

基調論文 | 快適・利便システムの競争力強化に貢献するセンサ技術の動向*

Technology Trends of Sensors Contributing to Strengthening the Competitiveness of Automotive Systems for Comfort and Convenience

吉田 貴彦
Takahiko YOSHIDA

Recently, in the society of advanced car culture, the essential requirements for vehicles include not only basic performance related to safety, but also performance related to comfort and convenience as customary and natural items. The typical systems for comfort and convenience are the peripheral monitoring system and auto air conditioning system. However, automatic control of these systems has become difficult because the control criteria for optimum conditions are different for individual passenger sensibilities and universal criteria cannot be set uniformly for all systems. Consequently, in order to realize the practical use of these systems, multiple and various types of sensors have been used. This paper describes the configuration, its principles and evolutionary direction of typical sensors for (1) light, (2) solar-radiation, (3) temperature, (4) humidity, (5) rain, (6) cameras as image-sensors, etc.

Key words : comfort, convenience, sensor, light, humidity, temperature

1. はじめに

自動車の基本性能は「走る」、「曲がる」、「止まる」であり、安全にかかわる最も重要な性能である。

しかし、自動車文化が発達した今日、自動車に求められるのは安全にかかわる基本性能だけではなく、身近な存在として当然のように快適性、利便性が求められる。

快適、利便は人の感性に寄るところが多いため、システムも普遍的な判断が難しくなる。従ってセンシング対象を具現化し、場合によっては複数のセンサで検知することが必要となる。

本論文では、快適・利便のシステムに用いられているセンサをいくつか取り上げ、その原理・構成と進化の方向性を述べる。

2. 快適・利便

快適・利便は人の感性に寄るところが多いため、とらえ方は多岐に渡る。そこで自動車において、快適を車室内の心地よさと捉え、利便を楽、便利、使いやすさと捉える。自動車における快適・利便システムに関わる新製品・新機能はFig. 1の様な進化をしてきた¹⁾。この快適・利便システム・装置の進化は、まず初めにカーエアコンやカーラジオなどドライバ等の乗員の不快感を解消するものが搭載され、その後、カーナビ、

オートエアコン、CD・HDDオーディオなど個人の嗜好に合わせるものへと進化してきた²⁾。

2012年J.D.POWER AND ASSOCIATES@の報道資料には、2012年の初期品質の業界平均100台当たりの不具合指摘件数は昨年より5件改善し5%向上しており、大半の分野で昨年度より向上している中で、はっきりとした例外はオーディオ/エンターテイメント/ナビゲーションシステムの不具合件数は8%増加しているとある。2006年以降、他の分野は平均24%改善している反面、この分野では45%も指摘件数が増加し、近年の継続的傾向となっている。この原因として最新

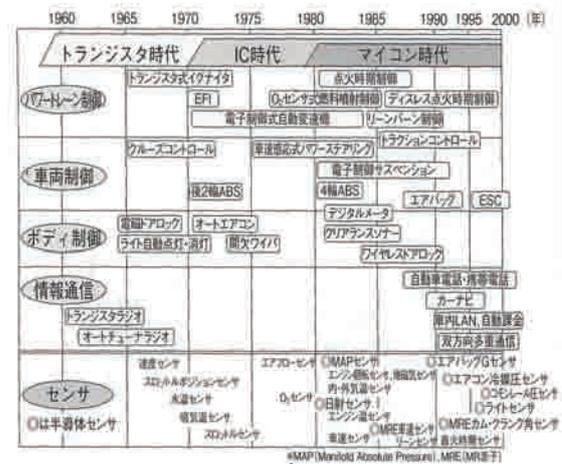


Fig. 1 History of Car Electronics

*2012年9月17日 原稿受理

の技術搭載が急速に増えるとともに、このような最先端の技術もユーザにうまく利用できなければ、これが即座に不満感へつなげると報告されている。つまり、快適・利便の分野は個人によって捉え方が千差万別であるため、対象物のセンシング検知結果に対する処理方法が重要となってくる。

3. 快適・利便システム

快適・利便にかかわる最近のシステム例として日産の「フォレストエアコン」³⁾とスバルの「Eye Sight」⁴⁾システムを紹介する。

3.1 日産「フォレストエアコン」(Fig. 2)

心身を爽快にする効果を持つと言われる森林の空気を構成する風、温度、湿度、においの要素に着目して開発された。従来のエアコンのように車室内の空気をクリーンに保つ機能に加え、風や香りが乗員に対して生理状態や感覚に与える影響を研究した機能を追加し、統合制御することで車室内を快適に保つシステムである。このシステムには以下の特徴がある。

