

局地汚染地域における窒素酸化物及び浮遊粒子状物質の複合的削減のための対策技術に関する調査

松下エコシステムズ株式会社

【調査の目的】

大都市域の交差点や幹線道路沿道では、窒素酸化物（NO_x）及び浮遊粒子状物質（SPM）による大気汚染の状況は依然深刻な状況にあり、対策強化が急務となっている。これらの汚染物質への対策は、広域的な観点で行われる自動車交通対策および自動車単体からの排出制御が基本と考えられるが、局地的で高濃度な大気汚染状況を早急に改善するためには、これらに加え、各地域の局地汚染に対応した沿道排ガス浄化装置による自動車排ガス浄化技術の確立及び導入の検討が必要である。

本研究は、大都市の交差点や幹線道路沿道において、窒素酸化物及び浮遊粒子状物質を複合的に除去するための排出ガス処理技術の有効性を評価し、沿道等での適用可能性について検討を行うことを目的として実施した。

【調査の方法】

1. 自然通風式沿道大気浄化装置の開発経緯

沿道の大気浄化対策として新たな装置の開発をするに当たり、既存の沿道大気浄化装置の状況について平成13年度に調査をした結果、表1に示すとおり、施設の維持管理費が高く、負担が多いことが判明した。この問題を解消できる装置として、本調査検討委員の豊橋技術科学大学エコロジー工学系・水野教授から自然通風式の大気浄化装置（電気集じん方式）が提案された（図1参照）。

自然通風式を採用することで、排風機付きの装置と比較すると処理風量が劣ると想定されるが、道路沿道や道路壁に省スペースで設置可能である。また、排風機等の強制通風装置を使用せずに自然風や車両の走行風を利用して、低電力で沿道大気汚染の浄化を行うことができる。そこで本研究ではこれらのメリットを活かし、新たな自然通風式沿道大気浄化装置の開発をすることとした。

表1 沿道大気浄化装置の現状

性能比較	土壌脱硝方式（例）	機械式脱硝方式（例）
SPM 除去率	約 90%	90%以上
NO ₂ 除去率	約 80%	70%以上
NO _x 除去率	約 80%	90%以上
SO ₂ /CO/HC 除去率	70～80%	70～80%（SO ₂ ）
設置スペース	約 17m ³ /（m ³ /s）	約 4m ³ /（m ³ /s）
イニシャルコスト	約 1、300 万円/（m ³ /s）	約 1、700 万円/（m ³ /s）
年間ランニングコスト	約 30 万円/（m ³ /s）	約 180 万円/（m ³ /s）
長 所	植栽等により景觀に配慮が可能	中央分離帯等の狭いスペースに設置可能
短 所	設置スペースの確保が困難	ランニング・イニシャルコストが高い。

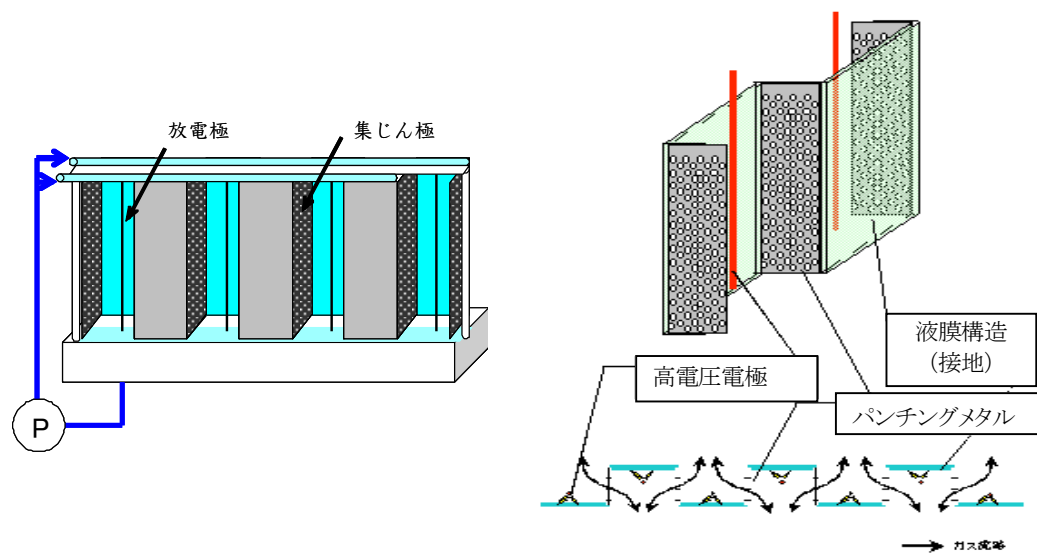


図 1 自然通風式の大気浄化装置の概念図

開発コンセプトの概要を図 2 に示す。また、本装置の設置場所のイメージについて図 3 に示した。

低コストな装置

→イニシャルコスト

- ①汎用部品の利用による低コスト化
- ②設置工事の小規模化と短期化

→ランニングコスト

- ①排風機を用いず低電力運転
- ②雨水を利用して、集じん部分を洗浄/再生
- ③耐久性の良い部品の利用（メンテナンス頻度の低減）

コンパクトで設置場所を選ばない装置

- ①狭い中央分離帯や道路端等に設置
- ②フレキシブルな構造：橋脚などに巻付けて設置

安全性の高い構造

- ①人及び車両に対して安全である構造

図 2 開発コンセプトの概要

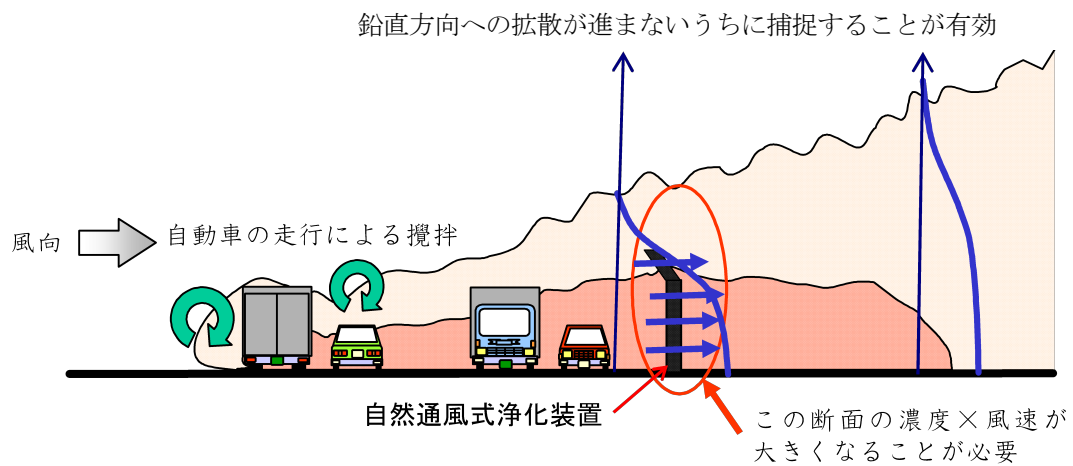


図3(1) 平面道路の道路端への設置のイメージ

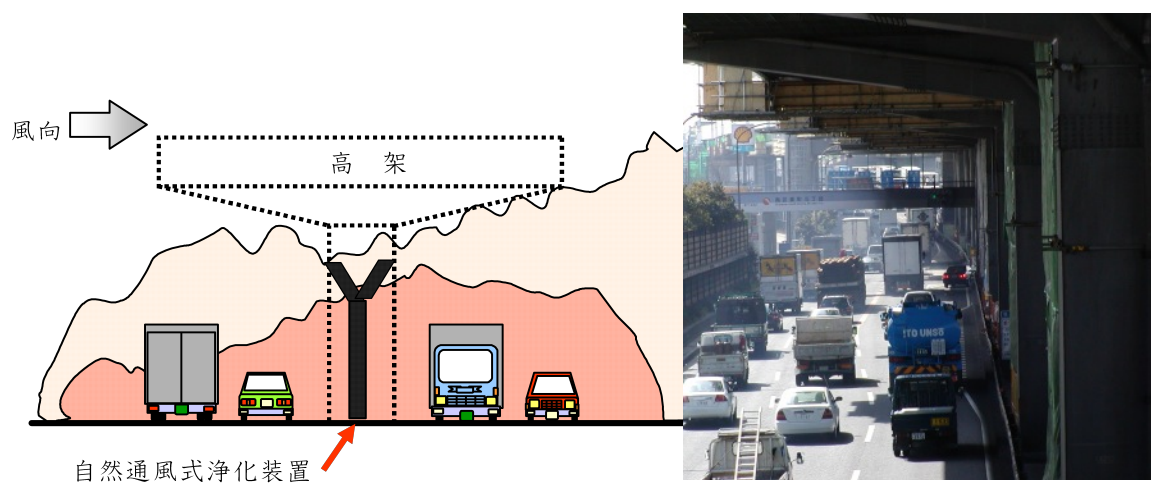


図3(2) 中央分離帯への設置のイメージ

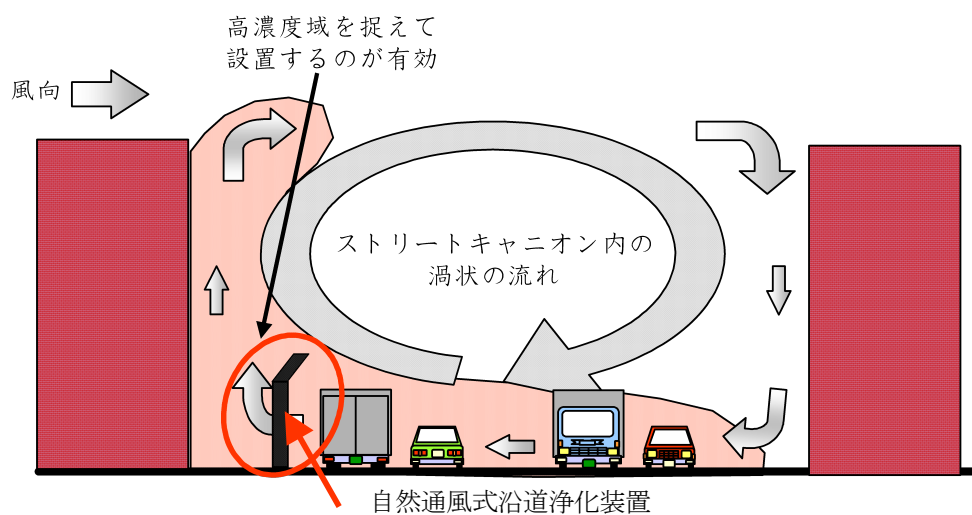


図 3(3) ストリートキャニオンへの設置のイメージ

自然通風式の沿道大気浄化装置に採用した電気集じん方式は、放電部と接地面の間に高電圧を印加し、コロナ放電を発生させ空気中の粉じんを帯電させ、併せて強電界空間を形成させて接地面及び側板面を用いて、帯電した粉じんを捕集するものである。

現在採用している平行平板式における電気集じん機の構造と原理を図 4 に示す。また、平成 15 年度までの電気集じん機改良の遷移を図 5 に示した。平行平板式は圧力損失が少なく、自然通風を考えた場合、最も適した集じん方式と考えられる。

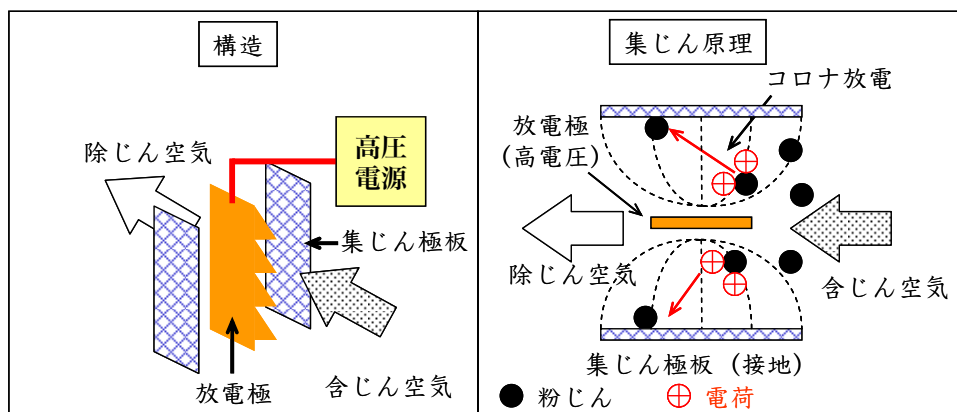


図 4 電気集じん機の構造と原理

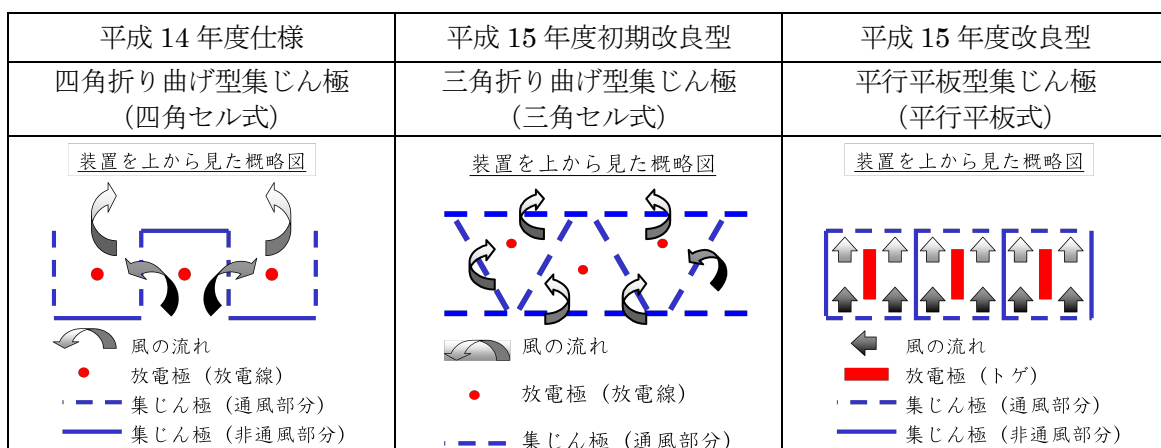


図 5 平成 15 年度までの電気集じん機改良の遷移

2. 昨年度までの調査研究について

昨年度までは特に SPM 対策に重点を置き、調査研究を行った。本調査は、SPM 対策のための集じん技術、測定及び浄化効果の評価等を駆使した調査研究となるため、これらに関する学識経験者からなる委員会を設置し、調査全般にかかる手法の検討を行った。また、装置の製作、試験等においては適時、装置の設置場所において各委員の指導を受けながら実施した。以下に平成 14 年度から平成 16 年度において実施した項目を示す。

