

磁界 CAE を用いた Honda スマートキーシステムの 試作車レス開発

Prototype-less Development of Honda Smart Key System using Magnetic Field CAE

丹 田 喜 雄¹
Yoshio TANDA

河 守 俊 明¹
Toshiaki KAWAMORI

要 旨

スマートキーシステムの開発を効率化するため、磁界 CAE を活用し、試作車レスで短時間に LF アンテナの取り付け位置とキー位置の検知性能を検証できる技術を開発した。試作車がない段階でボデーの形状や接合部の導通状態で変化する車室内外の磁界分布を検証するため、衝突 CAE 用のボデーモデルを簡素化し、導通状態を追加して、ボデーとシートのモデルを作成した。磁界 CAE と実験解析の結果、ボデーの形状や導通状態に影響されて変化する LF アンテナがつくる磁界を短時間で解析できることを確認した。さらに、安定した計測精度をもつワイヤレスかつ小型の磁界センサを開発し、解析精度の向上と検証の効率化を実現した。その結果、試作車のない新型車の開発初期段階でスマートキーシステムの開発ができるようになった。

ABSTRACT

In order to increase the development efficiency of smart key systems, a technology was developed that makes it possible to verify the mounting positions and key position detection performance of LF antennas in a short period and with no prototype vehicle using magnetic field CAE. A body model employed in collision CAE was simplified and the state of conduction in the vehicle was added in order to formulate body and seat models to study the magnetic field distribution inside and outside the vehicle, which changes in response to the body shape and the state of conduction between connected sections, at stages of vehicle development during which no prototype exists. The results of magnetic field CAE analysis and tests showed that it is possible to analyze the magnetic field produced by an LF antenna, which changes due to the effect of body shape and state of conduction, in a short period. In addition, a small, wireless electromagnetic sensor displaying stable measurement accuracy was developed, making it possible to increase analytic accuracy and boost the efficiency of studies. As a result, it is now possible to conduct smart key developments at the initial stage of new vehicle development, when no prototype vehicle exists.

1. まえがき

スマートキーシステムの普及により、ユーザはメカニカルキーを鍵穴に差し込むことなく、キーを携帯しスイッチを操作するだけで、自動車のドアのロック、アンロックやパワーユニットの始動などができるようになった。Honda では 2003 年モデルの ACCORD から適用を開始し、現在では Honda スマートキーシステムとして、ほぼすべての車種に搭載している。

Honda スマートキー（以下キー）の検知は Fig. 1 に示す無線通信によっておこなわれる。キーの位置を検知するために、センタコンソールやドアハンドルの中など、車室内外

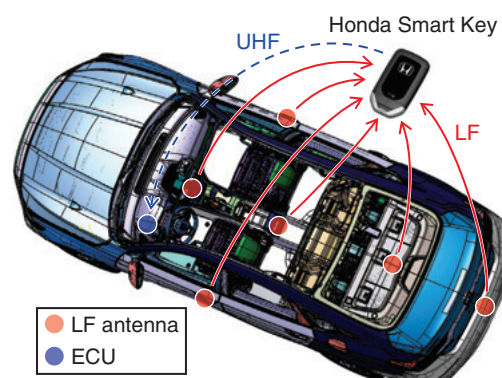


Fig. 1 Wireless communications in Honda Smart Key system

¹ オートモービルセンター

に複数の Low frequency (以下 LF) アンテナが取り付けられている。

LF アンテナに高周波の電流を印加すると周囲に磁界が発生する。この磁界の強さはアンテナからの距離の 3 乗に反比例して減衰する。キーはそれぞれの LF アンテナがつくる磁界の強さを計測し、Ultra high frequency (以下 UHF) 帯の電波を用いて車両に搭載された ECU へ送信する。ECU はこれらの磁界強度の情報から、キーの位置が車室内か車室外かを判断する。

ECU はキーが車室外にあると判断したとき、ドアのロック、アンロックを許可し、車室内にあると判断したときにはパワーユニットの始動を許可する。

また、あらかじめ車両に登録されたキーのみが応答するように設計しているため、イモビライザとして自動車のセキュリティ性能も向上する。さらに、キーの位置情報を利用し、ユーザが車両へ接近したときにドアハンドルの照明を点灯させるスマートウエルカムランプ⁽¹⁾ (Fig. 2) や、足先でテールゲートを開閉できるハンズフリーアクセスパワーテールゲート⁽²⁾ (Fig. 3) など自動車の利便性向上にも活用されている。

