

オートマチック ワイパコントローラ — 光学式レインセンサの利用 —

Automatic Wiper Controller Using Optical Rain Sensor

梶 岡 英 樹⁽¹⁾ 藤 村 契 二⁽²⁾ 藤 田 泰 裕⁽³⁾
Hideki Kajioka Keiji Fujimura Yasuhiro Fujita

要 旨

光学式レインセンサで雨滴を検出し、ワイパ作動間隔を自動的に制御するオートマチックワイパを開発し、製品化した。

このオートマチックワイパは、既存のワイパシステムにセンサとコントローラを付加して構成する。まずセンサで、受発光素子間の検知ビームを雨滴が遮へいた時の受光量変化により雨滴を検出する。汚れ等により受光量が減少しても雨滴検知感度が低下しないようにパワーコントロール回路を採用した。さらに雪等付着により検知ビームが遮へいされ、雨滴検出不能時も、フェイルセーフ機能によりワイパ作動を保証した。

一方、コントローラでは4ビットマイコンを使用してセンサからの信号を処理し、ユーザフィーリングに合った制御を行う。降雨シミュレータと実車走行により評価を行った結果、車速・雨量の変化に対応して良好に作動することが確認でき、利便性・快適性等当初の狙いを満足するシステムが完成した。

An automatic wiper which detects raindrops with an optical rain sensor and controls the wiper interval was developed and marketed.

This automatic wiper is implemented by combining an existing wiper system with a sensor and controller. When raindrops shut off the sensing beam between the light emitting and light sensitive elements, the sensor detects a change in light intensity incident to the light sensitive element. This is how raindrops are detected. A power control circuit is incorporated so that the sensitivity of the sensor will not deteriorate when the intensity of incident light is lowered due to contamination. In addition, a failsafe feature is provided to assure wiper operation when raindrops cannot be detected because the sensing beam is shut off by snow or other matter stuck to the sensor.

The controller is a four-bit microprocessor which processes signals from the sensor and controls the wipers to a driver's liking.

The automatic wiper was tested using a rainfall simulator and in a field test. The results have shown that the automatic wiper can respond appropriately to varying driving speeds and rainfall intensities.

An automatic wiper system which achieves the design goals for convenience and comfort has been developed.

(1)~(3) モータロニクス本部技術部

1. ま え が き

ワイパシステムは、降雨・雪等により前方視界が妨げられるのを防止する働きにより、自動車にとってなくてはならないものである。図-1にワイパの歴史を示す。ワイパの歴史自体は古いが、電動式ワイパの製品化後、目に見える進歩はなかった。近年、小雨や雨あがり時に便利な間欠ワイパが採用され始め、ドライバが任意に間欠時間を選定できる無段間欠式ワイパ、車速で間欠時間を自動補正する車速感応型ワイパ等が普及してきた。また、最近になり雨の日の運転を少しでも快適にするため、降雨量や走行速度の変化に対応できる降雨量検知センサ（以下レインセンサと呼ぶ）を利用したワイパシステムが登場し始めた。車の高級化・高性能化の流れの中で、ワイパにもエレクトロニクスを用いた自動化による「快適性」が強く求められ始めたためである。

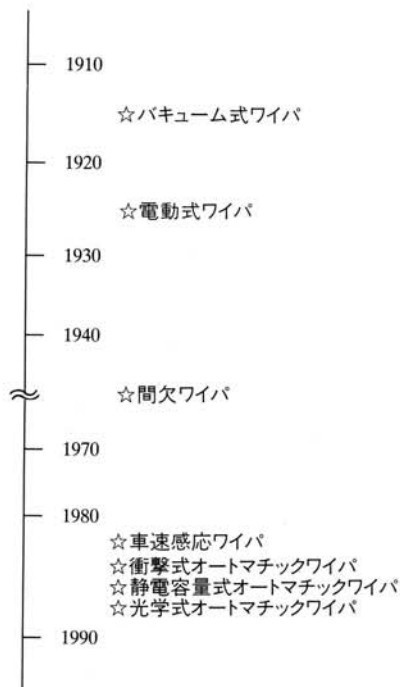


図-1 ワイパシステム製品化の歴史

Fig. 1 History of windshield wipers.

雨滴を検出するための研究・開発は、古くから行なわれているが1970年頃から盛んになっている。検知方式として、①衝突エネルギーの変化、②静電容量の変化③導電率の変化④光の光量変化などがある。その内①、②の方式は車載用として製品化され、市場も拡大しつつある。

今回、より高性能化が期待できる光の光量変化を利用したセンサで降雨量を検知して、ワイパの作動間隔を自動的に制御する光学式オートマチックワイパを開発し、製品化したので、その概要を述べる。

2. システム概要

2.1 開発のねらい

オートマチックワイパの開発にあたり、以下の項目を主なねらいとした。

- 1) 利便性……降雨量や車速の変化、トンネル出入等走行条件の変化時における煩わしいワイパ操作を解消し、ドライバの負担を低減する。
- 2) 快適性……降雨量の変化や走行条件の変化に対応して、最適なタイミングでワイパを駆動し、つねにドライバの視界を良好に保ち、安全性を確保する。
- 3) 取付性……システムの構成が簡単で、既存のワイパシステムに容易に後付けできる。

