

COMSOL Multiphysics® Ver. 5.3 専門モジュールイントロダクション

# 音響モジュール

製品説明

<https://www.comsol.jp/acoustics-module>

計測エンジニアリングシステム株式会社

東京都千代田区内神田 1-9-5

井門内神田ビル 5F

2018 1. 5

## 1. 専門モジュールイントロダクションの目的

COMSOL Multiphysics®の各専門モジュールにおける基本的な問題を取り上げ、検討したい分野で操作手順をすぐに試すことができるようにすることが目的です。

COMSOL Multiphysics®トライアル版を受領後、本書の内容をトレースすることでトライアル期間を有効につかうことができるでしょう。

## 2. チュートリアル

上端が開放の円筒形パイプにおいて、下端のピストン面を加振したときの圧力音響を解析します。二次元軸対称を仮定します。図1を参照。

上部の開放端はPML (Perfectly Matched Layer) あるいはインピーダンスによる二種類のモデリングを行ないます。

ピストンの速度は鉛直方向に 1 m/s の振幅で周波数 10Hz から 700Hz の範囲で調和振動を行なうものとします。音響媒体は空気であり、密度 1.25 kg/m<sup>3</sup>、音速 343 m/s とします。

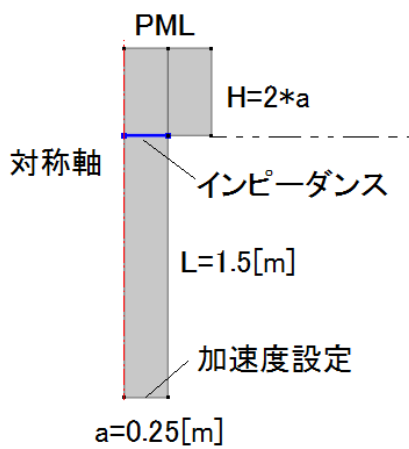


図1 円筒形パイプの圧力音響

## 手順

デスクトップの COMSOL アイコンをダブルクリックします。

ソフトウェアが起動し、モデルウィザードあるいはブランクモデルを使うかを選択する画面が表示されます。

モデルウィザードを選択します。

COMSOL がすでに起動している場合にはファイルメニューで新規を選択後にモデルウィザードを選択します。

## モデルウィザード

空間次元を選択ウィンドウで軸対称 2D をクリック、

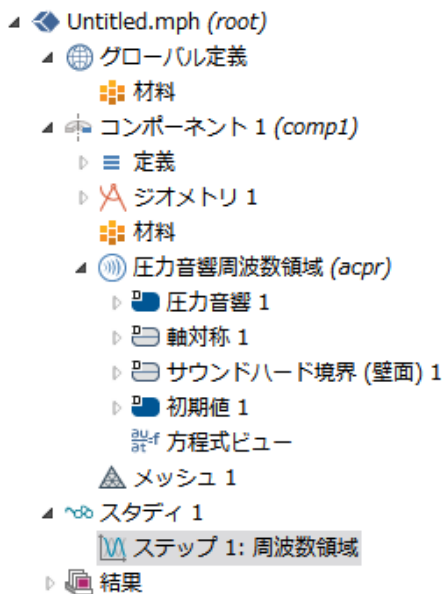
フィジックスの選択で音響：圧力音響：圧力音響周波数領域(acpt)をクリック、

追加をクリック、

スタディをクリック、

スタディ：周波数領域、

完了をクリックします。



## パラメタ

- 1) グローバル定義 右クリック パラメタを選択
- 2) 以下を設定

a	0.25[m]
L	1.5[m]
rho_air	1.25[kg/m <sup>3</sup> ]
c_air	343[m/s]
v0	1[m/s]

## ジオメトリ 1

### 矩形(r1)

- 1) ジオメトリ 1 右クリック 矩形
- 2) サイズおよび形状セクションへ
- 3) 幅に a
- 4) 高さに  $L+2*a$
- 5) 位置の z に  $-L$

(図 1 のインピーダンス設定位置が  $z=0$ )

▼ オブジェクトタイプ

タイプ:

▼ サイズおよび形状

幅:

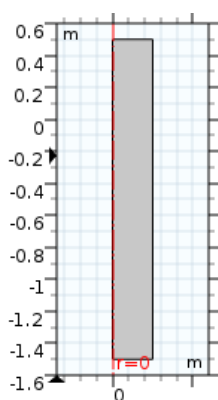
高さ:

▼ 位置

ベース:

r:

z:



### 矩形 2 (r2)

- 1) ジオメトリ 1 右クリック 矩形

- 2) サイズおよび形状セクションへ
- 3) 幅に  $2*a$
- 4) 高さに  $2*a$
- 5) 全てを作成

▼ オブジェクトタイプ

タイプ: ソリッド

▼ サイズおよび形状

幅:

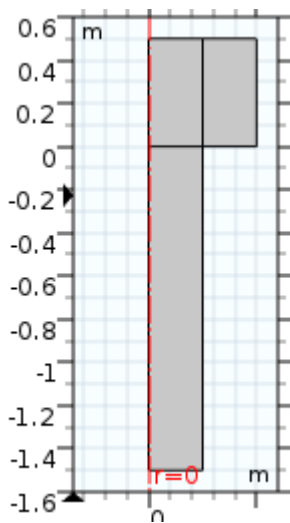
高さ:

▼ 位置

ベース: コーナー

r:

z:



## 定義

### 補間 1

- 1) コンポーネント: 定義 右クリック 関数: 補間

▲ コンポーネント 1 (comp1)

▲ 定義

● 補間 1 (int1)

- 2) 設定ウィンドウで、定義セクションへ
- 3) データソースリストから、ファイルを選択

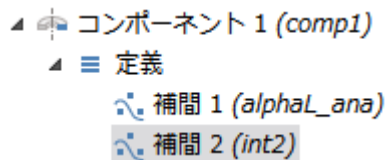
- 4) 関数サブセクションで、ブラウズボタンをクリック
- 5) open\_pipe\_alpha.txt をダブルクリック
- 6) インポートボタンをクリック
- 7) テーブルに以下を設定

alphaL\_ana      1

関数名	ファイル中位置
alphaL_ana	1

### 補間 2 (int2)

- 1) コンポーネント : 定義 右クリック 関数 : 補間



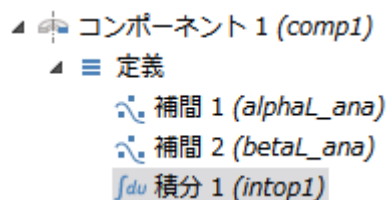
- 2) 設定ウィンドウで、定義セクションへ
- 3) データソースリストから、ファイルを選択
- 4) 関数サブセクションで、ブラウズボタンをクリック
- 5) open\_pipe\_beta.txt をダブルクリック
- 6) インポートボタンをクリック
- 7) テーブルに以下を設定

betaL\_ana      1

関数名	ファイル中位置
betaL_ana	1

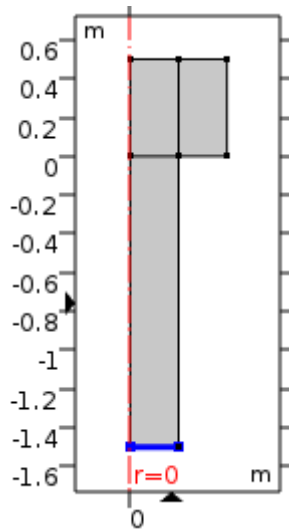
### 積分 1 (intop1)

- 1) コンポーネント 1 : 定義 右クリック コンポーネントカップリング : 積分



- 2) 設定ウィンドウで、演算子へ
- 3) intop\_piston とする。

- 4) ジオメトリックエンティティレベルを境界にする。
- 5) 境界 2 のみを選択



#### 変数 1

- 1) コンポーネント 1 : 定義 右クリック 変数
- 2) 設定ウィンドウで、変数セクションへ
- 3) ファイルからロードボタンをクリック
- 4) open\_pipe\_variables.txt をダブルクリック
- 5) 手動の場合、以下を設定

k_air	acpr.omega/c_air
a0	i*acpr.omega*v0
P	intop_piston(2*r*p/a^2)
z0	P/v0
eta0	z0/(rho_air*c_air)
alpha0	real(atanh(eta0))/pi
beta0	imag(atanh(eta0))/pi
alphaL	alpha0
betaL	beta0-k_air*L/pi
etaL	tanh(pi*(alphaL+i*betaL))
zL	nojac(etaL)*rho_air*c_air
alpha0_ana	alphaL_ana(k_air*a)
beta0_ana	betaL_ana(k_air*a)+(k_air*L/pi)
eta0_ana	tanh(pi*(alpha0_ana+i*beta0_ana))
z0_ana	eta0_ana*rho_air*c_air