平成 14 年度

沿道大気浄化装置の試作、性能評価試験。

平成 15 年度

試作沿道大気浄化装置の改良性能向上、浄化装置性能の実フィールド評価及び対策効果評価シミュレーションの実施。

平成 16 年度

平成 15 年度までの調査結果から、浄化装置の実用化に向けた課題点の改善及び浄化装置の設置環境に関する考察の実施。

平成 14 年度から平成 16 年度の調査内容と成果の概要を表 2 に示した。

表 2(1) 平成 14 年度の調査内容と成果の概要

(1)	沿道大気浄化装置の試作についての検討及び試作	水野委員の提案である「自然通風式沿道浄化装置」を試作した。試験は要素 36 パターンについて試験を進めたが性能に可能性が確認できない要素については試験を中止し 26 パターンについて行った。 ① 要素セルの構造は放電極をセンターに配置し、3 面間との距離を等間隔にし、放電極とそれを取り囲む 3 面（接地面、側面）を同一幅にしたパターンが最も良い試験結果が得られた。 ② 放電電流特性は放電極は放電線とワイヤーブラシが良好であった。
(2)	試作浄化装置の性能評価試験方法の検討及び性能評価試験	要素試験の結果を基に 4 式のプロトタイプ（放電線とワイヤーブラシのプロトタイプ）を作成し、試験用ダクト内でプロトタイプの上下流側における SPM 濃度、粒径分布（ナノ領域）等についての測定を行い各形状について性能を調べた。 ① 集じん効率は、デジタル粉じん計を用いた測定で、20～50%得られていることが確認できた。 ② 100nm 以下の粒子に対しては、約 50%の集じん効率が確認できた。 ③ NOx 除去率は、吸湿紙を用いた場合、吸湿紙が濡れている限り 20%以上を確保できることが確認できた。 ④ 局地汚染の現状から浄化装置に求められる性能要件の検討結果から評価すると、本装置は実用可能な装置としての確認が得られた。
(3)	局地汚染の現状から沿道大気浄化装置に求められる性能要件の検討	「沿道大気浄化装置」に求められる性能要件と設置条件は、以下のとおりとなった。 ① 0.1mg/m ³ 程度の濃度、1m/s 程度の風速を中心として、これを含むなるべく広い範囲の濃度と風速の組み合わせに対して、十分な除去効率が得られること。 ② 少なくとも 1.5m 程度の高さをもつ、通風性のよい集じん面をもつこと。より大型の集じん面をもつものが製作できることが望ましい。 ③ 最低限、この程度の性能が必要というボーダーラインとして、PM 濃度 0.1mg/m ³ のとき、風速 0.5～2m/s の範囲において、50%の捕集効率をもつ、高さ 3m の集じん面をもつ装置が製作できること。
(4)	SPM・DEP 汚染実態把握の調査	交通量の多い大都市の交差点や幹線道路沿道の SPM・DEP による沿道局地汚染が深刻で沿道対策が必要な地区を把握するために常時監視局 SPM 濃度上位局周辺の調査を行った。平成 14 年度 SPM の年平均値上位局ワースト 10 をみると東京都 5 局、神奈川県 4 局、愛知県 2 局であった（10 位は 2 局）。
(5)	SPM・DEP を対象とした沿道大気浄化装置の動向調査	SPM 高濃度地域で土壌浄化装置等による沿道対策試験を行っている大和町、松原橋及び大坂橋の状況について調査した。松原橋では土壌浄化装置が新規に設置され、大坂橋では東京都が都用地を提供し、NOx、SPM を除去する大気浄化設備の実験希望社を募集し実験が始まった。浄化方式は電気集塵と脱硝設備の組み合わせ、土壌浄化方式及び光触媒を主体としたものである。

表 2(2) 平成 15 年度の調査内容と成果の概要

(1)	試作の沿道大気浄化装置の改良及び評価試験	1.試作浄化装置の性能向上 ①改良型浄化装置を用いて、風速約 1m/s の条件において、集じん効率約 80%を確認できた。 ②改良型浄化装置に吸収剤を付加することによって、装置入口側よりも NO₂ 濃度が増加しないことを確認できた。 2.試作浄化装置性能のフィールドにおける評価試験 ①自然通風条件において、周囲風速の約 40%の風を浄化装置内に導いていることが確認できた。 ②風速約 1m/s の自然通風条件において、集じん効率 70%以上を確認できた。 ③装置にハニカム式吸収剤を付加することによって、装置近傍の NO₂ 濃度が周囲濃度よりも増加しないことを確認できた。 ④ナノ粒子に対しても 50～80%以上の集じん効率を得られていることを確認できた。 ⑤浄化装置循環水の成分分析結果からも、SPM が捕集されていることを確認できた。 ⑥循環水の有害物質は排水基準値以下であることを確認できた。
(2)	沿道大気浄化装置設置による対策効果の評価シミュレーションの実施	発生源を試作浄化装置の風上側からのみとした場合で全発生源を使用した計算結果を、歩道から 10m 及び 50m 地点で、除去効果(%)を見ると以下のような結果となった。 (1) 除去効果の主たる範囲は、風向によらず試作浄化装置配置延長程度と思われる。 (2) 除去率 70%の試作浄化装置は除去率 60%の試作浄化装置に比して、1.2 倍程度の効果となっている。 (3) 中央分離帯の試作浄化装置の 2 段重ねは 1 段の場合のほぼ倍の効果が期待できる。 (4) 風速が 1～2m/s(10m 高度で 2.8～5.6m/s)の通常風の場合、風速変化に対し除去効果(%)にはほとんど影響がない。 (5) NNW 風の場合、歩道から 10m 地点での効果と 50m 地点での効果を比較すると、1 階相当の高さにおける、50m 地点の効果は 10m 地点の効果の 60%程度であり、3 階相当の高さでは 85%程度であった。
(3)	実導入規模の沿道大気浄化装置の簡易設計	実導入規模の沿道大気浄化装置の簡易設計には以下の条件を考慮する。 ①性能面、材質面の耐久性を確保する。 ②沿道に高電圧機器を設置する場合の安全性を確保する。 ③低コスト化の追求（試作浄化装置性能とコストの最適なバランス点を見出す）。 ④洗浄部仕様は雨水利用、排水リサイクルを含めた最適洗浄システムを確立する。

表 2(3) 平成 16 年度の調査内容と成果の概要

(1)	課題点の改善	①本浄化装置安全性の向上として、ルーバータイプの保護網設置、保護網取り外し時の高電圧 OFF インターロック設置及び連続スパーク抑制回路を設置した。 ②本浄化装置から発生する磁界強度（スパークノイズ）は携帯電話のノイズレベル以下であることを確認し、スパークノイズが走行車輛・人体・電子機器に影響を与えるレベルではないことが確認できた。 ③低コスト化として、NO₂ 吸着剤に市販の活性炭フィルタを使用した。 ④低コスト化及び洗浄部最適化を目指し、装置を 2 段に積み、上段の装置にのみ給水する構造とした。また、給水パイプを廃止し、給水パンから直接集じん極に給水する構造とした。 ⑤洗浄部最適化として、ドレンパンから一旦給水タンクに水を貯め、給水タンクから給水パンに水を供給する構造とした。これにより雨水を給水タンクに貯めることができ、雨水利用が可能になった。 ⑥オゾン発生量抑制及び集じん効率向上を目指し、集じん部の構造を、ステンレス平板を 2 枚の吸湿紙で挟んだ構造に変更した。
(2)	自動運転に向けた開発	①連続スパーク抑制回路を高電圧電源に組み込んだ。 ②毎日 7 時から 20 時の間に浄化装置に高電圧が供給され、装置 1 台あたり 1L/h の水が自動的に供給されるよう、制御盤にてタイマー制御を行った。
(3)	フィールド試験	①運用 1 ヶ月間自動運転（高電圧の ON/OFF、循環水の供給）を支障なく実施できた。 ②運用 1 ヶ月後の SPM 集じん効率は、運用初期から低下することなく、特に微小粒子の除去率は 80%以上あることを確認できた。 ③運用 1 ヶ月後も吸着剤の NO₂ 除去効果は持続し、装置から流出する NO₂ 濃度を流入濃度以下に抑えていることを確認できた。

(4) 浄化装置の設置環境に関する考察	(1) 測定期間の概況 ①大師局と中留公園は、汚染物質濃度が類似しており、大師局は池上地区のバックグラウンド局として利用できる。 ②調査期間中の一般風は、北北西が卓越し、平均風速は約 3m/s 程度である。 ③調査期間における道路影響濃度は、年平均の約 2 倍程度と推測される。 ④$\text{NO}_x(\text{mg}/\text{m}^3)$ の道路影響濃度は、$\text{SPM}(\text{mg}/\text{m}^3)$ の約 24 倍程度である。 (2) 鉛直分布に関する考察 ①風速 : ほぼ一定である。 ②汚染物質濃度 : ほぼ一定である。 (3) 単位面積当り汚染物質流入量 ①中央分離帯 : $\text{NO}_x : 16\text{g}/\text{m}^2/12\text{h}$ $\text{SPM} : 1.0\text{g}/\text{m}^2/12\text{h}$ ②歩道側道路端 : $\text{NO}_x : 15\text{g}/\text{m}^2/12\text{h}$ $\text{SPM} : 0.4\text{g}/\text{m}^2/12\text{h}$ (4) 浄化装置の設置位置に関する考察 鉛直分布は高さ 5m 程度ではほぼ一定であり、高さ方向に積み上げるほど効果が得られる。
---------------------	---

【調査の概要】

1. 本年度の調査研究概要

平成 16 年度までの調査研究においては、大気汚染物質のうち SPM を重点的に除去することを目標とし、自然風を利用した電気集じん式沿道大気浄化装置の開発を行ってきた。この沿道大気浄化装置を自動車道路中央分離帯に設置することにより、浄化装置の SPM を 80%以上除去することが技術的に可能であることを確認した。一方で SPM と並ぶ汚染物質である NO_2 については、電気集じん機の原理上発生するオゾン (O_3) との反応により、集じん機出口側で増加してしまうことは避けられない。この対策としては浄化装置にハニカム式吸収剤を追加した。この場合、浄化装置から流出する NO_2 濃度を流入濃度以下に抑えられることは確認できたが、通風性が若干損なわれる結果となった。よって、今年度は通風性を確保しつつ SPM と NO_x を同時除去できる技術開発を行い、その有効性を検討することとした。SPM と NO_x の同時除去に際しては、並行して開発が進められてきた高活性炭素繊維 (ACF) による NO_x 除去機能を電気集じん式沿道大気浄化装置に適用した。また、将来的に電気集じん式の沿道大気浄化装置と ACF 製のフェンスを道路沿道に併設することを想定し、ACF 製フェンスの技術開発も行った (図 6 参照)。

