
FEMtools FBA イントロダクション

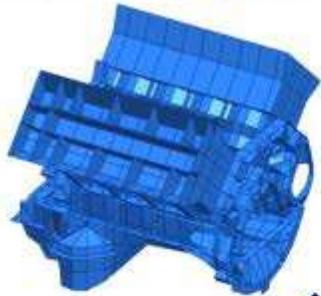
Dynamic Design Solutions 2017

編集 Structural Science

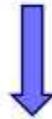
はじめに

- サブストラクチャリング法は、構造物を構成する各コンポーネント特性をアセンブリ（合成）することによって、全体構造物の特性を推定する技術です。
- 利点
 - 迅速性：サブストラクチャリング・モデルによる効率的な解析および実験を可能にします。
 - 汎用性：FE/TEST、FE/FE、TEST/TEST のモデルの組み合わせを可能にします。

Substructure-1



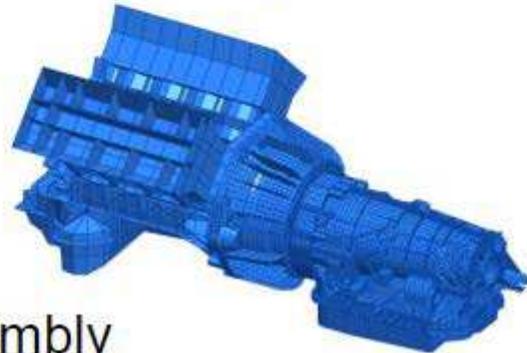
Substructure-2



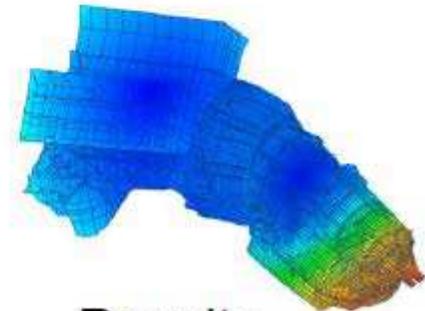
Substructure-3



Assembly



Results

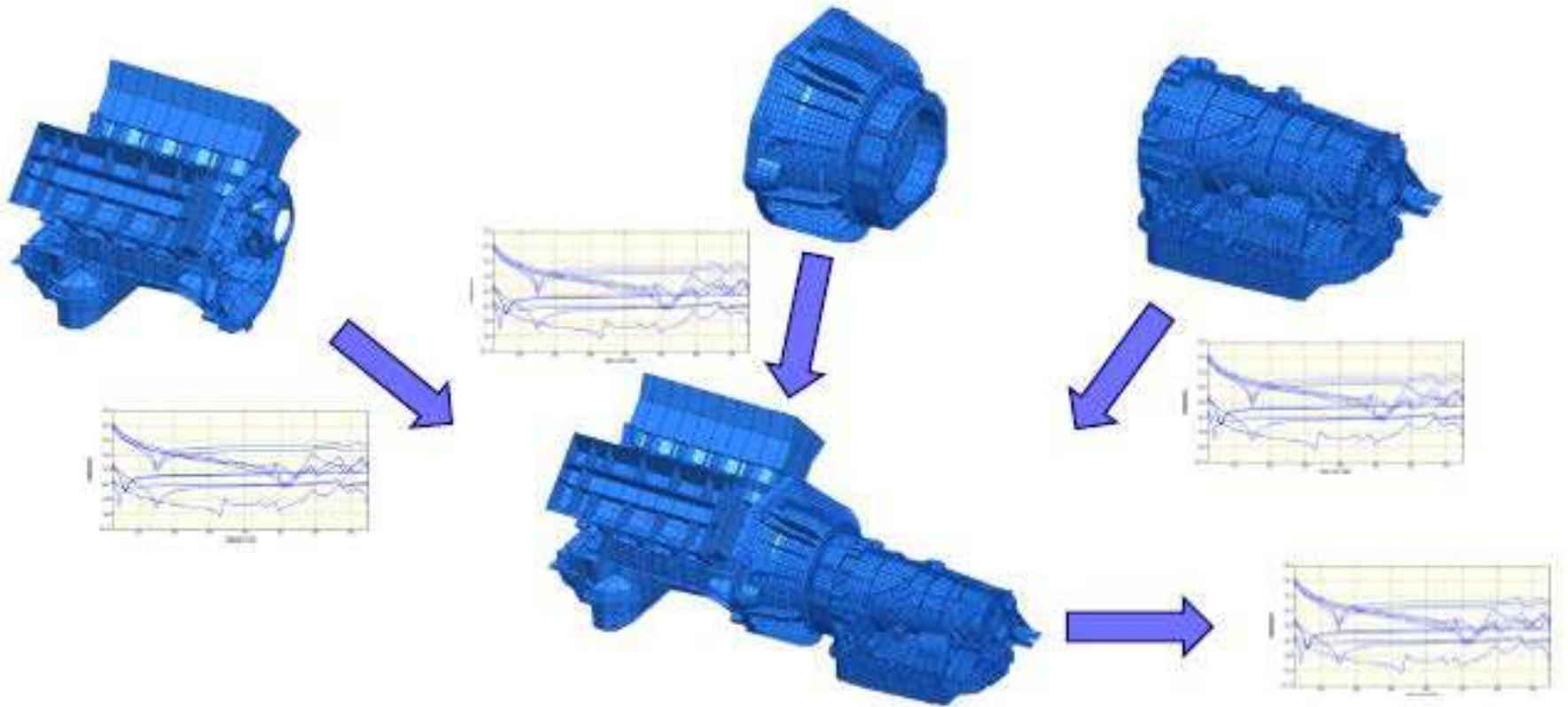


概説

- FBA=FRF-Based Assembly : FRFベース・サブストラクチャリング (FBS)として知られています。
- FEMtoolsのスーパー要素法(SELEM:Superelement)およびモーダル・ベース・アセンブリ(MBA)のダイナミック・サブストラクチャリング法を補足するために、FBAは、FEMtools3.6(2012年)に導入されました。
- 加振DOFと応答DOF間の関係を示す周波数応答関数(FRFs)から、コンポーネント特性を識別します。
- FBAプロセスは個々のコンポーネントのFRFアセンブリFRFを計算します。
- FBAに使用されるFRFは、ユーザー定義ロード単位の周波数レスポンスを得るために使用することができます。
- FBAは伝達経路解析(TPA:Transfer Path Analysis)に応用することができます。TPAはコンポーネント、コネクタ、拘束支持などのNVH (ノイズ、振動、ハーシュネス) 解析および最適化のために使用されます。

