

0. はじめに

本 HP のロゴ『AR system lab.』にもなっている『AR システム』の AR とは、ニュートン物理学の基本法則である『**作用/反作用の法則**※』(the law of **Action Reaction**) の頭文字をとったものになります。 ※：第三法則とも言う

これは二つのドライバーユニットをタンデム（磁気回路の底部同士を対向）させて一体構造（剛体）とすることで、それぞれに発生した不要な振動（振動板以外から発生した振動：大部分は反作用）を相互に打ち消してしまおうという発想に由来しています。

このアイデアの大元は、江川三郎さんの記事（1977 年）になります。確か構造特許も取られていたと思います。これは双方のユニットが共に音源になるため、指向性が低く音源を特定しにくいサブウーファー領域（100Hz 以下）だから成り立つ方式です。

2008 年に発表された Vivid audio 社の G 1 G I Y A など、同様の考え方（**RCCM**：reaction canceling compliant mount 反作用をキャンセルする理論に裏打ちされたマウント法）を採用した例があります。（図 1：ターンバックルで締め込み剛体化）

これをフルレンジに応用しようとする、2つのユニット同士の音響出力が波長の短い帯域（中、高域）で複雑に干渉して変調を起こすという厄介な問題が発生します。

端的に言えば、1つのユニットからの音響放射だけでなく、他方は不要なので放出させたくないということです。

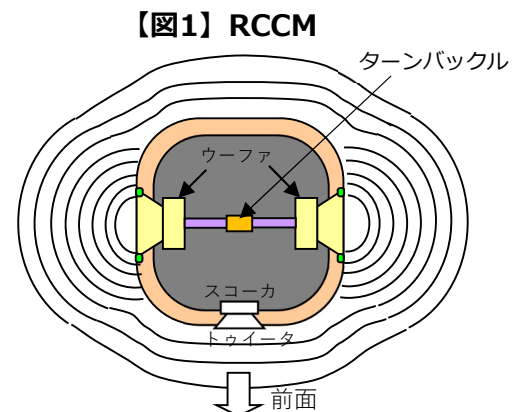
かなり難しい課題なので、今までは誰もトライしなかった・・・と言うより、「一方のユニットが音響出力として有効利用されないのに費用をかけて苦勞するメリットがあるのか？」と誰しも思うでしょう。

単に力学的打ち消しだけであれば、振動板の代わりに同じ質量のおもりを振動系（VC 部分）に付加してやれば実現できて、結果的に音響出力が出てこないので課題が達成できると考えるのが普通だと思います。

では、何故 AR システムではそうしなかったかと言うと、「不要なユニットの背面放射から低域の成分だけを音響的に取り出せないか」と考えたからです。

バスレフの効果（取り出せるエネルギー）を 2 倍にできるのですから「使わないという選択肢は無い」と判断しました。

どうしようもなく NG であれば、上記の「錘」に回帰すればよいと考えます。



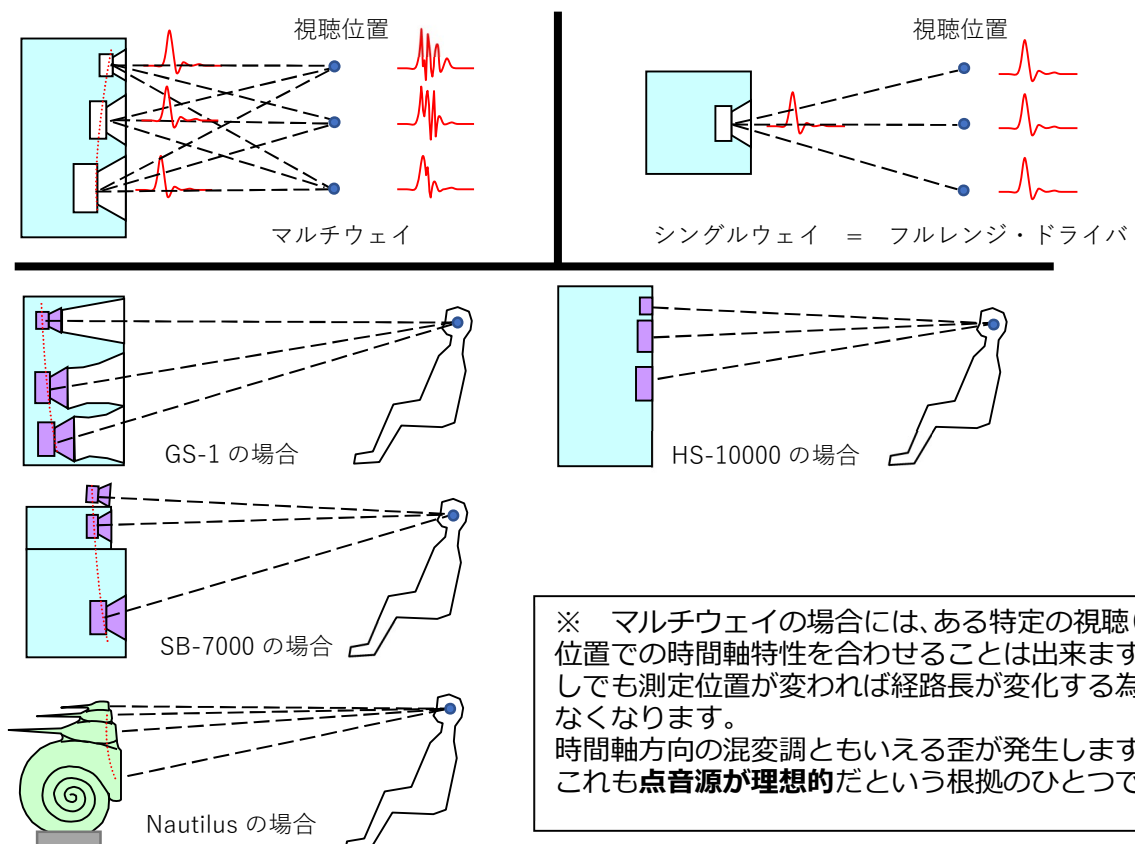
1. 波形再生への取り組み

フルレンジ・ユニットのように、ひとつのドライバーで広帯域再生を狙おうとすると、低音域の再生には振動板面積とストロークが必要になるため口径が大きくなり、必然的に高音域の再生には振動板を薄く（弱く）して分割振動を利用することになります。

結果として振動板には複数の振動モードが重畳して存在することになり、それに起因した歪が発生します。

現在、主流を占める複数のドライバーを使ったマルチウェイ型は、この歪を避けるために周波数帯域をユニット毎に分割して低域はロングストローク、高域はショートストロークに最適化した磁気回路設計とし、それぞれの受け持つ帯域をできる限り分割振動しないように駆動することを狙ったものです。

