

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研究

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】

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、自動車排気ガス中に含まれる代表的な有害物質のひとつである一酸化窒素（NO）や二酸化窒素（NO₂）が極めて高い濃度で存在することが問題となっている。そのため、自動車排出ガス規制の強化のみならず、汚染空気を浄化する技術の開発が求められている。

我々は、高活性炭素繊維（ACF）を用いて、道路直近の窒素酸化物（NO_x）を中心とした汚染物質を高効率的に浄化可能なシステムの構築を目的として予備試験及び、検討し、ACF 搭載型自動車において道路上に存在する高濃度の NO_x といった汚染物質を効率よく浄化可能であることが考えられる。この方式は自動車走行に伴う走行風を利用するため電力が不要であることから、設備投資が低コストであり、維持管理面でも負担が少ないなどの利点を有することから、実用化の可能性が高いと考えている。

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・提案などを行な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： NO₂ 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 NO₂ 浄化に関する室内実験

戸外実験： ACF による NO₂、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 NO₂ 浄化に関する室内実験
NO、NO₂ 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 NO₂、二酸化硫黄（SO₂）、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、NO₂ 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 NO₂ 浄化性能の確認

戸外実験： NO、NO₂ 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（本年度）

- ① 自動車の車速と車体各部位の走行風の関係
- ② ACF ユニットの形状及び、NO_x 浄化能に関する検討
- ③ 車内汚染の実態評価
- ④ 車内汚染の浄化対策の検討

実験方法の概要

①自動車の車速と車体各部位の走行風の関係

自動車走行に伴う車速と、ACF ユニットを設置する車体各部位（バンパー、自動車側面）の風速との関係を明らかにするために、自動車（平成 12 年式、2500 cc、セダンタイプ、走行距離 76,000 km）のバンパーの 3 ヶ所及び、車体底面、自動車側面に熱線風速計を設置し、自動車走行中の風速の測定を行なった（以下、“実験車”とよぶ）。また、自動車走行時の道路上の大気汚染状況を把握するために、窒素酸化物濃度測定装置（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、これらの機器を駆動させるためのバッテリーを搭載することによって、実験車走行時及び、停車時における NO_x 濃度変化、風速、車速、温湿度を測定した。ここで、NO_x 濃度の測定は、実験車の前方バンパー部及び、後部に NO_x 測定用テフロン管を固定した。後部の NO_x 測定用テフロン管は、実験車自身から排出する排気ガスの影響を直接受け難いように、リアゲートの上に固定した。実験車の前部、後部のテフロン管から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。ここで、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。そのため、実際には存在しない NO₂ 濃度が測定される問題があった。そのため、テフロン配管の途中に 2 L のバッファを取り付け急激な 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。

② ACF ユニットの形状及び、NOx 浄化能に関する検討

自動車走行風を利用した大気浄化システムを構築するため、実験車の車体に ACF ユニットを充填する方法を検討した。ACF ユニットを設置する場所は、バンパー部及び、側面ドア付近に空気取り込み口と排気口を付け ACF ユニットを設置できるように改造したドア横ポケット部において行なった。

バンパー部に設置した ACF による NOx 浄化性能評価

バンパー部に ACF ユニットを設置した場合の NOx 浄化能力を試験するために、バンパー部の前面を加工し、直径 1 cm のハニカム構造のアルミ板を取り付けた。内部には、アクリル製のボックスを設置し、このアクリル製のボックス中にフェルトチップ状 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）。NOx 濃度及び、風速の測定は、バンパー前面とアクリル製ボックスの後方に NOx 測定用テフロン管と熱線風速計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た。ここで、アクリル製ボックスに充填した ACF の詳細な充填条件については、調査結果とともに後述する。

自動車側面に設置した ACF による NOx 浄化性能評価

平成 17 年度の調査において、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 ユニットを装着した。実験車側面に設置した ACF ユニットの NOx 浄化性能について検討するために、フェルトチップ状 ACF を充填した ACF ユニットを設置できるように実験車側面を改造し、側面内部にユニットを設置した。ドア横ポケットの空気取り込み口及び、側面内部の ACF ユニット後に熱線風速計と NOx 測定用のテフロン管の採気口を固定した。実験車側面の ACF ユニットの充填密度及び、充填長については調査結果とともに後述する。

③ 車内汚染の実態評価

自動車走行時の車内空気汚染の現状を把握するために、実験車内のドア・窓などを完全に密閉し、道路上の環境 NOx 濃度と車内の NOx 濃度の関係について測定した。環境 NOx 濃度の測定は、リアゲート上にテフロン管の採気口を固定した。一方、車内の NOx 濃度は、車内中央で測定した。また、温湿度・風速・車速についても同時に測定した。ここで、車内の NOx 濃度測定を行なう場合、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』で測定を行なった。

④ 車内汚染の浄化対策の検討

車内循環風を利用した ACF ユニットによる NOx 浄化（強制採気方式）

車内空気の浄化のために、車内フロントパネル下部の空気送風機用フィルター（5 cm 厚、ジャバラ式ペーパーフィルター）を取り外し、空気送風機の配管（内径約 4 cm）をプラスチックボックスに接続した。プラスチックボックス内に、フェルトチップ状 PAN 系 ACF を充填密度 0.049 g/cm^3 で $12 \times 20 \times 35 \text{ cm}$ のサイズで充填した（ACF ユニット）。ACF ユニットを通った空気は、車内に排出させた。NOx 濃度の測定は、ACF ユニットの前後に NOx 測定用テフロン管の採気口を固定して行なった。測定した NOx 濃度から ACF ユニットによる NOx 浄化率を算出した。また、ACF ユニット内の通過風量を測定するために、熱線風速計をユニットの出口に設置して風速を測定した。さらに、ACF ユニットによる車内空気の浄化効率については、ユニット前と車内の NOx 濃度を同時に測定

して比較, 検討した。

パッシブ法による車内空気の浄化技術の検討

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 が浄化できると考えた。また、この方法により、外気 NO_x の車内流入を軽減できると考え、実験室内で基礎実験を行なった。92×92×92 cm のプラスチックボックスで NO の吸着実験を行なった。ボックスの内側にはテフロンシートを張ることによって、ガス吸着を抑え、密閉性を向上させた。ボックスの上面 1 枚に 92×92 cm の PAN 系 ACF フェルト（厚さ：7 mm, ACF 量：214.14 g）を張り付けて、その上からテフロンシートを被せた。その後、ボックス内の中心に小型ファンを設置し、ボックス内の空気を対流させた。小型ファンで内部を攪拌させながら、標準 NO ガス（101 ppm）を流し込み、ボックス内の NO 濃度を 1.5 ppm に調整した。実験初期の段階では、テフロンシート表面に僅かながら NO が吸着するため、NO ガスを 24 時間流し続けた後、ボックス内の NO 濃度が 1.5 ppm 一定であることを確認後、ボックス上面の ACF を覆っていたテフロンシートをボックス外から抜き取り、ACF 面をむき出しにすることで NO の吸着実験を行なった。NO 濃度は、NO_x 自動測定装置で連続測定した。ACF 表面への風速は、0.11 m/sec 及び、1.11 m/sec で行なった。この時のボックス内の温度は 25 °C、相対湿度は 50～70 R.H.%であった。

