

高活性炭素繊維を用いた沿道排ガス削減技術に関する調査

福岡県

高活性炭素繊維を用いた沿道排ガス削減技術に関する調査

福岡県

【調査の目的】

近年、交通量の多い交差点付近や高速道路が立体交差した地域において、自動車排出ガスに含まれている有害な一酸化窒素や二酸化窒素などが非常に高濃度になることが問題になっている。特に、沿道周辺の窒素酸化物(NO_x)濃度が瞬間値で 50~200 ppb 程度であっても、道路上の NO_x 濃度は数 1000 ppb に達する場合もあり、自動車のドライバーは、高濃度の NO_x などの自動車排ガスに曝露されていることになる。そのため、自動車排出ガス規制の強化に加え、空気を浄化する技術の早急な確立が求められている。

我々は道路直近の NO_x を含む汚染物質を高活性炭素繊維(ACF)で効率よく浄化するシステムについて、試験・実証を重ねてきた。その結果、ACF 搭載型自動車(以下、実験車)では、上の高濃度の自動車排ガスを効率よく浄化できることが判明した。この浄化システムの特徴は、車のバンパー部等に ACF を装着し、車走行に伴う走行風を利用することで、上の高濃度の自動車排ガスを ACF 内に通気させることにある。特に、この方式では、エネルギー不要・設備費・メンテナンスフリーの特徴を有しており、広域的な NO_x を主成分とする大気汚染物質の浄化が可能であると考えている。

本研究では ACF を搭載した自動車を試作し、走行風により車体に搭載した ACF 内に汚染空気を取り込み浄化する処理風量やその浄化能力を評価することによって、最適な ACF 搭載型自動車のモデル設計・提案などを行うことを目的としている。

【調査の方法】

平成 12 年度

基礎実験： NO_2 浄化に最適な ACF 種及び、最適な加熱処理条件の選定
効率的な NO_2 浄化に関する室内実験

戸外実験： ACF による NO_2 、浮遊粒子状物質 (SPM)、化学物質類の除去効果の確認

平成 13 年度

基礎実験： 効率的な NO_2 浄化に関する室内実験
 NO 、 NO_2 に対する酸化チタン触媒と ACF の性能比較

戸外実験： 繊維状 ACF による NO_2 、二酸化硫黄 (SO_2)、SPM 除去効果の確認
 NO_x 簡易測定器を用いた道路沿道における NO 及び、 NO_2 濃度マップ測定・実態調査
板状スリット構造 ACF による大気浄化方式の提案と実証

平成 14 年度

基礎実験： NO 浄化に関する研究
板状スリット構造 ACF による NO_2 浄化性能の確認

戸外実験： NO 、 NO_2 の同時浄化が可能で、安価な ACF の再選定、ACF 浄化システムの設計、ACF に対する採気速度、温湿度などの関係を含む NO_x 浄化率の検討

平成 15 年度

- 基礎実験： NO 浄化に関する新技術の開発
繊維状及び、板状スリット構造 ACF による NO 浄化技術の改善とその浄化能力の実証
- 戸外実験： 強制採気型の小型大気浄化システムを試作し、地下駐車場に設置した。
設置した装置周辺の NO, NO₂ 削減効果の確認し、強制採気型大気浄化システムを改良した。

平成 16 年度

- 戸外実験： 自然通風を駆動力とする NO_x 浄化技術の検討 (NO, NO₂ の同時浄化)
自動車搭載型 ACF 浄化装置を用いた NO, NO₂ 浄化に関する検証 (ACF を組み込んだ反応器を自動車の屋根に装着して走行することによって、走行風を利用し、汚れた空気を浄化できる可能性について検討)

平成 17 年度

- 戸外実験： ACF 搭載型自動車の試作、完成
自動車に搭載する ACF ユニットの形状及び、NO_x 浄化能に関する検討
ACF の再活性化に関する検討

平成 18 年度

- 戸外実験： 自動車の車速と車体各部位の走行風の関係
ACF ユニットの形状及び、NO_x 浄化能に関する検討
車内汚染の実態評価
車内汚染の浄化対策の検討

平成 19 年度 (本年度)

- ① 走行風を利用した大気浄化技術の確立
- ② 使用後 ACF の完全再生技術の検討
- ③ 車内汚染の実態把握および車内空気の清浄化検討

〈実験方法の概要〉

① 走行風を利用した大気浄化技術の確立

様々な地域における NO_x 汚染状況

トンネルや市街地の NO_x 汚染状況を把握するために、自動車 (平成 12 年式, 2500 cc, セダンタイプ, 走行距離 76,000 km, 以下, “実験車” とよぶ) 走行時における NO_x 濃度測定を行なった。測定は、実験者に NO_x 自動測定装置 (ECL-880US, Yanaco), 温湿度計 (MR Series MR6661, CHNO), 車速計, データ取り込み用パソコン, 測定機器を駆動させるためのバッテリーを搭載して行なった。ここで、NO_x 濃度の測定のために、実験車の前方バンパー部に NO_x 測定用テフロン管を固定し、大気空気を取り込んで、NO_x 濃度をリアルタイムで測定した。本研究で用いた NO_x 濃度装置は、NO の急激な濃度上昇と下降に伴い、NO ピークの後に約 1/4 以下の NO₂ ピークが現れることが多

い。その結果、実際には存在しない NO₂ 濃度が測定される問題がある。そのため、テフロン配管の途中に 2 L のバッファーを取り付けて急激な NO の濃度変化を平均化させることで、正確な NO₂ 濃度の測定を可能とした。

バンパー部に設置する ACF ユニットの最適化

バンパー部に設置した ACF ユニットの NO_x 浄化性能を検討するために、バンパー前面を加工し、直径 1 cm のハニカム構造のアルミ板を取り付けた。バンパー内部にはアクリル製のボックスを設置した。ボックス中に PAN 系のフェルトチップ状 (FE200H-H800) 及び、ピッチ系 (SY-H800) ACF をテフロン製の網で挟み込むことで充填した (以下、“ACF ユニット”とよぶ)。NO_x 濃度及び、風速の測定は、バンパー前面とユニットの後方に NO_x 測定用の採気口と熱線風速センサーを設置することによって測定した。また、温湿度・車速も同時に測定し、各データはリアルタイムにパソコンに取り込んだ。ここで、ユニットの詳細な ACF 充填状況については、調査結果とともに後述する。

②使用後 ACF の完全再生技術の検討

高速道路が立体交差している地域のように降水の当たらない場所、簡易水洗浄が不可能な場所では、長期間使用した後の ACF を回収し、工場において完全再生させる必要がある。そのため、固定床反応装置に ACF (0.1 g) を充填長 2 cm で充填したφ7.2 cm のガラス管を接続し、NO₂ を吸着させた後、①水による再生、②熱水による再生、③加圧熱水洗浄、④水洗浄後、1 ppm のアンモニアガス雰囲気下で 300 °C、1 時間焼成を行い、再生後の NO_x 浄化性能について検討した。再生後の ACF による NO_x 吸着実験は、20 ppm の NO₂ ガス (相対湿度 0 R.H.%, O₂ 濃度 21 %含む、N₂ ガスにより調整) を 300 ml/min で通気・破過させた。NO_x 吸着の再生率は、未使用の ACF における NO_x 吸着量と再生後 ACF の NO_x 吸着量から求めた。

③車内汚染の実態把握および車内空気の清浄化検討

走行時の車内の NO_x 汚染の実態調査

実験車走行時、車内空気の汚染状況を把握するために、車のドア・窓を完全に密閉した。さらに、ドアの空気取り込み口や車内のドア改造部については、すべてアルミテープを貼って外気空気の侵入がないように目張りした。一方、車内の NO_x 濃度は、車内中央で測定した。ここで、NO_x 自動測定装置に吸着した NO_x が車内の NO_x 濃度に影響を及ぼさないようにするため、NO_x 測定装置をビニールで包みこみ排出される空気を車外に排出した。また、温湿度・風速・車速についても同時に測定した。フロントパネルの車内換気スイッチはすべて外気を取り込まない『車内循環』にセットした。また、道路上の NO_x 濃度測定は、バンパー部で測定した。その後、実験車を走行させ、道路上の環境 NO_x 濃度と車内の NO_x 濃度をリアルタイムに測定した。

車内空気の清浄化技術の検討

車内の空気汚染対策として、フェルト状 ACF を車内やトランクの内装として利用することで、外気 NO_x の車内への流入も軽減でき、さらに車内空気の自然対流により車内 NO_x 濃度を削減できるものと考えた。昨年の実験室内における基礎実験の結果から、ACF を壁材として利用 (“パッシブ法”) することで、車内 NO_x を効率的に浄化できる可能性が示唆された。本年度は、フェルト状