これはリアルタイムの信号を周波数領域にフーリエ変換&合成した場合（フリケンシードメイン）の最適解といえますが、実際に視聴者が耳にするリアルタイム領域（タイムドメイン）で考えると下図のようにドライバー相互の時間軸特性を揃えるのは難しく^{*}、結果的にインパルス応答も時間差を持ったまま重畳（合成）されることになり、正確な波形再現性を得ることができるのは一定の条件下のみになります。（図1-1の下図）



【図1-1】波形再現性

マルチウェイ型による波形再現へのアプローチは、1975年に松下電器産業（現パナソニック）がテクニクスブランドで発売したSB-7000(Technics7)やオンキヨー社（現 ONKYO）が1983年に発売したGS-1（グランセプターシリーズ：吉井さん開発）など70年代半ばから80年代にかけて全盛期を迎えました。

テクニクスのSB-7000に始まる「リニアフェイズ」シリーズは、各ドライバーの発生した音波が視聴位置に到達するときの合成位相特性にメスを入れたもので、振動板位置を合わせ込むための階段状フォルムが目を引きました。1979年発売のSB-7では抜本的な位相特性改善のためにウーファーとミッドレンジにフラットハニカムを採用し位相ズレの解決を平面波に求めるなど意欲的な取り組みが続きましたが、残念ながら松下電器産業がHiFi事業から撤退することになり、24cm+2.7cm 平面2ウェイ同軸スピーカーユニットを搭載

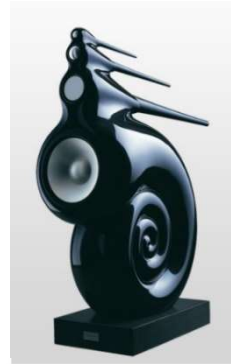


ONKYO GrandSepter GS-1
¥1,000,000(1台, 1984年7月発売)
¥1,200,000(1台, 1990年代頃)

写真は禁転載



SONY APM-6



B&W Nautilus



日立 Lo-D HS-10000

Technics



Technics 7 1975
SB-7000



SB-7



SB-RX70



B&W 800D3

したSB-RX70（1988年発売）を最後にリニアフェイズの流れは継続されませんでした。

平面振動板による同様の取り組みは、1978年に発表された平面5ウェイ+パッシブラジエーターの日立 Lo-D HS-10000、正方形の振動板とその振動モードの節を多点駆動する方式で注目された1981年発売のSONY・ESPLIT APM-6などにも見られ、1980年代を中心に平面スピーカーによるリニアフェイズ全盛の時代を迎えていました。

オンキヨーのGS-1は低域2ドライバー、高域1ドライバーのオールフロントホーン2ウェイ構成でしたが、設計通りの性能を得るための視聴範囲が狭く、マルチウェイの呪縛から逃れる事はできませんでした。

一方、最近の海外製品に目を向けると、Bowers & Wilkins(B&W)社のNautilusを筆頭として最新の800 diamondシリーズに至るまでの流れは、位相特性を重視したリニアフェイズの思想を汲むものと考えてよいでしょう。

2. タイムドメイン理論とは？

「タイムドメイン理論」は、周波数特性の滑らかさや平坦性などを重視する従来の周波数領域（フリクエンスドメイン）における性能中心のアプローチ方法から、位相特性、群遅延特性(dφ/dt)、過渡応答特性などを重視した波形再現性を目指す時間領域(タイムドメイン)での性能に重点を置いた設計へ移行することを提唱するものです。

結論を先に言ってしまうと、タイムドメイン理論が目指すのは「**単一ドライバーの振動系のみが発音源になる ⇒ 点音源**」ということで、その結果、「ユニット間の混変調歪をまねくことなく良好な時間領域応答性を得られる」ことにあります。

ここで特記しなければならないのは、フリクエンスドメイン、タイムドメインそれぞれの領域での考え方を**排他的に扱う(一方を否定する)ものではない**ということです。システムに使用するドライバーは従来のフリクエンスドメインでの性能を十分に満たしていることが必要要件になるし、それを満たした上で、音響システムとして設計する際にはタイムドメインにおける性能を追求していこうというのが基本的なスタンスになります。

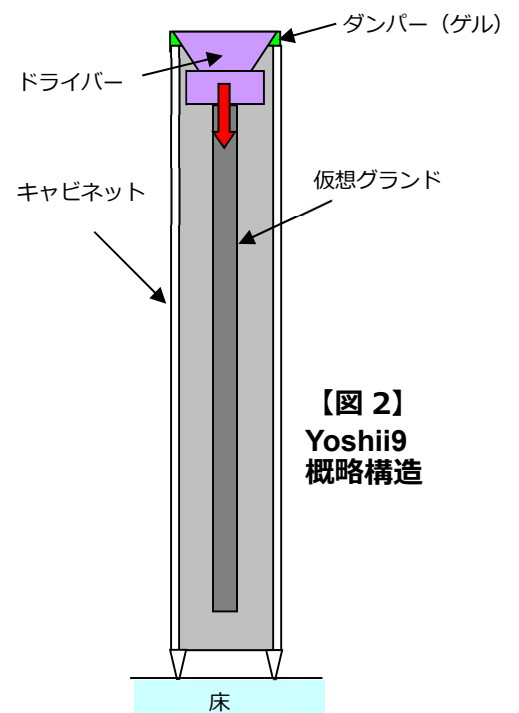
フリクエンスドメインからのアプローチ、タイムドメインからのアプローチ、それぞれに一長一短がある中で、**周波数の平坦性**（音響エネルギーの再現性）を求めるならばマルチウェイ型、**波形再現性**（音場の再現性）を求めるならばシングルウェイ型（フルレンジ単発もしくは群遅延特性を考慮した同軸ユニット）という方向性が出てきます。

波形再現性を求めるタイムドメイン理論の考え方からすると**点音源**に近い構造がベストであり、**最適解はフルレンジ単発**ということになります。低音域をキチンと出そうとすると20cm以上の口径が必要になります。その場合には振動板の質量も大きくなるため、高音域再現性に関しては、どうしても不利になります。

低音域再生を割り切って口径を小さくした場合には、低音域は指向性がブロードなので、スーパーウーファ（モノラルもしくはステレオ）による増強が可能になります。

結論として「理想的なドライバーは小口径フルレンジ単発」という考え方に辿りつきます。

吉井さんが提唱したタイムドメイン理論が話題となってから早くも二十年以上が経ちました。



【図2】
Yoshii9
概略構造

現在、このタイムドメイン理論を取り入れたスピーカー・システムには、Time domain社のyoshii9（図2）や富士通テン社のECLIPSEシリーズ、BauXar社のマーティ101（下写真）などが挙げられます。

