

# ディーゼル・エンジンの排出ガス浄化 —電界トラップと触媒による排出ガス浄化—

木下勝晴・林 二一\*・渡辺茂男\*  
桜山一倉・佐藤幹夫・林 文明・森 光弘

## 1. はじめに

近年の地球環境の悪化，特に大気の悪化が著しく，地域的な光化学スモッグに始まり，地球規模的な酸性雨や地球温暖化，それらによる異常気象，さらに地球の砂漠化等が深刻な問題となっている。

この大気汚染の主要因が化石燃料の大量消費(燃焼排出ガス)によるものと考えられる。その対策としては燃料消費量の抑制と有害ガスの低減をはかることが重要であり，早急に取り組まなければならない重要な課題である。

ディーゼル・エンジンは内燃機関のなかでは熱効率がが高く，地球温暖化の主要因二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出に関しては有利な省エネ型のエンジンであります。反面有害物質の黒煙微粒子の排出量はガソリン・エンジンの約30~100倍，窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の排出量は約2~20倍<sup>1)</sup>であると言われている。筆者らの研究グループは，電界トラップ・サイレンサーを試作し黒煙の排出を抑制し，またNO<sub>x</sub>についてはディーゼル・エンジン用の触媒を試作し実験研究を行ったところ黒煙で約50%の低減率，NO<sub>x</sub>で約20~30%低減の成果を得たので報告する。

## 2. 黒煙，NO<sub>x</sub>

ディーゼル・エンジンの黒煙は，燃焼火炎中に噴射された燃料粒が局部的に空気(酸素)不足の状態で行高圧に晒されるため燃料に脱水素反応が起こりその中の炭素分が遊離固体化したもので，その中には発癌性物質(ニトロ・アレン，ベンゾ・ピレン等<sup>2)</sup>)が含まれ，環境庁国立環境研究所のマウス実験(ディーゼル黒煙投与)では，0.6mg与えると半数が死亡し，0.9mg以上では全数死亡という報告もあり，また花粉症，アトピー性疾患の原因とも言われその排出規制も厳しくなり，その対策として，燃焼改善，超高圧燃料噴射(150MPa以上：粒子の微細化，到達距離)等が考えられ実施されている。その反面NO<sub>x</sub>の増加に対して，その対処方法を考慮しなければならない。

NO<sub>x</sub>は土壌中に棲息する微生物や生物界の窒素循環サイクルより放出されるもの等自然界に存在するものに加えて燃焼によって大気中の窒素分子が高温の状態で行活性化され酸化反応(NO)が

\* 林 二一：愛知工業大学機械工学科教授・渡辺茂男：愛知工業大学電気工学科教授

すすみ生成されるものがある、このうち燃焼(エンジンの燃焼)によって生成されるものの割合が多く、これが炭化水素との共存下で紫外線を受け光化学スモッグの発生となった。人間が $\text{NO}_x$ の暴露によって影響を受けるのは150ppm以上で、300ppm以上の高濃度では喉の痛み、胸やけの後、潜伏期を経て呼吸困難、チアノーゼが起こり肺水腫で死亡すると言われている<sup>3)</sup>。この $\text{NO}_x$ は酸性雨の要因(硝酸、亜硝酸)でもあり、その低減は急務でありその規制も厳しくなっている。内燃機関においては、この黒煙と $\text{NO}_x$ の生成は相反する関係にあり、その低減対策も、また、トレードオフの関係にあり、その対処方法に困難をきたしている。

