

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007 年度～2008 年度  
 課題番号：19310055  
 研究課題名（和文） EHD プラズマ複合プロセスによるディーゼル PM・NO<sub>x</sub> 革新的処理技術  
 研究課題名（英文） Innovative Diesel PM and NO<sub>x</sub> Removal using EHD and Plasma Combined Processes

## 研究代表者

山本 俊昭 (YAMAMOTO TOSHIKI)  
 武蔵工業大学・工学部・特任教授  
 研究者番号：50305653

研究成果の概要：ディーゼルエンジン排ガス処理において、微粒子（PM）処理は従来の電気集塵装置（ESP）では電気抵抗が低いため再飛散現象により捕集が困難であった。我々は、イオン風を利用し、電界ゼロ（誘導荷電による PM 反発力をゼロ）領域に効果的に PM を誘導する新しい ESP（EHD ESP）を開発した。NO<sub>x</sub> 処理では吸着材により長時間 NO<sub>x</sub> を吸着させ、窒素カスを用いて熱脱離させ、高濃度・低容量 NO<sub>x</sub> (>2,500ppm) に変換、沿面放電プラズマにてほぼ 100%還元できることを実証した。これらの 2 つの要素技術を結合させディーゼル PM・NO<sub>x</sub> 高効率処理システムを確立した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：ディーゼル排ガス、NO<sub>x</sub>、PM、EHD、再飛散、電気集塵、プラズマ、吸着・脱着

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 大容量ディーゼルエンジン微粒子（PM）処理において、従来技術の DPF を用いた処理技術は非常にコスト高となり実用化は困難で、安価で高効率処理技術が望まれている。従来の電気集塵装置（ESP）では電気抵抗が低いため再飛散現象を起し捕集が非常に困難である。また、湿式 ESP や低周波 ESP が試みられているが、捕集効率や水処理等で問題があった。

(2) 一方、NO<sub>x</sub> 処理の従来技術としては SCR（選択触媒還元法）があるが、排ガス温度が 250°C 以下では対処できず、また、触媒の使用、硫黄による被毒、アンモニアや尿素、貴金属使用や効率にも問題があり、より経済的システムが望まれている。

## 2. 研究の目的

(1) 我々はイオン風を利用し、PM を誘導荷電をゼロとする電界ゼロ領域に効果的に誘

導する新しい静電流体電気集塵装置（EHD ESP）を開発し、従来の様々な ESP と EHD ESP の粒子径 20～5,000nm による性能評価を比較する。

（2）NO<sub>x</sub> 処理においては、高温領域（<200°C）においても効率よく吸着できる吸着材により長時間 NO と NO<sub>2</sub> を吸着させ、窒素ガスによる熱脱離で高濃度・低容量 NO<sub>x</sub> と変換させ、縁面放電プラズマにより 2,500ppm 以上の NO<sub>x</sub> をほぼ完全に還元できるシステムを評価する。

### 3. 研究の方法

（1）EHD ESP を試作し、実際のディーゼルエンジン（200cc と 3,000cc）を使用し、SMPS と PC を用いて粒子径 20～5,000nm による粒子径による集塵効率を評価し、再飛散現象を評価した。

（2）NO<sub>x</sub> 処理には Rt, Mn, Cu 触媒を担持した吸着材を用いて NO<sub>x</sub> を高湿度雰囲気、温度領域（<200°C）において長時間効率よく吸着させ、吸着剤が飽和する前に、吸着剤ユニットを切り替え、排ガス量の 1/100 程度の窒素ガスを流す。エンジン出口排ガス部に取り付けた熱交換器により NO<sub>x</sub> の熱脱離により脱離を行う。この窒素雰囲気 NO<sub>x</sub> 量は 1/100 程度、高濃度（>2,500ppm）となり、沿面放電プラズマを用いて還元する方法である。

### 4. 研究成果

（1）EHD ESP、従来型 ESP 双方 1,000nm 以下のナノ微粒子は PM 付着力が誘導による剥離力を上回り、再飛散は起こらない。しかしながら、粒子径が 1,000nm 以上になると従来型 ESP や AC タイプ ESP では図 1 に示すように再飛散現象によりマイナスの集塵効率となる。一方、我々の開発した EHD ESP の SMPS により測定した 10～500nm の粒子個数を図 2 に、Particle counter(PC)による 500～5,000nm の粒子個数を図 3 に示す。図 3 の 1,000nm 以上の粒子径でも再飛散現象が大幅に抑制されていることが判明できる。また、EHD ESP は流速による影響を受けにくく、更なる ESP の小型化が期待できる。

