

解析／実験・統合化／最適化システム

FEMtools

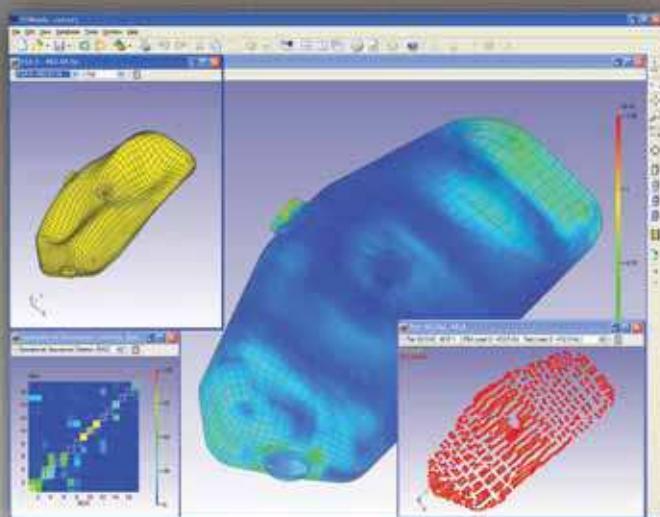
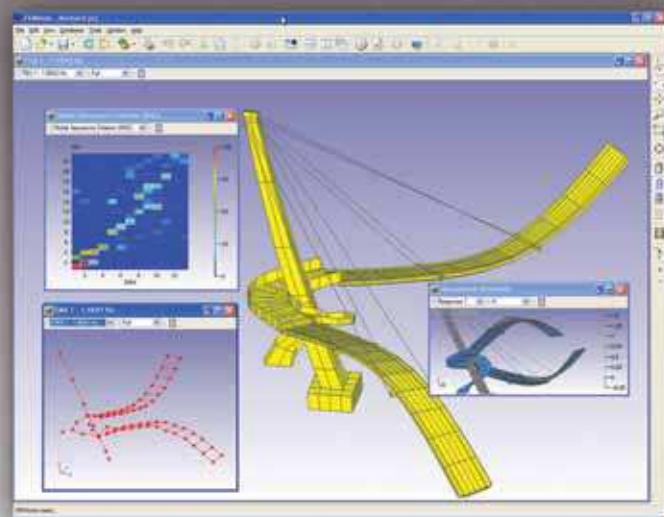
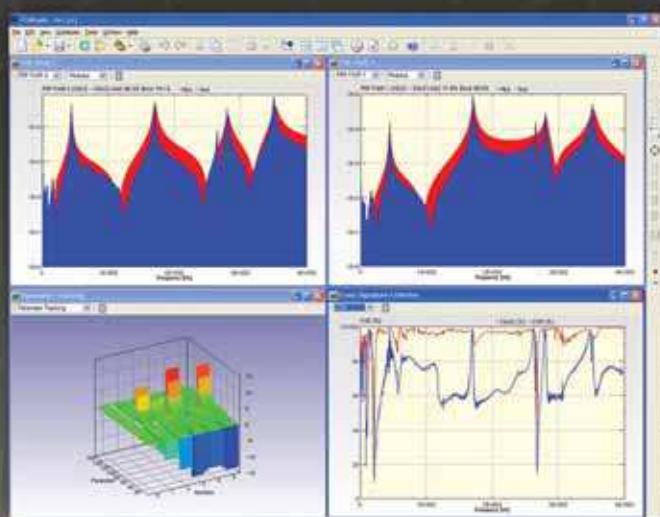
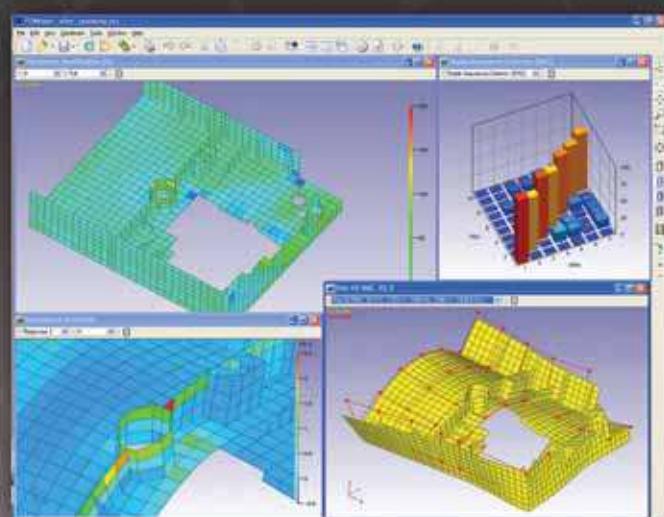
構造解析（静解析／動解析／実験）シミュレーション

