

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研究

松下エコシステムズ 株式会社

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（NOx）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。

【調査の概要】

本研究の実施にあたり、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事とした。

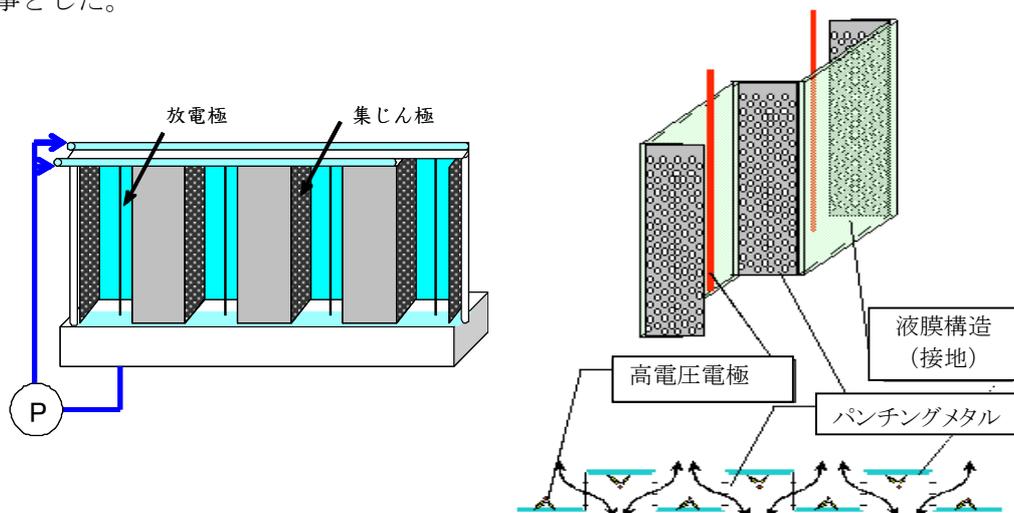


図1 自然通風式沿道大気浄化装置の概念図

1. 平成 16 年度までの調査研究について

平成 16 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。

(1) 平成 14 年度

沿道大気浄化装置の試作、性能評価試験。

(2) 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。

(3) 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 16 年度までの代表的な調査内容と成果の概要を表 1 に示す。

表 1 平成 16 年度までの代表的な調査内容と成果の概要

平成 15 年度の調査内容と成果の概要	
試作の沿道大気浄化装置の改良及び評価試験	<p>1. 試作浄化装置の性能向上</p> <p>①改良型浄化装置を用いて、風速約 1m/s の条件において、SPM 除去率約 80%を確認できた。</p> <p>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。</p> <p>2. 試作浄化装置性能のフィールドにおける評価試験</p> <p>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けていることが確認できた。</p> <p>②風速約 1m/s の自然通風条件において、SPM 除去率 70%以上を確認できた。</p> <p>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。</p> <p>④ナノ粒子に対しても 50~80%以上の集じん効率が得られていることを確認できた。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
平成 16 年度の調査内容と成果の概要	
(1) 課題点の改善	<p>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。</p> <p>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両・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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>

(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除去率は、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NO ₂ 除去効果は持続し、装置から流出するNO ₂ 濃度を流入濃度以下に抑えていることを確認できた。

2. 平成17年度以降の調査研究概要

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、浄化装置の前後で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NO₂については、電気集じん機の原理上発生するオゾン(O₃)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着剤を追加した。この場合、浄化装置から流出するNO₂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、平成17年度以降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2参照)。

平成17年度の代表的な調査内容と成果の概要を表2に示す。

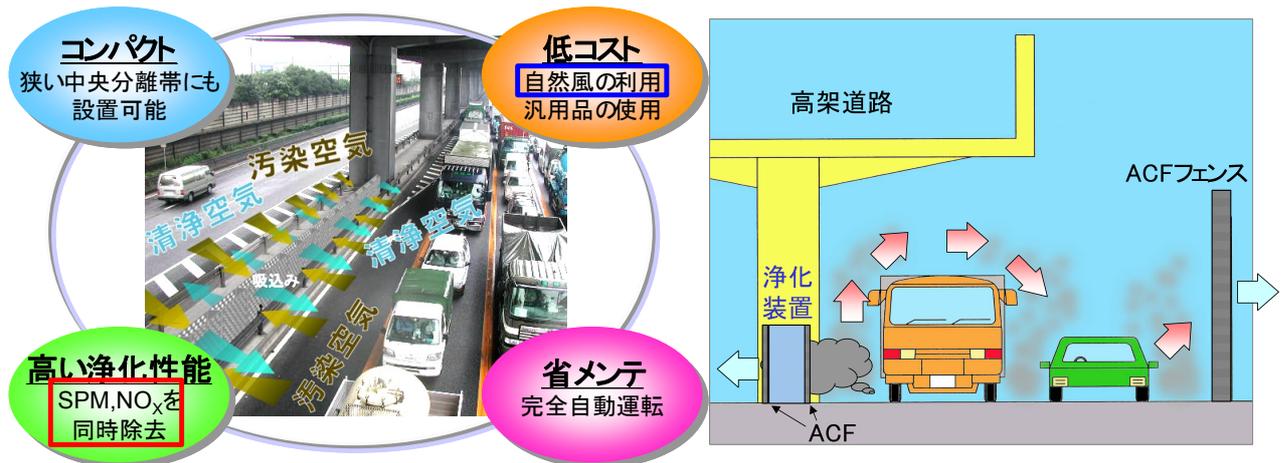


図2 浄化装置とACFフェンス併設のイメージ

表2 平成17年度の代表的な調査内容と成果の概要

平成17年度の調査内容と成果の概要		
(1)	浄化装置の改良について	①SPM除去率は目標値80%以上を確認した。 ②ACFを集じん面に貼り付けたタイプの浄化装置では、高い通風性を確保しつつNO ₂ 除去率を改善できた。ただし、装置単体では出口NO ₂ 濃度を入口濃度以下に抑えることができなかった。
(2)	ACFフェンスの設置効果について	①ACFを組み込んだ数種類の小型ボックスを中央分離帯に設置し、通過風速とNO _x 除去率の関係を確認した。その結果、0.5~2m/sの自然風に対して、50~90%のNO ₂ 除去率が確認できた。 ②ACFフェンスの浄化寿命を予測した結果、板状スリット構造フェンスはNO _x 浄化に関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。

