

鷹栖ブルーピンググラウンド 新設 US コース

Development of New US Evaluation Course in Takasu Proving Ground

浅田 隆 二*

Ryuji ASADA

工藤 博 之**

Hiroyuki KUDO

松倉 剛 克*

Takekatsu MATSUKURA

加藤 紘**

Ko KATO

唐崎 英 史*

Eiji KARASAKI

要 旨

北米市場向け新型車両の現地適合性を検証するための専用コースを北海道の鷹栖ブルーピンググラウンドに新設した。現地コースの走行状態と頻度を分析し、特徴が類似する区間を集約したコースレイアウトにより、走行フィールをそのままに 35 km あった走行距離を新設コースでは 16 km に縮小した。その結果、現地で約 60 分を要した走行時間を 15 分に短縮した。さらに、乗心地の再現に必要な路面の短周期で微小な振幅のうねりを設計し施工するため、専用の治具を用いて表層のうねりを舗装する工法を考案し、現地走行で課題となる車体振動を再現した。その結果、鷹栖ブルーピンググラウンドにおいて、現地特有のドライビングフィールを短時間で検証できる US コースを実現できた。

ABSTRACT

An evaluation course was newly developed at the Takasu Proving Ground in Hokkaido to verify the compatibility of new type vehicles for the North American market with local road conditions. The driving states and ratio of occurrence on the evaluation route in the US were analyzed, and a course layout that aggregates sections with similar characteristics was created. The new course reduced the driving distance from 35 km to 16 km while maintaining the same driving feel. This shortened the driving time, from approximately 60 minutes for the evaluation route in the US, to 15 minutes. In addition, a paving method that uses a special jig to create surface undulation was devised, designing and constructing the undulating road surface with small amplitude as well as short wavelength needed to reproduce the ride comfort. This enabled to reproduce the body vibration that is an issue when driving in the US. These results realized a US evaluation course in the Takasu Proving Ground that enables verification of the driving feel unique to US road conditions in a short time.

1. ま え が き

Honda は、1958 年に初めての自社テストコースを開設して以降、増大する機能テストにともない栃木ブルーピンググラウンド (以下、栃木 PG) を 1979 年に開設した。さらに 1990 年には、北海道に鷹栖ブルーピンググラウンド (以下、鷹栖 PG) を開設し、点在していた寒冷地テストを集約し、安全なテスト環境の中で車両の安全性、機能性を検証できる領域を拡大してきた (Fig. 1)。

栃木 PG には高速走行するクルマの安全性を検証する周回コースや、サーキットから山間部の曲がりくねった道でのハンドリング性能を検証するためのワインディングコースなどが設置されている。これらのコースは Honda 車の骨格を鍛え、Honda 車の開発に貢献している。

鷹栖 PG では益々増大する栃木 PG での機能テスト需要を補完するコースに加え、ドイツのアウトバーンのような高速走行における車両の機能性を安全に確認できる高速周回コースを 1995 年に開設した。さらに 2000 年以降は、欧

* PG 管理室

** 日本道路株式会社

州郊外の一般道を模した EU 郊外コースなど、安全性、機能性に加え、お客様の使用環境で車両性能を評価できるテスト環境の整備もおこない、初代 Fit 以降、Honda 車のテストに活用されている。

近年の車両開発では、初期段階での開発期間の短縮を目的としたシミュレーション技術の発展^{(1),(2)}により、安全性、安定性、快適性に関わる基本性能の予測精度が向上し、コース追加の要望は少なくなってきた。

しかし、一般道にあるアップダウンをともなう旋回コースなど、パワートレイン性能とハンドリング性能との複合性能の評価ができるコースへの要望が高くなっている。さらに、車両の安定性、応答性、乗心地などを向上する制御デバイスに加え、先進運転システム (ADAS)、自動運転のためのデバイスも実装されるなど、制御システムの検証に必要なコースへの期待も大きくなっている。

複合性能の評価や先進デバイスを複合して実装する車両の評価では、完成車での整合性や乗員フィードバックが重要となるが、これまでに施設したコースだけでは、すべての検証を実施することは容易でない。

