

MCAP-CR シミュレーション計算ソフトウェア Ver.1.1 取扱説明書

作成 鈴木 茂

1. ソフトウェア仕様

本ソフトウェアは、スピーカーユニットの T/S パラメータと MCAP-CR エンクロージャの設計条件に基づき、音圧応答、音圧位相、インピーダンス、群遅延を計算し、グラフ表示する機能を有します。MCAP-CR の副空気室の数は、最大 6 であり、実用上の上限である 4 を上回ります。

2. MCAP-CR の設計仕様値と変数名

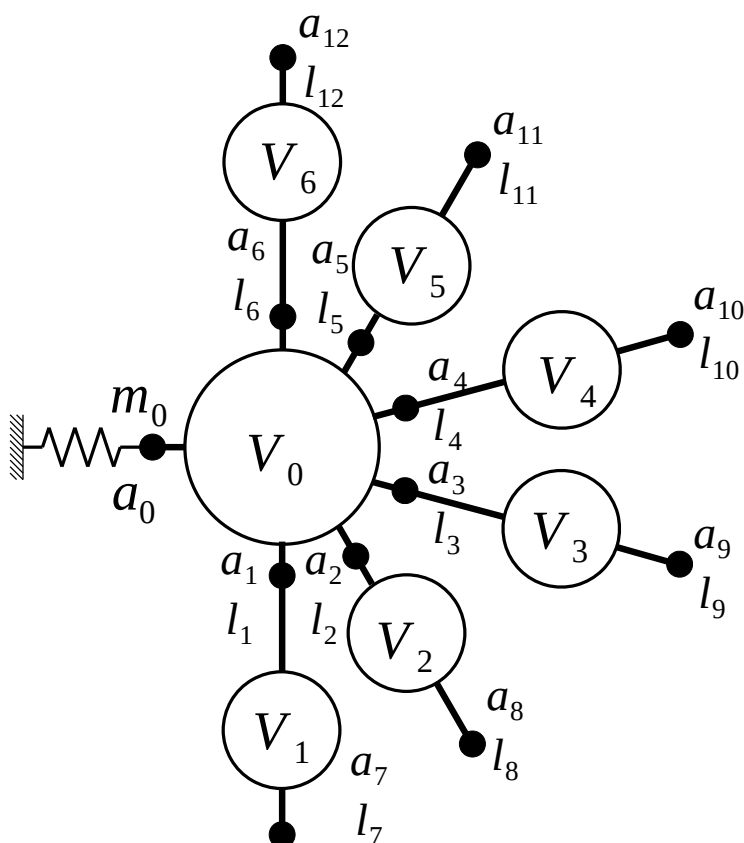


Fig.1 MCAP-CR エンクロージャの設計値

MCAP-CR エンクロージャは、ひとつの主空気室(V_0)が1、複数の副空気室(Fig.1では、 V_1 から V_6)で構成します。各副空気室は、主空気室とダクトで連結され、かつ、そのうちの1以上(通常は全部)が、外部に開放したダクトを有するものとします。

エンクロージャの設計値は、Table 1 の通りとする。

Table 1 エンクロージャ仕様値

記号	名称	単位
V_0	主空気室容量	ℓ
V_1 他	副空気室容量	ℓ
a_1 他	ダクト面積	cm^2
l_1 他	ダクト長さ	mm

副空気室のダクトのうち外部に開放しないものは、下記の例等により近似してください。

$$a_k \gg a_0$$

$$l_k > 10000$$

3. スピーカーユニット仕様値

スピーカーユニットの仕様値は、Table 2 に示す定数を指定してください。指定のない定数値は記入しなくても問題ありません。

Table 2 スピーカーユニットの仕様値

定数	名称	単位	プログラムの変数名	備考
R	直流抵抗	Ω	dcr	
Sd	振動板実効面積	cm^2	sd	
mms	振動板実効質量	g	mms	
Qts	総合 Q(いわゆる Q_0)	-	qts	
BL	Force Factor	N/A	BL	
f0	最低共振周波数	Hz	f0	コンプライアンス cms の代りに使用