3. 平成18年度の調査研究概要

平成17年度の調査研究においては、浄化装置としてはSPM除去率80%以上を達成できたものの、NO₂およびNO_x除去率は目標を達成することができなかった。装置出口側にNO_x吸着剤を付加した場合、約50%のNO₂除去率が得られたが、通風性を大きく犠牲にすることとなり、通風性の改善とNO_x除去性能の向上が課題となった。

一方、ACFフェンス設置効果の確認試験では、0.5~2.0m/sの自然風に対して、50~95%のNO₂除去率が得られ、通風性は板状スリット構造（奥行き250mm）が最も高く、最大50%の風が通過することを確認できた。しかしながら、浄化装置に適用するACFには高い通風性と高いNO_x除去性能を両立し、さらにコンパクトな形状に設計する必要がある。また、昨年度使用したPAN系ACFは価格が高く、低価格を目指した浄化装置に採用するためにはACF自体のコストダウンも必要である。

よって、今年度は更なる性能向上を目指すと共に、実フィールドでの基本性能評価、浄化装置・ACF併設の環境改善効果シミュレーションを実施した。

(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ヵ年計画の2年目であり、浄化装置の改良、環境改善効果シミュレーション、基本性能評価フィールドテストについては松下エコシステムズが担当し、ACFフェンスの設置効果確認および浄化装置に組み込むACFの検討については福岡県保健環境研究所が担当して実施した。

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	■		
ACF フェンス及び浄化装置に組み込む ACF の検討		■	
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) 浄化装置の改良および基本性能評価フィールドテスト

浄化装置に ACF を付加することで NOx 除去性能の向上を図った。付加する ACF の形状を検討し、通風性確保と NOx 除去性能向上の両立を目指した。今年度の開発目標を表4に示す。

また、基本性能評価フィールドテストでは、川崎市の産業道路中央分離帯に試作浄化装置を設置し、実フィールドでの基本性能の確認を実施した。

表4 浄化装置開発目標

項目	SPM 除去部単独	NOx 除去部単独	トータルの目標
SPM 除去率	80%以上	—	80%以上
NO ₂ 除去率	出口濃度は 入口の2倍程度	50%以上	50%以上
NOx 除去率	10%以上	—	30%以上
通風性	0.95 以上	0.9 以上	0.8 以上
奥行寸法	200mm 以内	200mm 以内	600mm 以内

(注) 測定条件：風速 1.0m/s、NO 濃度 0.4ppm、NO₂ 濃度 0.1ppm、NOx 濃度 0.5ppm

(3) ACF フェンスおよび浄化装置に組み込む ACF について

これまで使用してきた PAN 系 ACF と比べて、安定して供給可能かつ安価な石炭ピッチ系 ACF の中から NOx 除去率の高い ACF への変更を検討した。また、浄化装置の NOx 除去部として高い NOx 除去率と通風性を持つ ACF スリットの構造体について検討した。

(4) 浄化装置・ACF 併設の環境改善効果シミュレーション

川崎市川崎区池上町をモデルに、浄化装置および ACF フェンスを併設することを仮定し、周辺環境の改善効果をシミュレーションにより検証した。

【調査の方法および結果】

1. 浄化装置の改良および基本性能評価フィールドテスト

(1) 浄化装置の改良結果（ラボ実験）

SPM 除去部および NO_x 除去部の改良結果について表 5、表 6 に示す。SPM 除去部についてはわずかに目標未達ではあるが、前年度と比べると目標に大きく近づいた。NO_x 除去部については単独での実験でほぼ目標を達成することができた。

実際の浄化装置の形状と同じように SPM 除去部の入口・出口に NO_x 除去部を付加した場合、これらの結果から浄化装置トータルの性能は表 7 と予測でき、フィールドテストでの試作浄化装置にこのパターンを採用した。

表 5 SPM 除去部の改良 ラボ実験結果

	平成 17 年度の結果	平成 18 年度	
		目標	結果
SPM 除去率	64%	80%以上	79%
NO ₂ 除去率	入口濃度の 1.4 倍	入口濃度の 2 倍	入口濃度の 1.5 倍
NO _x 除去率	0%	10%以上	ほぼ 0%
通風性	ほぼ 1.0	0.95 以上 (目標)	ほぼ 1.0
奥行寸法	180mm	200mm 以内	180mm
極板間隔	19mm	—	15mm
集じん面に張付ける ACF の厚さ	7mm (フェルト状)	—	2mm (フェルト状)

表 6 NO_x 除去部の改良 実験結果 (福岡県担当)

	平成 17 年度の結果 (松下社内実験)	平成 18 年度	
		目標	結果
NO ₂ 除去率	10%	50%以上	約 50%
通風性	0.4	0.9 以上	約 0.9
奥行寸法	200mm	200mm 以内	200mm
ACF 種類	PAN 系	—	ピッチ系
ACF 厚さ	7mm	—	2mm
スリット間隔	15mm	—	10mm

