

論文・解説

23 パラメトリック設計システムの開発～エンジン設計の自動化～ Automation of Engine Design Process by Development of Parametric Design System

楠 康友*1 三村 光生*2
Yasutomo Kusunoki Mitsuo Mimura
佐々木 晋*4
Susumu Sasaki

要 約

開発期間の短縮，品質向上のニーズが高まる中で，マツダは開発～生産のプロセスを抜本的に見直し，最先端のCAD/CAM/CAE/PDMを活用したデジタル革新を推進している。その中で実設計業務においては，CAD上で多くの必要要件を検証し，その検証結果をいかにスピーディに製品形状へ反映するかが，今後の更なる効率化に必要となっている。この効率化の一つの手段として，自動的に3Dモデルが生成される，パラメトリック設計システムを開発したので，エンジンのピストン設計を事例に紹介する。

Summary

With increasing needs of shorter development period and higher quality, we had drastically revised development to production processes, and have been promoting digital innovation making good use of leading-edge CAD/CAM/CAE/PDM. Through practical design tasks, we had studied a number of necessary requirements on a CAD, and found that the key to achieving higher efficiency in the future is how quickly we should reflect the study results onto each product geometry. To accomplish this target, we have developed a parametric design system which enables automatic creation of 3D models as one of means of achieving higher efficiency. This paper introduces one of applicable examples of engine, 'piston design'.

1. はじめに

顧客満足度を向上させるためには，お客様の求めている商品をいかに早く，高品質/低価格で市場投入するかが，重要になってくる。そのために，短い開発期間の中で，品質/コスト/製品機能をより高い次元で満足させようと，日々多くの実設計業務を行っている。その業務の効率化のため，3次元CADデータを基に机上検証を行い，物を作らずに設計仕上がり度を高めて行く，パワートレイン（以下PT）設計革新を進めてきた。しかし，更に短期間で製品開発を行うためには，CAD上で多くの必要要件を検証し，その検証結果をいかにスピーディに形状へ反映するかが，鍵になってくる。そこで，この効率化の一つの手段として

パラメトリック設計システムを開発したので，適用事例を紹介する。

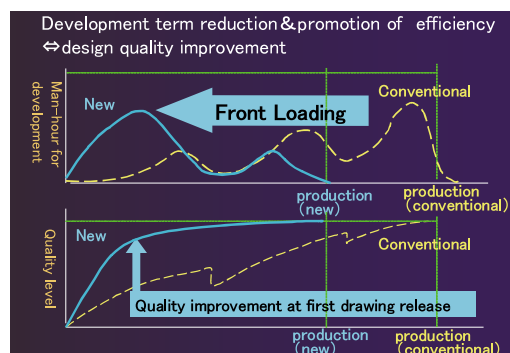


Fig.1 Intention of PT Design Innovation

*1, 2 第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1
*4 R&D業務効率化推進部
R&D Administration Innovation Dept.

2. PT設計革新の全体像

2.1 PT設計革新の狙い

設計革新の狙いは、設計品質向上と開発効率化の両立にある (Fig.1)。従来の開発は、出図ごとに工数が増え、開発後半でピークを迎えた後、設計仕上がり度が目標に到達していた。そこで新プロセスでは、できるだけ工数の山を前半へフロントローディングさせ、初回出図から仕上がり度が向上した形になるように、業務整備を進めてきた。

2.2 PT設計革新のプロセス

従来は、設計部門が出力した2次元図面を基に、後工程は各々の検証要件に合う3Dデータを作成していた (Fig.2)。そして評価結果を受け取った設計部門が再検討の後、設計変更を行っていた。この無駄をなくすため新プロセスでは、設計部門が作成する3Dデータを他部門と共有しながら、同時並行検証を開発初期から進めている。そして仕上がり度を満足させた3Dデータを出図している (Fig.3)。