パッシブ法によるフェルト状 ACF の NO 吸着寿命を知るために、固定床流動測定装置を用いて円筒管による NO 吸着実験を行なった。サンプルは、①PAN 系の ACF フェルト単体及び、②ACF の表面を白いレース生地の布で覆った ACF である。②は、車内内装時の美観を考慮したものである。これら 2 つのサンプルを、各々、内径 2.7 cm の円筒ガラス管内に筒状に張りつけて ACF の空洞内径を 1.5 cm に調整した。ACF 空洞内に相対湿度 0 R.H.%の標準 NO ガス（NO: 20 ppm, O₂: 21 %）を流量 300 ml/min で通気させた。円筒ガラス管の温度は 30 °Cであった。円筒管出口ガスの NO 濃度は NO_x 自動測定装置で連続測定した。ACF の NO 吸着量は、NO 通気濃度（20 ppm）と ACF 通過後の破過曲線のそれぞれ積分値の差分により計算した。

【調査結果】

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って、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、改良を行なうと伴に、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伴に、該当地点に 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、ACF の NO 浄化性能の向上についての検討を重点的に行なった。その結果、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って、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った。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 NOx 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、停車時の自然風が繊維内を通過できること、NOx 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 NOx 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 NOx 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 NOx 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、NOx 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 NOx 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 NOx 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って、 NO_2 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 NO_2 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（本年度）の研究

① 自動車の車速と車体各部位の走行風の関係

実験車走行時における車体各部位（図 1）の風速の測定を行なった。その結果、バンパー部の平均風速は、右バンパー部が平均 3.00 m/sec、左バンパー部が 3.03 m/sec とほとんど同じ風速であり、中央バンパー部が平均 3.42 m/sec であった。以上の結果から、バンパーは中央部が最も速い風速であることが分かった。一方、風がバンパー下の車底を通過する風速は平均 2.20 m/sec、自動車側面のドア横ポケットの風速は平均 4.32 m/sec であり、自動車側面の風速が他の部位と比べて著しく速かった。次に、車速と風速の関係について検討した。その結果を図 2 に示す。風速には自然風と走向風が混在している。この結果から、自動車各部位の風速は車速が速くなるにつれて速くなるという

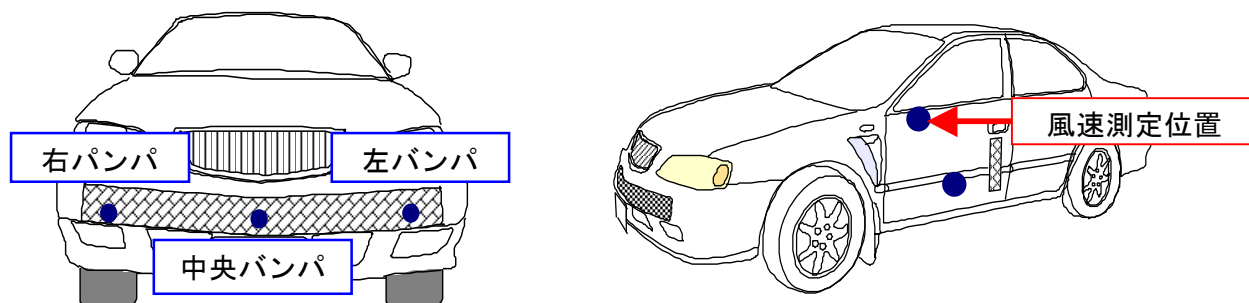


図 1 自動車各部位における走行風の測定位置

直線的な
った。

関係にあ

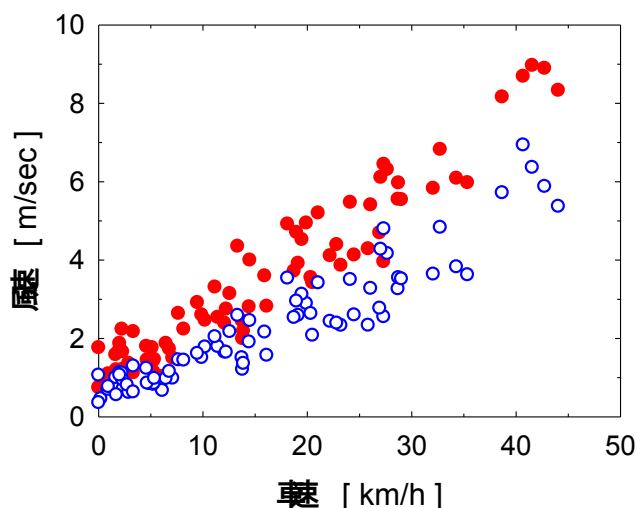


図 2 自動車走行時の車速と自動車各部位の風速の関係

自動車を走行させながら、自動車のバンパー部で NOx 濃度をリアルタイムで測定を行なった。図 3 に、気温：24.8 °C、相対湿度：41.8 R.H.%の気象状況下、走行時の経過時間と道路上の NOx 濃度の変化及び、車速の変化を示す。この日の平均 NO 濃度は 89.3 ppb、平均 NO₂ 濃度は 51.2 ppb であった。しかし、図中の“○”で囲まれた部分のように、NO₂ 濃度が 600 ppb と高くなる場所があり、NOx 濃度においては 5000 ppb に達する場合があった。NOx 濃度が高い時の車速の経時変化を見ると自動車は減速または、停車しており、信号停車などによって自動車が停車する交差点付近であることが分かった。減速や停車時に、自動車が混み合うことで風が吹き抜けにくくなり、排出ガスが高濃度に滞留

したためと
推察され
る。以上のこ
交差点など
減速、停車
な場所では
辺の汚染空
しやすくな
考えられる。

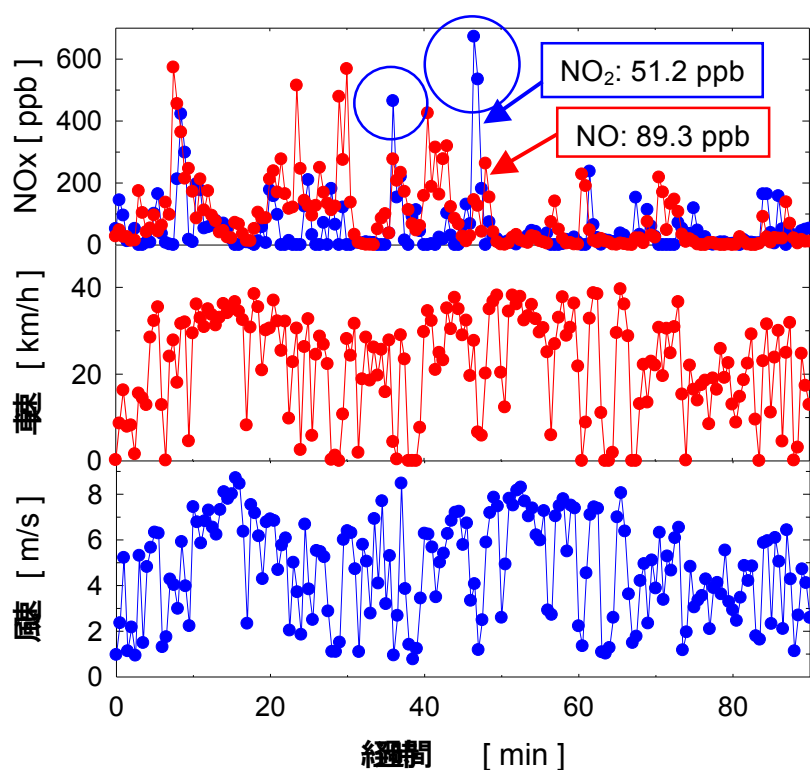


図 3 10 月 31 日の経過時間と NOx、車速、風速の変化
(平均気温：24.8 °C、平均湿度：41.8 R.H.%)

