

空間フィルタを用いた対地速度センサ

A Ground Velocity Sensor Using Spatial Filter Technique

藤 村 契 二⁽¹⁾
Keiji Fujimura

要 旨

アンチスキッド装置の最適化や車両の運動解析などには対地速度の情報が必要であり、この種のセンサの開発が望まれている。すでに、計測器の分野では、一部製品化されているが、いまだ高価であり十分普及するまでには至っていない。我々は、空間フィルタの技術を用い、安価で小型・高精度を指向した車載用対地速度センサを試作した。本稿は、試作機のテストレポートである。様々な路面条件の下で実車テストを行った結果、水しぶきが強く上がる路面などを除いて、10~100km/hの速度範囲で、速度誤差5%以下を得た。誤差要因は、空間フィルタ特有の誤差以外に、1) 泥はね・水しぶき 2) 車両の上下動 3) 路面の空間周波数分布の急変 に起因することを示し、各誤差の評価を行った。さらに、具体的な誤差対策を明らかにし、対策の1つとして、空間フィルタの形状に改良を加え、その実際の効果についても確認した。

An absolute ground velocity is necessary to optimize an Anti-Skid system, to analyze a vehicular motion and so on. In measuring equipment field, these kinds of sensors have been sold already, but very expensive and not prevailing. This paper reports the development of a ground velocity sensor using spatial filter technique featuring low cost, compact and highly accurate. For various road conditions, accuracy less than 5% speed error is achieved in speed range 10~100 km/h with some minor exceptions. Some error factors besides one peculiar to a spatial filter are distinguished as follows: 1) mud and water splash 2) up and down vehicular motion 3) sudden change of spatial frequency spectrum. After designating actual countermeasures to each error, an effective one with reformed spatial filter is tested and confirmed.

⁽¹⁾ モータロニクス技術部

1. ま え が き

速度の非接触測定技術は、計測制御分野の要求と相俟って、種々の方式が提案され発展してきた。能動式では、マイクロ波やミリ波、レーザなどのドップラ効果を利用した方式^{1) 2)}、受動式では、相関法や格子法などが提案されている^{2) 3)}。ここで述べる空間フィルタ方式は、格子法に分類される光学技術で、1950年代初期にこの概念が提案された。その後、主に赤外線探知技術を背景として発展してきた⁴⁾。速度計測への応用は、1960年代から始まっているが²⁾、1970年代に西独で、自動車用計測器として最初の製品化が試みられている⁵⁾。国内においても、その後2、3の計測器メーカから同種の製品が発表されているが^{6) 7)}、いずれも数百万円オーダーの高級なものである。

空間フィルタ方式は、他の方式に比べ、いくつか優れた点を有している。

- 1) 実施にあたり、電波法などの規制を受けない。
- 2) 相関法などに比べ、信号処理が簡単である。
- 3) ドップラ方式に比べ、原理的に高精度である。
- 4) 検知器がシリコン (Si) ホトダイオードであるため量産・低価格化が望める。

以上のことから、車載用として安価で、小型・高精度な汎用センサとして空間フィルタ方式を位置づけ、1975年前後よりこの研究に取り組んでいる。

ところで、自動車電装部品として今までレンズなどの光学部品が使用された例は少ない。それは、この種の部品が自動車の厳しい環境条件に耐え得る必要があるからだ。また、汎用センサとして現在最もニーズの高いものの1つにアンチスキッド (Anti-Skid) 用スリップセンサがあげられる。空間フィルタ方式がアンチスキッドの要求精度を満たすかということも大きな課題である。我々は、これに答えるため、光学系の汚れ調査を始

めとして、試作機により様々な環境での走行テストを繰返した。その結果、実車における誤差要因の解析に成功した。また、路面の光学的な性質調査や空間フィルタの構造改良などの基礎研究も重ね、最適システムの設計に努めている。

以下、空間フィルタの基本原理の説明を行い、基本設計、試作機の概要およびその試験結果について述べる。

2. 基 本 原 理

2. 1 空間フィルタについて

空間フィルタとは、周知の電気フィルタと区別するために名付けられた呼び名である。電気フィルタが時間周波数領域のフィルタ作用を持つのに対し、空間フィルタは空間周波数領域でのフィルタ作用を持つ。空間周波数は、正弦波のような周期的パターンが、単位長さ当りに繰返される回数を表わし、時間周波数と対応している⁸⁾。単位は、cycles/mあるいはlines/mが用いられる。すなわち、空間フィルタとは、様々な空間周波数成分を含んだ画像の中から、特定の周期パターンだけを抽出する作用を持つものである。

2. 2 対地速度の測定原理

対地速度 (車体と路面との相対的な速度) センサに用いられる基本的な光学系の構成を図-1に示す。ここで用いる空間フィルタは、結像面上に光学的に透明・不透明な柵状パターンを持つ。このパターンのことをレティクル (Reticle) と呼ぶ。路面の像は、対物レンズを介してこのレティクル面上に結像される。レティクルの柵状パターンに対して、直角方向 (進行方向) に結像が移動すると、移動に対応して、検知器面には光の強弱が生じる。この現象は、路面を微視的にながめると、様々な明るさを持った集まりであると考えられるから生じる。たとえていうなら、日中、格子戸の外を通る人影を見ると光の明滅を感じるのと似て