のピッチ系 ACF である SY-H800 を天井，底部，4 つのドア側面及び，トランクに貼り付け，“パッシブ法”による車内 NO_x 浄化試験を行った。自動車の窓を密閉し，空調を車内循環 ON にして一般道を通常走行した。外気 NO_x 濃度測定位置は車のバンパー部，車内 NO_x 濃度測定位置は車内の中央部においてリアルタイムで測定した。また，上記と同様に，NO_x 自動測定装置に吸着した NO_x が車内の NO_x 濃度に影響を及ぼさないようにするため，NO_x 測定装置をビニールで包みこみ排出される空気を車外に排出した。また，フロントパネルの車内換気スイッチはすべて外気を取り込まない『車内循環』にセットし，温湿度・風速・車速についても同時に測定した。

【調査の結果】

平成 12 年度

NO₂ 浄化能力が最も優れた ACF を模索し，ポリアクリロニトリル (PAN) 系及び，ピッチ系の 2 種類を選定した。さらに，室内実験装置において標準 NO₂ ガスによる通気試験を行なうことによつて，その活性能力が極めて高いことを確認した。

平成 13 年度

ACF による一般大気中の NO_x，SO₂，微量化学物質類，SPM などについての浄化性能調査を行なった。また，沿道大気中の NO_x 浄化に対して長期間の実用に耐えうる ACF の選定，改良を行なうと共に，酸化チタン触媒との性能比較を行なった。さらに，自動車交通量の多い交差点付近において，NO_x 濃度マップを作成すると共に，該地点に ACF を設置し，沿道排ガスを吸引して ACF 通過前後の NO_x 濃度を測定した。その結果，ACF は NO₂ に対する浄化性能は高かったが，NO に対しては極めて低いことが明らかとなった。

平成 14 年度

繊維状 ACF に対する NO 浄化能試験を行なった。NO を効率よく浄化する技術についての検討を行なったが，良好な結果は得られなかった。ACF では室温付近の温度において NO_x 以外に大気中のベンゼンやキシレンなどの揮発性有機化学物質類，二酸化硫黄 (SO₂)，アンモニア (NH₃)，悪臭物質についても同時に浄化可能であることが明らかとなった。

平成 15 年度

室内基礎実験においては，特に，ACF の NO 浄化性能の向上についての検討を行なった。ACF は NO₂ を浄化しやすく，NO の浄化は難しかった。この解決策として，酸化力の強い ACF 種を選定し，採気空気と ACF の接触時間を採御することによつて，NO を効率浄化することに成功した。さらに，ACF に還元剤を担持する新技術の開発を行なった。

戸外における ACF の浄化性能について，実証化に向けた基盤研究を実施した。一方，戸外の道路沿道において，室内基礎実験よりも速い再起速度において ACF 内に環境空気を採気し，浄化する試験を実施し，ACF 通過前後の NO_x 浄化効率を評価した。さらに，55 kg の PAN 系 ACF である FT300 (繊維状) の ACF を組み込んだ小型の大気浄化システムを 2 機試作した。この浄化システムを福岡県庁の外来車地下駐車場に設置し，連続運転を行なった。その結果，汚染空気中の 70～95 % の NO_x を浄化し続けることがわかった。浄化装置の空気漏れといった設計上の問題があったが，この部分を改善することができれば，NO_x の浄化率は 95 % 以上を達成できることが明らかとなつ

た。これらの技術は、NO を NO₂ に酸化させるためのオゾン脱硝装置や光照射が不要であり、室温付近の温度で NO、NO₂ を完全に、そして同時に浄化することが可能であることを初めて確認できた。

平成 16 年度

(1) 強制採気方式による大気浄化技術の確立

① 実測

繊維状あるいは、板状スリット構造の ACF 内に、道路沿道及び、地下駐車場内の大気空気を強制採気した。その結果、オゾン脱硝装置不要で、外気の温湿度が変動する条件下であっても NO、NO₂ は同時に効率よく浄化可能であることを実証した。強制採気方式では地下駐車場内のように、自動車排出ガス中に含まれる微小の SPM であっても、その殆どを ACF に補足・除去できた。NO_x 浄化性能の維持期間は極めて長く、NO_x 以外の大気粉じん、SO₂、NH₃、微量化学物質類の影響を殆ど受けないことが明らかとなった。そのため、ACF の寿命は、ACF 量と NO_x 濃度、汚染空気の採気量から予測可能であることが明らかとなった。

② 数値計算

道路沿道及び、地下駐車場内において ACF を用いた強制採気方式の浄化システムにおいては、1 kg の ACF に平均 200 ppb の NO_x を含む大気空気を昼間の 12 時間、500 L/min で通気させ続けた場合、オゾン発生装置などの付帯設備なしに ACF のみで NO_x を 8 年以上浄化可能であることが予測できた。

(2) 自動車走行風を用いた大気浄化技術の試み

ACF 浄化ユニット搭載車の試作及び、測定

自動車の屋根に板状スリット構造及び、繊維状の小型浄化ユニットを設置し、道路を走行及び、停車して自然風による NO_x 浄化性能について試験した。その結果、1.5～4.5 cm 厚の繊維状 ACF (充填密度 0.099 g/cm³) では、停車時の自然風が線維内を通過できること、NO_x の 50～80 % を効率よく浄化できることが明らかになった。この結果から、次年度以降の目標である自然風を利用した ACF フェンスによる広域的な大気浄化システムの構想について、重要な知見を得ることができた。

一方、走行時の風邪を繊維状 ACF に受ける方式においても、高い NO_x 浄化率を達成することができた。繊維状 ACF 以外にも、板状スリット構造の ACF (スリット幅 1.5 cm, スリット長 50 cm の中心) で試験した場合、走行時の強風・停車時の自然風共に、比較的高い NO_x 浄化率を確認できた。板状スリット構造 ACF は、繊維状 ACF よりも通過風量は大きく、微風にも対応できることが明らかとなった。以上の予備試験の結果から、ACF を搭載した自動車では、走行風により NO_x が浄化可能であることが明らかとなり、今後の自動車への ACF 搭載部位と ACF ユニットの形状の検討を行なうことで、走行風を利用した、エネルギー不要の広域的な大気浄化システムの構築が可能であることが示唆された。

平成 17 年度

(1) ACF 搭載型自動車の試作

板状スリット構造又は、フェルトチップ状に加工した ACF をセダントタイプの乗用車に下記の 4

ヶ所に装着した。

- ・ 側面ドア付近に空気取り込み口と排気口を付け、その内部に ACF ユニットを装着
- ・ 前輪側面のリア部分に ACF を充填するための加工
- ・ 車体の側面に板状スリット構造の ACF ユニットを装着
- ・ 車内空気の浄化を目的として、車内の空気送風機のフィルター部を改造し、ACF ユニットを装着

走行時の風速や車速の測定を行なうために熱線風速センサー及び、車速計の設置をし、NO_x 測定用の配管などを行なった。また、測定データの取り込みを行なうためのノートパソコン及び、周辺機器のために、バッテリー電力を 100 V に変換して使用できるように改造した。

(2) ACF の形状及び、通過風速と NO_x 浄化率の関係

NO₂ は、ACF との瞬間的な接触においても 70 %以上の浄化率を達成することができた。しかしながら、NO 浄化においては、NO₂ よりも長い接触時間が必要であることから、ACF 形状の最適化の必要性が示唆された。スリット構造の ACF の場合、空気抜けがよく微風であっても十分対応できたが、走行風を利用する場合においては、風速が早すぎるために NO_x の浄化率が低下することがわかった。そのため、板状スリット構造よりも、フェルト状 ACF をチップ状にして充填する方式が適していると考えられる。

また、NO₂ 浄化率に対して、相対湿度及び、気温の変化による浄化率の低下などはほとんど観測されなかった。一方、NO 浄化率は相対湿度が高く、気温が低くなるにつれて低下する傾向が明らかとなった。

(3) ACF の再活性化に関する検討

使用後の ACF に対しては、簡易な通水洗浄により ACF 内に補足された硝酸の 60~70 %を回収することができた。また、通水洗浄を行なうことにより、NO₂ に対する浄化性能も 60~80 %程度再生可能であることが明らかとなった。簡易な水洗浄のみであっても、ACF の NO₂ の浄化性能を再生し続けることが可能であることが明らかとなった。

平成 18 年度

(1) 自動車の車速と車体各部位の走行風の関係

車速が速くなるにつれて、車体の各部位の風速は速くなる関係にあった。自動車のドア側面、バンパー、底面における平均風速は、自動車側面が最も速く、車底が最も遅かった。また、自動車を走行させながら、自動車のバンパー部で NO_x 濃度をリアルタイムで測定した。その結果、道路上の NO_x 濃度は、数 100 ppb~数 1000 ppb であり、交差点付近では、さらに高濃度になることが明らかとなった。これは、自動車が停車・アイドリングすることにより、交差点付近の NO_x が滞留したためと考えられる。さらに、渋滞した交差点付近において、時々、NO 以上に NO₂ 濃度が高い場合があった。

(2) ACF ユニットの形状及び、NO_x 浄化能に関する検討

フェルトチップ状 PAN 系 ACF をバンパー内部に充填密度 0.048 g/cm³ で充填し、停車時から時速 60 km までの 80 分間、平均時速 24.2 km/h の通常走行を行なった。この時のバンパー前と ACF

