

音の再生信号に関する研究 (第 1.3 版)

高橋公太†1

音の再生において、未解決の問題がないか明らかにすることを研究の目的とした。
課題の探索は、マイクロホンからスピーカに至る音の再生プロセス全般に関して各部分に具体的な値を与えて定量的に検証する方法で行った。
検証の結果、現在の音の再生システムは、ニュートンの運動の第二法則に従っておらず力学的に誤った処理を行っている事が判明した。
スピーカを駆動するためには、マイクロホンで検出した音の信号からスピーカの質量のある振動板を駆動するための力の変化の信号を計算して求め、求めた信号を使用しなければならなかった。
現在、ほとんど全ての音の再生システムがデジタル化されていることから速やかに正しい方式に変更されなければならない。

Study about a revival signal of sound (Version 1.3)

KOTA TAKAHASHI†1

The purpose of a study is to look for an unsolved problem in revival of sound. The way to look for it adopted the method to give the value in detail to each part in revival of sound with quantitatively. Composition is a speaker from a microphone.
It was revealed that the revival system of the present sound isn't based on the second law of Newtonian movement as a result of the inspection. It was revealed that revival of the present sound is doing wrong processing dynamically. We had to calculate a signal of a change in the power to drive a diaphragm of the speaker.
It has to be changed to a right system. Because almost all revival sound system is digital system.

1. はじめに

音を忠実に再生するという課題に対して、まだ対応しなければならない重大な問題があるのにそれを見逃してはいないか？という疑問を持っていた。具体的には、全く異なる再生装置同士であっても似たような歪を生じる傾向があるため、音の再生システムに共通する根本的な不具合があるのではないかというものであった。
重大な問題を見逃しているのであればそれを見つけ出し、その解決策を明らかにしなければならない。見逃している重大な問題の見つけ方の研究並びに、重大な問題を見つけた場合は、それをどのように解決するかを目的として研究を行った。

原因を特定するために、音の再生プロセス全般を定量的に検証してみた。

その結果、音の再生プロセスにおいて、ニュートンの運動の第二法則が適用されていないことを発見した。

現在の全ての音響再生は、スピーカを駆動するための信号として物体が動いた結果の信号を使用している。ところが、正しい方法は、物体が動いた結果の信号からその動きを再現させるための力の変化の信号を計算して求め、求めた信号を使用しなければならなかった。現在の全ての音

響再生は、力学的に矛盾した誤った理論で行われている。このため、できるだけ早く全ての音響再生装置を新しい方式に変更しなければならない。

この研究によって新たな課題を多数発見することになったが、この報告では論点が明確になるよう発見した不具合の内容とその基本的な解決策について述べる。

2. 検証の方法

2.1 定量的な検証方法について

具体的な検証方法は、マイクロホンの振動板の質量を 1 0 m g . 振動板の振動を検出するためのコイルは 5 m H . そのコイルに対してかけられる磁界の磁束密度は、1 0 G (ガウス) . 増幅器の増幅率は 6 0 d B , スピーカの振動板の重さは、1 0 g . スピーカのコイルは 1 0 0 m H . スピーカのコイルにかけられる磁界の磁束密度は 1 0 0 G (ガウス) といったように装置の各部に具体的な値を与える。

