

量産車開発の性能設計における ラップタイムシミュレーション技術

Lap Time Simulation Technology for Performance Design during Production Car Development

豊 島 貴 行*

Takayuki TOYOSHIMA

松 澤 俊 明**

Toshiaki MATSUZAWA

牛 村 智 也***

Tomoya USHIMURA

要 旨

量産車開発の性能設計技術を応用し、サーキット走行でのラップタイムのシミュレーション技術を構築した。量産車のモデルベース開発において使用されているデータを活用して車両モデルを作成し、そこに走行条件と路面条件をモデル化して組み合わせることで、ラップタイムの計算時間を短縮した。走行ラインについては正円弧と全緩和曲線の二つのモデルで規定することにより、すべての駆動方式の量産車について性能設計に適用できるようにした。この結果、量産車開発の性能設計において、サーキット走行でのラップタイムを仕様検討の対象項目として扱うことが可能になった。本技術を新型 NSX の開発や CIVIC TYPE R の開発において仕様検討に活用し、その考え方の妥当性と有用性を検証した。

ABSTRACT

A lap-time simulation technology for circuit driving compatible with performance design technologies employed during the development of production vehicles has been developed. The method creates vehicle models using data employed in the model-based development of production vehicles, and by combining these with models of driving and road surface conditions, reduces the computation time necessary for lap time simulation. The ability to define two models using the circular arc and whole curve transition methods makes it possible to apply the method in the performance design of production vehicles using all drive types. The method enables treatment of lap times during circuit driving as one item in the study of specifications during performance design in the development of production vehicles. The application of the method in the study of specifications during the development of the new NSX and the CIVIC TYPE R demonstrated the validity of the concept and the effectiveness of the method.

1. ま え が き

システムの複雑化が急速に進む近年の自動車開発を、効率よく進めるためにはモデルベース開発が有効である⁽¹⁾。それは性能設計の時間短縮を実現させるための手法でもあるが、その技術を応用すれば、時間短縮だけでなく、新たな性能項目の検討を可能にすることができる。その代表的な性能項目のひとつが、サーキット走行でのラップタイム(以下ラップタイム)である。

これまでのラップタイムシミュレーションは主にレーシングカーの開発に活用されてきた。それらは実走による計

測テストの代用として、ラップタイムを計算で予測するという目的を主として作られたため、計算結果が実走計測の値に近づくよう誤差を小さくすることに主眼がおかれていた。そのために詳細な車両の情報だけでなく、計算対象となるコースの情報、詳細な車両の空力特性、温度変化などの走行環境に関する情報、ドライバの運転特性など、車両以外の情報も数多く必要であった。このような計算モデルの複雑化により、計算時間が長くなってしまったため、量産車開発の性能設計でラップタイムシミュレーションを使用することは容易ではなかった^{(2),(3)}。

実走のラップタイム計測結果のみでモデルフリー開発を

* 四輪 R&D センター

** HRD Sakura

*** HONDA R&D AMERICAS, INC.

進めるやり方も考えられるが、その場合テストの安全性を十分確保するためサーキットコースを占有し、運転技量の高いテストドライバを起用することが必要となる。そのような制約が多いテストを頻繁に実施することは、他の量産車の開発へ影響が出るため現実的ではない。ゆえに量産車の開発では高い運動性能を強く訴求するコンセプトを掲げた特別な車種を除き、ラップタイムを性能設計の検討項目として用いられることはなかった。

しかし、ラップタイムをすべての量産車開発における性能項目として性能設計で扱うことができれば、高性能な自動車を効率良く開発するという観点において有効である。そのためには従来のラップタイムシミュレーションとは異なる観点から、少ない情報で計算し結果を短時間で出力することが求められる。そこでモデルベース開発の技術を応用することを考えた。

2. 本技術のねらい

量産車の開発においてラップタイムシミュレーションを運用していくためには、入手しやすいデータで計算でき、限られた時間内に仕様のスタディを実施できることが必要である。またあらゆるタイプの量産車に対して実施できる汎用性が要求される。これらの点を考慮し、技術目標として以下の4項目を定めた。

- (1) 量産車のモデルベース開発の中で使われているデータを利用し車両モデルを作成できること。
- (2) 出力するまでの計算時間を短縮し、量産車開発の性能設計で運用できること。
- (3) 一般的な自動車の前輪駆動方式、後輪駆動方式、4輪駆動方式の3タイプの量産機種における性能設計で運用できること。
- (4) ラップタイム以外にも、運動性能の指標となる最大加速度、最大横加速度、最大減速度、最高速度なども合わせて出力できること。

3. ラップタイム計算の仕組み

通常の車両運動シミュレーションは、水平な平面上でコースを規定せずに走行するモデルが使用されるため、シミュレーションに必要な要素は車両条件に関する要素のみである。これに対し、ラップタイムシミュレーションは、その他に走行条件に関する要素と路面形状に関する要素が必要であり、大きく三つの要素についてモデルを定義する必要がある。

3.1. 車両条件に関する要素

ここで述べる車両条件に関する要素とは、具体的には、走る(加速性能)、曲がる(旋回性能)、止まる(減速性能)と

いった自動車の運動性能の基本要素のことである⁽⁴⁾。それらの基本要素を示す代表指標が、加速度、横加速度、減速度であり、それぞれの最大値を最大加速度、最大横加速度、最大減速度と呼ぶ。