一方で、キー位置の誤検知はキーの車室内への閉じ込めや誤ったパワーユニット始動の要因となるため、キー位置を正しく判断できるように設計する必要がある。

しかし、多くの自動車のボデーは導体である鉄鋼材やアルミニウム合金などでつくられている。LF アンテナがつくる磁力線は導体の影響によって曲がる特性があるため、車室内外の磁界の広がり方は車両デザインや導体部品同士の導通状態によって変化する。



Fig. 2 Smart Welcome Lamp



Fig. 3 Power Tail Gate for hands-free access

そのため、スマートキーシステムの開発では新型車の開発ごとに LF アンテナの取り付け位置を決め、キー位置の検知性能を検証する必要がある。また、ミニバンに 2 列シート仕様と 3 列シート仕様があるように、同一車種にも異なる車両仕様がある。車室内外の磁界の広がり方が異なると考えられる場合には、その仕様ごとに検証する必要がある。

新型車の開発では初期に既販量産車の構造の一部を変更した車両を用いて、キー位置の検知性能を検証している。しかし、確認に用いた車両と新型車では車両デザインと構造が異なるため再度検証をおこなっているが、目標とする検知性能が得られなければ LF アンテナの取り付け位置を変更するため周辺部を含めた設計変更が必要となる。

近年は、自動車の開発日程短縮のため試作車レス開発^{(3), (4)}が進んでおり、スマートキーシステムにもその対応が要望されている。そこで、試作車レスでスマートキーシステムを開発するため、新型車の開発初期段階で LF アンテナの取り付け位置とキー位置の検知性能を評価できる磁界 CAE を活用したシミュレーション技術を構築した。

2. 開発のねらい

試作車レスでスマートキーシステムの評価ができるシミュレーション技術を構築するにあたり、開発のねらいを以下に示す。

- (1) 新型車の開発初期段階で入手できるデータが活用できること。
- (2) LF アンテナの取り付け位置とキー位置の検知性能を評価できること。
- (3) 量産開発における実用的な時間内で計算できること。

3. 磁界 CAE モデル

LF アンテナが車室内外につくる磁界を解析するため、磁界 CAE で用いるモデルを開発した。

3.1. ボデーモデル

ボデーモデルは車両デザインの違いによって車室内外での磁界の広がり方が変化的ことから、新型車の開発ごとに作成する必要がある。そこで、ボデーモデルを効率的に開発するため、自動車の衝突 CAE で用いるボデーモデル⁽⁵⁾をベースに磁界 CAE モデルを作成した。

しかし、衝突 CAE 用モデルは衝突時のボデー変形を再現するため、各部品の形状が詳細にモデリングされていることから、解析計算に時間を要する。そこで、計算時間を短縮するため、磁界 CAE 解析に必要な要素のみを抽出し、モデルを簡素化した。さらに、導体部品同士の導通状態を追加した。

3.2. シートモデル

シートモデルもボデー同様に磁界 CAE 解析に必要な要素のみを抽出し、モデルを簡素化した。

磁力線がループ構造の導体を通過するとき、電磁誘導により、その導体に誘導電流が流れる。この誘導電流がつくる磁界によって磁力線がねじ曲げられ、磁界分布に乱れが生じる。そのため、導体ループ構造を有する部品の中でも比較的大きく、複雑な構造であるシートが車室内外の磁界分布に大きく影響を及ぼす。

また、シートレールやシート可動部は、シートの位置や金属表面に形成される酸化被膜の影響により導通状態が変化する。そこで、シートの導体ループ構造を構成するシートフレームの各骨組み同士の導通状態を追加した。

3.3. LF アンテナモデル

LF アンテナは全長が約 60 mm のフェライトコアにコイルを巻いたアンテナである。磁界 CAE モデルでも、フェライトコアの寸法および透磁率、コイルの巻数、線径およびインダクタンスなど、実際の LF アンテナと同等の形状と電気的特性を再現した。

ボデー上に取り付けた LF アンテナがつくる磁界分布の再現性を確認するため、金属板上に LF アンテナを置いた条件で、実験による計測と磁界 CAE を用いた解析の結果を比較した。フロア上にキーを置いた状態を想定し、金属板から 50 mm の高さの位置で比較した。

磁界 CAE 解析には、市販の電磁界シミュレーションソフトウェア CST Studio Suite と汎用ワークステーションを用いた。解法には有限要素法 (Finite element method: FEM) を用いた。