- ①ゆらぎ風：アッパーベント（上部送風口）と、フロントベント（前面送風口）の吹き出し風量をランダムに制御することで、全体の風量を変えることなく、乗員が快適に感じられる「ゆらぎ」の自然なそよ風をカーエアコンに再現した。日射量と外気温によって吹き出し風量のパターンを最適に制御し、快適性を維持する。
- ②アロマ：森の空気の成分がヒトに与える心地よさをヒントに、香りの脳活動へのはたらきを研究し、その結果を応用した機能である。みどりの香り（青葉アルコール）、香木の香り（ボルネオール）を送風に乗せ、交互に間欠的に提供することで乗員の香りに対する嗅覚の慣れを防止するとともに、リラックス効果を高める。
- ③湿度制御：湿度センサによってガラスの曇りを正確に検知し、エアコンの除湿運転を正確に制御して極度な乾燥を防止する。検知精度を上げるため、外気温と車速の情報を追加している。
- ④におい・排ガス検知式内外気自動切換：排気ガスの検出に加え、車外の家畜の臭いや車室内のタバコのおい等を検知することで、外気導入と換気を統合制御するシステムで、車室内に不快なおいが残らないように積極的な換気を行うことで車室内の酸素濃度も快適なレベルに維持できる。

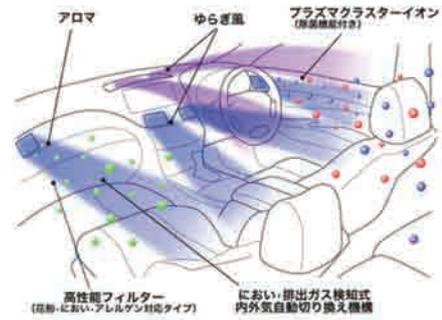


Fig. 2 Air-conditioner of Nissan Forest

3.2 スバル「Eye Sight」(Fig. 3)

ステレオカメラを用いた運転支援システムに、自動ブレーキによって車両を停止させる制御を加えた。ステレオカメラで全車速追従クルーズコントロール機能や、歩行者・自転車をも対象としたプリクラッシュセーフティ機能を持たせている。さらに、自動ブレーキによって車両を減速・停止させるプリクラッシュブレーキで前方衝突の回避または衝突被害の軽減を図るとともに、通常の追従走行に加えて先行車が停止した場合も追従して停止制御する全車速追従機能付きクルーズコントロールの追従性能を強化することによって、運転支援範囲を大幅に拡大させ、渋滞時などの運転負荷を軽減することで快適なドライブの実現に寄与する。

- ①プリクラッシュブレーキ：前方の先行車や障害物に衝突する危険をシステムが認識すると、車間距離警報によりドライバに回避操作を促すが、それでもドライバの回避操作がない場合、自車と対象物との速度差が約30km/h以下の状況では、自動ブレーキによって衝突の回避・衝突被害の軽減を図る。速度差が約30km/hを超える状況では、自動ブレーキによって減速することで衝突被害の軽減を図る。
- ②プリクラッシュブレーキアシスト：前方の先行車や障害物に衝突する危険をシステムが認識した状況で、ドライバーの急ブレーキ操作を検知した場合、自動的にブレーキアシスト機能を働かせることによって、衝突の回避・衝突被害の軽減を図る。
- ③全車速追従機能付きクルーズコントロール：自動ブレーキの最大減速度を大幅に高めることで、都市部の自動車専用道路など先行車の減速幅が大きい状況でも追従が可能となり、ユーザの利便性を大幅に高めた。また、先行車が停止した場合、追従して自車を停止させた上、さらに停止状態を維持することで渋滞時などの運転負荷を軽減することが可能である。



Fig. 3 EyeSight System by Subaru for Driver Assist

4. 快適・利便システムのセンサ

センサは一般に物理量変化を検知する物理センサと、化学量変化を検知する化学センサに大分類され、さらにそれを測定対象で分類するとFig. 4の様になる。快適・利便システムにはこれらの複数のセンサを同時に用いる。

現在、快適・利便を提供しているシステム対象が消滅してゆくことはなく、適用するセンサ単品の精度や性能の向上、複数のセンサからの情報を同時に取得して情報を融合させることで状況を的確に把握でき、システム機能を高め、新たな付加価値を創出するシステムへと進化してゆくと考えられる。これら快適・利便システムに用いられる主なセンサの検出原理と今後の技術の方向性について以下に詳述する。

