2. 4 kVAディーゼルエンジン発電機の排ガス中のNO_x除去実験

正員 新川 智祥 (日立製作所)

正員 吉岡 芳夫 (金沢工業大学)

NO_x Removal Experiment in Exhaust Gas of a 2.4kVA Diesel Engine Generator
Tomoaki Shinkawa (Hitachi Ltd.),
Yoshio Yoshioka (Kanazawa Institute of Technology)

Interest in the earth environmental problem has been rising year after year. Air pollutants such as NO_x, SO_x are contained in exhaust gases from car engines and electric power generators and they are one of the causes of the environmental disruption. From now on, countermeasures have to be taken especially for exhaust gas from diesel engines, because high concentration of NO_x, higher remaining oxygen and soot make the development of selective catalyzer difficult. A diesel engine generator of 2.4kVA was selected as a target of exhaust gas cleaning, and the non-thermal plasma technology was applied to reduce NO_x in the exhaust gas. A system composed of gas cooler, flow lines, discharge reactor of silent discharge type and scrubber was constructed and NO_x removal experiments were carried out under various conditions. The system was operated successfully and the maximum NO_x removal rate of 60% at the half engine load was attained. The NO_x removal efficiency, the effect of hydrocarbon injection and the practical problems experienced in these experiments were described.

キーワード：無声放電、排ガス処理、NO_x、炭化水素

Key Words: Silent Discharge, Exhaust Gas Treatment, NO_x, Hydrocarbon

1. はじめに

近年、地球環境問題として大気汚染に関しての関心が高まる中、ディーゼル自動車や発電用ディーゼルエンジンなどから排出されるガス中のNO_xや微粒子の除去が急務となってきた。NO_x除去方法として、三元触媒法が挙げられるが、ディーゼルエンジンについては従来の処理法が適用できないため、放電によるNO_x除去法の研究が盛んになってきた。最近では、NO、NO₂などのガスを混合した模擬ガスを用いた研究や、放電と触媒を組合せた研究⁽¹⁾、放電形態を変化させた研究⁽²⁾などが行われている。しかし、ディーゼルエンジンの排ガスは、ススやCO₂、水分などを含み、酸素濃度が高く、エンジン負荷によってNO_x濃度が変わるなど、放電リアクタが厳しい条件にさらされる。そのため、模擬ガスを用いた場合と実ガスを用いた場合ではかなり除去性能に差があると考えられる。しかし、実用規模のNO_x除去システムを構築し、実際の排ガス全量をシステムに流し、放電によりNO_x除去した研究は、自動車用の研究⁽³⁾はあるが、発電用については数少ない⁽⁴⁾。

本論文では、2.4kVAのディーゼルエンジンを選定し、ガス冷却装置、放電リアクタ、スクラバーからなるNO_x除去システムを構築した後、実ガス全量をシステムに流しNO_x低減実験を行った。また、放電空間にHC

(炭化水素)を添加させるとNO除去性能が向上するとの報告⁽⁴⁾があるので、本システムでもHCを添加し、その添加量を変化させた場合の除去性能を単独放電の場合と比較した。また今回得られた実験結果を従来の基礎研究と比較検討し、NO_x除去システムの実用化に関する評価も行った。

2. NO_x除去システムの概要

本研究で用いたNO_x除去実験システムを図1に示す。このシステムは、定格出力2.4[kVA]、平均排ガス

図1 NO_x除去システム

Fig. 1 NO_x Removal System

流量23 [m³/h] のディーゼルエンジンから出る排ガスの全量を処理するように設計されている。排ガスはまず冷却装置で冷却したあと5層構造の平行平板型放電リアクタ（後述）に流す。一方、システム交流電源（株）NF回路ブロック製）と変圧器で高電圧を発生させ、これを放電リアクタに印加して無声放電を発生させ、これによって排ガス中のNOをNO₂に酸化する。最後に、放電処理ガスを自噴式のスクラバーに入れ、放電で発生したNO₂を水または亜硫酸ナトリウム水溶液に吸収させる。これによってNOとNO₂の和であるNO_xを減少させ大気中に排出させる仕組みとなっている。

