

# VSA による氷雪路走行時の操縦安定性向上

Improvements in Handling on a Slippery Road with VSA

金 圭 勇\*  
Keiyu KIN

池 田 透\*  
Tohru IKEDA

矢 野 修\*  
Osamu YANO

## 要 旨

スタビリティとステアアビリティを同時に向上させる VSA (Vehicle Stability Assist) の性能を、氷雪路で遭遇するいくつかの危険な状況を設定して再現テストした。その結果、ドライバーの疲労軽減効果と事故回避性能が向上し VSA の有効性が証明された。

## ABSTRACT

The performance of Vehicle Stability Assist (VSA), which simultaneously improves stability and steerability, was tested for reproducibility under various dangerous conditions of the kind encountered on slippery roads. The results showed effects of alleviated driver fatigue and improved accident avoidance performance, thus proving the effectiveness of VSA.

## 1. まえがき

筆者らはすでに、VSA の 4 輪最適スリップ制御の研究を通して、操縦安定性がさらに向上することを報告した<sup>(1)</sup>。本研究ではこの進化した VSA を用いて氷雪路面における走行安全性の実車検証を行なった。その結果、一般の氷雪路で遭遇する危険な状況において車両の安定性と操舵特性が向上し、スピン事故と車線逸脱事故の防止に効果があることを確認した。テスト車は F F 車ベースのオンデマンド方式フルタイム 4WD を用い、テストコースは氷雪路面に限定した。

## 2. テストモード

寒冷地や雪国等氷雪路面の多い地域で事故に陥り易い危険な場面を想定した。代表的なケースとしては、速度の出しすぎでコーナーを曲がりきれない、旋回中に予期せぬ障害物を発見し急制動をかける、走行中に突然の飛び出し等で緊急回避を強いられる、さらに、山岳路等の複合ワインディングを走行中に運転ストレスから操作ミスをする、が挙げられる。これらから次の四つのテストモードを設定した。

- ① J ターン (オーバースピードでコーナー進入)
- ② ブレーキインターン (旋回中の急制動)
- ③ ダブルレーンチェンジ (緊急回避操舵)
- ④ 連続スラローム (ワインディング走行)

そして、これらのシチュエーションにおいて、VSA の性能を安定性と舵の効きの両面から評価した。

つまり、

- (1) 安定性向上による疲労軽減 : スタビリティ (リアタイヤのグリップ)
- (2) 事故回避性能の向上 : ステアアビリティ (舵の効き)

の両立を実車証明するのが本テーマの目的である。

さらに今後のアクティブセーフティの実現に向けてどのように技術発展させていくのかを考察した。

## 3. 制御ロジック

VSA は次の三つの基本ロジックから構成されている。

- ① 車体スリップ角推定ロジック (β 推定ロジック)
- ② タイヤ路面間摩擦係数推定ロジック (μ 推定ロジック)
- ③ 最適 4 輪スリップ制御ロジック (入制御ロジック)