- ・ yoshii9 <http://www.timedomain.co.jp/product/yoshii9.html>
- ・ 富士通テン ECLIPSE シリーズ <http://www.eclipse-td.com/>
- ・ BauXar Marty101 <https://www.bauxar.com/Marty101/>

これらに共通しているのは、発音源を点音源に近づけるために『小口径フルレンジ』を採用している点です。

また、振動板のみから音圧を得るための工夫として、キャビネットとドライバーユニットの間にインシュレート構造を採用したり、点音源に近づけるためにドライバーを上向きに取り付ける無指向性構造を採用したりといった特徴があります。



富士通テン ECLIPSE TD712z II



BauXar Marty101

写真は禁転載

3. 反作用キャンセルへのアプローチ

ユニットの振動系が駆動された場合、振動系の質量 m_{dia} と駆動力（ローレンツ力） F との間にはニュートンの第二法則（運動方程式）に従って以下の式（1）が成り立ちます。

$$\dot{F} = m_{dia} \cdot \dot{a}_{adj} \quad \dots (1)$$

詳細は後述しますが、振動系に駆動力が働くことにより、反作用として磁気回路には上式と逆方向で同じ大きさの力が働きます。（ニュートンの第三法則）

これは端的に何を意味しているかという点、磁気回路も動いているという事です。

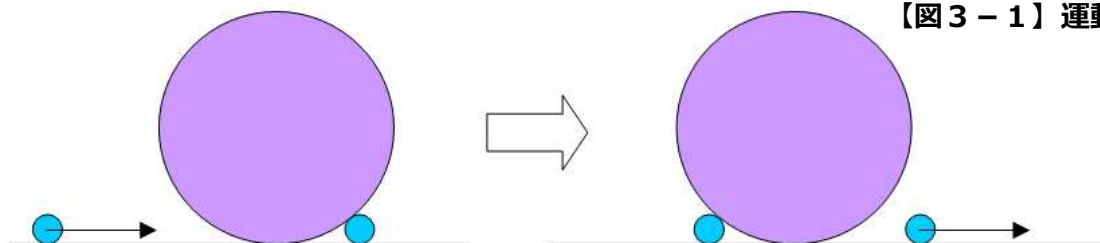
（1）式で磁気回路の質量 m_{mc} （振動系の数十～数百倍）に置き換えると、力の大きさは作用と反作用で同じなので磁気回路に加わる加速度 a_{mc} は数十～数百分の一になります。

$$\text{加速度 } a \text{ は、 } a = dv/dt = d^2x/dt^2 \quad x = \int \int a \, dt$$

と表されます。加速度 a を時間に関して二重積分したものが変位 x になるということです。

これから分かるように、磁気回路の変位量は振動板の変位量に比べて微々たるものになるため、影響など考える必要はないと思われるかもしれませんが、そうではありません。

下図のように小質量球が大質量球に密着している時、別の小質量球が衝突すると、大質量球を介して小質量同士の間で運動エネルギー授受が過不足なく行われ、密着していた小質量球が勢いよく弾き出されるのを経験した方は多いと思います。（エネルギー保存則）



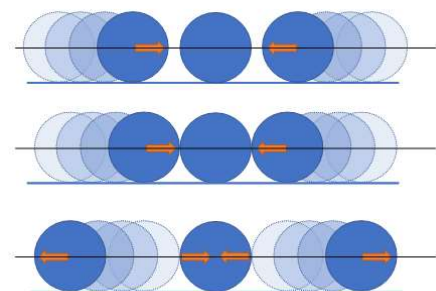
【図3-1】運動量保存則

それぞれの運動ベクトル方向はユニットとは異なりますが、衝突する小質量を「振動系」、大質量を「磁気回路」、接触している別の小質量を「ハウジング」と読み替えれば、運動エネルギーの伝播が理解できると思います。

同様に、左右から同質量の球が同速度（同じスカラー量でベクトルの方向が逆）で近付いて、もう一つの球（中央）に同時に衝突した場合、その球を介して左右の球が運動エネルギーを交換しあって等速で左右に離れていく一方、衝突された球は位置をまったく変えない・・・中央の球ではエネルギーの授受が見かけ上「打ち消された」ということです。

実際には、エネルギーは相互に干渉することなく「すれ違った」ということです。これがARシステムの基本原理になります。

実際には、エネルギーは相互に干渉することなく「すれ違った」ということです。これがARシステムの基本原理になります。



もう一度、式（1）に戻ってみます。

m_{mc} が、より大きくなれば変位量 x_{mc} はより小さくなりますので、磁気回路に大きな質量を付加することで、磁気回路がほとんど動かない（変位 $x_{mc} \doteq 0$ ）と見做すことができます。これは、磁気回路が機械的 GND (= 動作基準: 大地との相対加速度がゼロ) と等価になり、振動系は、ここを基準に動作すると見做せます。

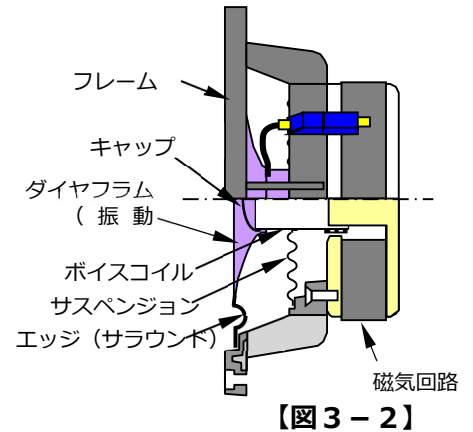
付加する質量、もしくは付加した状態を**仮想 GND** (仮想音響 GND) と呼び、富士通テンの ECLIPSE シリーズでは「グランドアンカー (接地^{いかり} 錨)」と名付けています。

3-1. 反作用キャンセルとアナロジー解析

スピーカー・システムは、アンプからドライバーユニットに供給される電流 (音声信号) を振動 (音響出力 = 音波) に変える電気-音響振動変換器と考える事ができます。

ドライバーユニットの構造 (図3-2) を**慣性質量要素**、**弾性要素**、**減衰要素**で表すと (図3-3) のようになります。

磁気回路は質量が支配的なので、他の要素は省略しています。また、振動板も3つの要素から構成されていますが、簡略化のため振動板、ボイスコイル、ダンパー、エッジを合わせた質量で代表させます。また、ハウジングが質量の大きなキャビネットに取り付けられることを想定して、(図3-3) ではハウジングの質量が GND に接続されることにしています。(ハウジングの振動速度 = 0)



【図3-2】

電磁力変換によって発生する駆動力 (ローレンツ力) F と振動系の質量 m_{dia} のみに注目してみると、ニュートンの第二法則 (運動方程式) により、式 (1) が成り立ちます。

$$\dot{F} = m_{dia} \cdot \dot{a}_{dia} = m_{dia} \cdot d v_{dia} / dt \quad \dots (1)$$