表7 SPM 除去部と NOx 除去部を組み合わせたトータルの浄化性能

項目	目標	実験結果からの予測
SPM 除去率	80%以上	79%
NO ₂ 除去率	50%以上	62%
NOx 除去率	30%以上	18%
通風性	0.8 以上	0.8
奥行寸法	600mm 以内	580mm

(2) 基本性能評価フィールドテストの概要

フィールド試験は川崎市川崎区池上町 1 番地先中央分離帯内で実施した (図 3 参照)。評価項目は、①通風性評価、②各種成分除去性能評価、③捕集量評価 の 3 項目とした。

試作した浄化装置を図 4 に示す。浄化装置は 3 セット製作し、図 3 右のように現地に設置した (上段中央、上段右側、下段中央の 3 ヶ所。残りはダミー)。下段の 1 台を通風性評価用および各種成分除去性能評価用とし、上段の 2 台を捕集量評価用とした。

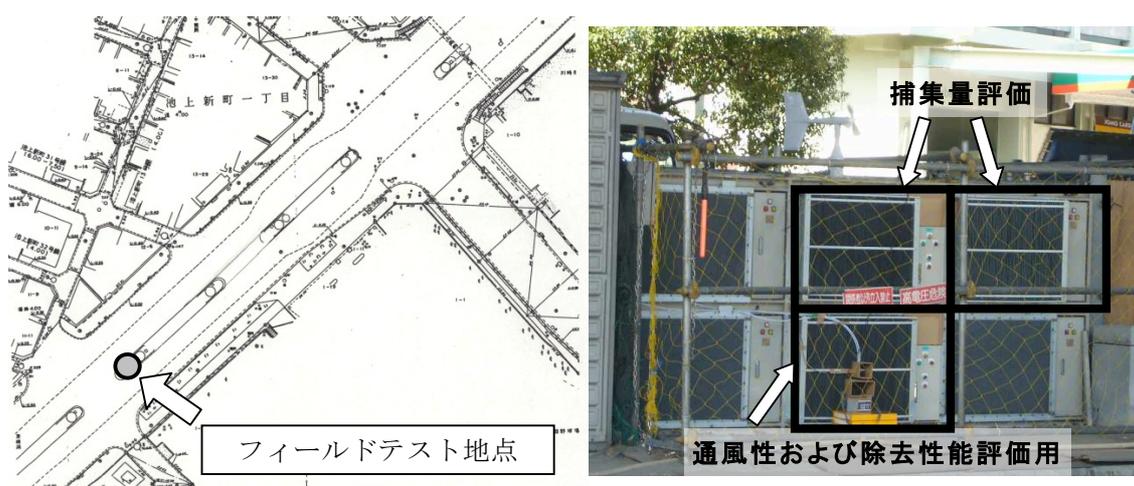


図 3 フィールドテスト実施地点および現地写真

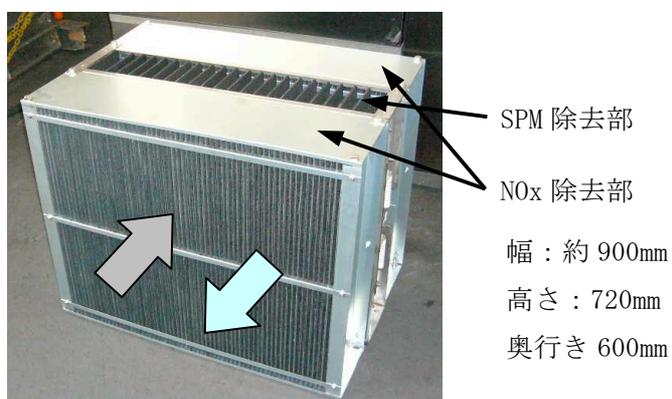


図 4 フィールドテスト用浄化装置

(3) フィールドテスト結果

① 通風性評価

浄化装置内部と浄化装置周囲の風速を同時に測定し、その比率から通風性を算出した。測定ポイントは図5に示す3ヶ所で、それぞれ浄化装置の角度を変えて測定した。浄化装置の設置角度は、車道に対して直角、平行、45°の3パターンとした。

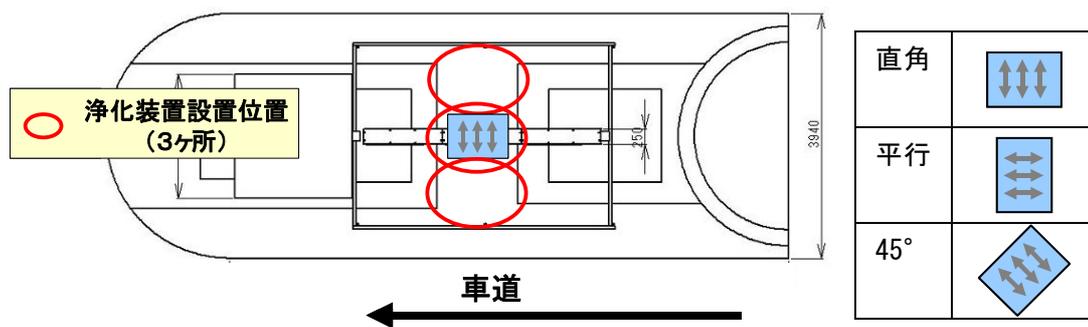


図5 通風性評価 測定ポイント

測定結果の代表例を図6に示す。左のグラフは浄化装置の設置角度を変えた場合である。浄化装置を車道と同じ方向（平行）に設置した時と比較すると、角度を持たせることによって若干通風性が良くなることが確認できた。また、浄化装置を設置する位置による違い（図6右）に明確な傾向は見受けられなかった。いずれのグラフも風速 0.5m/s 以下の通風性が急に高くなっているが、周囲風速を測定した計測器の低風速時の精度が低いためと考えられる。

