

# 使ってみよう MEMS等価回路ジェネレータ

静岡大学電子工学研究所

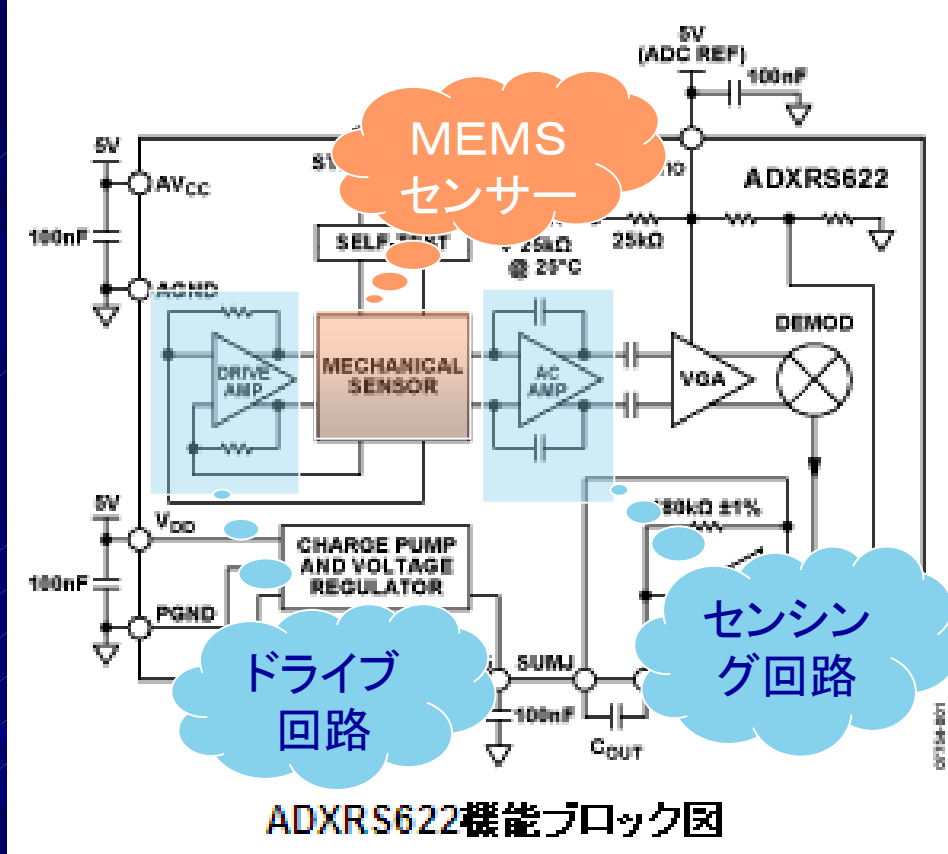
橋口 原

# 目次

- MEMS等価回路ジェネレータの概要
    - MEMS等価回路ジェネレータのアウトプット
    - MEMS等価回路ジェネレータの特徴
  - MEMS等価回路ジェネレータの使い方
- ## 櫛歯加速度センサの設計例
- (櫛歯ジャイロの加速度感度)
- 櫛歯加速度センサの原理
  - 櫛歯加速度センサの構造
  - 等価回路ジェネレータでのシミュレーション

# 研究背景と開発目標

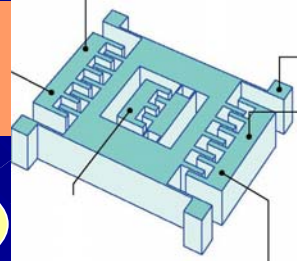
アナログデバイセズヨーレートセンサーの  
ブロックダイアグラム



<http://www.analog.com/jp/mems-and-sensors/imems-gyroscopes/adxrs622/products/product.html>

センサーシステムとしてMEMSと回路を一体化した設計が必要。

MEMS設計者は構造設計ができるツールを使いたい。

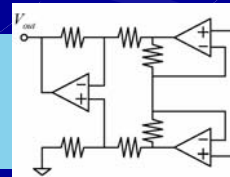


開発目標

構造設計からネットリストを生成する機能を開発し、両者の間を取り持つ設計プラットフォームを提供する。

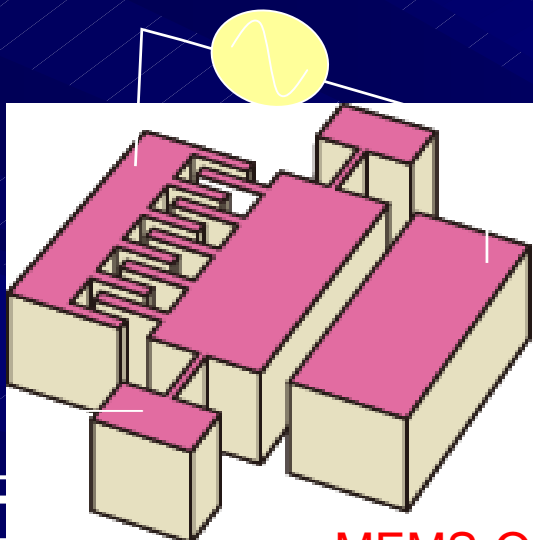
等価回路ジェネレーター

回路設計者はSPICE等の回路シミュレータを使いたい。



# 等価回路ジェネレーターとは

MEMSのソリッドモデルを設計すると……



MEMS-ONEのプラットフォーム上で動作

任意形状(※)のMEMSに対応する等価回路生成ツールは世界初。

※本プロジェクトでコンポーネント化した構造の組み合わせに限る。

MEMSの特性を表す等価回路をネットリストとして出力

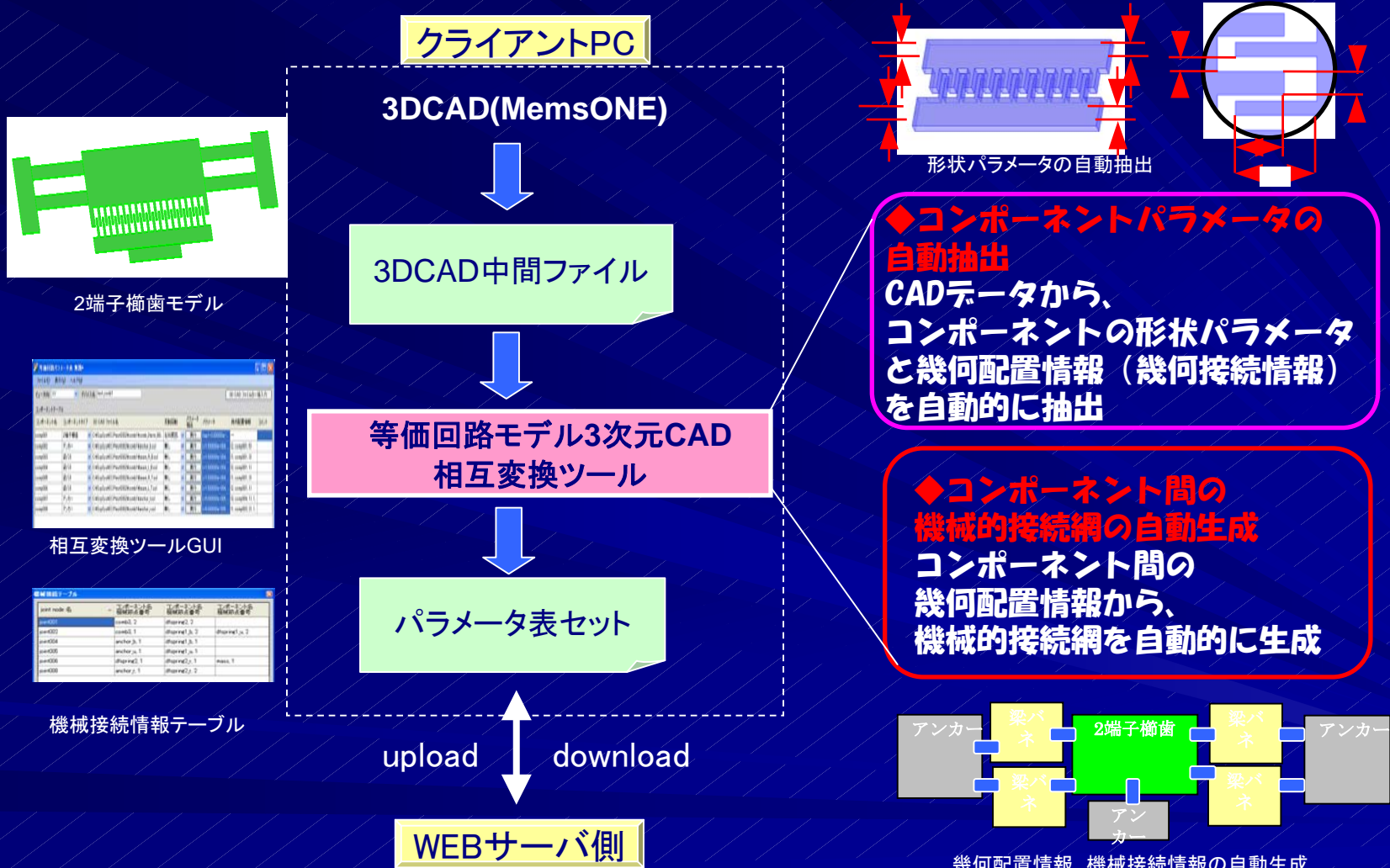
```
* source COMB_PARALLEL_X
R_R8 0 P1 P2 1T
V_V1 P6 P7 0 DC 0Vdc AC 1Vac
.
.
. C_C8 0 N11813 100p

.subckt COMB_PARALLEL_X 1 2 3 4
F_CP1 4 3 V_CP1 51e-6
V_CP1 1 5 0V
C_C1 4 3 1.5p
E_E1 2 5 4 3 51e-6
.ends COMB_PARALLEL_X
```

ネットリスト:

回路の接続情報、素子情報を記述したテキストファイル。SPICEでは回路を全てネットリストで表現しシミュレーションしている。

# 設計の具体的な流れ(1)・・・ソリッドモデルから 等価回路パラメータ表の自動生成



相互変換ツールGUI

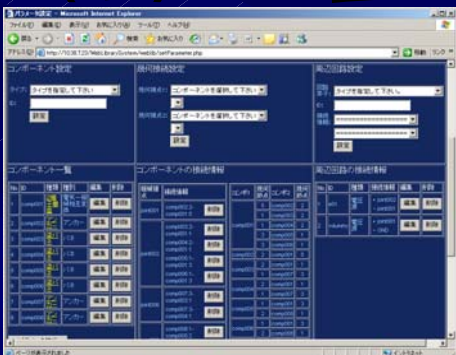
部品名	部品ID	部品タイプ	部品位置	部品属性
梁パネ	1	梁パネ	1,1	1,1
梁パネ	2	梁パネ	1,2	1,2
梁パネ	3	梁パネ	1,3	1,3
梁パネ	4	梁パネ	1,4	1,4
梁パネ	5	梁パネ	1,5	1,5
梁パネ	6	梁パネ	1,6	1,6
梁パネ	7	梁パネ	1,7	1,7
梁パネ	8	梁パネ	1,8	1,8
梁パネ	9	梁パネ	1,9	1,9
梁パネ	10	梁パネ	1,10	1,10
梁パネ	11	梁パネ	1,11	1,11
梁パネ	12	梁パネ	1,12	1,12
梁パネ	13	梁パネ	1,13	1,13
梁パネ	14	梁パネ	1,14	1,14
梁パネ	15	梁パネ	1,15	1,15
梁パネ	16	梁パネ	1,16	1,16
梁パネ	17	梁パネ	1,17	1,17
梁パネ	18	梁パネ	1,18	1,18
梁パネ	19	梁パネ	1,19	1,19
梁パネ	20	梁パネ	1,20	1,20
梁パネ	21	梁パネ	1,21	1,21
梁パネ	22	梁パネ	1,22	1,22
梁パネ	23	梁パネ	1,23	1,23
梁パネ	24	梁パネ	1,24	1,24
梁パネ	25	梁パネ	1,25	1,25
梁パネ	26	梁パネ	1,26	1,26
梁パネ	27	梁パネ	1,27	1,27
梁パネ	28	梁パネ	1,28	1,28
梁パネ	29	梁パネ	1,29	1,29
梁パネ	30	梁パネ	1,30	1,30
梁パネ	31	梁パネ	1,31	1,31
梁パネ	32	梁パネ	1,32	1,32
梁パネ	33	梁パネ	1,33	1,33
梁パネ	34	梁パネ	1,34	1,34
梁パネ	35	梁パネ	1,35	1,35
梁パネ	36	梁パネ	1,36	1,36
梁パネ	37	梁パネ	1,37	1,37
梁パネ	38	梁パネ	1,38	1,38
梁パネ	39	梁パネ	1,39	1,39
梁パネ	40	梁パネ	1,40	1,40
梁パネ	41	梁パネ	1,41	1,41
梁パネ	42	梁パネ	1,42	1,42
梁パネ	43	梁パネ	1,43	1,43
梁パネ	44	梁パネ	1,44	1,44
梁パネ	45	梁パネ	1,45	1,45
梁パネ	46	梁パネ	1,46	1,46
梁パネ	47	梁パネ	1,47	1,47
梁パネ	48	梁パネ	1,48	1,48
梁パネ	49	梁パネ	1,49	1,49
梁パネ	50	梁パネ	1,50	1,50
梁パネ	51	梁パネ	1,51	1,51
梁パネ	52	梁パネ	1,52	1,52
梁パネ	53	梁パネ	1,53	1,53
梁パネ	54	梁パネ	1,54	1,54
梁パネ	55	梁パネ	1,55	1,55
梁パネ	56	梁パネ	1,56	1,56
梁パネ	57	梁パネ	1,57	1,57
梁パネ	58	梁パネ	1,58	1,58
梁パネ	59	梁パネ	1,59	1,59
梁パネ	60	梁パネ	1,60	1,60
梁パネ	61	梁パネ	1,61	1,61
梁パネ	62	梁パネ	1,62	1,62
梁パネ	63	梁パネ	1,63	1,63
梁パネ	64	梁パネ	1,64	1,64
梁パネ	65	梁パネ	1,65	1,65
梁パネ	66	梁パネ	1,66	1,66
梁パネ	67	梁パネ	1,67	1,67
梁パネ	68	梁パネ	1,68	1,68
梁パネ	69	梁パネ	1,69	1,69
梁パネ	70	梁パネ	1,70	1,70
梁パネ	71	梁パネ	1,71	1,71
梁パネ	72	梁パネ	1,72	1,72
梁パネ	73	梁パネ	1,73	1,73
梁パネ	74	梁パネ	1,74	1,74
梁パネ	75	梁パネ	1,75	1,75
梁パネ	76	梁パネ	1,76	1,76
梁パネ	77	梁パネ	1,77	1,77
梁パネ	78	梁パネ	1,78	1,78
梁パネ	79	梁パネ	1,79	1,79
梁パネ	80	梁パネ	1,80	1,80
梁パネ	81	梁パネ	1,81	1,81
梁パネ	82	梁パネ	1,82	1,82
梁パネ	83	梁パネ	1,83	1,83
梁パネ	84	梁パネ	1,84	1,84
梁パネ	85	梁パネ	1,85	1,85
梁パネ	86	梁パネ	1,86	1,86
梁パネ	87	梁パネ	1,87	1,87
梁パネ	88	梁パネ	1,88	1,88
梁パネ	89	梁パネ	1,89	1,89
梁パネ	90	梁パネ	1,90	1,90
梁パネ	91	梁パネ	1,91	1,91
梁パネ	92	梁パネ	1,92	1,92
梁パネ	93	梁パネ	1,93	1,93
梁パネ	94	梁パネ	1,94	1,94
梁パネ	95	梁パネ	1,95	1,95
梁パネ	96	梁パネ	1,96	1,96
梁パネ	97	梁パネ	1,97	1,97
梁パネ	98	梁パネ	1,98	1,98
梁パネ	99	梁パネ	1,99	1,99
梁パネ	100	梁パネ	1,100	1,100

機械接続情報テーブル

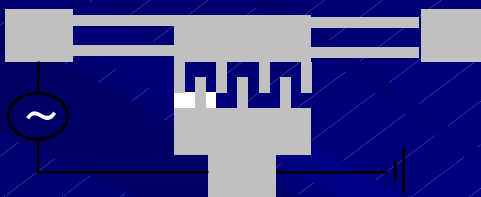
部品名	部品ID	部品タイプ	部品位置	部品属性
梁パネ	1	梁パネ	1,1	1,1
梁パネ	2	梁パネ	1,2	1,2
梁パネ	3	梁パネ	1,3	1,3
梁パネ	4	梁パネ	1,4	1,4
梁パネ	5	梁パネ	1,5	1,5
梁パネ	6	梁パネ	1,6	1,6
梁パネ	7	梁パネ	1,7	1,7
梁パネ	8	梁パネ	1,8	1,8
梁パネ	9	梁パネ	1,9	1,9
梁パネ	10	梁パネ	1,10	1,10
梁パネ	11	梁パネ	1,11	1,11
梁パネ	12	梁パネ	1,12	1,12
梁パネ	13	梁パネ	1,13	1,13
梁パネ	14	梁パネ	1,14	1,14
梁パネ	15	梁パネ	1,15	1,15
梁パネ	16	梁パネ	1,16	1,16
梁パネ	17	梁パネ	1,17	1,17
梁パネ	18	梁パネ	1,18	1,18
梁パネ	19	梁パネ	1,19	1,19
梁パネ	20	梁パネ	1,20	1,20
梁パネ	21	梁パネ	1,21	1,21
梁パネ	22	梁パネ	1,22	1,22
梁パネ	23	梁パネ	1,23	1,23
梁パネ	24	梁パネ	1,24	1,24
梁パネ	25	梁パネ	1,25	1,25
梁パネ	26	梁パネ	1,26	1,26
梁パネ	27	梁パネ	1,27	1,27
梁パネ	28	梁パネ	1,28	1,28
梁パネ	29	梁パネ	1,29	1,29
梁パネ	30	梁パネ	1,30	1,30
梁パネ	31	梁パネ	1,31	1,31
梁パネ	32	梁パネ	1,32	1,32
梁パネ	33	梁パネ	1,33	1,33
梁パネ	34	梁パネ	1,34	1,34
梁パネ	35	梁パネ	1,35	1,35
梁パネ	36	梁パネ	1,36	1,36
梁パネ	37	梁パネ	1,37	1,37
梁パネ	38	梁パネ	1,38	1,38
梁パネ	39	梁パネ	1,39	1,39
梁パネ	40	梁パネ	1,40	1,40
梁パネ	41	梁パネ	1,41	1,41
梁パネ	42	梁パネ	1,42	1,42
梁パネ	43	梁パネ	1,43	1,43
梁パネ	44	梁パネ	1,44	1,44
梁パネ	45	梁パネ	1,45	1,45
梁パネ	46	梁パネ	1,46	1,46
梁パネ	47	梁パネ	1,47	1,47
梁パネ	48	梁パネ	1,48	1,48
梁パネ	49	梁パネ	1,49	1,49
梁パネ	50	梁パネ	1,50	1,50
梁パネ	51	梁パネ	1,51	1,51
梁パネ	52	梁パネ	1,52	1,52
梁パネ	53	梁パネ	1,53	1,53
梁パネ	54	梁パネ	1,54	1,54
梁パネ	55	梁パネ	1,55	1,55
梁パネ	56	梁パネ	1,56	1,56
梁パネ	57	梁パネ	1,57	1,57
梁パネ	58	梁パネ	1,58	1,58
梁パネ	59	梁パネ	1,59	1,59
梁パネ	60	梁パネ	1,60	1,60
梁パネ	61	梁パネ	1,61	1,61
梁パネ	62	梁パネ	1,62	1,62
梁パネ	63	梁パネ	1,63	1,63
梁パネ	64	梁パネ	1,64	1,64
梁パネ	65	梁パネ	1,65	1,65
梁パネ	66	梁パネ	1,66	1,66
梁パネ	67	梁パネ	1,67	1,67
梁パネ	68	梁パネ	1,68	1,68
梁パネ	69	梁パネ	1,69	1,69
梁パネ	70	梁パネ	1,70	1,70
梁パネ	71	梁パネ	1,71	1,71
梁パネ	72	梁パネ	1,72	1,72
梁パネ	73	梁パネ	1,73	1,73
梁パネ	74	梁パネ	1,74	1,74
梁パネ	75	梁パネ	1,75	1,75
梁パネ	76	梁パネ	1,76	1,76
梁パネ	77	梁パネ	1,77	1,77
梁パネ	78	梁パネ	1,78	1,78
梁パネ	79	梁パネ	1,79	1,79
梁パネ	80	梁パネ	1,80	1,80
梁パネ	81	梁パネ	1,81	1,81
梁パネ	82	梁パネ	1,82	1,82
梁パネ	83	梁パネ	1,83	1,83
梁パネ	84	梁パネ	1,84	1,84
梁パネ	85	梁パネ	1,85	1,85
梁パネ	86	梁パネ	1,86	1,86
梁パネ	87	梁パネ	1,87	1,87
梁パネ	88	梁パネ	1,88	1,88
梁パネ	89	梁パネ	1,89	1,89
梁パネ	90	梁パネ	1,90	1,90
梁パネ	91	梁パネ	1,91	1,91
梁パネ	92	梁パネ	1,92	1,92
梁パネ	93	梁パネ	1,93	1,93
梁パネ	94	梁パネ	1,94	1,94
梁パネ	95	梁パネ	1,95	1,95
梁パネ	96	梁パネ	1,96	1,96
梁パネ	97	梁パネ	1,97	1,97
梁パネ	98	梁パネ	1,98	1,98
梁パネ	99	梁パネ	1,99	1,99
梁パネ	100	梁パネ	1,100	1,100

# 設計の具体的な流れ(2)・等価回路 ジェネレータにパラメータを入力

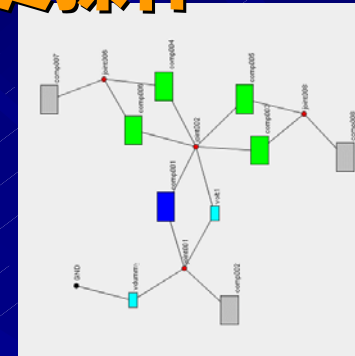
## (1) WEB上で設定内容の確認・変更操作



コンポーネントの接続情報の設定画面

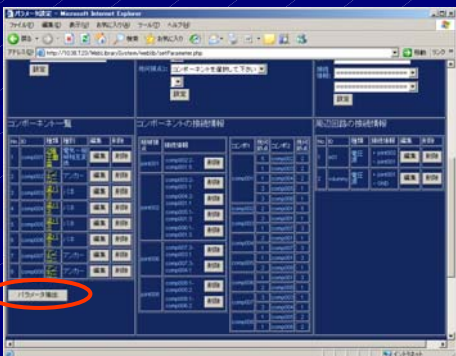


駆動回路など周辺回路の設定

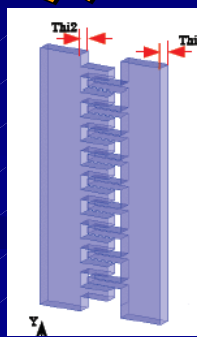


幾何的接続情報画面

## (2) 電気・機械パラメータの抽出結果の表示と編集

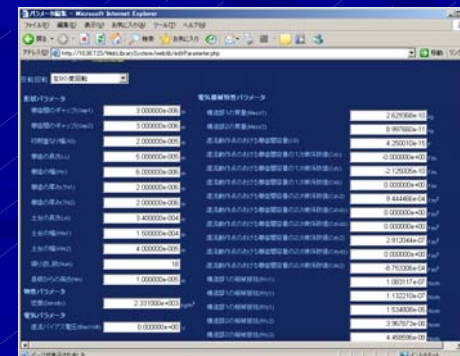


電気・機械パラメータの抽出



櫛歯コンポーネント

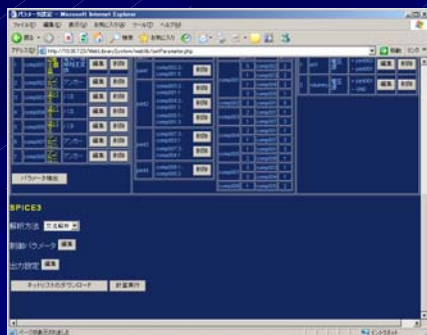
各コンポーネントの  
直流動作点におけ  
る電気・機械特性  
パラメータを抽出