本テーマではさらに、次の三つの制御ロジックを改良し  
氷雪路における性能向上を図った。

④車体速度推定ロジック

⑤アンダーステア制御ロジック

⑥オーバーステア制御ロジック

本システムの基本構成を Fig. 1 に示す。また、基本制御  
ロジックを Fig. 2 に示す。次に④、⑤、⑥の各ロジックを  
説明する。

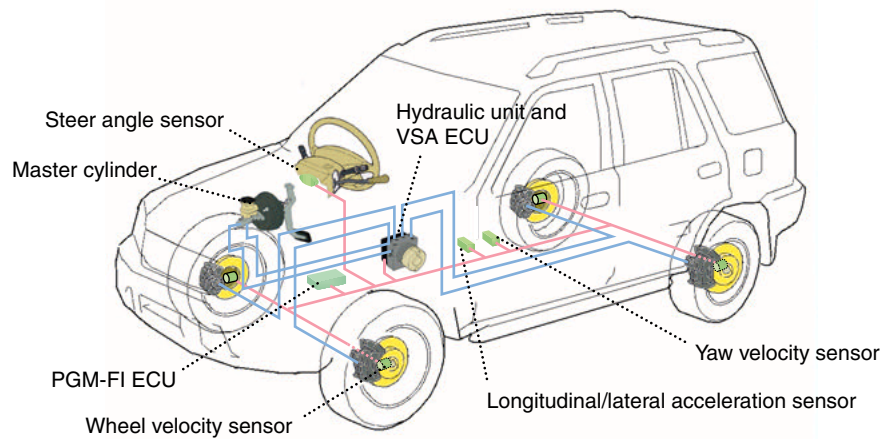


Fig. 1 System configuration

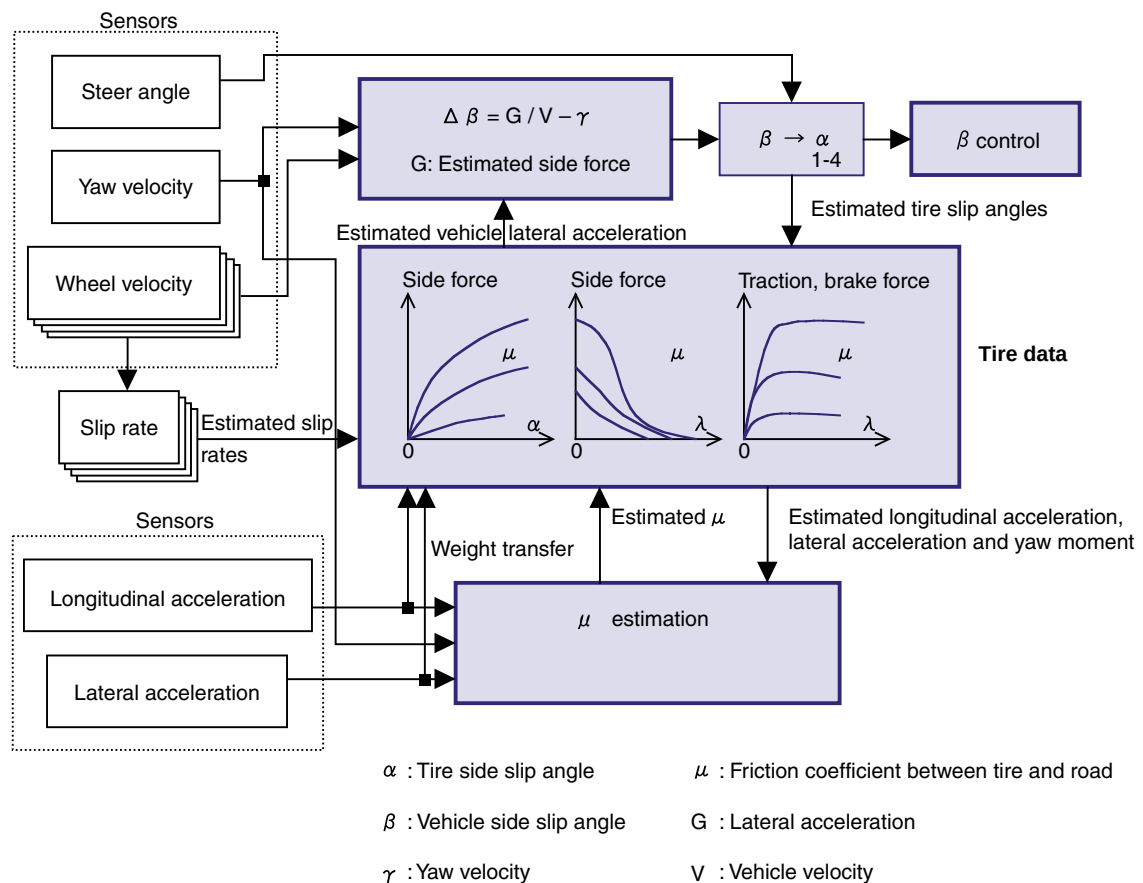


Fig. 2 Basic VSA logic

### 3.1. 車体速度推定ロジック

発進スリップ時、低 $\mu$ ・スプリット走行時、スリップ制御作動時の車体速度の推定精度を向上させるために、Fig. 3に示すように $\mu$ -スリップ特性(タイヤデータマップ)から推定した各タイヤの制駆動力の合計を推定前後Gに換算して車体速度を求めている。さらに、 $\mu$ 推定ロジックと合わせてタイヤ特性を適応している。

### 3.2. アンダーステア制御ロジック

US制御は、そのほとんどがオーバースピードでコーナーに進入する際に発生していることから、Fig. 4に示すようにリア車輪のブレーキ制御とフロント内輪のモーメント制御を同時に作動させる3輪制御とした。特に、減速後はリアの左右輪に制動力差を付けて積極的にモーメントを発生させるようにしている。

### 3.3. オーバーステア制御ロジック

OS制御は、緊急回避時の速い左右連続転舵に起因する急激なヨーモーメントの発生防止と、比較的重量の大きいRV車の慣性モーメントを考慮して、より早い段階で作動するモーメント抑制制御を開発した。具体的にはFig. 5に示すように、(1)車体スリップ角が閾値を越え、かつ、(2)ヨーレートとの符号が異付号になった時に過剰モーメント(OS, スピン)を予測・制御している。

