



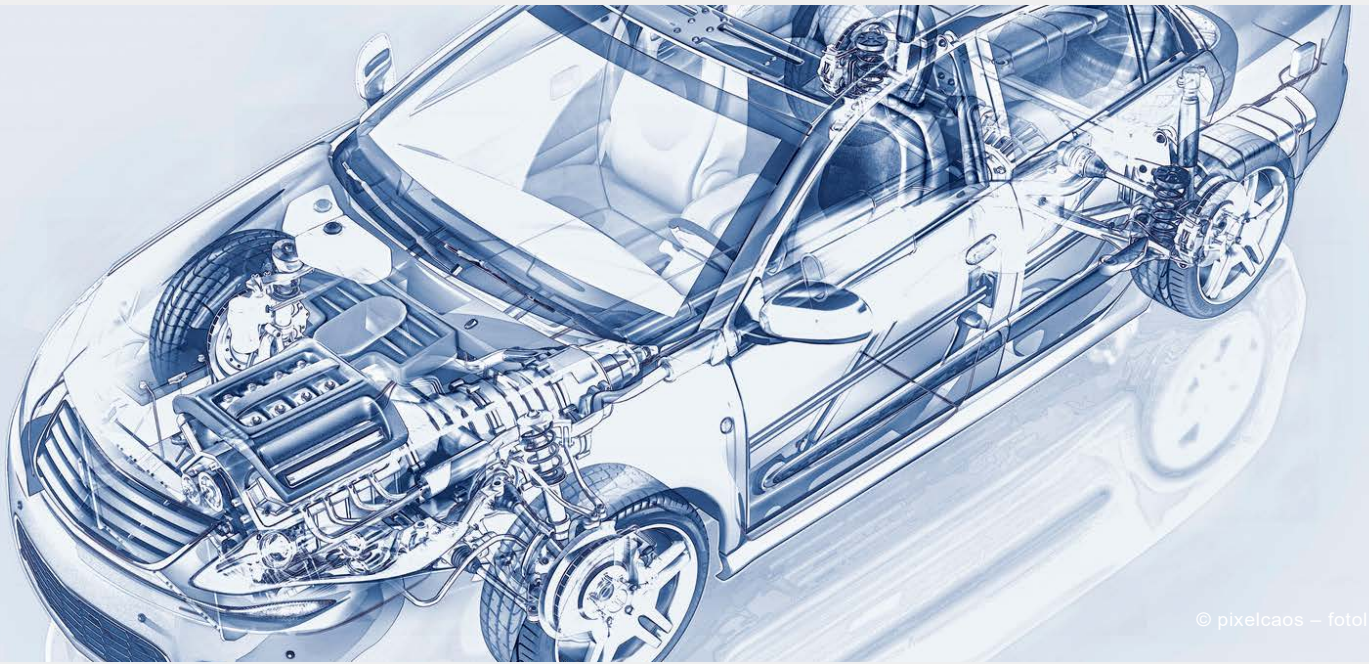
IPG Automotive 株式会社

ステアリング・イン・ザ・ループ・テストベンチ

SOLUTIONS FOR VIRTUAL TEST DRIVING

# 目次

開発の目的	3
システムの紹介	4
概要	6
ブロック図（構成例）	7
使用事例	8
最適化の事例 – ECU の最適化	
最適化の事例 – ステアリング・システムの最適化	
製品リリースの事例 – 重要保安部品の検証	
製品リリースの事例 – リリース・テスト	
システムの機能	10
アド・オンと統合による効果	11
<b>CarMaker®</b> / <b>HIL</b> による相乗効果	
追加 ECU と <b>FailSafeTester</b> の統合	
<b>SystemExperiencePlatform (SEP)</b> の活用	
提供するコンポーネント	12
データ・シート	13
テストベンチでの試験結果	13
用語の解説	
ステアリング・ホイール・アクチュエータの制御性能	
リニア・アクチュエータの制御性能	



## 開発の目的

最先端のステアリング・システムの領域において、開発プロセスの全体で、これまで以上の開発工数が必要になっています。特にステア-バイ-ワイヤ・システムのように機械部品と ECU 間が電氣的に接続されたシステムでは、複雑な相互作用が原因で、従来のシステムに比べて要件がますます複雑になっています。

試作車両の入手が困難なため、少なくとも開発の初期段階で実走試験は行われません。

また、ステアリング・システムと協調するその他の ECU の影響で、検証に求められる運転パターンも複雑になってきました。ステアリング・システム固有の特性を検証するためには、できる限りその他の物理的な部品を排除する必要があります。

高度に自動化された自律走行についても、ステアリング・システムの効率的な開発と検証が、ますます重要です。ステアリング・システムに連動するたくさんのサブ・システムにより、試験と検証がさらに困難になっているからです。

## システムの紹介

### 電源ラック

アクチュエータ用の 400V、  
125A の電源



### Xpack4 ( 統合 HIL )

CarMaker®、テストベンチ・コントローラ  
(電源供給ユニットとオプションの追加ユニット) を  
含むリアルタイム・システムを搭載

### ステアリング・ラック・アクチュエータ

高精度な位置決め制御の実現および  
ラック変位量の測定

## ステアリング・ホイール・アクチュエータ

ステアリング・ホイールで  
発生トルクと角度を忠実に再現



## ステアリング・システム

供試体は  
完全なステアリング・システム

## 概要

ターンキー・ソリューションであるステアリング・イン・ザ・ループ®テストベンチは、実車のステアリング・ホイールからタイロッド付きのステアリング・ラックまでを組み込み、実車相当の試験と検証を実現しています。

