

トラック工場の検査工程(左)、フレームを中心にアクスル、エンジン、キャブなどの多くの部品が取り付けられる(右)。
(資料提供UDトラックス(株))

環境性能を追求する トラック

地球環境保護のため、トラックの排出ガス規制は年々厳しさを増している。環境性能を高めるため、吸気系、燃焼系、後処理系などさまざまな視点から技術開発が進められている。今回は、トラックの環境技術や材料技術のトレンドを紹介する。

排出ガスに含まれるPMとNOx

今年の春、中国に広がったPM2.5による大気汚染は、海を渡って日本にも深刻な影響を与えた。PM2.5*とは、PM (Particulate Matter: 粒子状物質)で粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子を指している。この微小粒子による呼吸器や循環器への健康影響が指摘され、日本では2009年9月にPM2.5の大気環境基準が新設されている。それが今年になって報道で大きく取り上げられ、一般の人にも知られるようになった。

大気中に浮遊するPMは、自然界から発生するものや工場や自動車の排出ガスに含まれるものなど、多岐にわたる発生源が指摘されており、その1つにトラックのディーゼルエンジンから

出る排出ガスも挙げられる。

ディーゼルエンジンは、「熱効率が高い」「CO₂排出量が少ない」などの特徴を持ち、トラックでは広く使用されている。ディーゼルエンジンもガソリンエンジンも、排出ガスに含まれる成分はほとんど同じであるが、エンジンシステムの違いにより、各成分の排出量が異なる。ガソリンエンジンはCO₂、CO、HCが多く、ディーゼルエンジンはNO_x(窒素酸化物)やPMが多い。

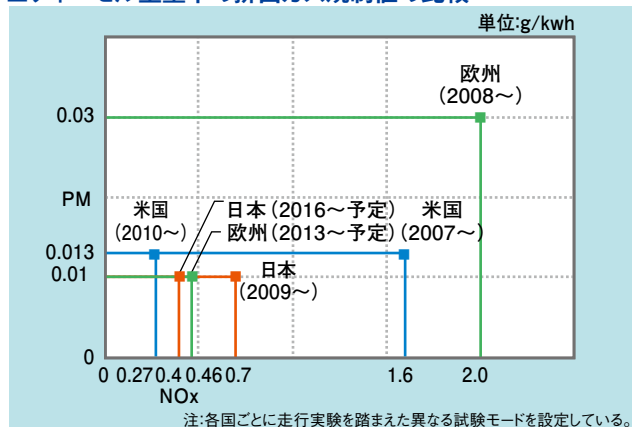
このうちNO_xは、大気中の窒素がエンジンの燃焼により酸素と結びついて生成される。NO_xは燃焼温度が高いほど生成反応が促進され、増加する性質を持つ。一方PMには、黒煙、サルフェート(硫酸化合物)、SOF(可溶性有機成分)などが含まれる。PMは、エンジンの燃焼時に酸素が不足していたり、燃焼温度が低かったりすることにより、排出量が増加する。このようにNO_xとPMの発生しやすい条件はまったく異なるため、この2つを同時に低減するのは非常に困難な技術的課題であったが、コモンレールシステムと排気系後処理システムにより同時低減が可能となり、クリーンな排出ガスとなっている。

年々厳しさを増す排出ガス規制

トラックのディーゼルエンジンについて、日本国内の排出ガス規制は1972年に黒煙の規制が始まり、1974年にはCO、HC、NO_xの規制値が加えられ、それ以後、NO_x低減の規制が順次施行された。1993年にはPMの規制が追加され、同時に重量

*大気環境基準(2009年9月)によれば「(PM2.5とは)大気中に浮遊する粒子状物質であって、粒径が $2.5\mu\text{m}$ の粒子を50%の割合で分離できる分粒装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子」と定義されている。

ディーゼル重量車の排出ガス規制値の比較



(一社)日本自動車工業会資料を元に作成

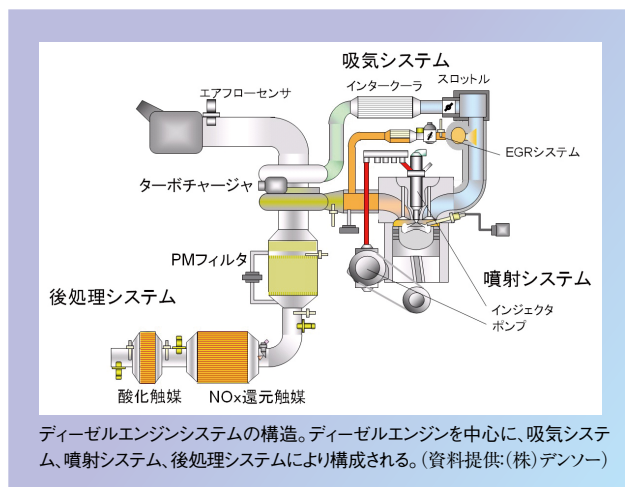
車(当時規制では車両総重量2.5t超を指す)について濃度規制からPMの重量規制への変更があった。2005年10月に新長期規制が導入され、「世界で一番厳しい規制」と言われるほど極めて厳しいNO_x、PMの排出量規制となった。さらに2009年10月にはポスト新長期規制が導入され、NO_x=0.7g/kWh、PM=0.010g/kWhと米国や欧州と比べ大幅に厳しいものになっている。

