

V S C (車両安定性制御) システム クラウンマジェスター

Vehicle Stability Control System

トヨタ自動車株式会社

杉山瑞穂 *Mizuho Sugiyama*

井上秀雄 *Hideo Inoue*

山本真規 *Masaki Yamamoto*

内田清之 *Kiyoyuki Uchida*

門崎司朗 *Shiro Monzaki*

稲垣匠二 *Shoji Inagaki*

城戸滋之 *Shigeyuki Kido*

1. はじめに

自動車110有余年の歴史のなか、車両開発のねらいは、一貫して「より安全な、より快適な車づくり」であった。

このなかで、安全分野の技術も長い歴史を持ち、シートベルトやエアバッグに代表される衝突安全の技術も確実な定着をみせている一方で、ABS (Anti-lock Brake System) に代表される予防安全技術も、制御技術の進歩と合わさって、近年、急速な進歩と車両への定着を遂げている。一見、わかりにくい面のあるこの予防安全分野は、「転ばぬ先の杖」として、衝突安全技術以上に重要な意味合いを持っている。しかし、この予防安全技術は、車だけでなく、人と、さらには交通環境を抜きには語れない。ドライビングの主役である人が、さまざまな交通環境のなかでなにをするか (どのようなミスを犯すか)、また、なにができるか、実際の調査に基づく機能開発が重要となる。トヨタは、1970年から、この予防安全の研究に力を入れ、さまざまな調査や解析を行ってきた。その結果、「不測の状況で起こる車両の横滑りの事故は、一般ドライバーは避けることがかなり困難なこと」など、いくつか重要な事実が検証されている。このような背景に基づき、この不測の場面での横滑りによる不安定現象を低減するために、いわば「予防安全のエース」として開発されたのが、V S C (Vehicle Stability Control) である。

この開発は1985年からの「車両運動状態の推定技術の研究」から始まり、実際にシステムとして開発がスタートしたのが1990年である。

V S Cは、直接的に横滑りの程度を減らせる点からも、ABS / T R C (T R a C t i o n c o n t r o l s y s t e m) 以上に、予防安全性を向上できる画期的技術であり、自動車安全性の分野における新たなマイル・ストーンといえる。トヨタは、この歴史的なシステムである「V S C」を、トヨタ独自の基盤技術 (車両運動状態の推定と制御技術、ヨーレイト・センサやハイドロブースタなどの要素技術) に基づいて、世界に先駆けて製品化した。さらには、今回のV S Cを装着したクラウンマジェスター F o u rでは、(ABSはもちろん)、制御4WDやアクティブ4WSと併せた総合的安全システムとして、世界で初めて製品化することができた。

2. 開発のねらい

V S Cのねらいは、車両旋回時の横滑りなどの不安定現象を抑制して、事故の発生を低減することである。

車両の運動性能とその運動状態を図式的にイメージしたものが、図-1のBall-in-Bowlの概念である。この図において、Ballは車両の運動状態を、またBowlは車両性能を表現しており、BallがBowlの縁を越えて飛び出すことが

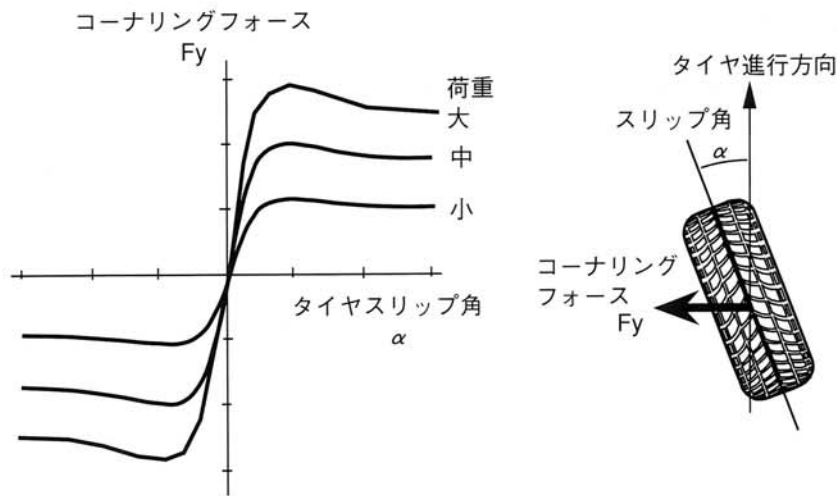


図-2 タイヤのコーナリング特性

領域において、限界ガード的にドライバーがコントロール不能となる現象を抑制する機能を実現しようというものである。

3. 旋回限界での車両不安定現象

車両の旋回性能を支配するタイヤのコーナリング・フォースは、図-2のようにタイヤのスリップ角が10度程度で飽和し、それ以上大きな力を発生することはできない。車両運動性能の限界はこのタイヤ摩擦力の限界に依存するものであり、前輪あるいは後輪のグリップ力が限界に達すると車両は安定した旋回が困難となる。

そのときの車両の不安定挙動は、前後輪のどちらが限界に至ったかによって、2種類の現象に大別される。なお、限界旋回時に前後輪のどちらが先にグリップ限界に達するかは、路面状況（摩擦係数・勾配）・車速・操舵の速さ、加減速の程度など、さまざまな条件に依存するが、高速での急な切り返し操舵などでは後輪が先に、中低速走行で一方向に過剰操舵した時などでは前輪が先に、グリップ限界に至りやすい。

前輪のタイヤが先に限界にグリップ限界に達して過度に横滑りを起こす現象はドリフトアウトと呼ばれる。このときには、ドライバーがさらに操舵を切り増しても、旋回半径はそれ以上小さくならず、コース・トレースが困難となる。（図-3参照）

一方、後輪がタイヤ限界に達して過度に横滑りを起こす場合には、車両自体が不安定状態となる。このときには、車体スリップ角が急増して、車両が旋回内側に巻き

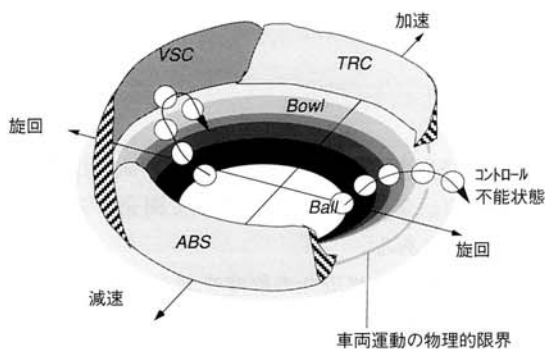


図-1 VSCの基本コンセプト (Ball-in-Bowl)
- Ball:車両状態、Bowl:車両性能

車の操縦不能状態をイメージしている。一般的な走行条件では、Ballの運動に比べてBowlは十分に大きく深いため、車両は安定状態にあるが、緊急回避操作での急ハンドルのようにBallの運動が急激になる場合や、ウエット路や氷雪路などの摩擦係数の低い路面を走行しているときのようにBowlが小さくなった場合では、BallがBowlの縁を越えて操縦困難となる可能性が出てくる。すでに実用化されているABSやTRCは、制動・駆動方向でのBowlの縁での限界ガード的機能により安定性を確保するシステムである。しかし、これらの機能だけでは、旋回方向にガード的機能のない部分が残されたままである。

VSCは、このような状況でも車両側で抑制し、一般的なドライバーの技量でも適切な操作が行えるようにアシストすることをねらいとしている。つまり、図-1のようにABSやTRCと合わせて車両の前後・横方向の全

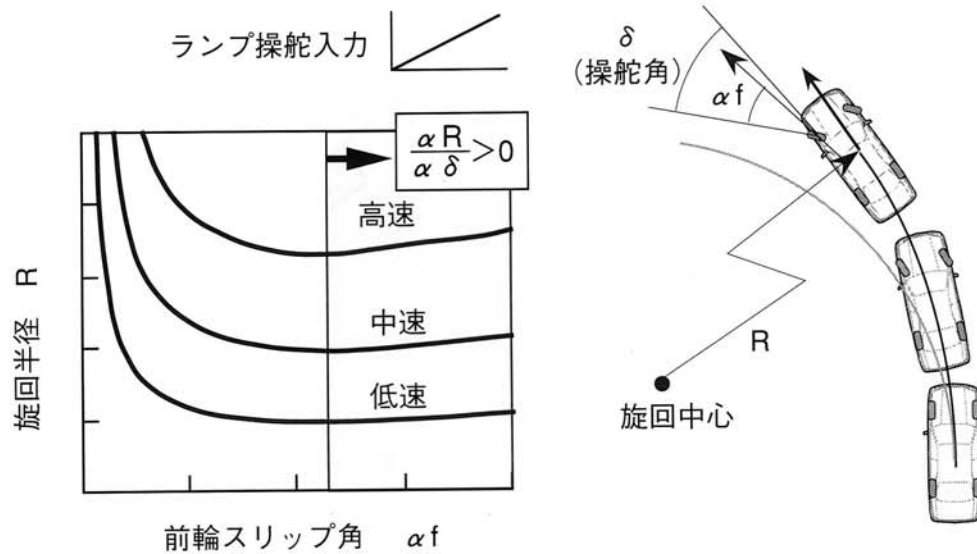


図-3 前輪横滑りによるドリフトアウト現象解析例

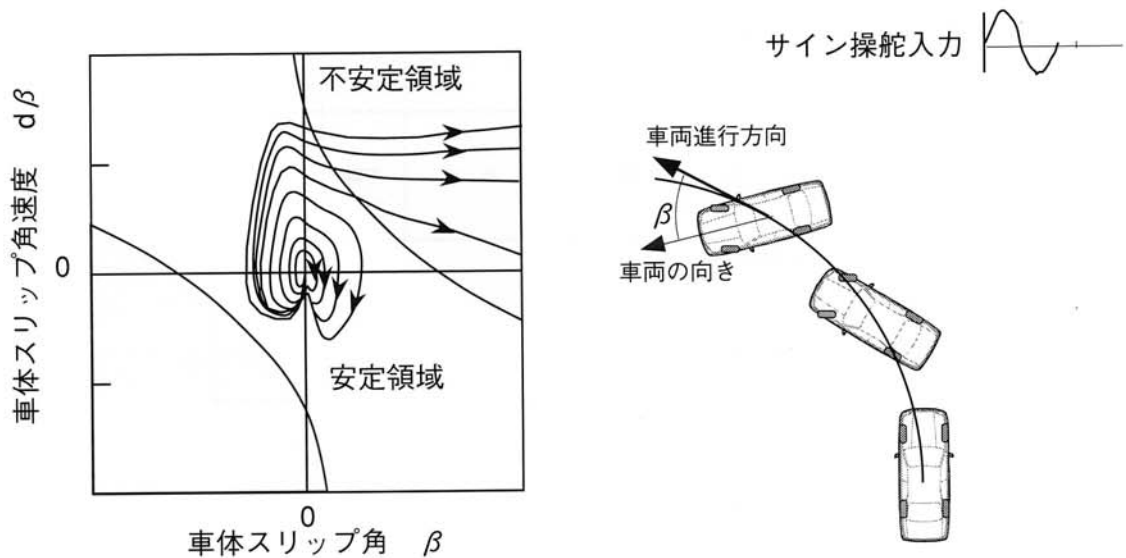


図-4 後輪横滑りによる不安定状態の解析例

込み、いわゆるスピン状態に陥る。この現象は車体スリップ角 (β) とその変化率 ($d\beta$) で表現される位相平面上において、運動状態が不安定領域へ逸脱してしまうことを意味している (図-4参照)。