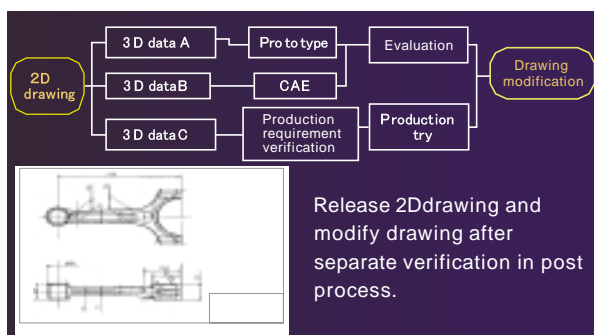


Fig.2 Conventional Process

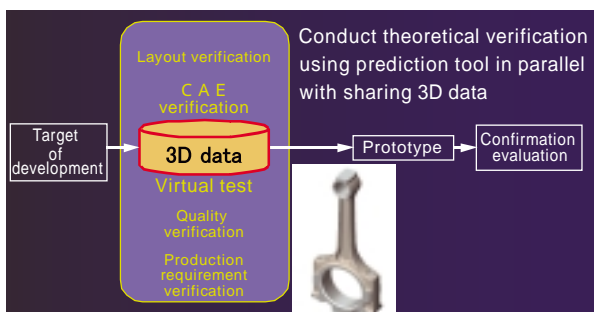


Fig.3 New Process

3. パラメトリック設計システムの概要

3.1 パラメトリック設計システムの狙い

厳しい短納期化へ対応するためには、3Dデータ作成検証 形状への反映サイクルを更に効率化する必要がある。そこで設計革新の業務整備の一環として、モデリング教育の充実によりユーザのスキルを上げ、作業手順を標準化した。またCADのモデリング機能強化と検証ツールの精度向上も推進してきた。しかし人のスキルに依存する作業や単純作業をスリム化しないと、設計品質の均一化や設

計工数の削減には限界がある。そこで次の業務整備の鍵として、自動化や最適化が重要になる。本システムの狙いは自動設計、自動検証、形状に反映する最適化の機能を柱に、短時間で設計基準に適合した3Dモデルを出力することにある。

3.2 パラメトリック設計システムの機能

部品の諸元検討の工程で、設計基準などを基に適正な諸元を入力すると、自動で3Dの実体モデルが生成される。そして設計基準や生産要件などの適合性を検証しながら、製品に求められる要求機能に沿って解析を行い、最適化する機能を持つ (Fig.4)。

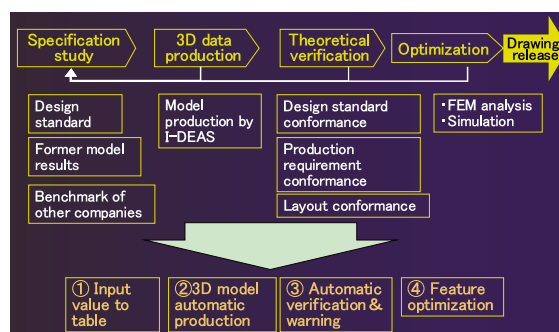


Fig.4 Function of Parametric Design System

3.3 パラメトリック設計システム適用の考え方

エンジン部品は、寸法や形状などの諸元を決定する際に、品質 / コスト / 性能など、複数の要求機能を高い次元で満足させる必要がある (Fig.5)。必然的に全ての要求機能を満たすため、多くの設計検証が必要になり、高い目標をクリアするまで 繰り返しの検証が必要になる。このような部品に本システムを適用すると、大きな効率化が期待できる。

例えば、燃焼性能など各種のエンジン性能と関連する部品が、これに該当する。そこで本論文では、その代表部品であるピストンを取り上げ、本システムを開発適用した事例を紹介する。

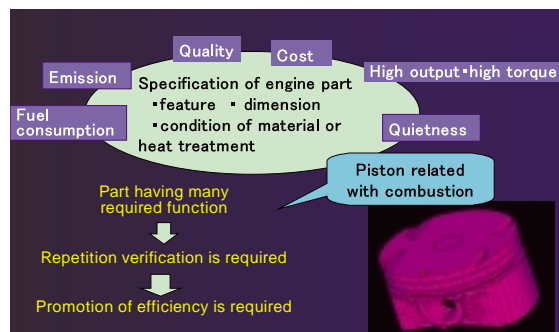


Fig.5 Adequate Part Selection

4. ピストン設計への適用事例

4.1 ピストンの概要

(1) ピストンの要求機能と設計検証項目
エンジンの要求機能をピストンにカスケードし、更にそ

の要求機能を検証すべき項目をFig.6に示す。機械抵抗低減から材質・構造まで、ピストンは高温・高圧の燃焼ガスの中で高速運動するので、多くの機能が求められる。その結果、設計検証項目として耐摩耗性からスラップ音・振動まで、多種多様な検証が必要になるなど、ピストン設計にはこれまで、多くの工数と熟練が必要であった。