2.2 システムの構成

図-2にシステム構成図を示す。オートマチックワイパシステムは、既存のワイパスイッチ、ワイパモータにボンネット上に取り付けた光学式レインセンサと、レインセンサの信号を処理してワイパを最適なタイミングで制御するコントローラを付加し、構成した。既存システムに付加する方式は、従来の操作性と異和感なくオートマチックワイパを実現でき、また安価なシステムを提供できる。以下にセンサとコントローラの機能概要を説明する。

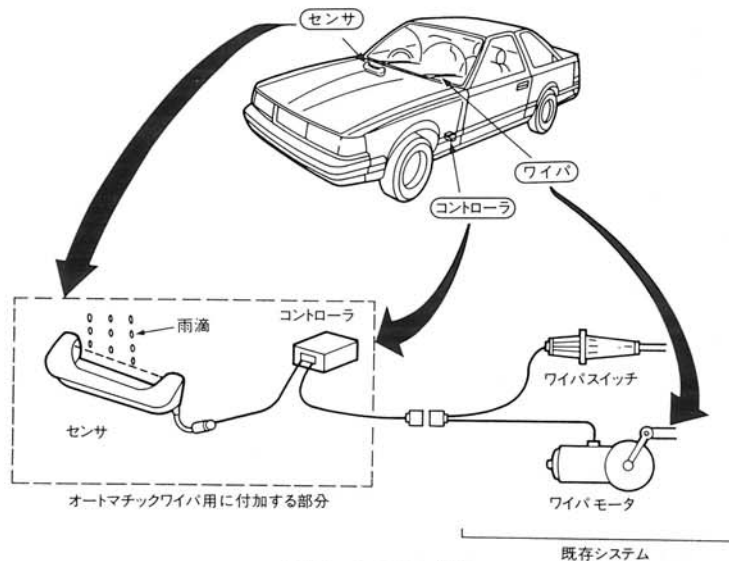


図-2 システム構成

Fig. 2 System configuration.

1) レインセンサ

発光・受光素子間で形成される近赤外光検知ビームを雨滴が通過するときに生じる受光量変化により雨滴を検出する。(雨滴検知機能)

2) コントローラ

コントローラは以下の3つの機能をもつ。

①オート機能(セミオート式)

ワイパスイッチを間欠位置に設定すると、1度ワイパ作動し、降雨量に応じて、ワイパ作動間隔を

Lo連続作動から24秒間欠の範囲で自動切替する。

また、ワイパスイッチをLoおよびHi位置に設定したときのワイパ作動は従来と同じである。図-3にオートマチックワイパの概略作動説明図を示す。

②ウォッシャ連動機能

ウォッシャスイッチONでワイパ作動し、OFF後2回拭いて停止する。

③フェイルセーフ機能

センサへのゴミや雪の付着により検知ビームが

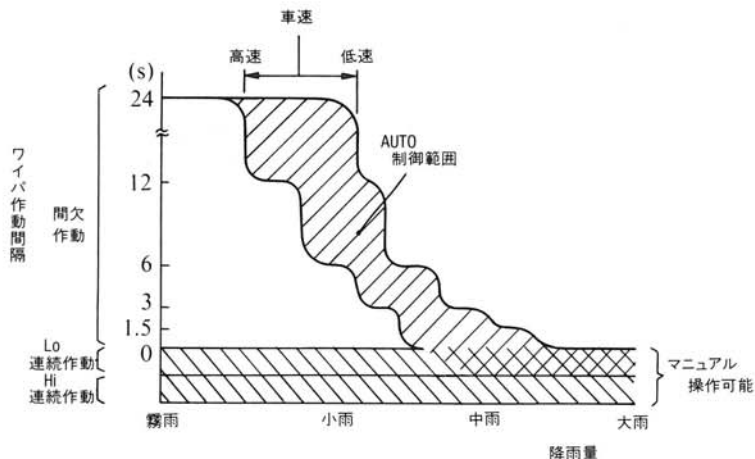


図-3 オートマチックワイパの概略作動説明図

Fig. 3 Operation of automatic wiper.

完全に遮へいされ、雨滴検知機能が停止した場合にも従来の間欠時間固定式ワイパと同等の6秒間欠作動を確保する。

3. セ ン サ

3.1 雨滴検知原理

雨の日に車を運転していると、ウインドシールドに付着した雨滴が街灯や対向車のヘッドライトの光を受けて、車室内に水玉の影を映し出すことがある。このように雨滴は一見、透明体であるが、光の波長より十分大きな球体となった場合は、光の回折現象により不透明体とみなせる。すなわち、ある光束の中に水滴を置くと、不透明体と同様光が遮へいされて影をつくる。この現象をマスキング効果と呼ぶ。

今回開発したレインセンサも雨滴によって起こるこのマスキング効果を利用している。

すなわち図-4に示すように、発光素子（近赤外発光ダイオード以下LEDと呼ぶ）から放射されたビームを有限距離隔てて受光素子（シリコンホ

トダイオード以下フォトダイオードと呼ぶ）で受光する。この検知ビーム中に雨滴が通過すると、ビームの一部が遮られて雨滴の大きさと個数に応じて受光量に変化が生じる。この受光量変化の度合いと頻度を検出すれば降雨の程度がわかる。