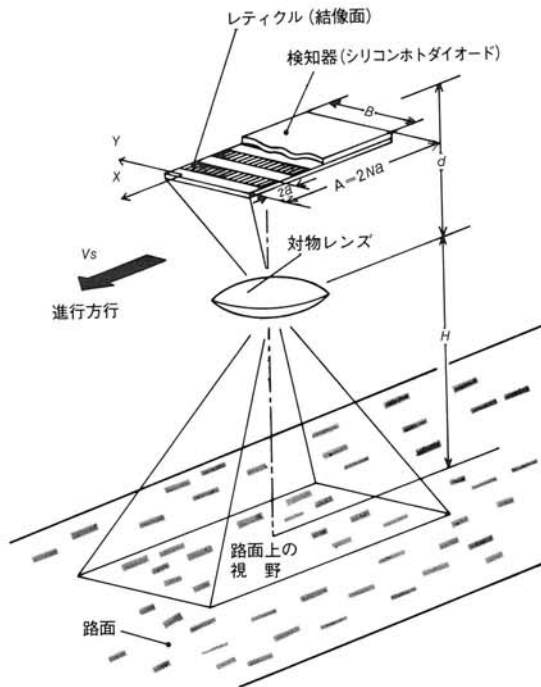


図-1 対地速度センサの基本構成

Fig. 1 Basic construction of a ground velocity sensor.

いる。人影は背景との間にコントラストを持つから人影と認識できるのである。これを、無限に広い真っ白な布が移動しているとしたらどうだろう。このときには、光の明滅は感じられず、布も静止しているように見えるだろう。すなわち、路面の様々な明るさ各々が人影に対応し、その移動によって検知器面に光の強弱を与えると考えればよい。さらに、路面の様々な明るさの内、レティクルパターンの周期間隔に一致した成分が特に強く検知器面に伝達される。これが、空間フィルタ作用であり、図-1のレティクルは、進行方向に対して狭帯域通過特性を持つことを意味する。レティクルのフィルタ作用を受けた光の強弱変化速度は対地速度 V_s に比例している。検知器はこの光の強弱変化を電気信号に変換し、時間周波数 f_0 を発生する。この f_0 を計測すれば、 V_s は次式により求まる。

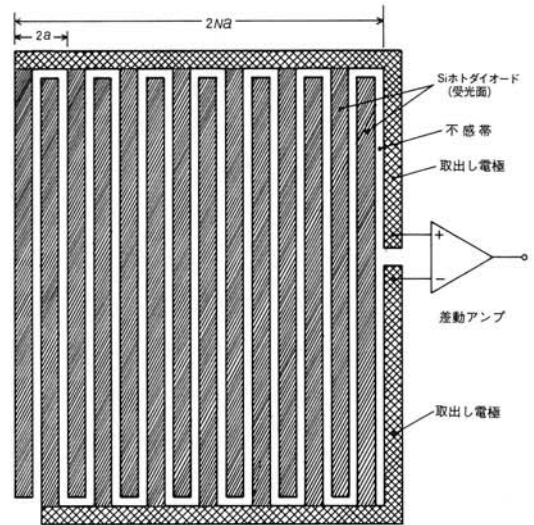


図-2 3値有極性柵状レティクルの構成

Fig. 2 Construction of a plus-minus fence reticle.

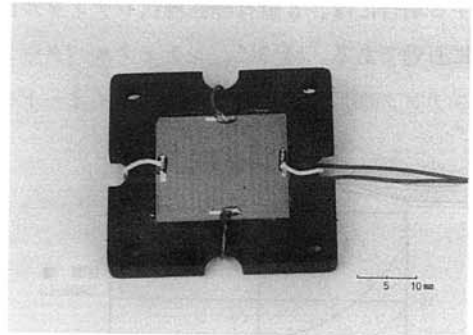


図-3 レティクルパターンをエッチング加工したSiフォトダイオード

Fig. 3 Si photodiode with a photolithographic reticle pattern.

$$V_s = 2af_0H/d. \quad (1)$$

ここで、

$2a$: レティクル繰返しパターン1ペアの幅

H : レンズ-路面間距離

d : レンズ-レティクル面間距離

2. 3 3値有極性柵状レティクル

実際に用いているレティクルは、Siフォトダイオードから成る検知器上にエッチング加工されてい

る。さらに、ダイオードは図-2に示すように差動アンプに接続され、3値有極性柵状レティクル⁹⁾を構成する。3値とは、レティクルの透過率分布が等価的に、正・負・ゼロの3つの値を持つことを意味している。負の透過率とは奇異に感じるが、差動アンプを用いて電氣的に作り出したものである。前節では、レティクルを格子戸にたとえて話をした。格子戸の透過率は正・ゼロであり、このような透過率分布を持つレティクルを無極性柵状レティクルと呼ぶ。いずれの柵状レティクルも、進行方向に対して狭帯域通過特性を示す。しかし、3値有極性柵状レティクルは、直流分や偶数次および3の奇数倍の高調波をレティクル自身で相殺するため、信号の抽出が容易となる。自動車の速度計測のように、検出周波数が10倍以上変化する場合には、3値有極性柵状レティクルは、特に有効である。図-3に、レティクルパターンをエッチング加工し試作したSiホトダイオードを示す。