図2は、NO除去効率を上げるために、HC（炭化水素）を注入させる装置である。この装置は、ポリタンクの

図2 HC注入システム

Fig.2 HC Injection System

中にガソリンを1.5 [L] 入れ、流量調整可能なエアポンプを使い空気でガソリンを中でバブリングし、上部に発生したHCの蒸気を冷却装置直後の排ガス中に混入する仕組みになっている。なお、HC濃度の測定は自動車排ガス測定器（堀場製作所製）を使用しリアクタ下流で測定した。また高電圧は、図1の分圧器で測定し、放電電力は放電電流の積分値Qと印加電圧Vとから、QVリサージュ波形を描かせてその面積から計算で求める方法を用いた⁽⁵⁾。

図3 排ガス特性

Fig.3 Exhaust Gas Character

図3は2.4 kVAディーゼルエンジン発電機のNO_x、NO、NO₂濃度の特性である。定格負荷（2 [kW]）でNO濃度は約340 [ppm] がある。NO_xは、NOとNO₂との和で表されるが、NOはNO_xの90%以上占

めている。なお、NOの濃度測定は放電リアクタ下流部で半導体センサー式のNO_x計（株）テスト製）を用いて測定した。また、酸素濃度は、一般に無負荷で17%、定格負荷で11%程度残っている。COは無負荷で1450 [ppm]、定格負荷で600 [ppm] 程度、CO₂は、無負荷で約2%、定格負荷で5%強である。

図4は、本研究で使用した放電リアクタを示す。放電リアクタは、厚さ3 [mm]、大きさ200 [mm] × 220 [mm] のソーダガラスを誘電体とし、表面に150 [mm] × 180 [mm] のアルミ箔を電極として貼り付け、これをギャップ3 [mm] で6枚重ね、5層構造のリアクタ（総放電面積1350 [cm²]）とした。6枚のアルミ箔電極には、交互に高電圧とアースを結線し、全体として各放電ギャップは並列接続となるようにした。印加電圧は12 [kVp] から18 [kVp] の間で実験を行った。

図4 放電リアクタ

Fig.4 Discharge Reactor

このエンジンの排ガスは定格負荷で約10.5 [g/h]（=23×340×30/22.4×10⁻³）のNOを出している。NO除去効率としては、20 [g/kWh] を期待できるので、NOの50%を除去する場合を計算すると、約262 [W] の放電電力が必要になる⁽⁶⁾。設計にあたって放電電力Pは、次式で計算した⁽⁵⁾。

$$P = 4 f C \times V_g (V_0 - V_g)$$

ここにf：周波数、V_g：放電電圧、V₀：印加電圧波高値、

図5 放電電力と印加電圧の関係

Fig.5 Discharge Power vs. Applied Voltage

C：誘電体の静電容量である。

放電電力は、周波数あるいは電圧を変えればほぼ希望の放電電力を得ることができる。本論文では、印加電圧20[kV(波高値)]、周波数250[Hz]で263[W]が出るように放電リアクタを設計した。図5は実際に放電電力を測定した結果である。

図6は、排ガス冷却装置の冷却特性である。定格負荷でエンジンから排出された約270[°C]の排ガスは30[°C]まで冷却されている。この排ガス冷却装置は銅管内部に排ガスを流し、外側から水で冷却する仕組みとなつて

図6 ガス冷却特性

Fig.6 Characteristics of Gas Cooler

いる。高速ガス流で熱伝達係数を大きくするように銅管を潰しガス流入面積を小さくした設計となっている⁽⁶⁾。

図7は、実ガス用スクラバーを示す。この装置は、大きさ600[mm]×290[mm]×高さ360[mm]の容器に水または亜硫酸ナトリウム水溶液を入れ、液中にも

図7 スクラバー

Fig 7. Scrubber

うひとつの部屋を設け、その中から排ガスが吹き出すように小孔(径約3[mm])370個を約1[cm]間隔であけたものである。排ガスが小孔からバブルとなって噴出し水溶液と十分に接触することにより、ガス中のNO₂を吸収する構造となっている。

