

# バスレフ型スピーカーシステムの力学(1)

## バスレフ型スピーカーシステムの分類

S. Suzuki

2008年5月24日

### 1. はじめに

バスレフ型スピーカーシステムは、低音を簡単に増幅する方法として、従来から広く用いられている、最も優れた方式である。しかしながら通常のシングルバスレフ型以外は、ダブルバスレフ型が一部のアマチュアの間で使用されている以外は、あまり普及していない。

ダブルバスレフ型でさえもあまり普及していない理由は、システムが比較的大型になること、及び、あまり研究されてこなかったことになるのではないだろうか。長岡も、ダブルバスレフ方式については、"正確な動作解析も理論も出来ていない"と述べている。音の良し悪しを含めた評価としては長岡の記述の通りであるが、ダブルバスレフの力学的等価モデルは、明確であり、動作の解析は容易である。しかし、ダブルバスレフ型は難しい、と信じて疑わない人が多かったのではなかろうか。

バスレフ型スピーカーシステムは、動作が単純で、効率の良い優れたシステムでありながら、深く研究されてこなかったのが実情ではないだろうか。そこで、バスレフ型とその発展型の理論と計算方法についてまとめることにした。

### 2. バスレフ型スピーカーシステムの分類

バスレフ型スピーカーシステムの原型は、Helmholtzの共鳴箱(Cavity Resonator)である。この理論については、物理学の教科書類に解説されているものであり、空気ばねを構成するキャビネットに中空ダクトを設けると、ダクトの中の空気が一体の質量として振動系を構成し、その結果、固有振動が得られるというものである。詳細は、筆者の、"並列配置小部屋構造型(MCAP)スピーカーシステムの固有振動を求める計算式"の中にも紹介している。

バスレフ型スピーカーシステムは、質点と空気ばねの組合せで構成されるシステムなので、その組合せは無限にあるが、いったん系統的に分類してしまえば、運動方程式を立てることができ、動作を解析することができる。

原型となるシングルバスレフについてさえ、あまり研究されていないので、システムの分類方法も定まっていない。このため、ここではTable1のように分類する。

Table1 バスレフ型スピーカーシステムの分類

分類	概要	備考
シングルバスレフ型	空気室およびダクトが夫々1つのシステム	Fig.1
直列配置型	ダブルバスレフ型など、複数の空気室を、ダクトで直列に接続したシステム	Fig.2 - Fig.3
並列配置型	主となる空気室に対して複数のサブ空気室を並列に接続したシステム	Fig.4 並列配置小部屋構造型(MCAP)は、筆者による開発
相互接続型システム	複数の空気室を任意に接続したシステム	Fig.5 未開発のシステム

ウェブで調査した限りでは、直列配置バスレフ型についても、適用例は3連までであり、実質的には、2連（ダブルバスレフ）が、限界となっている。4連バスレフは、筆者が試作したものがあるが、良い効果は上げることができなかった。また、MCAPを含む並列配置型や、相互接続型は、動作の解析どころか、その概念さえも存在しなかった。

Table1 に示した夫々のシステムは、どれも動作を運動方程式で記述することが可能であり、このため、設計も可能なものである。

## 2.1 バスレフ型システムの原型、および、直列配置型多連システム

最初に、原型及び直列配置型のシステムの構造を、Fig.1～Fig.3に示す。これらの図で、 $k$ となっているものは、ばねであり、円状のものは、空気バネ、ぎざぎざのものは、スピーカードライバーのサスペンションを意味する。また、●は、質点を表し、 $x$ は質点の変位を表している。変位は矢印を正の方向と定義する。また、質点に加えられている外力を  $f(t)$  とする。

Fig.2 は、2連のバスレフ型である。これは、ダブルバスレフとして知られる構造である。この構造は、図が示す通り単純なものであり、設計法が確立されてしまえば普及する可能性がある。Fig.3 は、多連のバスレフ型システムで、空気室を直列に並べたものである。

Fig.2以降では、スピーカードライバーを  $k_0$  の空気室に取り付けているが、これは、必要条件ではなく、どこに付けても構わない。キャビネットの固有振動としては、スピーカードライバーの位置には、関係がないが、アンプから加振する強制振動のときは、動作が異なるので、運動方程式を修正しなければならない。