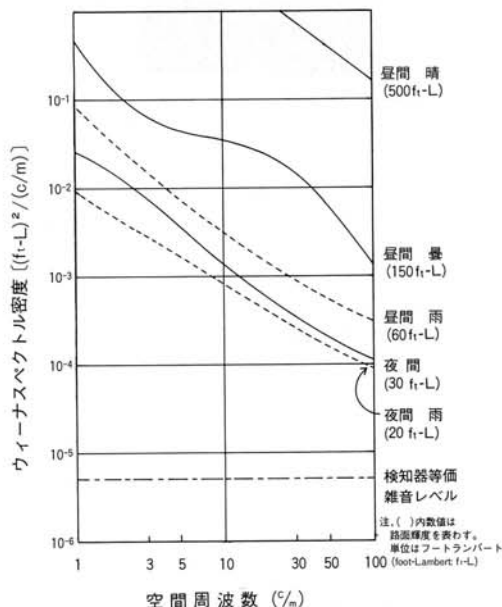


図-4 各種路面のウィーナスpekトル密度 (代表値)
Fig. 4 Wiener spectrums of various road surfaces (Typical data).

3. 基本設計

3.1 路面の放射輝き分布

路面には、2.2節で述べたように、様々な大きさを持った輝きが存在し、レティクル面に光の強弱 (空間周波数分布) を与える。レティクル入力として、このように不規則な空間輝き分布を扱うときには、ウィーナスpekトル密度 (Wiener Spectrum) と呼ばれる概念を適用する⁴⁾。空間フィルタの主通過帯域は、路面のウィーナスpekトル密度を知った上で、適切に選ばなければならない。また、主通過帯域はレティクルの形状も支配するため、その選択は重要である。そこで、各種路面に対して、ウィーナスpekトル密度を実測し、図-4を得た¹⁰⁾。その結果、路面のpekトル密度は、低域ほど強い特性を持つことがわかった。

3.2 検知器端SN比

検知器端SN比は、主に光学系によって決定される。まず、検知器受光面照度 E は、次式で与えられる^{11), 12)}。

$$E = \frac{1}{4} K_0 \left(\frac{1}{F}\right)^2 \left(\frac{f}{d}\right)^2 P. \quad (2)$$

ここで

P : 路面照度で、路面のウィーナスpekトル密度に比例する

K_0 : 光学系の透過率

F : レンズの F ナンバ、 D/f で与えられる

f : レンズの焦点距離

D : レンズの開口径

一方、Siホトダイオードを用いた検知器の出力電流 i_0 は、次式で与えられる。

$$i_0 = \eta_0 A_d E. \quad (3)$$

ここで、

η_0 : 単位面積あたりの受光素子感度

A_d : 検知器の有効受光面積

したがって、検知器端SN比(SNR)は次式で表される。

$$SNR = 20 \log_{10} (i_0 / i_d). \quad (4)$$

ここで、

i_d : 検知器雑音電流

また、検知器雑音は、ジョンソン雑音やショット雑音などであるが、一般的な使用範囲では、ジョンソン雑音が支配的である。したがって、(4)式の i_d はジョンソン雑音で見積もればよい。

3.3 空間フィルタの設計方針

ここでは、空間フィルタ特有の誤差について考察し、空間フィルタを含めた光学系を設計する際の留意点を述べる。

3.3.1 有限帯域幅による誤差

空間フィルタ主通過帯域の帯域幅は、レティクルサイズに限りがあるため、有限である。このため、路面の不規則な放射輝き分布が入力されると、出力周波数 f_0 は帯域幅 ΔB 内でランダムに変動する。この変動が ΔB 内で一様であるとするなら、時間領域での誤差 ε_1 は、次式で表される¹³⁾。

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2\sqrt{3} Q \sqrt{T f_0}} \quad (5)$$

ここで、

$Q: f_0 / \Delta B = N$ で与えられる。ただし、 N はレティクルペア数

T : 観測時間

ε_1 は、レティクルペア数 N を大きく、また観測時間 T を長くすれば低減できる。しかし、レティクルサイズを一定にして、 N を大きくすることは、主通過帯域の空間周波数を高めるため、ウィーナスpekトル密度の制約を受ける。また、 T も応答性により制限される。

3.3.2 カウント誤差

路面放射輝き分布のランダムな変動により、出力振幅は変調を受け、一定閾値でパルス成形する場合、パルス脱落を生じる。検知器ノイズを分散 σ^2 のガウス分布とし、空間フィルタ通過後の出力信号実効値を e と考える。このとき、パルス成形の閾値 L を $L = 3\sigma$ に選んだとすると、ミスカウントによる誤差 ε_2 は、次式で表される^{9),14)}。

$$\varepsilon_2 = 1 - \text{EXP}(-9\sigma^2/2e^2). \quad (6)$$

ここで、 e/σ はセンサ出力信号のSN比を意味する。当然、SN比が高ければ ε_2 は低減されるため、(4)式で与えられる検知器端SN比を大きく

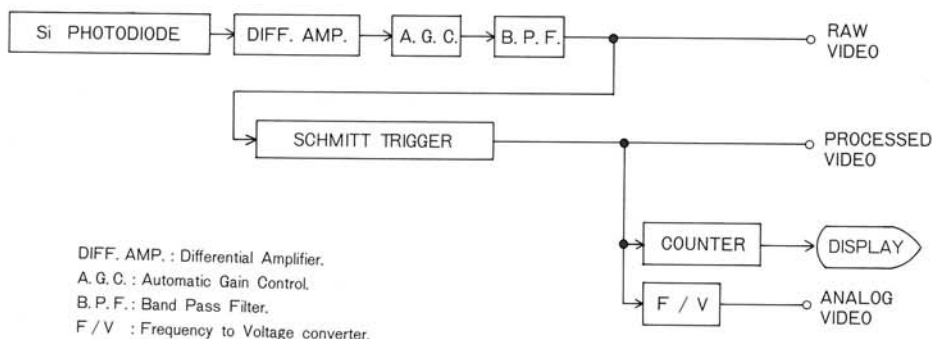


図-5 信号処理回路ブロック図

Fig. 5 Signal processing circuit block diagram.