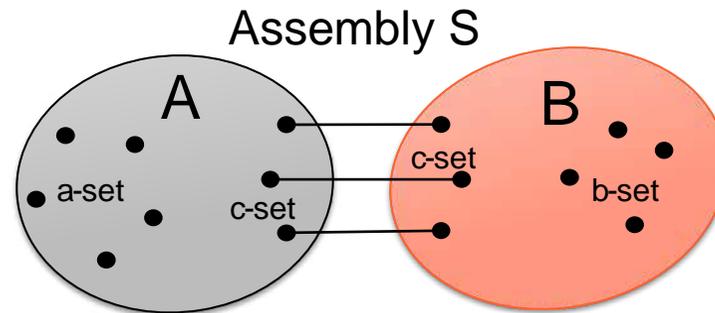
FBA プロセス

- FBAは、構造物間の接続ポイントの周波数応答関数(FRFs)セットを使用します。
- FRFsとしては、FEモデルの計算FRFあるいはTESTの測定FRFが使用できます。FEAとテストのFRFを組み合わせることにより、ハイブリッド・シミュレーションが可能です。
- コンポーネント間には、Mass,Stiffness,Dampingなどの条件を指定することが可能です。
- FBAソルバーは、個々のコンポーネントからアセンブリFRFを計算します。



FBA 理論 I

■ 基本公式



$$\begin{Bmatrix} X_a^A \\ X_c^A \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{aa}^A & H_{ac}^A \\ H_{ca}^A & H_{cc}^A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_a^A \\ F_c^A \end{Bmatrix} \qquad \begin{Bmatrix} X_c^B \\ X_b^B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{cc}^B & H_{cb}^B \\ H_{bc}^B & H_{bb}^B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_c^B \\ F_b^B \end{Bmatrix}$$

$$\{X_c^A\} = \{X_c^B\} = \{X_c^S\}$$

$$\{F_c^A\} + \{F_c^B\} = \{F_c^S\}$$

FBA 理論 II

■ アセンブリ公式

$$\begin{Bmatrix} X_a^S \\ X_c^S \\ X_b^S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{aa}^S & H_{ac}^S & H_{ab}^S \\ H_{ca}^S & H_{cc}^S & H_{cb}^S \\ H_{ba}^S & H_{bc}^S & H_{bb}^S \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_a^S \\ F_c^S \\ F_b^S \end{Bmatrix}$$

ここで、

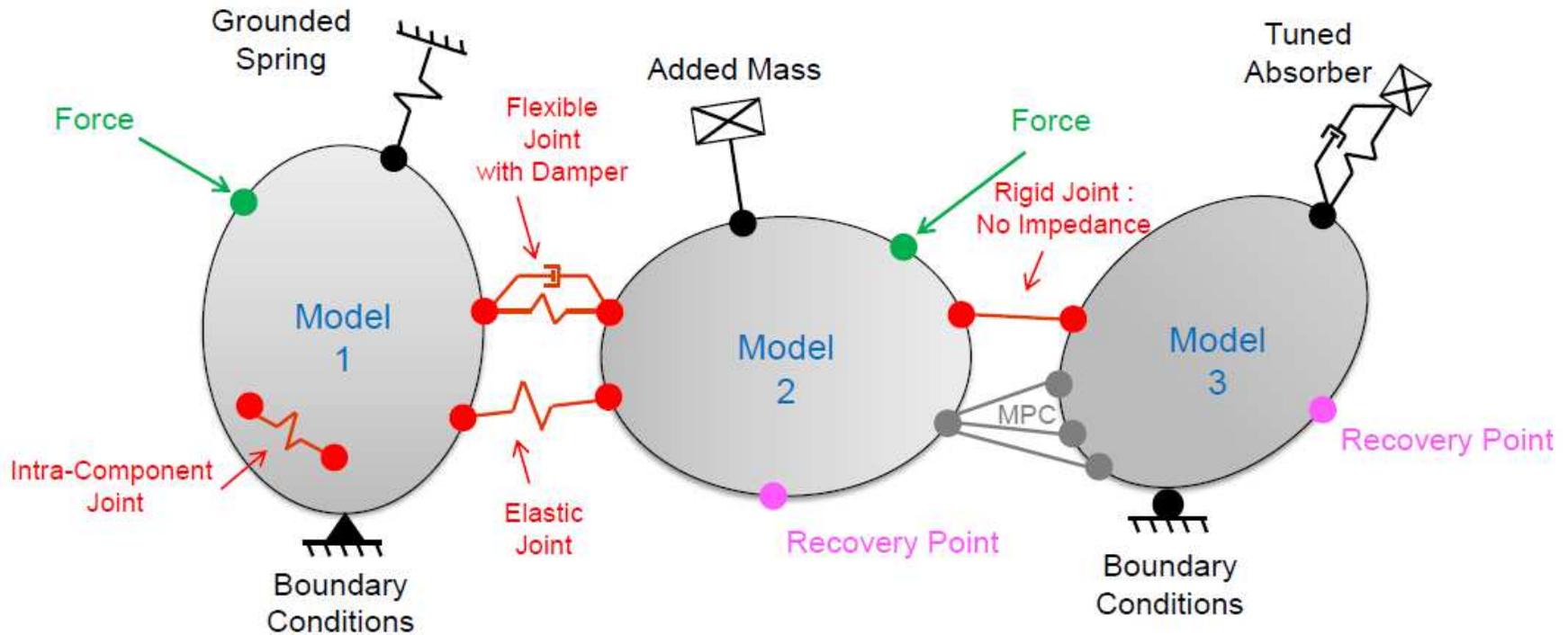
$$\begin{bmatrix} H_{aa}^S & H_{ac}^S & H_{ab}^S \\ H_{ca}^S & H_{cc}^S & H_{cb}^S \\ H_{ba}^S & H_{bc}^S & H_{bb}^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{aa}^A & H_{ac}^A & 0 \\ H_{ca}^A & H_{cc}^A & 0 \\ 0 & 0 & H_{bb}^B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} H_{ac}^A \\ H_{cc}^A \\ -H_{bc}^B \end{bmatrix} \left([H_{cc}^A] + [H_{cc}^B] \right)^{-1} \begin{bmatrix} H_{ac}^A \\ H_{cc}^A \\ -H_{bc}^B \end{bmatrix}^T$$

■ Joints の場合、 $\left([H_{cc}^A] + [H_{cc}^B] \right)^{-1}$ は、 $\left([H_{cc}^A] + [H_{cc}^B] + [K_{cc}^S] \right)^{-1}$

FEMtools FBA

- FBA は、FEMtools Dynamics の周波数レスポンス解析ツールです。使用する FRFs セットは FEMtools 内部の計算 FRF か外部の計算 FRF、あるいは、測定 FRF です。FRFs セットは構成要素のモデルに対応し、FEMtools 内部データベースに格納されます。
- FBA コンポーネント間に、内的または外的な接続条件を追加することができます。
 - **Boundings** : 境界条件(質量追加、グラウンド間スプリング、吸収器など)をモデル化するための 1 ノードを指定します。それらは、mass,springs,impedances として、参照付けることができます。
 - **Joints** : 2 つのコンポーネントの接続あるいはモデル内の接続のために、2 ノード間の剛性的または弾性的なカップリング条件を定義します。それらは、springs,impedances として参照付けることができます。
 - **マルチ・ポイント拘束(MPC)** : 1 つ以上のノード接続
- **Impedances** : ローカル座標系における viscous ダンパ(ダッシュポット)と structural 減衰(GE)として定義することができます。
- **Masses** : ローカル座標系におけるオフセット、断面二次モーメントを伴う集中質量、慣性質量を定義します。
- ロードおよび回復ポイントの FBA FRF を定義し、解析します。