また、北米向けは、開発モデル数が多く、それぞれのモデルに高い熟成度が求められるため、現地での検証に多くの時間を要している。

そこで、北米向け開発モデルの現地テストを国内で代替することのできるコースを鷹栖 PG に新設した。本報では、新設した US コースについて紹介する。

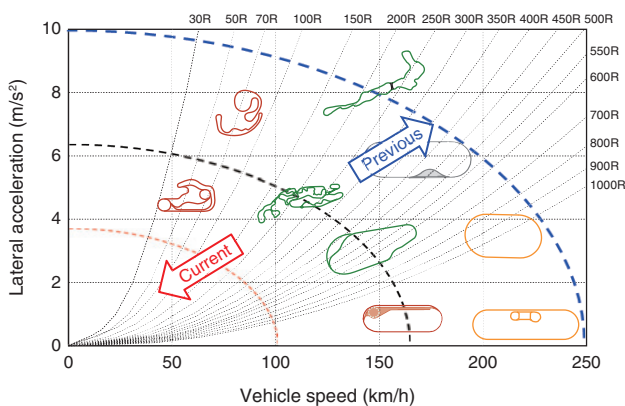


Fig. 1 Demand for test course development

2. ねらい

北米機種の現地テストを代替するため、以下のねらいを実現する US コースを鷹栖 PG に新設した。

- (1) 現地コースの特徴を再現しつつ、敷地内に施設できるコースレイアウトであること
- (2) 現地で課題となる複合的な性能評価と乗心地の評価ができること

3. 現地コースの特徴

北米市場向け量産モデルの現地検証は、ロサンゼルスにある現地法人 Honda R&D Americas, Inc. を基点に、約 35 km、所要時間約 60 分のルートで実施されている。このルートは大きく特徴の異なる City, Hill, Suburb, Freeway の四つのエリアに分類することができる。

City では交差点を除き直線路が続く、車速は低いが高頻度な加減速が求められる。Hill ではアップダウンのある旋回半径の小さいカーブを City より高い速度で走行することが求められる。Suburb ではアップダウンの多い直線路を Hill と同程度の速度で一定走行することが求められ、Freeway では直線とアップダウンのない旋回半径の大きいカーブを高車速で走行することが求められる。

これら四つのエリアの代表的な風景を Fig. 2 に示す。

実際に交通流に乗って走行した際の車速変化の一例を Fig. 3 に示す。



Fig. 2 Specific views of evaluation route in US

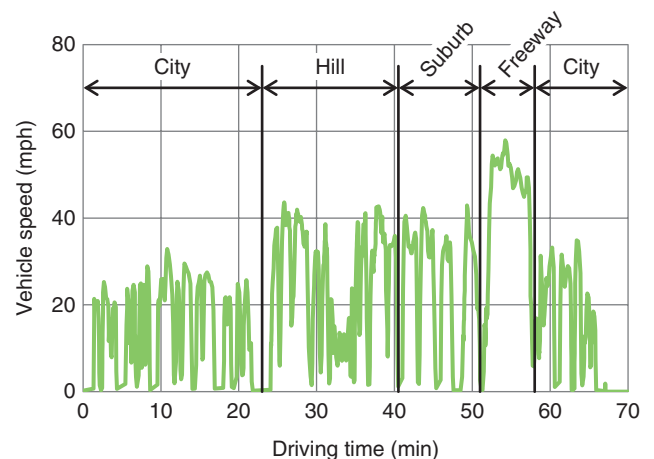


Fig. 3 Vehicle speed during evaluation route driving

次に、分類されたエリアをさらに特徴の類似したセクションに区切り、各セクションでの旋回半径と路面縦断勾配との関係を比較した結果を Fig. 4 に示す。この図では、同じ特徴の区間の距離を円の大きさで表し、旋回半径を逆数にすることで直線がゼロになるようにした。図に示すように、前述の四つのエリアの特徴を定量的に表しており、City, Suburb, Freeway に比べ、Hill が傾斜や旋回半径の変化に富んだコースであることが確認された。このように、パワートレイン性能とハンドリング性能との複合的な性能を評価するためにはアップダウンの中で旋回するコースを再現することが必要であることがわかった。

次に、乗心地が課題となる現地 Suburb を走行したときのシート振動の一例を Fig. 5 に示す。

開発エキスパートのコメントと測定結果の比較より、Suburb 走行においては 10 Hz から 20 Hz の周波数領域における振動レベルを再現することが乗心地フィールを再現するために必要であると考えた。