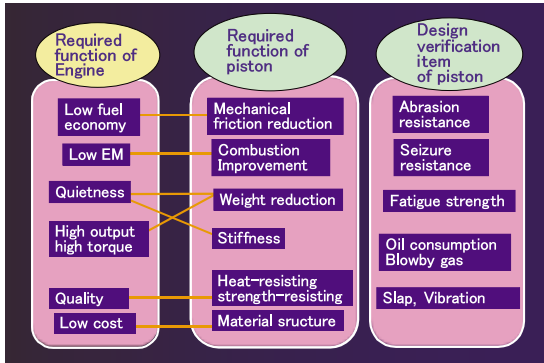


Fig.6 Required Function and Design Verification Item

(2) ピストン形状とピストン設計フロー

ピストンの主要部位は、次の通りである (Fig.7)

- ・ 圧縮比を決めるトップデッキのクラウン部
- ・ 吸排気バルブとの干渉を回避するためのバルブリセス部
- ・ 燃焼室の気密性を確保するためのランド&リング部
- ・ コンロッドを連結するための穴であるピンボス部
- ・ シリンダの中でピストンの姿勢を保つスカート部

以上の部位の中でクラウン部から設計を開始し、要求機能や設計目標に応じて各諸元を決め、最後に解析で設計仕上がり度を確認し、設計が終了する (Fig.8)。この過程で

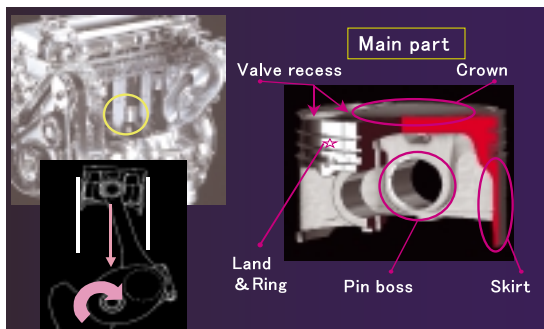


Fig.7 Piston Feature

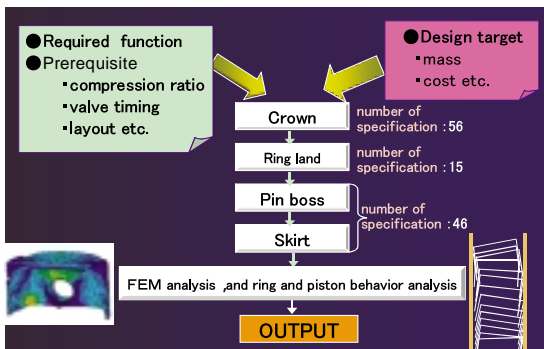


Fig.8 Piston Design Flow

決めるべき主要諸元は、合計で100個以上にもなる。

4.2 ピストン設計システムのフロー

Fig.9のように、工程①ではクラウン～スカートまでの諸元値をシステムに入力する。次に工程②では入力諸元をI-DEASマクロ (記憶した一連の操作を自動実行する機能) が読み取り、設計ノウハウを織り込んだテンプレートモデル (ピストンの要求機能に合わせて細分化され、主要部位の単位で構築された履歴を持つ、寸法駆動に適したモデル) を駆動させて3Dモデルを作る。そして工程③では3Dモデルを使ってバルブとの干渉チェックなど、設計適合性を検証する。最後に工程④では目標圧縮比を満足するクラウン形状へ合わせ込むなど、3Dモデルを段階的に変形させながら、本システムが最適値を求める。

以上のフローを実現するシステム構成は、数値入力とワーキング表示を行うGUI (Graphical User Interface) 画面、全体を制御する実行制御プログラム、そしてI-DEASから成り、一連の作業はI-DEASを操作することなく、GUI画面の中で対話式に行われる (Fig.10)。