通過後の風速は、それぞれ平均 3.00 m/sec, 0.4 m/sec であり、NO・NO₂ 浄化率は、それぞれ約 50 %、約 85 %を達成した。

(3) 車内汚染の実態評価

秋季に車外気温：26.0 °C，車内気温：25.5 °Cの条件下で、通常走行を行なった。車の外気を遮断した密閉車内の NO 濃度は、外気 NO 濃度の約 70 %，外気 NO 濃度の約 30 %で推移した。また、冬季に車外気温：14.5 °C，車内気温：25.0 °Cの時、車の外気を遮断した密閉車内でも NO・NO₂ 濃度は、それぞれ最高で約 400 ppb，200 ppb に達する場合があった。この時、NO は、車外の外気 NO 濃度の変動と良い一致が見られた。一方、車内の NO₂ 濃度は車外のそれより高い場合が多かった。車内の NO₂ 濃度の増減は、車外のそれと必ずしも一致していなかった。

(4) 車内汚染の浄化対策の検討

車内エアフィルター部を ACF ユニット (12 × 20 × 35 cm, ACF 充填密度 = 0.049 g/cm³) に交換した。車内を密閉して外気と遮断した後、フロントパネルの車内循環風の風量を、0.0002, 0.0004, 0.0008, 0.0012, 0.0014 m³/sec の五段階に変化させ、車内空気を ACF ユニット内に通過させた後、車内に排気した。その結果、車内循環風が ACF ユニットの通過することで、NO・NO₂ は、ほとんど浄化することができた。しかし、車内循環風量を最大の 0.0014 m³/sec にした場合でも、車内の NO_x 濃度はほとんど減少しなかった。

車内の内装及び、トランク内にフェルト状 ACF を装着することで、車内空気の自然対流により、車内 NO_x を浄化するとともに、外気 NO_x の流入を低減できると考え、そのための基礎実験を行なった。その結果、密閉空間内の NO_x 浄化にフェルト状 ACF をパッシブ型として使用した場合、NO_x はフェルト状 ACF の表面だけでなく底部まで全体を均一に拡散し、利用されることが明らかとなった。そのため、NO_x 浄化寿命は、強制採気式と同程度になることが結論できた。パッシブ型 ACF の NO_x 浄化寿命の計算を行なった結果、NO_x 濃度 100ppb の空気 (NO / NO₂ 濃度比が 1 / 1) が自然対流した密閉空間において、フェルト状 ACF (7 mm 厚) 1 m²あたり、約 210000 m³の空気を浄化可能であることが明らかとなった。このことから、この空気量を浄化するまで、ACF の劣化が認められず、その後も浄化し続けることが可能であると推測された。

平成 19 年度 (本年度) の研究

① 走行風を利用した大気浄化技術の確立

自動車を走行させながら、実験車のバンパー部において、三瀬トンネル (全長 2.4 km, 図 1 (1)) 及び、曲淵トンネル (全長 200 m, 図 1 (2)) の NO_x 濃度をリアルタイムで測定した。図 2 に、気温：10.4 °C，相対湿度：46.5 R.H.%の気象条件下における走行時の経過時間と道路上の NO_x 濃度変化を示す。この図より、一般道路と比較するとトンネル内では、NO 濃度が 800~1500 ppb であり、NO₂ 濃度も 200~400 ppb と極めて高いことが分かる。図 3 に三瀬トンネルにおいて、北から南及び、南から北へ自動車を走行させた場合の NO_x 濃度変化を示す。この結果から、自動車を北から南へ走行させた場合、トンネルの南側で NO・NO₂ 共に濃度が高くなっている。逆方向から走行した場合 (南から北方向) においても入口となる南側の NO・NO₂ 濃度が高くなっていることが明らかとなった。これは、自動車の走行風やトンネル内の流れる風などの影響により、トンネルの南側に NO_x が滞留していることが推測される。ここで、以前の測定では、三瀬トンネル及び、曲淵



