

# 高活性炭素纖維のガス浄化特性と広域的な大気浄化構想

福岡県保健環境研究所環境科学部大気課 専門研究員 下 原 孝 章

## 1. はじめに

近年、建物が密集した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など、自動車排出ガスが滞留しやすい地域において、窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ )、浮遊粒子状物質 (SPM) が非常に高濃度になることが問題となっている。こういった自動車排出ガスによる大気汚染の問題を解決するために、道路構造対策や交通量対策等の局地汚染対策と併せ、滞留した汚染空気を浄化する技術の早急な確立が求められている。福岡県保健環境研究所では独立行政法人 環境再生保全機構の委託研究により九州大学先導物質化学研究所と共に、高活性炭素纖維 (ACF) を用いた大気浄化技術の開発に取り組んでいる。

## 2. 環境基準と自動車排出ガス汚染の現状

大気汚染物質のうち、二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ )、一酸化炭素 (CO)、SPM、光化学オキシダント ( $\text{O}_x$ )、二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) 等については環境基準が以下のように定められている。

二酸化硫黄：1時間値の1日平均値が0.04ppm以下

であり、かつ1時間値が0.1ppm以下であること

一酸化炭素：1時間値の1日平均値が10ppm以下で

あり、かつ1時間値の8時間平均値が20ppm以下

であること

浮遊粒子状物質：1時間値の1日平均値が0.10mg /

$\text{m}^3$  以下であり、かつ1時間値が0.20mg /  $\text{m}^3$  以

下であること

光化学オキシダント：1時間値が0.06ppm以下であ

ること

二酸化窒素：1時間値の1日平均値が0.04ppmから

0.06ppmのゾーン内またはそれ以下であること

(注：1ppmは1000ppb)

これらの環境基準を満たすべく、大気汚染物質の濃度は、常時、自動車排出ガス測定局および一般大気測定局で連続測定されている。例えば、2002年度の福岡市街地（写真1）の自動車排出ガス測定局の測定結果では、日平均値の年間98%値は一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) 152ppb、 $\text{NO}_2$  73ppb、1時間値の最高値が  $\text{NO}$  385ppb、 $\text{NO}_2$  141ppbを示している<sup>1)</sup>。

これに対して、乗用車に  $\text{NO}_x$  測定機器を搭載して福岡市街地を走行し、道路上の  $\text{NO}_x$  濃度をリアルタイムに測定した（写真1）。その結果、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  濃度共に、道路上での瞬時値は数1000ppb（数ppm）の高濃度を示していた（図1参照）<sup>2)</sup>。

以上のように、自動車排出ガス直近の  $\text{NO}_x$  濃度は非常に高い。そのため、交通量の多い道路を日常的に走るドライバーや道路直近を通学する子供達、周辺のビル、店舗で仕事をしている人達にとっては、自動車排出ガスによる健康影響は深刻な問題となっている。



写真1 道路上でのリアルタイムな  $\text{NO}_x$  濃度測定

福岡市中央区天神周辺

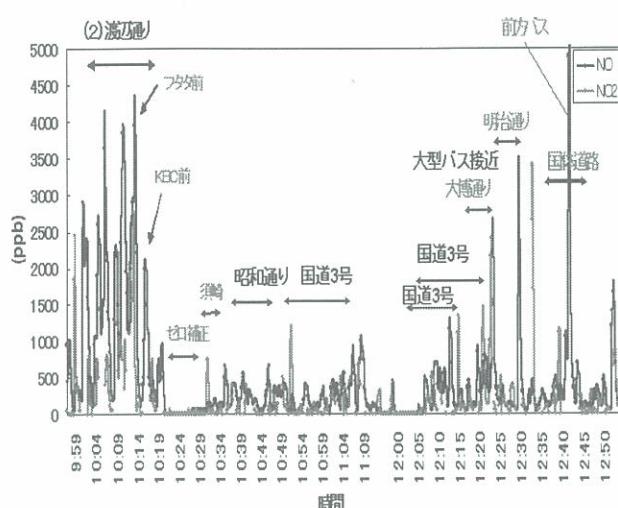


図1 福岡市街地における道路上のNO<sub>x</sub>濃度

### 3. ACFの特徴

#### 3. 1 製造

ACFは石油系ピッチ、ポリアクリロニトリル(PAN)等を加熱溶融紡糸、不融化処理を施した後、炭素繊維の表面に無数の微細孔を開口させる賦活処理、窒素ガス等の不活性ガス中で任意の温度で焼成した繊維である。焼成処理ではその温度と保持時間により、ACFを構成するカーボン元素、酸素元素、窒素元素のバランス、官能基等が変化する。そのため、ACFは繊維種と焼成条件により疎水性や捕捉できるガス成分種をコントロールできる。

