

ディーゼル・エンジンの21世紀への挑戦

木下勝晴・山本哲夫*・高 行男

1. はじめに

ディーゼル・エンジンは1892年にドイツのルドルフ・ディーゼル (Rudolf Diesel) によって、考案され1896年に2号機完成 (熱効率: 25.2%), 1897年に開発・完成され今日の発展につながっている。

ディーゼル・エンジンは熱効率, 耐久性に優れた内燃機関であり, 各種の内燃機関中において, その優位性は現在においてもトップを維持している。

ディーゼル・エンジンはこの優れた特徴 (優位性) により, 各分野 (空を除く) で大型から小型まで原動機として活用され, 船舶 (潜水艦・艇を含む) 用エンジン, 産業 (工場, 事業所, 工事現場) 用エンジン, 輸送用としては, トラック, バスを始め, 乗用車, RV, 鉄道, 特殊 (軍事用, 山間・悪路走行etc) 車両用エンジンとして幅広く採用され, 今日の経済発展に大きく寄与してきた。このエンジンはガソリン・エンジンとは異なって, 燃料は高級なガソリンに比べて軽油から重油までとかなりの粗燃料で運転可能であり, その使用域 (範囲) が広く, 今後心配されている, 石油資源の枯渇に対しても優位性を持っている。

2. ディーゼル・エンジン

ディーゼル・エンジンの燃焼形態は大型船舶用低速エンジン (N_{max} =数百回転/分) の定圧サイクル (ディーゼル・サイクル) と, 自動車用高速エンジン (N_{max} =数千回転/分) の複合 (サバティ) サイクルに分類される。

一般に内燃機関 (往復動ピストン・レシプロケーティング) はその動作流体を吸入行程でシリンダ内に吸入し, 圧縮行程で圧縮・着火し, 燃焼・膨張行程でそのガス圧力がピストンを押し外部に対して仕事を行う, 排気行程で燃焼後のガスを排出する, この4行程で1サイクルとなる。(4ストロークサイクル・4サイクル)

ディーゼル・エンジンの場合は, 吸入行程では空気のみ吸入する, この吸入空気を圧縮し燃料の着火点以上の高温にする, この空気を高温にするために空気を非常に強く圧縮する必要がある。高温, 高圧状態の空気中にノズル (噴射口) より高圧の燃料を噴射 (噴霧) する, 高温, 高圧の酸素中

*山本哲夫: (独立行政法人) 産業技術総合研究所・中部センタ. 主任研究官

(空気)に霧状の燃料が加わる(拡散)と急速に燃焼が始まる,燃焼がほぼ完了したガスを排出する。

3. 熱 効 率

熱効率とは機関に加えた燃料の熱エネルギーに対して、外部に対して行った仕事量(エネルギー)との割合で一般にパーセント(%)で表示される。

ガソリン・エンジンの熱効率は20~30%,ディーゼル・エンジンの熱効率は高速回転エンジン(自動車用)で30~40%,最近の新型エンジンでは40%を超えている(大型車用)また、船舶用(低速回転)エンジンではすでに50%を超えている。

3-1. 着火温度(圧縮温度)

吸入空気を圧縮し着火点以上に昇温する。エンジンの状態を暖機後と考え、状態変化を断熱変化と仮定し、動作流体の空気を理想気体と仮定すると次式が成立し、

$$PV=RT \dots\dots\dots (1)$$

$$PV^m = \text{const} \quad PV^\kappa = \text{const} \dots\dots\dots (2)$$

P: 圧力

V: 容積

m: ポリトロップ指数

κ : 断熱指数(比熱比)

(1)式 $P=RT/V$ を(2)式に代入

$$RTV^\kappa / V = \text{const} \quad RTV^{\kappa-1} = \text{const}$$

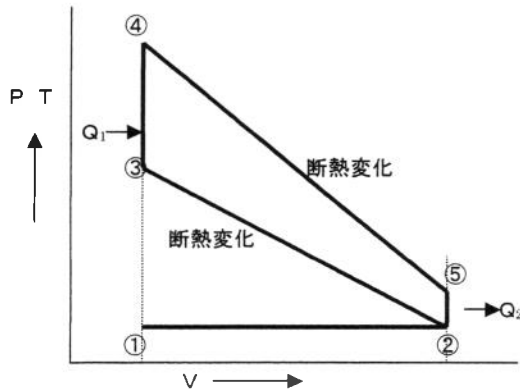


Fig-1 PV線図

$$T_2 V_2^{\kappa-1} = T_3 V_3^{\kappa-1}$$

$$T_3 = (V_2 / V_3)^{\kappa-1} \cdot T_2$$

$$V_2 / V_3 = \text{圧縮比} : \epsilon$$

$$T_3 = \epsilon^{\kappa-1} \cdot T_2$$

T_2 ：吸入空気温度 [K]

T_3 ：圧縮後温度 [K]