磁界の強さと LF アンテナからの距離との関係を Fig. 4 に示す。解析誤差は最大で 8 % であった。距離に換算するとキー 1 個分よりも小さく、開発初期段階でキーの位置が

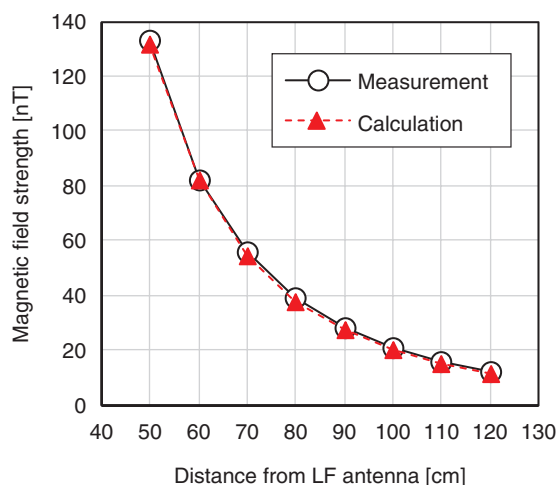


Fig. 4 Relationship between distance and magnetic field strength in measurement and CAE results

車室内か車室外かを判断する上で十分な精度であると判断した。

つぎに、車室内中央付近に取り付けた LF アンテナによる磁界分布の解析例を Fig. 5 に示す。LF アンテナを実車と同じ位置、角度でボデーモデル上に配置し、LF アンテナがつくる磁界分布を解析した。

その結果、磁界 CAE により LF アンテナがつくる磁界が車室内でシートなどの導体部品の影響により不均一に広がる様子と、ボデーやドアで遮蔽される様子を検討できることが確認できた。

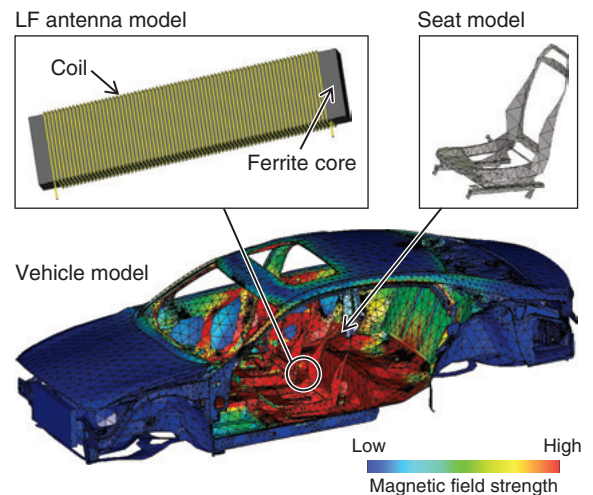


Fig. 5 Magnetic field analysis using CAE

4. 磁界 CAE の検証

磁界 CAE を用いてシートフレームの導通状態が磁界分布に及ぼす影響を確認した。そして、磁界 CAE の実車状態での磁界分布の再現性を実験による計測結果と比較して検証した。

4.1. 実験用シート

シートフレームの導通状態が磁界分布へ及ぼす影響を確認するため、シートフレームの各骨組み同士の導通状態を自由に変更できる実験用シートを作成した (Fig. 6)。

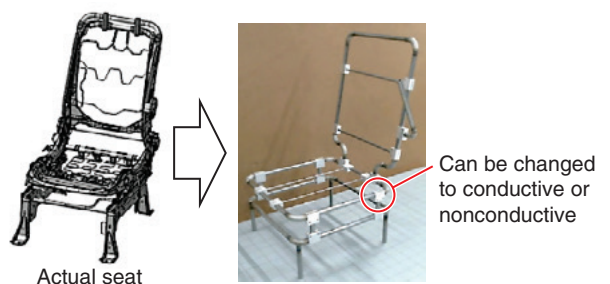


Fig. 6 Experimental seat

実験用シートは自動車のシートの主要構造を抽出し、シートフレームの各骨組みの結合部の材質は導電性の異なる金属製と樹脂製から選択できるようにした。結合部がすべて樹脂製で骨組み同士がすべて絶縁された状態を完全非導通と定義した。また、結合部がすべて金属製で骨組み同士がすべて導通の状態を完全導通と定義した。

4.2. 磁界センサの開発

キーはカップホルダやコンソールボックスの中などの狭い場所に置かれることが考えられる。そのため、スマートキーシステムの開発では、車室内のさまざまな狭い場所でもキー位置を検知できることを検証する必要がある。