②ACF ユニットの形状及び、NOx 浄化能に関する検討

(1) バンパー部に設置した ACF による NOx 浄化性能評価

フェルトチップ状 ACF を充填密度 0.048 g/cm³、奥行き 9 cm (図 4) で ACF ユニットに充填し、停

車時から時速 60 km までの 80 分間、平均時速 15.6 km/h で通常走行を行なった。気温：16.5 °C、相対湿度：48.1 R.H.%の気象状況時の道路上及び、ACF 通過後の NO_x 濃度の経時変化を図 5 に示す。この結果から、設置した ACF ユニットの平均 NO_x 浄化率の計算を行なった。その結果、平均 NO_x 浄化率は、NO が 53.7 %、NO₂ が 93.6 %、NO_x が 61.2 %であった。この時の ACF ユニット前後の風速と通過風速との関係（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という直線的な関係であることが分かった。ACF 通過前の平均風速は 2.23 m/sec、ACF 通過後のそれは 0.34 m/sec であった。しかし、風速 0.5 m/sec 前後で、直線の傾きが変わっている。これは、ACF ユニットの充填密度が高く、充填長が長いため、風が通過し難くなるためと考えられる。表 1 に、各 ACF ユニットによる NO_x 浄化率を示している。この結果から、NO₂ 浄化率は充填密度、充填長にかかわらず、大気 NO_x の 80 %以上を浄化できることが明らかとなった。一方、NO 浄化率は ACF の充填密度が増加することにより、向上することが理解できる。NO 浄化率は、充填密度が同じでも充填長が長くなることで向上している。これは、NO 浄化に必要となる有効接触表面積が増加することで、ACF 内部で NO から NO₂ への酸化反応が進んだ結果、NO 浄化率が向上したためである。

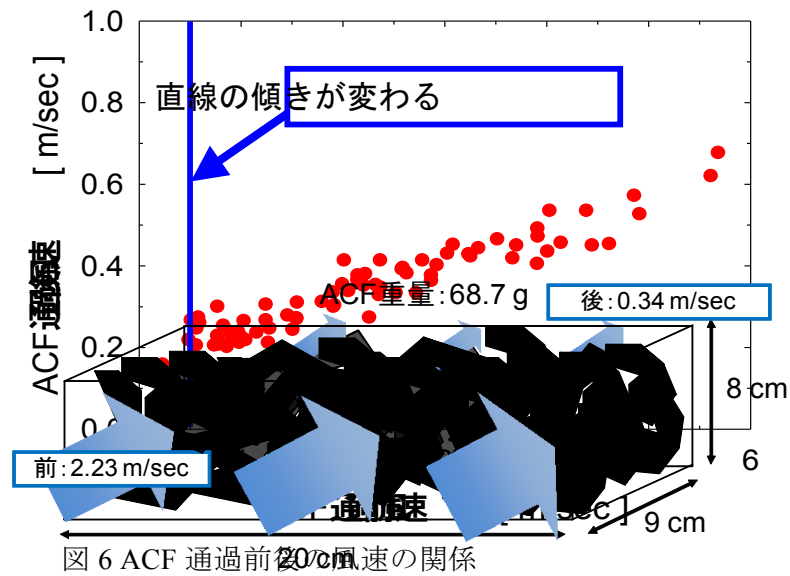


図 6 ACF 通過前後の流速の関係

図 4 バンパー部に設置した ACF ユニット

(充填密度 : 0.048 g/cm³)

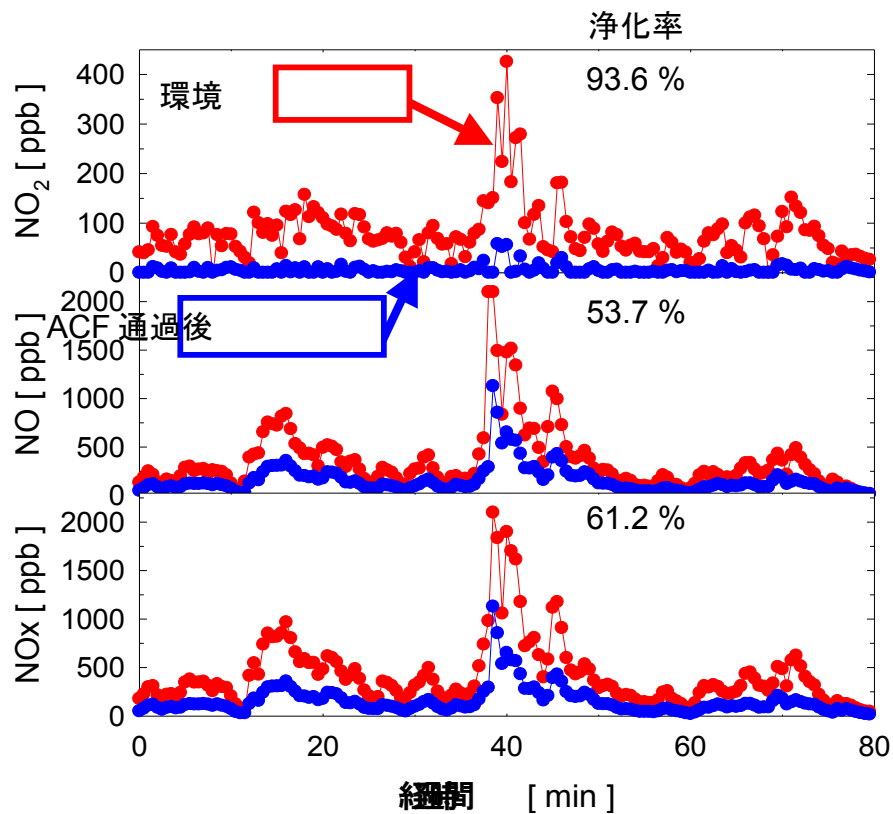


図 5 道路上及び、ACF 通過後の NO_x 濃度の経時変化

(気温 : 16.5 °C, 湿度 : 48.1 R.H.%)

表 1 各 ACF ユニットの NOx 浄化率 (バンパー部設置)

	①	②	③	④	⑤
充填密度 (g/cm ³)	0.026	0.043	0.048	0.011	0.048
充填長 (cm)	5	5	9	20	20
NO 浄化率 (%)	1.2	39.9	53.7	39.1	66.5
NO ₂ 浄化率 (%)	91.3	99.9	93.6	81.9	97.2
NOx 浄化率 (%)	21.5	66.7	61.2	46.9	71.2

