

横風・突風が高速走行自動車に及ぼす影響について

EFFECT OF LATERAL WIND AND GUST ON RUNNING BEHAVIOR
OF VEHICLE IN HIGHWAY

榎 場 重 正*・小 泉 徹**・長 久 太 郎***

By Shigemasa HASABA, Toru KOIZUMI and Taro NAGAHISA

1. はじめに

最近、自動車交通の増大に伴い、高速自動車道路の建設が着々と進められている。このような道路網の整備により、自動車も高速走行する機会が多く、自動車の操縦性、安定性が重要な問題となってきている。

高速走行中の自動車に加わる外部攪乱力として、路面の不整による力、および横風、突風などの空気力学的な力の 2 つがあげられる。このうち、路面からの外力は、施工、補修に十分注意すれば特に問題とする必要はなく、したがって、外力としては空気力学的攪乱力としての風についてのみ考えればよい。

風は一定の風速で吹くことはなく、常に変動を繰り返しながら、時には瞬間的に大きな風速を生ずることもあり、運転者にとっては予想のつかない危険な外力といえる。特に、トンネル出口、横断陸橋、谷間の風道など、遮蔽物により無風に近い状態の所から、風の強い所への突入は自動車に大きな横変位を生じ、危険な場合がある。したがって、このような空気力学的攪乱力を受ける自動車の挙動を調べることは、交通安全上からも重要な課題である。

横風を受ける自動車の挙動について研究したものは、① ロケットなどの代用外力により自動車に横変位を与える方法¹⁾²⁾、② 人工横風装置により横風を与え走行試験を行う方法^{3)~6)}、③ 自然強風下で走行試験を行う方法⁷⁾⁸⁾、などがある。このうち自然強風下における実験は、実験の対象になるような強風の発生回数が少なく、その大部分は台風通過時のものが多い。

筆者らは、日本海側において冬季に強風の発生頻度が高いことより、北陸高速自動車道において、昭和 46 年

～48 年の冬季において長期間にわたり、横風、突風を受ける自動車の挙動などについて実験を行った。

すなわち、自然風のランダム変動としての性質、および自動車の走行中に受ける外力としての風と自動車に働く諸力について調べ、風速が自動車の走行にどのような影響を及ぼすかについて検討し、高速走行時の自動車の走行安定性に大きな影響を及ぼす風速の危険領域について考察を行った。

2. 自然風の性質

(1) 風の観測と解析方法

横風、突風による自動車の挙動を考えるには、走行安定性に大きな影響を及ぼす風の性質について知らなければならぬ。筆者らは長年にわたりプロペラ式風速計により自然風の定点観測を実施し、その結果はすでに報告した⁹⁾¹⁰⁾。しかし、プロペラ式風速計により観測しうる風の周波数領域は平均風速 10 m/sec で 0.15 Hz 以下、20 m/sec で 0.25 Hz 以下であり、自動車の走行に大きな影響を与えると思われる周波数領域は、より短周期の領域と考えられる。

図-1 に示すように風速 $U(t)$ は一般に、平均風速 \bar{U} と変動風速 $u(t)$ の和で示され、

$$U(t) = \bar{U} + u(t) \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。

これは、風が一定の風速で吹くのではなく、絶えず強

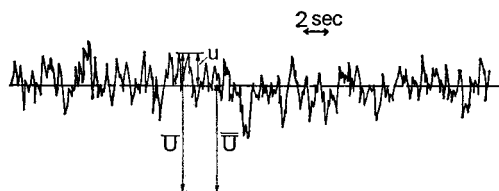


図-1 風速のランダム変動

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木工学科

*** 金沢大学助教授 工学部機械工学科

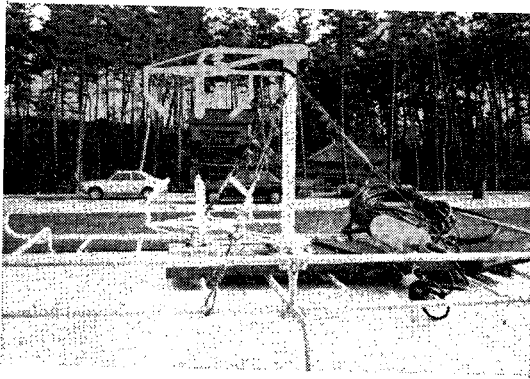


写真-1 超音波風速計

くなったり弱くなったりしていることを示し、このような風の乱れが高速走行中の自動車の走行安定に大きな影響を及ぼす要素と考えられる。したがって、本研究の風の観測はプロペラ式風速計に比してより短周期の領域の風を観測しうる 写真-1 に示すような超音波風速計（海上電機社製 PA 211-1 型）を用い、データレコーダー（TEAC 社製 R-200）に収録し、NF 社製トラッキングアナライザ、TEAC 社製実時間相関計 C 110、スペクトラムアナライザ F 100 を用いて変動成分の周波数分析、スペクトル解析を行った。

(2) 解析結果および考察

a) 周波数分析

超音波風速計より得られた資料より、0.05~1 Hz の周波数について周波数分析を行った結果、図-2 に示すように変動風速は、その平均風速にあまり関係なく、低周波部より高周波部になるにつれて減少する指数関数で表わされた。その値は 0.1 Hz で 0.75 m/sec, 1 Hz で 0.20~0.45 m/sec となった。

b) スペクトル解析

風の変化を定常確率過程と仮定し、スペクトル解析を行い、変動風速のパワースペクトル密度を求めた。結果を 図-3 に示す。図中 V_{mean} は測定時の平均風速を表わす。図より平均風速の違いによるパワースペクトル密度の違いはあまりみられず、同じような傾向を示し、0.1 Hz から徐々に減少しながらも 0.2 Hz 付近にピークを示すようである。相馬¹⁾が 3 杯式風速計により測定した結果では 0.1 Hz 以上になると風のパワーは小さくなると報告しているが、超音波風速計での測定結果は 0.1 Hz 以上の周波数領域でも十分大きなパワーが存在し、自動車の走行に大きな影響を与えらると思われる。