そして、マイクロホンの振動板に力を与えるとスピーカの振動板はどのように動くかを順次計算するという方法である。

各部品に対して与えた値は、計算が行えるようにするためのものであり実際の部品が持つ現実的な値とはしていない。

†1 コータサウンド
kotasound

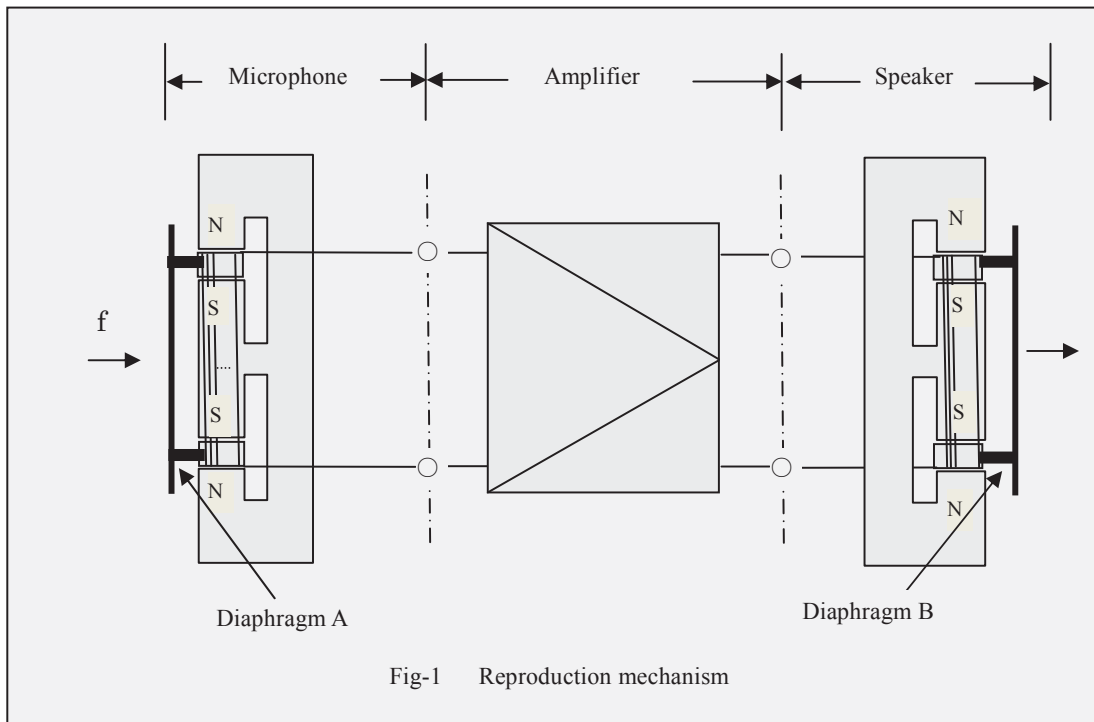


Fig-1 Reproduction mechanism

図1 音の再生メカニズム

2.2 定量的な検証における主な制限事項と条件

(1) マイクロホンについて

マイクロホンは、ダイナミックマイクロホンとし、マイクロホンの振動板には質量はあるが機械的抵抗や機械的摩擦については無いものとする。

(2) 増幅器について

増幅器は、一般的に用いられる電圧電力増幅器とし歪みは0%，周波数特性は0 Hz (DC) から可聴範囲をはるかに超える周波数帯域を持っているものとする。

(3) 増幅器について

スピーカは、ダイナミックスピーカとし、スピーカの振動板には質量はあるが機械的抵抗や機械的摩擦については無いものとする。

(4) 装置間の結合について

各装置間のインピーダンスの違いによるマッチング特性などは無視する。

以上の4件を制限事項並びに条件とした。

3. 発見した事象と解決策について

3.1 発見した事象について

発見した事象をわかりやすく説明するために、マイクロホンからスピーカまでのプロセスを音の再生メカニズムとして図1に示す。

図1の振動板Aを図2のように微小時間 (Δt) の間、微小な一定の力 (f) で押してみたところ、振動板Aの動きは図3のようになった。

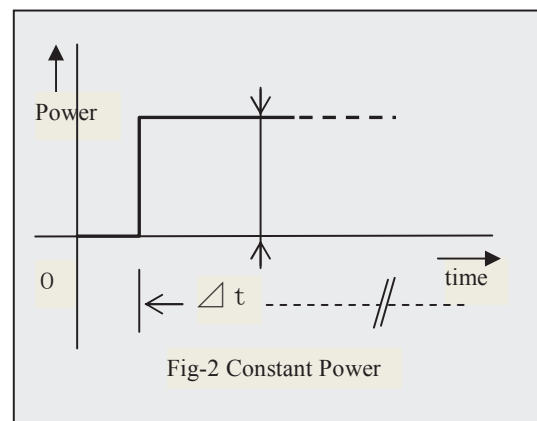


図2 マイクロホンの振動板に与えられた力

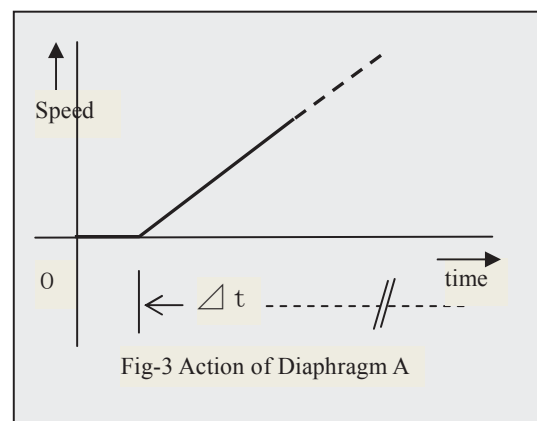


図3 マイクロホンの振動板の動き