(2) 土壌脱硝法と自動車搭載型 ACF ユニット (バンパー部設置) の NOx 浄化性能比較

表 1 の結果から、充填密度が高く、充填長が長い⑤の場合、ACF ユニットにおける NOx 浄化率が、最も高くなることが分かる。しかし、将来的にバンパー部での ACF による浄化システムの汎用性を考えた時、バンパーのサイズから、ACF ユニットの奥行きは 10 cm 程度が限界である。そのため、③の充填密度 0.048 g/cm³、充填長 9 cm の場合が最適条件であると考えられる。そこで、この条件での NOx 浄化率をもとに、図 7 に示す、③の ACF ユニットを用いた場合と従来の土壌脱硝法における NOx 処理能力の比較を行なった。その結果、土壌脱硝法の処理風量が 600 m³/min であるのに対し、自動車搭載型では 540 m³/min と同程度の処理風量を確保できることが示唆された。さらに、図 8 に示すように、道路沿道に設置される土壌脱硝装置と比較して、自動車搭載型は、NOx 濃度が 100 ~ 5000 ppb と極めて高い道路上で直接浄化できるメリットをもつ。また、土壌脱硝法のような局所に固定式の大型システムではないため、自動車搭載型の方が、広域的に、かつ高効率に汚染空気を浄化可能であると予測できる。

車速と NOx 浄化率の関係について検討した結果、フェルトチップタイプの ACF ユニットでは、車速が遅くなるにつれて、NOx 浄化率が低下する現象が認められた。しかし、NOx 濃度は交差点付近において高くなる傾向があった。そのため、バンパー部に設置する ACF ユニットは、減速及び、停車中において高い通風性と高い NOx 浄化率を維持する必要がある。これについては、バンパー部の ACF ユニットのスリット構造体に設計することで対処できる。また、現行の PAN 系 ACF よりも高い NO 浄化能力をもつピッチ系 ACF を利用した NOx 浄化技術の改善を行なっていきたい。

土壌フィルター法（大阪府吹田市）

平日平均交通量 53,600台(大型車混入率 12.7 %)

平均NOx濃度：100 ppb

処理風量：600 m³/min(2基合計)

自動車搭載型ACFボックス（バンパー部）

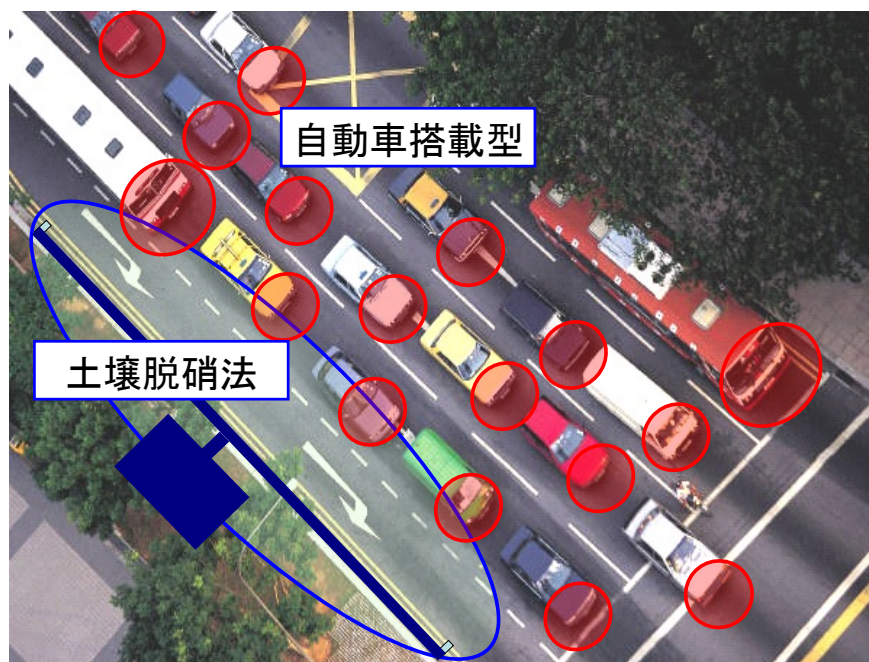
NOx濃度：100～5000 ppb

大気が0.15 × 2 mのACF内を0.4 m/secで通過する時

処理風量

7.2 m³/min・1台 × 74.4台/min = 540 m³/min

図7 土壌脱硝法と自動車搭載型 ACF ボックスの処理風量の比較



③ 車内 図8 土壌脱硝法と自動車搭載型による浄化範囲のイメージ
の実態

汚 染
調 査

外気と車内の温度差がない状況：停車時から時速 60 km までの 90 分間、平均時速 21.7 km/h で一般道路を通常走行した。図9に、外気温：26.0℃、相対湿度：40.8 R.H.%、外気を取り込まない車内循環（暖房）OFF の条件下で、道路上及び、実験車内の NOx 濃度の経時変化を測定した。この時の車内の気温は 25.6℃、相対湿度は 35.1 R.H.%であった。その結果、道路上の外気 NO の濃度変化は大きく、車内の NO 濃度の変動は外気のそれと概ねよい対応が認められた。この結果から、外気 NO は車内に流入している現象が確認できた。一方、NO₂ 濃度は外気 NO₂ 濃度変化とは必ずしも一致しなかった。外気の NO₂ 濃度の変動に対して、車内の NO₂ 濃度は徐々に上昇していることが明らか

となった。この時の外気 NO_x に対する車内 NO_x の濃度割合は、NO が 72 %、NO₂ が 34 %、NO_x が 58 % であった。以上の結果から、外気 NO と比較して外気 NO₂ は車内への流入影響が小さいことが示唆された。これは、NO₂ が物質表面に吸着しやすい特性をもつためと考えられた。すなわち、NO₂ は車内へ流入する過程で車体内部に捕捉される結果、車内への NO₂ の流入が小さいものと推測される。

外気より車内の温度が高い状況：外気温：14.1 °C、相対湿度：48.6 R.H.%、外気を取り込まない車内循環（暖房）ON の条件下において停車時から時速 60 km までの 130 分間、通常走行を行なった。車窓からの日射と車内暖房により、車内の気温は 27.1 °C、相対湿度は 48.6 R.H.% であった。その結果を図 10 に示す。外気 NO の濃度変化は 0～1000 ppb と極めて大きく、車内の NO の濃度変化は 0～400 ppb と小さかった。しかし、その変動は外気 NO のそれとよく一致していた。一方、外気 NO₂ の濃度変動は、車内 NO₂ のそれとは対応しなかった。車内 NO₂ の濃度は、上述した暖房 OFF の場合と比較して、暖房 ON の方が顕著に高かった。この調査時、外気 NO_x 濃度に対する車内 NO_x 濃度の割合は、NO が 89.6 %、NO₂ が 92.5 %、NO_x が 91.4 % に達した。これらの結果から、暖房 OFF 時の結果と比べて NO₂ の車内濃度が著しく高いことが分かる。その 1 つの原因として、車内空調を暖房に切り替えることによって、空調内のダクト壁、車体内部に吸着していた NO₂ が再離脱して車内に流入したことが推測される。今後、車内 NO_x の対策を行なう上で、車体の NO_x の排出場所や流入場所の特定が必要不可欠であると考えられる。