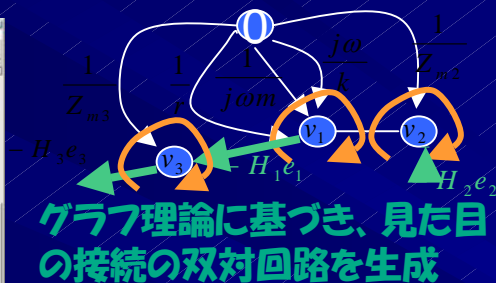
電気・機械パラメータの抽出結果

# 設計の具体的な流れ(3)・・・シミュレーション

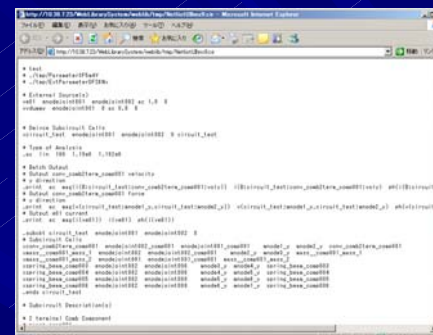
## (3) 結果表示図、解析条件指示後、ネットリスト生成



回路シミュレーション解析条件設定

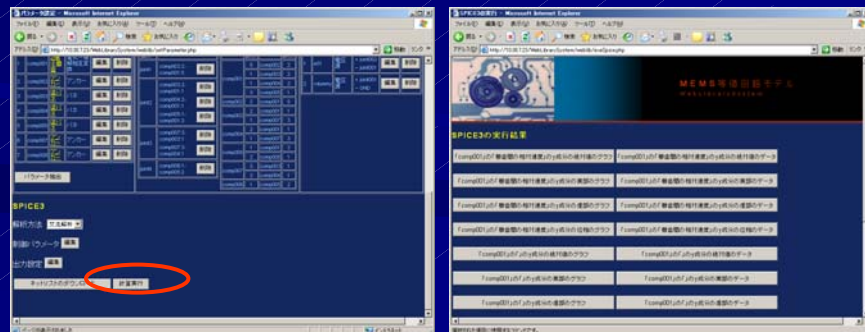


グラフ理論に基づき、見た目の接続の双対回路を生成



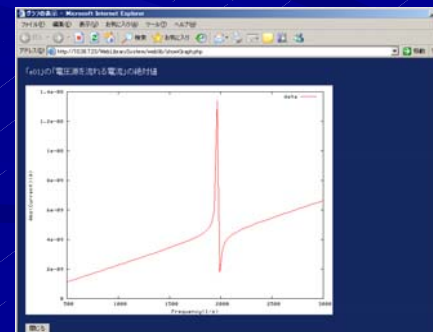
SPICEネットリストの生成とダウンロード

## (4) 計算の実行と結果表示



SPICE3の実行と結果一覧

Web上で電  
流値、変位な  
どの計算結果  
が見れる



シミュレーション結果の表示

# 等価回路ジェネレータの特徴

## 2種類の等価回路手法を採用

- 電気端子から見た特性インピーダンスを導出し、回路合成により等価回路を生成(MEMS形状に関する汎用性なし、外力なし)
- 電気端子と機械端子を有し、変換係数を従属電源により表現

- 機械系の自由度が3次元
- MEMS-MEMS練成における回路合成に対応
- 形状パラメータの判別、抽出
- 電界のフリンジ、バネの非線形も考慮したパラメータ抽出

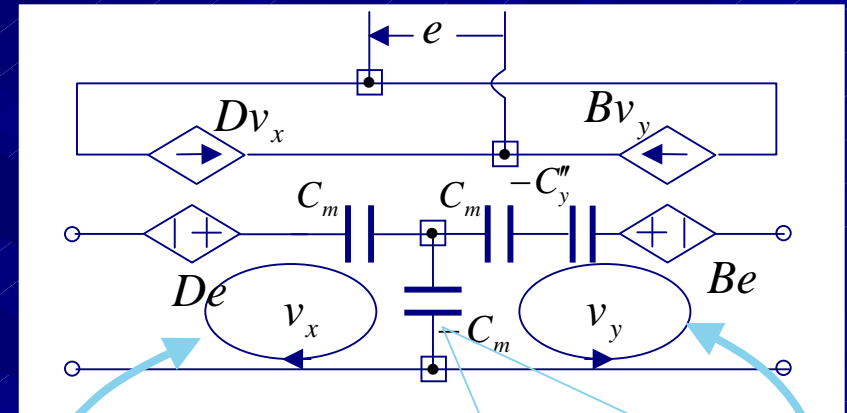
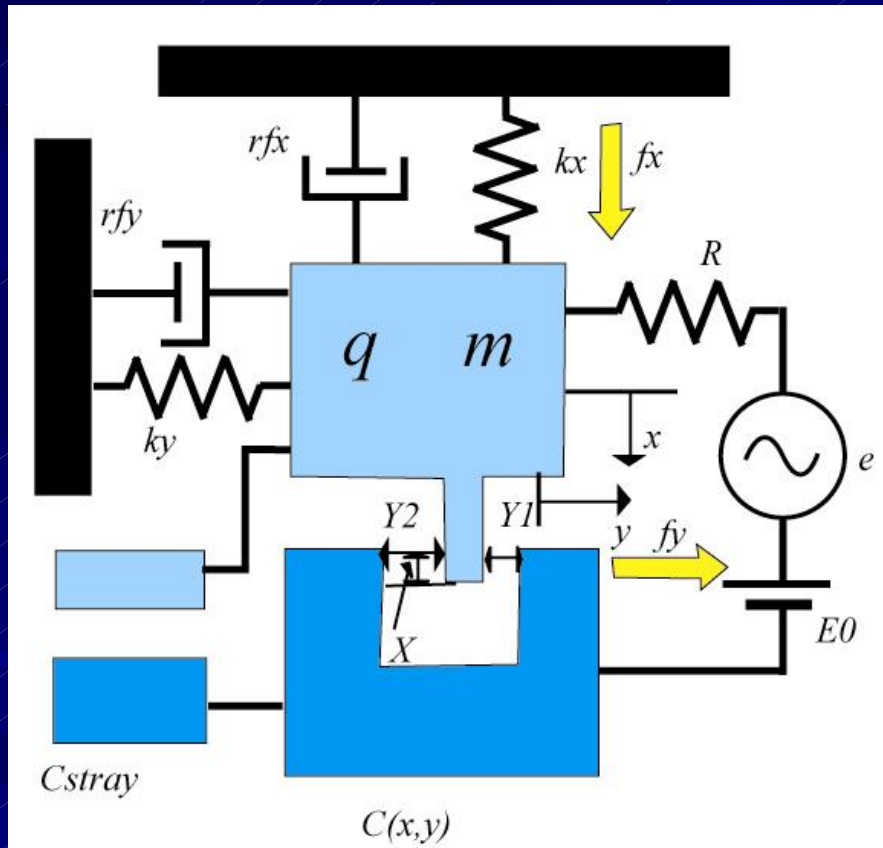
モデル化コンポーネント