### 搭載される主なコンポーネント

- ・ 低振動／振動減衰ベース・プレート
- ・ 電源ラック（電源供給ユニット）
- ・ 2つのリニア・アクチュエータ
- ・ ステアリング・ホイール・アクチュエータ
- ・ ステアリング・ユニット用のガイド／調整ユニット
- ・ アクチュエータの制御と各状態量の記録用 **Xpack4** リアルタイム・システム

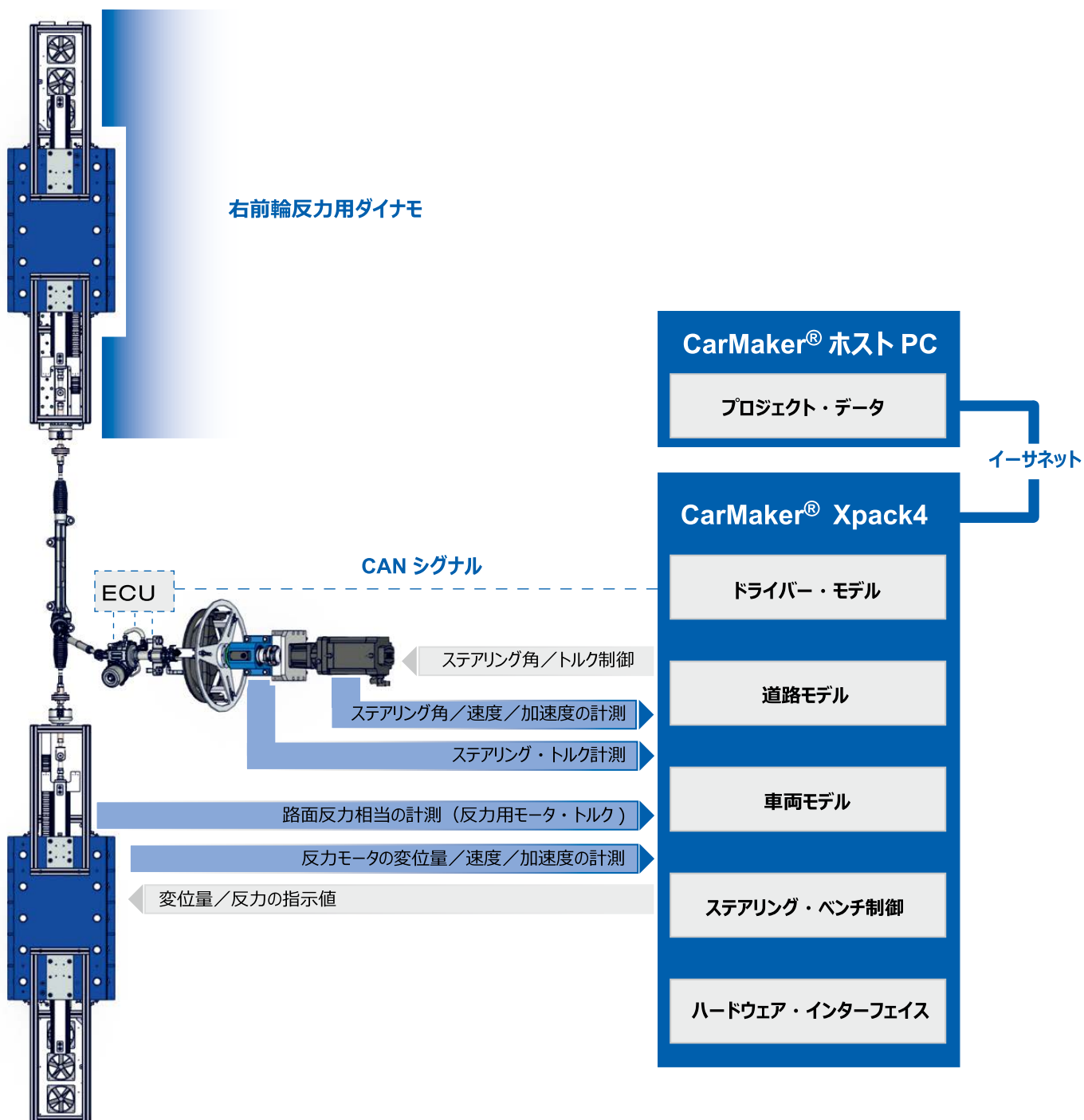
優れた柔軟性を備えるこのシステムは、お客様固有のステアリング・システムにすばやく簡単に適応します。すべてのアクチュエータは、路面反力、ラック移動量（トラック・ロッドのリニア・アクチュエータ）、ステアリング・トルク、または角度（ステアリング・ホイール・アクチュエータ）に応じて個々に制御されます。各種センサで計測された状態量と **CarMaker**® シミュレーション環境を組み合わせることで、実際のステアリング操舵を再現し、ステアリング特性の検証が可能なクローズド・ループ・システムが構築されます。

