

# スーパースポーツモデル「ZX-10R」の車両制御技術の開発 Development of Vehicle Control Technologies for Super Sport Model ZX-10R



河合大輔① Daisuke Kawai  
 廣上達也② Tatsuya Hirokami  
 寺井昭平③ Shohei Terai  
 陵城孝志④ Takashi Okashiro  
 東誠治⑤ Seiji Azuma  
 准田一磨⑥ Kazuma Waida

エンジン・車体性能の高度化に伴い、ライダーの操縦を支援する車両制御技術の重要性が高まっている。

ライダーの「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を実現するため、海外向けモデル「ZX-10R SE」に車両挙動に応じた「ウィリー制御」および「電子制御サスペンション制御」を搭載した。

With increasingly sophisticated engine and chassis performance, vehicle control technologies that assist the rider in steering are becoming increasingly important.

To achieve for riders a fun and easy ride, we equipped our overseas model ZX-10R SE with tailored wheelie control and electronic control suspension control to cater for such vehicle behavior.

## まえがき

乗用車においては自動運転の開発が活発化しており、高速道路などの限定された環境ではその実用化が近づいている。これらは、環境認識をはじめとする各種制御技術の塊であり、運転者の判断や操作を排除することを志向している。一方でモーターサイクルにおいては方向性が異なっている。

## 1 背景

当社のモーターサイクルは性格上、ライダーが操縦を楽しむ乗り物であり、一見すると高度な制御は不必要に見える。しかし、エンジン・車体の性能が高度化した現在、「楽に、楽しく」乗りこなすためにはさまざまな制御技術が投入されている。これらには必ず「ライダー（人間）」が介在しており、自動運転では難しいとされる「ライダー協調制御」の実現に取り組んでいる。

## 2 モーターサイクルにおける制御技術

モーターサイクルにおいては、古くから図1に示すようなレースの世界を中心として制御技術の開発が進められてきた。当初はエンジン性能向上を狙った制御が主であったが、エンジン性能が高くなるとタイヤのスリップを抑える

トラクションコントロールが導入された。それに続いて、減速時の強大なエンジンブレーキを緩和するためのエンジンブレーキ制御が開発されている。さらには、図2に示すように、シフトアップ・ダウンをクラッチ操作なしに実現するシフト制御や加速中の浮き上がりを防止するウィリー制御など、レース中はほぼあらゆる場面で制御が関わっている。

レースで採用する技術の目的は「より速く走り、勝利する」ことである。エンジンや車体の性能が高度化した現在においては「ライダーと協調し、操作負担を減らしながら性能を引き出す」ことが求められる。これはレー



図1 ロードレース（スーパーバイク世界選手権WSB）  
 Fig. 1 Road racing (World Superbike Championship)

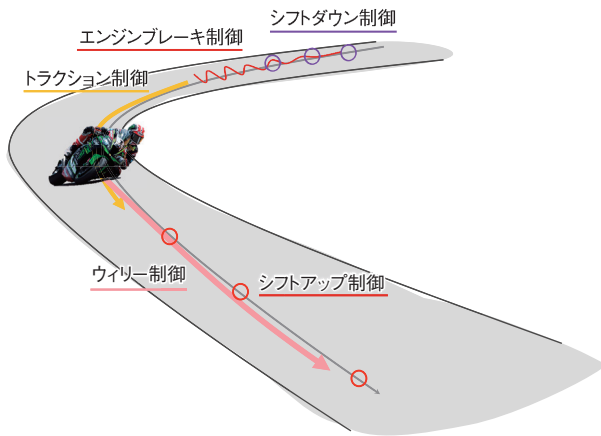


図2 レースシーンにおける制御  
Fig.2 Controls for racing situations

スにおいてのみ求められることではなく、「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を追求する当社のコンセプトと一致する要求である。

サーキット走行を想定し、レース車両のベースモデルとなるスーパースポーツモデルは技術力の高さをアピールするブランドの象徴であり、制御技術などのレースで培われた技術を基に各社とも開発を進めている。

近年は制御装置であるマイコンの進化とともにMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用したジャイロセンサーが市販車両に搭載できるまでコストダウンが進んでいる。また、電子制御サスペンションなど新しい制御デバイスも市販可能になるまで技術開発が進んでいる。

