

特集 オートワイパ用レインセンサの開発*

Development of Rain Sensor for Automatic Wiper System

寺倉 修

Osamu TERAOKURA

南方 真人

Masato MINAKATA

倉橋 晃

Akira KURAHASHI

若林 伸二

Shinji WAKABAYASHI

徳永 政男

Masao TOKUNAGA

One of the key elements of vehicle safety requires a constantly uninterrupted visible view especially during unexpected weather conditions.

Our present development of a light reflection type rain sensor is a key device of our automatic windshield wiper system. The design concept of the sensor is based on the quantification on both detected rainfalls and wiping modes in order to match the wiping mode in an operator's mind by optimizing the optical sensing system and establishing an algorithm for controlling wiping. In addition, auto-initialization of the system has been achieved first in the world.

Key words : Rain sensor, Automatic wiper system, Light reflection type, Auto-initialization, Optimizing the optical sensing system

1. はじめに

近年、安全意識の高揚から、不意のスプラッシュや雨量の急変時に手動操作よりも速やかにワイパを動かす、常に安定した視界が確保できる安全性、更にはワイパスイッチの操作が不要となる利便性をも提供可能なオートワイパシステムのニーズが高まってきている。

今回開発した当システムのキーデバイスとなる光反射式レインセンサは、検出雨量と払拭モードの定量化に着目することで、最適光学系設計および最適払拭制御アルゴリズムを構築するとともに、世界で初めてオートイニシャライズ化を実現、ドライバの感性にあった払拭フィーリングを達成している。

特にイニシャライズは、オートON直後から雨量を高感度に検出するために必要であるが、従来、天候に関係なく（晴れでも）オートON時にワイパを1回払拭させることでイニシャライズを行っており、ドライバの感性に合わないとの市場からの声が多く改良が求められていた。

今回、学習を取り入れることで温度特性による出力変化と雨の区別を、検出感度を落とさずに達成し、オートイニシャライズ化を可能としたものである。

以下、当光反射方式レインセンサの概要について報告する。

2. オートワイパシステム

オートワイパシステムは、Fig. 1に示すようにフロ

ントウインドに搭載されたレインセンサと、ECU、ワイパスイッチ、ワイパモータから構成されている。ワイパスイッチをオートONの位置にするとレインセンサが雨の検知を開始、センサ内臓のマイコンが雨量に応じた制御信号をECUに送信し、ワイパが作動する。作動モードはOFF・ON(INT・Lo・Hi)のフルモードに対応しており、運転者はボリュームによる感度調整も可能である。

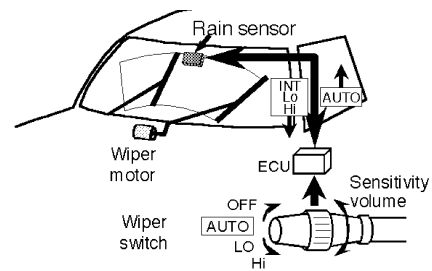


Fig. 1 System

3. レインセンサの構造と原理

レインセンサの構造をFig. 2に示す。赤外線発光素子LEDと受光素子PD、光路を形成するプリズム、およびマイコン搭載のコントローラから構成されており、ウィンドシールドに搭載されている。

LEDから出た赤外線はウィンドシールドの表面で反射しPDに入るが、ウィンドシールドの表面に雨滴があると、赤外線の一部が透過しPDへ入る赤外線の量が減る。雨が少ないとPDへ入る赤外線の量は多く、

* Translated and reprinted with permission from SAE paper 2001-01-0612 © 2001 SAE International