FEMtools FBA:変更シミュレーション



Components, Boundings, Joints, MPCs, Forces and Recovery Points

FBA の実践

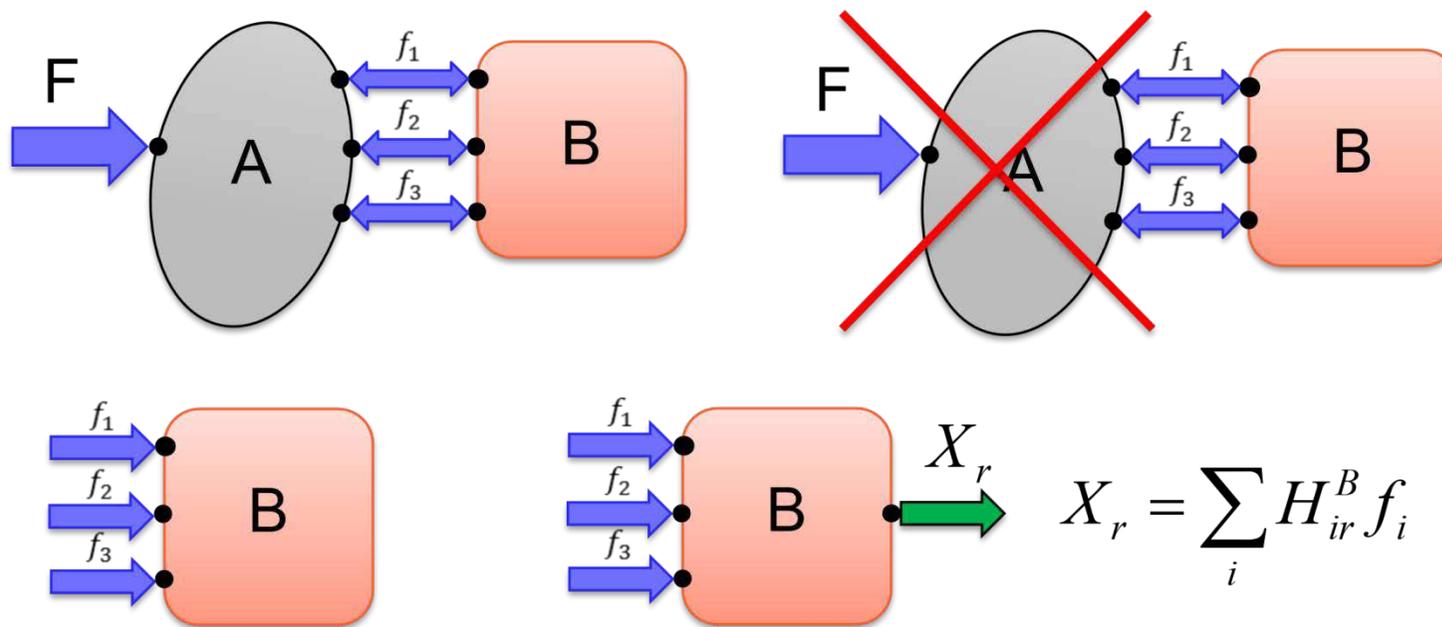
- FBAは、モーダル解析のFRFが使用される高精度のプロセスです。ただし、FRF(実験データ)中のノイズおよびモーダル・トランケーション（不正確な共振）の影響を受ける場合があります。
- 一般に、モーダル・トランケーションは正確な反共振の同定計算を低下させます。
- 反共振の誤差は、FBAプロセスにおいて非常に有害です。特に、FBA法の核心的プロセスは反共振値および位置に特に敏感なため、ダイレクトFRF計算が推奨されます。
- ダイレクトFRF計算は低速ですが、パデ近似（Padé Approximants）法によって加速化することが可能です。パデ近似プロセスはFRF周波数レンジをいくつかのバンドに分割し、バンドごとの周波数ラインを識別し、各バンドの中央までをオーダー n とし、ダイレクトFRF勾配計算と同様のダイレクトFRF計算を実行します。
- モーダル重ね合せ法も動的補間（dynamic compensation）として、その補間・修正に使用されます。