とる必要がある。

3. 3. 3 光学系設計上の留意点

前項の結論から、(2)式で表される受光面照度 E はできる限り大きい方が望ましい。一方、(5)式は、空間フィルタの Q 値 (= レティクルペア数 N) の点で、これを制限する。以上をまとめ、空間フィルタを含めた光学系の留意点を以下に示す。

- 1) 空間フィルタの中心空間周波数 ($1/2a$) は、できるだけ低くしてウィーナスpekトル密度の高い領域を使用する。すなわち、レティクル形状が制限されているなら、そのペア数 N は、 ε_1 の許す限りできるだけ小さく選ぶ。
- 2) 対物レンズは、 F ナンバの許容範囲内で、できる限り短焦点のものをを用い、受光面照度 E をかせぐ。

表-1 目標性能

項 目	目 標 性 能
測 定 対 象 路 面	乾燥・湿潤・圧雪・融雪各種路面
測 定 範 囲	10 ~ 100 km / h
測 定 精 度	± 5 % 以上
応 答 時 間	0.1 sec 以内
装 着 位 置	車両底部 $H = 205 \text{ mm}$ $d = 33 \text{ mm}$

表-2 試作機の仕様

項 目	仕 様
寸 法 (mm)	(W) 51 × (D) 125 × (H) 52 (照明ランプ含む)
重 量 (g)	600 (照明ランプ含む)
消費電力 (Watts)	5 (表示器・信号処理器含む)
光 学 系	対 物 レ ン ズ 両凸単枚レンズ $f = 30 \text{ mm}$, $D = 30 \text{ mm}$
	レ テ ィ ク ル 3 値有極性棚状 $N = 7$, $2\theta = 2.4 \text{ mm}$ $A = 16.8 \text{ mm}$ $B = 13.5 \text{ mm}$
	検 知 器 Si ホトダイオード (浜松ホトニクス株SPCシリーズ) $\eta_0 = 6 \times 10^{-3} \text{ A/lm}$, $\lambda_p = 850 \text{ nm}$ 有効受光面積 $A_{\text{eff}} = 150 \text{ mm}^2$
照 明	25 W タングステンランプ (パラボラレフレクタ付)

3. 4 信号処理回路

信号処理回路のブロック図を図-5に示す。検知器出力は、差動アンプに輸入され 3 値極性を得る。後続アンプが飽和しないように、検知器受光面照度に応じた A.G.C. (Automatic Gain Control) をかけ、高調波やサイドローブ成分によるカウント誤差を低減する。バンドパスフィルタの帯域は、測定速度範囲を満足するように設定する。クランプ回路は、フィルタ通過後の信号振幅レベルを一定にして、ミスカウント誤差を低減する¹⁰⁾。さらに、シュミットトリガ回路 (Schmitt Trigger) を用いてパルス化する。パルス成形された信号は、カウンタに輸入し、対地速度を表示する。また、このパルスを周波数-電圧変換し、対地速度に比例したアナログ電圧を得る。

4. 試作機の概要

4. 1 目標性能

試作機の目標性能を表-1に示す。測定精度は、アンチスキッド装置を最適制御する場合に速度センサに要求される精度を目標にしている¹⁵⁾。この精度を得るためには、(6)式よりセンサ出力信号 S/N 比は、少なくとも 20 dB 以上必要である。これを念頭に置いて、次節に示す仕様を定めた。

4. 2 仕 様

試作機の仕様を表-2に示す。この場合、レティクルの路面上に換算した中心空間周波数は 67 c/mm になる。したがって、光学系仕様を (2)、(3)、(4)式に適用すると、検知器端 S/N 比は、最悪値でも 26 dB 以上を得る。図-4に、検知器等雑音レベルを併記したので参照されたい。また、(5)式による誤差 ε_1 は十分小さく無視でき、以上の仕様は目標精度を満足する。なお、夜間およびトンネル内の路面照度を安定して得るため、25W 自動車用ランプをセンサに内蔵している。

試作機は、実験車に装着し以下の走行テストに

使用した。その実装例を図-6に示す。

5. 実車テスト

5.1 保護ガラスの汚れ調査

試作機の試験に先立ち、センサ光学系保護ガラスの汚れ具合を調査した。調査は約1年間にわたり、車両底部へ取付けた約100 mm 角のガラス片の透過率を定期的に測定した。その結果を図-7に示す。普通の走行では1年間走行しても、汚れによる減光量は50%程度である。また、特に雨中の悪路を走行しても1ケタ以下になることはない。

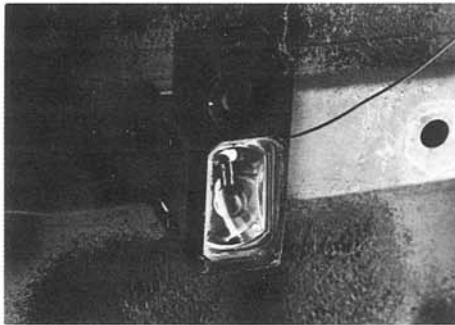


図-6 車両底部へ取付けた試作機
Fig. 6 Prototype installed under the vehicular frame.

