

## 誘電体バリア放電によるディーゼル発電機の排ガス処理

学生員 工 藤 昭 一 (岩手大)

学生員 戸 田 憲 二 (岩手大)

正 員 高 木 浩 一 (岩手大)

非会員 加 藤 昭 二 (岩手大)

正 員 藤 原 民 也 (岩手大)

## Treatment of Exhaust Gas from a Diesel Engine Generator by Dielectric Barrier Discharge

Shoichi Kudo, Student-Member, Kenji Toda, Student-Member, Koichi Takaki, Member,  
Shoji Kato, Non-Member, Tamiya Fujiwara, Member (Iwate University)

Non-thermal plasma process has been developed for the treatment of exhaust gas. In this paper, we describe the experimental results of NO<sub>x</sub> reduction in the exhaust gas from a 20 kVA diesel engine using dielectric barrier discharge. A multipoint-to-plane geometry was used as electrodes to lower the operating voltage. A power supply used is mainly composed of rectifier circuits, IGBT and pulse transformers. An output pulses of 10 kV can be generated at 2.5 kpps (pulses per seconds). NO can be almost completely removed for electrical load below 35% of the rated output at flow rate of 5 l/min.. In the case of drying exhaust gas, NO<sub>2</sub> was produced through an oxidation of NO. NO<sub>2</sub> production, however, decreased with the use of humid gas. The NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) in the gas exhausted from the diesel engine generator was reduced up to 13% with an electrical efficiency of 17 g/kWh at flow rate of 1.1 Nm<sup>3</sup>/min..

キーワード：排ガス処理, NO<sub>x</sub>, 非熱平衡プラズマ, 誘電体バリア放電, ディーゼルエンジン, 無声放電

## 1. まえがき

近年, 大気汚染による地球環境の悪化が大きな問題となっている。火力発電所やディーゼル発電機などの排ガスに含まれる窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) も酸性雨など大気汚染の原因の 1 つとなっているため, 早急な対策が求められている。脱硝技術は, 発電所など大規模排出源ではアンモニア接触還元法などが確立されている。しかし, 自動車やディーゼル発電機など小規模排出源用の技術はいまだに確立されていない<sup>(1) (2)</sup>。

コロナ放電や誘電体バリア放電などで生成される非熱平衡プラズマは, 熱化学反応で起こりにくい反応を容易に引き起こすことができるため, 大気汚染物質の処理への応用が期待されている<sup>(3) (4)</sup>。特に, 排ガス処理は研究段階から実用化の開発へと進みつつあり, プラントの排ガス処理, ディーゼル車および発電機の排ガス処理が実験的に行われている<sup>(5) (6)</sup>。

我々は, これまで剣山型電極を用いることで 2~3 kV (実効値) と, バリア放電方式としても低い電圧で NO<sub>x</sub> 処理を行ってきた<sup>(7) (10)</sup>。駆動電圧の低減は, 絶縁設計

の面で, システムの小型化につながり, 実用化に有利になる。このほかにも, 剣山をもちいたマルチポイント電極バリア放電は, 従来の平行平板型のバリア放電と異なるいくつかの特徴を有する。そのひとつはストリーマの極性で, 平行平板では正ストリーマしか発生しないのに対して, マルチポイントでは正負両極性のストリーマが交互に発生することである<sup>(11)</sup>。また, 電荷量の小さなストリーマが, 多数発生することもマルチポイント方式の特徴である<sup>(12)</sup>。この他にも, 電極の形状と処理効率との相関や, 低流量におけるディーゼル発電機の排ガス処理についても報告してきた<sup>(13)</sup>。

バリア放電リアクターで発電機の排ガス処理システムを構成する場合, 100 V もしくは 200 V の電圧を kV オーダまで昇圧する必要がある。ネオン変圧器を用いる昇圧法は, もっともシンプルな昇圧法であるが, 本リアクターに用いた場合, 漏れ磁束のために, エネルギー変換効率が 50% 以下になる<sup>(14)</sup>。また, 20 kVA 以上のディーゼル発電機を想定した場合, 排ガスの流量は 1 m<sup>3</sup>/min. 以上になり, 低圧駆動した場合, 周波数の制限からリアクター内に十分なエネルギーを投入するのが困難になる。

そこで本論文では、100 V、50 Hz の正弦波を全波整流してコンデンサに充電し、IGBT を用いてスイッチング、さらにパルストランスで昇圧することにより発生する、減衰振動波形を印加電圧として用いた場合の、マルチポイント電極バリア放電による排ガス処理を、流量  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  の大流量で行った結果について述べる。

## 2. 実験方法

図 1 に実験装置の構成を示す。実験では、ディーゼル発電機（デンヨー DCA-25 SPI）の排ガスを、実験の目的に合わせて直接リアクターに導入、もしくは排ガスの一部をフィルターで微粒子、シリカゲルドライヤーで水分を取り除きリアクターに導入した。発電機の定格出力は 20 kVA、電圧は三相 200 V、排気量は 2369 cc、流量は実測で  $1200 \text{ L/min}$  である。発電機の負荷は水抵抗により、50 A まで変化させた。負荷電流 50 A は定格の 87% に相当する。放電容器を通ったガスはガス分析器（ホダカ testo 350）に入り  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$  濃度が、またオゾン計（ダイレン DY-1500）に入りオゾン濃度が測定される。