加速性能については、車両重量、エンジンあるいはモータのトルク特性、ギヤ比、タイヤ径などからパワートレイン系のモデルを使った最大加速度を計算する。一方で車両の重量、車両の重心位置、タイヤの前後力特性、駆動力前後配分からシャシ系のモデルを使った最大加速度を計算する。この両者を比較し低い方から空気抵抗や転がり抵抗などの走行抵抗分を差し引き、各走行地点における実際の加速度を算出する。

旋回性能については、車両の重量、車両の重心位置、タイヤのコーナリング特性、ロール剛性配分、サスペンションの剛性、サスペンションのアライメント特性、ダウンフォースから最大横加速度を求める。これに空気抵抗や転がり抵抗分を差し引いて実際の各走行地点での横加速度を算出する。

減速性能については車両重量、重心位置、制動力前後配分、タイヤの前後力特性から最大減速度を計算する。これに加速性能を算出するのと同様に、空気抵抗や転がり抵抗などの走行抵抗分を差し引いて、各走行地点での実際の減速度を算出する。

以上はラップタイムシミュレーションに必要な車両条件に関する要素について述べたものだが、詳細はいずれも既報⁽¹⁾にて定義している Level 1 および Level 2 のシミュレーションモデルと同じものである。

3.2. 走行条件に関する要素

走行条件とは、サーキットコース内をどのラインに沿って走行するか(以下、走行ライン)、どのタイミングで加速するか、どのタイミングで減速をおこなうかについて規定する条件のことである。走行ラインのモデルはラップタイムシミュレーションの計算結果に影響するため、これまでさまざまな方法が提案されてきた。しかし、いずれもリファレンスデータが無い状態から理想の走行ラインを計算のみから求めようとする、最適化ロジックの構築が別途必要になり計算負荷が大きく、多くの時間を要してしまう⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。そこで短時間で計算するために、実際に計測された多くの走行ラインデータをリファレンスデータとして定め、規定のルールにしたがって統計的に導いた走行ラインをあらかじめ定義しておくのが、この際、計算負荷が小さく有効である。

サーキットの走行ラインは、いずれもストレート部分とコーナ部分の二つの領域に分類できるが、コーナ部分の走行ラインの定義はラップタイムの計算結果への影響が大きいため特に重要である。従来のラップタイムシミュレーションでは走行ラインのモデルを1種類に決めているが、

すべてのサーキットと開発車両の性能設計に対応させようとするルールが複雑になってしまう。この課題を解決するために走行ラインのモデルを二種類用意し、状況に応じてモデルを使い分ける方法を用いた。ここでは二種類のモデル化の方法に対して、それぞれ正円弧法と全緩和曲線法と呼ぶことにする。

3.2.1. 正円弧法

正円弧法は、ストレート部分の走行ラインを直線で近似し、コーナ部分の走行ラインを円弧で近似して、全体の走行ラインを規定する方法である。正円弧法で規定された走行ラインの曲率半径をグラフで表したものが Fig. 1 である。ストレート部分は曲率半径が無限大になり値は定義できない。コーナ部分は曲率半径が一定値となり円弧であることを示している。この方法の利点は、加減速をストレート部分で完結でき、コーナでは一定の横加速度となるので、ストレート部分とコーナ部分に対する車両特性の影響がわかりやすいことである。またモデルがシンプルとなり計算負荷が少ない。

3.2.2. 全緩和曲線法

全緩和曲線法は、ストレート部分の走行ラインは正円弧法と同じく直線で近似するが、コーナ部分の走行ラインを円弧ではなく特定の曲線で規定する方法である。ここではこの曲線のことを緩和曲線と呼ぶ。緩和曲線は実際に計測された過去のデータ群から統計的に求めており、曲率半径に不連続点が生じないように最適経路を求める手法^{(5),(8)}と同様にして規定する。Fig. 2 は全緩和曲線法で規定した走行ラインの曲率半径をグラフに表した例である。ストレートからコーナの頂点に向かって緩和曲線の曲率半径は単調に減少していき、頂点以降は次のストレート部分に向

Table 1 Characteristics of two methods

Method	Definition of corner	Tire slip conditions	Characteristics
A	Circle	Pure	Contribution of straights and corners to lap time is clear
B	Transition curves	Combined	Radius of curvature is continuous (Locus is close to actual drive)

A: Circular arc method

B: Whole transition curve method

かって単調に増加していく。この方法の利点は、ストレート部分とコーナ部分を徐々に曲率半径を変化させてつなげており、正円弧法よりも実際の走行ラインに近いことである。特に減速度が徐々に低下しつつ横加速度が徐々に増していくような走行状態、あるいは横加速度が徐々に減りつつ同時に加速度が徐々に増していくような走行が頻繁に生じる場合には、計算結果と実走行の結果とが良く合致する。またコーナ部分全体の計算をタイヤ摩擦円⁽⁹⁾の特性を含めて計算できるところにあり、タイヤに駆動力と横力の両方が同時に発生している場合 (Tire slip conditions: Combined) も考慮した検討に適している。ただし、全緩和曲線法は、正円弧法に対して情報量が多いため計算負荷が高くなってしまふ。また直進制駆動状態と定常旋回状態に切り分けていないので、性能設計の仕様検討においてストレート部分とコーナ部分に対する車両特性の影響が明確にわかりにくい。