そこで、キーと同程度の大きさでナノテスラオーダの磁界を計測できる小型でワイヤレスの磁界センサを開発した (Fig. 7)。

さらに、計測結果に含まれる計測器の計測精度や受信指向性などによる計測誤差を明らかにすることで、解析精度の検証を効率化した。

4.3. シートフレームが磁界分布へ及ぼす影響

シートフレームの導通状態が磁界分布に及ぼす影響を確認するため、磁界 CAE を用いて実験用シートの導通状態を完全非導通および完全導通としたときの磁界分布を検証した。

実験用シートと LF アンテナは自動車のフロアパネルを模擬した金属板上に設置した。完全非導通のシートは金属板から絶縁し、完全導通のシートは金属板と導通させた。

磁界 CAE を用いて解析した完全非導通および完全導通のシートにおける磁界分布の比較を Fig. 8 に示す。完全非導通のシートでは磁界が均一に広がり、完全導通のシートでは磁界の広がりが妨げられていることから、シートフレームの導通状態によって磁界分布が変化することが確認できた。

磁界 CAE を量産開発に適用するためには、シートの状態に関わらず、キーの位置を検知できるようにする必要がある。そこで、シートフレームが磁界分布へ及ぼす影響を最大限に考慮するため、シートモデルは完全導通とし、シートとフロアパネル同士も導通状態とすることとした。

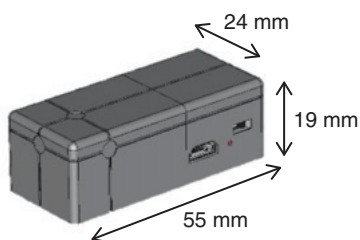


Fig. 7 Magnetic field sensor

4.4. 車室内での磁界分布の再現性

磁界 CAE の解析精度を確認するため、実車を用いて解析結果の相関性を検証した。

シートフレームの導通状態の寄与を確かめるため、運転席に実験用シートを 1 脚だけ完全導通の状態で配置した。このとき、シートとフロアパネルも導通状態とした。

車室内中央付近に取り付けた LF アンテナがつくる磁界分布の計測と解析の結果を Fig. 9 に示す。

磁界センサの計測誤差を加味しても、計測と解析の誤差は最大でも 10% であった。

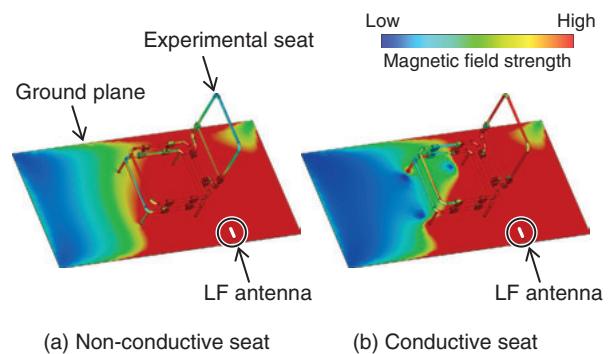


Fig. 8 Comparison of magnetic field distribution with conduction difference in seats

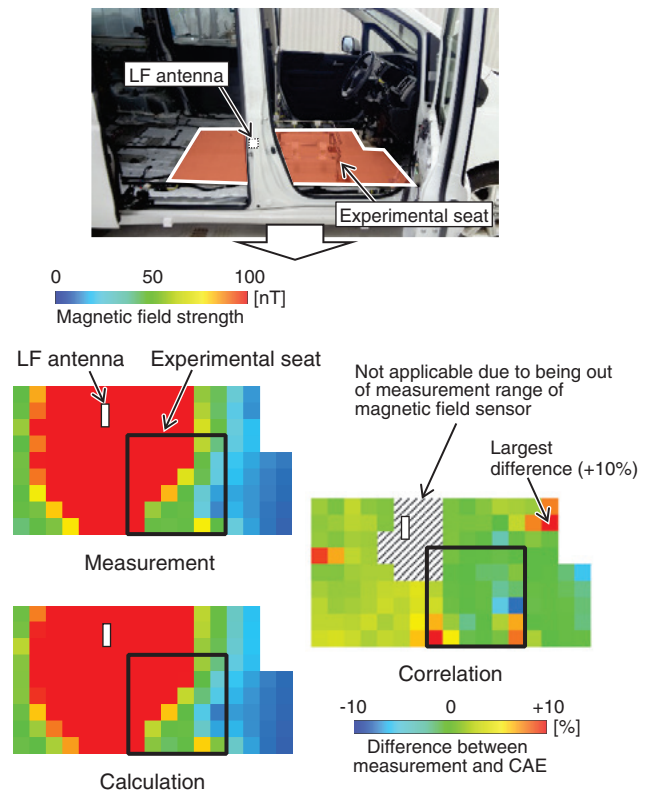


Fig. 9 Comparison of magnetic field distribution in measurement and CAE results for actual vehicle with experimental seat

