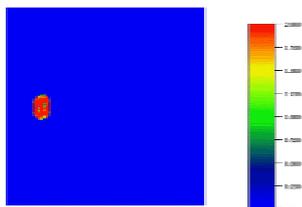


振動工学特論

授業の概要

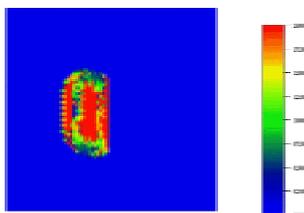
機械系・電気系・機械電気系・電気油圧系など，機械工学で取り扱う対象のモデル化について解説し，その動特性，特に，振動特性に関する問題点を論ずる．



振動工学特論

授業の一般目標

- 1) 機械・電気システムの数学モデルに対する基礎方程式の導出ができる．
- 2) 与えられた連立微分方程式問題を解き，その結果を考察することができる．



振動工学特論

授業の到達目標

知識・理解の観点:

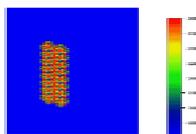
機械・電気システム(メカトロ機器)の基礎原理の理解

思考・判断の観点:

機械・電気システムをモデル化し,現象を理解できる

関心・意欲の観点:

機械・電気システムに見られる振動問題を見つけ出す



振動工学特論

授業計画【概要・授業の目標(予定)】

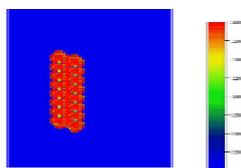
実際の機械システムに発生している振動問題を例にとり,機械設計における動力的設計および振動学的設計を意識したモデル化およびその解析手法について講義する.

教科書:

Control System Dynamics

Robert N. Clark

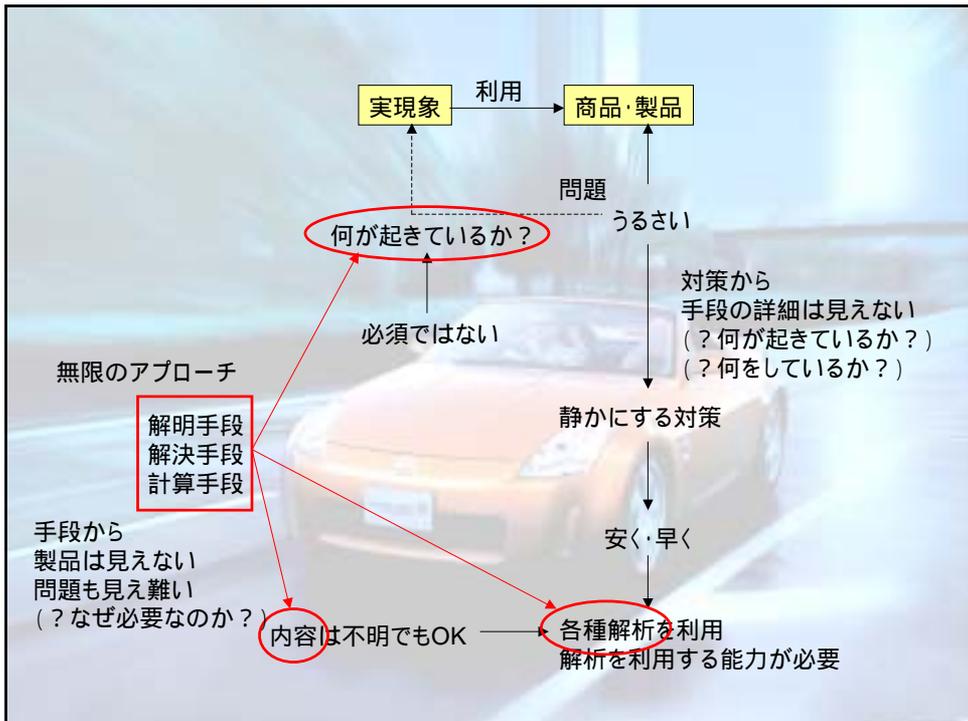
CAMBRIDGE/1996

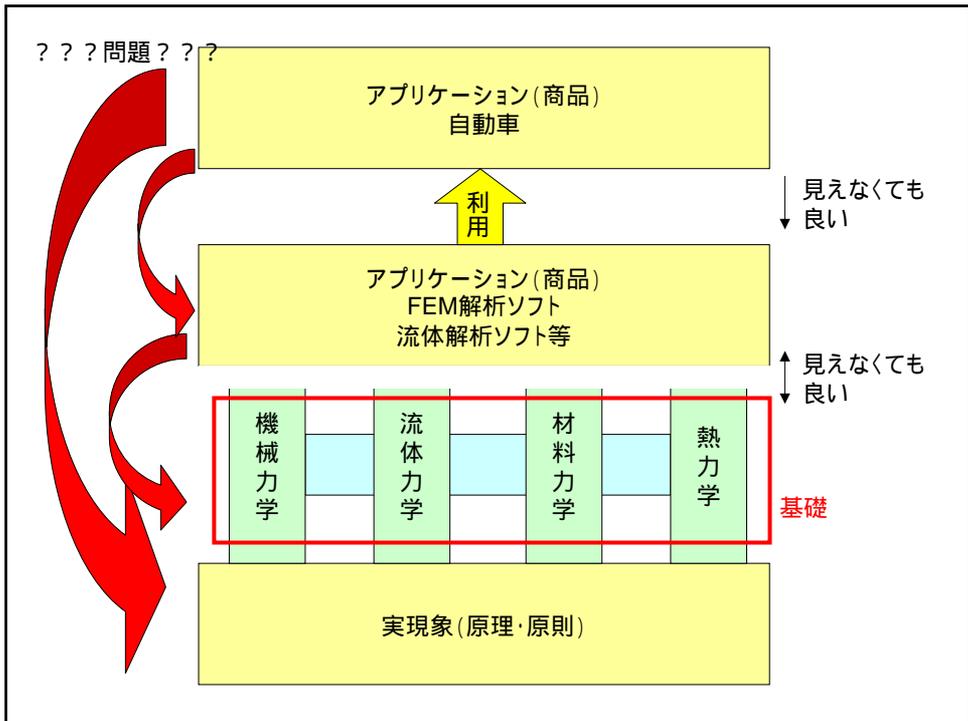
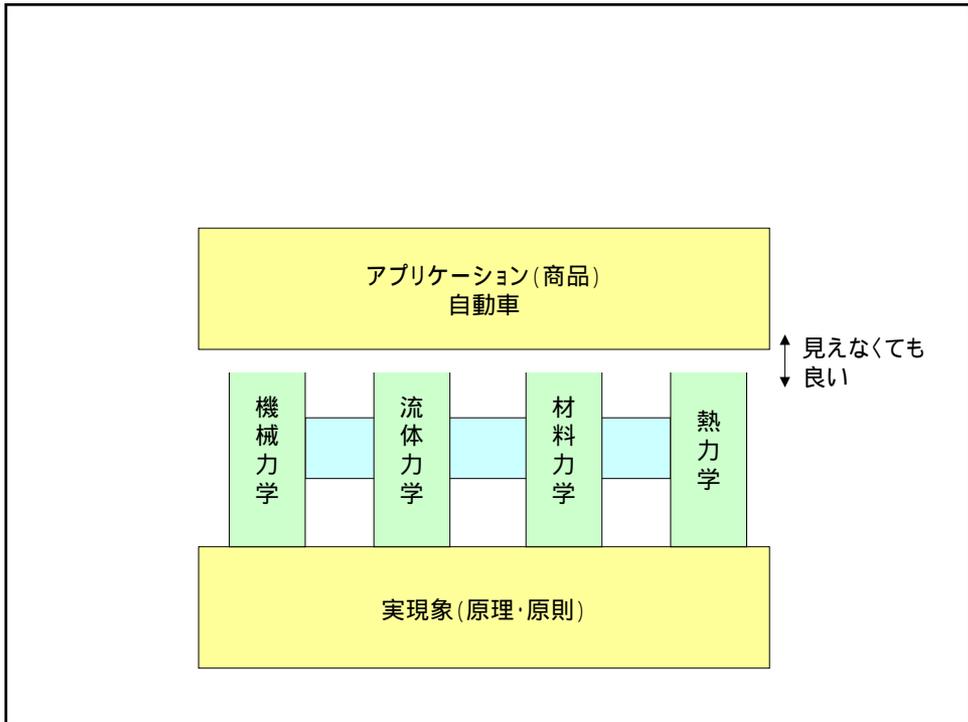