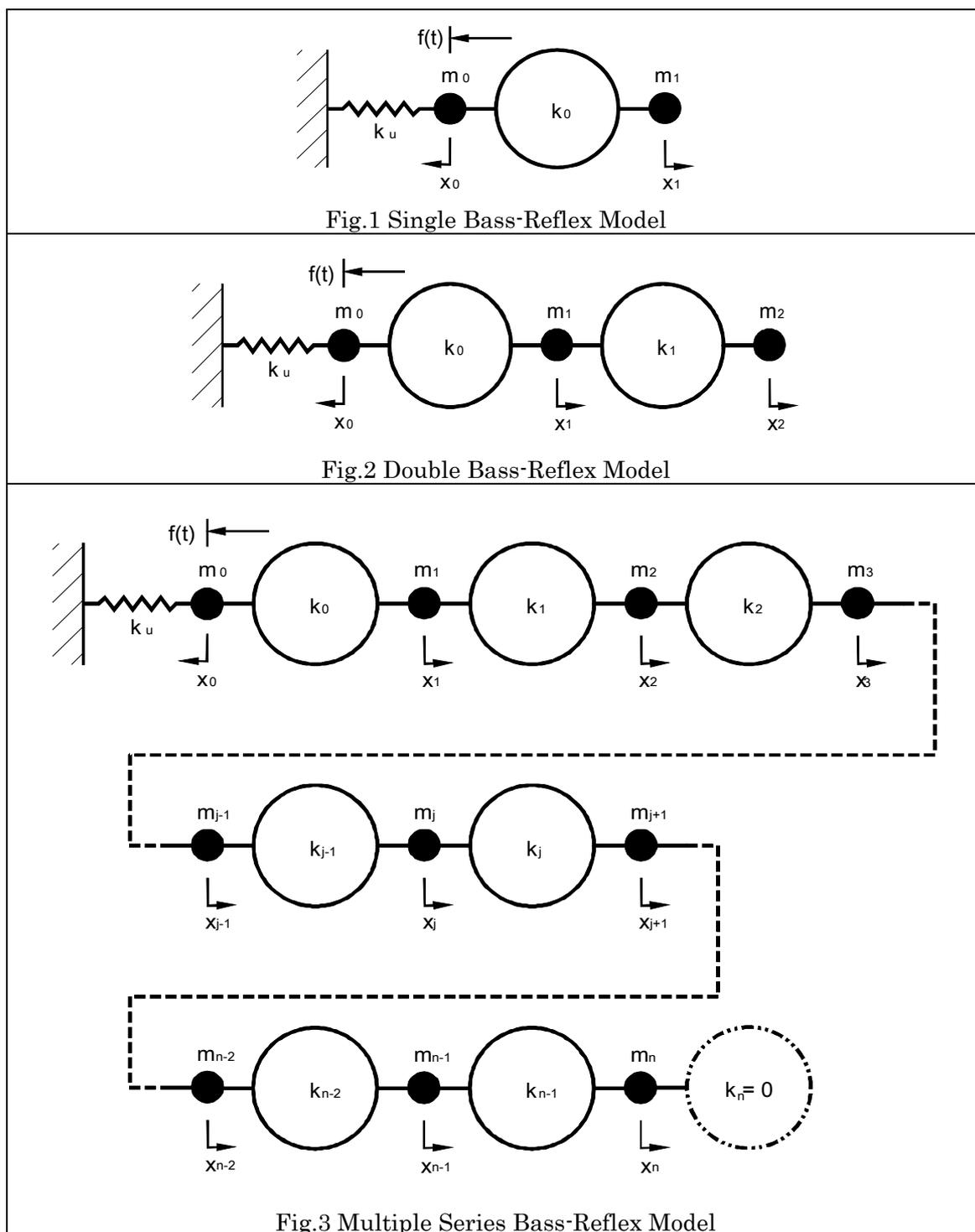


Fig.3 は、 $n$  連の直列配置型バスレフシステムの一般構造であり、複雑なようであるが、 $n$  連の運動方程式は、2 連の式に 3 連目以降を継ぎ足してゆくだけなので、比較的単純で、動作の解析は容易である。この場合、 $n$  番目の空気室はないが、これは、設置した部屋であり、通常はスピーカーシステムの容量と比較して十分に大きいので、ばね定数はゼロとする。

バスレフ型スピーカーシステムの力学

夫々のシステムの、運動方程式を、Table2 に示す。また、夫々の記号については、Table3 に示す。原型となるシングルバスレフ型であっても、スピーカードライバーの質点を加えると振動の自由度が 2 となり、式が多少複雑になる。