図 2 に、発電機の負荷電流と排ガス中に含まれる  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$  濃度との関係を示す。ただし複数回の測定結果より、各濃度とも、外気温等の運転条件により、10% 程度の差が生じた。無負荷時の  $\text{NO}$  濃度および  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ) 濃度は 100 ppm 以下であるが、負荷の増加と共に増加し、50 A では  $\text{NO}$  濃度は 350 ppm となる。また、 $\text{NO}_x$  中に占める  $\text{NO}_2$  の割合は約 10% と小さい。また、大気中で 20.9% の酸素濃度は、排ガス中では負荷電流の増加と共に減少し、50 A では約 7% となる。排ガスの  $\text{CO}$  濃度は、一般に、負荷の増加に対して増加する。しかし、本実験で使用した発電機の場合、排ガス中に含まれる  $\text{CO}$  濃度は 150~240 ppm で、負荷電流の増加に対して減少する傾向を示す。

実験は大きく 2 つに分けて行われた。1 つは低流量時の実験である。これは、放電処理による排ガス成分の変化、

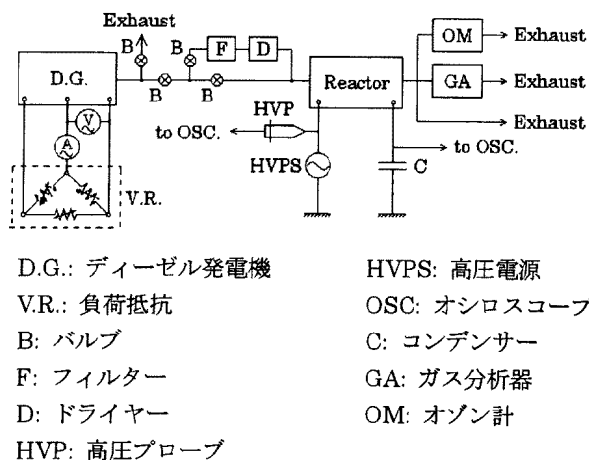


図 1 実験装置

Fig.1. Experimental setup.

および水分の影響を調べるのを目的に、正弦波電圧と容積  $400 \times 65 \times 25 \text{ mm}$  の放電容器を用いて行なわれた。電極には市販の剣山（針本数 275 本、面積  $39 \text{ cm}^2$ ）を 3 個使用し、誘電体には厚さ 2 mm のソーダガラスを用いた<sup>(12)</sup>。針先端から誘電体表面までの距離は 0.8 mm とした。他は大流量時の実験で、これはディーゼル発電機の排ガスを直接リアクターに導き行なわれた。リアクターへは、100 V の商用電圧（50 Hz）を全波整流してコンデンサを充電し、これを IGBT でスイッチングした後、パルストランスで昇圧したパルス電圧を印加した。出力電圧は 10 kV まで、繰り返し周波数は 2.5 kpps (pulses per second) まで可変である。図 3 に電圧波形の一例を示す。電圧は高圧プローブ（Tektronix P6015）を用いて測定された。6 kV の電圧が、繰り返し周波数 2.5 kpps で出力されている。また、電圧の極性は正負交互になっている。

消費電力および放電消費エネルギーは、コンデンサ

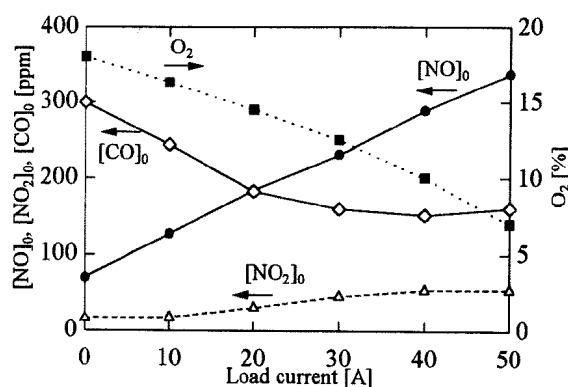


図 2 発電機の負荷電流と排ガス中に含まれる  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$  濃度との関係

Fig.2. Relationship between load current and concentrations of  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$ .

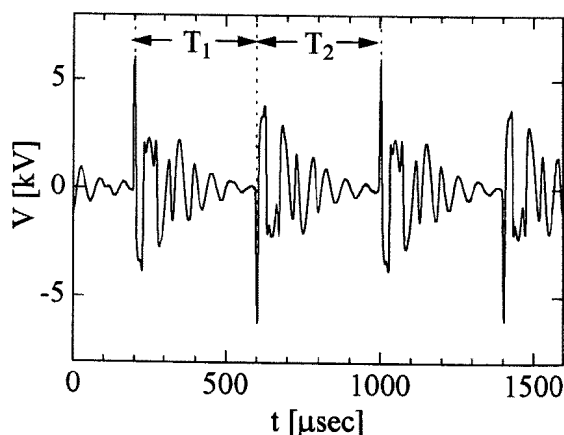


図 3 印加電圧波形

Fig.3. Waveform of the applied voltage.