センサ分類	変換原理・効果	自動車用途のセンサ例		
物理量	圧力、重量、荷重	ピエゾ、圧電、歪	MAPS、EGP、燃焼圧、A/C冷媒圧、ブレーキ圧	
	加速度、振動、衝撃	静電容量、ピエゾ、圧電	エアバック、ABS、VSC、ノック	
	回転、速度	ホール、磁気抵抗	車速、E/G回転、A/T回転、カム・クランク角	
	磁界、電流	ホール、磁気抵抗	バッテリー電流	
	温度	熱起電力、漏電、ゼーベック	E/G水温、吸気温、排ガス温、内気温、外気温	
	流量、流速、レベル	電気抵抗、ドップラ	エアフロ、オイル	
	音、超音波	圧電、ドップラ	ソナー	
	光、電磁波	起電力、吸収、ドップラ	日射、ライト、レーン、レーダ、イメージャ	
	化学量	ガス、成分	容量、抵抗、起電力	A/F、O ₂ 、空気質、温度
		溶液・成分	電液吸収、抵抗、起電力	オイル、燃料

Fig. 4 Variety of Sensors

4.1 日射・ライトセンサ

日射センサはオートエアコンの制御に用いられ、乗員や車室内にあたる日射の強さを検出するものである。また、ライトセンサは周囲の明るさに応じて自動的にヘッドランプ、テールランプの点灯・消灯を行うための明るさ検出を行うものである。両センサは出力特性などの要求仕様は異なるが、周囲の光の照度をフォトダイオードで検出する原理は同じであるため、光

のセンシング部分を統合したセンシング素子が用いられる。

快適性向上のために運転席と助手席の空調を独立に制御する左右独立空調システムでは、太陽の方向によって運転席と助手席の日射量が変わることに対応するため、2方位の日射センサが必要となる。そのためデンスーではリング状のフォトダイオードを考案し、2方位日射センサを1素子の中で実現した (Fig. 5)⁵⁾。

太陽光の左右方位は、遮光板を通過して分割したフォトダイオードに入射する日射量で検出する。日射センサの仰角特性は分割したフォトダイオードの各出力を演算することで得られる。

フォトダイオードのリングを2重構造とし、内側をライト用、外側を日射用と使い分けることで、ライト用日射用各々の仰角特性を得ることができる。

今後は、半導体加工技術を適用して遮光板をフォトダイオード素子内に作り込むなど、更なる技術進化が期待できる。

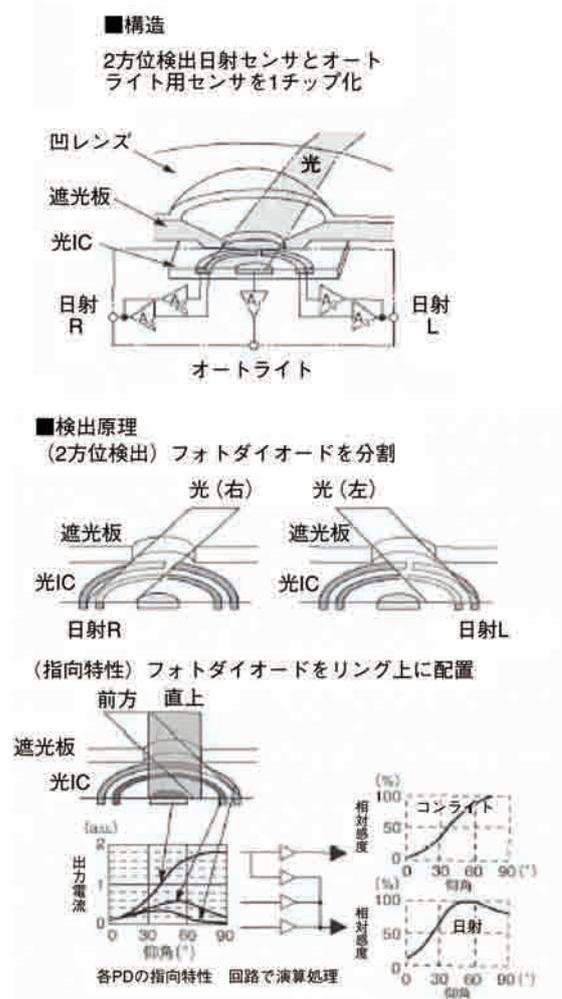


Fig. 5 Principle and Configuration of Light Sensors

4.2 温度センサ

一般に接触式と非接触式に大別される。接触式はサーミスタや金属測温抵抗体などで、被測温体に温度センサを直接接触させる方式である。そのため、測温物体の熱容量がセンシング素子に比べて十分大きいことが求められる。これに対して非接触式は焦電型や量子型などの熱放射温度計で、測温物体から放射される熱線を計測するものである。したがって、距離の離れた物体の温度を測定することが可能である反面、放射エネルギーを集めるレンズなどの光学系が必要となる場合が多い。