#### 3. 2 NO<sub>x</sub>浄化特性

NO<sub>x</sub>浄化技術は“酸化・固定化法”および“還元・無害化法”に大別できる。

##### ① 酸化・固定化法

NO<sub>x</sub>を硝酸としてACF内部に蓄積する浄化技術である(図2参照)。NO<sub>2</sub>はACFに通気させると速やかに捕捉(吸着)される。捕捉されたNO<sub>2</sub>はACF内で徐々にNO<sub>3</sub><sup>-</sup>へと酸化されてACF-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>となり、NO<sub>2</sub>の半分量をNOとして放出する(不均化反応とよぶ)。放出されたNOはACFとの接触時間が十分なら、ACF内で再びNO<sub>2</sub>を経てACF-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>へと酸化されていくが、不十分な場合、NOはそのままACF系外に排出されていく<sup>3)</sup>。

NOはACFに通気させると、ACF内で一端、

### I. 酸化、固定化

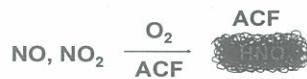


図2 酸化、固定化法

NO<sub>2</sub>に酸化されて後、ACFに捕捉される。そのため、酸化力が弱いACFではNOを殆ど捕捉できない。また、湿度、気温はこの酸化反応に影響を及ぼす<sup>2), 4)</sup>。すなわち、温湿度およびNOとACFの接触時間をうまくコントロールすればNOは浄化できることになる。

“酸化・固定化法”における阻害要因を軽減するため、疎水性が高く酸化力の強いACFを選定し、それらACF種に対するNO<sub>x</sub>浄化の基礎実験を行った。その実験結果の一部を図3に示す。PAN系ACFを800°Cで1時間焼成後、その0.100~0.900g量を内径8mmのガラス管内に充填し、20ppmのNO、NO<sub>2</sub>を通気させた。その時のACF充填長と浄化能力の関係を図に示している。

### PAN系ACFのNO<sub>x</sub>浄化能(酸化、固定化法)

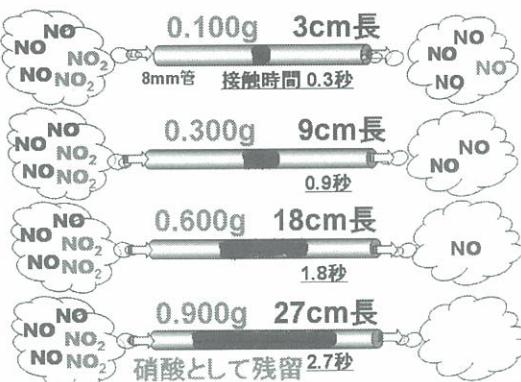


図3 PAN系ACF(0.100~0.900g)に対するNO<sub>x</sub>浄化能力

ACFにNOを0.1~0.9秒程度の接触時間で通気させると、NOは少しづつNO<sub>2</sub>に酸化されていく。この時、NOとACF間の接触時間をさらに長め(1.8~2.7秒間)に取ることでNOはNO<sub>2</sub>へと酸化されやすくなる。一端、NO<sub>2</sub>になると湿度阻害を殆ど受けないため、速やかに硝酸に変換されACF内に

蓄積していく。この技術により、NO、NO<sub>2</sub>は同時に浄化できる<sup>5)</sup>。この時、酸化チタン触媒（光触媒）のような光照射、土壤脱硝装置で使用しているようなNO酸化のためのオゾン発生装置等は必要ではなく、室温付近の温度でACFはそれ自身で高い浄化能力を発揮する。以上のように、最適なACF種を用い、焼成によりACFの化学構成をコントロールし、汚染空気との接触時間を長めにすることで高湿度、低温の状況下でもNO、NO<sub>2</sub>共に、完全な浄化が可能となる。

さらに、ACFではNO<sub>x</sub>以外にオゾン(O<sub>3</sub>)、大気中のベンゼン、キシレン類等の半揮発性有害化学物質類、SO<sub>2</sub>、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、悪臭物質等についても同時浄化が可能である（図4）。