(204 nF または 1.1  $\mu$ F) で電荷量を測定し、V-Q Lissajous 法により求めた。図 4 に、図 3 のパルス電圧を印加した時の V-Q Lissajous 図を示す。図中、●は図 3 の時間  $T_1$  を、▲は時間  $T_2$  の V-Q の値を表している。両方の面積の和は約 30 mJ となる。これに周波数 (=  $1/(T_1 + T_2)$ ) を掛けることで、消費電力は約 38 W と求まる。

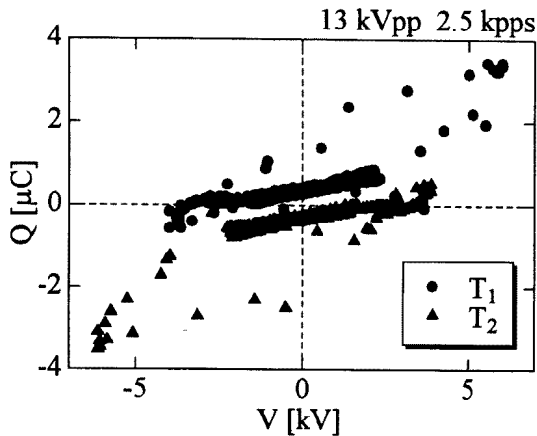


図 4 VQ-Lissajous 図  
Fig.4. VQ-Lissajous diagram.

### 3. 低流量時の NO<sub>x</sub> 処理特性

図 5 に、放電による NO 処理量 ( $-\Delta NO = [NO]_0 - [NO]$ ; ただし,  $[NO]_0$  は NO の初期濃度,  $[NO]$  は放電処理後の NO 濃度) および NO<sub>2</sub> の生成量 ( $\Delta NO_2 = [NO_2] - [NO_2]_0$ ; ただし,  $[NO_2]$  は放電処理後の NO<sub>2</sub> 濃度,  $[NO_2]_0$  は NO<sub>2</sub> 初期濃度), O<sub>3</sub> の生成量 ( $\Delta O_3$ ) を示す。NO の初期濃度は発電機の運転条件により多少異なる。図中の点線は、本実験時での NO の初期濃度  $[NO]_0$  を示す。排ガス

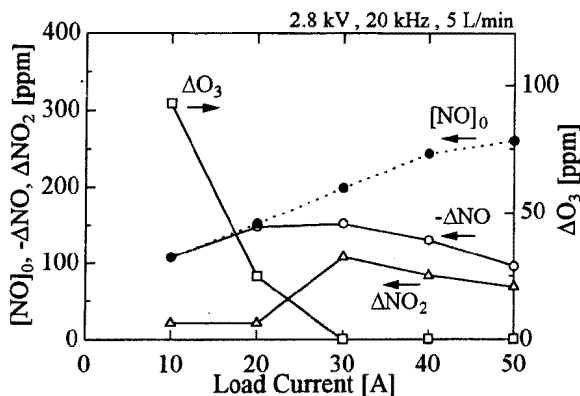


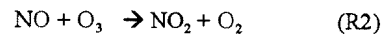
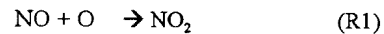
図 5 放電による NO 処理量と NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> の生成量の負荷電流依存性

Fig.5. Load current dependency of NO removal and NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> productions by the discharge.

はフィルター除塵・除湿されており、ガスは 5 L/min. で流している。印加電圧は周波数 20 kHz, 実効値 2.8 kV の正弦波とした。

図より、NO は負荷電流が 20 A 以下で初期濃度が低い場合、ほぼ 100% 除去されている。しかし、負荷電流 30 A 以上では処理量は減少している。また、30 A 以上では NO<sub>2</sub> の生成量が NO の処理量に近い値まで増加していることから、NO の大部分は NO<sub>2</sub> へ酸化されていることがわかる。O<sub>3</sub> は NO がほぼ 100% 処理されている時のみ発生している。

ガスに含まれる酸素濃度が 3.6% 以上の場合、NO はほぼ 100% 酸化して NO<sub>2</sub> になることが報告されている<sup>(15)</sup>。我々の実験の範囲では、図 2 に示す様に酸素濃度は 3.6% 以上となっている。従って、減少した NO は大部分が以下の様な化学反応を通して、一旦は NO<sub>2</sub> に酸化されていると考えられる。