4. VSC実現のための車両運動制御手段

次に、前述したような車両の横滑り現象と旋回限界不安定現象を抑制する手段について、考察する。

前輪の横滑りによるドリフトアウト現象を抑制してコーストレース性を確保するためには、まず減速して、旋回に必要なコーナリング・フォースを減少させることが有効である。さらに、後輪に残されているコーナリング・フォースを有効に利用するために、後輪が最大コーナリングフォースを発生するスリップ角となるように、適度な旋回内向きモーメントを付加することも、効果的である (図-5 (A) 参照)。

後輪の横滑りに対しては、旋回外向きモーメントを付

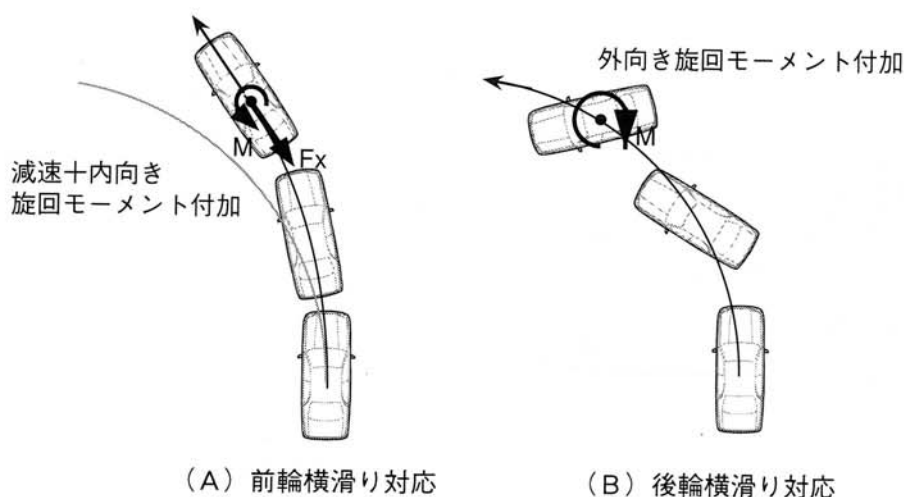


図-5 横滑り抑制の安定化制御法

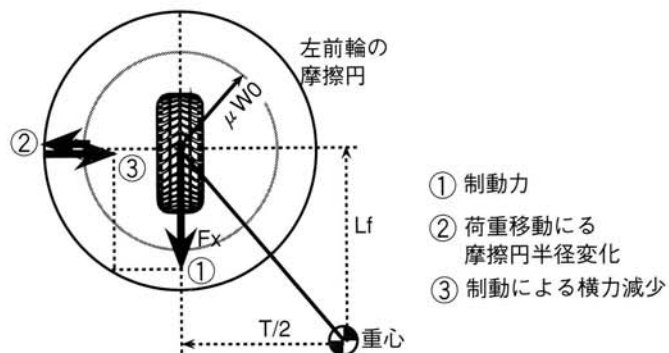
評価項目 方式	旋回モーメント制御		減速制御	システム 規模、重量
	発生プロセス	限界領域での制御量		
制動力独立制御 	力を 直接制御	大	可能	小
ステア角制御 	間接制御	小	不可	中
接地荷重制御 (サスペンション制御) 	間接制御	大 (高 μ 路) 小 (低 μ 路)	不可	大

図-6 VSC実現のためのシャシ要素比較

加することができれば、車両不安定現象を抑制することが可能となる（図-5（B）参照）。

つまり、横滑り現象を抑制してVSC機能を実現するためには、旋回限界付近で車両の旋回モーメントと減速力の二つを制御できることが条件である。車両の旋回特性をコントロールするシャシ要素としては、4WSのようなステア角制御やサスペンション・コントロールによる接地荷重制御なども考えられるが、車両旋回時の不安定現象が発生しつつあるような状況では、4輪独立の制動力制御が以下の特徴を備えていてVSCコンセプトを実現するための最も有効な手段であることがわかる（図-6参照）。

①制動力左右差によって旋回モーメントを直接制御することが可能で、旋回限界付近での制御量も大きく、広



$$\text{ヨーモーメント変化} = \text{①} \times T/2 + (\text{②} - \text{③}) \times L_f$$

図-7 制動力付加時のタイヤ発生力変化（左前輪）

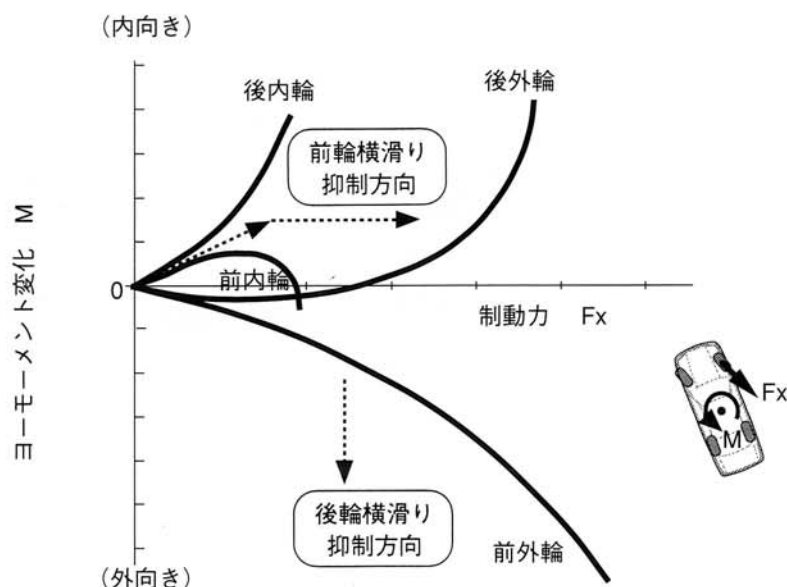


図-8 各輪制動力付加によって生じる旋回モーメント変化

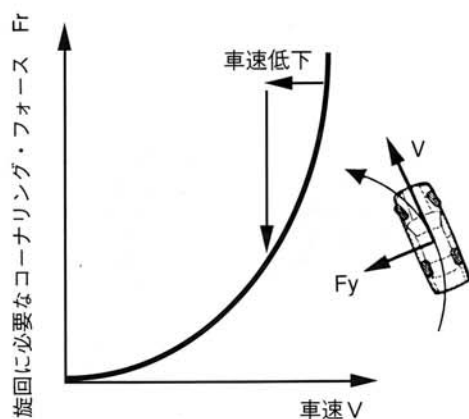


図-9 減速による旋回安定性向上効果

範囲。

- ②各輪制動力の総和により減速力もコントロール可能。
- ③ABS/TRCシステムの拡張により、ハード構成可能で、システムの規模・重量が小。

5. VSCの車両運動制御の原理

まず、各輪の独立制動力制御による旋回モーメントの変化について、説明する。各輪のアクティブ制動による旋回モーメントの変化は、制動力によって直接的に作用するもののほかに、制動に伴う後輪から前輪への荷重移動によるもの、タイヤ摩擦円限界によるコーナリングフォース低下の影響を考慮する必要がある。図-7は、左前輪を例にとって、制動によるタイヤ発生力の変化を示し

たものである。

このような力の変化を4輪について考えると、各輪のアクティブ制動による旋回モーメントの変化は、図-8のようになる。前外輪への制動力付加は、制動の大きさに対して安定した外向きモーメントを発生し、後内輪制動は内向きモーメントを発生する。前内輪および後外輪は、制動の大きさによってモーメントの方向が反転する。

図-8から、前輪あるいは後輪の横滑り抑制のための制動輪を、考察することができる。前輪横滑り抑制のためには、まず内向きモーメントを与えるために主に後内輪に制動を加え、その後、旋回モーメントのバランスをとりながら4輪に制動力を付加して、コーナリングフォース限界で旋回可能な車速まで車両を減速する（図-9参照）。

また、後輪横滑り発生時には、大きな外向きモーメントを発生できる前外輪に制動力を付加し、車両の安定性を確保する。

旋回に必要な各車輪のコーナリング・フォースの総和は、車速の2乗に比例して大きくなる。一方、車輪のコーナリング・フォースは、車速に依存して増減することではなく、これが車両が高速時に不安定になる要因の一つである。したがって、高速時は、少しでも車速が下がると旋回に必要なコーナリング・フォースが大きく低下し、安定性の向上効果が顕著に現われる。

以上述べてきたように、VSCの運動制御の基本的考え方は、車体や車輪の横滑り状態に応じて4輪独立にアクティブ制動力を加えることによって、旋回モーメントと減速力をコントロールして旋回安定性やコーストレー