（2）NO<sub>x</sub> 処理には、吸着・脱着を 10 回ほど繰り返し、窒素雰囲気熱脱離した高濃度 NO<sub>x</sub> を縁面放電プラズマにより還元できる様子を示す。エネルギー効率としては最大 0.043g/W の処理ができ、SCR の 10 倍以上が得られた。これらの 2 つの要素技術を結合させ大型ディーゼルエンジン PM・NO<sub>x</sub> 排ガス高効率同時処理システムを確立させ、実用的経済的トータル排ガス処理システムを構築できる。

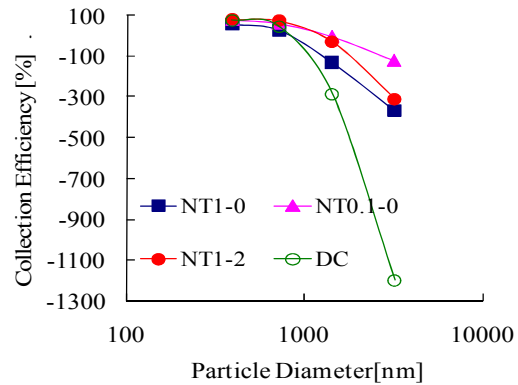


図 1. 従来型 ESP の粒子径による性能比較 (NT タイプは種々 AC タイプ電源、DC は直流)

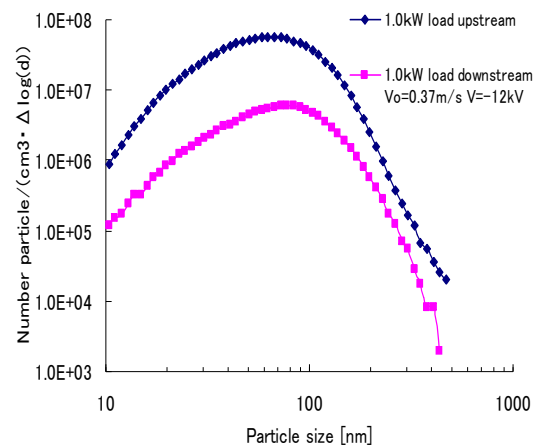


図 2. EHD ESP の 10～500nm の粒子径による集塵効率

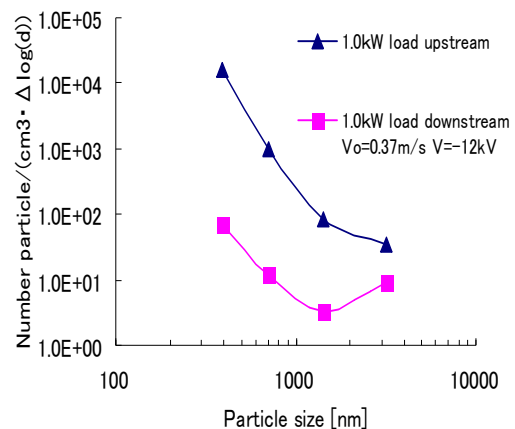


図 3. EHD ESP の 500～5,000nm の粒子径による集塵効率

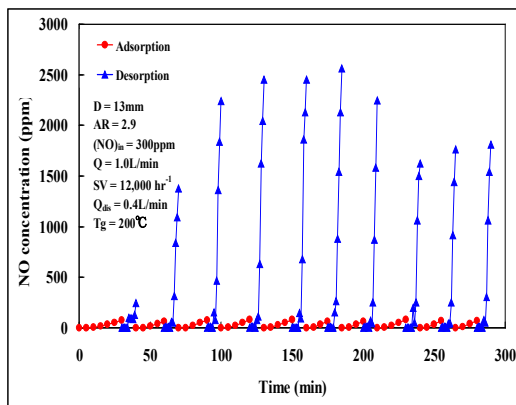


図4. 吸着・脱着の10回繰り返し運転と窒素プラズマによるNO<sub>x</sub>還元

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10件)