接触式ではサーミスタが最も利用されている。サーミスタは電気伝導のメカニズムに半導体の不純物電気伝導を利用しており、同じ感温抵抗体を用いるタイプでも半導体材料を用いるか金属材料を用いるかでサーミスタと金属測温抵抗体は分けられる。半導体の電気伝導度は電子や正孔の数であるキャリア密度と動きやすさである電子移動度の積できまり、温度によって電子や正孔の数が変わり、この材料を挟む端子間の抵抗が変化して、温度変化を検知する (Fig. 6)。サーミスタの長所は①温度変化に対する抵抗値変化が大きい (感度が高い)、②電気的処理が容易、③大量生産が行いやすいであり、短所は①非直線素子、②温度範囲が狭いである⁶⁾。

非接触式ではサーモパイル方式の赤外線温度センサが最も用いられている。いわゆるゼーベック効果による熱電対の温度検出原理を適用しており、N型多結晶シリコンとP型多結晶シリコン、またはAl膜で熱電堆を形成することが多い。センサのキャップに赤外線フィルタを用い、特定の波長の赤外光のみを透過させる。赤外線は熱電堆上に形成された赤外線吸収膜によって吸収され、その温度上昇を熱電対で検出する。赤外線吸収膜には赤外線吸収率が高いカーボンや金黒 (金の微粒子薄膜) が用いられることが多い (Fig. 7)⁷⁾。サーミスタに比べて温度検出部の熱容量が小さいために応答速度が速く、非接触で検知可能であるため取り付け自由度も高いため、用途が拡大している。

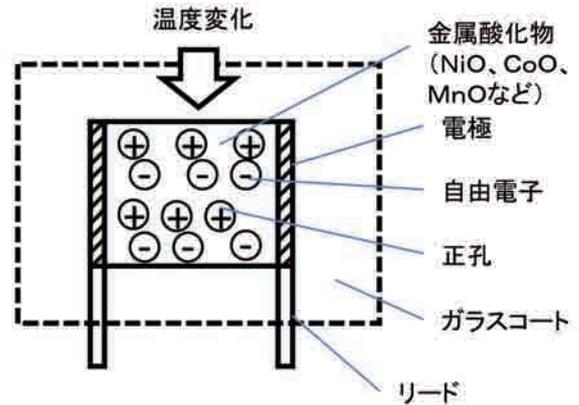


Fig. 6 Principle of Thermistor

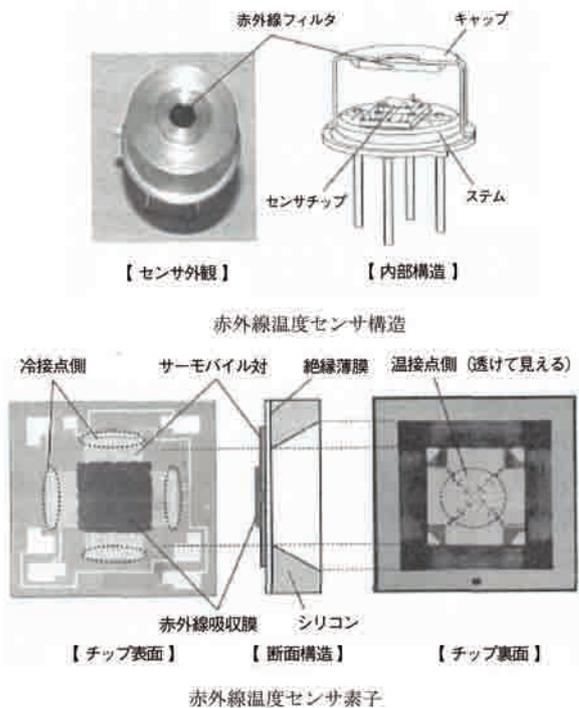


Fig. 7 Infrared Thermo Sensor

4.3 湿度センサ

湿度センサはエアコン制御において、気温、フロントガラスの表面温度検知と合わせて内外気の切り替えを自動で行い、フロントガラスが曇らない範囲で内気循環の比率をできるだけ増やすように制御し、アイドルストップ時や特に冬場におけるコンプレッサ駆動を最小限にして燃費を向上させるために、近年使用が拡大している。

湿度センサは、素子のインピーダンスが変化する抵抗変化型と、誘電率が変化する容量変化型が主流となっている。抵抗型 (Fig. 8)⁸⁾ は固体電解質などの感湿膜に水分が取り込まれることで可動イオンの遊離量