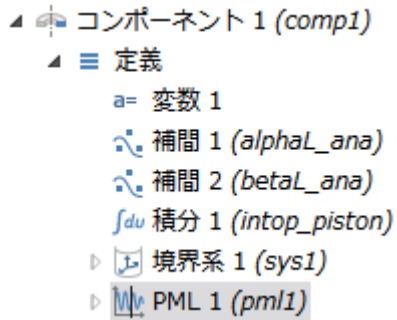
注 1 : nojac( )は、zL が前回の解に依存するけれども現時点の解には影響を与えないとする演算子である。

注 2 : alphaL\_ana( )、betaL\_ana( )は先ほどインポートした関数。



**PML 1**

1) コンポーネント 1 : 定義 右クリック PML を選択



2) ドメイン 2、3 を選択



3) 設定ウィンドウで、ジオメトリセクションに行く

4) タイプリストに、円筒を選択。

**材料**

1) 材料 右クリック ブランク材料



注：×が付くが、下記の3) を実行すれば消える。

2) 設定ウィンドウで、材料コンテンツセクションへ

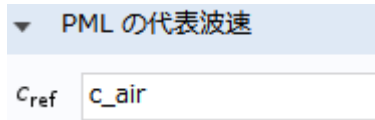
3) 以下を設定

“	プロパティ	名前	値	単位
✓	密度	rho	rho_air	kg/m <sup>3</sup>
✓	音速	c	c_air	m/s

フィジックス：圧力音響、周波数領域(acpr)

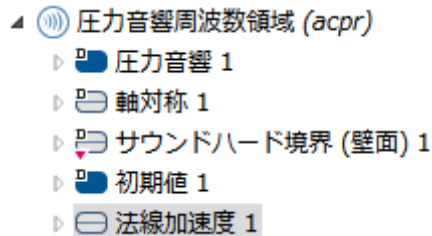
参照圧

- 1) 圧力音響周波数領域(acpr) をクリック
- 2) PML の代表波速セクションで、Crefとして、c\_airを設定



法線加速度 1

- 1) 圧力音響周波数領域(acpr) 右クリック 法線加速度

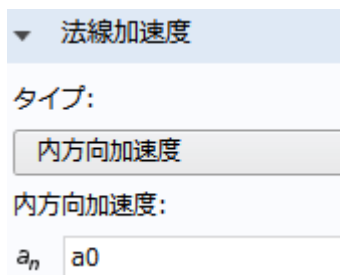


- 2) 境界 2 のみ選択



- 3) 設定ウィンドウで、法線加速度セクションへ

- 4) 法線加速度セクションでタイプを内向加速度とし、an 編集フィールドに、a0 を入力。



注：境界 2 には積分演算子 `intop_piston()` がすでに定義されている。さらに、境界 2 には内向加速度  $a_0$  が設定された。グローバル定義:パラメタで速度  $v_0=1[\text{m/s}]$  が設定されており、ピストン面は  $v_0 \cdot \exp(j \omega t)$  で振動します。従って、加速度はその時間微分となり、 $j \omega v_0 \cdot \exp(j \omega t)$  となります。周波数領域の解析では振幅値を設定するので、下記に示す変数の中で、 $a_0$  は  $i \cdot \text{acpr.omega} \cdot v_0$  として設定されています。

▼ 変数		
名前	式	単位
k_air	acpr.omega/c_air	rad/m
a0	i*acpr.omega*v0	m/s <sup>2</sup>
P	intop_piston(2*r*p/a^2)	Pa
z0	P/v0	Pa·s/m
eta0	z0/(rho_air*c_air)	

