

特集 車室内空調快適性の最新技術*

New Technology of Climate Control Comfort in Passenger Compartments

片岡 拓也

Takuya KATAOKA

加藤 健一

Kenichi KATO

熊田 辰己

Tatsumi KUMADA

水野 安浩

Yasuhiro MIZUNO

New technologies regarding climate control systems are introduced in the field of thermal comfort and air quality. As for thermal comfort, the characteristics of thermal environment and the thermoregulatory response of passengers in passenger compartments are discussed, also a climate control system using an infrared sensor is introduced. As for air quality, the mean age of air simulation and pollen concentration simulation are introduced as examples of a numerical air purification simulation. The effect of the pollen removal mode is also shown.

Key words : Thermal comfort, Air conditioning, Air quality, Air purifier, Sensor, Simulation

1. まえがき

振動、騒音、乗り心地と同様、空調は自動車車室内の快適性に重要な位置を占めている。空調快適性は大きく温熱感と空気質の二つに分けられ、前者は熱システムやHVAC(Heating, Ventilating and Air-Conditioning)の発展と共に、後者は浄化や付加技術の発展に支えられて、快適性が向上してきている。

近年では、車室内の気流や温度分布の改善、熱負荷や乗員の状態の検知により、一歩進んだきめ細かな快適空間創造技術が実現されてきている。

本論文では、それらの技術の背景と実現手段について紹介する。

2. 自動車室内温熱環境の特性と乗員の温熱快適性

自動車室内の温熱環境は一般の住宅の環境とは大きく異なる。自動車は、車体伝熱や日射などにより周囲の環境の影響を受けやすく、空調風の吹き出し口が乗員に近いので、車室内の温度と風速の分布が大きい。また、通勤や買い物といった一般的な自動車の使い道では乗車時間が余り長くないので、乗車時間に占める冷暖房立ち上がり時間の比率が高く、この間の快適性向上も重要になる。

夏季冷房立ち上がり時の乗員周りの空気温度変化例をFig. 1に示す。これは、夏季に炎天下駐車していた車に乗車し、エアコンを作動させ、最大冷房状態で40分間走行した際の温度変化である。条件は、外気温度35℃、湿度60%RH、日射1160W/m²、乗車後の走行速度は40km/hである。試験車の前席乗員周り十数点の空気温度を計測し、その平均値と最大値、最小値を図示している。

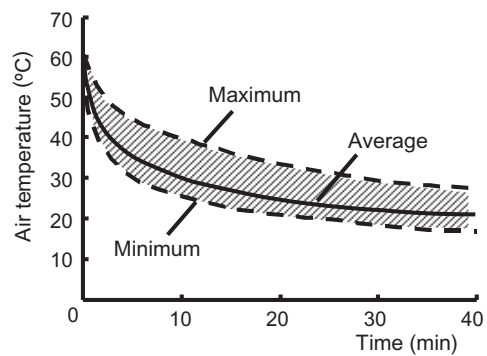


Fig. 1 An example of air temperature distribution around a passenger

車室内の初期温度は60℃に達しており、乗員周辺平均温度が25℃となるのに約20分かかる。また、最高最低温度の差は10℃以上もあり、温度分布の不均一性が大きいことが分かる。

このような温度分布が生じているのには、①空調風の吹き出し口が小さく数が限られており、しかも、乗員の間近にあるため気流の影響を受けやすい、②壁面で空気が加熱または冷却される、という原因が考えられる。①に関しては、温度分布に影響を与えるだけでなく、風速分布そのものが乗員の温熱快適性に大きく影響している。

Fig. 2は同じ試験における、車室内各部の表面温度の変化を示している。日射が当たるインストルメントパネル(以下インパネと略す)とガラス表面温度は車室内空気温度を越え、駐車時にインパネは90℃にも達する。車室内においては日射が直接乗員に当たることがあるのに加え、内装壁面温度の不均一性が大きく、乗員に対する放射温度環境が不均一であることが分かる。