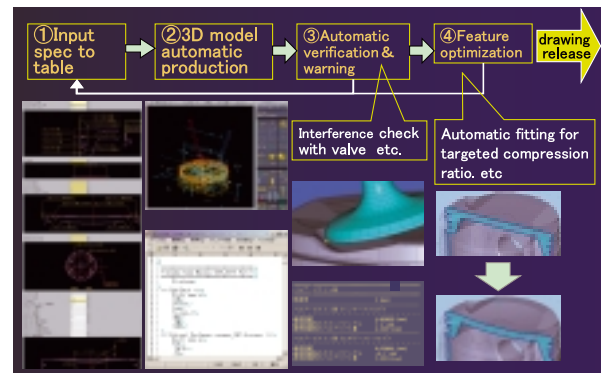


Fig.9 Flow of Piston Parametric Design System

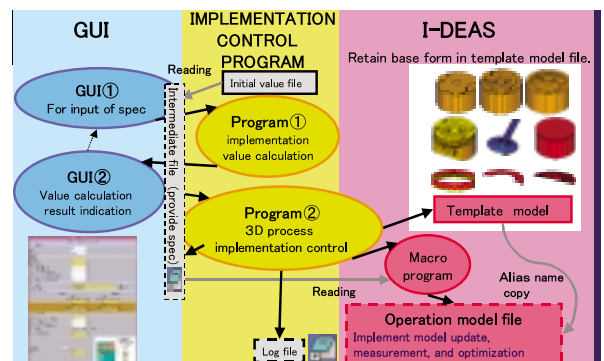


Fig.10 System Structure

4.3 ピストン設計システムの構成

(1) 工程①「表への数値入力」

諸元入力の工数を最小限に抑制するため、変更頻度の高い諸元はキー入力とし、バルブリフトデータなど膨大な情報はデータファイルで入力、そして汎用性のある諸元はプルダウン方式で選択入力する仕様とした (Fig.11)。更に標準的なデフォルト値が入力画面にあらかじめ入力されて

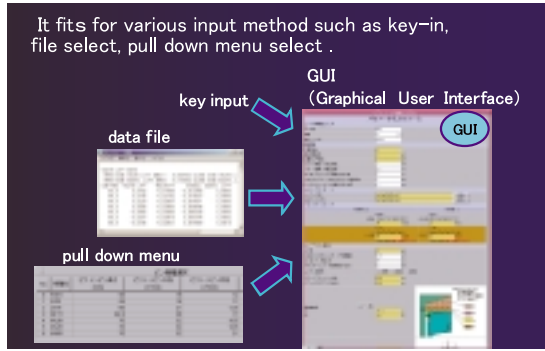


Fig.11 Process① Input Spec to the Table

おり、修正が必要な諸元のみ再入力することで、入力作業は数分で完了する。そして入力値はテキストファイル形式で記憶され、3Dモデルと入力諸元が一对で管理できる仕様である。

(2) 工程②「3Dモデルの自動作成」

実行制御プログラムから起動されたI-DEASのマクロが、中間ファイルからピストンの100個以上の諸元値を瞬時に読み取る (Fig.12)。そして読み取った諸元値に沿って、ピストンのテンプレートモデルが寸法駆動される (Fig.13)。その駆動状況はI-DEAS画面で逐次監視でき、数分を経て新しい形の3Dモデルが完成する。