### 酸化・固定化法によるNO<sub>x</sub>浄化

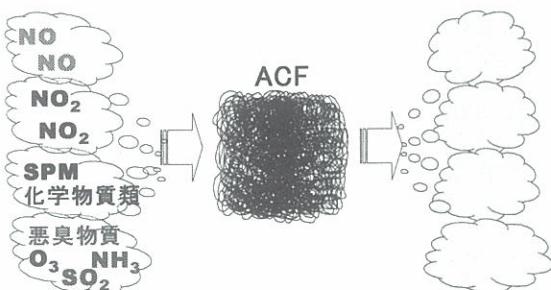


図4 PAN系ACFの浄化特性

#### ② 還元・無害化法

アンモニアガス還元法および還元剤担持法の2通りについて検討した。これらの技術ではNO<sub>x</sub>がACF内に硝酸として蓄積しないため、硝酸による周辺部材の錆の問題がない。また、再活性化のためのACFの洗浄も必要としないため理想的な技術といえる。

##### ②-1 アンモニアガス還元法

ACFにNH<sub>3</sub>とNO<sub>x</sub>を等量、通気させる方法である。室内基礎実験では、標準NO、NO<sub>2</sub>ガスに対して相対湿度が0%の場合、それと同濃度のNH<sub>3</sub>を共存させることで無害な窒素ガスと水に分解できる（図5参照）<sup>6)</sup>。この時、NO<sub>2</sub>がNH<sub>3</sub>と還元反応を起こす。すなわち、NOをNH<sub>3</sub>と共に

### II. 還元、無害化法

- ① アンモニア（アンモニア発生として尿素、CaCN<sub>2</sub>等）

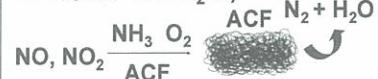


図5 アンモニアガス還元法

ACFに通気させる場合、NOはNO<sub>2</sub>への酸化反応のステップを踏んだ後、生成したNO<sub>2</sub>がNH<sub>3</sub>と反応するプロセスを通る。酸化反応を通るため、湿度阻害の影響を受けやすい<sup>5)</sup>のは“酸化・固定化法”と同じであるが、“酸化・固定化法”で観察されるような不均化反応は起らず、ACFに導入するNH<sub>3</sub>添加量を制御すれば戸外大気に対してもNO<sub>x</sub>のスムーズな分解が可能である。

#### ②-2 還元剤担持法

NO<sub>x</sub>の“還元・無害化法”的うち、安価で無害な尿素((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO)をACFに担持させる方法を検討した（“還元剤担持法”，図6参照）。この技術では還元剤を極微量、ACF表面に担持させる。NO、NO<sub>2</sub>はACF内に通気させると、NOはNO<sub>2</sub>に酸化された後、担持された還元剤と反応し窒素ガスと水分と二酸化炭素に分解できる。もともとあるNO<sub>2</sub>は直接、還元剤と反応し分解される。

室内基礎実験では、相対湿度0%，室温付近で、還元剤担持したACFに高濃度500~1000ppmあるいは低濃度20ppm以下のNOあるいはNO<sub>2</sub>を通気させる試験を実施した。NOが低濃度の場合と高濃度の場合ではACF内での酸化反応、浄化能力に大きな差があり、濃度依存性があること、高濃度のNOの方が分解はスムーズに進んだ。この反応は石英ウール上では起こらないことから、ACFが反応

### II. 還元、無害化法

- ② 還元剤担持法

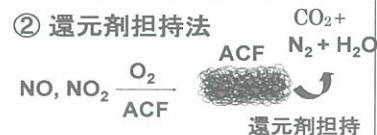


図6 還元剤担持法

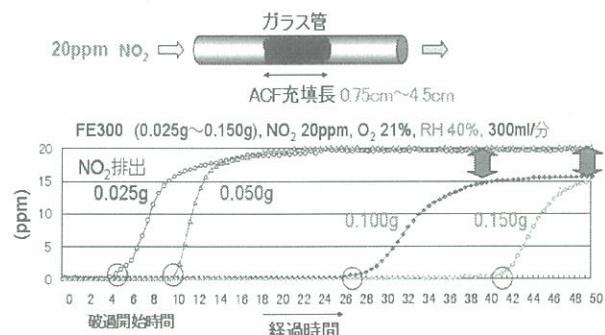
に触媒的に作用していることが示唆された。

この反応の利点は、 $\text{NH}_3$ を必要としないで常温で $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ を窒素ガスと水および二酸化炭素に分解できることである。しかし、ACF内の反応に寄与する活性サイトの一部を還元剤が覆うため、“酸化・固定化法”、“アンモニアガス還元法”よりも湿度阻害を受けやすかった。