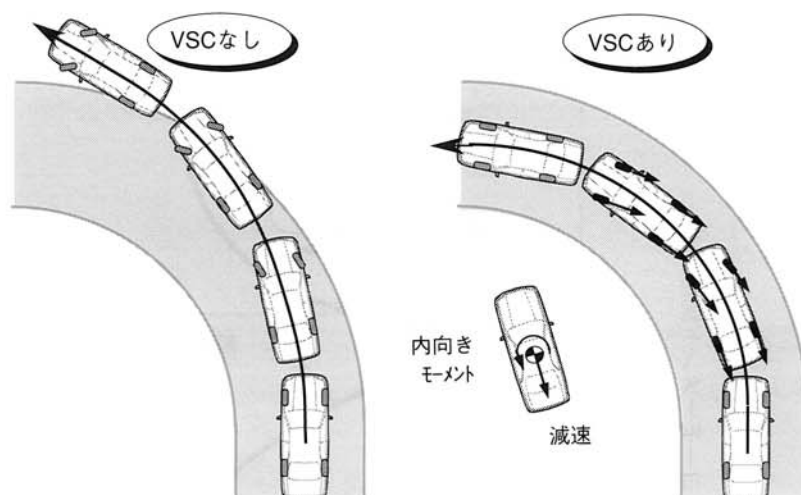


図-10 前輪横滑り時のVSC制御

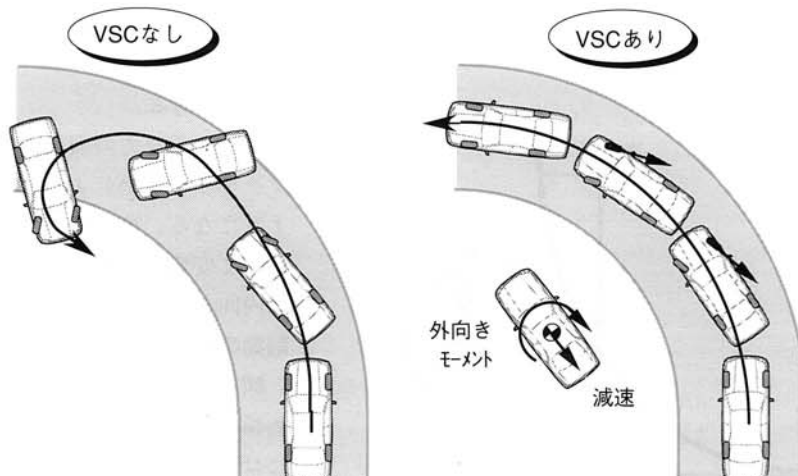


図-11 後輪横滑り時のVSC制御

ス性を確保するというものである。前輪あるいは後輪の横滑りに対するその制御法について図-10および図-11に整理して図示する。

6. VSCのドライバー・インフォメーション

VSCの運動制御は、車両横滑りを抑制する旋回限界でのガード的機能を実現している。しかし、VSCは車両の運転の主役はあくまでもドライバーであることを前提としたシステムであるため、もう一つの重要な機能を備えている。それは、車両やタイヤのグリップに限界が迫っているということをドライバーに知らせるというイ

ンフォメーション機能であり、視覚（インジケータ）および聴覚（ブザー）によって車両旋回時の不安定現象発生の予兆を事前にドライバーに知らせ、より安全な運転を促す。

前節までで述べてきた車両運動制御は、ドライバーの操作が間に合わないかあるいは適切に行われなかった場合、それをアシストする最後の砦としての機能である。図-12は、VSCの備える二つの機能（インフォメーション機能と車両安定化制御機能）を、Ball-in-Bowlの概念図で示したものである。

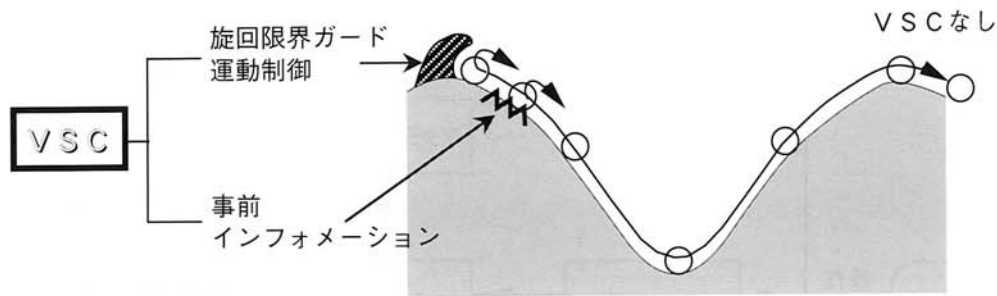


図-12 VSCのインフォメーションと車両運動制御コンセプト

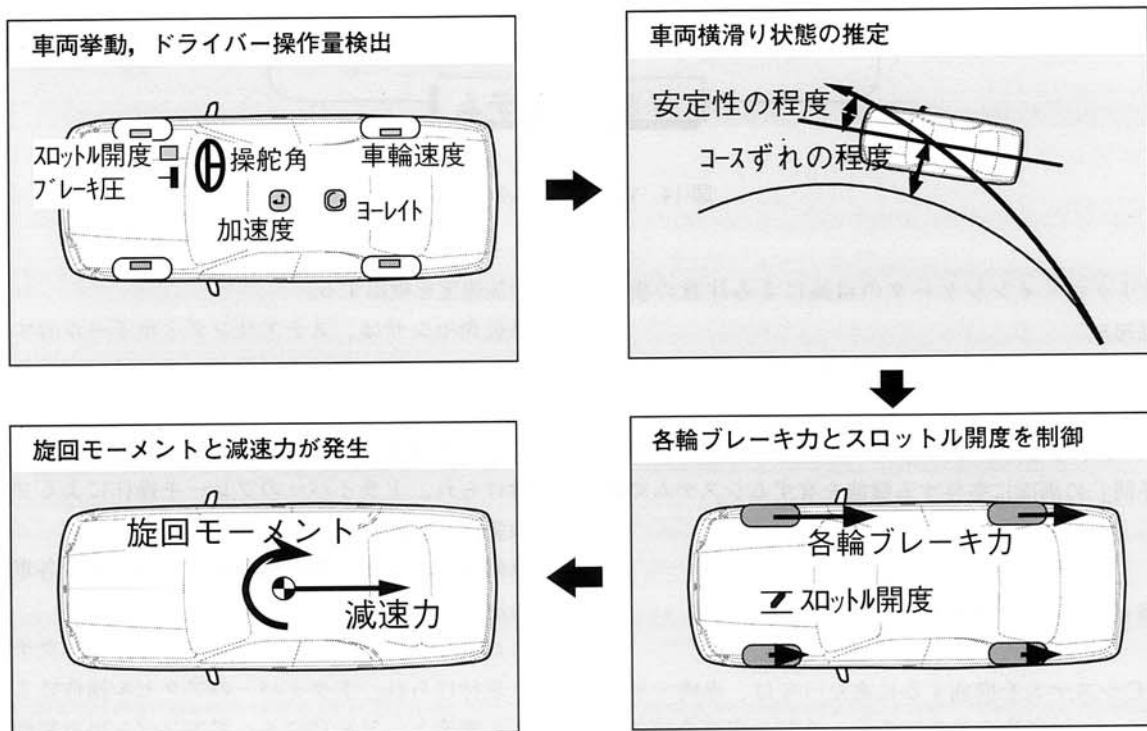


図-13 VSCシステムの制御の流れ

7. VSCの特徴と構成

7.1 VSCシステムの特徴

前述したように、VSCシステムのねらいは、車両旋回時の不安定現象（スピン、ドリフトアウト）が発生しそうな場合、自動的に車両を安定させることであり、このねらいを達成するための最大の特徴は車両状態量に基づく自動ブレーキ制御である。

したがって、車両状態量に基づく自動ブレーキ制御を実現するためには、次の項目を実施する必要がある。

①車両の挙動、ドライバーの操作状況を検出すること。

②車両の不安定の程度（横滑りの程度）を、①をもとに推定すること。

③車両の安定性を回復させるために必要な旋回モーメントと減速力を、②をもとに演算し、各輪のブレーキ力とエンジン出力とを制御すること。

これら①～③の一連の制御の流れを図-13に示す。

本システムの第二のねらいは、車両旋回時の不安定現象の予兆を事前にドライバーに知らしめて、安全な運転を促すこと（事故予防）である。

したがって、このねらいを達成するための手段は、不安定現象が発生しつつある場合、次の項目を実施することである。

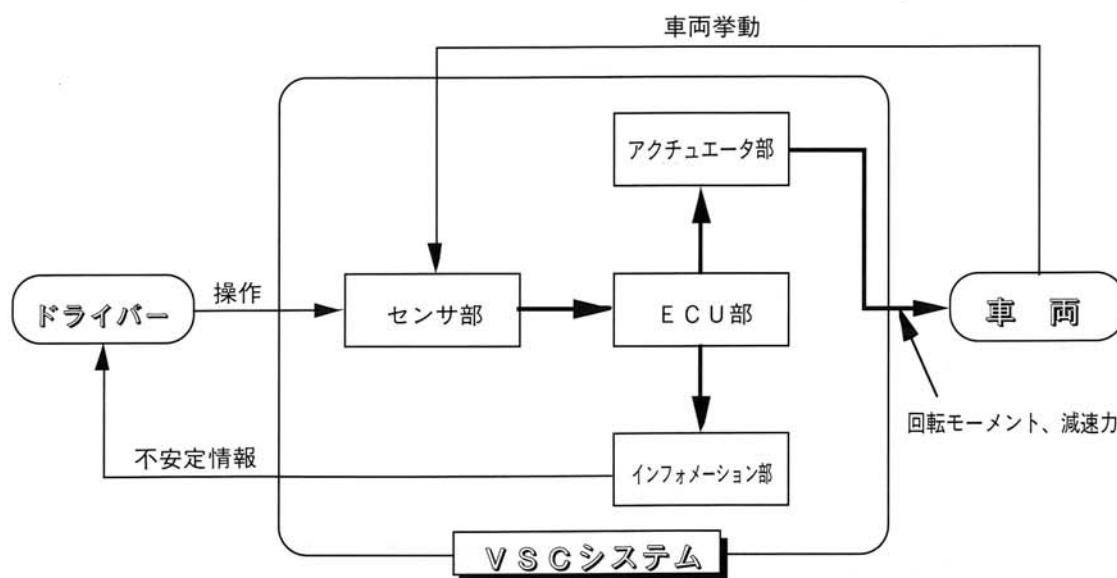


図-14 VSCシステムの構成

①スリップ・インジケータの点滅による注意の喚起（目で認知）

②VSCブザーの警報音による注意の喚起（耳で認知）

以上、本VSCは、予防安全における「事故回避」と「事故予防」の両面に寄与する機能を有するシステムである。

7.2 VSCシステムの全体構成

VSCシステムを構成するにあたっては、車両の挙動とドライバーの操作を検出するセンサ部、車両の横滑り状態を推定して安定性を回復させるために必要な回転モーメントと減速力を演算するECU(Electronic-Control-Unit:コンピュータ)部、演算された結果に基づいて車輪のブレーキ力やエンジン出力を制御するアクチュエータ部、および、車両の不安定状態をドライバーに知らせるインフォメーション部の、大きく分けて四つのパートで構成される。(図-14)

VSCシステムの各構成要素を車両に搭載した状況を図-15に示す。

ヨーレイト・センサは、トランクルーム前方のバルクヘッド内部に、車両の鉛直軸とセンサが平行になるように搭載されて車両の鉛直軸まわりの回転角速度（ヨーレイト）のみを検出する。