静電型アクチュエータ  
磁気アクチュエータ(1ターンカンチレバー)  
圧電カンチレバー  
音響回路  
各種梁構造



# 櫛歯アクチュエータ加速度センサの動作原理

## — 櫛歯アクチュエータの2次元等価回路 —



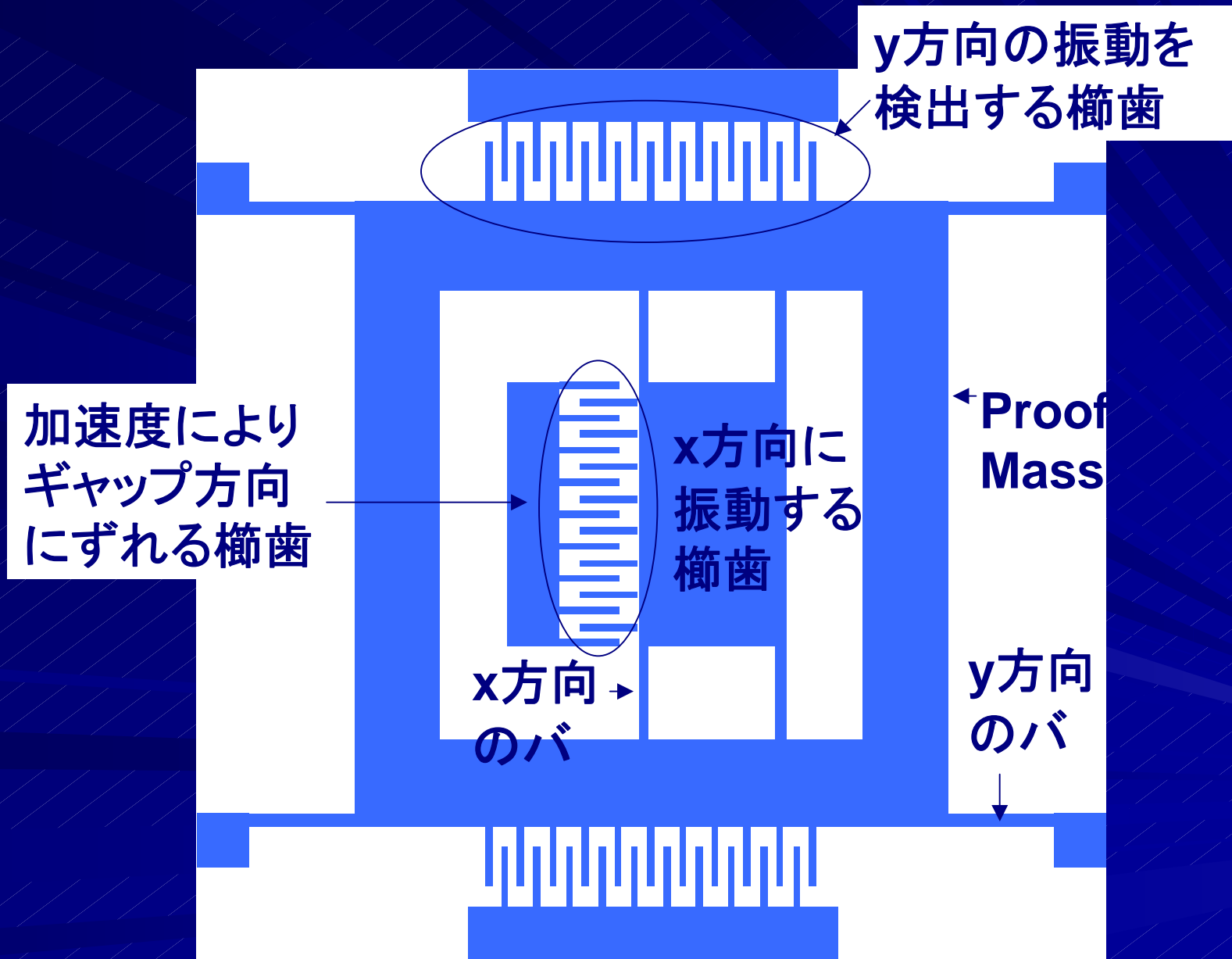
櫛歯がギャップ方向にずれるとこのキャパシタンスがそのずれに応じて大きくなる。

x方向の速度成分により、y方向に力が生じる。

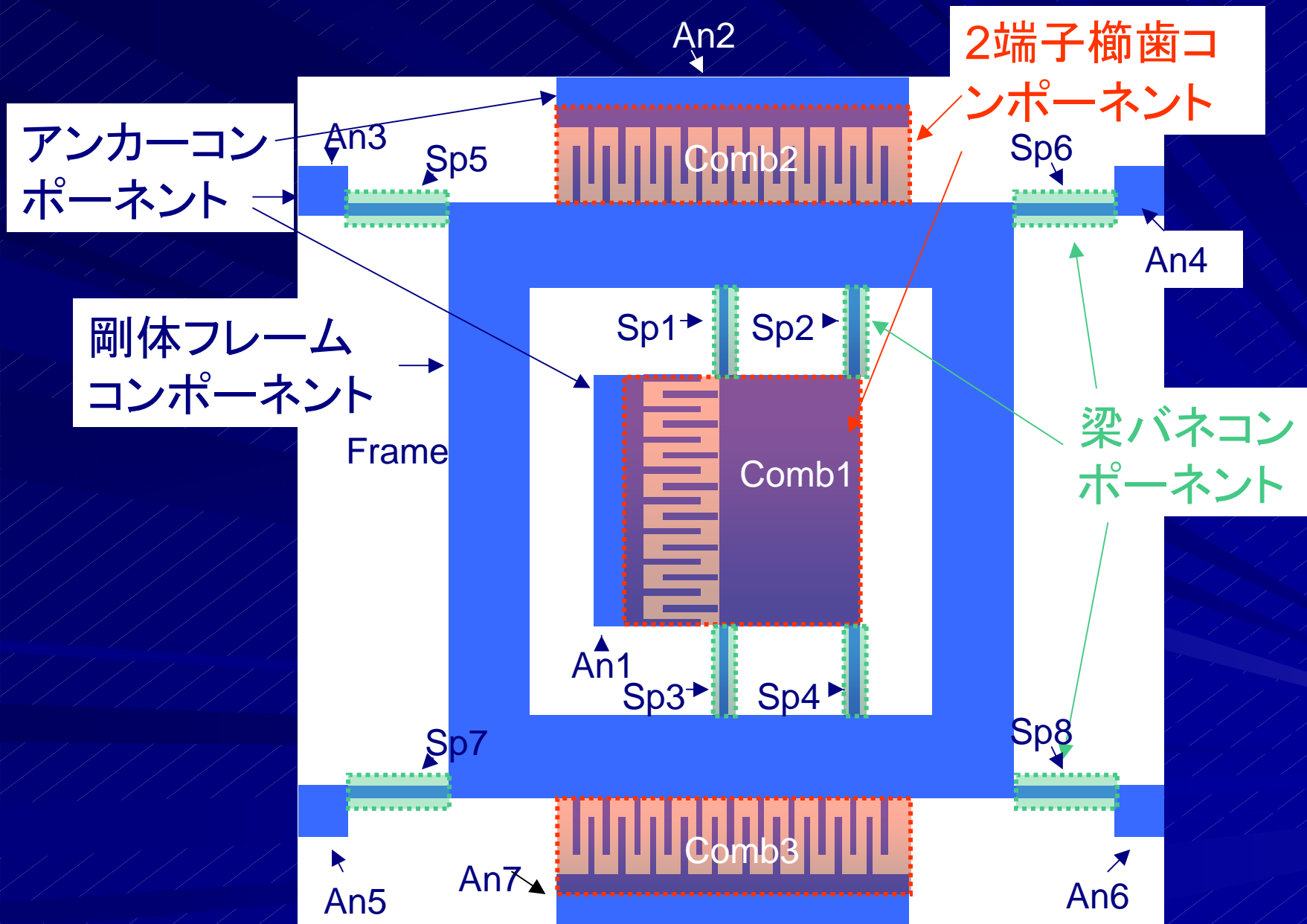
y方向にx方向と同じ周波数の動が生じる。

このy方向の振動振幅により加速度を計測。

# 櫛歯加速度センサの構造



# コンポーネントに分けて名前を付ける



# コンポーネントごとに寸法を決める

## Comb1の場合

マニュアルを見ながら各寸法を入力する。

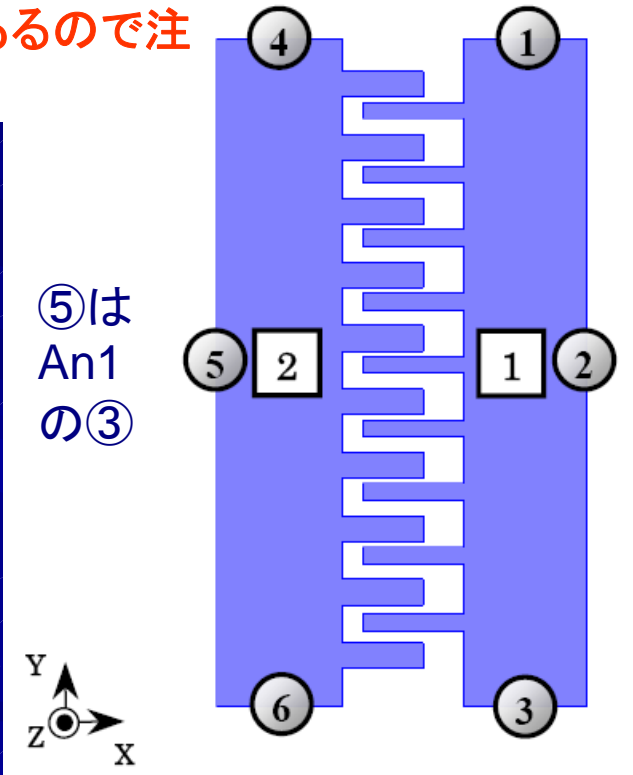
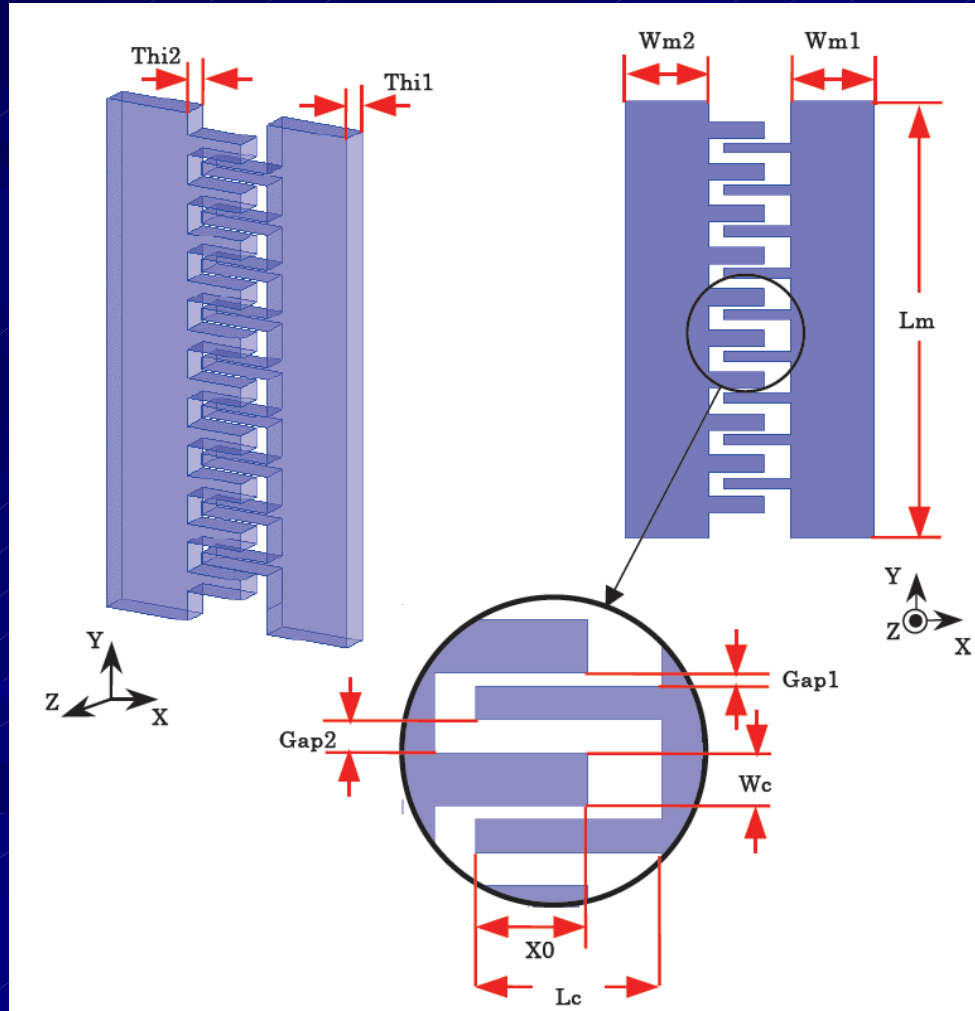
コンポーネントの接続情報をメモしておく。

全てのコンポーネントに向きがあるので注意！

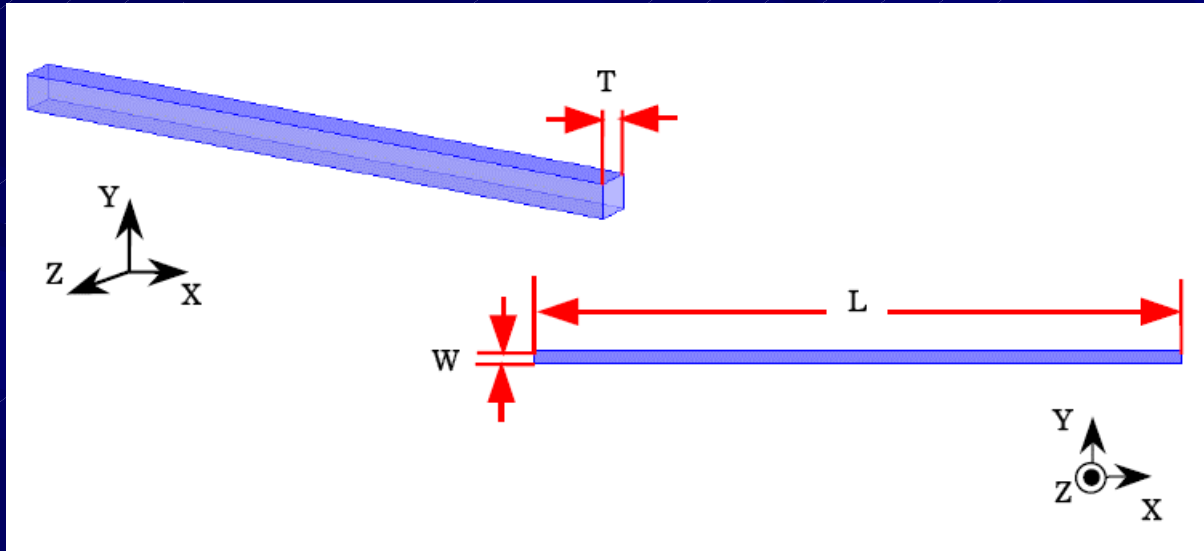
①はSp1の①とSp2の①

⑤はAn1の③

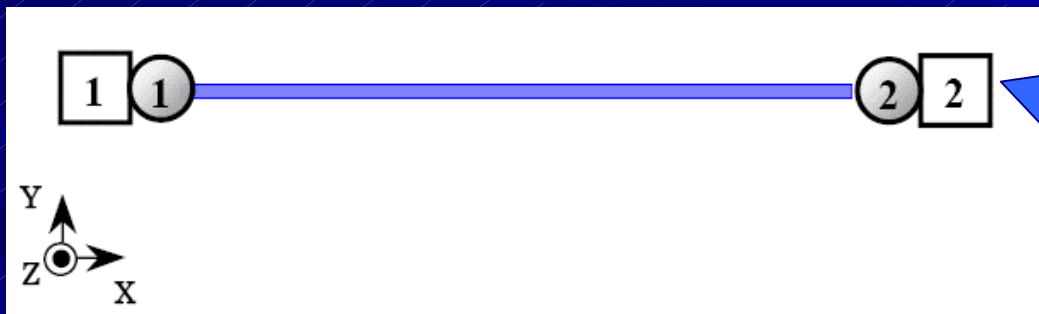
③はSp3の②とSp4の②



# 梁バネの場合



Lは長さ、  
Wは幅、  
Tは厚み



デフォルトでは横向きになっています。  
SP1～SP4まで、左90度回転を選択しています。

# 等価回路ジェネレータを呼び出す

MEMSPedia MEMS等価回路ジェネレータ

MEMS等価回路ジェネレータ

MEMS等価回路ジェネレータの紹介文...

MEMS等価回路ジェネレータのリンク...



MEMS等価回路モデル WebLibrarySystem

0000733

ログイン ユーザID: パスワード:

ログイン ユーザ登録

システム概要

MEMS等価回路モデルの紹介文...



MEMS等価回路モデル WebLibrarySystem

デバイスモデル

あらかじめ用意したMEMSデバイスの等価回路ネットリストを生成します。

コンポーネント複合モデル

複数のコンポーネントを組み合わせて作製したMEMSデバイスの等価回路ネットリストを生成します。



MEMS等価回路モデル WebLibrarySystem

等価回路ジェネレータ

使用方法

等価回路モデルの作成、ネットリストの生成/ダウンロードの方法、およびダウンロードしたネットリストの利用方法を説明します。

等価回路抽出手法

MEMS等価回路を導出する際、異なる物理系を統一的に扱うエネルギー関数によるモデル化手法と、それを用いた等価回路の抽出手法の概要をまとめました。本システムをご利用する前にご確認ください。

電気機械パラメータの抽出手法

等価回路モデルのネットリスト生成に必要な電気・機械パラメータの抽出手法を説明します。

コンポーネント一覧

コンポーネントモデルの解説を行います。

計算例

等価回路モデルと実測との比較を行った計算例を示します。

「等価回路モデル・3次元CADモデル相互変換ツール」のダウンロード

3次元CADモデルと等価回路モデルデータの相互変換ツールです。MEMS ONEで作成したデバイス構造から等価回路モデル生成に必要な形状パラメータを抽出します。ご利用には、MEMS ONEの動作環境が必要です。「MEMS ONE」は財団法人 マイクロマシンセンターの登録商標です。

# 等価回路ジェネレータにコンポーネントを登録

- タイプを指定して下さい
- タイプを指定して下さい
  - 2端子櫛歯
  - 静電型平行平板
  - ユニモルフ圧電駆動梁
  - 磁気駆動梁
  - 音響平行平板アクチュエータ
  - 穴あき管路
  - 空洞
  - 細管
  - 梁バネ
  - O型バネ
  - ダブルフォールドバネ1
  - ダブルフォールドバネ2
  - 剛体平板
  - 剛体フレーム
  - アンカー

MEMS等価回路モデル  
WebLibrarySystem

MENU 使用方法 計算例 コンポーネント一覧 等価回路ジェネレーター

### 等価回路ジェネレーター

モデル名:

運動方向の設定  x  y  z

<h4>コンポーネント設定</h4> <p>タイプ: <input type="text" value="タイプを指定して下さい"/></p> <p>ID: <input type="text"/></p> <p><input type="button" value="設定"/></p>	<h4>幾何接続設定</h4> <p>幾何接続点1: <input type="text" value="コンポーネントを選択して下さい"/></p> <p><input type="button" value="設定"/></p> <p>幾何接続点2: <input type="text" value="コンポーネントを選択して下さい"/></p> <p><input type="button" value="設定"/></p>	<h4>周辺回路設定</h4> <p>回路素子: <input type="text" value="タイプを指定して下さい。"/></p> <p>ID: <input type="text"/></p> <p>接続情報: <input type="text" value="====="/></p> <p><input type="button" value="設定"/></p>																								
<h4>コンポーネント一覧</h4> <table border="1"><thead><tr><th>No.</th><th>ID</th><th>種類</th><th>種別</th><th>編集</th><th>削除</th></tr></thead><tbody><tr><td colspan="6"><input type="button" value="パラメータ抽出"/></td></tr></tbody></table>	No.	ID	種類	種別	編集	削除	<input type="button" value="パラメータ抽出"/>						<h4>コンポーネントの接続情報</h4> <table border="1"><thead><tr><th>機械接点</th><th>接続情報</th><th>コンポ1</th><th>幾何節点</th><th>コンポ2</th><th>幾何節点</th></tr></thead><tbody></tbody></table>	機械接点	接続情報	コンポ1	幾何節点	コンポ2	幾何節点	<h4>周辺回路の接続情報</h4> <table border="1"><thead><tr><th>No.</th><th>ID</th><th>種類</th><th>接続情報</th><th>編集</th><th>削除</th></tr></thead><tbody></tbody></table>	No.	ID	種類	接続情報	編集	削除
No.	ID	種類	種別	編集	削除																					
<input type="button" value="パラメータ抽出"/>																										
機械接点	接続情報	コンポ1	幾何節点	コンポ2	幾何節点																					
No.	ID	種類	接続情報	編集	削除																					

**SPICE3**

解析方法

コンポーネント  
の名前を入力

# コンポーネントごとに構造パラメータを入力

## Sp1の場合

コンポーネント設定

タイプ:

ID:

コンポーネント一覧

No.	ID	種類	種別	編集	削除
1	Comb1	2端子歯車	電気-機械相互変換	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
2	Comb2	2端子歯車	電気-機械相互変換	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
3	Sp1	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
4	Sp2	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
5	Sp3	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
6	Sp4	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
7	Sp5	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
8	Sp6	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
9	Sp7	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
10	Sp8	梁バネ	バネ	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
11	Frame	剛体フレーム	マス	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
12	An1	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
13	An2	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
14	An3	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
15	An4	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
16	An5	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
17	An6	アンカー	アンカー	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>

### パラメータ編集

コンポーネント名: Sp1

コンポーネントの種類: 梁バネ

反転回転:

回転情報を入れる。

#### 形状パラメータ

長さ(L)  m

幅(W)  m

厚み(T)  m

#### 物性パラメータ

ヤング率(Young)  Pa

密度(Density)  kg/m<sup>3</sup>

抵抗率(Resistivity)  Ωcm

#### 電気機械特性パラメータ

バネ定数(KspringX)  N/m

バネ定数(KspringY)  N/m

バネ定数(KspringZ)  N/m

等価質量(MassX)  kg

等価質量(MassY)  kg

等価質量(MassZ)  kg

長軸方向の抵抗(RL)  Ω

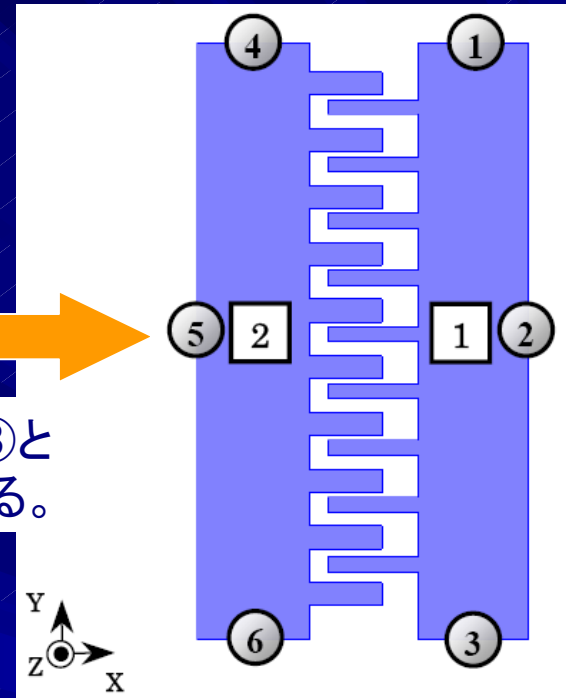
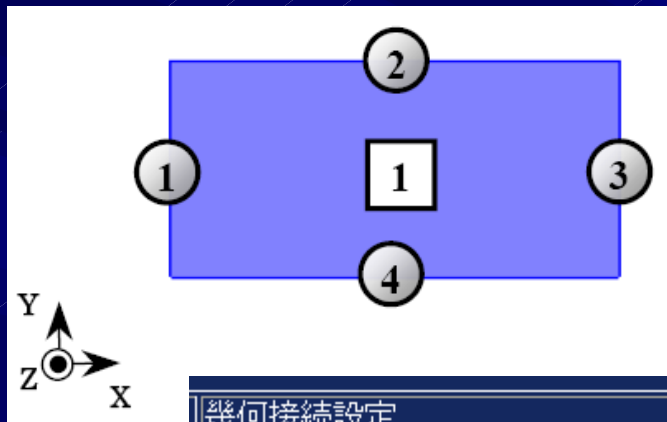
こちらを入力

こちらは自動  
計算される



# コンポーネントの接続情報を入力1

Comb1とAn1の場合



回転なしで③と⑤が接続する。

幾何接続設定

幾何接点1: Comb1

幾何接点5

幾何接点2: An1

幾何接点3

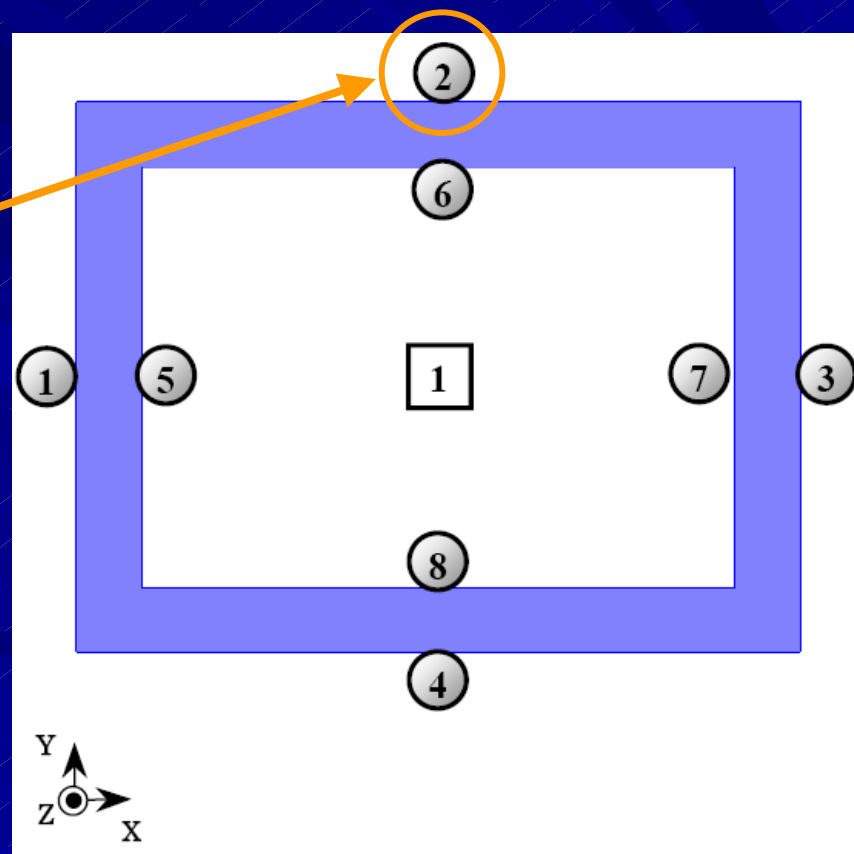
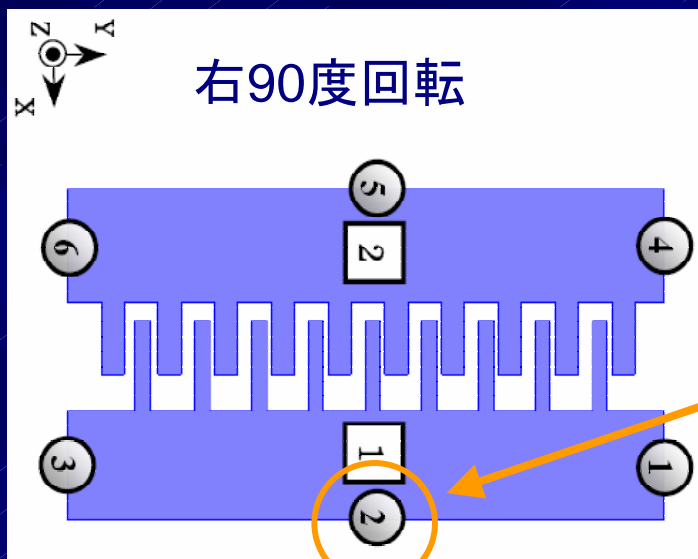
設定

コンポーネントの接続情報

機械接点	接続情報	コンボ1	幾何節点	コンボ2	幾何節点
Comb1		3	Comb1	5	

# コンポーネントの接続情報を入力2

Comb2とFrameの場合



Comb2の②と  
Frameの②が接続

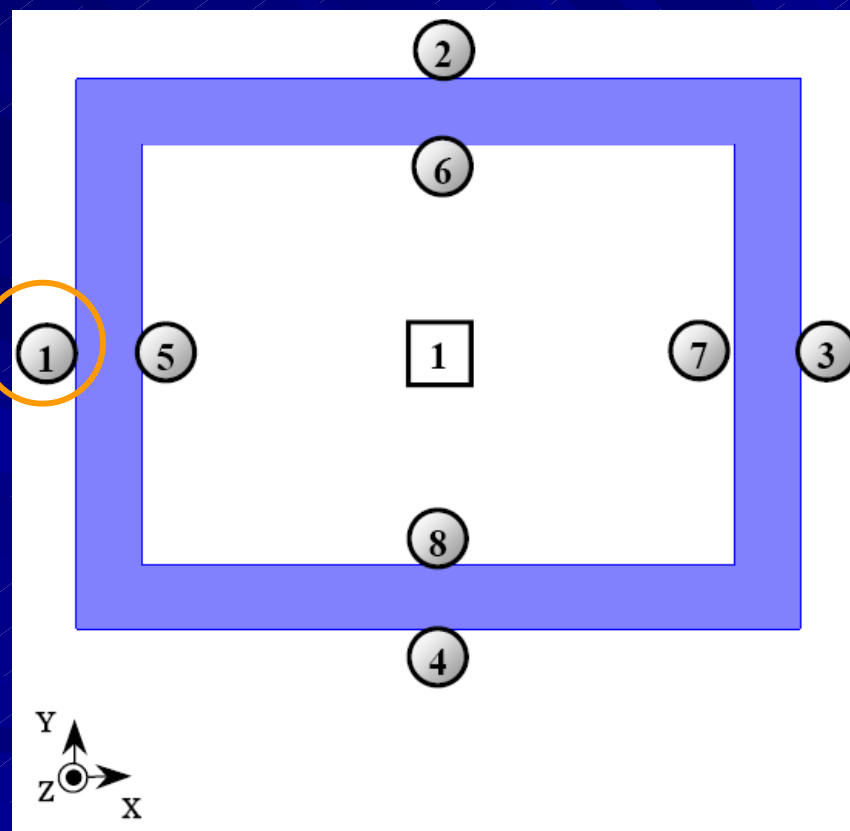
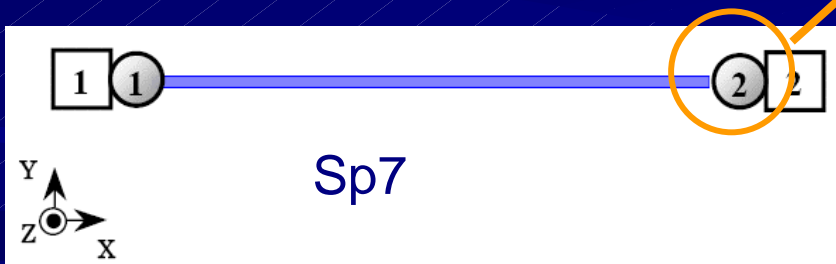
# コンポーネントの接続情報を入力