図3のように、静止していた振動板 A は、一定の力(f)が与えられると一定の加速度で運動を始める。振動板 A が、図3のような動きをしたときのマイクロホンの出力は、ダイナミックマイクロホンであることから図4のように振動板の速度に比例した電圧が出力される。

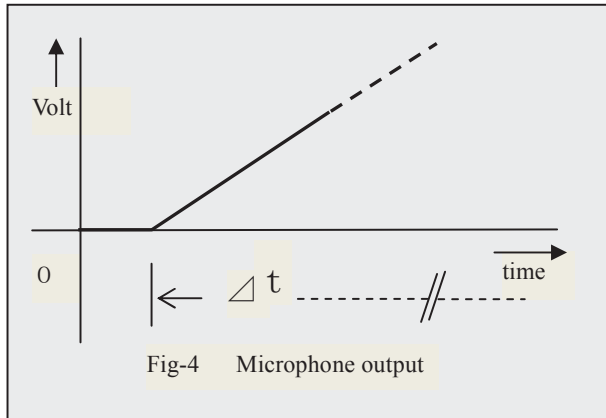


図4 マイクロホンの出力信号

このことから、スピーカには、図4のマイクロホンの出力信号を増幅した信号が与えられることになる。

3.2 発見した事象の解析

マイクロホンの出力をそのまま増幅し、スピーカの振動板を駆動してもスピーカの振動板は、マイクロホンの振動板と同じ動きにはならない。なぜならば、マイクロホンの振動板に与えられた力は、図2に示される一定の力であり図4に示されるマイクロホンの出力のような一定の傾きを持って変化する信号ではないからである。

スピーカの振動板をマイクロホンの振動板と同じ動きをさせるためには、マイクロホンが出力した物体（空気）の振動結果の信号から、図5の力の変化の信号のように、物体（空気）を動かした力の変化の信号を計算して求め、求めた信号を使用してスピーカを駆動しなければならなかった。

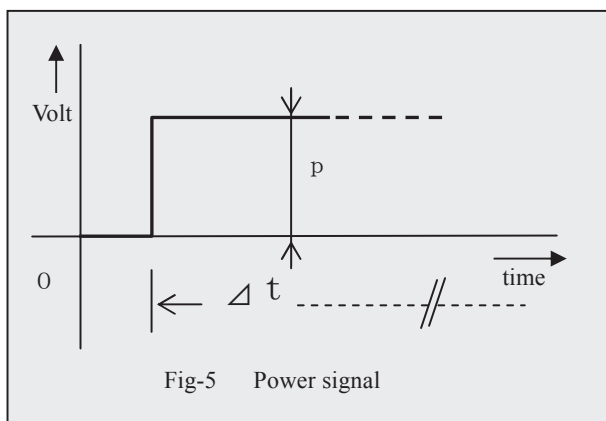


図5 力の変化の信号

3.3 数式と共に力学的に問題を解決する

質量のある物体の運動と力の関係は、ニュートンの運動の第二法則によって示される。

ニュートンの運動の第二法則は、物体に外から力が働く間は、その物体は力の向きに、力の大きさに比例し、質量に反比例した加速度を受けるという法則である。すなわち、力を f、物体の質量を m、時間を t、力を与える時の物体の速度を V0、t秒後の速度を V として言い換えると、f という力が質量 m の物体に t 秒間働く時、質量 m の物体の速度は、V0 から V に変わるということを意味している。ここで力積 f t は、数式1で表される。