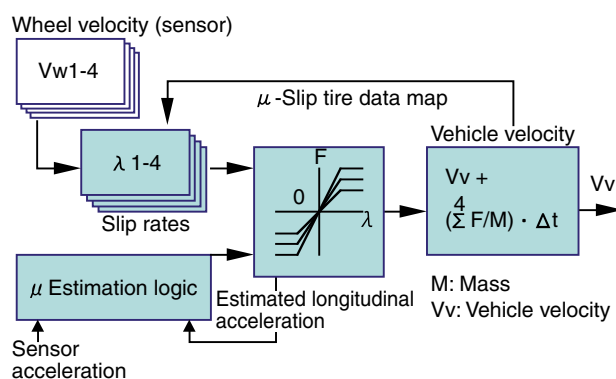


Fig. 3 Vehicle velocity estimation logic

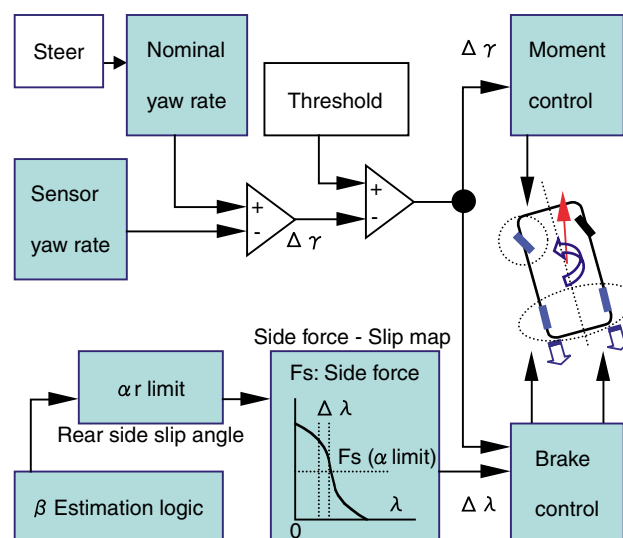


Fig. 4 Under steer control logic

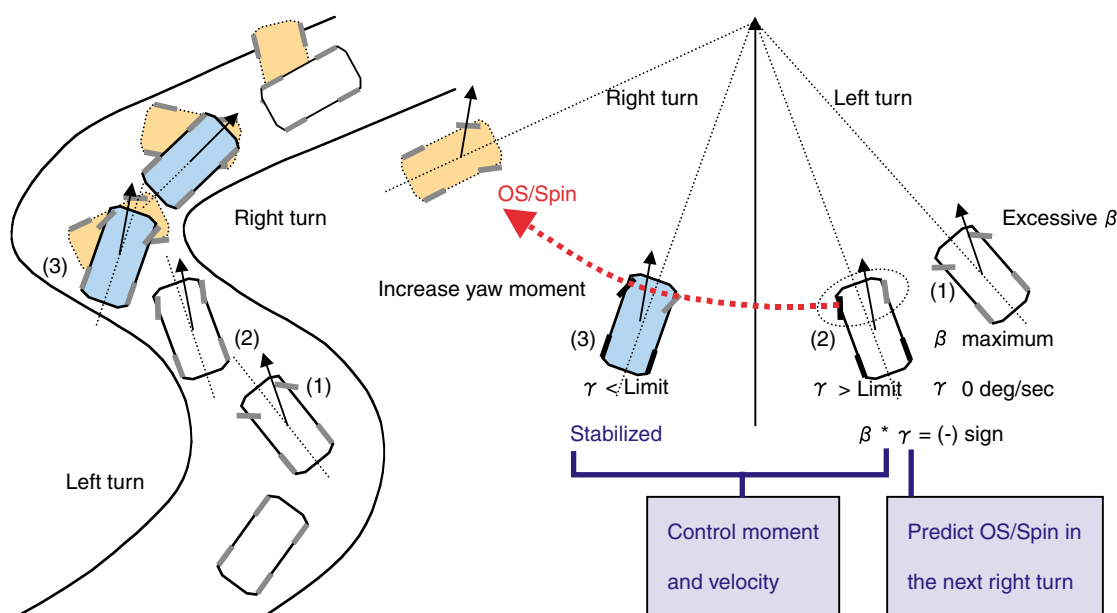


Fig. 5 Prediction and control for excessive yaw moment on the slalom course

## 4. テスト結果

### 4.1. 50R Jターンテスト

(オーバースピードでコーナー進入)