Table2 直列配置バスレフ型システムの運動方程式

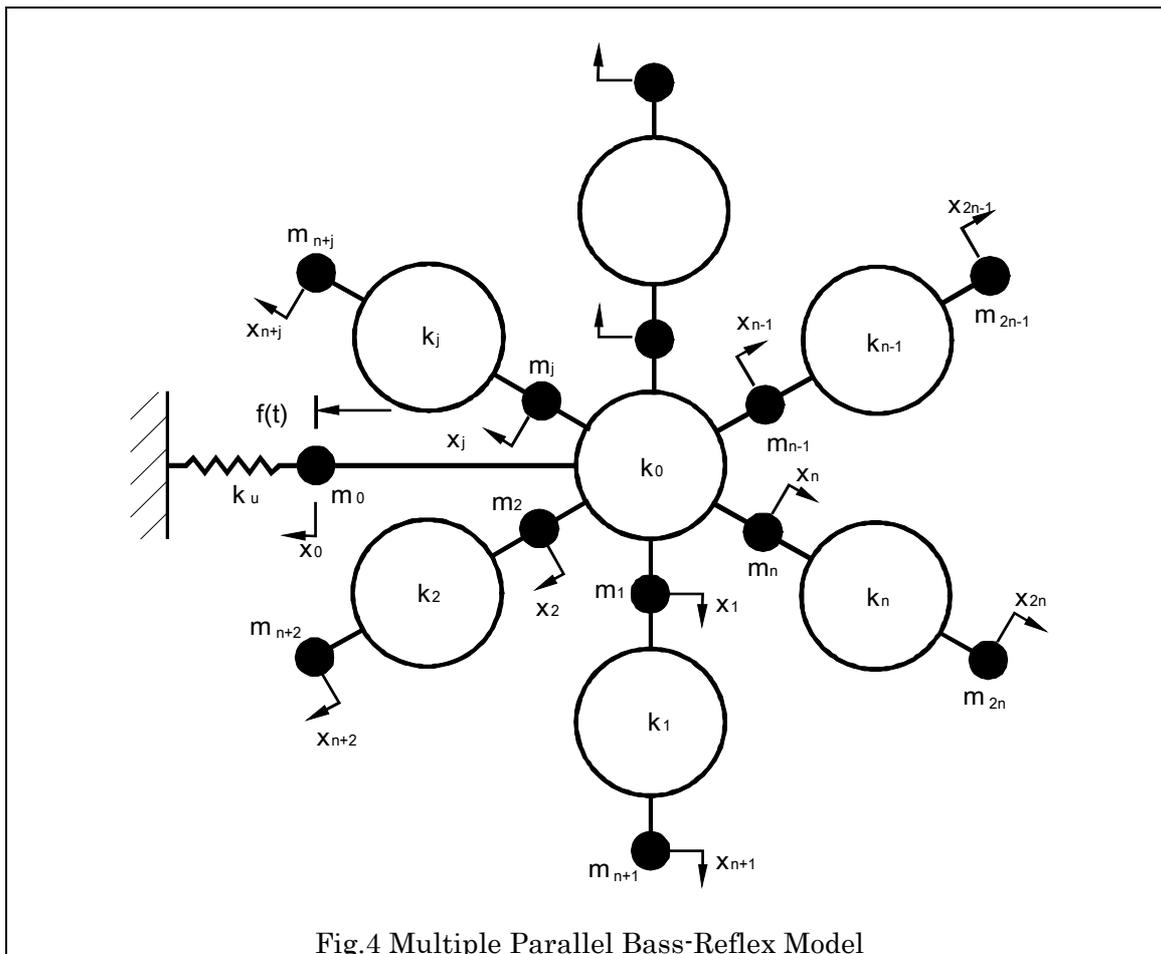
<p>Single Bass-Reflex</p> $\begin{cases} m_0\ddot{x}_0 + (k_u + k_0)x_0 + k_0r_1x_1 = f(t) \\ m_1\ddot{x}_1 + k_0r_1x_0 + k_0r_1^2x_1 = 0 \end{cases}$
<p>Double Bass-Reflex</p> $\begin{cases} m_0\ddot{x}_0 + (k_u + k_0)x_0 + k_0r_1x_1 = f(t) \\ m_1\ddot{x}_1 + k_0r_1x_0 + (k_0 + k_1)r_1^2x_1 - k_1r_1r_2x_2 = 0 \\ m_2\ddot{x}_2 - k_1r_1r_2x_1 + k_1r_2^2x_2 = 0 \end{cases}$
<p>Multiple Series Bass-Reflex</p> $\begin{cases} m_0\ddot{x}_0 + (k_u + k_0)x_0 + k_0r_1x_1 = f(t) \\ m_1\ddot{x}_1 + k_0r_1x_0 + (k_0 + k_1)r_1^2x_1 - k_1r_1r_2x_2 = 0 \\ m_2\ddot{x}_2 - k_1r_1r_2x_1 + (k_1 + k_2)r_2^2x_2 - k_2r_2r_3x_3 = 0 \\ \dots \\ m_j\ddot{x}_j - k_{j-1}r_{j-1}x_{j-1} + (k_{j-1} + k_j)r_j^2x_j - k_jr_jr_{j+1}x_{j+1} = 0 \\ \dots \\ m_{n-1}\ddot{x}_{n-1} - k_{n-2}r_{n-2}x_{n-1} + (k_{n-2} + k_{n-1})r_{n-1}^2x_{n-1} - k_{n-1}r_{n-1}r_nx_n = 0 \\ m_n\ddot{x}_n - k_{n-1}r_{n-1}r_nx_{n-1} + (k_{n-1} + k_n)r_n^2x_n = 0 \end{cases}$