有限要素解析（FEM/FEA）モデルの検証、最適化、モデルアップデート

設計最適化（トポロジー、幾何学形状、材料特性など）

ロバスト設計（確率的構造解析）、デザイン解析

データ管理、ビジュアルツール、CAE プロセスの統合化



DDS Dynamic Design Solutions

CAE Software and Services

解析と実験の統合化

21世紀という時代の開発、設計、製造において、製品の多くは性能、耐久性、安全性、コスト軽減はもとより、新しい材料の使用を余儀なくされ、また環境問題を含む広範囲の設計基準を満たさなければなりません。その開発時間とコストの面で競争力を保つためには、コンピュータ・シミュレーション技術が欠かせません。

有限要素解析(FEA)は、多様な荷重条件での構造をシミュレートする強力な手法です。この手法は、過去30年以上にわたって、ブリ・プロセッサ、メッシュ技術、解析、ポスト処理などが高度に統合化された解析技術として発展してきました。しかし、それらの解析アプローチはモデルの品質、ソフトウェアおよび解析技術者のエンジニアリング判断能力に依存し、より高度なCAE技術を維持するには、解析モデルや解析値を最適化し、その統合化ソリューション手続き利用するための環境が必要です。

一方、実験モード解析(EMA)に代表される実験的手法は、現実の構造物の測定をベースにしています。この手法は周波数応答関数(FRF)から動特性を求める方法として、すでに普及しています。しかし、一連のプロトタイプによる試行錯誤的なアプローチは、時間的浪費であり、かつ高コストになります。そこで有限要素解析と実験解析を統合することにより、信頼性の高い有限要素モデルを迅速に構築し、エンジニアリング・チーム全体の利益につながる共通のプロセスが可能になります。

FEMtoolsソリューションの概念

CAE標準ツールとして、解析と実験の相関分析、FEモデルアップデート、構造解析、最適化設計などに必要なすべて機能を搭載し、ユーザーフレンドリに対応します。

オープン環境：FEMtoolsスクリプトを利用することによって、エンドユーザー、コンサルタント技術者は既存ツールのカスタマイズ、統合などが可能です。

柔軟性：FEAスタンドアロン・システム、既存のFEAの外部ツールとして使用することができます。

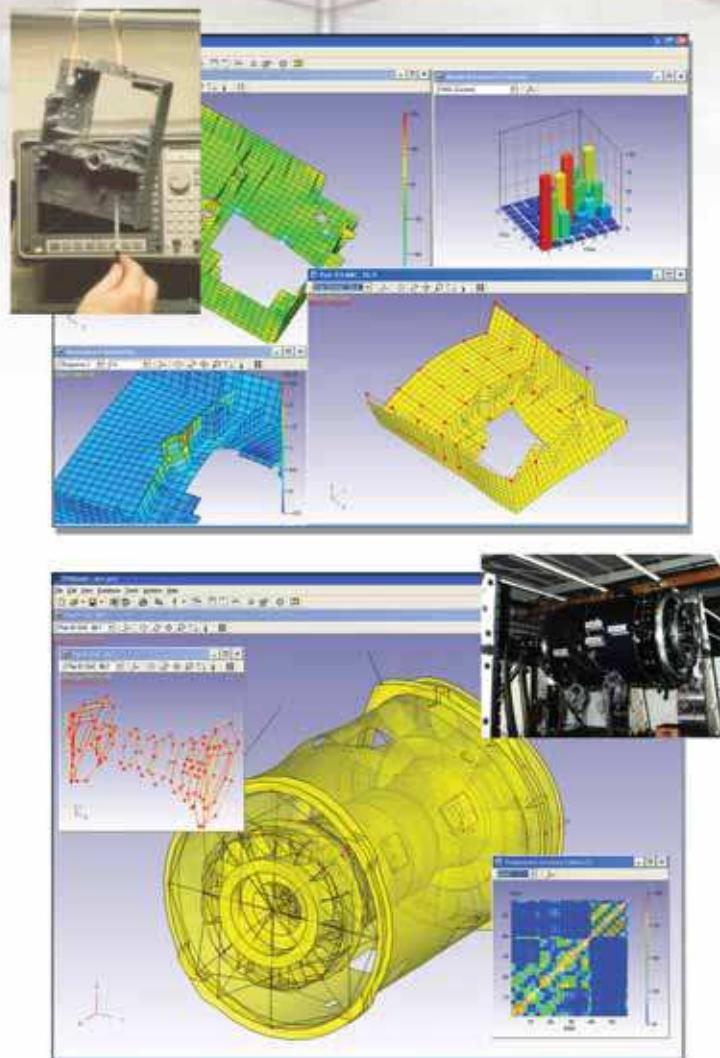
実践向：多様な有限要素モデルをサポートし、外部プログラムからのデータを使用することができます。

