



3DEXPERIENCE

## **fe-safe**

有限要素モデルによる  
耐久性解析ソフトウェア



# FE-SAFE

## 概要

fe-safe® は、有限要素モデルによる疲労解析ソフトウェアを技術面でリードする製品であり、実際の産業用途に適した極めて正確かつ先進的な疲労解析テクノロジーを提供しています。

今日、自動車、大型トラック、オフロード、船舶・海洋、防衛、発電、風力エネルギー、医用工学をはじめとしたさまざまな業界のリーディングカンパニーによって利用されています。

fe-safe は、疲労解析ソフトウェアとしての基準を常に打ち立てる目的とした業界各社とのコラボレーションにおいて、1990 年代初めから機能拡張を重ねています。

fe-safe は、多軸ひずみによる最新の疲労解析手法に重点を置いた疲労解析ソフトウェアとして初めて商品化された製品です。

fe-safe には、熱機械的疲労とクリープ疲労、複合材料の疲労解析、エラストマーの疲労解析、溶接継ぎ手を対象とした Verity® 構造応力手法など特有の機能が用意されています。

fe-safe は、その優れた精度、高速処理、包括的な機能、そして使いやすさで知られています。

疲労解析の複雑さにかかわらず、fe-safe を既存の設計工程にスムーズに組み込んで、耐久性を重視した製品の開発に役立てることができます。



## はじめに

製造業界は今、軽量でありながら強度の高い構成部品を提供する際に、材料使用量の削減、保証およびリコールコストの削減、そして開発時間の短縮を同時に実現することをますます求められるようになっています。

こうした中、多くのメーカーが設計応力の計算に高度な有限要素解析を用いていますが、スプレッドシート解析用の応力ポイントを手動で選択する方法で疲労解析が実施されているケースが依然として少なくありません。この方法は時間がかかるだけでなく、破壊位置を見落としやすいという意味で信頼性にも欠けます。

プロトタイプ設計の疲労試験を試験機関で行う場合、構成部品の検証には膨大な時間がかかります。プロトタイプが早々に壊れてしまうと、設計、試験、再設計を繰り返さざるを得なくなり、コスト増につながります。プロジェクトのマイルストーンを達成できず、納期遅れが生じます。

## 主なメリット

fe-safe を設計工程に組み込むと、以下を行えるようになります。

- ・ 設計を最適化して材料使用量を削減する
- ・ 製品のリコール件数と保証コストを削減する
- ・ 設計および試験プログラムを最適化して検証する
- ・ 単一のユーザー・インターフェースを使用して試験と解析の相関を向上させる
- ・ プロトタイプの試験時間を短縮する
- ・ 解析を高速化して人的時間を削減する
- ・ 「最初から適切な設計」を作成することにより、製品設計を確実にスケジュールどおりに試験に合格させる

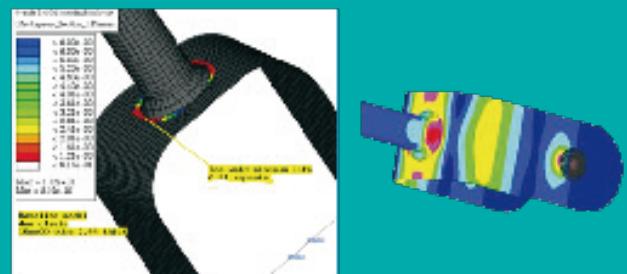
## 設計に組み込まれた耐久性 - fe-safe を中心で支えるのが先進的な多軸アルゴリズムです

