

特集 空気質の見える化* Visualization of Air Quality

四方一史 Kazushi SHIKATA 岩間伸治 Shinji IWAMA 太田浩司 Koji OTA 加藤健一 Kenichi KATO
片岡拓也 Takuya KATAOKA

Various cabin-comfort related products have been commercialized over the past decades because of strong demands from vehicle users. However, the effectiveness of air-quality related products for cabin comfort is very difficult to detect for the five human senses. Therefore, a user's recognition of the air-quality is always a key issue. An HMI (Human Machine Interface) technology, that can visualize air quality, has been developed to facilitate users intuitively recognizing the effectiveness of air quality and eventually enhancing the appeal of air-quality related products. This paper describes the current development status of the visualization technology and some typical air-quality related products.

Key words : Air Quality, Sensor, Visualization, Five Senses, HMI, Purification, Dust, Smell, Humidity

1. まえがき

車室内快適性分野には、温熱快適性や空気質関連のものがあり、健康・美容といった新たな価値までが広く期待されている。暑い・寒いといった温熱快適性は、うれしさを五感で感じられるため直接的に価値を理解頂きやすいが、空気質は五感で感じられにくいものが多くあり、それらの価値をユーザーに分かり易く伝えるHMI技術が重要になってくる。

本論文では、ユーザーへの訴求価値を高める方法の一つである、「空気質の見える化」の取り組み状況と、代表的な空気質商品について報告する。

2. 空気質の特色

Fig. 1に空気質商品のロードマップを示す。完全浄化された自然空気の再現を目指し、有害成分浄化と不足成分付加の二つの方向性から様々な商品が開発されてきた。今後さらに有用成分を付加し、健康・美容といった新しい価値訴求や疲労の認知・軽減といった安全面に関する商品が求められてきている。

ここで、車室内を快適にする空調商品の訴求力について考察する。温熱快適性と空気質の二つが主要な製品分野となっており、ユーザーへの価値の訴求が商品力となっている。両者を比較すると、Fig. 2に示すように温熱・冷熱は人間の五感における触覚により体感が可能である。一方空気質は五感で感じられにくいも