4. その他の条件値

本プログラムにはダクトの摩擦による減衰係数を入力できますが、計算プログラムの入力シートに参考値が記入してあるので、それを参考にしてください。空白はゼロとして計算します。

5. プログラムの操作・実行

本プログラムは、OpenOffice/LibreOffice Calc 形式(*.ods)ファイルに埋め込まれたマクロファイルを実行するものです。

OpenOffice/LibreOffice Calc は、デフォルトでマクロプログラムを無効にします。従って、セキュリティの設定をしなければ使用できません。本ファイルを使用できるようにするための設定は、Appendix-2 を参照してください。

実行手順は、

- (1) “parameter”シートを開き、薄緑色のセルに所定の仕様値と設計値を入力する。
- (2) 同シートの右上にある” CALCULATE ALL”ボタンをクリックする。

以上で計算がはじまり、計算終了後に終了メッセージが出ます。

入力内容を変更して再計算するときには、間違い防止のため、いったん、” CLEAR RESULTS”ボタンをクリックして計算結果を削除することを推奨します。

設計値については、副空気室数に応じた空気室容量、ダクト面積、ダクト長さの数値を入力してください。不要な部分に入力された数値は無視しますが、必要な部分に数値がないとプログラムを実行できません。

計算は環境によりますが、nv=2 の場合、概ね 1 分程度で処理完了しますが、nv=6 の場合には 5 分以上を要する場合がありますので、時間がかかっている場合は、“graphics”。シートを開いて計算のグラフの進行状況を確認してください。

グラフからデータがはみ出る場合には、手動で軸の書式を修正するか、自動を選択してください。

シートの構成

シート名	詳細
parameters	仕様、設計、条件の定数を入力し、実行する。
stiffness	剛性行列。http://mcap-cr.com 内の技術文書を参照してください。
numerical_results	計算結果の数値を出力する。
graphics	結果のグラフを表示する。
debug	プログラミングのデバッグ時に中間値等を出力するシート。 プログラムを使用する場合には必要ないが、削除するとエラーとなり実行できない。

6. 謝辞

このプログラムを作成するにあたり、シミュレーションアルゴリズムを開発し、そのスプレッドシート版シミュレータを提供頂いた、Mr. Yonemichi に感謝いたします。

7. プログラムのライセンス

このプログラムは、General Public License (GPL)として配布します。GPL については、GNU のサイトをご参照ください。

Appendix-1 シミュレーション計算アルゴリズム

このシミュレータアルゴリズムは、Mr. Yonemichi 開発のスプレッドシートを元に OpenOffice BASIC に実装したものです。

シミュレーションの元となる MCAP-CR の概要および運動方程式については、http://mcap-cr.com/mcap/documents_jp.html を参照してください。

シミュレーション計算のアルゴリズムは下記の通りです。

- (1) 仕様値、設計値、条件値の指定値に基き、振動系の剛性行列を計算する。
- (2) 振動系に作用する駆動力の周波数ごとに、変位応答行列の実部と虚部を計算する。
- (3) 変位応答行列に駆動力を掛け、各質点の応答の複素変位を計算する。
- (4) 各質点の応答の複素変位と駆動周波数とにより応答の複素速度を計算する。
- (5) 各質点の複素変位と複素速度とから半空間上の 1m 離れた点の複素音圧を計算する。
- (6) 各質点の複素音圧を合計し、実数値での総音圧を計算し、SPL[dB]に変換する。
- (7) 位相偏角は、複素数の偏角をそのまま用いる。
ただし、絶対値が 180 度を超える場合は、不連続点が発生しないよう絶対値が 180 度を超える偏角として表示する。
- (8) 位相偏角から群遅延(Group Delay)を計算する。