以上について、それぞれの方法の特徴を整理すると Table 1 のようになる。

3.2.3. シミュレーション用走行ラインの規定

実際の走行ラインは、直線と円弧と緩和曲線が複雑につながってできていると考えられる。つまりこの二つの手法を規定しておけば、原理的にはすべての走行ラインを包

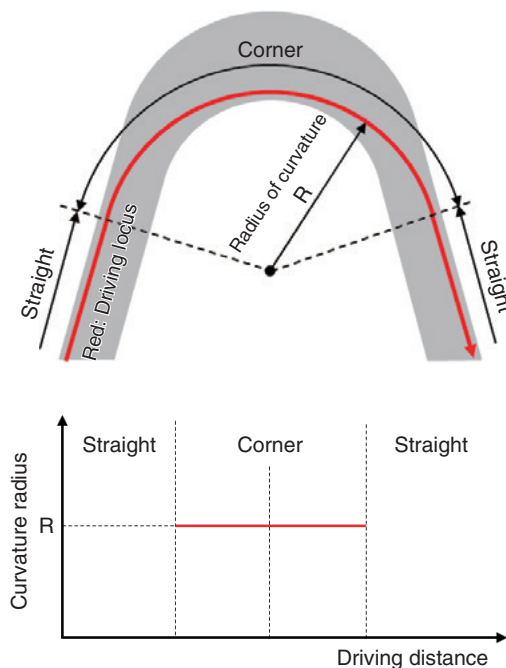


Fig. 1 Circular arc method

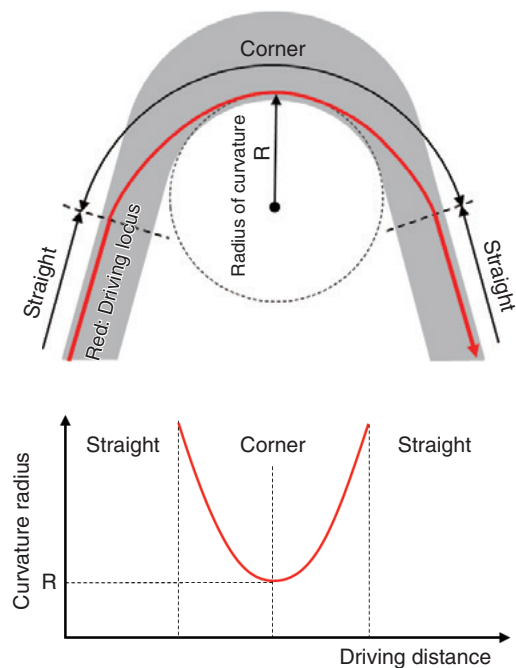


Fig. 2 Whole transition curve method

括的に表現することができる。ただし、ストレート部分とコーナ部分それぞれに対して車両特性の影響がわかりやすく、かつ計算負荷が小さいという正円弧法の利点は大きく、多くの場合、正円弧法を用いたラップタイムシミュレーションを性能設計では使用する。しかし、高出力エンジンと高性能ブレーキを搭載した前輪駆動車の場合は、コーナ部分で前輪に前後方向と左右方向に大きな力が同時に生じるので、摩擦円の特性を含めて計算しないと、実際の走行状態との乖離が大きくなり誤差を無視できない。そのような場合は全緩和曲線法によるシミュレーションを用いることによって課題を解決することができる。この二つの方法を使い分けることによってすべての車両に対してラップタイムシミュレーションを実施することが可能となった。

走行条件については、走行ラインの規定の他に、減速、旋回、加速のタイミングについても規定する必要がある。走行ラインをストレート部分とコーナ部分に分けて計算する本シミュレーションでは、減速終了点は横加速度が発生する点と一致しており、加速開始点は横加速度が0になる点と一致する。それらの点における速度を基準として、正円弧法でのコーナ部分は最大横加速度で速度一定の旋回運動となる。Fig. 3 は正円弧法と全緩和曲線法のそれぞれの条件で旋回した場合、出力される横加速度と車両速度をグラフにしたものである。グラフの下にタイヤの摩擦円内において発生している力の向きのイメージを明示している。

ストレート部分における速度は、コーナ部分を抜けて横

加速度が0になる点から最大加速度で速度を上げていき、次のコーナ部分の横加速度が立ち上がる点で最大旋回速度となるように最大減速度で速度を下げる。Fig. 4 は正円弧法によるストレート区間の速度変化を明示したものであり、加速開始点 x_1 を基準に最大加速度で速度を増していく計算結果ラインと、減速終了点 x_2 を基準に最大減速度で速度を落としていく計算結果ラインが点 x_3 で交わる様子を示したものである。全緩和曲線法でも考え方は同じである。