逆に雨が多いと少なくなり、それともないFig. 2のグラフに示すようにセンサ出力が変化する。このセンサ出力の変化量によりマイコンが雨の状態を判断する。

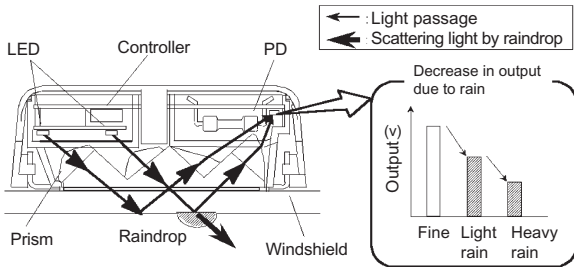


Fig. 2 Construction and principle of rain sensor

4. 開発課題

Table 1に従来オートワイパシステムのCSポートフォリオを示す

Table 1 Result of CS portfolio on conventional rain sensor model

Satisfied ↑ Degree of fulfillment ↓ Not satisfied	<p>Unchanged items</p> <ul style="list-style-type: none"> Heavy rain Exiting tunnel High speed driving 	<p>Satisfactory items</p> <ul style="list-style-type: none"> Normal rain
	<p>Items hopefully improved</p> <ul style="list-style-type: none"> Starting on green light After rain Waiting on red light Entering tunnel 	<p>Items to be improved</p> <ul style="list-style-type: none"> Light rain Change in raining condition Beginning of rain
	Small ← Operator's expectation → Large	

オートワイパへの期待度が高い雨の急変時や小雨時に満足度が低く感性に合っていないことが分かる。更に分析した結果、雨の急変に対しては雨量と払拭モードが合っていない、小雨にはセンサの検知性能不足が主な原因であると判断し、開発課題を設定した。具体的にはFig. 3に示すように、雨の急変に対しては雨量と払拭モードを定量化するとともに小雨に対しては必要最小検知雨量を設定し、最適光学設計、および感性に合ったアルゴリズムの構築を行うこととした。

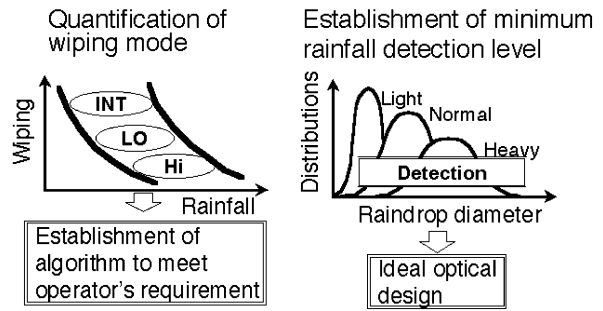


Fig. 3 Quantification of wiping mode

5. 払拭モードの定量化

5.1 定量化方法

払拭モードは、INT・Loなどの払拭間隔 W_p で表現できる。また、運転者が払拭間隔 W_p を選定するのは雨量そのものよりも、Fig. 4に示すように、ウィンドに付着して視界を妨げる雨滴付着率 Σ (S_n/S_o)に関係し、

$$W_p = f(\Sigma S_n/S_o) \quad (1)$$

と推測できる。

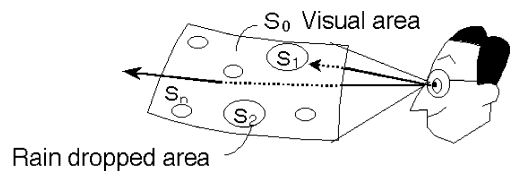


Fig. 4 Raindrop adhesion condition

(1)式を求めるため、実車調査をFig. 5に示すような方法で行なった。一般路で走行中の車を任意に抽出し払拭間隔と雨滴付着状態をビデオに撮影、画像処理を行い定量化した。