スーパースポーツモデル「ZX-10Rシリーズ」において、市販可能な技術を活用しつつレースで培った制御技術の展開を進めている。

### 3 「ZX-10Rシリーズ」のコンセプト

「ZX-10R」は、カワサキのブランドを象徴するモデルであるとともに、量産バイクレースの最高峰であるスーパーバイク世界選手権のベースとなるモデルである。コンセプトは「サーキット性能No.1」であり、エンジン・車体・制御すべてにおいてレース活動で得られた成果を量産車両の開発へフィードバックしている。

レースおよびサーキット走行において制御に求められることは、「ライダーと協調し、操作負担を減らしながら性能を引き出す」ことである。これはレース中の限界走行のみならず、一般道路を走行する場合でも同じである。

ただし、レースにおいては協調すべきライダーや走行環境が限定出来ることに対して、量産・市販化においてはライダーのスキル・走行環境・使用機器（コスト）などの

ハードルをクリアする必要がある。

「ZX-10Rシリーズ」は図3に示すように当初より開発時点で投入可能な制御技術を盛り込んでいる。

2016年の「ZX-10R」からは慣性計測装置IMU (Inertial Measurement Unit) を用いたウィリー制御などを、2017年の「ZX-10R SE」からは電子制御サスペンションを投入しており、一段と高いレベルの制御技術を市販化している。

以下に、IMUを用いた制御の代表例であるウィリー制御および新しい制御デバイスである電子制御サスペンションを用いたサスペンション制御について記載する。

#### (1) ウィリー制御

加速中にエンジンの出力が大きすぎると、前輪が浮き上がるウィリーが発生する。ウィリー状態では速く走り続けることができないが、速く走るためにはウィリー発生付近の加速状態が理想となり、ライダーにとってデリケートなスロットル操作が要求されることになる。

ウィリー制御は、車体の姿勢を把握しながらライダーの操作をアシストして、このようなライダーの操縦負担を減らしつつ最大加速を実現する機能である。

#### (2) サスペンション制御

一般的なサスペンションは減衰量が固定となるため、加減速・旋回・切返しなど、走行シーン別に最適な設定をすることができなかった。

図4に示す電子制御サスペンションは、減衰量を変更できるため、車両の姿勢や状況に応じて最適な減衰制御が可能である。

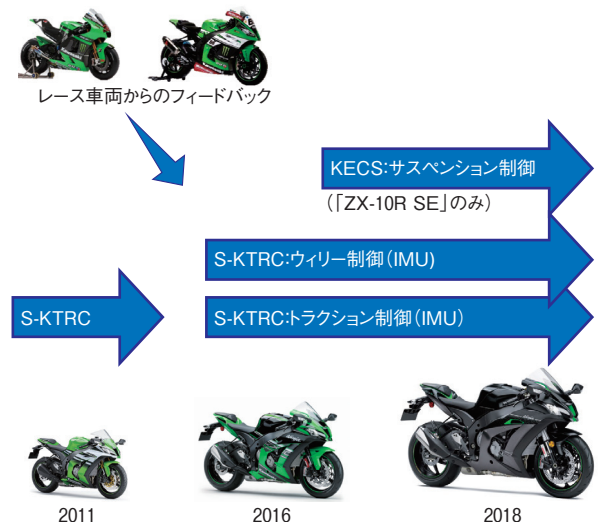


図3 「ZX-10R」の制御技術導入  
Fig.3 Introduction of control technologies for ZX-10R



図4 電子制御サスペンション (Kawasaki Electronic Control Suspension)  
Fig. 4 Electronic control suspension (Kawasaki Electronic Control Suspension)

#### 4 技術開発の取り組み

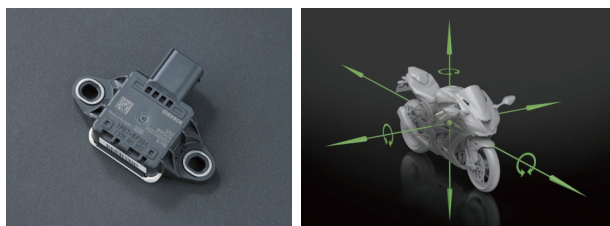
高度な車両制御を実現するため、姿勢と挙動の推定技術・ウィリー制御におけるライダー協調・新しいデバイスである電子制御サスペンションの開発および検証に取り組んでいる。

