

### 3. 実用可能性

海外で実施された実用化に関する研究開発の内容ならびに試験の事例を述べ、DPFシステムの実用レベルを探った。

#### (1) 信頼性に関して

##### ①ドナルドソン社の場合

アメリカの部品メーカーであるドナルドソン社は、同社のDPFシステムを装着したエンジン2機種がEPA (Environmental Protection Agency) およびCARB (California Air Resources Board) の1992年と1993年の認証試験に受かったことを報告している。同DPFシステムは、1990年規制対応エンジンにおいて、0.35g/BHS-hのPM排出率を0.05g/BHS-hレベルに下げることができ、将来の規制強化に対応できると評価している。認証されたDPFシステム付きのエンジンは、DDC社の6V92TA型とカミンズ社のL10型である。

ドナルドソン社は、エンジンメーカーに対し10万マイルあるいは5年間のDPFシステムの無償保証を行っている。この保証の条件として、異常ランプの確認、オイル交換、定期検査などのいくつかの保守点検を義務づけている。4.8万マイルまたは12カ月毎にDPF後面にPMが付着がないかを見ることなどの点検項目があり、DPFシステムを装着しているというユーザの認識が必要である。ドナルドソン社の保証期間は、大型車が要求されている耐久保証の29万マイルより短い。エンジンメーカーの保証期間との差に関する説明はない。

##### ②GM社の場合

GM社は、WFMを使った小型エンジン用のバーナ再生システムを開発した。再生中に排出ガスの一部をDPFに通し、再生時のDPF内の温度分布の均一化を図り、DPFの耐久信頼性を向上させたものである。10万マイル以上の耐久試験と各種の車両テストを重ね、12万マイルの要求に対して20万マイル以上の実績を得た実験例もあり、信頼性はかなり高いものである。し

かし、GM社は、このシステムの供給を断念している。その理由は、システムのノイズ対策やEGRの追加による設計変更、コストなどの商品化を検討した中で、一番の問題が、システムを付けた時のコストがガソリンエンジンより高くなることであるとしている。同社は、このシステムが、小型のディーゼルエンジン車に採用される可能性は薄いと結論づけている。

##### ③オルテック社の場合

カナダの研究開発機関であるオルテック社は、触媒付きのWFMとバーナを組み合わせた都市バス用システムを中心に開発を進めニューヨーク市とカリフォルニア州における試験走行を行った。ニューヨークの試験では、100時間の走行を行いPMの浄化率は82%で、HCは87, COは96%減少したと報告している。オルテック社は、その後New York Department of Environmental Protectionの排気試験を受け、1年間の営業運転を実施した。約半年間の走行距離は1.2万マイルで、2000時間に3790回の再生が行われ、燃費は14%ほど悪くなったと報告している。

##### ④ベンツ社の場合

ベンツ社は、触媒再生方式のDPFシステム付きの乗用車をカリフォルニア州で販売したが、排気温度が低いために高速走行でないと自己再生が起きにくい問題に対して触媒等を改良し、また自己再生が起こる車速を64km/h迄に下げることができたとしているが、再生不良や運転性に関する問題についての詳しい報告はない。また、ベンツ社は、自社の14のエンジン実験室に、WFMを使ったDPF排煙除去装置を設置し、調査を行った結果、DPFの中に堆積する灰分（再生後に残るPM中の残査物）の日詰まりを指摘した。このことから、WFMの実用化は難しいとの結論を出している。そのため、同社はWFMを使ったDPFシステムから新たに開発したCFコイル型の研究に変わっている。

#### (2) 実用化走行試験

##### ①ニューヨーク市における試験

1991年9月にニューヨーク市では、397台のDPF付路線バスが交通局の管理のもとに走行を開始した。当初、実用走行試験は、1990年の末から開始される予定

であったが、DPFシステムの大量導入における初期トラブルなどが原因で、走行計画が遅れた経緯が見られる。

DPFシステムの供給メーカはドナルドソン社で、電気ヒータ再生方式のWFMデュアルシステムがDDC社の6V92TA型の2サイクルエンジンに取り付けられた。再生は、排圧センサからの信号をコンピュータ処理して再生時期を判断し、自動的に行うことができる。