*2005年3月14日 原稿受理

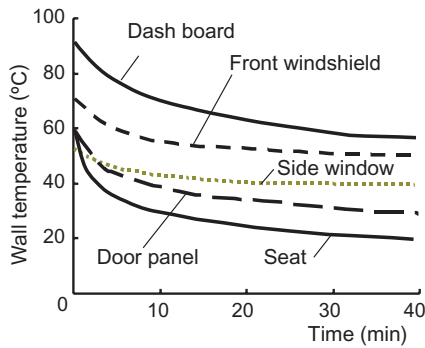


Fig. 2 An example of wall temperature distribution in a passenger compartment

冷房立ち上がり時の乗員周りの温度風速分布を数値計算により求めた例をFig. 3に示す。温度分布と同様に、風速分布が大きいことが分かる。

一方、乗員の温熱感覚の面から考えると、車室内環境はどうあるべきであろうか。

温熱快適性は、ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）によって、「その温熱環境に満足を示す心の状態」として定義されており、快適性は心理状態、感覚として表される¹⁾。この感覚は皮膚近くの温度受容器と視床下部にある体温調節中枢の生理信号を総合しているものと考えられているが、その信号は人体の熱的な状態に基づいている。

人体の熱的な状態に影響を与えるのは、空気温度、放射温度、気流、湿度、着衣量、そして、代謝量であり、これらは温熱六要素と呼ばれる。人間は恒温動物であり、代謝によって生成する熱を周囲の環境に放熱しつつ、常に体温を一定の範囲に制御している。

このような人間の生理反応や温熱感覚の特性は住宅環境下と基本的に変わらないので、快適性の目標も同等に考えることができる²⁾。しかし、前述のように不均一性と非定常性の大きい車室内環境で温熱快適性を向上するには異なるアプローチも必要となる。その一つ

に、乗員が座席に着座し、自由に動き回ることができない車室内で、各自の温熱感を満足できる空調の提供がある。

環境温度が変化した場合の人体の代謝、血流、発汗反応の変化、および、人体から環境への伝熱量の変化をGaggeの人体伝熱モデル³⁾で計算した例をFig. 4に示す。

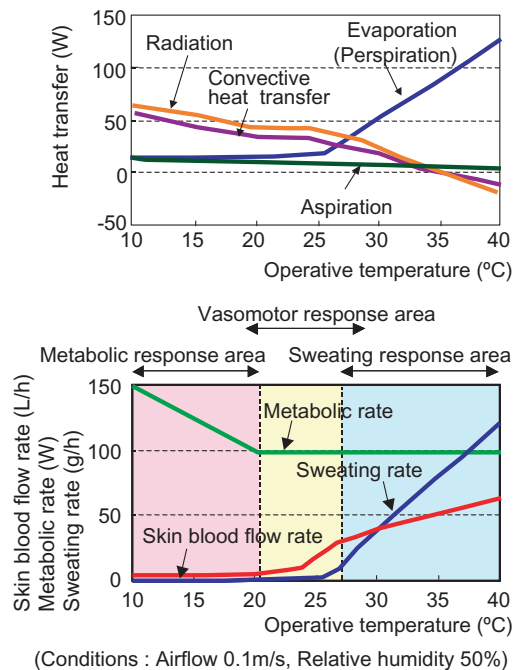


Fig. 4 Physiological regulatory response and heat transfer of human

人体から環境へは、対流、放射、蒸発によって放熱をしている。環境温度が低下し皮膚温との差が広がると、皮膚からの対流と放射による放熱が増加する。これに対し人体は、血管収縮し皮膚への血流量を減らすことにより皮膚温を低下し放熱量を抑え、体深部の温度低下を防ぐ。更に温度が低下すると、代謝量を増加