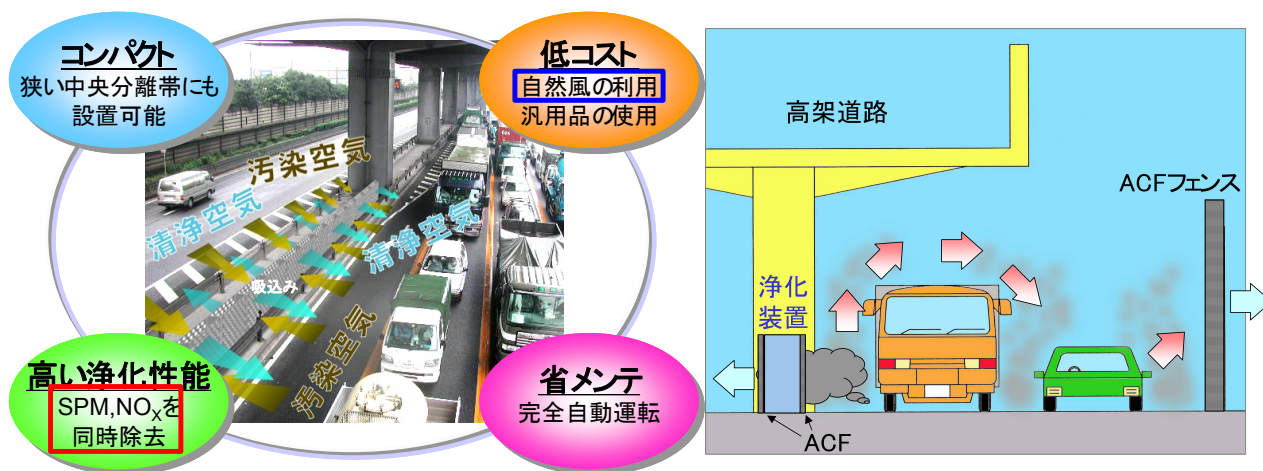


図 6 浄化装置と ACF フェンス併設のイメージ

(1) 調査研究日程

本調査研究は表 3 に示すスケジュールで実施するものとした。なお、本年度は 3 カ年計画の 1 年目であり、浄化装置の改良（松下エコシステムズ担当）および ACF フェンスの設置効果確認（福岡県保健環境研究所担当）を実施した。

表 3 3 カ年スケジュール

項目	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度
浄化装置の改良			
ACF フェンスの設置効果確認			
浄化装置・ACF 併設の 環境改善効果シミュレーション			
基本性能評価用浄化システム設計製作			
基本性能評価フィールドテスト（小規模）			
実用評価用浄化システム設計製作			
実用評価フィールドテスト（大規模）			

(2) 浄化装置の改良

SPM、NO_x、NO₂ 各除去率、通風性等を総合的に判断し、最適な浄化装置の形状を決定することを目的とした。昨年度までに開発した浄化装置に、NO_x 吸着剤として板状スリット構造 ACF（高活性炭素繊維）を付加した。ACF を板状スリット構造とすることで通風性と NO_x（NO₂）除去の両立を図った。今年度の開発目標を表 4 に示す。

表 4 平成 17 年度開発目標

項目	平成 16 年度までの 開発装置	平成 17 年度開発目標	
		NO ₂ 重点除去	NO _x 総量除去
SPM 除去率	約 80%	80%以上	
NO ₂ 除去率	入口濃度≧出口濃度	80%以上	0%以上
NO _x 除去率	—	20%以上	50%以上
通風性（注）	0.5	0.7 以上	0.7 以上

（注）通風性の測定方法は、【調査の結果】1－（2）ラボ実験系の概要参照

(3) ACF フェンスの設置効果確認

道路中央分離帯に ACF フェンスを設置し、周辺大気の NO_x 浄化能力の確認を行った。また、一定期間曝露させた ACF フェンスの抽出液分析を行い、ACF の寿命予測を実施した。

【調査の結果】

1. 浄化装置の改良について

(1) 実験パターン

SPM 除去装置の実験パターンを図 7 に示す。放電極性、印加電圧、極板間隔、集じん極板の状態（液膜の有無）を変化させてそれぞれの除去率に対する寄与度合を確認した。装置流入面の通過風速は 1m/s に設定して測定を行った。

SPM除去装置(目標除去率80%以上)				
パターン	放電極性	印加電圧	極板間隔	液膜
1	プラス	10kV	20mm	無し
2		12kV		
3		10kV		有り
4		12kV		
5	マイナス	10kV	20mm	無し
6		12kV		
7		10kV		有り
8		12kV		
9	プラス	10kV	15mm	無し
10		12kV		
11		10kV		有り
12		12kV		
13	マイナス	10kV	15mm	無し
14		12kV		
15		10kV		有り
16		12kV		

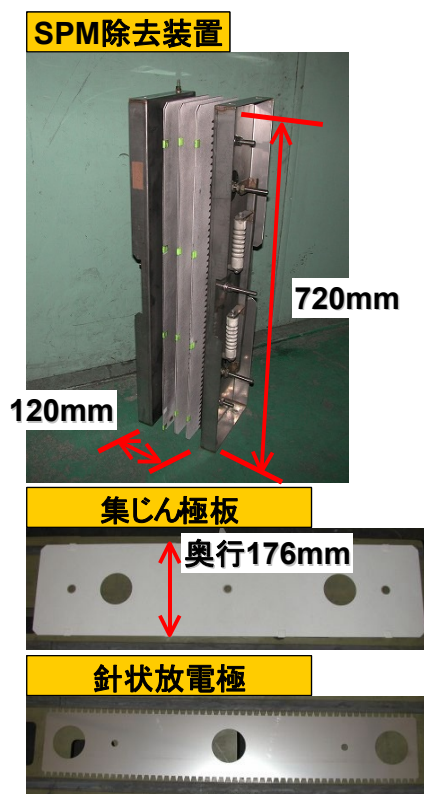


図 7 SPM 除去装置実験パターン

NO _x 吸着剤			目標設定 NO ₂ 除去率80%以上 通風性0.7以上(風下側風速／風上側風速比)
パターン	方式	奥行	
A	ハニカム	30mm	昨年度FT用試作浄化装置仕様
B	ACF	200mm	PAN系スリット構造(今年度ACFフェンスFTと同一仕様)

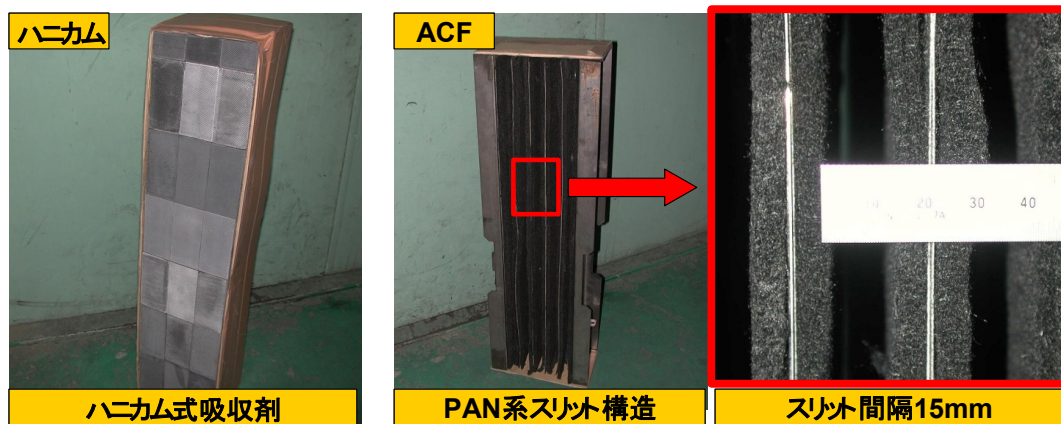


図 8 NO_x 吸着剤実験パターン

NO_x吸着剤の実験パターンを図8に示す。NO_x吸着剤として松下製ハニカム式吸着剤およびPAN系スリット構造 ACF の2種類を使用した。吸着剤流入面の通過風速は1m/s に設定して測定を行った。

(2) ラボ実験系の概要

当初、自然風を模擬するためにファンは除去装置の上流側に設置し、押し込みによる通風での除去性能と通風性の測定を予定していた。しかし、除去性能の測定のバラツキが大きかったため正確な比較ができないと判断し、除去性能測定時はファンを装置の下流側に設置し、吸い込みでの測定に変更した(図9参照)。

なお、実験方法は以下に示すとおり。

- ① SPM 除去装置と NO_x 吸着剤をダクト内に配置する。
- ② ダクト内はファンを用いて強制通気する。
- ③ ディーゼルエンジンを用いてダクトに流入する NO_x 濃度を 1ppm に調節する(除去性能測定時)。
- ④ 各条件での装置流入側と流出側の各ガス成分濃度、風速を測定する。
- ⑤ 測定結果から除去性能および通風性を算出する。

実験で使用した機器、測定項目および使用した計測器をそれぞれ図10、表5、図11に示す。

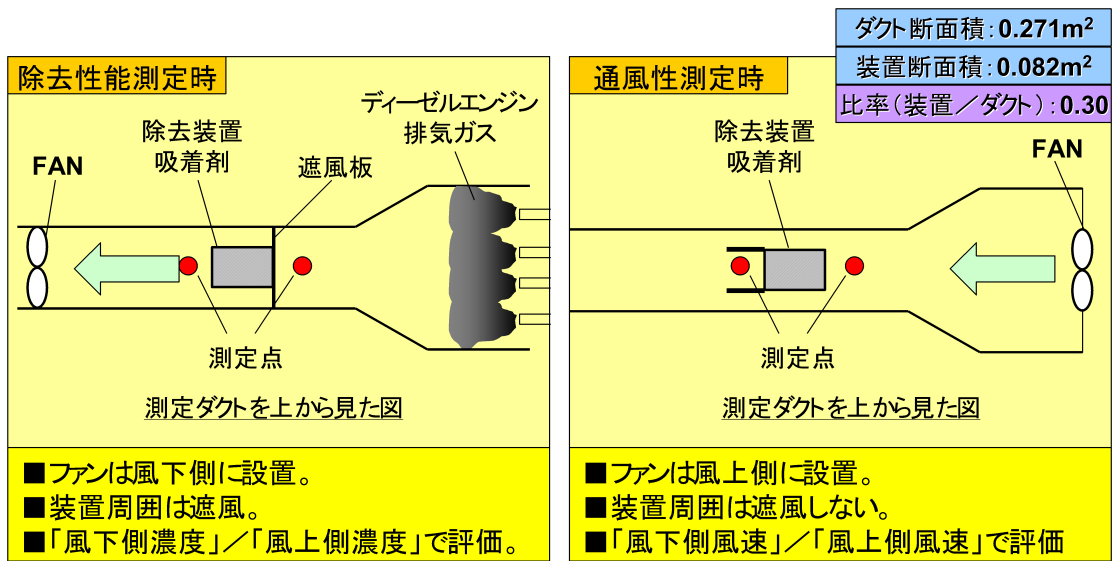


図 9 実験系概略図



図 10 実験で使用した機器

表 5 測定項目および使用した計測器

測定項目	測定器	測定原理	メーカー	型式	測定時間	測定間隔
NO _x 濃度	NO _x 計	化学発光法	サーモエレクトロン	MODEL42C	10 分	10 秒毎
SPM 濃度	デジタル粉塵計	光散乱法	柴田科学	AP-632T		
O ₃ 濃度	O ₃ 計	紫外線吸光法	堀場製作所	APOA360		
風速	風速計	熱線式	カノマックス	6531		
温湿度	温湿度計	抵抗変化型	佐藤計量器	SK-L200TH	開始時	—



図 11 計測器

(3) ラボ実験結果

実験結果を図 12 に示す。極板間隔の違いによる SPM 除去率の差は、極板間隔が 15mm の方が極板間隔 20mm に対して平均で約 25%向上することが確認できた。集じん面の液膜の有り・無しでは、液膜有りの方が SPM 除去率は平均約 10%向上することが確認できた。

図 12 より、SPM 除去率の目標値 80%に対しては 2 パターンで目標を達成することができた。但し、放電によって発生する O₃ のため、SPM 除去装置単体では装置出口側で NO₂ を増加させてしまっていることがわかる。

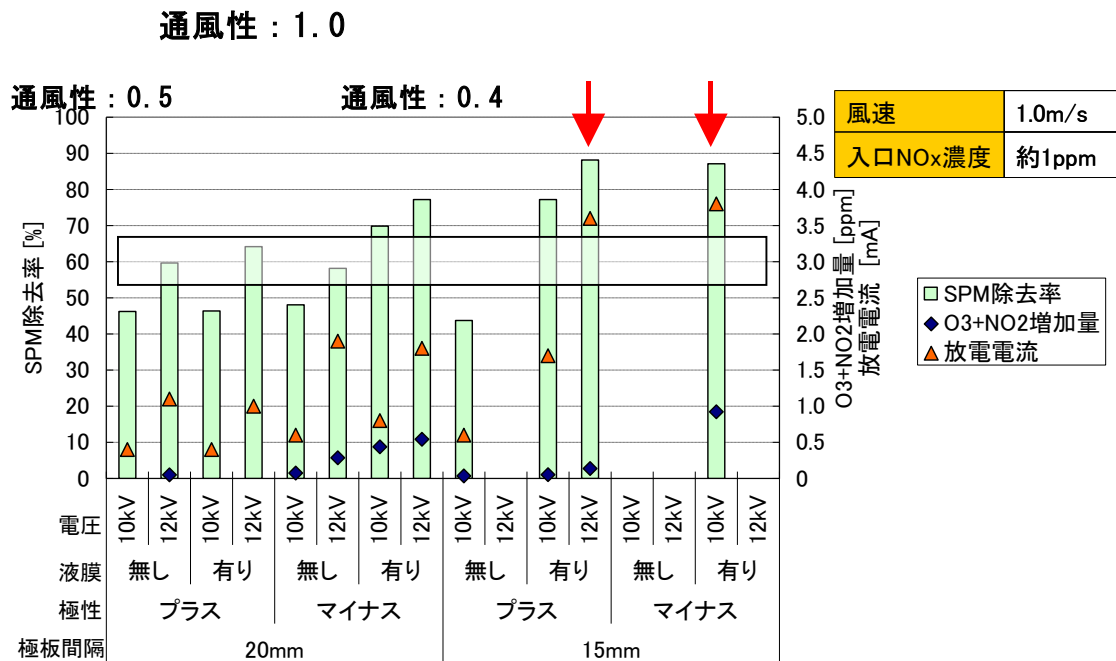


図 12 SPM 除去装置仕様と除去率の比較

次に、SPM 除去装置と NO_x 吸着剤を組み合わせ、SPM と NO_x の同時除去実験を行った。SPM 除去装置（EP）の仕様は図 12 の結果をもとに極板間隔を 15mm、放電極性をプラスとした。結果を図 13 に示す。SPM 除去率は目標値 80%を達成できたが、NO₂ 除去率、NO_x 除去率ともに目標を達成することができなかった。