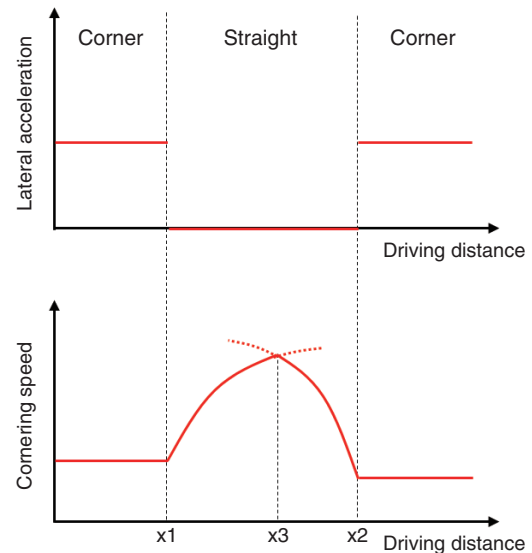


Fig. 4 Speed on straight

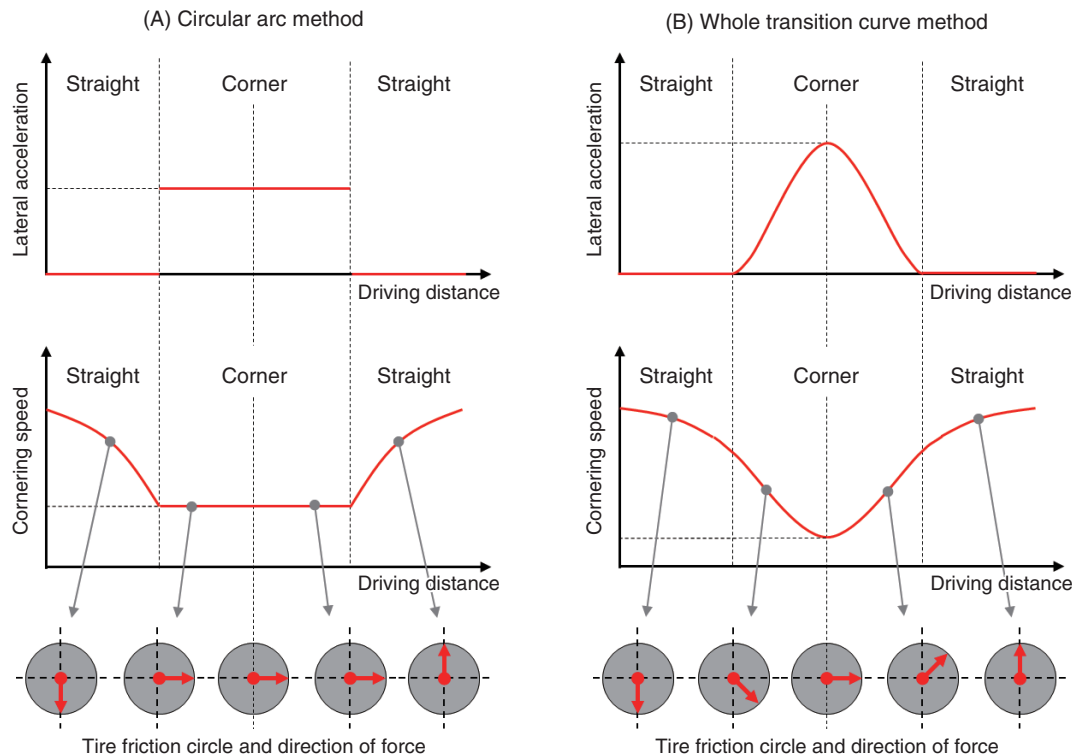


Fig. 3 Comparison of two methods

以上のように走行条件を規定すると、サーキット一周分の各地点におけるラインが Fig. 5 のように規定することができ、速度を連続的に計算できるのでラップタイムも同時に算出することが可能となる。このように最適化ロジック等は使わずにシミュレーション計算時間を短縮し、量産車の性能設計に有効なラップタイムシミュレーション用の走行ラインが規定できた。

3.3. 路面形状に関する要素

路面形状とは、スロープ（車両進行方向の勾配）、起伏、カント（車両横方向の勾配）のことである。走行路面のスロープは加減速度に影響し、カントは最大横加速度に影響する。

Fig. 6 左は路面のスロープについて示したものである。進行方向に対する路面勾配を示している。車両の制駆動時の加速度と減速度は、スロープの度合に応じて重力加速度

の影響を受け変化する。Fig. 6 の中は路面に起伏を表現したものである。このように起伏のある路面の上を走行した場合、上に凸の路面を走行する際には車両上方向に浮き上がる力が発生する。反対に下に凸の路面を走行する際には路面に押さえつけられるような下方向の力が発生する。浮き上がる上方向の力が生じている時は、タイヤの摩擦円が小さくなり、押さえつけられるような下向きの力が生じている時は摩擦円が大きくなる。その結果最大加減速度と最大横加速度の双方に影響を及ぼす。Fig. 6 の右はカントについて表現したものである。カントは車両の進行方向に対して左右に傾いた路面のことである。カントもスロープと同様に、車両の旋回時における横加速度は、カントの度合に応じて影響を受け変化する。

4. 効果検証と適用事例

ラップタイムシミュレーションの検証用車両サンプルとして、駆動型式と車両諸元が大きく異なる二車種の開発事例を示す。ひとつは新型 NSX (NSX) で、後輪に大きな荷重がかかり、かつ 4 輪で駆動するハイパフォーマンス車である。もうひとつは 2015 年モデルの CIVIC TYPE R であり、こちらは前輪に大きな荷重がかかり、かつ前輪で駆動するハイパフォーマンス車である (Table 2)。また過去の量産車開発においてラップタイム計測を数多く実施している筑波サーキットと、開発時のベンチマークとしても多用されるニュルブルクリンクサーキットの二つのサーキットでのラップタイムシミュレーションを例として述べる。なお、本計算には MATLAB を使用している。

4.1. NSX の開発

NSX は Honda の代表的な高性能スーパースポーツであり、世界 No.1 の運動性能を目指して開発された。ラップタイムのみならず、最大加速度、最大減速度、最大横加速度、最高速度などあらゆる運動性能の指標においてトップレベルの目標が定められた。