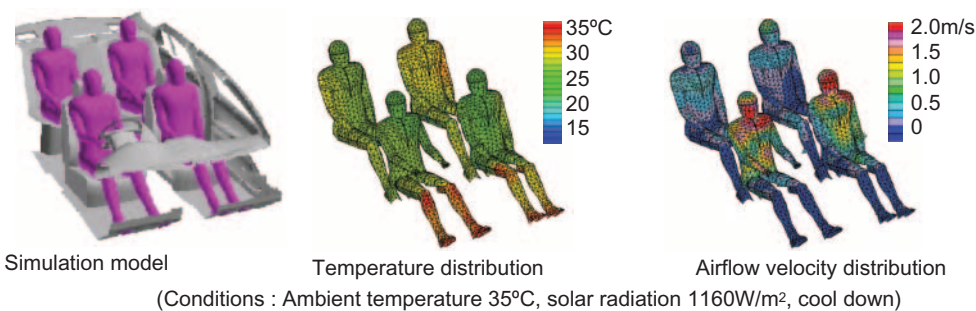


Fig. 3 Simulation results of temperature and airflow velocity distribution around passengers

させ、ついにはふるえにより産熱するようになる。一方、環境温度が上昇すると、皮膚血流量を増加させ皮膚温を上昇し、対流と放射による放熱を維持しようとするが、それには限界があり、発汗を促進させ蒸発による放熱量を増加させる。

人体にとって最も良い状態は体温調節の負担が最も軽い状態であると考えられており、Fig. 4の血流調整域がそれに当たる。この血流調整域になる温度帯は、風速などの環境条件だけでなく、着衣や代謝量、体格などでも変化し、これが個人の好みの一因となっている。風速、着衣、基礎代謝量が変化した場合の、この温度帯の変化の一例をFig. 5に示す。

このような生理量の差に好みの差も加わることで、各乗員に対する最適環境は異なる。このことから、室内環境の不均一性や非定常性の緩和に加えて、この各自の温熱感を満足できる空調の提供も必要である。

3. 自動車室内温熱快適性の実現技術

前章で述べた課題とその対応技術の方向性をFig. 6に示す。空調は、初期は暑さ寒さからの脱却から始まり、現在では不均一や非定常の部分不快からの脱却が主な課題となっており、これらの負の要因を取り除いた後に、積極的な快適性の得られる空調へと進んでいくものと考えられる⁴⁾。

これらの課題の中で、不均一の解消に関しては、インパネ上面の拡散風吹き出し口や後席用の吹き出し口の増設など、ドラフト感を低減しつつ均一な温度場を実現する空調が現れつつある。同時に、シートヒーターやクーラを用いた着座部を含めた均一な冷暖房も進みつつある。

最も大きな外乱要因である日射の不快感低減のため赤外線カットガラスの採用が進み、また、車室内に侵入した日射の不快感低減のために偏日射時に日射が照射した側の乗員の空調温度を自動的に下げる偏日射制御が採用されている。

温熱感の個人差に対応する技術としては、乗員個人の好みに合わせた独立温度コントロールエアコンが実現しており、各乗員の好みに合わせた温度設定に加えて、日射負荷の分布に応じた制御も可能にしている。

このような、即効と均一および乗員の状態に応じた空調を目指す上で、自動車室内環境下の乗員の状態および環境を知り、最適な制御をすることも重要である。このような技術に関する最近のトピックスに、赤外線センサを用いて乗員の状態と熱負荷を直接検知するエアコン制御があるので⁵⁾以下それを紹介する。

