

FEARCE / FEARCE-Vulcan

パワートレインシステムの熱・構造FEA
解析

www.realis-simulation.com/products/fearce/

contact@realis-simulation.com

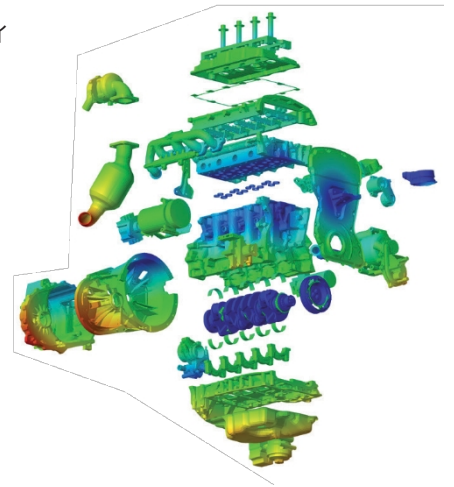
FEARCEとは？



FEARCEは、エンジンおよび車両解析を支援するために特別に開発された有限要素（FE）前処理・後処理環境です。FEARCEは、コンポーネントモデルの組み立てから、荷重や境界条件の適用、解法、結果の後処理に至るまで、FE解析の各段階を統合するインターフェースとして機能します。FEARCEは、これらの主要なタスクを自動化することで、反復処理間で共通のプロセスが確実に同一となるよう保証しつつ、複雑な解析を迅速かつ正確に実行できるようにします。

主な特徴

- 各段階を単一の環境で提供する統合グラフィカルユーザーインターフェース
- 独自のネットワークアプローチにより、ユーザーはコンポーネントモデルから複雑なFEアセンブリを構築可能
- コンポーネント間のインターフェースの自動結合
- 接触結合や構造的・熱的ギャップなどの高度な非線形インターフェースを含め、あらゆるタイプの接続を適用可能
- マルチポイント拘束を使用して、異なるメッシュを結合可能
- すべての接続は自動的にチェックされ、競合、修正、警告がフラグ付けされ、記録されます
- システムへの力、圧力、変位荷重の適用が容易
- 外部ソースからの境界条件の自動マッピング
- 主要なサードパーティ製有限要素解析パッケージすべてに対応したソリューションデッキを自動的に設定する、内部線形ソルバーおよびトランスレータ
 - 以下を含む、包括的な後処理ツールスイート
 - プロットおよびアニメーション
 - 荷重ケースの組み合わせと係数化
 - ボア、ベアリング、バルブの変形解析
 - 耐久性解析
 - NVH解析



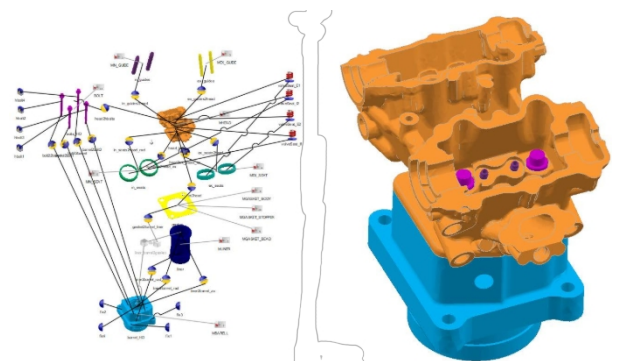
モデルアセンブリ

FEARCEは、1つ以上の個別のモデルコンポーネントから構成されるシステムの作成を自動化する強力なツールを提供します。プリプロセッシングGUIを使用すると、ユーザーはモデルと接続の2Dネットワークを構築できると同時に、その結果として生成されるアセンブリの完全な3Dビューを表示できます。

接触面間の接続は、モデルの個々のノードIDに依存するのではなく、表面形状を特定することで定義されます。これにより、物理的な接合関係を維持したまま、アセンブリ内のコンポーネントを容易に置き換えることが可能になります。嵌合面は、FEARCEのGUIを使用して定義することも、必要に応じてサードパーティ製のモデリングパッケージを使用して定義することもできます。