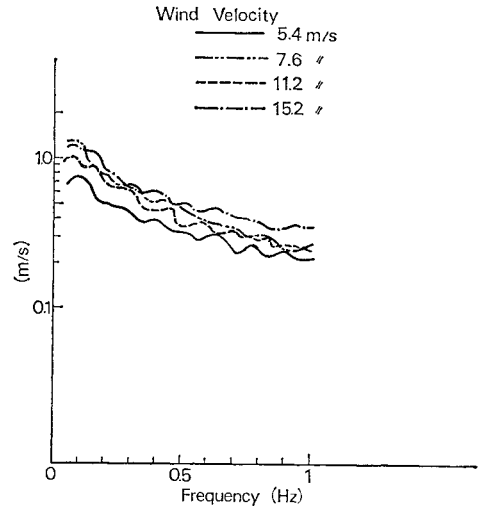


図-2 風速の周波数分析

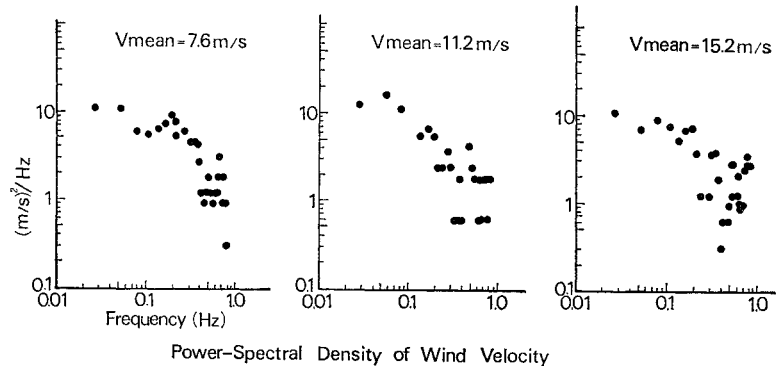


図-3 風のパワースペクトル密度

3. 横風を受ける自動車の挙動

前章では強風特性について述べたが、風のエネルギーは比較的高周波部にまで存在し、1 Hz 付近までパワーの存在が認められたが、1 Hz 以上となると小さくなると考えられる。

走行中の自動車の挙動は、人間と自動車の特性により複雑な挙動を示すが、従来の研究からも明らかなように横風、突風などのランダムに変動する自然風を入力として受けた自動車の諸力がランダム変動を示すことより、筆者らは風と自動車に生ずる力をスペクトル解析し、それぞれの関連を調べた。すなわち、スペクトル解析は 1 Hz 以下の変動を対象とし、人間-自動車系の横風入力に対する各出力の伝達関数を求め、これより危険となる周波数領域を解明し、さらに自動車の空力特性と各出力のパワースペクトルの関係などから、総合的に自動車の高速度運転に危険となる風速、風向について検討を加え

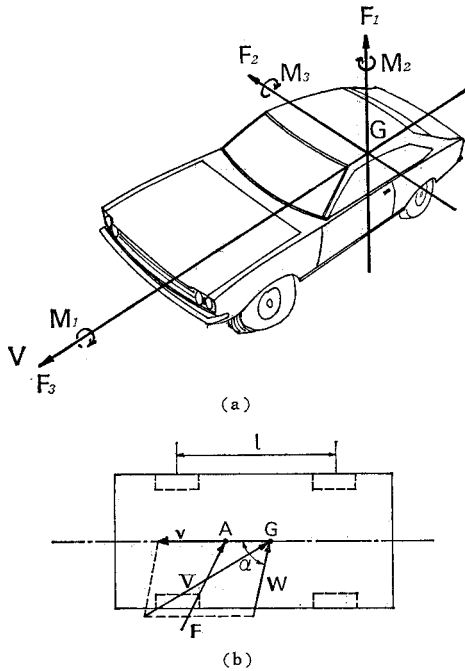


図-4 自動車に働く力

た。

(1) 横風を受ける自動車の空力特性

横風を受けて自動車が高速走行する場合、自動車に作用する力としては 図-4 (a) に示す6分力が働き、それぞれの力は、

$$F_i = C_i(\theta') \frac{\rho}{2} S |V|^2 \quad (i=1, 2, 3) \dots\dots\dots(2)$$

$$M_i = C_i'(\theta') \frac{\rho}{2} S |V|^2 l \quad (i=1, 2, 3) \dots\dots\dots(3)$$

で表わされる。式中、

- F_1 : 揚力 M_1 : ローリングモーメント
- F_2 : 横力 M_2 : ヨーイングモーメント
- F_3 : 抗力 M_3 : ピッチングモーメント
- C_1 : 揚力係数 C_1' : ローリングモーメント係数
- C_2 : 横力係数 C_2' : ヨーイングモーメント係数
- C_3 : 抗力係数 C_3' : ピッチングモーメント係数
- ρ : 空気密度
- S : 自動車前面投影面積
- V : 自動車の車速 u と風速 w のベクトル和 (対気速度)
- θ' : V と u のなす角 (対気横滑り角)
- l : ホイルベース

図-5 は走行試験に用いた自動車の風洞試験より得られた空力係数と対気横滑り角との関係を示すものである。

これらの諸力のうち、自動車の横方向への安定につい

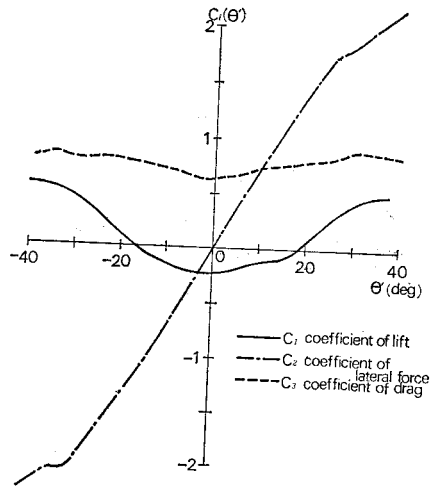


図-5 自動車の空力係数と対気横滑り角の関係

ては、横力、ヨーイングモーメント、揚力が影響すると考えられる。

横力およびヨーイングモーメントが自動車の横変位に与える影響は他の力よりも大きく、横変位に対応して発生する修正操舵力、操舵角を検討することは、走行安定性を論ずるうえでは大きな意味をもつ。ヨーイングモーメントは自動車に働く空気力 F の進行方向に直角な成分である横力 F_2 とホイールベース l の積 $F_2 l$ で表わされ、横力に大きく影響される。井口¹²⁾は、走行中の自動車の運動を簡単に、横方向とヨーイング運動のみとして、外乱を受けて修正操舵を加えるまでの運動を直線走行に近似すると、自動車の重心の横変位を y 、進路角 φ として、横力 F_2 とヨーイングモーメント M_2 はそれぞれ横加速度 \ddot{y} 、ヨー角加速度 $\ddot{\varphi}$ に比例することを示した。