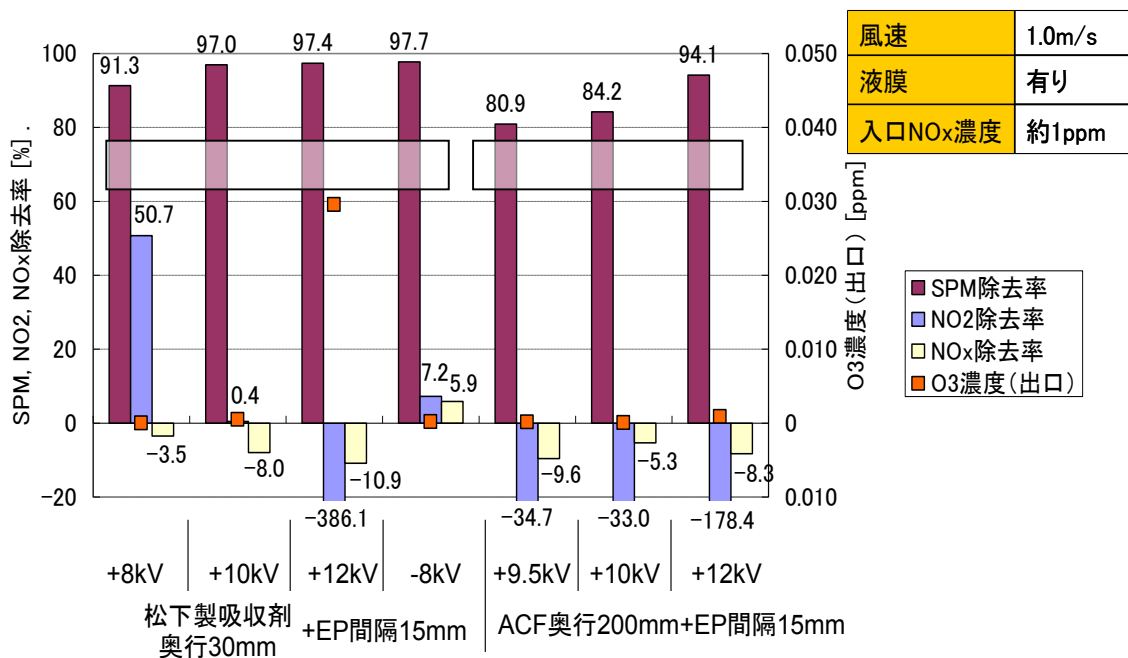


図 13 SPM、NO_x 同時除去率の仕様検討

自然通風という観点からまずは通風性の確保を最優先項目とし、その上で NO_x および NO₂ 除去率の向上を目指した。

通風性を確保しつつ NO_x 除去率を向上させる方法として、電気集じん機の放電極から発生するイオン風を利用し、集じん機内部での ACF とガス成分の接触確率向上を目指した。図 14 のように、SPM 除去装置の集じん面に ACF を貼り付けた浄化装置 (ACF 極板 EP) での除去率測定を行った。

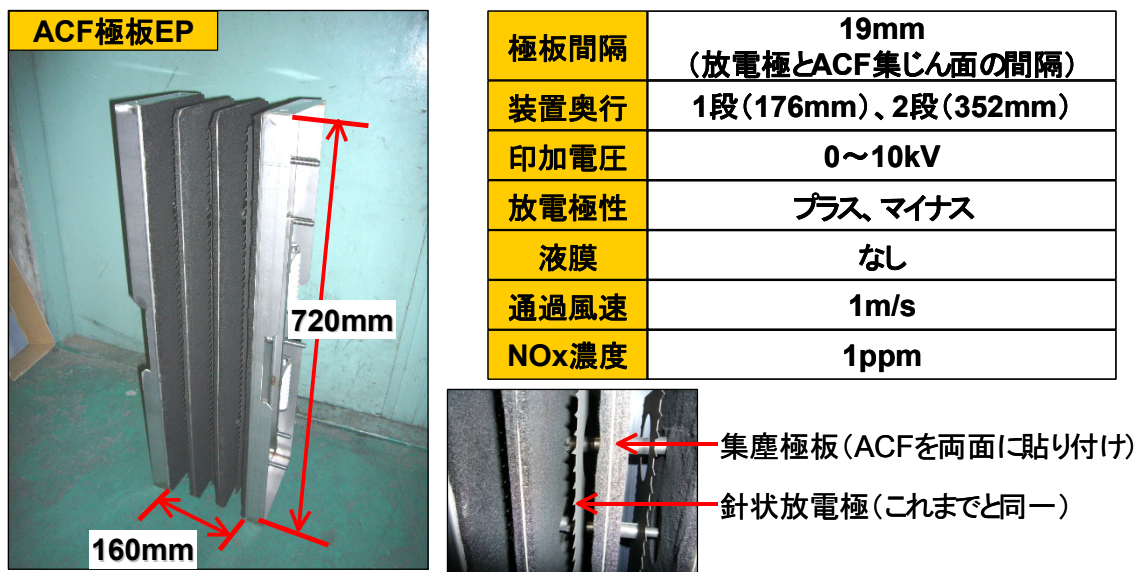


図 14 ACF 極板 EP の仕様

実験結果を図 15 に示す。通風性は前述の実験で使用した EP 単体と同じレベルであり、目標を大きく達成することができた。また、SPM 除去率も目標値 80%を達成することができた。NO₂ および NO_x 除去率は目標達成できなかったものの、EP 単体での実験結果より改善されていることが確認された。尚、SPM 除去率と NO₂ および NO_x 除去率との関係に関して、印加電圧を下げると NO₂ および NO_x 除去率が上昇するものの、SPM 除去率は減少する傾向が見られた。

通風性：1.0

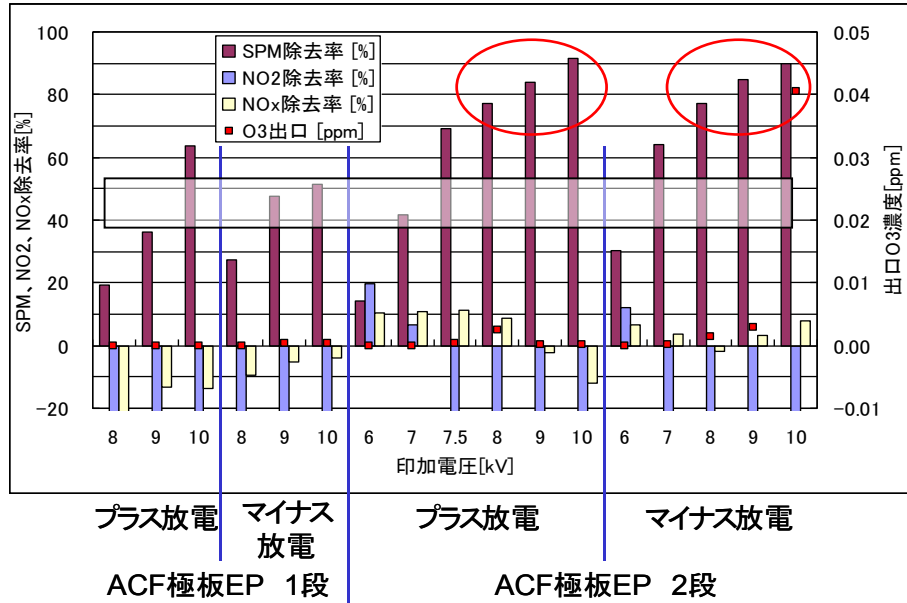
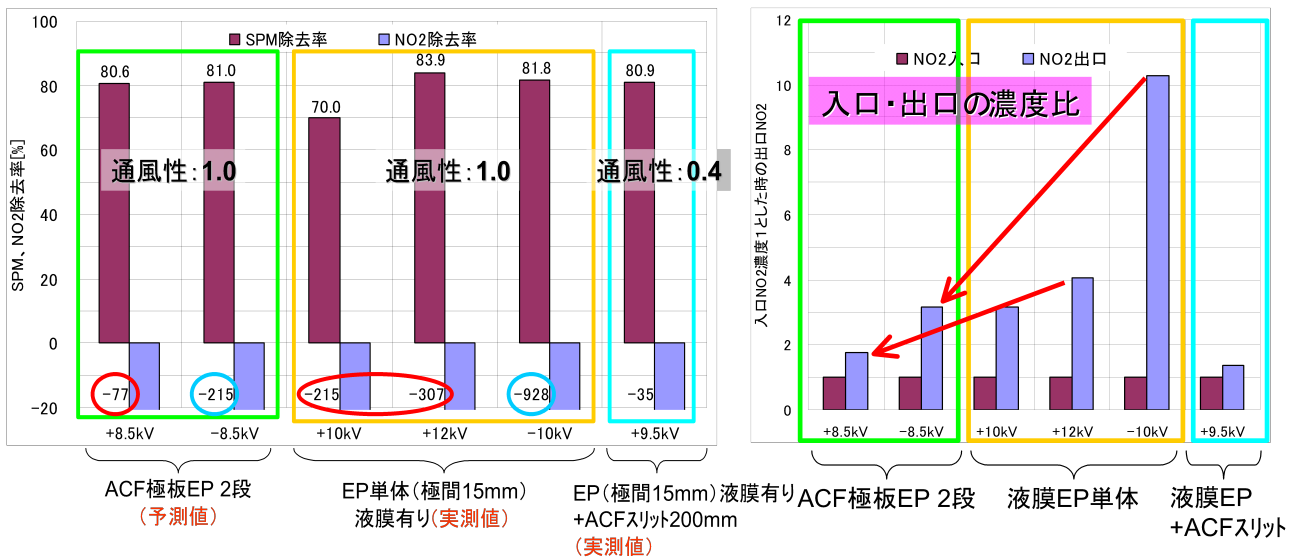


図 15 ACF 極板 EP 測定結果

図 16 は実験結果をもとに、SPM 除去率が約 80%のときの NO₂ 除去率を比較したグラフである。EP 単体と比較すると、集じん面に ACF を貼り付けた EP は通風性を損なうことなく NO₂ 除去率が大きく改善していることがわかる。これは放電によって発生したイオン風によって、ACF とガスとの接触確率が向上したためであると考えられる。EP+ACF スリットの NO₂ 除去率には劣るが、こちらは通風性を大きく犠牲にしているため、自然通風という観点からは望ましくない。したがって、ACF 極板 EP は EP 単体に対して通風性を確保しながら NO₂ 除去率が改善されたといえる。



2. ACF フェンスの設置効果確認について

(1) 調査の概要

調査検討項目は主に以下に示す 3 点を実施した。

① 中央分離帯におけるACFフェンス、測定機器の設置

長期的なフィールドテストを通じてACFフェンスの基本性能を確認することを目的とし、試作してACFフェンスを実際の道路中央分離帯に設置した。

② 最適な窒素酸化物浄化能をもつACF形状、サイズの検討

上記フィールドテストに用いた各種ACFフェンスの実験結果から、窒素酸化物除去のために最適なACF形状およびサイズを確認することを目的とした。

③ ACFフェンスの浄化寿命の予測

フィールドテストに用いたACFに吸着したNO_xの溶出試験を実施し、抽出された硝酸イオンの量からACFの浄化寿命が予測可能であるかどうかを確認することを目的とした。

(2) 調査方法および調査結果

① 中央分離帯におけるACFフェンス、測定機器の設置

(機器の設置状況)

実験施設を設置する場所の地図および周辺状況を図17～19に示す。図17および図19の中の丸で囲んだ場所に実験施設を設置した。施設の平面図を図20に、立体図を図21に示す。NO_x浄化試験用のフェンスは、①“繊維状ACF”あるいは、②フェルト状ACFをカットして作成した“板状スリット構造ACF”、③フェルト状ACFを短冊状に裁断した“フェルトチップ状ACF”の3タイプである。ACFフェンスの一部はダブルフェンス構造にした。3次元風向風速計を2台設置した。3次元風向風速計のうち1台は地面から垂直方向に高さを可変できるように設置した（図21参照）。