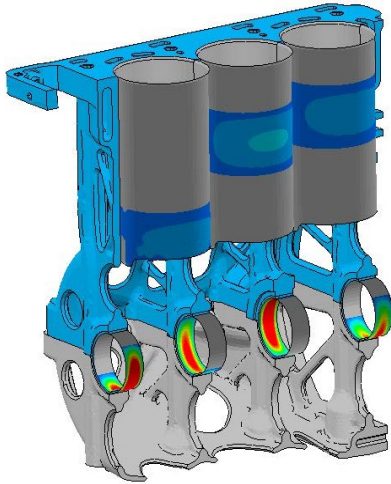
FEARCEは、ボルトの自動生成ツールを提供します。これは簡略化された梁モデルを使用して行うことができ、ユーザーはボルトの頭部およびねじ部の接触領域に加え、ボルト軸の直径と材質を定義します。

- 異なるソースからのコンポーネントモデルのインポート
- アセンブリのためのモデルのスケーリング、並進、および変形
- モデリングの負担を軽減するための、繰り返し使用されるコンポーネント（例：バルブシート）のコピー機能
- 結合はノード番号ではなく面接触に基づいており、変更を容易に行うことができます
- 各種接続（スライド、接触、溶接、熱的および構造的ギャップなど）を自動的に生成可能
- 多点拘束を用いた異種メッシュの自動結合
- アセンブリの自動チェック、および競合、修正、警告のフラグ付け



荷重の適用

FEARCEには、エンジニアがFE構造やアセンブリに荷重を適用するのを支援するさまざまな機能が組み込まれています。ユーザーは、名前が付けられた領域を選択し、必要な荷重の種類を選ぶだけで、FEARCEが自動的に表面全体に圧力を分散し、個々のノードに正しい力成分が加わるようにします。



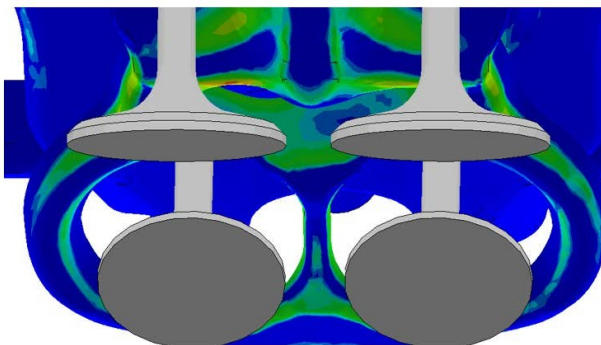
- 荷重適用を自動化することで前処理時間を短縮
- 荷重が明示的に定義され、変換（例えば、圧力から力への変換）がFEARCEによって実行されるため、精度が向上
- 荷重領域は個々のノードIDに依存せず、名前付き領域として定義されるため、コンポーネントモデルの差し替えが容易
- ベ어링モデルにより、メッシュの分布に関係なく、正確なプロファイルを自動的に追加可能
- モデル間の荷重のマッピング

耐久性解析

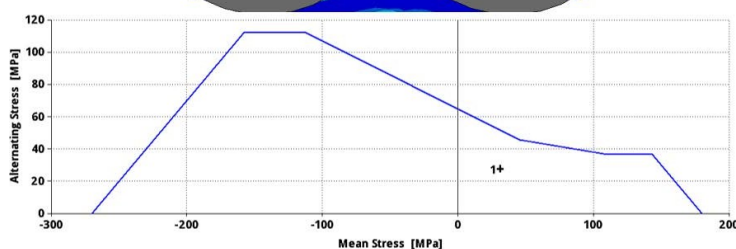
FEARCEには、多数の線形および非線形の耐久性アルゴリズムを含む疲労モジュールが組み込まれています。線形アルゴリズムには、グッドマン法やガーバー法などがあります。多軸アルゴリズムには、Dang Van、McDiarmid、および多軸Goodman法が含まれます。非線形解析には、SWT、Brown-Miller、およびFatemi-Socie法を使用できます。また、このツールセットは、主応力から応力テンソルを計算するための代替手法も提供しています。これらには、Von Mises（符号付きおよび符号なし）、最大主応力法、P1主応力法、およびASME法が含まれます。

FEARCEに含まれるもう1つの疲労解析アルゴリズムは、応力勾配および材料のノッチ感度効果を考慮したFKM法です。FEARCEは、無限寿命または定義された寿命に基づいて、指定された領域の疲労安全率を計算します。すべての結果は、実際のFEモデル上に数値またはカラーコンタートとして表示可能です。