以上のように3方法の中では“酸化・固定化法”が最も取り扱いが簡易かつ大気湿度の影響を受け難かったため、戸外大気下での実用が可能と考えられた。

### 3. 3 酸化・固定化法における ACF の浄化寿命

ACF の浄化に影響を及ぼす  $\text{NO}_x$  以外のガス成分、SPM、温湿度の影響を検討するために、0.100 g量のACFを内径8mmのガラス管内に充填し小型ポンプを用いて戸外の環境空気を11か月間、通気させた。その結果、SPMはガラス管の空気取り入れ口付近のACF表面に付着し、 $\text{NO}_x$ 浄化能力を数パーセント低下させた。しかし、それ以外のガス成分の影響は殆ど受けなかった。以上の結果から、ACFの $\text{NO}_x$ 浄化寿命は概ね環境空気中の $\text{NO}_x$ 濃度とACF量およびACFを通過する空気量、 $\text{NO}_x$ 浄化率で予測できることが分かってきた。その予測の基礎となるのが以下の室内実験結果である。



室温、RH40%条件下で20ppmの $\text{NO}_2$ を300ml/分でFE300(0.025g～0.150g)：内径8mmガラス管に充填し、FE300-H800に通気

図7 PAN系ACFの充填量と $\text{NO}_2$ 吸着曲線

ACF充填量を変化させたガラス管にそれぞれ、20ppmの標準 $\text{NO}_2$ を通気させた。その吸着曲線を図7に、破過開始までの時間との関係をプロットし

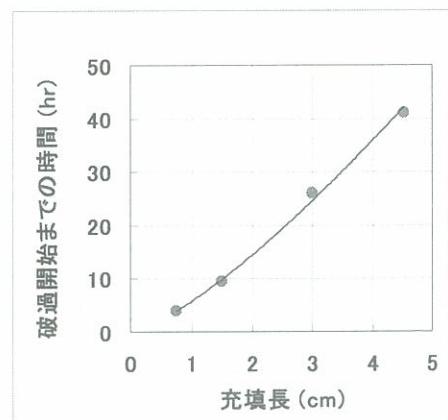


図8 PAN系ACFの充填長と $\text{NO}_2$ 破過開始時間の関係

た結果を図8に示す。導入するガスの相対湿度は40%に設定した。図8から横軸のACF充填長( $\text{NO}_x$ とACFの接触時間)が長くなるに連れて、破過開始までの時間の関係は右上がりの緩やかなカーブになっている。この量を捕捉した後、ACFでは破過が開始される。

そのため、ACFの浄化寿命の予測計算には、室内実験で得られた破過開始時間(図7中の丸印)を用いた計算から、ACFに捕捉できる $\text{NO}_x$ 量は、温度20°C換算で約180～200mg/1g-ACFと計算できた<sup>2)</sup>。ここで特筆すべき点は、ACF量を増やしていくことで、破過開始が始まった後も $\text{NO}_x$ に対しての浄化能力が維持され続けていることである(図7中の“上下の矢印”参照)。すなわち、ACFは破過開始時間までに捕捉される $\text{NO}_x$ 量より多くの量を捕捉、浄化できることが分かる。

以上のように、ACFでは充填長を長く、汚染空気との接触時間を長くすることでNOについても浄化できることができてきました。特に、PAN系ACFではその傾向が高かった。これは、PAN系ACFはピッチ系のそれと比べて、低濃度NOに対する高い酸化能力を有するためであった。

### 4. ACFを利用した大気浄化構想

ACFで構築できる大気浄化システムとしては、以下に示す、“①強制採気式”の浄化システム、“②自然通風式”の浄化システムの二通りが提案できる。“自然通風式”は、“定点固定式”と“移動走行

式”の2通りを考えている。強制採気式は、ポンプやファンを用い汚染空気をACF内に通気させ浄化する方式である。電気エネルギーを必要とするがNO<sub>x</sub>の他、浮遊粒子状物質(SPM)等を同時浄化するコンパクトな装置設計が可能となる。



