

HiLシステムと計測データに基づくモデルを使用した コントロールユニットの適合

ETAS

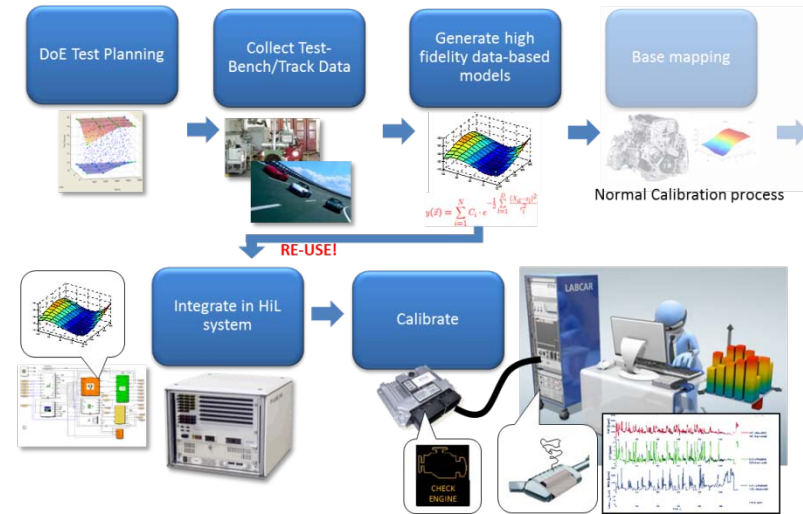
イータス株式会社 島崎 喜成
yoshinari.shimazaki@etas.com

今回のプレゼン内容は、

- 計測と制御 VOL.53 2014 8 にて紹介させていただいた記事と同内容です
- 評価はRobert Bosch社と共同で実施し、イータス株式会社 マネージャである Tobias Kreuzingerが携わりました
- 本日はTobias Kreuzingerの都合がつかないため、島崎が代理で発表させていただきます

評価内容の概要

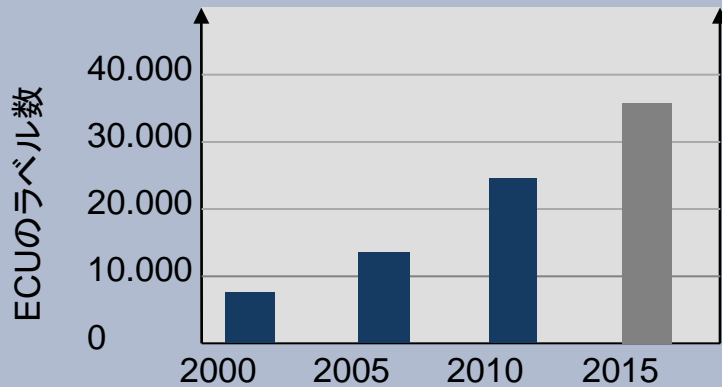
- テストの目的
 - OBD適合
- 適合の内容
 - 触媒劣化の程度によるMILランプ点灯の基準を適合する
 - その際、モード走行したテールパイプエミッションを考慮する
- 評価内容
 - 過去実車で行っていた作業を机上 (HiLS) で実施
 - 車両モデルのうち、エンジンの燃焼モデルをASCMOに置き換え
- HiLSを使用した適合のメリット
 - コストの高い試作車、シャシダイナモを長時間占有して実施していた試験を机上で行うことによるコストダウン
 - テストの再現性向上
 - 実車の場合、条件を合わせるのに時間や手間がかかる
 - エンジン温度、触媒の劣化等
 - テストの自動化



MIL:
Malfunction
Indicator
Lamp の略

モチベーション: 今日のECU適合の課題*

複雑度



- 新技術: ハイブリッド、燃料電池、...
- 法制度の違い
- 一層の個別化

相違

市場投入までの時間

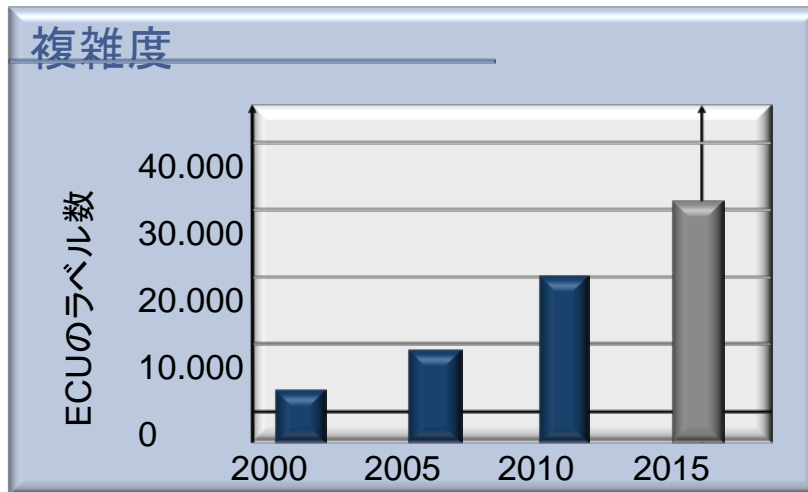
- 短い開発期間
- 他社との競争
- 市場動向

- OEMとサプライヤの間のワールドワイドな共同開発体制
- 新しい市場

分散開発

*Source: Bosch

モチベーション: 今日のECU適合の課題*



市場投入までの時間

- 短い開発期間
- 他社との競合
- 市場動向

- 新技術: ハイブリッド、燃料電池、...
- 法制度の違い
- 一層の個別化

- OEMとサプライヤの間のワールドワイドな共同開発体制
- 新しい市場

相違

分散開発

*Source: Bosch

複雑化の主要要因:

- エンジンパラメータ数の増加
- エミッション、燃費目標の先鋭化

Operating Range:

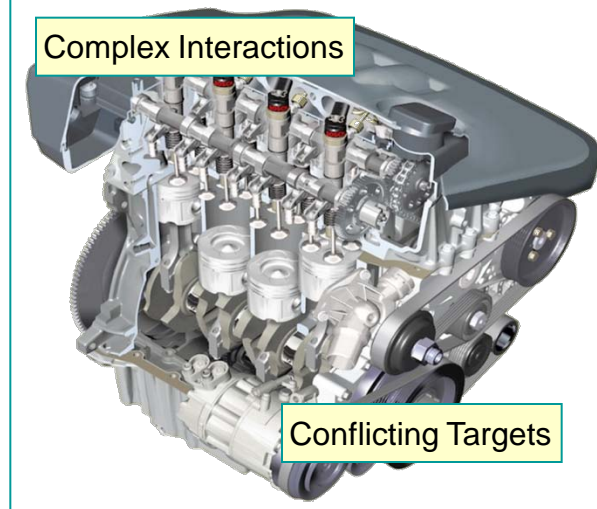
- Speed
- Load

Engine Parameter:

- Injection Timing
- Ignition Timing
- Fuel Pressure
- Exhaust Gas Recirculation
- Exhaust Camshaft
- Intake Camshaft
- Swirl Valve

Example: Modern Gasoline Engine

Complex Interactions



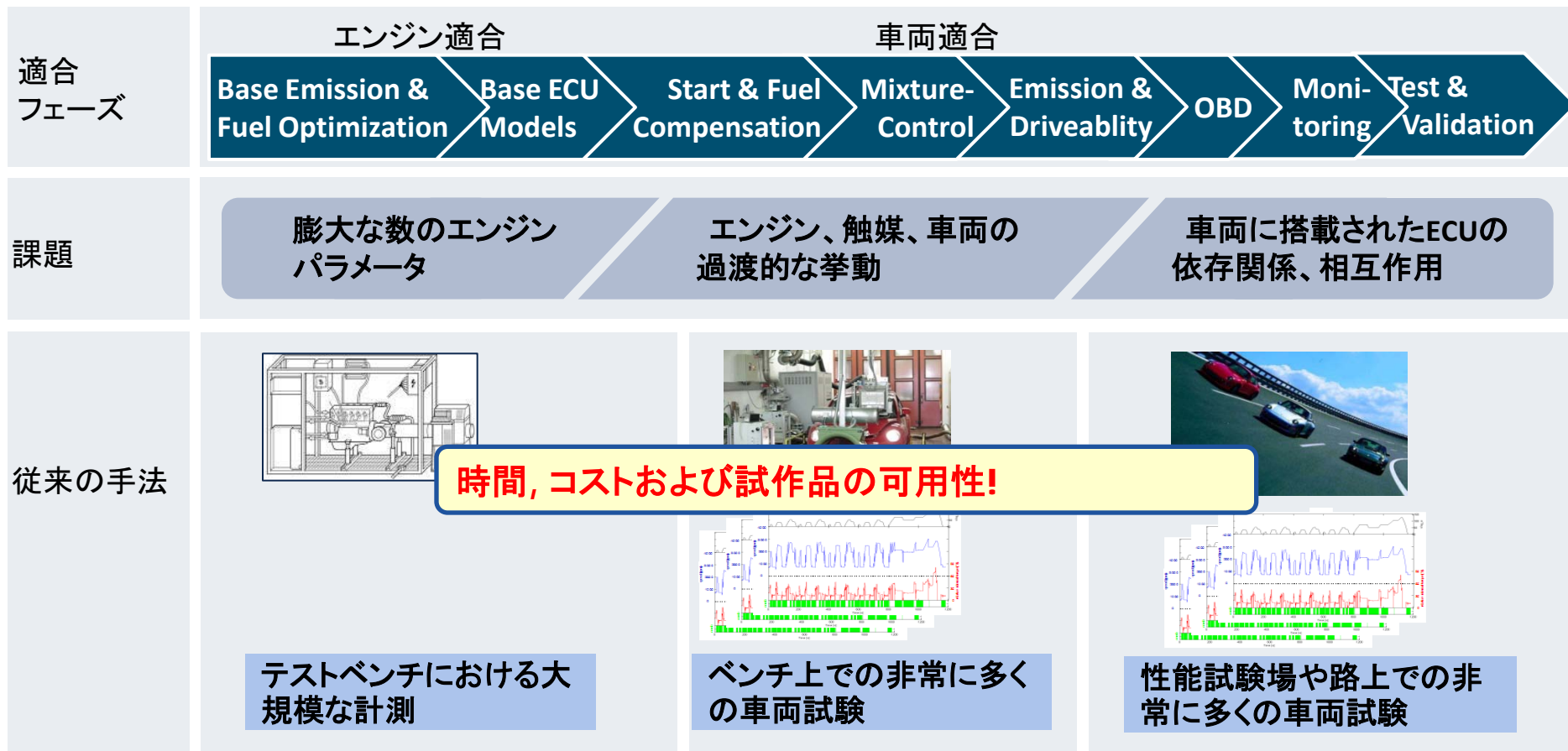
Conflicting Targets

Targets:

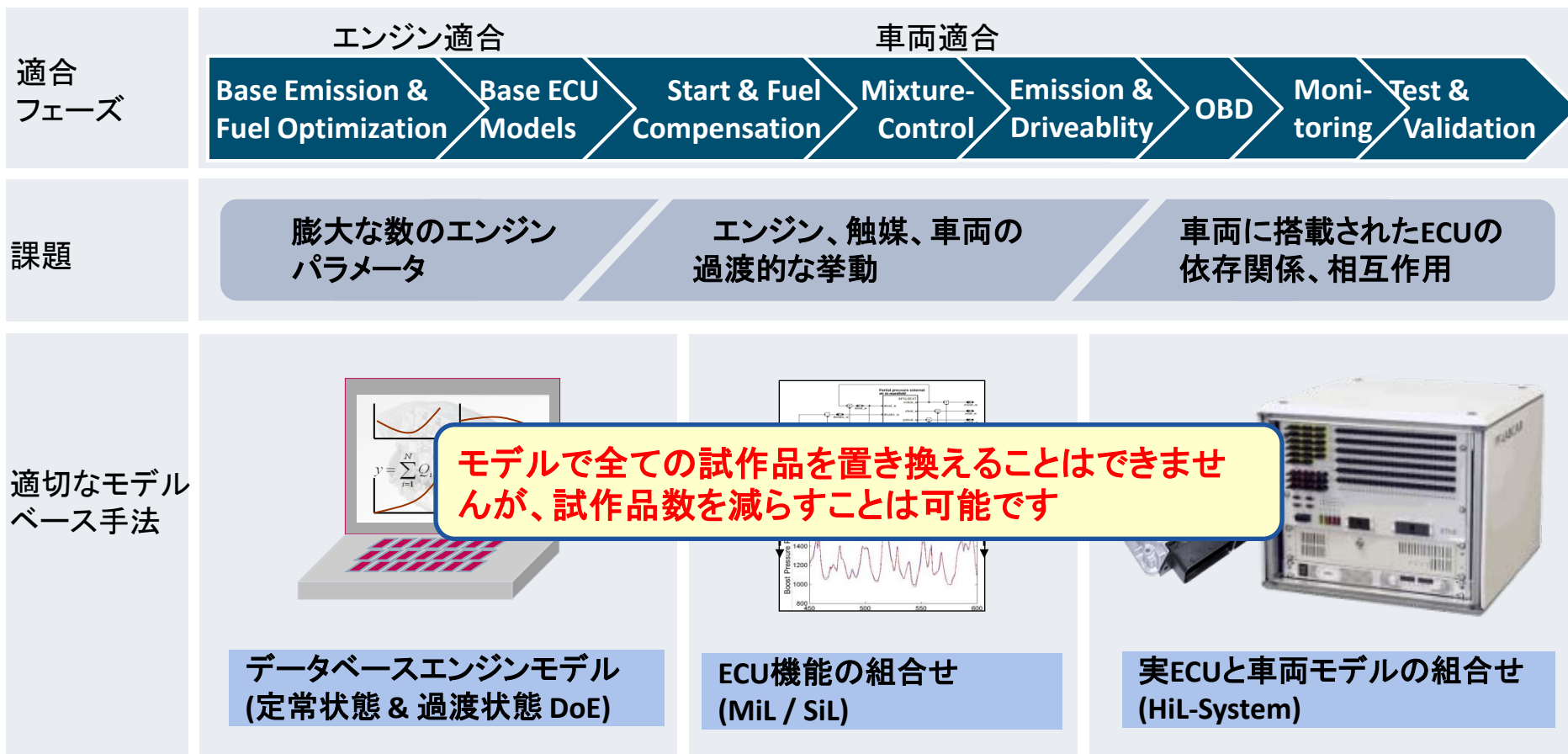
- Consumption/CO₂
- Emissions:
 - Soot / Particle
 - NO_x
 - HC
- Stability (CoV)
- Noise
- Exhaust-Temperature
- ...