操作性：直感的なGUIやフリーフォーマットのコマンド言語によって、短期間での学習が可能です。

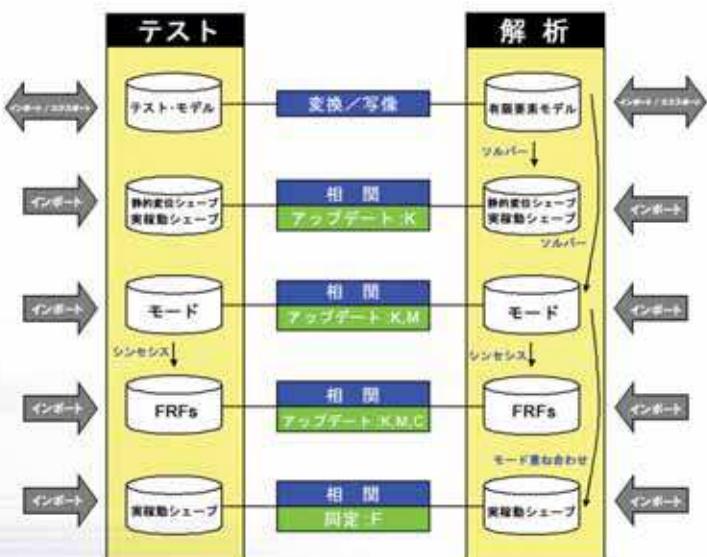
信頼性：FEMtoolsは、長年にわたり解析と実験に従事したエンジニアとプログラマによって研究開発され、今尚高く評価されているシステムです。

FEMtoolsの最適化手法

FEモデルを実験データの参照値に一致するようにアップデートするための手法として、相関分析、感度解析、誤差局在化などの結果に基づいて、有限要素の様々なパラメータをアップデートします。その際の煩雑なアップデート処理（反復モデルアップデート）は自動的に行われます。



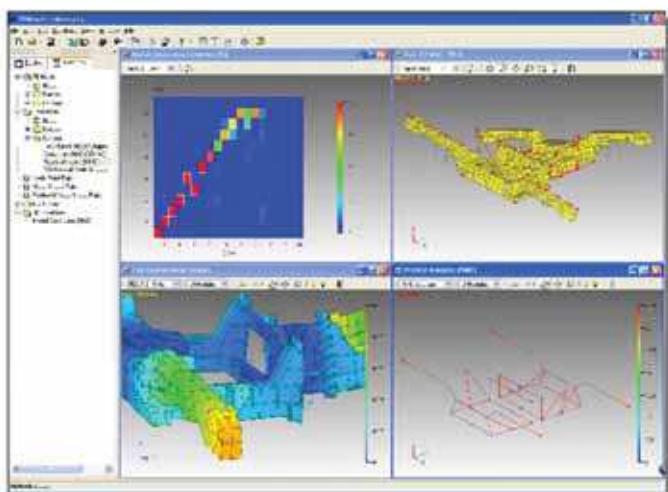
- ◆ FEAの結果は、実験的方法を最適化するために使用することができます。（ブリテスト解析）
- ◆ 実験結果を参照し、不確定要素、材料特性、幾何学特性）、境界条件を識別し、有限要素モデルを最適化します。（誤差局在化、相関分析、モデルアップデート）
- ◆ 設計最適化、音響学、疲労解析などのシミュレーションに必要なデータ、モデリングに関する専門技術や普遍的な知識の修得、より迅速な判断を可能にします。
- ◆ 高度なソフトウェア技術と標準ユーザー・インターフェイスによって、それぞれのプラットフォーム上の異なるアプリケーション技術者間の情報共有化を支援します。



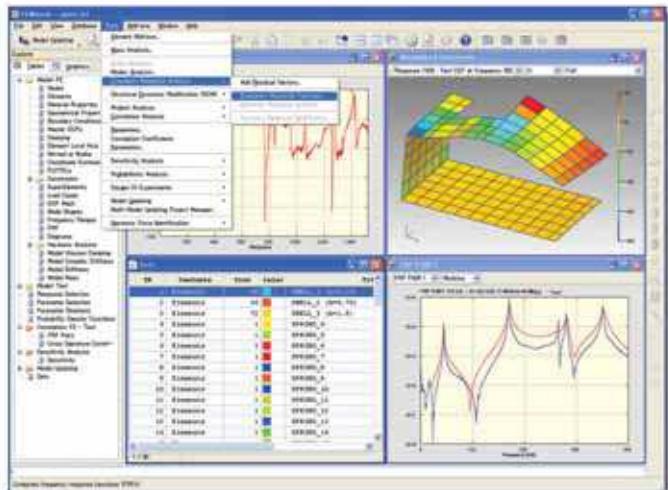
相関分析の方法

相関分析の目的は、それぞれのモデリングと解析結果データを定量的かつ定性的に比較し、FEMtools データベースにインポートされた FEA-TEST、FEA-FEA および TEST-TESTなどの相関分析に使用することができます。