走行開始初期に、燃焼用空気を送るプロアのベアリングが焼き付く等のトラブルが発生し、走行計画が遅れた理由となっている。全車両の総走行距離が800万マイル時点のトラブル発生率は、5万マイルに1件の割合で、比較的順調に試験が進んだ。DPFを装着した車両は、ニューヨークを代表する五番街を通過する路線に投入され、公害対策に対する積極的な姿勢を示すデモンストレーション効果も期待されて路線が選ばれている。運行中に発生する故障には交通局が対応しており、必要に応じて代替バスを向けるなどの積極的な管理体制のもとで試験は進められた。定期的な点検は3000マイル毎に行われている。

主なハードウェアのトラブルとしては、プロアのベアリングやモータのブラシの摩耗、空気導入パイプの破損、電気コネクタの不良や圧力を検知するためのパイプに水が溜ったこと等があげられる。これらの故障対策はその都度、改善が加えられた対策が施され、エラーコードとDPFクラック防止ルーチンが組み込まれたソフトウェアが使われている。

運行中の再生間隔は約4.2時間で、走行中の平均排圧は4.1kPa (4200mmAq) である。DPFを付けていない路線バスに比べて、DPF路線バスの走行燃費は最大で3%ほど悪くなった。DPFシステムを10要素の主要部品に分けて、統計的手法に基づく信頼性評価を行った結果、総信頼値0.9の目標値に対し、初期値は0.5421と極めて低かったが、約1年後の92年7月末には、0.6609に向上した。ほとんどの主要部品は、0.9以上であったが、DPFは0.8309と他の部品に比べて低い。信頼値が低いDPFの要因解析を行い、問題点の解明と見直しを行ったが、その後の信頼値の向上はなかったようである。

将来的には残りの2000台の路線バスにもDPFシステムを後付けする計画があったが、1993年10月にドナルドソン社は、同社のDPFシステムの供給を中止した。それまでにドナルドソン社が供給したシステムの

総数は2100ほどであった。

## ②アテネにおける試験

ギリシャでは、1,800台の都市バスにDPFシステムを供給する計画を進めた。ギリシャ第二の都市、テサロニキ市に本拠地を置く自動車メーカであるELBO社とテサロニキ大学が中心になって、アテネの都市バス110台を使い、セリウム燃料添加剤と吸排気絞りを組み合わせた再生システムの走行試験が行われた。試験はアテネの国営バス会社(EAS)とELBO社との共同作業で実施され、DPFの過熱対策用にバイパスがついたシステムにはWFMが使われた。セリウムの添加量は50ppmが良いとしている。25, 50, 150ppmの3種類のセリウム添加量の実験を行ったところ、25ppmでは着火温度が540℃で自己再生が起きにくく、150ppmではDPFに蓄積する酸化セリウムの量が多くなりDPFの細孔の詰まりによる排圧上昇の傾向があることを明らかにしている。4.5万kmを走行した試験例における、総運転時間のバイパス作動割合は0.8%で、その際にセリウムが大気に放出されるがその量は無視できるとしている。

2年後にDPFの分解調査を行い、約10万キロを走行した路線バスのDPFには、物理的ならびに化学的な変化はなく、94%以上の酸化セリウムがDPF内に捕集されていることが確認され、大気に放出されたセリウムの量は僅かであったと報告している。

この走行計画は、1993年、EASの民営化により財政上の問題が理由で中止された。

## ③イタリアにおける試験

イタリア政府は、1990年に100台のDPFシステム付の路線バスを走らす計画を進めた。FIATの大型車部門であるIVECO社のDPFシステムを取り付けた路線バスは、ローマ市内で5台、その他の都市で4台の計9台が1988年9月から走行しており、1989年8月からは2台のデュアルDPFシステムのバスが追加された。

IVECO社のシステムは、バーナ再生方式で、シングルDPFバイパス方式とデュアルDPFシステムである。デュアルDPFシステムは、一方のDPFが再生中にもう一方の捕集中のDPFの排圧が非常に高くなること、制御が複雑なこと、そして装置が大きくなる理由からバイパス付システムを開発の主流として進めていたが、シングルやデュアルDPF方式に代わってフ