## メッシュ 1

## サイズ

- 1) メッシュ 1 右クリック フリーメッシュ 3 角形

## ▲ ▲ メッシュ 1

## ▲ サイズ

## ▲ フリーメッシュ 3 角形 1

- 2) メッシュ 1 の下のサイズをクリックし、設定ウィンドウで、要素サイズセクションへ
- 3) カスタムを選択
- 4) 最大要素サイズを 0.02 にする。

## 次で校正:

一般物理

既定  普通

カスタム

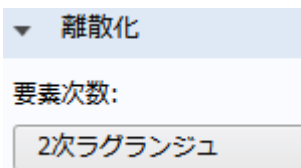
▼ 要素サイズパラメーター

最大要素サイズ:

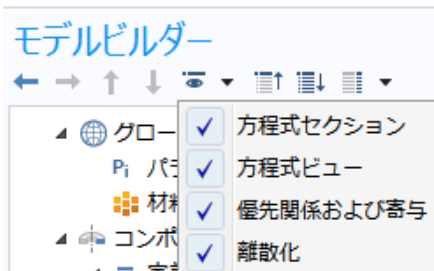
0.02

注：ここでの解析では最大周波数が 700Hz である。音速は 343m/s であるので、最小波長は音速/最大周波数=0.49m です。有限要素メッシュの最大寸法は離散化に 2 次要素を利用した場合にはこの最小波長の 1/6 であれば良い。つまり、0.081m を越えなければ良い。従って、ここでの設定値 0.02 は妥当です。