図 21 実験施設の立体図

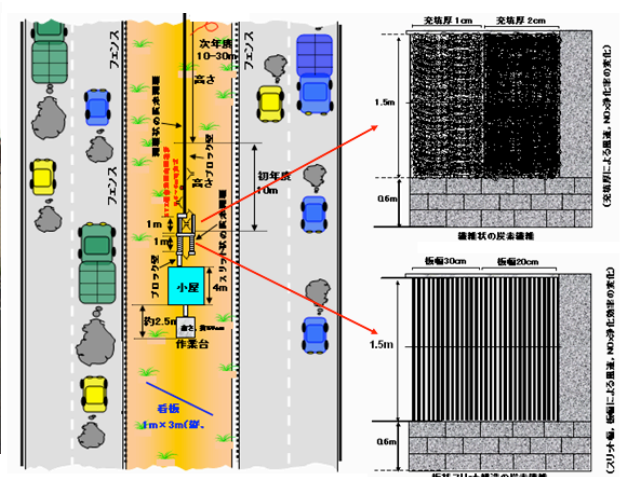


図 20 実験施設の平面図および ACF フェンス

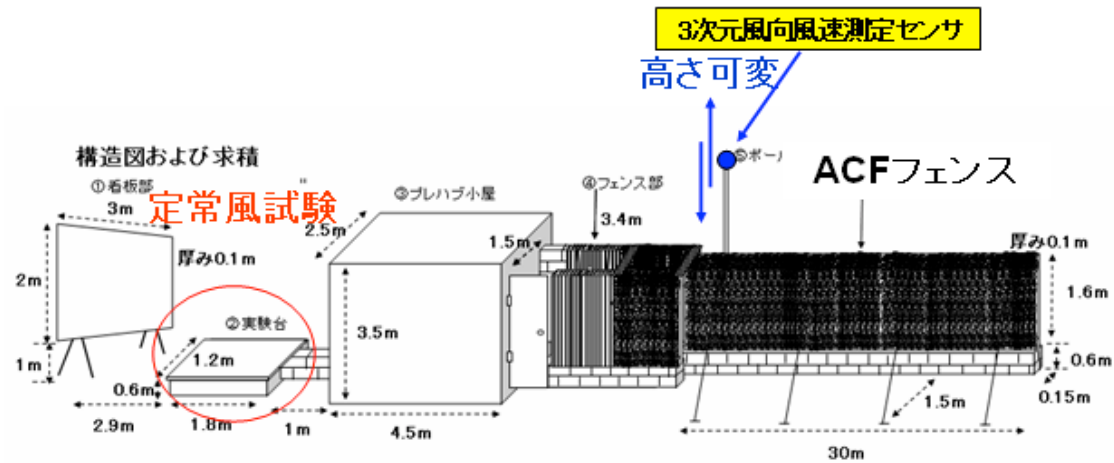


図 22 実験施設の構造図および求積

設置状況を図22(1)、22(2)に示す。LANにより遠隔監視できるwebカメラ（図23）、実験施設の両側の道路の交通台数、渋滞状況を測定する機器を設置した（図24）。また、赤外線センサーを利用した簡易な交通量測定方法を検討した。この方式では、車両通過時に赤外線の乱反射により誤差を生じやすいため、反射光と通過光を併用し、それらのパルスが一致した場合にパルスの数をカウントするようにプログラムを組んだ。さらに、車両1台が反射光および通過光を遮断した直後の時刻と開通した時刻の差分（パルス間隔）から、車両の通過速度を予測できる。この考えに基づき、パルス間隔を交通渋滞状況の指標とした。



図 23 webカメラによる監視



図 24 交通台数および渋滞状況の測定

中央分離帯には前述した3次元風向風速の他に温湿度センサー、ACFフェンス前後の風速を測定する熱線風速センサー8本とNO_x計測定用の配管8本を設置した。これらのNO_x配管は電磁弁を取り付けて配管を分岐させている。電磁弁は、施設内のスイッチおよび遠隔のインターネット接続したパソコンにより切り替えが可能である。これにより、ACFフェンスの任意ポイントのNO_x濃度を測定した。



測定データは施設内（プレハブ小屋内）（図25参照）の測定機器を通して測定させた。NO_x測定機器は4台設置し、そのうちの2台についてはNO₂の測定精度を高めるような改造を施した。一方、測定データは順次、施設内の6台のWindowsパソコンに表示されていくが、測定時刻の精度を高めるために、6台のパソコンは、常時、時刻を自動リセットさせた。また、パソコンのディスプレイ上に表示されたデータについては、毎日、1回以上、自動でファイル名を付けて保存できるようにプログラムを組んだ。その後、各パソコンに保存されたデータファイルは、もう一台のLinuxパソコンと接続させ、LAN経由で遠隔のパソコンからデータファイルの取り込み、評価ができるように設計した。

取り込んだ各データファイルは、測定期間、ファイル形式や計測時刻の表示、測定時間の間隔等が異なる。これについては、エクセルのアドインとして、測定した各パソコンからのデータファイ

ルを同一時系列に再配列させるための自動プログラムを組むことで対応した。同一時系列に再配列した後のデータについては、エクセルのマクロにて、1分、5分、10分、30分、1時間、6時間の任意の平均値、瞬時値として整理、グラフ化できるように設計した。なお、測定期間中、測定機器に異常があった場合、担当者の携帯電話およびパソコンのメールにエラーメールを自動発信するように設定した。

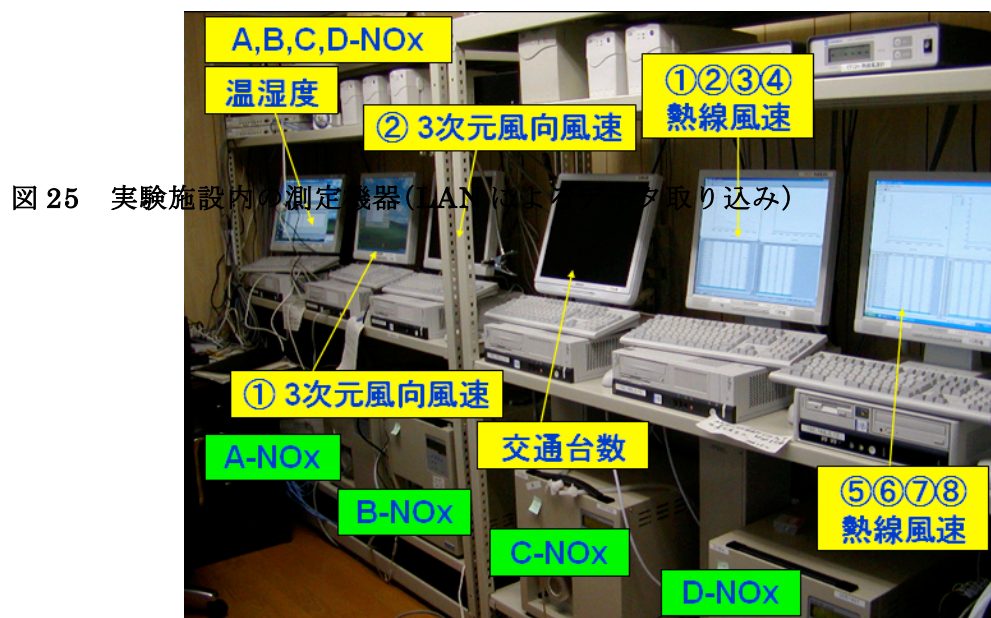


図 25 実験施設内の測定機器（LANによりデータ取り込み）

また、施設内の空調を保つため、冷暖房装置および換気扇を取り付けた。室内が任意の設定温度を超えた場合、換気扇が自動換気することで機器のオーバーヒートを抑えた。さらに、遠隔のパソコンから室内照明を任意にON、OFFできるように設計した。施設外には2m×3mの看板（図26）を設置し、看板の表側と裏側に、異なるイラストにて研究成果を掲示した。看板は、夕方から夜12時および未明から早朝にかけて、自動照明させた。なお、看板の照明についても遠隔操作によりON、OFFの操作が可能である。



図 26 実験説明用の看板

図 27(1) 板状スリット構造

(設置結果)

フェンスおよび機器の設置は平成17年12月末に完了した。

- ・ 自然風が抜けやすい板状スリット構造及び繊維状のACFのフェンスを10m長さ（全高2.1m）で設計し、道路沿道の半閉鎖系道路中央分離帯に設置した。
- ・ プレハブ小屋および内部に測定機器の設置および電気、通信機器の配線を行った。

② 最適な窒素酸化物浄化能をもつ ACF 形状、サイズの検討

(各種ACFフェンスの構造)

PAN系のフェルト状ACF (FE200H-H800)を裁断し、23cm×1m、厚み1.5cmの板状スリット構造ACFを作成した(図27(1)および図27(2))。板状スリット構造ACFは、スリット幅1.5cmに調整した1組のスリット群として、中央分離帯のボックスの両端から内部空間を挟むかたちで2組を設置した(ダブルスリット構造、(図28の左))。また、フェルトチップ状ACFフェンス2枚で構成するダブルフェンスも設置した(図28の右)。フェルトチップ状ACF (図29(1)、図29(2)、図29(3))や繊維状ACF(FT300-H800) (図30)を、充填密度を変えた幅1m×高さ1.5mのフェンス10枚として作成した。これらフェンスは、それぞれ高さ60cmのブロック塀の上に固定させた(図31)。



29(3) フェルトチップ状 ACF フェンス
図 29(1) フェルト状 ACF
(充填密度 0.024g/cm^3)

図 29(2) フェルトチップ状 ACF の作成

図 30 繊維状 ACF

図 28 板状スリット構造および繊維状、フェルトチップ状 ACF フェンスの現場設置状況 (ダブルフェンスタイプ)



熱線風速測定用の収束ボックス

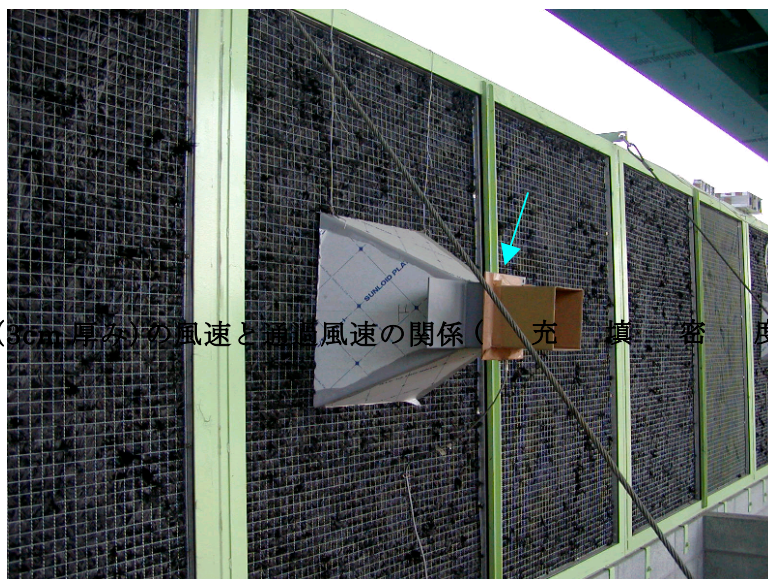


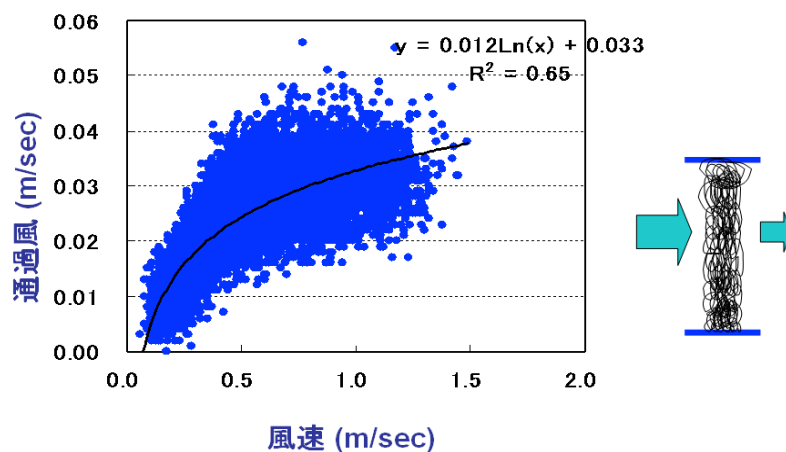
図 32 繊維状 ACF (繊維厚 3cm) の風速と通過風速の関係 (充填密度 0.05g/cm³)

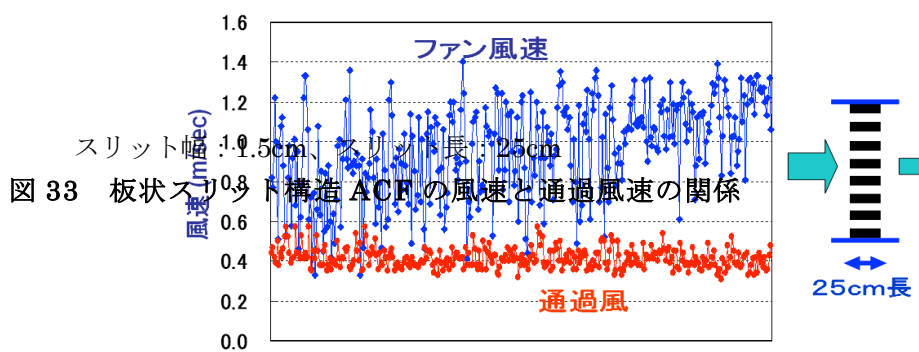
(実験結果)