一方、揚力は 図-4 (b) において、自動車の空力中心点 A に働く空気力 F の垂直分力 F_1 が上向きであれば揚力、下向きならば負揚力となり、揚力の正負は自動車の修正操舵力 (操舵角) に大きな影響を与え、この場合も修正操舵力 (操舵角) の大小は自動車の受けた外乱の程度を示すと考えられる。したがって、自動車に横変位を与え、安定性を悪くすると考えられる横力、ヨーイングモーメントおよび揚力は修正操舵力、修正操舵角、横加速度、ヨー角加速度を測定することにより、その影響を知ることができる。

(2) 実験方法

自然強風下の走行試験は、昭和46年から48年までの冬季間(10月~2月)に、石川県内の北陸高速自動車道の金沢西 I.C.~小松 I.C. 間において実施した。

走行中に自動車の受ける風は超音波風速計(海上電機

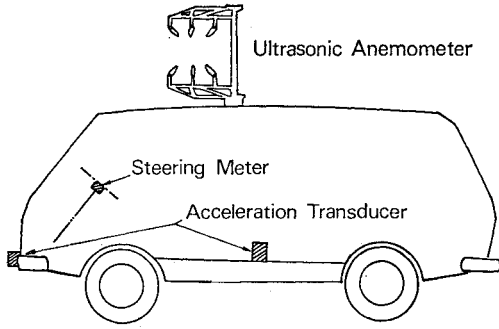


図-6 測定器配置図

表-1 試験車の仕様

寸法 (mm)	全長	4 305
	全幅	1 690
	全高	1 890
	軸距	2 340
重量 (kg)	車両重量	1 155
	最大積載量	850
	車両総重量	2 170
性能	最高速度 (km/h)	130
	最小回転半径 (m)	50
	登坂能力 $\sin \theta$	0.264
	最大安定傾斜角 (°)	左右 47

社製 PA-211-1 型, 測定風速 0~60 m/sec, 分解能 ± 2 cm/sec, 測定周波数 0~100 Hz) を 図-6 に示すようにルーフキャリア上に設置して, 進行方向および進行直角方向の風速を同時に測定した。また, 走行中の自動車の挙動を測定するため 図-6 に示すようにハンドルに操舵力, 角計 (共和電業製 SFA-043, BSA 11 型, 容量, 操舵トルク ± 4 kg·m, 操舵角 ± 3 回転), バンパー部および床上に加速度計 (共和電業製加速度変換器 120 A 5 C 型 容量 ± 5 g, 120 AZD 型 容量 ± 2 g) を設置し, 走行中の操舵トルク, 操舵角, ヨーイ

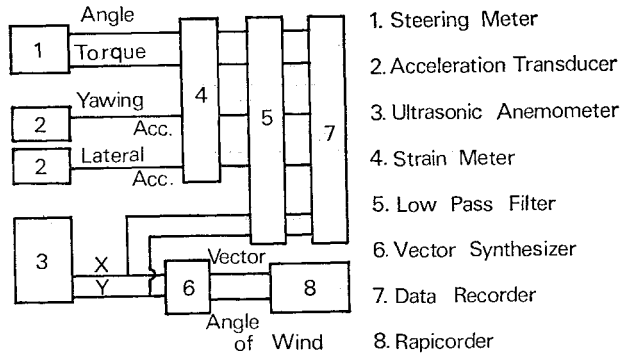
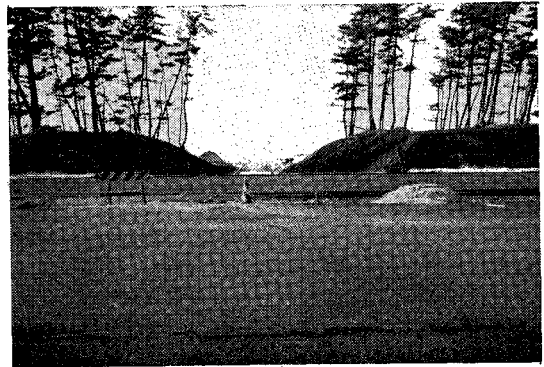


図-7 測定ブロック図



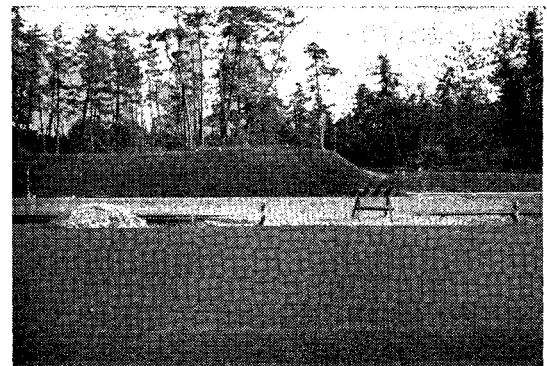
(海側)



(海側)



(山側)



(山側)

写真-2 広く開けた測点

写真-3 風道部測点

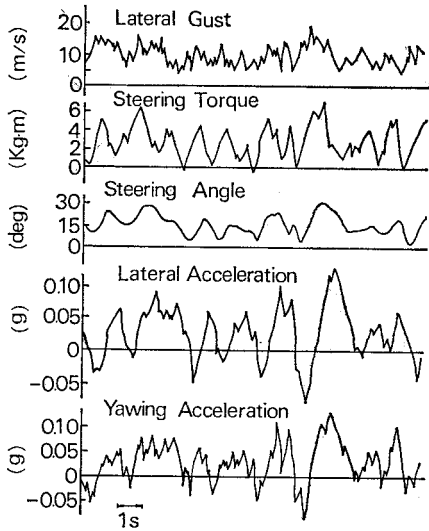


図-8 得られたデータの一例

ング加速度，横加速度を測定した。測定ブロック図を図-7 に示す。なお，試験には表-1 の仕様のバンタイプ車を用いた。

データは特に問題となる 1 Hz 以下のものを対象とするため，ローパスフィルター（共和電業製 LF-6 B 型）により 5 Hz 以上をカットした。得られたデータはデータレコーダ（TEAC 社製 R-200）に収録した。