このステアリング・イン・ザ・ループ®システムにおいて、ステアリング・ラック両端にあるリニア・モータは、実車で走行した際の路面反力を発生する完全なハードウェア・イン・ザ・ループ機能を持っています。これにより、革新的なステアリング・システムを実車と同等の路面負荷で試験することが可能になります。

ステアリング・システムの伝達関数を正確に特定するために、反力用モータは周波数応答特性の優れたモータを選定します。

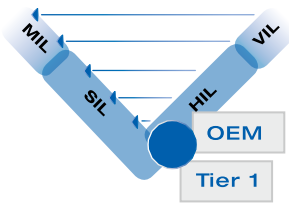
そのため、道路のくぼみに起因する外乱、振動を忠実に再現した試験ができます。ソフトウェアのリリース試験を実施するために、テストベンチに接続された車両シミュレーション・モデルにより、実際のステアリング・システムをバーチャル環境で実車試験可能な環境を提供します。ドライバのハンドル操作を伴わないオープン・ループ試験に加え、車線変更やニルブルクリンクのようなサーキット走行などドライバのランダムなステアリング操舵が必要な試験も、**IPGDriver** を使用してシミュレーション環境で実現できます。実質的にどんなに複雑な運転操作を伴うクローズド・ループ操舵も、**CarMaker**® の統合プラットフォームを活用することで極めて容易に構築できます。実車試験からテストベンチへの試験へ切り替えることで、再現可能な路面反力を作り出すことが出来るメリットももたらされます。

## ブロック図（構成例）



## 使用事例

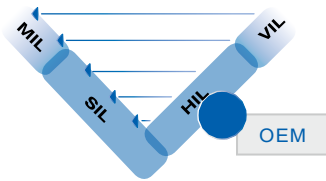
### 最適化の事例 – ECU の最適化



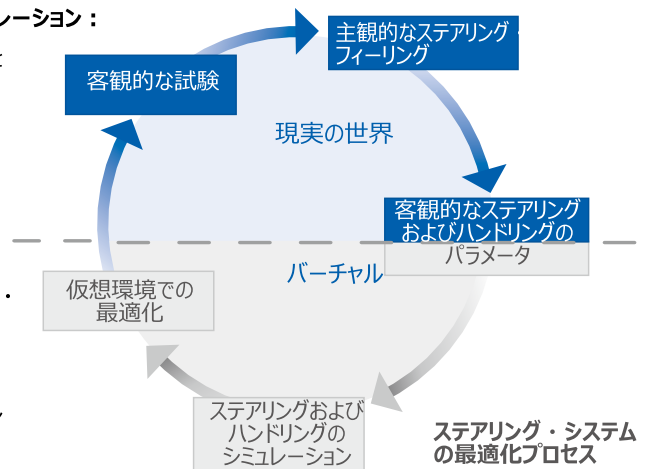
- フェイル・セーフ・テスト：**  
 あらゆる種類の電气的エラーを、リアルタイムに生成できます。エラー発生時の車両挙動の検証と電動パワーステアリング・システムのエラー・ハンドリングの検証のために重要な試験です。
- 機能試験：**  
 試験の自動化を基礎とするテストベンチを使用して、すべての領域での制御装置の挙動を試験できます。
- 性能試験：**  
 極限走行状態を実現するドライバ操舵を、ドライバや試験供試体に対する危険を伴うことなく、テストベンチで効率的に再現されます。
- ECU キャリブレーション：**  
 ステアリング・システム全体を容易に交換できることに加え、制御装置 (ECU) または ECU 内のソフトウェア・バージョンを簡単に変更することができます。ここでは、様々なパラメータの設定や異なるアプリケーションの試験が可能のほか、ECU 内適合変数の最適化もわずかな時間で完了します。



### 最適化の事例 – ステアリング・システムの最適化



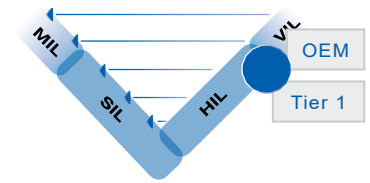
- ベンチマーキングと特性評価：**  
 ベンチマーク試験は、開発の初期段階で実施されることが多くあります。複数のステアリング・システムを、ステアリング以外は常に同じ環境で実現するため、各供試体の差分から、問題の要因を効率的に特定し、分析することができます。また、ステアリング・システム全体は、実験室の同一条件で常に検証されます。制限のないパラメータ設定により、ステアリング・システムの動特性を効率的に決定する事ができるようになります。
- ステアリング・フィーリングのキャリブレーション：**  
 事前にキャリブレーションされた ECU をテストベンチで自動的に始動できます。制御精度、快適性、オンセンター・フィーリングなど、ステアリング挙動の主観的な評価基準が繰り返し実行され、システムのハードウェア側パラメータが最適化されます。ステアリング・システム (実機) とシミュレーション環境の融合により、再現性の高い試験結果が常に得られます。オープン／クローズド・ループ操舵でのハンドリングや快適性の基準は、統計的観点から特定、分析、評価されます。



