

二輪車用トラクションコントロールシステムの研究

Research on Traction Control System of Motorcycle

谷 一 彦* 井 上 直 樹* 加 藤 正 家*
Kazuhiko Tani Naoki Inoue Masaie Katoh

引 地 東一郎* ミハエル ティーム**
Toichiro Hikichi Michael Thiem

要 旨

トラクションコントロールシステム (TCS) を搭載した二輪車を用いた加速テストを通じ、車体挙動変化について基礎的研究を行った。その結果、TCS 搭載車はタイヤスリップ率、車体のヨーレートおよびヨーアングルから求められる車体コントロール性への影響度を示す指標が、TCS 未搭載車に対して大幅に小さくなり、TCS は低摩擦係数路面での直進走行時の車体挙動変化を抑制するのに効果があることが判った。

また、この指標はライダーのフィーリング評価ともよく一致し、TCS は加速時のスロットル操作へのライダーの気遣い低減にも有効であった。

なお、一般的なライダーによる発進加速テストでは、TCS 搭載車の加速度は TCS 未搭載車よりも上回っていた。

ABSTRACT

Fundamental research has been conducted on the variation in behavior of motorcycle equipped with a Traction Control System (TCS), through acceleration tests. It was found that TCS is effective in reducing the variation of the motorcycle behavior while running straight on the low-friction roads surface. An index to show a degree of influence on controllability which is calculated from the magnitude of the generated slip ratios, yaw rates and yaw angles, becomes smaller than the motorcycle without TCS.

This index has shown a good agreement with the subjective evaluation by riders, who subsequently are given less sensitivity in the throttle operation during acceleration on the motorcycle with TCS.

Additionally, with ordinary riders, the acceleration of the motorcycle with TCS proved superior to the one without TCS in standing acceleration test.

1. ま え が き

様々な変化に富む路面状況の中で二輪車を快適に走行させるため、既存の車体構成における改良技術、新機構開発などによる基本性能の向上について、多岐にわたって研究は続けられてきた。

その一つに二輪車用トラクションコントロールシステム (TCS: Traction Control System) がある。この二輪車用 TCS の開発は、急加速によってタイヤがスリップした場合、車体の挙動が乱される現象を抑制することを目的としている。

この TCS は、直進状態におけるさまざまな路面の摩擦係数 (μ) の変化、過剰なスロットル開度および急激なスロットル操作に起因するタイヤのスリップに反応し、素早く的確にエンジン出力を制御する。これによってタイヤの過度なスリップが抑制される。また、TCS 作動 (TCS ON) 開始時には、インジケータランプの点灯および初期作動感によって、ライダーに現在走行中の路面状況を認知させ、スピードコントロールとライディングの判断材料を提供する。

二輪車用 TCS は、二輪車が走行不可能な低 μ 路を走行可能とさせるデバイスではない。

本研究成果は、耐久性および信頼性を確認し、

* 朝霞研究所

** HONDA R&D Europe

HONDA ST1100 の TCS&ABS 装着車に反映されている。

2. 電子制御式 TCS の構造

テストに使用した TCS の構成を Fig. 1 に示す。このシステムは点火時期による出力制御方式を採用し、点火ユニットと一体化した TCS ECU、前後輪の速度を検出する車速センサ、インストルメントパネル内に設置された TCS インジケータおよび TCS ON/OFF 切り替えスイッチからなり、二輪車に要求される軽量・シンプルな構成となっている。

各車輪に取り付けられた車速センサから検出されたパルス信号は、フロントカウル内の TCS ECU に伝達され、前後輪の速度が計算される。この情報をもとに TCS ECU は駆動輪のスリップ状態を検出し、スリップ率を変化させる必要があると判断した場合、路面状態に応じた最適な駆動力が得られるように点火時期を瞬時

