  
**マツダでの研究・開発に対する  
数値技術活用事例の紹介**  
 マツダ株式会社 技術研究所  
 中本 尊元

数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

1

**内容**

- マツダ株式会社 技術研究所での数値応用技術適用事例:
  - (1) モデルベース技術によるエンジンキャリブレーション期間短縮
    - 九州大学大学院・数理学府インターンシップ生と取り組み。
  - (2) 複数の衝突形態における車体構造最適化
    - 適用目的: データ解析による仮説の早期検証
- 適用効果: 検証結果から、物理モデルの不明確な対象のメカニズム解明が可能。
- 役割: データ解析担当者・技術コーディネーター
  - 共同研究: 九州大学大学院 数理学府/数理学研究院との共同研究
  - 工学的問題の数学的記述への変換
  - 数学的記述からの工学的解釈


2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

2

**モデルベース技術によるエンジンキャリブレーション期間短縮**

- エンジンキャリブレーションとは、

**エンジンテスト環境概要**  
Engine + ECU



計測データ → 制御入力

ECU内の制御パラメータ適合ツール(システム)

- 制御パラメータ#1
- 制御パラメータ#2
- 制御パラメータ#3
- ...

※ ECU: Electrical Control Unit

- 目標性能

- 目標出力必達
- 燃費最小
- EM(排気)基準クリア

- エンジン性能データ計測

- 制御入力に対する応答計測

制御目標を満足するような制御パラメータ組合せ値を設定すること

以上のプロセスを“エンジンキャリブレーション”という。

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

3

**モデルベース技術によるエンジンキャリブレーション期間短縮**

- エンジンキャリブレーションの問題

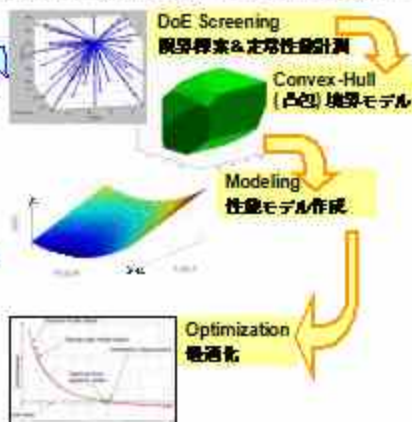
- モデルベースキャリブレーション(MBC)とは、

- DoE Screening
  - 計測点数削減&効率化
  - 性能モデル作成+最適化実施
  - エンジン性能最適化効率化
- MBC技術による期間短縮効果:
  - 例: 3制御パラメータのエンジンキャリブレーションで...

- 開発期間の短縮に成功

更なる効率化 必要!!

**モデルベースキャリブレーション(MBC)フロー**



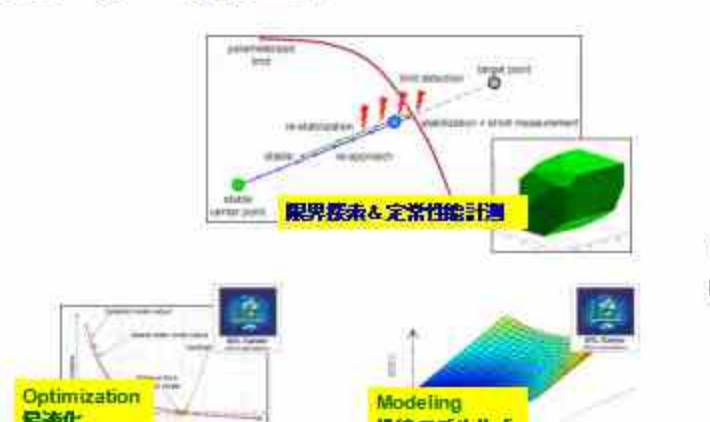
2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

4

**モデルベース技術によるエンジンキャリブレーション期間短縮**

- AFS: Amplitude modulated Fast Steps ~ 定常性能の動的計測

- AFSワークフロー: 従来プロセス




2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

5

**モデルベース技術によるエンジンキャリブレーション期間短縮**

- AFS: Amplitude modulated Fast Steps ~ 定常性能の動的計測

- AFSワークフロー: 動的計測適用



2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢—

6



複数の衝突形態における車体構造最適化

→トレードオフ解決方法

→複合領域最適化システム  
(MDO: Multidisciplinary Design Optimization)

最適化問題の定式化  
目的関数・制約条件・設計変数

高解群算法(D-E)

N/NH-車体剛性 衝突性能

近似モデルの計算

Update

複合領域最適化

最適パラメータ決定

再検性

NO

YES

最適板厚仕様書の導出

FEMモデル

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢— 13

複数の衝突形態における車体構造最適化

→トレードオフ解決方法

→複合領域最適化システム  
(MDO: Multidisciplinary Design Optimization)

最適化問題の定式化  
目的関数・制約条件・設計変数

高解群算法(D-E)

N/NH-車体剛性 衝突性能

近似モデルの計算

Update

複合領域最適化

最適パラメータ決定

再検性

NO

YES

最適板厚仕様書の導出

性能#1の近似モデル:  $\hat{y}_1 = f_1(x)$   
性能#2の近似モデル:  $\hat{y}_2 = f_2(x)$   
性能#3の近似モデル:  $\hat{y}_3 = f_3(x)$

- ・線形回帰モデル(多項式)
- ・非線形回帰モデル(RBF)

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢— 14

複数の衝突形態における車体構造最適化

→トレードオフ解決方法

→複合領域最適化システム  
(MDO: Multidisciplinary Design Optimization)

最適化問題の定式化  
目的関数・制約条件・設計変数

高解群算法(D-E)

N/NH-車体剛性 衝突性能

近似モデルの計算

Update

複合領域最適化

最適パラメータ決定

再検性

NO

YES

最適板厚仕様書の導出

目的関数:  $\min f_1(x)$  ... 最小化  
制約条件:  $f_2(x) \geq 0$  ... 不等式制約  
 $f_3(x) = 0$  ... 等式制約

実験計画法と近似モデルを組合せた最適化技術を開発

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢— 15

複数の衝突形態における車体構造最適化

→適用状況の詳細

目的関数 性能#1: 重量

制約条件 性能#2: 車体ねじり静剛性  
性能#3, 4: 低周波振動×2  
性能#5~10: 動剛性×6  
性能#11: ルーフクラッシュ  
性能#12~15: IIS側突(Bピラー進入量)×4

→数値技術の適用状況

- 多数ある設計因子(100因子超)に対して、『重量最小化』かつ『複数制約条件満足』の最適組合せを効率的に求める為、最良モデル選択方法。
- 改善技術:
  - AIC及びBICの導入で、最良モデルの自動選択を可能とした。
  - Stepwise, Lasso導入により少ない標本数(標本数と設計因子数が近い)でも、最良モデルが選択出来るようになった。

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢— 16

まとめ

- 数値技術は、以下2条件を支えてくれる強力な手段。
  - 研究・開発業務の効率化(仮説の早期検証)
  - 新たな知見の獲得(メカニズム解明)
- 今回紹介した内容は、数理統計の応用技術。
  - エンジン開発、車体構造設計分野では統計的なモデル選択及び最適化を駆使して、開発するエンジニアが増えてきている。
  - その他の分野(電気駆動系等)でもニーズが高い。
  - 自動車メーカーでは、物理モデルがメインとして使われている。
  - 開発対象と目的に応じて、使い分けている。
    - 統計的アプローチ
    - 物理モデルによるアプローチ
    - 上記二手法を混合したアプローチ

2011/11/30-12/02 数値モデルの産業・科学への活用—数値モデルの夢— 17