパワーを供給して、なおあまりあるメインアンプの入力信号と成り得る。このことが、結局はスピーカーの入力信号の高忠実な再生につながると考えられる。

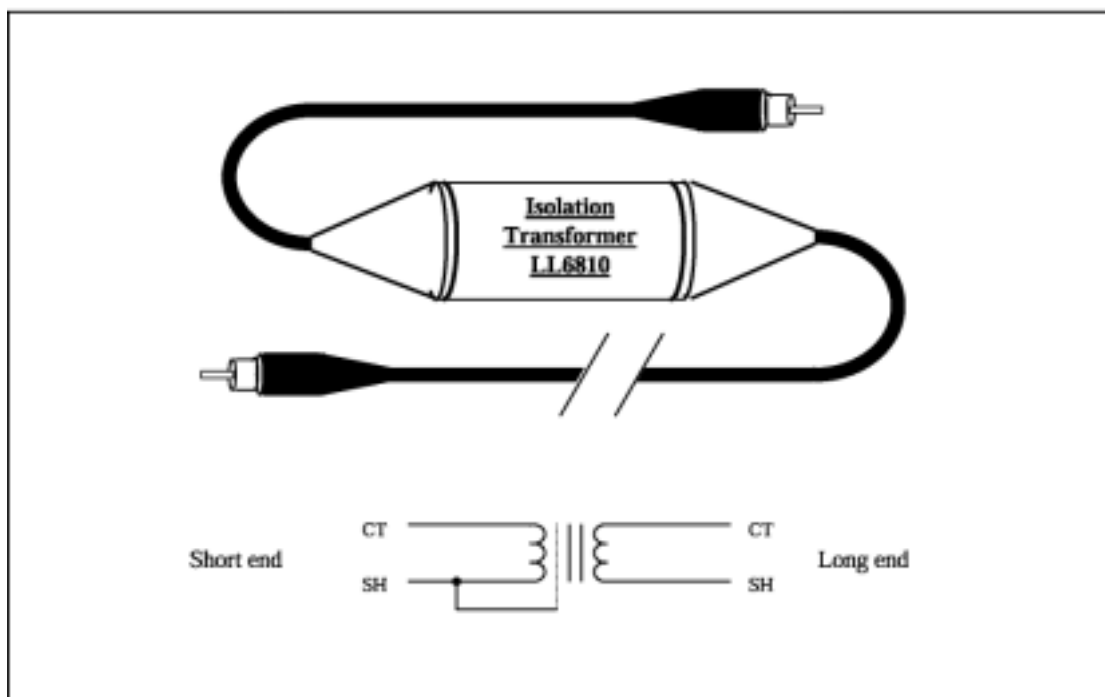


図 3-7 アンバランス・バランス変換トランス

3.5.3 トランジスタの直列接続が “ 力強さ ” に及ぼす影響

電子バランスにおいても，“ 力強さ ” の良いものと悪いものがある．良いものに関しては，バランス出力回路のトランジスタが並列接続されていることに注目した．これは，インピーダンスが半分になっていると推測したからである．

実験と考察

調査した結果，バランス伝送回路（電子バランス回路）において，“ 力強さ ” の再生が特に良いものを観察した結果，ある共通の特徴があることが分かった．例えば，AU-07（SANSUI）及び W232J101（Marantz）はトランジスタが並列接続されている．これが，“ 力強さ ” を再生することができる理由ではないかと考えられる．更には，動作電流を多くとったアンプは，“ 力強さ ” があるという事も，上記考察の正しさを示している．

3.5.4 まとめ

バランス伝送回路において“力強さ”が不足する原因について検証を行った。これにより，“力強さ”再生には，十分な電流供給によるスピーカー駆動能力が必要であることが明らかった。具体的には，トランスを用いたバランス伝送回路では，トランスが受動素子であることや，トランス内の浮遊容量などの損失により，入力駆動パワーがくわれてしまい，“力強さ”が再生されないことが明らかった。更に，電子バランス回路において，出力段のトランジスタを並列接続することにより，バランス伝送回路において“力強さ”再生が可能になることも明らかにした。

3.6 バランス伝送回路の欠点を改善したアンプの評価

これまでの研究結果を基に，電子バランス回路でスピーカー駆動能力も考慮したバランス伝送回路図を実現した。そして，高度感性情報の再生を評価した。その結果，“空気感”と“力強さ”の両方を再生し，“品格”を再生し得ることが確認出来た。また，総合音質も良くなった。図 3-9 に実験装置を示す。



図 3-9 実験装置

3.7 研究結果による仮説の検証

第 2 章 2.4 節で既に述べたが，これまでの高度感性情報再生を目的とした研究によって，高度感性情報再生のためには，[仮説 1]振動の精密な時間精度による音像定位と[仮説 2]瞬時エネルギー放出によるエネルギー集中を満足することが重要であるという仮説（第 2 章 2.5 節参照）が立てられている．本研究では，仮説 1 と仮説 2 の両方を満足した音を，“品格”という評価語で表す．“品格”は，高度感性情報を表すキー評価語である，“空気感”と“力強さ”を，共に満足した評価語である．

本研究では，“品格”再生を目的としてバランス伝送回路に注目し，バランス伝送回路はアンバランス伝送回路との音質の比較評価実験により，バランス伝送回路の特徴を心理物理学的に明らかにした．その結果，“空気感”，“透明感”再生は良いが“力強さ”再生が悪いという評価結果結果が得られた．そして，バランス伝送回路において，“空気感”，“透明感”と“力強さ”というそれぞれの音質の再生に関係の強い物理要因を明らかにした．

その結果，バランス伝送回路において，“空気感”と“力強さ”の両方を再生し，“品格”までも再生し得るバランス伝送回路が実現できることを明らかにした．そして，“品格”までも再生し得るバランス伝送回路では，高度感性情報の総合評価も良くなった．この結果により，本研究で得られた結果も仮説どおりである．したがって，本研究結果は仮説を実証する一例であると考えられる．

3.8 まとめ

本研究では、高度感性情報再生のために望ましい伝送回路を求めることを目的として、バランス伝送回路とアンバランス伝送回路の特徴を明らかにするための研究を行った。

はじめに、音質上の特徴を明らかにするために、アンバランス伝送回路とバランス伝送回路の音質の比較評価実験を行った。その結果、バランス伝送回路では“透明感”が優れるが、“力強さ”が不足するという実験結果が得られた。そして、この実験結果を基に、バランス伝送回路の得失について、高度感性情報再生という観点から心理物理学的に検証した。その結果、バランス伝送回路のコモン・モード・ノイズを抑制するという特長が“透明感”の良さと関係しているのではないかという考察に至り、コモン・モード・ノイズと音質の関係について検証した。この検証より、コモン・モード・ノイズを抑制することによって、“空気感”、“透明感”の再生を良くすることができるということが明らかになった。

次に、バランス伝送回路において“力強さ”が不足する原因について検証を行った。これにより、“力強さ”再生には、十分な電流供給によるスピーカー駆動能力が必要であることが明らかになった。具体的には、トランスを用いたバランス伝送回路では、トランスが受動素子であることや、トランスに生じる浮遊容量の問題などにより、“力強さ”が再生されないことが明らかになった。更に、電子バランス回路において、出力段のトランジスタを並列接続することにより、バランス伝送回路において“力強さ”再生が可能になることも明らかにした。

これらの実験結果を全て考慮したバランス伝送回路を実現した結果、“空気感”と“力強さ”の両方を再生し、“品格”を再生し得るバランス伝送回路を実現することが出来た。

第 4 章

高度感性情報再生と C D 盤

4.1 はしがき

これまで，高度感性情報再生に関する研究は，オーディオ装置の評価用音源に含まれる情報を原音であると考え，それを歪みなく高忠実に伝送し，再生することを目的に進められてきた．その中で，オーディオ装置の評価用音源（C D 盤）の選定は，次に示すような主観的な考え方の基で行われてきた．

- （１）なるべく録音状態が推測しやすいもの
- （２）演奏者の感情が込められているもの
- （３）聴取者に感動を呼び起こすもの

この評価用音源について，第 3 章における“高度感性情報再生とバランス伝送回路”に関する研究を進める中で，C D 盤による音質は製造国や製造会社が異なると，高度感性情報の再生が（特に“力強さ”再生において）大きく異なることを経験した．このことから，評価用音源である C D 盤を製造工程から見直し，研究を行った．

近年，コンパクト・ディスク（C D）は最も一般的な音楽の記録媒体となっている．C D はデジタルメディアであるため，理論的にはディスクの製造条件などによって，記録されているデータが変化するという事は起こり得ない．このような特長から，C D は一般に普及してきた．しかし，1982 年に初めて発売されて以来，同じ録音でもディスクの材質等の製造条件によって音質が異なるということが問題にされてきた [24]．それでは，なぜ C D 盤は製造条件に依存して音質が変わる，という現象が生じるのであろうか？