- ◆ モデルの座標、スケーリングを変換することができます。それらの変換は自動的に実行することも可能です。
- ◆ 解析と実験の位置相関を分析します。これは、双方のデータベースの自由度テーブルにも反映されます。
- ◆ 相関関数、直交条件を計算し、モード / 実稼動シェーブおよび FRF ベースの関係を相関的に分析します。
- ◆ 解析モデル、実験モード解析のプランニングのためのプリテスト解析として使用されます。



車両（台車）モデルのモードシェーブ相関分析

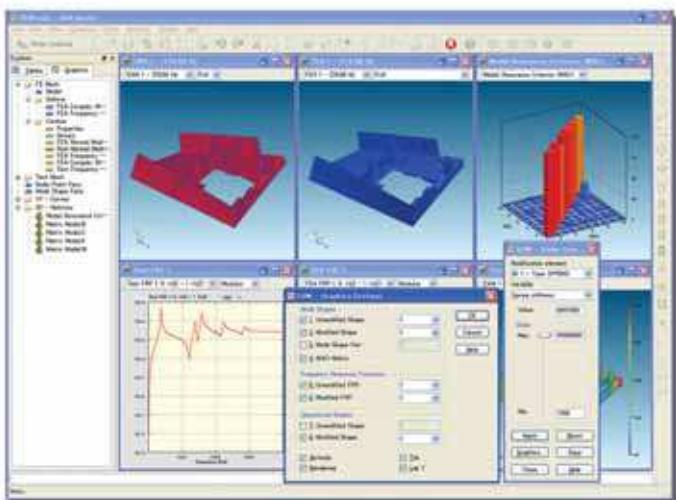


FRF ベースの相関分析（振幅シグネチャ解析）

構造変更シミュレーション (SDM)

有限要素および実験のパラメータ（材料特性、幾何学特性、境界条件）に関する SDM の作用を評価することができます。

- ◆ 変更要素のインタラクティブ定義が可能です。
- ◆ 実験モードと有限要素解析のモダルパラメータを使用し、変更モードシェーブおよび共振周波数を解析します。
- ◆ 変更要素のすべての物理的特性に関して、スライダー・コントロールによるリアルタイム解析が可能です。
- ◆ 変更前と変更後の相関分析、インバース解析

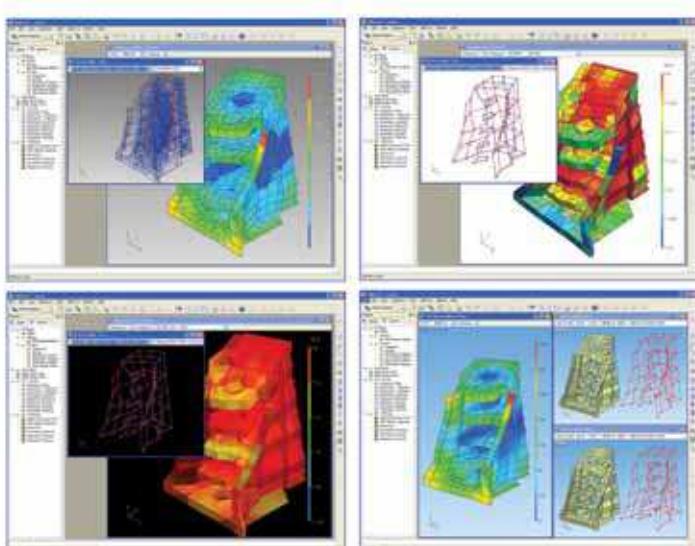


スライダー・コントロールによる構造変更シミュレーション

感度解析 (Sensitivity Analysis)

感度解析は、解析技術者のパネ剛性、材料剛性、幾何学形状などの設計変数の変更による構造レスポンスを推定する技術です。これは、パラメータ値の微小変化に対するレスポンス値（例えば、共振周波数や質量）の変更量として定義される感度係数の計算により行われます。レスポンスとパラメータのすべての組み合わせ係数は感度マトリックスに格納され、その結果は次の目的に使用されます。