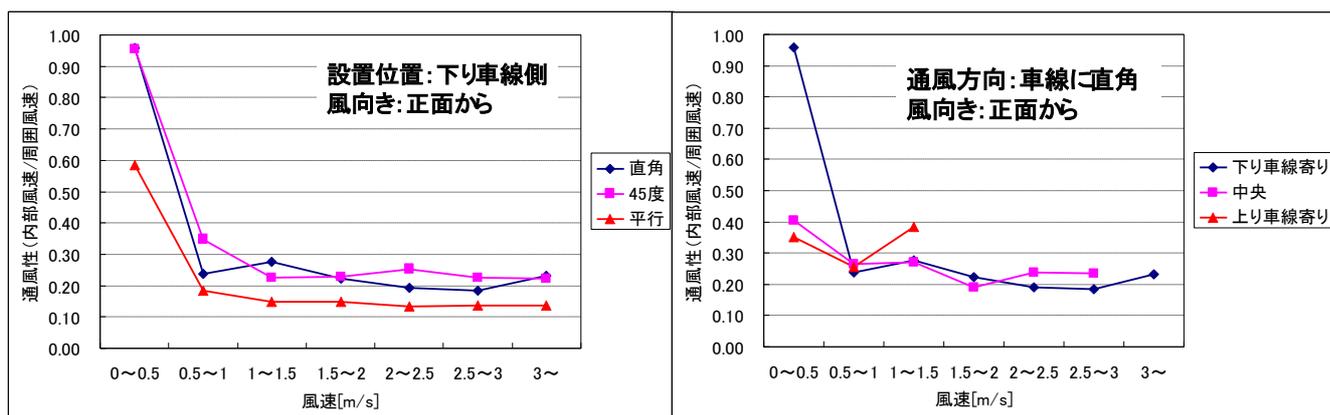


図6 通風性測定結果

② 各種成分除去性能評価

浄化装置前後のSPM濃度、NOx濃度、O₃濃度、風速および周囲風速を同時に測定し、SPM・NOx除去率を算出した。以下に代表的な測定結果を示す。

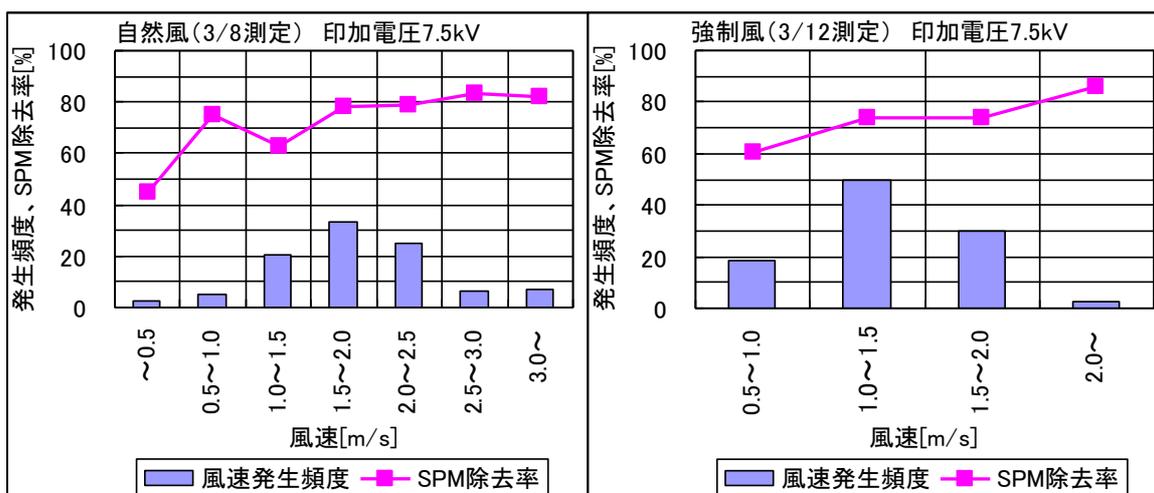


図7 SPM除去率

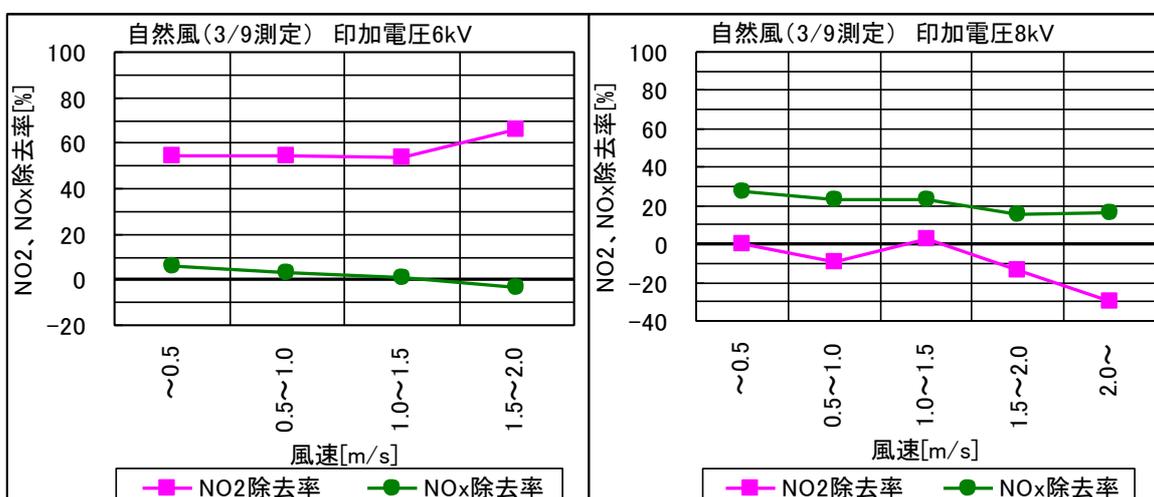


図8 NO_x除去率

図7は風速毎のSPM除去率である。当初の設計どおり、概ね80%のSPM除去率が確認できた。低風速時のSPM除去率の低下は逆風の影響を受けているためであると思われる。一方、NO_x除去性能に関しては図8に示すとおり、印加電圧が6kVでNO₂除去率は目標の50%以上を達成したが、このときのSPM除去率は40%程度だった。印加電圧8kVではSPM除去率は80%以上達成でき、NO_x除去率も20%程度まで向上したが、NO₂除去率は目標を達成できなかった。

③ 捕集量評価

フィールドテスト終了後、SPM除去部の集じん面およびNO_x除去部のACFを超音波洗浄器で洗浄し、洗浄水中の浮遊物質や硝酸イオン等の各種成分分析を行った。分析は、フィールドテスト期間中、常時運転（高圧印加）した浄化装置と常時停止（高圧印加なし）したものからサンプルを抜き取り、両者の比較を行った。（現在分析中）

2. ACF フェンスおよび浄化装置に組み込む ACF について（福岡県保健環境研究所担当）

(1) ACF 種の変更の検討（PAN 系からピッチ系へ）

これまでに数多くの ACF 種に対して NO_x の浄化能力を試験した。選択した ACF 種は PAN（ポリアクリロニトリル）系の T300、FE300、FE200H および石炭ピッチ系の OG20A、DA15 等であった。これら ACF に対して焼成温度を検討することにより、NO₂ 浄化率が高く、その浄化寿命が長い ACF を調製してきた。その結果、調整した ACF は低湿度から高湿度の何れの大気湿度状況下であっても、NO₂ に対して非常に高い浄化能力をもっていた。特に、PAN 系の T300-H800、FE300-H800、FE200H-H800（注：“H800” は、不活性ガス中、800℃ で 1 時間焼成済みの意味）は、ピッチ系の OG20A、DA15 よりも NO に対する高い浄化能力をもっていた。