本研究のきっかけとなったのは，オーディオ装置の評価用音源である C D 盤に関す

る，次のような経験である．高度感性情報再生の良い初盤があり，それを製造したスタンパーから，新たに 1000 枚を製造した．当初は，新たに製造した C D に盤ついて，高度感性情報再生が良いはずであると考えていた．しかし，新たに製造した C D 盤は，全く高度感性情報が再生されないことを経験した．

そこで，本報告では高度感性情報再生という観点から，C D 盤に着目した．そして，ディスクの製造条件と高度感性情報再生との関係を明らかにすることを目的とし，いくつかの実験・考察を行った．

4.2 C D の歴史

1977 年秋，ソニーをはじめとする三つのグループが相次いでビデオ・ディスクを応用したデジタル・オーディオ・ディスクを開発したと発表した．いずれもビデオ・ディスクをそのまま用いたため，直径 30cm の円盤とビデオ・ディスク・プレーヤーを用いていた．二つのグループ（三菱-ティアック及び日立-日本）がいずれもビデオ・フォーマットをそのまま用いて 30 分の演奏時間だったのに対して，ソニーは現在のデジタル・オーディオ・ディスクの原形ともいえる，直接記録方式と誤り訂正符号を用いて 60 分の演奏時間を達成した．

翌年（1978 年）3 月，光学式ビデオ・ディスクの総本山であるフィリップス社は直径 11.5cm の円盤で 1 時間の演奏時間を有するコンパクト・ディスクの商品コンセプトを発表した．これはビデオ・ディスクと同じ記録波長を用いればこの程度まで行くという理想的な背景はあったものの，むしろ技術的な側面よりも，自動車のダッシュボードに収まる大きさで実現し，用途を広げるといった商品としての新規性が大いに注目された．

これを一步現実に近づけたのがソニーであり，1978 年秋には高密度化が可能な変調方式（3PM）や強力な誤り訂正符号（クロス・インターリーブ符号）を備え，直径 30cm ながら 2 時間 30 分という長時間演奏が可能なディスク・システムを発表した．

かくしてソニーの信号処理技術とフィリップスの商品コンセプト，ならびにディスクやプレーヤーの技術が結び合わされ，コンパクト・ディスクの開発が行われた．

C Dの規格を表 4-1 に示す．C Dの演奏時間は片面 60 分である．また，片面ディスクが標準であり，両面にするにはC Dの演奏時間は約 60 分となっているが，規格ギリギリを使えば 75 分まで可能である[23]．

C Dの材質には，ポリカーボネイトの開発が間に合ったため，こうなった．

音質のため，反射膜の材質であるアルミニウム膜厚の代わりとして，より反射率の高い金や銀が用いられたものもある．また，基盤の材質であるポリカーボネイトの代わりとして，より透明度の高い APO（アクリル樹脂）が用いられたことがあった[27][28]．

しかし，このような光学的特性が優れた材質を用いても，音質は改善されなかったのか，現在でも，ほとんどのC D盤の反射膜はアルミニウムで，基盤はポリカーボネイトである．

表 4-1 C D の規格

方式名称 略称	コンパクト・ディスク C D
提案会社	ソニー，フィリップス
オーディオ仕様・性能 (1) チャンネル数 (2) 周波数特性 [Hz] (3) ダイナミック・レンジ [dB] (4) ひずみ率 [%] (5) ワウ・フラッタ (6) 演奏時間 [分 / 片面]	2 20 ~ 20,000 > 90 < 0.05 水晶精度 60 ~ (75)
カッティング方式	光学式
ディスクの製造方式	コンプレッション・モールド インジェクション・モールド
再生方式	光学式
ディスク仕様 (1) 外形 [mm] (2) 穴径 [mm] (3) ディスク厚み [mm] (4) 信号面外径 [mm] (5) 信号面内径 [mm] (6) プログラムスタート (7) 回転方向 (読みとり側より見て) (8) 回転速度 [m/s] (9) ピット寸法 [μm] 深さ 長さ 幅	120 15 1.2 (片面) 116 (max) 50 内周 反時計周り 1.2 ~ 1.4 (CLV) 0.11 0.9 ~ 3.2 0.5

(10)トラック・ピッチ (11)トラッキング方法 (12)ディスクの構造素材 (13)ディスク処理 (14)収納ケース寸法 [mm]	1.6 溝なし 透明物質 反射膜 + 保護膜コート なし
記録密度 (1)ビット長 [μm] (2)線密度 [Kbpi]	0.59 43.0
信号フォーマット (1)標本化周波数 [kHz] (2)量子化 (3)チャンネル・ビット・レート [Mb/s] (4)データ・ビット・レート [Mb/s] (5)データ/チャンネル・ビット比 (6)変調方式 (7)誤り訂正方式 誤り冗長度 [%]	44.1 16 ビット直線 4.3218 2.0338 8 / 17 EFM CIRC 25.0

4.3 予備評価実験

4.3.1 目的

C Dの製造条件と高度感性情報再生との関係を明らかにするために第一段階として、実際に、製造条件の異なるC Dは高度感性情報再生が異なるのかを、主観評価実験によって確認する。

4.3.2 実験方法

(1) 実験事項

C D 盤は図 4-1 に示したような製造工程により，製造される．最初に，ディスクの材質等の製造条件と，高度感性情報再生との関係を確認するために，同じスタンパーから製造された製造条件の異なる C D 盤を用意し，各々の C D 盤について高度感性情報再生を比較評価した．

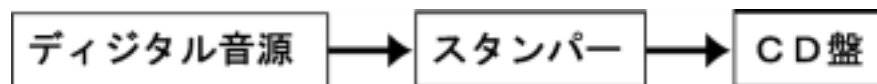


図 4-1 C D の製造工程

(2) 製造条件の異なる C D 盤

今回は同じアナログソース（薔薇によせて 山口美智子 メゾ・ソプラノリサイタル）から製造した，一つのスタンパーより製造した次のような C D 盤を用意した．

- ・ 初盤の C D 盤：1 枚・・・(A)
- ・ 新たに製造した C D 盤：10 枚・・・(B)

但し，これらの C D 盤は製造条件が異なっている；(A) の C D 盤は 1999 年に最初にプリントした C D 盤である；(B) の C D 盤は (A) と同じスタンパーから製造された C D 盤であるが，(A) をプリントした後，何回かに分けて合計約 800 枚プリントした後に，同一のスタンパーから更に 1000 枚プリントした C D 盤の中から無作ために選んだ 10 枚の C D 盤である．(スタンパーは C D 盤を製造する度に劣化することをスタートボ中島平太郎様から聞いた．)

(3) 評価者

従来の音質評価に比べ，高度感性情報再生の評価は，評価するために訓練が必要である．このため，本報告では高度感性情報再生を評価できる成人男性 3 名を評価者とした．

(4) 評価方法

(A)のCD盤の総合音質を規準として(B)のCD盤の総合音質を7段階評価(-3:非常に悪い, -2:悪い, -1:やや悪い, 0:同じ, 1:やや良い, 2:良い, 3:非常に良い)で比較評価する. 評価用音源には上記CD盤のトラックNO.4の“私は家をつくりたい”を用いた. なお, このときの総合音質は, 高度感性情報再生を表す評価語[15]を用いて評価した.

(5) 実験環境

北陸先端大のA-V評価室(H:3.4m, W:5.3m, D:8.0m, 温度:24一定, 湿度:47%一定, 残響時間:約0.5s)において実験を行った. CD盤を再生する音響再生装置は図4-2に示したものをを用いた.

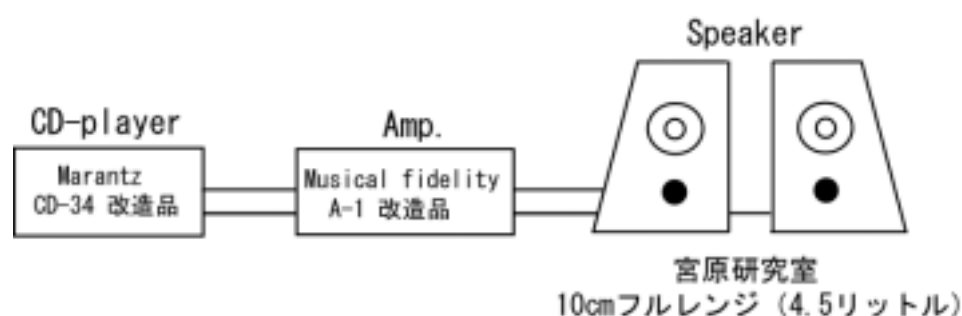


図 4-2 評価実験に用いた音響再生装置

4.3.3 結果と考察

比較評価実験の結果を表4-1に示す. 表1から,(B)のCD盤は(A)に比べて総合音質が-2(悪い)という結果が得られた. また(B)の10枚のCD盤については, 10枚とも似たような音質であることが確認された. 評価語では,(A)と(B)の間で, “力強さ”, “雰囲気”, “実在感”に最も変化が現れた.