FEARCEは、すべての材料特性および荷重に対して標準偏差を定義することで、信頼性計算も実行可能です。これにより、所定の寿命期間内に発生する故障回数の計算が可能となります。



- 豊富な線形および非線形疲労解析アルゴリズム
- 等価一軸応力計算の柔軟性
- Haigh図の自動生成
- モデル上への結果の直接表示
- 破損回数の予測

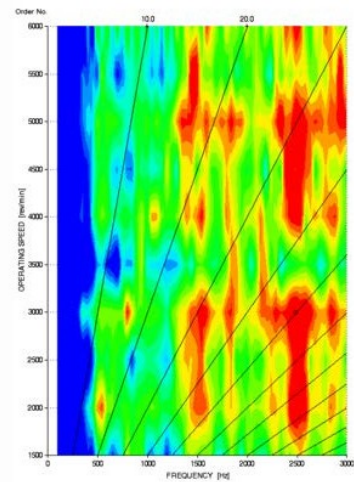
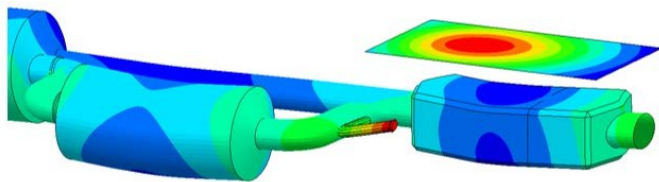


騒音・振動・不快感 (NVH)

FEARCEには、振動および騒音の予測を行う高度なNVHモジュールが搭載されています。

FEARCEのNVHモジュールは、モード解析の実行後に強制応答解析を行うことで、モデルに対する振動解析を実行します。正弦波の強制関数が、周波数領域における個々のノードへのフーリエ荷重として、モード形状に適用されます。次に、この荷重を解いて、各モードの寄与を算出します。最後に、モードの寄与を組み合わせ、各強制周波数に対する複合振動レベルを算出します。出力は、時間領域または周波数領域のいずれかになります。算出される値は、ノード変位、速度、および加速度スペクトルです。

- 直接および間接振動解析
- レイリー法およびBEM法
- BEMメッシュの自動生成



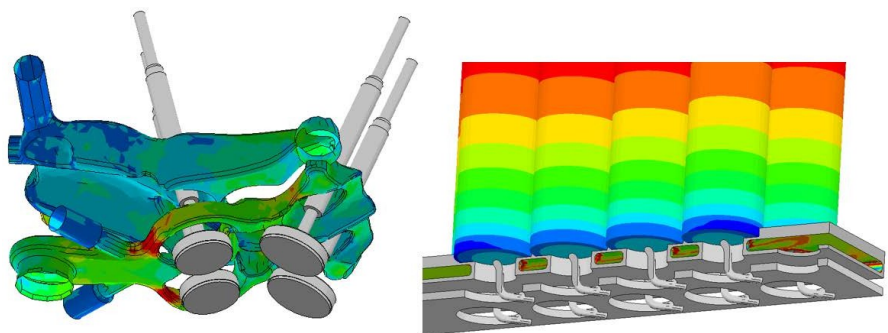
熱境界条件

FEARCEは、燃焼システムにおける温度予測に独自の機能を備えています。パワートレイン解析において、主要な運転条件における温度分布を正確に決定することは、コンポーネント設計にとって極めて重要です。FEARCEは、これらのニーズに対応するために特別に開発されており、有限要素解析に熱境界条件を適用するための多数のツールを提供します。

冷却側境界条件について、FEARCEはCFD解析から得られた流体温度および熱伝達係数 (HTC) を、FEモデルの適切な冷却面に迅速かつ効率的にマッピングすることができます。これは、Realis社のVECTIS CFDコードに直接リンクするか、あるいは主要なCFDソルバーから出力された温度とHTCの座標値を含むASCIIテーブルからマッピングすることで実現可能です。

VECTISに直接リンクして結果を抽出するだけでなく、FEARCEのGUIではVECTISモデルを表示することも可能であり、エンジニアは読み込まれたFEモデルと並行してCFD結果を視覚化できます。核沸騰の影響は、結果としての壁面温度に依存する熱伝達係数のマップを使用し、反復解法の一環としてシミュレーション可能です。

