

製品紹介

二輪車用電子制御サスペンションシステム “KADS” の開発

植村 将史 ・ 小島 弘幸 ・ 菅原 英利

1 はじめに

セミアクティブサスペンションが搭載された二輪車は2012年ごろから欧州で販売されている。車両タイプはアドベンチャー、ストリート、ツアラー、スーパースポーツなどの上級グレードがメインである。現在も市場規模は拡大しており、今後も増加していくことが予測される。

KYBはElectronic Control Unit（以下ECU）のハードウェア（以下HW）及びソフトウェア（以下SW）、チューニングツール、センサ、フロントフォーク（以下FF）、リアクッションユニット（以下RCU）、を統合したセミアクティブサスペンションシステムを開発、製品化したので概要を紹介する。

2 システム概要

2.1 システム構成

図1にシステムの構成を示す。青枠部品が当社開発責任範囲、赤枠部品は客先開発責任範囲である。

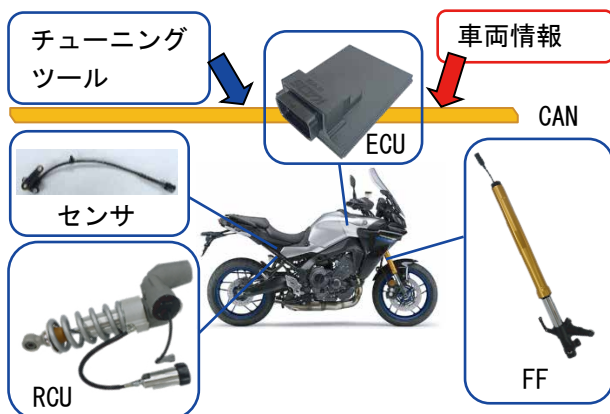


図1 “KADS” の構成

本開発品は、当社ならではの油圧技術と制御技術を統合した製品であり“KADS”と命名しブランドを構築した（図2）。



図2 “KADS” 商標

“KADS”^{注1)}とは、KYB “Actimatic Damper System”^{注1)}の略語であり、ActimaticとはActiveとAutomaticからなる造語で、自動調整により得られる高い運動性能を有していることを表現している。車両挙動の「走る」、「曲がる」、「止まる」に着目し、基本性能（乗り心地）と運動性能の両立を実現した。

注1) “KADS”と“Actimatic Damper System”はKYB株式会社の商標である。

2.2 システムコンセプト

“KADS”は当社独自の‘グラウンドフック’コンセプトを提唱し、あたかもタイヤが地面に吸い付くような接地感（安心感）をライダーが得ることができるように制御している（図3）。



図3 コーナリング中の重心の変化

表1 制御有無の比較

| 事象 | 制御 | 重心 | 効果 (接地感) |
|-----------|----|-----|-------------|
| 重心の 変化 | 無し | 不安定 | 無し |
| | 有り | 安定 | 有り |

ビギナーライダーは車速に対するバンク角を適正に保つことが難しくブレーキを掛けたり、車両を立てたりしてしまい、結果的に重心が不安定になってしまうことが多い。制御無しの場合は図3の通り重心を安定させることが難しく車両が不安定な状態と

なりやすい。制御有りの場合は“KADS”が自動で重心の安定をサポートしてくれるので、タイヤ接地感を感じやすく車両も安定しやすくなる。これをライディングスキル支援と呼んでいる。

本項で説明したコンセプトを実現するために、開発した各製品を次章で紹介する。

3 ECU

新開発の独自制御により、車両に搭載されている複数のセンサからリアルタイムで車両状態を検知し、走行シーン（走る、曲がる、止まる）に合わせてサスペンションの減衰力を適切な状態へ自動で調整する。システムコンセプトに基づく最適な制御を提供するため、当社にてECUのHW及びSWを新規開発した。

3.1 外観と構造

ECUの外観を写真1に示す。樹脂筐体の内部に電子部品を実装した基板を搭載し、樹脂筐体内部をポッティング材にて充填することで封止及び固定し、耐振動／耐水／耐塵性を確保している（写真2）。