が変化してインピーダンスが変わる。抵抗値は指数関数的に変化するため、低湿度領域の誤差が大きくなやすく、また高湿度では可動イオンの溶出が起き、氷点下ではイオンが移動しないなどの制約があり、適用環境に制限がある。容量変化型は感湿膜にポリイミドなどの高分子化合物を適用し、水分吸収による比誘電率の変化を検出する。ポリイミドの比誘電率が約3位であるのに対し、水の比誘電率は約80ほどあり、吸湿量に比例して線形的に容量が変化するため、0~100% RHの測定が可能であり、氷点下での測定も可能である。センサの耐久変動は感湿膜の物性に依存する。デンスターの容量式湿度センサには独自に開発したポリイミド材料を適用しており、加水分解の発生を抑制するために極性基部分に破水性のフッ素原子を配合し、さらに分子の末端をアセチレン終端とし、成膜焼成時に架橋構造を形成して体積膨張を抑制できる構造としている (Fig. 9)。その結果、感湿膜の耐久劣化が少なく、センサ出力において高湿度側の直線性、ヒステリシスに優れた特性を提示している。

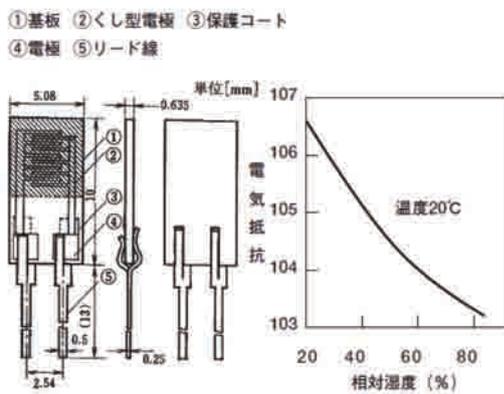


Fig. 8 Resistive Type Humidity Sensor

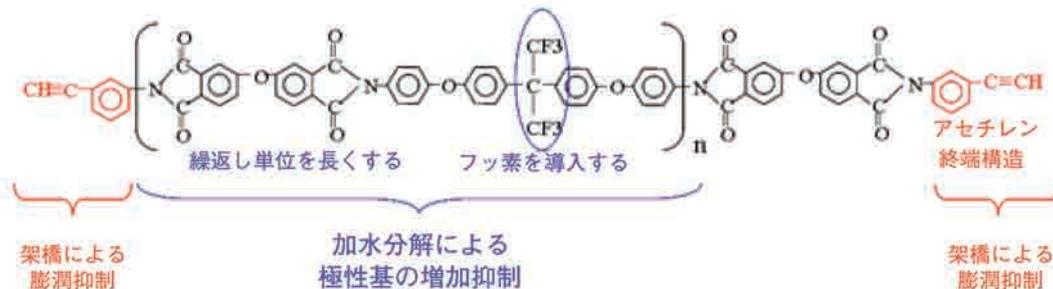


Fig. 9 Molecular Formula of Polyimide for Capacitive Type Humidity Sensor

4.4 プラズマクラスタ⁹⁾

プラズマクラスタ技術は、空気中でコロナ放電を利用して空気中の水分子から水素を核とした正極性の空気イオン (H⁺) と酸素を核とした負極性の空気イオン (O²⁻) を生成して、室内などの空気中に放出する。それぞれの空気イオン周りに複数個の水分子が凝集してクラスタ状に取り囲むことで数秒から数十秒の間空气中に存在することができる。この正極性と負極性の空気イオンが空気中に浮遊しているカビ菌やウイルスなどの表面で結合した時に非常に酸化力の高いOHラジカルが形成され、カビ菌などの細胞表面のたんぱく質から水素を抜き取り (酸化作用)、カビ菌などの作用を抑制する技術である。

車載に適用するためにはイオンの高濃度化が必要であり、Fig. 10に高濃度イオンデバイスの電極部の断面モデルを示す。リング形状で金属製の対向電極と、その中心に位置するように針状の放電電極を配置した構造で、これを正イオン発生用と負イオン発生用に2個を平置した構造である。イオンの発生は放電電極と対向電極間に高電圧を印加することにより、放電電極近傍にコロナ放電を発生させる。コロナ放電によるプラズマ領域で正極性と負極性の空気イオンが生成される。

高濃度プラズマクラスタイオンの効果効能には①浮遊物質 (菌, カビ菌, ウイルス, アレル物質) の作用抑制効果, ②付着菌, ウイルスの作用抑制効果, ③付着臭の低減効果, ④肌保湿効果, ⑤静電気の軽減効果の5つの効果が検証されている。

このうち、肌保湿効果のメカニズムは以下のように考えられている。プラズマ放電によって生成された正と負の空気イオンは、空気中の水分子が凝集しやすい性質があり、水分子に囲まれた状態で空气中を浮遊す