### 3. 実験装置、方法

#### 3. 1 ディーゼル・エンジンの黒煙除去(低減)

実験用エンジンの排気系に電界トラップ・サイレンサを設置し、水冷、渦電流式動力計により

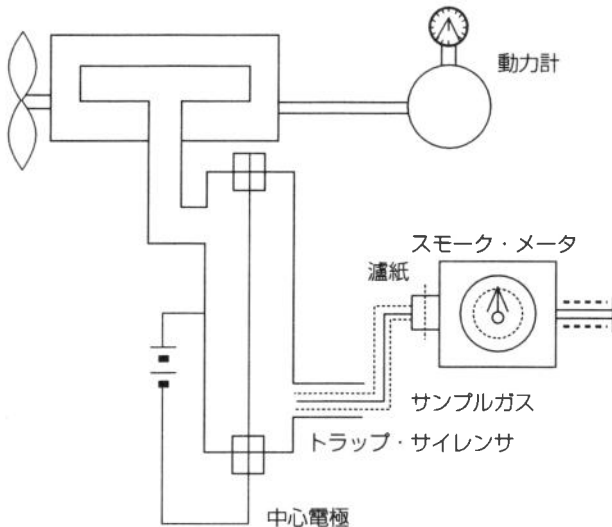


図1 黒煙捕集実験装置

エンジン回転数、負荷トルクを一定に設定した。図1は実験装置の概略図である。電界トラップ・サイレンサの印加電圧を変化させ黒煙濃度を測定し、その低減効果を確認した。今回実験に使用したエンジンの主要諸元を表1に示す。

黒煙の捕集は濾紙を通して3.3ℓの排出ガス中より採取し比較検討を行った。今回実験に使用したスモークメータはヂーゼル機器(現：ゼクセル)製、DSM-10Bを用い、測定はJIS-D-1101に従った。

表1 エンジン主要諸元

エンジン形式	LD20T・II
排気量	1952 [cc]
燃焼室形式	渦流室
ボア×ストローク	85×86
圧縮比	21.3
最高出力(PS/rpm)	79/4400

グループはゼオライト系の触媒をディーゼル・エンジン用に試作し実験を行った。図2にその実験装置を、また表2にゼオライトの特性を示す。ディーゼル・エンジンの場合排出ガス中の黒煙によって触媒の性能(活性)が劣化する、これを防ぐために触媒の前に電界トラップサイレンサを設置した。

#### 3. 2 $\text{NO}_x(\text{NO}, \text{NO}_2)$ 低減

ディーゼル・エンジンの燃焼は空気過剰状態で行われるので、ガソリン・エンジン用の三元触媒は殆ど還元反応を起さない。筆者の

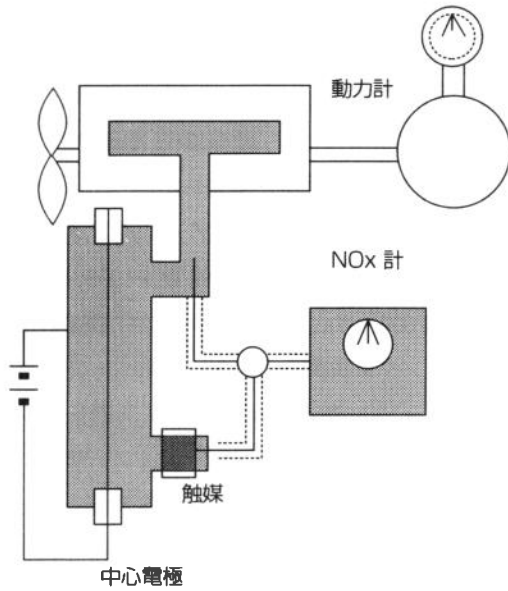


図2 NO<sub>x</sub>実験装置

表2 ゼオライト組成

物質名	H-Mordenaite
記号	HSZ-640HOA
外観	Powder
SiO <sub>2</sub> (wt%)	91.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	8.23
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (wt%)	0.03
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.9