なお、離散化次数は圧力音響周波数領域をクリックし、設定ウィンドウの離散化セクションで見ることができます。

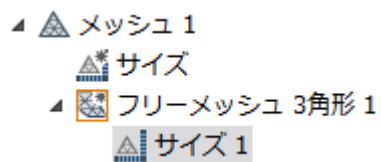


ただし、表示ボタンで離散化にチェックを入れておく必要があります。



### サイズ 1

1) フリーメッシュ三角形 右クリック サイズ



2) 設定ウィンドウのジオメトリックエンティティレベルを境界にします。

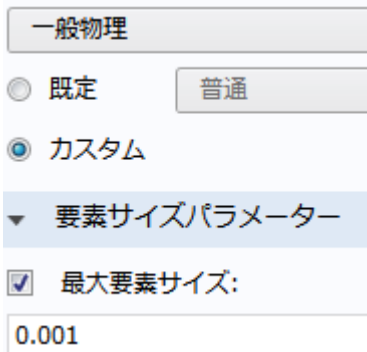
3) 境界 2, 4 を選択



4) 要素サイズセクションで、カスタム

5) 最大要素サイズ

6) 0.001 を設定



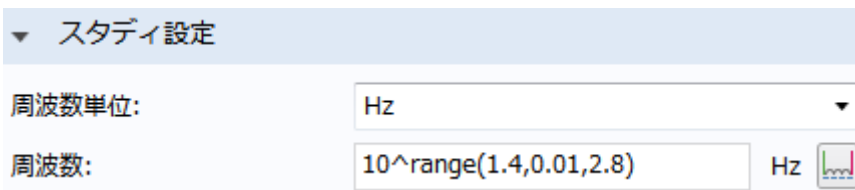
7) 全作成



スタディ 1

ステップ 1 : 周波数領域

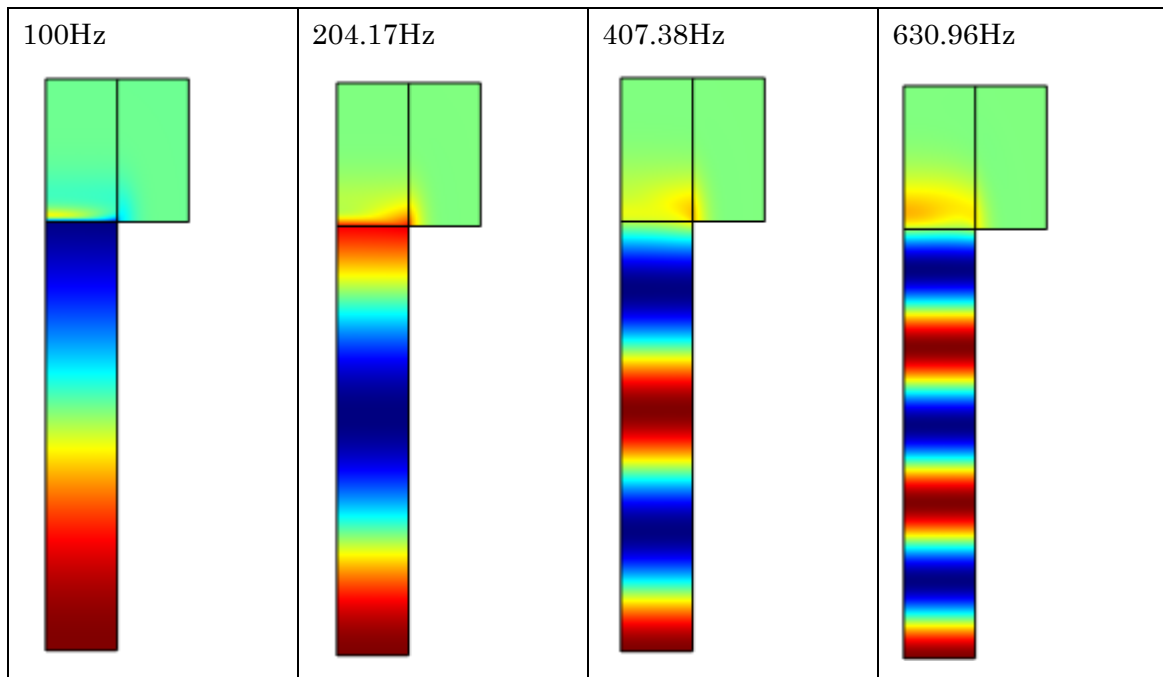
- 1) ステップ 1 : 周波数領域へ
- 2) 設定ウィンドウで、スタディ設定ウィンドウへ
- 3) 周波数に  $10^{\text{range}(1.4,0.01,2.8)}$  を設定



- 4) スタディ 1 右クリック 計算 ( 2 分 29 秒 )

結果

- 1) デフォルトの音圧(acpr)をクリックし、設定ウィンドウで、周波数を変更し、グラフィックス画面表示ボタン(以後、プロットボタン)をクリック



注：パイプの上側領域は PML であり、ここは波の反射を防ぐための仮想的なドメインであるので通常は表示しない方がよいが、ここでは参考のために表示しています。サーフェスを右クリックして選択を追加し、パイプ領域のみを選択すれば PML は非表示になります。

続いて、**解析解との比較**を行います。

1D プロットグループ

1) 結果 右クリック 1D プロットグループを選択

▲ 1Dプロットグループ 5

2) 1D プロットグループ 右クリック グローバル

▲ 1Dプロットグループ 5

グローバル 1

3) 設定ウィンドウで、以下を設定します。

データセット:	親参照	
▼ y 軸データ		
式	単位	説明
real(z0)	Pa*s/m	

▼ x軸データ

パラメーター:

式

式:

freq

単位:

1/s

カラーリングおよびスタイル: ライン なし 青 マーカー 円 データポイント中

▼ カラーリングおよびスタイル

— ラインスタイル —

ライン: なし

カラー: 青

幅: 2

— ラインマーカー —

マーカー: 円

ポジショニング: データポイント上

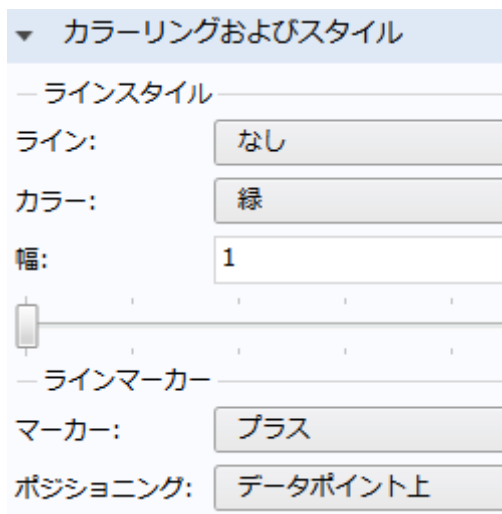
4) 1Dプロットグループ5:グローバル1 右クリック 重複

5) グローバル2 クリック 設定ウィンドウ

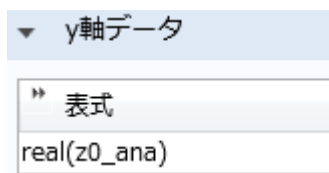
▼ y軸データ

” 表式	単位
imag(z0)	Pa*s/m

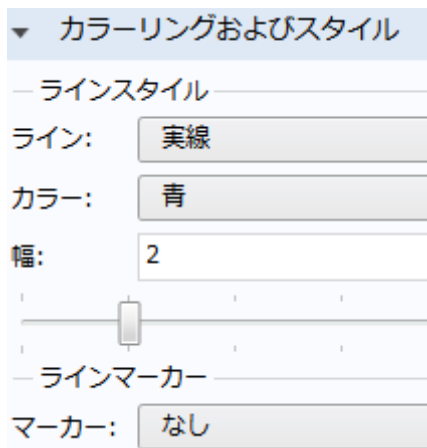
カラーリングおよびスタイル: ライン なし 緑 マーカー プラス データポイント中



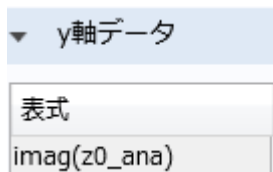
- 6) グローバル2 右クリック 重複
- 7) グローバル3 クリック 設定ウィンドウ