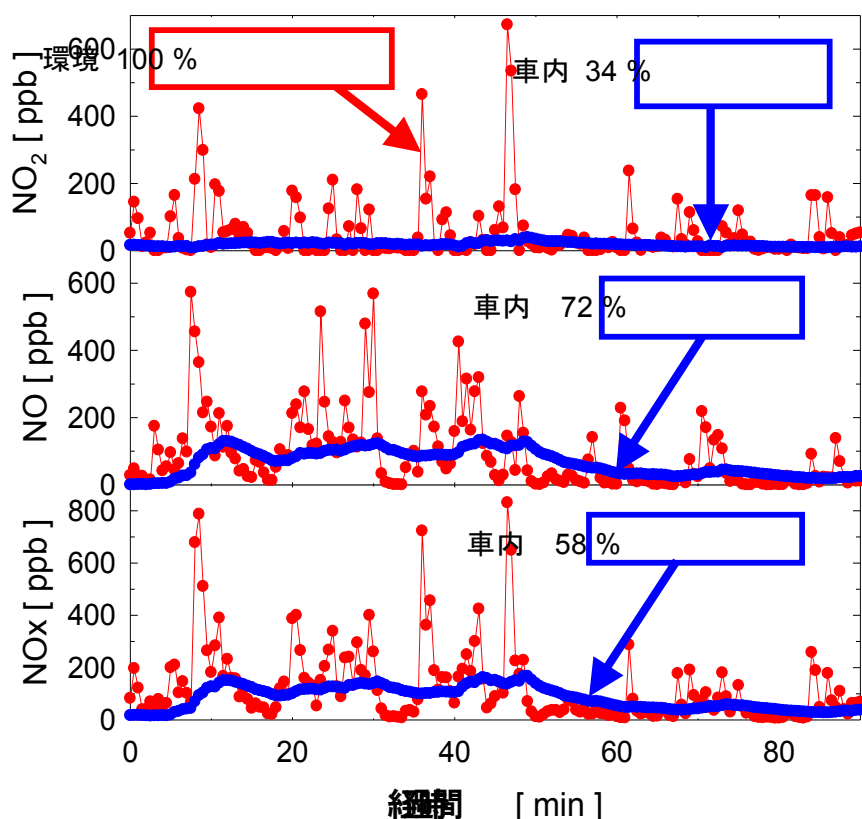


図 9 自動車走行時の環境および、車内の NO_x 濃度変化
(10 月 31 日、環境：26.0 °C、40.8 R.H.%、室内 25.6 °C、35.1 R.H.%)

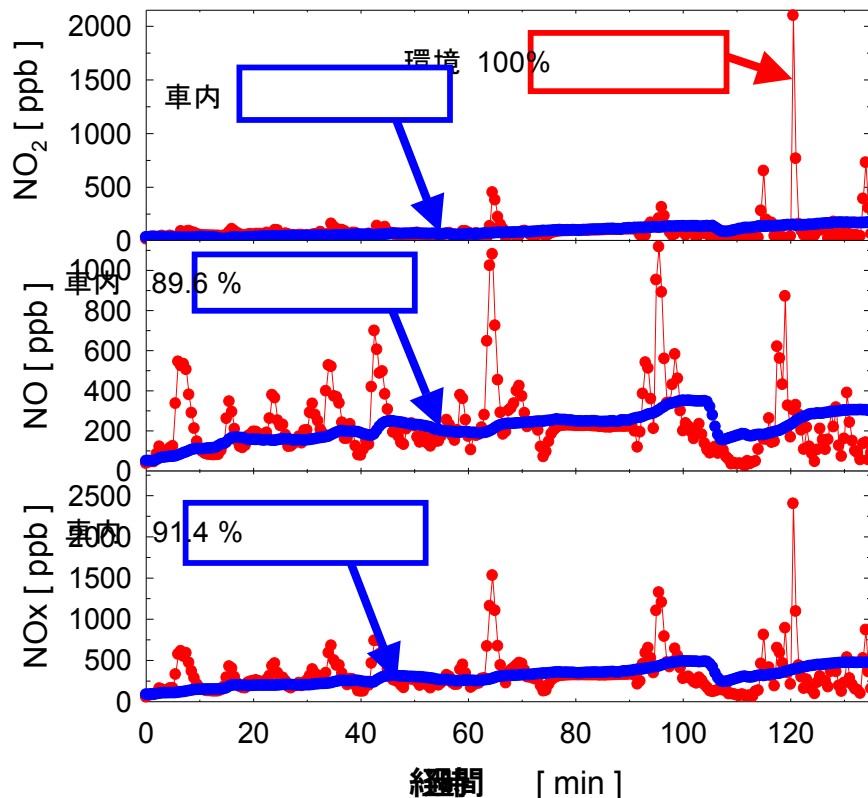


図 10 自動車走行時の環境および、車内の NOx 濃度変化
(1 月 24 日, 環境 : 14.1 °C, 48.6 R.H., 室内 27.1 °C, 25.4 R.H.)

④車内汚染の浄化対策の検討

(1) 車内循環風を利用した ACF ユニットによる NOx 浄化（強制採気方式）

車内の空気浄化を目的として、車内空気送風機フィルター部を取り外し、ACF ユニットに接続し、強制採気方式によりユニット前後の NOx 濃度を測定した。図 11 は、フェルトチップ状の PAN 系 ACF を充填密度 0.049 g/cm^3 で充填した ACF ユニットに車内循環風により、車内の汚染空気を通過させた結果を示している。車内循環風の風速は任意時間で変化させた。その結果、NO₂ は ACF 内の通過風速が最大の 0.06 m/sec の時でも、浄化率 100 % を維持していた。一方、NO は ACF ユニットの通過風速が速くなるにつれて、浄化率が低下することが分かった。それでも、ACF ユニット内の通過風速が 0.04 m/s 以上の場合においても 80 % 以上の浄化率が達成できた。当然のことながら、ACF ユニットの長さを現行より長く設計することで、NO 浄化率を 100 % に到達させることは可能である。以上の結果を踏まえて、実験車の空気送風機のフィルター部に ACF ユニットを接続した場合、車内の NOx 浄化率について検討を行なった。図 12（暖房 OFF）あるいは 13（暖房 ON）の時、ACF ユニット前と車内中央部の NOx の濃度変化を示す。その結果、図 12 に示すように、ACF ユニット前よりも車内の NO₂ 濃度の方が低く、ACF ユニットを通ることによって NO₂ が浄化され、車内の NO₂ 濃度が減少したと考えられる。しかし、NO においては、ACF ユニット前よりも車内 NO 濃度の方が高くなるが多かった。これは、ACF ユニットによる NO 浄化に比べて外気からの流入する NO の影響が大きいため、車内の NO 濃度が減少しなかったと考えられる。一方、図 13 に示すように、NO₂ 濃度は、ACF ユニット前よりも車内のそれが高くなる場合が多かった。