- 流束、温度、熱伝達係数 (HTC)、および圧力の補間されたCFD結果
- 結果の抽出および可視化のためにVECTISと直接連携
- 定常状態解析のための過渡結果の時間平均化
- ICE熱境界条件モジュール



シリンダー内熱境界条件

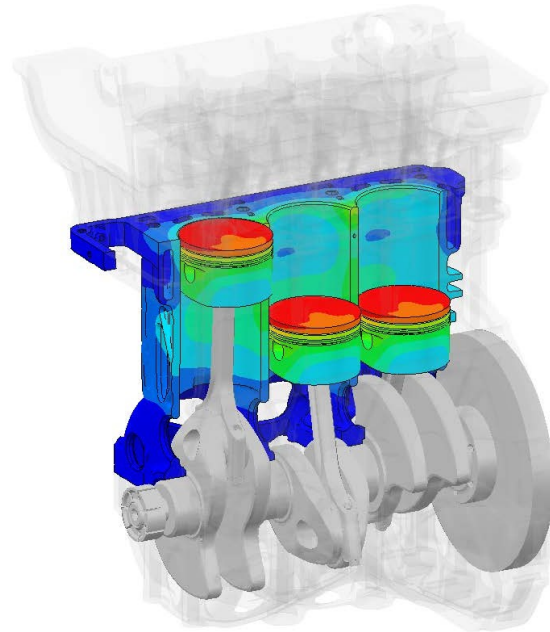
シリンダー内の熱境界条件については、専用のFEARCE-Vulcanモジュールが利用可能です。

このツールは、物理モデルと半経験的の相関関係を用いて、必ずしもCFD解析を行う必要なく、パワーシリンダーのすべての熱経路を考慮します。

あるいは、VECTISやその他のCFDソルバーからの結果をインポートして、燃焼に起因するガス側のHTCを予測することも可能です。

FEARCEは、インポートされたフルサイクル値からサイクル平均負荷を算出し、定常状態の温度を計算します。

。



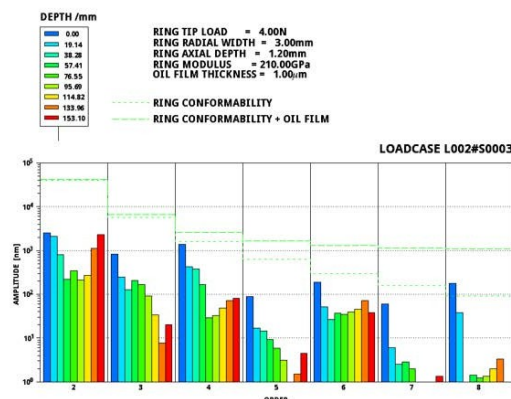
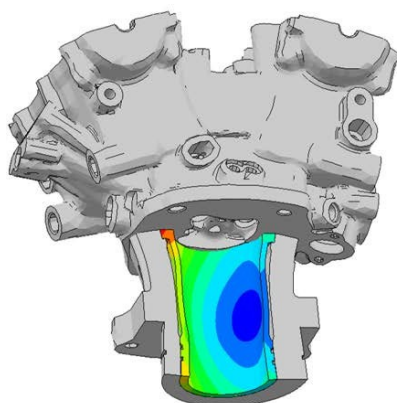
解法と後処理

FEARCEには独自の線形ソルバーが搭載されています。熱解析に最適なこのソルバーは、ベンチマークテストを経て、主要なサードパーティ製ソルバーと同等の精度と高速性を有することが実証されています。このソルバーは、変位予測、応力予測、モード寄与、強制応答解析、固有値計算、モデル簡略化など、幅広い解析に使用できます。

初期の解法に加え、FEARCEには多数のポスト処理ツールが搭載されており、その多くはパワートレインおよび車両解析の特定のニーズに合わせて開発されています。線形解析では、結果のロードケースを組み合わせたり、重み付けを行ったりして、より複雑な条件を作成できます。これには、アセンブリにおけるボルト荷重の緩和を考慮した計算も含まれます。非線形解析では、節点応力およびひずみの履歴を特定し、プロットすることができます。