平成17年12月末～平成18年3月上旬まで実施した。

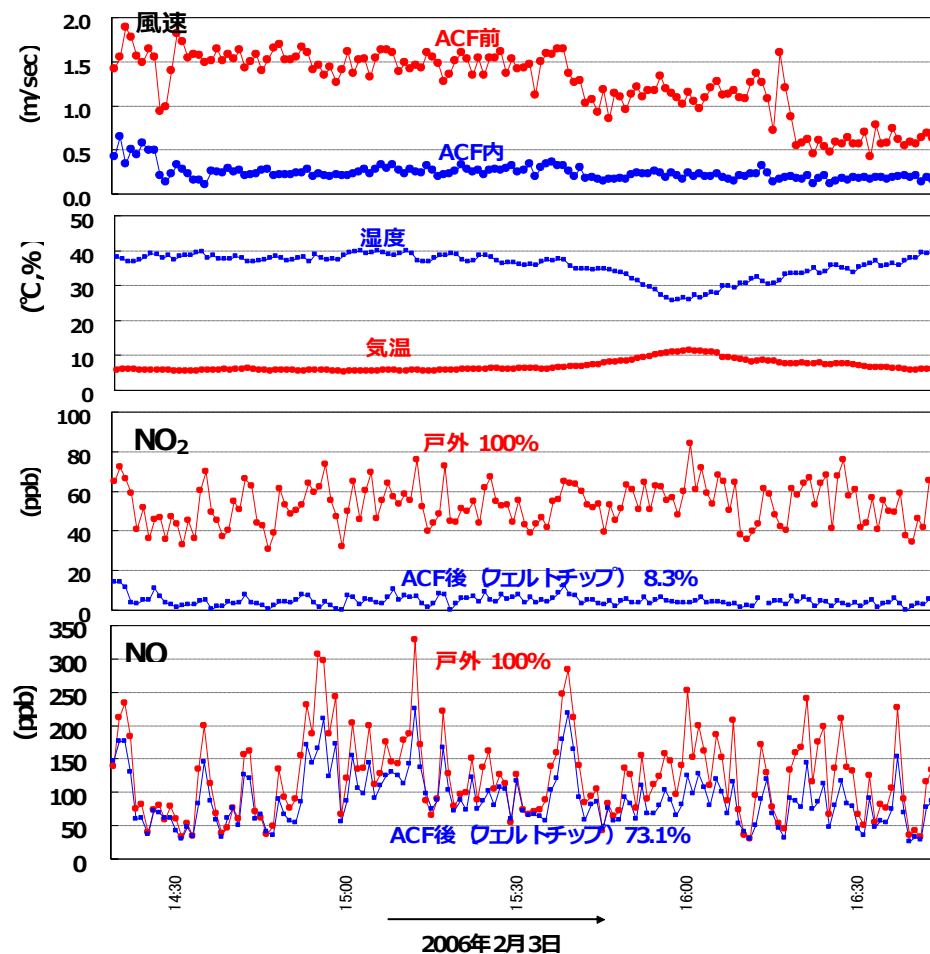
- ・ 板状スリット構造と繊維状ACFでの通風能、NO_x浄化能の差異を検討した。
- ・ 板状スリット構造ACFのスリット方向と風の流れによるNO_x浄化能について検討した。
- ・ ACFフェンス (板状スリット構造およびチップ構造) 通過前後のNO_x濃度、温湿度、風向風速等の測定を行った。

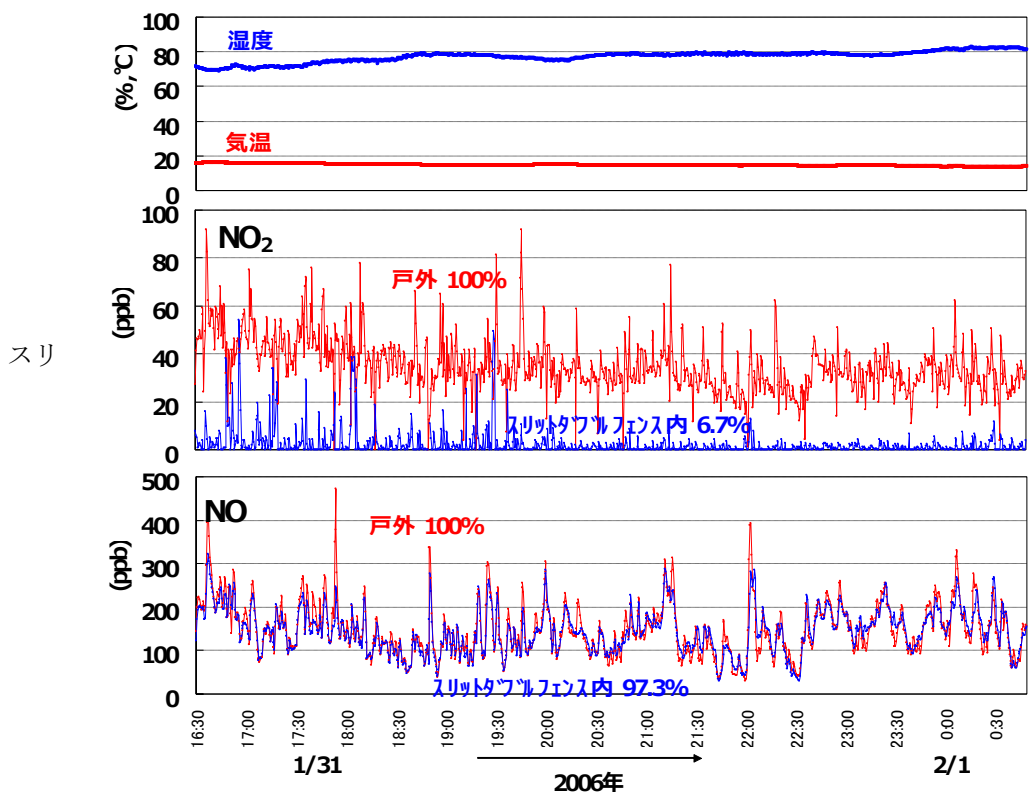
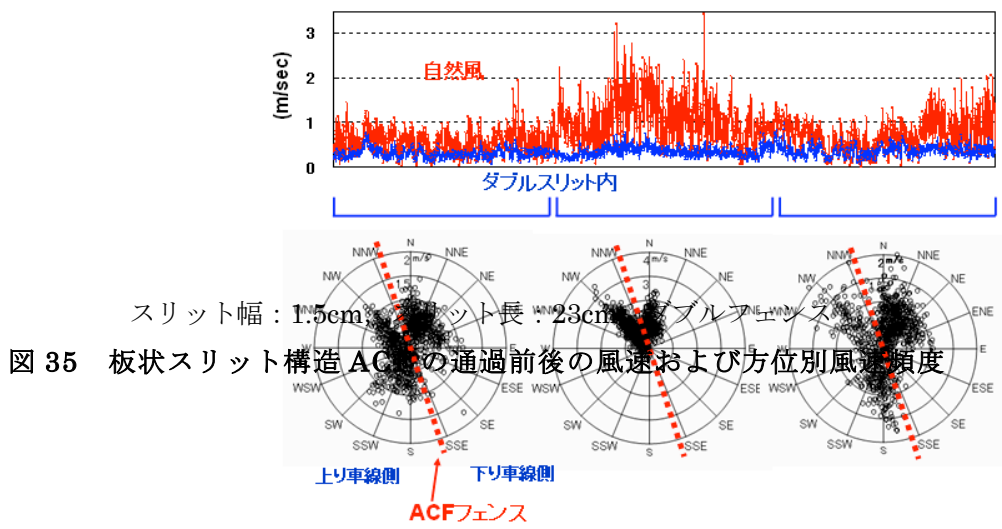
中央分離帯の実験台の上に、繊維状ACF (FT300-H800) を充填密度0.05g/cm³で繊維厚3cm、繊維厚6cmで充填したボックスをセットし、ボックスに対してファンにより風を送った。繊維厚3cmのボックスで測定した結果を図32に示す。通過風速は非常に遅く、ACFにぶつかる風速に対して、繊維状ACFの通過風は、その2～4%程度、繊維厚6cmのボックスでは1%程度であった。一方、板状スリット構造 (図33) では通過風速が非常に速く、スリットを通過した風速は、ファンの風速の40～50%であった。また、チップ状ACF(充填密度0.024g/cm³、チップ厚14 c m) を通過した風速は、ファンの風速の20～25%程度であった (図34)。





中央分離帯に設置した板状スリット構造ACFのダブルスリットに対して、実際の自然風の風速とスリットを通過した風速の結果を図35、図36に示す。測定期間中は、0.5～2.5m/secの風が吹き、スリットを通過する風速は0.5m/sec程度であった。図34を通過する風速は0.5m/sec程度であった。図35の下図に示す。方通過風速は、NO_x浄化率の関係(充填密度:0.024g/cm³)。自然風はダブルスリットの横方向から吹く頻度が多かったため、スリット内に風が流れ込み難い状況にあったことが分かる。この通過風により、NO₂は70～90%浄化されたが、NOの浄化率は低かった(図36)。





③ ACFフェンスの浄化寿命の予測

(実験方法)

50cm

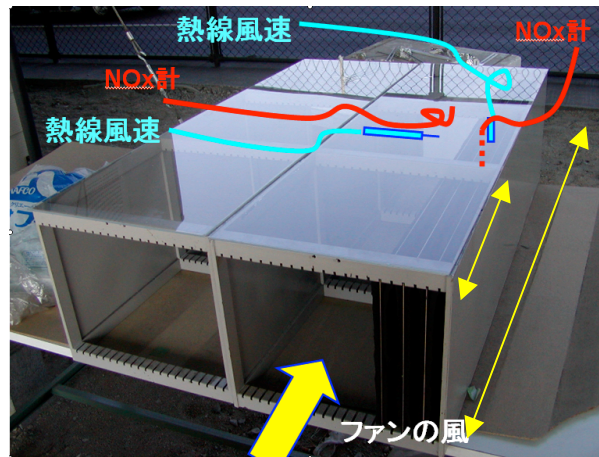
中央分離帯の実験台の上に各タイプの小型 ACF ボックスをセットし、ファンの送風による風速と NOx 浄化率の測定を実施した (図 37)。

100cm

自然通風式における ACF の寿命を計算するため、暴露用の小型スリット状ボックスをアクリル

38 暴露用の板で作り、構造体には使用板だけ、図 38 状プラスチック板、ACF 繊維をフェルト状 ACF フェルト素材 付けた (図 39)。小型のスリット状ボックスは ACF フェンス (図 31) の上に設置し、大気環境中

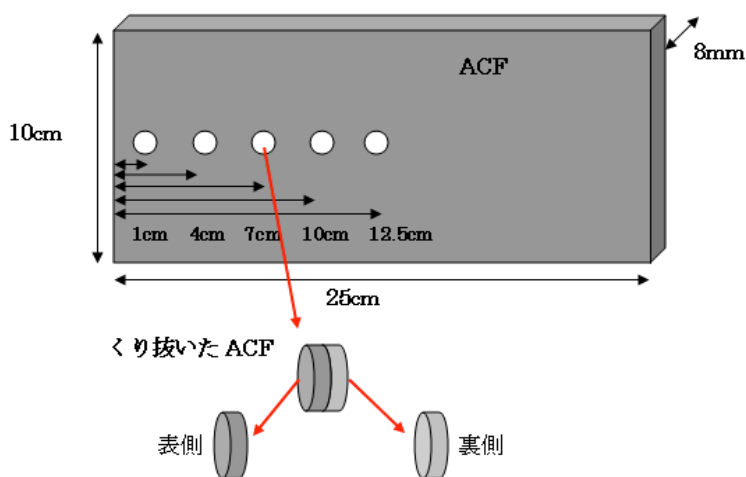
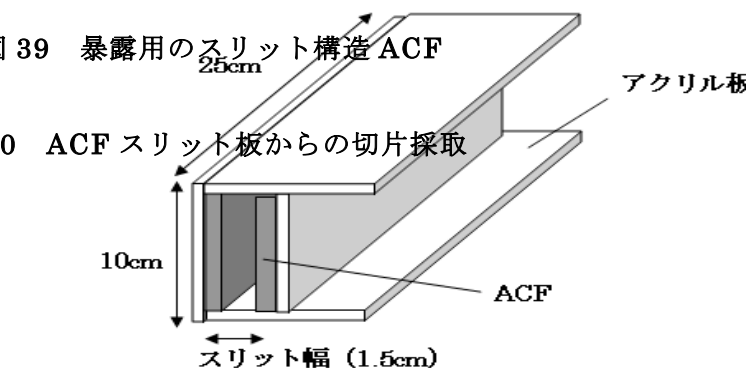
37 板状スリット構造 ACF ボックス (1 年半使用中 ACF NOx 浄化効率低下の観察) 暴露後の ACF ボックスは回収し、1cm φ のコルクボーラでスリット解放口から 1cm、4cm、7cm、10cm、12.5cm の部分をくり抜き、空気の通る側 (表側) とアクリル板側 (裏側) に 2 つに分割した (図 40)。



分割した ACF は 2～5mL のイオン交換水に浸し、超音波に 10 分間かけ、ポアサイズ $0.2\mu\text{m}$ のフィルターで濾過した液を検体とした。また、対照として、 NO_x を殆ど吸着しないプラスチック繊維についても同様の試験を行った。これら検体については、イオンクロマトグラフィーで速やかに NO_3^- を定量分析した。

図 39 暴露用のスリット構造 ACF

図 40 ACF スリット板からの切片採取



(実験結果)