乗心地性能に影響する路面のうねりは Fig. 6 に示すように一般的に進行方向の波長と高さ方向の振幅により表すことができる。

路面からタイヤへの入力周波数は車速に依存して変化する

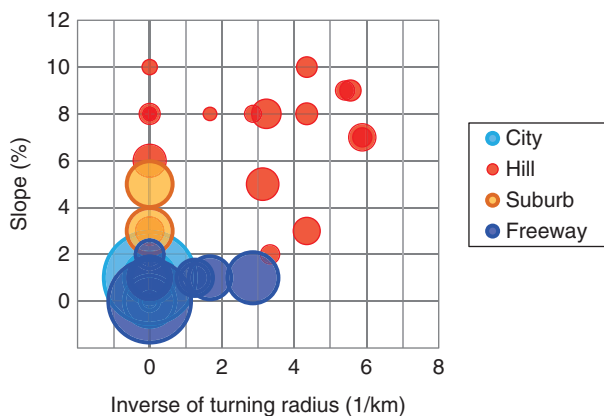


Fig. 4 Characteristics of each divided section of evaluation route in US

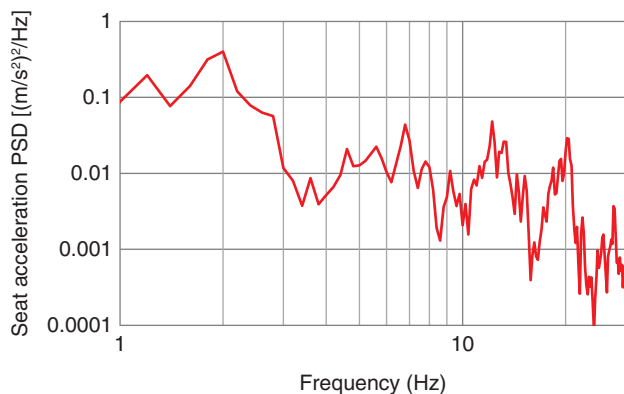


Fig. 5 Seat vibration during suburb area driving

るため、現地での乗心地振動を再現するためには、走行速度と車体の振動レベルを把握した上でコース路面プロファイルを決める必要がある。

そこで、現地で課題となる乗心地振動を再現するため、現地コースの路面プロファイルを測量した。四つの区間に分けて測量した路面の波長と振幅の平均を Fig. 7 に示す^{(3), (4)}。測量結果より、Fig. 2 のようなフラットに見える路面でも、一般的なテストコースや日本の高速道路よりも短周期で振幅の大きいうねりが現地コースのいずれの区間にも存在していることがわかった。

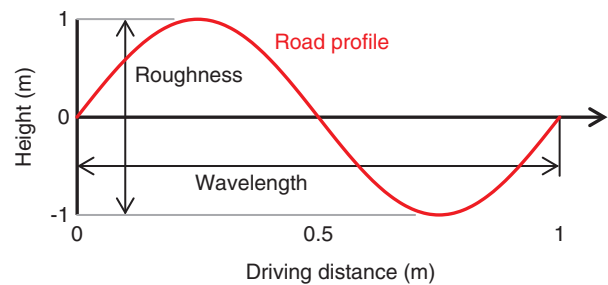


Fig. 6 Definition of pavement roughness

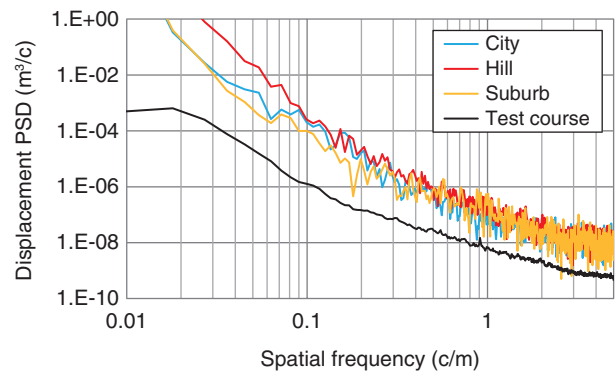


Fig. 7 Pavement roughness of evaluation route in US

4. 新 US コースの設計

新 US コースでは、既設コースの一部を転用するとともに、鷹栖 PG に隣接する傾斜地を活用しコースをレイアウトした (Fig. 8)。

4.1. 平面レイアウトの設計

Fig. 4 に示した現地コースの特徴に基づきコース設計をおこなった。Freeway は既設高速周回コースの一部を走行することで代用できることがわかった。City と Suburb は相当する既設コースが無かったため施設エリア内に新設した。Hill は、既設エリア内に現地のような高低差を有していないため、隣接する傾斜地を新たに造成し新設した。