圧縮温度： T_3 は圧縮比： ϵ と吸入空気温度（大気温度）： T_2 によって決定される。

例として、吸入空気温度を15℃、圧縮比を21として考えてみると。

$$\kappa_{\text{air}}=1.4 \quad T=t+273.15$$

$$T=21^{0.4} \times 288.15$$

$$\approx 974 \text{ [K]}$$

$\approx 701 \text{ [}^\circ\text{C]}$ となり充分燃料（軽油）の着火温度以上になる。

3-2. 熱 効 率

シリンダ容積： V

温 度： T [K]

圧 力： P [Pa]

吸入空気量： m [kg]

$$Q_1 = C_v \cdot m \cdot (T_4 - T_3) \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_2 = C_v \cdot m \cdot (T_5 - T_2) \dots\dots\dots (4)$$

熱効率： η

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_1$$

式(3), (4)を代入

$$\begin{aligned} \eta &= \{(T_4 - T_3) - (T_5 - T_2)\} / (T_4 - T_3) \\ &= 1 - (T_5 - T_2) / (T_4 - T_3) \end{aligned}$$

断熱変化②→③, ④→⑤

$$PV = RT, PV^\kappa = \text{const}$$

$$T_2 \cdot V_2^{\kappa-1} = T_3 \cdot V_3^{\kappa-1} \rightarrow T_3 = (V_2 / V_3)^{\kappa-1} \cdot T_2$$

$$T_4 \cdot V_4^{\kappa-1} = T_5 \cdot V_5^{\kappa-1} \rightarrow T_4 = (V_5 / V_4)^{\kappa-1} \cdot T_5$$

圧縮比： ϵ

$$\epsilon = V_2 / V_3 = V_5 / V_4$$

$$T_3 = \epsilon^{\kappa-1} \cdot T_2$$

$$T_4 = \epsilon^{\kappa-1} \cdot T_5$$

$$\eta = 1 - (T_5 - T_2) / (\epsilon^{\kappa-1} \cdot T_5 - \epsilon^{\kappa-1} \cdot T_2) = 1 - (T_5 - T_2) / \epsilon^{\kappa-1} (T_5 - T_2)$$

$$\eta = 1 - 1 / \epsilon^{\kappa-1}$$

熱効率は理論上、圧縮比（膨張比）、断熱指数（比熱比）で決定される。

圧縮比を考えると、ガソリン・エンジンよりディーゼル・エンジンの優位性が歴然としている。

4. ディーゼル・エンジンの燃焼

吸入空気のみを圧縮しその高温、高圧状態の空气中に液体燃料を噴射（噴霧）する機構上PM（粒子状物質：黒煙etc）の発生、排出はガソリン・エンジンの30～100倍になるといわれている。この燃焼機構では燃焼温度が高温のため（内燃機関としては優れた特性）に窒素酸化物（NO_x）の生成・排出がガソリン・エンジンの2～20倍になり、アメリカ、日本（アメリカに盲従の日本）で大きな社会（環境）問題として取り上げられ、一部地域において規制が強化されている。（通称NO_x法、PM法）

4-1. PM：Particulate Matter（黒煙）の生成

高温、高圧のガス中（空気）に液体燃料を霧状で噴射（噴霧）すると、高温の熱エネルギーにより、燃料空気が励起（イオン化）され、燃料粒の境界面（界面）より燃焼（酸化反応）が進行する。燃料粒の大小により噴射された燃料は、完全に反応（燃焼）し二酸化炭素（CO₂）、水蒸気（H₂O）として排出されるものと、一部の燃料は完全に反応まで至らず、過程中的のまま排出される。

ディーゼル・エンジンの燃焼室内では、リーン、ストイキ、リッチの各領域が局部的に形成され、そのストイキ領域では燃焼温度がより高温になるため、NOが多く生成・排出される。

また、リッチ領域では局部的に無酸素（燃焼終期）状態の高温、高圧状のガスに曝された燃料（C_mH_n）中の炭素分が固体化し燃料分子より離脱・遊離し粒子状物質（PM・黒煙）として排出される。

この粒子分がPM（Soot）の大部分を占める、燃料の未燃焼部分の一部、潤滑油ミスト等よりもPM（SOF）として、また燃料中の硫黄分が燃焼（酸化）反応しサルフェート（SO₂）として生成排出される。

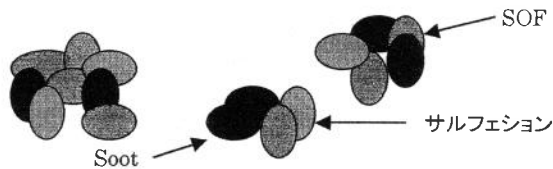


Fig-2 PMイメージ

4-2. 浮遊粒子状物質：SPM（Suspended Particulate Matter）

SPMの発生源には、工場、事業場、自動車等から排出した煤塵や粉塵、光化学反応により生成した粒子等人為的発生のもので、土壌、火山の噴火・噴煙、海からの海塩粒子、大陸より飛来した黄砂等の自然界から発生するものがある。

