

Agile Handling Assist の開発

Development of Agile Handling Assist

小 島 武 志*
Takeshi KOJIMA

二 村 知 幸*
Tomoyuki FUTAMURA

大 村 一 剛*
Kazutaka OHMURA

要 旨

車両の応答性と収束性を向上させ、ユーザーに爽快かつ安心なハンドリングを提供することをねらいとして、Agile Handling Assist を開発した。達成手段は、Honda 独自の Agile Handling Assist ロジックを高機能 Vehicle Stability Assist に追加することである。限界領域から作動する Vehicle Stability Assist に対し、常用域から、操舵切り増し時には内輪に、切り戻し時は外輪に、ドライバに気づかれない程度の軽いブレーキをかけることで、車両の応答性と収束性を向上させた。2014 年モデル ACURA RLX を皮切りに量産を開始した。

ABSTRACT

Agile Handling Assist has been developed in order to increase vehicle responsiveness and stability, offering users handling that is both exhilarating and secure. To realize the new system, a unique Honda Agile Handling Assist logic was incorporated in high-performance Vehicle Stability Assist. By contrast with VSA, which goes into operation in the limit range, Agile Handling Assist operates from the daily use range, applying light braking force, unnoticeable to the driver, to the inner wheels when the steering wheel is turned, and to the outer wheels when the steering wheel is returned, in order to increase responsiveness and stability. The system has been put into mass production in the 2014 ACURA RLX.

1. まえがき

パーソナルモビリティの代表である自動車には、ドライバが操る楽しさを満喫できるハンドリング性能が求められている。近年、公的機関や雑誌社などによる性能評価テスト結果が消費者に公表され、消費者が自動車を購入する際の判断条件になっている。Honda は、以前から、ドライバの操作に対し軽快で遅れの少ない車両応答性を実現するために、数多くのハンドリング技術を開発し量産に適用してきた。FF 車の左右駆動力を配分制御することによりハンドリングを向上させる Active Torque Transfer System (ATTS)⁽¹⁾を開発し、1997 年モデル Prelude に搭載した。続いて、AWD 車において 4 輪駆動力を制御することによる Super Handling-All Wheel Drive (SH-AWD)⁽²⁾を開発し、2005 年モデル LEGEND を皮切りに搭載した。近年では、リヤのトー角を制御することによる Precision-All Wheel Steer (P-AWS)を開発し、2013 年モデル ACURA RLX に搭載した。Honda は以前から、旋回限界領域で作動

し不安定挙動を抑制する安全機能 Vehicle Stability Assist (VSA) の作動領域を常用域へと拡大し、ブレーキ制御による車両のハンドリング性能の向上に取り組んできたが、新たな制御ロジックの開発と標準 VSA の静粛性や耐久性が課題であった。近年、危険回避性能以外に、坂道保持機能や渋滞追従機能などの利便性を向上させる機能を付加するために、静粛性や耐久性を高めた、高機能 VSA が開発された。この高機能 VSA を用い、常用域からブレーキ制御をおこなない、車両の応答性や収束性を向上させるハンドリング機能という新しいコンセプトを持つ Agile Handling Assist (AHA) の制御ロジックを開発した。

2. AHA の目的と開発のねらい

ドライバの操舵操作に対して、車両の応答性と収束性の向上を実現するというのが AHA の目的である。AHA により修正操舵が減り、ドライバに俊敏、爽快、安心なハンドリングが提供できる。具体的な AHA の開発のねらいを、

*四輪 R&D センター

以下の3項目とした。

- (1) 操舵応答性の向上
- (2) スムーズな制御フィールに代表される商品性の確保
- (3) 限界ハンドリング性能の向上

3. AHA の作動シーンと効果

AHA の作動シーンを Fig. 1 を用いて説明する。横軸が旋回程度を示し、0 は直進走行を示し、右に行くほど旋回限界に近づく。縦軸は操舵速度を示し、0 は舵角固定、上に行くほど急操舵操作となる。

図中 (1) の AHA 作動領域の左上の領域は、直進付近から急な操舵操作をする場合、例えば、障害物を回避するレーンチェンジア、ラウンドアバウト通過のようなシーンで、俊敏に曲がってロールを早期に収れんさせる。

図中 (2) の AHA 作動領域の右下の領域は、中横加速度から高横加速度での旋回中に操舵操作をするシーンである。例えば、ワインディング路での S 字コーナにおける操舵操作や、旋回しながら切り増しするシーンでは、俊敏に曲がりドライバがねらったラインをトレースしやすくする。

図中 (3) の AHA 作動領域の右上の領域は、中横加速度から高横加速度での旋回中に急な操舵操作をするシーンである。例えば、障害物を緊急回避する場合や、旋回中に緊急回避するシーンで、限界付近でも俊敏でスムーズな挙動を実現することで、路面状況に左右されない安心感をドライバに提供する。