共同研究プロジェクト

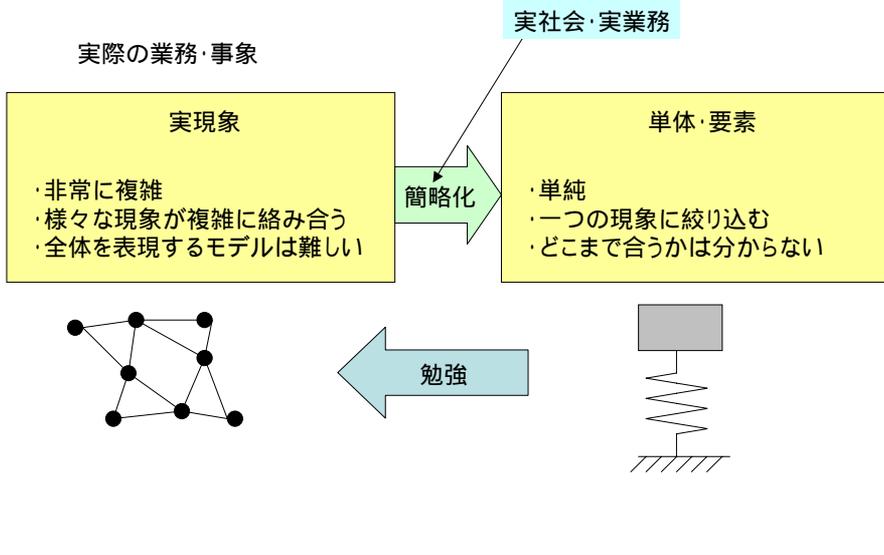
- ・ 機械システム振興協会 (1991/4 ~ 1993/3)
 協調移動制御に関する要素技術研究
- ・ 宇部興産 (1993/4 ~ 1996/3)
 縦型ローラーミルの異常振動低減
- ・ 帝人製機 (1994/4 ~ 1998/3)
 スラスト気体軸受の軸受剛性と安定性
- ・ 日新運輸 (1995/4 ~ 1997/3)
 走行トラックの荷崩れ防止
- ・ 日立製作所 (1996/4 ~ 1998/3)
 ハニカム構造板の振動・騒音低減
- ・ 日産化学 (1997/4 ~ 1999/3)
 化学プラントにおける振動・騒音対策
- ・ 太陽鉄工 (1998/4 ~ 2001/3)
 油圧シリンダーのびびり振動低減
- ・ 日立製作所 (2002/4 ~ 2004/3)
 アルミ合金製中空型材の振動・騒音低減
- ・ ヤンマー中央研究所 (2004/4 ~)
 農業機械の振動・騒音低減

振動工学
 システム工学
 工学研究分野
 工学研究分野





なぜ、知識として根付かないか？



実際の仕事

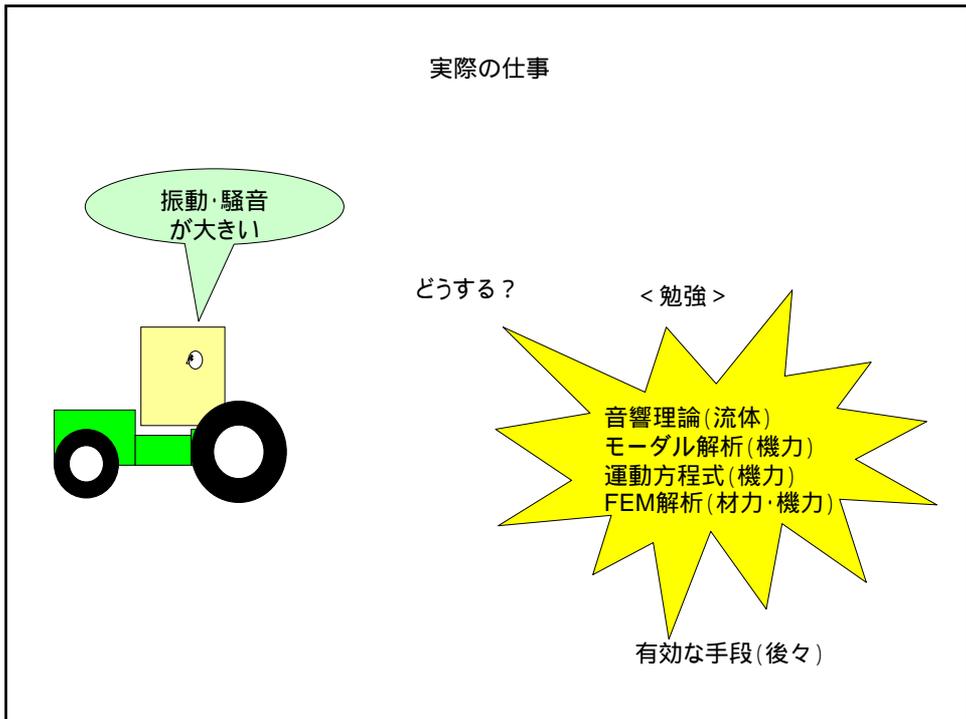


どうする？

< 勉強 >

音響理論 (流体)
モーダル解析 (機力)
運動方程式 (機力)
FEM解析 (材力・機力)

有効な手段 (後々)



どうするか？

音を聞く、振動を感じる

音を記録する どうやって音を採取するか？どうやって記録するか？何に記録するか？

振動を記録する 同上

音を採取するセンサー： マイク

振動を採取するセンサー： 加速度PU、レーザー変位計

原理は知らなくても使える

音・振動を記録する方法： データレコーダ(テープ)