テストモードと実車走行写真を Fig. 6 に示す。

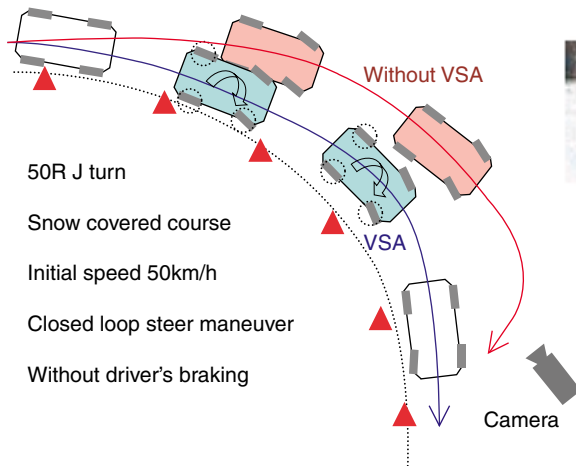


Fig. 6 50R J turn test

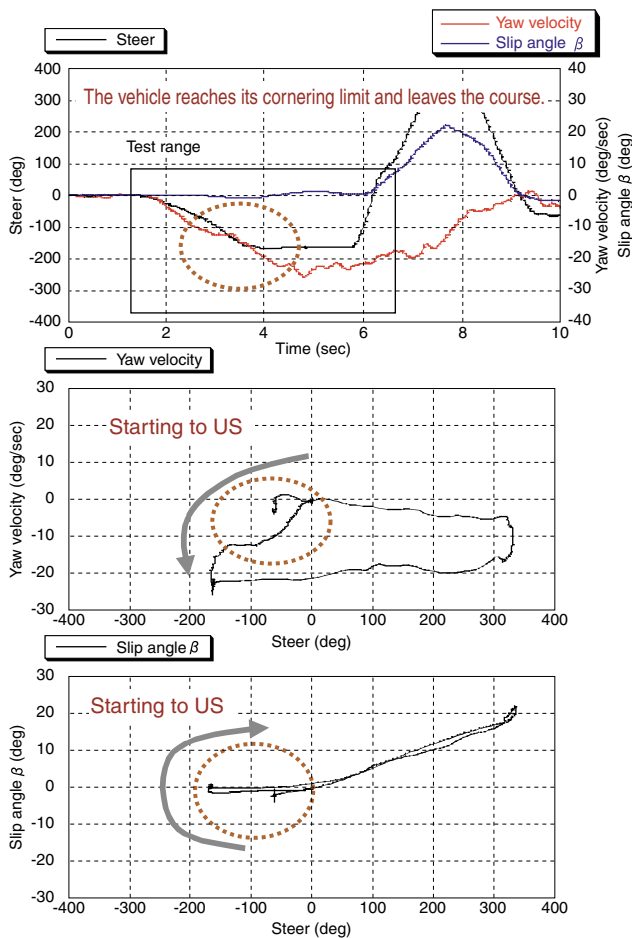


Fig. 7 50R J turn test on snow without VSA

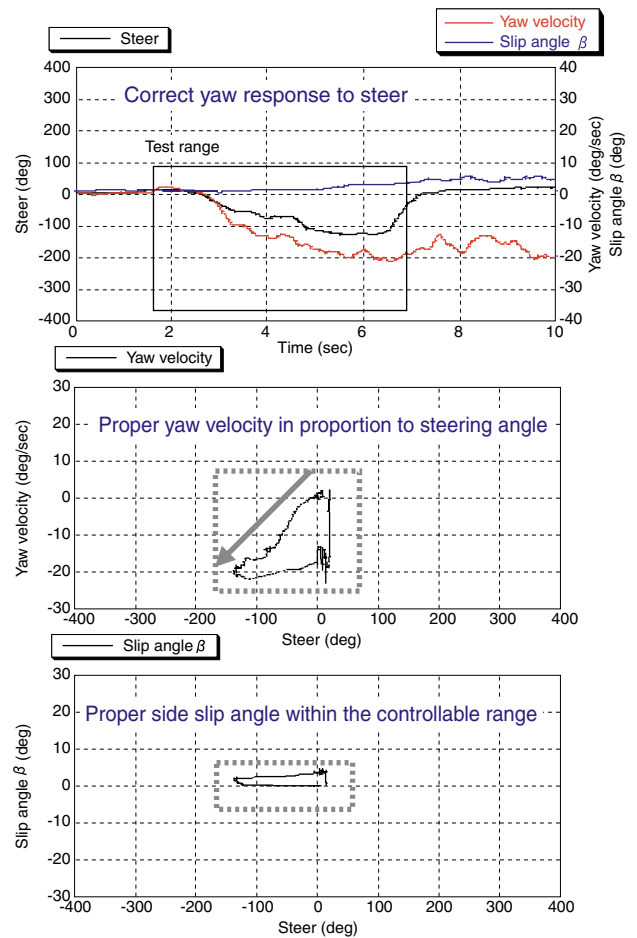


Fig. 8 50R J turn test on snow with VSA

## 4.2. 50R ブレーキインターンテスト(旋回中の急制動)

テストモードと実車走行写真を Fig. 9 に示す。

VSA 無しでは Fig. 10 に示すようにタイヤグリップ限界を超えて目標ラインの外へ飛び出す。対して、VSA 作動時は Fig. 11 に示すようにリア2輪による減速制御と左右制

動力差によるリアモーメント制御、さらにフロント内輪のモーメント制御により、車体スリップ角の増加・安定維持が可能であり停止距離も15%短い。理想的には、さらに車線逸脱量を減らすことで事故防止効果を上げる必要がある。