Gセンサは、車両の重心位置に近いフロアセンターのトンネル上に水平に固定され、車両重心の前後・左右方

向の加速度を検出する。

操舵角センサは、ステアリング・ホイールのすぐ裏側に取り付けられ、ドライバーのステアリング操作を直に検出する。

ブレーキ圧センサは、VSC油圧制御ユニット上に取り付けられ、ドライバーのブレーキ操作によるブレーキ圧の変化を検出する。

車輪速センサは、各車輪に取り付けられ、各車輪の回転角速度を検出する。

スロットル開度センサは、スロットル・アクチュエータに取付けられ、ドライバーのアクセル操作によるスロットル開度と、VSCによってエンジン出力制御を行なう場合のスロットル開度を、検出する。

VSC油圧制御ユニットは、ダッシュパネルのエンジンルーム側に取り付けられ、ブレーキ・ペダルの操作が伝達されるようになっていて、通常時は従来のブレーキブースタ機能を担っているが、車輪の加速・減速スリップが発生したときはTRC・ABS機能を、車両が横滑りしたときはVSC機能を発揮し、各車輪に制御油圧を供給する。

スロットル・アクチュエータは、エンジンの空気吸入部に取り付けられ、VSCがエンジン出力制御を行う場合に、スロットル・バルブを開閉する。

ECUは車室内に搭載され、各種センサおよびアクチュエータとワイヤ・ハーネスを介して、結合・通信している。

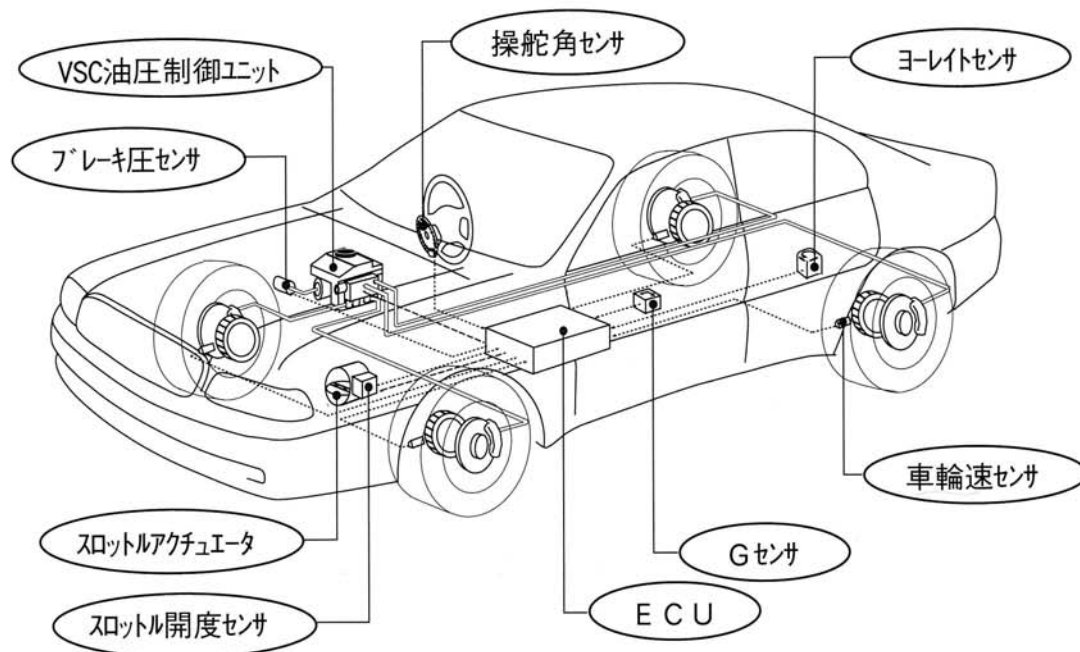


図-15 VSC構成要素の車両搭載状況

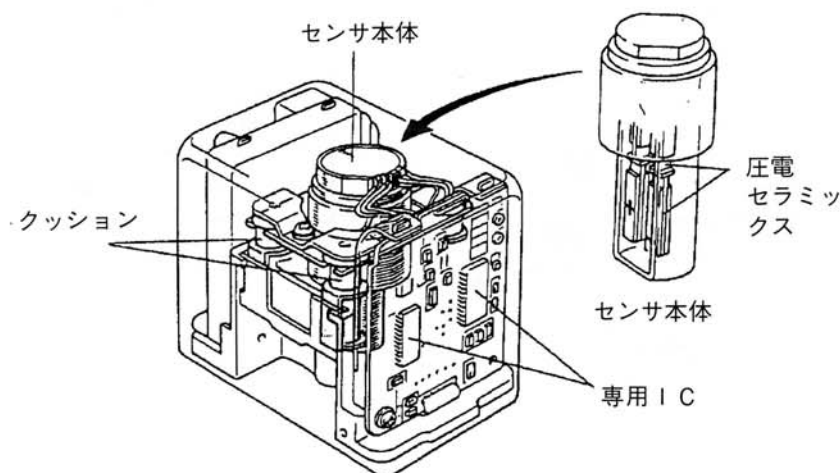


図-16 ヨーレイト・センサの構造

7.3 システム構成要素

7.3.1 センサ関係

1) ヨーレイト・センサ

ヨーレイト・センサは車両の鉛直軸まわりの回転角速度（自転運動）を検出するセンサで、VSCシステムにおいては、欠くことのできない重要な要素の一つである。（図-16）

センサ本体は音叉型をしており、各振動子は振動部と検出部で構成され、方向を90度変えて一体となっている。各振動子は電圧を印加するとひずみが発生する（逆

にひずみを与えると電圧が発生する）圧電セラミックス（PZT）を音叉に貼り付けて、振動の励起と回転による振動子のひずみを検出している。

ヨーレイトは、振動部に交流電圧を印加して振動させ、振動子まわりに発生するコリオリ力による圧電セラミックスのひずみ量・方向によって検出される。

注：コリオリ力—慣性系に対して回転する座標系に現れる慣性力のうちで、物体の速度に関係して動く力の事。座標系の回転軸に垂直な面内で、速度に垂直な方向に動く。

センサ本体の加振・信号処理に専用のICを採用し、小型化・高精度化とともに、信頼性の向上も図っている。車体スリップ角の演算・算出においては、ヨーレイト

値を時間積分するため、センサで検出されたヨーレイト値に誤差が含まれると、その誤差も時間積分されて、しだいに大きくなる。したがって、本センサは、計測器並のヨーレイト検出精度を有する。(図-17)

検知PZTは、振動子の加振PZTに交流電圧が加えられることにより、常時左右(V方向)に振れている。この状態で車両が旋回(ω 方向)すると、検知PZTはコリオリ力によって加振方向と直角方向(F方向)に力を受けるため、検知PZTから交流電圧が出力される。この検知PZTからの交流電圧を増幅して加振波形と同期検波することにより、旋回方向と量を検出して取り出し、整流して、ヨーレイトに対して線形な出力をする。

振動子が音叉型をしている理由は、二つの振動子が反対方向に運動しているため、コリオリ力の発生方向が逆になり、車両の前後・左右方向の加速度(並進運動)によるたわみを相殺することができ、検知PZTから角速度信号だけを取り出せるからである。(図-18)

また、本センサは自己診断回路を内蔵しており、センサ自体で異常の検出を行なう機能を有し、VSCシステムの信頼性向上を図っているインテリジェント・センサである。

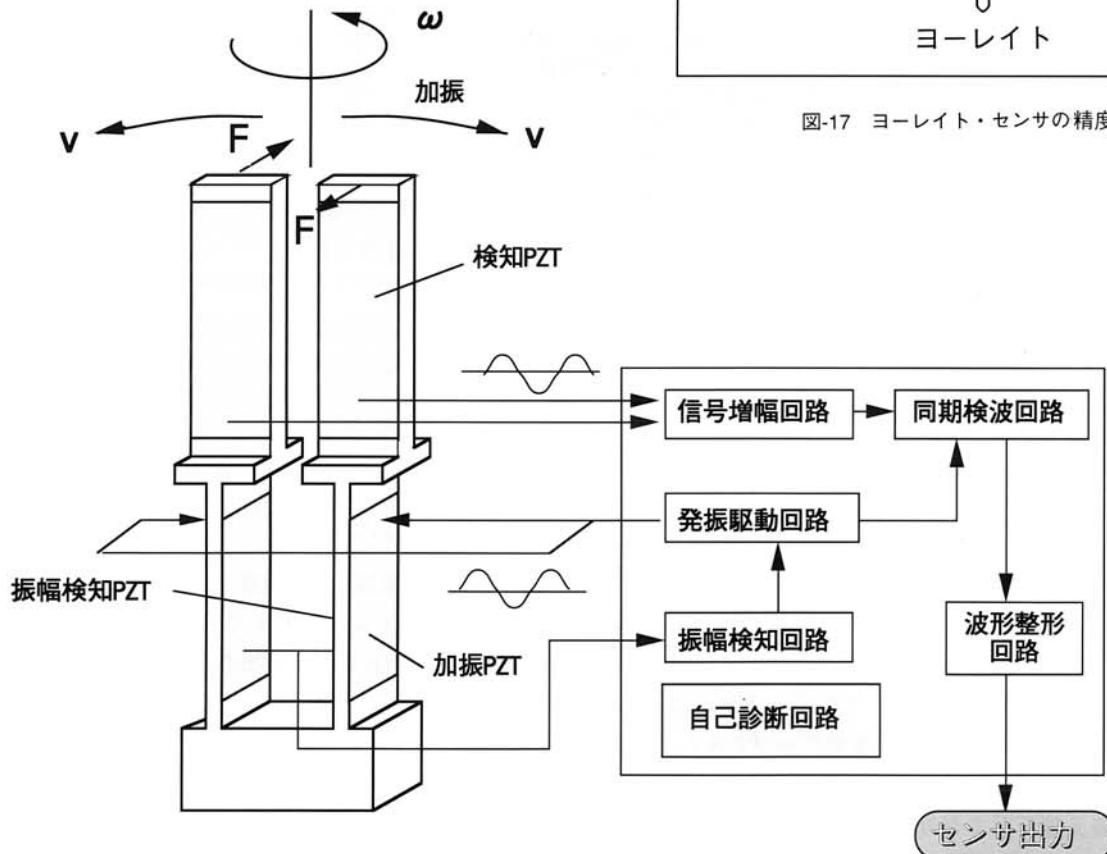


図-18 振動型ヨーレイト・センサの構造と原理

2) Gセンサ

Gセンサは車両の前後・左右の加速度を検出するセンサで、VSCシステムにおいては、ヨーレイト・センサと同様に、欠くことのできない重要な要素の一つである。(図-19)