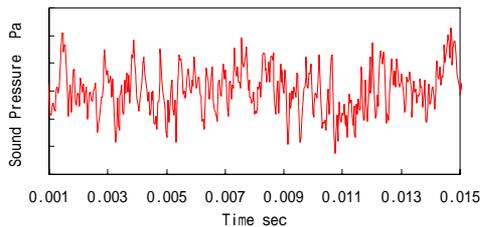
PCデータ収集システム

解析後記録

原理を多少知る必要がある

サンプリング定理

エイリアジング



軸回転数900rpm

回転の周波数の1次成分は？

15Hz

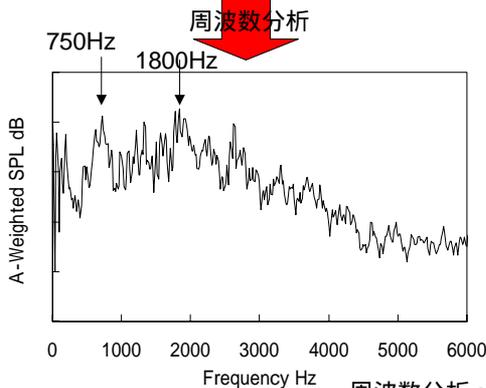
歯数は？

750Hz 50枚

1800Hz 120枚

ギア自体が悪いのか？

共振現象があるのか？



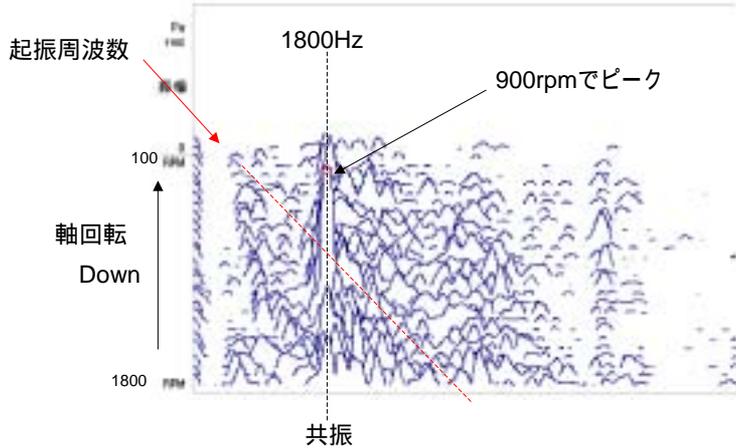
周波数分析って何？

周波数分析って何？

フーリエ変換

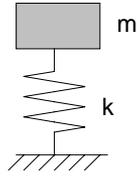
スペクトルマップ

共振現象があるのか？



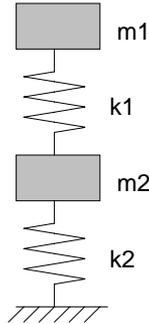
共振って何？

共振って何？



共振周波数は？

共振周波数を上げるには？

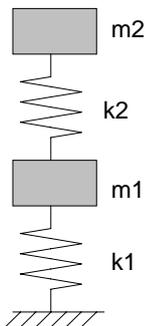


共振周波数は？

振動モードは？

共振周波数の算出

行列演算を知っていると楽



$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) = 0$$

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = 0$$

$$x_1 = A_1 \sin(\omega t)$$

$$x_2 = A_2 \sin(\omega t + \rho)$$

$$\ddot{x}_1 = -A_1 \omega^2 \sin(\omega t) = -\omega^2 x_1$$

$$\ddot{x}_2 = -A_2 \omega^2 \sin(\omega t + \rho) = -\omega^2 x_2$$

$$-\omega^2 \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = 0$$

$$-\omega^2 MX + KX = 0$$

$$KX = \omega^2 MX$$

$$M^{-1}KX = \omega^2 X$$

行列演算では

$Av = \lambda v$ が成立する時

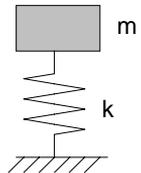
λ : 固有値

v : 固有ベクトル

$$\underbrace{\begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix}}_M \underbrace{\begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{pmatrix}} + \underbrace{\begin{pmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{pmatrix}}_K \underbrace{\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}} = 0$$

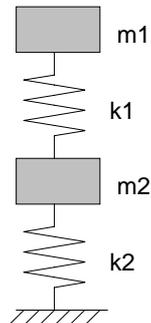
M、Kが分かり、 $M^{-1}K$ の固有値と固有ベクトルが分かれば、共振が分かる

共振って何？



共振周波数は？

共振周波数を上げるには？



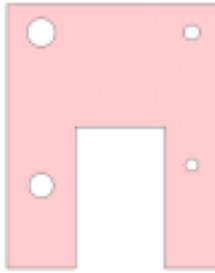
共振周波数は？

振動モードは？

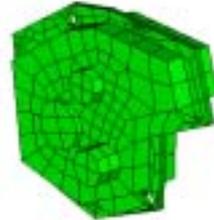
こんな構造物は存在しない

実際の構造物では？ 有限要素法 (FEM)

3D-CAD



有限要素Mesh

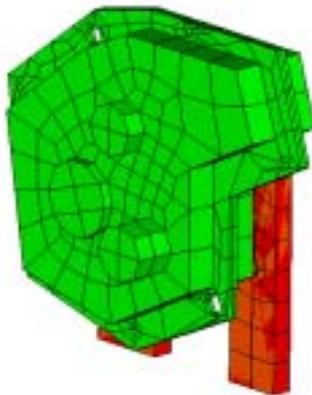


実際の構造物は、境界条件が複雑

一体化(どうやって?)