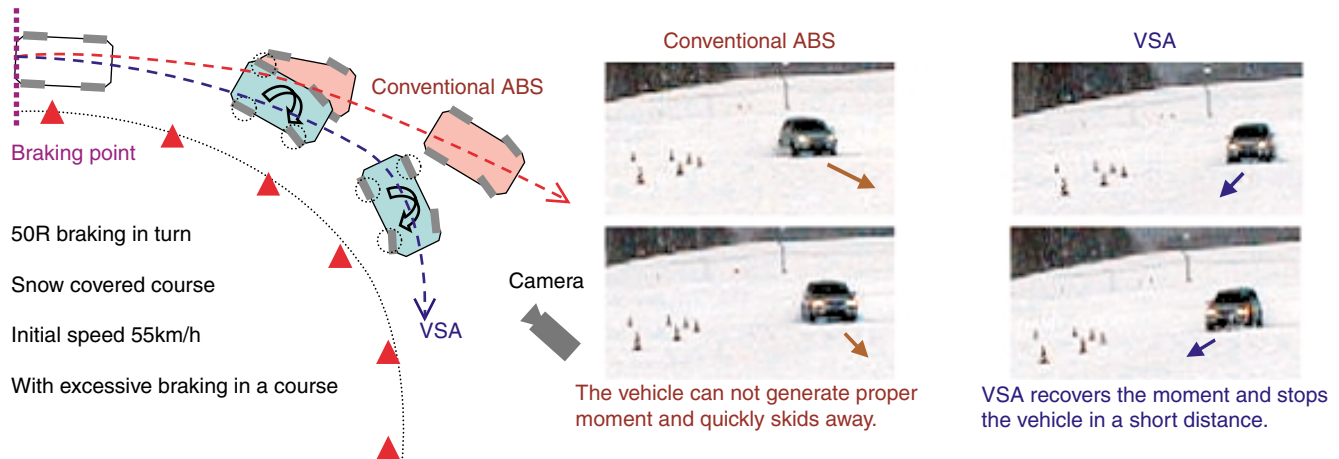


Fig. 9 50R braking in turn test

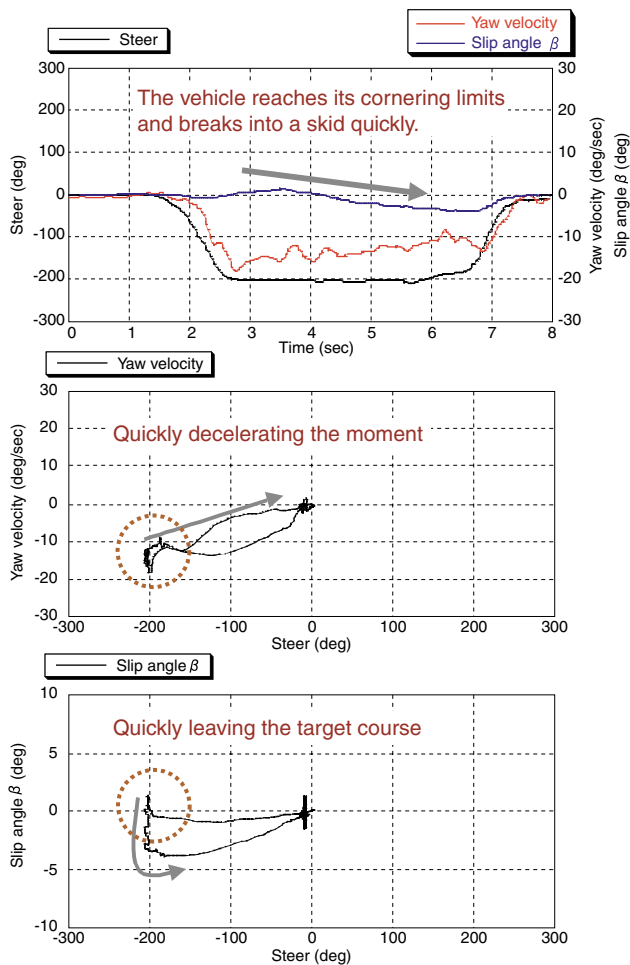


Fig. 10 50R brake in turn test on snow without VSA

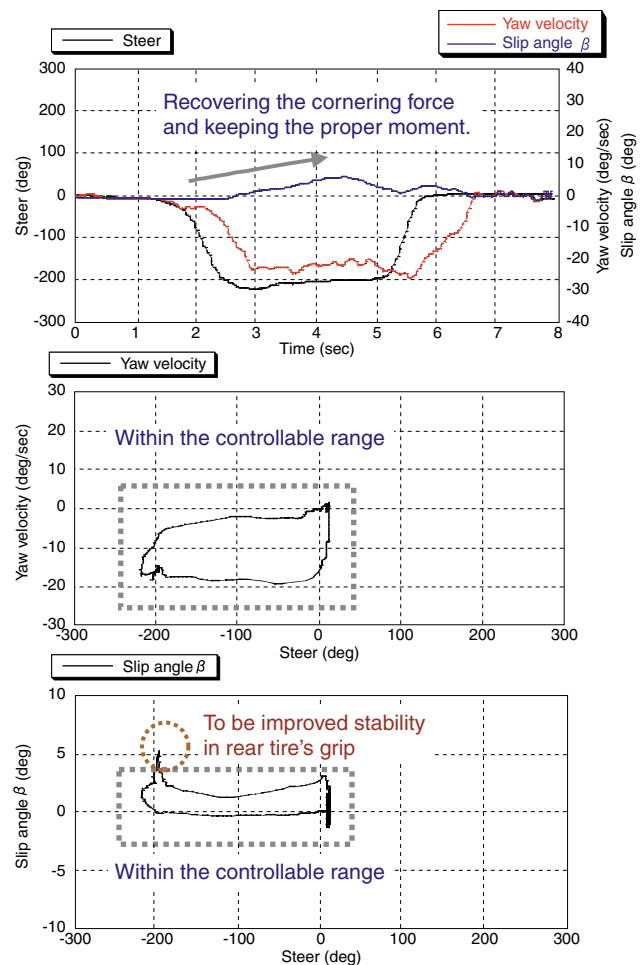


Fig. 11 50R brake in turn test on snow with VSA

#### 4.3. ダブルレーンチェンジ(緊急回避操舵)

テストモードと実車走行写真を Fig. 12 に示す。

VSA 不作用では Fig. 13 に示すように回避後のレーン復帰転舵時にヨーモーメントが急速に増加してスピン状態に陥る。対して、VSA 作動時は Fig. 14 に示すように最初の