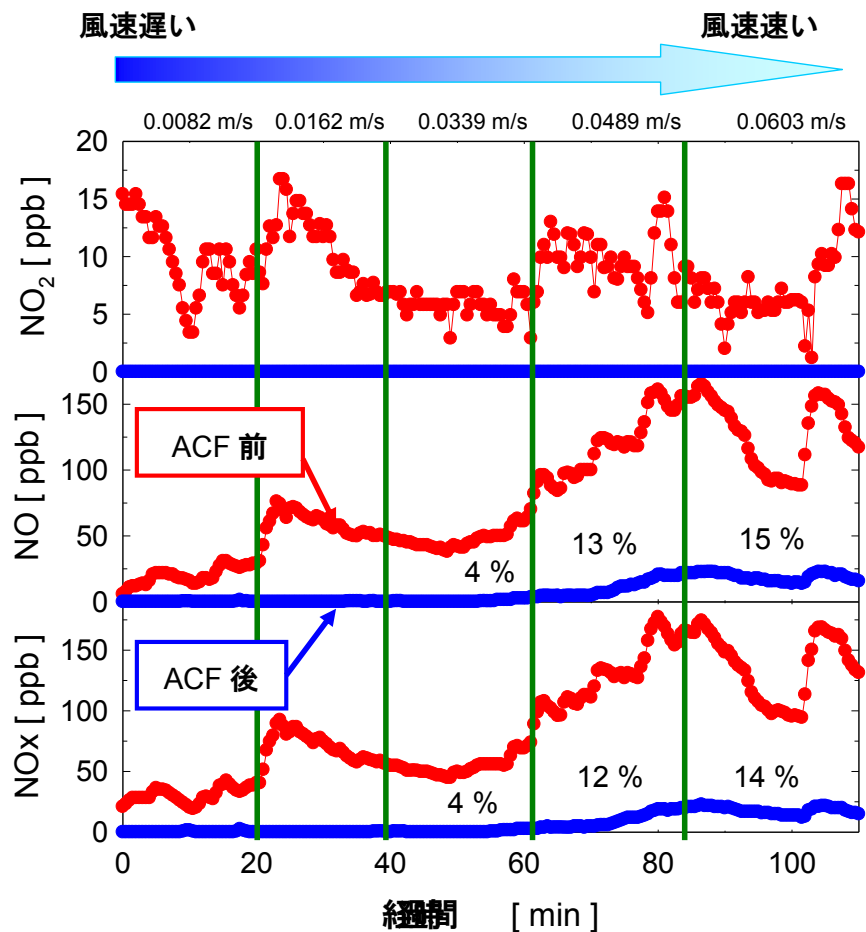


図 11 自動車送風機フィルター部に設置した ACF ボックス前後の NO_x 濃度変化

(11 月 13 日, 気温 : 25.2 °C, 湿度 : 33.4 R.H.%)

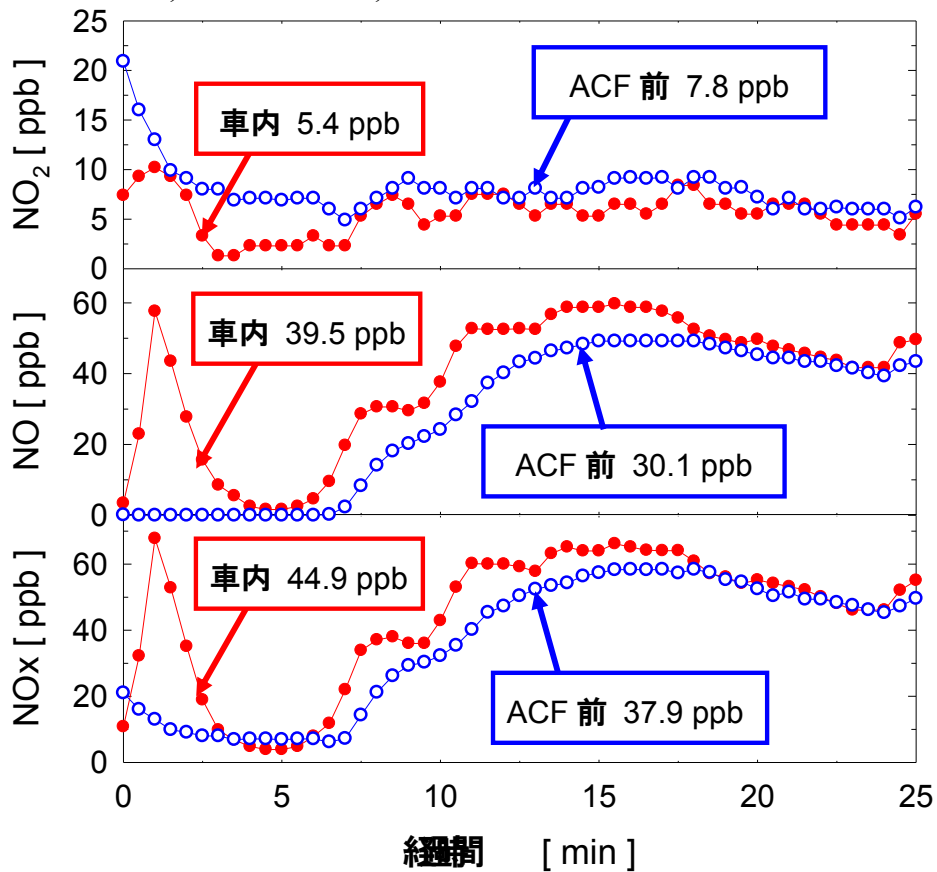


図 12 ACF ボックス前および、室内の NO_x 濃度の経時変化

(11 月 9 日, 気温 : 24.4 °C, 湿度 : 48.1 R.H.%)