しかし、PAN 系 ACF を野外フェンスとして利用する場合、NO に対する大気湿度の妨害が大きかった。特に、RH（相対湿度）が 40 % を超える大気状況下では NO 浄化能力が急激に低下し始めることが明らかとなった。この時、湿度妨害に対しては、NO が接触する ACF の有効表面積を増やすことで対処できることも分かってきた。しかし、実際に、ACF を野外フェンスとして利用し、自然風の通過により NO_x を浄化する構造体としては、高い通風性が要求され、厚みにも制限があった。そのため、フェンス厚み（スリット構造体の場合、スリット長）は最長でも 20～25cm が妥当と考えた。

PAN 系 ACF からピッチ系 ACF への変更を検討したのは、近年、PAN 系 ACF が国内外において補強材としての需要が大きく、価格が高く、安定な供給が難しい現状にあったためである。また、NO に対する浄化能力の向上も必須であった。そのため、PAN 系とピッチ系の ACF について、その NO 浄化能力と温湿度との関係、それぞれの元素組成を比較することで、耐湿性が高く、NO に対して酸化力が強い ACF 種の再選択を行った。その結果、酸化力は、ACF 内部の窒素原子（N）や酸素原子（O）で構成されるヘテロ環が作用していることが明らかとなった。ピッチ系 ACF の中で最適な元素組成をもつ繊維種を探し、焼成温度を検討し、PAN 系 ACF よりも大気湿度に強く、NO に対する酸化能力に優れた ACF を模索した。

選択した焼成済みのピッチ系 ACF（SY-H800）および今まで使用してきた PAN 系 ACF（FE200H-H800）のそれぞれ 0.300 g を内径 0.8 cm のガラス管内に 4.5 cm 長さで充填し（図 9）、恒温槽内に入れた。固定床流動反応装置（図 10）により、RH 0% のもと 20ppm の標準 NO ガスあるいは標準 NO₂ ガスに酸素ガスを混合（酸素濃度 21%）し、混合ガスを 300 ml/分で ACF 内に通気させた。一方、野外実験としては、PAN 系 ACF、ピッチ系 ACF を用いたユニットを作成し、テフロン舎内で通風性試験を実施し、NO_x 浄化能力を評価した。