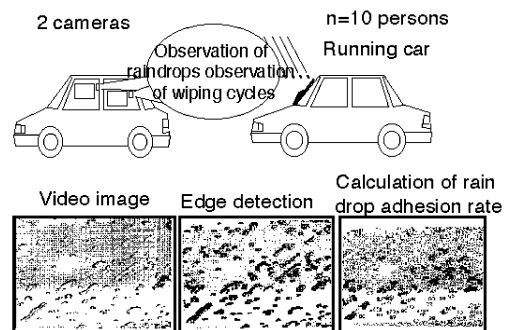


Fig. 5 Investigation in vehicle

5.2 定量化結果

実車調査の定量化結果をFig. 6に示す。払拭間隔 W_p と単位時間当たりの雨滴付着率 $d/dt (\sum S_n/S_o)$ をグラフ化したものであるが、各実車データはすべて2本の近似直線LCLとUCLの間に位置しており、これらの近似直線は次式で記述できる。

$$\text{Log}(W_p) = A-1 \cdot \log(d/dt(\sum S_n/S_o)) \quad (2)$$

(2)式は定数Kにより、

$$K \min \leq W_p d/dt (\sum S_n/S_o) \leq K \max \quad (3)$$

(3)式は、運転者がワイパを拭きたいと思う時の雨滴付着率は一定の範囲に入ること示しており、早めに拭く人はK minの雨滴付着率で、遅く拭く人でもK maxで拭いていることを示している。

すなわち、運転者は払拭モードに関係なく一定範囲内の雨滴付着率となるように払拭していることが明らかとなった。

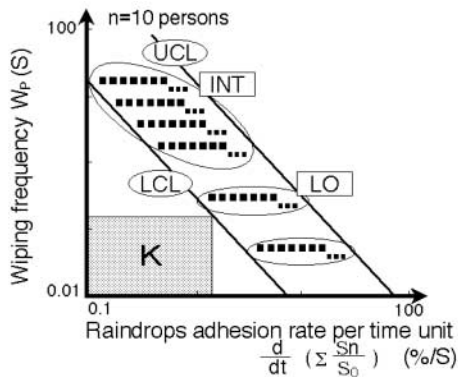


Fig. 6 Result of quantification

6. 最小検知雨量

前節から、検出すべき最小雨滴付着率はK minであることが分かるが、Fig. 7に示すように実際のセンサが雨滴を検知できる面積 S_f は、運転者の視界部分の面積 S_o に比べ極小である。その結果、雨滴付着率 $R(S_f) \ll R(S_o)$ となり、センサにはK minより小さな雨滴付着率を検知できる性能が求められる。実車調査結果をFig. 7のグラフに示す。センサ雨滴検知面積を小さくすると雨滴付着率 $R(S_f)/R(S_o)$ も小さくなり、より少ない雨滴付着率 $\alpha K \min (\alpha \ll 1)$ の検知が必要となる。

以上、5.2節の定量化結果と本章で明らかとなった最小検知雨量をもとに、最適光学設計および感性に合ったアルゴリズムを構築している。具体的な光学設計については別の機会に開示するものとし、次に最適アルゴリズムの構築について述べる。

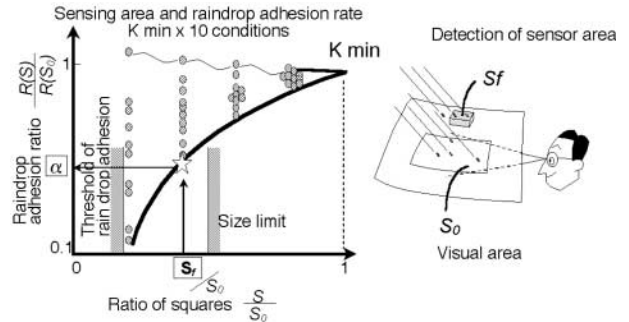


Fig. 7 Quantification of minimum detectable adhesion ratio

7. アルゴリズム

ここではアルゴリズム構築の考え方について述べる。雨滴検知のフローチャートをFig. 8に示す。オートON状態になるとレインセンサはイニシャライズ処理を行ない、雨判定処理にはいる。感性にあった払拭フィーリング達成のためには両処理が最重要な項目となる。