個別に解析 一体化(BBA)

問題点

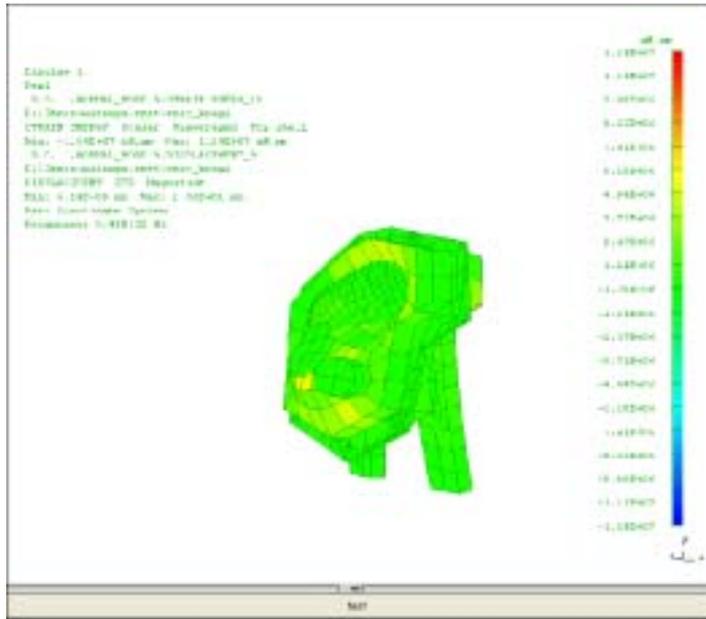


解析ソフト
では解決
してくれない

- ・ボルト
- ・溶接
- ・フィレット部
- ・内部ギア
- ・ベアリング部
- ・軸と軸受け(油膜)
- ・ミッションオイル
- ・油温上昇
- ・この構造物の取付状況
- ・接触部(摩擦?)
- ・パッキンは?
- ・負荷時の拘束は?
- ・メッシュの大きさは?

FEM解析って何?