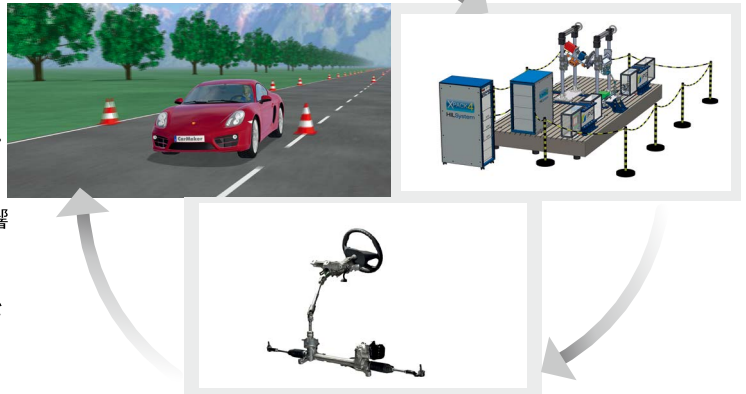


## 製品リリースの事例 – 重要保安部品の検証

テストベンチの設計次第では、供試体のハード的な保護を達成しつつ、車両モデル等のソフトウェアと試験設備を融合することで、制御効果の確認並びの様々な相関取り試験が実施可能となります。また、ISO26262（特に ASIL-C および ASIL-D）に規定される ASIL 分析が実施できます。



- SSP（ステアリング・スタビリティ・プログラム）などの**ハードウェア制御システム**は、完全に、または、部分的にシステムへ統合可能です。統合された検証システムは、ステアリング・システムへの影響度合も分析できます。自動化された運転操作については、個別のステアリング・システムへの影響度合いも分析できます。自動化された運転操作については、個別のステアリング介入による影響を複雑な複合システムへ実装することも可能です。
- ソフトウェア制御システム**は、開発初期段階での試験が可能なほか、システムへの影響も分析されます。これにより、特に**高度に自動化された自律走行向け**の試験の実施をステアリング関連機能を破壊することなく実施できます。



## 製品リリースの事例 – リリース・テスト



© fotomek – fotolia

テストベンチの完全なクローズド・ループ化により、複雑な操舵をシミュレーションすることも可能です。つまり、基本的にステアリング・システムにおけるすべてのリリース・テストに必要なドライバ操舵（駐車機能、急旋回など）を対象とする実際のリリース試験に先立ち、バーチャル・テスト・ドライブの実施と分析ができます。結果として、高額な費用のかかる実走行試験を大幅に削減できます。

## システムの機能

- ・ テストベンチのハードウェア、モデル統合可能なソフトウェアを組み合わせることで、各コンポーネントごとに発生する信号の送受信で考慮すべき**レイテンシ時間を大幅に短縮**することができます。また、もっとも複雑なクローズド・ループでの操舵を行うことも可能です。
- ・ 本システム向けにカスタマイズされたアクチュエータ（モータ）によって、**路面反力が詳細に再現**されるため、極めて制度の高いステアリング試験結果を入手できます。
- ・ TestManager と TestWare の使用を組み合わせることで、ステアリングの最適化を目的とするすべての試験カタログを自動化できます。これにより、故障診断の解析にも大いに役立ちます。

## その他のメリット

- ・ テストベンチを使用することで、**ベンチマーキング試験**での大幅な効率の改善が実現します。  
実際のステアリング・システムは、実験室の条件で分析、評価されるため、実走行試験に費やされる時間が節約されます。
- ・ 開発の初期段階で**検証**を行うことが可能なため、実際の試験車両、部品、その他のプロトタイプは必要ありません。  
これにより開発期間短縮とコストの大幅な削減が実現します。
- ・ **さまざまな車両モデル**を対象とするステアリング・システムのプロトタイプを、わずかな時間で試験できます。  
実試験では必要なハードウェアの構成変更は、テストベンチでの単純な実装に簡素化されます。また、検証範囲が拡大することで安全性のレベルが高まります。
- ・ **検証品質の向上**により、車両試験にかかる工数削減が見込まれます。
- ・ 試験結果と検証は、完全に**再現可能**であり、人間の影響や環境条件に左右されません。また、試験のオペレータや使用部品の危険性が最小化されます。

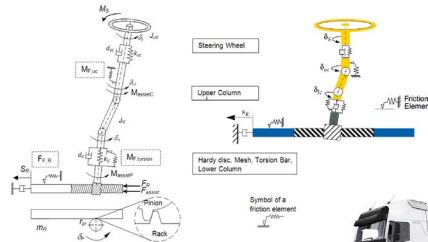


## アド・オンと統合による効果

### CarMaker®/HIL による相乗効果

最高レベルのオープンな統合を活用

- 供試体以外のハードウェアは、すべてシミュレーション環境で実現され、HIL のハードウェアでリアルタイム演算されます。
- 検証にも活用できるモデル・ライブラリ (タイヤ、サスペンション、MBS 軸など) が簡単に選択できます。
- 高度なドライバと車両のクローズド・ループ走行を対象とする IPGDriver モデルを活用できます。