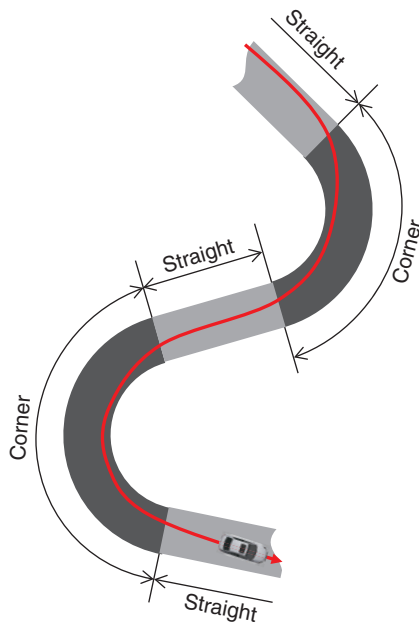


Fig. 5 Straights and corners

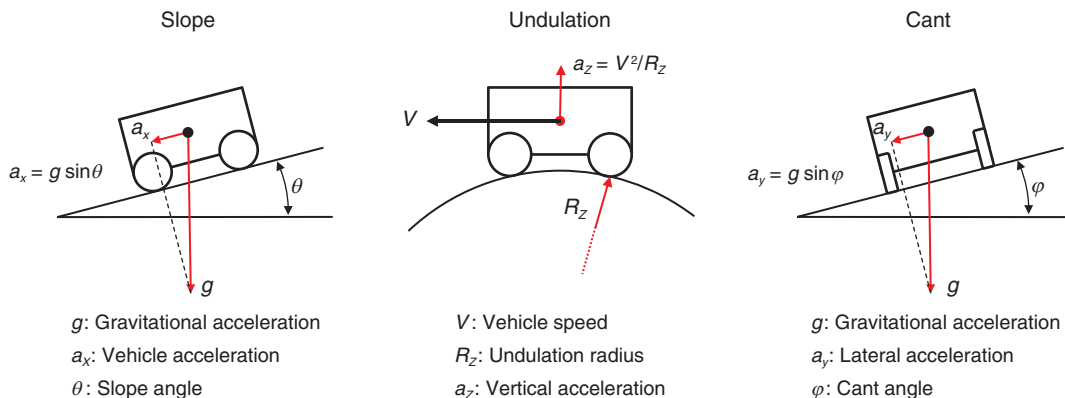


Fig. 6 Elements related to road surface shape

Table 2 Specifications of NSX and CIVIC TYPE R

	NSX	CIVIC TYPE R
External dimensions L × W × H (m)	4.490 × 1.940 × 1.215	4.390 × 1.880 × 1.460
Wheelbase (m)	2.630	2.600
Weight (kg)	1800	1380
Drive type	Engine and Motor/AWD	Engine/FWD
Maximum power (Engine/Motor) (kW)	373/200 System maximum power: 427	228
Maximum torque (Engine/Motor) (Nm)	556/366 System maximum torque: 646	400

Fig. 7 は筑波サーキットのラップタイムシミュレーション結果と実際のラップタイム計測のデータを走行履歴としてグラフ化したものである。赤の実線が計算結果、青の破線が実際の計測データを表している。このグラフから、本ラップタイムシミュレーションの結果が実走行に近い結果となっていることがわかる。

この走行履歴の計算結果を元に、ラップタイム、最高速度、最大加速度、最大減速度、最大横加速度などが導かれる。また走行履歴のデータからは、全体的に使用される速度域、ストレートやコーナの頻度、加減速の度合など、サーキットの特徴などを考察することができる。

Fig. 8 は筑波サーキットによるラップタイムシミュレーション

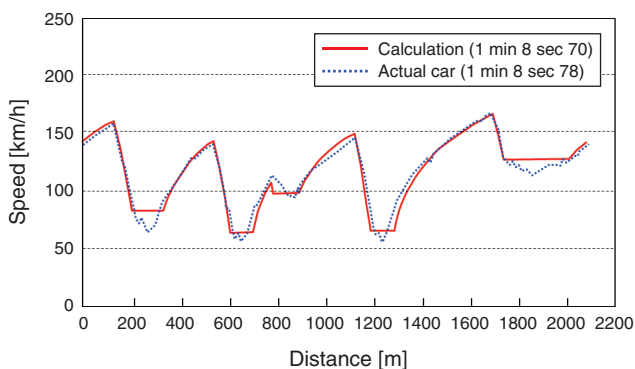


Fig. 7 Driving history

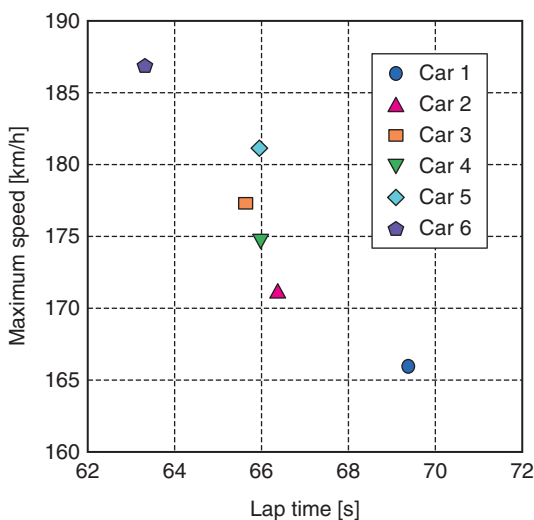


Fig. 8 Lap time and maximum speed

ションから、ラップタイムと最高速度を指標としてそれぞれ横軸と縦軸にとりグラフ化したものである。Car 1 から Car 6 はタイヤサイズ、空力特性、重量配分の条件を変えて組み合わせた計算結果から六つの異なる仕様についてプロットしたものである。ラップタイムは短い程良く、最高速度は高い程良いため、このグラフでは左上にプロットされる Car 6 が最も高性能であることを意味している。