- ◆ パラメータ、レスポンス、設計変数などを定義するために使用し、仮定のモデリングを自動的に検討します。
- ◆ 設計の最適化、構造レスポンス値を変更するための最適位置を推定します。
- ◆ 設計とレスポンスの関係を分析し、レスポンスおよびパラメータの組み合わせに基づく構造感度エリア（高感度、低感度）の識別に関して解析技術者を支援します。
- ◆ 感度マトリックスは、ゲイン・マトリックスを識別するためにインバース化され、必要なパラメータ変更を推定し、モデルアップデートにおける誤差を補完します。
- ◆ 感度解析は、モダルパラメータとして、荷重（センサー質量）を推定し、プリテスト解析に応用されます。
- ◆ アコースティック感度として、音響解析パッケージにエクスポートすることができます。

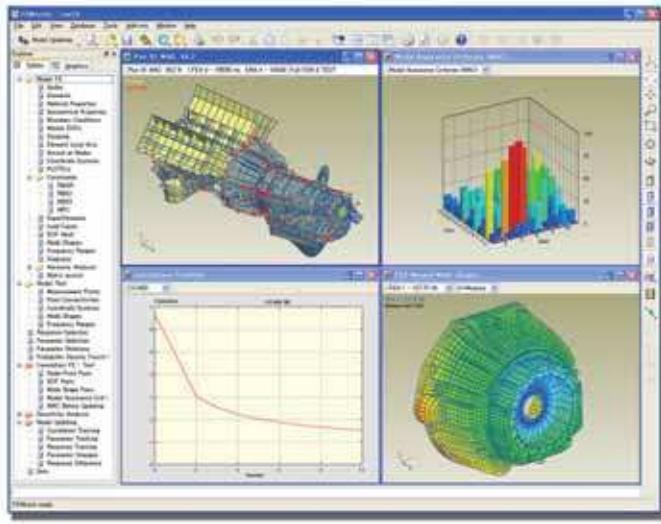


相関分析と感度解析のグラフィックス表示

モデルアップデート (Model Updating)

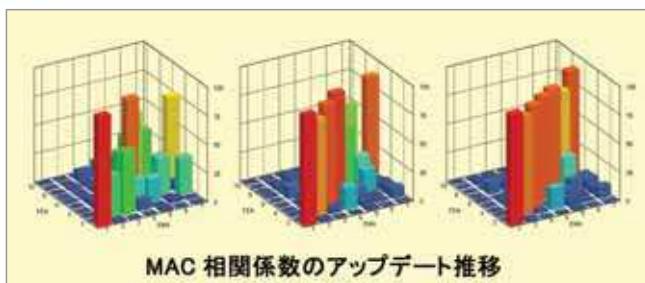
FE モデルをアップデートする目的は、その再生可能な数学モデルを作成することによって、不確定要素を伴うモデルを修正し、最適なパラメータに基づくモデル化を達成し、また物理的に意味のある変更を加えることにより、モデルと実験データ間の相関性を改善することです。

FEMtools は、モード、実稼動のシェーブおよび FRF を参照するアップデートアルゴリズム（ベイズ推定法など）を使用します。最適化された FE モデルによって、任意の荷重条件、境界条件、損傷、衝撃などのシミュレーションが可能となり、そのモデルは現実的な変位や応力を推定するために使用することもできます。



FE 解析モデル（スーパー要素）のモデルアップデート

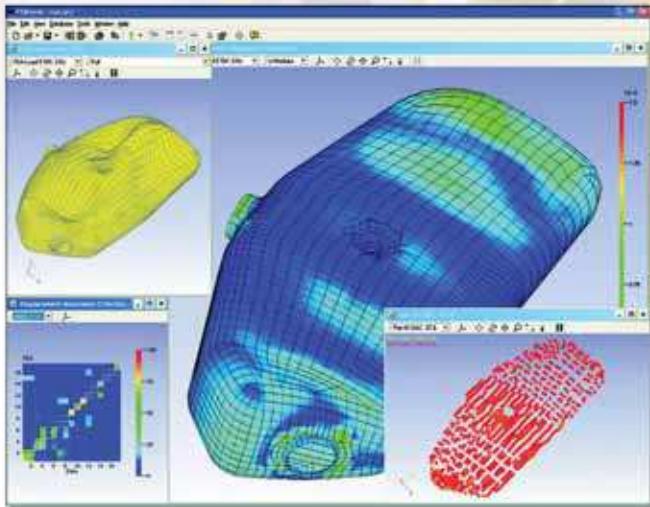
- ◆ パラメータとして、要素の材料特性、幾何学特性、境界条件、集中質量、減衰などが選択できます。
- ◆ 応答として、質量、静的 / 動的変位、共振周波数、モード、MAC、DAC、FRF などが選択できます。
- ◆ 相関関数の事前定義やカスタマイズおよびユーザーの確信度を表すターゲット値の設定などが可能です。
- ◆ ローカル／グローバル・パラメータに対する感度解析（絶対感度、正規化感度、有限差分感度、微分感度）、また外部感度解析処理が可能です。
- ◆ 静的／動的再解析のための内部ソルバおよび外部ソルバーのサポートが自動的に行われます。
- ◆ 感度計算の内部／外部ソルバーをサポートし、感度マトリックスは自動スケーリングされます。
- ◆ スーパー要素ベースのモデルアップデート
- ◆ マルチモデル・アップデート (MMU)
- ◆ アップデート FE モデルのエクスポートが可能です。