### 追加 ECU と FailSafeTester の統合

- Xpack4 (統合 HIL) システムでは、ラック内に追加 ECU 用トレイを備えることで、追加の ECU に接続可能となります。高度な再現性を備える複雑な環境での機能試験は、ステアリング・システム (オプションの EPS-ECU など) と ESC などのコンポーネント間での協調制御の確認ができます。
- FailSafeTester の活用により、電源の断線、各種センサ類の断線およびバッテリー/グラウンドへの短絡などの試験が自動的に実行できるようになります。

### SystemExperiencePlatform (SEP) の活用

- 特にクローズド・ループ操舵での、主観的なステアリング・フィーリング検証では、ステアリング・ホイール・アクチュエータや仮想ドライバーのアルゴリズム、または、人間による試験走行モデルを、マウスのクリックで選択できます。
- その逆も同様に、ステアリング・イン・ザ・ループのテストベンチでは、SEP の実際的なステアリング挙動を再現します。



CAN 通信



SystemExperiencePlatform(SEP)

## 提供するコンポーネント

基本的な構成（ECU との統合は無し）では、下記のコンポーネントを搭載するテストベンチが提供されます。

ステアリング・イン・ザ・ループ	エンジニアリング 製作／構築／システム統合	Xpack4 サブラックを備える リアルタイム・コンピュータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源ユニット アクチュエータ用の電源 (430V, 125A)</li> <li>・ステアリング・ラック・アクチュエータ・ユニット (左／右)</li> <li>・ステアリング・ラック調整ユニット</li> <li>・ステアリング・ホイール・アクチュエータ</li> <li>・ステアリング・ホイール／ステアリング・コラムの高さ調節ユニット</li> <li>・ベースプレート</li> <li>・基本的な機械安全部品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源ユニット</li> <li>・ステアリング・ラック・アクチュエータ・ユニット (左／右)</li> <li>・ステアリング・ラック調整ユニット</li> <li>・ステアリング・ホイール・アクチュエータ</li> <li>・ステアリング・ホイール／ステアリング・コラムの高さ調節ユニット</li> <li>・ベースプレート</li> <li>・配線を含む機械安全部品</li> <li>・テストベンチ制御ソフトウェア拡張</li> <li>・機能試験</li> <li>・ドキュメンテーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>SBC-F19P-3U</b> F19P Core 2 Duo シングル・ボード・コンピュータ／ 3U cPCI、 Intel 2.26 GHz デュアルコア、 4096MB の RAM、 2x GigEthernet、USB</li> <li>・ <b>IO-D203-08</b> cPCI キャリアボード D203-08-6U、 4 つの M- モジュール向けスロット、A24 対応</li> <li>・ <b>SR19-3-C</b> 19/3U SubrackcPCI</li> <li>・ <b>IO-M51 4 つの CAN インターフェース</b> ISO 高速 CAN インターフェース、 4 つの独立チャンネル</li> <li>・ <b>IO-M36N-00 - アナログ入力、 16 ビット、シングル・エンド</b> 16 ビットのアナログ入力、 16 のシングル・エンド・チャンネル</li> <li>・ <b>IO-M31 バイナリ入力の共通基盤</b> 16 のバイナリ入力、 グラウンドへのスイッチング</li> </ul>

上記には、個別に関連する安全規則、要件、条約に対する調整は含まれていません。

運用には、CarMaker® ソフトウェアなどの追加コンポーネント、または、電気ステアリング制御ユニットの統合が必要です。

## データ・シート

<b>2つのリニア・アクチュエータ・モジュール</b>		
最大反力 (左右それぞれ)	12000 N	
平均反力 (左右それぞれ)	5000 N	
アクチュエータの可動範囲	+/- 200 mm	
最大速度	+/- 1m/s	
静的精度 (偏差)	6 N 未満	
過渡的精度 (偏差)	55 N 未満	
レイテンシ時間	5 ms	
<b>ステアリング・ホイール・アクチュエータ・モジュール</b>		
ピーク時トルク	120 Nm	
平均トルク	50 Nm	
最大ステアリング・ホイール速度	1800 deg/s	
静的精度 (偏差)	0.02 deg 未満	
過渡的精度 (偏差)	1.3 deg 未満	
レイテンシ時間	5 ms	
<b>Xpack4 リアルタイム・システム (基本構成)</b>		
リアルタイム・コンピュータ	F19P (シングルボード・コンピュータ)	
CAN インターフェース	M51 (I/O カード)	
アナログ入力	M36N00 (I/O カード)	
アナログ出力	M31 (I/O カード)	
バイナリ入力		
バイナリ出力		