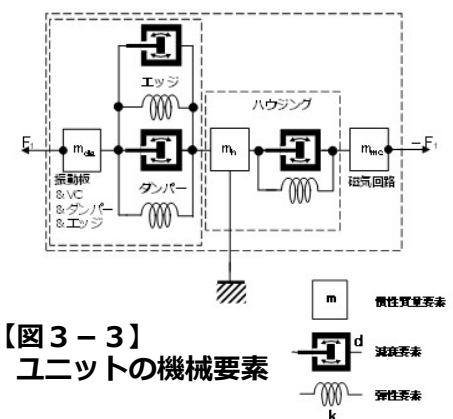
※ m_{dia} は振動系の実効質量 (振動板、ボイスコイル、エッジ、ダンパーと 錦糸線の一部を含む)

v_{dia} は振動系の振動速度 したがって加速度 $a_{dia} = d v_{dia} / dt$

振動系をローレンツ力 F で駆動した場合にはニュートンの第三法則 (作用反作用の法則) も成り立ちますので、磁気回路の質量を m_{mc} とすると、

$$\dot{F} = m_{dia} \cdot d v_{dia} / dt = -m_{mc} \cdot d v_{mc} / dt \quad \dots (2)$$

M は磁気回路の質量 v_{mc} は磁気回路の大地に対する相対速度
 m_{mc} の前の「-」は v_{dia} と v_{mc} の向きが逆であることを示す。



【図3-3】
 ユニットの機械要素

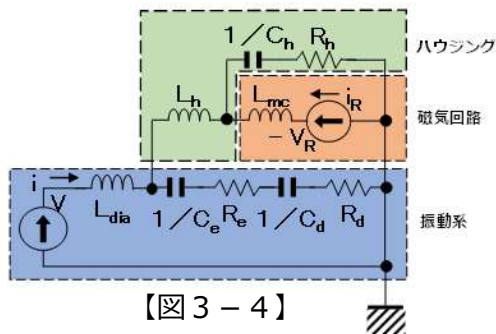
$m_{dia} \ll m_{mc}$ であれば、 $dv_{dia}/dt \gg dv_{mc}/dt$ となり、 $dv_{mc}/dt \rightarrow 0$

この意味するところは、ドライバーの振動板を F で駆動することにより、反作用として磁気回路に発生した力 $-F$ (F と向きが反対でスカラー量は同じ) による加速度は、十分に小さい (結果として振動振幅が小さい) という事です。

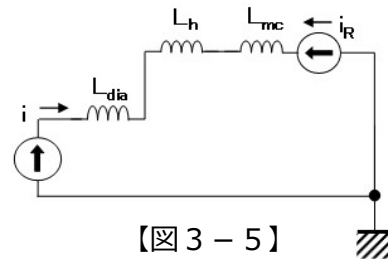
(図3-3) を上記条件にしたがってアナロジー手法 ($F-V$ 変換) により電気回路に変換すると、(図3-4) のようになり、質量のみに注目すると (図3-5) になります^{*}。

ここで L_{dia} と L_h の接合点は電流中性点になり、どちらにも流れません。

駆動速度に対応する i は振動系質量に対応する L_{dia} に流れ、反作用の速度に対応する i_R は L_h 、 L_{mc} の直列接続に流れます。 (※ 低周波では、弾性要素 $1/C$ はオープンと見做す)



【図3-4】



【図3-5】

力の大きさ F が電圧 V に、質量 m がインダクタンス L に、速度 v が電流 i に相当^{*}するため、(1) 式は次のように表わされます。

※ 詳細は拙著 PDF『アナロジー手法による電気系への変換と解析』を参照ください。

$$V = L_{dia} \cdot di/dt \quad \dots (3)$$

L_{dia} は振動系質量に相当するインダクタンス分

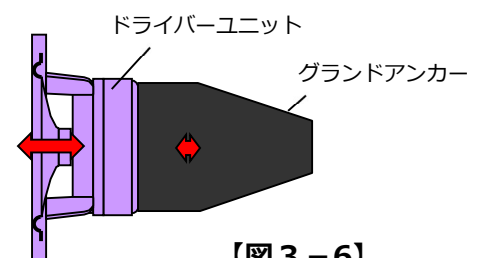
同様に (2) 式は、

$$V = L_{dia} \cdot di/dt = -(L_{mc} + L_h) \cdot di_R/dt = -V_R \quad \dots (4)$$

ECLIPSEシリーズの場合を例にとります。(図3-6)

上記 (図3-3) と異なり、ドライバーユニットの磁気回路が質量 M_{ga} の大きなグランドアンカーに結合していて、グランドアンカーが機械的 GND につながっていると仮定します。

(グランドアンカーの振動速度 = 0)



【図3-6】

上記と同様に電気効果回路に変換すると(図3-7)となり、質量だけに注目すると(図3-8)となります。(低周波でインピーダンスの高い〔 〕内の $1/C$ はオープンと見做す)
作用反作用の平衡条件より、

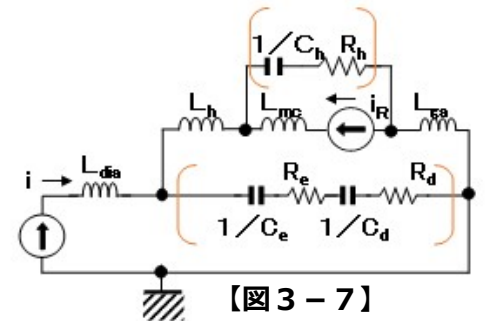
$$V = L_{dia} \cdot di/dt = -L_2 \cdot di_R/dt \quad \dots(5)$$

$L_2 = L_h + L_{mc} + L_{ga}$ 構造インダクタンス(質量)分の累計

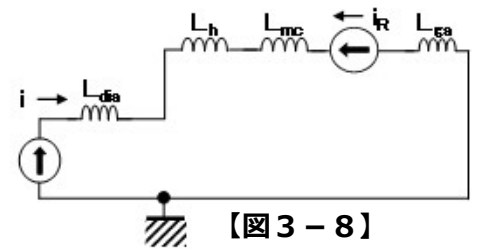
$L_{dia} \ll L_2$ であれば $di_{dia}/dt \gg di_R/dt$ となり、 $di_R/dt \rightarrow 0$

構造形成するハウジング、磁気回路、グランドアンカーは(図3-8)のようにシリーズ接続となり、電気系ではインダクタンス累計となるため、グランドアンカーの質量 L_{ga} が十分に大きければ di_R/dt は ユニット単体の場合より十分小さくなります。