以上より，製造条件の異なるＣＤ盤では明らかに高度感性情報再生が異なることが確認できた．

しかし，（Ｂ）の評価が悪いのは，スタンパーが劣化していることが問題なのか，ディスクの製造上の問題なのかは，この実験のみでは判断できないため，次章ではＣＤ盤の諸特性の測定を行った．

表 4-1 評価結果

ＣＤ盤の種類	力強さ	総合音質
（Ａ）	基準	基準
（Ｂ）	-1.5	-2.0

4.4 ＣＤ盤の諸特性の測定

予備実験より，製造条件の異なるＣＤ盤では高度感性情報再生がことなることが明らかになった．したがって，（Ａ）と（Ｂ）のＣＤ盤の間には何らかの特性の違いがあると考えられる．そこで，各々のＣＤ盤について，これまでディスクの品質を決めるとされてきた特性を測定し，どの特性に違いが生じているのかを調査する．

なお，前章でも記したが，これらのＣＤ盤は，同一のスタンパーから製造したものであるが，（Ａ）の製造後，（Ｂ）を製造するまでの間に約 800 枚のＣＤ盤を作っており，スタンパーの劣化を考慮しなければならない．

4.4.1 目的

前章で用いた，製造条件の異なる（Ａ），（Ｂ）のＣＤ盤についての特性（質量，誤り率，反射率）を測定する．そして，製造条件の異なるＣＤ盤のどの特性が，高度感性情報再生と関係があるのかを考察する．

4.4.2 質量の測定

ディスクの質量と高度感性情報再生は関係があるのではないかと予想し、質量の測定を行った。

(1) 測定方法

電子天秤 (METER TOLEDO , MAX :51[g] , MIN: 10[mg]) を用いて (A) , (B) のそれぞれのCD盤について質量を測定した。

(2) 結果と考察

質量の測定結果を図4に示す。図4より、(A) のCD盤が最も質量が小さいことが明らかになった。しかし、その質量の差は、最大でも約 0.1[g] しかない。これはCD盤の製造工程において、制御できない誤差であると考えられる。よって、質量の差が音質に及ぼす影響よりも、スタンパーが劣化している事の影響の方が大きいとも考えられ、これ以上の議論は難しいと考えられる。

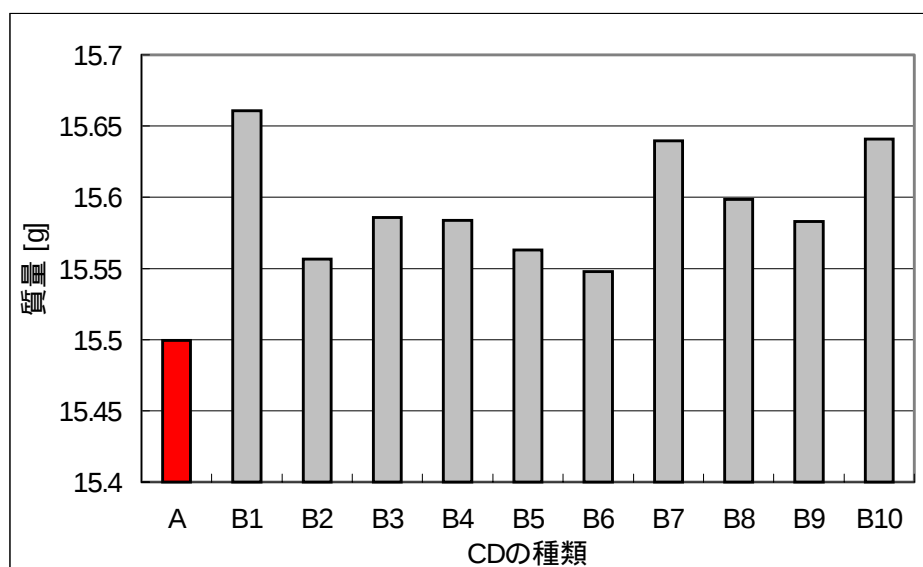


図 4-3 質量の測定結果

4.4.3 誤り率の測定

C D 盤における，主な符号誤りの原因は以下の 3 つである．

- (a) ディスクそのものに入っているもの
- (b) C D プレーヤーで，サーボがはずれたり，同期信号が乱れるために生じるもの
- (c) 使用中にディスク表面に傷や手あかなどが原因で生ずるもの

(a) の場合は 1～2bit の短いエラー(ランダムエラー)がかなり頻度高く現れるが，(b) や (c) の場合は数 10bit の長いエラー(バーストエラー)が多く現れる．

C D のこれらのエラー訂正符号には，CIRC (Cross-Interleave Read-Solomon Code) が用いられ，ランダムエラー訂正は C1 で示され，バーストエラー訂正は C2 で示される．その中で，今回はディスクの製造工程に着目しているため，ランダムエラー訂正を示す C1 を注目した．よって，誤り率として C1 を測定した．

(1) 測定方法

測定はソニー・ディスクテクノロジー(株)において，専用の C D アナライザーによって行った．(A)，(B)それぞれの C D 盤において，トラック 1 の最初の 60 秒間について，誤り率を測定し，その 60 秒間の平均値を比較した．

(2) 結果と考察

誤り率の測定結果を図 4-4 に示す．図 4-4 から (A) の C D 盤の誤り率が最も小さいことが分かる．しかし，(B) の 10 枚の C D 盤の中に，誤り率が (A) と殆ど同じものから，数 10 倍のものが存在する．(B) の C D 盤では，製造条件は全く同じであることから，製造時に誤り率を制御することは難しいことが分かる．また，(B) の 10 枚の C D 盤の音質に大きな違いはないことを，第 4.2 章の予備評価実験で確認しているため，この程度の誤り率の違いでは高度感性情報再生に優位な差は現れないことが分かった．以上より，誤り率と高度感性情報再生との関係を議論していくことは困難であると考えられる．

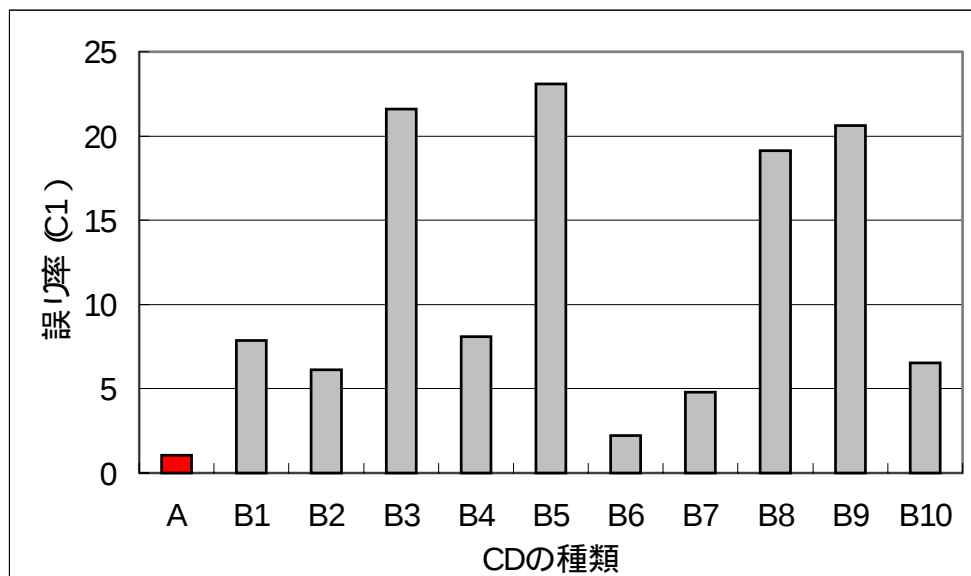


図 4-4 誤り率の測定結果

4.4.4 反射率の測定

(1) 測定方法

反射率は、CD プレーヤーの光学系を用いてディスクにフォーカスをかけ、光学系に戻った光量から反射率を求める Focused Beam 法によって測定した。測定はソニー・ディスクテクノロジー(株)において、CD アナライザーによって行った。また、(A)、(B)それぞれのCDにおいて、最初の60秒間について、反射率を測定し、その平均値を比較した。