る。保湿効果のメカニズムは空気イオンを取り囲んでいる水分子が肌の表面に付着し、水分子コートが形成されることにより、肌から水分の蒸発が抑えられ、保湿効果がえられる (Fig. 11)。

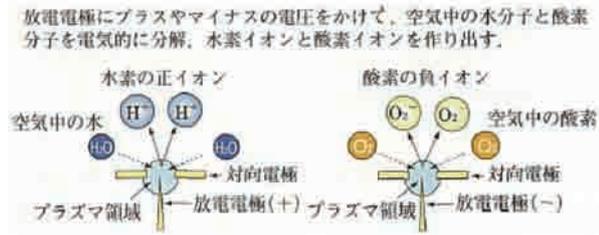


Fig. 10 Positive/Negative Ion Generation

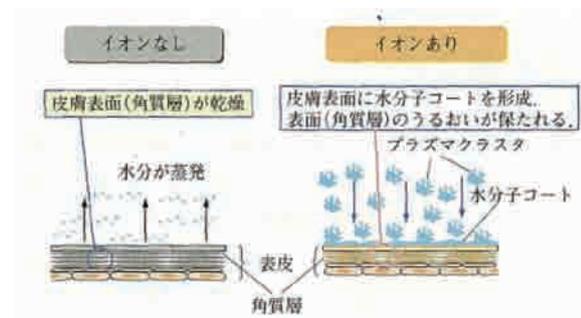


Fig. 11 Mechanism of Skin Moisturization

4.5 においセンサ¹⁰⁾

においセンサの目指すところはまずは人の嗅覚と同じレベルとしたいが、人の嗅覚の感度はpptレベルのごく低濃度を感じることができ、識別能力は約1万種類といわれており、まだまだセンサでは及ばない。

嗅覚による検知のしくみは以下ようになる。空気中に混じったにおい分子は呼吸とともに鼻から入り鼻腔に達する。鼻腔の上部には嗅上皮と呼ばれる粘膜があり、その中に嗅細胞がある。嗅細胞には受容体があり、それぞれある構造 (官能基など) を持つ化学物質を受容できるようになっている。粘膜に溶け込んだにおい分子がこの受容体と結合すると細胞膜で電気信号が発生し、脳の嗅球という一次中枢に伝達される。嗅球表面にある糸球体というところで同じ種類の受容体からの信号がまとめられていて、におい分子の化学構造情報がマッピングされているといわれている (Fig. 12)。

においセンサとしては主にガスセンサが用いられており、その方式には電気化学式、半導体式、熱線式、赤外線吸収式や、より生体に近いものとして受容体の細胞膜を模して人工脂質膜を用いるものもある。もっともよく用いられているのが半導体式である。半導体

式ガスセンサはガス漏れ検知用として可燃性ガスなどの還元性ガスの検知に用いられており、におい物質の多くも還元性ガスであることから適用されている。

Fig. 13にn型半導体を用いたガスセンサの検出原理を示す。清浄な大気中でセンサが加熱されると空気中の酸素は半導体粒子の自由電子を捕獲して粒子表面に負電荷で吸着する。電子を供与した粒子内部は正電荷を帯び、表面近傍で空間電荷層が形成される。二つの粒子が空間電荷層を介して接触すると、粒界付近でポテンシャル障壁 (eVs) が形成され、粒子間の電子の流れを妨げ、センサ全体の電気抵抗が増大する。

逆に、空気中に還元性のガスが存在すると、粒子の表面に負電荷吸着していた酸素と還元性ガスの酸化反応が起こり、表面から酸素が奪われる。その結果、酸素に捕捉されていた自由電子が移動できるようになり、ポテンシャル障壁が低下し、電子が粒子間を通過しやすくなり、センサ素子の電気抵抗が減少する。このように、粒子表面でのガス吸着や化学反応に由来する半導体素子の電気抵抗変化を利用して、におい物質の検知を行うことができる。