(図3-5)と同様に L_{dia} と L_h の接合点は電流中性点になり、どちらにも流れません。



【図3-7】



【図3-8】

これは、アンプに使われているチョーク入力電源の考え方そのものになります。

大きなチョークを流れる電流は自ら作る磁界により供給が絶たれても流れ続けるよう(di/dt 、 di_R/dt を変化させないよう)にして平滑化します。

ECLIPSEの狙いもここにあり、反作用の運動エネルギー変化のほとんどを L_2 で吸収(運動エネルギーを蓄積)させてしまおうというものです。

これにより、構造形成する部分(ハウジング+磁気回路+グランドアンカー)の加速度による実質変位量は微々たるものとなり、見かけ上、作用=駆動力だけを取り出すことができます。これが**仮想グランド**たる所以です。

ECLIPSEの場合は、グランドアンカーがディフュージョンステイにつながり、さらに制振支持構造~ピラーを経て床に置かれるので、**これらすべての質量が仮想グランドとして機能**します。

ARシステムにも同様の考え方を適用してみます。

(1) 式を2つのドライバーユニットからなる振動系 (図3-9:ここではAR振動系と呼びます) で考えた場合、各々のドライバーユニットに対し、

$$F_1 = m_1 \cdot d v_1 / d t \quad \dots (6)$$

$$F_2 = m_2 \cdot d v_2 / d t \quad \dots (7)$$

全く同じドライバー2個を背中合わせ (タンデム) に結合しているので

$$F_1 = -F_2, m_1 = m_2, v_1 = -v_2 = v$$

となり、

$$F_1 - F_2 = m \cdot d v_1 / d t + m \cdot d v_2 / d t = m (d v_1 / d t + d v_2 / d t)$$

$$v_1 = -v_2 = v \text{ より}$$

$$F_1 - F_2 = m (d v / d t - d v / d t) = 0 \quad \dots (8)$$

(8) 式は各々のドライバーユニットにより発生した力が相互に打ち消されて0になるということを示しています。

ECLIPSEの時と同様に、(8) 式を電気系に置き換えて考えると、

$$L (d i_1 / d t + d i_2 / d t) = L (d i / d t - d i / d t) = 0 \quad \dots (9)$$

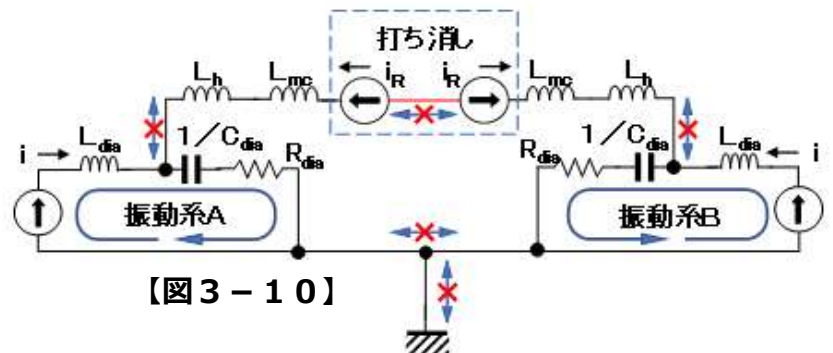
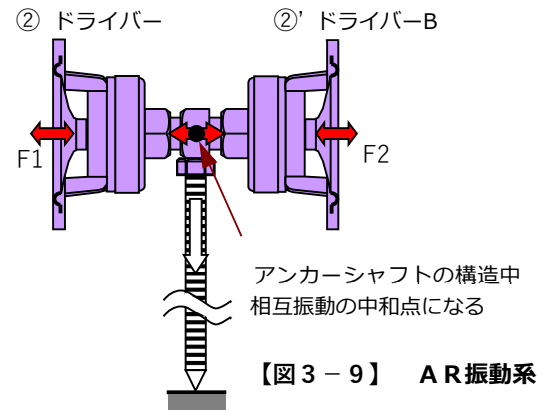
(5) 式と(9) 式の違いは、電流変化 $d i / d t$ が「0に近い」か「0に等しい」かの違いに見えますが、意味するものは、ARシステムの場合には、『質量 (インダクタンス相当) の大小に因らず (9) 式が実現される』点が大きなメリットになります。

この点が重要で、2つのユニット間で反作用による電流変化 $d i / d t$ が打ち消されるので、『振動中和点』から大地 (床) までに入っている構成要素 (後述の支持シャフトなど) の機械インピーダンスが高くても、その影響を無視することができます。(図3-10参照)

「青矢印に赤いXの入っている表記が為されている部分」には電流変化が生じないということです。

結果的に振動系の動作が他の要素の影響を受けにくくなります。

(振動系のループで収束する)