Sp5及びSp7とFrameの場合

右90度回転



どちらもFrame  
の①に接続※



※現在は3次元並進運動のみ考慮

# パラメータ抽出

ここを押すと、バネ定数や質量、電気機械係数などの回路シミュレーション用パラメータが計算される

### コンポーネント一覧

No.	ID	種類	種別	編集	削除
1	Comb1	2端子歯	電気-機械相互変換	編集	削除
2	An1	アンカー	アンカー	編集	削除
3	Sp1	梁バネ	バネ	編集	削除
4	Sp2	梁バネ	バネ	編集	削除
5	Sp3	梁バネ	バネ	編集	削除
6	Sp4	梁バネ	バネ	編集	削除
7	Frame	剛体フレーム	マス	編集	削除
8	Comb2	2端子歯	電気-機械相互変換	編集	削除
9	An2	アンカー	アンカー	編集	削除
10	Sp5	梁バネ	バネ	編集	削除
11	An3	アンカー	アンカー	編集	削除
12	Sp6	梁バネ	バネ	編集	削除
13	An4	アンカー	アンカー	編集	削除
14	Sp7	梁バネ	バネ	編集	削除
15	An5	アンカー	アンカー	編集	削除
16	Sp8	梁バネ	バネ	編集	削除
17	An6	アンカー	アンカー	編集	削除

### コンポーネントの接続情報

機械接点	接続情報	コンボ1	幾何節点	コンボ2	幾何節点
joint1	An1:3-Comb1:5 削除				
joint2	An2:4-Comb2:5 削除				
joint3	An3:3-Sp5:1 削除				
joint4	An4:1-Sp6:2 削除				
joint5	An5:3-Sp7:1 削除				
joint6	Sp8:2-An6:1 削除				
joint7	Sp1:1-Comb1:1 削除				
	Sp2:1-Comb1:1 削除				
	Sp3:2-Comb1:3 削除				
	Sp4:2-Comb1:3 削除				
joint8	Comb2:2-Frame:2 削除				
	Frame:6-Sp1:2 削除				
	Frame:6-Sp2:2 削除				
	Frame:8-Sp3:1 削除				
	Frame:8-Sp4:1 削除				
	Sp5:2-Frame:1 削除				
	Sp6:1-Frame:3 削除				
	Sp7:2-Frame:1 削除				
Sp8:1-Frame:3 削除					

# パラメータ抽出後の確認1

コンポーネント一覧

No.	ID	種類	種別	編集	削除
1	Comb1	端子歯	電気-機械相互変換	編集	削除
2	An1	アンカー	アンカー	編集	削除
3	Sp1	梁バネ	バネ	編集	削除
4	Sp2	梁バネ	バネ	編集	削除
5	Sp3	梁バネ	バネ	編集	削除
6	Sp4	梁バネ	バネ	編集	削除
7	Frame	剛体フレーム	マス	編集	削除
8	Comb2	端子歯	電気-機械相互変換	編集	削除
9	An2	アンカー	アンカー	編集	削除
10	Sp5	梁バネ	バネ	編集	削除
11	An3	アンカー	アンカー	編集	削除
12	Sp6	梁バネ	バネ	編集	削除
13	An4	アンカー	アンカー	編集	削除
14	Sp7	梁バネ	バネ	編集	削除
15	An5	アンカー	アンカー	編集	削除
16	Sp8	梁バネ	バネ	編集	削除
17	An6	アンカー	アンカー	編集	削除

コンポーネントの接続情報

### パラメータ編集

クリア 保存終了 保存しないで終了 元に戻す

コンポーネント名: Sp1  
コンポーネントの種類: 梁バネ

反転回転: 左90度回転

形状パラメータ	電気機械特性パラメータ
長さ(L) <input type="text" value="500e-6"/> m	バネ定数(KspringX) <input type="text" value="9.072000e+02"/> N/m
幅(W) <input type="text" value="30e-6"/> m	バネ定数(KspringY) <input type="text" value="2.520000e+05"/> N/m
厚み(T) <input type="text" value="25e-6"/> m	バネ定数(KspringZ) <input type="text" value="6.300000e+02"/> N/m
物性パラメータ	等価質量(MassX) <input type="text" value="3.245357e-10"/> kg
ヤング率(Young) <input type="text" value="168e9"/> Pa	等価質量(MassY) <input type="text" value="2.912500e-10"/> kg
密度(Density) <input type="text" value="2330"/> kg/m <sup>3</sup>	等価質量(MassZ) <input type="text" value="3.245357e-10"/> kg
抵抗率(Resistivity) <input type="text" value="0.01"/> Ωcm	長軸方向の抵抗(RL) <input type="text" value="6.666667e+01"/> Ω

パラメータ抽出

Sp7-2-Frame:1	削除
Sp8:1-Frame:3	削除

1	An3	3	
An3	3	Sp5	1
Sp6	1	Frame	3
An4	2	An4	1
An4	1	Sp6	2
Sp7	2	Frame	1
Sp7	1	An5	3
An5	3	Sp7	1
Sp8	1	Frame	3

ここを確認!

# パラメータ抽出後の確認2

コンポーネント一覧

No.	ID	種類	種別	編集	削除
1	Comb1	2端子歯	電気-機械相互変換	編集	
2	An1	アンカー	アンカー	編集	削除
3	Sp1	梁バネ	バネ	編集	削除
4	Sp2	梁バネ	バネ	編集	削除
5	Sp3	梁バネ	バネ	編集	削除
6	Sp4	梁バネ	バネ	編集	削除
7	Frame	剛体フレーム	マス	編集	削除
8	Comb2	2端子歯	電気-機械相互変換	編集	削除
9	An2	アンカー	アンカー	編集	削除
10	Sp5	梁バネ	バネ	編集	削除
11	An3	アンカー	アンカー	編集	削除
12	Sp6	梁バネ	バネ	編集	削除
13	An4	アンカー	アンカー	編集	削除
14	Sp7	梁バネ	バネ	編集	削除
15	An5	アンカー	アンカー	編集	削除
16	Sp8	梁バネ	バネ	編集	削除
17	An6	アンカー	アンカー	編集	削除

コンポーネントの接続情報

機械接点 | 接続情報 | コンポ1|幾何節点|コンポ2|幾何節点|

構造部2の機械抵抗(Rfz2)

1.989189e-06 Ns/m

浮遊容量(Cstray)

F

パラメータ抽出

楯歯アクチュエータの場合、浮遊容量を個別に入力する必要があります。

通常は、楯歯アクチュエータに接続されているアンカーのパッド容量などを個別に計算して入れます。

# 構造接続情報の確認

MENU 使用方法 計算例 コンポーネント一覧 等価回路ジェネレーター

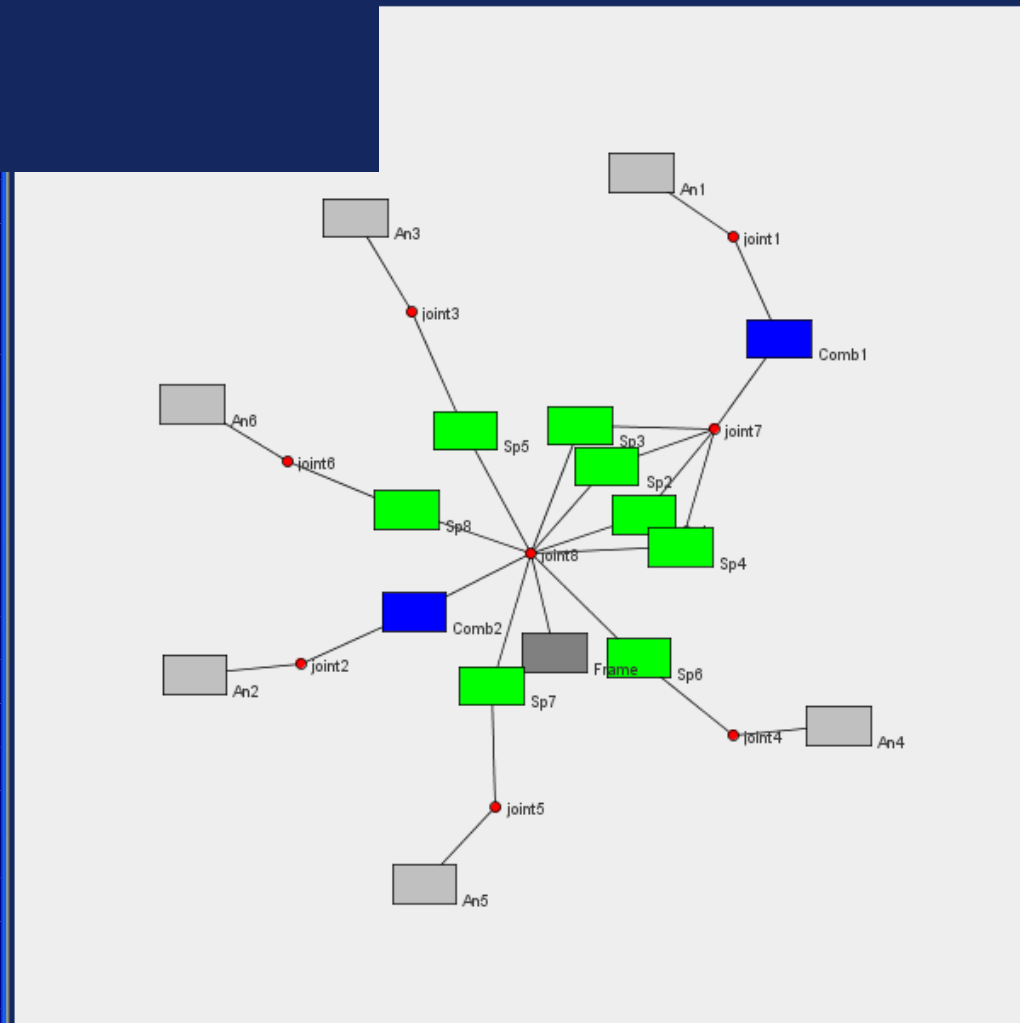
等価回路ジェネレーター

モデル名:

読込 保存 クリア **図の表示**

ここを押すと右のようなコンポーネント接続情報グラフが現れる。

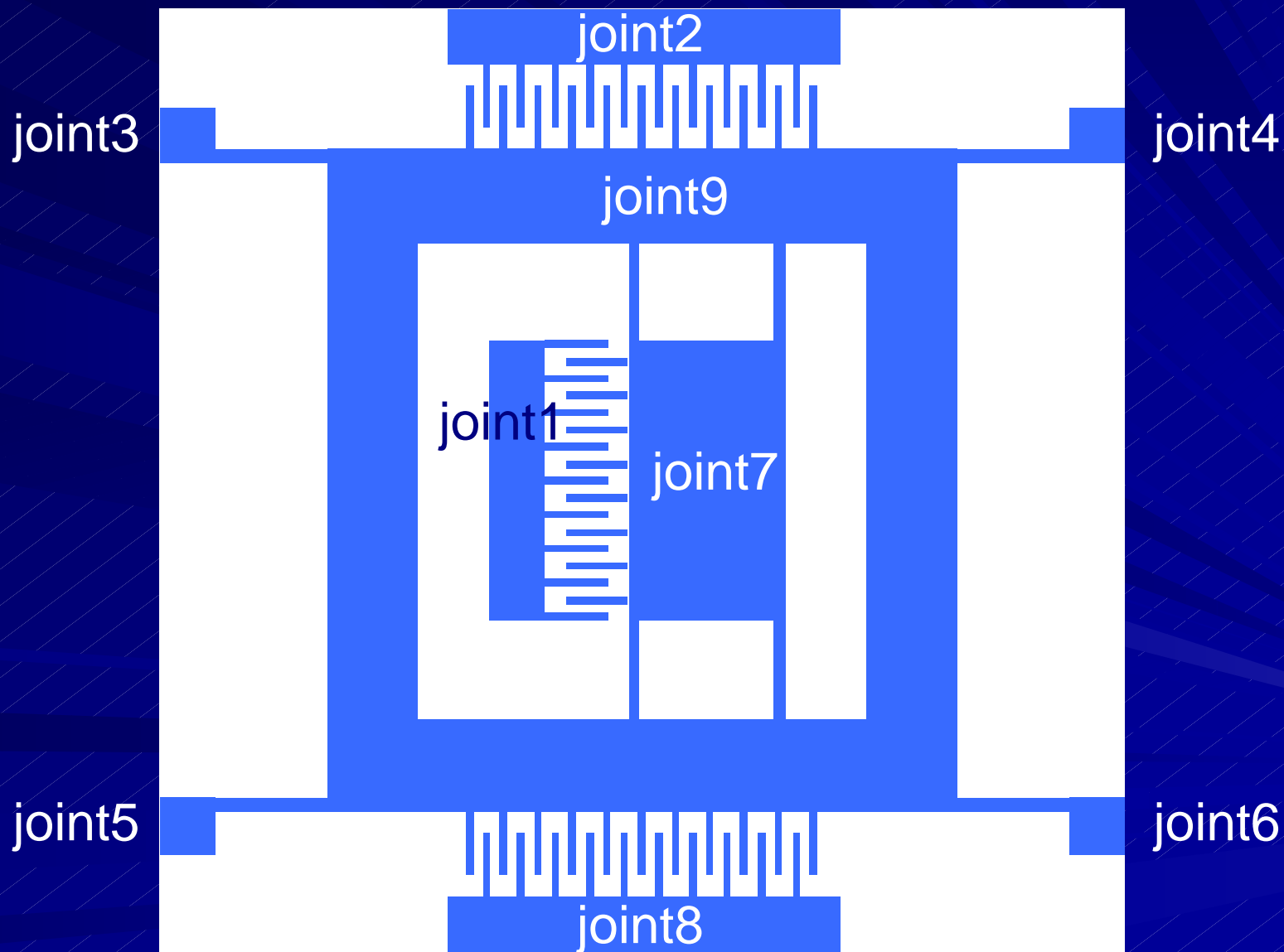
電気回路は、図中のjoint@という点へ接続するので、実際の構造とjoint点の対応を読み取る必要がある。