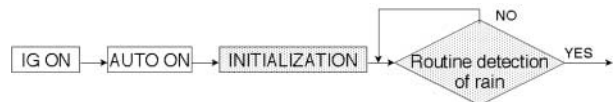


Fig. 8 Flowchart of rainfall detection

- (1) 感性に合った雨判定処理とは、感性に合った払拭アルゴリズムを構築することであり、前項で明らかとなった雨滴付着率 $\alpha K \min$ を柱として実現している。
- (2) イニシャライズ処理においては、オートONと同時にウィンド上の雨滴の有無を正しく判断し、雨滴がある場合のみ迅速に払拭する。すなわち、オートイニシャライズが、感性に合った払拭フィーリング達成の点で重要となる。今回、学習を取り入れることで温度特性による出力変化と雨の区別を、検出感度を落とさずに達成し、オートイニシャライズ化を実現している。

(1), (2)の工夫した点について以下に述べる.

7.1 払拭アルゴリズム

7.1.1 運転者のワイパ操作傾向

感性に合ったアルゴリズムを達成するには, 安定性と応答性の両面からの検討が必要である.

雨量変動に対するマニュアル払拭の傾向の調査結果をFig. 9に示す. 雨量変動量小では同じモードで払拭, 雨量増加時には, 払拭モードアップは1~2回の遅れで, 雨量減少時にはモードダウンを数回の遅れで行っている. つまり, 雨量変動量小のときには払拭モード維持が安定性の条件, 雨量変動量大の時にはモードアップは迅速に, モードダウンは緩やかに行うことが, 応答性への条件であることが分かる.

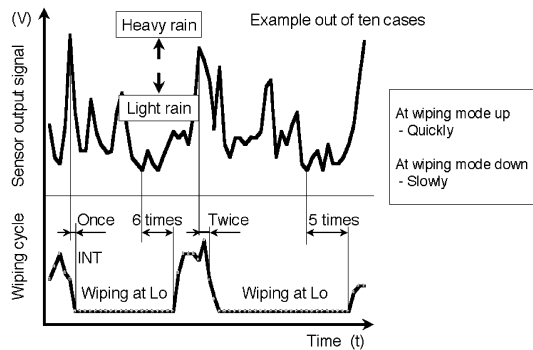


Fig. 9 Wiping ability in responding to changes in rainfall

7.1.2 二段しきい値方式

前項の安定性・応答性をアルゴリズムに取り入れたのがFig. 10に示す二段しきい値方式である. 2本のしきい値UCL, LCLを設け, 雨量がその間にあれば同一払拭モードを維持し, 安定性を確保. しきい値を外ればモードを移行するが, 雨量が増加しUCLを超えた場合には一回の払拭後にモードアップ, 雨量が減少しLCLを下回った場合は数回払拭してからモードダウンさせることで応答性の向上を図った. また, LCL, UCLには前章で求めたセンサ必要性能 α K minをベースにして値を可変することで安定性応答性のバランスを図っている.

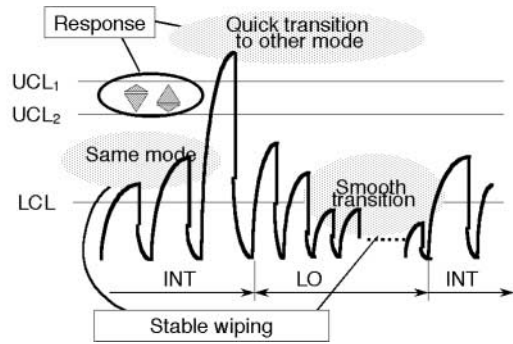


Fig. 10 Implementation of double thresholds

7.2 オートイニシャライゼーション

オートイニシャライズとはFig. 11に示すように, オートON時にはウィンド上の雨滴の有無を正確に判断し, 雨滴がある場合のみ迅速に払拭させることである.

例えば, 車に乗り込み, さあ運転しようとした時, 雨は上がっているがウィンドには水滴が残っている. この時, オートONと同時に払拭ができないと運転者は非常に不満に思うであろう.