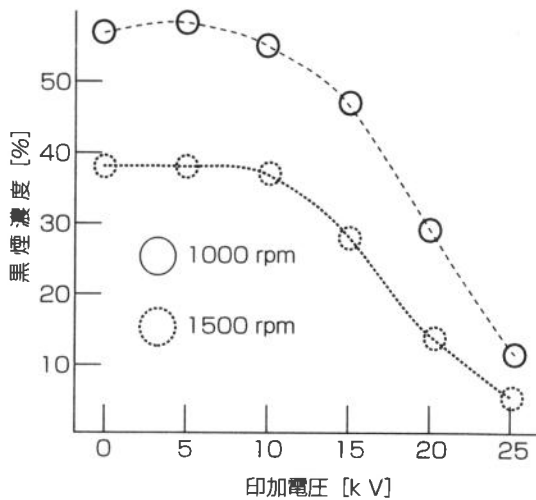


図3 印加電圧による黒煙濃度変化

このサイレンサの前部と触媒通過後の排出ガスをサンプリングし、NO<sub>x</sub>濃度(ppm)を各運転状態で測定した。この触媒の原料モルデナイトは(株)東ソより提供を受けたものであり、NO<sub>x</sub>濃度の測定は(株)島津製作所のポータブルNO<sub>x</sub>計NOA-305型を用いた。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 電界トラップによる黒煙捕集

電界中に微小電荷を持った黒煙粒子が存在するとクーロン力とイメージフォースが働きこの力と黒煙粒子の移動速度の合力によって電界トラップサイレンサの内部に捕集される、また燃焼時に発生する水分が黒煙粒子に凝集と適当な粘性を与え捕集効果を保持している。

黒煙捕集率は次式により計算を行った。

$$\eta = (1 - C_o / C_i) \times 100 [\%] \quad (4)$$

C<sub>i</sub>: 電圧を印加しない場合の汚染度

C<sub>o</sub>: 電圧を印加した場合の汚染度

図3の○はエンジン回転数1000[rpm], 負荷トルク52.7[Nm]の場合における、電界トラップ・サイレンサの印加電圧による排出黒煙濃度の変化を、□はエンジン回転数1500[rpm]負荷トルク52.7[N·m]の場合の印加電圧による排出黒煙濃度の変化を表す。

図4の○はエンジン回転数1000[rpm], 負荷トルク52.7[Nm]の場合における、電界トラップ・サイレンサの印加電圧による黒煙捕集率の変化を、また□はエンジン回転数1500[rpm], 負荷トルク52.7[N·m]の場合の黒煙捕集率の変化を表す。