走行試験は車速 60, 80, 90, 100 km/hr で修正操舵を加える方法による。写真-2~3 は試験区間で，広く開けて突風を受けやすい点と，風が収束して強い横風を受ける風道部の一例を示し，図-8 は測定したデータの一例を示した。

(3) 実験結果および考察

a) 自動車の挙動

先に述べたように，横風を受け横変位をする自動車の挙動については修正操舵力（操舵トルク），修正操舵角，横加速度，ヨーイング加速度を調べればよい。

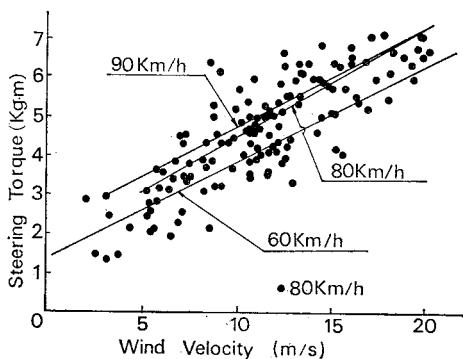


図-9 横風と操舵トルクの関係

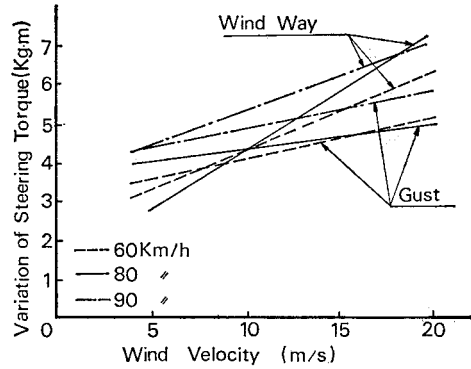


図-10 横風と操舵トルクの変化量の関係

図-9 に 走行速度 60 km/hr, 80 km/hr, 90 km/hr での横風風速と修正操舵トルク（以下操舵トルクとする）の関係を示した（ただし，測点は 80 km/hr のもののみを示す）。60, 80, 90 km/hr における操舵トルクの横風による増加割合は，0.24, 0.28, 0.25 と速度が変化してもほとんど変化しない。しかし，操舵トルクの大きさは，80 km/hr では 60 km/hr よりも約 20% 大きく，80 km/hr と 90 km/hr ではほとんど変わらない。これは 90 km/hr では揚力により摩擦抵抗が減少し，進路補正に要する力が少なくてすむためと考えられる。図-10 に風道部（Wind Way）と広く開けて突風を受けやすい点（Gust）での横風風速と操舵トルクの変化量（横風を受けた後，加えられる修正操舵量）の関係を示す。図より横風風速が大きくなると，風道部では広く開けたところで横風を受けた場合よりも大きな操舵トルクを要し，より危険性が高いと思われる。

以上の現象を，おのおの場合において操舵角が最大となる時間を 0 として，その前後における操舵角の変化状況およびそのときの風速の変化を図示すると 図-11 ~14 に示すとおりである。図-11~12 は風道部を通過する場合を，図-13~14 は海岸部で広く開けた所を通過する際に突風を受けた場合のものを示す。風道部を通過

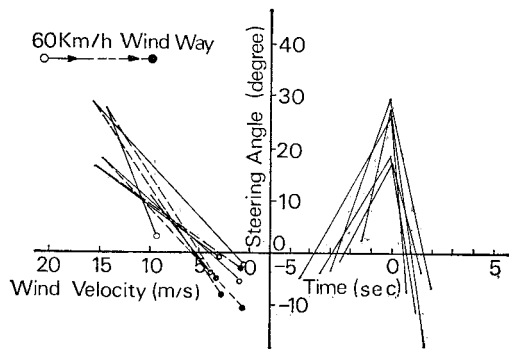


図-11 車速 60 km/hr における風道通過時の風速の変化と操舵角との変化

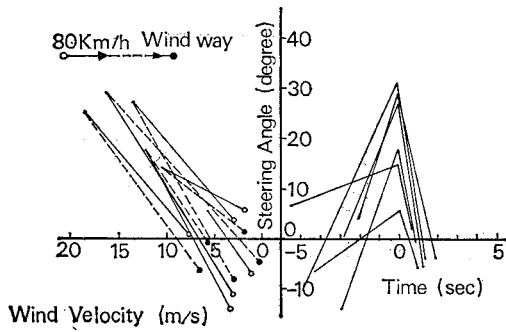


図-12 車速 80 km/hr における風道通過時の風速の変化と操舵角との変化

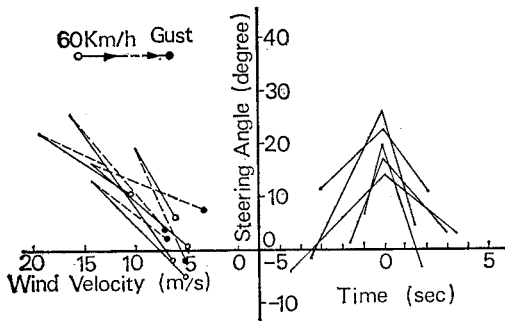


図-13 車速 60 km/hr において突風を受けた場合の風速の変化と操舵角との変化

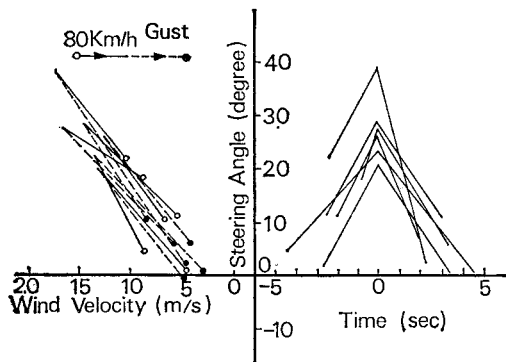


図-14 車速 80 km/hr において突風を受けた場合の風速の変化と操舵角との変化

する場合は操舵角の変化量が大きくなるとともに、操舵角が最大に達した後のハンドル戻しが突風を受けた場合 (Gust) よりも早く行われ、しかも戻しすぎの現象が現われており、風道部では同じような風速を受けるにしても、運転者にとっては、かなり横移動を感じるようになる。