SPMはその生成過程において、大氣中に排出されたときに既に粒子状のものと大氣中（排出後）において化学反応により粒子状に変化したものが存在する。前者を「一次粒子」後者を「二次粒子（二次生成粒子）」と分類される。

一般に大氣中には4 μm近傍にピークを持つ粗大粒子と0.5 μm近傍にピークを持つ微小粒子の

2種類に分けられる。

粗大粒子は土壌より由来するものが大部分(主成分)であり、健康に有害な成分は殆ど含まれていないが、微小粒子には、発癌性物質として知られるベンツ(a)ピレン、ニトロアレーンや毒性の強い有機化合物、重金属、硫酸、硝酸などの化学反応により二次的に生成される酸性微粒子、これにダイオキシン類も含まれていると報告されている。

この微小粒子の発生源の大半が自動車よりの排出であり、特にディーゼル車よりその殆どが排出されていると報告されている。

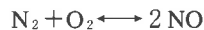
PMとしては、Soot:遊離炭素(粒径20~30nm)、SOF(Soluble Organic Fraction):有機溶媒(ジクロロメタン等)に溶解する炭素成分・未燃焼燃料・潤滑油ミスト、硫酸塩:燃料中・潤滑油中の硫酸(S)分が燃焼過程にて酸化(SO_2 一部は SO_4^{-2})、金属成分:燃料・潤滑油中のPb, Cr, Mn, etcの微量金属及びエンジンの機械的摩耗等に分類される。¹⁾

4-3. NO_x(窒素酸化物)

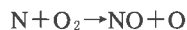
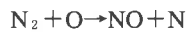
N₂は大気中約78%を占め大気の主成分で、99.635%の¹⁴Nと0.635%の¹⁵Nから成っている。N原子の電子配置(列)は $1s^2 2s^2 2p^3$ で表され、電子の分布は球対称的でイオン化エネルギーは3.82MJ/molと比較的大きい

N₂, O₂からのNO生成

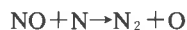
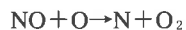
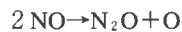
窒素酸化物, 酸素, 窒素の平衡関係には種々あるが



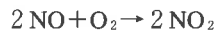
この場合常温付近ではN₂+O₂側に殆ど寄っているが、高温になると、NO量が増加する。O₂の熱解離によって開始され以降次式のO, N原子を担体とする連鎖反応によると考えられている。



逆にNOの分解反応は、同様に高温条件下でNOの2分子反応から生成するO原子を開始剤として、



等の反応が進行するものと考えられる。

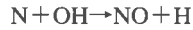
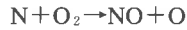


低温でNO₂側へ、高温でNO側へ偏り、620K以上ではNOとO₂へ解離している。

4-3-1. 燃焼によるNOの生成(発生)

通常火炎は2000K程度の火炎帯をもつ、活発な発熱反応が起こる火炎帯はごく狭いがこの火炎帯の後に高温状態が長く続く、この高温の反応系でN₂などからNOが生成される。

反応が高温下で行われ生成するNOはThermal NOと呼ばれる。

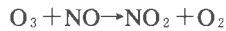
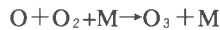


高温下でO₂解離平衡が成立していると仮定すると、O₂ ↔ 2Oとなっている。²⁾

4-3-2. 光化学スモッグとNO_x

汚染大気的光化学反応は主要なオキシダントとしてO₃とNO_xとの相互作用がその基本を成している。

地表面での太陽光を吸収し得る1次汚染物はNO₂であるので反応は



NO_xはまた反応系中のアルコキシラジカルなどの捕捉剤として働き硝酸エステルやPAN(ペルオキシアセチル硝酸)などの成因ともなる。

5. ディーゼル・エンジンの排出ガス対策

排出ガス低減法にはエンジン本体の改良・改善(Engine Modification: EM), 燃料の改良, 排出ガスを排気系の途中で処理する後処理法等の方法がある。³⁾

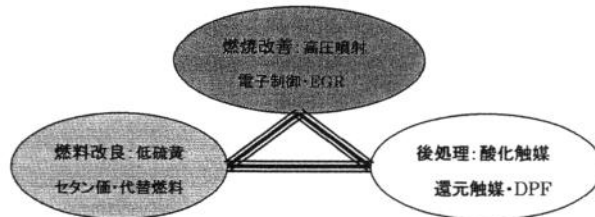


Fig-3 ディーゼル・エンジン排ガス低減法

5-1. エンジン・モディフィケーション: EM

燃焼室内の反応(燃焼)をよくするには, 吸入空気と噴射した燃料の混合(拡散)をよくする。燃焼室の形状(シリンダヘッド・ピストン頂部), 吸入ポート, 吸気管, を改善(改良)し吸入空気にスワール, スキッシュ等の渦流の生成を積極的に起こさせ燃料と空気の混合をよくする。