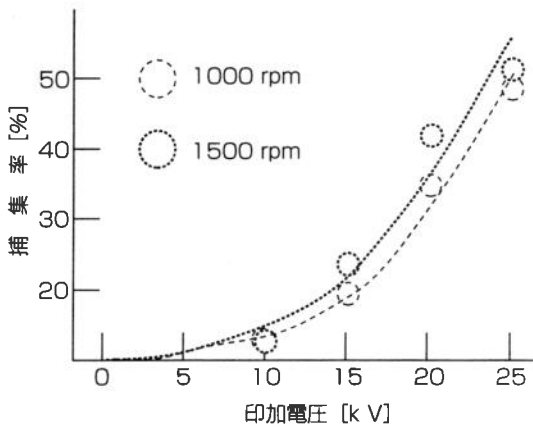


図4 印加電圧による黒煙捕集率

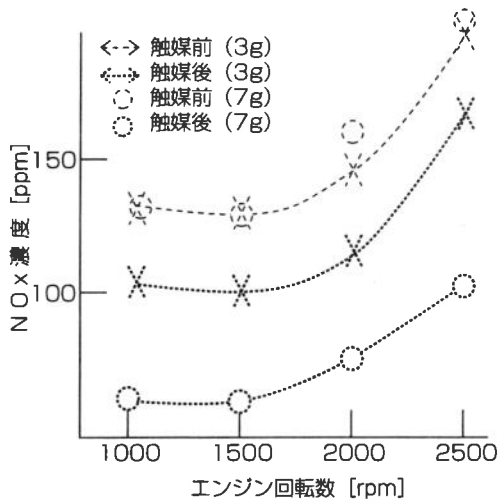


図5 エンジン回転数とNO<sub>x</sub>濃度

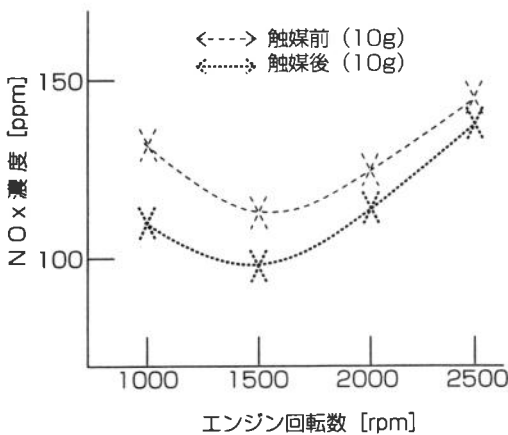


図6 エンジン回転数とNO<sub>x</sub>濃度

#### 4. 2 ゼオライト系触媒によるNO<sub>x</sub>低減

直径5mmのアルミナ( $Al_2O_3$ )粒子の表面にイオン交換法(Cu)により調整したゼオライトをコーティングし電気炉にて焼成したペレットタイプの触媒を作成した。

この触媒を電界トラップ・サイレンサの直後に設置し、エンジン回転数を1000, 1500, 2000, 2500[rpm], と変化させて運転した場合のエンジン負荷トルク35.1[Nm]一定条件で運転し、NO<sub>x</sub>濃度[ppm]を触媒通過後の排出ガス中のNO<sub>x</sub>濃度と電界トラップ・サイレンサ前部の排出ガス中のNO<sub>x</sub>濃度を測定した。

図5の<-> <->->はイオン(Cu)交換量3gの触媒を容器に封入し、エンジン負荷トルク35.1[Nm]でエンジン回転数を1000, 1500, 2000, 2500[rpm]と変化させた時のNO<sub>x</sub>濃度を表す。

図5の○●はイオン交換量7gの触媒を容器に封入し、エンジン負荷トルク35.1[Nm]でエンジン回転数を(1000, 1500, 2000, 2500[rpm])と変化させた時のNO<sub>x</sub>濃度を表す。

図6はイオン交換量10gの触媒をエンジン負荷トルク35.1[Nm]でエンジン回転数を(1000, 1500, 2000, 2500[rpm])と変化させた時のNO<sub>x</sub>濃度を表す。