- (1) T. Yamamoto, T. Abe, T. Mimura, N. Otsuka, Y. Ito, Y. Ehara, and A. Zukeran, "Electrohydrodynamically Assisted Electrostatic Precipitator for collection of Low Resistive dust," *IEEE Transactions on Industry Applications*, To be printed in 2009(査読有).
- (2) 山本俊昭、大久保雅章、黒木智之, "吸着・脱着・低温プラズマを用いた経済効高効率ガス処理" 静電気学会誌、33、2009、pp.51-55(査読有).
- (3) G. Prieto., O. Prieto, C. Gay, A. Mizuno, K. Takashima, and T. Yamamoto, "Nonthermal Plasma Reactors and Plasma Chemistry," *Int. Journal of Environment and Waste Management*, Vol. 2, Nos. 4/5, 2008, pp. 349-398 (査読有).
- (4) T. Yamamoto., A. Kajimoto, M. Okubo, T. Kuroki, and K. Yoshida, "PM and NO<sub>x</sub> Removal for Diesel Engine Emission Using Ozonizer and Chemical Hybrid Reactor," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 44, No. 5, Sept/Oct 2008, pp.1431-1435 (査読有)..
- (5) M. Okubo. K. Yoshida, and T. Yamamoto, "Numerical and Experimental Analysis of Nanosecond Pulse Dielectric Barrier Discharge-Induced Nonthermal Plasma Pollution Control," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 44, No. 5, Sept/Oct 2008, pp.1410-1407(査読有).
- (6) K. Yoshida., M. Okubo, T. Kuroki, and T. Yamamoto, "Aftertreatment Using Thermal Desorption and Nitrogen Nonthermal Plasma Reduction," *IEEE Transaction s on Industry Applications*, Vol. 44, No. 5, Sept/Oct 2008, pp.1403-1409(査読有).
- (7) T. Kuroki, H. Fujishima, K. Otsuka, T. Ito, M. Okubo, T. Yamamoto, and K. Yoshida, "Continuous Operation of Commercial-Scale Plasma-Chemical Aftertreatment System of

Smoke Tube Boiler Emission with Oxidation Reduction Potential and pH Control," *Thin Solid Films*, Vol. 516, 2008, pp. 6592-6597 (査読有).

- (8) K. Yoshida, M. Okubo and T. Yamamoto, "Distinction Between Nonthermal Plasma and Thermal Desorptions for NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub>," *Applied Physics Letters*, Vol. 90 131501-1, 2007 (査読有).
- (9) M. Okubo, H. Kametaka, K. Yoshida, T. Yamamoto, "Odor Removal Characteristics of Carrier-Type Packed-Bed Nonthermal Plasma Reactor," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 46, No. 8A, 2007, pp. 5288-5293 (査読有).
- (10) T. Yamamoto M. Okubo, T. Kuroki, and K. Yoshida, "Pilot-Plant Experiment for Incinerator Emission Control Using Plasma-Chemical Hybrid Process (Simultaneous Removal of NO<sub>x</sub> and Gas-Phase Dioxins)," *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 73, No. 732 B, Aug. 2007, pp. 1767-1774 (査読有).

[学会発表] (計 18件)

- (1) 三村卓也、伊藤良和、江原由泰、山本俊昭、低オゾン電気集じん装置における最適電極形状の検討 平成21年度電気学会全国大会講演論文集. 北海道2009年3月17日
- (2) Y. Ehara, D.Yagishita, T. Yamamoto, A. Zukeran, K. Yasumoto, Relationship between Discharge Electrode Geometry and Ozone Concentration in Electrostatic Precipitator, 11th International Conference on Electrostatic Precipitation, Koshu, China, Oct. 23, 2008
- (3) T. Yamamoto, T. Abe, T. Mimura, N. Otsuka, Y. Ito, Y. Ehara, and A. Zukeran, "Electrohydrodynamically-Assisted Electrostatic Precipitator for collection of Low Resistive dust," IEEE-IAS Annual Meeting, Edmonton Canada, Oct.4-9,2008.
- (4) T. Yamamoto, T. K. Maeda, H. Sato, and Y. Ehara, "NO<sub>x</sub> Removal by Adsorption/Desorption and N<sub>2</sub> Plasma-Effect of Aspect Ratio of Adsorption-," Internatinal Workshop on electrostatics," Oct. 12-16, 2008, Naha, Okinawa, Japan.
- (5) T. Kuroki, H. Fujishima, A. Tatsumi, M. Okubo, K. Otsuka, T. Yamamoto, and K. Yoshida, "Pilot-Scale Gas and Heavy oil Firing Boiler Emission Treatment System Using Plasma-Chemical Hybrid Process," Oct. 12-16, 2008, Naha, Okinawa, Japan.
- (6) H. Fujishima, T. Kuroki, K. Otsuka, A. Tatsumi, T. Yamamoto, and K. Yoshida, and M. Okubo, "NO<sub>x</sub> Reduction for Boiler Emission Using Pilot-Scale Plasma-Chemical Hybrid System,