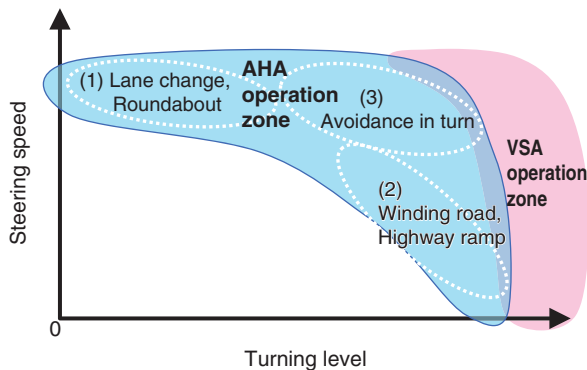


Fig. 1 AHA activation scenario

4. システム構成

高応答性、高静粛性、高耐久性のメリットを持つ高機能 VSA に、独自のロジックを追加することで AHA 機能を実現する。

4.1. ハードウェア

高機能 VSA は、標準 VSA に比べ、商品性、加圧応答性、耐久性を向上させた。具体的には、ポンプを多気筒化 (標

準 VSA が 2 ピストンに対し、高機能 VSA は 6 ピストンに変更) し、吐出脈動を低減させ、作動音、振動を低減した。併せて、吐出量も増加し、加圧応答性を向上させた。また、モータを高容量化し、耐久性を向上させた。モータ制御の制御周波数を高めることにより、モータ振動および作動音を低減した。また、モータ制御の制御周波数を高めることに伴う発熱に対して、Electric Control Unit (ECU) ケースの側面の材質にアルミニウムを用い、モータ制御素子を熱伝導性接着材で接着することで放熱構造とした。

4.2. ソフトウェア

独自の AHA 制御ロジックを開発し、高機能 VSA の ECU ソフトウェアに統合する構成とした。

4.2.1. AHA 制御ロジック

AHA 制御ロジックの構成を Fig. 2 を用いて説明する。

制御ロジックは、フィードフォワード (FF) 制御およびフィードバック (FB) 制御で構成される。

(1) FF 制御は、操舵操作による車両の位相遅れ量に対して、位相遅れを減らす方向に、切り増し時には内輪、切り戻し時には外輪に軽いブレーキをかける (Fig. 3)。ロジックとしては、舵角から求められる位相遅れのない舵角目標ヨーレートと位相遅れを考慮した舵角目標ヨーレートの偏差量をパラメータとして、FF 制御しきい値と比較し制御開始と終了を判断する。加えて FF 要求ヨーモーメントを計算する。FF 制御の作動シーンとしては、3 章に記述した Fig. 1 図中 (1) に示す直進付近から急な操舵操作をした場合、3 章に記述した Fig. 1 図中 (2) の中高横加速度旋回中の操舵操作をした場合に効果を発揮する。

(2) FB 制御は、実ヨーレート为目标ヨーレートに追従させるヨーレート FB 制御であるが、目標ヨーレートをドライバ操作に応じて可変させることによりドライバの操舵意志を反映し、旋回限界付近での俊敏でスムーズな車両挙動を実現する。ロジックとしては、VSA と同様に、ドライバ意志を反映する位相遅れを考慮した舵角目標ヨーレートと、旋回限界を推定する横加速度目標ヨーレートを算出する。しかし、ドライバが旋回限界を超えて切り増しし、目標ヨーレートが横加速度目標ヨーレートより大きくなった場合、VSA は、車両を安定方向に制御するために最終目標ヨーレートを、横加速度目標ヨーレートに近づけるように計算する。それに対し、AHA の FB 制御は、FB 目標ヨーレートを舵角目標ヨーレートに近づけるように計算することで、ドライバの切り増し意志を反映した制御をおこなう。その後ドライバが切り戻ししたり、実ヨーレートの急変などで車両が不安定になった場合は、FB 目標ヨーレートを横加速度目標ヨーレートに近づけるように計算し、ドライバ意志の反映と安定