しかしながら、図 5 において  $-\Delta NO$  と  $\Delta NO_2$  は一致していない。このことより、(R1) もしくは (R2) によって発生した NO<sub>2</sub> は、さらなる化学反応か、ガスに含まれる水分の影響等が起こり、減少していることがわかる。オゾン NO がほぼ 100% 処理された時のみ発生する。この理由として、NO が存在する場合、(R1) の反応により酸素原子が存在しなくなったか、(R2) のオゾンの触媒的破壊<sup>(16)</sup>が起こることが考えられる。また、負荷電流 40 A 以上で電流の増加に対して NO の処理量、NO<sub>2</sub> の生成量は減少する理由として、負荷の増加に対して酸素濃度が減少し、その結果 O ラジカルの生成量も減少するためと考えられる。

図 6 に、発電機の負荷電流と排ガスに含まれる CO<sub>2</sub> 濃度および放電で発生する CO 濃度 ( $\Delta CO = [CO] -$

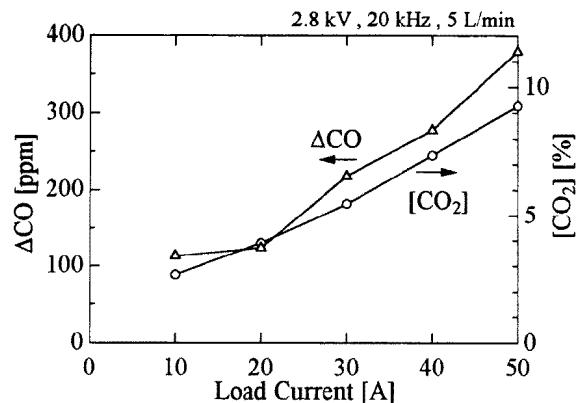


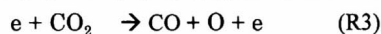
図 6 発電機の負荷電流と排ガスに含まれる CO<sub>2</sub> 濃度および放電で発生する CO 濃度

Fig.6. Load current dependency of CO<sub>2</sub> concentration and CO production by the discharge.

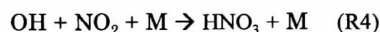
$[CO]_0$ ; ただし,  $[CO]$  は放電処理後の  $CO$  濃度,  $[CO]_0$  は  $CO$  の初期濃度) を示す。 $CO_2$  濃度は軽油の燃焼の換算式,

$$[CO_2] = (1 - [O_2]/20.9) \times 15.4 [\%] \quad (1)$$

より求めた。 $CO_2$  濃度は負荷電流の増加に対して上昇し, これに伴って  $CO$  の生成量も増加している。 $CO$  が生成される反応は以下のような電子衝突と考えられる<sup>(17)</sup>。



$NO_x$  の放電処理に対する水分の影響を調べるために, 除湿をせずに, 除塵のみほどこした排ガスをリアクターに導き, 実験を行なった。図 7 に放電による  $NO$  処理量および  $NO_2$ ,  $CO$  生成量を, 図 8 に除湿の有無による電圧 1 サイクルあたりの消費エネルギーおよび  $NO$  処理効率を示す。印加電圧は, 図 5 の場合同様に, 周波数 20 kHz, 実効値 2.8 kV である。除湿をせず, 排ガス中の水分量が多い場合, 放電での消費エネルギーは除湿をした場合の約 1.5 倍に増加する。しかし  $NO$  の処理量に大きな変化は見られず, また  $CO$  の生成量は約半分まで減少している。このことより, 水分の増加による消費エネルギーの増加は, (R3) の反応や  $O$  活性種の生成に必要な高エネルギー電子の増加につながっていないことがわかる。このため  $NO$  の処理効率は, 図 8 に示すように, 水分が増えることで減少している。また, 負荷 30 A 以上において,  $NO$  の処理量に対する  $NO_2$  の生成量は, 除湿をしないことで減少している。この理由として,  $NO_2$  の水への溶け込み, または以下のような  $OH$  ラジカルを通した反応が考えられる<sup>(18)</sup>。



ここで,  $M$  は不活性分子を表す。

#### 4. 大流量時の $NO_x$ 処理特性

大流量時の  $NO_x$  処理特性は, ディーゼル発電機の排ガスを直接リアクターに導入した状態で調べられた。実験の様子を図 9 に示す。実験は 2 月に, 野外 (岩手・盛岡市) で行なわれた。

実験に用いたリアクターの構造を図 10 に示す。放電電極は先端角  $45^\circ$  の四角錐を多数配置した剣山型電極対平板電極であり, 高電圧電極を接地電極が挟み込む構造となっている。平板電極の表面に, 誘電体として厚さ 2 mm のパイレックスガラス (比誘電率 4.6) を貼り付けている。電極の寸法は  $220 \times 90$  mm であり, 針先端から誘電体までの距離を 2.0 mm とした。放電容器は 2 列 3 段に区切り, それぞれに中央の高電圧電極を接地電極で挟んだ 6 つの電極ユニットを配置した。放電容器の容積は  $220 \times 200 \times 400$  mm で 18 L であるが, 電極間の体積は約 0.5 L しかないために, 放電空間での排ガスの滞在時間は流量 1200 L/min の時, 約 0.02 秒であり, 滞在時間は流量に反比例する。