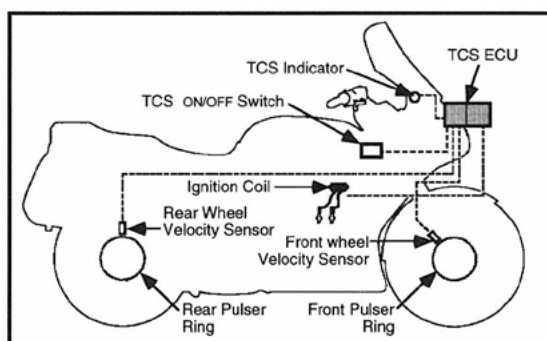


Fig. 1 TCS Configuration

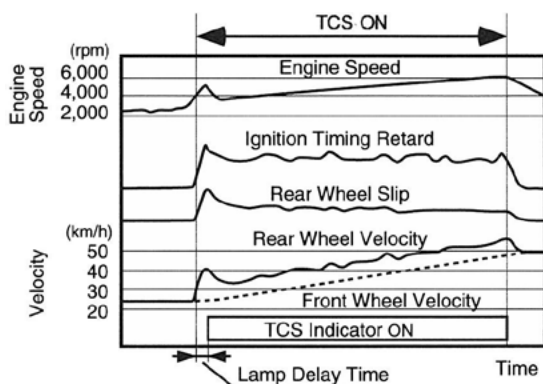


Fig. 2 Example of TCS Operation Data

Table 1 Specifications of Test Motorcycle

Wheelbase	(mm)	1,553.0
Displacement	(cm ³)	1,085.0
Curb Mass	(kg)	325.5
Caster Angle	(deg)	27.5
Trail	(mm)	105.0
Tire Size	Front	110/80 VR18
	Rear	160/70 VR17
Air Pressure of Tire (kPa)	Front	245.2
	Rear	284.4
Distributed Load (N)	Front	1,489.7
	Rear	1,700.4

Table 2 Recorded Variables

No	Variable
1	Front Wheel Velocity
2	Rear Wheel Velocity
3	Throttle Opening
4	Engine Speed
5	Ignition Timing Retard
6	Yaw Rate
7	Yaw Angle
8	Roll Rate
9	Roll Angle
10	TCS Operating Flag

に調整する。

TCS ON では、出力制御と併せ TCS インジケータが点灯し、ライダーに現在の路面状態に対して、過度のスロットル開度であることを認識させる (Fig. 2)。

3. テスト概要

3.1 テスト車と計測項目

Table 1 にテスト車の主な諸元を示す。なおテスト時には、車体に質量約 21kg の転倒防止装置が装着される。計測項目は Table 2 に示す 10 項目である。

3.2 テスト目的および方法

二輪車の走行可能な路面 μ は、タイヤの物理的限界によって左右される。二輪車のテストで用いられる低 μ 路面は一般的に 0.45 程度であり、TCS の効果は高 μ 路面

より、この付近でのライディング時の方が高くなる。そのため本論文では $\mu \approx 0.45$ に関するデータを代表値として示す。

テストの目的を以下に示す。

- (1) TCS 搭載 (With TCS)、TCS 未搭載 (Without TCS) のそれぞれにおいてライダーが、車体挙動をコントロールできる限界の明確化
 - (2) TCS ON での加速度の把握
- (1) に対しては、直進状態を保ち初速 20km/h になるよ