パワートレイン解析において、FEARCEはボア、ベアリング、バルブの歪み計算を実行し、変形、高調波、アライメント、リングの適合性に関する適切なプロットを生成できます。

車両解析においては、FEARCEは設計感度解析を実施し、モード保証のための簡易チェックを行い、衝突解析中のモデル間の過渡応答差分プロットを提供できます。



- 組み込みの線形ソルバー
- 主要なサードパーティ製FEパッケージに対応したソリューション設定
- 幅広い後処理ツール
- 荷重ケースの組み合わせと係数化
- 応力・ひずみ履歴プロット
- 熱電対およびひずみゲージの予測
- ボア、ベアリング、バルブの変形プロット
- 設計感度解析
- 耐久性計算

FEARCE-Vulcanとは？

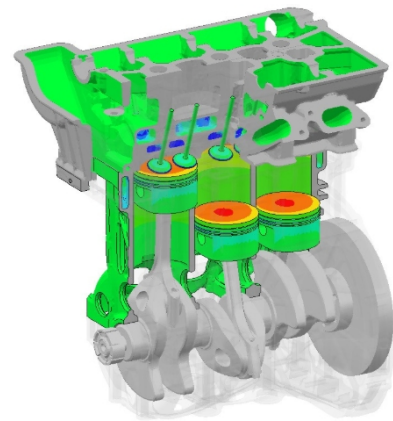


FEARCE-Vulcanは、独自の反復有限要素（FE）解法を採用しており、すべての熱経路を詳細に考慮することで、CFD解析を必要とせずに、物理モデルと半経験的相関式を用いてパワーシリンダー部品の熱境界条件を計算します。これにより、予測性が低いデータベース手法の限界を克服し、決定的な構造解析を行うための信頼性が高く正確な予測ツールを提供します。

この反復法による求解は高速に実行されるため、複数の運転条件における異なる設計バリエーションの評価が可能です。算出された温度とそれに対応する変形データを用いることで、ピストンの二次運動やリングの動的挙動を予測し、パワーシリンダーの摩擦、摩耗、オイル消費量、および構成部品の構造的耐久性をより正確に予測することができます。

主な特長

- パワーシリンダーのすべての熱経路を考慮
- 専用のグラフィカルユーザーインターフェース
- ディーゼル、ガソリン、天然ガス、水素、アンモニア、エタノールの燃焼に対応
- オプションでCFD燃焼境界条件を含めることが可能
- ピストンおよびピストンリングの動的モデルの自動生成
- ナトリウム冷却バルブのサポート
- ピストン冷却ジェット（PCJ）およびギャラリー付きピストンを考慮
- シリンダーボア冷却側における核沸騰効果を含みます
- Run Distribution Manager (RDM) により、ケースの並列実行が可能
- これまで以上に短期間で、熱効率の高い内燃機関を実現

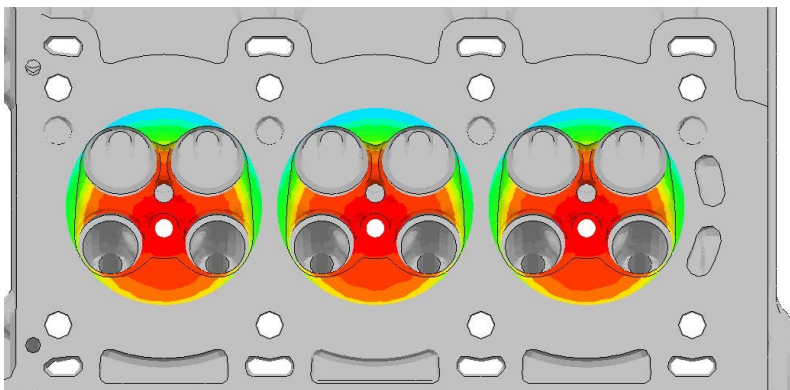


より小型で高効率、低排出ガスの内燃機関の熱モデリング

内燃機関は、ハイブリッドシステムなどで小型化が進んでおり、燃費を改善するためにはより高いシリンダー内ピーク圧力が求められます。その結果、シリンダー内の温度はさらに高くなります。製品開発コストを削減するために、広範な試験を最小限に抑えつつ、より耐久性の高いコンポーネントを実現するための設計を最適化するには、解析ツールが必要です。