ルフローバーナ方式が最も理想的だと述べている。再生は、マフラとDPFの前後差圧からPM量を求める計算回路を組み込んだ装置の信号が、あるレベル以上に達したときに自動的に行われる。

各々のシステムを搭載した路線バスの再生間隔は、シングルDPFで60から120km、デュアルDPFは50kmであった。試験中、捕集量センサのトラブルとHC（炭化水素）分の多いPMの燃焼が原因で、DPFが破損するなどの問題があったが、それぞれの路線バスは、4万kmから最高7万kmを走行したことが報告されている。

この計画は、1991年のイタリア運輸省の報告書を最後に終了している。

#### ④ドイツにおける試験

ドイツでは、1,500台の走行計画が進められた。8社のDPFシステムの供給体制が進められた。1,500台のうち60%が使用過程車の改造となっている。DPFシステム供給メーカーの内訳はベンツが80%、MANが15%、KHDが3%、その他が2%となっている。車種構成としては、バスが約80%で20%が商用車である。ドイツ環境庁（UBA）は1台につき、改造費の50%、最大15,000DMを補助している。この調査は、1123台までの投入実績を上げて1991年8月に2年間の試験を終了した。

## 4. 解決すべき課題

### (1) 文献に見られる課題

耐熱性の向上に対するDPFの材料や構造の研究ならびに再生装置の改良など、当面の課題は耐熱性に関連するものばかりである。しかし耐熱性の課題は単独で解決できるものではなく、どのようなDPFシステムがもっとも将来性があるかを総合的に判断しなければならない。以下に耐熱性向上以外の課題について述べる。

#### ①灰分の堆積に関して

ドナルドソン社は、DPFの灰分による目詰まりを

防ぐためには、燃料やオイルの劣化を防ぐための添加剤の含有率が低い低灰分オイルと低硫黄燃料が必要であることを報告している。同社は、3000時間の長期のエンジン試験を行い、低灰分オイルを使用した場合はDPFの圧損が上昇しないことを証明している。

フォード社も、WFMを使ったバーナと燃料添加剤再生システムを搭載した小型トラックの1万マイルの走行を行い、1,000マイル中15回のバーナ再生を行って、燃料添加剤を使った場合、DPF内に蓄積した灰分は添加剤を使用しない場合に比べて10倍以上多くなることを指摘している。

#### ②DPFの粒子捕集量検出方法の検討

DPFのクラックや溶解の問題を防ぐためには再生時のPM量が適量であることが必要で、PM捕集センサを検討する必要がある。

カナダのAECL研究所は、DPF内に取り付けたマイクロ波の送受信のアンテナ間の電磁波のエネルギーが、PMの量によって変化することを利用した捕集量センサ技術を推奨している。DPF内の温度や捕集されたPM中の燃料やオイルを主成分とするSOFの割合によって捕集量の感度が異なる欠点があるが、温度とPMの性質による感度影響を時々刻々、補正する方法によって実用化が可能であるとしている。

三菱自動車は、小型トラックを対象とした電気ヒータ再生方式のデュアルDPFシステムを開発し、PM排出率をパラメータとするエンジン速度と負荷との関係を予めコンピュータに記憶させておき、時々刻々の走行条件に対応するPMの捕集量を積算し、再生時期を判断させた。実験の結果、実測された捕集量と計算値の誤差は積載量や走行パターンによって変動するが、6から26%の範囲に入ると報告している。

#### ③DPFを使用した時の排出ガスに関して

DPFシステムが排出ガスにおよぼす影響は少ないが、触媒を使用したときの硫酸ミストの問題は燃料側の対応と触媒の開発に委ねられており、触媒側の調査が行われている。

いすゞ自動車は、5種類の触媒を使った時の硫酸ミストの生成について調査している。触媒の種類によって硫酸ミストの生成量が異なり、パラジウム系の触媒は硫酸ミストの排出が少ない等を報告している。

日本触媒科学工業社も硫酸ミストの吸着と離脱の過

程に関する調査結果を発表している。触媒を含浸するウォッシュコートの種類によって硫酸ミストの蓄積や離脱の過程が異なるとし、触媒の量や比表面積や孔形状を選択することによって硫酸ミストの生成が異なること等を報告している。その中でも、ウォッシュコートの形状の種類が硫酸ミストの排出に与える影響が大きいとしている。