図1 三瀬トンネル及び、曲淵トンネルの位置

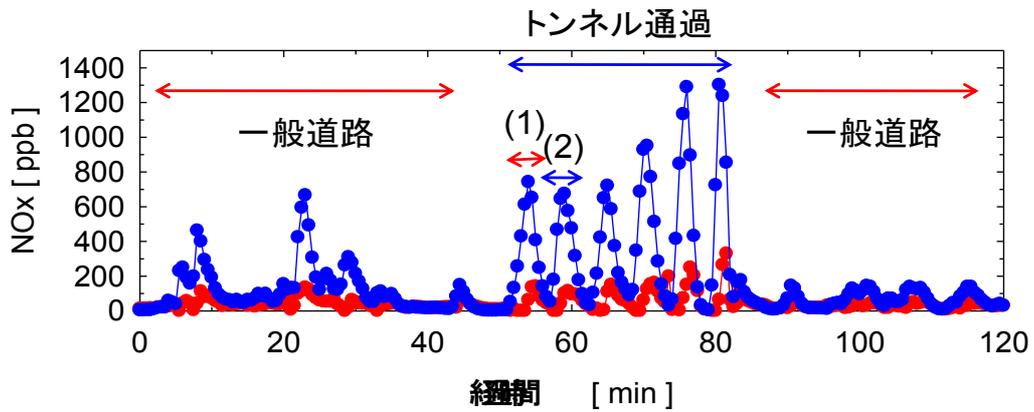


図2 一般道及び、三瀬・曲淵トンネル走行時の NOx 濃度の経時変

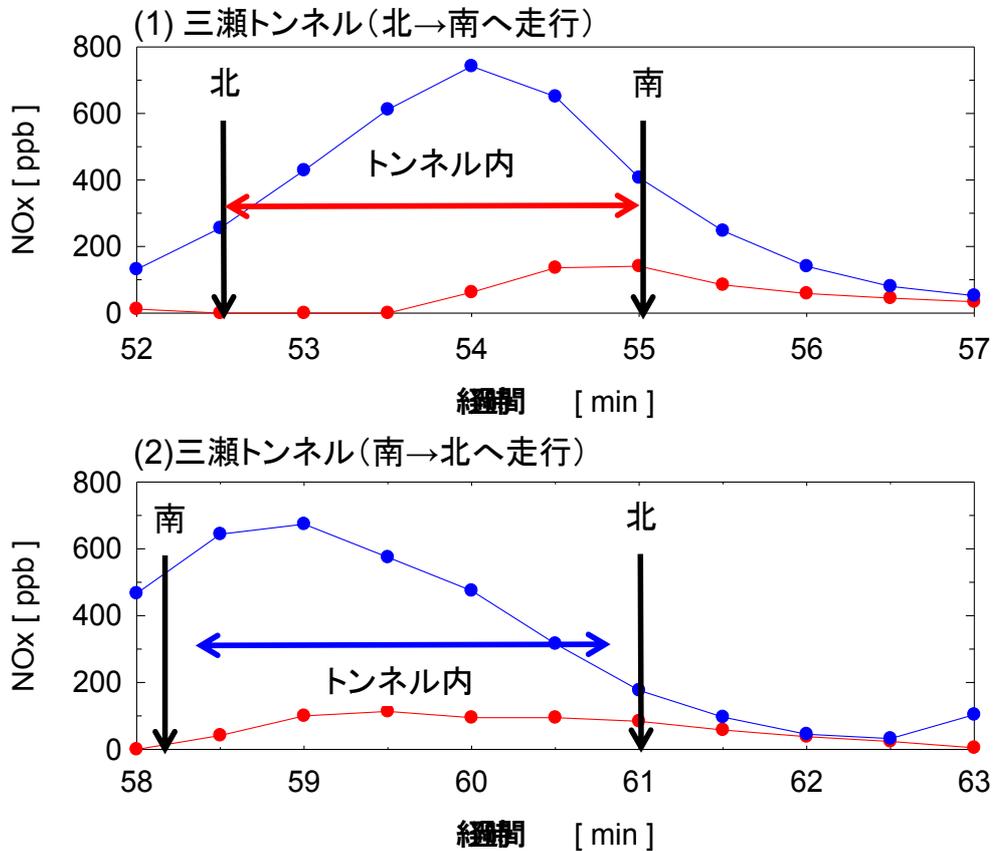


図3 三瀬トンネル走行時の NOx 濃度の経時変化

(1)トンネルを北→南へ走行した場合、(2)トンネルを南→北へ走行した場合

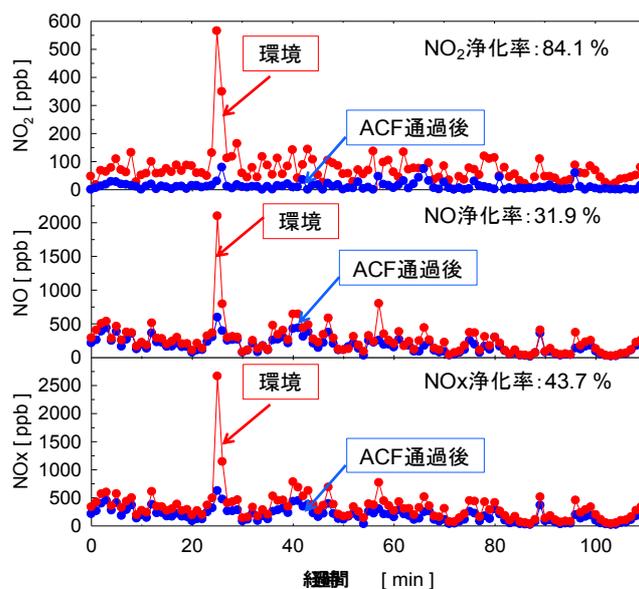
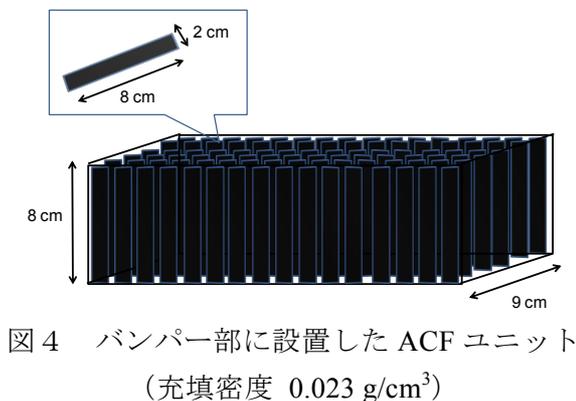
トンネルの平均交通台数は、一時間に 200 台程度と少なかったが、今回測定での交通台数は増加していた。そのため、トンネル内における測定時間が 1 走行 5 分程度と短くなっている。

②バンパー部に設置した ACF による NO_x 浄化性能評価

“充填型” ACF ユニットによる NO_x 浄化性能評価

充填密度 0.023 g/cm³、充填長（奥行）9 cm の場合

ACF ユニット中に 2×8 cm で裁断したピッチ系 ACF である SY-H800 を充填密度 0.023 g/cm³、奥行 9 cm で図 4 のように充填し、停車時から時速 60 km までの 110 分間通常走行を行なった。ここで、SY-H800 における充填密度は、SY-H800 をフェルト状に加工する際、中心にガラスファイバーを入れ込んである。そのため、ガラスファイバーを除いた場合の ACF 量のみを用いて算出した。気温 14.3 °C、湿度 63.6 R.H.% の気象状況下における道路上及び、ACF 通過後の NO_x 濃度の経時変化を図 5 に示す。の結果を用いて、設置した ACF ユニットにおける平均 NO_x 浄化率の計算を行なった。その結果、NO₂ : 84.1 %、NO : 31.9 %、NO_x : 43.7 %であった。この ACF ユニット前後の風速の関係（図 6）は、ACF 通過前の風速が速くなると ACF 通過後の風速も速くなる関係であることが確認できた。この時のバンパーにあたる平均風速は 1.92 m/sec、ユニットの通過風速は 0.18 m/sec であることが明らかとなった。このことから、このユニットにおける風の通過率は約 10 %程度と極めて低いことが明らかとなった。これは、2×8 cm の ACF を並列に詰め込むことで ACF ユニット内の空隙が少なく風の抜けが悪くなったと推測される。さらに、昨年までの結果から、NO₂ は ACF と短時間の接触だけでも速やかに浄化されることがわかっている。一方、NO は、NO₂ に酸化される過程が反応律速となるため、NO を効率よく浄化するためには十分な ACF との友好接触表面積が必要となる。この ACF ユニットでは、風が通過しにくかったため、NO₂ は 80 %以上、NO も 30 %以上と高い NO 浄化率を達成した。



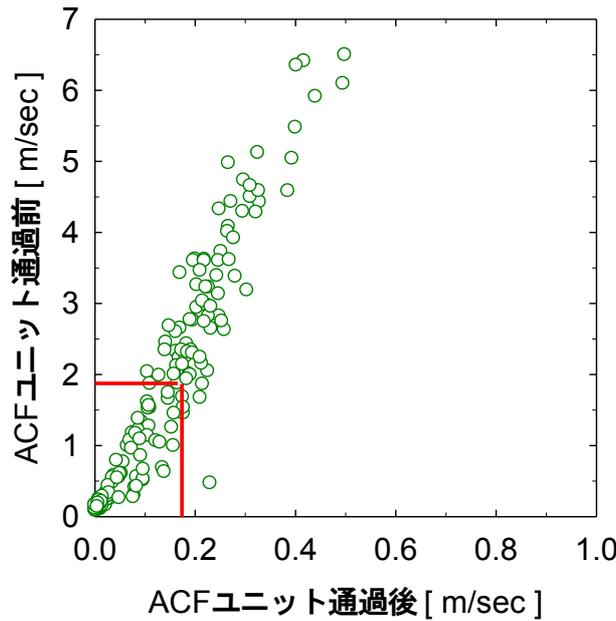


図6 ACFユニット通過前後の風速の関係

“スリット型” ACFユニットによる NOx 浄化率の検討

スリット幅 1 cm の場合

昨年度の結果から、信号停車時や渋滞時などにおいて、これまで検討してきた“充填型”の ACF ユニットでは、風の抜けが悪く NOx 浄化率が低下することが明らかとなっている。さらに、信号停車時や渋滞時には、排出された NOx が極めて高い濃度になるため、弱い風の場合においても NOx を効率よく浄化できる ACF ユニットの形状について検討・試験した。図 7 にスリット型の ACF ユニットの形状を示す。この ACF ユニットでは、片方のスリット幅が 0.7 cm、もう一方のスリット幅を 1 cm に調整した。スリット幅を 1 cm に調整した ACF ユニットにおける、停車時から時速 60 km までの 75 分間通常走行を行なった。気温 34.3 °C、湿度 49.9 R.H.% の気象状況下における道路上及び、ACF 通過後の NOx 濃度の経時変化を図 8 に示す。この結果を用いて、設置した ACF ユニットにおける平均 NOx 浄化率の計算を行なった。その結果、走行時の各浄化率は、NO₂ : 44.1 %、NO : 2.5 %、NOx : 7.6 % であり、停車時では、NO₂ : 78.0 %、NO : 2.3 %、NOx : 17.2 % であった。この ACF ユニット前後の走行時及び、停車時における風速の関係をそれぞれ、図 9 及び、図 10 に示す。走行時のバンパーにあたる平均風速は 1.32 m/sec、ユニットの通過風速は 0.45 m/sec であることが明らかとなり、このユニットにおける風の通過率は 34 % 程度であった。また、停車時のバンパーにあたる平均風速は 0.54 m/sec、ユニットの通過風速は 0.16 m/sec であることが明らかとなり、このユニットにおける風の通過率は 30 % 程度であった。この結果から、スリット幅 1 cm の場合では、風が抜けやすいため、走行時においては NO₂ の浄化率も 50 % 以下であり、NO の浄化率は殆どないことが明らかとなった。一方、停車時では、通過風速が遅くなるために NO₂ 浄化率は向上するものの、NO 浄化率については、走行時と同程度であった。これは、スリット幅が 1 cm と広いため、NO と ACF との十分な有効接触表面積が確保できないためと考えられる。