(2) 結果と考察

反射率の測定結果を図4-5に示す。図4-5から、(A)のCD盤の方が(B)のCD盤よりも反射率が高いことがわかる。しかし、その差はそれぞれ ± 1 [%]以下である。しかし、質量や誤り率に比べ、(A)と(B)のCD盤の間ではっきりとした差が現れたので、高度感性情報再生の差となんらかの関係があるのではないかと考えられる。

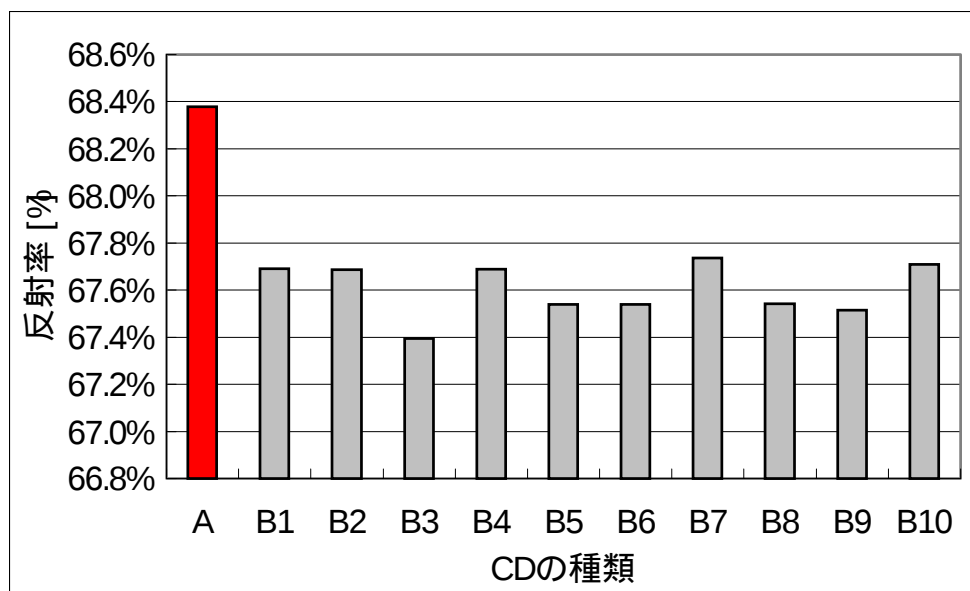


図 4-5 反射率の測定結果

4.5 透過光量の測定

前章で、従来CD盤の品質を決めるとされてきた特性（質量、誤り率、反射率）を測定した。それらの測定結果の中で、製造条件の異なる（A）と（B）のCD盤において、最もはっきりとした違いが生じていたのは反射率であった。しかし、それらの反射率の差は約1%と僅かであるため、これまでの実験結果からは反射率が高度感性情報再生に影響しているとは判断するのは難しいと考えられる。

そこで、これまでのCD盤の規格には入っていないCD盤の透過光量に注目した。それは、CD盤の外観を観察していたところ、CD盤を白熱灯の光に透かした場合、（A）と（B）で光の透過量が異なることに気づいたからである。

この透過光量は反射率と関係があると考えられる。そもそも、CDプレーヤーはC

D 盤から光レーザによってデータを読み出しているのだから，C D 盤の透過光量が高度感性情報再生に関係があるのではないかと推測した．そこで，(A) と (B) のそれぞれの C D 盤において，透過光量を測定した．

4.5.1 測定方法

透過光量の測定は，暗室において図 4-6 に示す測定環境において行われた．C D 盤は図 4-7 に示すような構造 [24] をしており，C D プレーヤーはディスクの信号面側から信号を読み出すため，信号面側から光を照射した．そして，レーベル面側から透過してくる光量を光量測定器によって測定した．なお，レーベルは透明な部分で測定した．

- ・ 光量測定器（輝度計）
LUMINANCE COLORMETER BM-7（TOPCON）
- ・ 白熱電球
ハイランプ室内用 RF100V300W:W（National）

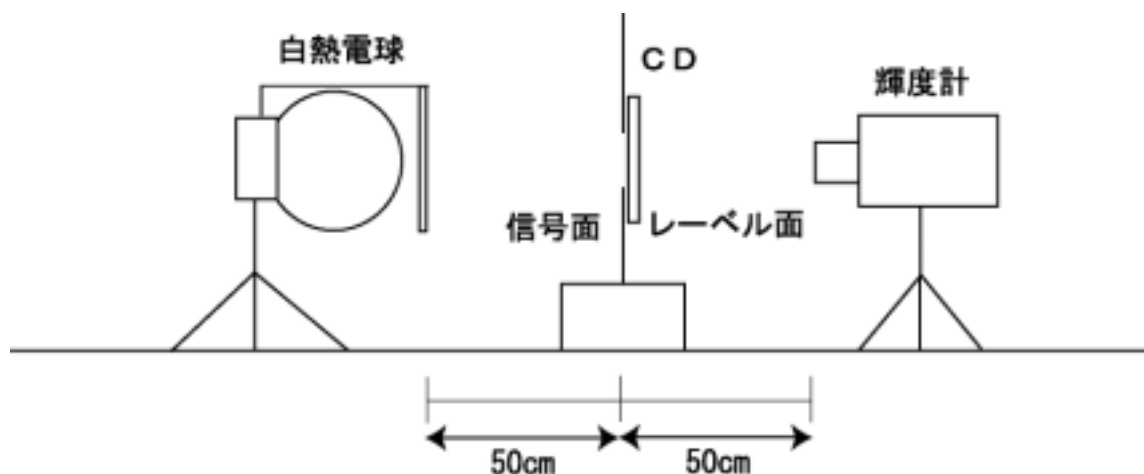


図 4-6 透過光量の測定

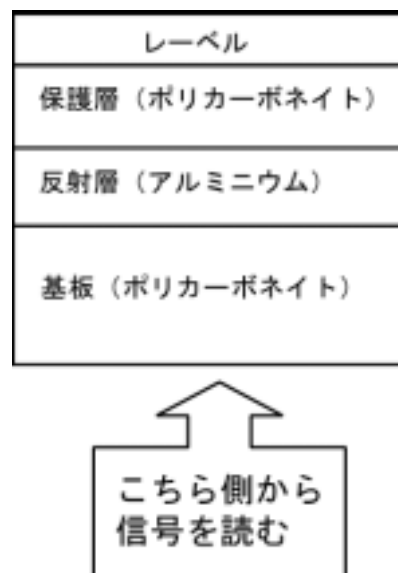


図 4-7 C D 盤の構造

4.5.2 結果と考察

透過光量の測定結果を図 4-8 に示す . 図 4-8 から , (A) の C D 盤の透過光量は , (B) の C D 盤に比べて明らかに透過光量が小さいことが分かる . 例えば , (B) の C D 盤の最も透過光量の低いものでも (A) の 3 倍以上の透過光量があることが分かる . また , (B) の透過光量の最も大きいものでは (A) の 10 倍以上の透過光量があることが分かった . また , 図 4-6 において , C D 盤を取り除いた場合の光量は約 220cd/m^2 であった .

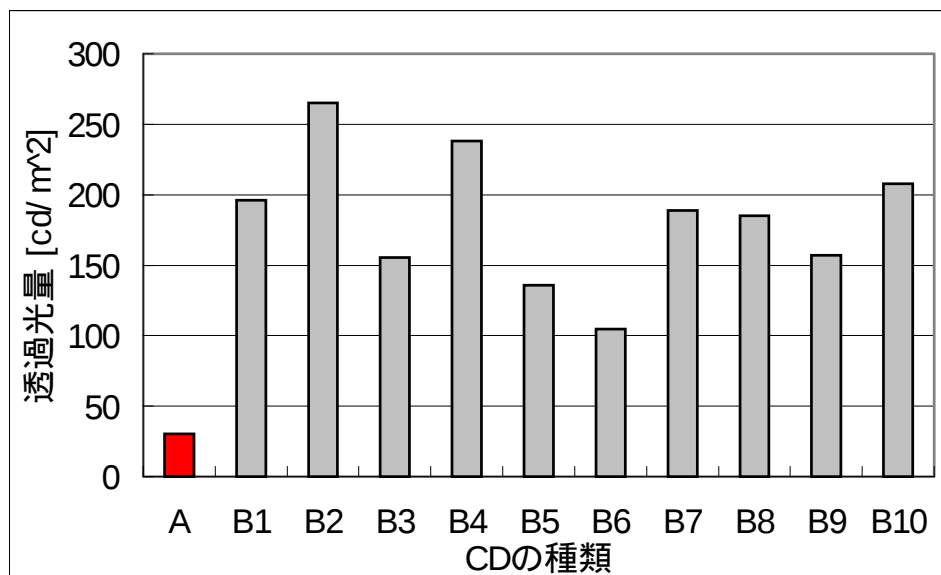


図 4-8 透過光量の測定結果

4.6 透過光量を変化させる物理要因

前章までの実験では，スタンパーの劣化状態が異なるCD盤の間でCD盤の諸特性を測定したため，スタンパーの劣化による音質への影響の可能性があった．その中でも，高度感性情報再生の異なるCD盤において，透過光量は大きく異なった．そこで本章では，劣化状態が同様なスタンパーから製造したCD盤の間で，透過光量と高度感性情報再生との関係に関する実験を行う．