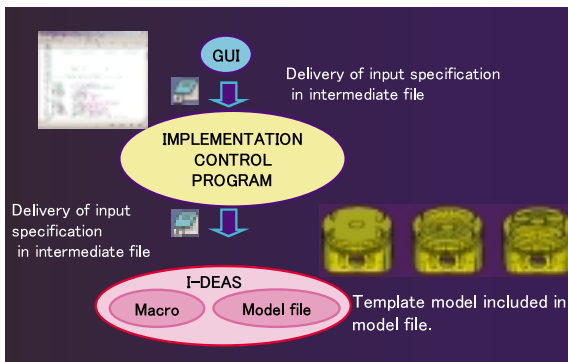


Fig.12 Process② 3D Model Automatic Production

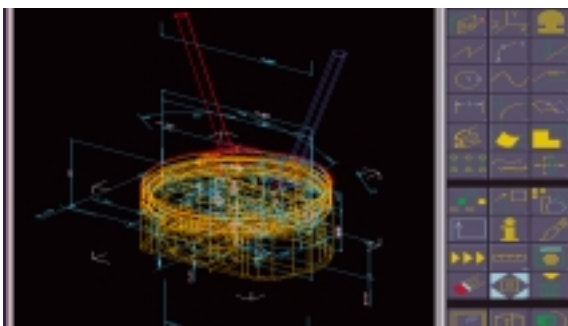


Fig.13 Template Model Update

(3) 工程③「自動検証&ワーニング」

3Dモデルや、幾何学・材料力学の計算式を利用して、適合性を検証する代表例を3つ紹介する。

1) バルブとの干渉チェック

3Dモデルによる検証は精度が高い反面、計算時間が

かかる。そこでまずカムプロフィールなどの数値を基に2次元の幾何学的な隙計算を行い、妥当性を検証する (Fig.14)。もしここで基準に不適合の場合はGUI画面にワーニングが点灯するので、適合するように諸元を見直すことが可能である (Fig.15)。そして最後に3Dモデルを活用して、正確に干渉チェックを行い、最短距離とバルブリフトの値、そして最接近する位置に出力された3Dモデルを使って、検証結果を精査している。

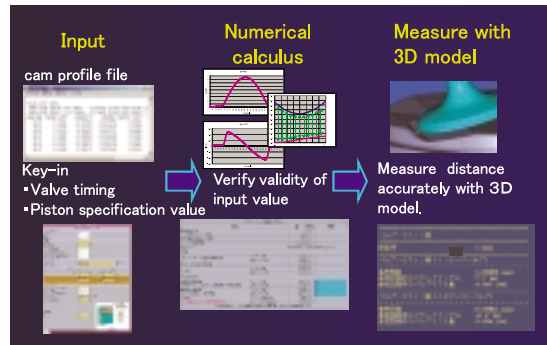


Fig.14 Interference Check with Valve

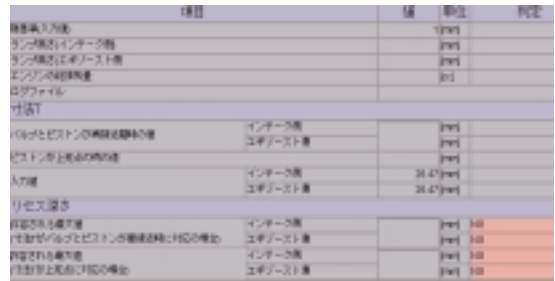


Fig.15 Example of Warning

2) バルブリセスとリング間の肉厚測定

まず本システムがバルブリセスとリング溝の形状を3Dモデルから自動で抽出し、I-DEASの測定コマンドによって、両者の最短距離を3D検証する (Fig.16)。この距離が最小肉厚に相当し、その部位と検証結果を表示する。