うにスロットルを操作して車速を安定させた後、スロットルを任意に設定された開度まで急開する。スロットル開度比は全開状態を 100% として任意に設定する。

(2) に対しては、ライダーがあらかじめ路面状態を把握した場合の発進加速テストを行い、Without TCS の最大加速度と比較する。

一般に TCS の発生スリップ率は、駆動輪を基準として求めている。しかし、本テストでは制動時の路面 μ -スリップ率特性と比較できるように、発生スリップ率の

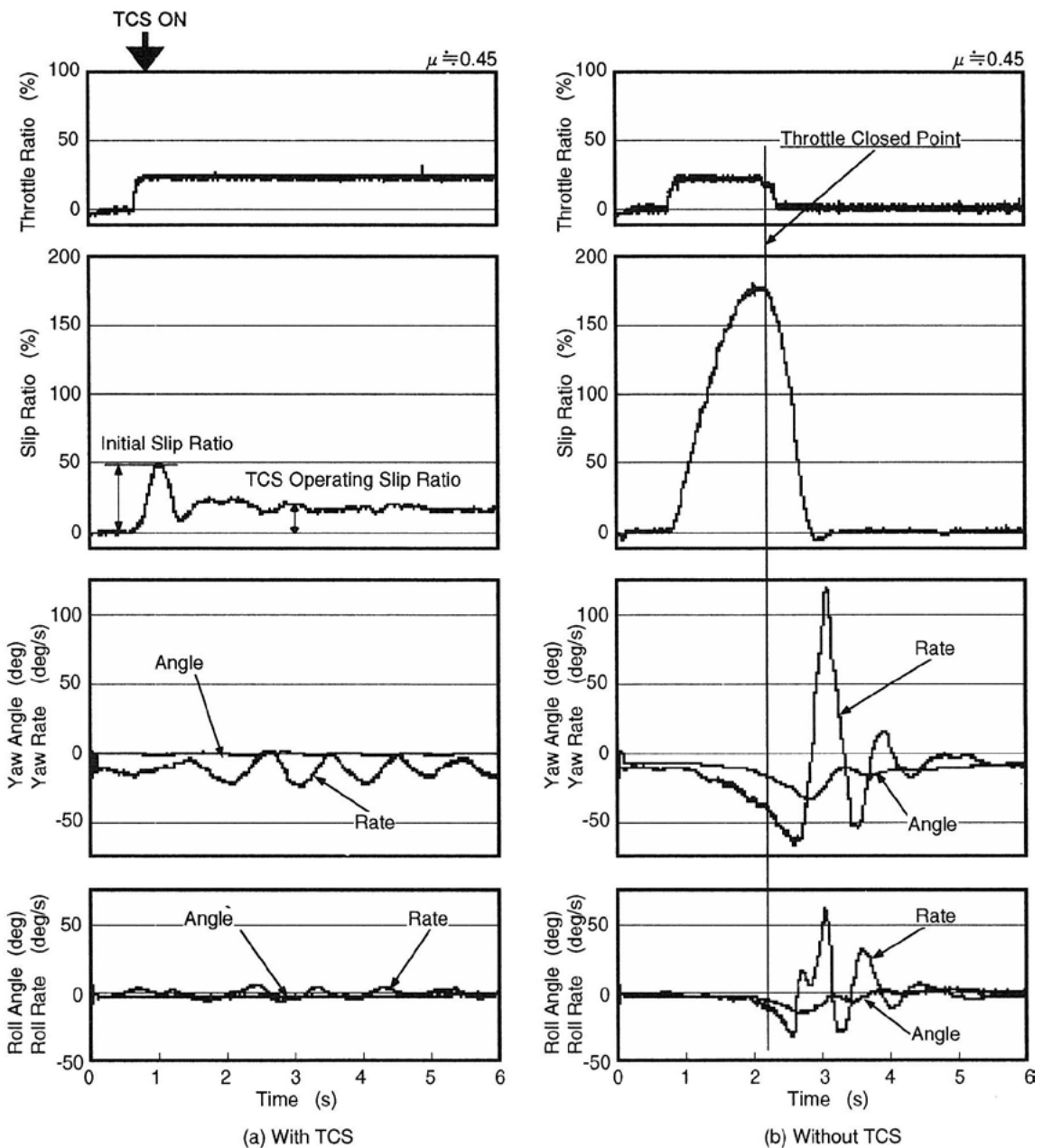


Fig. 3 Example of Test Data on Seal Tar Wet Surface

計算を非駆動輪(フロントタイヤ)を基準とした次式(1)で求めている。

なお、これらのテストは複数のライダーによって行われた。

$$\lambda = \frac{V_R - V_F}{V_F} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで λ : 発生スリップ率 (%)
 V_R : 後輪速度 (km/h)
 V_F : 前輪速度 (km/h)

4. テスト結果

4.1 車体の挙動変化

路面 $\mu \approx 0.45$ のシールタルウェット路面において、直進状態でスロットルを急開したテストの時系列データの一部を With TCS と Without TCS それぞれに対して示す (Fig. 3(a) (b))。