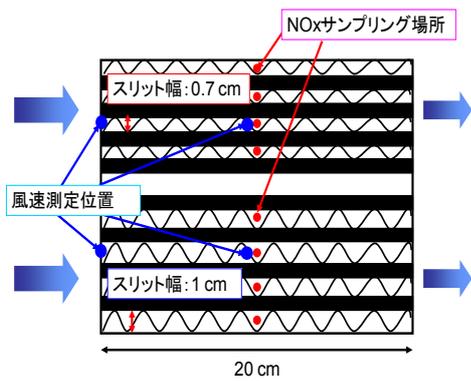


図7 バンパー部に設置したスリットタイプのACFユニット

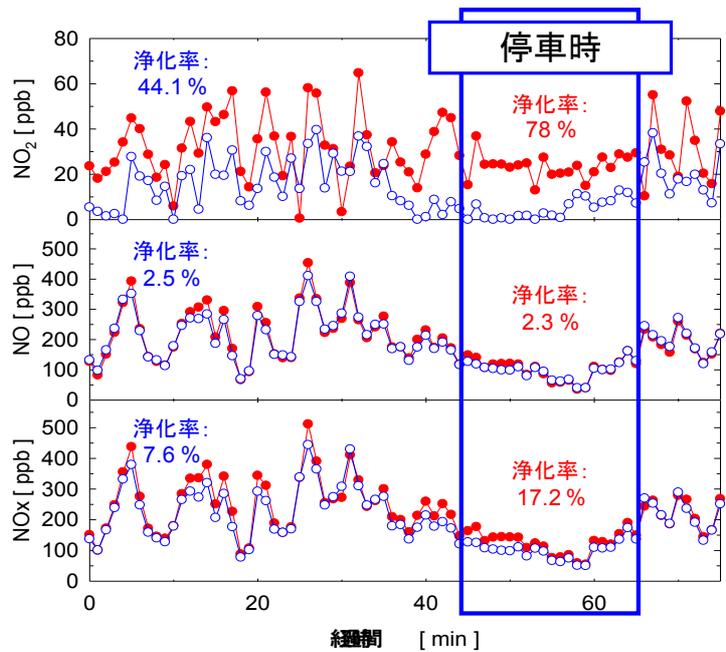
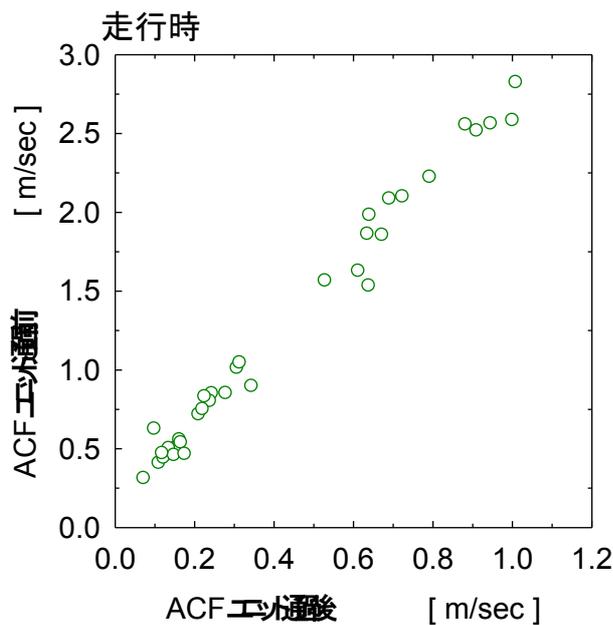


図8 道路上及び、ACFユニット（スリット幅：1 cm）通過後のNO_x濃度の経時変化



9 走行時におけるACFユニット通過前後の速の関係

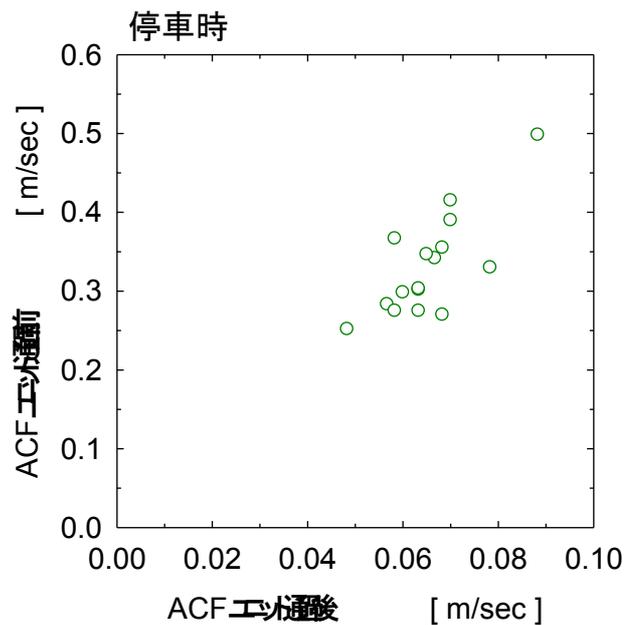


図10 停車時におけるACFユニット通過前後の風速の関係

スリット幅：0.7 cm の場合

スリット幅を0.7 cmに調整したACFユニットにおける、停車時から時速60 kmまでの55分間通常走行を行なった。気温34.3℃、湿度49.9 R.H.%の気象状況下における道路上及び、ACF通過後のNO_x濃度の経時変化を図11に示す。この結果を用いて、設置したACFユニットにおける平均NO_x浄化率の計算を行なった。その結果、走行時の各浄化率は、NO₂：75.0%、NO：4.78%、NO_x：13.3%であり、停車時では、NO₂：100%、NO：51.0%、NO_x：57.8%であった。このACFユニット前後の走行時及び、停車時における風速の関係をそれぞれ、図12及び、図13に示す。走行時

のバンパーにあたる平均風速は 1.49 m/sec, ユニットの通過風速は 0.19 m/sec であることが明らかとなり, このユニットにおける風の通過率は 13 %程度であった。また, 停車時のバンパーにあたる平均風速は 0.34 m/sec, ユニットの通過風速は 0.04 m/sec であることが明らかとなり, このユニットにおける風の通過率は 12 %程度であった。この結果から, スリット幅 0.7 cm の場合では, スリット幅 1 cm の時と比較して, 風が抜けにくくなっている。その結果, 走行時における NO₂ 浄化率が 70 %以上となったが, NO を浄化するには通過風速が速く, 十分な有効接触表面積を確保できていないため, NO 浄化率は 10 %程度にとどまっている。一方, 停車時の自然通風による NO₂ 浄化率は 100 %とほぼ完全に浄化し, NO 浄化率も 50 %以上を達成することに成功した。これは, スリット幅が 0.7 cm と狭くなることによって, NO と ACF の間で十分な有効接触表面積が確保できたためと考えられる。