図 11 に, 発電機の負荷電流に対する  $NO$  処理量および  $NO_2$  の生成量を示す。ピーク電圧 6.7 kV のパルス電圧を, 繰り返し周波数 1.9 kpps で印加した。このとき, 電源へ

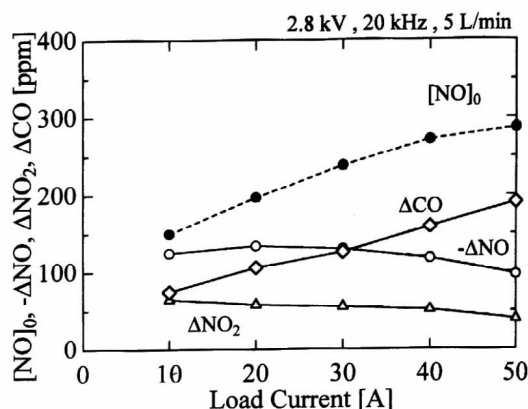


図 7 除湿を行わない時の放電による  $NO$  処理および  $NO_2$ ,  $CO$  生成特性

Fig.7. Characteristics of  $NO$  removal and  $NO_2$ ,  $CO$  productions by the discharge without the driver.

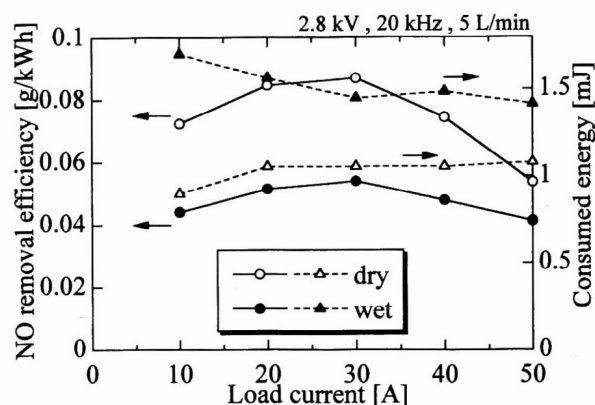


図 8 水分の有無による電圧 1 サイクルあたりの放電消費エネルギーおよび  $NO$  処理効率の変化

Fig.8. Changes of the energies consumed in the discharge and  $NO$  removal efficiencies by humidity.



図 9 実験の様子

Fig.9. Photograph of the experimental arrangement.

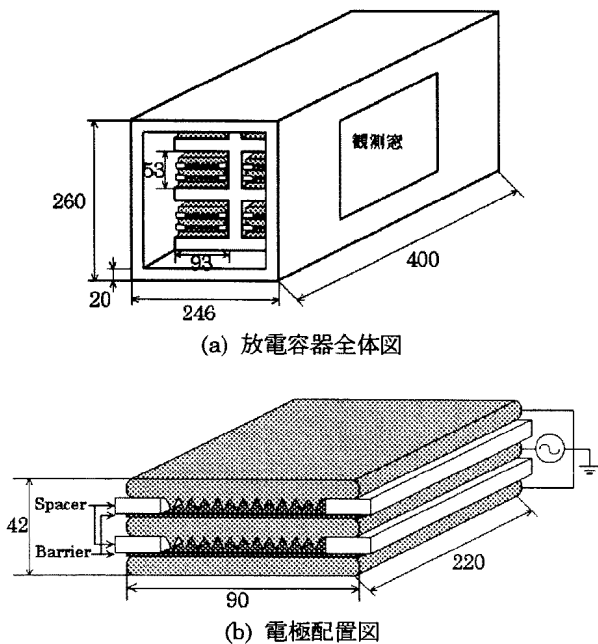
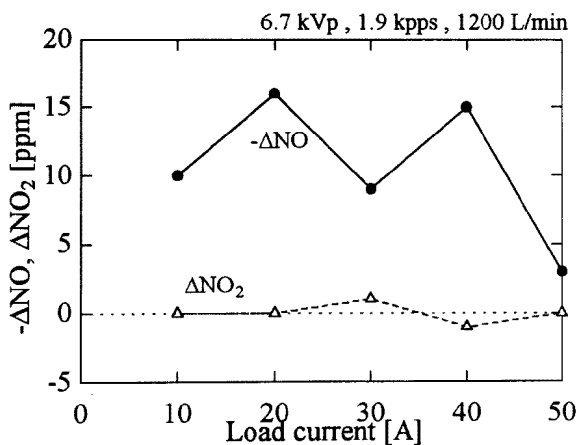


図 10 放電容器と電極配置

Fig.10. Schematic diagrams of the reactor and the arrangement of the electrodes.

図 11 大流量時の NO 処理および NO<sub>2</sub> の生成特性Fig.11. Characteristics of NO removal and NO<sub>2</sub> production by the discharge at high gas flow rate.