回避転舵時のヨー運動から次のターンで過剰モーメントが発生することを予測して、早めのモーメントとスリップ角抑制制御をかけることで安定でかつ舵の効く状態を維持している。

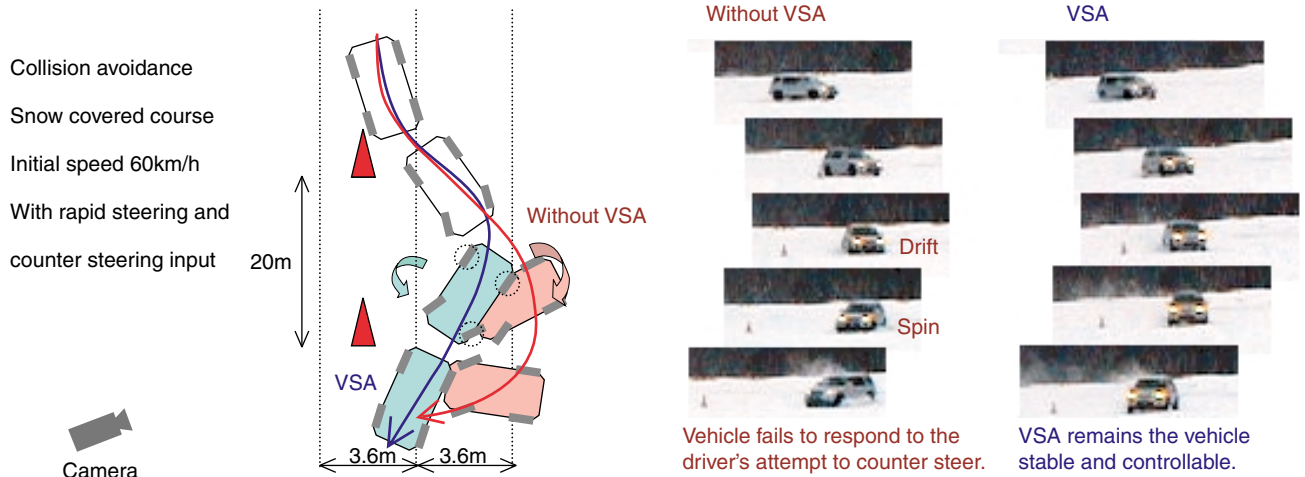


Fig. 12 Collision avoidance test

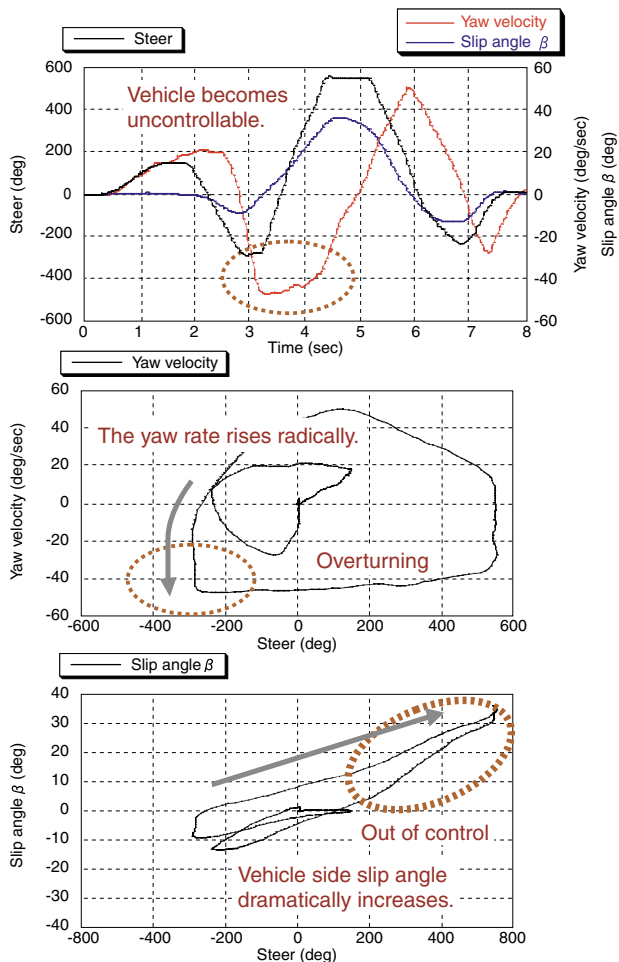


Fig. 13 Collision avoidance test on snow without VSA

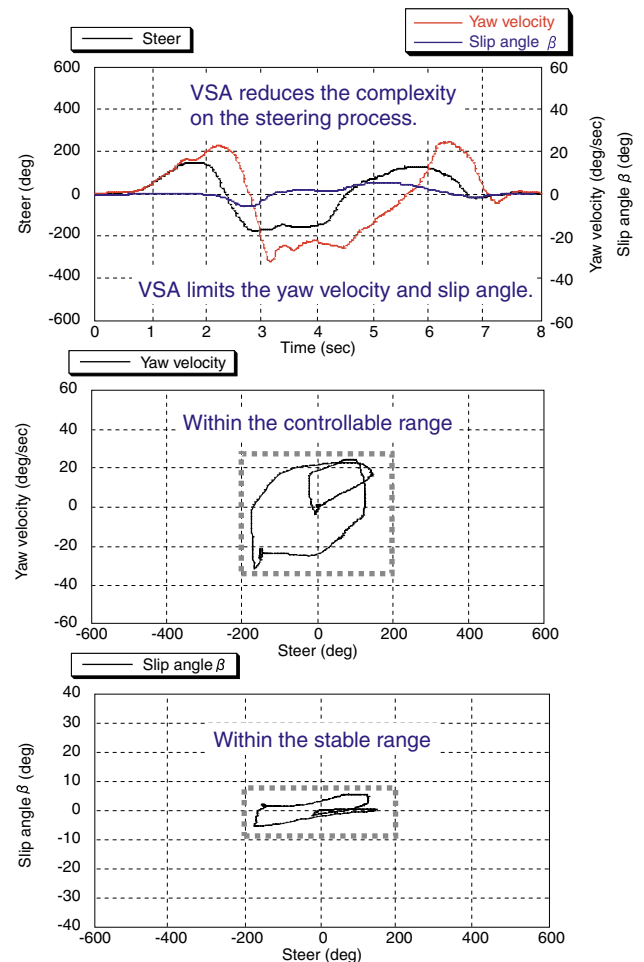