- ⇒ 新しいエンジンパラメータはECUラベルの増大につながる
- ⇒ 従来の手法を採用した場合、適合の労力は指数関数的に増大

適合プロセス: 従来の手法

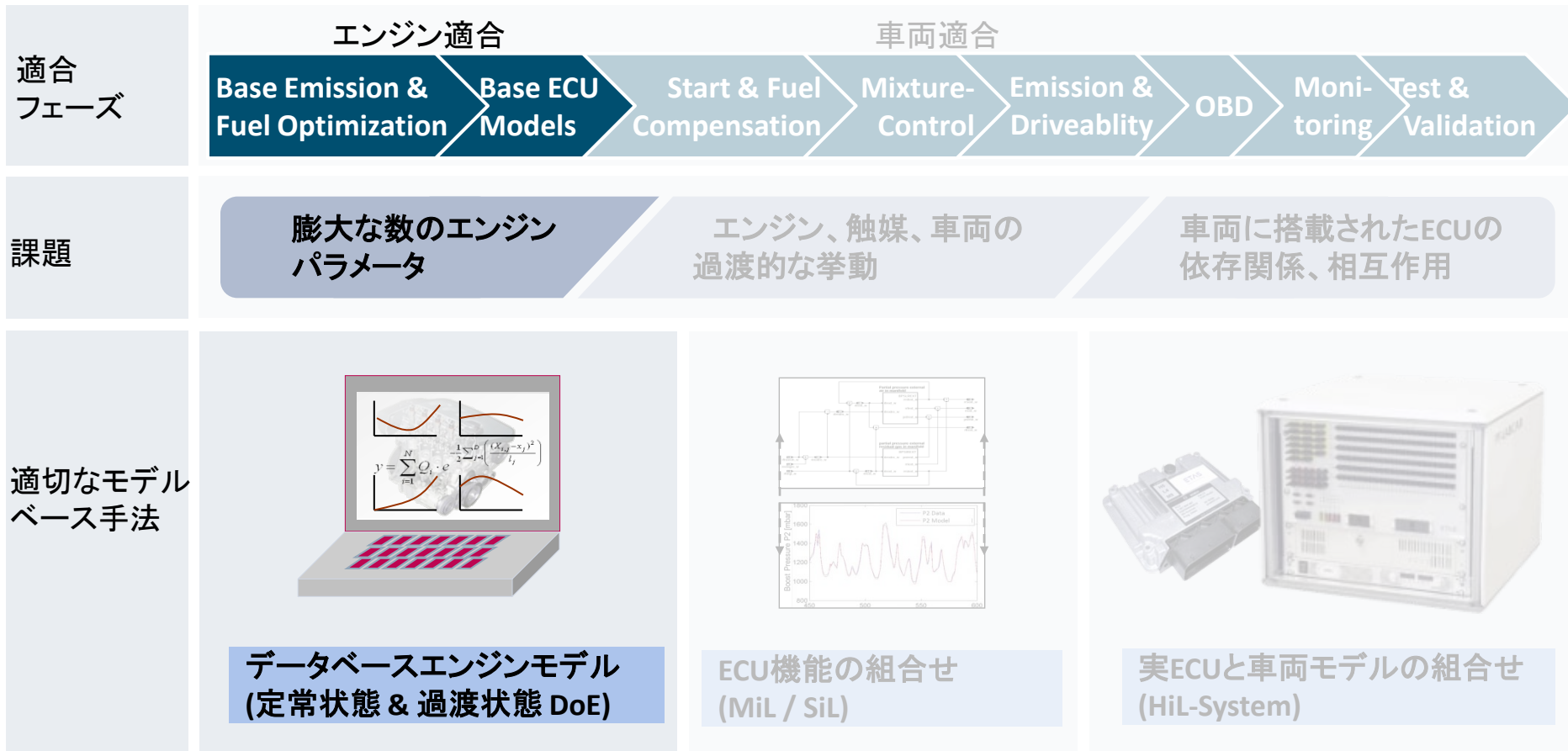


適合プロセス: モデルベース手法によるサポート



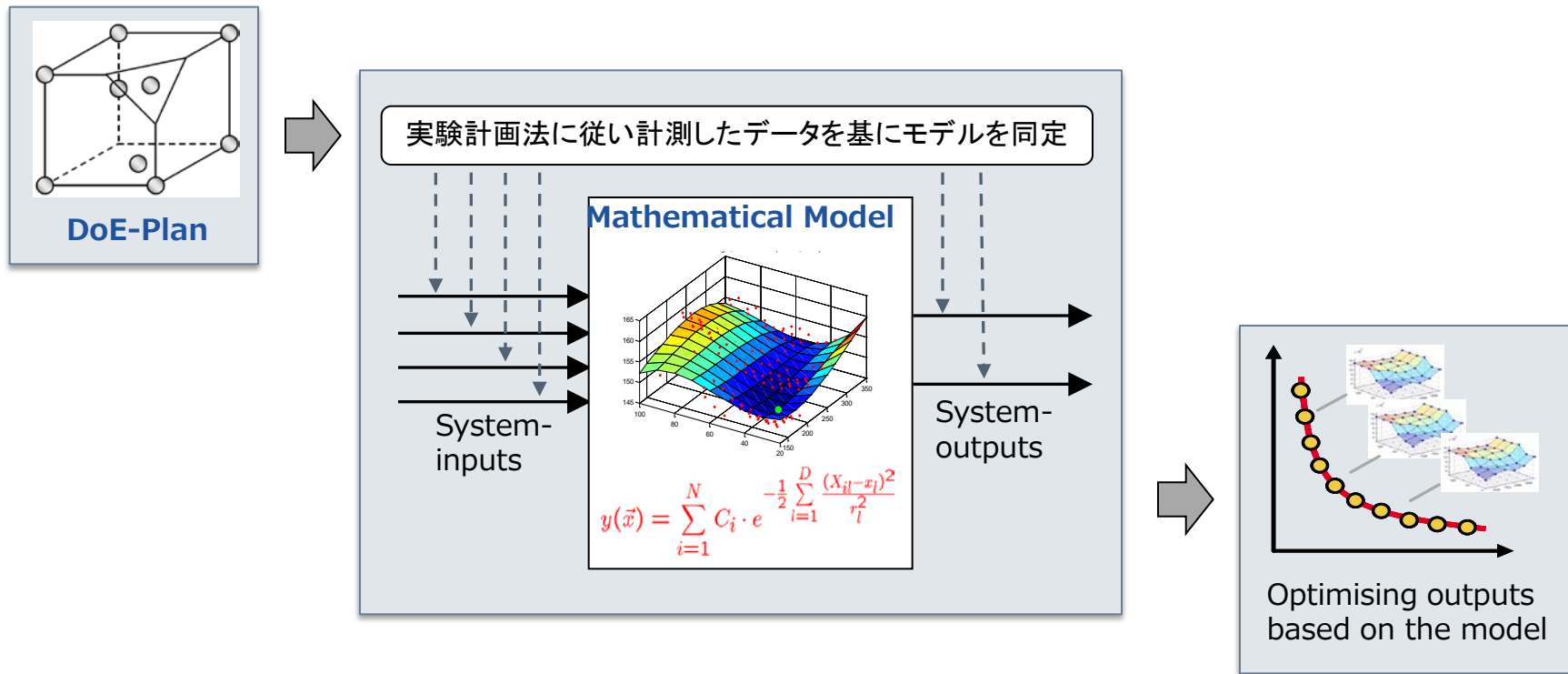
モデルで全ての試作品を置き換えることはできませんが、試作品数を減らすことは可能です

適合プロセス: モデルベース手法によるサポート



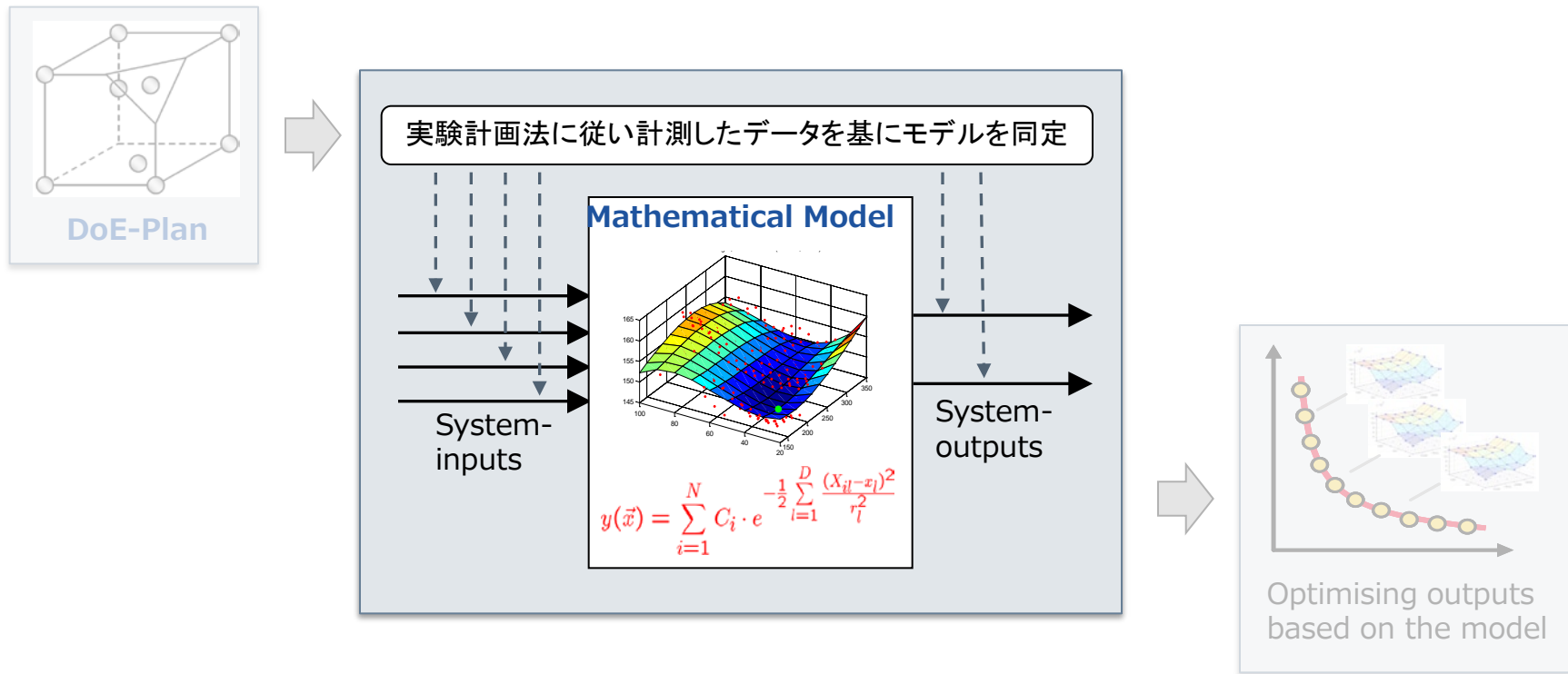
データベースモデリングと実験計画法 (DoE, Design of Experiment) ⇒ 基本方針

- 実データに基づいたエンジンのモデリング
- 数学的な近似によるモデリングで物理的な表現を必要としない
- 実験計画法により必要な計測点数を最小化



データベースモデリングと実験計画法 ⇨ 適合で使用する際の要求

- 適格なグローバルエンジンモデルを生成するためのパラメータ同定が容易であること
- 多項式 あるいは ニューラルネットワークモデルはこれらの要求を満たさない
- 新しいモデリングアルゴリズムを開発し、ASCMOに実装



*ASCMO = Advanced Simulation for Calibration, Modeling and Optimization, joint project between Bosch and ETAS