4.6.1 目的

図 4-7 に示したCD盤の構造から，透過光量はアルミニウム膜厚と関係があるのではないかと考えられる．そこで，透過光量とディスクのアルミニウム膜厚との関係を明らかにする．また，透過光量と高度感性情報再生との関係についても明らかにする．

4.6.2 実験方法

透過光量とディスクのアルミニウム膜厚との関係を明らかにするために、同じ製造条件の基でアルミニウム膜厚を変化させて製造したCD盤を用意し、それぞれのCD盤について、透過光量を測定した。また、ポリカーボネイトは透明であるため、透過光量とは殆ど関係ないと考えられるが、ポリカーボネイトを変化させたCD盤も用意した。今回用意した4種類のCD盤の詳細を表4-3に示す。表4-3に示したCD盤の厚み及び反射率の値は、ディスク制作時にサンヨーマービック（株）により測定されたものである。

そして、4種類のCD盤それぞれに対して透過光量の測定、及び音質の比較評価実験を行った。なお、透過光量の測定は4.4節と同様の測定方法で行い、音質の比較評価実験には第3章の予備評価実験と同様の評価者、評価方法、実験環境で行った。

表 4-3 透過光量の異なる4種類のCD盤

種類	ディスク厚み	アルミニウム膜厚
	現行製品と同じ (約 1.19mm)	現行製品と同じ (反射率 78 ~ 79%)
	現行製品と同じ (約 1.19mm)	現行製品より厚い (反射率 82 ~ 83%)
	現行製品より厚い (約 1.28mm)	現行製品と同じ (反射率 78 ~ 79%)
	現行製品より厚い (約 1.28mm)	現行製品より厚い (反射率 82 ~ 83%)

4.6.3 結果と考察

透過光量の測定結果を図 4-9，音質の比較評価実験の結果を表 4-3 に示した．図 4-9 から，この実験結果より，透過光量と高度感性情報再生との間には強い関係があることが明らかになった．また，やはり透明なポリカーボネイトの厚さと透過光量とは殆ど関係がなかった．このことから，アルミニウム膜厚は透過光量を変化させていることが明らかになった．

そして，アルミニウム膜厚の違いによって，反射率は約 5%の差しかないのに，透過光量は 30 倍以上の違いになることがわかった．よって，従来から言われてきた物理特性である反射率よりも，透過光量は高度感性情報再生を表していると考えられる．

図 4-10 にディスクのアルミニウム膜厚による，反射光と透過光の関係のイメージを示す．なお，カッコ内はアルミニウム膜厚が薄い場合を示す．

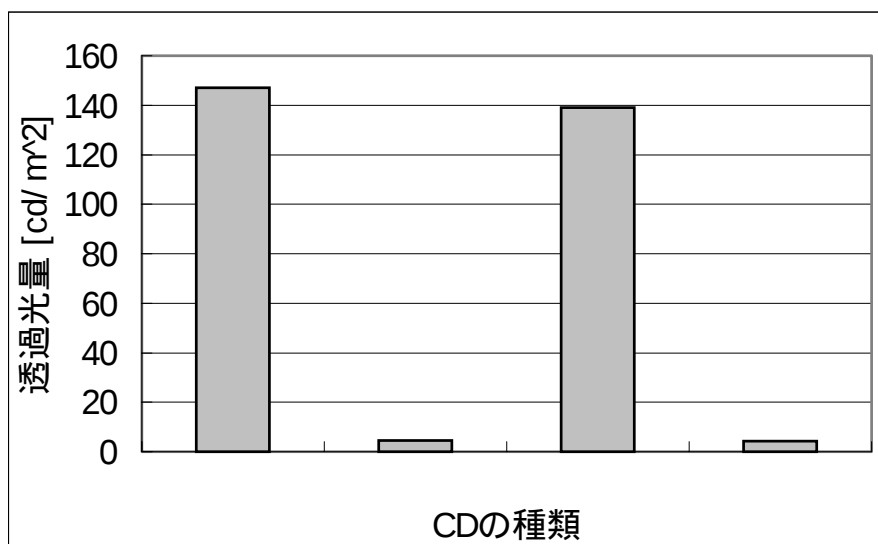


図 4-9 測定結果

表 4-3 評価結果

C D 盤の種類	総合音質	透過光量 [cd/m ²]
	-2	1.47×10^2
	規準	4.43
	-2	1.39×10^2
	-0.5	4.31

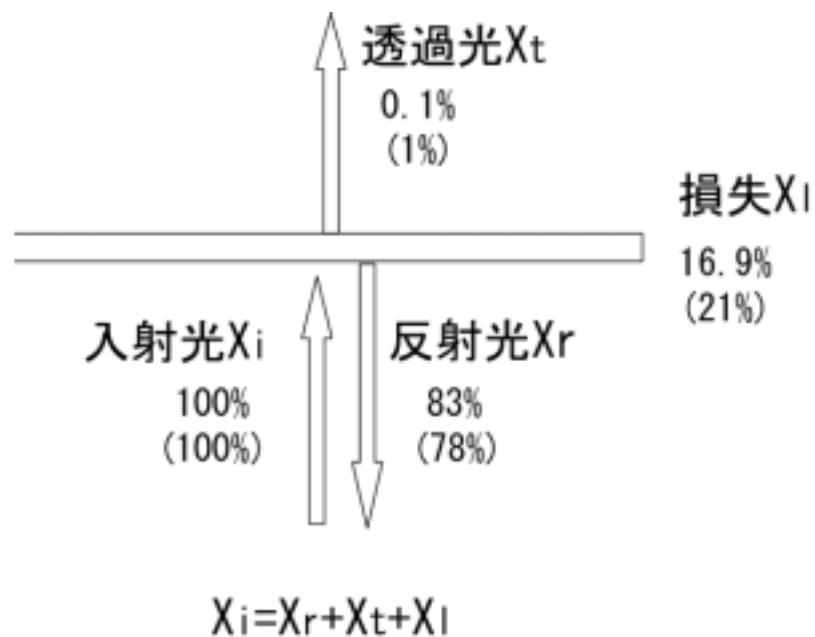


図 4-10 反射光と透過光の関係

4.7 アルミニウム膜厚と高度感性情報再生の関係

本章では，高度感性情報再生の違いは音響信号上に何らかの変化が生じているからであるという考えから，透過光量，すなわちアルミニウム膜厚と音響信号との関係について考察する．音響信号は，図 4-11 に示す C D プレーヤーの信号検出（ピックアップ）システムにより，読み出される．図 4-11 において，C D 盤のアルミニウム膜厚が反射光に関係しており，その要因として

- （１）反射率：透過光量と関係が強い．
 - （２）振動：これまで，音質に関係するとされてきた．
- を考えた．以降，この２つの要因について考察する[26]．

（１）検討 1（反射率）

まずは，反射光を大きくする要因として，反射率に注目し，音響信号との関係を考察した．C D プレーヤーの信号検出部は以下に記した 4 種類のサーボにより，フィードバック制御が行われている[25][26]．

（a）フォーカス・サーボ

完全な平面ではなく，回転とともに信号面は上下している．通常は対物レンズの焦点深度は $\pm 2 \mu\text{m}$ の精度で程度のものを用いるため，常にディスク信号面上に $\pm 2 \mu\text{m}$ の精度でフォーカス（焦点）を合わせる必要がある．このフォーカスを制御しているサーボをフォーカス・サーボと言う．

フォーカス・サーボはレーザスポットを，常にディスクの信号記録面に結ばせる．ピックアップの垂直方向の制御を行う．

（b）トラッキング・サーボ

C D 盤はディスクに案内溝がないため，自動的に信号トラック上を光りビームがなぞれるようにサーボをかける必要がある．回転しているディスク上のトラックは，多くの要因によってトラック振れを起こしている．このトラック振れは，単にディスク

の回転数に同期した周波数成分だけでなく，高周波成分をも持っている．サーボ系としては，振動，ディスクの反射率変動，温度などの外乱があっても，レーザビームをトラック振れに追従させる必要がある．この，ピックアップの水平方向の制御を行っているのがトラッキング・サーボである．