写真1 ECU外観



写真2 ポッティング材による充填

3.2 インターフェース

ECUと各コンポーネントとの接続を図4に示す。ECUはController Area Network（以下CAN）のインターフェース、及び6つのアナログ入力ポートを搭載しており多様な入力に対応することが可能である。また、出力は最大4つのソレノイドを制御することが可能である。高い汎用性をもつHWを有しており、適用車種の仕様に合わせてSWをカスタマイ

ズすることで様々なインターフェース要求に対応することが可能である。

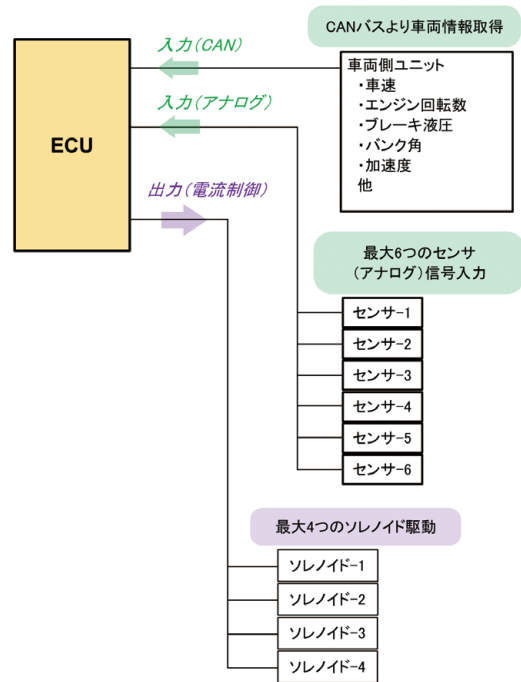


図4 ECUと各コンポーネントの接続

また、図5にECUの構成概要を表す機能ブロック図を示す。ECUはバッテリーより電源供給され、各種入力信号を取得して減衰力制御演算を実行する。出力部には制御スイッチと電流検出を備え、演算結果に基づく所望電流を出力する。制御スイッチはパルス幅変調（PWM）方式にて駆動する。

また異常の検出と処理を行うセーフティメカニズムを有し、万が一の異常発生時には適切な処理を実行してシステムを安全な状態へ遷移させる。

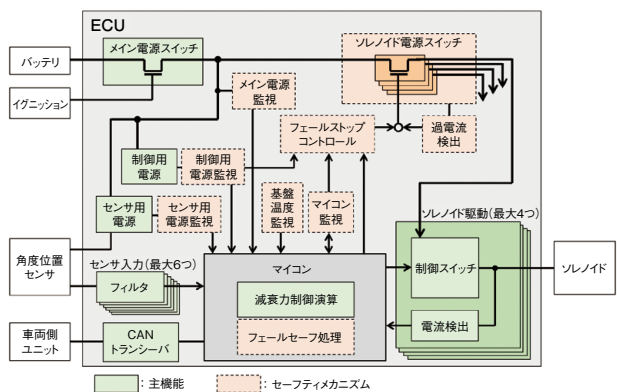


図5 ECU機能ブロック図

3.2.1 ECUへの入力

ECUは車両側の各ユニットとCANバスを介し通信することにより、車速、エンジン回転数、ブレー

キ液圧、バンク角、加速度などの車両信号を取得する。また、アナログ入力ポートからは車両挙動を検知するセンサ信号を取得する。“KADS”ではリアスイングアームの揺動角を検出するために、4章に記す角度位置センサを車両に搭載し、アナログ入力ポートよりセンサ信号を取得している。

3.2.2 ECUからの出力

出力は5章に記すサスペンションに内蔵されているソレノイドに接続され、減衰力制御演算に基づきソレノイドに流れる電流を制御する。“KADS”における減衰力調整の対象はFFの左側ダンパ、右側ダンパ及びRCUの3つであり、それぞれ独立で制御することが可能である。