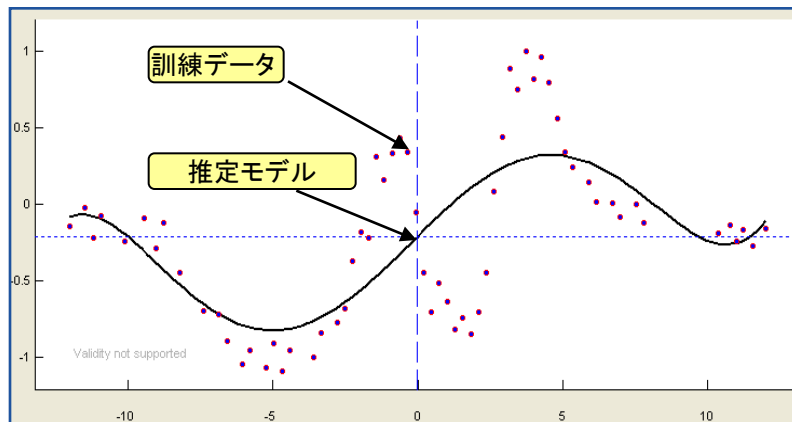
多項式、あるいは ニューラルネット

原理:

- 与えられた関数類を探索 (多項式、ニューラルネット ...)
- モデルパラメータは熟練者や検証測定によりフィッティング

デメリット:

- 限定された自由度とオーバーフィッティングの危険性
- 高度な専門技術や推測が必要



Modeling a complex 1-D signal with classical DoE-Models („Advanced Polynomials“)

統計的マシンラーニング手法

原理:

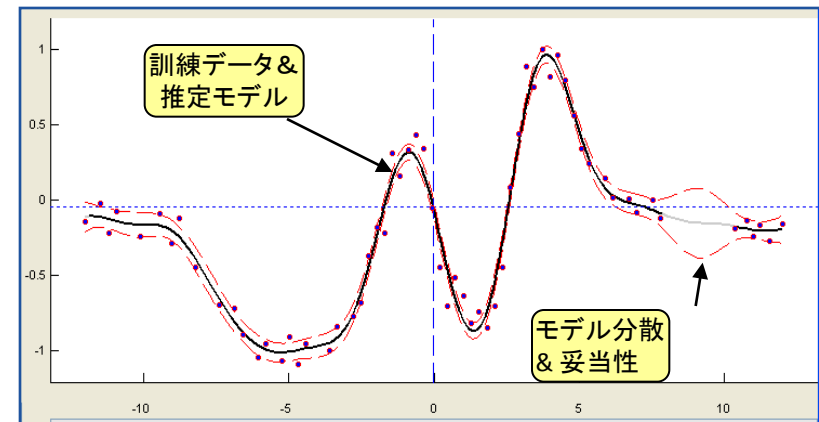
完全な関数空間を探索:

$$y(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N C_i \cdot e^{-\frac{1}{2} \sum_{l=1}^D \frac{(x_l - x_l)^2}{r_l^2}}$$

- 最も可能性の高い関数の自動決定

メリット

- 推測や専門知識を必要としない高い自由度
- 部分的な信頼区間を提供 (モデル分散)
- 異常値に対する堅牢性



Modeling a complex 1-D signal with new statistical machine learning methods

少数のDoE計測結果を基にASCMOを使用してグローバルエンジンモデルを生成
 ⇒ 自動も出る生成、深い数学の知見は必要ありません

ユーザはデータからエンジンの入力と出力を指定するだけ

ASCMO Data Import - GDI_Engine_Data.xls

File Extras

Import Data

	Speed [-]	Rel_Airmass [-]	Ignition [-]	Lambda [-]	Tumble [-]	P_Fuel [-]	IN_CAM [-]	Torque [Nm]	CO [%]	HC [ppm]
1	796	16.4700	-6.0100	0.9380	43.7200	10.5600	9.0100	-0.7000	1.8400	4498
2	796	17.5800	6.7200	0.9370	43.7100	10.5700	9.0100	11.4000	1.6800	6133
3	796	16.6600	26.4300	0.9150	57.7900	7.2400	-1.5500	15.7000	2.4700	7595
4	796	16.6600	17.4500	0.9160	57.7600	7.2400	-1.5300	14.6000	2.4100	7137

Available Data

- Speed [-] (i)
- Rel_Airmass [-] (i)
- Ignition [-] (i)
- Lambda [-] (i)
- Tumble [-] (i)
- P_Fuel [-] (i)
- IN_CAM [-] (i)
- Torque [Nm] (o)
- CO [%] (o)
- HC [ppm] (o)
- NOx [ppm] (o)
- BSFC [-]
- HC_m [-]
- NOx_m [-]
- CoV [-]
- Knock_Intensity [-]
- Fuelmass [-]

Inputs

Name	Type
Speed [-]	Operating Point Axis 1
Rel_Airmass [-]	Operating Point Axis 2
Ignition [-]	Normal
Lambda [-]	Normal
Tumble [-]	Normal
P_Fuel [-]	Normal

Outputs

Name
Torque [Nm]
CO [%]
HC [ppm]
NOx [ppm]