##### (1) 姿勢と挙動の推定技術

車両の挙動にはモーターサイクルの状況だけでなくライダーの意図情報も含まれており、ライダーと協調する制御を実現するには挙動把握が必須となる。

これまでは姿勢を直接把握することは困難であったため、車輪の速度やライダーのスロットル操作から間接的に姿勢の推測を行っていた。一方で、近年では図5に示すようなジャイロセンサーが量産車に採用可能な環境となってきた。ただし、ジャイロセンサーの信号は運動量であり、姿勢や挙動への変換を行う必要がある。

モーターサイクルは複雑な運動をするため、廉価なジャイロセンサーで姿勢を推定することは容易ではない。たとえば旋回運動は図6に示すように、バンク（リーン角）を取りつつ旋回（ヨー運動）を行う。そのバンク姿勢についても車体・ライダー・統合重心（定旋回時のつり合い角度）などの要素が絡み合っている。そこで、モーターサイクルの運動特性に合わせた姿勢と挙動の推定技術を開発して



(a) 外観 (b) 計測量

図5 ジャイロセンサー  
Fig. 5 Gyro sensor

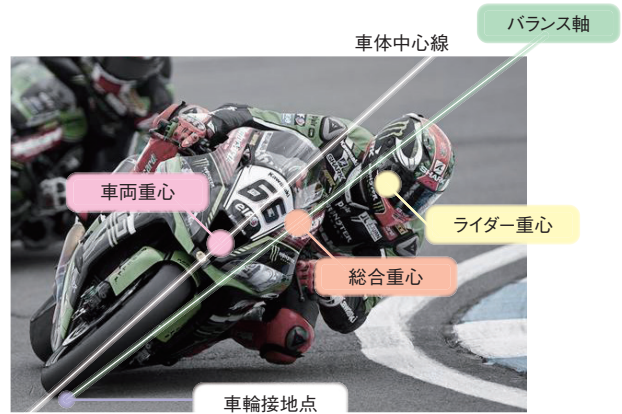


図6 バンク（リーン）中のモーターサイクルの姿勢  
Fig. 6 Motorcycle posture while cornering (leaning)

いる。

ロジックの開発においては、車体運動シミュレーションや実データを連携させており、理論面と実環境（計測した振動やバラツキ）を融合させた開発を行っている。

##### (2) ウィリー制御におけるライダー協調

ウィリー制御は車体の姿勢（ウィリー状態）に応じてエンジンのトルクを制御するものであり、当社では「ライダーとの協調」を考慮しながら開発を進めている。

###### (i) ライダーの操作自由度

ライダーは常に加速・減速を意識しながらスロットルを操作しており、ウィリー中においても例外ではない。このため、制御介入時においても、図7に示すようにライダーの意思が操作自由度の範囲で車両挙動へ反映されるように制御ロジックを開発している。

###### (ii) より広範囲な状況への適応

ウィリーは車体やライダーの重量そして路面環境によって発生状況が異なる。また、ライダーのスキルや好みにより、必要とする制御介入量が異なる。

「ZX-10R」では、図8に示すように設定を5段階設けることで、広範囲な状況への適応を実現している。設定はハンドル手元のスイッチで容易に切替えることができる。

##### (3) サスペンション制御の開発および検証

サスペンション制御は、内蔵されたストロークセンサーやジャイロセンサーからの加減速などの情報に応じて、最適な減衰量を制御するものである。

これまで、新しい制御デバイスを開発する際は、主に実走行ベースの確認と検証を行っていた。しかし、機能の複雑化に伴う工数の増大や検証漏れに対応するため、サスペンション制御開発ではHILS（Hardware-In-the-Loop-Simulation）を用いた検証を進めている。