FBA のアドバンテージと応用

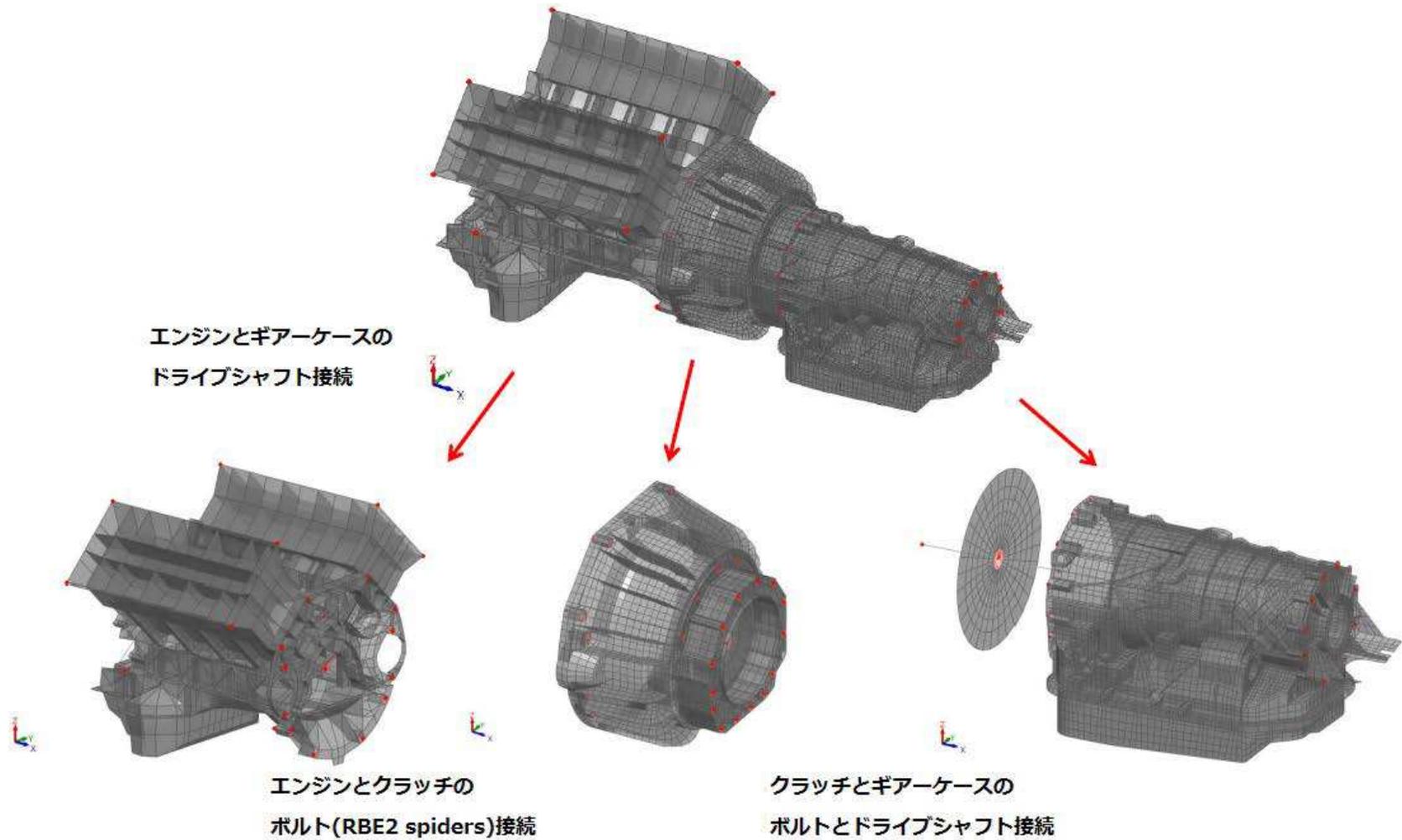
- FBA は、以下の場合に、FEA、スーパー要素(SELEM)法、MBA に代わって使用できます。
 - FEM の解析コンポーネントが使用できない(あるいは信頼できない)場合
 - コンポーネント解析が必要とされない場合
 - インターフェイス上のノードの FRF が利用可能な場合
 - コンポーネントのモーダル解析が使用できない (あるいは使用しない) 場合
- FBA はコンポーネント間のカップリングに注目し、複数のコンポーネントによるアセンブリ・モデルの研究および接続による力の伝達の研究に利用できる。
- FBA の効率的な計算
- FEMtoolsの応用
 - アセンブリ構造のダイナミック・レスポンス・シミュレーション(FEMtools Dynamics)
 - FEモデルの検証とモデルアップデート(FEMtools Updating)
 - 構造ダイナミクス最適化(FEMtools Optimization)
 - NVHのための伝達経路解析(TPA)

FBA による伝達経路解析

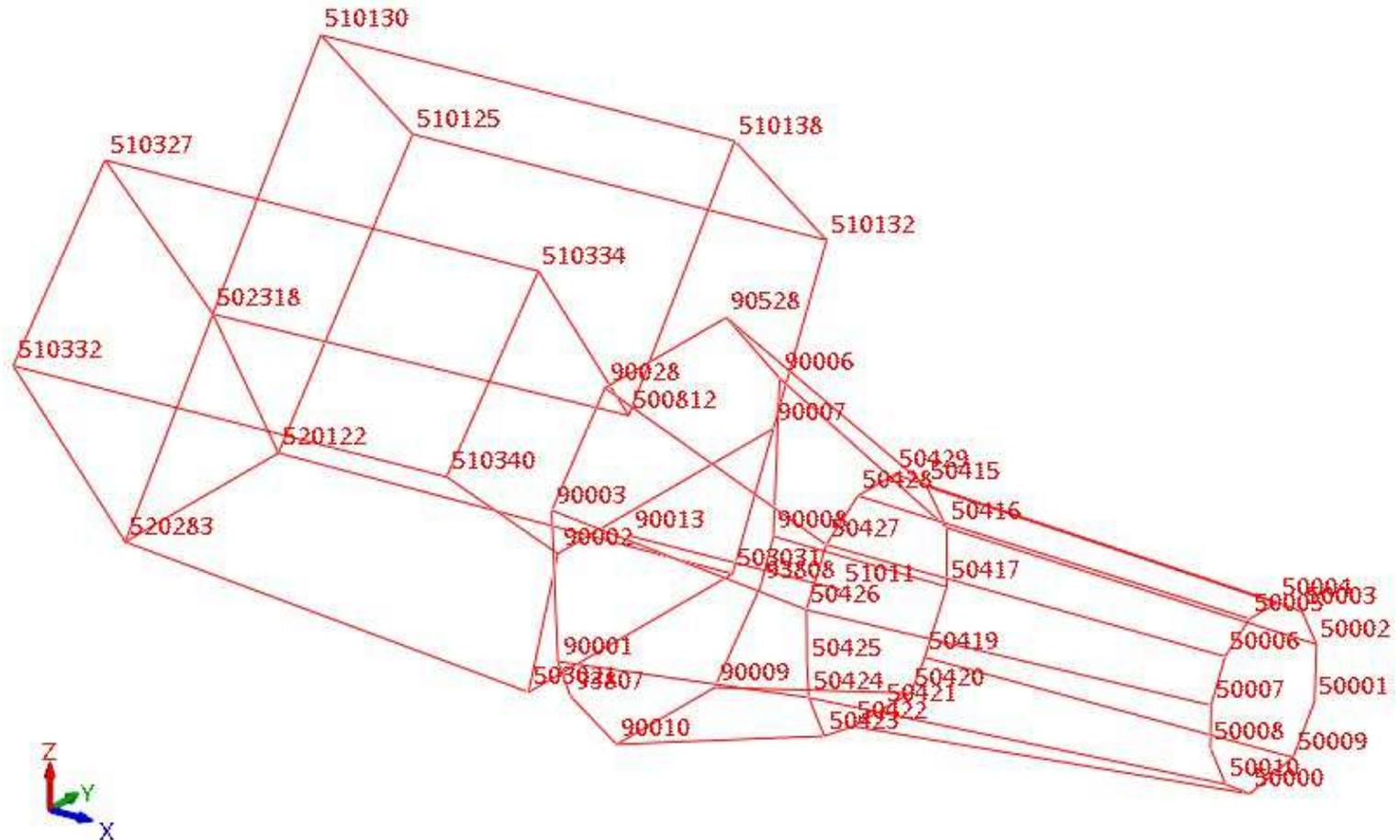
- アセンブリ・コンポーネント解析
- ジョイント(Joints) の内部力を識別
- 内部力の適用と各コンポーネントの効果の研究
- 各ジョイントのトータル・レスポンス(疲労、最適化)への影響 (寄与)