のが多く、これらを視覚・聴覚といった情報に変換し、ユーザーに認識することを可能とする、センシングやディスプレイ表示による「見える化」が求められている。

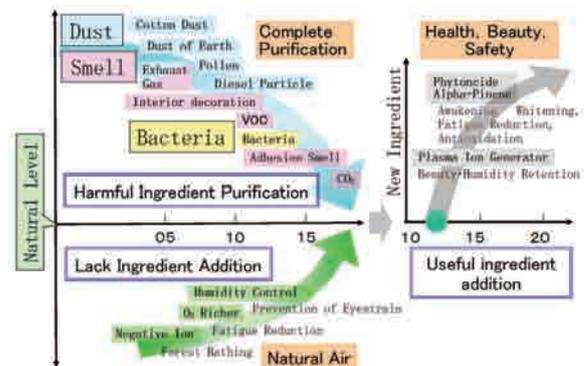


Fig. 1 Roadmap of Air Quality

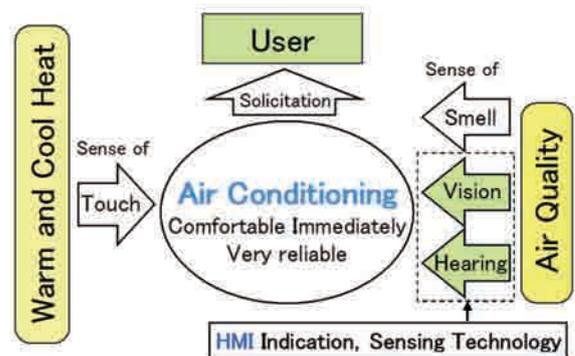


Fig. 2 Solicitation of Air Conditioning Product

*2013年7月19日 原稿受理

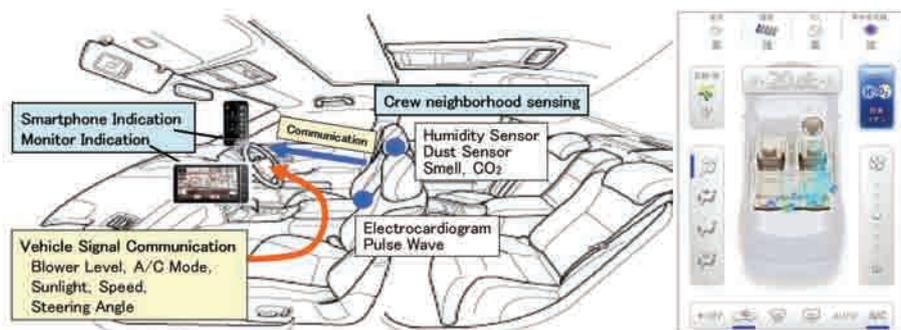


Fig. 3 Visualization of Air Quality

3. 見える化技術

空気質に求められる情報について以下にまとめる。左から、知りたい情報，ユーザーの要望，五感認知性について示す。

- 湿度：目の乾き，肌の乾燥を防ぎたい。△（困難）
- 花粉：花粉症を抑える，マスクを外したい。△（困難）
- PM2.5：健康・安心を得たい。×（不可）
- 菌：除菌空間の安心を得たい。×（不可）
- 臭い：臭わない空間。○（容易）
- CO₂：新鮮な空気。△（困難）
- 紫外線：日焼けを防ぎたい。×（不可）
- 空気質を更に安全，健康といった情報に発展させる。
- 疲労：安全運転。△（困難）
- 体調：健康状態が知りたい。△（困難）

このように様々な空気質の中には，臭いのように嗅覚で感じられるものもあるが，それ以外の空気質は五感で感じられにくいものが多くあることがわかる。それら情報をユーザーに認知頂く方法として，センサーで検知した値を表示する「見える化」がある。すなわち，空気質の状態を乗員近傍に設置したセンサーで検知し，その信号を車両に設けられたモニターやスマートフォンへ通信することにより表示させることで，ユーザーが空気質の状態を知ることができるようにしたものである。このようなセンシングにより空気質の見える化を実現するだけでなく，この情報をフィードバックすることで自動的に空気質を良好な状態に制御することも可能となる。

このようにセンサーを設置することで直接的に空気質の状態を検知する方法が一般的であるが，追加部品による費用がかかってしまう。そこで，空調の作動状態や日射などの車両情報から得られる信号を用い，等価的に空気質の状態を推定することで費用をかけずに

見える化を実現する技術も必要になると考える。

空気質の見える化を実現したイメージをFig. 3に示す。このような状態表示の価値は空気質に限られるものではなく，例えば心電や脈波などのデータからユーザーの疲労度を表示したり，健康状態をモニタリングすることにも発展できるものと考えられる。そのためにも，ユーザーに分かり易く表現するHMI表示技術が今後ますます重要になってくる。

4. 空気質の各要素技術

次に構成する空気質商品の各要素について紹介する。

4.1 CAF(キャビン エア フィルタ)，花粉除去システム¹⁾

花粉症を患う人が増加し，花粉への対応要求が高まっている。日本における花粉の種類と飛散時期は様々であり，一年の殆どの期間，何らかの花粉による花粉症の恐れがあるといえる。

「花粉除去フィルタ」は，ほとんどの花粉が捕集できるように開発されたものである (Fig. 4)。これをエアコン通路に設定することにより，運転中の車室内への花粉の侵入はほぼ阻止出来ている。しかし，乗員が車に乗り込んだ時に，乗員と一緒にドアから進入する花粉に対しては素早く除去する手段がなかった。この対応として花粉除去システムが製品化されている。