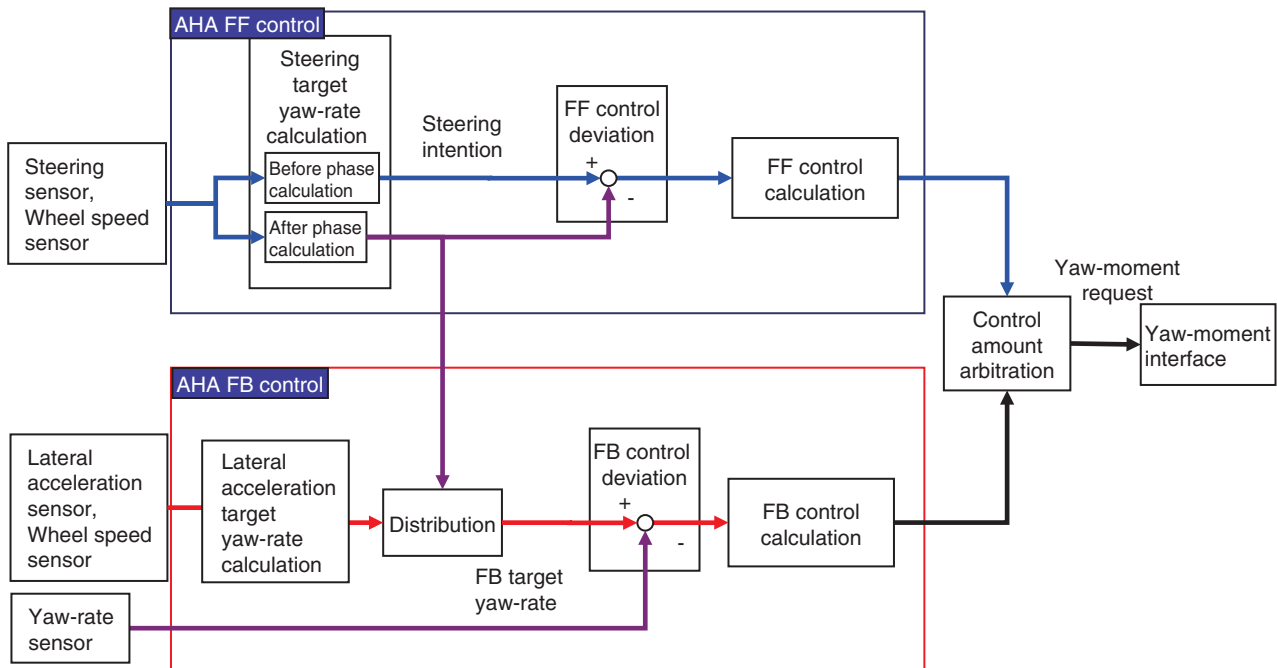


Fig. 2 AHA control logic

性を確保する制御をおこなう (Fig. 4). その後, FB 目標ヨーレートと実ヨーレートとの偏差量をパラメータとして, FB 制御しきい値と比較し制御開始と終了を判断する. 加えて FB 要求ヨーモーメントを計算する. FB 制御の作動シーンとしては, 3 章に記述した Fig. 1 図中 (3) 中高横加速度旋回中に急な操舵操作をした場合, 効果を発揮する.

- (3) FF 制御要求ヨーモーメントと FB 制御要求ヨーモーメントを加算し, AHA 制御要求ヨーモーメントとする.
- (4) 高機能 VSA の ECU ソフトウェアの構成について,

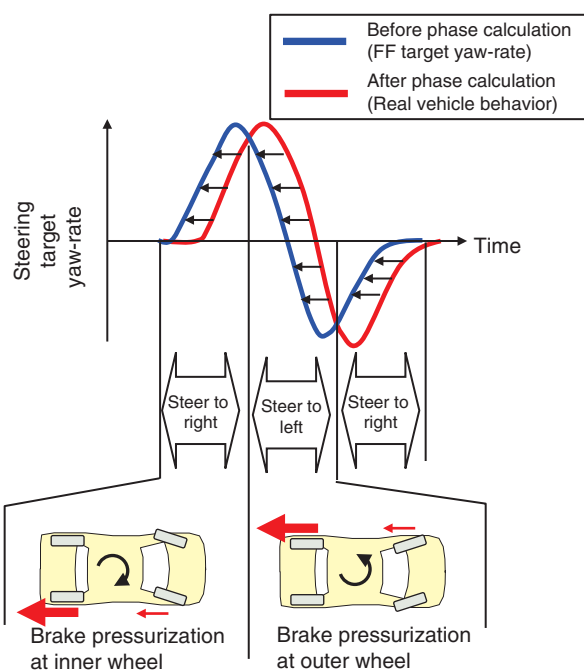


Fig. 3 AHA FF control

Fig. 5 に示す.

AHA 制御ロジックが外部 ECU にあり, 外部 ECU から CAN 通信により VSA に要求を出す構成にした場合, CAN 通信遅れによる応答遅れが発生する. よって, 高機能 VSA の ECU ソフトウェアの中に AHA 制御ロジックを追加し統合した.

AHA は演算の結果, AHA と VSA とのヨーモーメントインタフェースに対し, AHA 制御要求ヨーモーメントを出力する. ヨーモーメントインタフェースは, AHA と VSA の各々の制御要求ヨーモーメントを調停して最終制御ヨーモーメントとし, その後ブレーキ加圧量に変換し, ブレーキ加圧制御を実施する. また, ヨーモーメントインタフェースには, AHA からの制御要求ヨーモーメントに対して, 上限リミッタを設け, センサ故障時の機能安全を確保できる設計にしている.