図7はイオン交換量を3g, 7g, 10gと変化した触媒を用いた場合(図5, 6)のNO<sub>x</sub>低減率の関係を表している。

### 5. 考 察

#### 5. 1 黒煙除去

電界トラップ・サイレンサは印加電圧によって、黒煙の捕集に効果があることが確認できた。

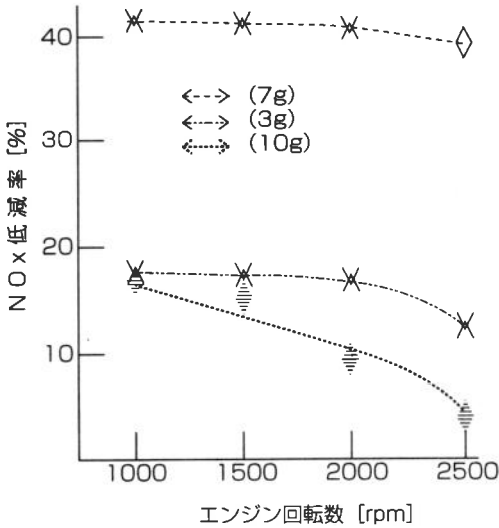


図7 イオン交換量とNO<sub>x</sub>低減率

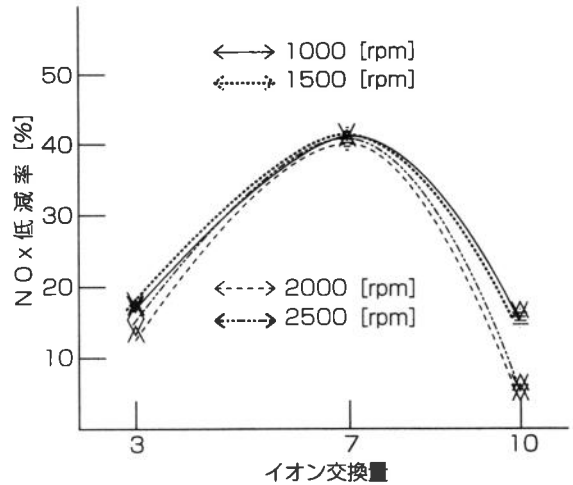


図8 イオン交換量とNO<sub>x</sub>低減率

今回の実験装置の場合は電界トラップ・サイレンサの長さは1.5mで行ったが、この長さで印加電圧は20[kV]以上で50[%]以上の捕集効果が確認された。

電界トラップ・サイレンサの長さ、(0.5~2.5m)による捕集効果も確認されている。電界トラップ・サイレンサのサイズ(内径、長さ)とエンジンの容量(排気量)、エンジン回転数(ガスの流速)に適したサイズがあるものと考えられる。

なお、電界トラップ・サイレンサの内部には細い中心電極のみが設置してあり、排出ガスの流れを妨げない構造で、排出ガスの背圧による排気効率を悪化させない。

この電界トラップ・サイレンサはアメリカ、ドイツにおいて特許が認定されている。

図9

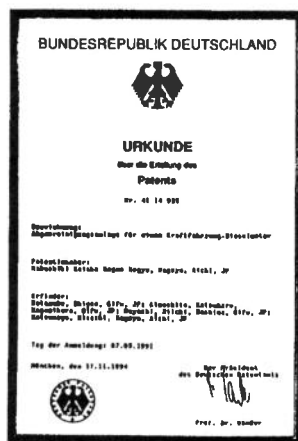


図9 パテント

## 5.2 NO<sub>x</sub>低減

ガソリンエンジン用の三元触媒は、ある限られた範囲内の空燃比で活性(酸化・還元反応)を起す、これをディーゼルエンジンに装着したが全くNO<sub>x</sub>低減の効果は確認できなかった。