### ケーススタディ

後輪トレーリングアームリンクのプロトタイプに対する溶接疲労解析

実験ではブロックサイクル試験を 0.83 回繰り返した時点でき裂が発生  
fe-safe の疲労寿命予測結果は 0.81 回の繰り返し

Ford Motor Company



# ワークフロー

## 荷重

fe-safe は、以下をはじめとした幅広い荷重タイプからの疲労寿命予測に対応しています。

- ・線形弾性有限要素モデルに適用された単一の荷重時刻歴
- ・fe-safe で重ね合わせた複数の荷重時刻歴 (4,000 個を上回る荷重履歴を適用可能)
- ・連続した FEA 応力 (弾性または弾塑性、線形または非線形)
- ・定常調和モーダル解の重ね合わせ
- ・時刻歴応答モーダル解の重ね合わせ
- ・PSD 荷重、ブロック荷重テストプログラム、レインフロー サイクルマトリクス
- ・成形または組立て応力の効果

fe-safe には、オンラインでパラメータを変化させて「感度」解析を行うための、強力で使いやすいバッチ コマンド システムが含まれています。

標準的な解析を設定して保存しておくと、後で再利用することもできます。



## 解析手法

fe-safe にはさまざまな解析手法が用意されており、そのすべてが標準パッケージに含まれています。

- ・多軸ひずみによる疲労アルゴリズム - 軸ひずみ、せん断ひずみ、多軸Neuber則による Brown-Miller 法、サイクル塑性モデル
- ・S-N 曲線解析 (軸応力を用いた多軸疲労解析や、Brown-Miller 法に基づく最新の S-N 曲線解析など)
- ・高サイクル設計向けの Dang Van 基準による多軸疲労解析
- ・材料データ (温度やひずみ速度の影響など) のプロット
- ・鋳鉄の疲労に関する先進的な解析手法
- ・溶接継ぎ手の解析
- ・高温疲労
- ・弾性および弾塑性 FEA 応力に基づく解析、線形および非線形解析
- ・表面の自動検出
- ・疲労ホットスポットの自動検出
- ・包括的な要素/節点グループ管理
- ・応力勾配補正
- ・クリティカル・ディスタンスアルゴリズム
- ・クリティカル・プレーン法による不規則な振動の疲労解析
- ・回転体の解析

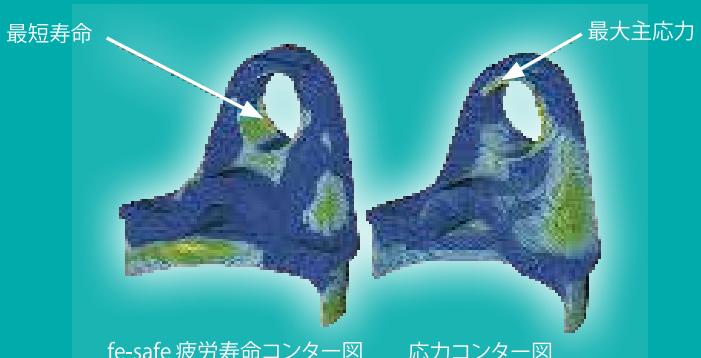
き裂は最大応力位置で発生するとは限りません

### ケース スタディ

#### サスペンション用チューブ ヨーク部品の疲労解析

「fe-safe により破損箇所を正確に予測できた  
ことが実サンプル試験で確認されました」

Dana Automotive Systems Group, LLC



# 主な質問

fe-safe からは以下の質問に対する答えを得ることができます。

この部品の疲労寿命はどの程度か?

fe-safe では、クリティカル・プレーンに対する先進的な多軸疲労試験と組み込みの塑性モデル化機能を使用して、弾性 FEA からの解析結果が後処理されます。解析結果をコンター図として表示することで、き裂の場所と疲労寿命を確認できます。

き裂は伝播するか?

fe-safe では、クリティカル・ディスタンス法に基づいてき裂が伝播するかどうかが調べられます。き裂が発生しても破壊につながるまで伝播させないようにすることにより、使用応力を高め、よりゆとりのある効率的な設計を行うことができるようになります。

どこで材料を節約でき、どこに余分な材料を追加する必要があるか?

fe-safe では、指定された耐用寿命を達成するための許容可能な応力または荷重が算出されます。この値を強度係数 (FOS) と呼びます。

荷重または応力に対する変更が原因で塑性が変化した場合も、それがすべて計算に織り込まれ、

設計強度の過不足の程度が節点ごとに示されます。結果はコンター図として表示されます。



この設計の信頼性はどの程度か?

