

特集：モデルベース開発

19

## 新耐候試験設備の紹介

## Introduction of New Climate Testing Laboratory

森嶋 徹\*1  
Toru Morishima丸本 祐一\*2  
Yuichi Marumoto弘中 実\*3  
Minoru Hironaka高田 直哉\*4  
Naoya Takada

## 要約

近年急速に高まっている燃費や性能改善への要求、更に市場拡大に伴い、開発段階で決定すべき諸元が急増し、開発効率を向上するためのプロセスの抜本的な改革が進められている。仕様検討の段階において CAE を多用するモデルベース開発が改革の柱として成果を上げる中、実機テストへの要求に変化が出てきた。温度環境試験の領域においてこの要求に応えるため、耐候試験設備を新設した。そこで得られた実機テストの情報が CAE の実用性向上の取り組みに活用され、モデルベース開発推進に貢献している。

## Summary

As a rapid increase of developing characteristics due to higher targets of fuel economy and driving performance, and also widely spreading markets in recent years, the R&D divisions has been challenging a drastic change of development method to make our work more efficient. Since Model Based Development with CAE became one of the main approaches to achieve it, requirements for measuring tests have changed. To provide sufficient data for them, Mazda has constructed the new climate testing laboratory to utilize its data for CAE and Model Based Development.

## 1. はじめに

近年急速に高まっている燃費や性能改善への要求、更に新興国への市場拡大に伴い、検討すべき開発項目が急増し、各開発部門において開発効率の向上が急務となっている。CAE を用いて机上で諸元を検討するモデルベース開発はその柱であり、時間のかかる実機検証の大幅な削減につながった。しかし一方で難解な技術課題に取り組む際、実機データを境界条件に用いるなどの工夫により開発効率を更に向上できるケースがある。ただしここでは実機データの精度が鍵になる。今回、熱収支にかかわる開発領域において、モデルベース開発をサポートする実車用耐候試験設備を新設したので活用事例をまじえてモデルベース開発への貢献を紹介する (Fig. 1)。



Fig. 1 View of New Climate Testing Laboratory

## 2. 新設耐候試験設備の活用

## 2.1 温度環境適合性開発プロセスの変革

温度環境試験では、テスト車両に極低温から高温までさまざまな温度環境を与え、ドライバビリティの環境適合や各部品の耐候性を評価する。いずれも車両全体が関連する複雑な熱の収支を伴うもので、以前は異なる設計仕様を多数試作し、それらを用いて試行錯誤的に実機テストを繰り返して開発目標を達成する仕様を決定するやり方が主流だった。しかし、検討項目や開発車種が増加に伴い、工数や実験設備のキャパシティの不足が生じ、開発活動が立ち行かなくなることが予想された。そこで実機評価結果を基に仕様決定するやり方から、メカニズムを明確にした上で机上で仕様を決定し、実機では確認のみを実施するやり方への変革が求められるようになった。パワートレイン (以下PT) 開発部門においても、特にSKYACTIV技術導入以降、CAEを多用して仕様を検討するモデルベース開発への移行を加速させてきた。本稿で紹介する温度環境性能開発では、以下のステップが基本となる。

Step 1 車両運転中の熱の発生と伝達、放射にかかわる現象を数式化してコンピュータ上で再現し机上で

\*1, 4 走行・環境性能開発部  
Driveability & Environmental Performance Development Dept.

\*2 プラント技術部  
Plant Engineering Dept.

\*3 開発管理部  
R&D Administration Dept.