3. 実験方法および条件

〈3.1〉 NO_x除去実験の方法

ディーゼルエンジンを起動し、排ガスを冷却管で冷却した後、放電リアクタに流し無声放電によりNOをNO₂に

変えた後、NO濃度をNO_x計で測定した。NOの減少と同時にNO₂が生成されるためそれらの和であるNO_xは余り減らない。したがって放電リアクタの後にいたスクラバーでNO₂を吸収させNO_xを除去している。従ってこのシステムのNO_xの除去性能は、放電によるNOの除去性能とスクラバーによるNO₂の除去性能により決まる。

〈3.2〉 実験条件

(a) 負荷変動におけるNO除去実験

ディーゼルエンジンの負荷として無負荷、半負荷(1[kW])および全負荷(2[kW])を選び、負荷変動とNO除去性能の関係を調べた。電力注入の条件として、二次電圧は約13[kV]付近、周波数を50~250[Hz]と変化させて放電電力を変化させた。

(b) 無声放電とHCを併用したNO除去実験

NO除去効率を高くするためにHCを添加すると、放電によって生成されるラジカル作用で、HCの過酸化(ROO)ができ、それがオゾンよりも強力な酸化剤として働きNOをNO₂に酸化させる。無声放電とHCを併用した除去実験では、負荷1[kW](NO:140[ppm]、HC:40[ppm])とし、HC濃度は

表1. HC添加量とHC/NOモル比

Table.1 Addition of HC vs. HC/NO molecule Rate

HC添加量 [ppm]	HC/NO モル比
40 (無添加時)	0.3
120	0.9
230	1.6
400	2.9
700	5.0

表1に示すようにNO濃度のモル比に対して所定の量を添加した。なお、無添加の場合でも、排ガス自体の中に40[ppm]のHCが含まれている。この実験で、HCの濃度を変えた実験の目的とは次の通りである。

- (1) NO濃度と同量のHCを添加するとHCの過酸化(ROO)がNOとほぼ同量発生しHCが十分に作用する。
- (2) NO濃度より低い濃度のHCを添加すると過酸化物の量がNOの量より少ないのでNOの酸化はオゾンとHCの過酸化物の両方で行われる。
- (3) NO濃度より高い濃度のHCを添加すると多くの過酸化(ROO)ができ、NOとの反応の確率が高まるので条件(1)より性能が向上すると考えられる。

(c) スクラバーによるNO₂除去実験

放電によりNOから変化したNO₂は、亜硫酸ナトリウムと水を混合したスクラバー内の水溶液に吸収される。

NO₂除去実験の条件は以下の通りである。

1. エンジン負荷は1[kW]とした。初期NO_x濃度は、155[ppm](NO:140[ppm]、NO₂:15[ppm])である。
2. 放電リアクタに投入する放電電力を150[W]一定とした。この時処理されたガスのNO_x濃度は140[ppm](NO:50[ppm]、NO₂:90[ppm])である。なお、この実験は炭化水素(HC)を添加せず、放電単独で行った。
3. スクラバー内の水溶液に投与する亜硫酸ナトリウムの量を110、220、500[g]とした。なお水量は12[L]、フィルタから水面までの水位は、約2[cm]である。

4. 実験結果

(4.1) 負荷変動時のNO除去実験

図8は、エンジン負荷を変化させた時の放電電力とNO濃度との関係を示す。この図より、エンジンの負荷を減少

図8 放電電力とNO濃度の関係(負荷変動時)
Fig.8 Discharge Power vs. NO Concentration
(at various load)

させると排出されるNO濃度が低下すること、ならびに、各負荷に対して同じ放電電力を与えた場合、NO濃度の低減量(入口NO濃度一出口NO濃度)には大差がないことが分かる。

図9は、負荷を変化させた時のNO低減率とNO除去効率の関係を示したものである。負荷が大きくNO濃度が高い場合はNO低減率が低く除去効率は20[g/kWh]

図9 NO低減率とNO除去効率の関係
Fig.9 NO Removal Rate vs. NO Removal Efficiency
(at various load)

付近である。一方、負荷が小さい場合は、エンジンから排出されるNOの濃度が下がるのでNO低減率は大きくなるが、除去効率は減少する。NO低減率の大きいところで効率が悪くなる理由は、放電によりNOが減りNO₂が増加するためNO₂+O→NO+O₂への逆反応が生じたためであると考えられる⁽⁷⁾。