デトロイトのインターメット社は、DPFに吸着されるHC系の成分が温度上昇と共に排出される白煙について着目している。同社は、デュアルDPFシステムの上流側に熱交換器を取り付けてHCを凝縮させる装置とEGRを組み合わせたシステムを試作した車両試験を行っている。この装置では、ディーゼルエンジンの白煙の除去にも効果がある。排出ガスを冷却することによってHCがDPFに吸着し、再生時にHCを燃焼させることができ、その時の再生ガスをEGRに使用えば白煙の放出もないことを特徴としている。

#### ④燃料添加剤による再生方法

セリウムや鉄あるいは銅系の燃料添加剤の再生技術は、自己再生を可能とする排気温度を満たすための走行条件の制約を受けるが、DPFのクラックや溶解の問題を解決するフルフロー再生方式として、有効な手段でもある。しかし、温度上の技術的な問題が解決しても添加剤のDPF内への蓄積や大気放出の課題が残されている。

数多くの添加材を手掛けるルーブリゾール社は、銅系の着火促進剤を燃料に入れた再生方式を用いた路線バスの走行試験をペンシルバニア州で大々的に行い、22台の路線バスの営業運転を利用して走行試験を行った。燃料に含有する添加剤の量は50ppm程度で、23週間の走行を行った際の排気圧と温度の記録結果からは、DPFの目詰まりによる排気圧の上昇もなく、良好な運転が続けられたと報告している。

銅は未規制物質であるが、銅の排出に関する調査を行った結果、添加剤の使用による人体影響については問題ないとしている。その検証例として、いろいろな道路環境を想定した中で、最高濃度が予想されるトンネル内大気拡散モデルによる濃度の試算の結果、最高濃度は100ng/m<sup>3</sup>で、EPAが定めた大気環境基準、30から200ng/m<sup>3</sup>を十分満足していると報告している。また銅の添加による変異原性の評価試験の結果では、17から71%（変異原が150%に増えると変異原性があ

ると判断される）で問題はないと結論づけている。

#### ⑤逆洗再生方法に関して

捕集されたPMをDPFの外で燃やすことを目的とした逆洗方式の研究例は、CFM型に限らず、WFM型のDPFにおいても試みられている。

アメリカのノースイースタン大学は、回転式のWFM型DPFに高圧空気を噴射してPMを洗浄する逆洗システムを考案し、実験では日本ガイシ、コーニング、パナニック、セラメン社製のウォールフロー社のDPFを使用している。空気噴射は7kg/cm<sup>3</sup>のパルス波状の高圧空気を、14分に1回の割合で噴射するのが良いと報告している。また、このシステムは50から90%のHCを浄化する能力もあると報告している。しかし、回転接触面の研磨、エア吹き出し口とDPF間の隙間の縮小、DPFとシールの形状などの検討が必要であるとしている。

日本ガイシ社もWFM型DPFの逆洗再生を試みており、DPFに噴射する空気ノズルの角度が重要であるなどの報告を行っている。

### (2) 特許に見られる課題

DPFシステムに関する特許数は、1983から1988年までは公示、公告を合わせて200件であった。その後、1989年が118件、1990年は204件であった。その後、1991年と1992年はそれぞれ58、53件に出願数が下がった。年次の特許数の推移傾向は、SAE論文と同じである。

特許出願のきっかけとなる従来技術の問題および解決すべき課題を分類した結果、三つの課題項目を上げることができる。図4・1に従来技術の問題点と特許に見られるその解決方法を示す。一つは800℃以上の燃焼再生温度によるDPFの溶損やクラックの発生である。もう一つは灰分の堆積によってDPFの細孔が詰まる事による排気圧の上昇である。そして三つ目はバイパス時の排気煙の放出を介さない排出ガスの経路に関する構造にある。

特許に見られる技術の多くはDPFの耐熱性に関するものであり、この問題はDPFシステムを実用化する上で最も重要な課題となっている。その解決策には、再生時の燃焼温度を制御することと、DPF自体の耐熱性を上げることに分けられる。再生時の理想的な燃