- 機械接続
- GROUND
- 電気-機械相互変換
- 音響
- パネ
- マス
- アンカー
- 周辺回路 (element)
- 周辺回路 (source)

閉じる

# Joint情報の取得





# 解析方法の選択

## SPICE3

解析方法

交流解析



このコンボボックスから選択する。

制御パラメータ

編集

出力設定

編集

ネットリストのダウンロード

計算実行

# 周辺回路情報の入力

接続したい素子を選んで  
IDを適当に入力

周辺回路設定

回路素子:

ID:

接続情報:

周辺回路の接続情報

No.	ID	種類	接続情報	編集	削除
-----	----	----	------	----	----

タイプを指定して下さい。

- 電圧源
- 電流源
- 外力
- 音源
- 音響平行平板アク
- 圧電ユニモルフ電
- 磁気カンチレバー電
- インダクタ
- キャパシタ
- 抵抗

周辺回路設定

回路素子:

ID:

接続情報:

周辺回路の接続情報

+側の機械節点を選んで下さい。

- joint1
- joint2
- joint3
- joint4
- joint5
- joint6
- joint7
- joint8
- GND
- 新しい機械節点

Jointとグランド端子が表示されるのでそこから選ぶ。

周辺回路の接続情報

No.	ID	種類	接続情報	編集	削除
1	AC	電圧源	+ joint1 - GND	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
2	Res_GND	抵抗	GND joint3	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>
3	AC_out	電圧源	+ joint2 - GND	<input type="button" value="編集"/>	<input type="button" value="削除"/>

# 接続した素子のパラメータ入力

周辺回路の接続情報

No.	ID	種類	接続情報	編集	削除
1	AC	電圧源	+ joint1 - GND	編集	削除
2	Res_GND	抵抗	GND joint3	編集	削除
3	AC_out	電圧源	+ joint2 - GND	編集	削除

## 基本回路素子パラメータ編集

回路素子名: AC

接続タイプ: 電圧源

解析方法: 交流解析

交流振幅  V

交流位相  °

元に戻す

保存終了

保存しないで終了

## 基本回路素子パラメータ編集

回路素子名: Res\_GND

接続タイプ: 抵抗

解析方法: 交流解析

抵抗値  Ω

元に戻す

保存終了

保存しないで終了

## 基本回路素子パラメータ編集

回路素子名: AC\_out

接続タイプ: 電圧源

解析方法: 交流解析

交流振幅  V

交流位相  °

元に戻す

保存終了

保存しないで終了

# 周辺回路接続の確認

MENU 使用方法 計算例 コンボ

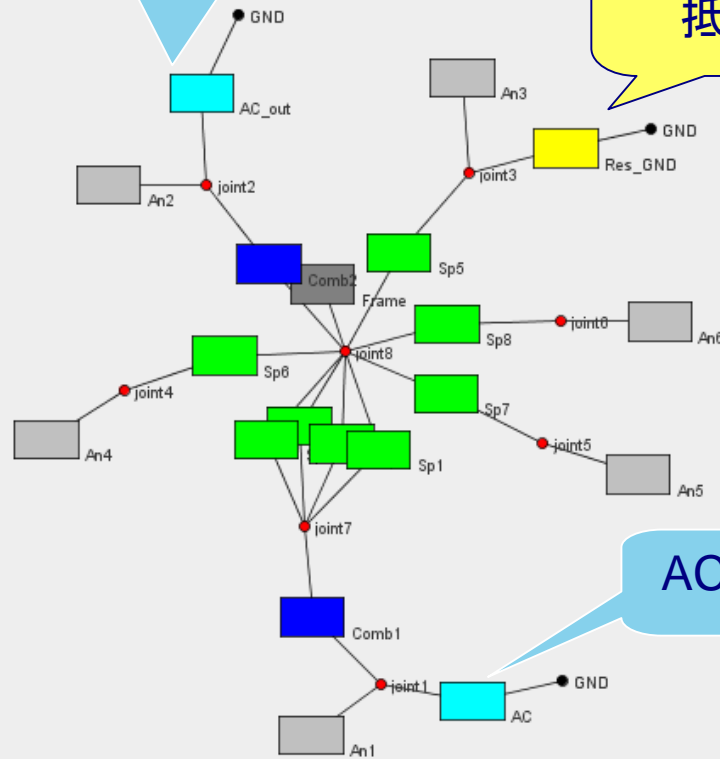
## 等価回路ジェネレーター

モデル名:

運動方向の設定  x  y  z

出力取り出し  
用ダミー電源

接続した  
抵抗



- 機械接続
- GROUND
- 電気-機械相互変換
- 音響
- バネ
- マス
- アンカー
- 周辺回路(element)
- 周辺回路(source)

# 制御パラメータと出力設定

**SPICE3**

解析方法

制御パラメータ

出力設定

**制御パラメータ編集**

解析方法: 交流解析

スイープ方法

点数

開始周波数  Hz

最終周波数  Hz

**出力制御設定**

コンポーネントを選択して下さい

**出力制御設定**

AC

出力量を選んでください。

出力量を選んでください。  
電圧源を流れる電流

AC	電圧源を流れる電流	<input type="button" value="削除"/>
----	-----------	-----------------------------------

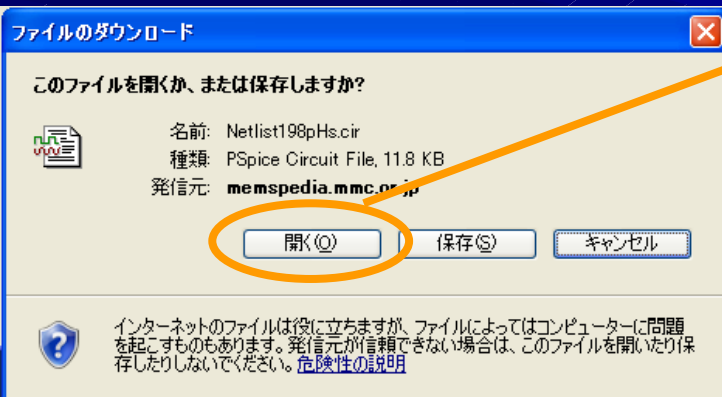
# ネットリストの取得

## SPICE3

解析方法

制御パラメータ

出力設定



```
* ./tmp/ParameteraiWF1B
* ./tmp/ExtParameterue361x

* External Source(s)
/AC enodejoint1 0 ac 1 0
/AC_out enodejoint2 0 ac 0 0

* Device Subcircuit Calls
xcircuit_ enodejoint1 0 enodejoint2 circuit_

* Type of Analysis
/ac dec 5000 1k 100k

* Batch Output
* Output AC current
/print ac mas(i(vAC)) i(vAC) ph(i(vAC))

.subckt circuit_ enodejoint1 0 enodejoint2
* Subcircuit Calls
* xconv_comb2term_Comb1 mnode1_x mnode2_x mnode1_y mnode2_y mnode1_z mnode2_z conv_comb2term_Comb1
mass_Comb1_mass_1 enodejoint7 enodejoint7_Comb1 mnode2_x mnode3_x mnode2_y mnode3_y mnode2_z mnode3_z mass_Comb1_mass_1
mass_Comb1_mass_2 enodejoint1 enodejoint1_Comb1 mass_Comb1_mass_2
spring_beam_Sp1 enodejoint7 enodejoint8 mnode3_x mnode4_x mnode3_y mnode4_y mnode3_z mnode4_z spring_beam_Sp1
spring_beam_Sp2 enodejoint7 enodejoint8 mnode4_x mnode5_x mnode4_y mnode5_y mnode4_z mnode5_z spring_beam_Sp2
spring_beam_Sp3 enodejoint7 enodejoint8 mnode5_x mnode6_x mnode5_y mnode6_y mnode5_z mnode6_z spring_beam_Sp3
spring_beam_Sp4 enodejoint7 enodejoint8 mnode6_x mnode1_x mnode6_y mnode1_y mnode6_z mnode1_z spring_beam_Sp4
mass_frame_Frame mnode1_x mnode7_x mnode1_y mnode7_y mnode1_z mnode7_z mass_frame_Frame
* xconv_comb2term_Comb2 mnode7_x mnode8_x mnode7_y mnode8_y mnode7_z mnode8_z conv_comb2term_Comb2
mass_Comb2_mass_1 enodejoint8 enodejoint8_Comb2 mnode8_x mnode9_x mnode8_y mnode9_y mnode8_z mnode9_z mass_Comb2_mass_1
mass_Comb2_mass_2 enodejoint2 enodejoint2_Comb2 mass_Comb2_mass_2
spring_beam_Sp5 enodejoint3 enodejoint8 mnode9_x mnode10_x mnode9_y mnode10_y mnode9_z mnode10_z spring_beam_Sp5
spring_beam_Sp6 mnode10_x mnode11_x mnode10_y mnode11_y mnode10_z mnode11_z spring_beam_Sp6
spring_beam_Sp7 mnode11_x mnode12_x mnode11_y mnode12_y mnode11_z mnode12_z spring_beam_Sp7
spring_beam_Sp8 mnode12_x mnode3_x mnode12_y mnode3_y mnode12_z mnode3_z spring_beam_Sp8
element_resistor_Res_GND enodejoint3 0 element_resistor_Res_GND
conv_compound_comb_Comb1
  enodejoint7_Comb1 enodejoint1_Comb1
  mnode1_x mnode2_x mnode1_y mnode2_y mnode1_z mnode2_z
  conv_compound_comb_Comb1
conv_compound_comb_Comb2
```

# シミュレーションの実行

## SPICE3

解析方法  ▾

制御パラメータ

出力設定

ネットリストのダウンロード

## SPICE3の実行結果

# グラフの表示やデータの取得

## SPICE3の実行結果

「AC」の「電圧源を流れる電流」の絶対値のグラフ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の絶対値のデータ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の実部のグラフ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の実部のデータ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の虚部のグラフ

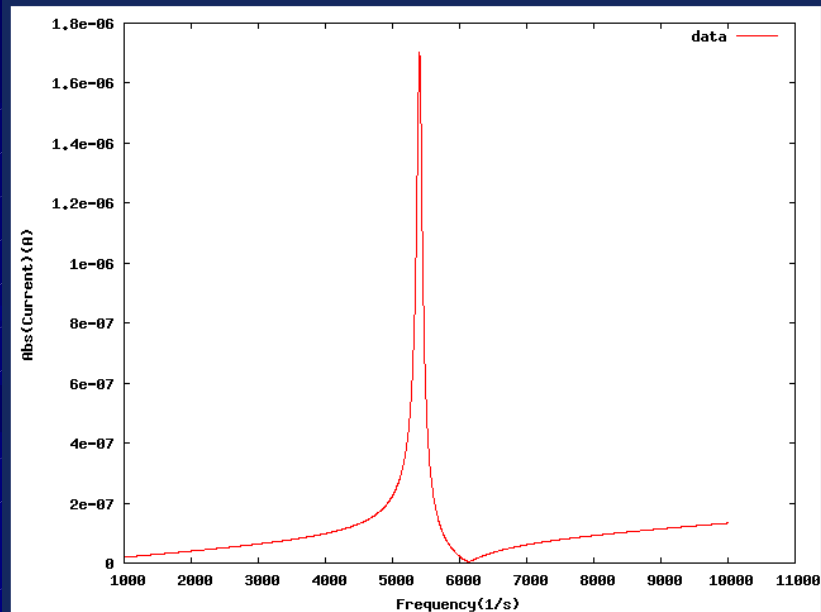
「AC」の「電圧源を流れる電流」の虚部のデータ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の位相のグラフ