「品質確保」の計算では、材料強度のばらつきと荷重のばらつきを組み合わせることによって、一定の耐用期間の後でき裂の生じていない構成部品の比率が推定されます。この計算に基づいて、アセンブリの部品間で信頼性の統一を図ることが可能となります。

強度係数 (FOS) と残存確率の計算は、最初の疲労寿命の計算と組み合わせて1回の解析で行うことができます。これにより、設計の応力余裕と構成部品の信頼性との間の相互関係が特定されます。

疲労損傷の原因となっている荷重はどれか?

fe-safe では、各適用力の影響を調べるために荷重感度解析が実行されます。この解析結果に基づいて、設計に調整を加え、加速疲労試験を設計して検証できます。

臨界荷重と非臨界荷重が特定されたら、必要なない試験を削除することによって、試験プログラムの最適化と検証が可能になります。

何が原因で疲労き裂が生じているか?

fe-safe では、ホットスポット エリアや個々の要素および節点に関する詳細な解析結果、応力およびひずみ計算値の時刻歴、疲労サイクルと損傷のヒストグラム、Haigh 線図と Smith 線図はじめとした多くのグラフなどから、疲労寿命の現状とその理由を把握できます。

アセンブリの部分が異なると、同じレベルの信頼性を達成するために必要となる設計上の応力余裕も異なる場合があります

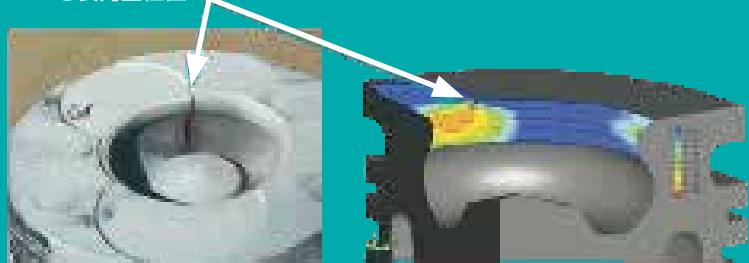
ケース スタディ

ディーゼル ピストンの疲労き裂

「fe-safe のおかげでき裂発生位置とそのタイミングを正確に予測できました」

Federal Mogul Technology, USA

き裂発生位置



fe-safe 疲労寿命コンター図

fe-safe は 1 回の解析でさまざまな結果を出力します。

#### き裂発生位置を示す疲労寿命センター図

指定された設計寿命に必要な強度を応力基準の係数で表したセンター図 (破壊を防止したり、材料使用量を削減したりするために必要な応力の変化量を示す)

指定された寿命の残存確率 ('品質確保に必要な曲線')