の投入電力  $P_1$  は、可動コイル型のアナログ電力計で測定され、約 300 W であった。この値は発電機の定格出力の 1.5% に相当する。ガスの流量は 1200 L/min. であり、排ガスの冷却等は特に行っていない。図より、負荷電流に対してばらつきはみられるものの、NO の処理量は約 10 ppm であり、負荷の増加に伴い減少する傾向となること

がわかる。この傾向は、図 7 の負荷電流 30 A 以上で、負荷の増加に対して NO 処理量が減少する傾向と一致している。酸素濃度の減少による O ラジカルの減少等が、原因として考えられる。また、図 7 の場合は処理された NO の 40% 程度の NO<sub>2</sub> が発生しているのに対して、図 11 ではほとんど発生していない。排ガスに関して両者の実験条件で異なる点は、除塵の有無、流量、ガス温度である。特に、図 7 では配管でガス温度がほぼ室温まで冷却されるのに対して、図 11 では 100℃ 以上と、水の沸点を越える。

図 12 に、電源のエネルギー利用率  $\eta_1$  と処理系全体の NOx 処理効率  $\eta$  を示す。利用率  $\eta_1$  は、電源への投入電力  $P_1$  に対する放電の消費電力  $P_2$  の割合 ( $\eta_1 = P_2 / P_1 \times 100$  [%]) として、 $\eta$  は  $P_1$  と NOx 処理量より求めた。図より、NOx 処理効率は系全体では約 6 g/kWh となっている。放電による NOx 処理効率は  $\eta / (\eta_1 / 100)$  として求められ、 $\eta_1$  が約 30% であることから、約 20 g/kWh となる。ネオントランスを用いた処理系においても、ネオントランスの漏れ磁束のため、エネルギー利用率は 50% 程度であった<sup>(14)</sup>。本実験で使用したパルス電源の利用率  $\eta_1$  は、出力電圧に対して増加し、9 kV で約 50% となる。

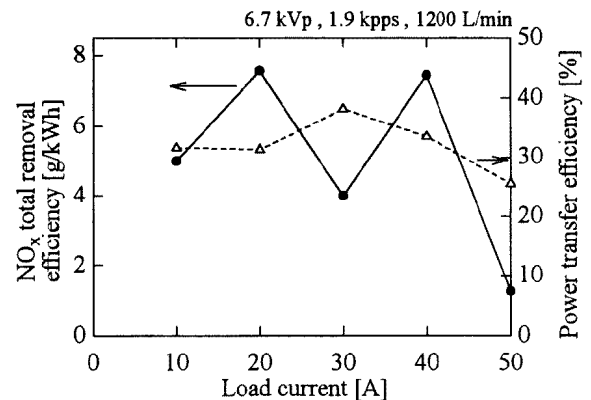


図 12 電源のエネルギー利用率と処理系全体の NOx 処理効率

Fig.12. Power transfer efficiency of the high voltage power supply and NOx removal efficiency of the system.

図 13 に、図 11 に対して、ガスの冷却および除塵を行なった場合の NO 処理量、NO<sub>2</sub> の生成量および放電の消費電力  $P_2$  を示す。印加電圧は 9.2 kV、繰り返しは 2.0 kpps、電源への投入電力  $P_1$  は約 450 W であり、これは発電機の定格出力の 2.25% に相当する。排ガスは水冷により 30℃ まで冷やされた後、リアクターへ導かれた。このときの流量は 1125 L/min. である。図より、NO 処理量は約 20~35 ppm で、処理率に直すと無負荷時で 42%、70% 負荷時で 10% となる。また、NO<sub>2</sub> の発生量は NO の

処理量の約半分となっており、図 11 の冷却・除塵をしない場合の結果と異なり、図 7 の結果とほぼ一致することがわかる。また、放電の消費電力が 200 W となることより、NO 処理効率は 11 g/kWh, NO<sub>x</sub> の処理効率は 6~10 g/kWh となる。

NO<sub>x</sub> 処理量のエネルギー密度依存性を調べる目的で、ここでは排ガスの一部をバルブで逃がし、リアクターに入るガス流量を変え、NO および NO<sub>x</sub> 処理量を調べた。図 14 にその結果を示す。印加電圧の繰返し周波数は 2.0 kpps, 負荷電流は 40 A で、流量は 75 L/min. から 1125 L/min. まで変化させた。エネルギー密度は印加電圧とガス流量で変えた。エネルギー密度の増加に伴い、NO と NO<sub>x</sub> の処理量は増加している。NO と NO<sub>x</sub> の処理効率は、本実験条件下で、それぞれ約 15 g/kWh (流量 1125 L/min., 20 ppm 処理時), 17 g/kWh (流量 1125 L/min., 25 ppm 処理時) となる。この値は、他の論文で報告されている NO 処理効率 10.6 g/kWh<sup>(8)</sup>, 7.4 g/kWh<sup>(18)</sup> と同程度の値となっている。

## 5. まとめ

剣山型の電極を用いることで、低電圧で誘電体バリア放電を生成し、20 kVA 定格ディーゼル発電機排ガスの NO<sub>x</sub> 処理を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