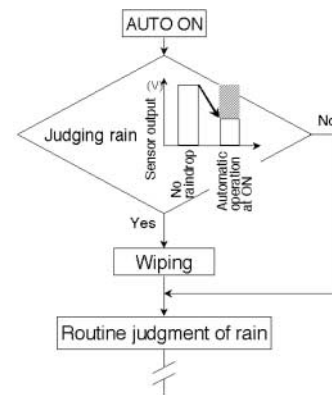


Fig. 11 Flowchart of auto-initialization

従来, オートONと同時にウィンド上の雨滴の有無を判断することが困難であったため, Fig. 12に示すように, 天候に関係なく(晴れでも)オートON時にワイパを1回払拭させることでイニシャライズを行っていた. しかし, Fig. 13に示すように, ドライバの感性に合わないとの市場からの声が多く改良が求められていた.

今回, 学習を取り入れることでオートイニシャライズ化を可能としている.

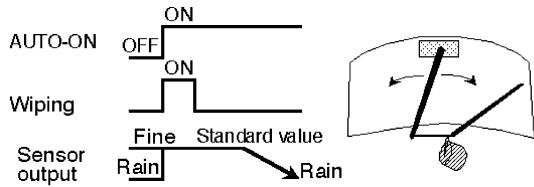


Fig. 12 One cycle of routine wiping at the initialization

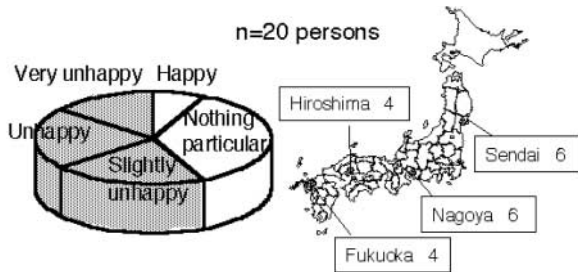


Fig. 13 Market research about one cycle of routine wiping

7.2.1 基本方式

選定の条件としては、従来オートON時毎にワイパを払拭させることで雨滴のない状態を認識していたのに対し、オートON時にワイパの払拭を行うことなく、迅速、かつ感度良く雨滴のない状態を認識できることである。

基本方式の比較をTable 2に示す。上記の条件を満足する方法として、+B方式と学習方式あげられるが、+B方式は常時通電のため、バッテリー上がりが懸念される。一方、学習方式は、雨滴のない出力レベルを記憶しておいて、これを基準値として雨滴の有無を判定する方式であり、イグニッションON後の通電でよく、当方式で検討を進めることとした。なお、雨滴の無いセンサ出力の記憶にはE²PROMで対応しているが、方法をFig. 14に示す。

当学習方式の課題としては、記憶している雨滴の無い状態のセンサ出力V₁とオートON時のセンサ出力V₂の差ΔVから、雨滴以外の要因によるものを精度良く除去できること、すなわち、出力変動ΔVの補正が必要となることである。以下取り組みについて述べる。

Table 2 Basic methods for auto-initialization

	Variable method Standard value -Wiping AUTO-ON (sec)	+B method ΔV	Learning method ΔV
Detectability of raindrops	NG Standard value on wet windshield condition	Good Checking on dry windshield condition	Good Learning standard value on dry windshield condition
Detection timing	NG After output variation	Good Immediately after AUTO-ON	Good Immediately after AUTO-ON
Problems	—	NG Battery fluttering	Fair Differentiation of raindrops from other factors