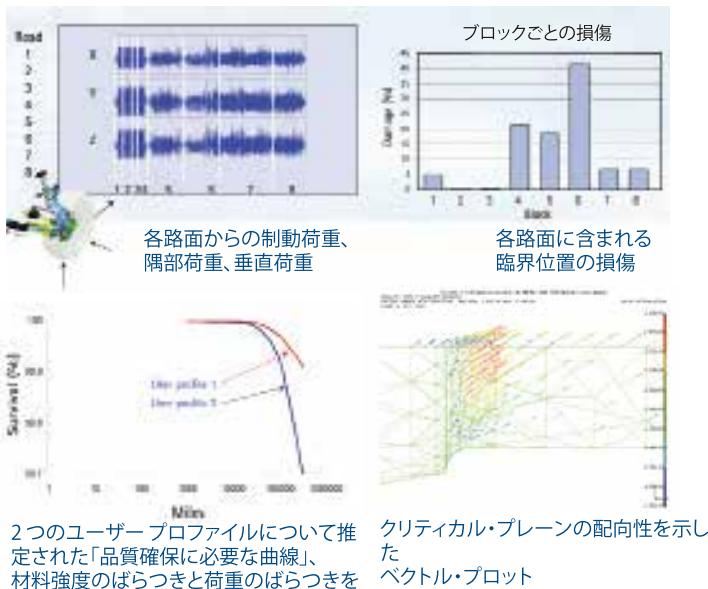
試験プログラムに含める必要のある荷重

荷重適用時の最大応力を示したセンター図

寿命予測の根拠を説明した詳細な結果 - 応力とひずみの時刻歴、Haigh 線図と Smith 線図、Dang Van 基準によるプロット

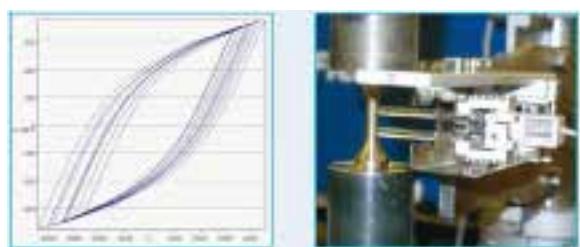
各荷重ブロック (試験軌道上の各路面など) に含まれるクリティカル・ロケーションにおける損傷

クリティカル・プレーンを示したベクトル・プロット



#### 材料データベース

- ひずみ寿命と S-N 曲線の特性を収録した包括的な材料データベース (国際規格に照らして検証/相互参照済み)
- 同等の仕様に基づいて米国、欧州、日本、および中国の諸規格の検索が可能
- ユーザー独自の材料および材料パラメータの追加が可能
- ひずみ寿命と S-N データが付属
- データは再解析され、さまざまな国際規格と相關付けされた状態で提供
- 化学成分と熱処理に関するデータ
- 参照元へのトレースバック



#### 試験サービス

多軸疲労試験、熱機械的/クリープ疲労試験、溶接継ぎ手試験、複合材試験など、fe-safe をサポートするさまざまな試験サービスを利用できます。材料試験には、さまざまな荷重および温度条件下で行われる S-N 試験とひずみ寿命試験の両方が含まれます。試験結果は解析され、レポートとして表示されます。解析結果の材料データは、fe-safe の材料データベースに追加することもできます。

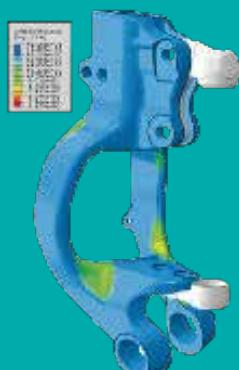
クリティカル・プレーンに対する多軸応力寿命評価法とひずみ寿命評価法が標準でサポートされています

ケース スタディ

fe-safe 疲労寿命センター図

「fe-safe の解析結果が正しいことが実験で確認されました」

Raufoss Technology



Visit us at [www.3ds.com/ja/simulia/](http://www.3ds.com/ja/simulia/)

ダッソー・システムズの**3Dエクスペリエンス・プラットフォーム**では、12の業界を対象に各ブランド製品を強力に統合し、各業界で必要とされるさまざまなインダストリー・ソリューション・エクスペリエンスを提供しています。

ダッソー・システムズは、**3Dエクスペリエンス企業**として、企業や個人にバーチャル・ユニバースを提供することで、持続可能なイノベーションを提唱します。世界をリードする同社のソリューション群は製品設計、生産、保守に変革をもたらしています。ダッソー・システムズのコラボレーティブ・ソリューションはソーシャル・イノベーションを促進し、現実世界をよりよいものにするため、バーチャル世界の可能性を押し広げます。ダッソー・システムズ・グループは140カ国以上、あらゆる規模、業種の約19万社のお客様に価値を提供しています。より詳細な情報は、[www.3ds.com](http://www.3ds.com) (英語)、[www.3ds.com/ja](http://www.3ds.com/ja) (日本語)をご参照ください。



**3DEXPERIENCE®**



| The 3DEXPERIENCE Company

ダッソー・システムズ株式会社 **SIMULIA事業部**  
SIMULIA.JP.Marketeting@3ds.com

東京オフィス  
〒141-6020  
東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower  
TEL:03-4321-3503

大阪オフィス  
〒530-0001  
大阪市北区梅田3-3-20 明治安田生命大阪梅田ビル  
TEL:06-7730-2703