これは距離に換算してキー1個分よりも小さな誤差であるため、磁界 CAE により実車の車室内のキー位置が十分な精度で予測できることが確認できた。

5. 実機確認

5.1. LF アンテナの配置検討

磁界 CAE を用いて車室内に取り付ける LF アンテナの配置を検討した一例を紹介する。

車室内では、インストルメントパネル、センタコンソール、そして、トランクルームに LF アンテナを取り付けているが、セダンではトランクルーム周辺の構造が複雑なため、車室内後方でのキー位置の検知が課題となる。

そこで、磁界 CAE を用いてセダン車の車室内後方でのキー位置の検知性能を、複数の LF アンテナ配置案から検討した。センタコンソールに配置した LF アンテナの磁界分布を解析した結果を Fig. 10 に示す。

解析結果より LF アンテナの取り付け位置がわずかに異なるだけでトランクルーム周辺の磁界分布が変化することが確認できた。

この例では、車室内後方でのキーの検知性能を向上するため車室内後方へ均等に磁界が広がるC案を採用した。

磁界 CAE により、実車を用いた評価をおこなうことなく、LF アンテナの配置を検討できるようになった。

5.2. キー位置の検知性能

シートフレームの導通状態により車室内外の磁界分布が変化するため、どのようなシートフレームの導通状態でも正しくキー位置を検知することが課題となる。

そこで、シートフレームが磁界に及ぼす影響を確認する

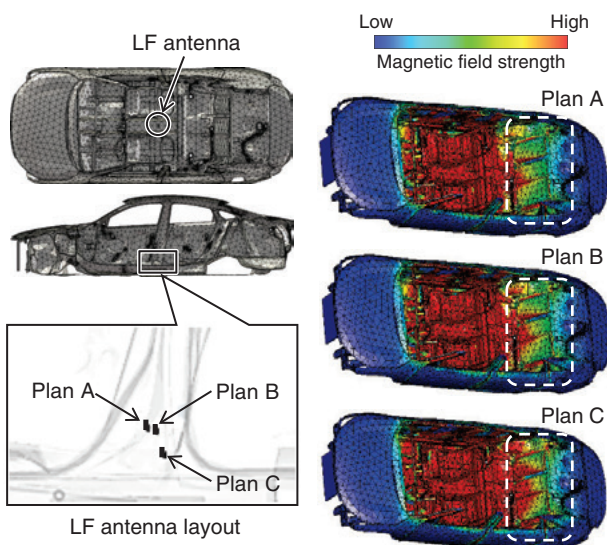


Fig. 10 Determining optimum layout from multiple antenna layouts

ため、3列シート仕様のミニバンの量産車を用いて検証した。車室内では、LF アンテナをインストルメントパネル、車室内中央付近のフロア上、そして、カーゴルームに配置した。

シートによる影響が最も大きい車室内中央付近のフロア上に配置した LF アンテナによる車室内外の磁界分布の計測と解析の結果を Fig. 11 に示す。

車室外へ漏れた磁界の分布を Fig. 11 (a) に示す。LF アンテナに近いフロントドアとリヤドアのすき間からの漏れが大きいことが確認できた。磁界 CAE で予測した磁界分布の様子や漏れが最大となる位置はおおむね一致した。

車室外でキー位置を正しく検知するため、磁界 CAE で得られた磁界の漏れの最大値を基準とし、この基準値よりも磁界が小さい範囲にあるキーの位置を車室外と判断するようにした。

つぎに、車室内の磁界分布を Fig. 11 (b) に示す。この基準値よりも磁界が大きい範囲にあるキーの位置を車室内と判断するようにした。磁界 CAE で予測したキー位置が車室内と判断する範囲は計測結果とおおむね一致した。