③－１ 短期評価

a. 予備実験

中央分離帯での調査の前に、予備実験として、密閉した室内に NO を充満させて 1000ppb に調整した。その後、室内に繊維状 ACF ボックスおよび板状スリット構造ボックスをセットし、それぞれのボックスにファンで風を送る実験を行った。その結果、繊維状 ACF のボックスに比べて、板状スリット構造の ACF ボックスにより室内 NO 濃度は、著しく減少した。この現象から、 NO_x は、ACF フェンスの表面をなぞる風ではなく、ACF 内部を通過する風により浄化されることが明らかとなった。この結果は、繊維状 ACF フェンスの寿命が主に通過風だけで計算できることを示唆している。すなわち、繊維状 ACF フェンスの NO_x 浄化寿命は、①周辺 NO_x 濃度、②フェンスを通過する風速、 NO_x 浄化率、④フェンスを構成する ACF 重量で計算できる。一方、以下の暴露実験結果から、板状スリット構造フェンスの寿命予測は複雑であることが分かった。

b. 暴露実験

小型スリットボックスを中央分離帯の ACF フェンスの上に、平成 17 年 12 月 25 日～平成 18 年 2 月 27 日の約 2 ヶ月間、暴露した。図 41 には、小型スリット状ボックスのプラスチック繊維に付着した NO_3^- の付着量を示した。スリット入口から 1cm 奥の繊維の表側及び裏側の両方に、 $2 \mu\text{g}$ 程度の NO_3^- の付着が認められた。また、 NO_3^- はプラスチック繊維のスリット中心部に近づくに従って減少している現象が確認された。これら NO_3^- は、殆ど、大気中に浮遊する粒子状 NO_3^- 由来であると考えられる。

図 41 小型のスリット状ボックスの ACF 繊維浄化ボックスの NO_3^- 吸着量。 NO_3^- は、大気中の粒子状 NO_3^- 由来成分の他、 NO_x 由来成分を含んでいる。すなわち、ACF 平板の NO_3^- の捕捉量から、プラスチック繊維へのそれを除いた量が、 NO_x 由来成分であると予測できる。ACF スリットの表側では、スリット入口から奥へ 1cm 付近で $2 \mu\text{g}$ 程度、4cm 付近で $7 \mu\text{g}$ 程度、7cm～12.5cm 付近で $1 \mu\text{g}$ 程度の捕捉量が確認できた。スリットの後部では NO_3^- が殆ど捕捉されていないことが分かった。これに対して ACF の裏側では NO_3^- 量が $1.3 \mu\text{g}$ 以下であり、表側と比べて少なかった。これは ACF フェルトの密度が高く、 NO_x や粒子状 NO_3^- がフェルト深部まで入り込めなかったことを意味している。

今までの実験から、ACF フェルトを用いた板状スリット構造体では、 NO_x 浄化率はスリット長にそれほど関係しないことが分かっている（図 43(1)参照）。これらの事象と今回の NO_3^- 量の測定結果から、 NO_x 浄化に関与するのは、図 43(2)に示すように、主にフェルトのスリット入口部分、しかも、フェルトのごく表面の部分しか使われていないことが理解できる。このように、スリット内への汚染空気の流れや、 NO_x 浄化にかかわる部位は ACF フェルト平板では局在化するため、大部分の ACF は使われないまま、 NO_x の浄化活性が低下してしまう現象が確認できた。

c. 野外通風実験

板状スリット構造 ACF の小型ボックスを中央分離帯に設置し、2 ヶ月間、ボックスに風を送ることで風速と温湿度、 NO_x 浄化率の変化を測定した。その結果、 NO_2 の浄化率は温湿度に無関係に非常に高い数値を維持し続けた。一方、 NO の浄化率は測定開始後 1 ヶ月程後、緩やかに低下し始めた。 NO の浄化率低下の原因は、 NO よりも NO_2 が、スリットの入口付近に速やかに吸着し、 NO_3^- として蓄積していくことで、 NO が吸着するのに必要な有効表面積が小さくなっていった結果と結論できた。

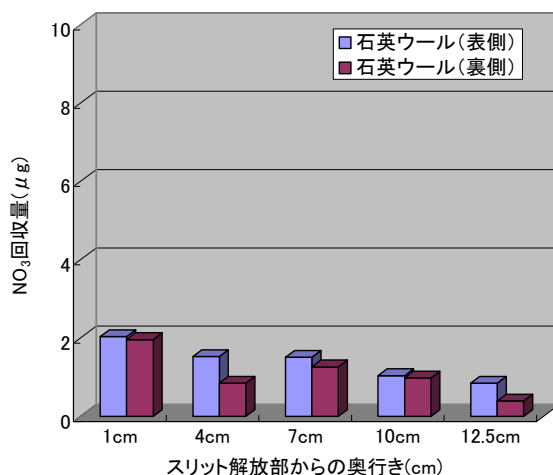


図 43(1) スリット構造体への風の流れ込み

図 43(2) スリット構造体への風の流れ込みと、
予測される ACF の NO_x 浄化部位

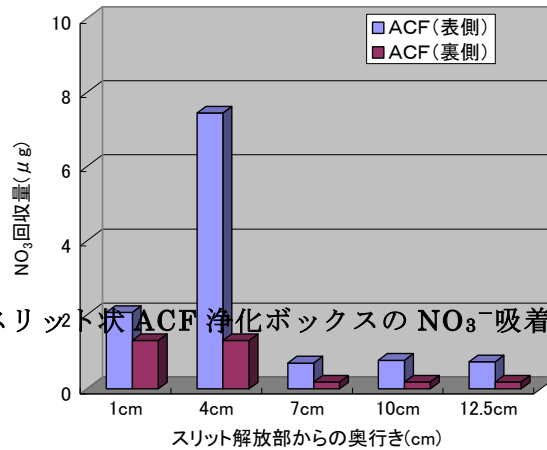
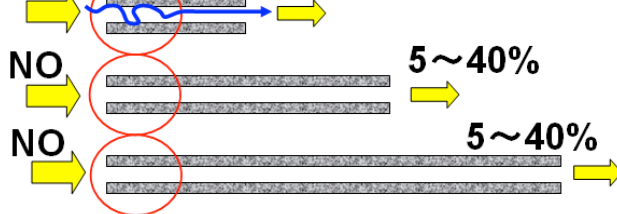


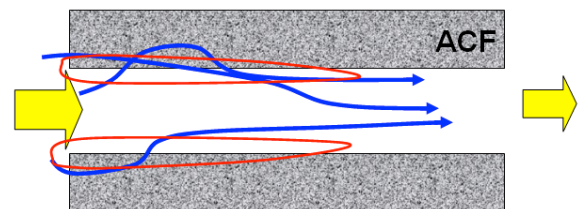
図 42 小型のスリット状 ACF 浄化ボックスの NO₃⁻ 吸着量

自然風の通過

スリット長 25cm 浄化率 5~40%



スリット長 25cm

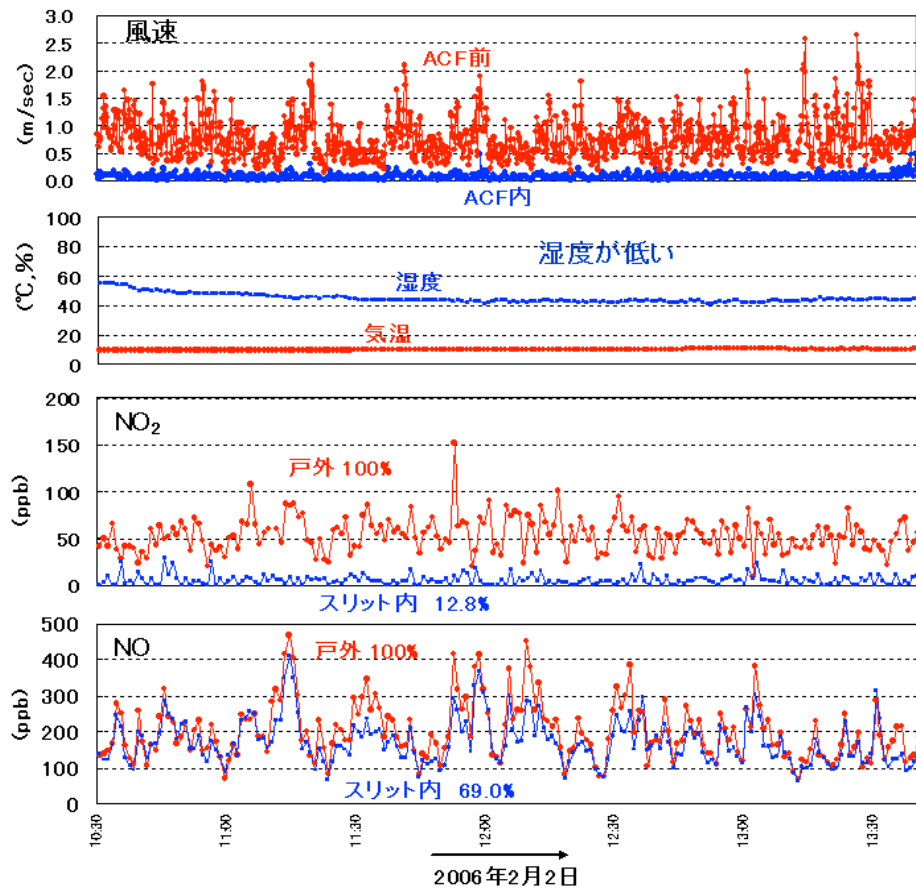


③-2 長期評価

1年半、大気浄化に使用してきたスリット幅1.5cm、スリット長100cmのACFスリットボックスを中央分離帯に設置し、通風試験を行った。スリットの空気の入口前方とスリット内の中心部分（50cm）の2箇所でそれぞれ風速、NO_x濃度を測定した（図44）。この期間、スリットボックスの入口に対して横から1m/sec前後の自然風が吹いていた。そのため、スリット内への汚染空気の流れ込みは弱く、浄化率はNO₂で87.2%、NOで31.0%であった。以上のように、1年半使用した板状スリット構造ACF（図37参照）であっても、依然としてNO_x浄化能力を維持していることが分かる。前述したように、スリット構造体では、NO_x浄化に関与する有効表面積は、かなり狭く、入口付近が主な領域と考えられる。そのため、このACFスリットではNO浄化に関与できる有効表面積がかなり小さくなってしまっているものと予測される。しかし、本結果のように、スリット内の通過風速が極端に遅い場合はNOの浄化能力を引き出すことができる。しかし、このようなスリット内の微風は実使用に耐える風速ではない。

数種類の小型のACFボックスを使った送風試験の結果、NO浄化率は温湿度の影響を受けやすいこと、汚染空気とACFの接触時間が長いほど向上すること、これに対して、NO₂の浄化率は温湿度の影響を殆ど受けないことが分かってきた。

図 44 板状スリット構造 ACF の NO_x 浄化効率



（浄化能力の改善技術の検討）

前述したように、“③－1 短期評価”の“c. 野外通風実験”では、板状スリット構造 ACF では、測定開始後 1 ヶ月程で、の NO 浄化率が緩やかに低下し始めた。そのため、この ACF 板を水道水で軽く洗った後、再度、通風実験を行った。その結果、ACF フェルトが半乾きの湿った状態でも、NO 浄化率は著しく回復した。このことは、ACF 浄化フェンスを道路沿道の降水のあたる場所に設置することで、降水による洗浄、再生（“その場再生”とよぶ）をもつ可能性が高いことを示唆している。

ACF を、自然風を利用した大気浄化材として使用する場合、通風性の高さ、大気汚染物質が滞留し難いという観点から、板状スリット構造やフェルトチップ状の ACF フェンスが最適と考えられる。特に、板状スリット構造では、ある程度の視界を確保できる利点もある。欠点は、NO 浄化能力が弱いことである。それに対しては、以下の図 45～図 47 の構造体を検討することで改善できるものと考えている。