Sort List Alphabetically Plot OK Cancel

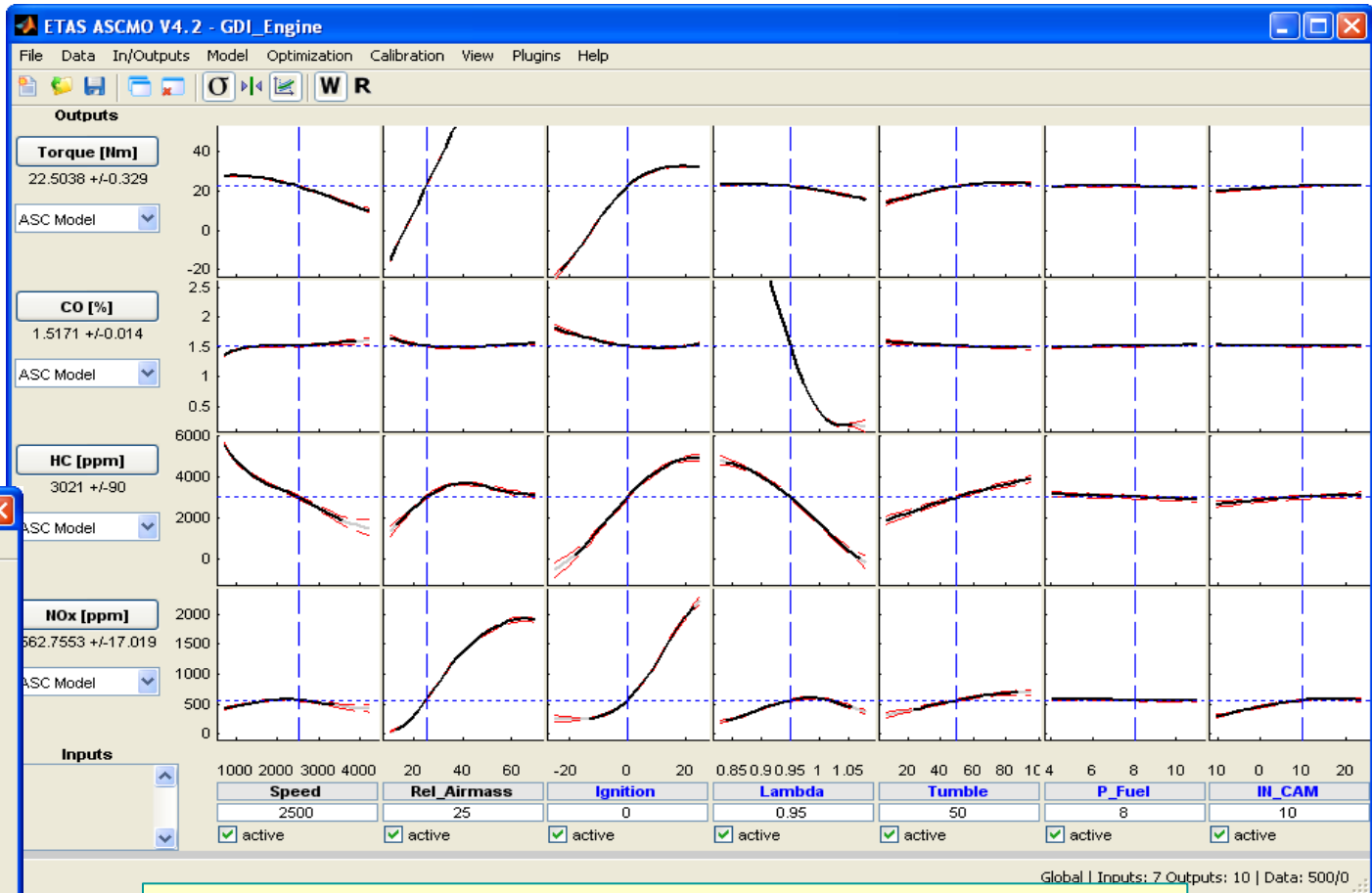
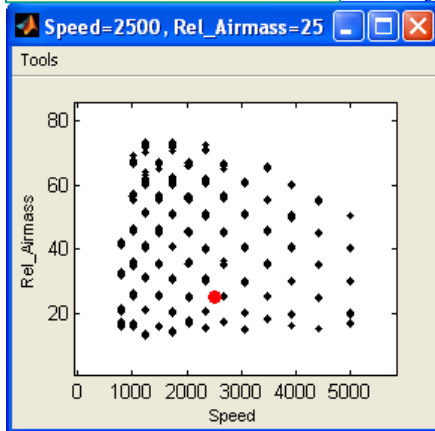
500点のDoEデータを基にASCMOで生成した直噴ガソリンエンジンのグローバルモデル