Fig. 7に赤外線センサ（以後IRセンサと記す）と検知領域のイメージを示す。このセンサは、車室内壁面温度および乗員表面温度を非接触で直接検知し、これ

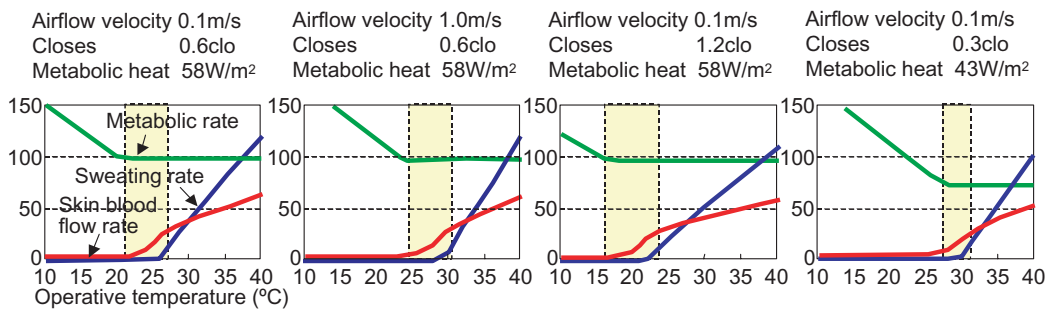


Fig. 5 Relation between comfort area and conditions

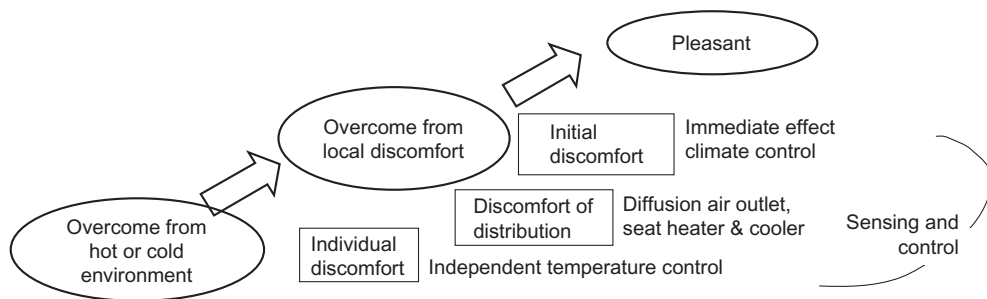


Fig. 6 Trend of climate control system

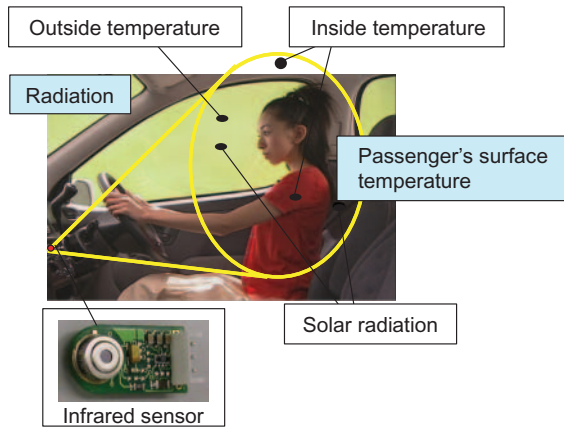


Fig. 7 Infrared sensor and its sensing target

を用いることにより、車両熱負荷の直接検出と乗員温熱感を考慮したオートエアコン制御が可能となる。

従来のオートエアコンは内気温度センサ、外気温度センサ、日射量センサの三つのセンサ出力から空調負荷を推定し室温を制御している。IRセンサでは、ガラス、日射のあたる内装部位、天井、乗員の四部位の表面温度で内気温度、外気温度、日射量を推定する。その上、乗員表面温度および放射に影響する壁面表面温度を直接検出することで、従来センサシステムに比べより乗員の温熱感を考慮した空調を行うことができる。

乗員表面温度検出には、乗員の熱履歴に応じた制御により、非定常時の快適性を向上できるメリットがある。一例として、冬季外気温が低い状態のとき、乗員が一時的に車外に出て再乗車した場合を取り上げる。乗車時の乗員表面温度はFig. 8に示すように低下しているが、従来の内気温センサは車室内の空気温度を検出しているため乗員の温度に応じた制御はできない。一方、IRセンサは冷えた乗員表面温度を検出するため、より暖房を強めに補正制御し、短時間で乗員の温熱感を回復させることができる。Fig. 8の例では、従来制御では乗車後5分でも「やや寒い」状態にしか回復しないのが、IRセンサを用いた制御では「やや涼しい」状態まで回復する。