$$f t = mV - mV0 \quad \dots \text{数式1}$$

スピーカの振動板を振動させるための力の変化の信号を計算するためには、数式2のように微小区間 (d t) 毎に mV から mV0 を減算する計算を行い単位時間 (t) あたりの力 f を求めればよい。

$$f = \frac{mV - mV0}{d t \cdot t} \quad \dots \text{数式2}$$

数式2は、定数でくくると数式3のように表される。

$$f = \frac{m}{d t \cdot t} (V - V0) \quad \dots \text{数式3}$$

従って、力 f の変化は、V から V0 を引いた値に、一定の係数をかけたものになる。

図5は、図4の運動した結果の情報を元に V から V0 を引く計算を行えば求められる。

このようにしてスピーカの振動板を正しく駆動させるための信号を求めることが出来る。

3.4 具体的に力の変化の信号をサイン波から求める

数波分のサイン波から力の変化の信号を計算して求め、元波形と計算の結果得られた波形とを対比する。

図6のような0から始まる数波分のサイン波をマイクロホンが検出したとする。

この数波分のサイン波から前述の計算式を使用して力の変化の信号を求める。

図6のA部を拡大した図を図8に示す。

図7のセクションAは信号の立ち上がり部分を表している。その後続くセクションBはセクションAよりも傾きが緩やかであるため加速度はセクションAの区間よりもセクションBの区間のほうが小さい。

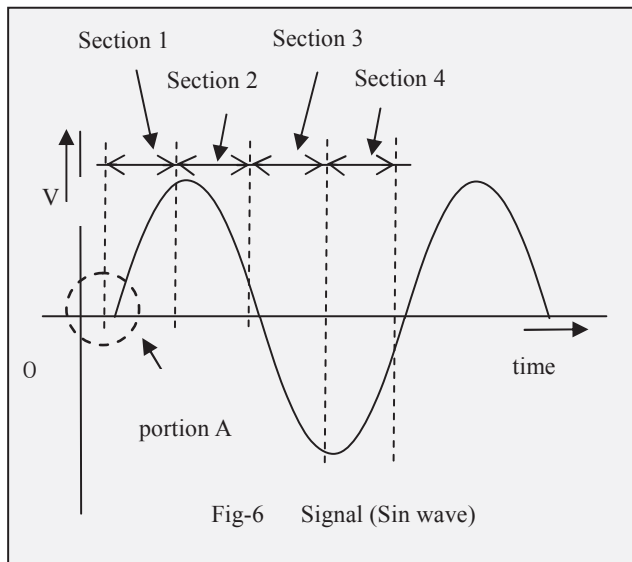


Fig-6 Signal (Sin wave)