FEMによるモード解析例

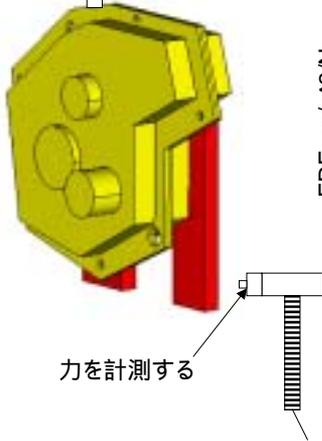


FEM解析って何？

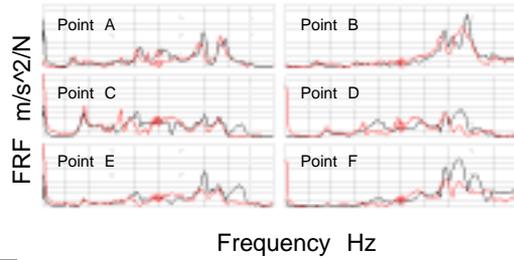
- ・ヤコビヤ(ア?)ン行列
- ・特性方程式
- ・etc

実際の物と合ってるの？

加速度を計測する
移動しながら
多点同時



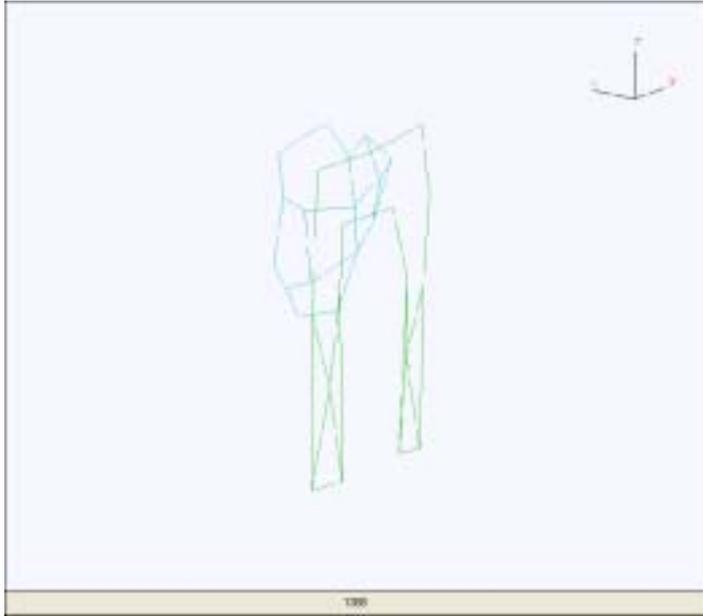
実験モード解析



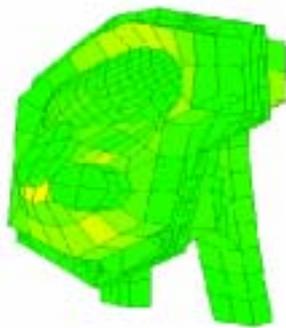
実験モード解析って何？

なぜインパルス入力？
なぜ伝達関数？
何が良いの？
モード合成法って何？
相反定理って何？
カーブフィットって何？

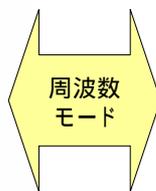
実験モード解析例



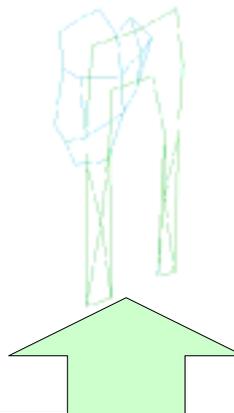
実験と解析の比較



↑
改善案立案 {
・板厚
・リブ
・材質



周波数
モード

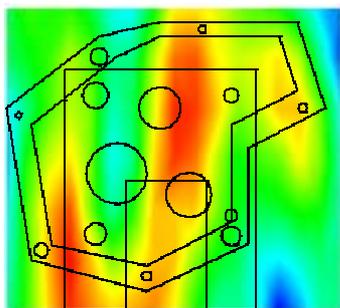


↑
効果ありそうな物を実施

振動は分かったけど、音は？

その振動は音になっているのか？

音響インテンシティの計測



$$P = cv$$

音が出ていそうな部位が分かる

音響インテンシティって何？

縦波、横波って？

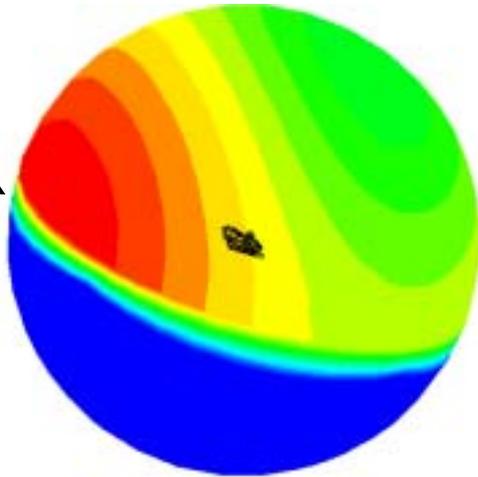
音速って？

音響放射効率って？

解析の方法は？

BEMを用いる

壁面が存在

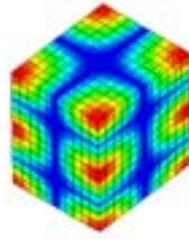
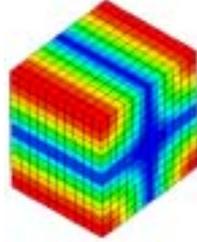
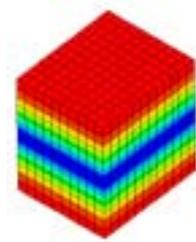
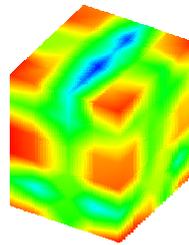
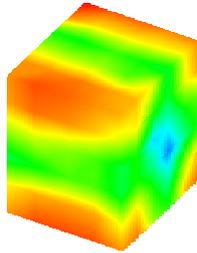
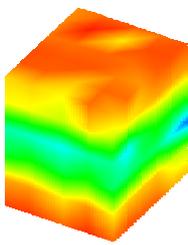