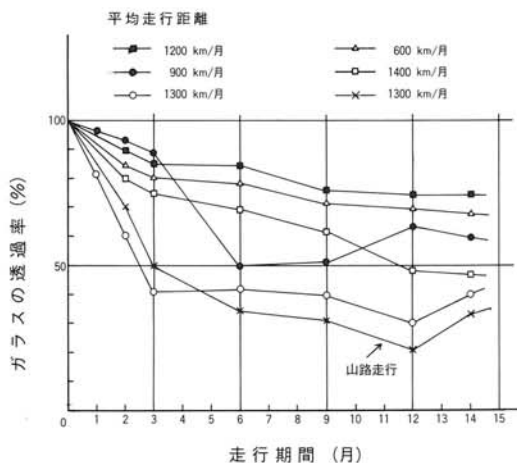


図-7 保護ガラスの汚れ調査結果
Fig. 7 Experimental results of a protecting glass contamination.

試作機の仕様は、50%の光量減衰があっても20 dB 以上の出力端 S/N 比を保証している。必要ならば、6ヶ月または12ヶ月定期点検程度の保守で十分実用になると考えられる。

5.2 測定結果

プロペラシャフトに取付けた車軸回転センサの出力を速度基準信号 f_w として、試験機のセンサ出力 f_s を評価した。 f_w 信号100パルスに対する f_s 信号を計数し、その平均値と標準偏差値を求めた。

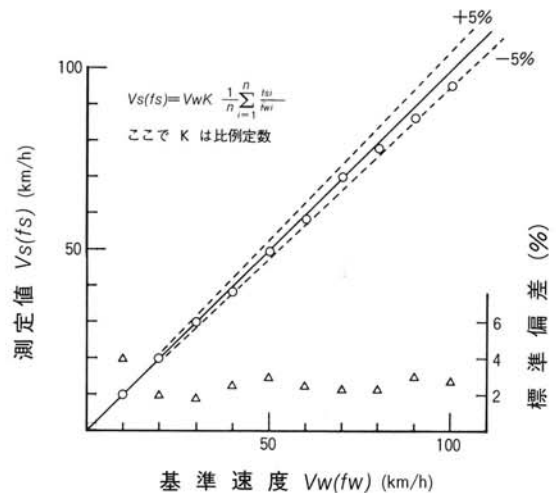


図-8 一般舗装道路における測定精度
Fig. 8 Measurement accuracy on usual paved roads.

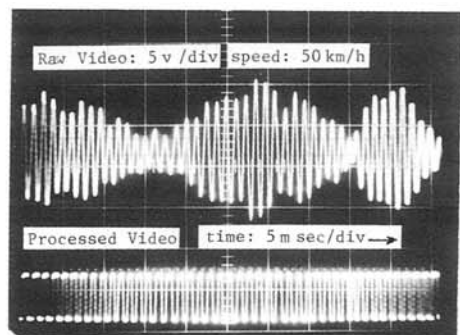


図-9 センサ出力波形の代表例
Fig. 9 Typical sensor output signal.

一般舗装道路で、10~100 km/h の速度範囲を10 km/hステップで定速走行した結果を図-8に示す。また、このときの代表的なセンサ出力波形を図-9に示す。さらに、凍結・圧雪・融雪・湿潤の各種路面で測定した結果を図-10に示す。

以上の実車テストの結果、一般舗装道路で+2~-5%，その他の各種路面で±15%以下の速度誤差を得た。一部の路面では、目標精度を満足しなかった。しかし、アンチスキッド用には、-60~+20%の速度誤差であっても、走行安定性はそこなわれないという報告もある¹⁶⁾。したがって、アンチスキッド用センサとしては、十分実用になると考えられる。しかし、汎用センサにはさらに改善の必要があり、以下誤差要因について検討する。

6. 誤差検討

3.3節では、空間フィルタ特有の誤差について述べたが、この章では、実車において測定対象との関係によって生じる誤差について考察する。さらに、各誤差の評価を行い、その対策を示す。

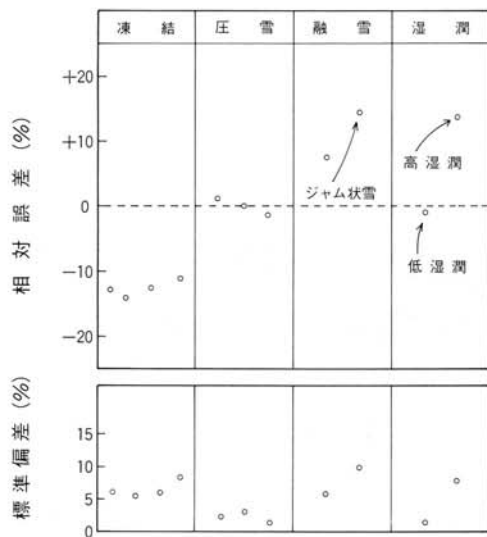


図-10 各種路面状態における測定精度

Fig. 10 Measurement accuracy on various road conditions.