IRセンサの別の効果として、熱負荷の直接検知が挙げられる。一例として、冷放射とコールドドラフトについて取り上げる。冬季外気温が低いときの高速走行時にはガラス表面の温度が低下し、このガラス面からの冷放射とコールドドラフトで乗員の窓側部位で肌寒さを感じる場合がある。このときの温度分布をFig. 9に示す。これも従来の内気温センサでは検知できない

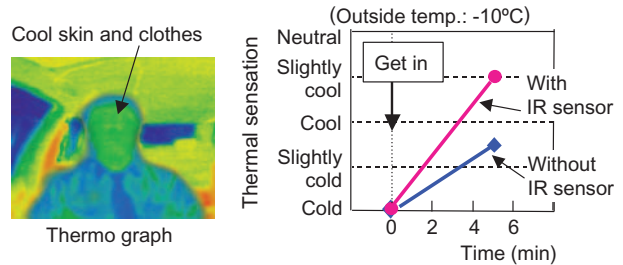


Fig. 8 Optimum control for thermal history of passengers when they get in from very cool outside

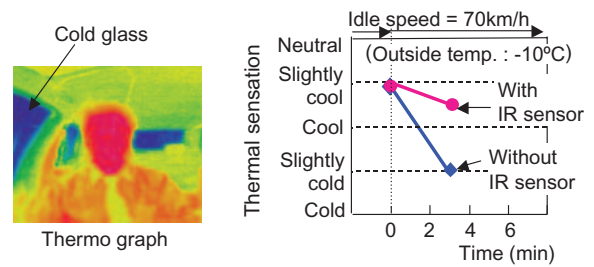


Fig. 9 Optimum control for cold draft and cold radiation when a car drives fast in very cool weather.

ため、窓側の半身は寒さを感じるが、IRセンサは窓ガラス表面温度を検出することで放射分の空調補正を行うことが可能となり、快適性を向上できる (Fig. 9)。

4. 自動車室内気流コントロールによる空気質改善

快適性の向上には、不快感の低減と、より積極的な快適性の追求という二つの側面があり、空気質では、それは浄化と付加である。浄化は車室内空気から車外から侵入する排ガスや埃、室内で発生する体臭やVOCなどを取り除くものであり、後者は例えばマイナスイオンや香りを室内に供給することである。

浄化に関しては、単にきれいな空気を室内に供給するだけでなく、室内気流によりコントロールするアイデアが建築分野を中心に研究されている⁶⁾。この研究には数値流体解析が応用され、成功を収めており、自動車への応用も可能である。

自動車の空調の吹き出し口は、冷房時に乗員の顔付近に冷風を送るFACE吹き出し口と、暖房時に足元に温風を吹き出すFOOT吹き出し口、窓曇りを除去あるいは防止するデフロスターがあり、温熱感や視認性のニーズから吹き出し口が選択される。

ところが、この吹き出し口により車室内の空気質も少なからず影響されることが分かっており、数値解析

を用いてこの影響度合いを定量的に評価することが可能になってきている。Fig. 10に平均空気齢の数値解析結果を示す。平均空気齢⁹⁾とは、室内に供給された空気が室内に滞在する時間の長さを示しており、室内に汚染源が分布している場合、若い空気は新鮮で、空気齢の大きな部分は汚れていることになる。解析結果は、同一換気風量で吹き出し口を変えた場合の平均空気齢分布を示している。この結果から、FACE吹き出し口はFOOT吹き出し口に比べて車室内の浄化に有利であることが分かる。

このような数値解析技術を利用した気流コントロールの応用例として、以下花粉除去システムについて紹介する。

国内では今や5人に1人が花粉症患者とも言われており、発症時には運転に支障をきたすこともあるほどであり、浄化による車室内快適性向上の一つの重要な課題である。このような背景から、花粉浄化に関しては、フィルタの捕集効率を高めて車外からの侵入を防ぐ技術開発が進められており、高性能な花粉フィルタが開発され、搭載されつつある。