トラックのエンジンは、吸気系、燃焼系、後処理系などから構成されている、一連のシステムである。これらのうち、どれか一箇所だけを変えれば排出ガスがクリーンになるというわけではない。自動車メーカーも部品メーカーも、それぞれ独自の考え方で検討し、エンジン全体として排出ガスのクリーン化を実現している。

最適な燃料噴射を実現するコモンレール式

ガソリンエンジンは、エンジンに吸い込む空気の量を調節して、出力をコントロールする。一方、ディーゼルエンジンは、吸気量を調節するのではなく、燃料の量でコントロールする。

ディーゼルエンジンの燃焼系で排出ガス浄化や燃費向上に大きく寄与しているのがコモンレール式燃料噴射装置である。これは、常に高圧の燃料をコモンレールに蓄え、エンジン回転

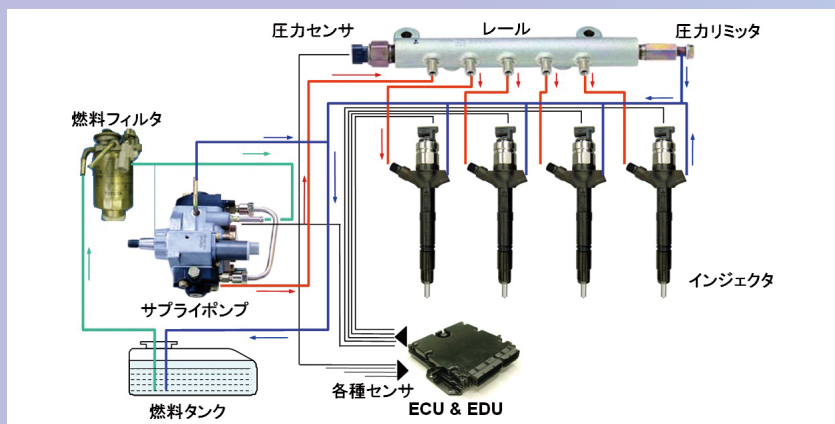


速度などの信号から、最適な燃料の噴射タイミングおよび噴射量を電子制御し、燃料噴射を行う仕組みである(詳細は連携記事参照)。

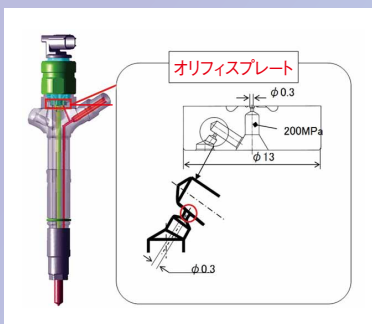
コモンレール式の大きな特長は、燃料噴射の「高圧化」と「マルチ噴射」を実現していることである。

以前の燃料噴射装置であるジャーク式は、エンジンの回転速度に応じて噴射圧力が高くなるシステムであったが、コモン

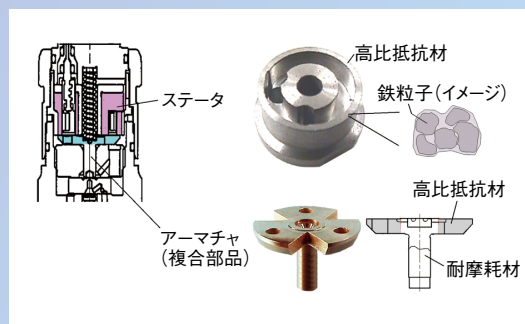
コモンレール式燃料噴射装置と材料



サプライポンプにより燃料を圧送し、高圧燃料をレールに蓄える。各種センサの信号を元に、燃料噴射タイミングおよび噴射量が制御され、インジェクタから燃料が噴射される。



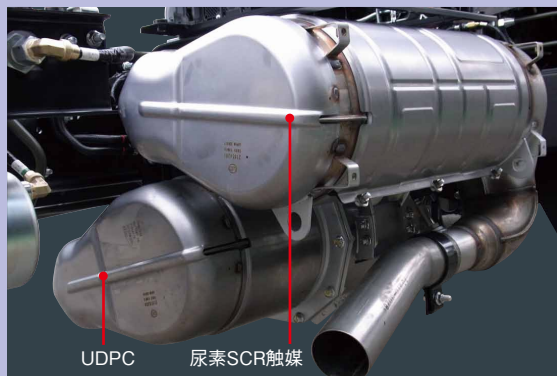
オリフィスプレートにはマルテンサイト系ステンレス鋼が使われている。超高圧噴射を実現するため、介在物(炭化物)サイズ抑制を目的として成分調整および清浄化を行い、強度を向上した。