FBA Example: Powertrain



FBA Example: Powertrain

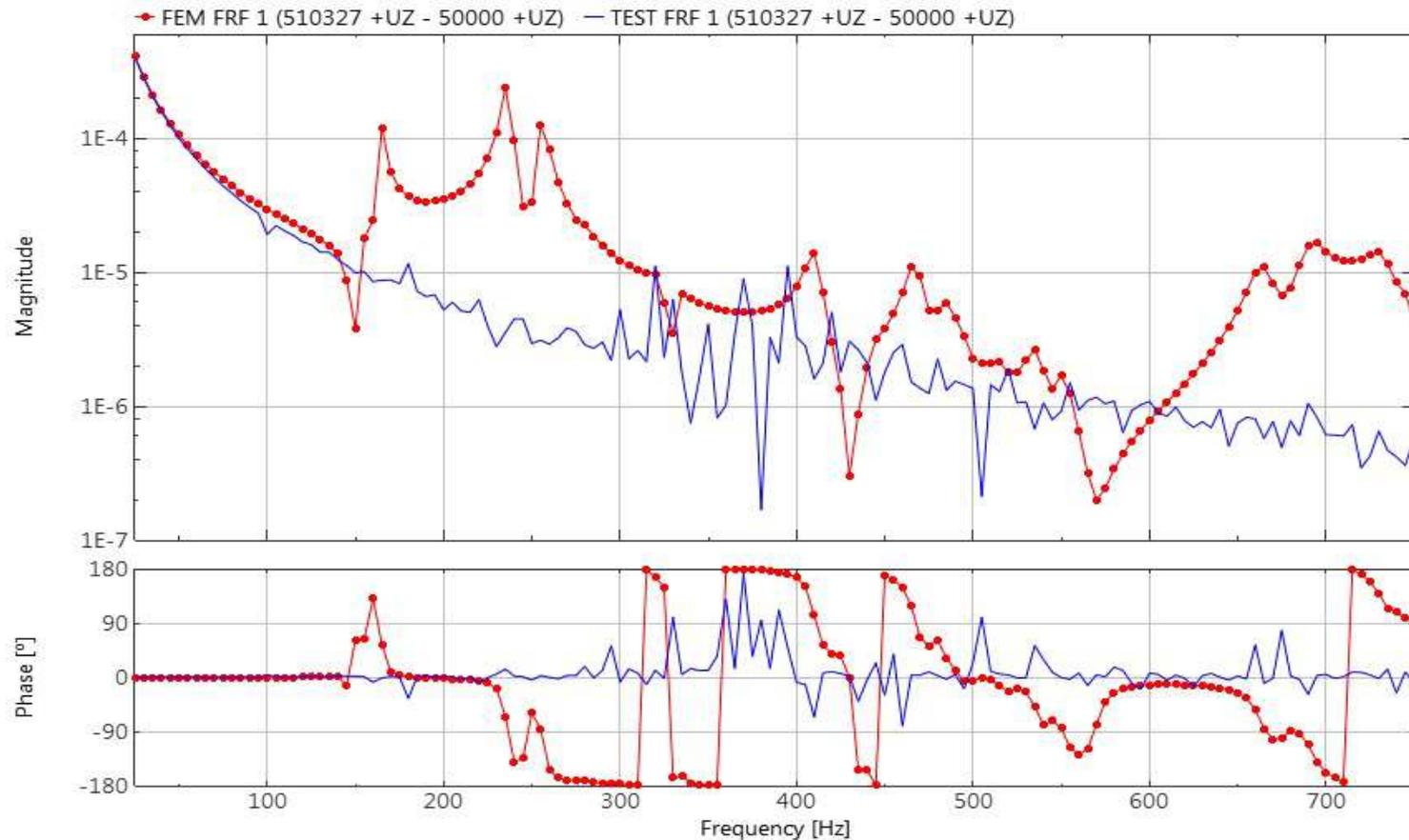


FRF モデルとポイント番号

FBA Example: Powertrain

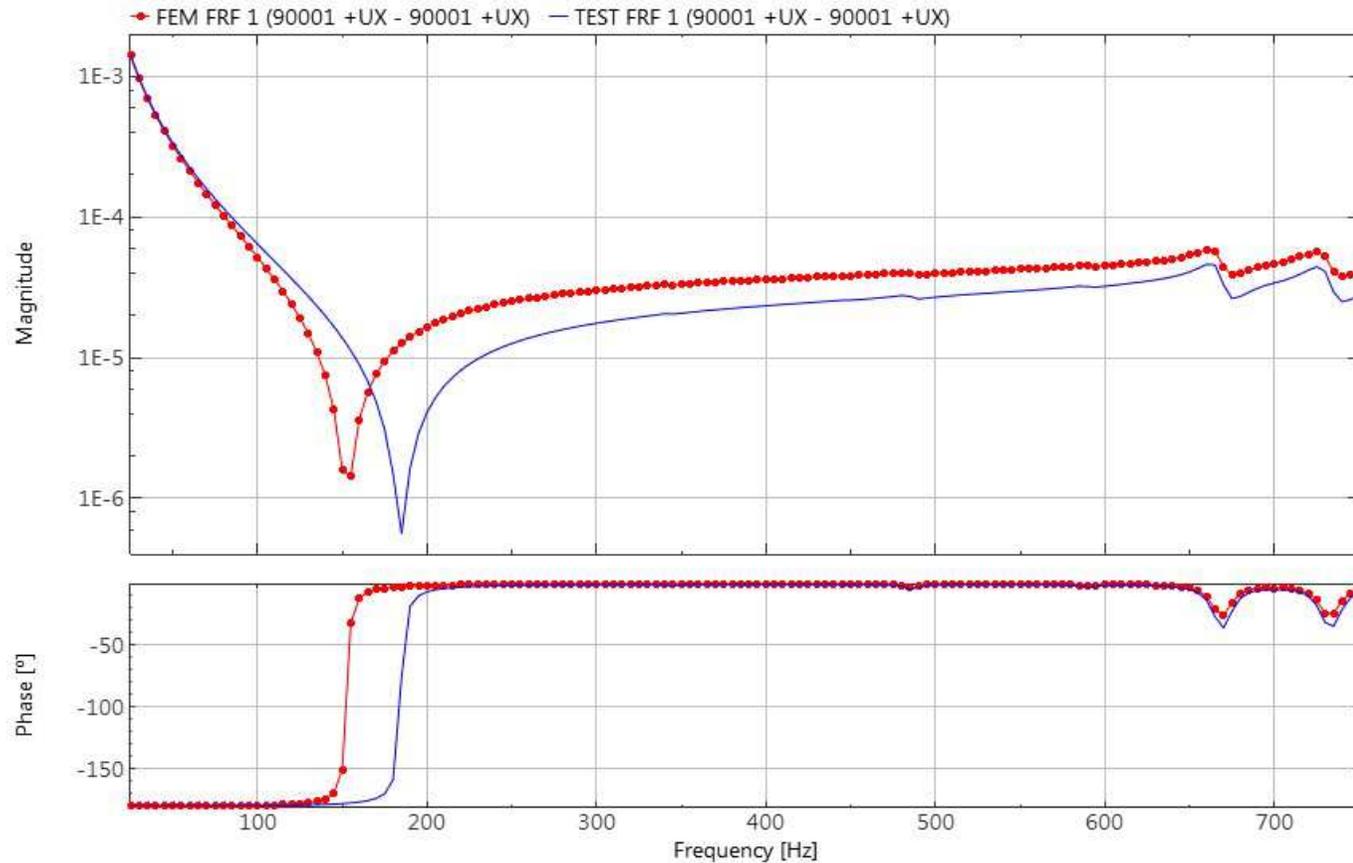
- フリー/フリー状態の3つのコンポーネントにおけるFRFsが計算されました。主なFRFsは、インターフェイス・ポイントの6DOFSおよび部分構造上の追加ポイントの3DOFです。(レスポンス回復ポイントおよびロード・エントリー・ポイント)
- FBAプロセスは、モーダルFRF、ダイレクトFRF、ダイレクト・パデ近似FRFが使用され、比較されます。
- 結果は、ダイレクトFRF、ダイレクト・パデ近似FRFがほとんど同一になり、また計算速度において、ダイレクトFRF(216秒)に対し、ダイレクト・パデ近似FRF(15秒)のような加速性が確認できます。
- FBA FRFとしては、3つの参照(NODE 510327 DIRECTION 1、2、3)とすべてのレスポンス・ポイントが計算されました。また、すべてのジョイントの構造減衰としての初期値の2%は増加しました。
- FBA FRFによるモーダル抽出が行なわれ、完全な構造モデルのテストFRFから得られたモードと比較されました。