温度を予測するCAEモデルを作成する。

**Step 2** CAEモデルを用いて目標温度を達成できる部品仕様やエンジン制御定数を机上検討する。

**Step 3** 机上検討結果を基に製作した実機で最終確認して開発作業を終了する。

このやり方により開発効率が飛躍的に向上し、より多くの技術・機種を短期間で開発できるようになった。

**2.2 CAEの課題と実機テスト目的の変化**

関連する要素が多い現象を理論式だけで数式化すると、使用目的(計算時間、精度)を満たすことが困難なケースが発生する。今回紹介する耐候試験設備で取り扱う、実車の熱収支事象をCAE化する際は、PTと車両の広範囲に及ぶ多数の部品を検討対象とし、それぞれの部品形状の影響を受けた複雑な空気の流れや熱の伝搬現象を細部まで数式化するため、モデル自体が膨大で複雑になり計算時間が非常に長くなる、あるいは十分な精度を得にくくなる傾向がある。

モデルベース開発をスムーズに進めるためには、この問題を解決しCAEを実用的なものにすることが重要な課題となる。

この課題を解決する取り組みでは、CAEモデルを作成する際に、実機テストで得たデータを適切に利用することが鍵となる。具体的には、実機テストで得たデータを部品間で熱が伝搬する際の境界条件として数式に組み込む手法が有効である。すなわち理論式と実機テストの情報を併用することで、短時間に予測精度の高い結果を得ることが期待できる。

以上のように実機テストの役割は、モデルベース開発の展開に伴い、従来の試行錯誤的な仕様決定手段から、CAEをより実用的なものにするための情報を収集する手段へと変化し、従来と異なる領域で重要な役割を担うこととなった(Fig. 2)。

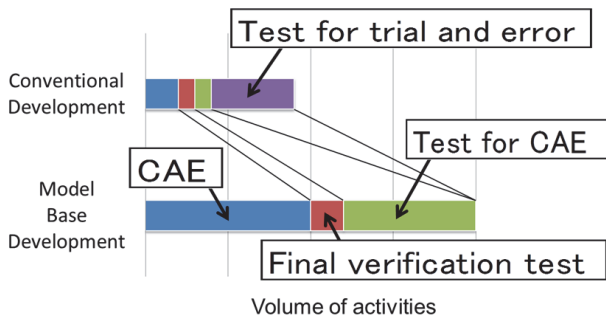


Fig. 2 Change of Laboratory Use

**2.3 CAEをサポートする実機テストの要件**

CAEモデルを実用的なものにするためには実機テストで得るデータが重要な鍵であることを述べた。ただしそこで用いるデータはCAEの予測結果に重大な影響を及ぼすため、データ収集テストの際には十分な精度の確保に努める必要がある。

温度環境性能開発においては、テスト時の環境条件を狙い

の状態で安定させることが要件となる。実車を用いたデータ収集方法には、実路走行テストと実験室内でのテストがあるが、前者は自然環境が不定期に変動するため精度の高いデータを安定して収集することが難しい。また、テスト可能な場所、季節、天候、時間帯が限定されテスト効率が非常に悪く、開発全体の効率向上を阻害する要因ともなる。そこで後者が望まれるが、実験室で有効なテストを実施するには実路と関連のある環境条件を繰り返し提供できる耐候試験環境が必要である。

**3. モデルベース開発に貢献する新耐候試験設備**

**3.1 新設備の狙い**

このように実機テストの目的と試験設備への要求が大きく変化中、耐候試験設備を新設した。新設備で調整する環境項目は、温度、湿度、走行風、日射、路面輻射とし、それぞれを実路環境に近づけるための設備仕様を選定した。

**3.2 環境調整性能**

(1) 温度、湿度、風速

低温室と高温室を合わせて、-40℃~+55℃の室温範囲でのテストを可能とした。高温室の相対湿度は30%~80%に調整可能とした(Table 1)。

Table 1 Specifications of Air Conditioning

	Temperature Range	Humidity	Max. Wind Speed
Hot Chassis Dyno Chamber	+20℃~+55℃	30%~80% (Less than 10% at higher temp.)	150km/h
Cold Chassis Dyno Chamber	-40℃~+20℃	-	-
Cold Idle Test Chamber	-20℃~+20℃	-	200km/h

(2) 走行風

風洞設備を導入し(高温シャシーダイナモ室の送風性能=最大12500m<sup>3</sup>/min)、車両に均一な走行風を供給できるようにした(Fig. 3)。