排ガスに含まれる NO<sub>x</sub> 濃度は、発電機の負荷電流の増加に対して 100 ppm 以下から 400 ppm まで増加した。また、酸素濃度は 7% まで減少した。これをバリア放電リアクターに通すことで、NO は減少するが、NO<sub>2</sub>, CO は増加した。排ガスに水分が含まれる場合、NO の処理量や NO<sub>2</sub>, CO の生成量は、乾燥ガスを使用した場合に比べ減少する。

IGBT や整流回路、パルストランス等で構成されるパルス電源を用いて、発電機に直接つないだリアクターを駆動し、NO<sub>x</sub> の処理特性を調べた。パルス電源を発電機の定格出力の 1.5% に相当する 300 W で駆動した結果、10 ppm の NO<sub>x</sub> 濃度の低下が見られた。このとき電源のエネルギー利用率は 50% 以下であった。処理効率は、放電のみでは 20 g/kWh であるが、電源の利用率も含めた系全体の処理効率は約 6 g/kWh となった。系全体の処理効率を上げるためには、電源のエネルギー利用率の改善が必要になる。また、投入エネルギーに対して NO および NO<sub>x</sub> 処理量は増加した。

最後に本研究を行なうに当たり、実験装置の準備、御討論などで御協力をいただきました (株) 日立メディアエレクトロニクス加藤友行氏並びに高橋和徳氏に、また (株) 日立エンジニアリングサービス鈴木和夫氏並びに黒石一夫氏、鈴木智一氏に深く感謝いたします。尚、本研究は文部省科学研究費 (課題番号 09555084) の援助によって行われた。

(平成 11 年 7 月 5 日受付, 平成 12 年 2 月 4 日再受付)

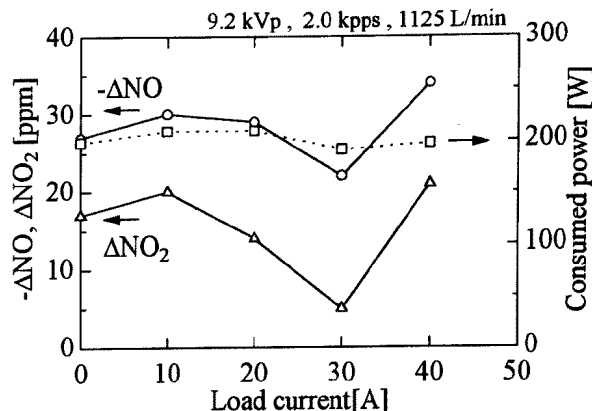


図 13 排ガスを冷却した場合の NO 処理量, NO<sub>2</sub> の生成量および放電の消費電力

Fig.13. Power consumed on the discharge and characteristics of NO removal and NO<sub>2</sub> production by the discharge in cooling the gas.

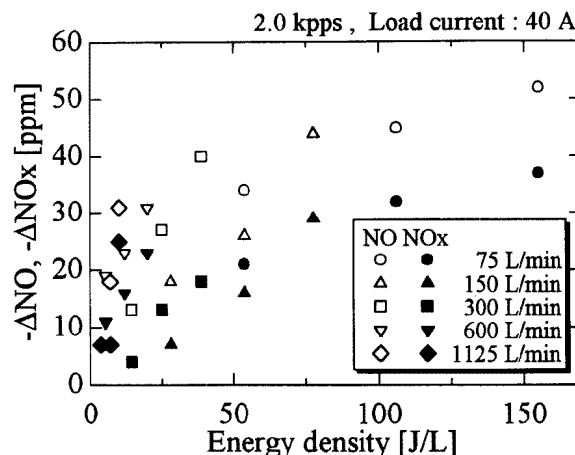


図 14 NO, NO<sub>x</sub> 処理量のエネルギー密度依存性

Fig.14. Energy density dependency of NO and NO<sub>x</sub> removal.

## 文 献

- (1) 化学工学協会編:「環境プロセス工学」(1976) 横書店
- (2) S. Masuda, M. Hirano & K. Akutsu: "Enhancement of Electron Beam Denitrization Process by Means of Electric Field", Radiat. Phys. Chem., 17, 223-228 (1981)
- (3) B. Eliasson, & U. Kogelschatz: "Nonequilibrium Volume Plasma Chemical Processing", IEEE Trans. Plasma Sci., 19 (6), 1063-1077 (1991)
- (4) E.M. van Veldhuizen, W.R. Rutgers, & V.A. Bityurin: "Energy Efficiency of NO Removal by Pulsed Corona Discharges", Plasma Chemistry and Plasma Processing, 16 (2), 227-247 (1996)
- (5) G. Dinelli, L. Civitano, & M. Rea: "Industrial

Experiments on Pulse Corona Simultaneous Removal of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from Flue Gas", IEEE Trans. Ind. Appl., 26(3), 535-541 (1990)