With TCS の場合、スロットル急開 (スロットル開度 24%) 直後に TCS ON となり、発生スリップ率はライダーに注意を喚起するための初期スリップ率 (Initial Slip Ratio) まで一旦増加する。その後は TCS 制御により、速やかにタイヤのグリップが回復できる設定スリップ率に収束し、車体挙動変化は小さく安定した直進状態を保つ。

Without TCS の場合は、スロットル急開 (開度 24%) と同時にスリップ率とヨーレートが急激に増加し、ライダーは車体コントロールの限界を感じてスロットルを戻している。その後、スリップ率は減少し、タイヤのグリップが回復に向かうが、完全に回復するまでには約 0.6s 必要である。また、スリップ率の減少と共にヨーレートは一旦 117.0deg/s まで増加するが、その後減少を示す。急激なタイヤのグリップ回復とエンジンブレーキの影響により、車体は進行方向に対して左右に振られ、タイヤのグリップ回復後も車体挙動はすぐには安定しない。

4.2 スロットル開度とスリップ率

With TCS と Without TCS のスロットル開度に対する発生スリップ率を Fig. 4 に示す。

スロットル閉 (Closed Throttle) は、ライダーが車体コントロールの限界を感じ、任意のスロットル開度を維持できずに戻した時点のスリップ率を示し、スロットル保持 (Keep Throttle) は Without TCS と With TCS

それぞれで任意のスロットル開度を維持できた場合の発生スリップ率を示す。

Fig. 4 に見られるように Without TCS においては、維持できるスロットル開度は 20% 以下で、その時の発生スリップ率は 80% 以下である。それ以上のスロットル開度では発生スリップ率は 140% 以上となり、スロットル開度を維持できず、ライダーは車体コントロールが不可能となる。また、スロットル開度が 20% 以下で発生スリップ率が 80% を越えた例については、ライダーの体重の相違、スロットル急開時にハンドル舵角が入り完全な直進状態ではなかった等の要因が推定される。しかし、ライダーは発生スリップ率が 80% を越えると限界と感じていることから、スロットル開度の大小に関係なく、車体コントロールの限界スリップ率は 80% であると判断する。

With TCS においては、スロットル開度 100% 時でも TCS ON 直後の初期スリップ率 (Initial Slip Ratio) は 80% に制御されており、ライダーの車体コントロールの許容範囲内にあることが判る。

With TCS では、TCS ON 直後に発生スリップ率は最大になるが、その後は TCS 制御により減少する。

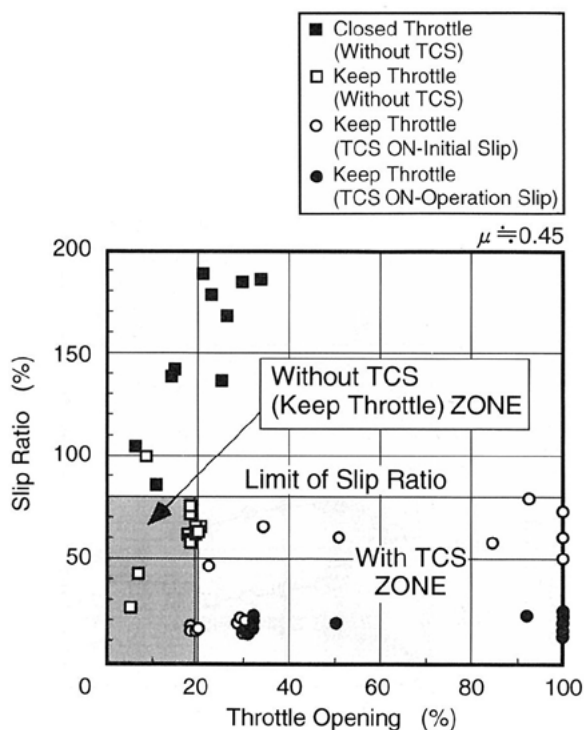


Fig. 4 Slip Ratio vs. Throttle Opening

収束した TCS 制御中の発生スリップ率は、スロットル開度にかかわらず 20% 前後になるように、前述の限界スリップ率 80% の $1/3 \sim 1/4$ 程度に設定してある (Fig. 4)。このスリップ率は Fig. 5 に示す各路面の μ -スリップ率特性における最大 μ 付近であり、過剰なスロットル操作によるタイヤのスリップを、ライダーがコントロール可能な範囲に回復させた後も失速感を与えない。