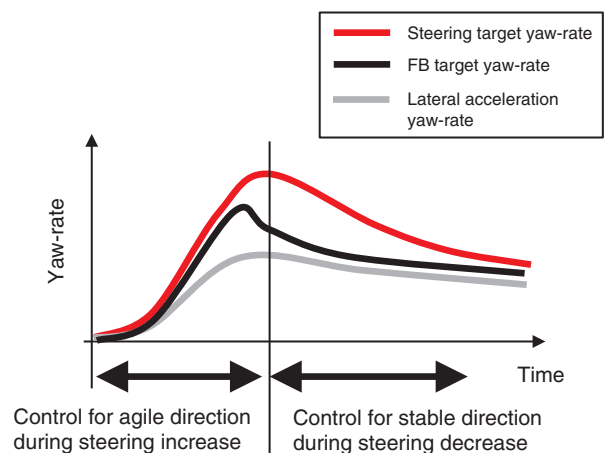


Fig. 4 AHA FB control

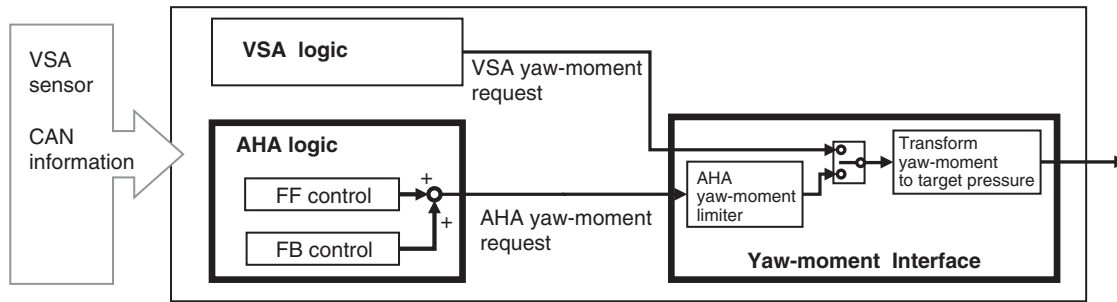


Fig. 5 VSA software structure

5. 性能向上効果

5.1. 操舵応答性の向上

AHA の操舵応答性の向上効果を確認するために、J ターン走行における操舵入力に対するヨーレートの応答時間を計測した。試験方法としては、初速 60 km/h から、操舵を 0.5 s で 90 deg になる速さで入力し 90 deg でそのまの舵角を維持する。応答時間は、舵角が 45 deg に到達した時間から、発生したヨーレートが最大値の 90% のヨーレートに到達するまでの時間と定義する。その結果を、Fig. 6 に示す。AHA を作動させない場合に比べ、AHA を作動させると 330 ms から 275 ms と 55 ms 短縮できることが確認された。このことは、開発のねらいである操舵応答性の向上が達成できたことを示している。

5.2. 商品性の確保

AHA のスムーズな制御フィードバックの確保を確認するために、乾燥路でのスラローム走行における操舵角、ヨーレートを計測した。Fig. 7 にその結果である、操舵角対ヨーレートのリサージュ波形を示す。試験方法としては、初速 60

km/h から、操舵を最大舵角 90 deg で、0.5 Hz 周期の正弦波入力をおこなう。AHA を作動させない場合は、リサージュ図形からわかるように、操舵角に対するヨーレートの増加減少量が変化し、リニアリティがなく、ヒステリシスも大きいといった傾向もみられる。

それに比べ、AHA を作動させるとヨーレートの増加減少量が一定になり、リニアリティの向上や、ヒステリシスが小さくなる傾向が見られる。このことは、常用域からブレーキ加圧制御をすることによる課題であった制御リニアリティの確保に対して、課題を解決した上で、さらにリニアリティの向上に貢献していることを示している。

併せてヒステリシスも向上させるメリットがあることも確認できた。これらは、開発のねらいであるスムーズな制御フィードバックの確保が達成できたことを示している。

5.3. 限界ハンドリングの向上

雑誌社や公的機関のテストモードを弊社テストコースで実施した。

5.3.1. 乾燥路における低速スラローム

本モードは、ヨーロッパの自動車雑誌社のテストモード

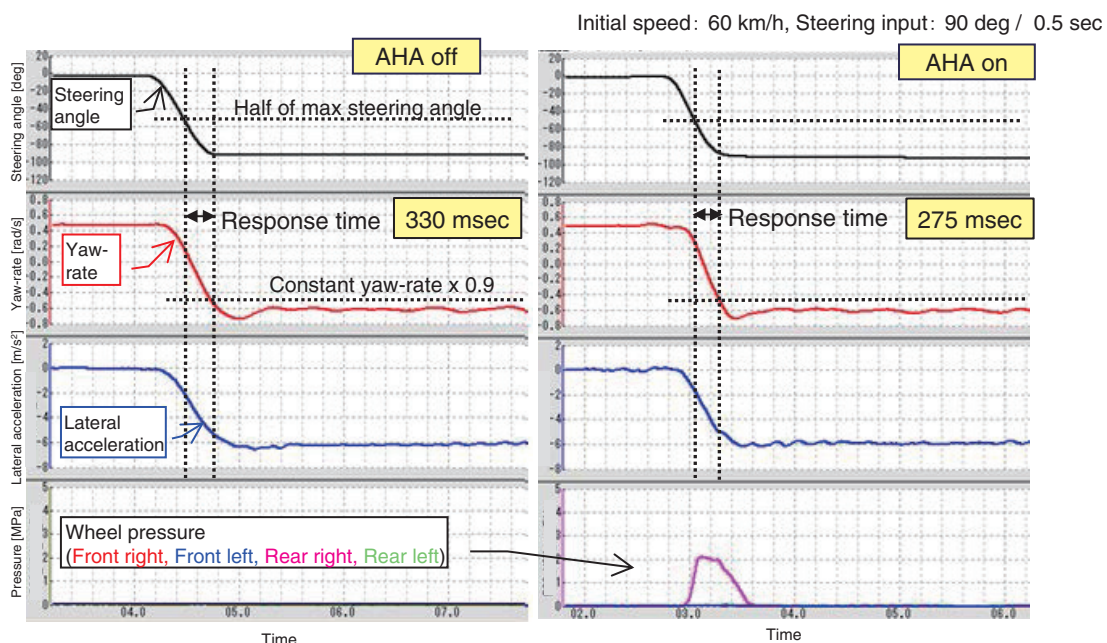


Fig. 6 J turn test result

である。試験方法としては、18 m 間隔のパイロンを 20 本、初速 50 km/h から可能な限り高い車速で通過する。本モードを用いて社内テストコースで確認した。その結果を、Fig. 8 に示す。AHA を作動させない場合に比べ、AHA を作動させると、通過タイムを 1.3 s 短縮することが可能となった。加えて、操舵角対ヨーレートのリサージュ波形において、操舵操作に対するヨーレートのヒステリシスの減少に代表されるヨーレート追従性の向上、および操舵操作量の低減効果が確認できた。これは、AHA の主に FF 制御により、低速域、限界付近での応答性と操舵追従性が向上することで、ドライバの余分な操舵操作が不要になり、素早くパイロン通過することが可能となることを示している。