熱調査測定はエンジン開発の重要な要素であり、CFDと組み合わせて部品温度を予測するために使用されます。しかし、これらの測定や解析手法はコストがかかり、時間と労力を要し、測定の場合には実機エンジンを必要とします。

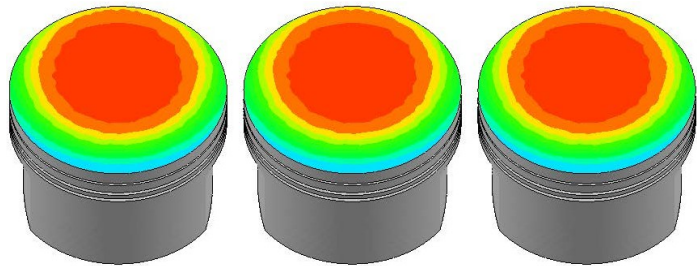
FEARCE-Vulcanは、ハードウェアが存在しない製品開発の初期段階から使用可能であり、CFDおよび熱調査のコストを削減することで、エンジン開発サイクルをより効率的なものにします。この新しいツールは、複数の全負荷および部分負荷条件下において、内燃機関（ICE）の熱負荷と温度を迅速かつ正確に予測することで、ICEの設計および開発における将来の課題にも対応します。



シリンダー内熱モデル

シリンダー内モデルは、シリンダー内のガスと、そのガスにさらされる周囲の構成部品（具体的にはピストン冠部、シリンダー壁、シリンダーヘッドの火炎面、および各バルブの火炎面）との間の熱伝達を考慮して、熱境界条件を生成します。

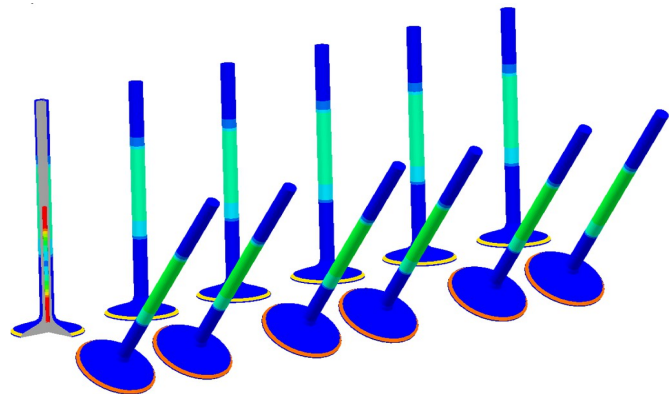
ピストン冠部および火炎面の境界条件は、燃焼中の燃焼ガスの伝播に基づいています。ガス温度の空間的変動は、平均温度を燃焼領域と未燃焼領域の温度に分割する2ゾーン燃焼モデルを用いて決定され、表面上の各点における各領域への曝露度を算出します。



バルブのモデリング

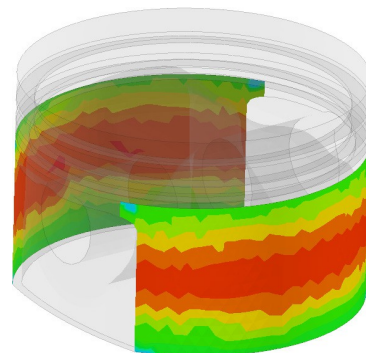
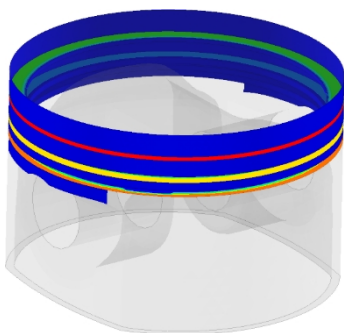
バルブモデルは、バルブ、シリンダー、ポートガス間の対流熱伝達、および接触界面（すなわちシートとガイド）間の熱伝達から熱境界条件を生成する。シリンダー内のガスにさらされているバルブ表面については、シリンダー内モデルが熱負荷を計算し、それを露出しているバルブ表面に投影する。ナトリウム冷却バルブの場合、ナトリウム温度は反復解法の一部としてシミュレーションされる