BEMって何？

領域って何のこと？
グリーンの定理って何？

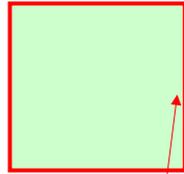
囲まれた空間ではどうなるか？

空間内の共鳴



空洞共鳴って何？
ヘルムホルツ共鳴って何？

囲まれた空間内では音の流れはどうなるの？



$P = cv$ あれ？

壁面では粒子速度は0

音圧は最も大

波動方程式って何？

偏微分方程式って何？

gradって何？

って何？

速度ポテンシャルって何？

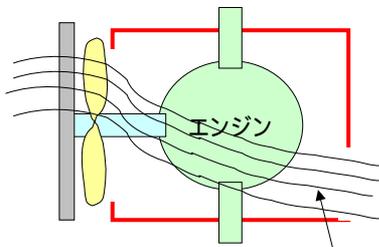
解析では、振動によって出てくる音は分からない

BEMでは壁面は振動しない

連成解析って何？

改善方法

構造変更
困む



板厚はどのくらいで困むの？
開口部はどうするの？
ビルドアップはどうするの？
消音器って何？

温度大 何が悪い？

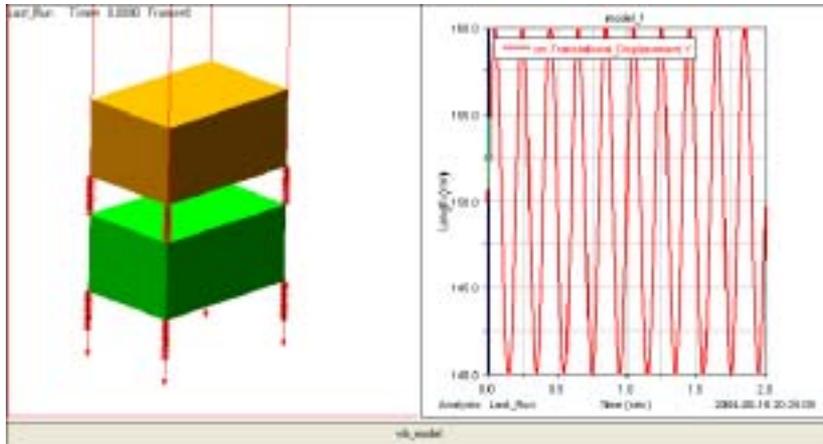