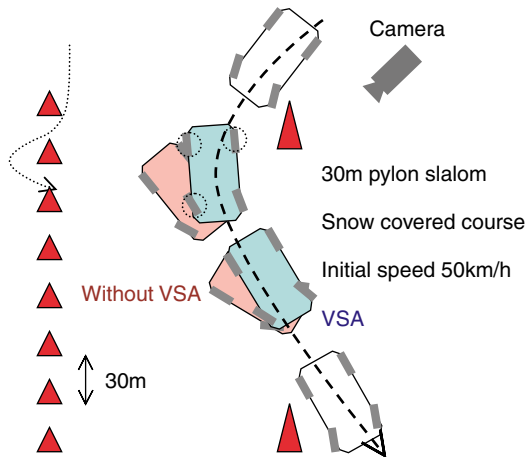
Fig. 14 Collision avoidance test on snow with VSA

## 4.4. 連続スラローム(ワインディング走行)

テストモードと実車走行写真を Fig. 15 に示す。

VSA 無しでは Fig. 16 に示すようにターン毎に挙動がより不安定になるため操舵と修正が増加する。対して、VSA制

御では Fig. 17 に示すようにスリップ角、モーメントともに適正かつ早期に制御されるために安定して操縦可能な挙動が持続できる。結果としてドライバーのストレスと疲労を軽減する効果があり、操作ミスも減少すると思われる。