- (6) J.S. Chang, P.C. Looy, K. Nagai, T. Yoshioka, S. Aoki, & A.Maezawa, "Preliminary Pilot Plant Tests of a Corona Discharge-Electron Beam Hybrid Combustion Flue Gas Cleaning System", IEEE Trans. Ind. Appl., 32 (1), 131-137 (1996)
- (7) M. Higashi, S. Uchida, N. Suzuki & K. Fujii : "Soot Elimination and NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> Reduction in Diesel-Engine Exhaust by a Combination of Discharge Plasma and Oil Dynamics", IEEE Trans. Plasma Sci., 20 (1), 1-12 (1992)
- (8) 新川智祥・酒井克寿・堀田秀一・松原正幸・山田裕之・川崎直貴・坂本直樹・手嶋健太郎・吉岡芳夫 : 「無声放電によるディーゼルエンジン排ガス浄化システム」, 平 11 電学大全, No.1-100, 129-130 (平 11-3)
- (9) 鈴木智一・村上宏行・高木浩一・藤原民也 : 「誘電体バリア放電を用いた NO<sub>2</sub> 除去」, 電学論, 117-A (11), 1084-1089 (1997)
- (10) M.A. Jani, K. Takaki, & T. Fujiwara : "Low-voltage operation of a plasma reactor for exhaust gas treatment by dielectric barrier discharge", Rev. Sci. Instrum., 69 (4), 1847-1849 (1998)
- (11) M.A. Jani, K. Takaki, & T. Fujiwara : "Streamer polarity dependence of NO<sub>x</sub> removal by dielectric barrier discharge with a multipoint-to-plane geometry", J. Phys. D: Appl. Phys., 32 (19), 2560-2567 (1999)
- (12) M.A. Jani, K. Takaki, & T. Fujiwara : "An experimental comparison between multipoint-to-plane and parallel plane geometry for NO<sub>x</sub> treatment using a dielectric barrier discharge", J. Phys. D: Appl. Phys. (投稿中)
- (13) K. Takaki, M.A. Jani, & T. Fujiwara : "Removal of Nitric Oxide in Flue Gases by Multipoint to Plane Dielectric Barrier Discharge", IEEE Trans. Plasma Sci., 27(4), 1137-1145 (1999)
- (14) 鈴木智一・M.A. Jani・工藤昭一・高木浩一・加藤昭二・藤原民也 : 「ネオン変圧器を用いたバリア放電型 NO<sub>x</sub> 処理系のエネルギー変換効率」, 電学論, 119-A (1), 13-18 (1999)
- (15) K. Yan, S. Kanazawa, T. Ohkubo, & Y. Nomoto: "Oxidation and Reduction Processes During NO<sub>x</sub> Removal With Corona Induced Non-Thermal Plasma", Plasma Chemistry and Plasma Processing, 19 (2), 421-443 (1999)
- (16) 山部長兵衛 : 「オゾンを作る」, 電学誌, 114 (10), 640-644 (1994)
- (17) 松丸雅士・玉木司・根本憲・佐々木一典・小越澄雄 : 「AC グロー放電による炭酸ガス還元」, 電学論, 113-A (2), 77-82 (1993)
- (18) R. Bendahan, K. Fujii, M. Higashi : "Nitrogen Oxides

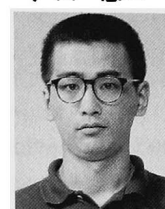
Dexomposition Using A Dielectric Barrier Discharge Reactor", 電学論, 118-A (4), 380-386 (1998)

#### 工藤 昭一



(学生員) 1975 年 6 月 13 日生まれ。1998 年 3 月岩手大学工学部卒業。同年 4 月同大学大学院工学研究科博士前期課程入学, 現在に至る。主として, 放電による NO<sub>x</sub> 処理に関する研究に従事。

#### 戸田 憲二



(学生員) 1972 年 10 月 26 日生まれ。1999 年 3 月岩手大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年 4 月同大学院工学研究科博士後期課程入学, 現在に至る。主として, 放電による NO<sub>x</sub> 処理に関する研究に従事。応用物理学会, プラズマ・核融合学会会員。

#### 高木 浩一



(正員) 1963 年 10 月 16 日生まれ。1988 年 3 月熊本大学大学院修士課程修了。同年 4 月同博士過程入学。1989 年 4 月大分高専電気工学科助手, 1993 年同校講師。1996 年 4 月岩手大学電気電子工学科助手, 現在に至る。工学博士。高電圧パルスパワー, 放電プラズマ工学に関する研究に従事。日本物理学会, 静電気学会会員。

#### 加藤 昭二



(非会員) 1945 年 6 月 3 日生まれ。1964 年 3 月盛岡工業高等学校電気科卒業。同年同月より岩手大学工学部に勤務し, 現在に至る。主として, 高電界における液体絶縁物の電気伝導現象と破壊, 放電プラズマの応用に関する研究に従事。

#### 藤原 民也



(正員) 1947 年 4 月 17 日生まれ。1973 年 3 月東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月一関高専電気工学科助手。1975 年 4 月岩手大学工学部電気工学科助手, 講師, 助教授を経て 1994 年 2 月同教授。1987 年 3 月～1988 年 3 月マサチューセッツ工科大学客員研究員。工学博士。応用物理学会, 電気設備学会, プラズマ・核融合学会会員。