MAC 相関係数のアップデート推移

モデルアップデートの応用

FRF、実稼動データなどのアップデート手法を応用し、実際の損傷を伴う構造の動特性を観察、構造変化のモニタリング、損傷検知、QA 法に利用できます。

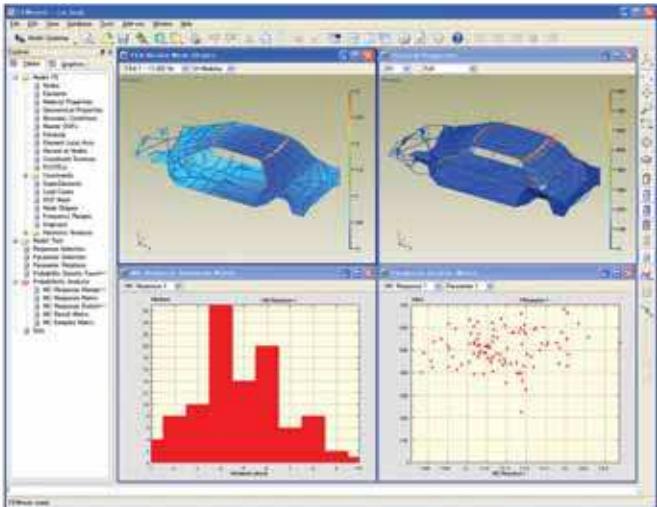


マフラー空洞内圧力分布（実稼動）の同定

- ◆ 動的応答解析、外力同定解析（調和外力同定）
- ◆ 測定空間設計の効率的なサンプリング（実験計画法）
- ◆ FE モデルの高精度化、縮小、材料同定
- ◆ 周波数応答関数、実稼動（変位、速度、加速度）
- ◆ 損傷検知、構造寿命の予測、モニタリング

確率論的モデルアップデート

すべての物理特性はパラツキと不確実性の影響を受けます。この特性が構造物が出力応答にどのような変化をもたらすかを判断するために不確実性をパラメータとして、モンテカルロ法による応答確率分布を求めます。



不確実データ解析との確率的相関分析

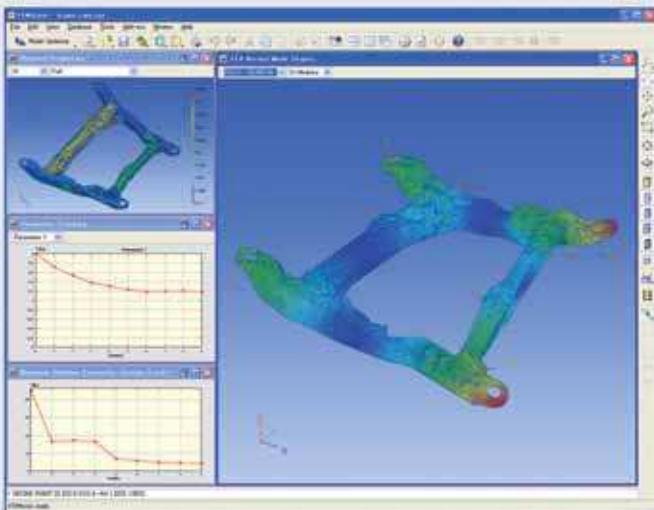
- ◆ 感度解析およびモデルアップデート（前述）に対して任意のパラメータと応答の選択が可能です。
- ◆ 出力応答のヒストグラム、平均、標準偏差を求めるためのポスト処理機能を備えています。
- ◆ 統計的確率分布、ランダム・サンプリング物理特性
- ◆ 製品の性能と安定性のためのロバスト設計