噴射燃料の粒子径を微細化し燃料と空気の接触面積の拡大と燃料粒子の拡散(飛散)性を向上させ燃焼効率を上げる。噴射量, 噴射時期, 噴射回数等をエンジンの要求に適切対応する為に各種センサ(エンジン回転数・負荷, 吸気・排気・温度, etc)よりの信号で精緻なコントロールを行うため, 制御方式を電子制御化した燃料噴射装置が最近のディーゼル・エンジンに採用されている。

5-1-1. コモンレール式燃料噴射装置（蓄圧式）

燃料を専用のサプライ・ポンプにて高圧（超高压：130～200MPa）に昇圧させ、コモンレールに蓄圧し各気筒の噴射ノズルへ導通させ、コンピュータからの信号で噴射ノズルのニードル・バルブをコントロールし燃料を噴射する。

燃料粒子の微細化により着火性（燃焼性）が向上し、また、燃料噴射時期（進角，遅角），噴射量，噴射回数等がコンピュータの制御によりエンジンの運転状態に適切な対応が可能となった。

燃焼性の向上によりPMの生成・排出が激減された（殆どゼロ），PMの減少に反してNOxが増加する傾向を，噴射時期の遅角や噴射回数を1サイクル中に複数回噴射を行うなど，燃焼をコントロール（パイロット噴射：吸気行程終期・圧縮行程前期等）することでNOxの生成が抑制可能になり，また，ディーゼル・ノック，騒音の軽減も図られている。⁴⁾

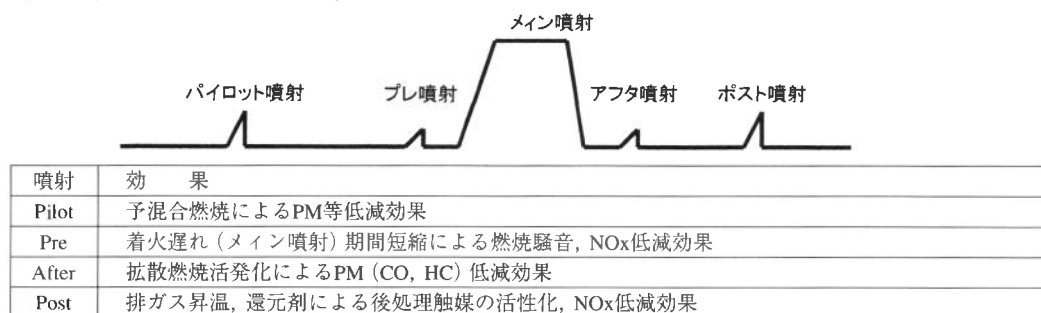


Fig-4 多段噴射効果

5-1-2. ユニットインジェクション

エンジンのシリンダ・ヘッド部に，ポンプ（高圧）とノズルを一体化したユニットを搭載したもので，噴射量と噴射タイミングを各センサよりの信号をもとにコンピュータが最適にコントロールする。

ジャーク式ユニットインジェクタは，プランジャ部とノズル部，燃料油路を結ぶ高速電磁弁で構成され，プランジャ部はカム（ロッカーアーム）で駆動され超高压の油圧を発生する（現在の各システム中では最高噴射圧）この高圧燃料をコンピュータの信号で電磁弁の開閉により噴射量・時期を最適状態で燃焼室に供給する。⁵⁾

プランジャ部とノズル部が一体（ユニット）のためデッドボリュームがなく高圧噴射を効率よく実現できる。

5-1-3. 予混合圧縮着火

噴射（噴霧）された燃料が空気と完全に均一化されれば，ディーゼル・エンジンはスーパー・リーン燃焼となり，クリーン燃焼となって有害ガス（CO，HC，NOx etc），粒子状物質・PMや温室効果ガス・CO₂の排出が減少しLEV，ULEVが可能となる。ディーゼル・エンジンの燃料噴射装置の電子制御化によって圧縮行程初期や吸気系に燃料を噴射する等多種（多岐）の制御を可能にしている。予混合圧縮着火（Homogeneous Charge Compression Ignition HCCI）方式は最近研究が活発化してお

り、部分負荷ではNO_x、PMの生成・排出が激減すると報告されている。⁶⁾

5-1-4. EGR (インタークーラ付)

窒素酸化物 (NO_x) の発生を抑制するために、吸気系に排ガス (燃焼ガス) を導入 (混合) し燃焼最高温度を低下させる方法として、排ガス再循環 (EGR) 装置が一般に利用されている。

空燃比、燃焼形態、温度等の理由によりEGRがNO_xの生成を助長する場合がある。ディーゼル・エンジンの場合その傾向が強い、再循環する排ガスをインタークーラにて適当な温度まで冷却しNO_xの生成を抑制している。