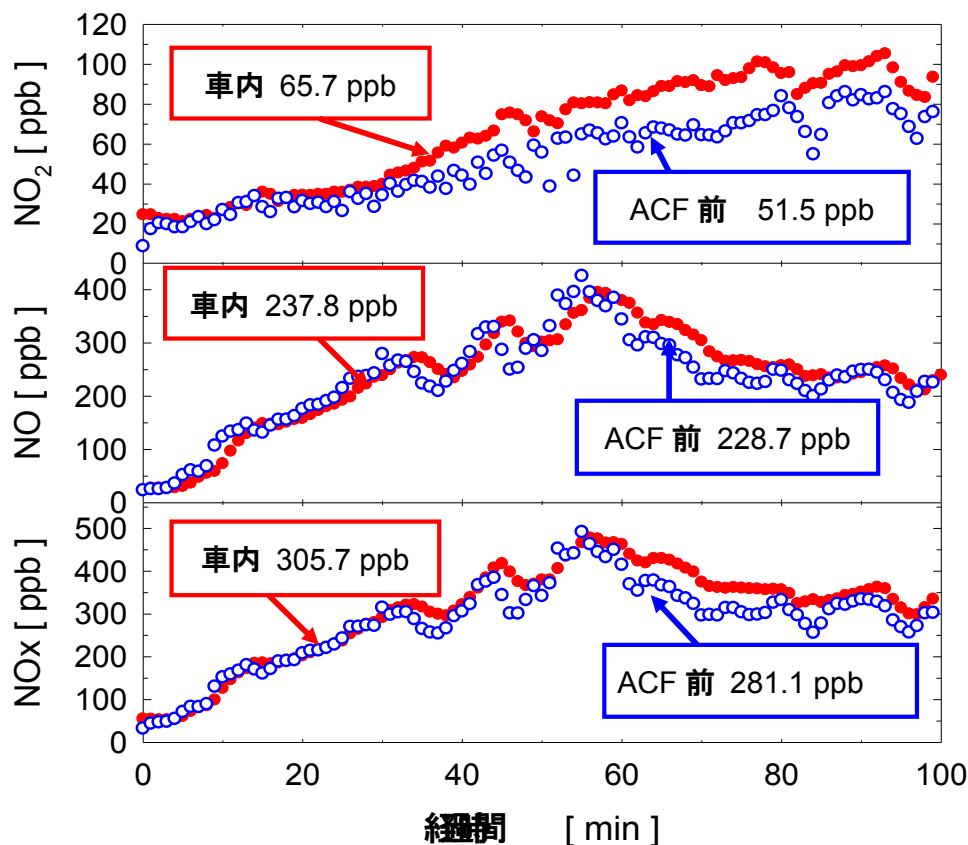


図 13 ACF ボックス前および、室内の NOx 濃度の経時変化
(1 月 12 日, 気温 : 31.6 °C, 湿度 : 15.6 R.H.%)

この原因として、日射による車内の気温上昇や暖房の使用により、空気循環機内や座席シートなどに吸着していた NO₂ が脱離する (図 14 参照)。その結果, ACF ユニット前の NO₂ 濃度よりも車内の NO₂ 濃度が高くなったものと考えられる。一方, 車内 NO 濃度は減少しなかったが, ACF ユニットによる浄化量以上に、外気 NO の流入量が多かったためと考えられる。以上の結果から、たとえ高性能の NOx 浄化装置を車内空気循環機に取り付けても、車内空気は殆ど浄化できないことが明らかとなった。

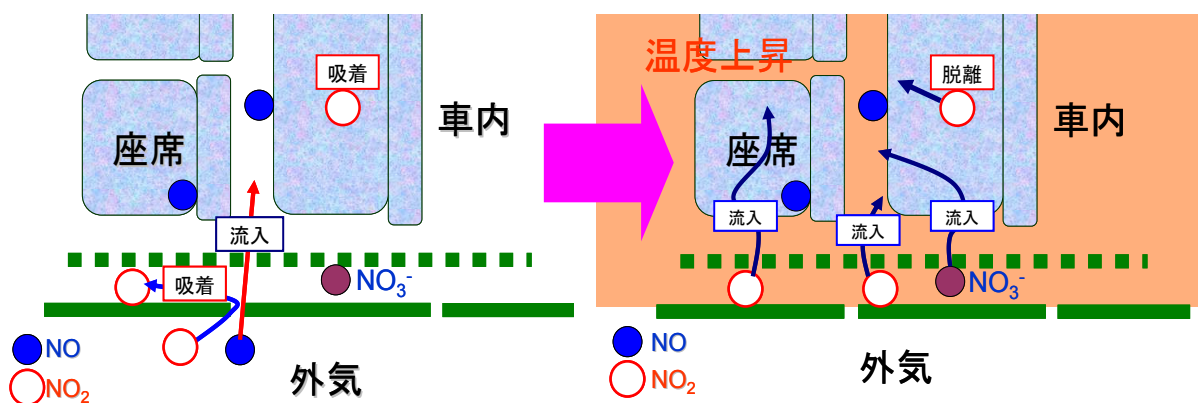


図 14 温度上昇による車内 NOx の挙動イメージ

(2) パッシブ法による車内浄化システムの検討

ACF ユニットで車内空気を強制採気しても車内の NO_x はほとんど浄化できなかった。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えることにより、車内 NO_x を浄化する技術について検討した。本年度は、フェルト状 PAN 系 ACF を用いて、汚染空気の自然対流により、NO_x を浄化する技術について、実験室内にて基礎実験を行なった。実験ボックス内 (92 × 92 × 92 cm の立方体) に NO を充満し、小型ファンで内部空気を送風循環した時、ボックス内壁の 6 面に貼ったテフロンシートに対して NO が僅かながら吸着されることが分かった。その実験誤差を軽減するため、NO ガスを 1 日中流し続けた。ボックス内の NO 濃度が安定になった後、外からボックス内の上面のテフロンシートを抜き取ることで ACF フェルトをむき出しにした。その後、ボックス内の NO 濃度の変化を連続測定することで、ACF に対する NO の吸着効率について検討した。図 15 に、ボックス内の上面に貼った ACF フェルトに対して風速 0.11 m/sec 又は、1.11 m/sec の風を送った時の NO 濃度の変化を示す。その結果、風速 1.11 m/sec の方が 0.11 m/sec の場合よりもボックス内の NO 濃度はより速く低下することが明らかとなった。これは、風速が速い方がボックス内の空気が効率よく攪拌され、ACF と空気の接触効率が上がったためと考えられる。さらに、自動車の内装時の美観を考慮して、ACF フェルト表面に白いレースの布を張りつけた。その後、同様の NO の吸着実験を行なった。この時、布自身への NO 吸着についても検証を行なうため、テフロンシートの上面に布だけを張り付けた場合について同様の実験を行なった。この時、ボックス内の 5 面は長時間、NO に晒された後のテフロンシートであり、残り 1 面は新しい布を貼った状態である。その結果、布による NO 吸着はほとんど確認できなかった。図 16 に ACF のみ及び、ACF 表面に布を貼り付けた場合の風速 0.11 m/s 時の NO 濃度の変化を示している。この結果から、ACF のみの場合と比較して ACF 表面に布を張り付けた場合、若干 NO 浄化効率が低下する (約 30 %低下) ことが明らかとなった。これは、NO と ACF の接触が布によって阻害されるために、NO の吸着速度が低下した結果と考えられる。

NO_x 浄化に対して ACF をパッシブ法で用いる場合、ACF の寿命を確認する必要がある。円筒管表面に FE200H-H800 フェルトのみあるいは、布で覆った ACF フェルトをそれぞれ円筒管内に筒状に挿入し、ACF の空洞部分に 20 ppm の標準 NO ガスを流量 300 ml/min でゆっくりと通過させた。通