3.2 基本設計

3.2.1 検出雨滴径の検討

降雨量とワイパ作動間隔および雨滴径の関係を図-5に示す。間欠作動からLo連続作動までのワイパ作動間隔の制御を目的とした場合、対象降雨範囲は霧雨から降雨量1.5mm/h程度の小雨までとなる。よって、検出すべき雨滴径の範囲は、直径0.3mmから2.3mmとなる。

3.2.2 検知ビーム径の検討

検知ビームの伝搬方向断面積 S_p に対して、半径 a の雨滴によって検知ビームの一部が遮へいされると、そのときの受光量変化率 ΔP は、両者の断面積に比例し次式で表される。

$$\Delta P = \pi a^2 / S_p \dots\dots\dots (1)$$

(1)式より求めた 検知ビーム径と 受光量 変化率

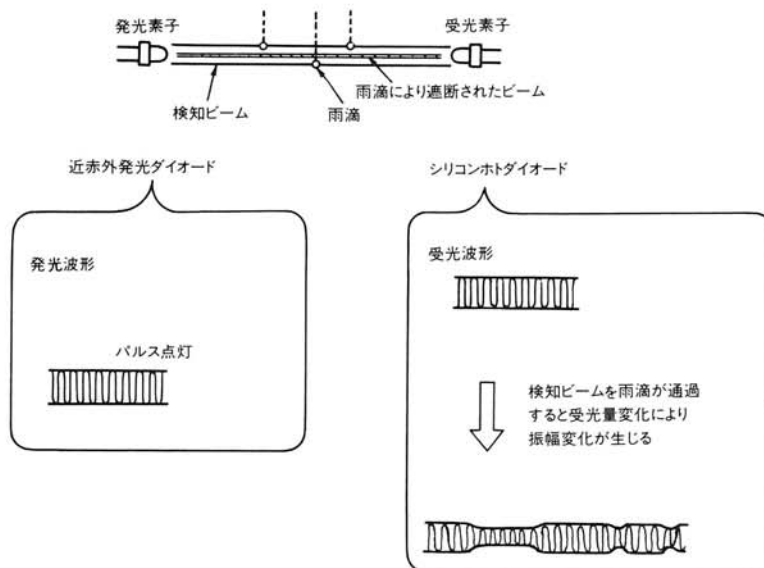


図-4 雨滴検知原理

Fig. 4 Principle of raindrop detection.

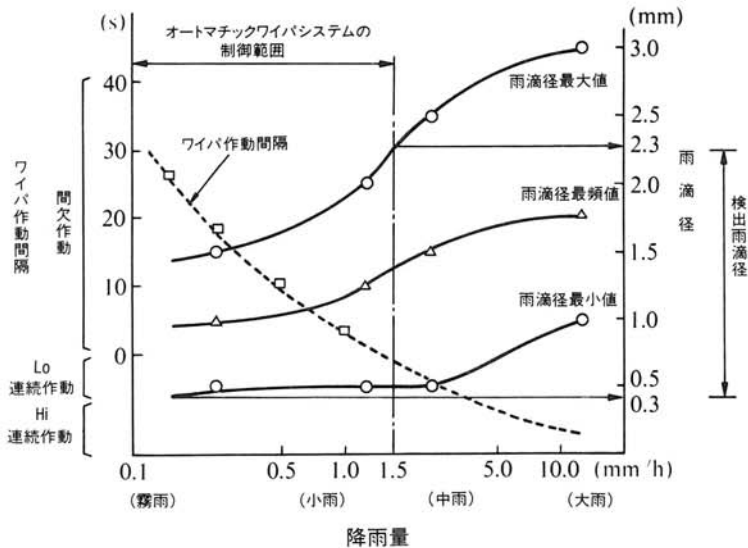


図-5 降雨量とワイパ作動間隔、および雨滴径の関係

Fig. 5 Relationship between rainfall, wiper operation, and raindrop size.

ΔP の関係を 図-6 に示す。受光量変化率は 検知ビーム径に反比例するため、検知ビーム径が小ほど小さい雨滴を検出しやすくなる。しかし単に降雨の強弱のみを検出するのでなく、降雨強度を定量的に検出しなければ理想的なワイバ制御は実現で

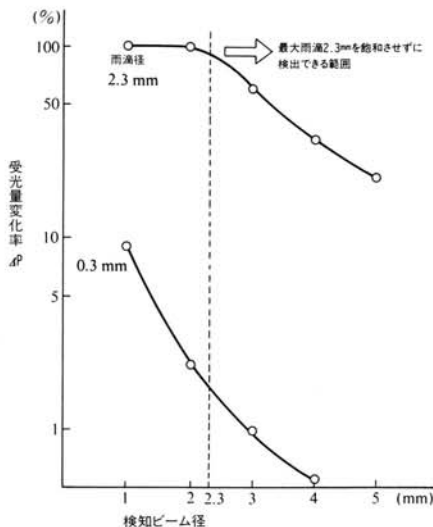


図-6 検知ビーム径と受光量変化率の関係

Fig. 6 Relationship between sensing beam diameter and received light intensity change rate.