HILSを用いた検証においては、図9に示すように実際

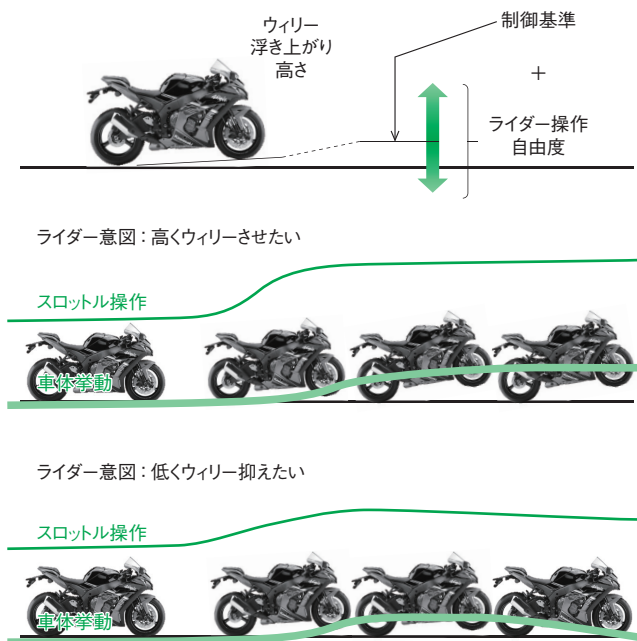


図7 ウィリー制御中のライダー自由度  
Fig. 7 Rider's degree of freedom during wheelie control

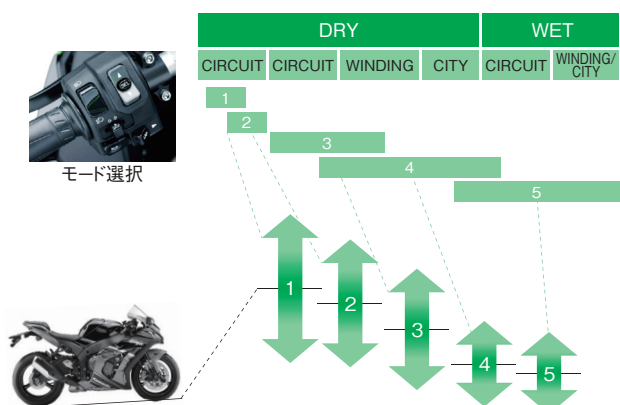


図8 ウィリー制御のモード設定  
Fig. 8 Mode setting for wheelie control

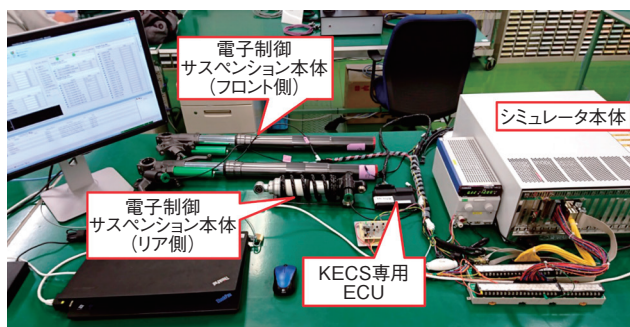


図9 HILSを用いた検証  
Fig. 9 Verification using HILS

の電子制御装置ECU (Electronic Control Unit)・センサ・アクチュエータなどを用いてリアルタイムシミュレーションを行うことで、実走行における評価時間を短縮するとともに、テスト困難な条件も再現して確認できる。

## あとがき

レースで培った技術をフィードバックした「ZX-10R」は高い次元で「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を実現しており、より高くを目指して今後も進化を続けていく。

スーパースポーツモデルに限らずモーターサイクルには今後さまざまな電子制御やデバイスが追加されていく。しかし、走るということは、車両（マシン）とライダーの共同作業であり、双方の信頼関係が前提となる。この本質は自動運転社会が到来しても変わらない。我々はライダーにより信頼され協調できる制御を実現するべく、今後も開発を進めていく。

## 参考文献

- 1) 松田義基：Kawasaki Technical Review MotoGP-2006, 2006-10-30, Valencia Spain/松田義基：Kawasaki Technical Review Moto GP-2007, 2007-11-5, Valencia Spain
- 2) 増田 松本：“Stability Control of Motorcycle”, SAE 2011-32-0558 / JSAE 20119558, SETC2011 (2011)
- 3) 松田義基：“トラクションとトラクションコントロール”, Motor Riding No.34 自動車技術会 (2012)
- 4) 東 誠治：“スーパースポーツ車両Ninja ZX-10Rの開発”, 自動車技術会関西支部ニュース, No.48, (2016)
- 5) 河合, 陵城：“二輪車の走行姿勢推定”, 自動車技術会関西支部ニュース, No.53, pp.6-7 (2018)



河合 大輔



廣上 達也



寺井 昭平



陵城 孝志



東 誠治



准田 一磨