NO_xの生成はEGR量 (率) 深く関わり、その量 (率) の増加に比例してNO_xの生成は抑制される、反面PMの量が増加する傾向にある。

近年の排ガス規制強化により、EGRの流量 (要求量) は増加傾向にある。EGR量を確保するため、一般にターボチャージャのタービン上流部より排ガスを採り込み、コンプレッサの下流部に導入する。また、吸気管のEGR導入 (上流) 部に絞りを設け吸気管と排気管の差圧を高め、EGR量を確保しているタイプもある。

コンピュータはEGR量、燃料噴射時期等を各センサからの信号をもとに精緻なコントロール (制御) を行いNO_x、PMの排出量及びエンジン出力をコントロールしている。

5-2. 後 処 理

ディーゼル・エンジンの排出ガス対策としての後処理方法には、酸化触媒、還元触媒 (NO_x触媒)、DPF (Diesel Particulate Filter) 等が考案され、一部実用化されている。⁷⁾

table-1 ディーゼル・エンジンの後処理法

処理技術	低減物質	方式	概要	特徴
酸化触媒	SOF HC CO	酸化	触媒の酸化力	酸化力が強い場合、燃料中の硫黄 (S) 分がサルフェートとなりPMが増加する傾向
還元触媒 (NO _x 触媒)	NO _x	HC選択還元 NO _x 吸蔵 アンモニア選択還元	燃料 (HC) 還元剤 リーン燃焼時、NO _x 吸蔵 排気管に尿素噴射	酸素雰囲気下で浄化率低下 燃料中のSによる被毒、リッチ時の燃費 尿素のインフラ整備、浄化率高い
DPF	PM・煤	目封じタイプ 多孔体タイプ 繊維タイプ	セラミックス壁通過時煤捕集 多孔体を通過時捕集 繊維中通過時捕集	捕集した煤の処理法にパッシブ、アクティブがあり、再生時の温度コントロールが難しい

5-2-1. 酸 化 触 媒

排ガス中のCO、HC、SOF (Soluble Organic Fraction: PM) を浄化する触媒で、さらにベンゼン等の有害物質も浄化する。

一般に酸化触媒は排ガスの温度が触媒入口部で150~200℃ 以上の高温でCO、HCの浄化効率が高くなり、またSOF分の低減能力も発揮する。

燃料中の硫黄分が酸化触媒 (酸化反応) によりSO₂→SO₃の転化が進行しサルフェートを増加させPMの増加へつながる。

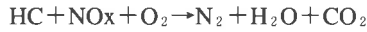
また、未規制物質 (ベンゼン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンツaピレン等) につい

でも酸化触媒により低減することが知られている。

5-2-2. NO_x触媒 (還元触媒)

5-2-2-1. HC選択還元・NO_x触媒

燃焼行程終期や排気行程中に燃料を噴射し、その燃料(C_mH_n:HC)を還元剤として利用する触媒反応は、



で示される。

還元剤(燃料・HC)の供給法には、エンジンからの排ガス中のHC成分を有効に利用するものや、触媒の前に燃料(HC)を供給するタイプのものがある、前者をパッシブタイプ、後者をアクティブタイプと呼んでいる。

ディーゼル・エンジンは排ガス中のHC成分は非常に少なく、アクティブタイプの方が浄化性能に優れ浄化率が高い。

アクティブタイプのHC供給法には、排気管中の触媒前部(上流部)に燃料を噴射する方法と、燃焼行程終期(下死点付近)にシリンダ内に燃料噴射する方法がある。後者の方法は任意な時期に噴射可能な電子制御式コモンレール燃料噴射装置が利用でき、別装置が不要でコスト的に有利である。

5-2-2-2. NO_x吸蔵触媒

NO_xを吸蔵するためには、NO_x分子と同程度サイズの均一な細孔入口を有する多孔性物質で、その細孔を通過する分子だけを吸着する性質(分子ふるい)を持つ代表的な「ゼオライト」が一般的に利用されている。⁸⁾

酸素過剰雰囲気(ディーゼル燃焼)でNO_x浄化機能を持つ触媒としてはPt-Ir/ZSM-5, Ir/BaSO₄等が実用化されている。このタイプの触媒は酸素過剰雰囲気においても、HCにより選択的にNO_xを還元反応する触媒で、選択還元触媒と称される。

還元剤としてHC以外には尿素などを利用している、自動車用触媒には未だ研究段階であるが、固定動力源用(工場等)触媒には実用化されている。

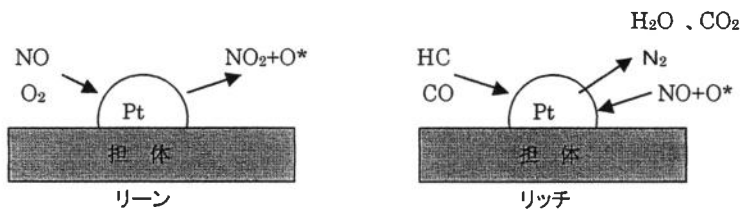


Fig-5 浄化メカニズム

5-2-3. DPF (パーティキュレートフィルタ)