5.3.2. 乾燥路における高速スラローム

本モードは、アメリカの自動車雑誌社のテストモードである。試験方法としては、100 ft 間隔のパイロンを 7 本、

可能な限り高い車速で通過する。本モードを用いて社内テストコースで確認した。その結果を、Fig. 9 に示す。AHA を作動させない場合に比べ、AHA を作動させると、通過タイムを 0.29 s 短縮することが可能となった。加えて、ヨーレートの発散を抑制することにより、安定した操舵操作でスラロームが継続でき、操舵操作量の低減効果も確認できた。これは、AHA の FF 制御および FB 制御により、高速域、限界付近での応答性と操舵追従性、安定性が向上することで、低速時と同様に高いハンドリング性能が得られたことを示している。

5.3.3. 低 μ 路におけるスラローム

本モードは、弊社のテストモードである。試験方法としては、バサルト低 μ 路にて 30 m 間隔のパイロンを 6 本、可能な限り高い車速で通過する。本モードを用いて社内テストコースで確認した。その結果を、Fig. 10 に示す。AHA を

Slalom initial speed: 60 km/h,
Steering input: 90 deg, 0.5 Hz

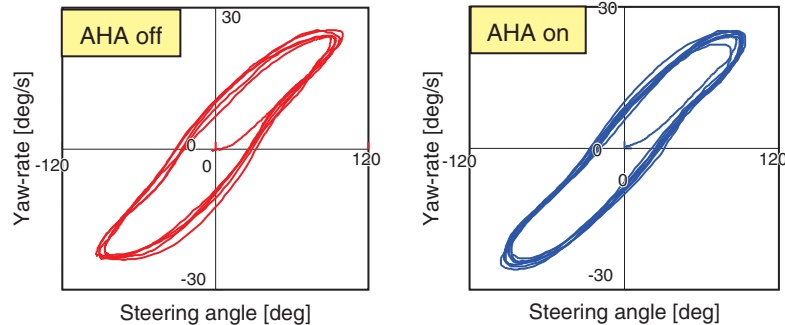
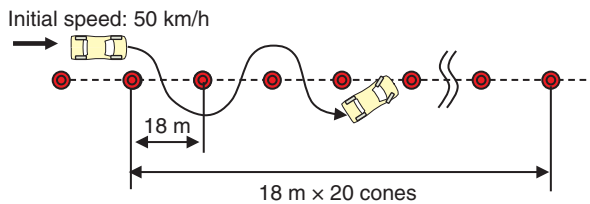