図6 正弦波信号

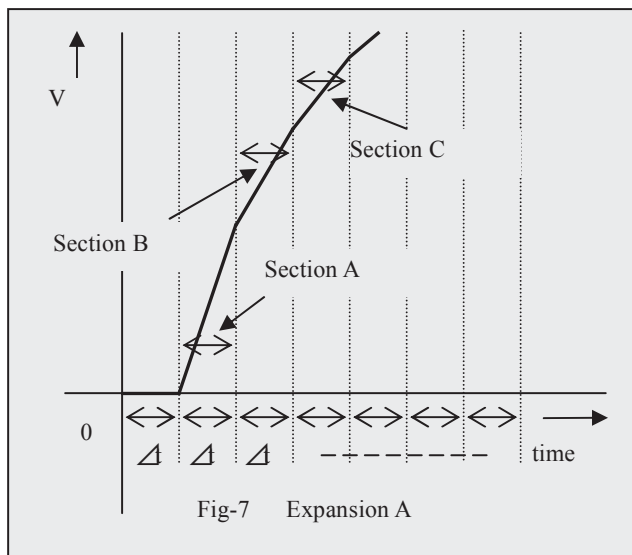


Fig-7 Expansion A

図7 A部拡大図

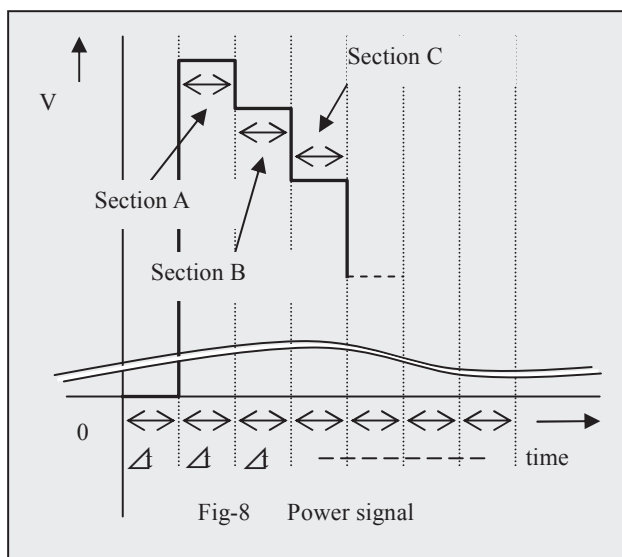


Fig-8 Power signal

図8 A部から計算された力の信号

さらにセクションCの区間は、セクションBの区間よりも加速度は小さい。

このため、この図7から各セクションの加速度の変化を図示したものを図8に示す。

図8のように、最初の区間であるセクションAで最も大きな力が必要となり加速度も最大になる。次の区間であるセクションBはセクションAよりも小さな値となりさらにセクションCは、セクションBよりも小さな値となる。

図8のセクションA、B、Cの各部は微小区間であることから近似的に微小区間内の変化を示す傾きは一定とする。

このようにして図6の信号を元に力の変化の信号を順次計算した結果は、図9のようになる。

図6のセクション1に対応する図9のセクション1は、立ち上がり時に大きな起動信号が必要であることを表し、図6のセクション2に対応する図9のセクション2は、減速するための制動信号として逆向きの力が必要であることを示している。図6のセクション3に対応する図9のセクション3は、逆向きに加速を開始するために大きな起動信号が必要であることを表し、図6のセクション4に対応する図9のセクション4は、減速するための制動信号として逆向きの力が必要であることを示している。

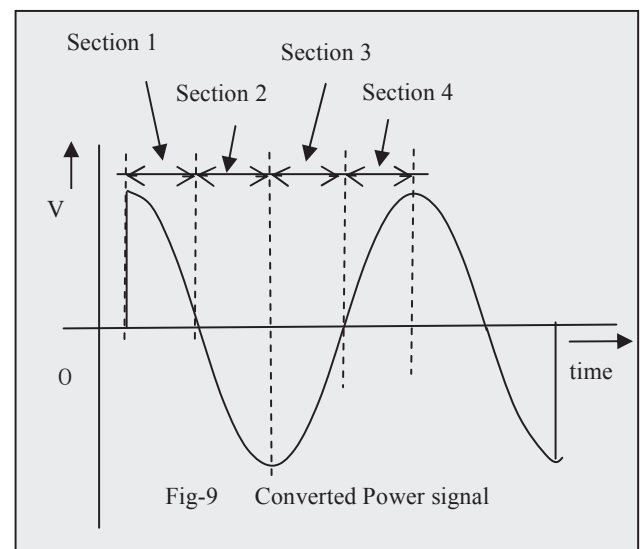


Fig-9 Converted Power signal

図9 計算して得られた力の信号

3.5 現在の方法での再現性の劣化について

現在行われている方法でスピーカの振動板がどのように動いているかその再現性を具体的に確認する。

スピーカの振動板を駆動するために増幅されて与えられる信号が、マイクロホンで拾われた信号そのまま図4のように0から始まる信号であったとするとスピーカの振動板は、時間と共に図10のような動きになり本来あるべき振動とは異なった動きとなり再現性は著しく劣化している。