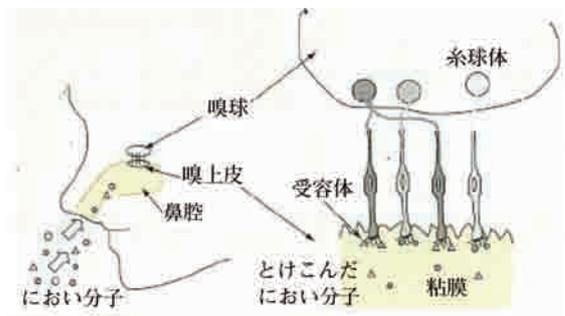


Fig. 12 Acceptance of Smell Through Nose

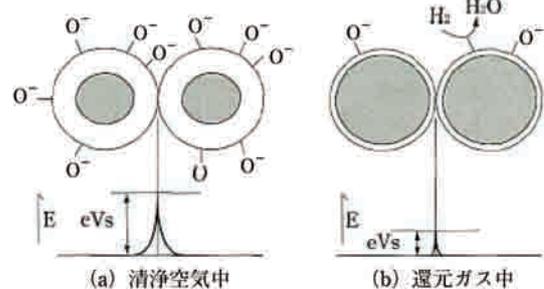


Fig. 13 Particle Conjugation of Semiconductor Gas Sensor

4.6 ほこりセンサ¹¹⁾

光学式ほこりセンサは、ハウスダスト、たばこの煙など室内の空気の汚れ粒子を光学的に検出するセンサである。

光学式ほこりセンサの構成をFig. 14に示す。発光素子として赤外線発光ダイオード (LED) を用い、外部からの入力信号に基づきパルス的に発光する。受光素子にはフォトダイオード (PD) を使用し、発光素子のパルス発光による入射光を受光し、入射光量に応じたパルス電流を出力する。発光素子、受光素子の前面には非球面レンズが配置してあり、発光素子、受光素子の指向性を細く絞って、投光・受光の光軸が交わる領域を粉塵検出領域としている。また、発光素子から投光された光がセンサケース内で反射し、不要な迷光となって受光素子に入射するのを防ぐため、迷光成分を低減させるスリットを多数設置している。たばこ・ハウスダストの識別は出力電圧の時間的推移をみており、ほこりの発生の仕方から、連続して出力電圧が高い場合はたばこの煙、出力電圧が間欠的に高い場合はハウスダストと粉塵粒子の識別が可能である。

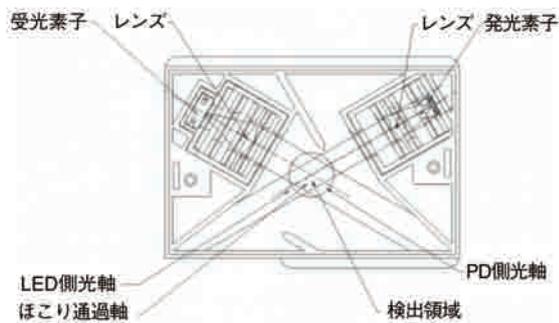


Fig. 14 Structure of Particle Sensor

4.7 レインセンサ

レインセンサは雨の量を検出して、ワイパの停止と作動、作動モードの動作速度を自動で制御するオートワイパシステムに使用される。

センサは赤外線の発光素子であるLED、受光素子のフォトダイオード (PD)、赤外線の光路を形成するレンズ (プリズム) とマイコン搭載のコントローラから構成されている (Fig. 15)。LEDから出た赤外線はフロントガラスで全反射するが、雨滴が存在すると赤外線の一部が雨滴を透過して外部に放出されるため、フロントウインドウでの反射量が減少する。雨滴 (雨量)

が多いほど反射量が減少(透過量が増加)し、受光素子のPDに入る光量が減少する。この赤外線の受光光量の減少量から雨量を算出し、ワイパの制御を行う¹⁴⁾。

レインセンサの性能は雨量の検出感度に依存しており、デンソーのレインセンサは雨量の検知面積を他社より広くとることで検出感度を上げて性能向上を図っている。

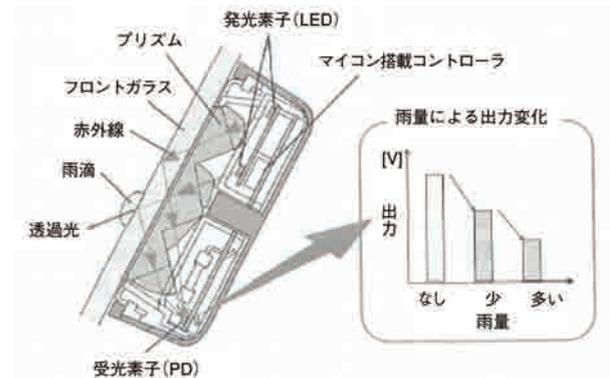


Fig. 15 Structure of Rain Sensor

4.8 カメラ (イメージャ)¹²⁾

ビデオカムコーダからデジタルカメラ、携帯電話、スマートフォンにもカメラ (イメージャ) が標準的に搭載されるようになってきた。現在、最も多く使われているのがCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサであり、その基本的構成と原理をFig. 16に示す⁵⁾。

基本的な原理はフォトダイオード (PD) で、PDで受光量に応じた電荷を発生し、転送用トランジスタ (Tr) で蓄積用のダイオード (FD) へ転送する。リセット用トランジスタでFDの電荷をリセットし、電荷-電圧変換用トランジスタで電荷を電圧に変換する。この電圧信号を選択トランジスタで読み出す。