花粉除去システムは花粉除去フィルタを通過した清浄空気を顔部に目掛けて吹き出すことにより，顔部の花粉濃度低減を行う。杉花粉が飛び始める1月後半頃にはオートエアコンでは足元に風を吹き出すため，一度車室内に入った花粉が花粉除去フィルタを通過した清浄空気と混じる事により，顔部の浄化に時間がかかっていた。そこで，花粉除去モードでは，(1) 顔部から素早く花粉を除去するために，冬場でもFace吹出し

口から花粉除去フィルタで浄化した空気を吹き出す事により乗員の顔部を包み、(2) 車室内全体の花粉を素早くフィルタに取り込むために内気モードとし、風量をアップしている。これにより数分後には車室内全体は清浄な状態となり、従来のFootモードに戻すことが出来、顔部の冷風感を取り除く事を可能としている。また、外気温度などを考慮し、窓曇りなどを生じない細かな制御などが施されている。Fig. 5, Fig. 6に示すように花粉除去モードにより運転手の顔部を30秒程度で浄化可能にしている。

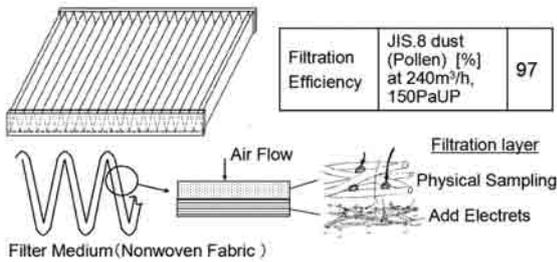


Fig. 4 Pollen CAF (CAF : Cabin Air Filter)

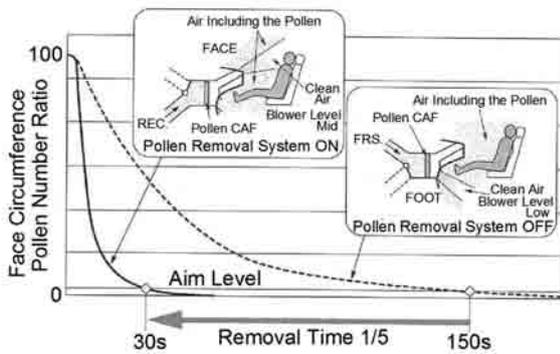


Fig. 5 Pollen Removal Time

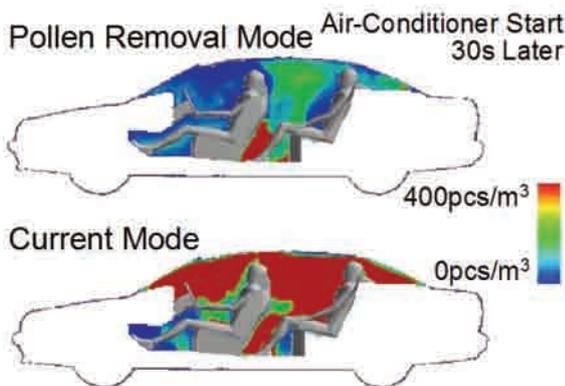


Fig. 6 Pollen Density Distribution Comparison (Simulation)

4.2 プラズマイオン発生機

プラズマ放電を用いたイオン発生機としては、Fig. 7に示すようなマイナスイオンとプラスイオンを同時に発生させるものが開発されており、このイオン発生により、除菌や脱臭、保湿といった効果がある。プラズマイオン発生機により生成された活性酸素が浮遊菌に付着すると、その強い酸化力により浮遊菌細胞表面(蛋白質)の水素を抜き取ることにより、浮遊菌を不活性化する (Fig. 8).¹⁾

車両への適用例をFig. 9に示す。空調用のダクト経路にイオン発生機を設置し、空調吹出し口よりイオンを車室内に供給しているもので、運転席を中心に高いイオン濃度が確認されている。脱臭効果をFig. 10に示す。自然減衰と比べると、約20分後より効果が現れ始め、約40分で臭いを感じられなくなっている。

次に肌への保湿効果をFig. 11に示す。送風を顔部に当て、イオン発生有無での肌水分量比較を行っている。イオン発生により、5%以上肌水分量を高く保つことが出来、保湿効果に十分有意性があることが確認された。しかし、この効果は体感的には中々実感しにくく、見える化により効果示唆することでさらにユーザー価値が高まるものと考えられる。