きない。したがって前節でのべたとおり検出すべき直径0.3mm~2.3mmまでの雨滴を飽和させずに検出する必要がある。すなわち検知ビーム径は検出すべき最大雨滴径による飽和限界によって下限値が制限される。よって 検知ビームは、 $\phi 2.3$ mm以上となる。ここで構造面での簡素化、コストダウンを狙って、レンズ等の光学部品を使用せず、受発光素子自体の形状で検知ビームを形成することを考え、検知ビーム径を $\phi 3$ mmとした。

3.3 回路構成

図-7にレインセンサの回路ブロックダイアグラムを示す。発光素子をパルス点灯させる発光部、受光素子に生じた受光量変化を検出する受光部、検出した受光量変化を雨滴信号に変換する雨滴パルス処理部、受光量を常に安定化させるパワーコントロール部の4つのブロックに大別できる。以下、各ブロックの概要を説明する。

3.3.1 発光部

発光素子は、比較的指向性の強いLEDを使用している。このLEDをLED駆動回路によりパルス点灯して、太陽光等の外乱光との識別を容易

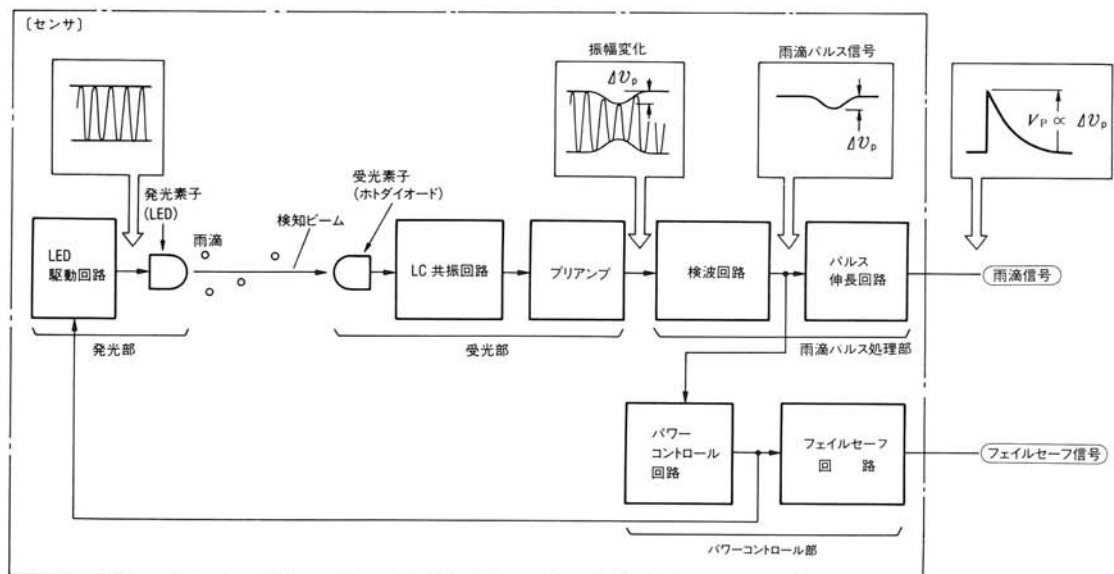


図-7 センサ回路ブロック図

Fig. 7 Sensor circuit block diagram.

にしている。

3.3.2 受光部

発光素子からのパルス点灯光を受光素子で受光し、電気信号に変換する。受光素子には応答性の高いPINタイプのフォトダイオードを使用している。

発光パルスの基本周波数成分のみをLC共振回路で検出し、プリアンプで増幅する。検知ビームを雨滴が通過するときに生じる受光量変化は、プリアンプ出力の振幅変化として検出できる。このプリアンプ出力の振幅変化 ΔV_p は、(1)式で示した受光量変化 ΔP に比例し、次式で表される。

$$\Delta V_p = K_1 \cdot \Delta P \quad \dots\dots\dots (2)$$

K_1 : 定数

3.3.3 雨滴パルス処理部

検波回路より受光部のプリアンプ出力振幅変化 ΔV_p のみを抽出し、雨滴パルス信号とする。この雨滴パルス信号は車速に対応してパルス幅が変化し、車速100km/h時には数kHzのパルス信号となる。ここで車両のパルス性ノイズと雨滴パルス

信号を識別するため、雨滴径に対応した雨滴パルス信号の振幅値 ΔV_p 情報だけを保持し、雨滴パルス信号を低周波信号に変換するパルス伸長回路を採用した。パルス伸長回路は増幅とピーク検波を同時に行ない、それにより雨滴パルス信号を次式で表される振幅値 V_p をもつ数Hzの雨滴信号に変換する。

$$V_p = K_2 \cdot \Delta V_p \quad \dots\dots\dots (3)$$

K_2 : 定数

3.3.4 パワーコントロール部

受発光素子前面の外筐ケース部（以下受発光窓部と呼ぶ）への汚れ付着や発光パワーの変動またセンサ組立時の受発光素子の光軸ズレ等により定常的に受光量が変動すると、雨滴検出感度がばらつく。この感度ばらつきの防止と組立時の光軸合せ無調整化を図る目的で、雨滴パルス処理部の検波回路出力を常に監視し、LED駆動電流をフィードバック制御するパワーコントロール回路を採用した。パワーコントロール回路制御範囲は受光量変動の度合により決定されるので、まずその要

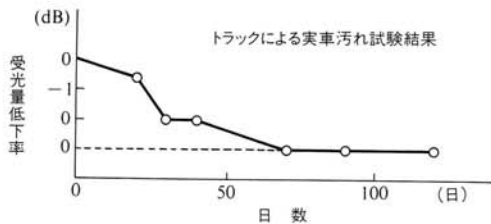


図-8 トラックによる実車汚れ試験結果

Fig. 8 Contamination of a sensor installed on a semitrailer.