4.3 スロットル急開時の車体挙動

テストは直進状態で行われたため、ロールレートおよびロールアングルは非常に小さい値であった。そのため、主にヨー方向のデータを用いて車体挙動を検討した。

また、各種データは Without TCS の場合スロットルを戻し始めた時点、With TCS の場合は初期スリップ以降のヨーレートが最大の時点での値とした。

ヨーレートおよびヨーアングルをそれぞれスロットル開度ごとに Fig. 6, 7 に示す。Without TCS のライダーコントロール限界はスロットル開度 20% 前後で、その時のヨーレートの最大値は 29.0 deg/s であった。ヨーレートが 9.0 deg/s 以上ではヨーアングルが大きくなる傾向が見られるが、ヨーレートが大きくてもヨーアングルが小さい場合、すなわち、車体が振られる速度は速くてもその変位が数 deg 以下と小さければ、ライダーはコントロール可能と判断することもある。

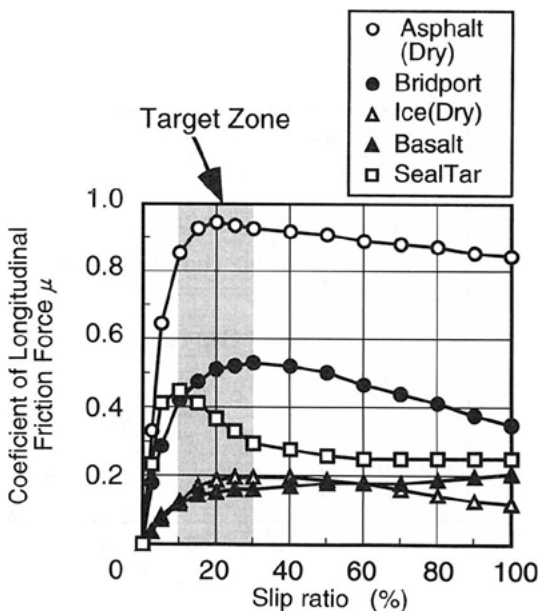


Fig. 5 μ -S Curve on Brake Test

TCS ON ではスロットル開度にかかわらず常にヨーレートは 9.0 deg/s 以下の緩やかな動きとなっており、スロットル全開 (100%) 時でも 9.0 deg/s 以下で、スロットル開度約 30% 時と同様に安定していた。その時のヨーアングルは 5.0 deg 近辺となり、ライダーが Without TCS でコントロール可能と判断した領域と同等であった。