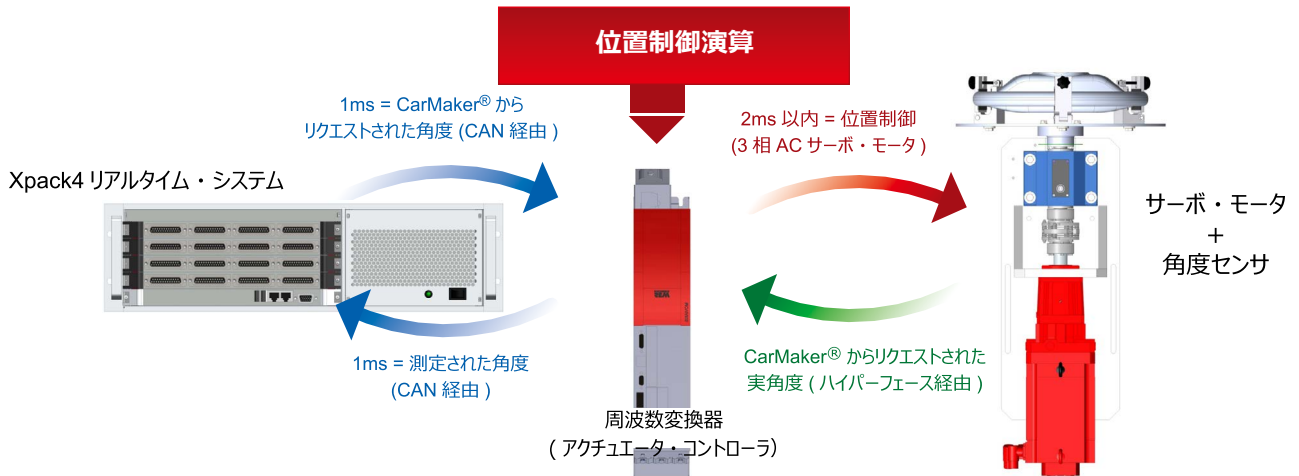
## テストベンチでの試験結果

### 用語の解説

- レイテンシ時間** : 新しい設定値のリクエストからアクチュエータが応答するまでの時間。通信遅延や周波数変換器の内部遅延によって発生する。
- 応答時間** : 新しい値を設定するための制御ループ全体 (ステップ応答) の時間遅延。反力センサがリクエスト値を測定するまでの反力制御、時間遅延など。
- 精度** : リクエスト値とセンサ測定値の偏差