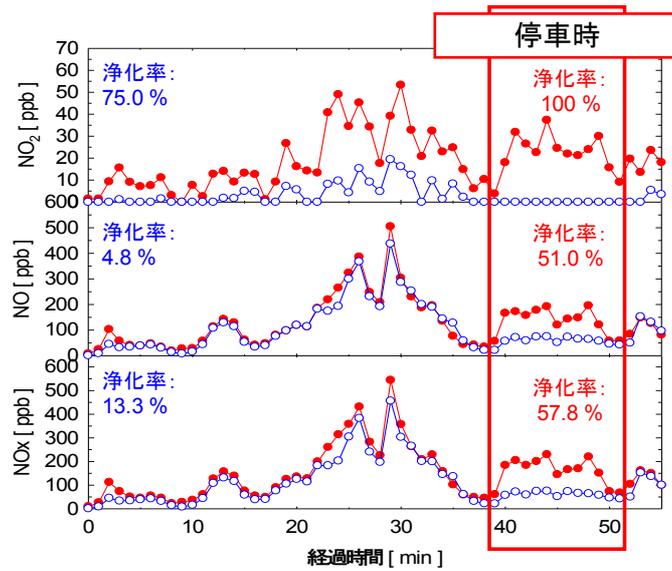


図 1 1 道路上及び, ACF ユニット (スリット幅 : 0.7 cm) 通過後の NOx 濃度の経時変化

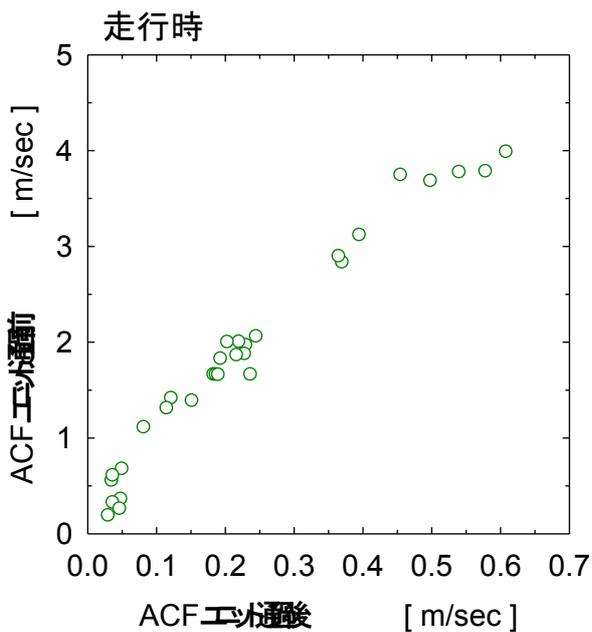


図 1 2 走行時における ACF ユニット通過前後の風速の関係

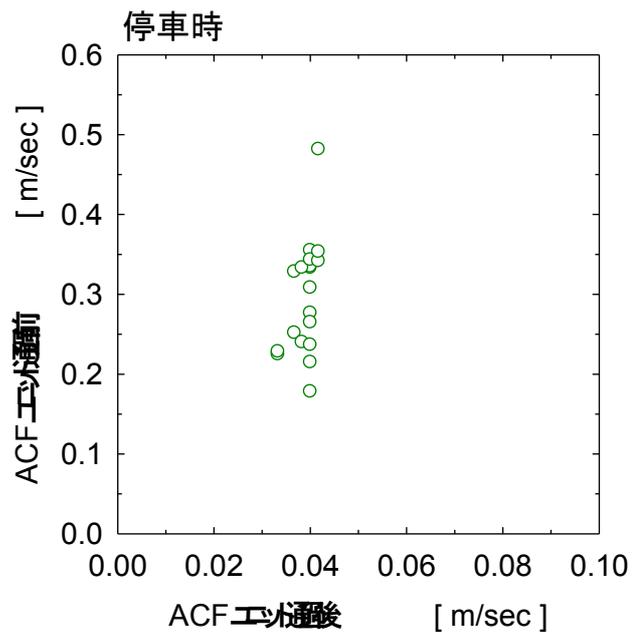


図 1 3 走行時における ACF ユニット通過前後の風速の関係

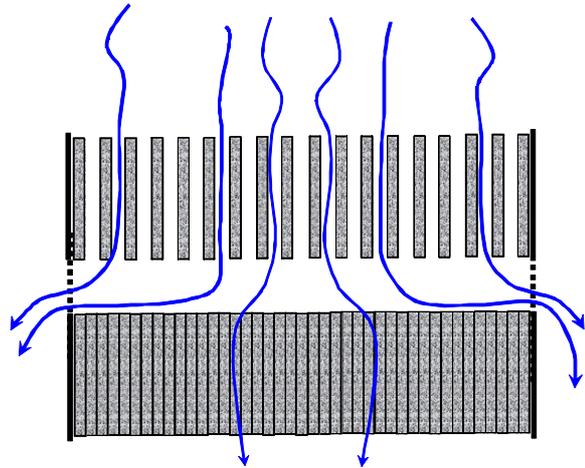
バンパー部に設置する ACF ユニットの設計

“充填型”及び、“スリット型” ACF ユニットにおける NOx 浄化率の検討を行ってきた。その結果，“充填型” ACF ユニットの case、走行時においては、高い NOx 浄化率を確保することができたが、道路上の NOx 濃度が高濃度となる交差点付近での信号停車時では、風の抜けが悪く十分な NOx 浄化率を確保できないという問題があった。一方、“スリット型” ACF ユニットでは、走行時には風が抜けやすく、NOx をほとんど浄化できなかった。しかし、信号停車時の弱い風がスリット内を通過することで、高い NOx 浄化率を確保できることが明らかとなった。以上のことから、図 14 のように“充填型”と“スリット型”を組み合わせたことにより、自動車停車時から走行時まで、効率的に NOx を浄化できる ACF ユニットの設計が可能となった。また、ユニットに用いる ACF として、ピッチ系 ACF である SY-H800 を利用することを考えている。しかし、バンパー部に ACF ユニットとして設置した場合、現行の PAN 系 ACF である FE200H-H800 の場合より NOx 浄化性能が低かった。この原因の一つとして、SY-H800 は、中心のガラスファイバーに繊維状の ACF を絡みつけている状態であり、フェルト状に加工されている FE200H-H800 と同程度の充填密度とする場合、目詰まりを起こし風の抜けが悪くなるため、ACF ユニットを通過した空気だけでなく、ACF を通過していない周辺の空気も同時に測定していることとなるために、見かけ上の NOx 浄化率が低下していると考えられる。このことから、SY-H800 をフェルト状に加工するなどといった ACF 繊維形状を改善することにより、現行の FE200H-H800 と同程度の NOx 浄化性能を確保することができると考えている。

②使用後 ACF の完全再生技術の検討

水洗による使用後 ACF の再生

PAN 系の FE200H-H800 中の水分を除去するために、アルゴンガス雰囲気下で、150 °C で焼成したものを未使用 FE200H-H800 とする。その 0.1 g 量を、内径φ7.2 mm のガラス管に充填長 2 cm で充填し、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO₂ ガス (O₂ 濃度 21 % を含む、N₂ ガスにより調整) を 300 ml/min で通気させた。破過後のガラス管内の ACF を取り出し、ビーカー内の 100 ml の水中に 1 日放置後、濾過した。その後、アルゴンガス雰囲気下で 300 °C・1 時間、焼成した。焼成後の FE200H-H800 は、ガラス管内に再充填し、相対湿度 0 R.H.% の 20 ppm の NO₂ (O₂ 濃度 21 % を含む、N₂ ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。未使用 FE200H-H800、100 ml の水による再生を施した FE200H-H800 の NO₂ 吸着曲線を各々、図 15、図 16 に示す。これらの結果から、未使用の FE200H-H800 の破過開始時間は、14 時間であるのに対し、100 ml の水で再生した場合は、11.5 時間 (再生率 : 約 80 %) であった。



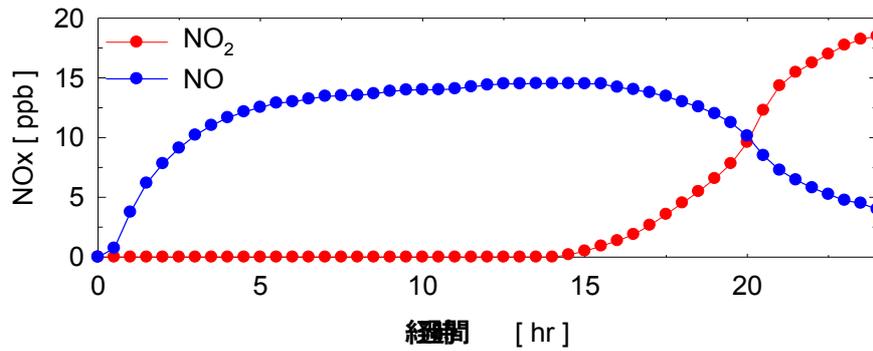


図 1 5 FE200H-H800 オリジナルの NO₂ 吸着曲線

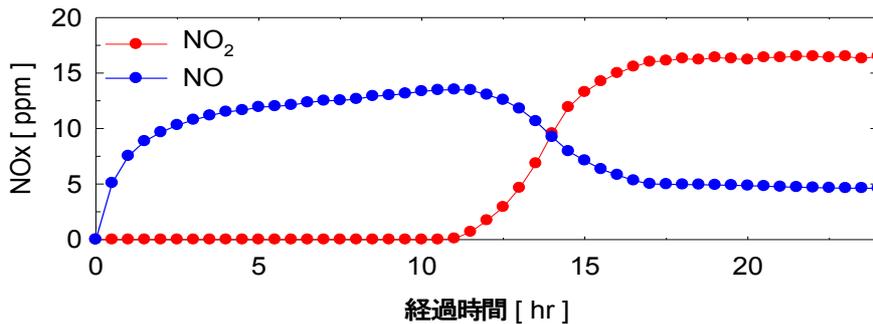


図 1 6 破過後、100 ml の水に浸け込んだ後、アルゴンガス雰囲気
 気で 300 °C-1 時間焼成した FE200H-H800 の NO₂ 吸着曲線

熱水による使用後 ACF の再生

FE200H-H800 の 0.1 g 量を、内径φ7.2 mm のガラス管に充填長 2 cm で充填し、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO₂ (O₂ 濃度 21 % を含む、N₂ ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。破過後の FE200H-H800 を 95~100 °C の熱水 200 ml 中で 8 時間再生処理を施し、アルゴンガス雰囲気気で 300 °C - 1 時間焼成を行なった。その後、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO₂ (O₂ 濃度 21 % を含む、N₂ ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。図 1 7 に熱水による再生を行った FE200H-H800 の NO₂ 吸着曲線を示す。その結果、未使用の場合では、破過開始時間が 14 時間であったのに対し、破過、再生処理を施した場合は、10 時間程度であった。しかし、未使用の ACF では破過開始後すぐに吸着が終了したのに対し、再生処理を行った場合は、緩やかに濃度が増加していくことが明らかとなった。これは、再生処理を施し、アルゴンガスで焼成する際に ACF の微細孔内に入り込んだ水分が十分に抜けていないためと推測される。

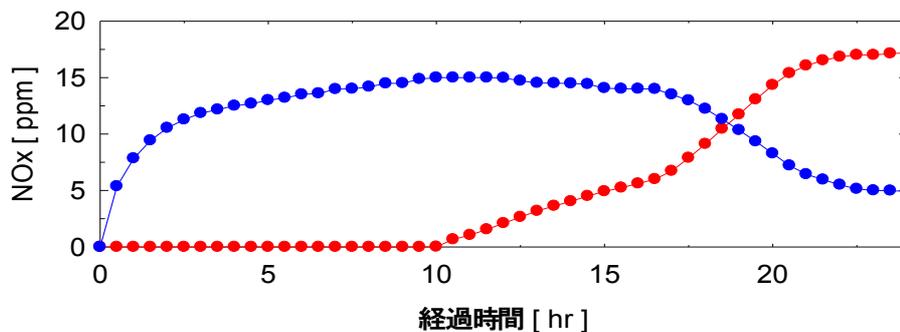


図 1 7 破過後、熱水による再生処理を施した後、アルゴンガス雰囲気
 気で 300 °C-1 時間焼成した FE200H-H800 の NO₂ 吸着曲線

加圧熱水による使用後 ACF の再生

FE200H-H800 の 0.6 g 量を、内径 ϕ 7.2 mm のガラス管に充填長 9 cm で充填し、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO_2 (O_2 濃度 21 % を含む、 N_2 ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。破過後の FE200H-H800 を 95~100 °C の加圧熱水 1 L 中で 30 分間、再生処理を施した後の ACF (0.1 g) を 50 ml の水中に 1 日間浸水させた。その後、ろ過し、アルゴンガス雰囲気下で 300 °C - 1 時間焼成を行なった。その後、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO_2 (O_2 濃度 21 % を含む、 N_2 ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。図 1 8 に加圧熱水による再生を行った FE200H-H800 の NO_2 吸着曲線を示す。その結果、未使用の場合では、破過開始時間が 14 時間であったのに対し、破過、再生処理を施した場合は、12 時間となり 90 % 程度再生することが明らかとなった。