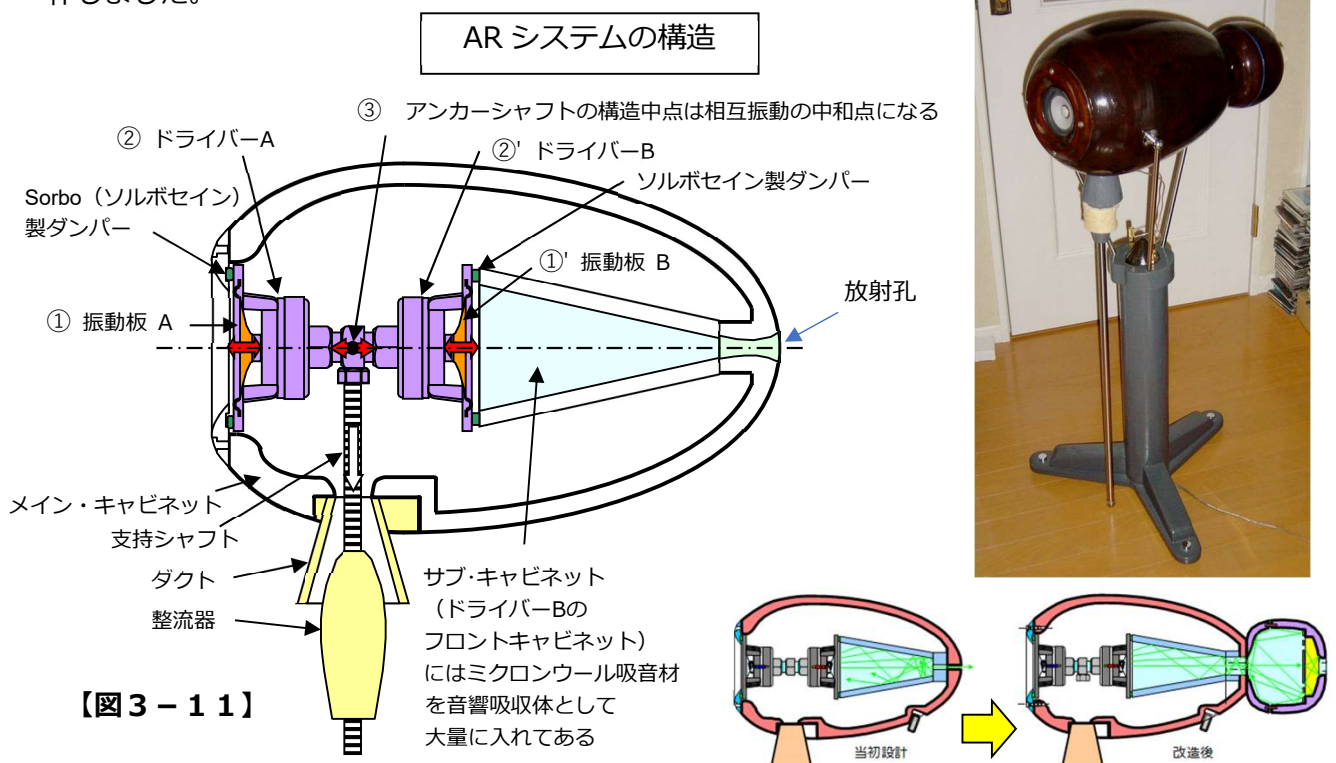


3. 2 ARシステムを実現するための問題点（課題）とその解決策

上述のようにARシステムは2つのドライバーペアを保持する構造としては理想的なものといえますが、その実現にあたってはいくつかの問題が立ちまわります。

第一に、音響出力を提供するドライバーAと対になるドライバーB（図3-9の②'）の正面への音響出力が不要（邪魔）だということです。言い換えれば、**ドライバーAの正面音響出力のみを有効に使いたい**のです。従って「いかにして不要なドライバーBの音圧を無効にするか」が重要課題になります。

解決策として（図3-11）に示すキャビネット構造を考案し、検証用にAR-1として製作しました。



ドライバーBの正面音響出力（不要な音響エネルギー）は円錐形の空間『サブ・キャビネット（テーパード・チューブ）』に向かって放射されます。内部にミクロンウールなどの吸音材を充填しておけば、高音域の音響エネルギーは熱エネルギーに変換されます。

更に壁面反射が直接ユニット振動板側に向かわないようにテーパー形状としています。

音圧は細いダクトを通ることで更にローパスされ、キャビネット後方より外界に放射されます。音響出力として完全に無視できるレベルではありませんが、周囲の環境（後方壁面との距離）で影響を軽減できます。

この音圧の影響を出来る限り排除するためには、キャビネット背面から壁までの距離を十分にとることが有効です。また、背面の壁（放射孔の真後ろ）を吸音材で覆うなども有効になります。

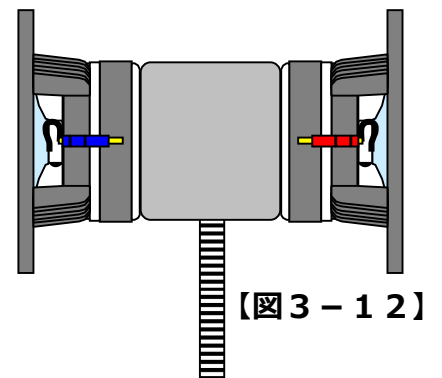
完全に排除するには複雑なサイレンサー構造が必要になりますが、そこまでは求めない事としました。(改造型ではサイレンサー構造を追加：図3-11の下段 球状のもの)

上記提案(図3-11)では、サブ・キャビネット内部の音圧とメイン・キャビネット内部の音圧は構造体(テーパード・チューブ)で分離されていて、干渉することはありません。

この構造のもう一つの問題点はドライバーA(図3-11の②)の正面が開放空間であるのに対し、ドライバーB(図3-11の②')の正面がサブ・キャビネット内部の限られた空間になっているため、それぞれのドライバーに対して音響負荷となる振動板前面の空間容量が持つスチフネスが異なり、動作上アンバランスが生じてしまうことです。

サブ・キャビネット内の空気はドライバーBの振動板だけを制動するバネとして働く(大きなスチフネスを持つ)ことになるので、対になるドライバーA、Bの振動板(図2-11の①および①')のキャビネットに実装されたときの共振周波数 f_{cA} 、 f_{cB} は同じ値にならず、更にそれぞれのQ値も異なることになります。(ドライバーAに対しドライバーBの f_c が高くなり Q_c は低くなる)

元々、対になるドライバーの f_0 や Q_0 には個体差が多かれ少なかれ存在するので、完全な打ち消しが実現できないのは想定内ですが、分かっているで看過するのも気になります。



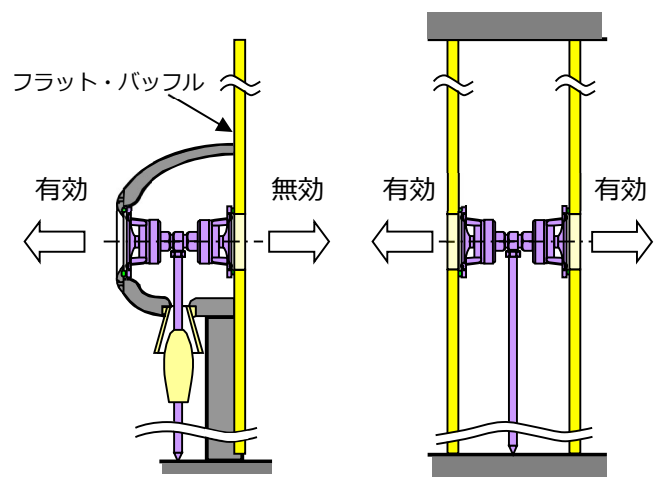
【図3-12】

対処療法としては、各々のドライバーを接合しているアンカーシャフトの質量を、富士通テン社のグラウンドアンカーのように大きくすることで影響を吸収できます。「質量の大小によらず実現できる」というARシステムのメリットが大きくスポイルされることになりませんが仕方ありません。(図3-12)

理想的には、サブ・キャビネットが大きな空間(開放空間)であれば良いのですが、それを実現するためには音圧の回りこみ防止用に平面バッフルのような大掛かりな仕切り構造(または間仕切り)が発生してしまい、小型システムでは実現できなくなります。