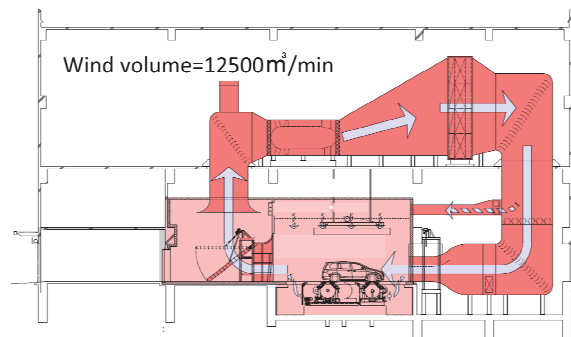


Fig. 3 Cross Section of Wind Tunnel

(3) 日射 (高温シャシーダイナモ室)

日射が車両上面に与える熱負荷を自然環境と同等にするため、波長成分が太陽光に近いメタルハライドランプを使用した日射装置を採用した。日射量は400W~1300W/m<sup>3</sup>可変式とした。

## (4) 路面輻射 (高温シャシーダイナモ室)

表面温度を85℃まで調整できる床面ヒートマットを採用し、路面からの照り返しを再現した (Fig. 4)。



Fig. 4 Heat Mat for Appropriate Floor Temperature

## (5) 4WD シャシーダイナモ

非駆動輪を含む4輪の回転が気流に与える影響を再現した。

## 3.3 レイアウト

高温、低温それぞれのシャシーダイナモ室と低温アイドルテスト室の3つの試験室を1階に配置した (Fig. 5)。

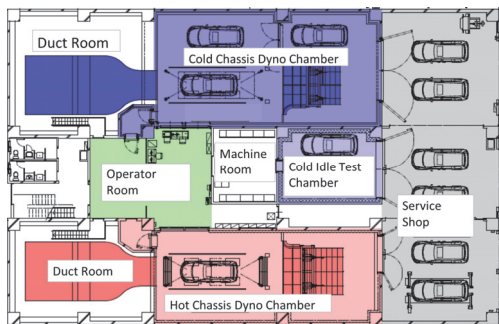


Fig. 5 Ground Plan

## 3.4 テストの効率化

設備の稼働率を高めるため、低温実験室におけるソーク (テスト前の車両冷やしこみ) 時間の短縮, シャシーダイナモの運転稼働率向上, 省力化による車両準備時間の短縮などを実現する機能を検討した。

## 3.5 環境負荷低減への配慮

冷凍機をブラインチラー2台, 及び冷水チラー3台に分割し, 発熱負荷に応じて稼働台数を決めるシステムを採用して消費電力を低減した。

## 4. 新耐候試験設備活用事例

## 4.1 FTTPの開発要素

新設した耐候試験設備の実路再現性能をモデルベース開発へ活用した代表事例としてFTTP (Fuel Tank Temperature Profile=タンク内燃料温度) 開発を紹介する。本件は、

高温シャシーダイナモ室の活用例である。

米国EPA (United States Environmental Protection Agency) が定める蒸発燃料規制に関する法規のひとつがFTTPである(1)。この規制では、まず定められた環境条件 (外気温度35℃以上, 路面温度51.7℃以上, 晴天) において72分間のFTTP走行モードを路上走行した後の燃料温度を計測する。次に実験室にて, その燃料温度を再現させながら, 燃料タンクと燃料供給部品から蒸発して外部に放出される燃料蒸発ガスを計測するもので, この量が規制対象である。燃料温度自体は規制対象ではない。

この規制においては, 燃料温度が高いほど蒸発量が多くなり, 漏れ対策をより強化しなければならない。したがって, 伝熱量を抑制する排気管のレイアウトや遮熱板仕様, 発熱量が小さい燃料ポンプ構造やその制御, 燃料系部品へエンジンルームの熱を伝搬しにくい空気流の制御構造などを車両トータルで検討することがFTTPの開発要素となる。