FBA Example: Powertrain



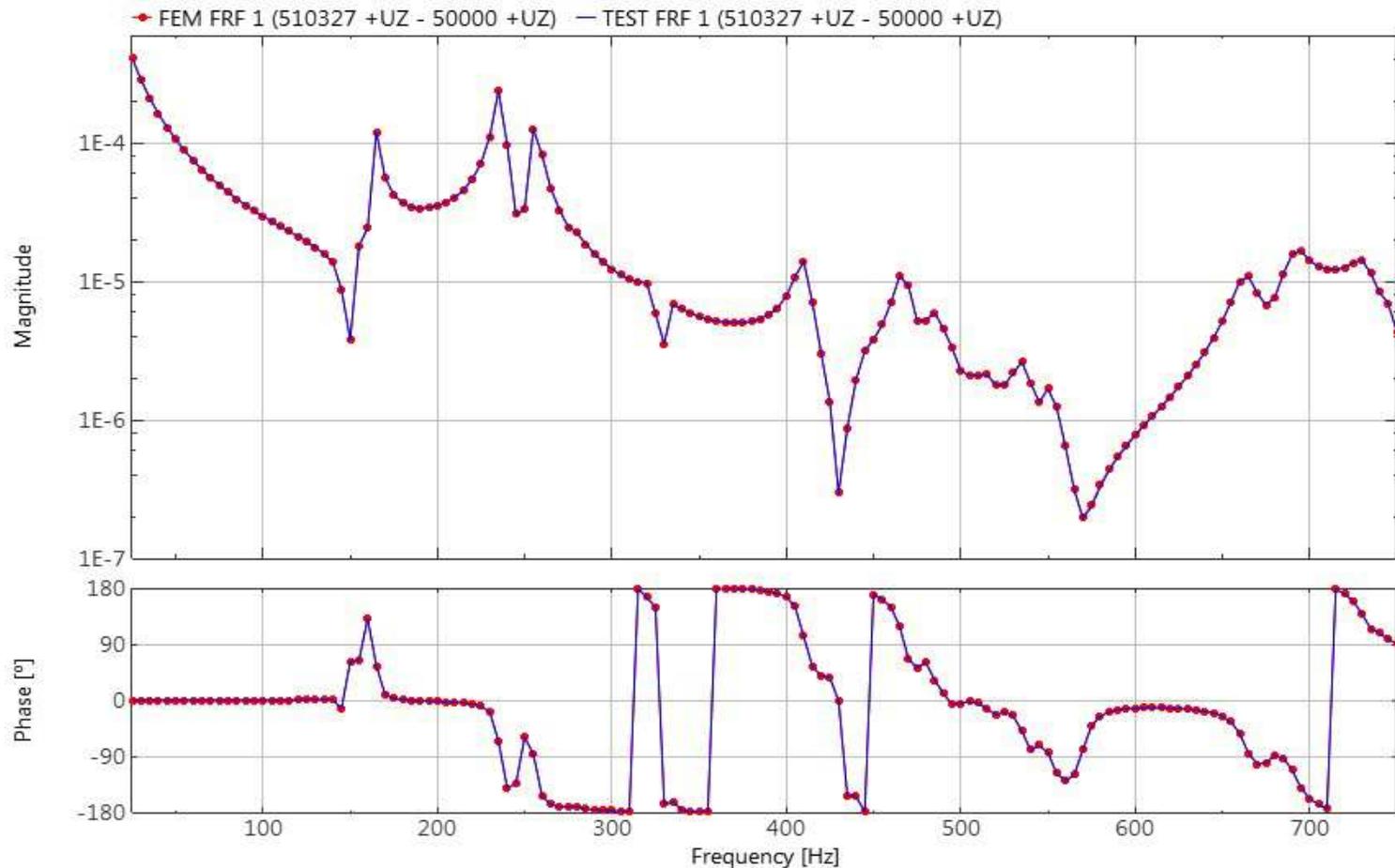
FRF比較 : FBA FRFとモーダルFRF
モーダル・トランケーションによる劣な相関性 !