表2 制御ロジック一覧

| 制御名 | 詳細 |
|-----------|--|
| ピッチング制御 | 車両前後方向の加速度に応じて減衰力を調整する。ノーズダイブ等を抑制する。 |
| 路面判定制御 | 車両上下方向の加速度を基に路面状態を判定し減衰力を調整する。 |
| バンク制御 | バンク角に応じて減衰力を調整する。コーナリング時の安定性を向上させる。 |
| 車速応答制御 | 車速に応じて減衰力を調整する。 |
| エンジン回転数制御 | エンジン回転数に応じて減衰力を調整する。エンジン回転数の変動による急激な姿勢変化を抑制する。 |
| ジャンプ制御 | 車両のジャンプ状態を検知し減衰力を調整する。着地時の衝撃を緩和させる。 |
| ブレーキ圧制御 | ブレーキ液圧に応じて減衰力を調整する。ブレーキ時の車両の安定性を向上させる。 |
| ストローク速度制御 | サスペンションストローク速度に応じて減衰力を調整する。基本特性を調整し乗り心地を変化させる。 |
| ボトミング制御 | サスペンションのボトミングを抑制するよう減衰力を調整する。 |
| 減衰力補正制御 | ソロ／タンデム／積載を判別して減衰力を補正する。 |
| モード切替制御 | ライダー側の操作により任意に切替可能な走行モードに変更する。 |

3.3 減衰力制御

システムコンセプトであるグラウンドフックを実現するために、表2に示す11の制御ロジックを構築／統合し、当社独自の減衰力制御を開発した。

ECUは、3.2.1項に記した各信号入力に対して1/1,000秒毎に減衰力制御演算を実行する。この高速な演算処理により、違和感のないスムーズな減衰力調整を実現した。制御演算に用いる各パラメータは、専用のチューニングツールにて適用車種に応じてフレキシブルに設定することが可能である。

3.4 チューニングツール

減衰力制御パラメータ設定用のチューニングツールを当社独自に開発した。パラメータ設定のイメージを図6に示す。チューニングツールにより、各入力信号に対する減衰力制御量の特性を細かく設定することが可能である。また本チューニングツールは使いやすさを重視し、視覚的かつ直観的な操作が可能でアプリケーションとして車両メーカー様へ提供している。実車評価にて効率的なパラメータ調整を可能にし、開発評価段階における減衰力のチューニング作業の時間短縮に寄与している。

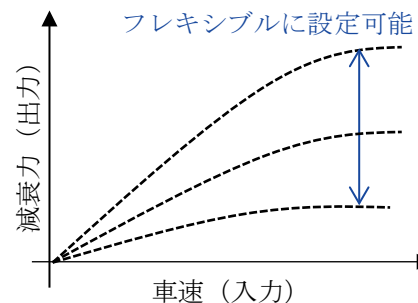


図6 減衰力制御パラメータ設定イメージ

4 角度位置センサ

リアスイングアームの揺動角を検知するためのセンサとして、既存製品を応用した角度位置センサを新規開発した。



写真3 角度位置センサ外観

4.1 外観と構造

角度位置センサの外観を写真3に示す。リアスイングアームの揺動角の検出に適したレバー付き構造を新規開発した。レバー先端部に取り付けられるロッドを介して車体に接続することで、リアスイングアームの揺動と同期し、レバーを回転させ角度(揺動角)を検出する仕組みである。

4.2 機能と特性

本センサの内部には、マグネット及びホール素子が搭載されており、レバーの機械的な回転角度を電気的なアナログ信号に変換する。

本センサの角度検出の有効範囲と出力特性を図7と図8に示す。出力特性は有効範囲においてレバーの回転角度に対してリニアであり、出力電圧のレベルはECUより供給される電源電圧に比例する。リアスイングアームの揺動角検出用として十分な有効範囲と精度を有している。この信号もECUにて車両挙動の1つとして認識され、減衰力制御演算の入力として使用されている。

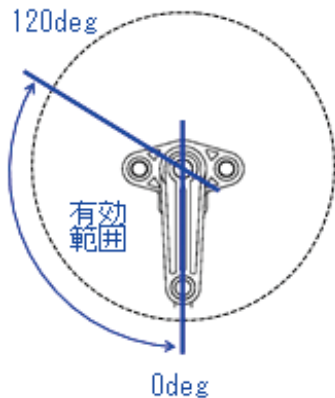


図7 有効範囲

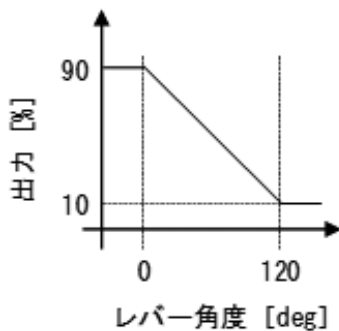


図8 出力特性

5 サスペンション

開発品は、ソレノイドバルブによって、高い反応速度を有し、コンベンショナルサスペンション(以下コンベサス)よりも広域な減衰力を発生させ、操

縦安定性と乗り心地を高い次元で両立することが可能である。システムコンセプトに基づく最適な減衰力を提供するため、FF、RCUおよび内蔵するソレノイドを新規開発した。