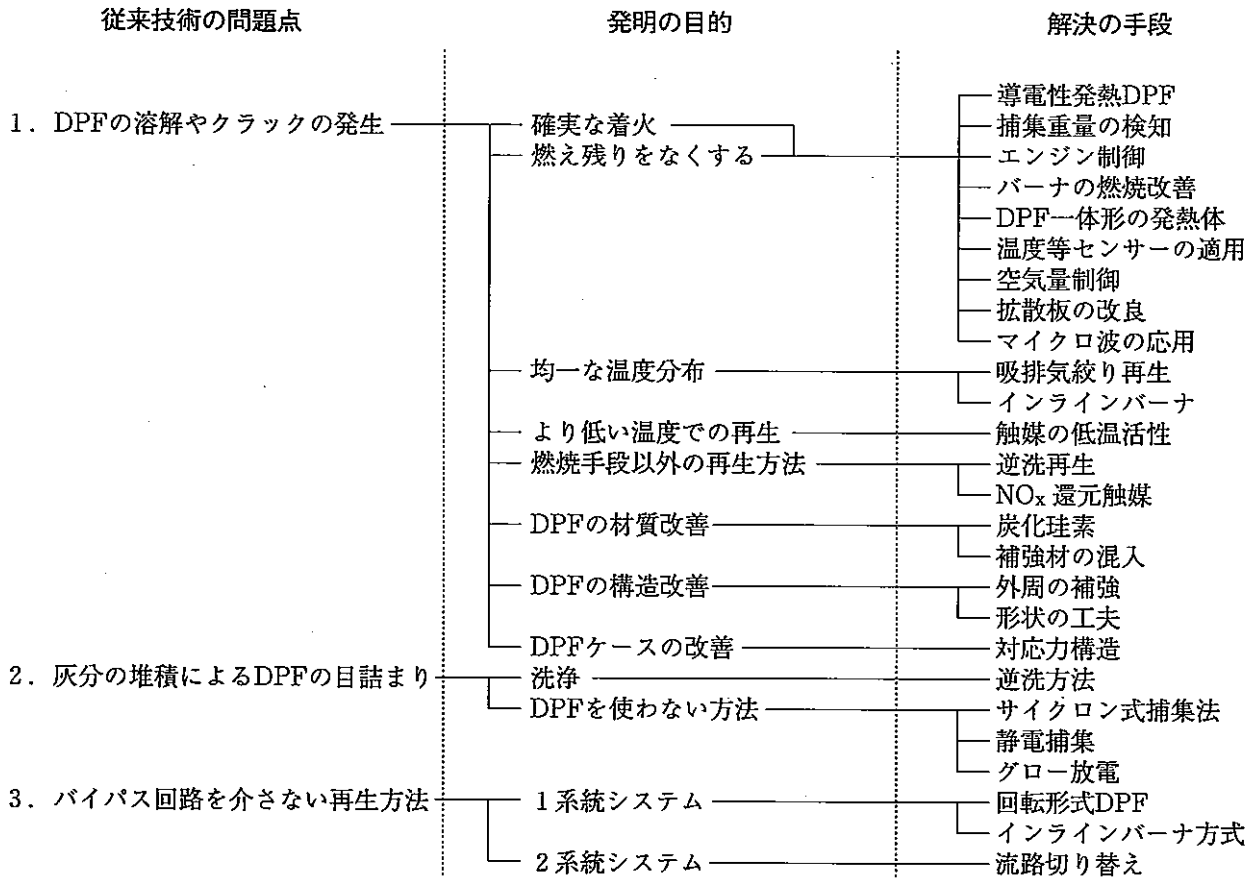


図 4-1 特許における従来技術の問題点とその解決方法

焼過程は、均一でしかも低い温度で燃焼が進み、燃え残りが無い完全燃焼である。そのためには、再生用のガス量を多くしてDPF内温度を均一にする考え方が多い。

最も理想的な再生方法は、エンジンの排出ガスを使うことが検討されている。しかし、PMの着火には600℃以上の温度が必要であるが、ディーゼルエンジンの排気温度は全負荷時を除いて、PMを着火させるほど高温にはならない。そこで、吸排気系に絞り弁を設けて空燃比を小さくしたり、EGRを併用して高温の多量の排気ガスを再生に使用する考案が出されている。また、燃料噴射のタイミングや排気の開弁時期を変えて排気温度を上昇させる方式が考案されている。しかし、これらの方法では、再生期間中にエンジン出力が低下し、自動車の走行に支障をきたす場合もある。