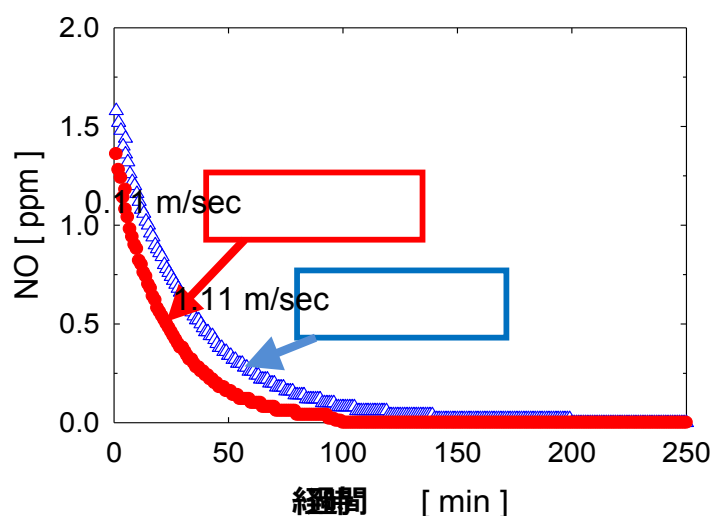


図 15 風速が ACF フェルトを用いた
パッシブ法による NO 吸着に与える影響

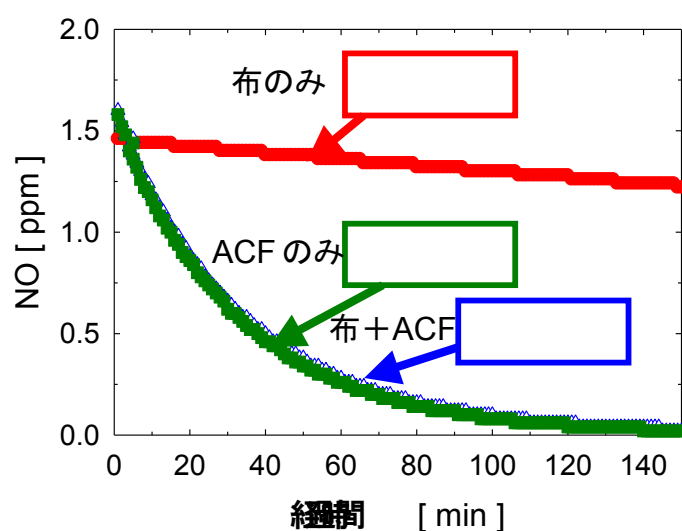


図 16 ACF 表面に布を貼り付けた場合の
NO 濃度変化

気ガスには 21 %の酸素を混合した。通気開始から ACF の破過後まで、NO 濃度を連続測定した。図 17 にフェルトのみ及び、布を張り付けたフェルトにおける NO 破過曲線を示す。この結果、どちらの場合においても NO 吸着開始から 15 時間程度で破過点に到達することが分かった。フェルトのみでは、破過開始後でも約 50 %の NO を浄化し続けていることが分かる。一方、ACF 表面を布で覆った場合には、35 %程度の NO 浄化にとどまることが明らかとなった。その後、NO 通気開始から 60 時間までの NO 吸着量を算出した。その結果から、ACF 表面に布を張り付けた場合と比べて ACF のみの方が NO を効率よく吸着していることが分かった。ACF のみで使用する場合と ACF に布を被せた場合でも、ACF の NO 捕捉容量は同じであるから、布ありの方は、NO 浄化効率が悪いものの NO 浄化寿命は長いことが推測できる。

図 17 に示す ACF のみで空洞部分に NO を通過させる実験結果と、ガラス管内に ACF を充填し、ACF 内部に NO を強制通気させる結果を比較した場合、両者の単位重量あたりの破過開始までの時間が同じであった。この結果から、図 18 に示すように、密閉空間内で NO 浄化にフェルト状 ACF をパッシブ型として使用する場合、NO はフェルト状 ACF の表面だけでなく底部まで均一に拡散し、ACF 全体が使用されていることが示唆された。すなわち、NO 浄化寿命は、今まで筆者が実施してきた NO の強制通気実験と同程度になると予測できる。

NOx 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あたりにどのくらいの汚染空気を浄化可能であるか計算した。その結果、フェルト状 ACF では約 210000 m³の空気を浄化可能であることが明らかとなった。以上の結果から、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ことが予測できた。

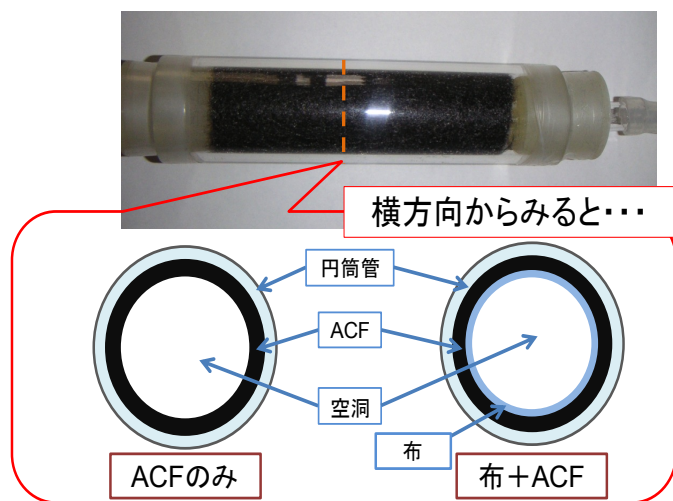


図 17 NO 吸着実験に用いた円筒管

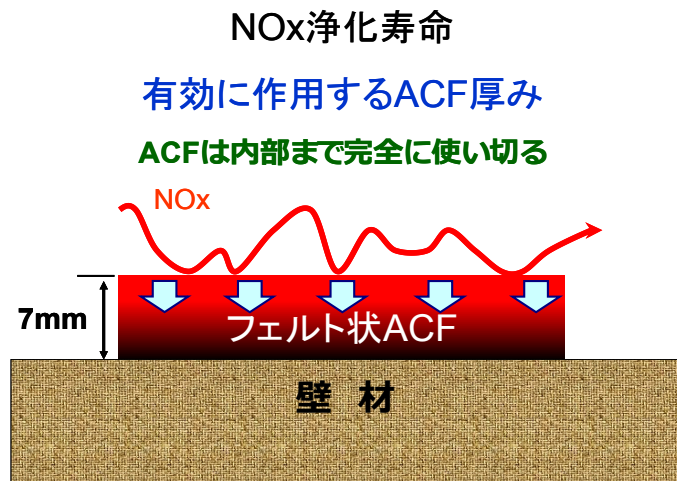


図 18 7 mm フェルト状 ACF の NO 浄化寿命

【調査の成果】

① 自動車の車速と車体各部位の走行風の関係

1. 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という直線的な関係であった。自動車各部位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。
2. 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。NO 濃度が 1000 ppb の時、NO₂ 濃度が 2000 ppb を超える現象も観察された。

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/cm^3 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。この結果を用いて、ACF 搭載型自動車と土壤脱硝法の処理風量の比較を行なった結果、土壤脱硝法の処理風量が $600 \text{ m}^3/\text{min}$ であるのに対し、ACF 搭載型自動車では $540 \text{ m}^3/\text{min}$ と同程度の処理風量を確保できることが示唆された。

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

1. 車内エアフィルター部を ACF ユニット ($12 \times 20 \times 35 \text{ cm}$, ACF 充填密度： 0.049 g/cm^3) 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 m^3/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 は共に、殆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 m^3/sec にした場合でも、車内の NO_x 濃度は殆ど減少しなかった。
2. 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、車内空気の内対流により、車内 NO_x を浄化すると共に、外気 NO_x の流入を低減できると考えた。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。

今後の課題

(1) 走行風を利用した大気浄化技術の確立

- ・ 安価で安定供給が可能である新ピッチ系 ACF の NO_x 浄化性能の検討
- ・ バンパー部に搭載した ACF 形状の最適化
- ・ バンパー部における ACF のその場再生の検討

(2) 車内空気の清浄化

- ・ 外気流入経路の特定
- ・ 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