因について述べる。

1) 受発光窓部への汚れ付着

長距離輸送用トラックにセンサを装着し、実車における泥や排気ガス等の汚れの影響を調査した。図-8に結果を示す。70日程度で受光量は、約3 dB低下し、その後はほぼ一定値に達した。

2) LED放射強度

放射強度は、ある一つの決った方向に伝搬する単位立体角当りの放射パワーで定義される。放射強度のばらつきは、光出力（発光効率）と放射方向（チップ取付位置）のばらつきに起因し、実測によると、約 $+3$ dBあることがわかった。

3) LED放射強度の温度による影響

センサは、車室外に取付けられ、約 $-30^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{C}$ の広い温度環境で動作する必要がある。一般にホ

トダイオードの放射感度に比べて、LED放射強度の方が温度の影響を受けやすい。メーカーデータによるとLEDの放射強度は、負の温度係数を持ち、常温に対して ± 6 dB変動する。

4) センサ組立時の受発光素子の光軸ズレによる影響

ホトダイオードに比べてLEDの方が指向性が小さいため光軸ズレの影響を受けやすい。そこで、受発光素子の保持精度を向上させ、受光量の低下を約1 dB以内とした。

以上1)~4)の要因を、図-9にまとめて示す。すなわち、感度ばらつきを防止するためにはLED駆動電流を約 $+9$ dB補正することが必要である。感度ばらつき防止と組立時の光軸合せ無調整化のために採用したパワーコントロール回路の特性を図-10に示す。汚れ等により、受発光窓部の赤外光透過率が約60%低下しても雨滴検知感度の低下は10%以内に抑えられ安定した感度が得られる。

また、雪等がセンサの受発光窓部へ付着した場合のように、検知ビームが完全に遮へいされたままになると、雨滴検出ができなくなる。このような場合、パワーコントロール出力をフェイルセー

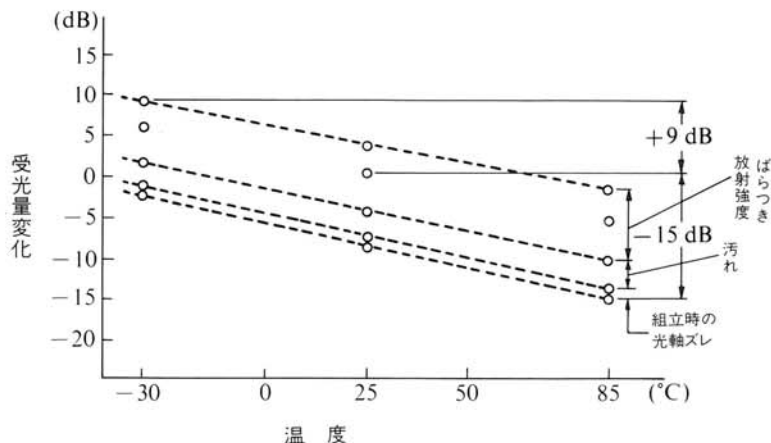


図-9 受光量変化の度合い

Fig. 9 Dependence of received light intensity on temperature.

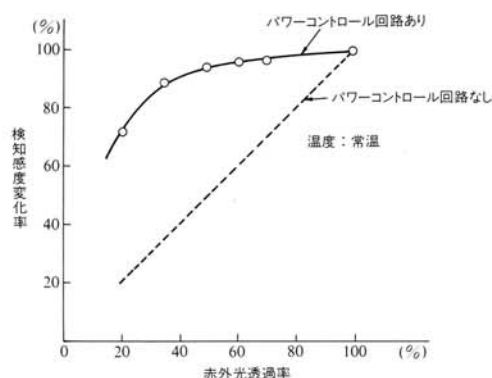


図-10 赤外光透過率と検知感度変化率の関係

Fig. 10 Relationship between infrared transmissivity and sensitivity change rate.