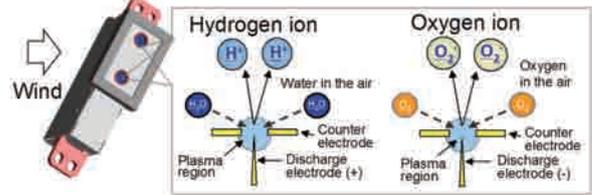


Fig. 7 Principle of Plasma Ion Generator

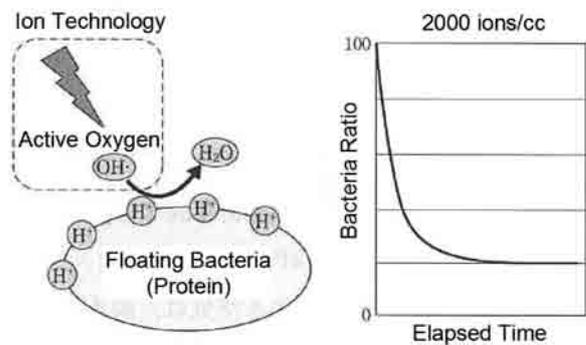


Fig. 8 Principle and Effect to Reduce Bacteria

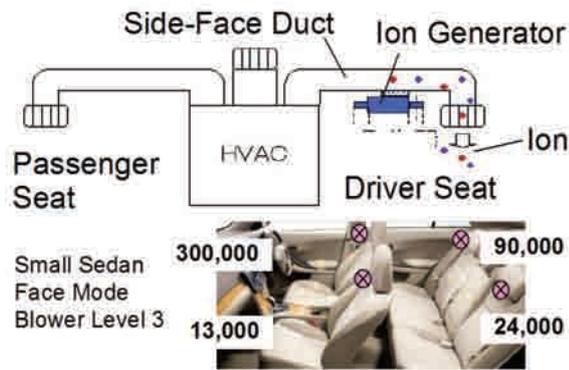


Fig. 9 Test Condition Example of Ion Density

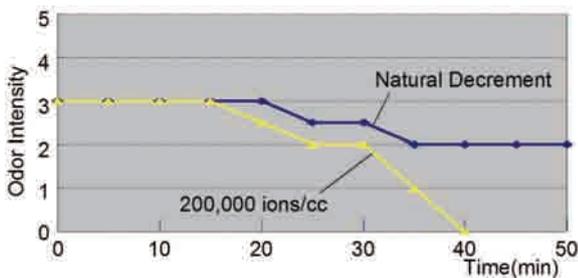


Fig. 10 Deodorization Effect

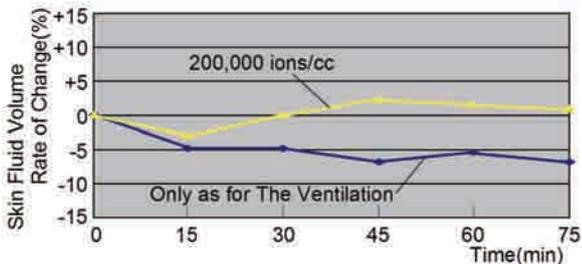


Fig. 11 Humidity Retention Effect

4.3 酸素富化装置²⁾

車室内の空気は、人間の呼気によりその酸素濃度は徐々に減少する (Fig. 12)。これに対し、空調を外気モードに設定することで対応することは物理的に可能だが、都市部などでは排気ガスによる外気の汚れで外気モードに切り替えるのが難しいという状況である。

この酸素濃度の低下は運転者の身体能力に影響を与える。広島国際大学との共同研究によると Fig. 13 に示すように僅か0.3%の酸素量低下にて軽作業や運転作業に対する影響が認められた。