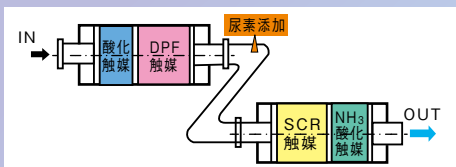
ソレノイドバルブでは、高速作動を実現するためにステータ、アーマチャに高比抵抗材を適用し、高速作動の阻害要因であった渦電流を抑制した。

(資料提供: (株)デンソー)

触媒コンバータの構造



最近の触媒コンバータの例。PMとNOxを除去するため4つの装置が一体となっている。全体に大型化する傾向にあり、折り曲がった形状のものも多い。
(資料提供:UDトラックス(株))



標準的な後処理システムの構成



触媒コンバータを構成する部品の例

(資料提供:東京濾器(株))

レール式では、回転速度にかかわらず噴射圧力を高めることができる。高圧噴射により、噴射した燃料噴霧の液滴が小さくなり(微粒化)、蒸発に要する時間が短縮され、燃焼中の残存液滴量が減少するためPMが出難くなる。

また、ジャーク式では、エンジンが1回爆発行程で1～2回噴射していたが、コモンレール式のマルチ噴射では最大7～9回程度噴射する。1回の噴射間隔はきわめて短く、燃焼騒音低減、エンジントルク向上、PM低減、触媒活性のためにそれぞれの噴射量や時間が細かく制御される。また従来より1回の噴射量が少なく、一気に燃焼しないので、燃焼温度を適度に抑え、また騒音を低減するというメリットもある。

コモンレール部品の材料の進化

コモンレール式の高圧力化とマルチ噴射に伴い、それを支える材料も進化してきた。

例えば、インジェクタの高圧燃料通路にあるオリフィスプレートではφ0.3mmの微細な孔が交差し、応力集中が起こる。材料組

織中に介在物が存在すると、燃料の高圧力を受けて破損しやすくなるため、介在物のサイズを小さく、数を減らすことが開発の課題であった。基本的な材質は、マルテンサイト系ステンレス鋼SUS440Cであり、介在物(炭化物)の生成を押さえるために成分を調整し、さらに材料の清浄度を高め、組織を微細化し、均一にすることにより、200MPaの高圧噴射にも耐えられるようになっている。

またマルチ噴射を支えるソレノイドバルブは、電流が流れるとバルブを開いて燃料を吸引し、電流が切れるとバルブが閉じる機構で、高速の応答性が求められる。そのため、渦電流の抑制を目指して、ステータにおいては従来の電磁鋼板から高比抵抗の圧粉磁心に、アーマチュアにおいては磁気回路部のみを高比抵抗かつ高磁束密度化した複合部品とすることで、応答性と耐摩耗性の両立を図っている。さらに最近では部品の小型化がいつそう進んでいる。

PMとNOxの除去に不可欠な触媒コンバータ

ガソリンエンジンでは、NOx、HC、COを同時に浄化する三元触媒が使用されているが、ディーゼルエンジンでは排出ガス中の酸素の比率が多く、三元触媒においてNOxをN₂に還元する触媒の反応性が低いため、使用することができない。そこで、ディーゼルエンジンでは、後処理系でPMやNOxを除去することが重要となる。

日本で、現在標準的に使用されている後処理系のシステムは、4つの装置で構成されている。いずれもセラミックス製のハニカム担体に触媒をコーティングし、シェルに包んだものである。

4つのうち、前半はPM除去を目的としている。1番目の装置は酸化触媒である。これは、SOFに含まれるHCを酸化させて、水とCO₂にして排出する。2番目はDPF (Diesel Particulate Filter) である。排気ガスは小さな穴のあいた担体を通り、PMはこの穴に補修されて除去できる。

後半の3、4番目はNOx除去を目的としている。3番目は尿素SCR (Selective Catalytic Reduction: 選択還元型触媒) である。これは、尿素水を添加することにより、触媒上でアンモニアを生成させ、これによりNOxを還元してN₂として無害化するものである。4番目は酸化触媒であり、尿素SCRで排出されたアンモニアを分解する。