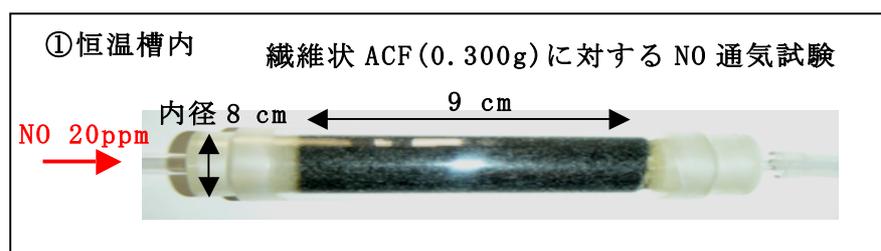
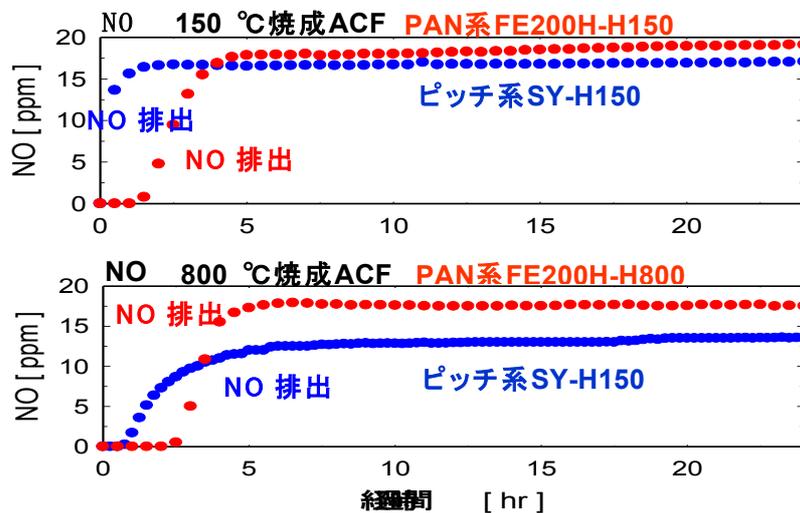


図 9 ACF (0.300g) に対する標準 NO ガス (20ppm) の通気試験 (RH 0%、300ml/分)



図 10 固定床流通反応装

ACF を不活性ガス中に入れ、150℃-1 時間焼成、800℃-1 時間の焼成を行った。焼成後、各々、その 0.30 g を内径 0.8cm のガラス管内に詰め、20ppm の標準 NO ガスあるいは NO₂ ガスを通気させた (RH 0%、酸素 21%、ガス流量 300ml/分)。その結果を図 11、図 12 に示す。



図中、“H150”：150 °C-1 時間焼成，“H800”：800 °C-1 時間焼成
 図 11 PAN 系 ACF およびピッチ系 ACF に対する標準 NO ガスの吸着曲線

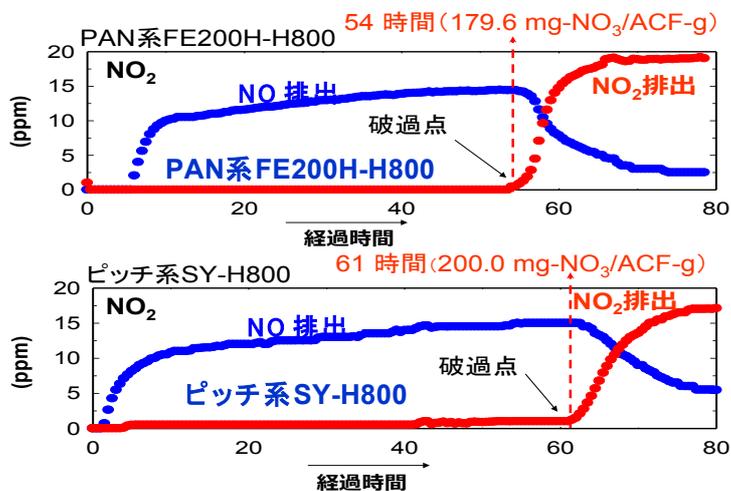


図 12 PAN 系 ACF およびピッチ系 ACF の標準 NO₂ ガスに対する吸着曲線

NO ガスの通気試験：図 11 に示すように、150°C-1 時間あるいは 800°C-1 時間で焼成後の PAN 系およびピッチ系 ACF に、それぞれ NO ガスを通気させた。その結果、PAN 系では通気開始直後に 2 時間程、完全脱硝時間 (NO, NO₂ の何れも排出しない時間) が観察されている (図 11)。これに対して、ピッチ系では完全脱硝時間は観察されなかった。しかし、その後、時間経過と共に、PAN 系、ピッチ系共に ACF から NO の排出が観察されている。NO 排出が定常状態の時、ピッチ系の方が PAN 系よりも NO 排出が少ないことが分かる。また、ピッチ系では、通気から 25 時間後、約 13 ppb の NO を排出し、7ppb 程度が捕捉され続けている。両者のこの浄化能力の差は、800°C-1 時間焼成ではさらに明確となる。

NO₂ ガスの通気試験：800°C-1 時間焼成後の PAN 系およびピッチ系 ACF に、それぞれ NO₂ ガスを通気させた。その結果、PAN 系では完全脱硝時間が観察され、ピッチ系では速やかに NO を排出している (図 12)。PAN 系では通気開始から 54 時間目に NO₂ の排出 (破過開始) が認められた。ピッチ系では 61 時間に認められ、PAN 系よりも NO₂ の浄化寿命が長かった。その後、何れも NO の排出が観察されている。NO の排出は、ACF 内を通過する二分子 NO₂ ガスのうち一分子が、ACF-NO₃⁻として捕捉され、残り一分子の NO ガスが放出された結果である (NO₂ の“不均化反応”)。