この車室内の酸素量低下を改善するシステムが酸素富化装置であり、「酸素富化膜」を利用して車室内の酸素濃度向上を図るものである。

酸素富化膜は、空気を構成する分子である窒素 (N₂) より酸素 (O₂) の方が膜を透過するスピードが速いため、膜を透過した空気を、透過する前の空気よりも酸素濃度を高くすることができる。この酸素富化膜を透過させることで、通常の酸素濃度約21%の空気から、約30%の酸素濃度の空気を得ることができる (Fig. 14)。

酸素富化装置の構成を Fig. 15 に示す。酸素富化装置は、主に換気ファンと酸素富化膜と真空ポンプより構成されており、換気ファンにより取り入れた空気 (トランクルーム内) は酸素富化膜表面へ送気され、真空ポンプによって酸素富化膜下流側を約40kPaに減圧することで空気は酸素富化膜を透過する。この時、酸素分子 (O₂) は窒素分子 (N₂) よりも酸素富化膜を透過しやすいため、酸素富化膜下流側空気は酸素濃度がおおよそ30%まで上昇する。この酸素富化された空気が真空ポンプにより車室内へ供給される。



Fig. 12 O₂ Density Change in the Cabin (Rec-Mode/One Ride)

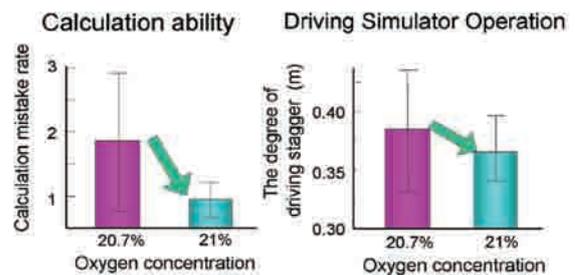


Fig. 13 Influence to give to the Physical Ability of the O₂ Density Drop

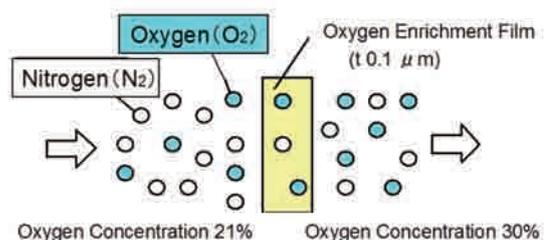


Fig. 14 Mechanism of O₂ Rich Air Generation

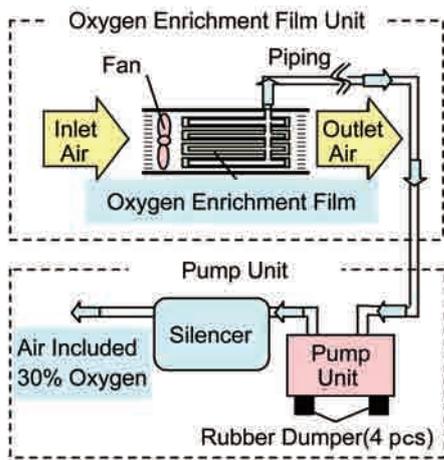


Fig. 15 O₂ Richer System

4.4 α-ピネンによる心理的ストレス低減³⁾

α-ピネンとは、樹木の香り成分であり、吸引した場合に副交感神経系を活性化させ、疲労感や心理的ストレスを緩和させる効果が報告されている。このα-ピネンを供給した場合のドライバの運転特性について、供給濃度と心理的ストレスとの相関を分析し、運転中における心理的ストレスの緩和（沈静効果）の観点からその有用性について考察する。

香りの供給は、ドライバの顔面付近に断続的に供給する方式とした。この際、流量の変化から香りの供給タイミングを被験者が知覚できないように、香り供給用のノズルのほか、空気のみを常時噴射するノズルを設置した。実験装置の概要をFig. 16に示す。

α-ピネンのドライバへの供給量は、6水準の嗅覚刺激レベルに関する主観評価を調査に参加する被験者に依頼し、4水準の供給濃度をFig. 16に示した脈動ポンプのエア流量を可変させることにより設定した。エア流量と主観評価により得られた嗅覚刺激レベルとの関係をFig. 17に示す。