構造設計最適化ソリューション

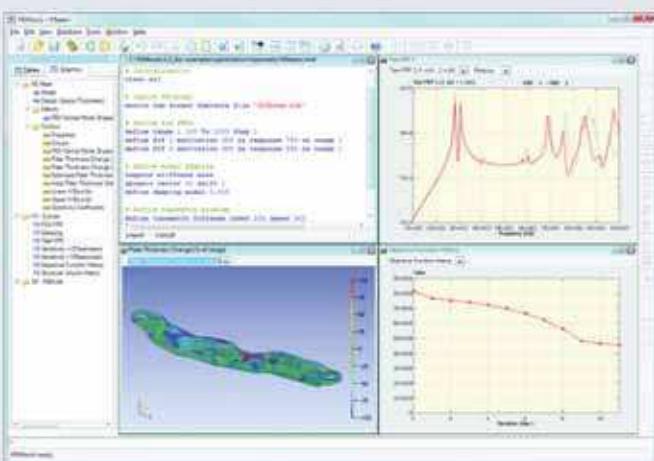
有限要素解析技術に数学的な最適化アルゴリズム（一般非線形、形状、トポロジー、トポメトリ、...）を統合することにより、既存の設計を最適化し、新しい根本的な設計方法を提案することができます。

一般非線形問題の最適化 : FEMtools Optimization は、有限要素法に基づいた非線形用の最適化ソルバーを搭載し、その仕様において、最適化パラメータ、目的関数、上限数などに制限はありません。また、FEMtools スクリプト言語によって、任意の目的関数や拘束関数をプログラムすることができます。

静解析と動解析 : 実験データを参照し、相関分析のための FEMtools 内部ソルバー、FRF シンセサイズ、調和応答解析を搭載し、またシームレスに外部ソルバーと統合します。



エンジンフレームのサイズ（パラメトリック）最適化

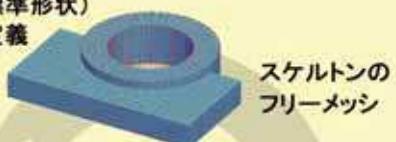


FRF 振幅レベルの縮小のためのトポメトリー最適化

- ◆ 非線形問題の最適化
- ◆ サイズ最適化（パラメトリック）
- ◆ トポメトリー / トポロジーの最適化
- ◆ メッシュ・モーフィングによる形最適化
- ◆ 平面とソリッドの空間座標最適化
- ◆ トラス / 空間座標最適化（変形解析、応答表面、...）
- ◆ 材料特性の最適化

形状 / サイズ / メッシュの最適化例

スケルトン（標準形状）
をリング部に定義



スケルトンの
フリーメッシュ



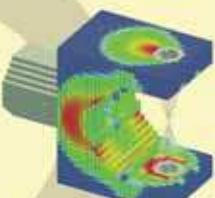
強制変位による
メッシュ変形

トポロジー最適化例

継手モデルへの
荷重の定義



オプティマイザーを定義し、
トポロジー最適化の実行

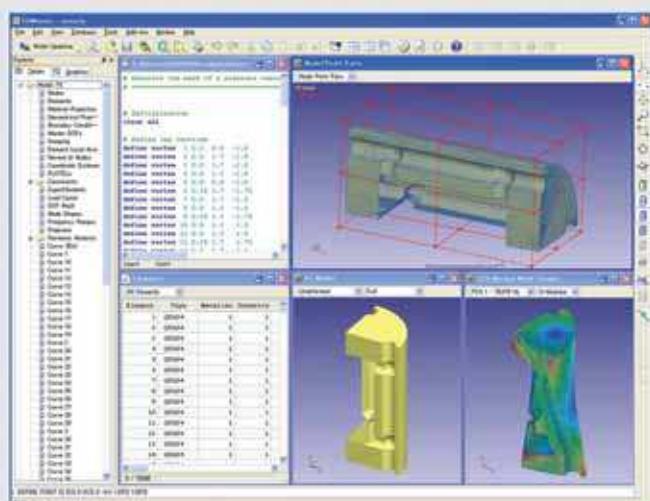


要素の相対密度に基づく
設計空間トリミング結果

最適化メッシュ / デザイン・ツール

先進のメッシュツールは、既存の FE メッシュや CAD データから最適メッシュを生成することができます。

FEMtools Script プログラミング言語や API 関数ライブラリおよび自動メッシュ変形 (MFD)、モーフィング、形状最適化などを利用し、デザイン解析にも有効です。