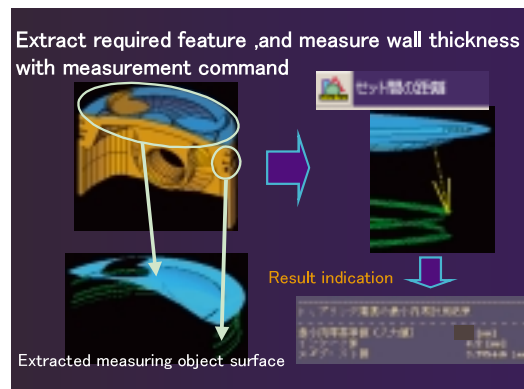


Fig.16 Wall Thickness Measurement

3) リング&ランドの体積計算

同様に本システムがリング&ランドの反転形状を自動抽出し、領域ごとにI-DEASの測定コマンドによって体

積を計算する (Fig.17)。この体積情報は、リングの挙動解析のための重要な入力値になる。

以上の自動検証は数分で行われ、結果はI-DEASのリスト領域に一覧表示される (Fig.18)。

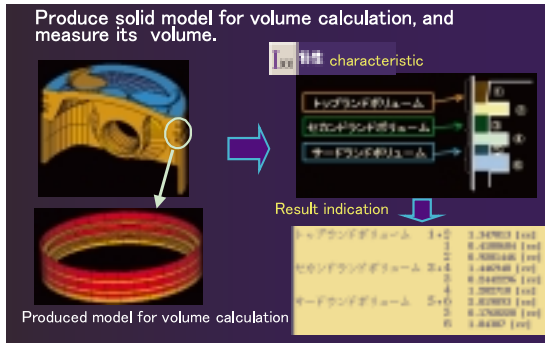


Fig.17 Ring&Land Volume Measurement

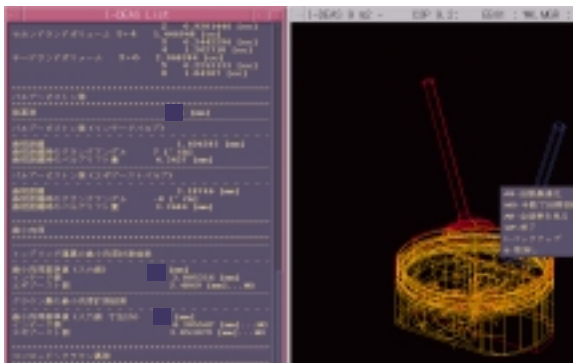


Fig.18 Result of Automatic Verification

(4) 工程④「形状の最適化」

本システムが3Dモデルを段階的に変形させながら、最適値を求める代表例を3つ紹介する。

1) 目標圧縮比への自動合わせ込み

一般的に圧縮比を変更する場合、最終チューニングをクラウン部で行う (Fig.19)。そこで本システムでは、クラウン深さをコントロールしてクラウンの凹み容積を変え、圧縮比を合わせ込むプログラミングをした。その中の最適化手法には二分法を用い、クラウン深さの探索範囲を段階的に抑制しながら、最適解を絞り込む。そして、解が設計基準内に収まっていることを確認し、目標圧縮比に合わせ込まれた3Dモデルが出力される (Fig.20)。

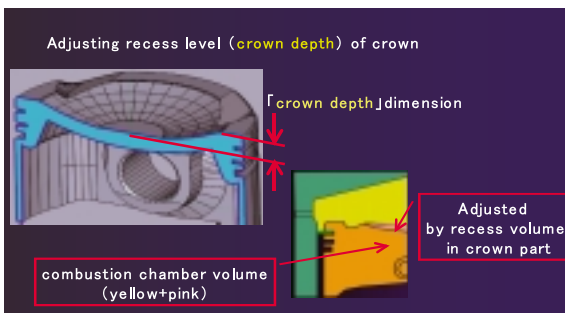


Fig.19 Fitted Part for Targeted Compression Ratio

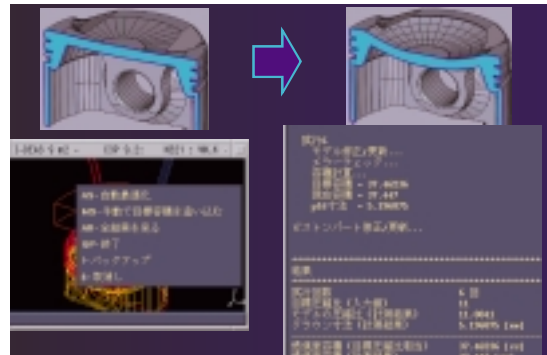


Fig.20 Fitted Piston Crown

2) FEMによる機能検証&適性化

ピストンは高温&高圧の燃焼ガスの中で、高速運動するため、疲労強度など多くの信頼性が求められる (Fig.21)。そこで本システムで自動作成された3Dモデルを活用してFEMを行い、温度&応力分布をチェックしながら、熱逃がし形状などの諸元を適性化している。

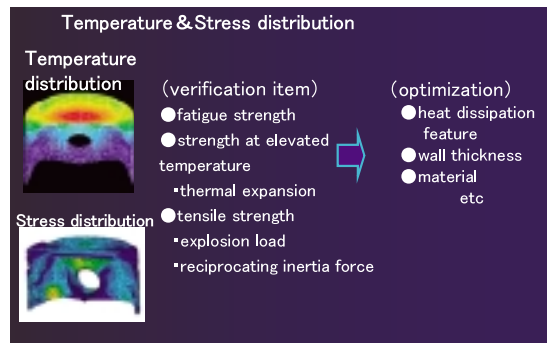


Fig.21 Functional Verification by FEM

3) シミュレーションによる機能検証&適性化

ピストンはシリンダ内を高速運動する際に挙動が乱れ、首振り現象を起こしやすくなる (Fig.22)。そこでピストン専用の挙動シミュレーションソフトで検証し、スカートの外周形状などの諸元を適正化している。