Fig. 7 Linearity control test result

Test mode of dry slalom at low speed



Fastest time

AHA off	24.6 sec
AHA on	23.3 sec

Maximum steering angle

AHA off	172.6 deg
AHA on	154.9 deg

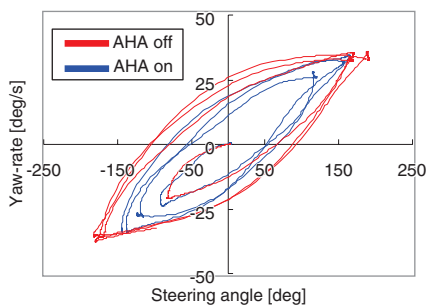


Fig. 8 Dry slalom test result at low speed

Test mode of dry slalom at high speed

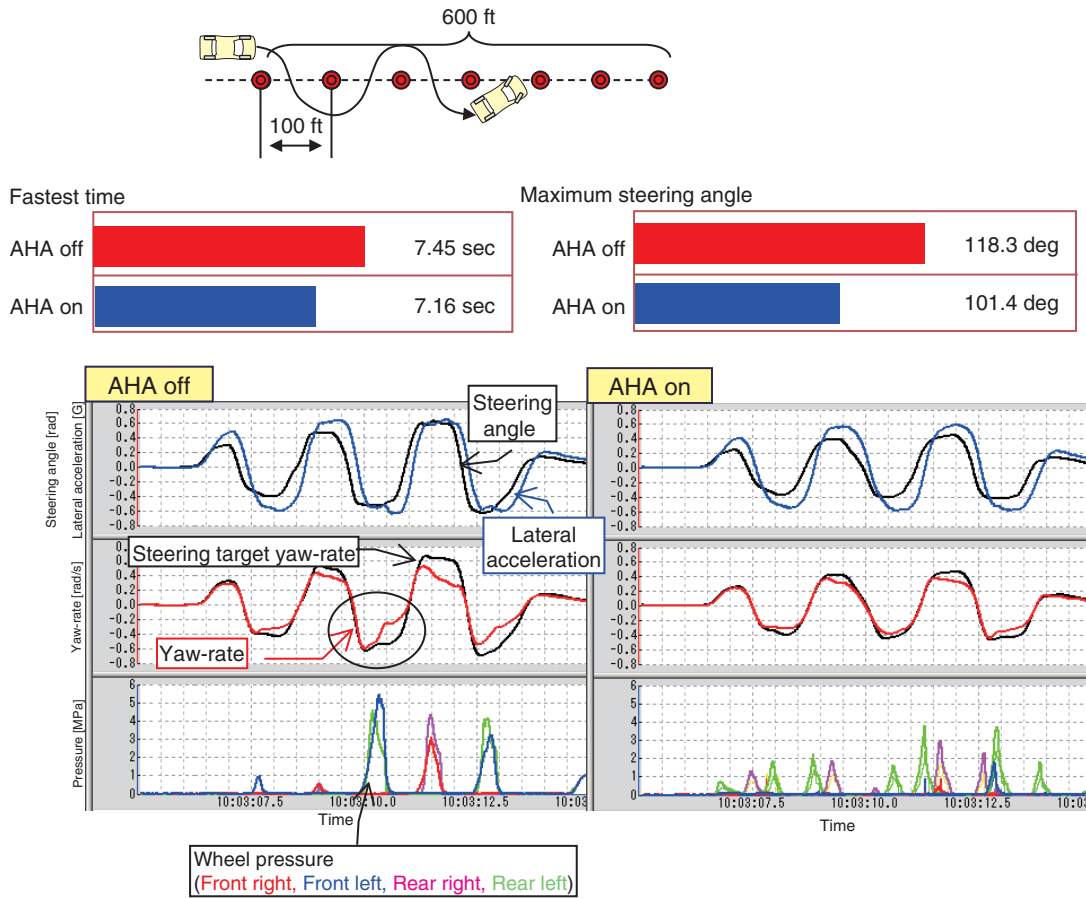
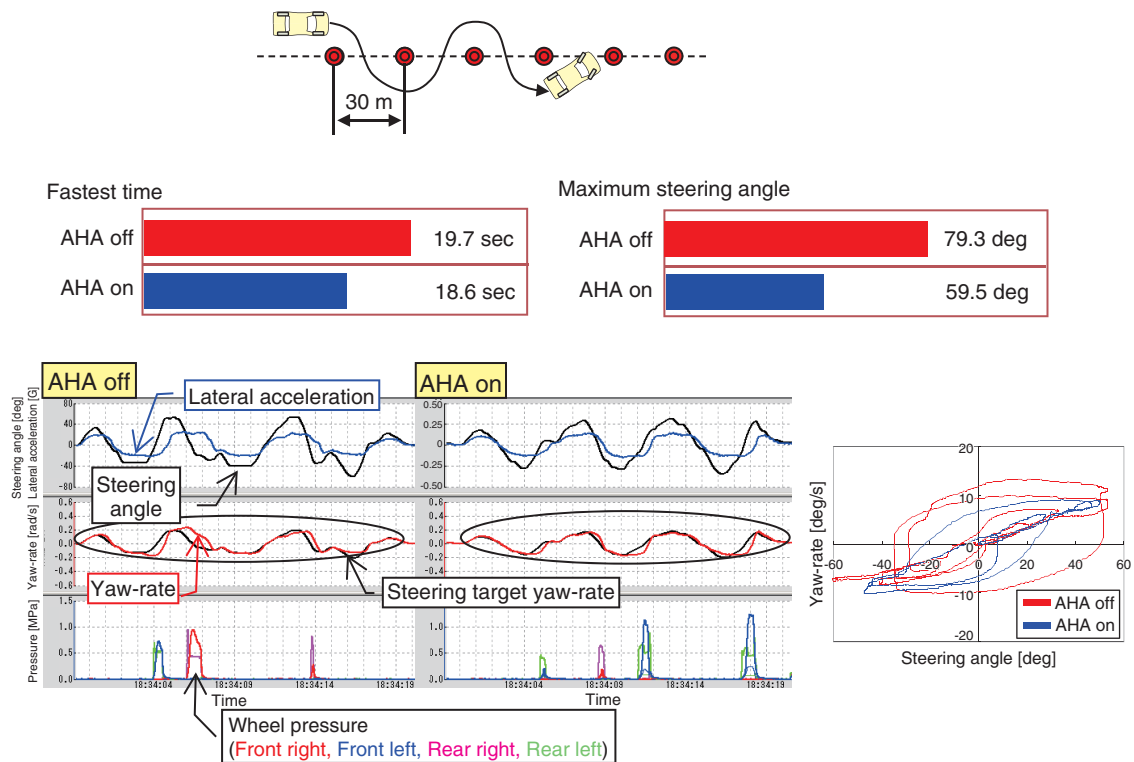


Fig. 9 Dry slalom test result at high speed

 Test mode of low μ slalom

 Fig. 10 Low μ slalom test result

作動させない場合に比べ、AHA を作動させると、通過タイムを 1.1 s 短縮することが可能となった。加えて、ヨーレートの発散を抑制することにより、安定した操舵操作で安定したスラロームが継続でき、操舵操作量の低減効果も確認できた。これは、AHA の主に FB 制御により、滑りやすい路面における限界付近においても同様に高いハンドリング性能をあらわしている。

5.3.4. 乾燥路における V レーンチェンジ

本モードは、アメリカの公的機関のテストモードである。試験方法としては、規定のレーンを最大進入車速で通過する。本モードを用いて、社内テストコースで確認した結果を Fig. 11 に示す。AHA を作動させない場合に比べ、AHA を作動させると、最大通過車速が 3.9 km/h 向上した。加えて、ヨーレートの発散を抑制し操舵操作量の低減効果が確認できた。これは、AHA の主に FB 制御により、限界付近での俊敏性と操舵追従性、安定性が向上することで、危険回避性能が向上することを示している。

6. P-AWS との組み合わせによる AHA の効果

2014 年モデル ACURA RLX では、AHA と P-AWS を組み合わせで適用した。P-AWS は、高速では安定性を確保するために、前輪舵角に対して後輪舵角を同相に制御する。また、低速では、回頭性を向上し内向き姿勢を作った