α-ピネンを成分とする香り供給による運転行動の変化について、前方車両衝突防止支援警報装置（Forward Vehicle Collision Warning System, 以下FVCWSと略記）を例とする警報を提示した場合と比較して、予防安全の観点で、どのような特徴の差異があるかについて、反応時間と車間時間を評価指標として考察する。なお、α-ピネンの供給濃度は、濃度水準4（Level 4）の場合を例に分析する。

車両の前方に設置したLEDの点灯に対する反応時間（13名×50回程度の平均値±標準偏差）をFig. 18(a)の左側に示し、前方注視点から左右に45度の位置に設置し

たLEDの点灯に対する反応時間（同様に13名×50回程度の平均値±標準偏差）をFig. 18(a)の右側に示す。いずれも、香りの供給、または警報の提示前30分間（■）と提示後30分間（□）での計測結果について、その平均値と標準偏差を示す。また、Fig. 18(b)には、香り供給、または警報提示前30分間の調査結果を基準として、供給後30分間の調査結果を比率で示し、多重検定法の一つであるBonferroni法により、香りを提示した後の反応時間について、警報を提示した場合と香り成分を提示しなかった場合との有意差について分析した。

まず、Fig. 18(b)の左側に示す正面の視覚刺激に対する反応時間については、香り成分を供給する運転環境と警報を提示した場合で、有意差は確認できない。これに対し、Fig. 18(b)の右側に示す左右45度方向の視覚刺激に対する反応については、香りを供給した場合と警報を提示した場合で有意差が確認され、香り供給の優位性がみられ、α-ピネンを供給した場合には、心理的ストレスを軽減する効果が確認されている。この結果、視野の周辺に対する視覚刺激に対する反応時間が顕著に短縮したものと思われる。また、香りを供給していない場合（Control）では、反応時間の短縮はみられなかった。香り供給状態における反応時間の短縮は、α-ピネンの薬理効果によるものであると判断することができる。

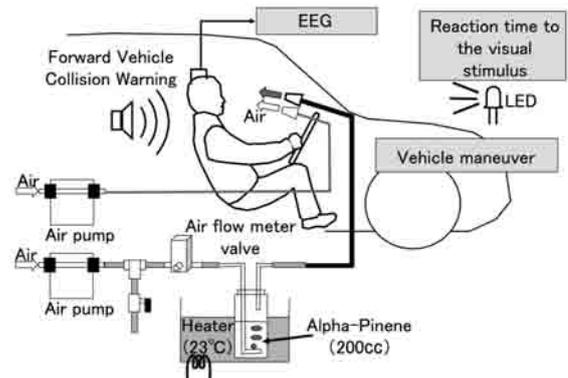


Fig. 16 Experimental System

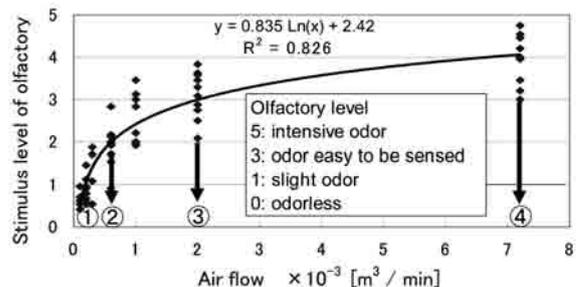


Fig. 17 Relation between the Air Flow (Density Level) and Stimulus Level of Olfactory during the Supply of Alpha-Pinene