Fig. 9 は最大横加速度を棒グラフにして出力したものである。最大横加速度は高い方が高性能であるといえるためこの棒グラフは高い程良い。

Fig. 10 は横軸にブレーキ要素を取り除いたシャシとタイヤで決まる最大減速度、縦軸にエンジン要素を取り除いたシャシとタイヤで決まる最大加速度をとりグラフにしたものである。これによりシャシとタイヤが加減速性能へ与える影響を比較できる。どちらも値が大きい程高性能であることを示しているため、右上にプロットされる車両程

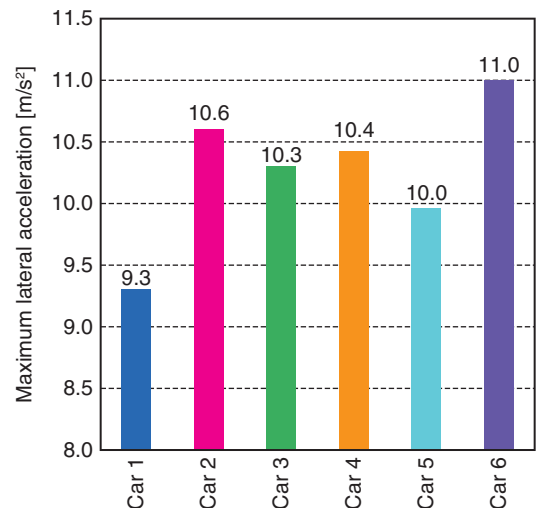


Fig. 9 Maximum lateral acceleration

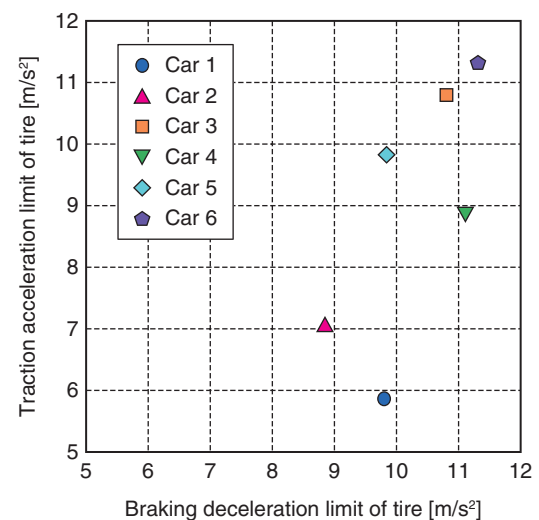


Fig. 10 Tire traction and deceleration limits

シャシのポテンシャルが高い。

以上に述べた Fig. 8 から Fig. 10 はラップタイムシミュレーションから出力される代表的な計算結果である。NSXの開発初期の性能設計ではこれらのグラフを見比べながら、さまざまな仕様について性能設計を実施した。例えばエンジンパワーの特性、タイヤのコーナリング特性、空気抵抗やダウンフォースの特性、サスペンションのアライメント特性、バッテリー搭載位置など各コンポーネント特性についてスタディし、筑波サーキットにおける目標性能を達成する仕様を見出した。

次にニュルブルクリンクサーキットを対象に性能設計を実施した例を示す。Fig. 11 はニュルブルクリンクサーキットの走行ラインをストレート部分とコーナ部分に色分けしてそれぞれのトータルをグラフ化した例である。緑がストレート部分のトータルであり、赤がコーナ部分のトータルである。Car 1 から Car 4 は競合他社のスポーツカー代表 4 種類の走行軌跡を分析した結果である。これを見るとストレート部分あるいはコーナ部分のどちらを対策するのが有効かわかる。ラップタイムを短縮するにあたりどのコンポーネントで対策することが効果的であるかをこのグラフは示唆している。例えば、コーナばかりで構成されたサーキットを走る場合には、コーナ部分の領域が多くなるため、旋回時の速度を向上させる対策により、効果的にラップタイムを短縮することができる。NSX の仕様検討ではこのような考察に基づいて、さまざまな側面から最適仕様を探索し最終的な仕様を決定していた。

Fig. 12 はコーナ部分の性能設計について検討した結果を示したものである。ハイブリッドモータ用バッテリーのレ

イアウトによる影響、スポイラ等の空力デバイスによる効果、タイヤサイズによる効果を示している。このような検討を実施しコーナ部分の合計タイムの目標とされた 234 秒以下達成の見通しを得た。

実際の開発においてもこのシミュレーション結果に基づき各仕様決定され試作車が作られた。実走行テストでもこの目標を達成することができた。Fig. 13 は性能設計の中でさまざまなパワープラント仕様を検討した結果、目標を達成するために実施した仕様の、ラップタイムと最高速度に対する効果をグラフに示したものである。

4.2. CIVIC TYPE R の開発

CIVIC TYPE R は Honda を代表する前輪駆動のハイパフォーマンス車である。CIVIC TYPE R のコンセプトは、「ニュルブルクリンクサーキットにおいて前輪駆動車で最