DPFの形状は多孔質材料の壁面を排ガスが通過する過程でPM(ドライスト)を濾過する構造でウォールフローモノリス(Wall Flow Monolith)とよばれるタイプである。

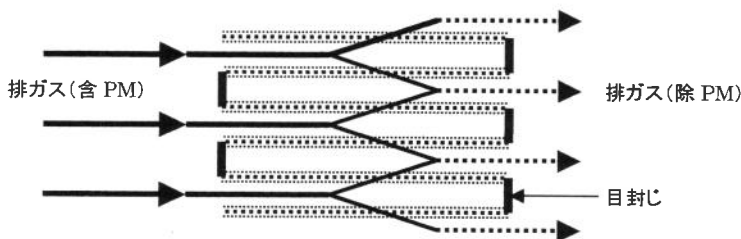


Fig-6 DPF模式図

5-2-3-1. 目封じタイプ

触媒に使われるセルを交互に接続しその端部を塞いだ構造(図-6)で壁の中を排ガスが通過する際に煤を捕集する。このタイプでは約90%以上の高い捕集率が得られるが、反面圧力損失(背圧)が高く、ホットスポットと呼ばれる煤の局部燃焼が起こり易く、溶損の可能性もある。現在は融点が高く、熱伝導性の高い材料の担体が研究、開発されている。

5-2-3-2. 多孔体タイプ

触媒中を排ガスが通過すると煤がその壁面に衝突し捕集されるタイプで、目封じタイプに比べると捕集率はやや劣るが、空孔率が目封じタイプより大きいため圧力損失が少なく溶損の可能性も低いメリットを有する。

5-2-4. 再生方式

5-2-4-1. 切替再生方式

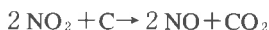
煤が捕集され堆積するとDPF(フィルタ)が詰り圧力損失が増大(高背圧になり出力損失)する、また煤の自己着火による急激な燃焼(高温)でDPFの溶損が起こる。捕集した煤を安定燃焼させてDPFの再生をはかる方法には、DPF2個を排気系に並列装着し、1個(片方)が目詰りを起こした場合、もう一方に切替て排ガスを通過させる。その間に堆積したDPFの煤を電熱線(ヒータ)、燃料バーナ等で燃焼させフィルタを再生させる方法である。この方法は複数個装着、切替装置、圧力検知、切替時期等複雑なシステムが要求され、コスト的に問題が残る。

5-2-4-2. 連続再生方式(パッシブタイプ)

排気系に1個のフィルタを装着し、走行中に排気熱を利用して捕集しながら煤を燃焼させる連続再生型が研究、開発されている。

煤の燃焼には550~600℃の高温が必要であり、この高温の燃焼温度・酸化温度を得ることはエンジンの燃焼形態、排気系(フィルタの位置)等から反応温度の確保・維持が困難である。またDPFの材質、その周囲に対しても問題であり、燃焼温度を低下させる方向に(低温で燃焼酸化)研究・開発が進んでいる。

排出ガス中のNOを積極的に酸化させNO₂に変化させ、このNO₂を利用してPM中の炭素分(C)を酸化させて、フィルタ(DPF)を再生する方式も研究開発されている。



フィルタの再生温度を低下させる方式が開発され提案されている。フランスのプジョー・シトロエン社では、燃料中に添加剤（主成分：セリウム）を加え、排気圧力（背圧）を検知して、フィルタの詰り具合に応じてコモンレール式燃料噴射装置により燃料を適宜（排気行程終期）必要量噴射させエンジン制御と酸化触媒をコントロールし排気温度を昇温（約450℃）させて、煤・PMを燃焼再生している。⁹⁾¹⁰⁾

5-2-5. 電界フィルタ（電界トラップ）+NOx触媒

筆者のグループが研究・実験してきた電界フィルタと還元触媒（自製：ディーゼル用）を用いた方法を紹介する。

5-2-5-1. 電界フィルタ（電界トラップ・サイレンサ）

排気系の途中に電極を設け、これに高電圧を印加（高電界）し電気力を利用して排ガス中のPM・煤を捕集するタイプで、排気系に圧力損失がなく排気効率が高いのが特徴であり、PM・煤（黒煙）捕集率は最高で90%を超えている。（図-7、図-9）