センサ・エレメントは、長期的に安定した半導体ひずみゲージを使用している。センサの構造は両持ち梁方式で、車両の加速度により、おもりに力が加わると梁(ビーム)がたわみ、このひずみを計測して電気信号に変換

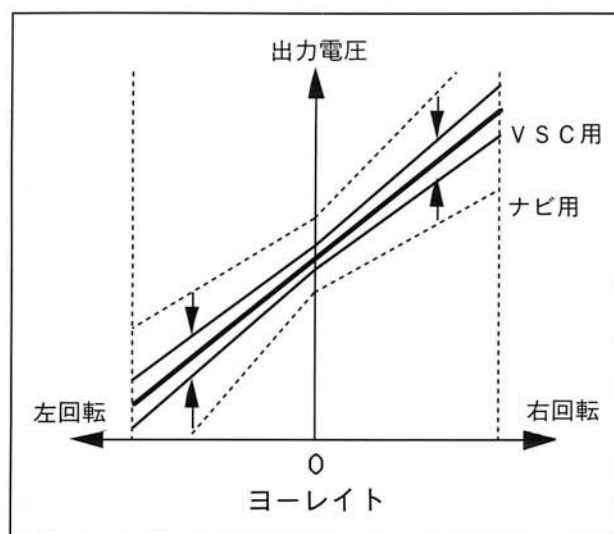


図-17 ヨーレイト・センサの精度比較

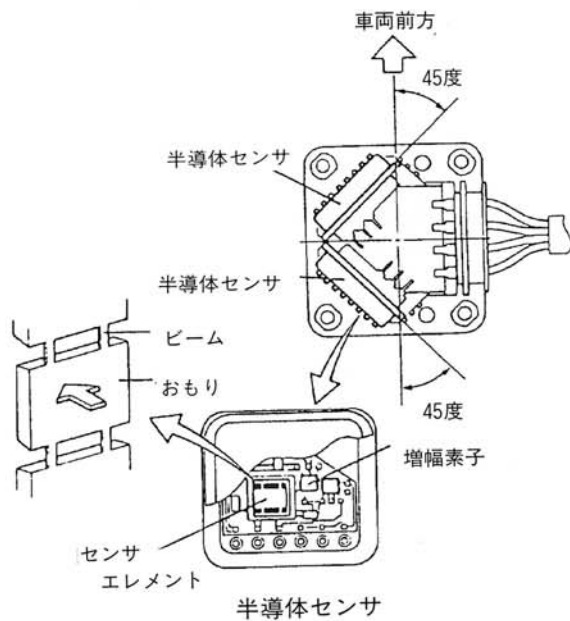


図-19 Gセンサの構造と原理

する。この電気信号は、加速度に対して線形な出力特性を示す。

本VSCシステムで使用しているGセンサは、半導体センサを2個使用し、90度の角度を持って取り付けられ、車両の前後方向に対しては45度の傾きになるように取り

付けられている。

その理由は、二つのセンサの信号を組み合わせることにより、車両の水平方向のすべてに対して感度を持つことができること、および、一方のセンサが故障した場合に容易にその故障が他方のセンサで検出できてVSCシステムの信頼性向上が図れるためである。

車体スリップ角の演算・算出においては、車両横加速度値もヨーレート値と同様に時間積分されるため、センサで検出された加速度値に誤差が含まれると、その誤差も時間積分されて、しだいに大きくなる。したがって、本センサも計測器並の検出精度を有する。

3) 操舵角センサ

操舵角センサはステアリング・ホイールの操舵方向および操舵角量を検出するセンサで、ステアリング・ホイールのすぐ裏側のコンビネーションスイッチ内に取り付けられ、ドライバーのステアリング操作をダイレクトに検出できる。

センサにはフォト・インタラプタを使用し、ディスクに設けられたスリット板が回転することにより、遮光状態と透過状態をそれぞれ検出することで、D1とD2がON・OFFし、コンピュータに信号を送って、操舵角が演算される（図-20）。

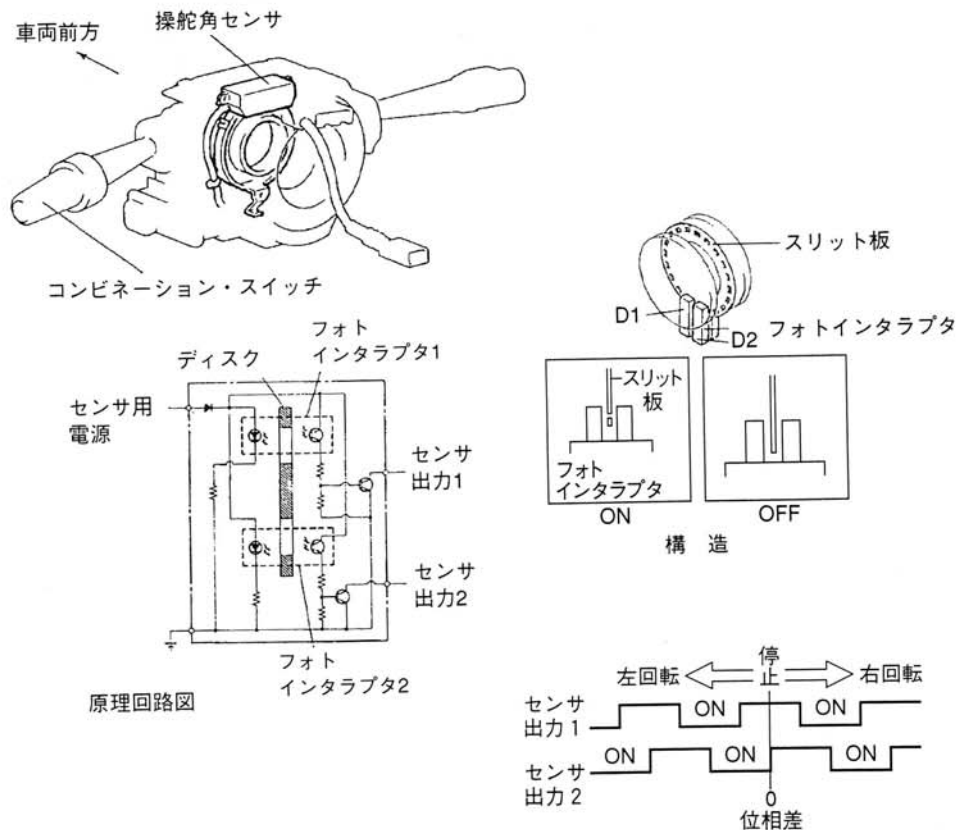


図-20 操舵角センサの構造と原理

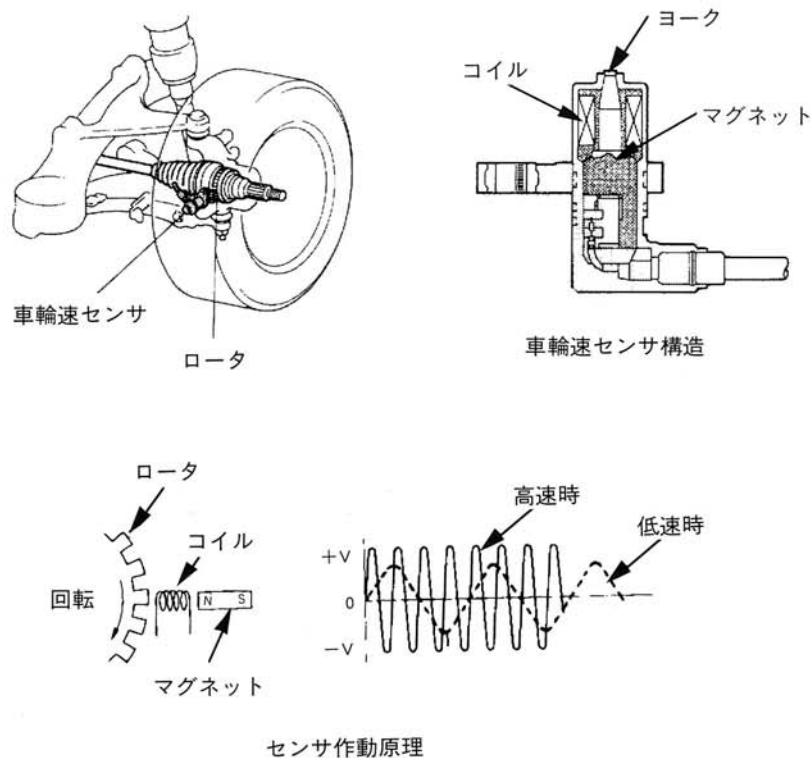


図-21 車輪速センサの構造と原理

2組のフォト・インタラプタには位相差が設けてあり、それぞれのフォト・インタラプタの出力推移を感知することにより、ステアリング・ホイールの回転方向を知ることができる。

また、本センサがフォト・インタラプタを採用している理由は、ステアリング操作は始終行われるため、光による非接触式センサとすることで、摩耗故障などの劣化を皆無にし、VSCシステムの信頼性向上を図るためである。

4) 車輪速センサ

車輪速センサは前後・左右の4輪に取り付けられていて、各輪の回転角速度を検出するセンサである。

本センサは、マグネットとコイルおよびロータから構成されており、アクスルシャフトに取り付けられたロータには48個の凹凸があって、センサ・ヨークがこのロータの凹凸部に近接している。(図-21)

ロータが回転すると、センサ・マグネットから出ている磁束が変化し、コイルに交流電圧が発生して、この交流電圧の周波数はアクスルシャフトの回転数、すなわち、車輪の回転数に比例するので、この周波数をもとに、コンピュータによって車輪回転速度を演算する。

本センサも、操舵角センサと同様に非接触式のセンサであり、摩耗故障などの劣化を皆無にして、VSCシステムの信頼性向上を図っている。

5) ブレーキ圧センサ

ブレーキ圧センサは、ドライバーのブレーキ操作によるブレーキ油圧を検出するセンサで、ブレーキ油圧を金属ダイアフラムで受け、センサ内部のオイルを介してゲージへ圧力を伝達する。圧力を検出するゲージには半導体式のひずみゲージを用い、圧力を電気信号に変換する。本センサは、ブレーキ油圧に比例した出力をし、高油圧にも耐えうる耐久性を有する。