均一な着火面を形成する手段としては、電磁波を利用する考案などがある。反射板を使い電磁波の方向を

適度に変えたり、SOFの燃焼に適した周波数を発射できるマグネトロンなどの考案が出されている。PMの捕集方向とは逆の方向から高压ガスを吹き付け、PMを払い落とす逆洗方式も熱害からDPFを回避する手段として考案されている。

DPFの耐熱性を向上させる考案としては、WFM型のDPFの目封じ材に熱吸収力の大きい高放射率の材料を使用したものなどがある。また、熱溜りのしやすいDPF後端部にPMが溜らないようにした構造や、PMが均一に捕集されるように目封じ部の配列を考慮したDPFの考案などもある。

より耐熱性の高い素材をDPFに採用しようとする試み、あるいは現用基材と新素材の複合材などが出願されている。耐熱性の高い素材としては、炭化珪素の繊維または押しだし成形品が出願されている。炭化珪素の導電性を発熱体に利用する考案も多い。

DPFの耐久性をあげるためには、補集したPMの量

を知り、再生量を管理することも大事な設計因子である。捕集量の検知方法としては、フィルタ前後の差圧や電磁波を利用する方法が提案されている。光を利用した例があり、DPF後面の燃え残りの状態を光センサーでとらえ、再生状況に応じて、次の捕集サイクルでの捕集量を制御しようとする発明である。燃料消費量から再生時期を判断する特許もある。燃料消費量当りのPMの発生量は、ある範囲の比率になることから、燃料消費量を測定することによって、再生時期を定めようとする発明である。

逆洗方式は、捕集されたPM中の不燃性の灰分を取り除くための特許としても出されている。WFMの逆洗方式には、洗浄時にPMが剥離しやすいように排出ガスの通り道であるセル壁をテーパ状にした考案がある。ガス流を間欠的に発生させて逆洗浄を行ったり、複数個の逆洗ノズルを配置したシステムなどが出願されている。また、洗浄ガスが高圧のため、DPF壁が破損する場合があります、電気ヒータを併用することにより、洗浄ガスの低圧化をねらった出願もある。

全体を通して、電気ヒータまたはバーナ再生方式の出願数が多く、研究開発の主体をなしているものと考えられる。高周波を利用した着火方法やスロットリング方式あるいは燃料添加剤に関する特許は、今後の研究開発の方向を示していると考えられる。DPFに関する特許では、材料や製造過程における耐熱性向上のため地道な研究が進められていることがうかがえる。

## II-2 都市内を走行する車両の走行実態

DPFシステムを車両に搭載する際の車両の設計ならびにその評価試験を行うために、都市内を走行する車両の走行状態を調査した。調査対象車は路線バスと塵芥車である。

東京都の交通局ならびに清掃局の車両と同様の車両に走行調査用の測定器を取り付け、営業運転中の車両を追従して走行するなどの試験を行った。

得られた走行データを解析し、DPFシステムを評価するための走行パターンを作成した。また、排気温度データを整理し、触媒を用いた場合の再生システムの実用可能性を考察することができた。走行データの解析および実用性評価試験の走行パターン作成方法の詳細については、資料Ⅲ-2に示す。

### 1. 都市内実走行調査の方法

#### (1) 路線バス

東京都内を営業運行中の路線バスに、同型の路線バスの試験車を追従走行させて、走行中の走行特性および排気温度の測定を行った。測定項目としては、車速、エンジン回転速度、アクセル開度、燃料流量および排気温度を測定した。

調査路線には、図1-1の東京都23区内の都営バスの全営業路線に関する平均速度、運行回数および営業距離の資料をもとに深川営業所地区の3路線を選定した。乗車条件は乗客が多い朝の通勤ラッシュ時と乗客が少ない昼間の走行実態を想定して、定員乗車と空車の半分の条件で行った。