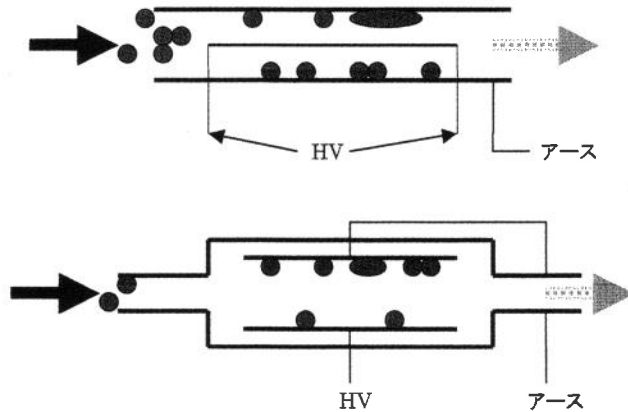


Fig-7 電界フィルタ

5-2-6. ディーゼル用触媒

触媒はペレットタイプで（株）東ソより提供を受けたゼオライト（粉末）を蒸留水とモルデナイトを混合し、この中に塩化第二水和物を溶解させ、12時間攪拌後濾過洗浄した。この濾過物を100℃で5時間乾燥し、その粉末を蒸留水と共に直径5mmのセラミックス製のボールに塗布した。更にこのボールを乾燥後電気炉にて高温焼成し作製した。（イオン交換量を変化させたものを数種類）

この触媒をステンレス製の専用ケースに封入し、電界フィルタの後部（排ガス下流）に設置した。（図-8）

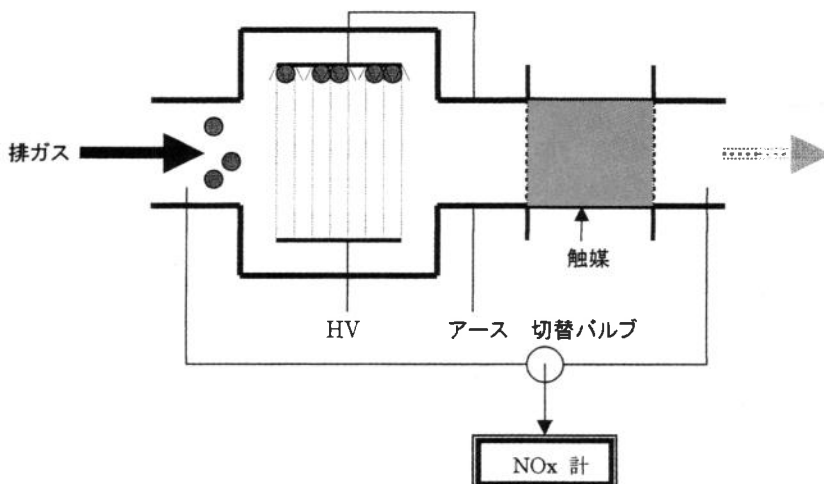


Fig-8 電界フィルタ+触媒

電界フィルタを用いて、PM低減実験の結果の例を図-9に示す、印加電圧の上昇に伴ない低減率が向上し印加電圧15 [kV] 以上において約80%以上の低減率を得た。

本実験装置では印加電圧は15 [kV] 以上が必要である。この事は電界フィルタの構造サイズ (容量)、電極の構造・形状、サイズ等とエンジンの排気量 (エンジン回転数・負荷) との適合性 (マッチング) があるものと考えられる。

筆者のグループが作製した、ディーゼルエンジン用触媒単体では、酸素過剰雰囲気内での燃焼ガス (排ガス) 中のNOx浄化率は低く、約15%前後であった。

この触媒を黒煙 (PM) より保護する目的で触媒の前段に電界フィルタを設置し触媒表面の黒煙皮膜生成を抑制した。電界フィルタとNOx触媒の組合せた状態で印加電圧を加えて電圧を上昇させていくと、この実験装置では印加電圧が15 [kV] 程度まではNOxの浄化率は緩やかに向上。(殆ど水平) (PM低減率は上昇しその効果が表れてくる) 印加電圧が15 [kV] を超えると、その浄化率が急上昇する。(図-10)電界フィルタの印加電圧を高めることにより触媒に入る排ガスに電界による励起 (電離・イオン化) 現象が起こり、その反応が活発になるものと考えられる。

この事により本実験装置は電界フィルタとNOx触媒をセットにすると、ディーゼル排出ガスで最重要問題になっている両物質 (PM・NOx) を同時に低減することが可能となる。

NOx浄化率の程度はエンジン (排ガス流量) との整合性等を考慮すれば、浄化率向上は期待できると考えられる。¹¹⁾

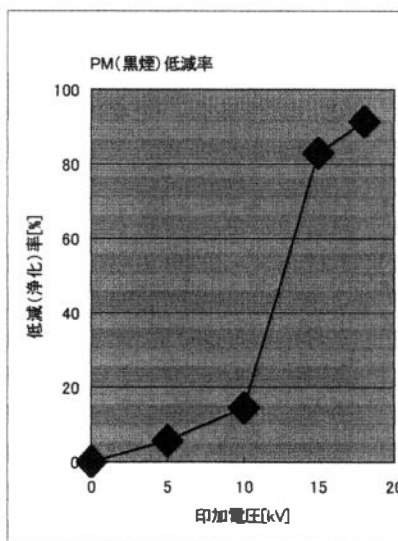


Fig-9 PM/印加電圧

6. ま と め

人類は我々(全ての者・物・生物)の宇宙船この「地球号」は最終乗組員・乗客で在る人類(一部の人間)によって、この地球の環境を破壊し今日の危機的(地球環境)状況になっている。