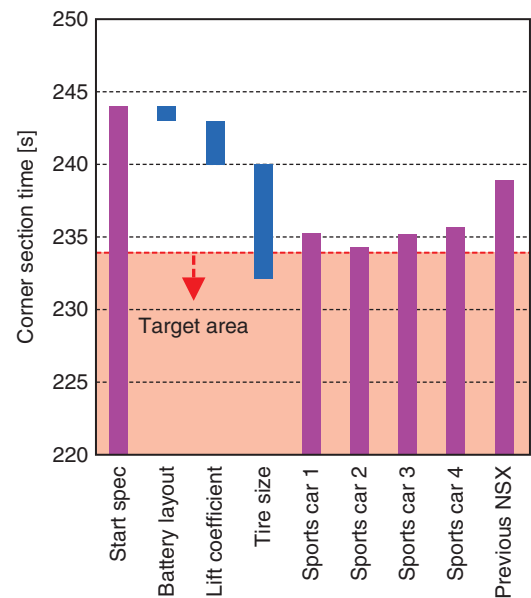


Fig. 12 Results of study of specifications for NSX

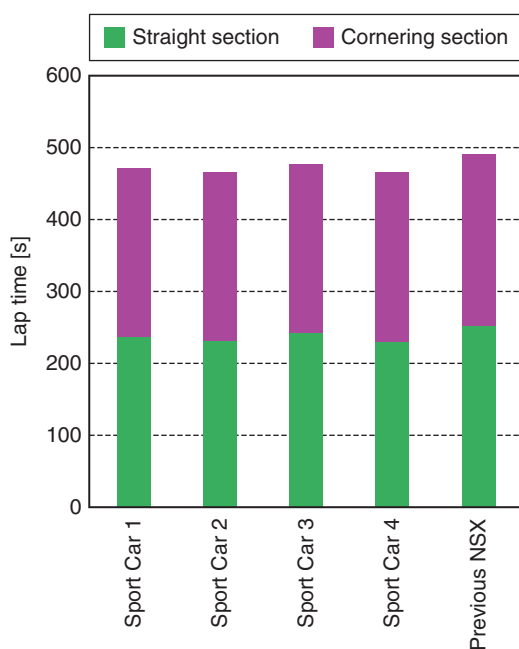


Fig. 11 Time for straight and corner

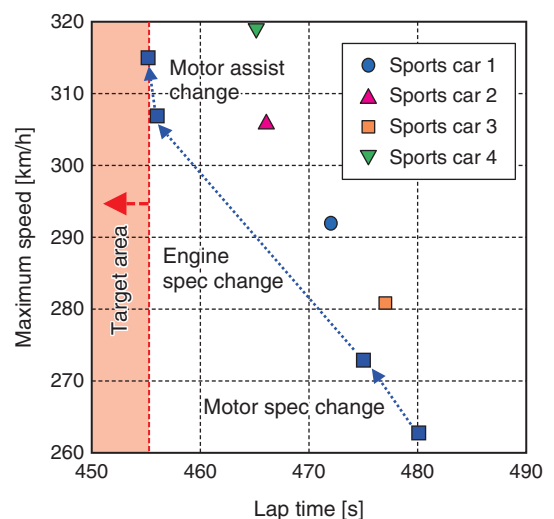


Fig. 13 Lap time and maximum speed

速」であった。具体的にはニュルブルクリンク一周のラップタイムを7分50秒(470秒)以内にするのであった。CIVIC TYPE Rのラップタイムに関する性能設計も、基本的にはNSXと同じであるが、NSXが4輪駆動車であるのに対し、CIVIC TYPE Rは前輪駆動車なので、コーナ部分では旋回横力と制駆動力の両方を担う前輪の摩擦円の使い方が重要となる。したがってCIVIC TYPE Rのラップタイムシミュレーションにおいては摩擦円のモデルを使う全緩和曲線法の方が実車計測により近い値を示す点で優れていた。CIVIC TYPE Rは正円弧法ラップタイムシミュレーションに加え、全緩和曲線法ラップタイムシミュレーションを併用して性能設計された代表事例である。

Fig. 14は全緩和曲線法でタイヤの摩擦円を規定するために計測された、接地面に発生する力をグラフにしたものである。

Fig. 15は筑波サーキットにおけるCIVIC TYPE Rのラップタイムをそれぞれ正円弧法で計算したもの(赤の実線)と、全緩和曲線法で計算したもの(赤の破線)と、実計測結果(青の破線)を比較したものである。このグラフから全緩和曲線法の方が正円弧法による計算結果よりも実計測結果に近い結果が得られることがわかる。特にCIVIC TYPE Rのようなハイパワーな前輪駆動車の場合、正円弧法による計算結果と実測値とがかなり離れてしまう傾向がある。そのような場合でも全緩和曲線法の計算モデルを規定しておくことで、性能設計の効果を必要十分な精度で進めることができるようになった。

Fig. 16はニュルブルクリンクサーキットにおけるCIVIC TYPE Rの目標タイム達成に対して、各コンポーネントに割り付けられた効果をグラフに表記したものである。エンジン出力、トランスミッションのギヤ比の仕様、車両重量、空力特性、サスペンション仕様、タイヤサイズを対策することにより、目標タイムは達成できる見通し