図-15 は横風と操舵角の関係を示す。図中の測点は車速 80 km/hr のもので、60 km/hr, 90 km/hr はその関係のみ示した。これより操舵角は風速および車速が増すにつれて増加を示し、操舵トルクでは車速 80 km/hr

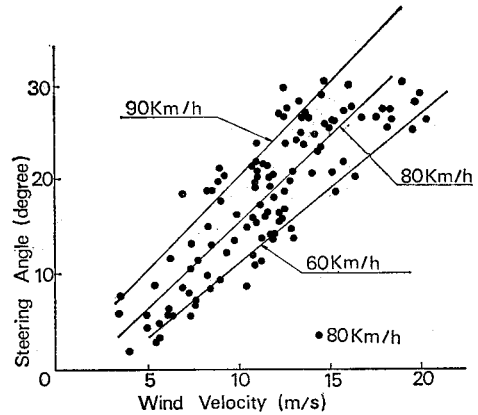


図-15 横風と操舵角の関係

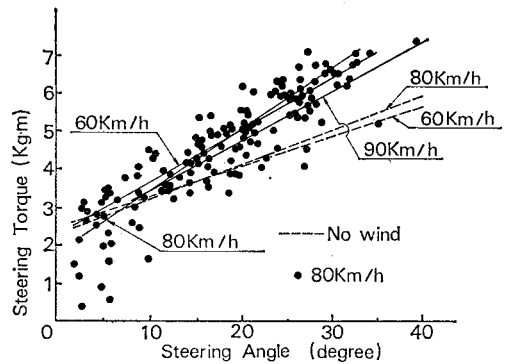


図-16 操舵トルクと操舵角の関係

と 90 km/hr ではあまり違いはなかったが、操舵角では明らかに 90 km/hr の方が大となった。

次に 図-16 に以上の操舵角と操舵トルクの関係を示す。図中実線は横風を受けて走行中の関係で、破線は無風状態のもとで走行したときの関係である。図より横風を受けて走行しているときは車速による操舵角、操舵トルクの関係の違いはあまり見うけられないが、無風時と比べれば同一操舵角を与えるには約 25% 大きな操舵トルクを要するようである。

図-17 は走行試験を行ったときの一定区間における横加速度、ヨーイング加速度の発生分布を示したものである。図より車速が 60 km/hr から 80 km/hr, 90 km/hr になると、横加速度、ヨーイング加速度のいずれも値は大きくなり、幅広く分布し、操縦者が自動車の横変位を感じる度が増すことがうかがえる。

b) 自動車の応答特性

横風、突風などの外乱を受ける自動車の高速安定性に関しては、自動車の形状や特性が影響するとともに、人間の反応感覚が大きく影響し、一般に走行時の自動車と人間の関係は 図-18 に示すブロック線図で表わされる。しかし、筆者らは人間と自動車の関係を単一の系と