FEMtools プログラムスクリプト / API 関数によるメッシュ生成

FEMtools CAE ソリューション

標準構成+インターフェイス+アドオン

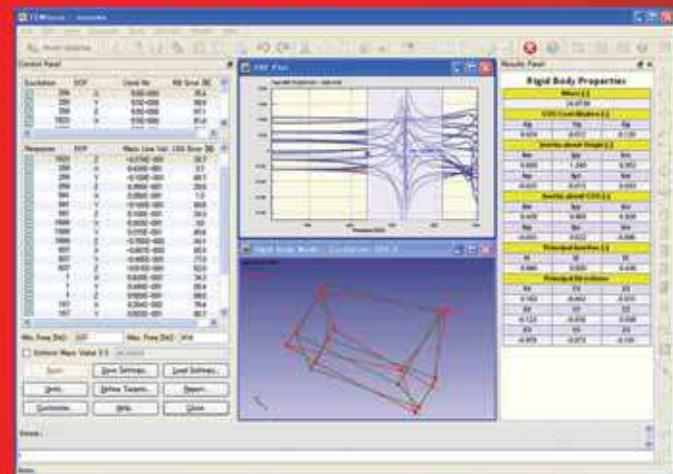
FEMtools は、パワフルなデータ・インターフェイスと高精度の相関分析、モデルアップデート、静／動解析、構造変更シミュレーション、周波数応答解析、設計最適化などの機能を搭載し、また外部解析モジュールと統合し、CAEシステム・プラットフォームとして利用することができます。基本の「フレームワーク」はデータベース管理、グラフィックス、スクリプト・プログラム言語による拡張機能にも対応しています。

Framework	データベース管理、グラフィックス、スクリプト言語、CAEプロセスの自動化などの基本環境を提供します。
Dynamics	構造物の動的応答や構造変更シミュレーションのための先進の有限要素ソリューションを提供します。
Correlation	相関分析(FEA-Test, FEA-FEA, Test-Test)、ブリテスト解析に必要な数学的な比較、検証の機能を提供します。
Model Updating	モデルアップデート、調和外力同定など構造ダイナミクス解析統合システムです。FEA-TEST技術者向き。
Optimization	構造設計最適化のため非線形解析ソルバーを搭載したシミュレーション解析システムです。FEA技術者向き。
Full Version	モデルアップデートと構造設計最適化(Model Updating + Optimization)のトータル解析統合システムです。

剛体特性エクストラクター (RBPE)

これは、周波数応答関数 (FRF) からの構造物の剛体特性 (RBP: Rigid Body Properties) を同定する FEMtools のアドオン・モジュールです。次のような特性が加速度応答データの低周波部分から推定することができます。

- ◆ 質量 (Mass)
- ◆ 重心位置 (CoG)
- ◆ 質量慣性モーメント (MoI)



■ お問い合わせ・資料請求は下記へ

Dynamic Design Solutions 総代理店

株式会社 ストラクチャルサイエンス

〒211-0016 川崎市中原区市ノ坪 66-5 LM 武藏小杉第 2-215

TEL 044-738-0315 FAX 044-738-0316

E-mail: support@ssinst.com URL: http://www.ssinst.com

FEMtools の主な特長

- ◆ 本格的な CAE 統合化ソリューションに必要なすべての機能を搭載しています。
- ◆ 直感的で優れたグラフィックス・ユーザー・インターフェイスと容易な記述言語を提供します。
- ◆ マニュアル、例題集、オンライン・ドキュメントなどが充実しています。日本語マニュアルも完備しています。
- ◆ 広範な応用分野の解析者を支援できるように設計されています。モデルサイズに制限はありません。
- ◆ 動作環境として、代表的なプラットフォーム (Windows, UNIX,LINUX) をサポートします。
- ◆ 先進の解析機能、プログラミング機能を搭載し、適正価格が設定されています。

ダイレクトデータ・インターフェイス

- FEA レベル1: NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, I-DEAS, ...
- FEA LEVEL2: MARC, SAP, ALGOR, FEMAP, ...
- TEST : Universal File (STAR, I-DEAS, ME'scope, ...)

動作環境

- Windows XP/Vista/7 (32/64-bit) ...
- UNIX (Solaris, AIX, HP-UX), LINUX ...

応用分野

FEMtools は、世界中の様々な産業界で利用されています。例えば、以下のよな産業分野で使用されています。

- ◆ 航空宇宙：空輸送機関、翼（反動エンジン）、...
- ◆ 自動車 / 運輸：陸車、車両、船舶、エンジン、...
- ◆ 建築 / 土木：ビル、住宅、橋梁、ダム、工場、...
- ◆ エレクトロニクス / ファン、シャシー、消費家電、...
- ◆ 産業設備 / 機械類：プラント、発電システム、...
- ◆ バイオメカニクス：インプラント、人工器官、...
- ◆ その他：材料、新素材、精密部品、機械、...

研究機関と教育機関のソリューション

多くのユーザーが FEMtools スクリプト言語を使用し、新たなアルゴリズムやプロトタイプを開発しています。

- ◆ CAE/CAT ユーザー：FEA 技術者、テスト技術者、...
- ◆ 開発部門：開発 / 設計 / 製造技術者、管理者、...
- ◆ 研究部門：研究機関、教育機関、R&D 技術者 ...