

4. 自動車起源超微小粒子低減技術

1. 現状分析

(1)自動車用内燃機関の現状

現在自動車用動力源として幅広く用いられているオットーサイクルエンジン、ディーゼルサイクルエンジンはともに 19 世紀後半に誕生した。これらの内燃機関は 20 世紀初頭にはモータリゼーションを担う主たる動力源となり、歴史のニーズに従い、機関出力向上の時代、石油ショックに伴う熱効率向上の時代、大気環境悪化による排気ガス浄化の時代、地球温暖化防止およびフューエルセキュリティーのための燃料多様化と高効率化の時代へと変遷してきた。これらの時代を経て、エンジンに様々な改良が施された結果、この 100 年余りの間に性能は劇的に向上した。しかし、技術が成熟しているため内燃機関自体についてはこれ以上の劇的な改善はほとんど望めなくなっている。したがって駆動系を含めた運転条件の最適化が現在の課題であり、燃費性能の優れたハイブリッド車はこの最適化が適切に行われている実例とみられる。

次に自動車用内燃機関の使用年数（初年度登録から抹消登録までの期間）を把握する必要がある。乗用車の平均使用年数は 11 年弱であるが PM（Particulate Matter）の排出が問題となる大型トラックをみれば 12 年弱の間使用されるとみられる。したがって、2010 年前後から実用化されている DPF(Diesel Particulate Filter)を中心とした後処理装置は 2020 年過ぎにおいても依然として存在していると思われる。ガソリン機関を動力源とする自動車においても GPF（Gasoline Particulate Filter）を取り付けナノサイズの微粒子を除去することが現在検討されている状況、またタイヤやブレーキの摩耗粉に起因する微粒子を含むロードダストが見逃ごせない状況が現在生じているため、超微粒子問題は 2030 年代においても自動車に起因する環境負荷低減問題として残るとと思われる。

(2)新動力源の現状

ガソリン機関、バッテリー、電気モータを組み合わせたハイブリッド車の普及は今後加速するとみられる。またディーゼル機関を動力源とするハイブリッド車については、コスト低減がなされれば急速に普及するとみられる。一方燃料電池等の新たな動力システムによる自動車の技術は、いまだに発展途上にある。電気自動車については、リーズナブルな価格での広範囲な普及は難しく、それらを成し遂げるためには、様々なブレークスルーが必要である。内燃機関の歴史を考えると、今後それらのブレークスルーによる改良は進んでいくものと思われるが、2030 年までの約 20 年の間に、内燃機関を凌ぐものに進化するとは考えにくく、2030 年ごろの自動車用主力動力源は、現在同様内燃機関であると予想される。

(3)超微小粒子問題の現状

本題である自動車に起因する超微小粒子問題のうち内燃機関から排出される微粒子について考えると、この問題は上記のように成熟しきった内燃機関において最も新しい、言い換えると最も解決の遅れている問題である。微粒子の計測手法や DPF については 2000 年以降に一定の進展があり、それなりの対策技術が確立され、また規制も強化されつつある。しかし

超微粒子が環境や健康に与える影響については問題の全体像、本質、対策すべてにおいて不明な点が多く、検討が必要な項目は多岐にわたる。将来の動向については、2010年前後に実用化されたDPFの性能から判断して、現状の環境基準や危惧される健康影響のリスクに対しては2020年以降では一応の解決が見られると思われる。その後は環境基準の強化、燃費問題との兼ね合いでより効率のよい除去方法、燃料およびエンジンアウト時点での問題の根本的解決に、燃焼起因の微粒子問題の解決手法が移行していくと思われる。

一方、ロードダスト中に含まれるブレーキやタイヤの摩耗粉に起因する超微粒子については、その実態の把握が現状での急務であり、その低減対策を講ずる段階に至っていない。内燃機関から排出される微粒子の後処理装置による低減が今後一層進むこと、ハイブリッド車や電気自動車が主流になる2030年代においてもブレーキやゴムタイヤに大きな変化が期待できないこと、インフラ整備としての道路問題の解決には数十年単位の期間が必要なことなどを考慮すれば、ロードダストとしての微粒子やその一因となる摩耗粉の低減が2020年以降の超微粒子の主要技術課題になる可能性がある。