## 4.2 FTTP開発CAE化の背景

FTTP開発においては, 燃料温度と各関連部品, 雰囲気温度を計測し考察する。これらのデータ収集作業は, 従来米国のテストコースを走行して取得してきた。しかし, 現地へ出向いた時の天候によっては気温や日射などの条件が整わずテストが思うように進まないケースや, 走行中に変化する風速, 風向, 日射などによりデータが変動するケースなど, 実路テストでは不可避な問題があった。またテスト実施時期が夏季に限定されるため, 開発計画によっては必ずしも現地テストの際に狙った仕様の部品試作が間に合わないという問題も生じた。これらはテストを非効率にするばかりでなく, 仕様の検討不足を招き, 開発後期の予想外の追加対策や過剰品質により不要なコストアップのリスクを高める原因ともなっていた。また, FTTP以外の開発にも併用する試作車を海外テストで長期間占有することで開発全体の効率に悪影響を及ぼす問題もあった。

このようなFTTP開発における一連の問題を解消し, 適正な仕様を早期に決定できるようにするため, CAEで燃料及び各部温度を予測して仕様検討するモデルベース開発への移行に取り組んだ。

## 4.3 FTTP開発CAE化の課題

燃料温度を決める熱の流れは広範囲にわたる (Fig. 6)。これら全てを計算しようとするとうエンジンルーム内や車両周りの流れ, ラジエータでの熱交換, 排気ガス流れ等の3次元の非定常計算が必要となるが, その計算には非常に時間がかかる。特にFTTPは走行時間が長く, 計算時間が膨大になるため開発への適用は難しい。そこで, 3次元の非定常計算が必要な排気管の温度, タンク回りの空気の温度や流速, 燃料ポンプの発熱量等は実験値を境界条件として与え, タンク回りの熱の移動のみを計算して計算時間を短くする手法に取り組んだ。

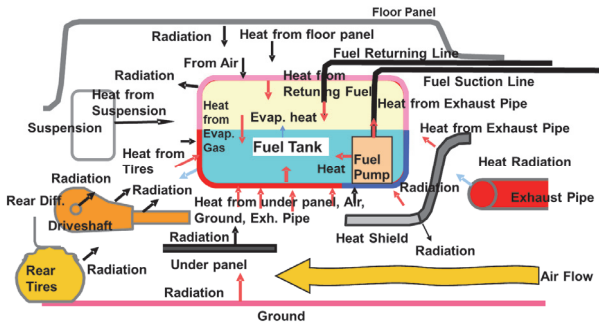


Fig. 6 Complicated Heat Flow between Related Parts

4.4 新設耐候試験設備を用いた FTTP データ収集

CAEの温度境界条件に用いる実機データ情報を得るため、新設した耐候試験設備のシャシーダイナモ上で、FTTPモード走行中の各部温度を計測し、その精度を検証しながらCAEモデルの改善に活用することにした。

実験室で温度を計測する際は、走行中の車両近傍の空気の流れ、日射条件、路面輻射条件を実路に近づけることが特に重要となる。新設の耐候試験設備は大型風洞と、車両の前面投影面積を100%カバーする大型の吹き出しノズルにより、実路走行時と同様に車両全体に一定方向の走行風を均一に吹き付けることを可能としている。またテスト室床面の風速を高める境界層制御装置と、非駆動輪の回転による気流への影響を再現する4WDシャシーダイナモで、タンク内燃料温度に影響が大きい車両床下の空気の流れを実路に近づけた (Fig. 7)。

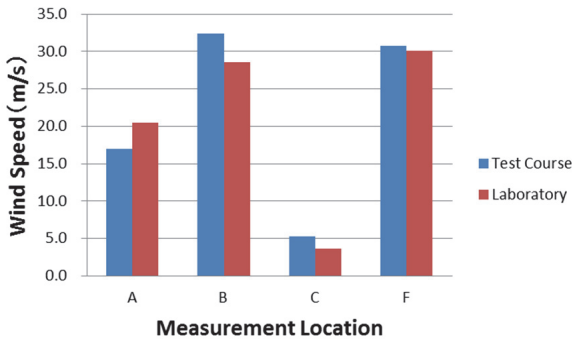


Fig. 7 Comparison of Measured Wind Speeds

更に、日射装置と床面ヒートマットにより環境を調整した実験室内でFTTPモードを走行し、タンク内燃料温度及び関連個所の温度を計測するテストを実施した (Fig. 8)。