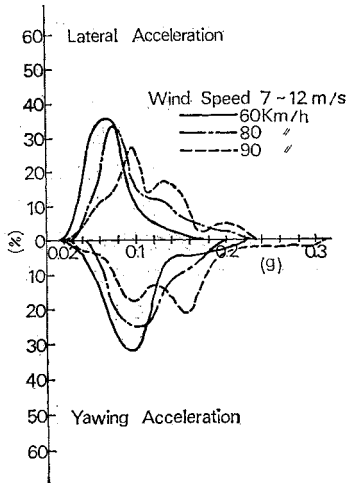


図-17 横加速度、ヨーイング加速度の発生分布

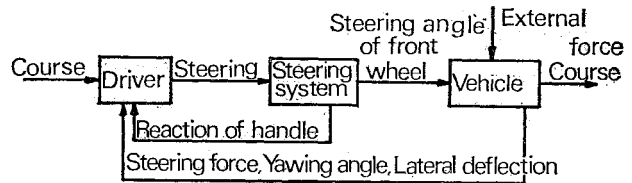


図-18 人間-自動車系のブロック線図

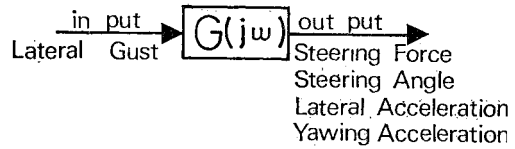


図-19 解析に用いた伝達関数系

イング加速度、横加速度をとり、スペクトル解析により入力-出力間の応答特性を求め、横風による自動車の応答を調べた。

i) 横風入力-操舵角出力

この応答関数でゲイン特性が大きいということは、横風を受けて修正操舵を加えるとき、修正操舵量が大きい

して取り扱い、図-19 に示すような伝達関数系を考え、入力として横風、出力として操舵角、操舵トルク、ヨー

Lateral Wind Velocity - Steering Angle

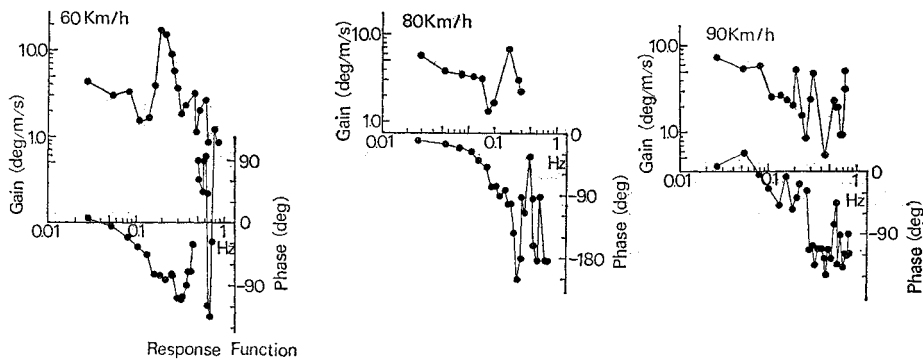


図-20 横風と操舵角の応答関数

Lateral Wind Velocity - Steering Torque

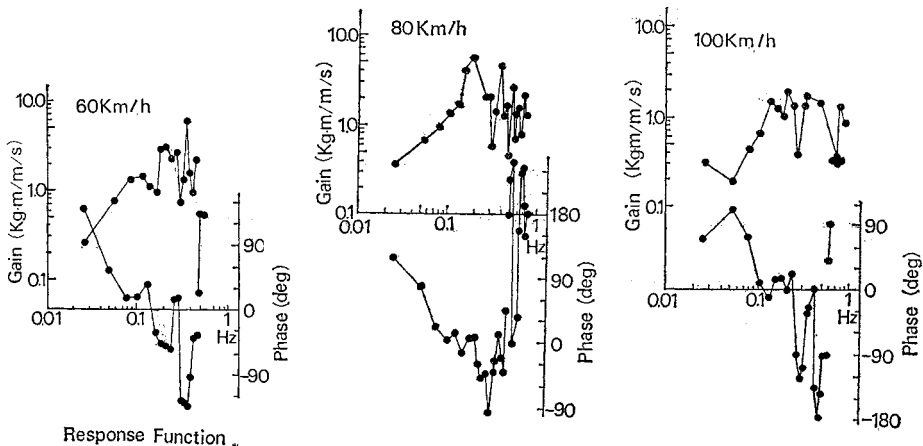


図-21 横風と操舵トルクの応答関数

ことを表わし、また、位相が大きいということは、横風に対する修正操舵が遅れることを意味する。図-20にその特性の一例を示す。ゲイン特性は車速が増すにつれていくぶん大きくなり、0.15~0.4 Hz 付近にピークが現われている。このピークの大きさは車速の小さい方が大きくなっている。位相特性では、低周波数領域では遅れはほぼ 0° であるが、0.1 Hz より遅れが目立ち、0.15~0.4 Hz が最も大きく、それ以下の周波数では運転者は横風に十分対応できる。

ii) 横風入力—操舵トルク出力

この場合、ゲイン特性が大きくなれば、横滑り角が大きくなり、修正操舵量が大きいことを示す。また、位相の遅れは、修正操舵が遅れることを示す。図-21に応答特性の一例を示す。ゲイン特性は周波数が高くなるにつれて大きくなり、0.15~0.4 Hz でピーク値をとる。車速によるゲインの違いはあまりみられず、位相はほぼ 90° 付近から降下し、0.1~0.2 Hz で 0° となり 0.3 Hz で位相差が大きくなる。

iii) 横風入力—ヨーイング加速度出力

この場合ゲインが大きいということは、横風によって自動車が頭を振りやすいことを示し、横風、突風を受けた後の安定に対するめやすとなる。図-22に応答特性の一例を示す。ゲインは周波数が高くなるにつれてだんだん大きくなり、0.15~0.4 Hz でピークを示し、その後徐々に小さくなる。周波数の低い部分でゲインが小さいのは、横風によるヨーイングに対し、進路角等を修正しようとする操舵が十分行われていることを示し、低周波部では運転者は横風に十分対応できることを示す。応答のピークは 0.15~0.4 Hz に存在し、この付近の周波数のパワーの高い風が最も危険となることを示す。位相は 0° よりだんだん遅れが目立ち、1 Hz 付近では 180° に達する。

iv) 横風入力—横加速度出力

横加速度は横移動により生ずるもので、身体全体に感じられ、人間の反応感覚を左右するといわれており、ゲインが大きければ、横風に対する横方向への運動が大き

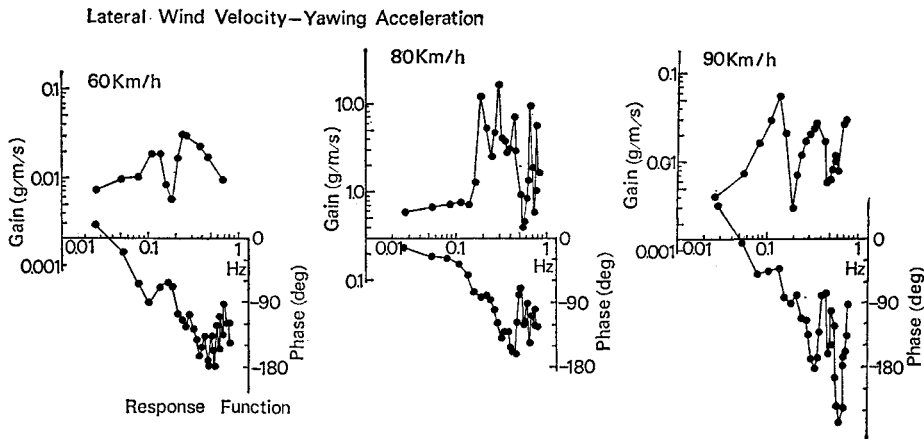


図-22 横風とヨーイング加速度の応答関数

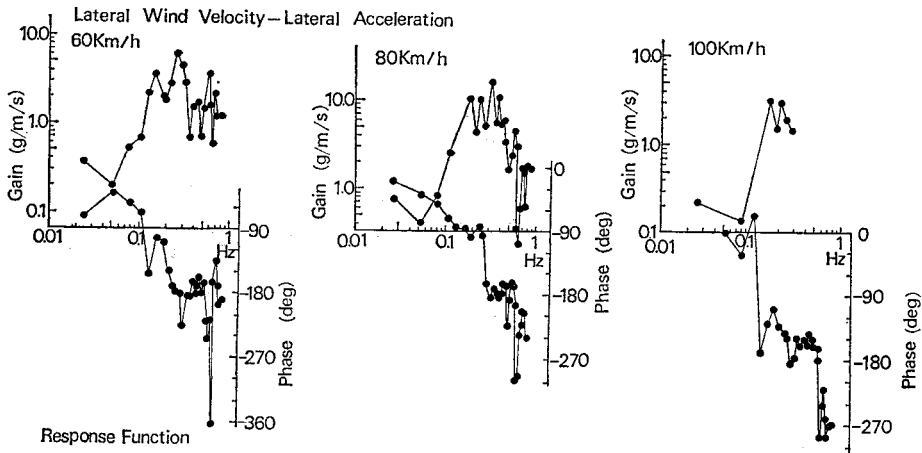


図-23 横風と横加速度の応答関数

くなり、自動車にとって危険である。この応答特性の一例を 図-23 に示す。横加速度、ヨーイング加速度は前述のように横力に大きく影響され、そのため応答はヨーイング加速度の応答に似ている。