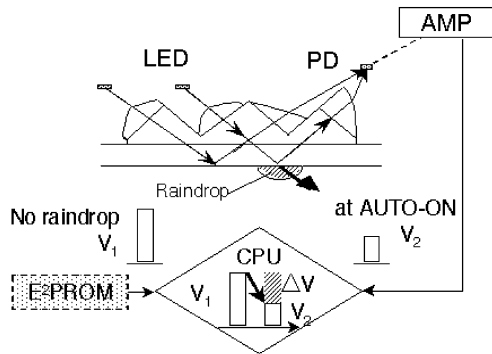


Fig. 14 Configuration of learning method

7.2.2 出力変動ΔVの要因

出力変動ΔV補正のためには、ΔVに影響している雨滴以外の要因の検証が必要である。

記憶時とオートON時点では、時間経過があるとともに温度環境が異なることから、主要要因としてFig. 15に示す項目を上げることができる。

経時変化に関してはE²PROMの学習値を順次更新することで、雨滴が無ければV₁≒V₂が成立、従って補正を必要としない。

一方、LEDの温度特性をFig. 16に示すが無視できないレベルである。

例えば、10℃で記憶、40℃でオートONした場合、LEDの温度特性による出力変動ΔV_{LED}は、我々が必要と判断している雨滴量判定の閾値Thに対し、ΔV_{LED}≫Thとなる。このΔV_{LED}が補正できない場合、例えば、ワイパの誤作動につながる。

従って、学習方式成立のためには、LEDの温度特性の補正が重要となる。

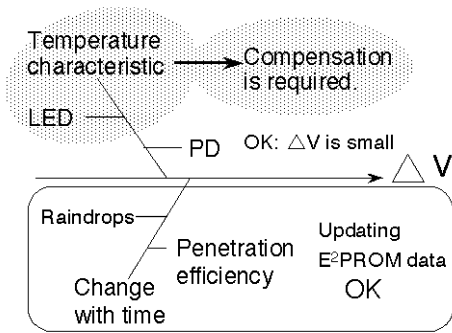


Fig. 15 ΔV factors

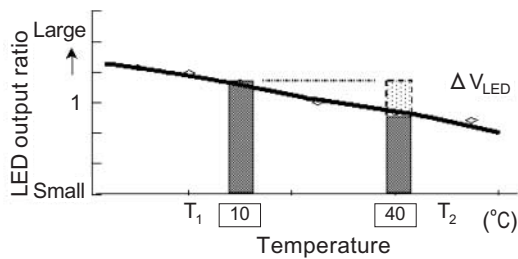


Fig. 16 LED temperature characteristic

7.2.3 LED温度特性の補正

LED温度特性の補正のために、パターン判定とレベル判定の二つの方式について検討を行った。

まずパターン判定について述べる。当センサはLEDを四つ持っており、各LEDの出力レベルはFig. 17のように表すことができる。

雨滴の無い場合に、センサの温度がT₁からT₂に変わると、各LEDに対応するセンサの出力は、LEDの温度特性により

$$V'_{LED1} / V_{LED1} \cong V'_{LED2} / V_{LED2} \cdots \cong V'_{LED4} / V_{LED4}$$

となる。

つまり、雨滴の無い場合には四つのLEDの出力パターンは温度が変わっても相似の形状で近似できる。

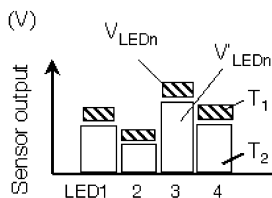


Fig. 17 Pattern judgment

一方、雨滴のある場合、通常の雨では、各LEDの検

知部にあたる雨はランダムであり、ゆえに

$$V'_{LED1} / V_{LED1} \neq \cdots \neq V'_{LED4} / V_{LED4}$$

となり相似パターンとならない。

従って、雨滴の無い時の出力パターンを記憶しておき、オートONした時の出力パターンと比較することで、出力変動ΔVが雨によるものかLEDの温度特性によるものかの区別は可能と推定した。しかるに、実車テストをしたところ、Fig. 18に示すように、出力変動が相似パターンとなる降雨状態があり、LEDの温度特性と区別できない場合があることが判明した。