開発品では高い応答性を有する方式として、電磁力を利用して電気エネルギーを機械式運動(直線運動)に変換する比例ソレノイドを用いた方式を採用している。

5.1 FF

5.1.1 基本構造

写真4にFFの外観を示す。FFはコンベサスの倒立型をベースに、ソレノイドバルブをダンパ内部に搭載するソレノイド内蔵式とし、電流入力用コネクタをダンパ外部に設けている。

コンベサスでは、減衰力発生時の応答性を向上させるための手段として、シリンダサイズの拡大や作動油の加圧といった方法がこれまでに行われてきた。

開発品でもシリンダサイズを拡大すると共に、右側ダンパに伸び減衰力発生機構、左側ダンパに圧減衰力発生機構を有し左右で減衰力発生機構を独立化することで、伸び圧切り替わりによる減衰力発生応答遅れを無くしている。



写真4 FF外観

5.1.2 減衰力特性

図9に減衰力特性図を示す。減衰力調整方法として、ニードルバルブによるバイパス油路調整式ではバルブ特性を活用し自然な乗り心地であるものの構造上、減衰力可変幅は小さくなっている。

一方で、リリーフ圧調整式では減衰力可変幅を十分に確保することが可能であるが、前者と比較しリリーフ弁の圧力制御では低速から減衰力が立ち上が

り、二輪車では乗り心地を確保しにくくなっている。そこで開発品では、スプールバルブによるバイパス油路調整式を採用し、従来技術を活用したバイパス油路と積層バルブから成る減衰力発生機構を構成することで、コンベサス同等の自然な乗り心地と広域な減衰力可変幅の確保の両立を可能とした。

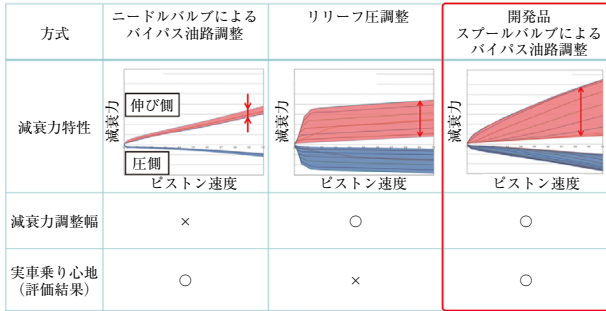


図9 減衰力特性図

5.1.3 ソレノイドバルブ構造

例として図10に伸び減衰力発生側（右側ダンパ）のソレノイドバルブ構造を示す。ソレノイドバルブは、左側に図示されるソレノイド部と右側に図示されるスプールバルブ部で構成される。

作動原理としては、ソレノイド部のコイルが非通電時の場合、スプールはスプリングによって左側に押し付けられ、ホルダとのソフト流路が閉ざされ全流量が積層されているハードバルブ側のハード流路へ流れ高減衰力を発生する。

一方で、通電時の場合、コイル周りに磁界が生じ、プランジヤにベースへ吸着する力（吸引力）が発生する。この吸引力がプランジヤのストロークとなりソレノイドに入力される電流によってスプールの位置を調整することで、ソフト流路の開口量がこれに追従し流量の制御（ハード流路とソフト流路へ流れる流量の切り替え）を行い、減衰力の調整が可能となる。つまり、入力電流値による流路の連続変化により、低減衰力から高減衰力まで任意の減衰力の短時間での切り替えを可能とした。