以上述べたように、横風に対する自動車の応答は、0.15~0.4 Hz にピークを持ち、0.15~0.4 Hz 付近の風が最も高速走行時の安定性に影響を及ぼすといえる。

c) 自動車の高速走行に対する横風の危険領域

以上、横風に対する自動車の応答などについて述べてきたが、高速道路の建設にあたり、横風により高速自動車が走行安定をそこなう危険風速を推定することは、高速道路の管理運営および横風に対しての適切な処置を講ずるうえで非常に重要なことで、筆者らは、まず自動車が入力（横風） $x(t)$ を受けたときの出力（操舵角、操舵トルク、ヨーイング加速度、横加速度）を $y(t)$ とし、出力 $y(t)$ の分散 σ_y^2 は、外乱程度を示すと考えた。

一般に、 σ_y^2 は、

$$\sigma_y^2 = \phi_{yy}(0) = \int_0^{\infty} \phi_{yy}(f) df \dots \dots \dots (4)$$

で表わされ、出力 $y(t)$ のパワースペクトルの総和で与えられる。

このことより、図-24 に操舵トルクのパワースペクトルの総和と、その時の平均風速の関係を示す。図より車速 60 km/hr のときは風速 13 m/sec 付近から、80 km/hr のときは 12 m/sec 以上になると操舵トルク出力のパワーが増大し危険であると考えられる。

また、ヨーイング加速度、横加速度は前述のように横力 F_2 に比例し、横力 F_2 は式 (2) に示され、

$$F_2 = C_2(\theta') \cdot \frac{\rho}{2} S V^2 \quad (V = |V|)$$

ここで、横力係数 $C_2(\theta')$ は 図-5 に示されるように、一般に θ' が小さい範囲では直線的に変化し、

$$C_2(\theta') = K \cdot \theta' \dots \dots \dots (5)$$

で与えられ、横力 F_2 は θ' の小さい範囲で、

$$F_2 = K \cdot \frac{\rho}{2} S V^2 \cdot \theta' \dots \dots \dots (6)$$

で示され、 F_2 は $V^2 \cdot \theta'$ という空力パラメーターに比例

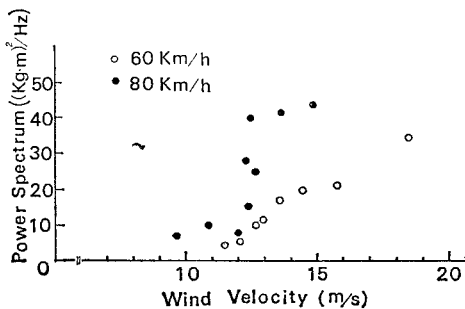


図-24 風速と操舵トルクのパワースペクトルの総和との関係

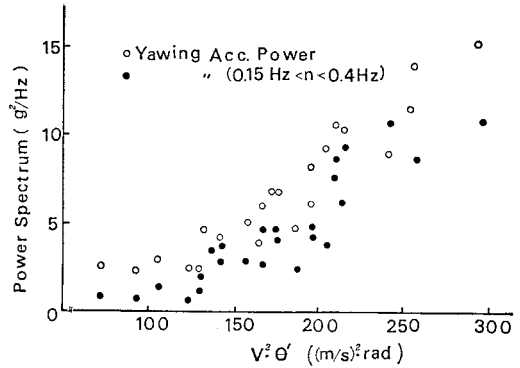


図-25 $V^2 \cdot \theta'$ とヨーイング加速度のパワースペクトルの総和との関係

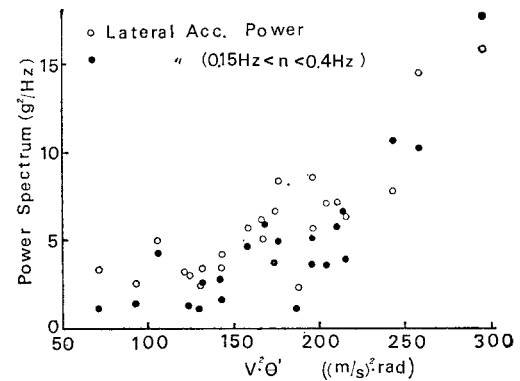
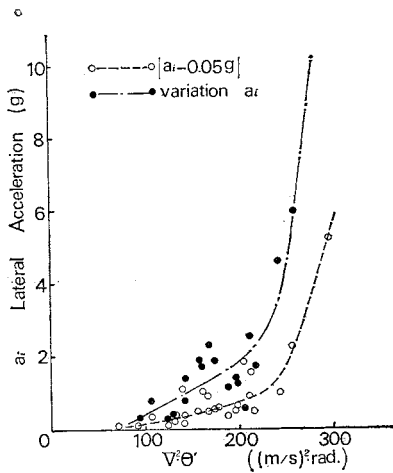


図-26 $V^2 \cdot \theta'$ と横加速度のパワースペクトルの総和との関係

するといえる。

以上の結果より、横軸に $V^2 \cdot \theta'$ 、縦軸にはヨーイング加速度、または横加速度のパワースペクトルの総和および自動車にとって影響の大きいと考えられる 0.15~0.4 Hz の周波数領域の各加速度のパワースペクトルの総和をとり示すと 図-25~26 のとおりである。この結果 $V^2 \cdot \theta'$ が増加すると各加速度のパワーも増加し、ヨーイング加速度については $V^2 \cdot \theta' = 210 (\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ 、横加速度では $V^2 \cdot \theta' = 240 \sim 250 (\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ になるとパワーの増加が大きくなるようである。これは横力により自動車のヨーイングおよび横方向への運動が大きくなることを意味しており、上記の $V^2 \cdot \theta'$ の値を走行安定に対する危険領域の一基準と考えてもよいといえる。

次に高速走行中に生ずる横加速度は横風によって車体が横変位を生じ、その後修正操舵を加えるという一連の挙動によって生ずるものと、単に運転者の無意識の操舵によって生ずるものがあるが、後者は無風状態での走行試験の結果、その最大横加速度はだいたい 0.05 g であった。したがって、走行試験における一定区間内で一定時間中に発生する横加速度のうち、0.05 g を越えるものの総和を求めて比較すれば、風の影響を知る一つ