日本では、2003年に世界で初めてDPFを装着したトラックが市場投入された。また2004年には、NOx除去のための尿素SCRを装着したトラックが登場した。

高い耐食性が求められる排気系部品

排出ガス規制が厳しくなる前は、マフラなどの排気系では、シェルにはアルミめっき鋼板などが使われていた。その後、排出

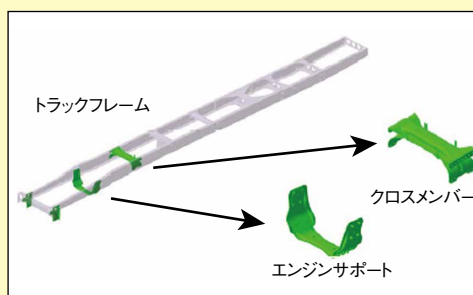
トラックフレームの軽量化に貢献する ハイテン材の適用

乗用車では、車体の軽量化のためハイテン材の使用が拡大している。一方トラックの軽量化は、定められた車両総重量のうち車両重量を減らし、その分積載重量を増やすことが求められるというように、ハイテン材の考え方が異なる。

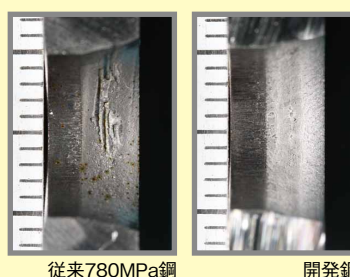
さきごろ、大型トラックのトラックフレーム部品に新タイプの780MPa級ハイテン材が採用された。使用されたのは板厚6.0mmの熱延鋼板で、トラックフレームのクロスメンバーおよびエンジンサポートに適用され、クロスメンバーでは従来に比べ約25%の軽量化を実現した。

じつは、以前からトラックへのハイテン材の適用は検討されていた。しかし、ハイテンの材料強度を維持しつつ、ハイテンでは問題となっていた加工性（打ち抜き加工性および伸びフランジ性）を向上し、なおかつ走行時の繰り返し荷重に耐える疲労強度を確保することが大きな課題となっていた。今回のトラックフレームでは、熱延工程の冷却制御の最適化などにより、従来のフェライト／マルテンサイト組織でなくベイナイト単相組織を実現した。また組織に含まれる炭化物の微細化により、打ち抜き穴の端面性状をなめらかにすることができ、疲労強度の向上に寄与した。

トラックの中でフレームは重量部品であり、ハイテン材を使用することで薄肉化による軽量化効果が大きい。ハイテン材は高価であるが軽量化により材料コストダウンも期待できる。トラック重要保安部品にハイテン化が一気に進むことは考えにくい、今後徐々に適用例が増加していくことが期待されている。



780MPa開発鋼が採用されたトラック(上)とトラックフレーム(下)



従来780MPa鋼と開発鋼の打抜き端面の比較。開発鋼では、炭化物の制御などにより打抜きクリアランス範囲を広くすることができ、端面の性状が良好で、安定した量産品質が得られる。

(資料提供:三菱ふそうトラック・バス(株)、JFEスチール(株))

ガス規制が強化されて触媒コンバータが一般的になると、排出ガス凝縮水による腐食の対策が求められ、シェルには高い耐食性が求められるようになった。そこでシェル用材料にはCr、Moを添加したフェライト系ステンレス鋼が使用されるようになった。現在では、耐食性や耐熱性にすぐれたSUS436Lなどが多く使用され、高価な触媒を守っている。

触媒コンバータの今後の課題として、小型軽量化が挙げられる。触媒コンバータは、排気ガス規制の厳格化とともに年々大型化、重量化しており、今後の排気ガス規制に対応するため、小型でも高い性能を発揮する触媒コンバータの開発が望まれている。

また触媒については、レアメタルの使用量低減が大きな課題である。酸化触媒やDPFには白金やパラジウムなどのレア

メタルが使用されている。そこで、レアメタルの使用量の低減や、白金やパラジウムに代わる新しい触媒の開発が進められている。

当然のことだが、トラック開発の目指すものは、環境性能だけではない。例えばエンジン性能、走行性能、安全性、快適性などが挙げられる。そして商用車であることから、限られた積載スペースと重量の中でいかに多くの貨物を積載することができるか、そしてトータルに経済性にすぐれているか、などは最も重要なポイントである。環境性能を向上し、多くの先進技術を搭載したトラックが、今日も世界を駆け巡っている。

- 取材協力 UDTラックス(株)、(株)デンソー、東京濾器(株)、三菱ふそうトラック・バス(株)、JFEスチール(株)
- 文 杉山 香里