しかし、乗員の乗降に伴う花粉の侵入は避けられないため、①乗降等で室内に一旦侵入した花粉を早く除

去する気流制御方法、②乗員の口元に花粉が届きにくくする気流制御方法、③乗員に付着して持ち込まれた花粉の除去方法、も課題とされている。

これらの課題を検討するために、車室内での花粉飛散状況を解析する技術を開発し、車室内における花粉の除去方法を検討した。この解析では、花粉に加わる空気力と重力を考慮して流動状態を予測すると同時に、壁面への花粉の付着と再飛散も考慮している。Fig. 11に、Fig. 10と同様な吹き出しモードにおける花粉濃度変化の比較例を示す。花粉濃度は初期を1.0としたときの、空調風吹き出し後10秒の分布を図示している。これより、FACE吹き出しの場合に花粉が早く除去され、モードによる優劣は平均空気齢と定性的に一致することが分かる。

この判明した特性を利用し、花粉症の人が乗車したときにスイッチを押すことで、室内を早く浄化する花粉除去システムが開発された。Fig. 12は、花粉除去モードと通常のエアコンモードにおける花粉濃度の時間変化を比較している。図では、初期花粉濃度を1.0としたときの、花粉濃度0.02の等値面の変化を示している。これは、花粉が非常に多い日の花粉量を基準(1.0)とした場合の、花粉の少ない日の花粉レベルと

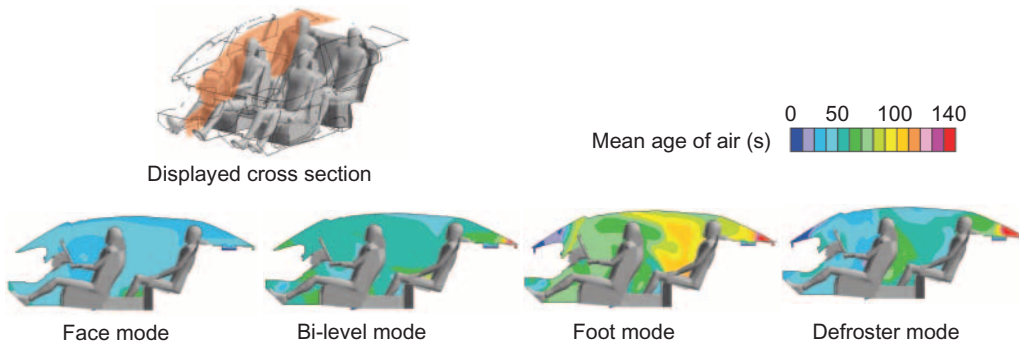


Fig. 10 Example of mean age of air simulation

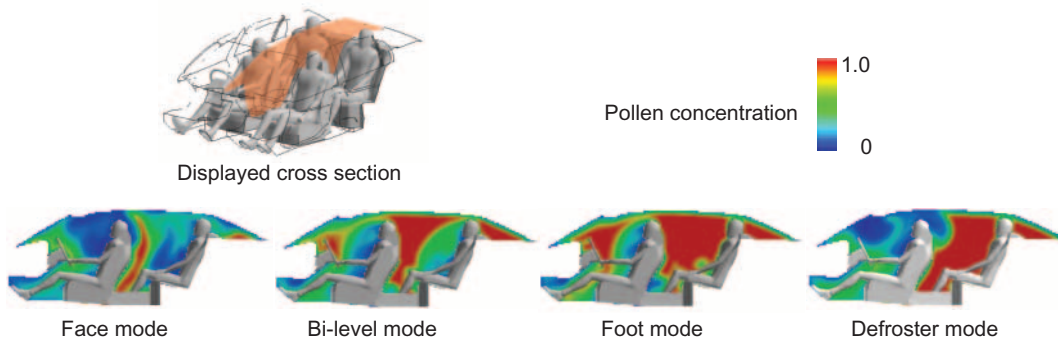


Fig. 11 Example of pollen concentration simulation (10 second after the blower on)