フ回路制御信号として利用しコントローラにより従来の間欠時間固定式ワイパと同等の6秒間欠作動制御を確保することでワイパの不作動を解決した。

3. 4 構 造

図-11にセンサの構造図を示す。センサの構造については、外筐ケースの透光性、また耐環境性、耐振動、防水等の性能が要求される。以下主な検討内容を述べる。

1) 外筐ケース……受発光窓部は、透光性が必要なこと、またデザイン等の設計自由度が大きくと

れることから外筐ケース全体を樹脂材料で構成した。樹脂材料選定に当たって、保存温度(−40℃～100℃)、湿度(85℃, 85%RH)、耐薬品(ワックス、オイル)等の耐環境性を評価し、ポリカーボネイト樹脂を選定した。またポリカーボネイト樹脂に洗料系着色剤を加えて可視光カットフィルタの効果も持たせた。

2) 受発光素子保持構造……車の振動により受発光素子の光軸が変化すると、センサの誤動作を招くため、受発光素子保持構造の耐振動も考慮した。

3) 電気回路保護……センサ内部の電気回路は、全てチップ部品で構成し、防水のため、シリコン樹脂封止した。また車両の各種電磁ノイズから守るため、回路全体を鉄製のシールドケースに収納している。

3. 取 付 位 置

実車走行により、センサの取付位置の検討を行った。取付位置として、フロントラジエタグリル部、ボンネット上、ドアミラー部等を選定し、実車によるフィーリング差および取付性を評価した。その結果、対向車のはね上げ、高架下走

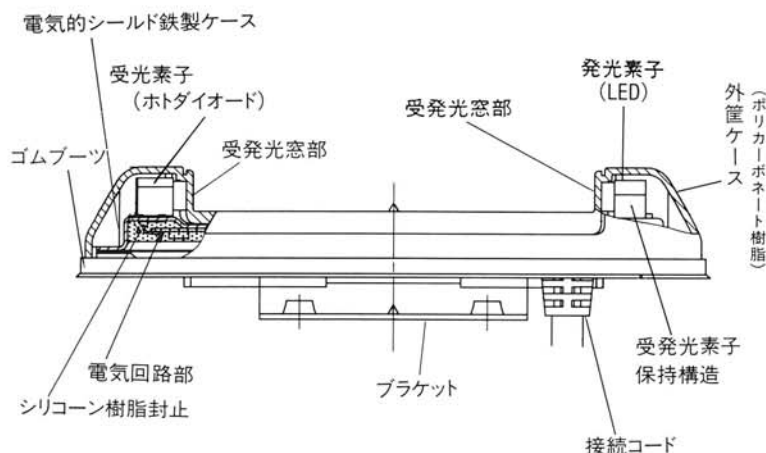


図-11 センサ構造図

Fig. 11 Sensor structure

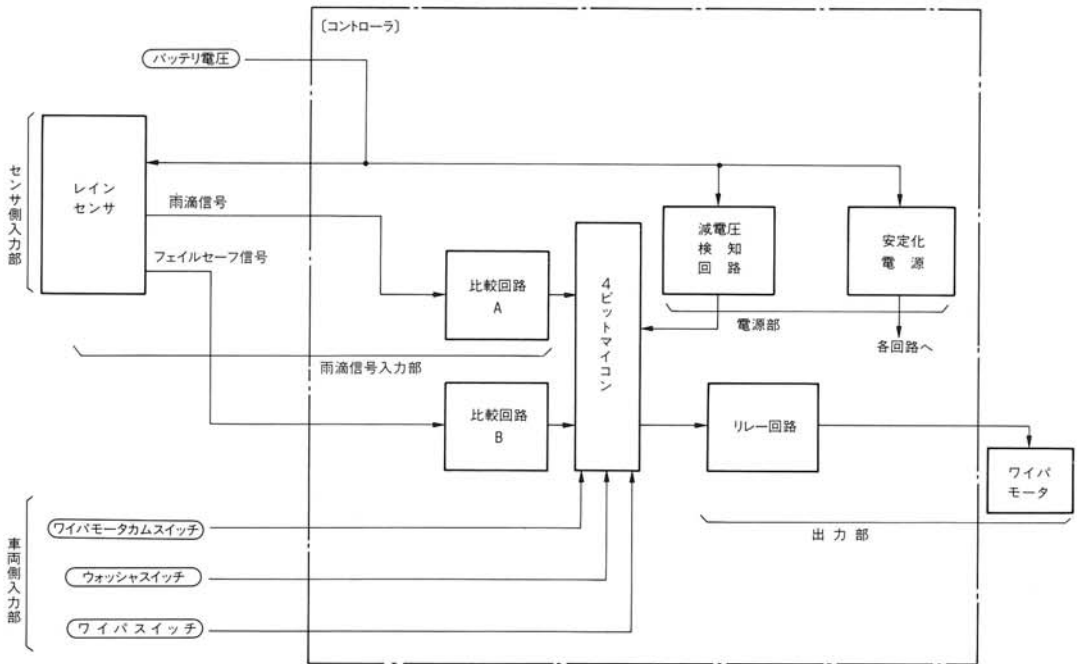


図-12 コントローラ回路ブロック図
Fig. 12 Controller circuit block diagram.