(c) モータ駆動サーボ

別名 CLV Constant Linear Velocity) サーボともよばれ，2 段階のサーボで構成されている．まず，ディスクから読み取った音楽信号である EFM 信号の最長ピット (11T) または最短ピット (3T) の周期が，ほぼ規定値になるようにモータの回転数を制御する．これを通常 CLV ラフサーボと言う．CLV ラフサーボにより，EFM 信号がビット・クロック抜き出し用 PLL のキャプチャレンジ内に入るので，ようやくディジタル信号処理回路が正常に動作するようになる．この段階でサーボを切り替えて，EFM のフレーム同期信号と水晶クロックを用いた基準周波数の 2 つを周波数-位相比較し，この誤差信号によりモータを制御するようになる．これにより精密な CLV サーボをかけることが出来る．

(d) 光学系送りサーボ

2 軸アクチュエータをトラッキング・サーボに用いた場合，その可動範囲はわずか $\pm 0.3\text{mm}$ 程度である．これに対して，CD 盤の信号エリアはリードインからリードアウトはで 35mm の長さがあるので，光学系 (ピックアップ) 全体を送る機構として，送りネジ方式，ラック & ピニオン方式，リニアモータ方式が用いられる．光学系送りサーボは，トラッキングアクチュエータが可動範囲の中心からずれたとき，トラッキング・サーボ出力に発生する誤差電圧の直流分を取り出して，これが 0 になるようにピックアップ全体を移動させている．

光ピックアップを希望の位置にアクセスする．

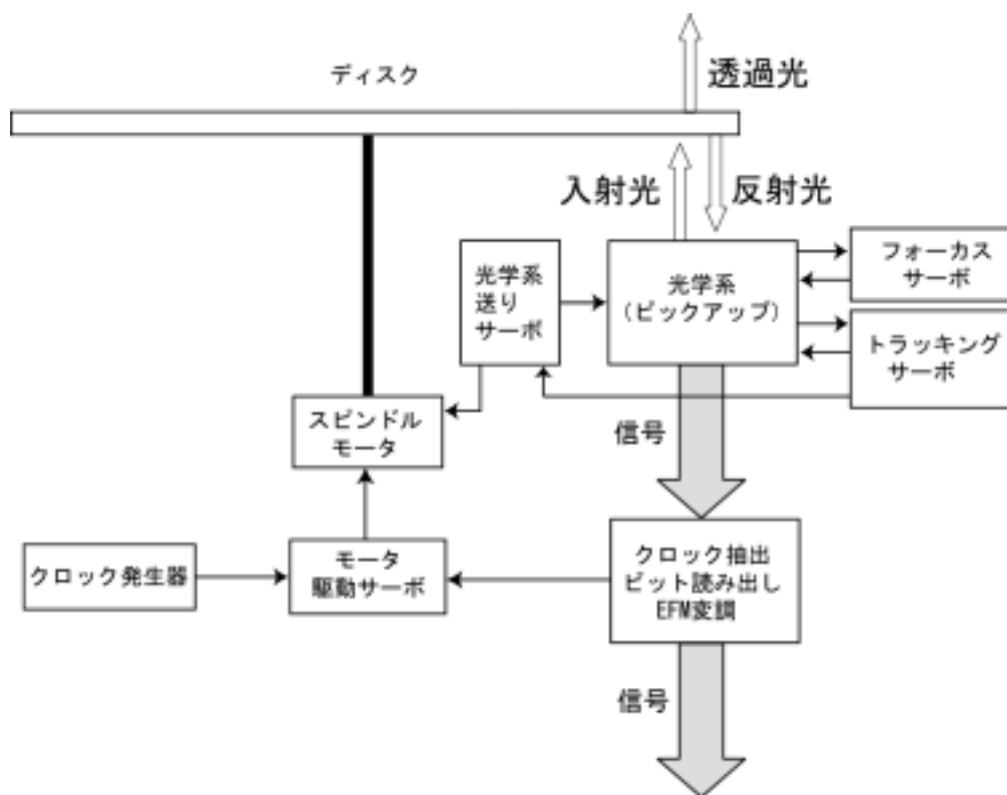


図 4-11 CDプレーヤーの信号検出システム

図 4-11 のピックアップは、光レーザをディスクの信号面に照射し、その反射光により音響信号を読み出している。この反射光がフォーカス・サーボに影響を与えられ、なぜなら、フォーカス・サーボは反射光の強弱で信号検出を行っているからである。そして、フォーカス・サーボの影響は当然、トラッキング・サーボに影響し、光学系送りサーボに影響が及ぶと考えられる。また、CDプレーヤーは CLV 方式で信号検出を行っているため、モータ駆動サーボに影響がでると考えられる。

このように、ピックアップに問題が生じることにより、再生信号の中から抽出したビット・クロックに時間軸方向の問題が生じているのではないかと推測した。そして、最終的にそのビット・クロックを PLL (Phase Lock Loop) でロックしてしまうため、音響信号に問題が生じるのではないかと考えられる。

(2) 検討 2 (振動)

次に，CD 盤のアルミニウム膜厚と振動との関係に注目した．これまで，CD プレーヤーの開発において，ディスクの材質に関して，ディスクの回転に伴う振動が音質に影響を与えるという推測から，ディスクに対して，錘を乗せたり，上下にテンションをかけたりしてチャックし，ディスクの回転に伴う振動を抑制する．

反射率が高い程，音質が良いという考えから，ディスクの反射層にアルミニウムの代わりに，金を用いる．

基板の透過度が高い程，音質が良いという考えから，ポリカーボネイトの代わりに，ガラスや AP0 を用いる．等が試みられてきた．今回行った実験からも，ポリカーボネイトに挟まれているアルミニウム膜厚を厚くすると，ディスクの振動が抑制されて，CD プレーヤーの信号検出システムにおいて検出される信号が安定し，高度感性情報再生が良くなったと推測した．また，以前から「錘をディスクに乗せると，抑えられたような音になる」，「ガラス，AP0，ポリカーボネイト，金等，材質によって特有の音がする」ということが言われている．このことから，ディスク自体の振動が音響信号に与える影響は無視できないようである．

4.8 振動が音質に及ぼす影響に関する検討

盤の構造，材質による音質の違いはCDの始まりの頃，ホットに議論された事はあるが明確な答えが出ないままに立ち消えになった．我々は，高度感性情報を忠実に伝送し，深々さ，凄み，等の“深い音楽”を伝達する目的の研究の中から，信号の時間方向の伸び縮み歪み(jitter)が音質劣化の元凶であると推測するに至った．注意深い観察から，一見，信号に直接関係しているように見える光学的な特性は平均的特性のため，ピット毎の光反射の瞬時的あばれを記述していない．一方，機械的振動としてとらえると，材質，構造に起因するCD盤の光反射の瞬時的あばれを，間接的ではあるが，モニターできると見通し，実験，考察をしてきた．この仮説は，過去の種々の問題を説明しており，矛盾は一つも起きていない．例えば，音質上は大きく違うのに

もかわらず，光の反射率は，ほとんど変わらない一方，光の透過光量（機械的振動に関係するアルミ箔の厚み）では二桁も違う，という結果が出ている．図 1 にアルミ箔が厚い場合と薄い場合の比較を図示する．CD 盤の材質，構造，プロセスと，高度感性情報の忠実な再生に関してこれまでに得られた結果を報告する．

従来オーディオの音質評価では単に「音色の違い」，「好みの違い」としての結果でしかなかった CD 盤の構造の違いであるが，高度感性情報の再生に重点を置くことによって，好みではなく，明らかに優劣があることが明らかになってきた．

4.8.1 CD 盤の物理的振動が原因とする根拠

“ 盤の機械的振動 ” → “ 読み取り反射光の不安定 ” → “ 読み取り誤りの発生 ” → “ Clock(PLL)の jitter 発生 ” と想定したときに，過去の観察された現象を説明してみる．

（１）CD 盤に，銅，セラミック等の盤を載せて再生すると音が良くなる；→おそらくは機械的な盤の振動が抑えられて，反射光が安定する．

（２）冷蔵庫で CD 盤を冷やすと音が良くなる；→CD 盤が堅くなって振動のモードが替わり，良くなる場合があった．

（３）レーベルの印刷により音質が異なる；→当然振動モードが変わって音質が変わってくる．

以上のように「CD 盤による機械的振動」で矛盾無く説明できる．

4.8.2 これまでに行った実験の結果

これまでに，CD-R，スタンパー，プロセス，レーベルの印刷の有無について種々の実験を行った．その結果は次の通りである．いずれも良い場合，悪い場合の音質の違いは 7 段階評価で + 2 の評価差に及ぶ．