Fig. 9 に Hill コースの特徴を現地と PG で比較した結果を示す。図に示すように、旋回半径と傾斜の関係において現地コースに似た特徴を PG コースに再現することができた。

さらに、現地の特徴の分布比率を維持しながら City, Hill, Suburb, Freeway コースを効率よく巡回できるようにコースをレイアウトし、現地の 35 km のコースを 16 km に短縮した。

4.2. 路面プロファイルの設計

現地の乗心地を再現するため、一般的な道路とテストコースを施設する際の品質要求基準^{(5),(6)}の違いを考慮しながら、路面プロファイルの設計をおこなった。一般道路とテストコースの品質要求特性の概要を Table 1 に示す。

Fig. 7 では、現地コースには波長が 1 m 程度で、振幅が ± 2 mm 以下のうねり成分が多く含まれていることを示していたが、Table 1 に示すように一般道路の基準では ± 2 mm 程度の振幅のばらつきを許容しているため、現地の路面形状を忠実に再現することは容易でない。

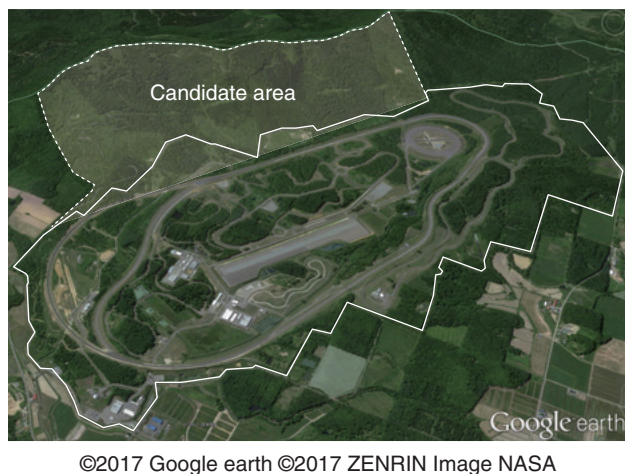


Fig. 8 Candidate area for new US evaluation course

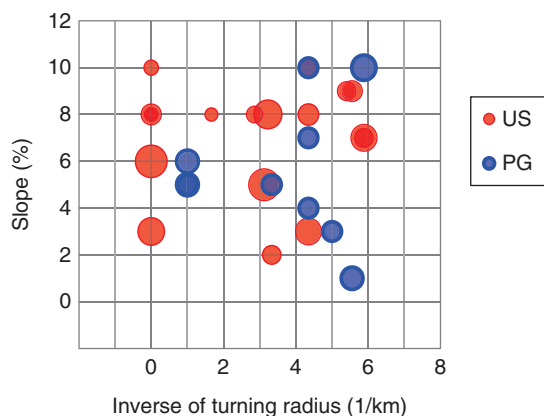


Fig. 9 Comparison of hill course characteristics

Table 1 Quality requirements for road construction

	Public road	Test course	
		High speed oval etc.	Ride road
Purpose	Driving safely for all cars under the law	Testing vehicles safely and stably at high speed	Evaluating vehicle vibration stably for a long period
Function	Stability, durability		
	Flatness	Flatness Surface strength Friction stability	Surface profile Wave length Amplitude
Quality requirement	Height, thickness, width, compaction density etc.		
	Flatness Friction	Flatness, Friction (High grade)	Road roughness Spatial frequency
Validation	Variance (± 2 mm)	—	Tolerance (± 1 mm)
Road structure	Surface course	Spread and leveled pavement made of asphalt mixture	
	Base course		
	Upper sub-base	Spread and leveled pavement made of asphalt mixture or crushed stone for mechanical stabilization	
	Lower sub-base	Spread and leveled structure made of crushed stone for mechanical stabilization	
	Anti-frost layer (Cold region)	Spread and leveled structure made of crushed stone	
	Subgrade	Leveled structure made of shaped soil	

4.3. 路面プロファイル設計値の検証

現地での乗心地振動再現に必要な路面波長と振幅の再現精度を確認するため、台上加振により設計値とする路面振幅の妥当性を検証した。Fig. 10 に現地コースを走行した際の車体振動と、測量によって得られた路面プロファイルで加振した結果に、振幅レベルを補正した測定結果を示す。

この結果、現地での車体振動を再現するためには、測量で得られた路面振幅より小さい ± 1 mm の振幅を忠実に再現しなければ 10 Hz 以上の乗心地振動を再現できないことがわかった。