行時の水滴の落下等通常の降雨以外の局所的な被水に対しても、良好にワイパ作動させるためには、フロントガラスとセンサの距離は小さいほうが望ましいことがわかった。また取付の容易さを確保するためセンサ取付位置はフロントガラス側ボンネット端とした。

4. コントローラ

4.1 回路構成

図-12にコントローラの回路ブロックダイアグラムを示す。コントローラは、センサからの雨滴信号を4ビットマイコンにより処理し、ユーザフィードバックに合ったワイパ制御を可能にする。

出力部は、ワイパモータを駆動するリレーで構成している。入力部は、センサ側と車両側に分れる。センサ側からは、雨滴信号とフェイルセーフ信号が入力される。車両側からは、ワイパモータカムスイッチ、ウォッシャスイッチ、ワイパスイ

ッチの信号を入力として利用している。また電源部には、減電圧検知回路を設け、誤動作の低減を図っている。以下主要回路ブロックについて、その構成と機能を説明する。

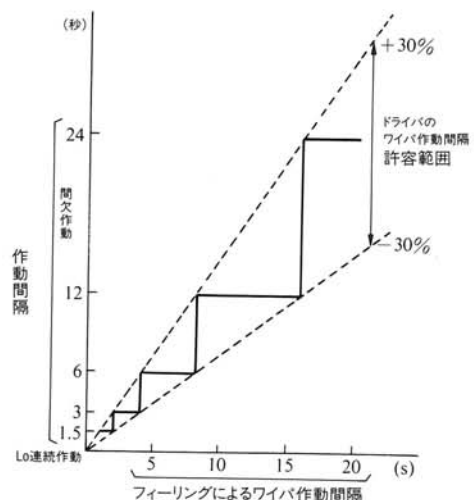


図-13 ステップ型ワイパ制御
Fig. 13 Stepwise wiper control.

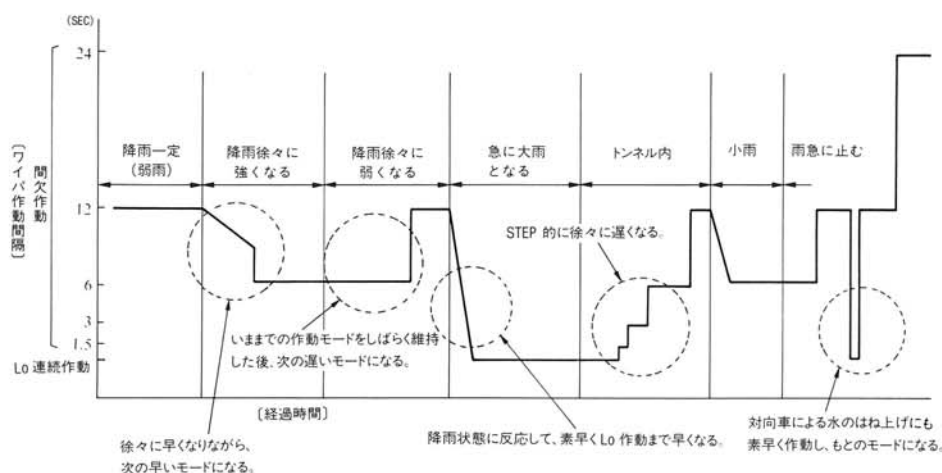


図-14 ワイパ作動間隔変化模式図

Fig. 14 Changes in wiper interval.

4. 1. 1 雨滴信号入力部

センサからの雨滴信号を比較回路Aに入力し、雨滴信号の振幅値 V_p をパルス幅の情報に変換する。このパルス幅の情報をマイコンのソフトカウンタで読み込み、降雨の度合いを判定する。

4. 1. 2 出力部

マイコン出力により、リレー回路を制御し、リレーを ON/OFF させてワイパモータを駆動する。なお、マイコン内にメモリされている雨滴径と個数に対応したパルス幅の情報は、ワイパモータ駆動ごとに初期化する。

4. 1. 3 電源部

電源部内の減電圧検知回路でバッテリー電圧の過渡的な低下を検知し、雨滴信号の読み込みをキャンセルしてシステムの誤動作を防止する。

4. 2 処理概要

ドライバの理想的なワイパ作動フィーリングを実車により調査した。一定降雨量に対してワイパ作動間隔が、大きく変動したり、ひんばんに変わるとドライバは不快感を感じる。しかし、 $\pm 30\%$ 以内の変動では、特に異和感はないという結果を得た。したがって、図-13に示すようにドライバが理想とするワイパ作動間隔に対してつねに $\pm 30\%$

%以内の変動で制御するステップ型制御を採用した。つまり、降雨量が少なくなりワイパ作動間隔が長くなる場合は、一定の作動間隔を維持したあと、次の作動間隔へステップ的に徐々に変化させる方式である。

しかし、トンネルから出たときに降雨量が急激に増加したときなどは、ドライバの前方視界を素早く確保する必要がある。このような場合には、ステップ動作を解除し、素早く作動する。図-14に各種状況におけるワイパ作動間隔の変化を模式的に表わす。



図-15 製作した降雨シミュレータ

Fig. 15 Rainfall simulator.