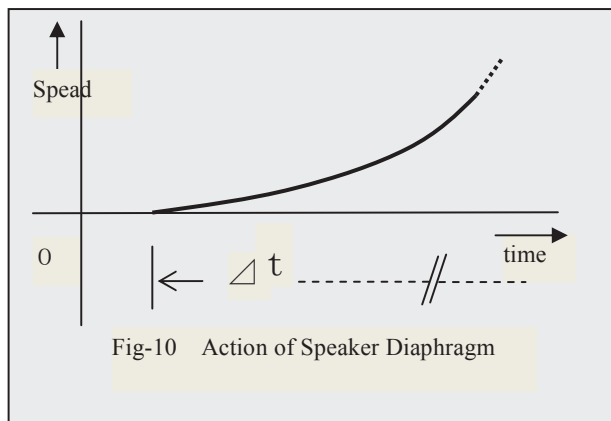


Fig-10 Action of Speaker Diaphragm

図 10 現状再生での劣化状況

図 4 と図 10 の関係についてのデータは付録に掲示する。

4. 本来あるべき姿

本来あるべき正しい音の再生システムを図 11 に示す。

図 11 のように、プリアンプの出力から、DSP (デジタルシグナルプロセッサ) で力の変化の信号を計算し、計算した結果の信号を、スピーカを駆動するための信号としてパワーアンプで増幅する。

DSP に入力される信号は、再生したい音そのものであり、再生したい音の信号から DSP によってスピーカを駆動するための力の信号を計算する。

このため、DSP にて処理した後の信号に対しては、トーンコントロールなど音としての補正処理は行えない。

又、2way, 3 way とスピーカユニットが帯域を分割して分担するようなシステムの場合、ユニットごとに再生する信号を DSP で計算し、マルチアンプでユニットごとに駆動する。

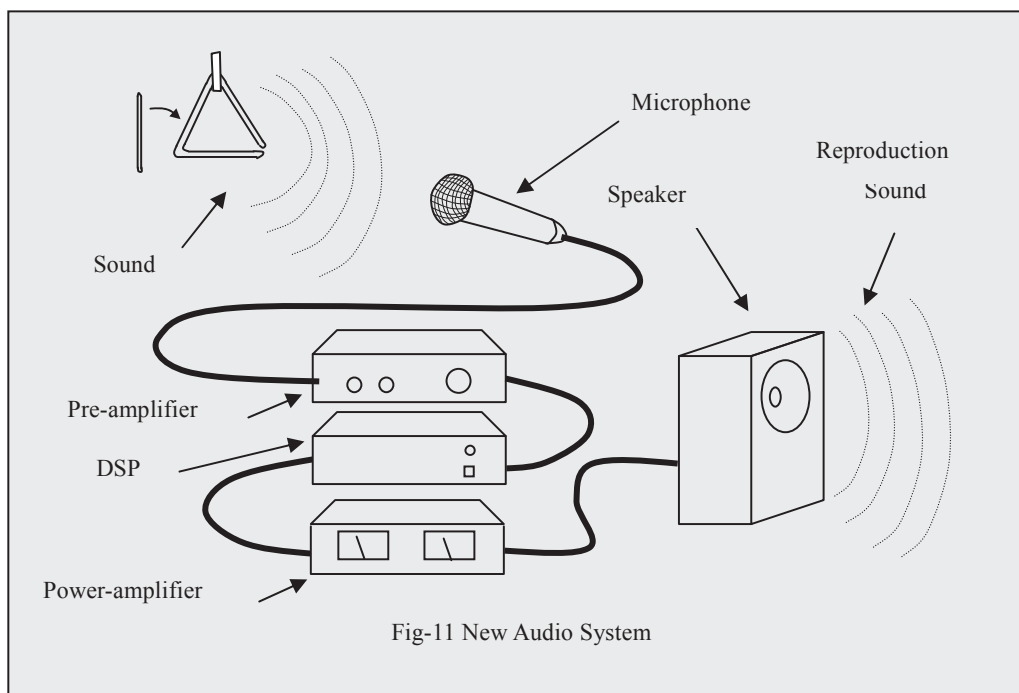


Fig-11 New Audio System

図 11 正しい音の再生システム

従来使用されてきたネットワークを使用することは出来ない。力の変化の信号を扱ってスピーカの振動板を駆動する場合立ち上がり高い周波数成分の信号が生成される。このためネットワークを使用するという考え方自体が誤りで成り立たないことになる。