# ステアリング・ホイール・アクチュエータの制御性能

## 制御ループ

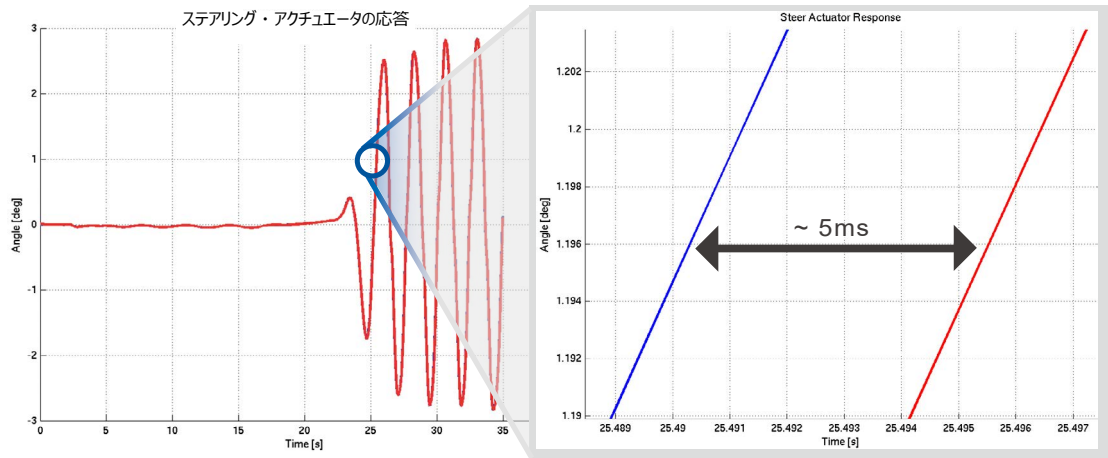


制御ループ中のレイテンシと応答

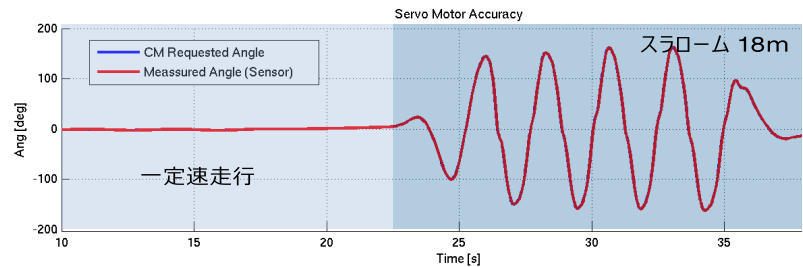
## 位置制御の応答特性

### ドライバ操舵

- ・ スラローム試験 : 18m, v=55km/h,  $a_{y\max}=8.6\text{m/s}^2$



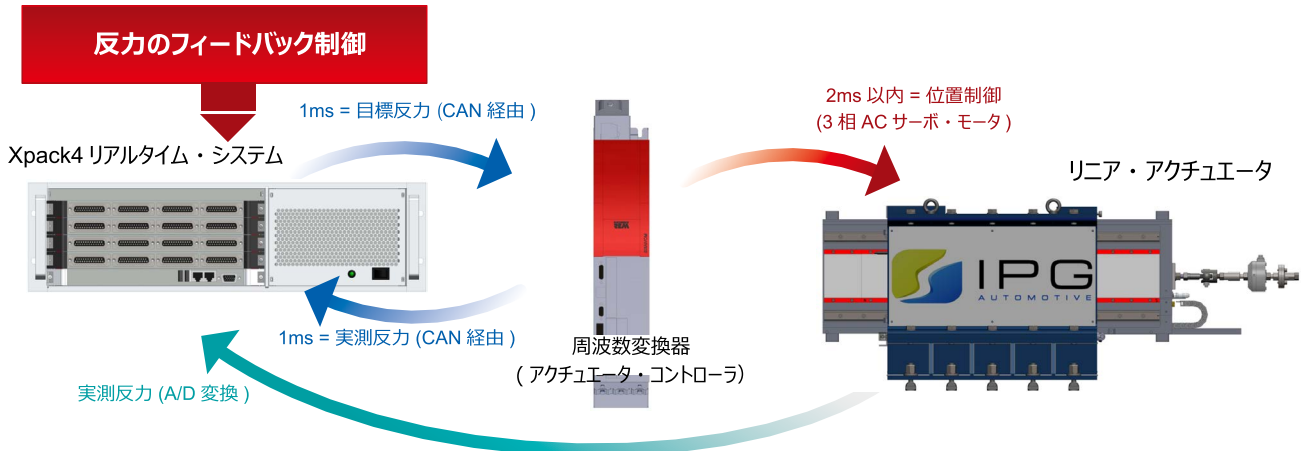
## 位置制御精度



	一定速走行 直進、速度 = 55km/h	スラローム : 18m $a_{y\max}=8.6\text{ m/s}^2$ (車両限界値)
平均偏差	0.004 deg	- 0.005 deg
標準偏差	0.014 deg	1.256 deg

# リニア・アクチュエータの制御性能

## 制御ループ



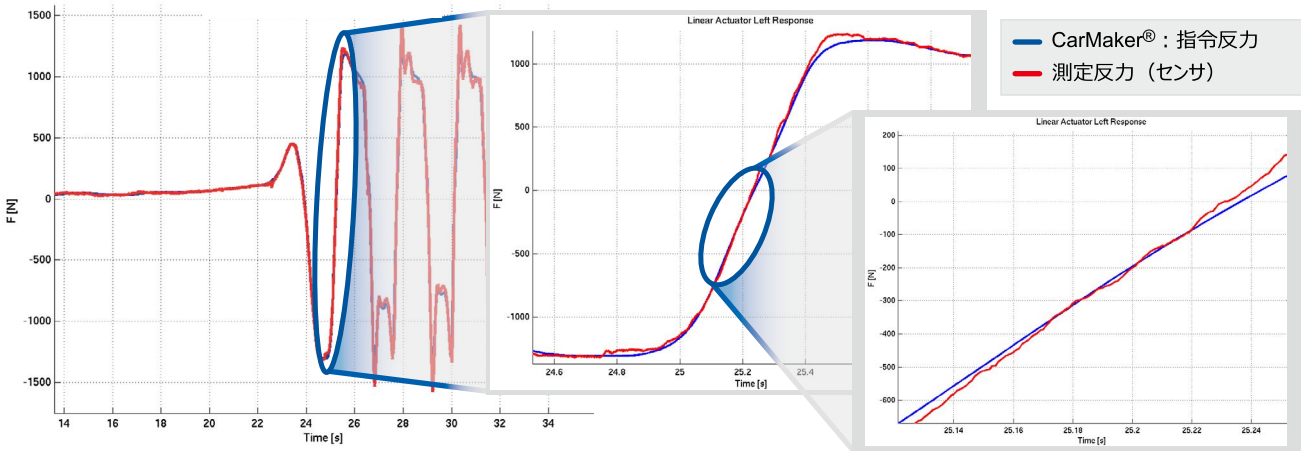
制御ループ中のレイテンシと応答

## 反力制御の応答時間

車両限界値での 18m スラロームの場合：

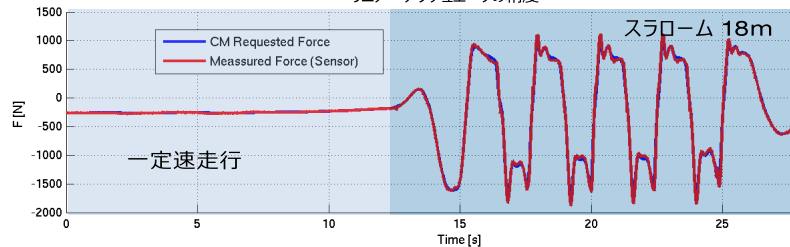
- 反力勾配：～ 6000 N/s、反力応答時間：～ 0 ms (反力制御ループによるレイテンシ補正)