(4.2) 無声放電とHCを併用したNO除去実験

図10は、エンジン負荷1[kW]でHCを添加した時の放電電力とNO濃度の関係である。単独放電とHCを添加した場合とを比較すると、HCを添加した場合の方がNO濃度の低下が大きいことが分かる。また、添加するHCを増すにつれてNO濃度は低くなり、HC濃度が最も高い700[ppm]の時、NO濃度は140[ppm]から30[ppm]まで79%低減した。

図10 放電電力とNO濃度の関係
Fig.10 Discharge Power vs. NO Concentration
(addition of HC)

図11は、NO低減率とNO除去効率の関係である。HCの濃度を高めると効率は高くなるが、単独放電と同様に、NO低減率が低い部分においては除去効率が高く、NO低減率が50~60%を超える付近から低下する傾向

図11 NO低減率とNO除去効率の関係
(HC添加時)
Fig.11 NO Removal Rate vs. NO Removal Efficiency
(addition of HC)

がある。NO低減率50%におけるNO除去効率は、HC濃度700 [ppm] の時60 [g/kWh] となり無声放電単独時の約3倍となった。また、この時の放電電力は約35 [W] であるから、エンジン出力の3.5%程度の放電電力でNOの排出量を50%低減させたことになる。

図12は、放電リアクタ下流部のHCを測定した結果である。HCの濃度はリアクタ下流部で若干減少しており、その減少量は、HCを400 [ppm] 添加した時30 [ppm]、230 [ppm] 添加した時30 [ppm]、120 [ppm] 添加した時20 [ppm] であった。この結果より、添加したHCはオゾンよりも強力なHCの過氧化物となってNOをNO₂に酸化させるが、そのあとHCに戻りいわば触媒的な作用をしていると考えられる。また、HCは多少減少するとはいえその大半が排出されるのでHCの規制値を考慮して注入量を制限しなければならない。

図12 HCの排出量と放電電力の関係
Fig.12 Outlet HC vs. Discharge Power

次に、HC量の最適点を見出すため、NO低減率50%においてHCを添加したときNO除去効率が、無添加の場合のNO除去効率に対してどれだけ増加するかを調べ、これをNO除去効率の向上率と表すことにした。図13はこのようにして求めたNO除去効率の向上率とHCとNOのモル比との関係を示す。この図より、排ガス

図13 HC/NOモル比とNO除去効率の関係
Fig.13 NO Removal Efficiency vs. HC/NO Ratio

に注入するHCの量に対して除去効率の向上には飽和傾向が見られる。また図12で示したように、反応後のHCは放電リアクタから排出されるので、別の大気汚染の原因になりかねない。したがって効率向上とHCの排出量の極小化とを同時に達成する最適点を知る必要がある。この図よりHCが1.0~1.5の付近までHCの増加とともにNO除去効率の向上率が上昇するが、それを超えると、効率の向上率は緩やかになるため、最適なHCの注入量は、モル比でNO量の1.0~1.5倍付近であると考えられる。

(4.3) スクラバーの試験結果

表2は、3.2 (C) の条件で実験を行った時 (NO_x濃度: 140 [ppm] NO: 50 [ppm]、NO₂: 9 [ppm]) の亜硫酸ナトリウムの投与量とスクラバーから排出されたNO₂濃度およびNO₂低減率との関係を示す。水単独の場合、NO₂濃度はスクラバー処理前の90 [ppm] より75 [ppm] (NO₂低減率16%) まで下がったが、亜硫酸ナトリウムを500 g 投与した場合は、10 [ppm] (NO₂低減率89%) まで低減した。亜硫酸ナトリウムを加えるとNO₂除去率が向上するが、大量に投与しすぎても除去率はそれほど増加しない。亜硫酸ナトリウムは、NO₂との反応で消費されるので、その量はスクラバーが処理できるNO₂の量に関係すると考えられる。詳しくは、さらに研究が必要である。

表2. スクラバーの試験結果

投与量 [g]	NO ₂ 濃度 [ppm]	NO ₂ 低減率 [%]
0 (水のみ)	75	16
110	45	50
220	18	80
500	10	89

5. NO_x 除去システムの評価

図14 各排ガス処理におけるNO_x濃度とNO_x低減率の関係
Fig.14 NO_x Concentration and NO_x Removal Rate in Various Treatments of Exhaust Gas