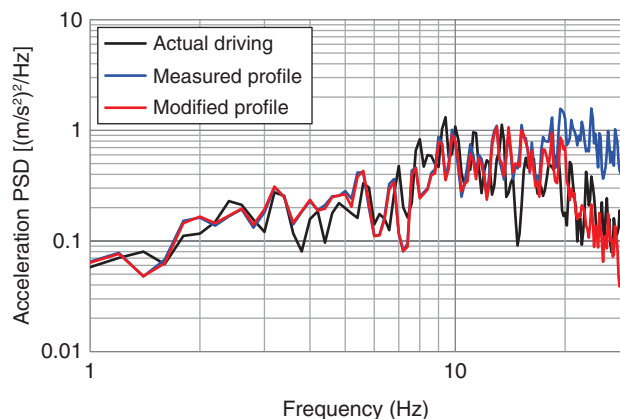


Fig. 10 Road profile correction by 4 poster testing

5. 短波長、微振幅うねりの再現

前述のように、平坦性を重視する一般道のための道路施工方法では乗心地を再現するために必要な 1 m 前後の波長で ± 1 mm の振幅をねらいどおり施工することは容易でない。そこで、通常は平坦性を重視する表層の舗装において、アスファルトフィニッシャを波形形状に加工したガイ

ドレールの上をガイドに沿って走行させることで、ねらいとする 1 m 前後の波長で±1 mm の振幅を忠実に再現するため 3 次元舗装工法と呼ばれる工法を考案し適用した (Fig. 11)。

この工法を用いることにより、Fig. 12 に示すように現地での乗心地を再現するために必要な短波長での路面振幅を設計値どおりに再現することができた。



Fig. 11 Proposed surface paving method

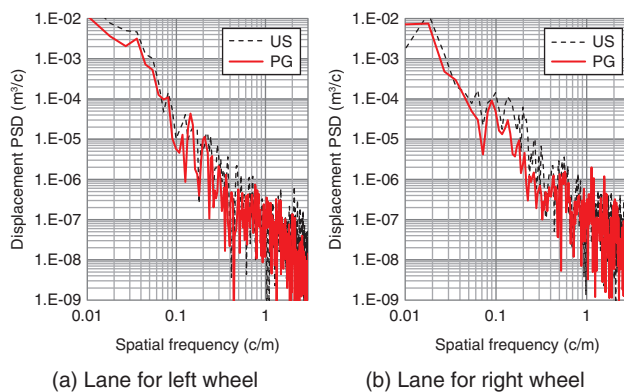


Fig. 12 Comparison of pavement roughness of suburb course

6. 検証結果

完成した新 US コースの概要を Fig. 13 に示す。このコースではスタート地点より高速周回コースの内側に新設した City コースに進出し、City コース終了後は連絡路に沿って高速周回コース下のトンネルをくぐり、図中の矢印に沿って新設した Hill コースにアクセスできる。Hill コースは中央部から入場し両端で U ターンするルートとなっている。高速周回コースの外側に新設した Suburb コースへは連絡路を通して移動することができ、Suburb コースか

ら Freeway コースとして用いられる高速周回コースへは速度を維持して入場できるよう進入レーンを設置して接続した。

この新 US コースでは、Fig. 2 に示した四つのエリアを、Fig. 3 に示した現地コースと同じ順序で走行することができるが、現地で約 35 km あったルートを 16 km に短縮し、かつ、加減速と停止の頻度を少なくしたことにより、現地で約 60 分要した走行時間を 15 分に短縮することができた。

現地走行フィードの再現性を検証するため、現地コースと新設したコースを走行した結果とを比較する。

Fig. 14 に、走行時の横加速度とヨーレートの関係を示す。図に示すように、新 US コース走行時の横加速度とヨーレートの関係は現地と同じ傾きを示していることからテストコースの平面レイアウトが現地コースと同じ特徴を有していることが確認できた。