6) スロットル開度センサ

スロットル開度センサは、エンジンのメイン・スロットルおよびサブ・スロットルの開度を検出するセンサで、エンジン出力の演算などに用いる。

本センサは、スロットル開度に比例した電圧を出力し、エンジンの振動・熱などに耐えられるように極めて信頼性の高い構造となっている。

7.3.2 アクチュエータ関係

1) VSC油圧制御ユニット

VSC油圧制御ユニットは、VSCシステムにおける事故回避機能を体現する最終部位に相当し、車両を安定させるために必要なブレーキ油圧を、各輪に供給する役割を担っている。

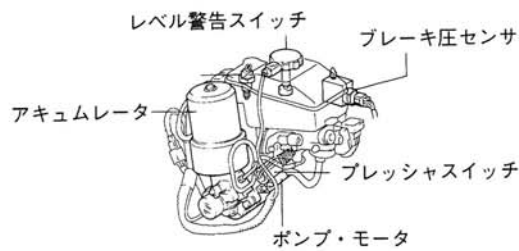


図-22 VSC油圧ユニットの外観形状

車両が不安定な状況下では、極めて短時間のうちに適切な旋回モーメントコントロールを実施しないと、車両の安定性を回復することができない。したがって、VSC油圧制御ユニットには、高い応答性が要求される。

本油圧制御ユニットの基本構造を選択するにあたっては、応答性以外にも、制御拡張性やコンパクト性などを考慮して、ハイドロブースタをベースとした油圧制御ユニットとした。(図-22)

2) VSC油圧制御ユニットの構成

VSC油圧制御ユニットは、大きく分けて四つのパートから構成されている。第1番目がパワーサプライ部で、

モータで駆動される油圧ポンプと、ポンプから供給される油圧を蓄圧するアクキュレータで構成され、本油圧ユニットの油圧源となっている。

第2番目はマスターシリンダ&ブレーキブースタ部で、ドライバーのブレーキ操作に応じた油圧を発生させ、かつ、パワーアシストする機能を持つ。パワーアシストは、パワーサプライ部から供給される高圧の一定油圧を、マスターシリンダと並列に設けられたスプールバルブによってドライバーのブレーキ操作力に比例した油圧にレギュレートして、パワーピストンに伝えることで行なわれる。

第3番目は切替えソレノイドバルブで、VSC・TRC・ABS作動時にマスターシリンダからの油圧ラインを閉じて、パワーサプライからの供給油圧（パワー圧）またはブレーキブースタ部からの供給油圧（レギュレータ圧）を、各ホイールシリンダの油圧をコントロールする制御ソレノイドバルブに供給する。

第4番目は制御ソレノイドバルブ部で、VSC・TRC・ABS作動時において、各輪のブレーキ力をコントロールするために、各ホイールシリンダの油圧を増減す

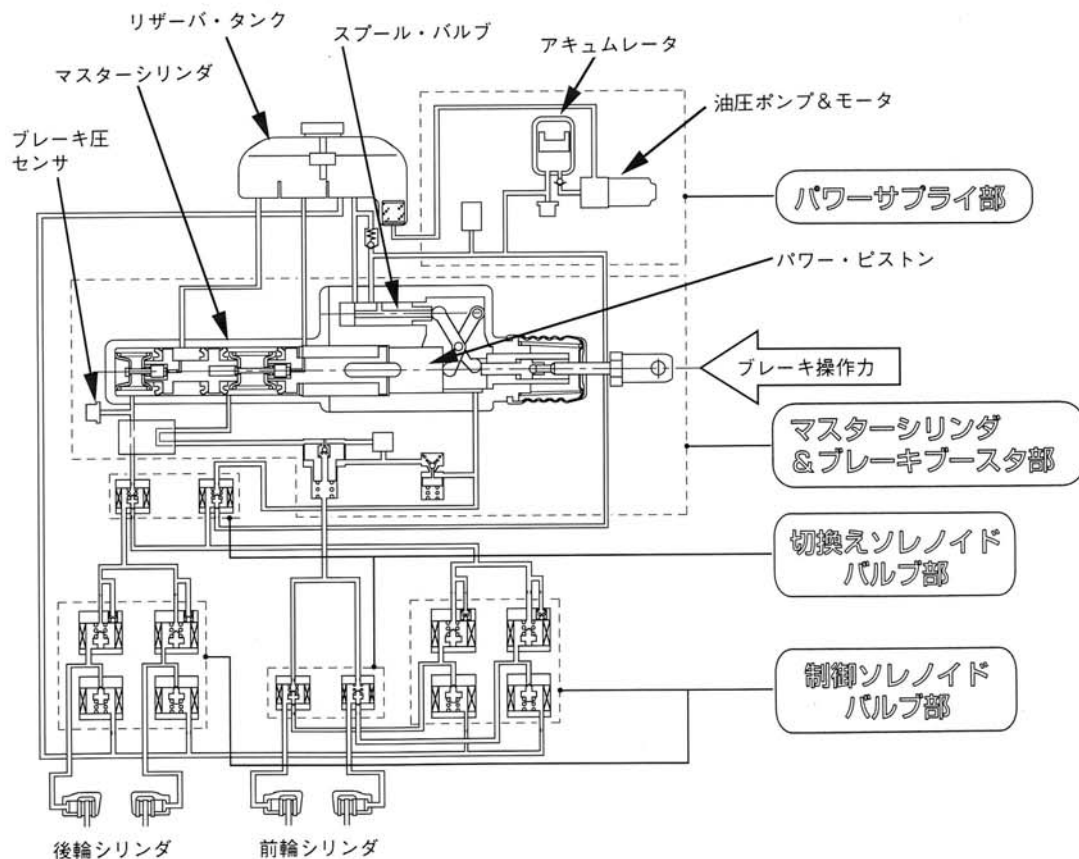


図-23 VSC油圧制御ユニットの構成

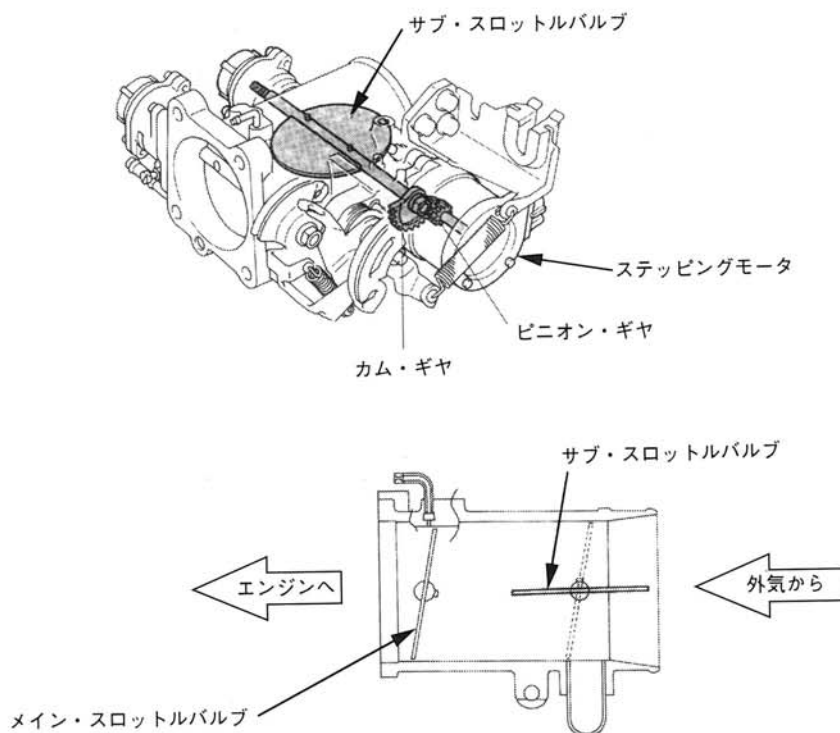


図-24 スロットル・アクチュエータの外観および内部構造

る機能を持つ。

3) スロットル・アクチュエータ

スロットル・アクチュエータは、VSCシステムにおける事故予防機能と事故回避機能の両方を担うアクチュエータである。

事故予防機能としては、車両が不安定になりうる状況でのドライバーのアクセル踏みすぎなどによる不安定状態の発生を、サブ・スロットルバルブを絞ってエンジン出力を低下させ、車輪の加速スリップを抑制して、未然に防止することである。

事故回避機能としては、特に、オーバースピードでのコーナーへの進入時に発生するドリフトアウト状態時に、積極的にサブ・スロットルバルブを閉じて車速を低下（車両遠心力が減少）させて、車両の安定性を回復することである。

本アクチュエータはステッピング・モータでサブ・スロットルバルブを開閉するため、制御性に優れた構造となっている。（図-24）

メイン・スロットルバルブは、ドライバーのアクセル操作に応じて開閉される。

一方、サブ・スロットルバルブは、通常、全開状態になっているが、車両が不安定になってVSCコンピューターがエンジン出力低下が必要と判断した場合は、ステッピング・モータを駆動してサブ・スロットルバルブを閉じる。

7.3.3 ドライバー・インフォメーション関係

1) スリップ・インジケータ

スリップ・インジケータは、VSCコンピューターが車両が不安定状態になりつつあると判断したときに点滅して、ドライバーにその状況を視覚によって知らせる装置である。

2) VSCブザー

VSCブザーは、スリップ・インジケータと同様の機能を有し、スリップ・インジケータが視覚に訴えるのに加え、聴覚で車両が不安定な状態であることを知らせる。

VSCシステムが、車両不安定状態情報のドライバーへの伝達方法として、光と音の二つの手段を重複して持つ理由は、特に、車両が不安定状態になっている場合にはドライバーがメータ内のスリップ・インジケータを見