め、前輪舵角に対して後輪舵角を逆相に制御する。AHA と P-AWS を組み合わせたハンドリングに対する相乗効果を検証した。

6.1. 急操舵時の操舵初期の横加速度応答向上

旋回中のレーンチェンジのテストモードにおいて、効果を確認した。その結果を、Fig. 12 に示す。P-AWS のみの場合は、後輪逆相操舵制御によりヨーレートが発生することで、優れた回頭性を示している。さらに AHA と組み合わせることで、高周波操舵入力時の横加速度応答遅れを向上させ、相乗効果により理想的な旋回性能を達成できることが確認できた。

6.2. 低 μ など限界域での操舵に対するヨーレート収れん性向上

低 μ 路におけるシングルレーンチェンジのテストモードにおいて、効果を確認した。その結果を、Fig. 13 に示す。P-AWS のみの場合は、後輪逆相操舵制御によりヨーレートが発生することで、低 μ 路においても優れた回頭性を示している。さらに AHA と組み合わせることで、AHA FB 制御により、後輪逆相操舵の特性である限界域でのヨーレート収れん性を向上させ、相乗効果により、理想的な旋回性能を達成できることが確認できた。

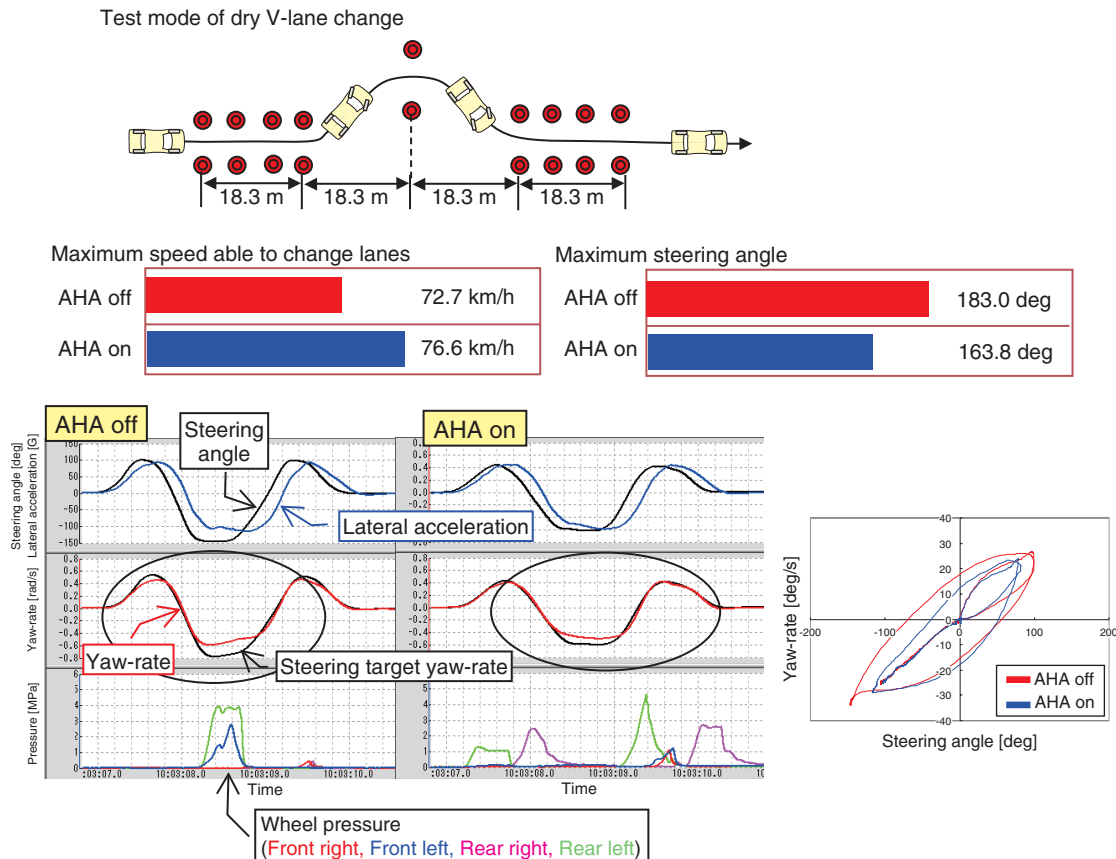


Fig. 11 Dry V-lane change test result

Test mode of lane change in turning

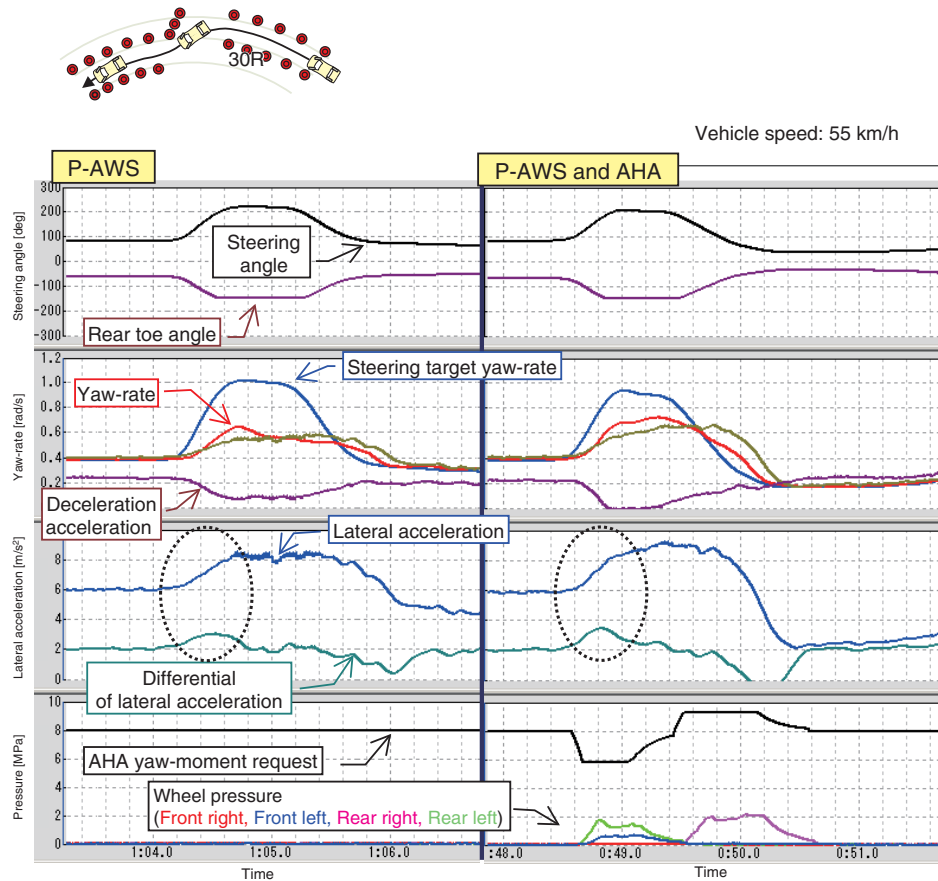


Fig. 12 AHA effect with P-AWS (part 1)