2. 発展シナリオ

超微小粒子の問題解決に向けた道筋を現状から考えると、安定かつ高信頼性のある超微小粒子計測法の確立、人体を含む環境への影響の把握および影響因子の特定、高環境負荷物質の排出源特定、環境負荷の高い物質の排出低減手法の確立となる。本章ではこの流れに沿って話を進めていく。ただし、自動車に起因する摩耗粉については、実態把握が開始されたばかりであり、精度の高い技術予測は困難な状況である。

(1)超微小粒子評価法の確立

超微粒子問題の解決のためにまず必要かつ最も難しいのが、この計測問題である。一般に、ある問題を様々な立場の人達が議論するためには、共通の『ものさし』を持つことが大前提であるが、超微粒子関連の分野においては、その『ものさし』が現段階では存在していない。様々な計測原理を基にした粒子数、粒径分布計測装置は存在し現在市販されているが、超微小粒子の粒径、個数濃度の基準微粒子が存在しないため、計測されたデータには、常に測定原理に基づく計測対象粒子の相違、測定環境による影響、個々の測定装置固有の誤差が含まれる。言い換えれば、計測原理や計測操作ごとに計測される超微粒子の質的内容が異なっている。

基準超微小粒子を排出する装置として現存しているものは、ある決まった形式の燃焼器から排出される微小粒子群を基準微粒子とする方法である。この原理に基づく装置も市販されているが、将来的にはこの方法は淘汰されていくと考えられる。理由としては、再現性の良い基準微粒子を製造する理論的根拠の説明がなされていないこと、排出される粒子が球状ではないため粒径の定義にあいまいさが残ること、排出粒子の安定性が保証されていないこと、装置が大型であること等が挙げられる。さらに、摩耗粉としての超微粒子は内燃機関での燃焼に起因する炭素質の超微粒子と形状や物質が大幅に異なるため、これを評価するための別の観点からの基準粒子も今後必要になる。

したがって種々の物性や形状の粒子に適応可能な基準粒子を模索する必要があるが、現在炭素系ナノサイズ材料の研究開発が盛んであることから、フラーレンを基準微粒子にする方

法が有力と考えられる。フラーレンは非常に安定であり、粒子は球状であり凝集等を起こしにくいため、安価な生産方法が確立されれば迅速に普及すると考えられる。また球状の基準微粒子をもとにディーゼル微粒子でみられる粒子が房状に集まった凝集モードの微粒子を再現することや、針状に近い摩耗粉と球形の基準粒子の関係を明らかにすることも、計測機器の検定のためには必要になる。

(2)超微小粒子の健康影響の把握

この段階でのキーワードは毒性の定量的把握と影響因子の解明である。定量的に毒性を示すことは、微小粒子に関する問題が、健康に悪影響を与える多くの問題の中でどの程度優先的に取り扱う必要があるかを吟味するために、必要不可欠である。仮に優先順位の高い問題であることが示されれば、そのデータはその後の対策を大規模で行うための根拠となる。

もう一方のキーワードである影響因子の解明とは、超微小粒子の毒性がその粒子の質量、表面積、個数のうちのいずれと強い相関があるかを明確にすることである。これは超微小粒子の低減対策の技術的な手法の確立と、それを効果的かつ効率的に行う低減活動のために重要である。同様な観点で行くと、粒子の形状と構造、微粒子を構成する物質等の違いによる人体影響の差を解明することも重要である。現在微小粒子計測に用いられている方法は、凝集粒子カウンターに代表される粒子数計測法と、LII(Laser Induced Incandescence)や従来のフィルター法に代表される質量(濃度)計測法である。これらの方法のどちらが主流になるかは、上記の毒性と粒子特性の相関により、決定されることになるであろう。

(3)排出源調査

大きな健康影響が認められた場合、次に行うべきことは排出源の特定である。人体影響の把握において発生源ごとの超微小粒子の影響が示されれば、自動車排出起源の超微小粒子が問題になるのは確実である。現在行われている研究においても、ディーゼル機関から排出される超微小粒子の健康影響を示す結果が出ていることから、この段階において自動車に関連する燃焼起源の超微小粒子による環境影響が否定されることは考えにくい。一方自動車に起因する摩耗粉については実態調査が始まったばかりである。