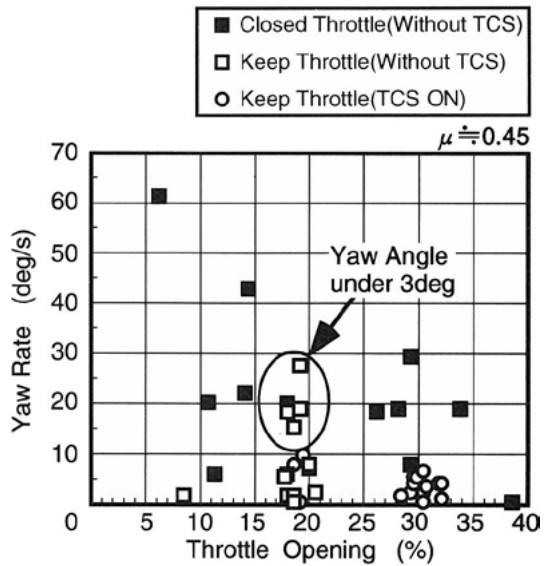


Fig. 6 Yaw Rate vs. Throttle Opening

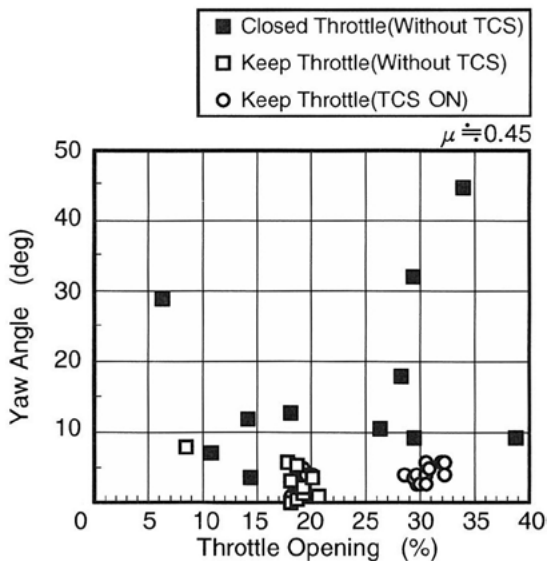


Fig. 7 Yaw Angle vs. Throttle Opening

ヨーレートおよびヨーアングルをそれぞれ発生スリップ率ごとに Fig. 8, 9 に示す。車体のヨーレート、ヨーアングルがそれぞれ大きくなれば、ライダーはコントロールが困難になる。また、車体の挙動変化が小さく発生スリップ率が大きい場合も、リヤタイヤの接地感の急激な低下によって、ライダーは車体のコントロールが困難と判断する。

一般的に車体コントロールに対するライダーの限界判断は、挙動の方向や一要素の大きさだけではなく、複数の方向や要素が絡み合った挙動に対して総合的に

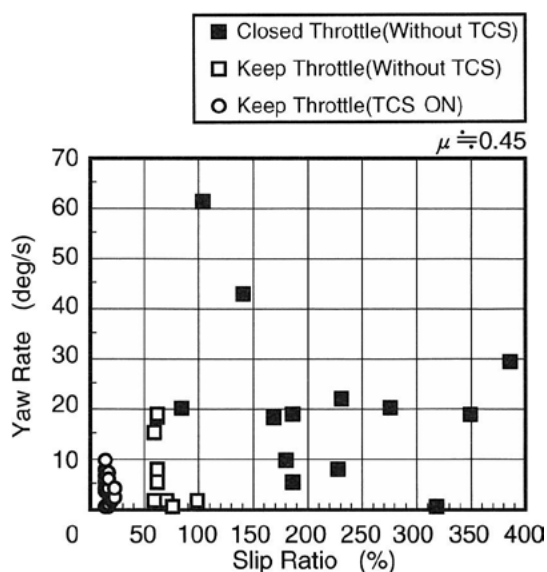


Fig. 8 Yaw Rate vs. Slip Ratio

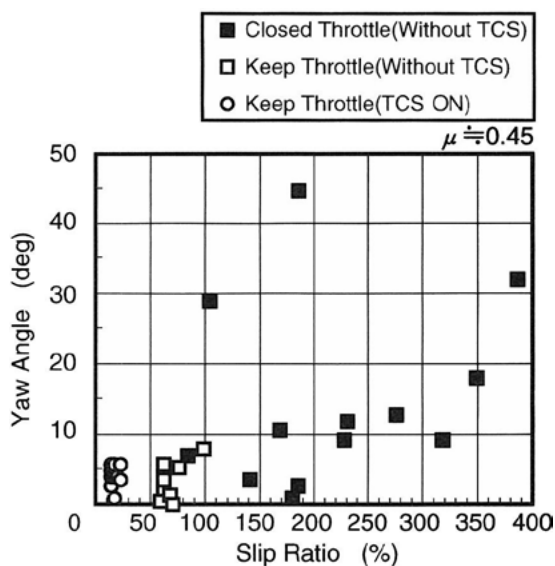


Fig. 9 Yaw Angle vs. Slip Ratio

われる。Fig. 10 に発生スリップ率、ヨーレートおよびヨーアングルを3次元化したグラフを示す。車体コントロール性に対する影響度は式(2)で求められ、影響度指標 (Influence Index) と定義した。影響度指標は小さいほうが車体挙動の乱れが少ないことを意味し、この数値とライダーの感覚的安定性には高い相関がみられた。

$$I = \sqrt{\lambda^2 + \phi^2 + \theta^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで I : 影響度指標

λ : 発生スリップ率 (%)

ϕ : ヨーレート (deg/s)