### (1) 強制採気式

ポンプあるいはファンにより戸外の汚染空気をACF内に強制的に通気させる方式では、SPMも除去できる。SPMはACFの纖維に捕捉されるが、その前段にプレフィルターあるいはサイクロン装置をセットし、予めSPMを除去する方がよい。この方式については今までに詳細な室内基礎実験を行ってきた。さらに実証化試験として、道路沿道および福岡県庁地下駐車場で、ポンプあるいは送風機による通年の浄化実験を実施してきた。そのため、強制採気型については概ね実用化の目処がついている。強制採気式の設置場所としては、都市高速道路が入り組んだ風の抜けが悪い立体交差点付近、トンネルや地下駐車場、バスターミナル等といった比較的閉鎖系の小規模な空間が適している。この時、道路近傍のNO<sub>x</sub>は、その他のガス成分と比べて濃度がかなり高い。そのため、強制採気式におけるACF寿命は概ね、設置する場所の平均NO<sub>x</sub>濃度、ACF量と処理風量を調整することで制御できる。

### (2) 自然通風式

大都市のオープンフェイスの立体交差道路周辺や都市高速道路等の広域的な空間に対しては“(2)自然通風式”により、周の大気汚染物質濃度を大幅に削減することが可能と考えている。自然通風式は以下の“定点固定式”及び“移動走行式”的2方式が考えられる。

#### (2)-1 定点固定式

道路沿道の既存フェンス、高速道路の防音壁等の一部にACFを装着する方式である。“定点固定式”的具体的な案としては図9、図10に示すように、都市部の交通量が多い道路の既存フェンス、あるいはトンネル内であれば、その側壁、上壁に纖維状あるいは板状スリット構造のACFを装着し、自然風を利用した浄化方法が検討できる。また、美観を考慮して、写真2に示すように樹木内にACFを設置する方法も考えられる。

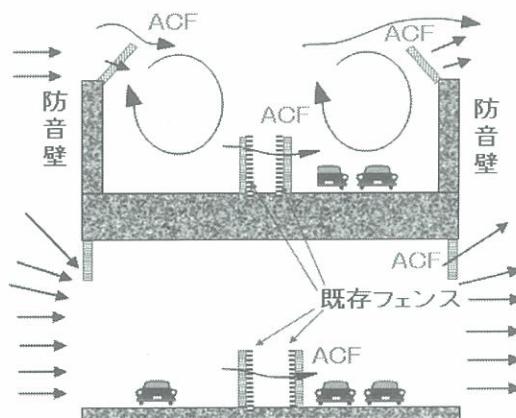


図9 道路周辺の固定式浄化材として自然風を利用  
(板状スリット、纖維状ACF)

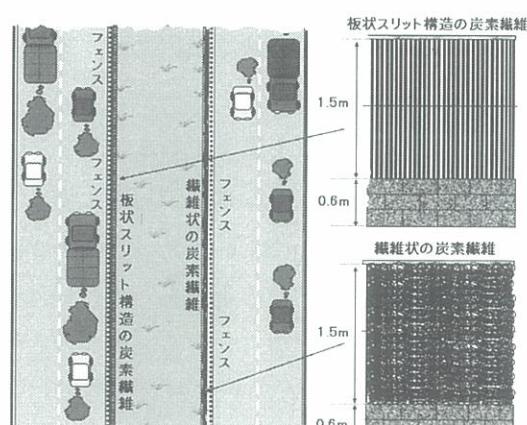
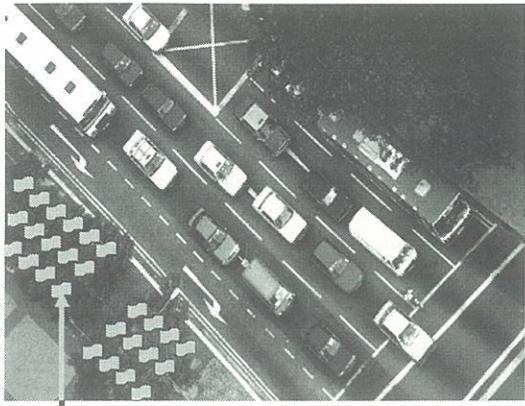


図10 道路既存フェンスを利用した固定式浄化材として自然風を利用(板状スリット、纖維状ACF)

ACFを自然暴露方式(“自然通風式”と同じ意味)により使用する場合では、ACFを通過する風以外にその表面をなぞる風によりどの程度のNO<sub>x</sub>が浄化されるのか未解決の部分がある。活性が落ち始め