Without VSA

VSA



Fig. 15 Slalom test

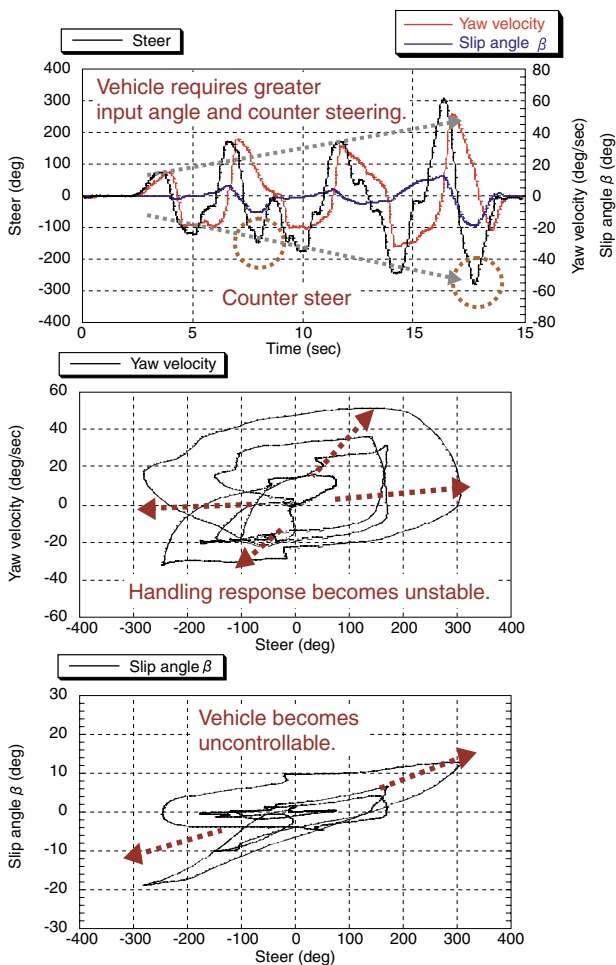


Fig. 16 Slalom test on snow without VSA

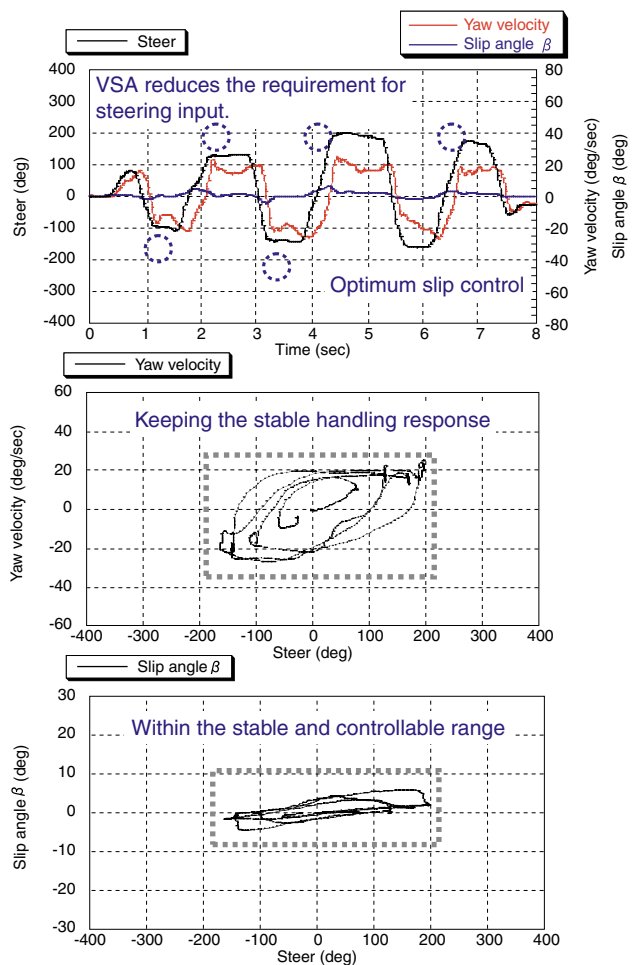


Fig. 17 Slalom test on snow with VSA

## 5. 考察

前の章で示した四つのテスト結果をもとに、氷雪路における操縦安定性向上の効果を考察する。

### (1) Jターン

リア2輪による減速制御とフロンと内輪のアンダーステア制御により車両は安定して旋回できるようになった。特に、舵に対するヨーの立上がりがりニアで操舵特性が改善された。ただし、事故防止の観点からは、さらにドリフトアウトを抑える必要がある。

### (2) ブレーキインターン

旋回ブレーキの停止距離が15%短縮され操安性も改善されたが、目標ラインからの逸脱量は依然として大きく(初期のアンダーステアが原因)改善を要する。そのためには、リアルタイムの車両運動状態のみならず前方の道路形状(例えば、旋回半径等)を先取りして、あらかじめ速度制御をかけるなどの予測技術の開発が必要である。

### (3) 危険回避操作

障害物回避等素早い左右転舵で車両が大きく振られる状況に置いても、ヨーレイトの急激な増加を事前に予測し早期に制御することで、車両挙動を安定させることができた。これにより、回避性能が向上したと考える。

### (4) スラローム

連続スラローム時の操舵特性が最適に保たれる結果、車両挙動が安定し疲労軽減効果が向上したと考える。これによりドライバーは運転にゆとりと安心感を得ることができ、夜間や吹雪といった悪条件の重なった時でも視界確保に集中でき、事故防止効果が上がると考える。

## 6. 結論

VSA 制御を行うことで氷雪路走行時のドライバーの疲労軽減と事故防止に効果があることがわかった。

(1) 危険回避、S字コーナー、ワインディングなどで誘発されるOSとスピンは、早期予測とリアタイヤのグリップを向上させる制御により確実に抑制できた。

(2) 速度オーバーや急制動を伴う旋回などで誘発されるUSとドリフトアウトは、操舵特性が改善され停止距離も短縮された結果、従来の車両に比較して抑制された。ただし、僅かな速度オーバーや操舵ミスが即事故につながる氷雪路では、さらに車線逸脱量を抑え込む改善が必要である。

## 7. アクティブセーフティ技術の発展に向けて

事故防止効果の高い車両運動制御を目標に開発してきたが、更なる安全性向上のためには車外情報や新たなセンシング技術も含めたより高度なアクティブセーフティ要素技術の開発が必要になるだろう。

また、事故の第一要因がドライバーのミスにあると言われていることから、単に車両運動と路面摩擦係数を定量的に推定し車外情報を解析するだけではなく、操作ミスを誘う条件を外的要因(車両運動・道路環境)と内的要因(ドライバー心理)、またはそれらの複合から調査研究することも必要と考える。

今後は、車両運動、道路環境の解析に加えて、ヒューマンファクターのダイナミクスを分析し事故防止技術を発展させていきたいと考える。

## 参考文献

- (1) 金圭勇, 矢野修, 占部博之: スリップ制御による車両のスタビリティとステアアビリティの向上, Honda R&D Technical Review Vol.13, No.1, p.91-98 (2001)

### ■ 著 者 ■



金 圭勇



池田 透



矢野 修