カラーリングおよびスタイル：ライン 実線 青 マーカー なし

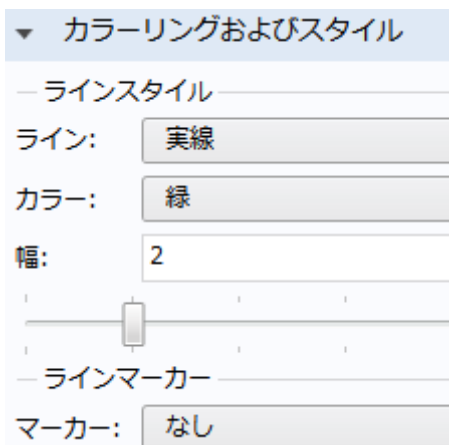


- 8) グローバル3 右クリック 重複
- 9) グローバル4 設定ウィンドウ

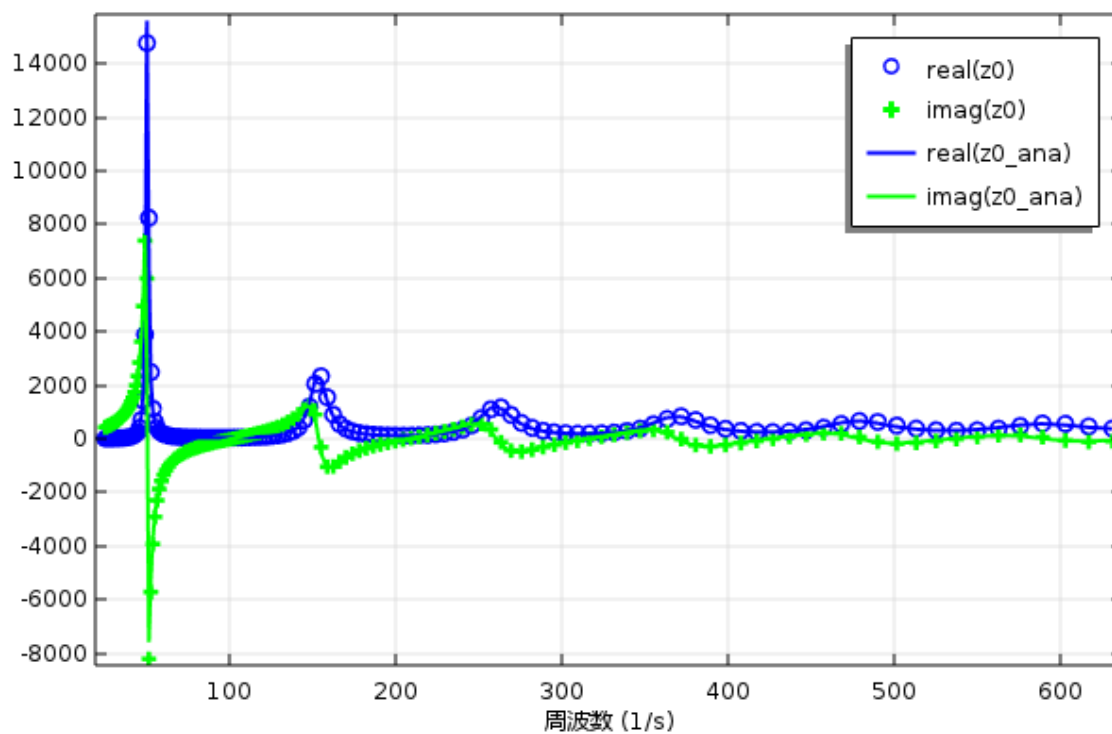


カラーリングおよびスタイル：ライン 実線 緑 マーカー なし

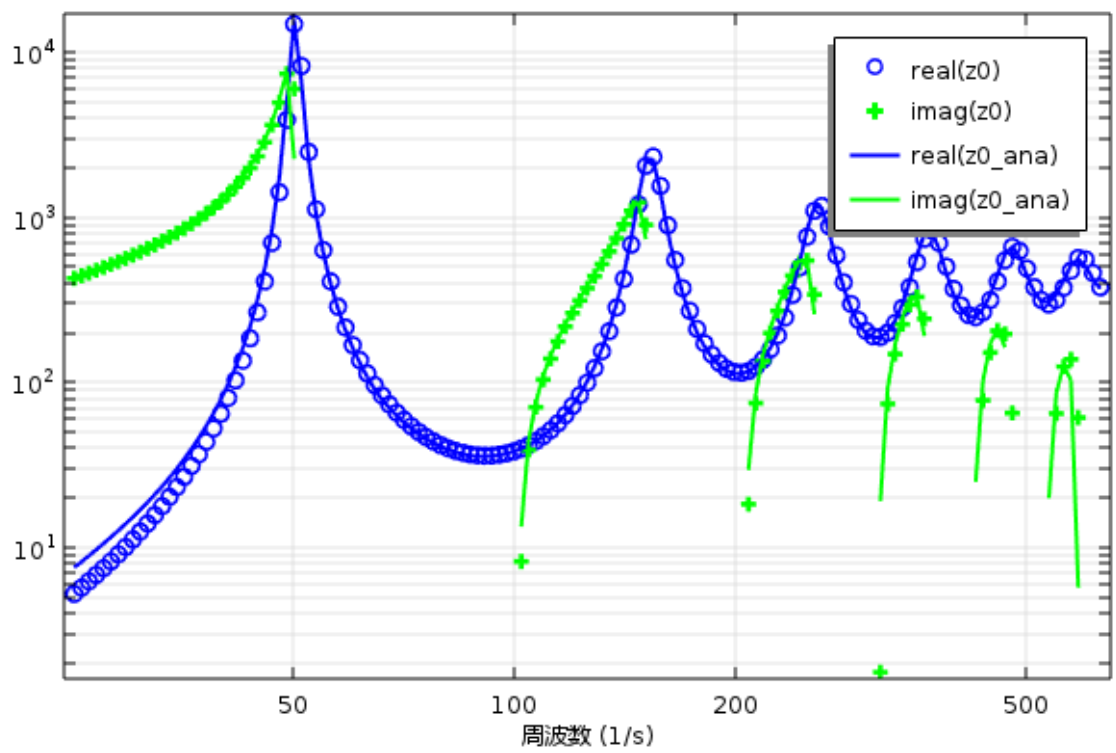




ピストンのレジスタンス( $\text{real}(z_0)$ )とリアクタンス( $\text{imag}(z_0)$ )  
解析解( $\text{real}(z_0_{\text{ana}})$ ,  $\text{imag}(z_0_{\text{ana}})$ )との比較



log-log 表示でのチェックも行う必要があります。



以上

<ノート>