6.1 泥はね・水しぶきによる誤差

湿潤・融雪路面を走行したときに得られる速度基準信号 f_w とセンサ出力信号 f_s の周波数-電圧変換出力を図-11に示す。ジャム状雪や水たまりのある路面では、出力周波数成分が広がり、カウント誤差 ϵ_3 が発生する。これは、センサ光学系の視野内に泥はねや水しぶきが入り、対地速度成分以外の不要な周波数成分が発生するためである。現在のセンサでは、+15%程度の ϵ_3 誤差が発生している。この誤差を低減するには、シャーシの一部を改造して水しぶきなどの影響をできるだけ少なくする必要がある。

6.2 センサ取付高さ変動による誤差

(1)式から明らかなように、センサ取付高さ H

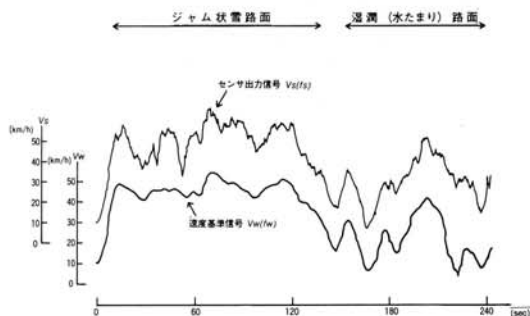


図-11 湿潤・融雪路面での代表的出力

Fig. 11 Typical output signal on a wet road and melting snowed one.

表-3 走行中のピッチング角と誤差 ϵ_4

走行条件	ピッチング角 θ (deg)	高さ変動 JH (mm)	誤差 ϵ_4 (%)
高速道路定速走行 (V 60~100km/h)	±0.14	±4.5	±2.2
一般舗装道路 (信号発進、停止を含む)	±0.20	±7.0	±3.4
速度可変走行 (サートキヤ)	±0.70	±24	±12
高速道路の高架橋目を 通過したとき (瞬時値)	±0.50	±18	±8.5
急制動 (瞬時値)	±0.90	+31	+15
急発進 (瞬時値)	-1.70	-59	-29



(a) 凍結路面



(b) 横断歩道の白線パターン

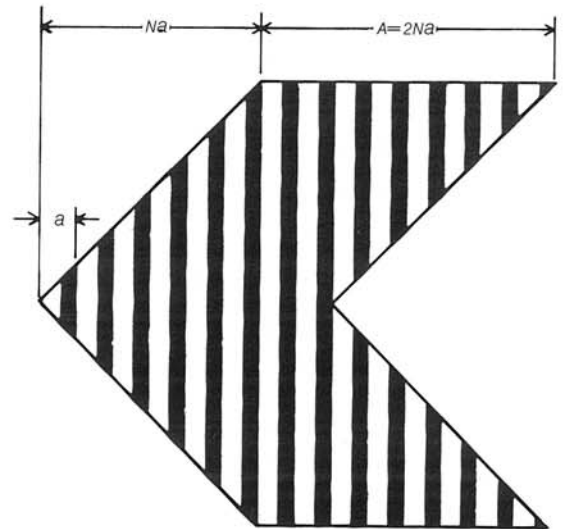
図-12 路面放射輝き分布が急変する例

Fig. 12 Examples of a sudden change about a spatial brightness distribution on road.

の変動 ΔH は直接、測定誤差 ϵ_4 となり、次式で表される。

$$\epsilon_4 = \Delta H / H. \quad (7)$$

H の変動は、自動車の走行中に発生するピッチングやローリングによるものである。実験車走行時のピッチングを測定し、バンパ付近で発生する高さ変動分 ΔH およびこの高さ変動による測定誤差 ϵ_4 を求めた。その結果を表-3に示す。現在の光学系では、常に2~3%の ϵ_4 誤差が発生する。さらに、急発進・急停止時や路面の凹凸による誤差は+15~-29%に達する。この誤差は、取付け高さ H を高くしたり、装着位置を車両重心の近くにすることで低減できる。また、 H の異なる2つの光学系を用いて、本質的に高さ変動を相殺する方式も提案されている¹⁷⁾。

図-13 2重平行四辺形レティクル ($N=4, n=6$)Fig. 13 Double parallelogram reticle. ($N=4, n=6$)

6. 3 低域サイドローブによる誤差

3値有極性柵状レティクルの伝達関数は、主通過帯域以外にサイドローブ成分と5次以上の奇数次高調波を含んでいる⁹⁾。一方、路面のウィーナスpekトル密度は、低域ほど高くなっている。このため、センサの出力周波数pekトルは、レティクル伝達関数に比べ、低域サイドローブが強調される。この成分は、信号処理回路のバンドパスフィルタとクランプ回路の働きによって、ある程度抑圧されている。しかし、高速になるにつれて、低域成分が電気フィルタの帯域内に入ってくるため、これによるミスカウント誤差 ϵ_5 が発生する。

また、図-12(a)、(b)のように、路面の放射輝き分布が急変する所では、ウィーナスpekトル密度の低域側が特に強調され、 ϵ_5 誤差も増大する。この誤差は、通常瞬時的に発生するものであり、平均値誤差に与える影響は少ない。しかし、凍結路面など、放射輝き分布が連続して急変する所では、約-15%の測定誤差が発生する。

ϵ_5 誤差に対しては、レティクルの形状を工夫し

て、その伝達関数で低域サイドローブを抑圧する方法が、いくつか提案されている¹⁸⁾。その1つに、図-13に示すレティクルがある。このレティクルは、2重平行四辺形レティクルと呼び、これまで述べてきたレティクル（長方形レティクル）と、形状的に区別する。