以上のように、NO、NO₂ の浄化能力は、今まで使用してきた PAN 系 FE200H-H800 よりも、新しいピッチ系 SY-H800 の方が優れていた。我々は、ACF の NO_x 浄化寿命の計算には破過開始時間を用いている。しかし、破過開始後も ACF は NO_x 浄化能力をもっているため、実際の寿命はさらに長いことになる。NO 浄化能力が ACF の有効接触表面積に依存するのは、NO が NO₂ に酸化される過程が反応律速となるためである。本実験では、ピッチ系 ACF を 0.30g 充填しており有効接触表面積が小さい。しかし、ACF の充填量をさらに増やし、NO ガスと ACF との有効接触表面積を増やすことで、定常状態時の NO の排出は殆どなくなり長時間の完全脱硝が実現できることはすでに実証済みである。

(2) 通風性を重視した板状スリット構造体の検討

ACF ユニットの作成と通風性試験

高い NO_x 浄化能力と、さらに高い通風性をもつ ACF スリットの構造体について検討するため、板厚とスリット幅を可変できる小型ユニット (図 13(1)、(2)) を作成した。

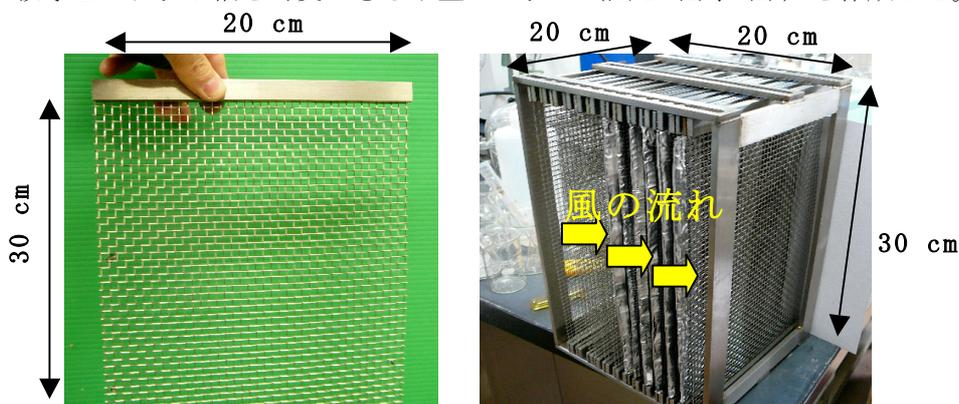


図 13(1) スリット用金網 図 13(2) 板状スリット構造 ACF ボックス
(金網 2 枚により ACF を挟み込み、板厚を調整、スリット幅は可変タイプ)

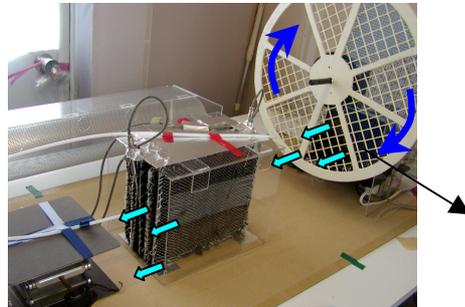
送風
電気ファン

ACF ボックス

通過

図 14 間風速変化による ACF 板厚が調整で通風性と NOx 浄化率の実験

繊維状 ACF あるいはフェルト状 ACF は、スリット用金網ともう一枚の同サイズの金網の間に設置し、スリット幅を調整して通風性を調整する。今回は板厚を 0.2cm に固定して、スリット幅を 0.8~1.5cm の任意幅に調整、固定した。ACF ユニットのテフロン舎内の実験台にセットし、微風速測定用の熱線風速計と NOx 測定用の採気口を固定した。その後、一定時間毎に風速を変化させながら ACF ユニットの NOx 浄化率と通過風速をリアルタイムで測定した (図 14)。通風性の基本的な特性評価には、ユニットに対して真正面から層流の風を送れるシロッコファンが適している。しかし、シロッコファンでは送風できる風の幅が狭いという欠点をもつ。一方、電気ファンからの風は乱流となりやすい。また、ファンの中心部の風速が弱いという欠点をもつ。しかし、自然風は概ね乱流である。そのため、電気ファンからの送風がより自然風に近いと考え、今回は電気ファンを用いて測定した。