樹木内に波板状 ACF を設置

写真2 美観に配慮した ACF 設置例（樹木による CO<sub>2</sub> 削減、ヒートアイランド対策技術との併用）

た ACF であっても、降雨により ACF が洗われるその活性が戻る現象（“その場再生”とよぶ）については検討している段階である。

室内実験において、ACF に高濃度の NO<sub>2</sub> ガスを通気させ、故意に破壊させた後、ACF を水で短時間、簡易に洗浄するだけでも、NO<sub>2</sub> に対する ACF の浄化能力は 70 % 程度回復している。破壊、水洗浄、再生を繰り返しても、NO<sub>2</sub> 浄化能力は 70 % 程度を維持し続けていることが分かった。一方、降水にあたらない場所に設置した ACF については、活性消失後、回収し再生処理を行うことを考えている。最も効率的な再生処理法については、現在、検討しているところである。

ACF の寿命は ACF 量を調整することで 5~10 年間程度のメンテナンスフリーは実現可能と考えている。この寿命予測には、ACF フェンスが降水により洗われて再生される “その場再生” の行程は含まれていないため、この現象も含めると寿命は大幅に延びるものと考えられる。こういった降雨による ACF の再生も含めた寿命予測は今後の検討課題といえる。

## (2)-2 移動走行式

ACF を自動車のフロント部、側面、ラジエーターファンの後段等に装着する方式である。これらの方針は何れも自然風を駆動力とするため、電気エネル

ギーが不要、低設備費、メンテナンスフリーの特徴をもち、広域的な NO<sub>x</sub> 処理が可能と考えている。このように、道路直近に ACF を広い面積で装着することにより、自動車から排出された高濃度の汚染ガスを効率よく浄化することができる。走行風を利用した大気浄化システムとしては図 11 に示すように、例えば、車のフロント部、側面、ラジエーターファンの後段、エンジンの吸口フィルターが検討できる。また、強制採気式の車内エアフィルターに対しては、運転者の健康に配慮し ACF に代替えすることで空気清浄機能を持たせることができる。

一般的な活性炭は NO<sub>x</sub> を浄化し難く、NO<sub>2</sub> の一部を NO として吐き出す欠点をもっている。これに対して ACF では NO、NO<sub>2</sub> および上述したようにいろいろな汚染物質を同時浄化できること（図 4 参照）が大きな利点である。

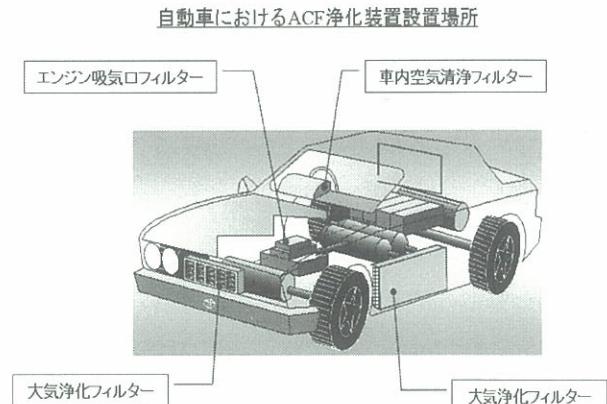


図 11 走行風を利用した大気浄化システム

道路上の NO<sub>x</sub> の高濃度現象は、交通量の多い市街地だけではない。私達の調査から、両側が小高い丘に囲まれた山道であっても、前方に小型トラックが 1 台走行しているだけで、後方の車は 1000 ppb 以上の高濃度の NO<sub>x</sub> にさらされている。ドライバーは常に、こういった高濃度の大気汚染にさらされている状況にある<sup>2)</sup>。

図 12 には、自動車の走行風により大気を広域的に浄化していく様子を示している。走行風により自動車で処理できる風量は少ない。しかし、道路上には高濃度の汚染物質が滞留している。そのため、このシステムを自動車の 1 割でも搭載できるならその



図 12 移動走行式による大気浄化構想

広域的な削減効果は高いものと考えている。

## 5. 広域的な大気浄化システムの条件

広域的な大気浄化のための条件としては以下の条件を満たす必要がある。

- ① 大型の付帯設備を必要とせず、コンパクトに設置可能
- ② 設備費、工事費が安い
- ③ 電気エネルギー不要
- ④ ランニングコストが低い
- ⑤ メンテナンス不要
- ⑥ NO, NO<sub>2</sub>他の同時浄化
- ⑦ 浄化寿命は数年～十数年