⇒ 7次の入力空間における全ての関連出力の正確な予測

エンジン出力抜粋

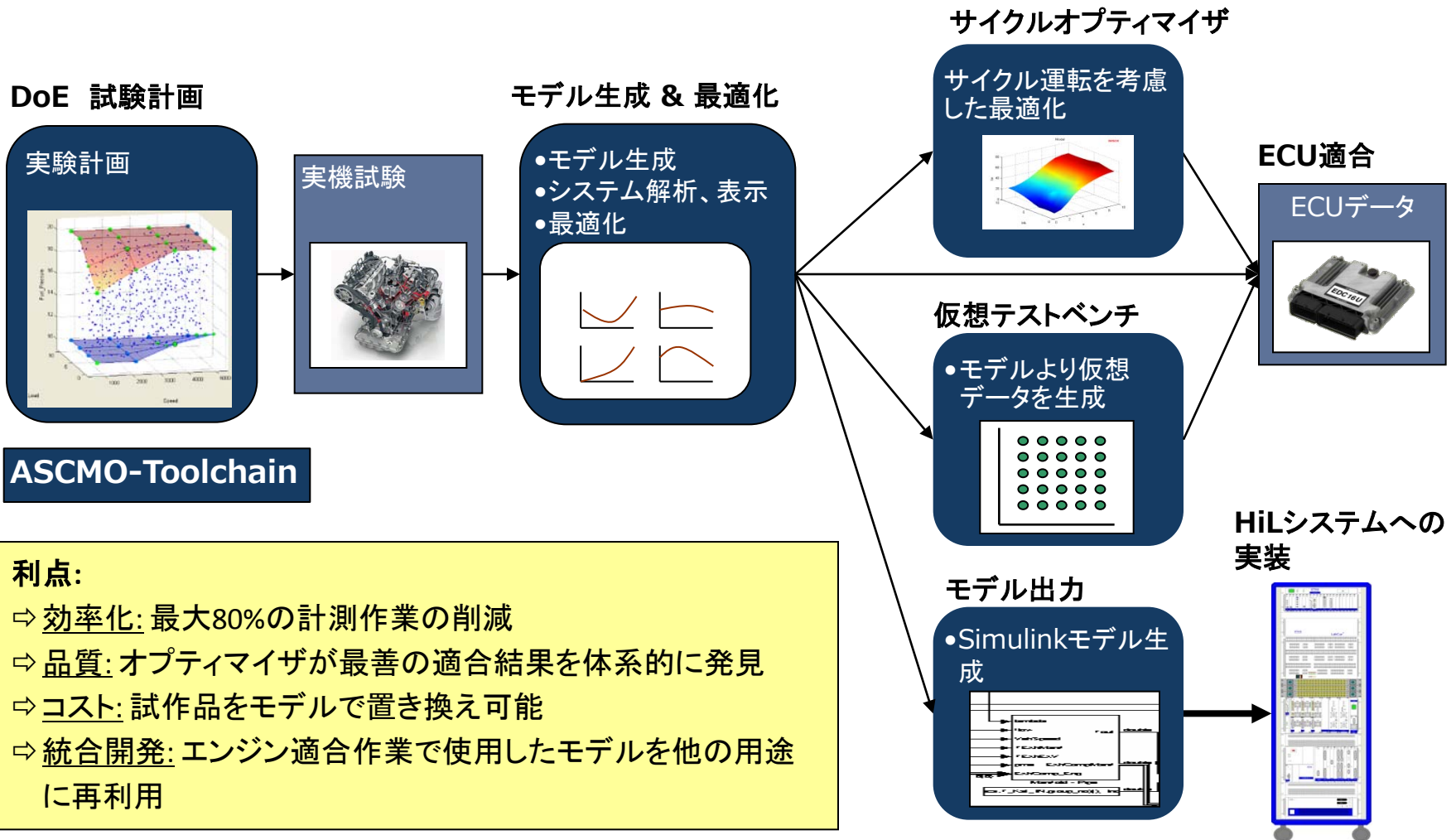
- 黒線: 推定モデル測
- 赤線: モデル信頼性

モデルは全ての作動領域をカバー



速度や負荷等、関連する全ての適合パラメータのインタラクティブな設定

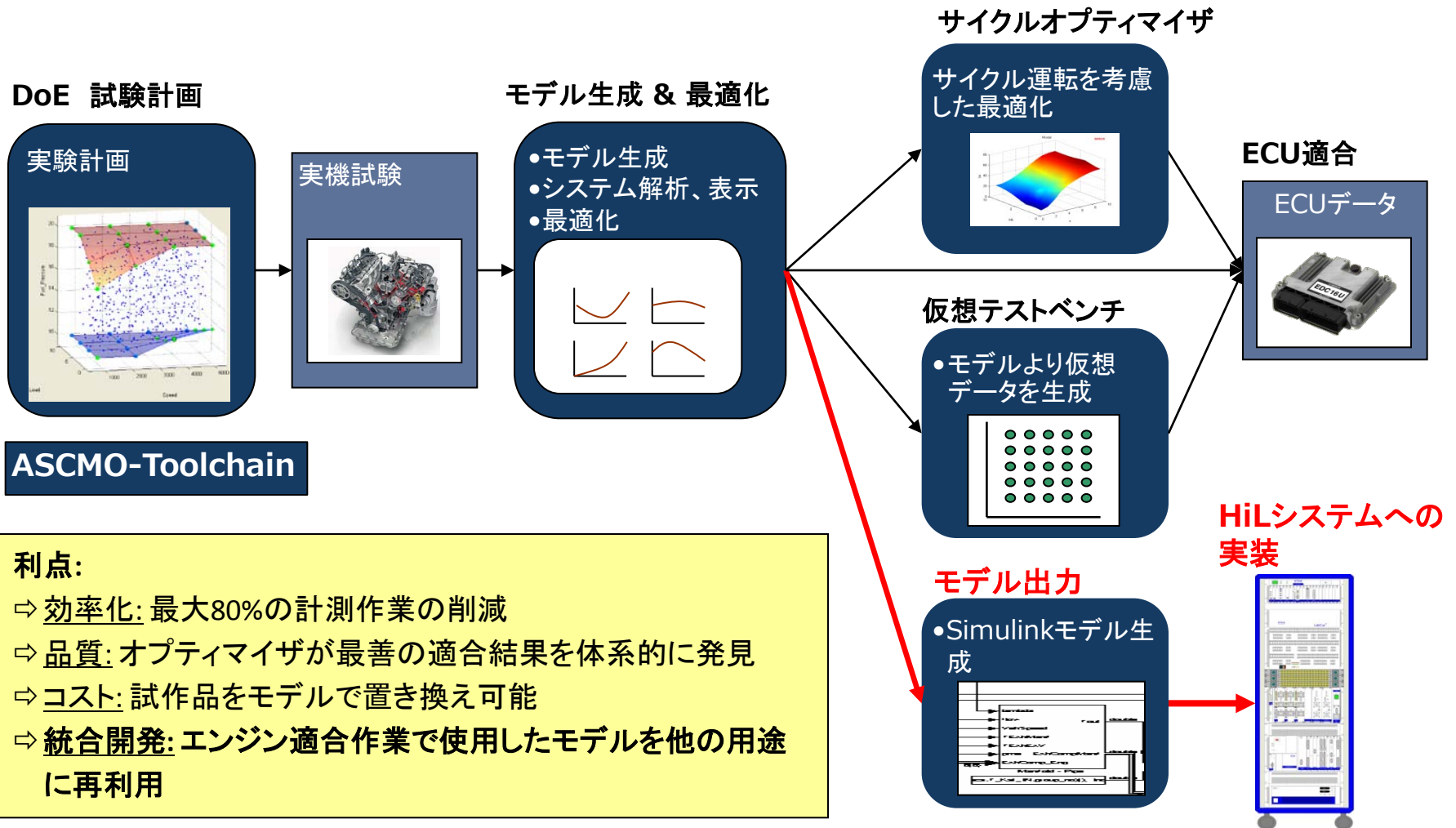
ASCMOを使用したプリキャリブレーションの標準的なワークフロー



利点:

- ⇒ **効率化:** 最大80%の計測作業の削減
- ⇒ **品質:** オプティマイザが最善の適合結果を体系的に発見
- ⇒ **コスト:** 試作品をモデルで置き換え可能
- ⇒ **統合開発:** エンジン適合作業で使ったモデルを他の用途に再利用