- ” Proc. of Electrostatics Japan, Sept. 18-19,2008, Oita, Japan
- (7) T. Yamamoto, T. Abe, T. Mimura, Y. Ito, N. Otsuka, Y. Ehara, and A. Z ukeran, “Electrodynamically-Assisted Electrostatic Precipitator for Collectio n of Low Resistive Diesel Particulate s Sept. 18-19,2008, Oita, Japan
- (8) 江原由泰, 山本俊昭, 瑞慶覧章朝 , 安本浩二, “低オゾン電気集じん装置における最適電極形状の検討, 機械学会第17回環境工学総合シンポジウム、2008年7月10日、産業技術総合研究所
- (9) T. Kuroki, H. Fujishima, K. Otsuka, T. Ito, A. Tatsumi, M. Okubo, T. Ya mamoto, and K. Yoshida, “Continuou s Operation of Boiler Emission Treat ment Plant Combined with Nontehrm al Plasma,” JSME, Proc. of 18<sup>th</sup> Sym posium on Environmental Engineering, July 10-11, 2008, Tokyo, Japan
- (10) K. Yoshida, A. Mihalciou, T. Kuroki, M. Okubo, and T. Yamamoto, “Aft ertreatment of Diesel Engine Exhaust Gas Using Nonthermal Plasma and NOx recirculation Combined System, J SME, Proc. of 18<sup>th</sup> Symposium on E nvironmental Engineering, July 10-11, 2008, Tokyo Japan
- (11) T. Yamamoto, H. Fujiishima, T. Kuro ki, M. Okubo, K. Yoshida, and K. Otsuka,,” Pilot-Scale NOx Removal f rom Boiler Emission Using Plasma-C hemical Process,” Proc. of the 6<sup>th</sup> Int ernational Symposium on Non-Therm al Plasma Technology for Pollution C ontrol and Sustainable Energy Develo pment, June 17-19, 2008, Minneapolis, MN, U.S.A.
- (12) M. Okubo, T. Kuroki, K. Yoshida, H. Fujiishima, K. Otsuka, and T. Yama moto, “Pilot-Scale Experiments with Diesel Particulate and NOx Aftertreat ment Systems Using Nonthermal Plas ma Hybrid Processes,” Proc. of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Non-T hermal Plasma Technology for Polluti on Control and sustainable Energy D evelopment, May 12-16,2008, Taipei, Taiwan R.O.C.
- (13) Yoshida, K., A. Mihalciou, M. Okub o, T. Kuroki, and T. Yamamoto, “NO x Aftertreatment System for Diesel E ngine Emission Using Thermal Desor ption and Plasma Reduction Combine d Process”, Proc. Of IEEE-IAS, New Orleans, LA, Sept. 24-27, 2007, CD -ROM, 7pages
- (14) M. Okubo, T. Kuroki, K. Yoshida, a nd T. Yamamoto, “Simultaneous Red uction of Diesel Particulate and NOx Using Oxygen-Poor Nonthermal Plas ma Application”, Proc. of IEEE-IAS, New Orleans, LA, Sept. 24-27, 200 7. CD-ROM, 6 pages
- (15) A. Mihalciou, K. Yoshida, T. Kuroki, and T. Yamamoto, “Design Factors for NOx Reduction in Nitrogen Plas

- ma”, Proc. of IEEE-IAS, New Orlean s, LA, Sept. 24-27, 2007, CD-ROM, 4 pages
- (16) T. Yamamoto, H. Fujishima, K. Yosh ida, K. Otsuka, T. Ito, M. Okubo, an d K. Yoshida, “Commercial -Scale Pl asma-chemical NOx Removal from B oiler Emission, Proc. of International symposium on New Plasma and Elec trical Discharge Applications and on dielectric Materials, Aug. 16-23, 2007 Tahiti Island, pp.7-11.
- (17) T. Yamamoto, T. Kuroki, R. Kawaba ta, and M. Okubo, "Practical and Eco nomical VOC Removal Using Adsorp tion and Nonthermal Plasma Desorpti on,” Proc. of 28<sup>th</sup> ICPIG meeting, Ju ly 15-20, 2007, Prague,Czech Republi c
- (18) T. Kuroki, H. Fujishima, K. Yoshida, T. Ito, M. Okubo, and T. Yamamoto, “Continuous Operation of Commerci al-Scale Plasma-Chemical Aftertreatm ent System of Smoke Tube Boiler E mission with ORP and pH Control,” Proc. of SPSM20, June 21-22, 2007, Nagoya,

〔図書〕 (計 1 件)

- (1) T. Yamamoto and M. Okubo, “Advanced Physiochemical Treatment Technologies, “ Handbook of Environmental Engineering Series, Vol. 5, Chap. 12 「Nonthermal Plasma Technology」 Humana Press, 2008, pp.135-294 (160 pages)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 1 件)

名称：非熱プラズマによる脱離・再生方法

発明者：山本俊昭、C.L. Yang

権利者：(株)三電社、山本俊昭、C-L. Yang

種類：

番号：3971492

取得年月日：平成19年6月15日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 俊昭(YAMAMORO TOSHIAKI)

武蔵工業大学・工学部・電気電子工学科・教授

研究者番号：50305653

(2) 研究分担者

江原 由康(EHARA YOSHIYASU)

武蔵工業大学・工学部・電気電子工学科・准教授

研究者番号：40308028

(3) 連携研究者

なし