FBA Example: Powertrain



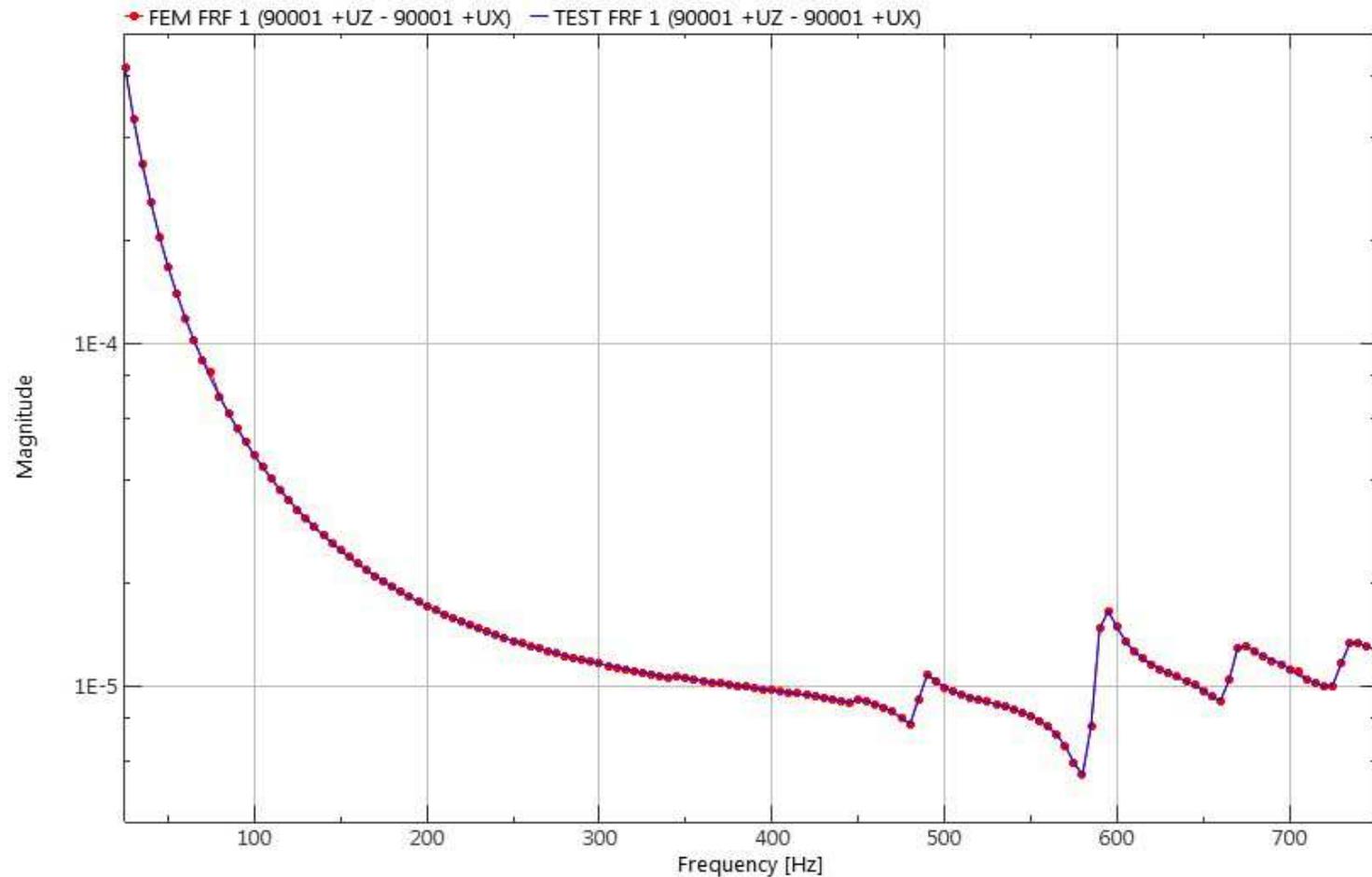
**FRF 相関：エンジン部のモーダル法 FRFs とダイレクト FRFs
反共振の劣な相関性！**