- (1) 同一の CD-R から作ったスタンパーを基に C D 盤を試作しても音質の善し悪しがある．おそらくは CD-R からの信号の読み出し時に電源ノイズの影響により，スタンパー上の jitter が異なるものと考えられる．
- (2) アルミスパッタ膜，ポリカーボネイト（C D 盤の厚み）は厚いほど音質がよい傾向がある．質量の重い C D 盤は力強い音がする．但し，更にアルミスパッタ膜をかなり厚くした上で，この厚みにバランスしたポリカーボネイトの厚みが必要のようである．バランスが良いと所謂音の抜けがよい．このバランスは盤による振動モードと当然ながら関係すると考えられる．
- (3) C D 盤を数百枚製造する（一釜）と，スタンパーに傷みが出るのか次の C D 盤は音質が悪い．

4.8.3 検討

C D 盤が振動して回転している時，ピットから読み出された信号の方向は不安定に踊り，振幅，時間方向共に振動する．振幅方向は，誤り訂正符号などにより補正されるが，時間方向のゆれ：jitter はアナログ信号であるから，PLL 回路を通して完璧には補正されない．（これはアナログ信号処理である）最終的に PLL 出力信号で resample されて，アナログ信号となるので時間方向の歪み（伸び縮み歪）が出力信号に生じて，音質を劣化させる．

この jitter 歪みは，誤り訂正が多く働いている時：C1 が大きいこととはうなずける．C D 盤に複雑なモードの振動が乗る時に，ピット毎の反射光は不規則な方向に変化し，振幅方向，時間方向に大きく変化すると考えられる．振幅方向は誤り訂正符号により補正されるが時間方向歪みは PLL 出力がゆれるので，充分には除去されない．即ち，C D 盤の構造は複雑な振動モードののらない防振構造が望ましい．厚いアルミスパッタ膜とそれに見合った厚みのポリカーボネイト厚が要求されることとはうなずける．

振動は全くアナログ的なもので，これがアナログ量としての jitter となるので，盤の物理的特性の音がする．APO やガラス盤は“透明感”はあるが，硬い音がするし，“高

度感性情報”の評価では必ずしも良くない。印刷の厚みも影響するし、印刷を固定する紫外線(UV)により、盤が硬化して音が硬くなると考えられる。

4.7.4 まとめ

音質に良いCD盤を作るためにはCD-R作成、CD-Rからスタンパーの作成においてAC電源ノイズによる記録されるdigital信号のjitterを極力抑えることが重要である。1枚のスタンパーからプロセスで製造するCD盤は数百枚以上は音質が著しく劣化する。(スタンパーが傷む。)

(1)CD盤は一般的に重く厚い方が音質は力強くしっかりしているが、スパッタ膜は厚く(電灯の光がかろうじて見える位：透過率0.1%)、それに対して最適なポリカーボネイト厚を選ぶと良い。

(2)音質の評価は誤り率C1とCD盤の透過光量に明確に関係する(C1は1~2以下、CD盤の透過光は1/100以下)この2つで管理すると良い。それ以後も本報告を参考に改善してほしい。

4.8 まとめ

本研究では，ＣＤ盤の製造条件と高度感性情報再生との関係に注目した実験より，高度感性情報再生と関係の強い，透過光量という新しい物理特性を発見した．また，透過光量を変化させる要因としてアルミニウム膜厚があり，アルミニウム膜厚と高度感性情報再生との間に強い関係があることを明らかにした [29] [30]．

そして，透過光量と反射光は関係があることから，透過光量の違いによって，ＣＤプレーヤーの信号検出システムにおいて，音響信号上に何らかの変化が生じ，時間軸方向の信号精度を劣化させるのではないかと考察した．また，アルミニウム膜厚とディスクに生じる振動との間に何らかの関係があり，ディスクの振動が音響信号に影響を与えているのではないかと考察した．

従来はＣＤ盤の記録，又，読み出しについての信号の歪みを，その光の特性によってのみ評価し，管理しようとしていた．もちろん光で読み出すのであるが，反射率などの平均的な光の特性では本質的な特性は見えなくなる．我々の発見は次の通りである．即ち，光の反射に直接関係するＣＤ盤の機械的振動の大きさは光で平均的に測定して見えなくなった歪量を表わしているので注目すべきであり，それによって高音質を目的としたＣＤ盤製造の管理が出来る．ＣＤ盤の光の透過率（ＣＤ盤のアルミスパッタ膜の厚み）を，ほぼ $0.1[\%]$ を確保することと，誤り率 $C1$ 平均 $1 \sim 2$ ，で管理できる．なお，前者はアルミスパッタ膜に見合ったポリカーボネイト膜厚にする必要がある．特許とせずに公開するので，各社これを目標にしてほしい．なお，ＣＤ盤の機械的振動を少なくする方法については，注意してほしい．

本研究の成果によって，これまで主観評価に頼ってきたテストソース（ＣＤ）の評価を，より客観的な尺度で行うことができるのではないかと期待している．

第 5 章

結論

5.1 まとめ

本研究では、高度感性情報を再生することを目的として、“品格”という評価語に注目した。そして、“品格”を再生するために、先ずアンプのバランス伝送回路に関する研究を行った。また、高度感性情報再生の評価用音源であるCD盤の製造過程によって、音質が大きく異なることを発見したため、CD盤に関する研究を行った。

これまでの高度感性情報再生に関する研究により、高度感性情報再生のためには、[仮説1]精密な時間精度による音像の定位と[仮説2]瞬時エネルギー放出によるパワー集中が重要であるという仮説が立てられている。(第2章2.5節参照)ここで、仮説1(精密な時間精度による音像の定位)が満足された場合、音質上では“空気感”が再生されるということが分かっている。また、仮説2(瞬時エネルギー放出によるパワー集中)が満足された場合、音質上では“力強さ”が再生されるということが分かっている。これまでの研究で、実際に高度感性情報のある程度再生することができるオーディオ装置の開発に成功しているが、未だ“空気感”と“力強さ”の両方の再生(“品格”の再生)は不十分である。

本研究では、“品格”(“空気感”と“力強さ”の両方を満足する音)の再生を目指してバランス伝送回路に関する研究を行った。その結果、バランス伝送回路で、コモン・

モード・ノイズを抑制することが“空気感”、“透明感”の再生に強い関係があることが明らかになった。しかし、バランス伝送回路において“空気感”などを向上させることによって、逆に“力強さ”が悪くなることがある。このことから、心理量である“力強さ”再生のためには、どのような物理量が関係しているのかを明らかにするための実験を行った。その結果、バランス伝送回路において、十分な電流供給によるスピーカ駆動能力を向上させることによって、“力強さ”再生も向上することが分かった。これは、バランス伝送回路では、使用する素子数がアンバランス伝送回路の2倍になるため、オーディオ・システムに生じる浮遊容量も2倍になっているのが、原因ではないかという考察を行った。この考察を基に実験を行ったところ、電流供給能力を向上させるために、電子バランス回路を用いることや、出力段のトランジスタを並列接続することによって、実際に“力強さ”再生が可能になることが分かった。以上の研究結果を基に、“空気感”、“透明感”と“力強さ”の両方が再生できるバランス伝送回路を実現した。その結果、高度感性情報の総合評価も向上させることが出来た。

また、評価用音源であるCD盤についての研究を行った結果、アルミニウム膜厚による振動抑制が、高度感性情報再生に強く関係しており、音質では“力強さ”に関係していることが分かった。この結果から、現在のところCD盤における振動がCDプレーヤーの信号読みとりシステムにおける、ピックアップの制御に影響を及ぼし、それが最終的に音楽・音響信号に影響を与えているのではないかという検討をした。これらの研究結果は、高度感性情報の評価用音源を選択する、客観的な一つの指針となるのではないかと考えている。

これらの実験結果から、高度感性情報再生にとって、“空気感”、そして“力強さ”を満足する音を再生することは非常に重要であると考えられる。したがって、音質上ではあるが、高度感性情報再生のために、[仮説1]音像の定位[仮説2]パワー集中が重要であることの実証例が示せたと考えている。

5.2 今後の課題

本研究により，高度感性情報再生のために“空気感”と“力強さ”の両方を再生することが重要であることが明らかになった．したがって，今後はこの“透明感”と“力強さ”の両方を再生することをキーワード（キー評価語）として，帰納的研究方法（図 5-1 参照）によって，更なる未知の物理要因・特性を発見する必要がある．