(4)低減手法の確立

最後がこの問題を総括する排出低減手法の確立である。近年、ここまで挙げた各段階について、様々な取り組みが並列的に行われてきたが、低減手法に関する技術的な進歩は目覚ましい。DPF等の排気後処理装置の開発により、ディーゼル自動車から排出される燃焼に起因する超微小粒子の排出については、大幅な削減が可能となる目処がついている。

(5)発展シナリオまとめ

前段で記したように低減のための技術は目覚ましい進歩を示している。しかしこの技術開発だけで問題が解決されるわけではない。開発した技術を適用する施策の方向性が健康影響低減にとって妥当かつ十分であるか否かは、その技術開発を行う必要性を示した(2)と(3)の段階の精度に大きく依存している。

超微小粒子問題解決に関するロードマップは環境および健康への影響の度合いにより大きく

異なる。技術的な見地からは、現在認識されている超微粒子の低減技術の開発を 2030 年までに実行することは可能である。しかしどのような技術や施策を優先して採用すべきであるかを決定することも必要であり、そのためには健康影響の調査による影響因子、特に健康への負荷の高いものの特定が重要となる。したがって今後の取り組みでは、個別の低減技術開発以前の問題として影響因子の解明とその発生源の特定を強力に推し進める必要がある。またこの分野の検討を効率的に行うために、最初に掲げた基準微粒子の開発も重要となる。技術的なロードマップとしては、以下ようになる。

2015 年：燃焼起因超微粒子の健康影響の解明、大気環境超微粒子の発生源の特定、
摩耗粉のサンプリング手法の確立

2020 年：排気超微粒子の問題解決（後処理技術）、摩耗粉の健康影響の解明

2025 年：燃焼起因超微粒子の発生源対策（燃焼改善）、摩耗粉の低減対策

2030 年：健康阻害要因としての自動車起因の超微粒子の除去

3. 課題

ここまで、超微粒子問題について現状の認識に基づいて検討を進めてきた。一方、社会情勢の変化につれ、現状で想定していない問題に将来直面することが十分に考えられる。たとえば自動車に起因する摩耗粉を含むロードダストなどは最近になって問題となった事項である。

大気環境に視点を向けると、PM_{2.5}の2次粒子生成に関する自動車寄与解明が、新たな課題として挙げられる。この2次粒子はVOC（Volatile Organic Compounds）気体とNO₂が光化学反応で粒子化するものであるが、VOCの排出源が自動車なのか非自動車であるのかが現状では不明である。仮に自動車から排出されているとしても、どのような車種のどのような運転条件から排出されているのかを正確に把握しない限り、効果的な低減対策には結びつかない。また大気環境問題には広域の問題と道路上に限定された問題があり、これにより発生源の特定のための手法も異なってくる。したがって健康や環境に悪影響を与える物質の発生源解析が、今後の大きな課題であるとともに、自動車研究者と大気研究者の連携があって、はじめて前進する新たな課題と言えよう。例えば、炭素や水素の安定同位体の比率から発生源の指紋（発生源に特有な粒子やVOCの特徴）を判別する技術等、新たな試みが求められていることに注目すべきである。

そのような場合への対処も含めて、2030年までにこの問題を解決するのに最も重要なことは、影響把握；C（Check）とそれに対する低減策の考案；P（Plan）と実施；D（Do）、さらに対策の実施により得られる健康悪影響の低減実績の調査；Cというフィードバックループ；PDCサイクルを確実に廻していくことである。

このようなフィードバックループを継続的に行うためには、幅広い分野の研究者が議論し情報を共有化できる場を作ることがまず必要であり、その場を常に効果的に提供し続けることが当部門委員会に与えられた課題と考える。さらにこの問題解決は、自動車業界関係者のみで完結することは難しいため、大気研究者や医学研究者等、様々な専門家を議論に巻き込んでいく必要があり、これも当部門委員会が行っていかなければならない。