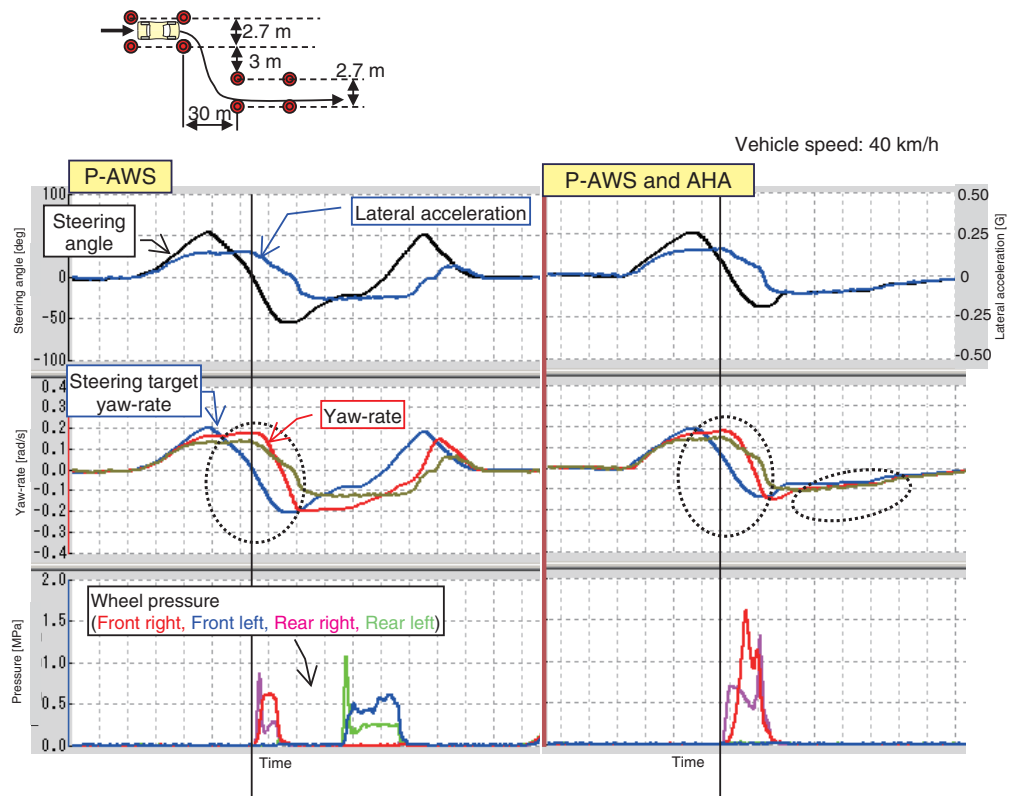
 Test mode of low μ lane change


Fig. 13 AHA effect with P-AWS (part 2)

7. まとめ

AHAの開発のねらいであった、以下の3項目を達成し、ドライバの操舵操作に対して、車両の応答性と収束性の向上を実現させることができた。

- (1) Jターン時のヨーレート応答性の向上の効果が得られ、車両の操舵応答性の向上が確認できた。
- (2) スラローム走行により、舵角・ヨーレート特性がリニアでスムーズであるという結果が得られ、商品性を確保できることが確認できた。
- (3) 媒体テストモードにおいて性能向上効果が得られ、限界ハンドリングの向上効果が確認できた。

また、AHAは、P-AWSと組み合わせることにより、相乗効果が得られ、理想的な旋回性能を達成することも確認できた。

参考文献

- (1) 芝端康二, 栗城信晴, 北村克弘, 本多健司, 和田一浩, 梶原肇, 森淳, 桑原一好, 大熊真司: 左右駆動力配分システムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.70-79
- (2) 國井力也, 岩崎明裕, 渥美淑弘, 森淳: 四輪駆動力自在制御システム (SH-AWD) の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.9-16

■ 著 者 ■



小島 武志



二村 知幸



大村 一剛