さらに、このレティクルの実際の効果を確認するために、2重平行四辺形と長方形レティクルによる比較テストを実施した。2重平行四辺形は、従来の長方形レティクルにマスクを被せて実現した。2種類のレティクルを用いて、図-12(b)と同様の路面白線パターン上を走行した。このとき得られた代表的な出力信号を 図-14 に示す。2

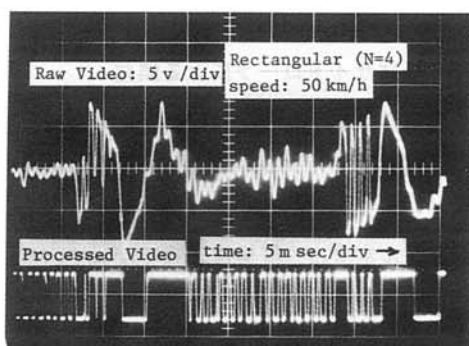
重平行四辺形レティクルでは、低域サイドローブが約15 dB抑圧され、ミスカウントも十分低減されていることがわかる。

6. 4 各誤差要因の評価

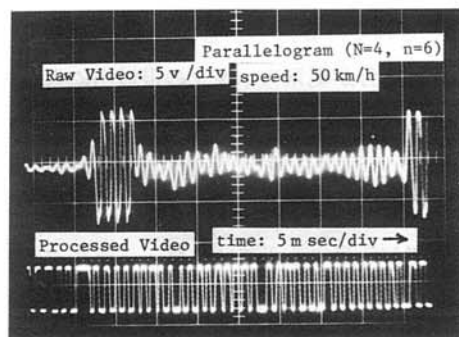
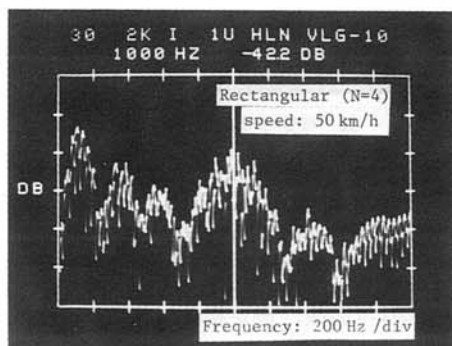
これまで、 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_5$ の5つの誤差要因について述べた。この内、 ε_1 、 ε_2 、 ε_4 は平均値回りの誤差として評価されるのに対し、 ε_3 、 ε_5 は主にバイアス誤差として評価される。各誤差要因が互いに独立であるとする、センサ出力に含まれる総合的な誤差 ε_t は、次式で表される。

$$\varepsilon_t = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2 + \varepsilon_5^2} \quad (8)$$

また、一般舗装道路で行なった実車テストの結



(A) 長方形レティクルの場合



(B) 2重平行四辺形レティクルの場合

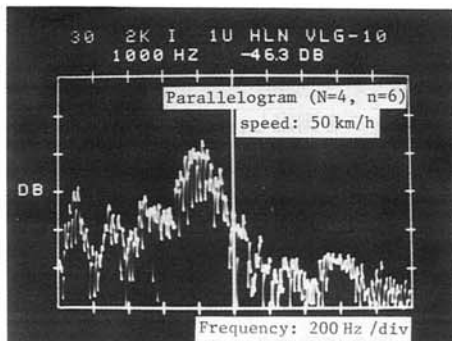


図-14 長方形と2重平行四辺形レティクルの出力比較
(いずれも路面白線パターン上を通過したとき)

Fig. 14 Output signal using a double parallelogram reticle compared with a rectangular one.
(Each one was obtained when driving across a white stripe on road.)

表-4 各誤差要因の評価

誤差要因	評価値(%)	備考
空間フィルタの有限帯域幅による誤差 ϵ_1	± 0.3 (計算値)	$N = 7$ $Tf = 175$
一定間値に対するカウント誤差 ϵ_2	± 1.3 (計算値)	$L = 3\sigma$ $SNR = 26 \text{ dB}$
泥はね・水しぶきによる誤差 ϵ_3	$-1 \sim +24$	タイヤスリップ含む
高さ変動による誤差 ϵ_4	± 3	平均値
	$-29 \sim +15$	最大値
低域サイドローブによる誤差 ϵ_5	-3	50 km/h 一般舗装 タイヤスリップ
	-5	100 km/h 装道路
	$-22 \sim -8$	凍結路面 含む

果(図-8)は、高速になるにつれてマイナス側相対誤差が増加する傾向を示している。これは、今まで述べてきた誤差以外に、車軸回転を基準としているために生じるタイヤスリップの影響が含まれるためである。

以上のことを踏まえ、各誤差を分離し、その程度を評価した。まず、(5)、(6)式より、空間フィルタの特有誤差 ϵ_1 、 ϵ_2 を求める。 ϵ_4 は、6.2節で述べたピッチング測定の結果より判断する。さらに、上記で求めた ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_4 と特殊路面での実験データを(8)式に代入し、 ϵ_3 、 ϵ_5 をそれぞれ推定する。以上をまとめ、表-4に示した。この結果、一般の道路では、高さ変動による誤差 ϵ_4 および低域サイドローブによる誤差 ϵ_5 が支配的な誤差要因であることがわかる。また、特殊な場合として、泥はね・水しぶきがあるときは、これが誤差を支配する。

7. む す び

空間フィルタを用いた対地速度センサを試作し、一般舗装道路では、10~100 km/hの速度範囲に対し、速度誤差5%以下を得た。また、凍結・融雪・湿潤などの路面では若干精度が悪くなるものの、アンチスキッド用センサとしては、実用精度に達していることを述べた。さらに、自動車向汎用センサとして使用する場合に発生する5つの