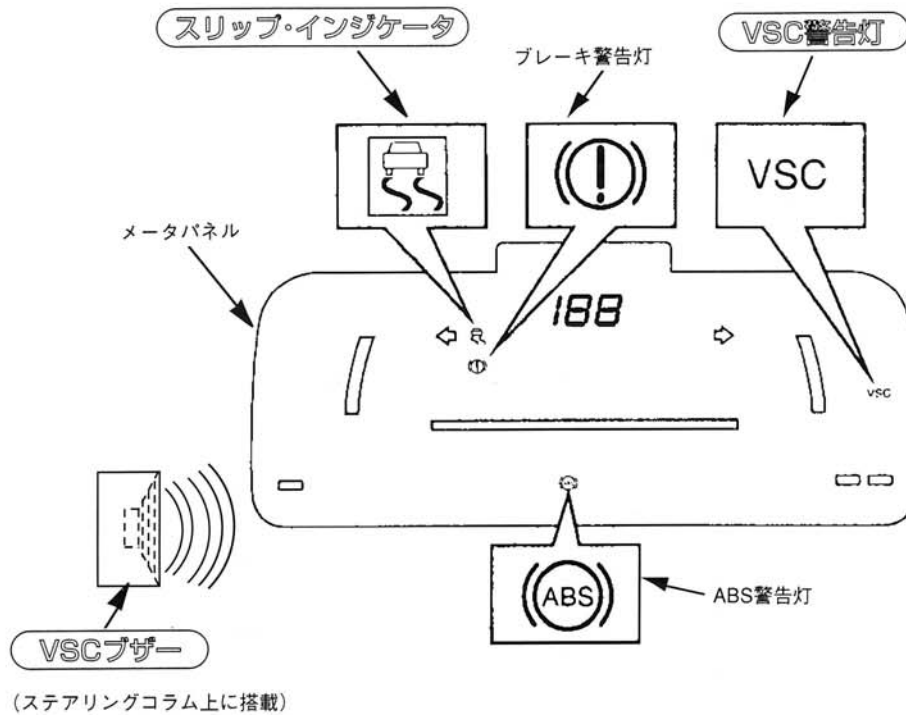


図-25 ドライバー・インフォメーション装置

る余裕がないからで、聴覚による情報伝達手段を設けて、確実にインフォメーションを伝えられるようにした。

3) VSC警告灯

VSC警告灯は、VSCシステムになんらかの異常が発生して、VSCシステムの正常機能が発揮できなくなった場合に点灯する装置である。

7.3.4 ECU関係

VSCシステムでは、車両状態量の推定、車両運動制御量の演算など、従来のABSなどに比べて数倍の演算処理能力およびプログラム容量が必要とされる。そこで、本システムではメインCPUに大容量かつ高速処理が可能なタイプを採用し、ABSとVSCの演算処理を行っている。サブCPUには従来タイプのものを用い、主に4WDの演算処理を割り当てている。また、メインとサブ双方のCPUが互いを監視する構成とすることで、システムの信頼性を向上させている。

図-26に、本システムのECUの構成および主な入出力の流れを示す。前述のセンサ類（ヨーレートセンサ・G

センサ・操舵角センサ・車輪速センサなど）の信号がメインCPUに入力される。CPUは、これらの信号に基づいて常に車両状態を演算すると同時に、各センサやアクチュエータ・駆動回路などに異常がないかを監視し続けている。車両状態が不安定になったことを検知すると、スリップ・インジケータの点灯およびVSCブザーを鳴らしてドライバーに不安定状態を知らせるとともに、スロットル・ドライバーを通じてスロットル・アクチュエータを駆動し、エンジン出力が大きくなりすぎてさらに不安定な領域に向かうのを防止する。車両状態がより不安定になると、エンジン出力をさらに下げ、ソレノイド駆動回路を通じてブレーキ油圧制御ユニットを駆動して各車輪に適切なブレーキをかけ、車両状態が安定な領域に復帰するよう制御する。

また、サブCPUの4WD制御をはじめ、4WS ECUとサスペンションECUとも通信しており、車両状態の不安定度合いに応じて各制御と協調して車両を安定側に制御する構成としている。

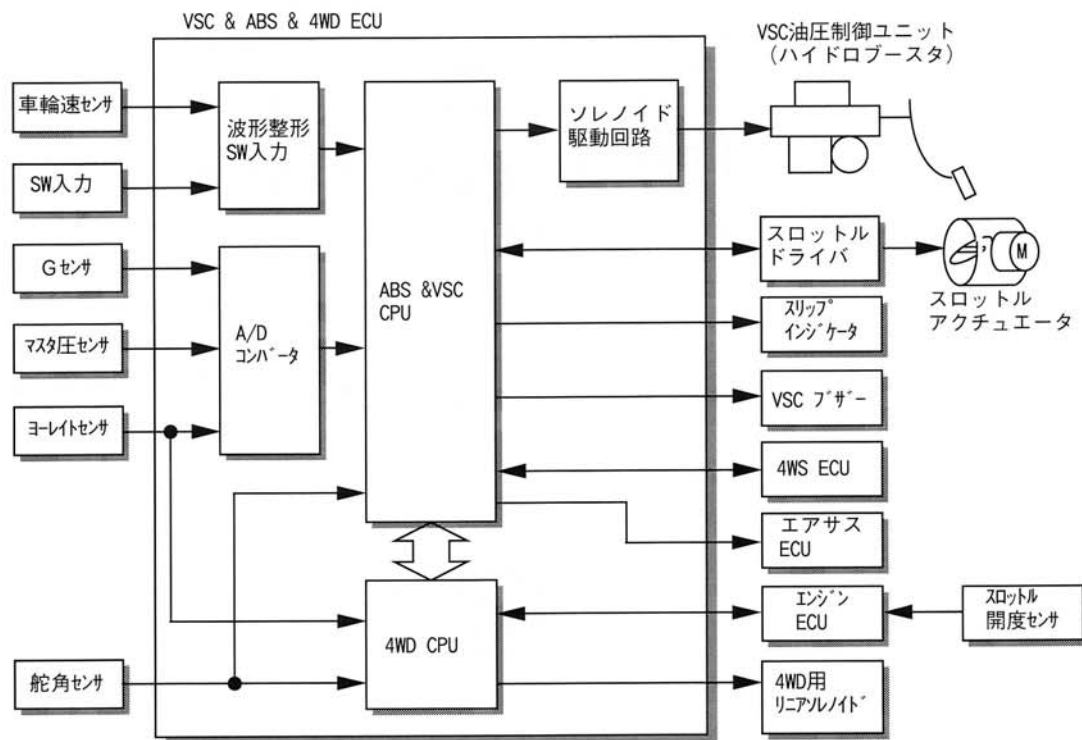


図-26 ECUハード構成

8. V S Cの制御方法

8.1 V S C制御の構成

V S Cの制御は、車両状態演算部・制動力制御演算部・駆動力制御演算部の三つの制御モジュールから構成される。

車両状態演算部は、各センサの信号をもとに車両の安定度合いを判断し、車両挙動がどのような状態にあるのか（安定性およびコースのずれの程度）を演算する。演算した車両状態量をほかのモジュールに引き渡すとともに、車両状態が不安定になったことを検知した場合は、スリップ・インジケータおよびV S Cブザーを駆動してドライバーにその状況を知らせる。また、クラウンマジエスタi-Fourでは、車両状態量に応じて4 W Sやサスペンション制御との協調制御を行ない、車両全体で高レベルの車両安定性を可能としている。（図-27）

駆動力制御演算部は、現在のエンジン出力の演算および車両状態量に基づくエンジン出力目標の演算を行ない、エンジン出力が目標に一致するようにスロットル・アクチュエータを駆動する。また、i-Fourシステムにおいては、駆動力制御演算部は4 W Dシステムの前後駆動力配分（センターデファレンシャルクラッチ結合力）制御と協調して、各輪に適切な駆動トルクを発生させるようにしている。

制動力制御演算部は、車両状態量に基づいて車両を安定状態に復帰させるためにはどの車輪にどれだけの制動力を発生させればよいかを演算し、各輪の制動力がそれに一致するように、ブレーキ油圧制御ユニットへの駆動要求値を演算する。駆動要求はA B Sに送られ、ここでV S Cの要求とA B Sの要求を整合させて、ブレーキ油圧制御ユニットを駆動する。A B S作動時に車両挙動が不安定になった場合でも、A B SとV S Cが同時に働き、各輪の制動力を最適に制御する構成となっている。

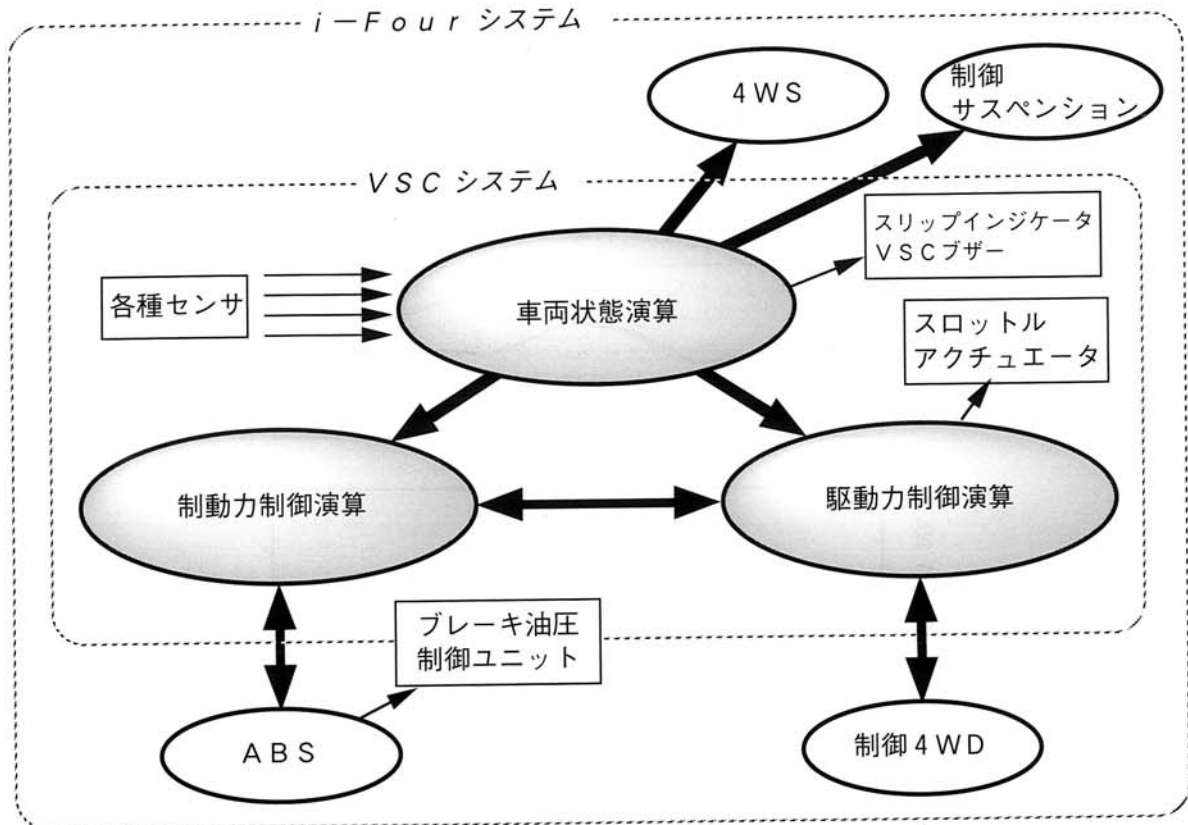


図-27 VSCおよびi-Four制御構成

8.2 他システムとの協調制御（i-Four システム）

VSCはそれ単独でも車両の安定性に対して画期的な効果を発揮するが、ほかの制御システムと協調することによって、より安定した車両挙動を達成することが可能である。クラウンマジェスタ i-Four モデルは、従来から4WDを中心とする総合制御システム「i-Four システム」を採用しており、今回、これにVSCを加えることで、現在考えるすべての予防安全技術を織り込んだ車両となった。