第4章の実験結果から、エンジン負荷1[kW]、放電電力150[W]という条件で、放電リアクタの後、およびスクラバー処理の後のNO_x濃度およびその低減率を整理し、本論文で構築したNO_x除去システムの全体的な評価を行った。その結果を図14に示す。エンジン負荷がたとえば2[kW]と大きい場合は、NO_xの低減率、NO_xの濃度などは違った値になることに注意していただきたい。

(1) 排ガス処理前(初期状態)

初期状態では、NO_xは約155[ppm]排出され、その内90%がNO濃度、10%はNO₂濃度である。排ガス中に含まれるNO、NO₂の存在する割合は一般的に9:1(NO:NO₂)と報告されているが、本結果でも、同程度であった。

(2) 単独無声放電処理後

単独無声放電処理でNO除去率が50%となるよう放電電力を150[W]一定とし、NO_x除去を行っている。その結果、NO濃度は50[ppm]まで低減しているが、逆にNO₂濃度は、90[ppm]程度増加しており、NO_xは140[ppm]程度、NO_x低減率にして10%と低い結果になっている。すなわち、単独無声放電では、NOは主に酸化反応によりNO₂へと変化するだけで、NO_xはわずかし低減しないことから、NO_x除去システムとしてはNO₂の除去が必要になることは明らかである。

(3) スクラバー処理後

スクラバーでのNO₂吸収処理は、水のみの場合、NO_x濃度は約135[ppm]、NO_x低減率にして約20%程度低減している。また、亜硫酸ナトリウムを投与し水と混合させた場合にはNO_x濃度は大きく低減している。すなわち、水12[L]に対し、亜硫酸ナトリウムの投与量を500[g]とした時、NO_x濃度は約60[ppm]まで低下し、NO_x低減率は60%に達している。これはエンジン出力が半負荷の1[kW]ならば、エンジン出力の15%の放電電力で、NO_x排出量を半減した事になる。

NO除去効率は、HCの添加で大きく向上するので、今NO濃度の2.5倍に当たる375[ppm]のHCを添加する場合を考えると、図13よりNO除去効率は、約2.4倍になり、エンジン出力の6.1%の放電電力でNO_xを半減できる事になる。

6 考察

〈6.1〉 NO除去効率についての検討

本論文のNO_x除去システムで排ガスを処理するとき、NO_x除去効率はNO除去効率に大きく依存することになる。そこで、本論文のNO除去効率を従来の報告と比較検討することにした。

(1) 排ガス温度の検討

今回、排ガスは冷却装置で40[°C]程度まで下げたが、

一般に化学反応は高温になるほど活発になるので、排ガスを冷却しすぎるとNOからNO₂への酸化反応が少なくなり、NO除去性能は低下すると考えられる。しかし著者ら別の実験では、排ガス温度を40~90[°C]程度まで変化させてみたがNO除去性能には変化がなかった⁽⁹⁾。しかし、文献では、ガス温度が300[°C]より150[°C]の方が良いという報告⁽¹⁰⁾と、100[°C]より75[°C]の方がNO低減量は大きいという報告⁽¹¹⁾がある。今後は、特に高温における排ガス温度とNO除去性能の関係について研究が必要であると考えられる。

(2) 滞留時間の影響

著者らは既発表論文⁽⁸⁾で、ディーゼルエンジンを用いた今回のNO_x除去システムを構築し、初めて行った結果を報告したが、NO除去性能は予定の20[g/kWh]より低い13[g/kWh]であった。この原因を検討するうち、余裕を持って放電装置を大きく作った為にガスの滞留時間が432[ms]と長くなり、それが効率の低下を招いたのではないかと考えた。そこで、滞留時間に関する研究を行った結果、滞留時間が長すぎても短すぎても除去効率が悪くなり、最適時間は約50~160[ms]の範囲にあることがわかった⁽¹²⁾。したがって、本システムでは、滞留時間を97[ms]になるように放電面積を前論文より小さくした放電リアクタで実験したわけであるが、図11に示したようにNO除去率が60%以下では、約20[g/kWh]のNO除去効率を得ることができたので、上記考察は正しかったと思われる。