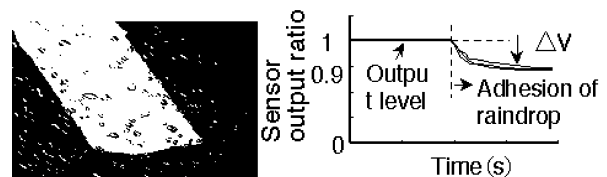


Fig. 18 Sensor output at rain

次に、今回採用したレベル判定法について述べる。レベル判定法とは、Fig. 19に基本的な考え方を示すが、センサ温度T₁で記憶した雨滴の無い状態でのセンサ出力V_{T1}から、センサ温度T₂でオートONした時の雨滴の無い状態でのセンサ出力V_{T2}を推定し、この推定値とオートONした時の実際の値V_{T2}との差ΔVで雨滴量の判定を行う方法である。

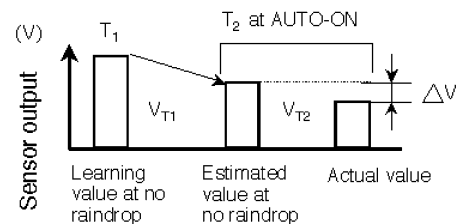


Fig. 19 Judgment of sensor output level

この方法が成立するための課題は、V_{T2}の推定精度をΔV_{T2}とすると、ΔV_{T2}<雨滴量判定しきい値Thを満足することであり、そのために次の二つの手法を工夫している。

- ① V_{T2}の推定にはLEDの温度特性を学習
- ② 推定精度 ΔV_{T2}<Thの達成には温度特性学習を個々のLEDについて実施

実際の方法は、Fig. 20に示す個々のLEDの温度特性を学習しておいて、E²PROMに記憶している雨滴の無い状態のV_{T1}から、オートONした時の雨滴の無い状態のV_{T2}を、学習値を使って演算している。

具体例をFig. 20に示すLEDの温度特性を用いて説明する。

10°Cで雨滴の無い状態でのセンサ出力V₁₀をE²PROMに記憶している状態で、40°CでオートONしたとする。この時雨滴の無い状態での推定センサ出力V₄₀は、E²PROMに学習しているセンサの温度特性を用いて、 $V_{40} = V_{10} - \Delta V_{10 \rightarrow 40}$ と求めることができる。従って、40°CでオートONした時の実際のセンサ出力をV'₄₀とすると、雨滴のみによるセンサ出力変動量ΔVは $\Delta V = V_{40} - V'_{40}$ となる。このΔVが $\Delta V > Th$ の時に払拭要と判定する。

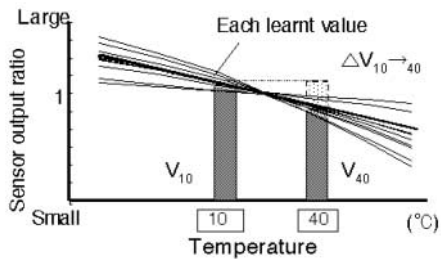


Fig. 20 Variations in LED temperature characteristic

7.2.4 学習による補正効果

前述の学習によるLEDの温度特性補正効果をFig. 21に示す。記憶時の温度とオートON時の温度の組合せにおいてLEDの温度特性による推定精度 $\Delta V_{T2} < Th$ の判定しきい値Thを満足している。