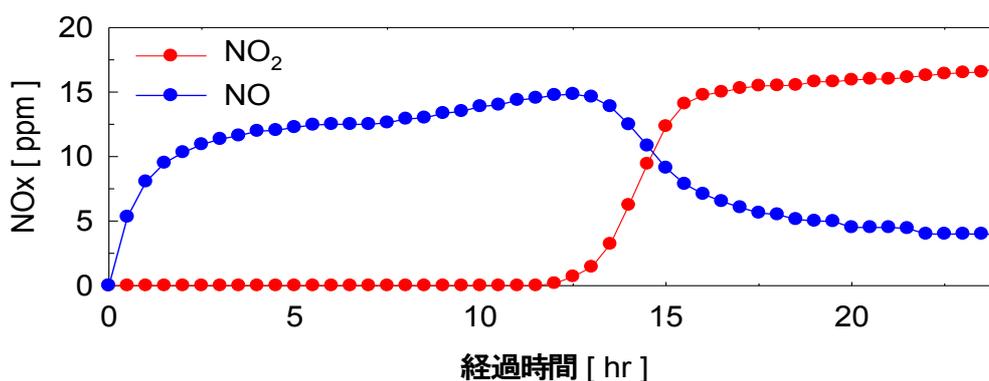


図 1 8 破過後、加圧熱水による再生処理を施した後、アルゴンガス雰囲気下で 300 °C-1 時間焼成した FE200H-H800 の NO_2 吸着曲線

アンモニアガスによる使用後 ACF の再生

使用後の ACF の NO_2 吸着性能をさらに再生させるため、アンモニアガスによる再生について検討した。FE200H-H800 の 0.1 g 量を、内径 ϕ 7.2 mm のガラス管に充填長 2 cm で充填し、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO_2 (O_2 濃度 21 % を含む、 N_2 ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。破過後の FE200H-H800 を 100 ml を通水させて洗浄した後、1 ppm のアンモニアガスを 1 時間通気させた。その後、アルゴンガス雰囲気下で 300 °C - 1 時間焼成を行なった。それを、再度内径 ϕ 7.2 mm のガラス管に充填長 2 cm で充填し、相対湿度 0 % の 20 ppm の NO_2 (O_2 濃度 21 % を含む、 N_2 ガスにより調整) を 300 ml/min で通気、破過させた。図 1 9 に再生処理を施した FE200H-H800 の NO_2 吸着曲線を示す。この結果から、未使用の FE200H-H800 における破過開始時間は 14 時間であったのに対し、アンモニア処理を施した場合は、13 時間であり、再生率は 90 % 以上となり、水洗浄や熱水洗浄などと比べて、高い再生効果を示すことが明らかとなった。このことから、アンモニアガスを通気させることによって、通水洗浄や熱水洗浄において取り除くことができなかった ACF の微細孔内の NO_2 とアンモニアが反応した後、加熱処理を行うことによって取り除くことができたためと推測される。

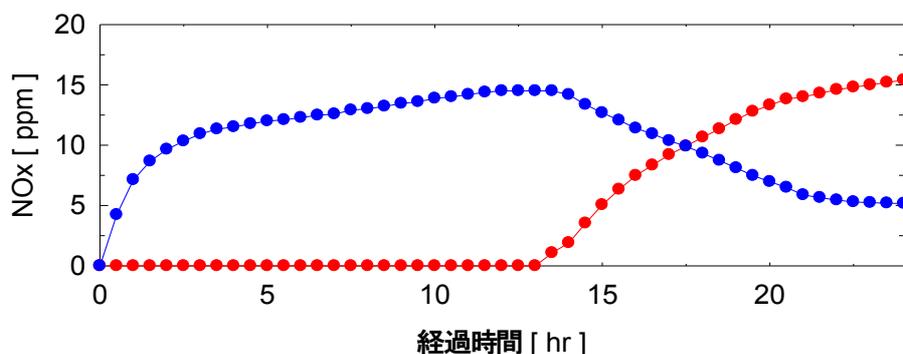


図 1 9 破過後，通水洗浄及び，アンモニアガス通気を行った後，アルゴンガス雰囲気下で 300 °C-1 時間焼成した FE200H-H800 の NO₂ 吸着曲線

車内汚染の実態把握および車内空気の清浄化検討

① 車内汚染の実態把握調査

車の窓を完全に閉め，走行環境からの汚染物質の流入による車内汚染を検討するために，車内フロント部の空調を OFF にして，停車時から時速 60 km/h までの 100 分間，一般道を通常走行した。外気温：14.3 °C，相対湿度：63.6 R.H.%の気象条件下，外気 NO_x は車のバンパー部，車内 NO_x は車内の中央部においてリアルタイムに測定した結果を図 2 0 に示す。この時の車内の気温は 11.5 °C，相対湿度は 73.5 R.H.%であった。その結果，道路上の NO 濃度変化は大きく，車内の NO 濃度変動は外気のそれと概ねよい対応が見られた。また，NO₂ 濃度変化も道路上の NO₂ 濃度のそれと良い一致が見られた。測定時間の外気 NO_x に対する車内 NO_x の濃度割合は，NO₂ が 92.0 %，NO が 83.0 %，NO_x が 85.5 %であった。以上の結果から，道路上に存在する高濃度の NO_x が車内に流入し，車内環境を悪化させていることが示唆された。

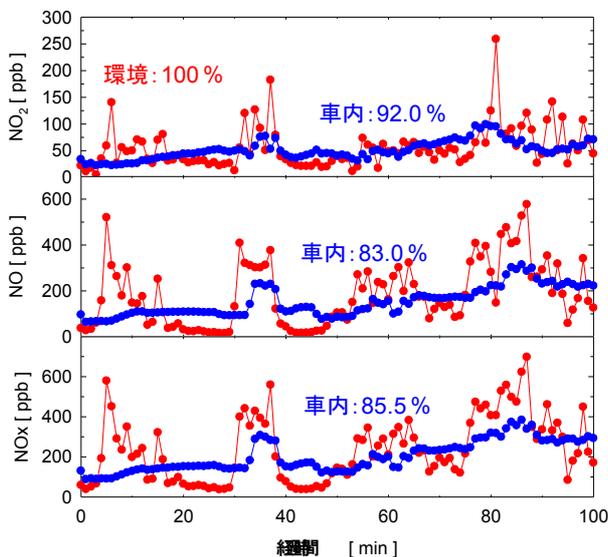


図 2 0 自動車走行時の道路上及び，車内の NO_x 濃度変化（空調 OFF）

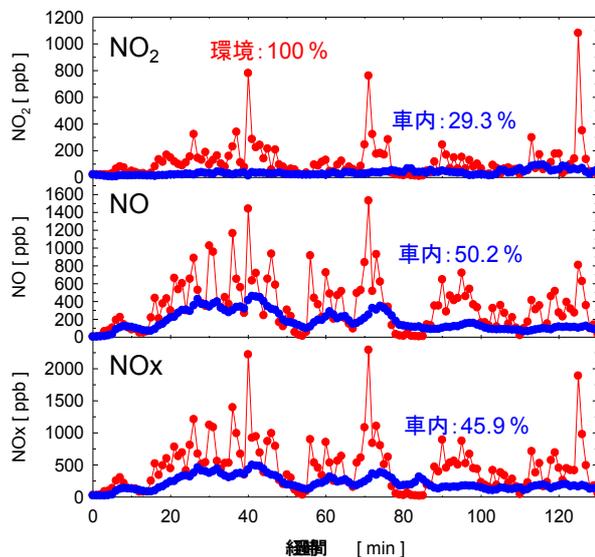
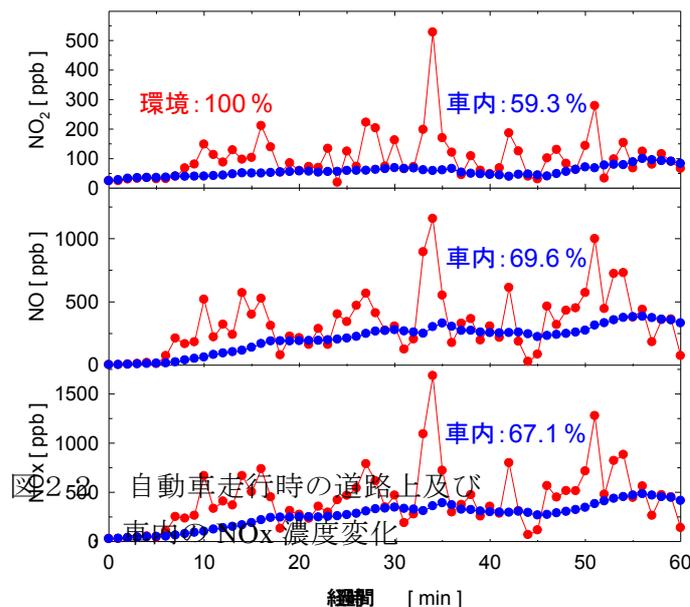


図 2 1 自動車走行時の道路上及び，車内の NO_x 濃度変化（空調 ON）

次に，車内フロント部の空調を ON にして，停車時から時速 60 km/h までの 100 分間，一般道を通常走行した。外気温：14.9 °C，相対湿度：75.2 R.H.%の気象条件下，実験車のフロントパネルのスイッチを“車内循環”にセットし，外気 NO_x 濃度は車のバンパー部，車内 NO_x 濃度は車内の中