(3) システム評価

無声放電行うNO_x処理は、排ガス中のNOをNO₂に酸化するだけなので、NO_x処理にはNO₂の処理を含めたシステムが必要である。本研究では、NO₂の処理方法としてスクラバーを採用した。その結果、1[kW]負荷のディーゼルエンジンから排出されるNO_x濃度約155[ppm]を、放電単独の場合出力の15[%]の放電電力で60[ppm]、NO_x低減率にして60%程度まで低減出来ることを実証出来た。400[ppm]弱のHC(炭化水素)を添加すれば、出力の6.1[%]の放電電力でNO_xを半減できることになる。よって本実験より、NOからNO₂への酸化法によるNO_xの処理法が実用域に一步近づいたと言えよう。

〈6.2〉 実用性能に関する考察

次に、本システムの実用上の問題について考察する。この実験では、実験開始後まだ装置の温度がガス温度より低いとき放電が不安定になるという問題が生じた。これはリアクタ内の電極が排ガス中の水蒸気で結露し、正常な無声放電ではなく、放電が電極面の一部に集中しアーク放電状になるのが原因とわかった⁽¹³⁾。この問題が起こるとNOは殆ど除去されないばかりか、最悪の場合リアクタが破損

してしまう。したがってリアクタの結露対策が必要である。具体的には、フローラインの内壁温度および放電リアクタの表面温度を排ガス温度よりやや高くすることである。また、放電により排ガスを処理するとススが電極上に付着する。この現象により、放電リアクタの絶縁強度が低下し、除去性能は低下する。したがって、排ガス中に含まれるススをフィルタで取り除く方法、または油を放電領域に入れる方法⁽¹⁴⁾などで除去することが必要と考えられる。

本論文の実験ではフローラインの保温と繊維状のフィルタでススを除去する対策をとったことにより連続2時間程度の運転で、特にNO_x除去システムに問題はなかった。しかし、実用化にあたっては、ススの除去と結露問題を解決する必要がある。

7. 結論

冷却装置、無声放電リアクタ、およびスクラバーからなるNO_x除去システムを構築し、実際に2.4kVAのディーゼル発電機の排ガス全量を流して、NO_x除去実験を行った。本研究で得られた結果を要約すると以下に示したとおりである。

1. 無声放電単独では、エンジン負荷を変えてもNO除去効率は変わらず、NO低減率が約60%以下でNO除去効率は20 [g/kWh]であった。しかし、NO低減率が70~80%を超えると、除去効率は悪くなった。
2. 無声放電単独では、排ガスにHCを注入するとNO除去効率は向上し、HC濃度700 [ppm]にて効率は60 [g/kWh] (NO低減率: 50%) に達した。これはHCを添加しない場合の約3倍である。
3. 無声放電単独では、HCの添加量は多いほどNO除去効率を向上させるが、添加したHCの大半が排出されることを考慮すると、最適添加量は、排ガスのNO量に対してモル比で、1.0~1.5倍であると考えられる。
4. 無声放電単独でNOを50%除去する場合の放電電力は、定格負荷2 [kW] のとき出力の13%、半負荷のときは10.5%になった。また同じ条件で半負荷のときにHCを700 [ppm] (NO濃度150 [ppm]) 添加すると、放電電力はエンジン出力の3.5%でよいことになった。
5. 無声放電とスクラバーを使ったNO_x除去システムにおいて、ディーゼルエンジンの負荷を定格の半分の1 [kW] にした時、150 [W] の放電電力 (出力の15%) で初期155 [ppm] あったNO_x濃度を60 [ppm] まで、NO_x低減率にして60%低減することができた。しかし、スクラバー無しの放電単独では、NO_xは140 [ppm] まで、NO_x低減率にして10%しか除去できなかった。
6. スクラバーに関しては、水12 [L] に亜硫酸ナトリ

ウム500 [g] を投与した水溶液は、水のみよりNO₂低減率が高く、無声放電処理後90 [ppm] あったNO₂を10 [ppm] まで、NO₂低減率にして80%低減することができた。

7. NO_x除去システムは、連続2時間程度の運転でも題は生じなかったが、実用化にあたっては、ススの除去、放電装置に結露させない対策が必要である。

(平成13年10月22日受付、平成14年4月23日再受付)