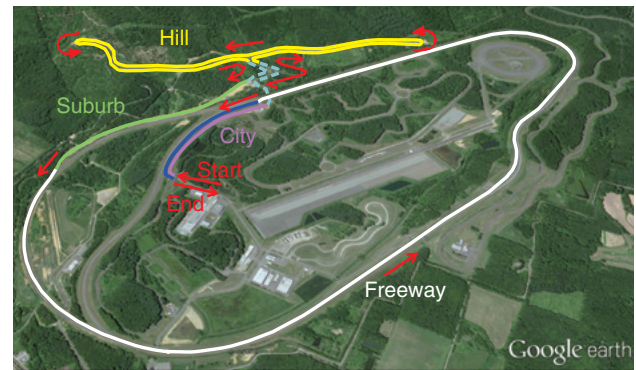


Fig. 13 Overview of new US evaluation course

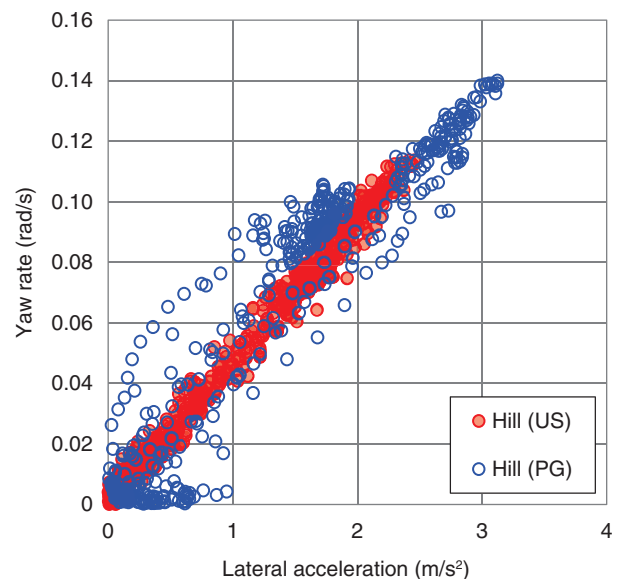


Fig. 14 Comparison of lateral acceleration and yaw rate

Fig. 15 に乗心地フィールが課題となる Suburb 走行におけるシートの上下振動を比較した結果を示す。

図に示すように、新 US Suburb コース走行時の上下振動はねらいとした 10 Hz から 20 Hz の周波数域において現地コースと同レベルの振動となっていることから、テストコースの路面形状が現地コースの乗心地フィールの特徴を再現していることが確認できた。

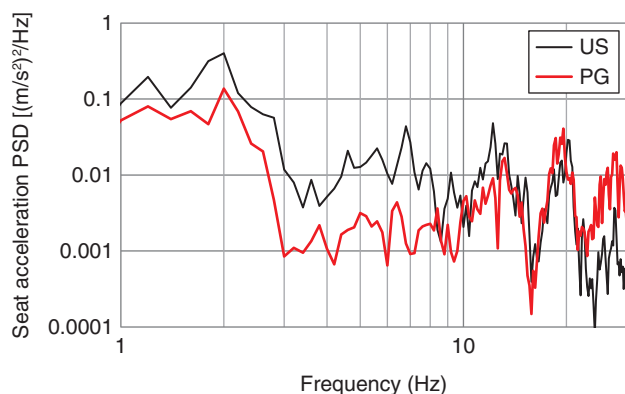


Fig. 15 Comparison of seat vibration during suburb course driving

7. まとめ

北米向けモデルの現地テストを国内で現地より短時間で検証できる鷹栖新 US コースを設置することができた。

- (1) 四つのエリア毎に現地の特徴の分布比率を維持しながら短縮し、現地で 35 km であったコースを 16 km に短縮することで、敷地内に施設できるレイアウトとした。その結果、現地で約 60 分要した走行時間を 15 分に短縮できた。
- (2) 旋回半径と縦断傾斜の関係において現地コースの特徴を再現することで複合的な性能評価ができるようになった。また、コース表層の舗装方法を考案し、路面波長 1 m で振幅 ± 1 mm のうねりをねらいどおり施工することで乗心地の評価ができるようになった。

参考文献

- (1) 豊島貴行, 松澤俊明, 伊藤憲悟, 遠藤喜章, 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) 大滝雄介, 日下馨, 中原淳, 久世正文: ハンドリングと乗心地を両立するための非線形 CAE 技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 151-159
- (3) ISO8068: 1995, Mechanical vibration – Road surface

profiles – Reporting of measured data

- (4) (社)自動車技術会: 自動車技術ハンドブック 1 基礎・理論編, p. 246-247, (2015)
- (5) 国土交通省: 都市・地域整備局長・道路局長通達 舗装の構造に関する技術基準について, (2001)
- (6) 栗津清蔵, 浅野繁喜, 村尾豊, 藤岡宏一郎, 山本竜哉: 絵とき 土木施工, オーム社, p. 93-109, (2012)

■ 著 者 ■



浅田 隆二



松倉 剛克



唐崎 英史



工藤 博之



加藤 紘