パッキン・シールがやられる
電装品がやられる

水冷する

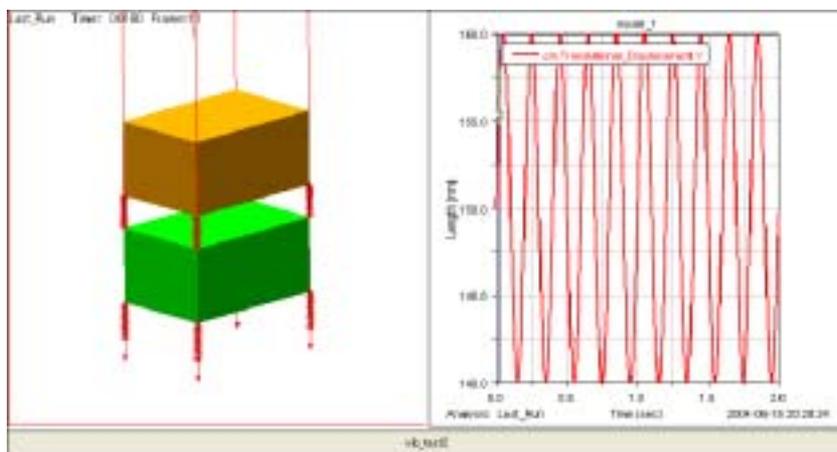
熱交換 熱力学
風の流れ 流体力学

動きの中から生じる振動は？

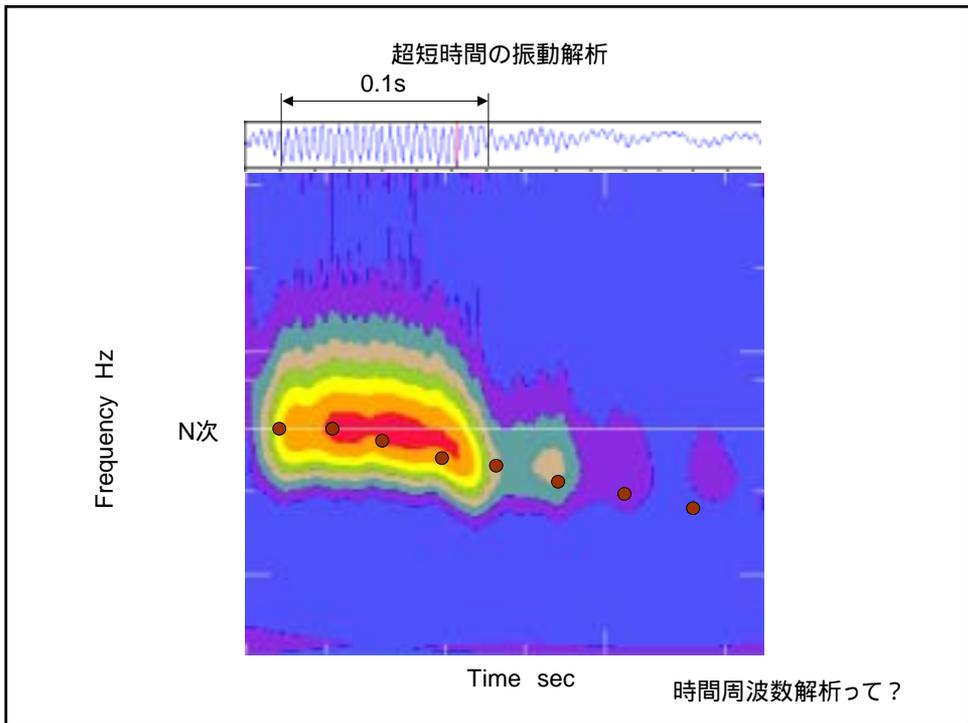
機構解析



機構解析

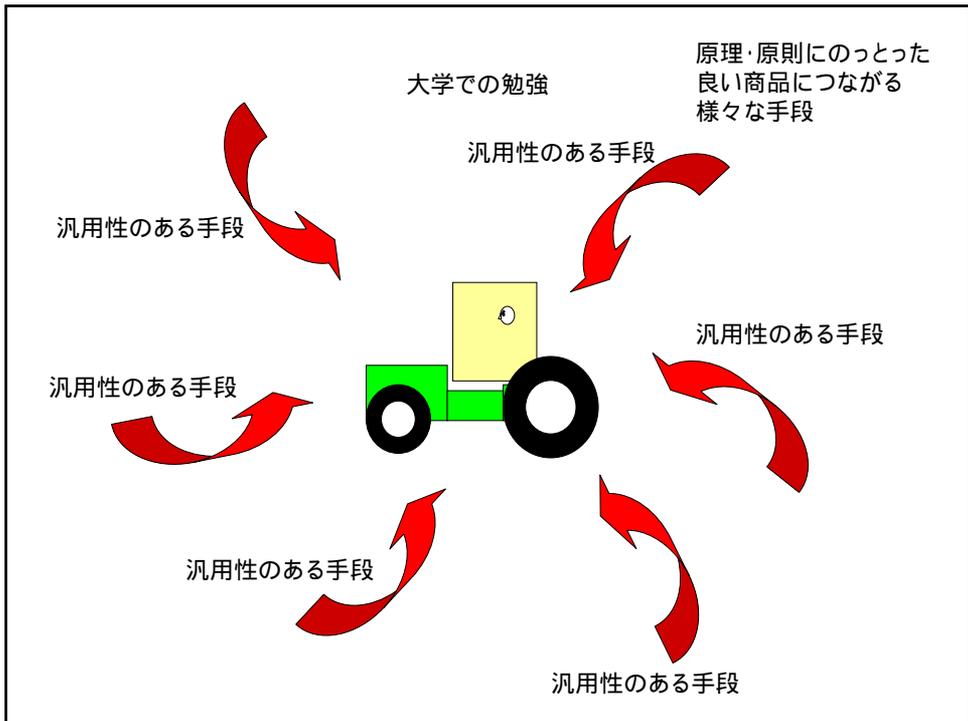
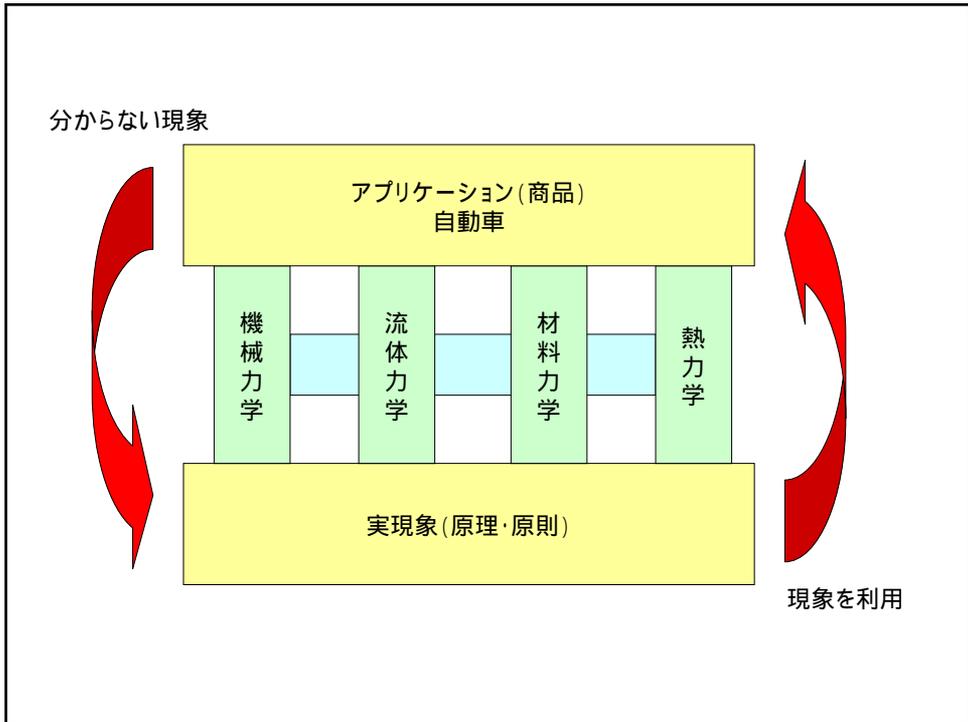


機構解析って何？
自由度って何？
運動方程式って何？
数値(逐次)計算って何？



時間周波数解析って？

ウェーブレット解析って？
ショートタイムFFTって？
ウィグナーって？



実現象から、何が使えるか？何を使えば正解に辿り着けるか？

正解に早く正確に辿り着くべく、沢山の手段を学んでいる

設計・製造技術・研究etc全てに通じる手段

以上