「AC」の「電圧源を流れる電流」の位相のデータ

戻る

「AC」の「電圧源を流れる電流」の絶対値



閉じる

http://memspedia.mmc.or.jp/Webl

http://memspedia.mmc.or.jp

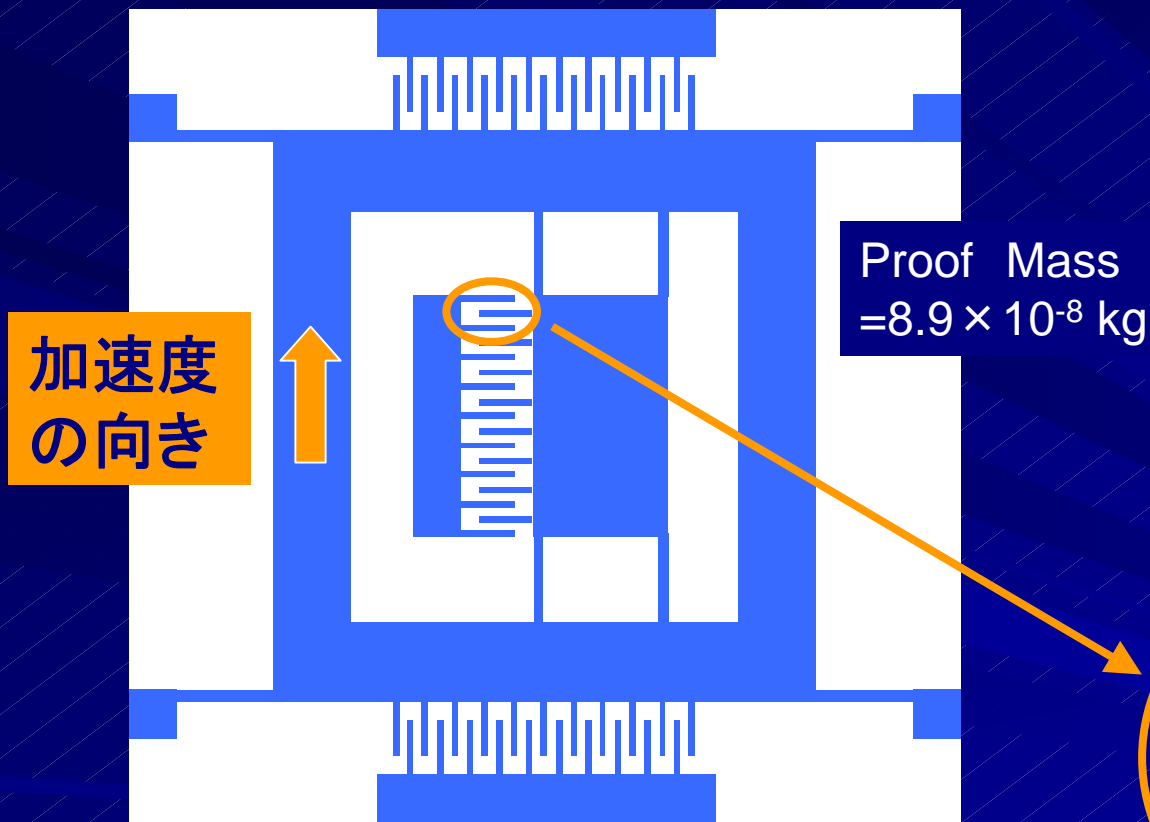
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I)

お気に入り http://memspedia.mmc.or.jp

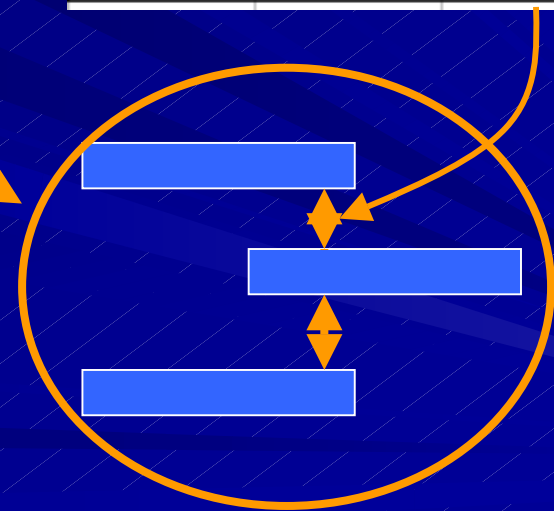
	A1	#	Frequency	Abs(Current)(A)
1		#	Frequency	Abs(Current)(A)
2		1.00E+03	1.94E-08	
3		1.00E+03	1.94E-08	
4		1.00E+03	1.94E-08	
5		1.00E+03	1.94E-08	
6		1.00E+03	1.94E-08	
7		1.00E+03	1.94E-08	
8		1.00E+03	1.94E-08	
9		1.00E+03	1.95E-08	
10		1.00E+03	1.95E-08	
11		1.00E+03	1.95E-08	
12		1.00E+03	1.95E-08	
13		1.01E+03	1.95E-08	
14		1.01E+03	1.95E-08	
15		1.01E+03	1.95E-08	
16		1.01E+03	1.95E-08	
17		1.01E+03	1.95E-08	
18		1.01E+03	1.95E-08	
19		1.01E+03	1.95E-08	
20		1.01E+03	1.96E-08	
21		1.01E+03	1.96E-08	
22		1.01E+03	1.96E-08	
23		1.01E+03	1.96E-08	
24		1.01E+03	1.96E-08	
25		1.01E+03	1.96E-08	
26		1.01E+03	1.96E-08	
27		1.01E+03	1.96E-08	
28		1.01E+03	1.96E-08	



# 加速度がy方向にかかると



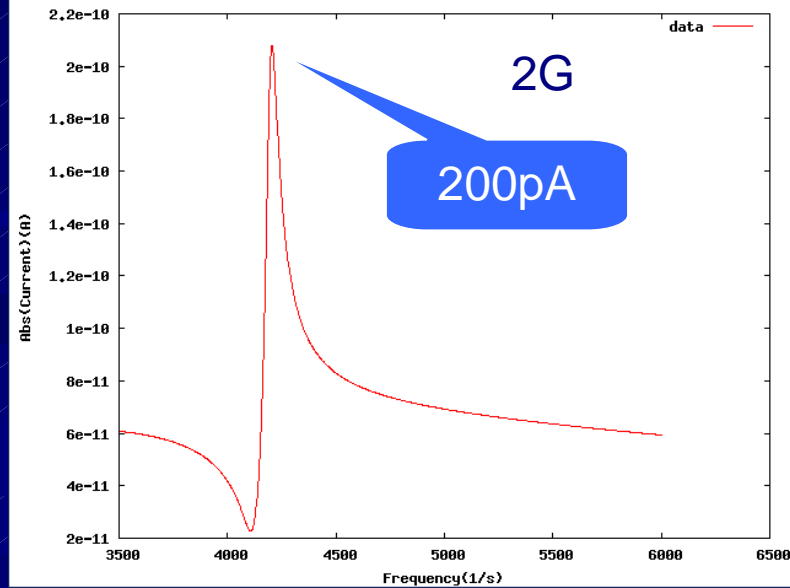
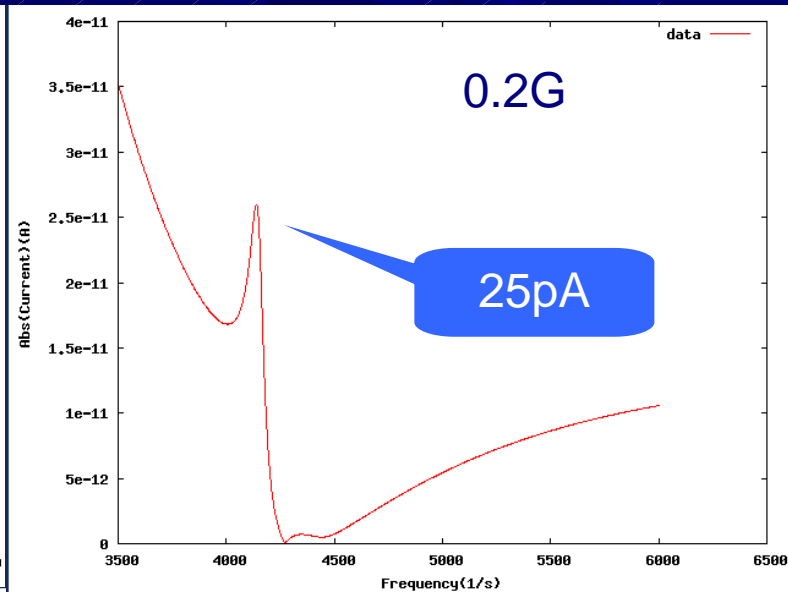
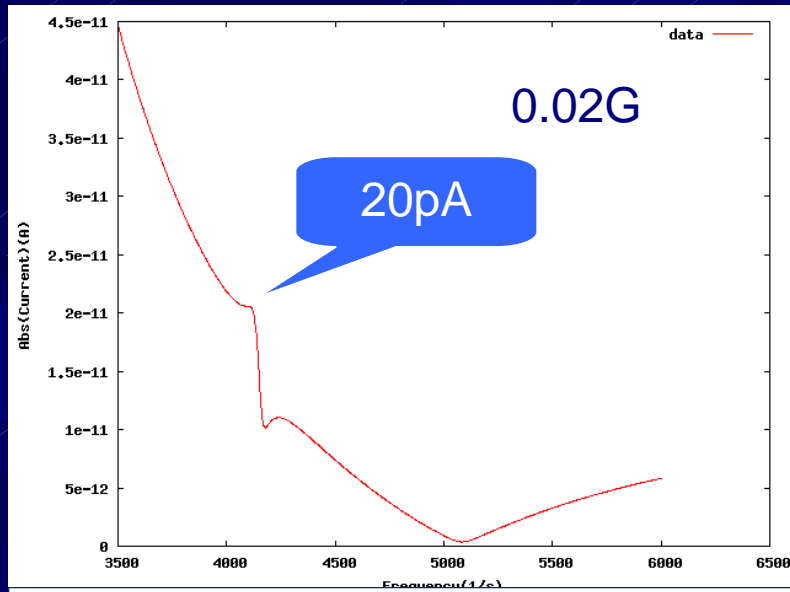
加速度(G)	力	変位Y
0.01	8.73E-09	5.19E-10
0.02	1.75E-08	1.04E-09
0.05	4.36E-08	2.60E-09
0.1	8.73E-08	5.19E-09
0.2	1.75E-07	1.04E-08
0.5	4.36E-07	2.60E-08
1	8.73E-07	5.19E-08
2	1.75E-06	1.04E-07
10	8.73E-06	5.19E-07



Comb1のyとComb2及び  
Comb3のx方向の重なり

Y変位の分gapを変更

# 出力櫛歯アクチュエータの電流



ピーク電流が加速度と共に増大。

ピーク周波数がわずかに高い方にシフト。

# 等価回路ジェネレータweb

[http://mmc.la.coocan.jp/memspedia/web\\_library/](http://mmc.la.coocan.jp/memspedia/web_library/)

[MMCホームページ](#)

**MEMSPedia**

[トップページ](#)  
[お知らせ](#)

**fineMEMS  
知識DB**

**MEMS等価回路  
ジェネレータ**

[関連サイト]  
[プロジェクト概要](#)  
[MemsONEシステム](#)  
[MEMSファンドライ](#)

**MEMSPedia**  **MEMS**

**MEMS等価回路ジェネレータ**

ようこそ、MEMS等価回路ジェネレータの世界へ！！

ファインMEMSプロジェクトで開発されたこの「MEMS等価回路ジェネレータ」は、MEMSと電気回路の集積化や多種類のMEMSの組合せによる集積化に関する研究開発が活発化し、製品に関する成功事例も出現する中、システム全体として電気等価回路を用いたアプローチなどの新しい設計手法としてご提案するものです。

MEMSの設計は、構成する機械要素に主眼におき、機械設計の発想から数々の設計ツールが生み出されてきました。欧米主体で開発されたものが多数を占める中、昨年度わが国初のMEMS設計ツール MemsONE もその一つです。MEMSと電気回路や多種のMEMSの組合せなどはその集積度が増すにつれ、この新しい手法は効果を発揮すると考えております。

ご利用いただく際には、まだまだ不十分で改善すべき点があるとのご認識の上、新しい設計手法として挑戦していただければ幸いです。

MEME等価回路ジェネレータのご利用はこちらから  
\* [MEME等価回路ジェネレータへ](#)

ご利用に当たって、ご質問やご意見のある方はこちらから  
\* [MEME等価回路ジェネレータ技術交流掲示板へ](#)

当サイトは、財団法人マイクロマシンセンターに設置された「ファインMEMS事務局」が運営しています。お問い合わせ、ご連絡等は以下までお願いします。

財団法人マイクロマシンセンター「ファインMEMS事務局」  
〒101-0026 東京都千代田区神田佐久間河岸67 MBR99ビル6階  
Tel: 03-5835-1870 Fax: 03-5835-1873  
E-mail: [fmems\\_office@mmc.or.jp](mailto:fmems_office@mmc.or.jp)