Table3 各記号の定義

記号	定義	備考
$a_0$	基準とする面積[m <sup>2</sup> ]	スピーカードライバーの公称振動板面積とする
$a_j$	ダクトの断面積[m <sup>2</sup> ]	
$r_j$	基準とする面積に対するダクトの断面積の比	$r_j = \frac{a_j}{a_0}$
$m_j$	振動系の質量[kg]	ダクトについては、 $m_j = \rho \cdot a_j \cdot l_j$
$\rho$	空気の密度[kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho = 1.2$ [kg/m <sup>3</sup> ]
$l_j$	ダクトの有効長[m]	
$k_j$	基準面積に対する各空気室のばね定数[N/m]	$k_j = \frac{a_0^2 P}{V_j}$
$P$	大気圧[Pa]	$P = 101,300$ [Pa]
$V_j$	各空気室の容積[m <sup>3</sup> ]	

2.2 並列配置型バスレフシステム

並列配置型のバスレフシステムは、筆者が開発するまでどこにもなかったシステムなので、この型の典型例を、"並列配置小部屋構造型(MCAP)スピーカーシステム"と命名した。これは、空気室が、並列に配置された構造であり、その典型は、Fig.4 に示す構造である。Fig.4では、振動板と並列に配置された空気室  $n$  個と  $2n$  本のダクトが固有振動を構成する。