θ : ヨーアングル (deg)

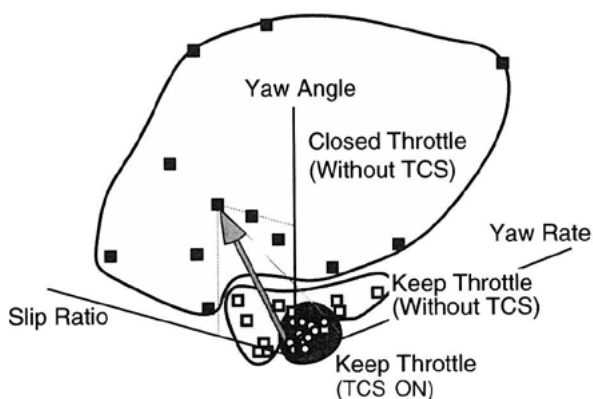


Fig. 10 Influence Index for Motorcycle Stability

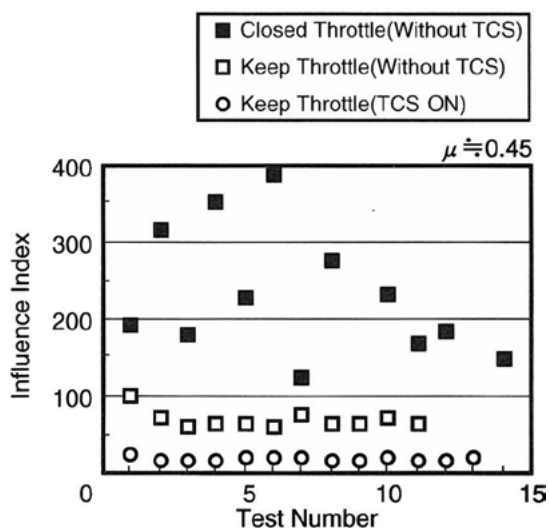


Fig. 11 Comparison of Influence Index

Fig. 11 に影響度指標を比較した結果を示す。これからは TCS ON の方が車体挙動は安定していることが判る。

4.4 加速性能

Fig. 12 にエキスパートライダーと一般ライダーそれぞれ 2 人ずつによる数回の加速度テスト結果の最大値を示す。ここで言うエキスパートライダーは、二輪車の運動特性やあらゆる路面状況を十分理解した上で二輪車の運動性能を評価できるライディング技量を有しており、一般ライダーは乗車歴 5 年以上である。

路面 $\mu \approx 0.45$ では、With TCS の加速度はエキスパートライダーの最大値に比べ約 91% 以上の値を示すが、ライダーによる差が小さく、ライダーの技量に影響されない。Without TCS ではライダーの技量に応じて加速性能に差が出た。 $\mu \approx 0.7$ 以上 (アスファルトウェットおよびドライ路面) では With TCS でも TCS ON にはならず TCS の有無による差は出なかった。

Fig. 13 に路面 $\mu \approx 0.45$ での加速中の発生スリップ率変化を示す。このような低 μ 路面では、トラクションが得られる以前の極低速領域におけるスロットルの急開は、車体挙動に大きな影響を与える場合があり、特に一般ライダーは約 15km/h の車速が発生しないと、スロットルを開くことはできない。なお、TCS は高地におけるエンジンストールを考慮し、発進時の With TCS でのスリップ率は前述の限界スリップ率 80% を超えるセッティングになっている。