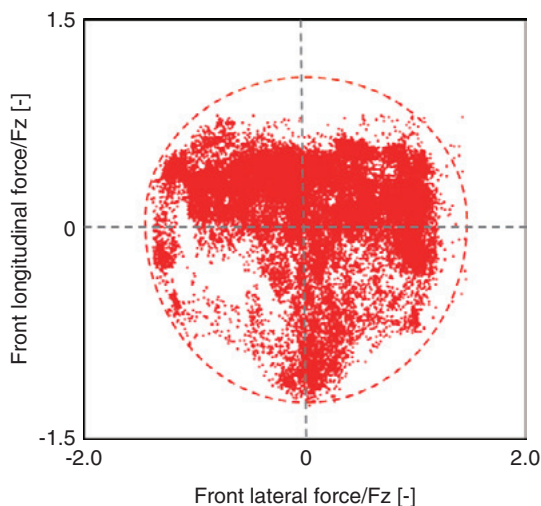


Fig. 14 Force generated on road surface

があることを示している。このように性能設計の段階で、ラップタイムシミュレーションによる各コンポーネントに対する性能割り付けが可能になった。

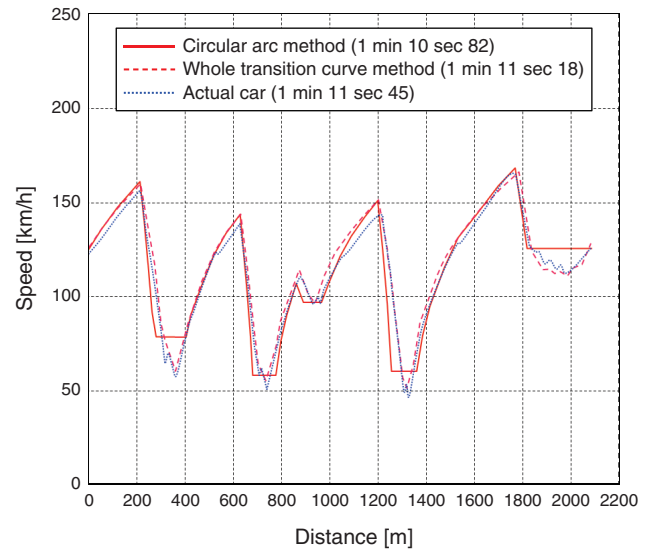


Fig. 15 Comparison of results of two methods and actually measured values

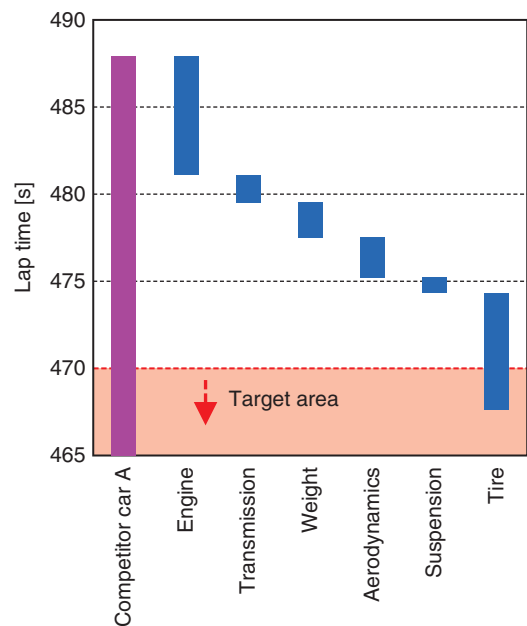


Fig. 16 Deployment of system for CIVIC TYPE R

5. まとめ

筑波サーキットとニュルブルクリンクサーキットにおいて、ラップタイムシミュレーションが量産車開発に活用された事例を2車種紹介した。このことは本ラップタイムシミュレーションモデルの考え方の妥当性と、シミュレーション技術の有用性を示している。以下に本取組の内容をまとめる。

- (1) 量産車のモデルベース開発の中で定義される条件を利用したラップタイムシミュレーションツールができた。
- (2) 走行条件と路面条件に関する要素を規定することで、計算時間を短縮し、量産車開発の性能設計に適用できた。
- (3) 正円弧法と全緩和曲線法の二つのモデルを規定することで、すべての駆動方式に対応できるラップタイムシミュレーション環境ができた。
- (4) ラップタイム以外にも、最大加速度、最大横加速度、最大減速度、最高速度などの値も出力できるようになった。

実車テストの代用としてラップタイムを予測することだけでなく、ラップタイムの目標値から各コンポーネント特性に性能を割り付け、効果的にシステム設計が進められるようにすることで、量産車開発への適用が可能となった。

参考文献

- (1) 豊島貴行, 松澤俊明, 遠藤喜章, 伊藤憲悟, 高野広喜, 牛村智也: 量産車の MBD におけるシャシ性能設計技術の構築, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 49-58
- (2) 結城一敏, 小池明彦, 乙部豊: F1 サーキット・シミュレーション, HONDA R&D Technical Review, F-1 Special, p. 46-55, (1993)
- (3) Siegler, B., Crolla, D.: Lap Time Simulation for Racing Car Design, SAE Paper, No. 2002-01-0567, (2002)
- (4) 安倍正人: 自動車の運動と制御 第2版, 東京電機大学出版局, p. 310, (2012)
- (5) 住岡忠使, 細谷知之, 母里佳裕: 非線形モデル予測制御を用いた車両限界域制御と最速走行のための制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 53, No. 7, p. 385-397, (2017)
- (6) 大塚敏之: 実時間最適化による制御の実応用, コロナ社, 256p., (2015)
- (7) 住岡忠使, 西宮憲治, 飽田好恭: 非線形モデル予測制御と動的計画法を用いた他車混合交通状況における車両軌道と速度生成, 計測自動制御学会論文集, Vol. 53, No. 2, p. 198-205, (2017)
- (8) Braghin, F., Cheli, F., Melzi, S., Sabbioni, E.: Race driver model, computers and Structures Vol. 86, p. 1503-1516, (2008)
- (9) 横浜ゴム株式会社編, 第4章タイヤと路面に働く力, 自動車用タイヤの研究, 山海堂, p. 109-147, (1995)

■ 著 者 ■



豊島 貴行



松澤 俊明



牛村 智也