ACFはこれらの条件を概ね満たすものと考えている。沿道周辺の大気を効率よく浄化するには、過度のエネルギーを使用せずに周辺の汚染空気をACFと効率よく接触させる技術が必要である。そのためには、自然風を駆動力とし、ACFに汚染空気を通気させることで浄化するシステムが検討できる。ACFは繊維状あるいは板状スリット構造として利用できる素材であるため、空気の抜けがよく、大気空気とACFとの接触に対しては大きな利点をもっている。そのため、ACFを道路に既存の金網あるいは防音壁の一部と代替えする方法を想定した時、道路上を吹く風により、汚染空気はフェンス内のACFと効率よく接触できることが期待できる。



写真3 道路沿線に対して直角に停車時の自然風によるNO<sub>x</sub>浄化試験

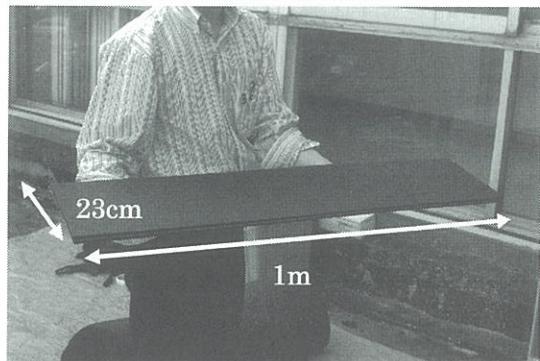


写真4(1) 板状ACFの作成

(スリット幅 23cm × スリット長 25cm)  
(スリット幅 23cm × スリット長 50cm)  
(スリット幅 23cm × スリット長 100cm)