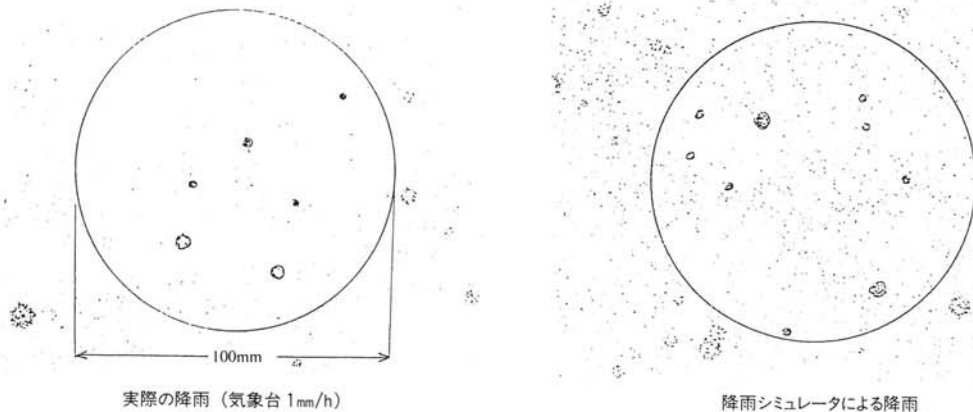


図-16 ワットマンろ紙による雨滴径分布（降雨量1mm/h）の比較

Fig. 16 Comparison of raindrop (rainfall in 1 mm/h) diameter distributions on whatman paper.

5. 降雨シミュレータによる評価

実車を用いて、システムを官能評価する上で、天候に左右されずいつでも、かつ、一定条件で評価できるように、図-15に示すような降雨シミュレータ装置を製作した。本装置は、水量と空気圧の調整により、霧雨から中雨までの降雨状況を再現できる。

降雨量は、メチレンブルー粉末を付着させたワットマンろ紙により測定した。このろ紙上に雨滴が落下すると青く変色し、その大きさから雨滴径を推定できる。したがって、単位時間当りにろ紙に付着した雨滴の径と個数により降雨量を求めることができる。実際の降雨とシミュレータによる降雨の比較例を図-16に示す。実際の降雨と同等な雨滴径分布となっていることがわかる。

このシミュレータを用いてシステムを評価した結果を図-17に示す。降雨量に応じてワイパ作動間隔が良好に制御されている様子がよくわかる。

6. 実車評価

降雨シミュレータを用いた評価では、車速によって変化するフロントガラスに付着する雨滴量に対するフィーリング評価はできない。そこで、降

雨時の実車走行試験を並用することで、より確実な評価が可能となる。

実使用状態でのワイパ作動フィーリングの官能評価を行なった。評価条件として、①低速から高速、停止から発進等の走行速度の変化時、②降雨量が急激に変化するトンネル等の出入り時、③前走車の霧状のはね上げ水がかかる時を選定した。そして各種条件におけるワイパ作動タイミングとドライバが理想とするフィーリングとを比較し、ドライバの満足度を5段階評価した。

結果を図-18に示す。点線は目標値を示し、実

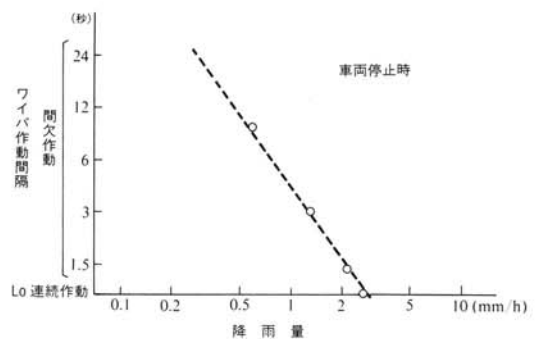


図-17 降雨シミュレータによる実験結果（降雨量とワイパ作動間隔の関係）

Fig. 17 Results of experiment with rainfall simulator (relationship between rainfall and wiper interval).

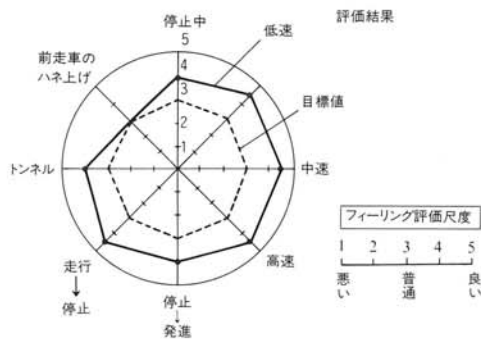


図-18 実車による官能評価結果

Fig. 18 Results of sensory evaluation during field testing.

線はドライバの満足度の平均値を示す。ここで、目標値はドライバの個人差、ばらつきを考慮して設定したものであり、一般的ドライバの平均値と考えてよい。

どの条件に対しても目標値を達成することができ、ドライバにとって満足のできる性能を有していると判断できる。

7. あとがき

車へのエレクトロニクス導入による自動化の流れに沿って、現在の間欠ワイパシステムを更に発

展させた光学式オートマチックワイパを開発し、製品化できた。ワイパ操作の煩わしさ低減、ワイパ作動の最適化など当初のねらいを満足できるシステムが完成した。

今回開発したレインセンサは近年注目をあびている光を利用したものであり、過酷な条件下で使われる車載用として製品化できたことの意義は、大きい。この種の光波応用計測は高精度・高感度・非接触にその特徴があり、将来の車にとってますます有用なものとして発展すると考える。

また、本レインセンサは、突然の雨を検知して家の中の人に知らせることにより、ホームオートメーションの1つとして、車載以外にも利用できる。さらに、降雨の検知のみでなく、煙検知や高性能の光電スイッチ等への応用も考えられる。今後も、さらに各種応用を検討し、新しいテーマを開拓していきたい。

参考文献

- 1) Skolnik, M.I.: "Radar Handbook", McGraw Hill, USA (1970)