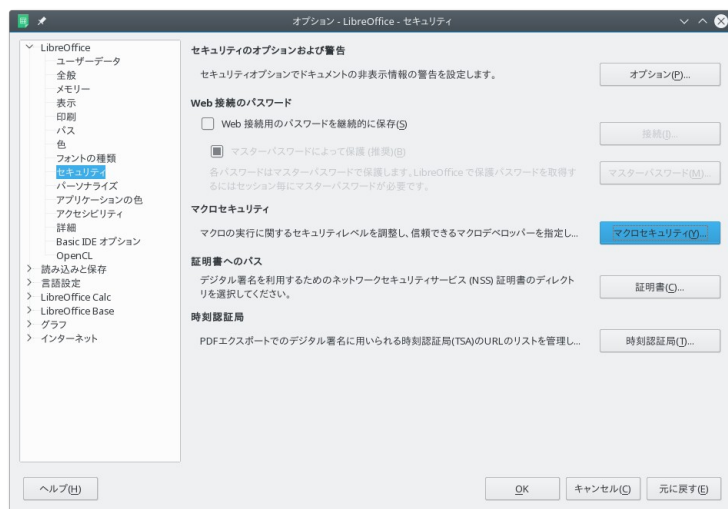
使用されている計算式

名称	数式	変数名								
変位応答行列	変位応答行列を $\mathbf{G}+i\mathbf{D}$ とする。ここで、 $\mathbf{L} = \mathbf{A}+i\mathbf{B}$ $\mathbf{A} = \mathbf{K}-\omega^2\mathbf{M}$ $\mathbf{B} = \omega\mathbf{C}$ とすると、 $\mathbf{G} = \Re \mathbf{L}^{-1} = (\mathbf{A}+\mathbf{B}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B})^{-1}$ $\mathbf{D} = \Im \mathbf{L}^{-1} =-\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}\mathbf{G}$	<table><tr><td>A</td><td>RM(i,j)</td></tr><tr><td>B</td><td>IM(i,j)</td></tr><tr><td>G</td><td>RP(i,j)</td></tr><tr><td>D</td><td>IP(i,j)</td></tr></table>	A	RM(i,j)	B	IM(i,j)	G	RP(i,j)	D	IP(i,j)
A	RM(i,j)									
B	IM(i,j)									
G	RP(i,j)									
D	IP(i,j)									
変位	変位の実部ベクトルは、 \mathbf{f} を駆動力ベクトルとすると $\mathbf{x}_R = \mathbf{G}\mathbf{f}$ 同様に変位の虚部ベクトルは、 $\mathbf{x}_I = \mathbf{D}\mathbf{f}$	force 振動板にしか作用しないのでプログラム上はスカラー変数 XR(j) XI(j)								
速度	複素変位ベクトル $\mathbf{x}_C = \mathbf{x}_R+\mathbf{x}_I$ を用いると、複素速度ベクトル \mathbf{v}_C は、 $\mathbf{v}_C=i\omega\mathbf{x}_C$	実部と虚部に分けて扱っている								
音圧	$p_{Ck}=-2\pi f_e^2\rho a_k(x_{Rk}+ix_{Ik})$	SPR(j), SPI(j) 総音圧：TSPR, TSPI								
インピーダンス	$Z=\frac{V_eR_{DC}}{ V_e-BLv_{0C} }=\frac{V_eR_{DC}}{ RI }$	Z								
群遅延	$\tau_g=-\frac{d\phi}{d\omega}$	GD								

詳細は、OpenOffice BASIC のマクロプログラムを参照してください。

Appendix-2 マクロプログラムを使用するためにセキュリティの設定方法

ここでは、LibreOffice Calc の例を示します。OpenOffice Calc も殆ど同じ手順で設定できます。Linux を使用する場合には、LibreOffice、Windows OS を使用する場合には、OpenOffice の使用を推奨します。



このファイルを開いて使用するには、マクロが有効になる設定にしておかなければなりません。マクロの設定を有効にするには、プルダウンメニューからツール-オプションを選択します。ここで開かれるウィンドウでLibreOffice の下のセキュリティを選択し、マクロセキュリティを開きます。



マクロセキュリティを開いたら、セキュリティレベルが表示されるので、ここから、『中』または『低』を選択します。私は、中を選択しており、マクロのあるファイルを開くときは、確認してから開くようにしています。

マクロの設定が完了したら、ファイルを開きます。警告表示が出ますが、私を信頼して下さる方は、『マクロの有効化』をクリックして開いてください。この場合、プログラムが使用できる状態になります。信頼しない方は、『マクロの無効化』を選択してマクロなしで開いてください。開いた後に、プルダウンメニューから、ツール-マクロ-マクロの管理-LibreOffice を選択してください。