本システムに搭載された4WDは、車速・操舵角・ヨーレイトによって前後輪の駆動力配分を連続的に可変制御する、ヨーレイトフィードバック式制御4WDを採用している。これに、VSCの駆動力制御を協調させることにより、車両の限界領域でもより安定した車両挙動が得られるようになっている。また、VSCの制動力制御を実行する際、4WDのセンターデフ結合力が強いと、1輪にかけた制動力をほかの車輪にも伝達してしまい、意図したモーメント効果が得られないという干渉問題があるが、これも4WDとVSCの協調制御により制動力

制御のタイミングに合わせてセンターデフ結合力を弱くすることで、回避している。

4WSもまた、車速・操舵角・ヨーレイトの信号に基づいて後輪を制御する車両状態フィードバック4WSシステムであるが、VSCの状態量に基づいて4WSの制御量を可変とする構成として、両者の協調によってより安定した車両挙動が得られるようになっている。

また、VSCが車両状態の不安定を検出すると、サスペンションECUに対して減衰力ハード要求を出力する。これにより、車両限界付近での車両姿勢がより安定するとともに、各輪の接地性が向上し、VSCの制御がより効果的に発揮される。

ABS機能とVSC機能とを組み合わせることで、急制動時にもより安定した車両挙動が得られる。たとえば、ABS作動中に急操舵で障害物を回避するときでも、車両が不安定になりかけるとABSとVSCが同時に作動して、ABS単独に比べてより安定して回避操作が可能になる。また、逆にVSC作動中にABSが作動しても、同様に高い制動力と安定性が確保される。

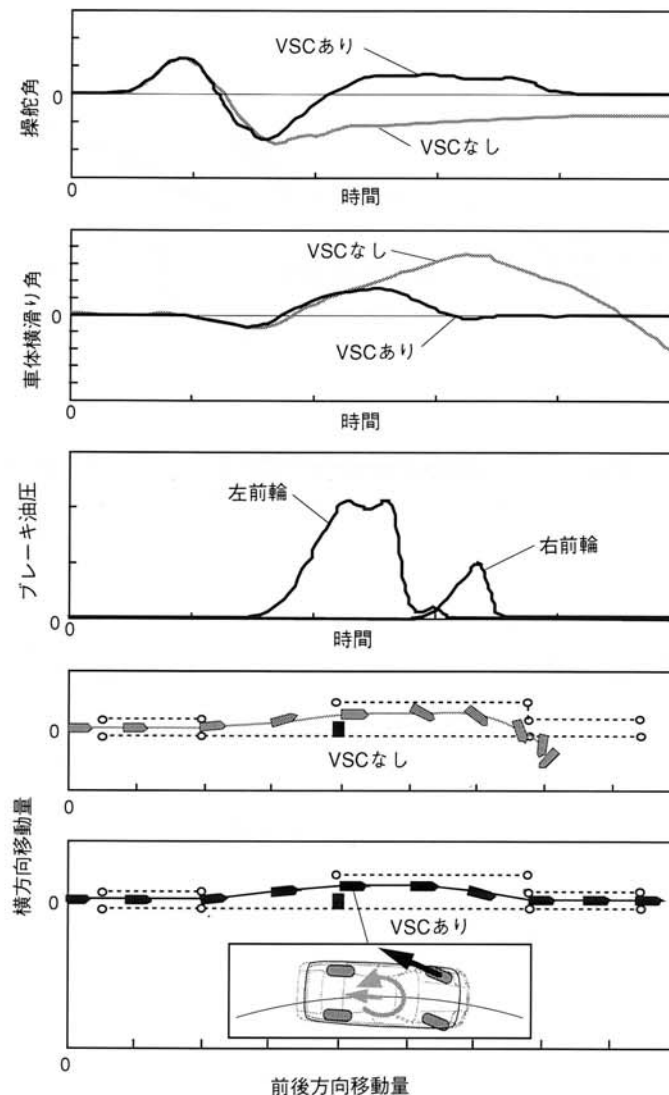


図-28 緊急回避試験実車データ

9. VSCの効果

VSCの効果、実車のデータをもとに検証する。以下に記載するものは、すべてテストコースで試験したものである。

図-28は、緊急回避試験におけるVSCの有無の比較データである。この試験は、たとえば「直進走行中に不意の車両あるいは歩行者の側方からの飛び出しに対して、とっさにステアリングを切って、対向車を避けつつ再び元のレーンにもどる」という操作を模擬したものである。VSCなしの車両は、元のレーンにもどる際の揺り返し

で後輪横滑りを起こし、操縦不能に陥って最終的にスピンしてコースを逸脱している。一方、VSCありの車両は、車両安定性を失うことなく、障害物を回避して、元のレーンに復帰している。

図-29は、定常旋回中に急激な追加操舵を行ったときのVSC有無の比較データである。これは、コーナーの半径を見誤ってうっかり高速で小さいRのコーナーに進入してしまったケースを想定している。このような状況では、フロント・タイヤがグリップを失い、それ以上ステアリングを切っても曲がっていかないにもかかわらず、一般ドライバーのなかにはやみくもにステアリングを切

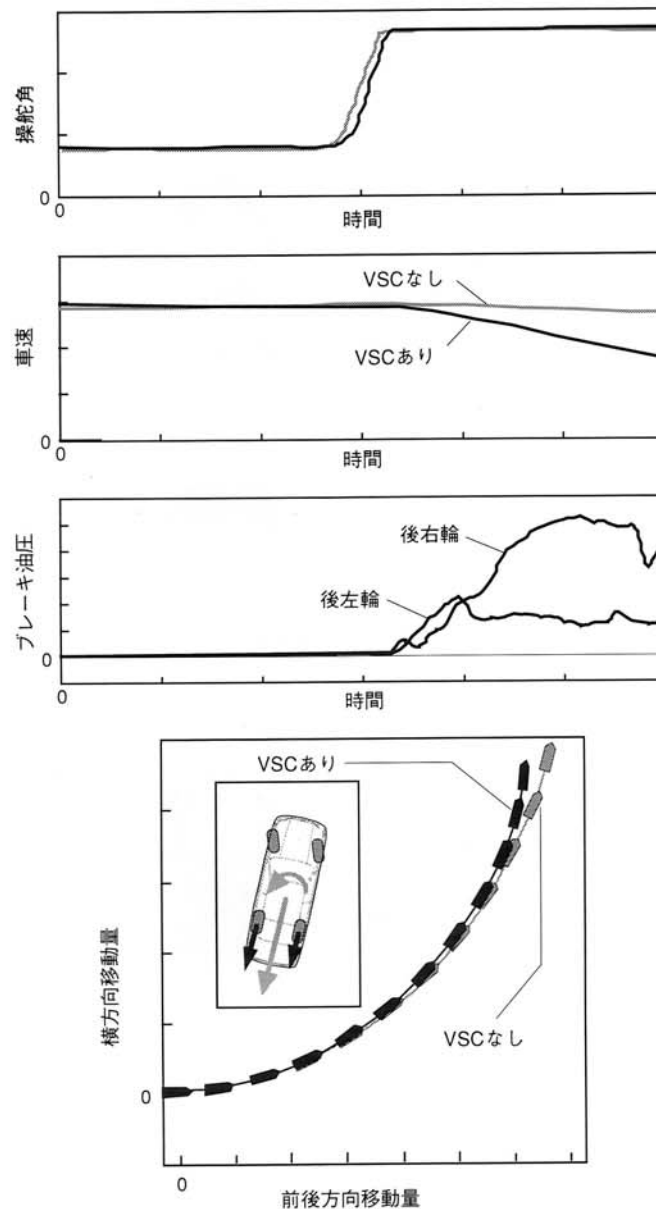


図-29 追加操舵角実車データ

ってコースアウトしてしまう事故例が多々見受けられる。VSC非装着車両のデータはそういった例を再現しており、大きくコースの外にふくらんでしまっている。それに対し、VSC装着車両は後輪にバランスよくかけられたブレーキ力によって減速し、安定性を失うことなくトレース性が向上していることがわかる。

これらはいずれもドライ路面での試験結果であるが、当然のことながら、ウェットや圧雪・アイスバーンなど滑りやすい路面でも十分な効果が得られる。むしろ、滑りやすい路面ほど車両が不安定になりやすく、VSCが

より効果を発揮するケースがふえる。

10. おわりに

VSCは、実際の予防安全の目的や価値に合致する、予防安全技術分野の集大成ともいえる技術である。別の見方をすれば、地道な技術の積み重ねがもたらした当然の帰結かもしれない。トヨタはこの分野の基盤に裏づけられた自信と技術をバネに、今後も、実際の事故調査やドライバーの特性分析などの研究を繰り返しながら、「よ

り安全で快適な車社会とはなにか」をユーザーとともに考えていきたい。

筆者紹介



杉山 瑞穂 (スギヤマ ミスホ)

1984年 トヨタ自動車株式会社入社
1993年1月 同社 第1シャシー設計部
第11シャシー設計室担当員



井上 秀雄 (イノウエ ヒデオ)

1978年 トヨタ自動車株式会社入社
1989年2月 同社 第11技術部17実験課係長
1994年1月 同社 第2車両技術部主担当員
1996年1月 同社 技術部門付・BRVC室
主担当員



山本 真規 (ヤマモト マサキ)

1981年 トヨタ自動車株式会社入社
1989年2月 同社 第11技術部担当員
1984年1月 同社 第1車両技術部車両運動
グループ主担当員



内田 清之 (ウチダ キヨヒコ)

1982年 トヨタ自動車株式会社入社
1989年2月 同社 電子技術部担当員
1996年1月 同社 第2電子技術部第24電子室
SE



門崎 司朗 (モンザキ シロウ)

1987年 トヨタ自動車株式会社入社
1994年1月 同社 第2車両技術部制動設計室
担当員
1996年1月 同社 技術部門付・BRVC室
担当員



稲垣 匠二 (イナガキ ショウジ)

1986年 トヨタ自動車株式会社入社
1995年1月 同社 第1実験部11実験室担当員
1996年1月 同社 技術部門付・BRVC室
担当員



城戸 滋之 (ホシノ シゲノリ)

1988年 トヨタ自動車株式会社入社
1996年1月 同社 技術部門付・BRVC室
担当員