5. 結論

5.1 結果

音の再生プロセスにおいて、マイクロホンからスピーカにいたる信号の流れを定量的に検証したところ、現在の全ての音の再生システムは、ニュートンの運動の第二法則が適用されておらず力学的に間違った処理を行っている事を発見した。

本来、スピーカの振動板を振動させて音を再生する時は、再生しようとする音の信号から力の変化の信号を計算によって求め、求めた信号を使用してスピーカの振動板を振動させる必要があったが、実際には物体の運動した結果の信号をそのまま増幅してスピーカの振動板を駆動していた。

5.2 結果から導き出される研究目的の結論について

見過ごしているかもしれない重大な問題の有無については、音響再生プロセスを定量的に検証するという方法を実施した結果、力学上間違った処理を行っていたという重大な問題を発見することが出来た。

又、その解決方法として計算例を導き出す事が出来た。この重大な問題が発生した起源は、アレキサンダー・グラハム・ベルが電話機を、トーマス・エジソンが蓄音機を発明した時にまでさかのぼり、その時点から現在にいたるまでの実に約 140 年に渡って誰も指摘をしなかった。

今に至るまでの大部分の期間は、アナログの時代であったことから、この報告にあるような信号処理を行うことは非常に困難であったため、このような問題があることに気が付かなかつたのではないと思われる。

5.3 影響する範囲について

この報告は、ダイナミックマイクロホン、電圧電力増幅器そしてダイナミックスピーカの組み合わせを例にしているが、この組み合わせに限定した報告をしているのではない。理想的なダイナミックマイクロホンと理想的なコンデンサマイクロホンでは、その出力は全く同じであるはずで、どちらも空気が振動した結果である音の信号を検出し出力しているはずである。

又、スピーカにおいてもイオンスピーカのように振動板そのものが無いものもあるが、最終的に空気を振動させなければならず空気自体に質量があるため、この報告のとおり再生しようとする音の信号から力の変化の信号を計算して求め、求めた信号を使用して空気の振動を再現しなければならない。

従ってこの報告は、現在のスピーカを使用して音を再生しようとする装置全てに影響する。

後書き

この報告を単純に過渡応答など諸事項の改善という考え方で捕らえると、この件に関する対応を間違える。あくまで、従来の考え方が間違っていたため、この間違いを正し全く新しい対応をおこなわなければならないという考え方で取り組まなければならない。

従来の音響理論のままであると、価格に比例した性能が期待できず、莫大な投資をしてもはるかに安価なシステムの方がクオリティの高いものがあるなど、混乱した状態を解決することはできない。

この報告によって様々な未解決の課題が解決され、より良いシステムの普及につながると確信している。

この新しい方式の報告内容に続く研究によって多くの成果がすでに得られている。例えば、新しい方式でも使用することになる従来技術において必ず守らなければならない事項の発見、行ってはいけない事項、どうしても譲れないスペックの定義、そして取り組むべき新しい課題などがある、これらに関する具体的な報告は別途新たに発表の機会が与えられることを希望する。

謝辞

この研究に関して現在の音響装置に対する不満を具体的に述べ私の研究の一助となったアドバイスを何度もいただいた日本オーディオ協会会員の小山侑邦氏をはじめ本件に関してご理解ご賛同いただいた方々にお礼申し上げます。

著者

高橋公太 (たかはし こうた)
 コータサウンド 代表
<http://kotasound.com/>

参考文献

- (1) マイクロホンとスピーカ
 実用通信工学叢書 基礎編
 昭和36年7月10日
 電気通信学会刊
- (2) 物理学大辞典
 物理学大辞典編集委員会 編集委員長 牧 二郎
 平成11年3月31日
 丸善株式会社

付録

データ

Δt	Power	Speed (Volt)	Action
1	0	0	0
2	1	1	1
3	1	2	3
4	1	3	6
5	1	4	10
6	1	5	15
7	1	6	21
8	1	7	28
9	1	8	36
10	1	9	45
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
N	.	.	.

- ※1 Δt は、微小時間を示す。
- ※2 Power は、図2の力の変化の信号を示す。
- ※3 Speed は、図4のSpeedに比例した電圧を表す。
- ※4 Action は、図10の現状の振動板の動きを示す。