性能面では、画素数が増加して解像度が向上すると同時に裏面照射技術の導入により感度が向上し、さらには列ごとに増幅器やAD変換器を設置することによりノイズも大幅に低下した。画像サイズは入射光の回折広がりと同程度以下まで縮小され、入射光の利用効率 (量子効率) もほぼ100%に到達し、また、ノイズも1電子レベルに迫るようになった。こうした中で、人間の目と比べて性能的に見劣りしていたのがダイナミックレンジであった。このダイナミックレンジを広げる技術として、対数圧縮¹³⁾、複数回露光¹⁴⁾、横型オーバーフロー電荷蓄積¹⁵⁾などの技術が新技術として開

発されている(詳細は参考文献を参照)。

<参考文献>

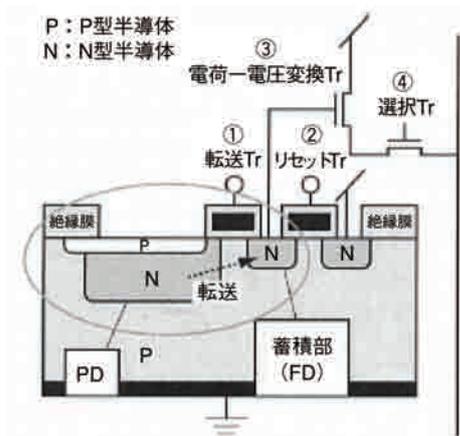


Fig. 16 Structure of CMOS Imager

5. むすび

快適・利便システムの競争力強化に貢献するセンサは、究極的には人間が感じることに同等以上の感覚を持ち・検知できる検知手段である。

人間が外界の様子について情報として捉えるセンサが、人間が持つ五官より優れたものであれば、今までわからなかったことがわかるようになり、無意識の感覚を制御できるようになる。その結果、感覚に寄るところが多い快適・利便についての満足度が向上することとなる。そのためには、センサ単体の精度・感度向上や新しいセンサの開発、複数のセンサからの情報に高度な処理を施すことが行われてゆくことになる。特に、新しいセンサの開発は、従来の物理量検知のセンサに加えて化学量検知のセンサが増大し、また検知原理には環境への優しさとセンシングの基本への立ち返りから、従来の工学的アプローチとは異なる、自然の知恵が詰まった新しいものづくりのヒントが潜んでいる生物模倣技術が積極的に活用されると考える。

センシングは詳細に見れば1つ1つが極めてシンプルな原理で実施できるものであるために、まったく新しいドラスティックな検出原理が見いだされることは稀であるが、既存の検出原理でも新たなセンシングに実用化することが、センサ開発者の本望であると考え、取り組んでゆきたい。

- 1) 加藤光治, デンソーカーエレクトロニクス研究会: 図解カーエレクトロニクス[上]要素技術編 日経BP (2010) p 106
- 2) 樋口正浩: 「自動車における快適・利便製品のデンソーの取組みと将来の方向」 デンソーテクニカルレビューVol.5 (2010) p 10-19
- 3) 日産HP: TOPニュース2009年7月-9月(7月23日)
- 4) スバルHP
<http://www.subaru.jp/news/2010/eyesight/>
- 5) 加藤光治, デンソーカーエレクトロニクス研究会: 図解カーエレクトロニクス[下]要素技術編 日経BP (2010) p 130-134
- 6) 谷越欣司: 「センサーのしくみ」 電波新聞社 p 148-157
- 7) 松橋肇: 「車載用半導体センサ入門」 三松株式会社 p 199-201
- 8) 本田祐次他: 「エアコン制御システムのセンサ新技術」 デンソーテクニカルレビュー Vol.9 No.2 2004 p24-29
- 9) 原田茂幸他: 「車室内空気質改善技術」 自動車技術 Vol.65, No.12, 2011 p35-41
- 10) 加藤喜美子: 「においセンサ技術」 自動車技術 Vol.65, No.12, 2011 p59-64
- 11) 川西信也他: 「エアコン用高感度ほこりセンサ GP2Y1002AU」 シャープ技報 第82号2002年4月 p 58-59
- 12) 須川成利: 「広ダイナミックレンジイメージセンサの技術動向」 応用物理 第81巻 第2号 (2012) p 97-101
- 13) 角本兼一他: 映情学誌 57, 1013 (2003)
- 14) Y.Egawa, etc: 2006 Asian Solid-State Circuits Conference, 135 (Hangzhou, 2006)
- 15) 井出典子他: 映情学誌 64, 335 (2010)



<著 者>



吉田 貴彦
(よしだ たかひこ)
IC技術2部
半導体センサ開発