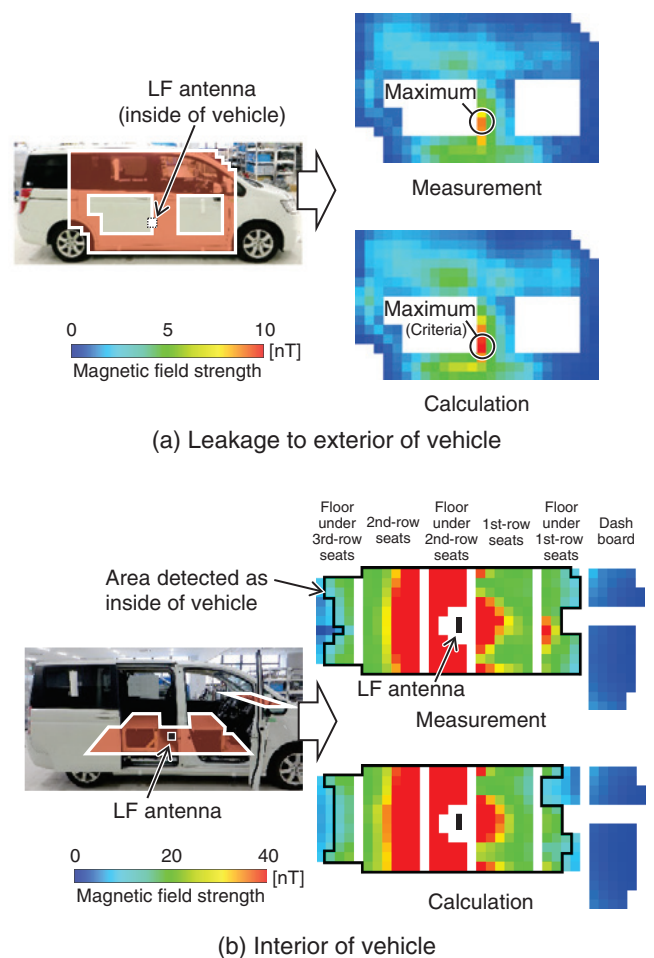


Fig. 11 Comparison of magnetic field distribution inside and outside mass production vehicle in measurement and CAE results

開発の初期段階でキー位置の検知性能を評価するにあたり十分な精度で予測できることが確認できた。

5.3. モデルの開発期間および計算時間

4 ドアセダン車の量産開発で、衝突 CAE 用のボデーモデルを用いて、磁界 CAE 用のボデーモデルとシートモデルを作成した。作成期間は合計で約 1 ヶ月であった。

車室内に LF アンテナを 1 個配置したモデルにおける計算時間は約 5 時間であった。

磁界 CAE を用いることにより、LF アンテナの取り付け位置を検討した後、適時に解析できることから、実車を用いた評価よりも効率的に検証ができるようになった。

以上より、新型車の量産開発の初期段階で入手できるデータから磁界 CAE モデルを作成し、実車を用いた評価よりも短時間でスマートキーシステムの評価ができることを確認できた。

6. まとめ

磁界 CAE を用いて、自動車開発の初期段階で適用できるスマートキーシステムの開発技術を構築した。

以下に、開発技術の概要を示す。

- (1) 自動車開発の初期段階で入手できるデータから、短時間で磁界分布を検討できる車両モデルを構築する技術を開発した。
- (2) 磁界 CAE の解析精度を検証するため、計測誤差が明確で車室内外の磁界計測ができる小型の磁界センサを開発した。
- (3) 実験用シートを用いた検証により、解析誤差の主要因がシートフレームの導通状態であることを確認した。
- (4) 磁界 CAE による解析結果を用いてスマートキーシステムの検証ができることを確認した。
- (5) 開発技術が量産開発に適用可能であることを確認した。

参考文献

- (1) https://www.honda.co.jp/factbook/auto/LEGEND/201411/LEGEND_1411.pdf
- (2) https://www.honda.co.jp/factbook/auto/CR-V/201808/CRV_201808.pdf
- (3) 深澤将弘，雲丹亀真剛：試作車レス開発を考慮した自動車空調用ホース振動伝達予測，Honda R&D Technical Review, Vol.30, No.2, p.83-88
- (4) 吉田俊秀，浜田康，沼元正樹，稲田貴裕：磁界 CAE を用いたアドバンストキーレス開発，マツダ技報，No.30, p.181-185, (2012)
- (5) <https://www.honda.com/safety/virtual-and-real-world-tests/>

■ 著 者 ■



丹田 喜雄



河守 俊明