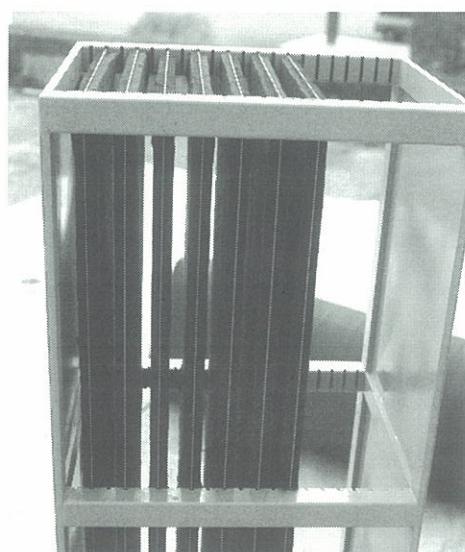


写真4(2) 板状スリット構造ACF

## 6. 自然通風式の実証化予備実験

乗用車の屋根に、ACFを組み込んだボックスを搭載し、車内にNO<sub>x</sub>測定装置を2台、風速測定機



写真 5 (1) 繊維状 ACF,

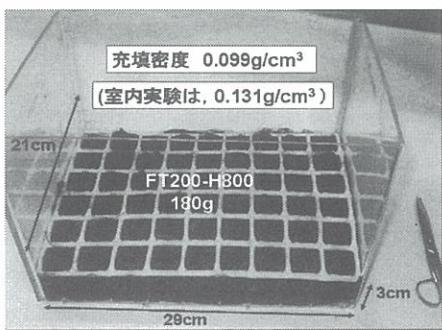


写真 5 (2) 繊維状 ACF, 180g

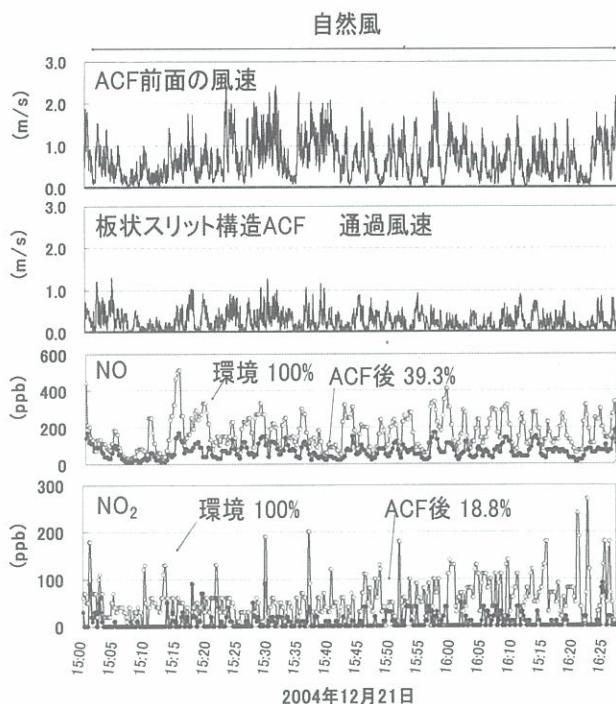


図 13 試験車を道路沿線に対して直角に停車した時の大気浄化効率

器、データ取り込み用のパソコン他を設置した試験車を制作した(写真3)<sup>4)</sup>。ボックス内には、各々、板状スリット構造のACF(写真4(1), 写真4(2))および繊維状ACF(写真5(1)および5(2))をセ

ットした。試験車は道路を走行させ、走行風がボックス内のACFを通過前後の風速、3次元の風向、風速、温湿度を測定した。同時に、NO、NO<sub>2</sub>濃度、車速を測定し、パソコンに記録した。走行時の測定は“移動走行式(図11参照)”を模擬している。

一方、試験車は道路沿線に直角に停車させ(写真3参照)、停車時の自然風に対して同様の測定を行った。停車時の測定は、“定点固定式”(図10参照)を模擬している。これらの浄化技術は何れも自然風を駆動力としてNO、NO<sub>2</sub>をACF内に“酸化・固定化”する方法である。

測定結果の一部を図13に示す。図はスリット幅が1.5cm、スリット長50cmの板状スリット構造ACFに対して、①スリットの入口付近上部(逆風時に、スリット内を通過した風の影響を受けない位置)と②入り口からスリット中心の25cm位置において風速、NO<sub>x</sub>濃度を測定した結果である。

スリットの中心で測定する目的は、ボックスに対する順風と逆風の何れでも測定可能にするためである。すなわち、測定におけるスリット長は、実質25cmと考えていい。測定中はスリット入口に対して0.1~2m/sの自然風が吹き、その40~50%程度、風速が落ちた風がスリットを通過していることが分かる。スリット入口には斜め方向からの風が多くた(3次元風向データ等については割愛する)。この時、スリット内を通過することで、NOおよびNO<sub>2</sub>濃度はそれぞれ39%，18.8%に低下した(NOおよびNO<sub>2</sub>浄化率は、各々、61%，81%)。このように、ACFボックスを搭載した試験車で測定した結果、平均気温、約20°C、相対湿度60~70%の状況下、走行風、あるいは停車時の自然風でも、板状スリット構造ACFでは風の抜けがよく、NO<sub>x</sub>を効率よく浄化できることが分かった。

一方、繊維状ACFではACF厚みを1.5cm~3.0cmにした場合、風の抜けは1/10~1/50程度に落ちるもの浄化効率は板状スリット構造ACFと同程度であった。

以上のように、板状スリット構造ACFは、繊維状ACFよりも製造コストが高いものの浄化できる

処理風量が多く、NO<sub>x</sub>を浄化しやすい構造であることが分かった。また、ACFを用いた“自然通風式”では、“移動走行式”，“定点固定式”的何れであってもNO<sub>x</sub>を効率よく浄化できるシステムになることが予測された。

## 7. これからの方題

- ・ 自然風を利用したACFに対するNO<sub>x</sub>浄化効率、浄化寿命については未解決の部分が多い。ACFファンについては、“その場再生”的効果、活性が落ちたACFに対しての室内での再生処理法を検討していく必要がある。さらに、自然通風式システムにおける周辺大気の浄化効率等についてはシミュレーションと実測値の両方からの実証化が必要である。

## 参考文献

- 1) 環境省環境管理局、平成14年度「大気汚染状況報告書」、p636-637.
- 2) 公害健康被害補償予防協会委託業務「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報告書」2002年度、p.1-p.145、福岡県
- 3) 環境再生保全機構委託業務「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報告書」2004年度、p.1-p.97、福岡県
- 4) 公害健康被害補償予防協会委託業務「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報告書」2003年度、p.1-p.82、福岡県
- 5) Z. Guo et al., Catalytic oxidation of NO to NO<sub>2</sub> on activated carbon, Energy Conversion and Management, 42, 2005-2018, 2001
- 6) I. Mochida, et al., Catalytic activity of pitch-based activated carbon fiber of large surface area heat-treated at high temperature and its regeneration for NO-NH<sub>3</sub> reaction at ambient temperatures, Fuel, 80, 2227-2233, 2001