リニア・アクチュエータの応答



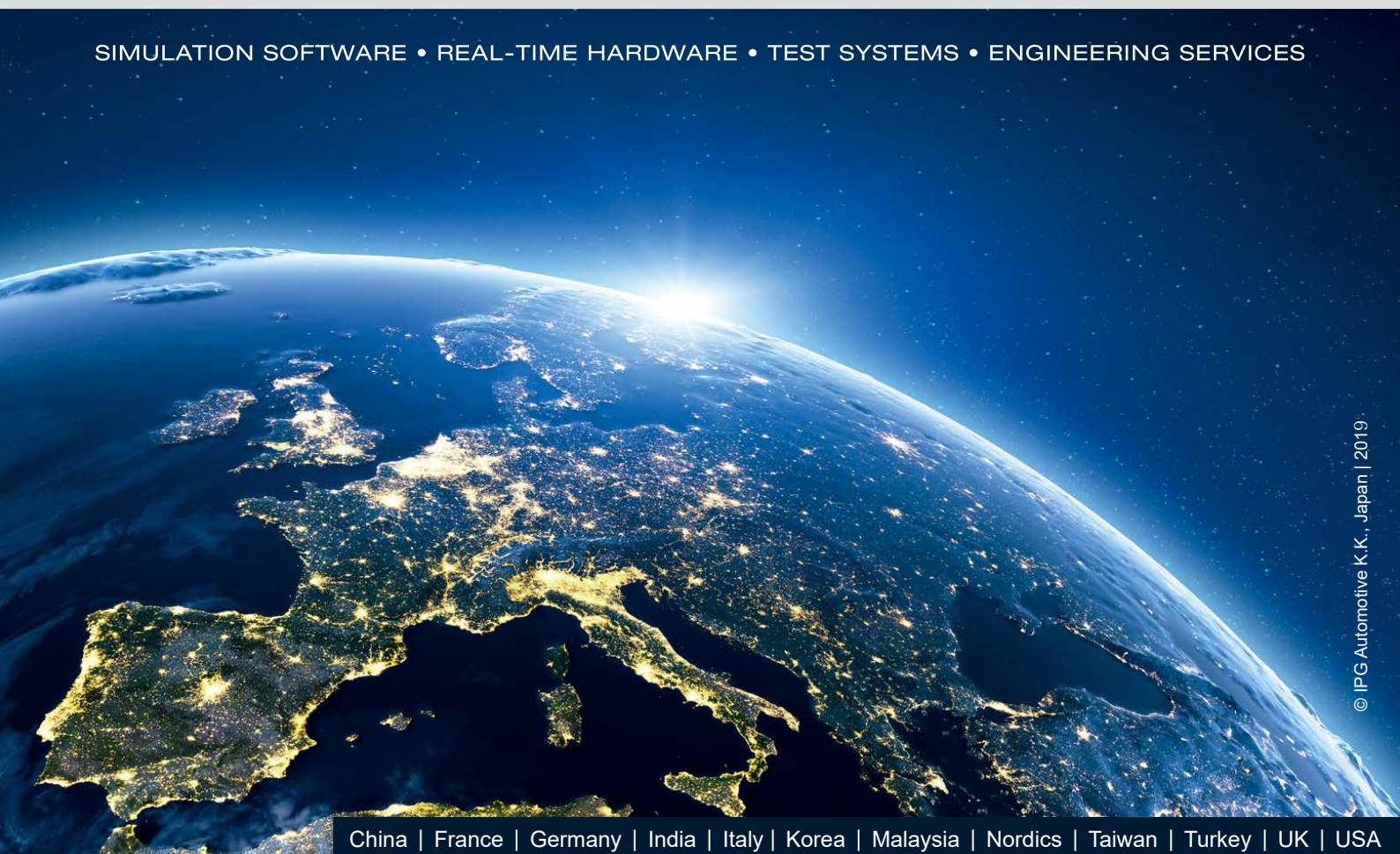
## 反力制御の精度

リニア・アクチュエータの精度



	一定速走行 直進、速度 = 55km/h	スラローム : 18m $a_{y_{max}} = 8.6 \text{ m/s}^2$ (車両限界値)
平均偏差	- 0.62N	0.37N
標準偏差	5.7N	54.3N

SIMULATION SOFTWARE • REAL-TIME HARDWARE • TEST SYSTEMS • ENGINEERING SERVICES



© IPG Automotive K.K., Japan | 2019

China | France | Germany | India | Italy | Korea | Malaysia | Nordics | Taiwan | Turkey | UK | USA

## SOLUTIONS FOR VIRTUAL TEST DRIVING

IPG Automotiveは、バーチャル・テスト・ドライビングのグローバルリーダーとして、車両開発向けの革新的なシミュレーション・ソリューションを開発しています。シームレスな使用を考慮し設計された当社のソフトウェアとハードウェア製品は、概念実証（POC）から検証またはリリースに至るまで、開発プロセス全般わたって活用できます。ユーザにバーチャル車両全体を使って新しいシステムの開発とテストを行っていただけるIPG Automotiveのバーチャル・プロトタイプング技術は、自動車のシステムズエンジニアリングを促進します。

IPG Automotiveは、ADAS/自動運転、パワートレイン、ビークル・ダイナミクスという3つのアプリケーション領域でのバーチャル開発に特化したエキスパートです。当社のCarMaker製品群は、現実に近い環境で、高度に再現された車両モデルを統合することによって、先進運転支援システムと自動運転機能の開発とテストに関連した諸課題に取り組むべく、世界中で使用されております。詳細なセンサモデルは、関連する環境で起こりうる影響を考慮しつつ、インフラと道路ユーザといった要素に左右される複雑さを有した環境モデルから促され、機能テスト用の現実的なインプットデータを生成します。

IPG Automotiveは、①品質、②徹底したユーザ志向、③効率性、④イノベーションの促進、そして⑤長く続くパートナーシップを指針としております。