参考文献

1. 清水一男, 小田哲治: 「各種触媒と非熱平衡プラズマによる窒素酸化物除去」, 放電研究会資料, ED-99-101, pp. 37-41, 1999
2. 野村秀和, 服部浩二, 江原由泰, 伊藤泰郎: 「放電によるNO_x除去における球状誘電体充填の効果」, 電学論 Vol. 120-A, pp. 186-191, 1999
3. T. Hammer; "Plasma assisted emission control of automotive exhaust", Industrial Workshop on Development of Plasma and Laser Processing, A2, Orleans, ISPC15, 2001
4. Y. Yoshioka, T. Yukitake, M. Nakai, K. Souma, K. Tuchiya, K. Annou and Y. Hori: "Design and Testing of a Prototype De-NO_x System for 100kVA Diesel Engine Generator Using a Silent Discharge Reactor." Combustion Science and Technology, pp. 22-23, 1998
5. U. Kogelschatz and B. Eliasson; "Ozone Generation and Application", Handbook of Electrostatic Processes, Marcel Dekker, Inc. pp581-605, 1995
6. 吉岡芳夫, 新川智祥: 「無声放電によるエンジン発電機の排ガス中のNO_x除去システムの設計」, 電気学会基礎・材料・共通部門大会, NO. 45, pp. 172-177, 1999
7. Y. Yoshioka, T. Shinkawa, K. Sano and J. Simasaki: "Differential energy efficiency of NO to NO₂ conversion by silent discharge", International Symposium on High pressure Low Temperature Plasma Chemistry, HAKONE VII, pp379-383, 2000
8. 新川智祥, 吉岡芳夫: 「2.4kVA ディーゼルエンジン発電機の排ガス中のNO_x除去実験」, 電気学会基礎・材料・共通部門大会, NO. 43, pp 178-183, 1999
9. 吉岡芳夫, 坂本良三, 田代泰洋, 今井学, 新川智祥: 「排ガス温度におけるNO除去効率」, H12年度電気学会北陸支部連合大会, A-75, p 86, 2000

10. 占部武生, 呉彦, 小野雅司, 増田閃一: 「パルスコロナ放電を利用した NOx, SOx の除去に関する基礎実験」, 静電気学会誌, 12, 4, p354, 1988
11. J. Park et al: "Removal of NOx from Dry Air by a Pulsed Corona Discharge with Magnetic Field", J. Adv. Oxid. Technol. Vol.2, NO.2, pp.294-298, 1998
12. 新川智祥, 島崎純平, 佐野和慶, 吉岡芳夫: 「放電密度, エネルギー密度及び放電間隙長と NOx 除去性能の関係」, 放電研究会資料, ED-00-95, pp.49-54, 2000
13. 島崎純平, 吉岡芳夫: 「無声放電によるエンジン排ガス中の NO 除去実験時の特異現象」, 放電研究会資料, ED-00-97, pp.61-66, 2000
14. 東 学, 内田智至, 鈴木長利, 藤井寛一: 「放電プラズマによるディーゼル排気ガス中のすすおよび NOx 同時処理」, 電学論 A, Vol. 111-A, NO.5, pp467-473, 1991

新川 智祥 (正員) 昭和51年10月12日生。
平成11年3月 金沢工業大学電気工学科卒業、平成13年3月 金沢工業大学大学院工学研究科修士課程、電気電子工学専攻修了、同年4月 日立製作所入社、電機電機システム事業部 国分生産本部 受変制御設計部 新ビジネスグループ

(SNB) 配属, 現在に至る。

吉岡 芳夫 (正員) 昭和12年3月16日生。
昭和34年3月 大阪大学理学部物理学学科卒業、同年4月 (株)日立製作所入社、日立研究所にて各種遮断器の研究開発、レーザ、燃料電池等の研究を担当 (副所長)、昭和63年2月から同社国分工場 (主管技師長)、平成

5年6月から同社日立茨城工業専門学院 (学院長)。平成10年4月から、金沢工業大学電気系教授、現在に至る。主として非熱平衡プラズマによる NOx 除去の研究、遮断器の設計法の実施中。工学博士。技術士 (電気電子部門)、応用物理学会、静電気学会、放電学会、日本工学教育協会の会員。