逆手にとって、(図3-13)右の例のような構造とすることにより、ムービーシアターなどでは二つの視聴ルームに同じ条件の音響を提供することができます。

この点については今後の課題にします。



【図3-13】

3. 3 エンジンの支持方法とその安定性

キャビネット構造体（エンクロージャ）は、支柱により保持されていて、エンジン（2つのユニットとアンカーシャフトなどから成る）と隔離されたます。

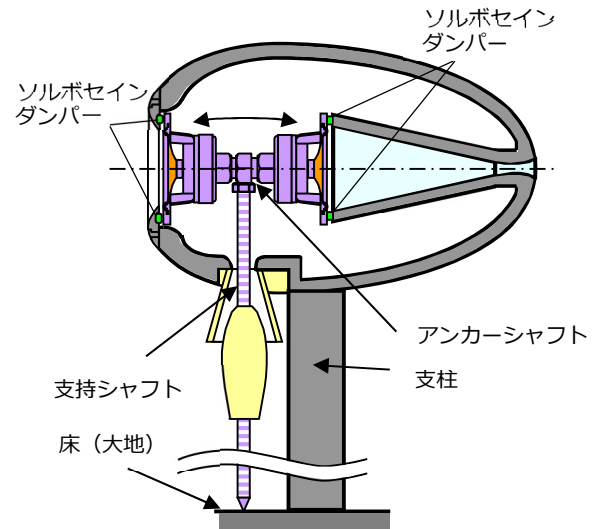
（図3-14）、（図3-15）に示すように、エンジンとキャビネット構造体の間には振動遮断および気密性を目的としたソルボセイン製のリング状ダンパー（緩衝リング）を挟んであります。

AR振動系では、対になるドライバーの接合部分（アンカー・シャフト）の構造中点が『振動中和点』となるため、ここからT字型に支持シャフトを下ろし、大地（床）に接地する構造になっています。

（図3-10）で示したように、振動中和点と床の間にある支持シャフトの影響は殆んど無視できますが、内部音圧によるシャフトの共振が想定できるので防振対策は十分に行いました。

（図3-14）に示すように、エンジンは支持シャフトの上で『やじろべえ』のようにバランスを取っている状態で、前後に挟まれたソルボセインの反発力だけで支えられています。（ソルボセインが押されて潰されるほど圧力をかけているのではなく、シャフトが倒れないよう単に挟んでいるだけです）

従って、エネルギー的には静的エントロピーが極大の安定状態と言えます。（図3-15）

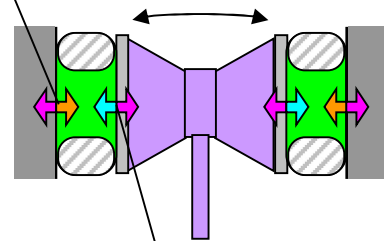


【図3-14】

エントロピー増大の法則：

元々、エントロピーは熱力学第二法則の不可逆性を表わすために導入されたものですが、統計的な乱雑さ（自由度）を表わすのにも使います。
状態の変化は常に乱雑な（エントロピーが増大する）方向に向かい、極大点で平衡するという考え方です。
「車に荷物を載せると車体が沈んで、ある車高で安定する」、
「熱湯を放置すると室温と同じになる」などはエントロピー極大で安定している状態です。

キャビネットとソルボセインの間で力のバランスが取れている（力はソルボセインが殆んど変形しないほど小さい）



ARシステムのフレームとソルボセインの間で力のバランスが取れている（力はソルボセインが殆んど変形しないほど小さい）

上記のように『振動中和点』では動的にも振動が打ち消された状態なので、エントロピーは極大（平衡状態）と言えます。

これが何を意味するかというと『力がどこにも集中しない（応力ゼロ）』という事に等しく、言い換えれば『振動伝達経路が集中することなく音響歪（混変調歪）が発生しにくい状態』という事になります。

【図3-15】

実際に試作機 AR-1 を音楽再生した状態でキャビネット（エンクロージャ）の表面に耳をつけて聞いてみると、軽くて鳴きやすい針葉樹合板の木製であるにもかかわらず、それ自体が鳴っているのではなく、キャビネット内部で鳴っているように聞こえ、ドライバーのフレームを介してキャビネットに伝わってくる感じはしません。

実験的に通常のキャビネット取り付け構造を比較再現するために、ドライバー A だけを試作サブバッフルを介してキャビネットに固定した状態で音楽再生してみましたが、音の伝わるレベルが格段に違い、例えると『骨伝導の音』を聞いているようで別物です。

試聴位置での再生音は、一番大事な中域の見通しが悪くなり、音場が狭くなった感じ（音がキャビネットに纏わり付く）になります。

現代 SP システム設計の常識である『伝わってきた振動をキャビネットの質量と剛性で押さえ込む』を採用するのか、それとも ECLIPSE や AR システムの『応力を分散して、伝わってこないようにする』を採用するのか、の違いということです。

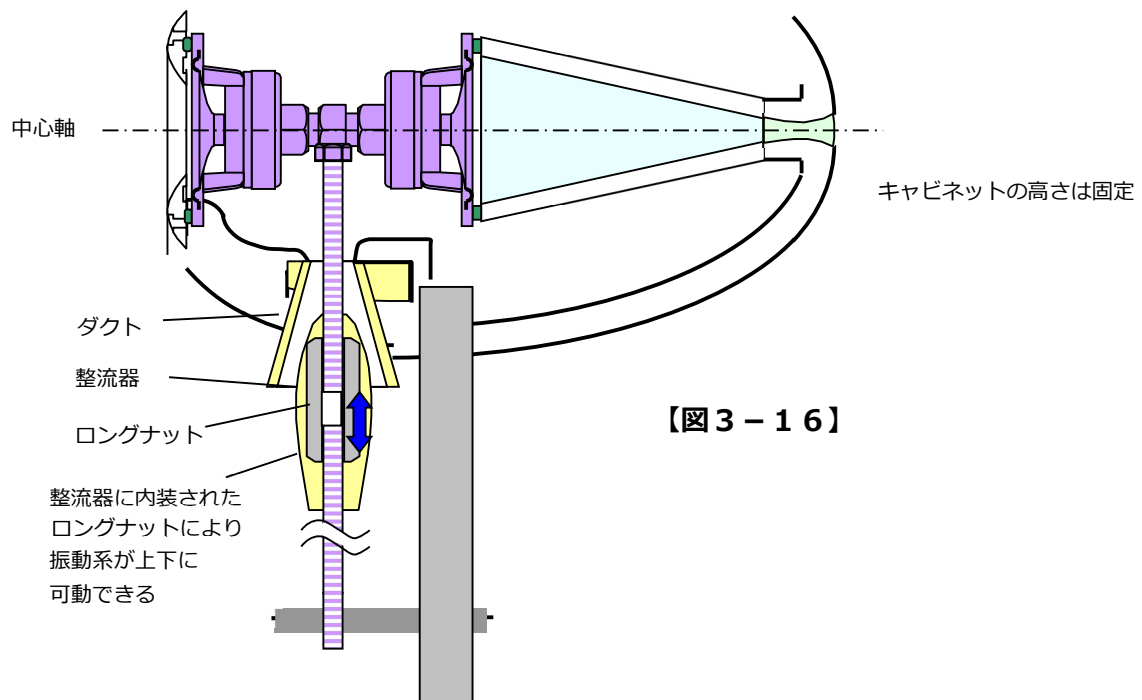
AR-1 のキャビネット構造強度を上げてやれば、混変調歪は更に減少すると思われれます。