- バルブヘッドへのガス負荷
- 背面のガス流
- ステム周囲のガス流
- ガイドへの油膜伝導
- バルブ閉鎖時のシート接触
- バルブ開放時のシート上のガス流



ピストンとライナーの界面のモデリング

ピストンとライナーのモデルでは、リングの動的挙動とピストンの二次運動を考慮して熱境界条件を生成し、ピストンリングとライナー間、およびピストンスカートとライナー間の熱伝達を評価します。



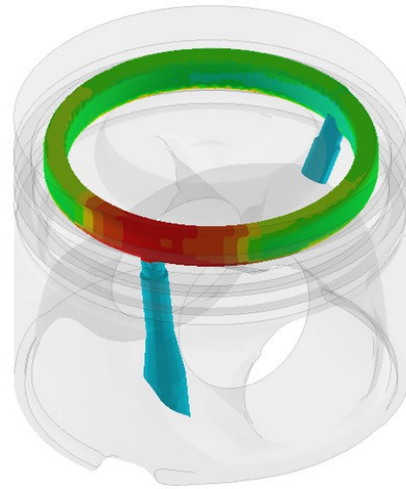
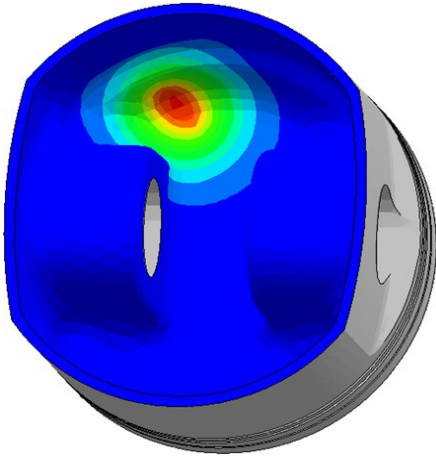
提供された幾何学的データおよび有限要素（FE）データから、ピストンの二次動特性およびピストンリングの動的モデルが自動的に生成され、スカート、リング、ピストン溝、およびライナー間のクリアランスと熱伝達が計算されます。熱伝達データは、ピストンおよびシリンダーボアの有限要素モデル上にマッピングされ、サイクル平均化されます。

ピストン冷却

ピストン冷却モデルは、ピストン冷却ジェット、ギャラリー冷却、およびクランクケースオイルによる冷却メカニズムを考慮します。

ピストン冷却ジェットモデルには、各ジェットの位置、角度、およびオイル供給の境界条件を入力する必要があります。このモデルは、熱境界条件を導出するために以下の特徴を考慮します：

- 噴射持続時間
- ジェットの拡散による空間的な変動
- 衝突位置の変化
- 複合噴射角による非対称流

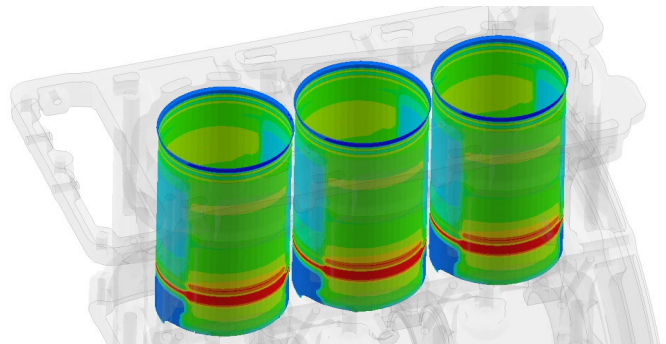


シリンダボア

シリンダ内での燃焼およびリングパックとスカートを経たピストンの熱負荷、ならびにオイルによる冷却により、シリンダボアにはサイクル平均境界条件が適用されます。

冷却剤の流れによる境界条件は、ウォータージャケットを定義する表面に対して、一定の熱伝達係数 (HTC) および流体温度の値として適用されるか、あるいは冷却剤回路の等温 CFD 解析からマッピングされます。

核沸騰の影響は、結果としての壁面温度に依存する熱伝達係数のマップを使用して、反復解法の一部としてシミュレーションされます。結果としての壁面温度が沸点を超えると予測される箇所では、熱伝達係数が調整 (増加) され、次の反復計算に使用されます。



www.realis-simulation.com/products/fearce/thermal-analysis-for-IC-engines

contact@realis-simulation.com