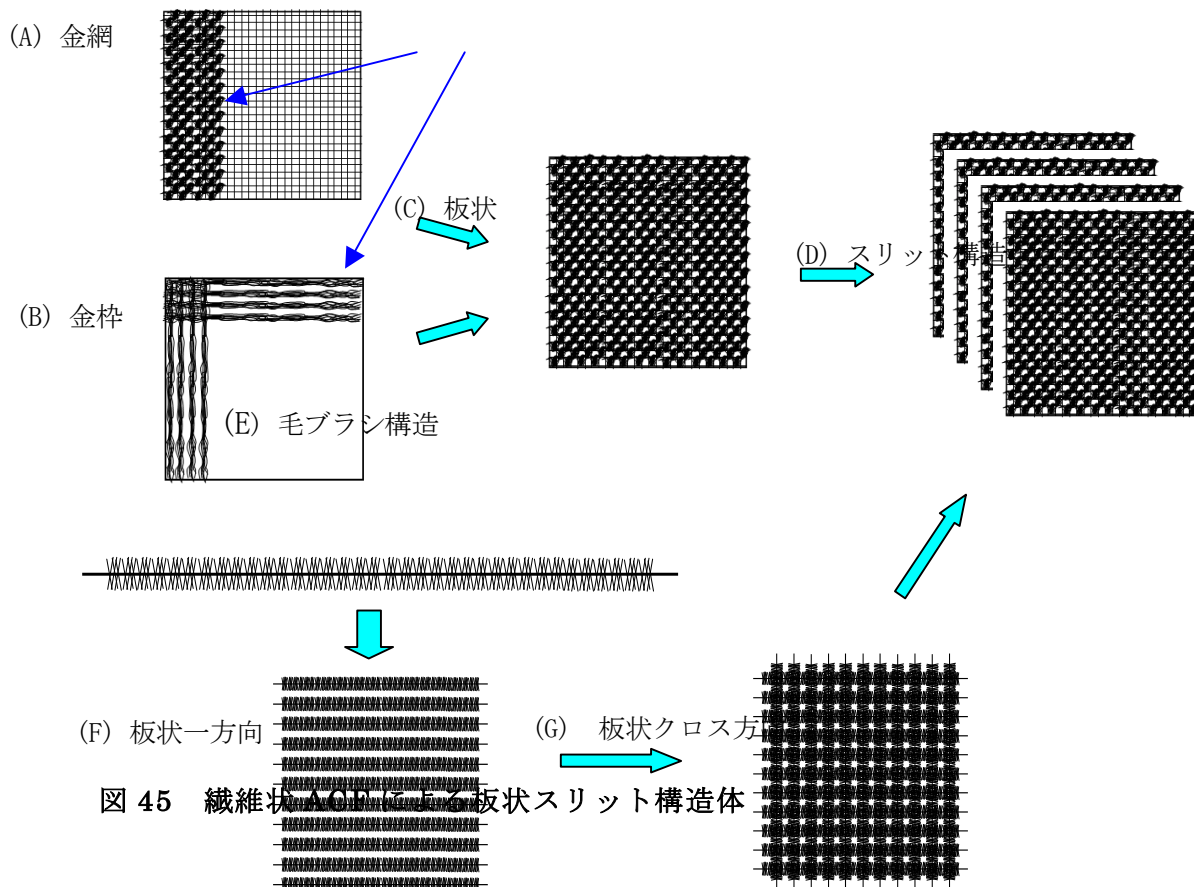


図 45 繊維状 ACF を用いた板状スリット構造体

例えば、金網(A)や金枠(B)に繊維状 ACF を編み込んでいくことで空隙率の高い ACF 平板を作成し(C)、スリット構造体(D)を作成する。あるいは、繊維状 ACF により、表面積の大きい毛ブラシ構造体(E)から、ACF 平板(F)あるいは平板(G)を作成し、スリット構造体(D)を作成する。この方式では NO_x 浄化に関わる有効表面積が大きく、風は ACF 平板内を通過しやすいため (図 46 参照)、局所的な NO_x 浄化能力の低下が起こり難い。あるいは、繊維状 ACF を円筒中空柱の金網に巻き付けた構造のフェンスにすることで、通風性がよく、充填した量の ACF を十分に活用することが可能となる (図 47)。“その場再生”の効果が期待できるような設置場所では、フェンスに使用する ACF 量は少なくすむ。また、通風性が高く、NO および NO_2 を高効率で同時浄化できる大気浄化材として、その活用が期待できる。

一方、降水の当たらない場所に設置する場合は、ACF 量を増やした設計が必要となる。その場合でも、本方式は、ACF 内を風が通過する方式に近似しているため、上述した繊維状 ACF の寿命計算により ACF 充填量を予測できるものと考えている。

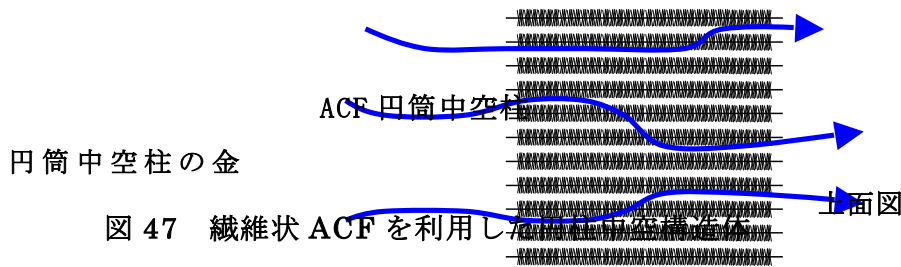
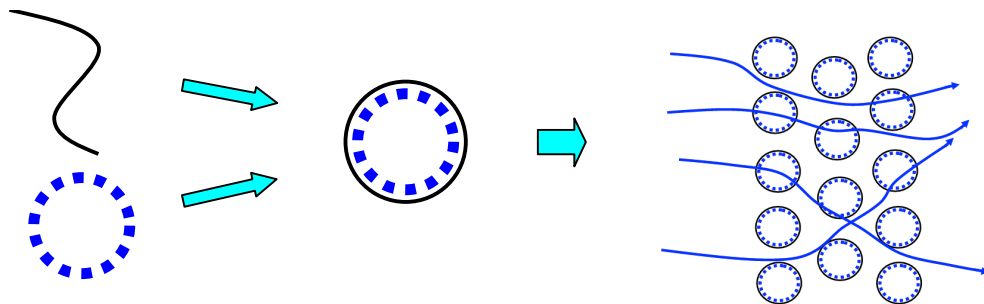


図 47 繊維状 ACF を利用した円筒中空柱の金



(3) 将来構想

— 道路周辺大気の広域的、効率的な浄化のために —

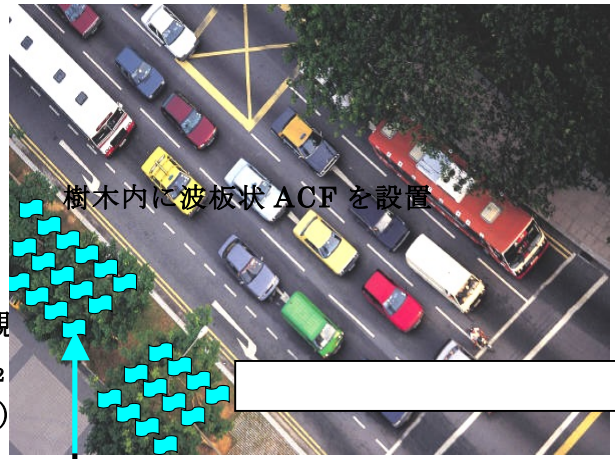
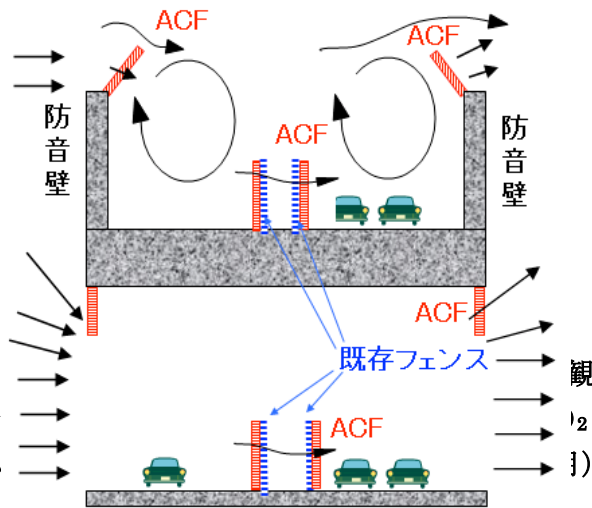
道路沿道の汚染空気を浄化する方法としては、以下に示す定点固定式が考えられる。

道路の両側の既存フェンス等に ACF を広い面積で装着することにより、広域的な大気浄化が可能になると考えている。防音壁の一部を ACF に代替える方法では、音の漏れの問題があるため、図 48 に示すような設置方式が検討できる。一般道路では美観に配慮し、樹木内に設置する方式も考えられる（図 49）。

これらの方式では何れも電気エネルギーが不要である。これら ACF 構造体は、降水のあたらない場所に設置する場合でも、ACF 量を調整することで 5 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。使用後の ACF については回収し、再活性化を行なう必要がある。一方、降水のあたる場所に設置する場合

その場再生の効果が期待できるため、かなり長期間のメンテナンスフリーが実現できるものと考えている。

図 48 道路
自然風を利
ACF)



【調査の成果】

1. 浄化装置の改良について

- ① SPM除去率は目標値80%以上を達成した。
- ② ACFを集じん面に貼り付けたタイプの浄化装置（ACF極板EP）では通風性が向上し、目標を達成した。
- ③ ACF極板EPでは、液膜EP単体と同等の通風性を確保しつつNO₂除去率を向上させることができた。

表 6 浄化装置の改良まとめ

項目	開発目標		装置出口側に NO _x 吸着部を付加	通風性を犠牲にせず、 NO ₂ 増加量を抑制する改良
	NO ₂ 重点除去	NO _x 総量除去	液膜EP+ ハニカム	ACF極板EP（2段）
SPM除去率	80%以上		80%以上	80%以上
NO ₂ 除去率	80%以上	0%以上	約50%	入口<出口
NO _x 除去率	20%以上	50%以上	ほぼ0%	8%
通風性	0.7以上		0.5	1.0

2. ACF フェンスの設置効果確認について

① 中央分離帯におけるACFフェンス、測定機器の設置

中央分離帯にACF形状、充填密度の異なったフェンスを設置し、測定機器を設置し、長期的な測定を開始した。

② 最適な窒素酸化物浄化能をもつACF形状、サイズの検討

ACFを組み込んだ数種類の小型ボックスを試作し、中央分離帯に設置した。自然風あるいはファンの風を送り、風速とNO_x浄化率の関係について検討した。その結果、以下のことが分かった。

繊維状ACF（3cm厚み、充填密度0.050g/cm ³ ）	通過風速 2～4%
（6cm厚み、充填密度0.050g/cm ³ ）	通過風速 1%
フェルトチップ状ACF（14cm厚み、充填密度0.024g/cm ³ ）	通過風速 20～25%
板状スリット構造ACF	通過風速 40～50%

繊維状、チップ状、板状スリット構造は何れも、通過風速が同程度の速さなら、NO_x浄化率に大きな差は認められない。例えば、0.5～2m/secの自然風に対して、NOでは5～40%、NO₂では50～95%の浄化率が確認できた。しかし、3～5m/secの速い風速になるとNO_x浄化率が低下した。特に、NO浄化率は通過風速が速いほど著しく低下した。

ACFではNO₂の浄化率は非常に高く、NO浄化率が低かった。これは、NO₂はNOに比べて、

物質表面（特に、保湿表面）に対する吸着力が非常に強いことに起因している。そして、 NO_2 の浄化は主に強い吸着反応である。一方、 NO の浄化は、 NO_2 と同様にACF表面への NO の吸着から始まる。この時、 NO の吸着は、大気水分の吸着と競争的かつ大気水分の吸着が優位に進むと考えられている。そのため、湿度上昇に伴い NO 吸着は阻害されることになる。この時、 NO の吸着を促進するには、 NO を含む汚染空気とACFの間の接触時間を十分長くとる必要がある。その後、ACF表面に吸着した NO は、空気中の酸素により、ACF上で次第に NO_2 へ酸化されていく。この NO 酸化は反応律速となる。

③ ACFフェンスの浄化寿命の予測

NO_x はACFの表面風ではなく、主にACF内部を通過する風により浄化されることが分かった。そのため、繊維状ACFフェンスの NO_x 浄化寿命は、①周辺 NO_x 濃度、②フェンスを通過する風速、③ NO_x 浄化率、④フェンスを構成するACF重量、により計算できることが分かった。一方、板状スリット構造フェンスは NO_x 浄化にかかわる部位が局在化するため、寿命予測は複雑であることが分かった。

【今後の展望】

1. 浄化装置の改良について

① NO_x吸着剤の除去率および通風性の改善

ACFフェンスフィールド実験結果を踏まえ、スリット形状を改善する。

② SPM除去装置の更なる改善

集じん極板にACFを貼り付けるなど、SPM除去装置自身でもNO_xを除去できる構造に改良する。

③ 商品化に向けた、より安全性の高い高圧電源の開発

低コスト化を目指すと共に、感電時の安全性を考慮し高圧電源1台あたりの出力が小さい電源を開発する。小型・分散型の電源を考案中。

④ 低コスト化の追求

浄化装置の構造、材質の検討を行い、イニシャルおよびランニングコストの低い装置の開発を行う。

2. ACF フェンスの設置効果確認について

NO_x浄化効率が高く通風性が悪いACF形状と、NO_x浄化効率が低くても通風性のよいACF形状では、NO_xの浄化総量は同程度と推測できる。しかし、繊維状ACFのように通風性が悪いフェンスでは、大気汚染物質が滞留しやすい。これに対して、板状スリット構造では通風性を確保できる。そのため、高い通風性を必要とする粉じん浄化装置等との併用は利点大きい。一方、ACFフェンスを単独で道路沿道に設置する場合でも、板状スリット構造では視界を妨げ難い。今後は、板状スリット構造を基本に、接触面積を大きくできる構造体を検討し、高い通風性とNO_x浄化率の実現を目指していく。

① 通風性が高く、NO_x浄化能力の高いACF構造体の提案と実証

② その場再生の効果の検証

③ 長期的なNO_x浄化能の観測（気象、粉じん等の影響）

3. 浄化装置・ACFフェンス併設の効果について

今年度は浄化装置とACFフェンスの調査研究を各々単独で行っていたが、将来的に浄化装置とACFフェンスを道路沿道に併設することを想定し、併設によるSPM、NO_xの同時除去効果をシミュレーション等により検証する。