混変調歪：

元々、電波受信の際に使われる用語で、近接した放送局の信号が復調回路の非直線性により相互の真信号の通倍(整数倍以外に $1/2$ 、 $1/3$ ・・・も含む)周波数に偽信号が生じる歪のこと。

オーディオの世界では、非直線性もしくは定在波や材料の共振など複数の二次要因で付加されてしまう周波数成分（本来の信号には無いので歪になります）をさします。

エンジンの構造中心軸の床に対する高さ調整は、整流器の部分で微調整ができるような構造になっています。(図 3 - 1 6)



キャビネットの構造中心軸とエンジンの構造中心軸の高さをキチンと合わせないと、介在物であるソルボセインに応力歪が常に加わることになります。(図3-17)

ソルボセインは内部損失の大きな材料ですが、構造中心の高さが合っていないと内部に**応力歪**が発生し、結果としてキャビネットとドライバーのフレーム(振動板のエッジが直接固定されている)との**結合度**が上がってしまい、キャビネットに不要な(歪んだ)振動が伝わります。

これはドライバーユニットをフローティングする構造を採用したスピーカー・システム全般に言えることで、ユニットの自重(重力)によってダンパーには常に大きな**応力歪**が発生し、**キャビネットとの結合度が上がる**ことにより**思ったほどの振動遮断が期待出来ない**場合が多々あります。**重力のキャンセル**も重要な課題になります。

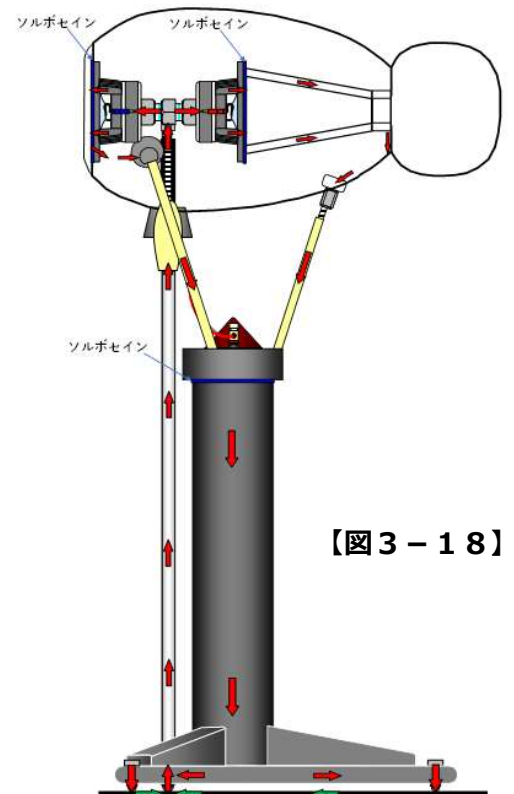
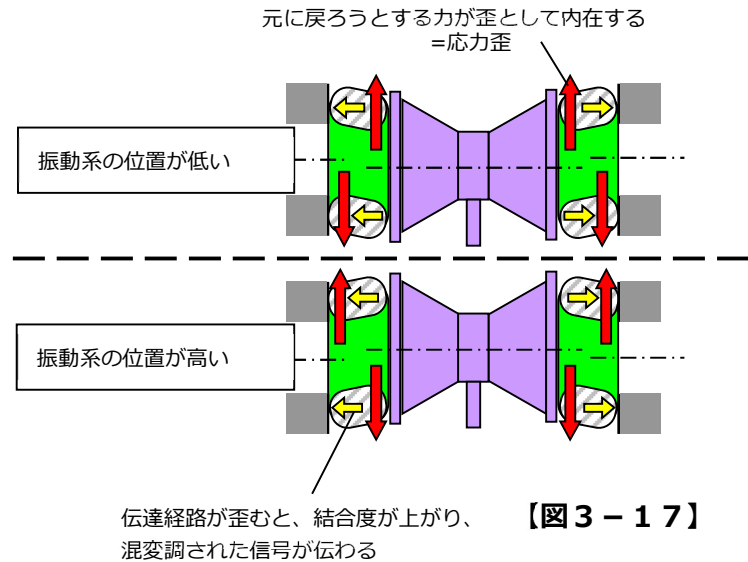
前述のように、ARシステムのエンジン部分は床面に対し『やじろべえ』のようにバランスを取って保持されているので、高さ方向の位置調整さえ行えば自重の影響は考えなくて済みます。

床面の強度が取れない(床が完全な剛体 **GND** と見做せない: 図3-18の緑色矢印が存在する)場合には、エンジンからシャフト経由で床に伝わる経路と、キャビネットから支柱経由で床に伝わる経路の2つがつながってしまい、何らかの理由(上記のエンジンとキャビネットとの結合など)でキャビネットに歪が発生したときに、エンジンにフィードバックされることになります。

その経路を絶つために支柱とキャビネットとの間に緩衝構造を入れることが有効になることがあります。(図3-18中央部のソルボセイン)

上記高さ調整不良によるソルボセインでの結合は致命的ですが、床が完全な剛体 **GND** であれば、エネルギーが伝わる事が無く、大きな一巡ループの形成だけは防げます。

そういった意味でも、**床は大事なアイテム**になります。
せめてスピーカー・システムを置く一部分だけでも質量が大きく硬いバルク(塊)のようにすることをお勧めします。
コンクリート敷石の上に5mm厚くらいの鉄板を敷きこむのがお勧めです。もちろんセメントで一体化します。



3-4 その他の特徴と課題

エンジン支持シャフトがキャビネット構造体を貫く部分にダクト構造があります。(図3-14、16、18)と言うよりエンジン支持シャフトと干渉しないために必然的に出来てしまうのですが、これによりバスレフ・タイプの低音補強を行います。

0章でも記しましたが、メイン・キャビネット内部には各々のドライバーの振動板による背面音圧が放射されているため、これを利用します。振動板相当容量 Vas (スチフネスに相当) はドライバー二台分になります。

ダクト断面積の微調整は、整流器 (turbulence rectifier) の上下移動機構により行う事が出来ませんが、ダクトはどちらかというバスレフレックスの効果を期待するよりもキャビネット内部の空気スチフネス変動を緩和するためのもの (= エア抜き) と考えるほうが適切かもしれません。

後方放射音圧は上記のようにかなり高くなるので、**音漏れによる歪**の問題が付きまといませんが、ダクトが90°下向きなのと出口の工夫である程度は防げると想定しています。

⇒ 実際には、短いダクトでは中音域の漏れが非常に多く、吸音材をダクト出口や整流器に巻き付けるなどの対策を施しましたが、聴感上の影響 (中域の歪感が大きい) がかなり残りました。短いダクトという形状の限界です。

今後の課題としては順位の高いものと捉えて対策を考えていきます。