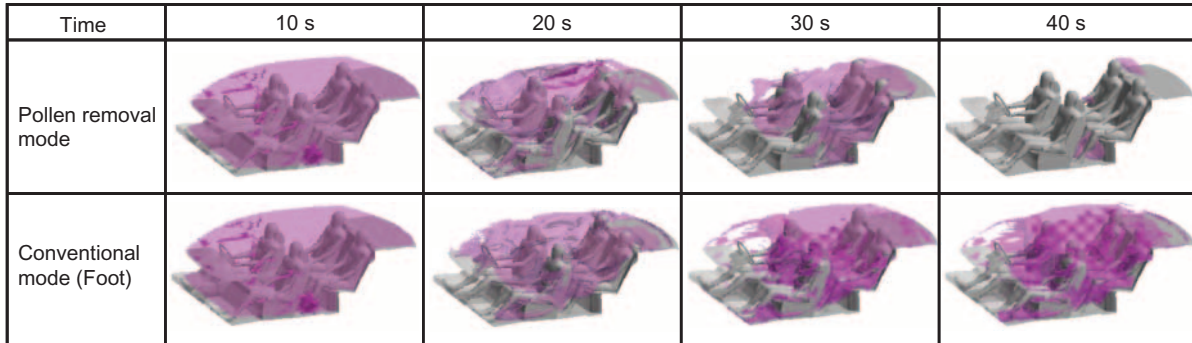


Fig. 12 Comparison of iso surface of pollen concentration (Iso surface of pollen concentration: 0.02)

同等な値である。通常モードでは長時間花粉が飛散しているのが、花粉除去モードでは迅速に花粉が除去される様子が分かる。このときの乗員口元の花粉濃度が低下するまでの時間をFig. 13に比較する。通常モードと比べて除去時間が大幅に短縮していることが分かる。

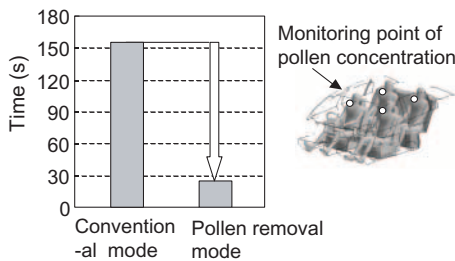


Fig. 13 Effect of the pollen removal mode for purification time reduction

5. むすび

以上、車室内温熱快適性の課題と実現技術、および、空気質の解析技術とその応用例について紹介した。快適性は、常により高いものが求められる傾向にあり、自動車の厳しい室内環境を考えると、更なるステップアップが必要である。今後、インフラ技術である評価・予測方法も活用しつつ、快適性向上に寄与する技術開発を推進する。

<参考文献>

- 1) 田辺：“住宅における温熱環境の評価”，住宅総合研究財団研究年報 No.23(1996)，pp.19-32.
- 2) ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-92R：“Thermal environmental conditions for human occupancy” (1992)
- 3) A. P. Gagge et al：“A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment”，ASHRAE Transaction 93(1987)，pp.709-731.
- 4) 大野 他：“快適性の科学”，朝倉書店(1993)
- 5) 熊田 他：“IR（赤外線）センサを用いた車両用オートA/C制御”，自動車技術会中部支部研究発表会前刷集(2004)，pp.83-88.
- 6) 加藤，梁：“複数の吹出し・吸込がある室内におけるCFDによる着目吹出口の空気齢及び吸込の空気余命の分布性状解析”，生産研究 第55巻 第1号 (2003)



<著 者>



片岡 拓也
(かたおか たくや)
冷暖房開発1部
工学博士
車室内空調製品の開発に従事



加藤 健一
(かとう けんいち)
冷暖房開発1部
車室内空気浄化製品の開発・設計
に従事



熊田 辰己
(くまだ たつみ)
冷暖房開発1部
新オートA/Cシステム開発に従事



水野 安浩
(みずの やすひろ)
冷暖房実験部
空調に関するシミュレーション技術
開発に従事