現在この環境問題で最大の問題点は地球温暖化であり、温暖化は現在も加速的に進行している。世界の大多数の人はこの温暖化をいかにストップ、減速させるか英知を出しあってきた。温暖化による被害は排ガスの有害問題より甚大でより深刻で最優先に対処が迫られた非常に重要な問題である。

温暖化の影響により地表上の氷河・氷山(南極大陸)の溶解、温度上昇による海水の膨張等で海水面が上昇、それによる陸地の減少(国家の消滅)が懸念されている。

温暖化・異常気象による、総降雨量の減少、スコール型の降雨による肥沃な土地(土壌)の流失、植物の生育不良、枯死等による地球の砂漠化が進行し、世界的な食料危機に見舞われると危惧されている。これらが進行すると、さらに地球温暖化が進行(加速的)すると考えられる。

物流(人・物の移動)の主役を現在のように内燃機関(自動車)に依存するとすれば、ディーゼル・エンジンは今アメリカ・日本でその存続が危ぶまれている。しかし、このディーゼル・エンジンは内燃機関(エンジン)の中で最も熱効率が高く、地球温暖化に対して優れた(有効)エンジンである。

温室効果ガスとして世界で最優先に排出抑制対象になっている、二酸化炭素(CO₂)の排出量が最も少なく地球環境に一番優しいエンジンがディーゼル・エンジンである。

ディーゼル・エンジンを全てガソリンエンジンに置換すると、世界の資源(石油)の枯渇が数十年早まると言われている。

21世紀は、目先(一時的)の発展・発達でなく、地球環境と調和した社会を形成し長期的な発展を展望しなければならない。我々は後世の子孫達に何を預けるのか、それも無理やり押付けるのか、彼等に譲る(贈る)負の遺産をこれ以上増やしてはならない。

将来も自動車が人・物の移動(物流)手段の主役であるとするならば、更にクリーンで省エネルギーが求められる。

現在、低公害・省エネで注目をされているハイブリッド(ガソリン・エンジン+電動機)のエンジンをガソリン・エンジンよりディーゼル・エンジンに変更すれば、その性能(低公害・省エネ)は更に向上し環境に優れたものになる。また、ディーゼル・エンジンの燃料を軽油からガス(LPG, LNGetc)に変換すれば排ガスは非常にクリーンになる(CO・HC・PM・CO₂低減)

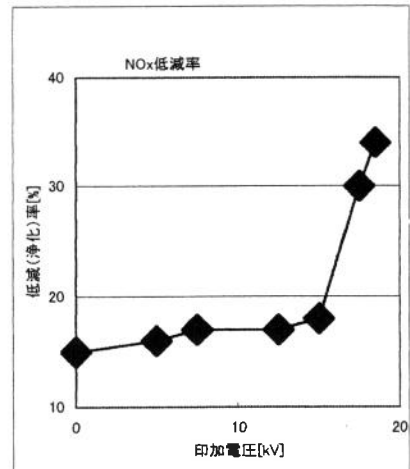


Fig-10 NOx/印加電圧

東京, 大阪, 名古屋等で問題になっている, ディーゼル・エンジンの排ガス (PM・NO_x etc) は, 発進時, 加速時, 過積載(トラック), 整備不良等の状態で非常に多く排出される。このことはディーゼル・エンジンよりこれを使用する側 (交通体系, 自動車使用者) の問題が大である。

都会の交通量を調整し自動車の停止時間, 回数 (交差点での停止, 発進) を少なくすれば有害ガス排出量, 燃料消費量等が低減され, クリーン化が進むと考えられる。都市は公共交通機関が発達・充実しており, これを多用することと市内近距離走行は小型車・電気自動車等 (走行距離, 充電スタンド・インフラ整備等で都市部は有利) を有効利用する。

郊外, 長距離走行は大型車 (バス・トラック: ディーゼル・エンジン) で連続走行することで, 燃費, 排ガス共に効率良く経済的で環境に与える影響も軽微である。

ディーゼル・エンジンを廃する方向でなく, この効率が高く地球環境に優しい動力源を有効に利用する方策を検討すべきである。(人間には?)

7. 参 考 文 献

- 1) 大気中微小粒子の環境・健康影響 (財)日本環境衛生センタ2000
- 2) NO_xの化学 共立出版 p58~
- 3) Engine Technology 07 March 2000
- 4) 自動車技術 Vol 55, p50, 2001/9
- 5) Engine Technology 06, January 2000
- 6) 日本機械学会Vol.105 No.1007, p21
- 7) Engine Technology 07, March 2000, p13
- 8) 化学総説 No34, 触媒設計, p100, 日本化学学会, 1982
- 9) Engine Technology 07, March 2000
- 10) 自動車技術 Vol55, 9-2001
- 11) 電気学会全国大会・論文集 4-431, 1998