図一27 $V^2 \cdot \theta'$ と横加速度の総和との関係

の指標となる。いま、おのおのの走行試験の結果より、 $\sum |a_i - 0.05g|$

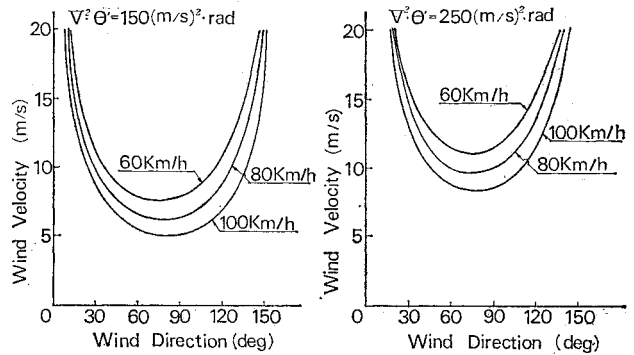
(a_i : 各測点における横加速度の $0.05g$ を越える値) および、 $0.05g$ を越える横加速度の変動量を総和した $\sum a_i$ を求め、 $V^2 \cdot \theta'$ との関係を示すと、図一27 のとおりである。

いずれの結果からでも $V^2 \cdot \theta'$ が $250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ 程度になると横加速度は大きくなり、風による影響が増すと考えられる。

以上の結果をあわせて考えると、自動車が横風を受けて走行するときには、対気速度 V の2乗と対気横滑り角 θ' の積である $V^2 \cdot \theta'$ が $150(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ 程度になると車体に対する影響がではじめ、 $250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ になると影響が大きくなると予想される。

これより $V^2 \cdot \theta'$ に $150(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ 、 $250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ に達する風速 w と風向 α (進行方向を 0° とした場合の風の方向) を示すと、図一28 のとおりである。図に示された曲線の上部がおのおのの車速における危険側で、図より自然風が車の進行方向に $70 \sim 90^\circ$ の角度で吹くとき、車速 60 km/hr では約 7.5 m/sec 、 80 km/hr では約 6 m/sec 、 100 km/hr では約 5 m/sec の風のもとで自動車への影響がではじめ、同じく 60 km/hr で約 11 m/sec 、 80 km/hr で約 9.5 m/sec 、 100 km/hr で約 9 m/sec の風速で自動車の走行安定への影響が大きくなり、運転者は危険を感じるようになる。

以上、自動車の走行上の危険領域について述べてきたが、ここで得られた $V^2 \cdot \theta' = 150, 250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ という値はこの走行試験に使用した車について求められたものであるが、一応、横風を受けた時の一つの危険領域の目安となりうると思われる。



図一28 $V^2 \cdot \theta' = 150, 250(\text{m/s})^2 \cdot \text{rad}$ となる風速と風向

4. む す び

本研究は、風のランダム変動としての性質を調べるとともに、実際自然強風下において走行試験を行い、風の自動車への影響について調べ、自動車の高速走行上危険となる風について、その危険限界を求めた。

その結果、

(1) ランダム変動としての風の性質として、 1 Hz 以上の周波数の変動は平均風速によらず小さい。

(2) トンネル出口、横断陸橋などの風の急激な変化を受けやすい所は、自動車の走行上危険である。

(3) 横風と試験車に生ずる諸力との伝達関数は、 $0.15 \sim 0.4 \text{ Hz}$ 付近の周波数領域にピークをもつようである。

(4) 自動車の受ける平均横風風速が車速 60 km/hr では 13 m/sec 、 80 km/hr では 12 m/sec になると、操舵トルクのパワースペクトルの総和が急増し、大きな影響を受けているようである。

(5) 空力パラメーター $V^2 \cdot \theta'$ は横風による自動車の走行安定への影響を知る目安となり、 $V^2 \cdot \theta' = 150(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ より影響がではじめ、 $250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ になると影響が増大する。 $250(\text{m/sec})^2 \cdot \text{rad}$ となる横風風速は、車速 60 km/hr で約 11 m/sec 、 80 km/hr で約 10 m/sec 、 100 km/hr で約 9 m/sec となり、(4)の結果とあわせて考えれば、平均風速が $9 \sim 13 \text{ m/sec}$ となると、自動車の走行安定性に影響を及ぼすと考えられる。

上記の危険風速は本走行試験に用いた車について求めたものであるが、横風による自動車の走行安定性の一指標となると思われる。

最後に、本研究を遂行するにあたり、終始ご支援、ご協力をいただいた建設省北陸地方建設局、日本道路公団金沢建設局、石川県土木部有料道路課、トヨタ自動車工業(株)、積水樹脂(株)の各位、ならびに調査研究にあたり、厳しい冬季の実験を担当された元金沢大学大学

院生 本江裕之氏（現日本道路公団），森光 明氏（現銭高組）および学部卒業生諸氏に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 井口・沢頭：ロケット利用による自動車の方向安定性の第1次研究，自動車技術，Vol. 21, No. 9, 1967-9.
- 2) 沢頭：横風，突風作用時の自動車の運動について，日本機械学会講演論文集，No. 200, 1968-9.
- 3) 高波・北原・坂井：自動車の対横風特性について，自動車技術，Vol. 24, No. 4, 1970-4.
- 4) 高波・坂井・松下：横風プロア通過時の自動車に働く横力の計測と挙動の解析，自動車技術論文集，No. 6, 1973-11.
- 5) 長久・柳場・森：横風を受ける自動車の挙動，金沢大学工学部紀要，Vol. 7, No. 1, 1973.
- 6) 広瀬・林：横風安定性に関する実験とその問題点，自動車技術，Vol. 27, No. 8, 1973-8.
- 7) 林・古庄・秋山・黒瀬：突風による自動車の応答について（第3報），自動車技術，Vol. 21, No. 2, 1967-2.
- 8) 醍醐・小林・大場：走行試験による横風の測定とその解析，自動車技術論文集，No. 10, 1975-10.
- 9) 柳場・長久・小泉：北陸地方の気象特性一風と雪について一，金沢大学工学部紀要，Vol. 8, No. 1, 1974.
- 10) 柳場・小泉・長久：海浜部を通過する高速自動車道の冬季における二，三の問題点，土木学会誌，Vol. 60, No. 7, 1975-6.
- 11) 相馬：強風の乱流的構造，Journal of Meteorological Society of Japan, Series II, Vol. 42, No. 6, 1964.
- 12) 井口・今泉：横風を受けた自動車の運動，日本機械学会講演論文集，No. 182, 1967-10.
- 13) 井口：運転者の運動特性からみた自動車の走行安定性，日本機械学会誌，Vol. 62, No. 491, 1959.

(1976.10.6・受付)