並列配置型バスレフシステムの運動方程式を Table4 に示す。

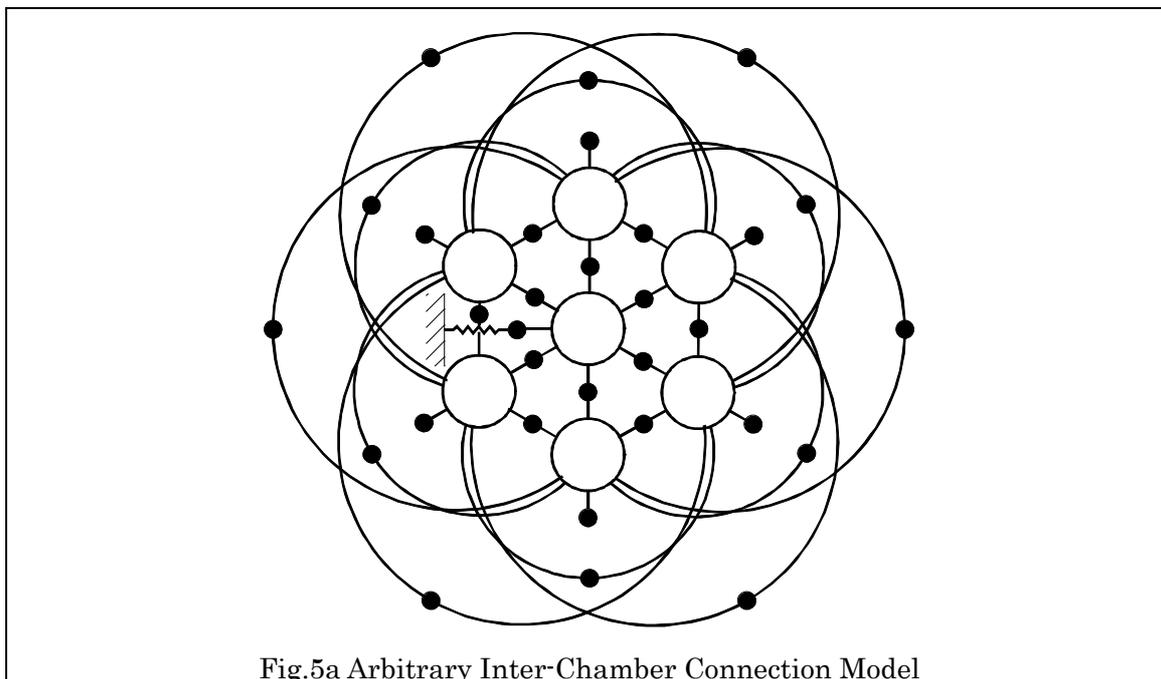
Table4 並列配置バスレフ型システムの運動方程式

Multiple Parallel Bass-Reflex Model

$$\begin{cases} m_0 \frac{d^2 x_0}{dt^2} + (k_u + k_0 r_0^2) x_0 + k_0 \sum_{i=1}^N r_0 r_i x_i = f(t) \\ m_j \frac{d^2 x_j}{dt^2} + k_0 r_j \sum_{i=0}^N r_i x_i + k_j r_j (r_j x_j - r_{j+N} x_{j+N}) = 0 \\ m_{j+N} \frac{d^2 x_{j+N}}{dt^2} - k_j r_{j+N} (r_j x_j - r_{j+N} x_{j+N}) = 0 \end{cases}$$

2.3 相互接続型システム

相互接続型システムは、並列に接続された複数の空気室を相互に接続するダクトを持つシステムであり、一般的には Fig.5a のように表される。Fig.5b のように、直列配置型の隣り合わない空気室をダクトで接続しても良い。Fig.5a の構造で最も単純な構造は、Fig.5c のようになる。これは、並列配置小部屋構造型(MCAP)で副空気室を 2 としたときの夫々を接続したものである。



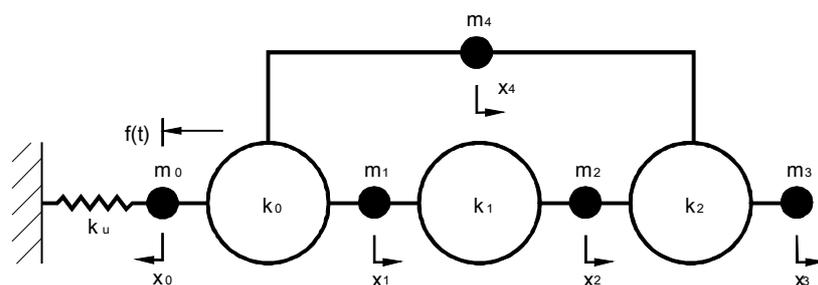


Fig.5b Series Inter-Chamber Connection Model

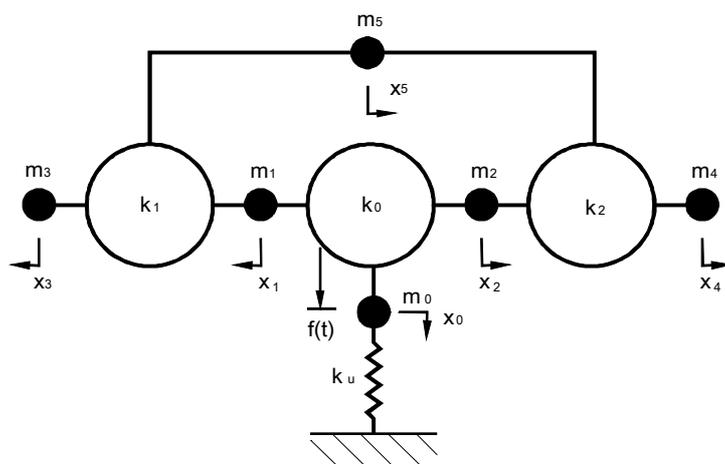


Fig.5c Parallel Inter-Chamber Connection Model

相互接続型バスレフシステムは、質点の数が多いため、固有振動数を多く持たせることができるが、構造が複雑なため、運動方程式の記述も複雑になる。また、相互接続のダクトの振動の位相差によって、固有振動を却って弱くする可能性があり、利点のある方式であるかは分からない。例えば、並列接続の空気室が  $n$  個ある場合、相互接続のダクトは最大、 $nC2$  本となる。勿論、全てを接続する必要はないが、最良の設計を発見しにくいので、ここでは、詳細を省略する。

以下次号に続く

<sup>i</sup> 長岡鉄男、"長岡鉄男のオリジナル・スピーカー設計術 こんなスピーカー見たことない"、音楽之友社、1996