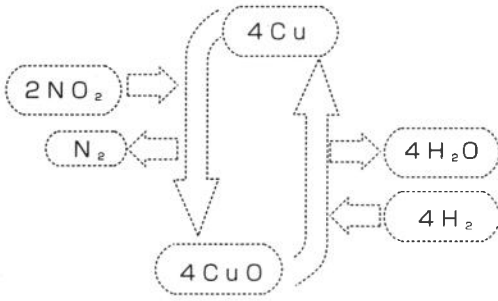


図10 還元サイクル

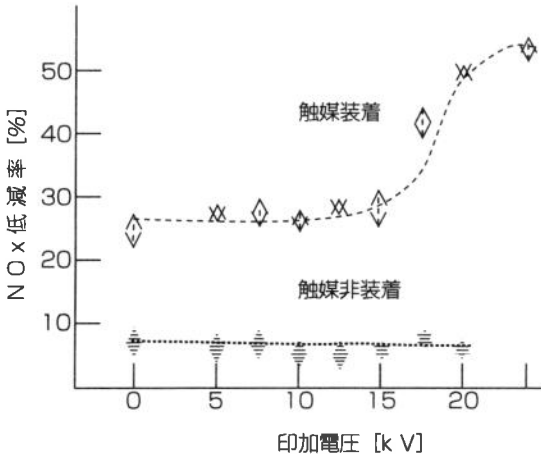


図11 印加電圧によるNO<sub>x</sub>低減率

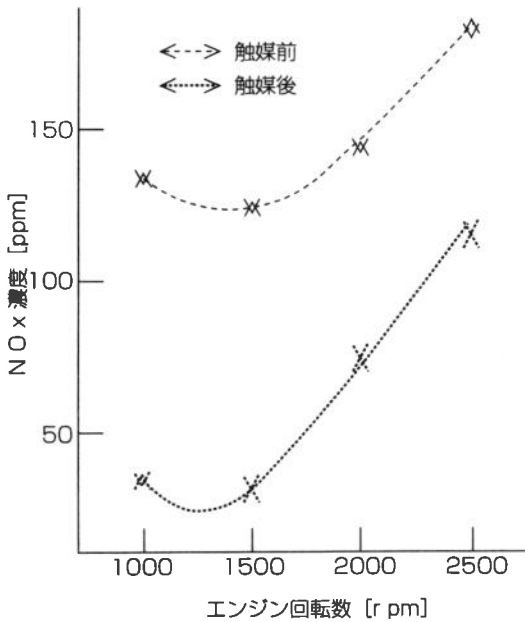


図12 イオン交換量7gのNO<sub>x</sub>濃度

ゼオライトはアルカリ系カチオンが比較的容易にイオンを交換する性質が知られている、この特性を利用してイオン交換法により触媒を作製し実験を行った、図7、及び図8に示すようにイオン交換量によりNO<sub>x</sub>低減率に差が表れた、触媒による還元反応は図10のような還元サイクルを起こしているものと考えられる

本実験のゼオライト系触媒は、エンジンの回転数上昇にともなって、NO<sub>x</sub>低減効果が低下する傾向がみられたが、イオン交換量が7gの触媒において図7のように、エンジン回転数の変化に関係なくほぼ一定の低減率を示した。

これは本実験の条件(エンジンの排気量、回転数、負荷トルク、触媒の量、イオン交換量)等がよく整合した為の結果と考えられる。

イオン交換量7gの触媒は本実験(3, 7, 10g)の3種類の中で最高のNO<sub>x</sub>低減率を示した。

図12に今回の実験で約80%のNO<sub>x</sub>低減率を測定したエンジン回転数とNO<sub>x</sub>濃度の例を示す。

### 5. 3 印加電圧とNO<sub>x</sub>低減率

当初、電界トラップ・サイレンサは触媒粒子(ペレット)に黒煙が付着してその活性(反応)が低下するのを防ぐ触媒保護を目的として設置した。

この電界トラップ・サイレンサの印加電圧の変化(高電圧)により触媒の活性(NO<sub>x</sub>低減)に差異が現れた。

図11にエンジン回転数1000[rpm]、負荷トルク35.1[Nm]の場合のNO<sub>x</sub>低減率と印加電圧の関係を示す。印加電圧が約15kV以上で低減率が上昇している。

## 6. お わ り に

電界トラップ・サイレンサは黒煙の捕集に効果のあることが確認できた。今回の実験では電界トラップ・サイレンサ長1.5m, 印加電圧20kVで50%以上の捕集効果が得られたが条件によって80~90%の効果も確認している。

ディーゼル・エンジンのNO<sub>x</sub>を効果的に除去(低減)するため, ゼオライト系触媒を用いた実験では, イオン交換の量によってNO<sub>x</sub>低減率に差が現れることが確認された。この差の明らかな原因は現在のところ不明である。また, 印加電圧とNO<sub>x</sub>低減率との関係についても現在検討中である。

実験装置の製作について, 工学第2教室(車体整備)青木恒夫講師には多大のご協力を頂いた, ここに記して, 謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 村山 正, 常本秀幸;自動車エンジン工学・山海堂, 1997 P.139
- 2) 久松由東;大気環境学会誌・第33巻第2号, 1998 P.A77~A81
- 3) 長 哲郎, 佐藤 伸 他;NO<sub>x</sub>の化学・共立出版, 1978 P.10~147
- 4) 日本規格協会;JIS B-9909
- 5) K. Kinoshita, S. Watanabe, N. Hayashi, Y. Uchida, G. Touchard; Journal of AOTs, Vol. 2 No. 2, P. 278-282, 1997