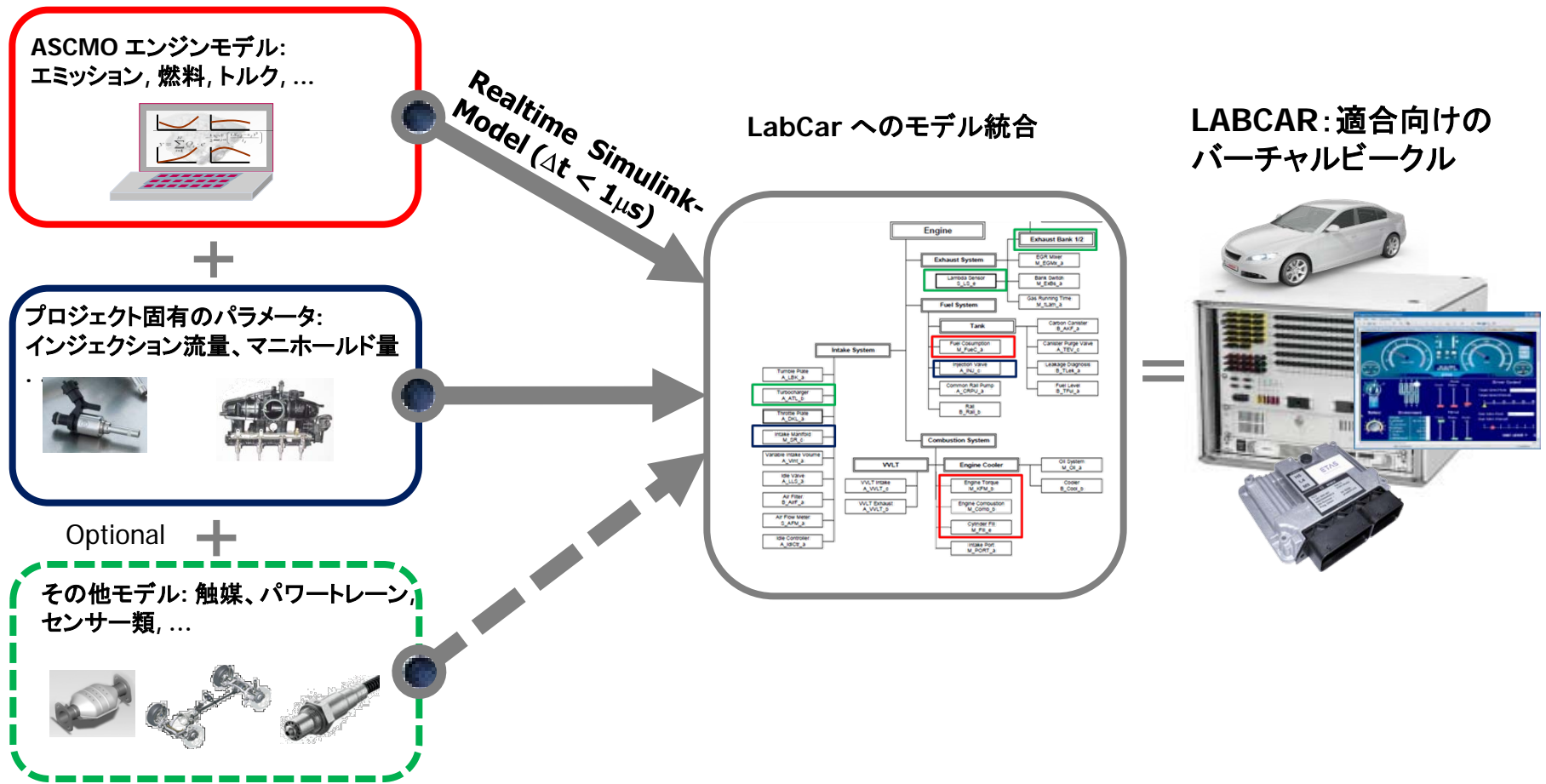
ASCMOを使用したプリキャリブレーションの標準的なワークフロー



利点:

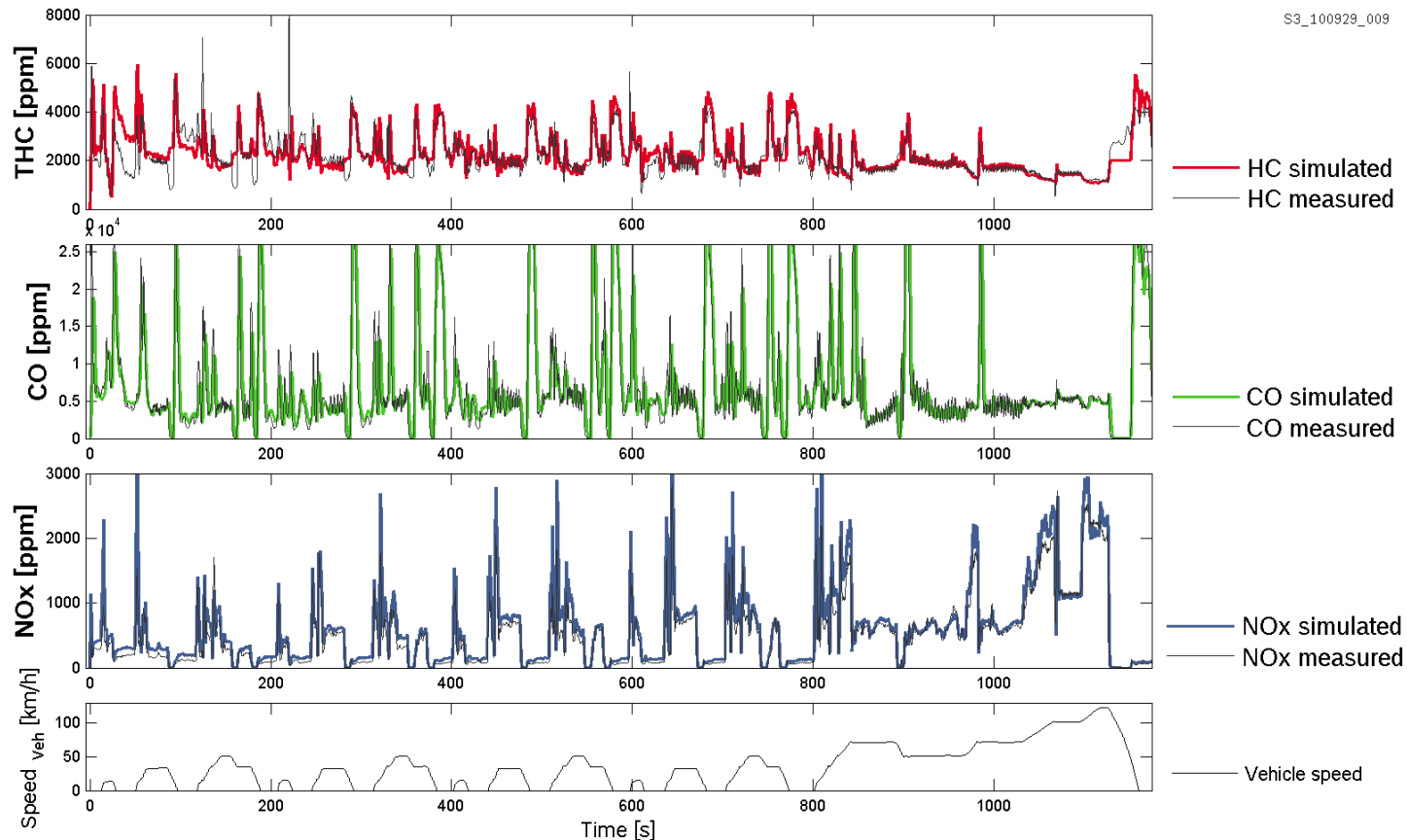
- ⇒ **効率化:** 最大80%の計測作業の削減
- ⇒ **品質:** オプティマイザが最善の適合結果を体系的に発見
- ⇒ **コスト:** 試作品をモデルで置き換え可能
- ⇒ **統合開発:** エンジン適合作業で使用したモデルを他の用途に再利用

グローバルエンジンモデルによるキャリブレーション向けのHiLシステム



事例: ECEサイクルにおける触媒前ガス濃度計測値およびHiLSによる予測値:

- ⇒ エミッションの累積誤差: HC & NO_x < 20%, CO < 10%
- ⇒ HiLSを適合作業に活用することが可能(※全てを置き換えるわけではありません)



標準的な活用法:

ソフトウェアの試験向けのHiLシステム

⇒ 定性的モデルで十分

新しい活用法:

適合作業向けに強化されたHiLシステム

⇒ 正確な定量的モデルが必要