Fig. 8 View of FTTP Mode Test

4.5 新設耐候試験設備での計測精度検証結果

新耐候試験設備で計測した各部の温度と実路で計測した温度を比較し、差異が±5℃以下であることを確認した (Fig. 9)。これにて試験室で計測した温度と実路走行時の温度に一定の相関があると判断し、このデータを基に得た情報を温度境界条件としてCAEモデルへ織り込んだ。

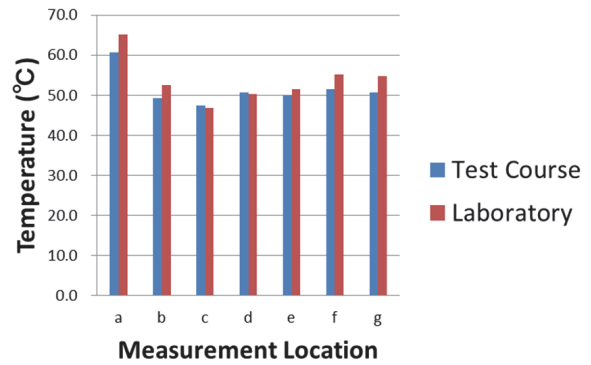


Fig. 9 Measured Temperature

4.6 CAEモデルの改善効果

実機テスト情報をCAEモデルに織り込んだ結果、計算に要する時間は大幅に短縮され、開発に十分活用できるものになった。また、CAEによる予測温度が実測した温度とほぼ一致し、FTTPの温度予測ツールとして活用できる精度を確保することができた (Fig. 10)。

この予測式を活用することにより、タンク内燃料温度に影響の大きい要素を明らかにし、温度上昇を抑えるために有利な構造を短時間に机上で検討し、提案できる仕組みを作った。

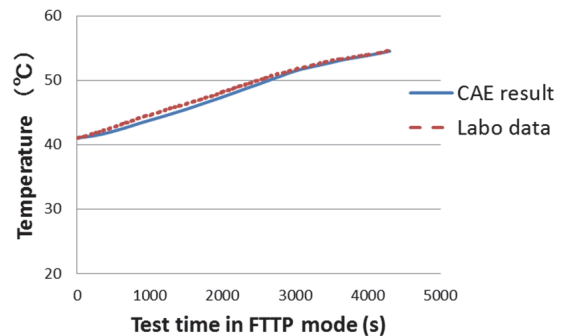


Fig. 10 Comparison of Laboratory Data and CAE Result

5. 新設耐候試験設備の効果

- (1) FTTP開発の事例で見られるように、CAEをサポートし開発の効率を向上することができた。ドライバビリティ、燃費開発にも更に利用を広げ、モデルベース開発に適宜活用していく。
- (2) 試験自体の効率を上げ、実質的なテストのキャパシティを拡大したことにより、より多くの技術課題に取り組むことができるようになった。
- (3) 省エネ化・テスト効率化により消費エネルギーを低減した。

## 6. おわりに

モデルベース開発の拡大に伴い、実機テストの位置づけは、試行錯誤のための物から、CAEをはじめとする机上検討をサポートするものへと変化してきた。

実車走行試験設備においては実路走行の再現精度や効率がより一層重視されるようになり、新設耐候試験設備は走行風、日射、路面温度の精度にも踏み込んで設備仕様を決定した。今後も、その高い機能を十二分に活用しモデルベース開発を強力にサポートできるよう運用面も含めて工夫を重ねる。

## 参考文献

(1) EPA86 Subpart B

NEW LIGHT-DUTY VEHICLES AND NEW  
LIGHT-DUTY TRUCKS AND NEW OTTOCYCLE  
COMPLETE HEAVY-DUTY VEHICLES; TEST PRO-  
CEDURES (S86.101 -S86.167-17)

■ 著 者 ■



森嶋 徹



丸本 祐一



弘中 実



高田 直哉