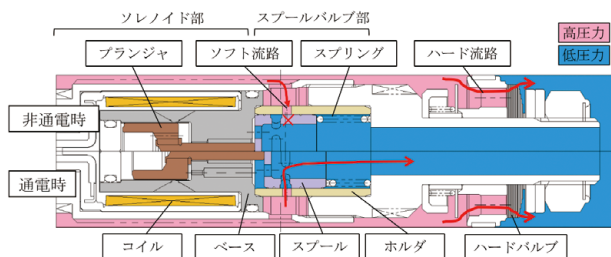


図10 ソレノイドバルブ構造図

5.1.4 スプリングイニシャル調整アジャスタ

スポーツ車向けFFには、スプリングイニシャル調整機構を備えているものが多い。一般的にセミアクティブFFでは、ダンパの中心軸に対して軸上にスプリングイニシャル調整アジャスタおよび電線を配置しているため操作性が悪い。本製品では、軸上に配置せず各々を併設することで、コンベサスと同等の操作性を有している（写真5）。



写真5 スプリングイニシャル調整アジャスタ外観

5.2 RCU

5.2.1 基本構造

写真6にRCUの外観を示す。RCUもFFと同様に、ソレノイドバルブをダンパ内部に搭載するソレノイド内蔵式とし、電流入力用コネクタをダンパ外部に設けている。ダンパは、ソレノイドバルブに油を導くためアウトシェル及びシリンダで構成される複筒構造を採用した。また、減衰力調整方式はFF同様にスプールバルブによるバイパス油路調整式とした。



写真6 RCU外観

5.2.2 ソレノイドバルブ構造

ソレノイドバルブの構成は、基本的にFF側と共通である。図11にソレノイドバルブ構造を示す。

RCUには伸び減衰力のみ調整式とし、ソフト流路内にソフトバルブを備えたダブルバルブ方式を採用している。RCUの減衰力特性は、高いタイヤ接地力の確保と車両加速時の姿勢変化を抑えるため

に、ピストン速度低速域が重要視される。ソフトバルブを用いることで低速域の減衰力を補い、しっとりとした高級感のある自然な乗り心地を実現している。

作動原理は、FFと同様にソレノイド非通電時の場合、スプールは右側に移動せずソフト流路が閉ざされ全流量がダンパ側に設けているハードバルブに流れ高減衰力を発生させる。

一方で、通電時の場合、スプールが右側に移動しソレノイドへの入力電流値によってソフト流路の開口量を変化させソフトバルブへ流れる流量を制御し、減衰力の調整を行う。

本製品はヤマハ発動機(株)様の“TRACER9 GT ABS”向けに2021年より量産が開始している。また、現在も多数の車種への採用が検討されており適用開発を進めている。

最後に本製品をご採用いただきましたヤマハ発動機(株)様、本製品開発を行うに際しご協力をいただきました関連協力メーカー様、ならびに社内関係部門の皆様にはこの場をお借りし厚く御礼申し上げます。

6 おわりに

KYBとして二輪車向けに初となる、システムを統合した製品の開発及び量産が完了した。これにより、短時間で他カテゴリ車種への本システムの展開が可能となった。

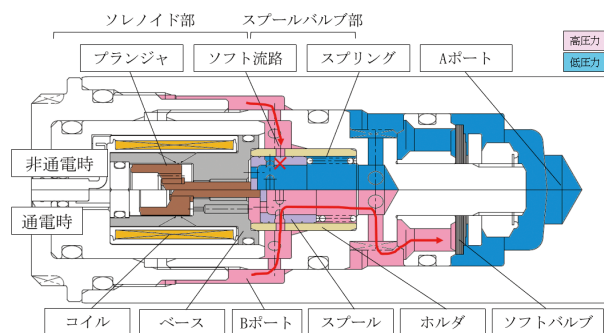


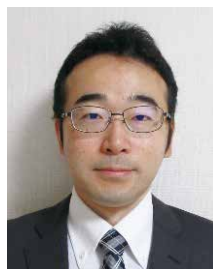
図11 ソレノイドバルブ構造

著者



植村 将史

2015年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部開発センター商品企画室。主にシステム製品の設計に従事。



小島 弘幸

2014年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部電子技術部。主に電子部品の設計に従事。



菅原 英利

2008年入社。KYBモーターサイクルサスペンション技術部。主にサスペンションの設計に従事。