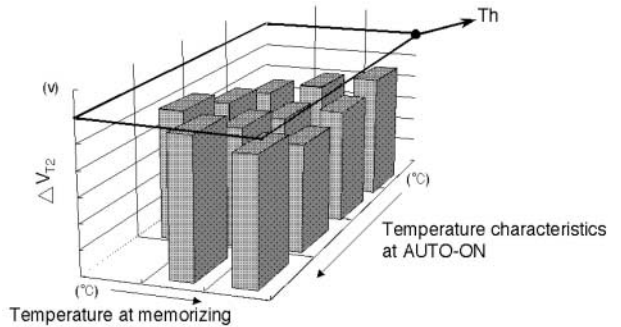


Fig. 21 Effect of compensation by learning

8. 実車評価結果

今回、開発した光反射式レインセンサの実車評価を実施しているが、Fig. 22のCSポートフォリオに効果確認結果を示す。

実車評価は日本国内および北米において実施した。小雨・大雨・はね水・昼夜・トンネル・雪はベタ雪およびサラサラ雪、ミシガン州のブリザード等あらゆる自然環境下に加え、更に、性別年齢をも考慮し評価を行った。各評価項目において、良好な結果を達成している。

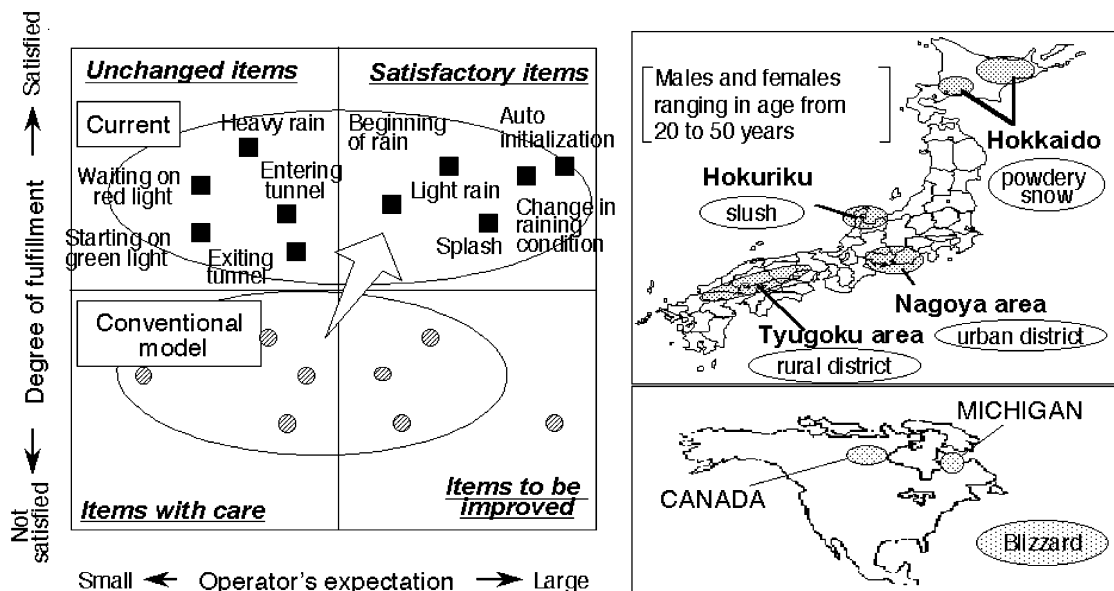


Fig. 22 Results of CS portfolio

9. まとめ

雨量と払拭モードの定量化を行い、払拭アルゴリズムを考案するとともに、学習を取り入れることでオートイニシャライズ化を世界で初めて達成し、ドライバの感性に合った光反射式レインセンサを開発した。

10. 謝辞

当センサの開発に当たり、共に開発いただきましたトヨタ自動車、日本自動車部品総合研究所、デンソーの多数の関係者様に深く感謝致します。

<著 者>



寺倉 修
(てらくら おさむ)
機能品技術3部
レインセンサ開発に従事 (当時)
2004年5月退社



倉橋 晃
(くらはし あきら)
ボデー技術2部
ボデー系製品設計に従事



若林 伸二
(わかばやし しんじ)
機能品技術1部
アクチュエータ駆動関連技術開発
に従事



徳永 政男
(とくなが まさお)
(株)日本自動車部品総合研究所
第8研究室
インバータ開発に従事



南方 真人
(みなかた まさと)
トヨタ自動車(株) 第1電子技術部
電気コネクタ・電線開発に従事