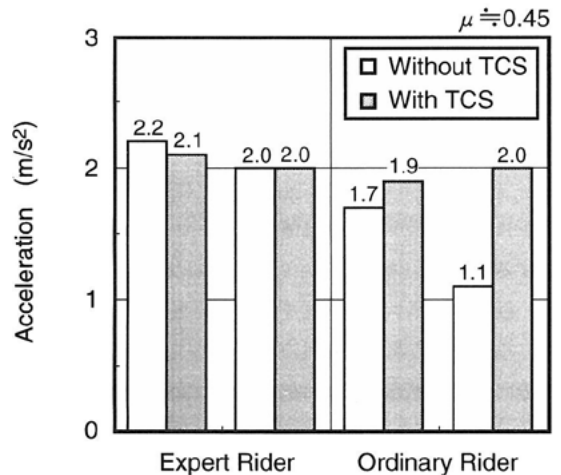
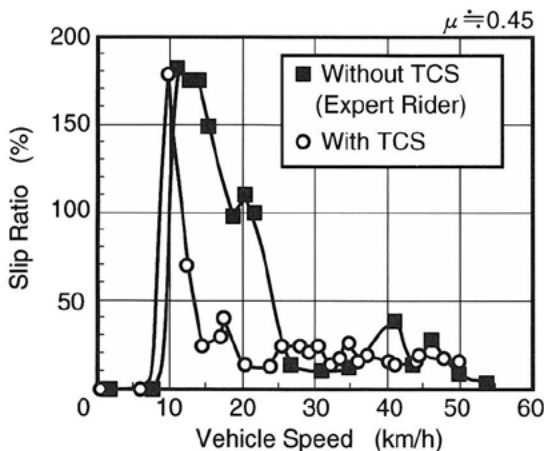


Fig. 12 Maximum Acceleration

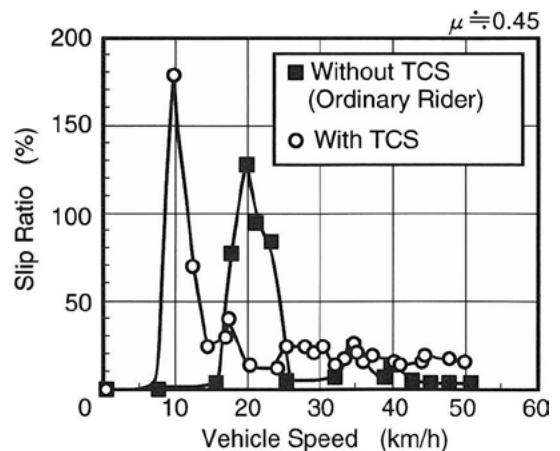
Fig. 13(a) に示すエキスパートライダーの例では、With TCS と Without TCS における加速時の発生スリップ率変化を示す。

Without TCS の発進直後スリップ率も With TCS とほぼ同様な変化を示しているが、エキスパートライダーの場合は、低速領域 (速度 10~25km/h) での発生スリップ率は過大となっている。これはエキスパートライダーは車体挙動をコントロールしながら、微妙なスロットルコントロールを行って加速しているためと思われる。

Fig. 13(b) に示す一般ライダーの例では、Without TCS のスリップ率変化は、With TCS のそれと異なり、効果的な加速を得るための一定スリップ率を維持することができないことを示している。



(a) Expert Rider



(b) Ordinary Rider

Fig. 13 Slip Ratios in Acceleration

5. まとめ

- (1) TCS 搭載車は、TCS 未搭載車に比べ、滑りやすい路面においては車体挙動のコントロール性に優れ、通常加速時のスロットル操作の気遣い軽減に効果がある。
- (2) $\mu \approx 0.45$ の滑りやすい路面において、後輪駆動力過剰が原因でタイヤのスリップが発生した時に、ライダーがスロットル開度を維持しながら車体をコントロールできるのはスリップ率 80% が限界である。
- (3) With TCS の場合は、スロットル開度に関係無く初期スリップ率を、ライダーが車体挙動のコントロールが可能な範囲内で設定可能であり、TCS ON をラ

イダに認識させることができる。

- (4) TCS ON 時の発生スリップ率を速やかに各々の路面状態での最大 μ 近辺に設定した場合、過剰なスロットル操作によるタイヤのスリップが制御された後もライダーに失速感を与えない。
- (5) With TCS の有効性は、発生スリップ率、ヨーレートおよびヨーアングルを用いた影響度指標でも評価できる。
- (6) With TCS の加速度は、Without TCS の最大値と比較して約 91% 以上であり、エキスパートライダーの最大値を上回ることはいできないが、一般的なライダーの場合は Without TCS の加速度を上回る場合が多い。

■ 著 者 ■



谷 一 彦



井 上 直 樹



加 藤 正 家



引 地 東 一 郎



ミハエル ティーム