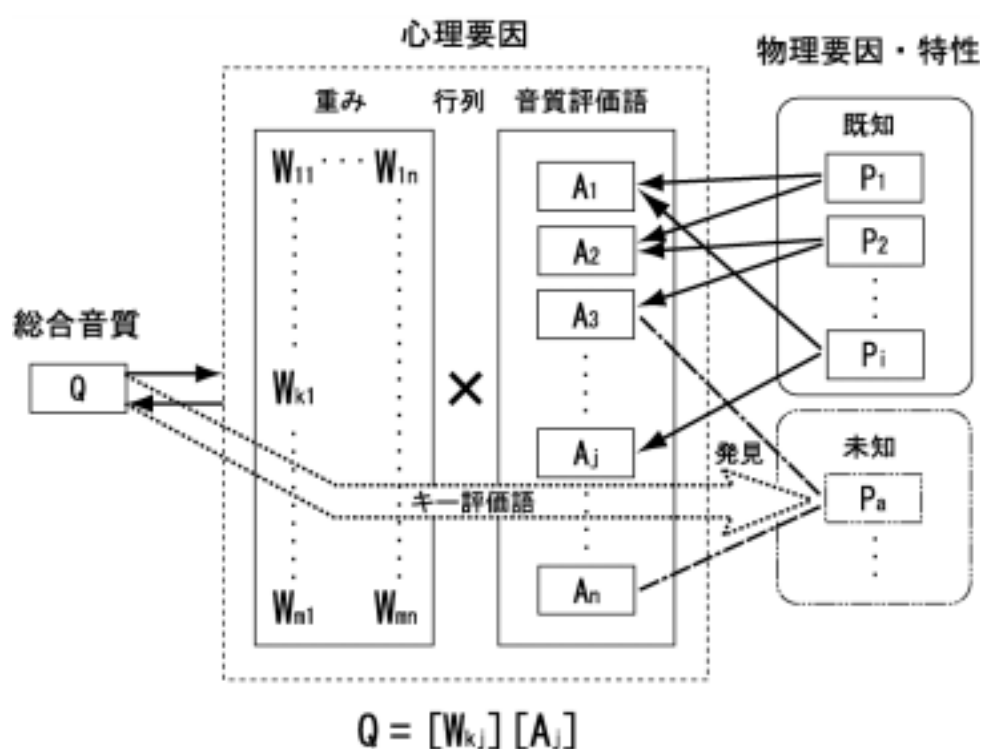


図 5-1 帰納的研究方法

謝辞

本研究を進めるにあたり，問題の提起から実験の方法，論文の作成まで終始的確なご指導を頂き，また研究に取り組む姿勢について，2年半に渡り終始熱心なご指導を賜りました本学の宮原 誠 教授に心から深く感謝致します．

本研究を進めるにあたり，貴重なご意見を頂きました本学の小谷 一孔 助教授に深く感謝致します．

本研究を進めるにあたり，数々の議論及び，多くのご教示を頂きました岩手県立大学の亀田 昌志 助教授，小山高専の小林 幸夫 助教授，本学の石川 智治助手に深く感謝致します．

本研究を進めるにあたり，数々の貴重なご意見を頂きましたソニー株式会社顧問，MI ラボの社長 中島 平太郎 様，代表取締役社長 高島 充 様，日本マランツ株式会社の田中 良征 様，小棚 哲也 様に深く感謝致します．

C D盤の特性を測定するにあたり，ご協力をして頂きましたソニー・ディスクテクノロジー株式会社の柳沢 吉長 様に深く感謝致します．

C D盤の製造に，熱意をもって多大なるご協力をして頂きましたサンヨーマービックメディア株式会社の石田 正二 様，ミューテック有限会社 森 幸夫 様に深く感謝致します．

また，本研究を進めるにあたり，日頃より多大なる議論と激励を頂きました本学の諸先生方，宮原研究室の皆様に深く感謝致します．

最後に，私の研究生生活を暖かく見守って頂きました両親，弟，妹，親戚並びに全ての友人たちに心より感謝致します．

参考文献

- [1] ラシイ 著，山中惣之助，宇佐美興一 共訳：“通信方式-情報伝送の基礎-”，株式会社朝倉書店，1977．
- [2] 宮原誠：“高度感性情報（深い感動）を伝達する画像・音システム”，日本學術振興會，學術月報，Vol.54 No.4 通卷 677 号，pp.28-29，2001．
- [3] 加銅鉄平，藤本正熙，島田公明，君塚正憲：“最新オーディオ技術”，株式会社オーム社，1991．
- [4] 宮原誠：“普遍的高品質オーディオを目指して”，無線と実験，pp.94-97，Sep. 1991，pp.97-101，Oct. 1991，pp.94-97，Nov.1991．
- [5] 吉川昭吉郎：“音響再生の現状と 21 世紀への課題”，信学技報，EA98-20，pp.39-44，Jun.1998．
- [6] 森芳久：“スーパーオーディオCDの誕生”，JAS journal，pp.30-38，Apr. 1999，No.5．
- [7] 前田宗泰：“スーパーオーディオCDの特徴とフォーマットについて”，JAS journal，pp.30-38，Apr.1999，No.5．
- [8] 宮原誠：“高品位 Audio-Visual System 先端的科学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．
- [9] 冬木真吾，石川智治，宮原誠：“高度感性情報に注目して発見された物理要因”，ITE Technical Report Vol.21，No.20，pp.1-6，1997．
- [10] 中島平太郎：“ハイファイスピーカ”，日本放送出版協会刊，1968．
- [11] 北嶋，宇津木：“人間の感覚・感性を計測する”，電子情報通信学会誌，Vol.76，No.3，pp.242-245，Mar.1993．

- [12] 中山,越川,三浦:“音質評価法の基本的考察”,日本音響学会誌,21,pp.209-215, Sep.1965.
- [13] 林秀彦:“高品位画像の画質評価～脳波を指標とする客観評価法と主観評価法による～”,北陸先端科学技術大学院大学修士論文, Feb.2000.
- [14] 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”,電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-A, No.11, pp.1805-1811, 1997.
- [15] 石川智治:“音楽・音響再生の高度感性情報の評価に重要な評価語解析と無歪み伝送装置の実現で用いられたキー評価語に基づく物理要因・特性の発見及び総合評価 -キー評価語- 物理要因・特性との関係の実証に関する研究 -高度感性情報の再現に関する心理物理学的研究-”,北陸先端科学技術大学院大学博士論文, Feb.2001.
- [16] 小林幸夫, 石川智治, 宮原誠:“CD-Player の時間伸び縮み特性と高度感性情報再生の評価”, EA98-17, pp.1-6, 1998.
- [17] 石川智治, 小林幸夫, 宮原誠:“空気感の再現に重要な物理特性 -サーボ型メインアンプの時定数と空気感-”, [C-7] AES 東京コンベンション予稿集, 1999.
- [18] 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みと digital 音-”, 信学技報, EA98-20, pp.23-30, Jun.1998.
- [19] 高松重治:“オーディオアンプに見られる回路 平衡伝送回路の特徴”, エレクトロニクスライフ, pp.130-135, May. 1987.
- [20] 加銅鉄平:“オーディオ用測定器と測定技術”, 誠文堂新光社, pp.191-193, 1997.
- [21] 伊藤健一:“ノイズと電源のはなし”, 日刊工業新聞社, 1996
- [22] <http://www.lundahl.se/pdfs/datash/6810.pdf>
- [23] 藤本桂一, 石川智治, 宮原誠:“高度感性情報再現におけるバランス伝送回路の得失”, 信学技報, EA2002-01, pp.53-58, 2002.
- [24] 日置敏昭:“コンパクトディスク (CD) が持つ特有の音質劣化について -ディスク材料の影響を受ける再生音質-”, 信学技報, EA98-27, pp.25-31, 1998.
- [25] 土井利忠, 伊賀章:“新版デジタル・オーディオ”, 株式会社ラジオ技術社, 1987.
- [26] 尾上守夫, 村山登, 小出博, 山田和作, 国兼真:“光ディスク技術”, 株式会社ラジオ技術社, 1989.

- [27] 中島平太郎, 小川博司:“ 図解コンパクトディスク読本(改訂3版)”, 株式会社オーム社, 1996.
- [28] 中島平太郎:” C D オーディオ談義 ” 東洋経済新報社, 1986.
- [29] 藤本桂一, 石川智治, 三井実, 亀田昌志, 宮原誠:“ 高度感性情報の再生に必要な音響再生装置の物理要因・特性の発見 - C D による音質の違い- ”, 信学技報, EA2001-22, pp.1-8(2001-7).
- [30] 藤本桂一, 石川智治, 篠田亮, 宮原誠:“ C D 盤の製造過程で生じる音質劣化とその改善 ”, 信学技報, EA2002-01, pp.59-62, 2002.
- [31] テレビジョン学会:“ AV 測定技術 ”, 株式会社昭晃堂, 1900.