誤差要因の評価を行い、その対策を明らかにした。以下に、これを取りまとめて示す。

- 1) レティクルペア数 N は、 ϵ_1 の許す限りできるだけ小さくする。 (ϵ_1, ϵ_2) 対策
- 2) レンズは、できる限り短焦点を用いる。 (ϵ_2) 対策
- 3) センサの装着位置は、泥はね・水しぶきの影響の少ない所を選び、さらにこれらに対するガードを十分に行う。 (ϵ_3) 対策
- 4) センサは、許される範囲で、できるだけ高い位置に装着する。また、車両重心付近を選ぶ。 (ϵ_4) 対策その1)
- 5) 前項で十分な精度が得られない場合は、2光学系方式を用いる。 (ϵ_4) 対策その2)
- 6) 2重平行四辺形レティクルを用い、低域サイドローブを抑える。 (ϵ_5) 対策

以上の対策を実施すれば、空間フィルタ特有の誤差 ϵ_1 、 ϵ_2 により決定される精度0.5~1.5%を達成できる見通しである。

現在、商品化にあたって残されている問題の1つにコストが上げられる。これを制限するものは、空間フィルタに用いている、Siホトダイオードの大きさである。現在の大きさでは、歩留りが悪く、まだまだ高価である。要求される精度とコストをにらみながら、レティクルの小型化を行い、システム検討を重ねる必要がある。

最後に、空間フィルタの応用範囲を示す。空間フィルタ方式は、レティクルの形状およびその配置を工夫することにより、速度だけでなく、ベクトル量や距離計測が可能である^{17) 19) 20)}。現在のところ、速度計以外の商品化は少ないが、様々な応用が提案されている。例えば、潮流計測²¹⁾やボールの球速計²²⁾、交通流計²³⁾などである。これからは、自動車だけでなくとどまらず、このように多様なニーズの発掘にも努めたい考えである。

おわりに、本装置の試作にあたり、ご指導を頂

きました、京都工芸繊維大学 堤捨男教授、滋賀大学 板倉安正教授並びに、立命館大学 津田川勝助手に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高羽・竹鼻：自動車の安全走行へのミリ波レーダの応用、信学会、SANE82-36、P13 (1982)。
- 2) 田幸ほか編：光学的測定ハンドブック、朝倉初版、東京、pp642-50 (1981)。
- 3) 小野ほか：“非接触の速度計”、自動車技術、Vol. 28、No. 12、pp990-95 (1974)。
- 4) 堤：“空間フィルタとその応用”、応用物理、第43巻、第8号、pp824-30 (1974)。
- 5) A. Zomotor：“Ein Korrelationsoptisches Verfahren zur direkten Messung von instationären Schwimmd Schräglauwwinkeln an Kraftfahrzeugen”、ATZ、77、pp213-17 (1975)。
- 6) 計測技研(株)製品カタログ：非接触デジタル速度計、CAT. No. 76101 (1976)。
- 7) 小野測器(株)製品カタログ：非接触速度計、CAT. No. 414-01 (1982)。
- 8) 日置編：光学用語事典、オーム社、初版、東京、P60、P219 (1981)。
- 9) 堤：空間フィルタの応用、信学会関支、赤外線入門講座、pp84-93 (1976)。
- 10) 坂本ほか：空間フィルタを用いた車両の対地速度センサ、信学会、SANE77-25、P42 (1977)。
- 11) 久保田ほか編：光学技術ハンドブック、朝倉、増補初版、東京、pp315-21 (1975)。
- 12) 佐藤ほか：“路面凍結検知装置”、National Tech. Rep.、Vol 24、No. 3、pp529-31 (1978)。
- 13) 板倉ほか：空間フィルタを用いた車両用スリップセンサ、第16回SICE学術講演会、No. 3712、P651 (1977)。
- 14) 宮脇：雑音解析、朝倉、初版、東京、pp66-70 (1961)。
- 15) 藤村ほか：改良形光学式対地速度センサの試作、光応用・視覚研究会(電気学会)、LAV81-35、P22 (1981)。
- 16) M. Kiyoto、etal：Skid Control System with Doppler Radar Speed Sensor, 16th International Congress of FISITA、pp6.65-70 (1976)。
- 17) 堤：“空間フィルタを用いた受動式距離・速度センサ”、日本機械学会誌、Vol. 82、No. 731、pp1143-48 (1979)。
- 18) 津田川ほか：高性能速度計測用空間フィルタ、光応用・視覚研究会、LAV81-34、pp11-20 (1981)。
- 19) 竹村ほか：車両走行軌跡センサー、信学会、SANE78-27、pp11-19 (1978)。
- 20) 中山ほか：“非接触2次元速度ベクトル計測用光学的空間フィルタ検出器”、計測自動制御学会論文集、第18巻、第6号、pp69-76 (1982)。
- 21) 津田ほか：“リモートセンシングによる潮流測定装置”、FUJITSU、Vol. 27、No. 6、pp144-51 (1976)。
- 22) 関ほか：ボールの球速およびストライクゾーンの判定器、光応用・視覚研究会、LAV81-37、pp41-50 (1981)。
- 23) 加藤：交通分野への応用(光応用の計測とセンサセミナーテキストより)、日本自動制御協会、pp84-91 (1983)。