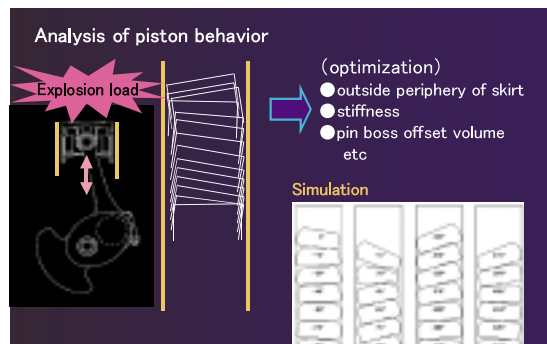


Fig.22 Functional Verification by Simulation

以上がピストンの設計フローを基に構築した本システムの紹介である。これにより、短時間で設計基準に適合した3Dモデルの出力が可能となった。

5. PT設計革新の効果

5.1 ピストン設計システムの適用効果

実設計へ適用した場合、設計工数が圧縮比変更作業で92.5%、新規設計で94%削減する効果があった (Fig.23)。これらの数字から、ピストンのように効率化が必要な部品に実務適用すれば、設計工数を1/10に削減できることが分かった。同時に初心者でも検証洩れやミスがなくなるなど、設計品質の均一化についても効果があった。

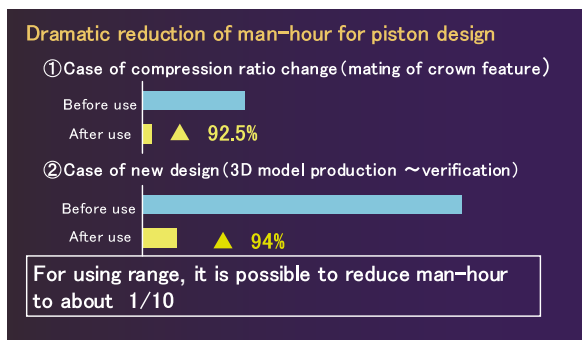


Fig.23 Effect of Using Piston Parametric Design System

5.2 PT設計革新による効率化

机上検証領域の拡大によって、物を作らずに評価できるようになり、試作&実機評価の工数が削減した (Fig.24)。またフロントローディング化を進め、初回出荷品質を向上させたことにより、図面修正の工数も削減した。更に本システムの適用により、3D作成と机上検証の工数がピストンの事例のように劇的に減少し、適用部品の拡大によって、全体工数を従来比半減できる見込みがあることが分かった。

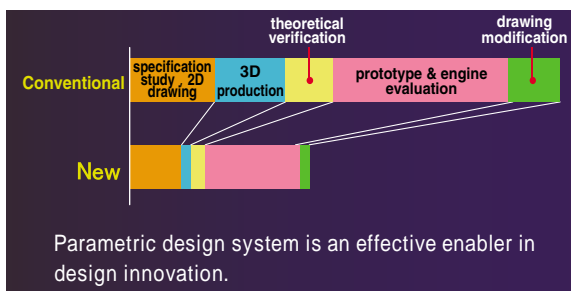


Fig.24 Effect of PT Design Innovation

6. おわりに

周知の通り製造業は、業務効率化・コスト削減・品質向上が命題である。自動車会社各社もその命題へ懸命に取り組んでいる中で、マツダは本システムを次の設計革新を担っていく有効なイネーブラーと考え、育成してきた。今後は、全社の情報データベースと本システムをリンクさせ、設計業務をトータルでナビゲーションできるまで、機能拡張したいと考えている。

最後に、本システムの開発並びに特許出願に際して、御支援して頂いた社内外の関係者の皆様に、厚く御礼を申し上げます。

著者



楠 康友



三村光生



佐々木晋