中央部においてリアルタイムに測定した（図21）。この時の車内の気温は車窓からの日射と車内暖房の影響により、28.7℃、相対湿度は28.6 R.H.%であった。図21に示すように、道路上のNOは、0～1000 ppbの範囲で大きく変動しているのに対し、車内のNO濃度変化は、0～400 ppb程度の緩やかな変動であった。しかし、その変動は僅かなタイムラグがあるものの道路上のNO濃度変化とよく一致していることがわかる。一方、NO₂も道路上NO₂の急激な濃度変化に対して、車内のNO₂濃度変化は緩やかな変動であった。しかし、その変動は、NOと同様に僅かなタイムラグがあるものの道路上のNO₂濃度変化とよく一致していることが分かった。以上の結果から、空調のON、OFFに関わらず、車内のNO濃度の変動は、車外のそれと概ねよい



対応が認められた。また、車内循環 ONの方が、OFFの場合よりも、車内NO_x濃度は緩やかに変動することがわかった。さらに、車内気温が外気のそれより高い冬季では、2時間程の走行時、外気のNO、NO₂濃度よりも車内のそれらは徐々に上昇し始め、外気平均NO、NO₂濃度が300ppb、100 ppbに対して、各々、約300～500 ppb、100～150 ppb以上に達する場合があった。

② 車内空気の清浄化技術の検討

昨年度、強制採気方式による車内空気清浄化を検討した結果、車内のNO_xをほとんど浄化できないことが明らかとなった。そこで、車内シート、車内壁の一部をACFフェルトシートへ代替することにより、NO_xを浄化する“パッシブ法”について検討した。その基礎実験として、フェルト状PAN系ACFを実験ボックス内の一面に張り付け、小型ファンで内部空気を送風循環した場合のNO濃度変化を測定した。その結果、ACFフェルトを張り付けることによって、ボックス内のNOを効率的に浄化可能であることが明らかとなった。本年度は、フェルト状のピッチ系SY-H800ACFを車内の天井、底部、4つのドア内面およびトランクの内面に装着し、道路上及び、車内のNO_x濃度をリアルタイムで測定した。NO_x濃度測定は、外気温：14.0℃、相対湿度：41.8 R.H.%の気象条件下、実験車のフロントパネルのスイッチを“車内循環”にセットし、停車時から時速60 km/hまでの130分間、一般道を通常走行して行なった。ここで、外気NO_x濃度測定位置は車のバンパー部、車内NO_x濃度測定位置は車内の中央部においてリアルタイムで測定した（図22）。この時の車内温度：27.0℃、相対湿度：30.6 R.H.%であった。この結果から、車内平均NO濃度（通常約200 ppb）を10～40%減となる150～200 ppb以下であり、平均NO₂濃度（通常約100 ppb）を40～60%減となる40～60 ppb以下に低減できることが明らかとなった。

【調査の成果】

①走行風を利用した大気浄化技術の確立

道路上の汚染状況の把握

自動車を走行させながら、実験車のバンパー部における道路上の NO_x 濃度をリアルタイムで測定した。その結果、トンネル内では、NO 濃度が 800~1500 ppb であり、NO₂ 濃度もトンネル出入口で急激に 200~400 ppb に上昇することが分かった。一方、高速道路が立体交差している場所や福岡市中心街などにおいては、NO_x 濃度が数 100 ppb~1000 ppb に達しており、交差点付近では、さらに高濃度になることが明らかとなった。これは、交差点付近で自動車が停車することにより、アイドリング NO_x が排出されること、自動車の渋滞により風が抜けにくくなることが主な原因と考えられる。

バンパー部に設置する ACF ユニットの最適化

走行時の浄化：0.7cm 厚のフェルトピッチ系 SY-H800 を 2×8 cm に裁断し、ユニットボックス内に充填密度 0.023 g/cm³、奥行 9 cm で密に充填した（“充填型”）。この ACF ユニットのバンパー内部に装着し、停車時から時速 60 km までの 110 分間通常走行を行なった。その結果、バンパーにあたる平均風速は 1.92 m/sec、ユニットの通過風速は 0.18 m/sec であり、ユニットによる NO₂、NO、NO_x 浄化率は各々、84.1 %、31.9 %、43.7 %であった。

アイドリング時の浄化：スリット型” ACF ユニットにおける NO_x 浄化率について検討した。5×20 cm に裁断したフェルトピッチ系 SY-H800 を、スリット幅 0.7 cm に並べた ACF ユニットのバンパー内に装着し、停車時の自然風による NO_x 浄化率について検討した。その結果、バンパーにあたる平均風速は、0.34 m/sec、ユニット通過風速は、0.34 m/sec であり、NO₂、NO、NO_x 浄化率は各々、100 %、51.0 %、57.8 %であった。

以上の結果から、ACF スリット型と充填型のユニットを組み合わせることによって、停車時から走行時まで、効率的に NO_x を浄化できる ACF ユニットの設計が可能となった。

現行の ACF から NO_x 浄化性能が高い他種の ACF への移行

室内の標準 NO 及び、NO₂ ガスを用いた固定流動床の実験から、熱処理、改良したピッチ系 ACF では、現行の PAN 系 ACF と同等以上の高い NO_x 浄化能力を持つことが分かった。ピッチ系 ACF のスリット状ユニットを作成し、バンパー内に装着し、自動車走行時の NO_x 浄化能力について試験した。その結果、ユニット内の ACF 充填密度が低い場合、緩やかな自動車走行により NO₂ は効率よく浄化できることが分かった。一方、NO は殆ど浄化できなかつた。しかし、ACF の充填密度を高くすることで NO₂ はほぼ完全に NO は 10~60 %浄化できることが分かった。

②使用後 ACF の完全再生技術の検討

使用後の PAN 系 FE200H-H800 及び、ピッチ系 SY-H800 を回収、工場に持ち帰った後の完全再生技術について検討を行なった。再生方法は、①水洗浄、②95~100 °C の熱水洗浄、③加圧熱水洗浄、④水洗浄後、1 ppm のアンモニアガス雰囲気下で 300 °C、1 時間焼成を試験した。条件をそろえるため、①~③についても、洗浄後、アルゴンガス雰囲気下において 300 °C、1 時間で焼成した。

①水洗浄及び、②熱水抽出では、NO 及び、NO₂ の吸着能力が未使用 ACF のそれと比較して 80 % 程度まで回復した。また、③加圧熱水では、NO 及び、NO₂ の吸着能力が 90 %程度まで回復した。

一方、④水洗浄後、アンモニアガス雰囲気下で焼成することにより、ACF はほぼ完全に再生できることが明らかとなった。

③車内汚染の実態把握および車内空気の清浄化検討

車内汚染の実態把握調査

車の窓を完全に閉め、車内空調内部からの車内汚染を検討するために、車内フロント部の空調を OFF あるいは車内循環 ON にして、複数回、一般道を通常走行した。外気 NO_x は車のバンパー部、車内 NO_x は車内の中央部においてリアルタイムに測定した。

空調の ON, OFF に関わらず、車内の NO 濃度の変動は、車外のそれと概ねよい対応が認められた。車内循環 ON の方が、OFF の場合よりも、車内 NO_x 濃度は緩やかに変動した。

外気平均 NO, NO₂ 濃度が 300ppb, 100 ppb の時、車内の NO, NO₂ 濃度は、それぞれ 200~270 ppb, 60~90 ppb (外気の NO, NO₂ 濃度に対して、それぞれ 70~90 %, 60~90 %) であった。特に、車内気温が外気のそれより高い冬季では、2 時間程の走行時、外気の NO, NO₂ 濃度よりも車内のそれらは徐々に上昇し始め、外気平均 NO, NO₂ 濃度が 300ppb, 100 ppb に対して、各々、約 300~500 ppb, 100~150 ppb 以上に達する場合があった。

車内空気の清浄化技術の検討

フェルト状のピッチ系 SY-H800ACF を車内の天井、底部、4 つのドア内面およびトランクの内面に装着した。自動車の窓を密閉し、空調を車内循環 ON にして一般道を通常走行した。外気 NO_x は車のバンパー部、車内 NO_x は車内の中央部においてリアルタイムに測定した。その結果、車内平均 NO 濃度 (通常約 200 ppb) を 10~40 % である 150~200 ppb 以下に低減し、平均 NO₂ 濃度 (通常約 100 ppb) を 40~60 % である 40~60 ppb 以下に低減できることが明らかとなった。

【今後の課題】

1. 走行風を利用した大気浄化技術の確立
 - (1) バンパー部に搭載した ACF 形状の最適化
 - (2) バンパー部における ACF のその場再生の検証
2. 車内空気の清浄化
 - (1) 外気流入経路の特定
 - (2) 自然対流を利用した車内空気の浄化技術の確立
3. 自動車搭載 NO_x 浄化システムと土壌脱硝法の NO_x 浄化性能の比較