FBA Example: Powertrain



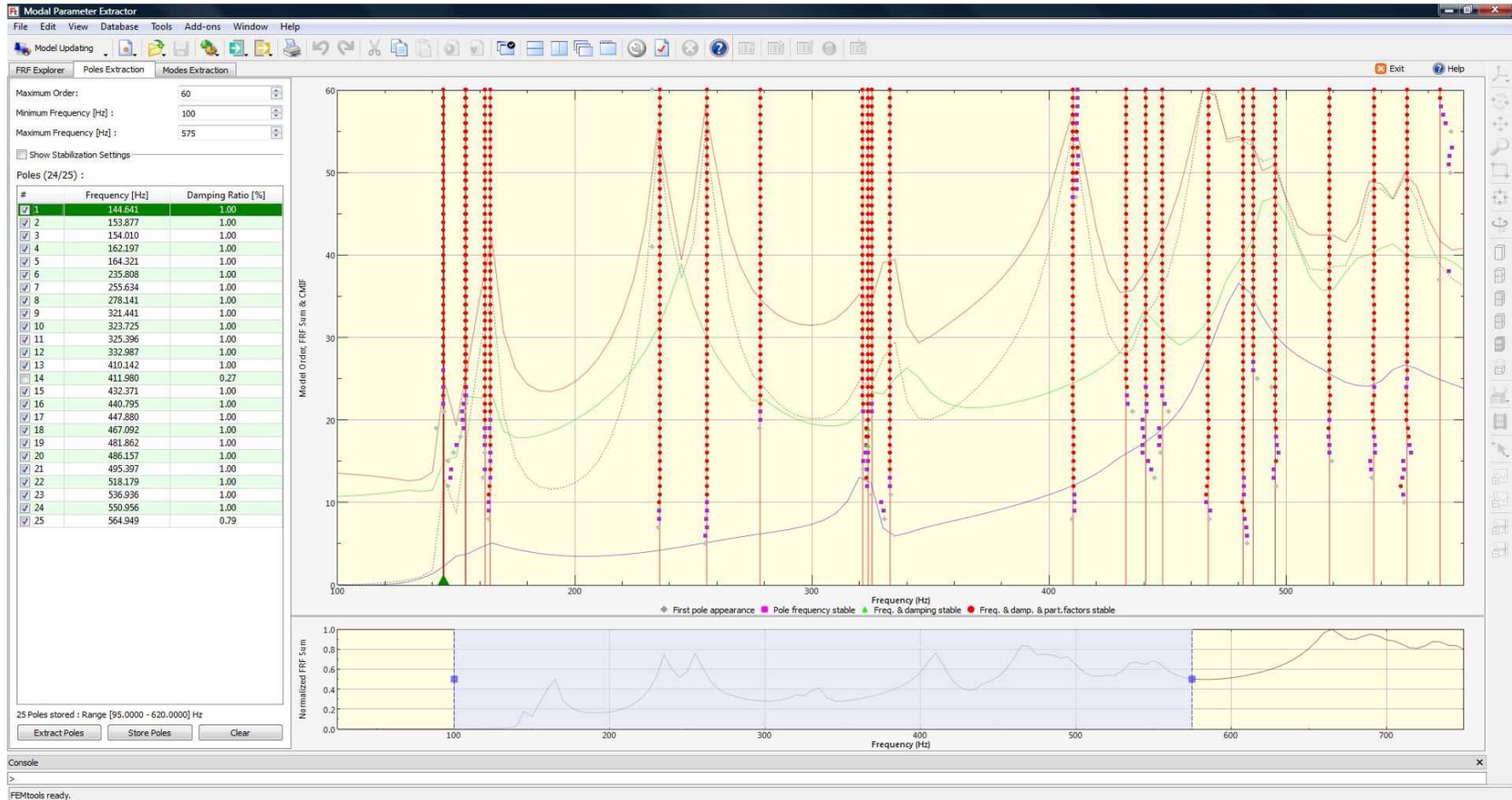
FRF 相関：ダイレクト法による FBA FRFs の高い相関性！

FBA Example: Powertrain



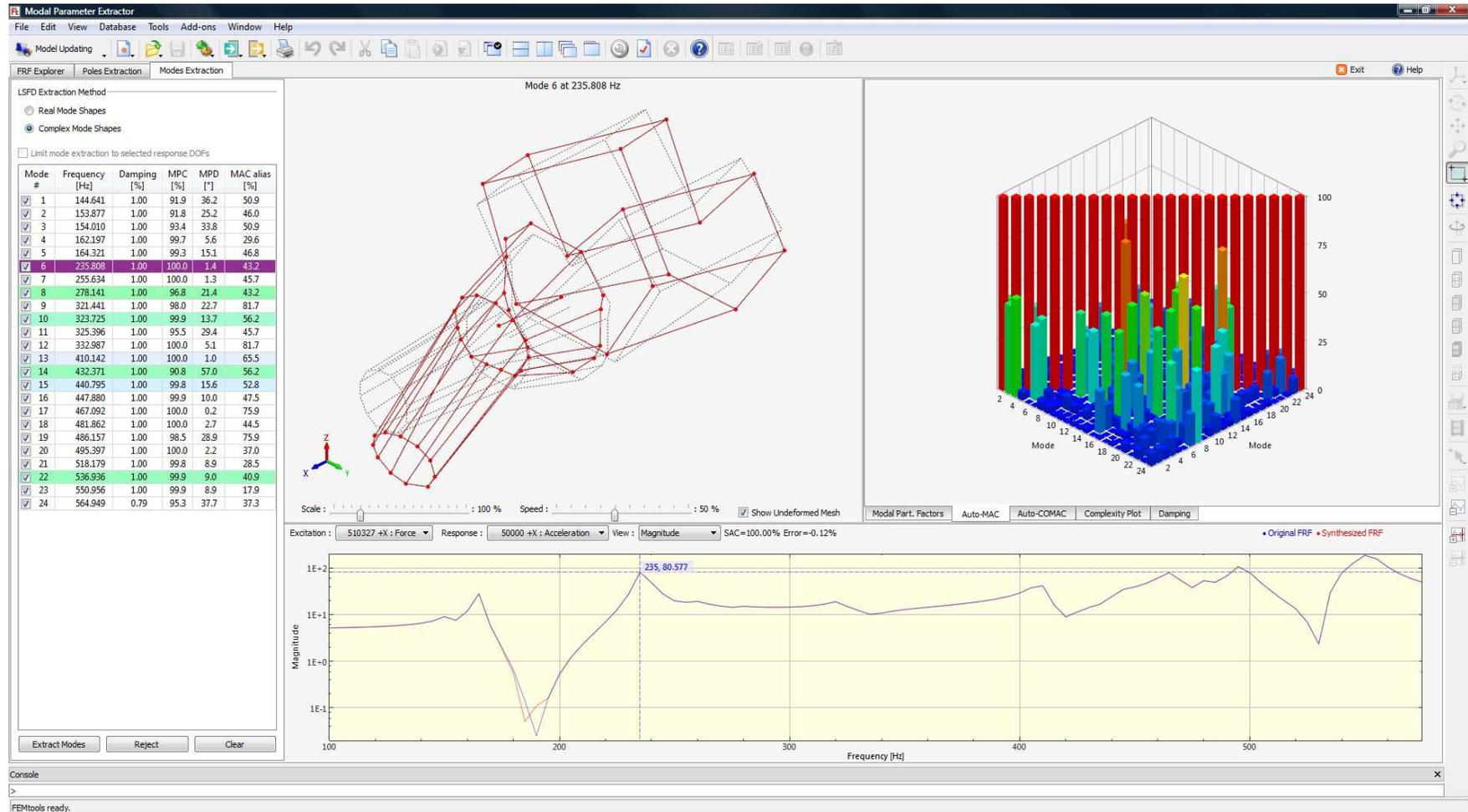
FRF 相関 : ダイレクト法 FRF vs.パデ FRF (8 バンド,オーダー5 勾配係数)

FBA Example: Powertrain



FBA FRFs のモーダル解析 – 極値(Pole)推定結果

FBA Example: Powertrain



FBA FRFs のモーダル解析 - モード推定結果

FBA Example: Powertrain

- FBA FRF とオリジナルのテスト FRF の共振周波数とモードの比較は、非常によい相関性が得られることを示します。
- モードシェープの誤差は、FBA の追加構造減衰 (2%) によるかもしれません。

PAIR	FEA	Freq.(Hz)	EMA	Freq.(Hz)	Diff(%)	MAC(%)
1	1	144.63	1	144.64	-0.00	90.5
2	2	153.87	2	153.88	-0.00	90.0
3	3	154.00	3	154.01	-0.00	92.9
4	4	162.19	4	162.20	-0.00	99.1
5	5	164.31	5	164.32	-0.00	99.1
6	6	235.84	6	235.81	0.02	100.0
7	7	255.67	7	255.63	0.01	100.0
8	8	278.13	8	278.14	-0.00	77.4
9	9	321.43	9	321.44	-0.00	96.6
10	10	323.71	10	323.72	-0.00	99.7
11	11	325.38	11	325.40	-0.00	94.0
12	12	332.98	12	332.99	-0.00	100.0
13	13	410.13	13	410.14	-0.00	100.0
14	14	432.35	14	432.37	-0.01	76.3
15	15	440.78	15	440.80	-0.00	99.7
16	16	447.86	16	447.88	-0.01	99.7
17	17	467.07	17	467.09	-0.00	100.0
18	18	481.86	18	481.86	-0.00	100.0
19	19	486.13	19	486.16	-0.00	92.2
20	20	495.38	20	495.40	-0.00	100.0
21	21	518.16	21	518.18	-0.00	99.3
22	22	536.92	22	536.94	-0.00	99.9
23	23	550.99	23	550.96	0.01	99.9

結論

- FBAは、効率的なダイナミック・レスポンス・シミュレーション手法であり、またハイブリッド・モデリング技術としても有効です。
- 高精度なFEモデルが使用できない場合およびモデルの最適化を目的としない場合、構造モデルのコンポーネントとしてテスト・データ(FRFあるいはモードシェープ)を使用することは効果的です。
- FEMtoolsの関連ツール
 - FRF解析
 - パデ近似：ダイレクト・パデ近似FRF計算
 - ダイナミック補間法(モーダル法とダイレクト法の混合)によるFRF計算
 - FEMtools MBA：モーダル・ベース・アセンブリ
 - FEMtools RBPE：FRFから計算される剛体質量特性
 - FEMtools MPE：モーダル・パラメータ・エクストラクター
- 実証例：3つのパワートレイン・コンポーネントからなるモデルを使用し、FBA シミュレート結果として、FBA FRFが実験のFRFと非常に高い相関性を得られたことが実証されました。

DDS サイトと関連情報

■ <http://www.femtools.com>

- プロダクト情報
- 文献
- 評価バージョン

■ <http://www.femtools.com/partners>

■ E-mail

info@femtools.com

■ 電話&ファックス

- ++32 16 40 23 00
- ++32 16 40 24 00(fax)