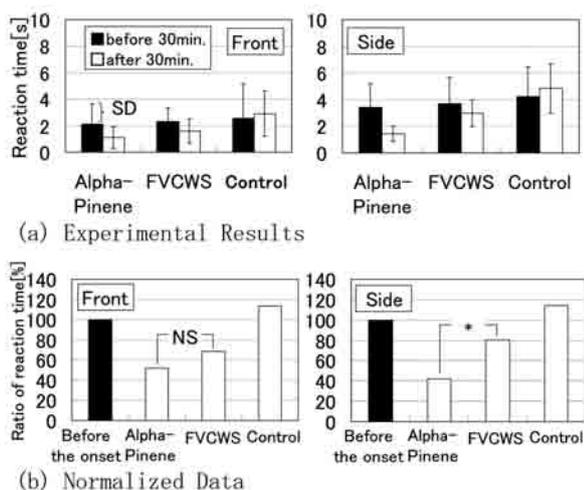


Fig. 18 Reaction Time to the Visual Stimulus

4.5 湿度コントロールシステム

車室内空気質の残された課題の一つが加湿である。自動車は、安全に運転するための視界の確保が必要であり、車室に占める窓ガラス面積の割合が大きい。自動車空調には、乗員の快適性向上に加えて、窓が曇らないように維持する役割が求められる。そのため、冬季は車室内空気の露点温度をガラス温度より下げる必要があり、車室内は低湿度となる。夏季は、外気温度が高いため窓曇りの心配は無いが、窓から入ってくる日射の熱負荷をキャンセルするために大きな冷房能力が必要となり、エバポレータの温度が下げることでも除湿量が増えるため、やはり低湿度となる。

車室内の湿度の低下は、眼、鼻、のどの粘膜の乾燥による不快感につながるだけでなく、ドライアイや乾燥肌にもつながる可能性があり、乾燥感の緩和が求められている。湿度コントロールシステム⁴⁾は、温湿度センサ (Fig.19) により窓ガラス表面の曇りやすさを検知し、冬季に窓が曇らない範囲で内気率を上げ熱負荷を低減するシステムであるが、乗員の呼気に含まれる水分をできるだけ車室内に留めて車室内の湿度を上昇させる効果もある。このシステムでは、冬季の外気 5℃ 相対湿度 50%RH の環境で 1 名乗車の場合、システム作動により約 8% の湿度上昇が得られる。

今後は、窓を曇らせることなく更に湿度を上げるため、眼、鼻、のどや皮膚のケアが特に求められる乗員の顔周りだけを加湿する手段が求められると考えられる。



Fig. 19 Temperature-Humidity Sensor

5. むすび

これまで様々な空気質商品が開発されてきたが、空気質のうれしさは中々実感しにくいのも事実である。一方、今後ますますユーザーの車室内の快適性向上や PM2.5 のような社会問題への対応、さらには健康・美容といった領域までの空気質への期待が高まると思われ、それに応える空気質商品の開発とともに、それをユーザーに分かり易く伝える技術が必要となってくる。その実現手段の一つである、「空気質の見える化」技術を更に高め、社会に貢献していきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 藤原健一監修，カーエアコン研究会編著：カーエアコン 東京電機大学出版局 (2009)，p.62, 63
- 2) 自動車技術 = Journal of Society of Automotive Engineers of Japan 62 (2) , 2008-02-01, p.68-71
- 3) 鈴木，他：「自動車技術会論文集」40 (1) , 2009-01, p.193-198
- 4) Shinichiro, H. : The Humidity Control System Applied to Reduce Ventilation Heat Loss of HVAC Systems, SAE paper 2011-01-0134 (2011)

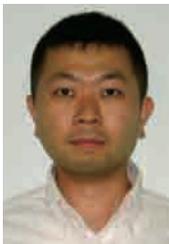
<著者>



四方 一史
(しかた かずし)
熱システム開発部
車室内快適性商品の開発に従事



岩間 伸治
(いわま しんじ)
熱機器開発1部
車室内空調製品の開発に従事



太田 浩司
(おおた こうじ)
熱事業グループ F P 開発室
車室内快適性商品の開発に従事



加藤 健一
(かとう けんいち)
空調冷熱事業部 アフター
マーケット室
車室内空気浄化製品の開発
に従事



片岡 拓也
(かたおか たくや)
熱機器事業部 ウェルネス
開発室
工学博士
車室内空調製品の開発に従事