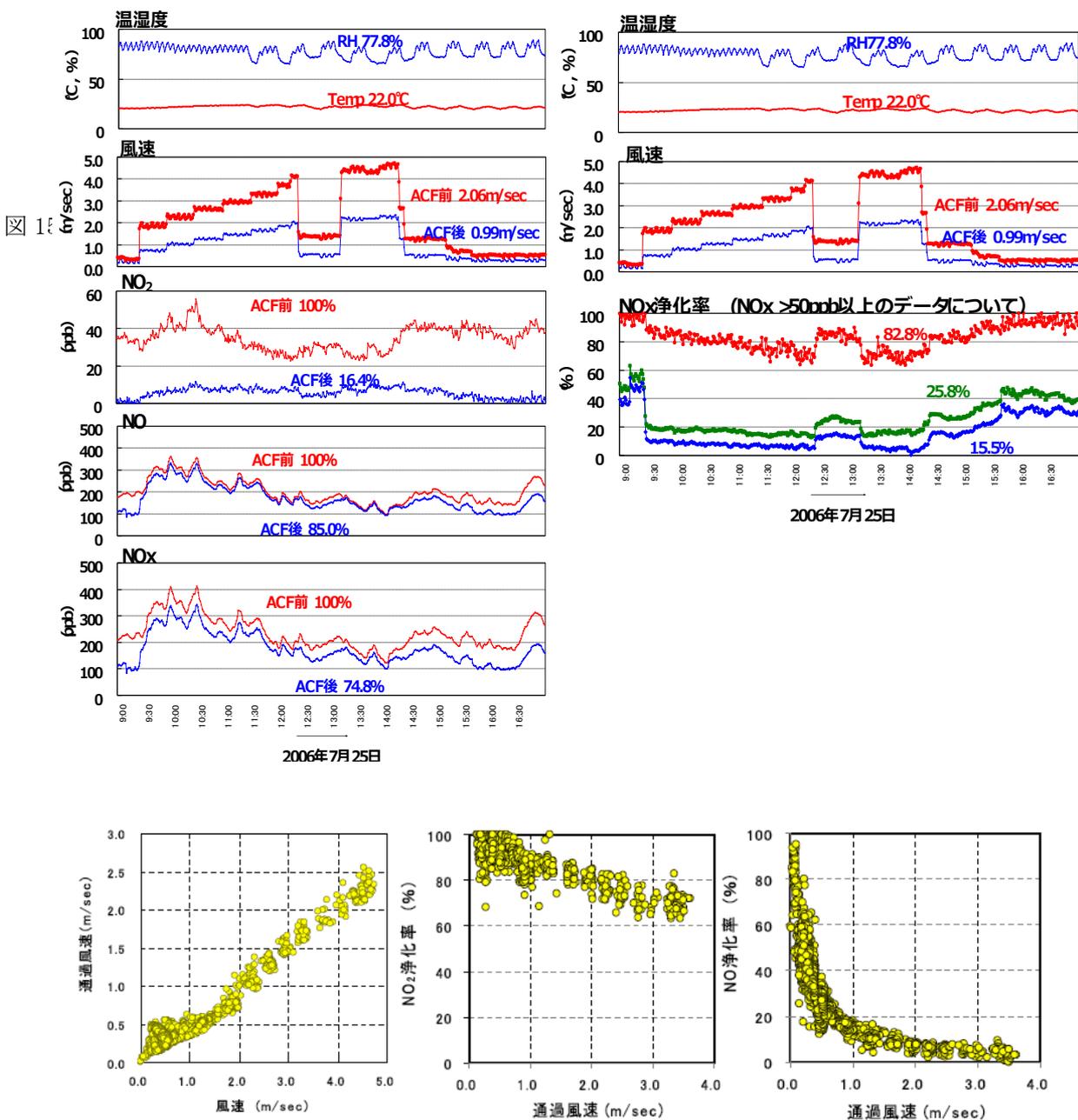
通風性試験結果

PAN 系 FE200H-H800 で厚み 1.5cm の ACF 板を作成した。スリット長 (板長) は 65 cm とした。スリット幅 (各 ACF 板の間隔) を 1.5cm に調整した ACF ユニットのテフロン舎内にセットした。ユニットにファン送風を行なった結果を図 15(1) に示す。測定時間の平均 RH は 77.8% と高く、気温 (Temp) は 22.0°C であった。ファンからの平均風速 2.06m/sec に対して、ACF ユニットの通過風速は 48% の 0.99m/sec であった。この時、NO₂、NO、NOx の各浄化率は、83.6%、15.0%、25.2% となった (図中の “ACF 後” の “16.4%”、“85.0%”、“74.8%” 参照)。通過風速が遅いほど、NO₂、特に、NO の浄化率が上昇していることが分かる (図 15(1))。

ファン風速と ACF ユニットの通過風速との関係を図 15(2) に示す。繊維状の ACF ユニットの場合同様、板状スリット構造体では、ファンからの風速 1m/sec 以上の時、風速と通過風速との関係はほぼ直線関係にある。しかし、ファンからの風速 1m/sec 以下では、ユニット面の抵抗により通風性が悪いことが分かる。

NO₂ 浄化率あるいは NO の浄化率と通過風速との関係を図 15(3)、図 15(4) に示す。通過風速が速いほど、NO₂ 浄化率は徐々に低下した。本来、NO₂ は ACF との接触により瞬時に捕捉されるため、NO₂ の浄化能力は温湿度、通過風速の影響を受け難い。例えば、通過風速が 2m/sec と速い場合でも、NO₂ と ACF が接触すれば、速やかに ACF に捕捉される。しかし、

スリット幅は 1.5 cm と広い為、通過風速が速いほど汚染空気の一部は ACF と接触せず
 にそのまま通過することになる。この解決には、ACF の板面を粗面にしてスリット内の空
 気流れを乱流にする。また、粗面にすることで表面積が拡大するスリットもある。あるい
 はスリット幅を狭くすることで汚染空気と ACF との接触確率を上げる方法も考えられる。
 一方、NO 浄化率は通過風速が速くなると急激に低下した (図 15(4))。NO の浄化能力は、
 主に、RH と通過風速の両方の影響を受けやすい。特に、RH が約 40%以上では NO の浄化率
 が極端に下がってくる。この原因として、RH40%以上では、空気中の水分子が ACF の微細
 孔内に侵入してくるためと考えられている。



スリット幅 15 mm

板厚2mm

新ピッチ系ACF

スリット幅 10-11 mm

板厚2mm

新ピッチ系ACF

20 cm

20 cm

板状スリット構造, ピッチ系 SY-H800, スリット長フェルト状, ピッチ系 SY-H800, スリット長

スリット幅 1.5 cm, 汚染空気中の NO_x 成分 RH と水分を ACF 幅表面に対して競合吸着する。RH 低濃度 NO の空气中の分子数は、水分子数のそれよりも圧倒的に少ない。そのため、相対湿度の上昇により水分子の吸着妨害を受け、ACF に捕捉される NO の吸着サイト数が減少する。ACF に捕捉された後の NO は、ACF 上で緩やかに NO₂ に酸化される。この酸化過程が反応律速となる。NO₂ に酸化されることで NO の活性サイトを明け渡すと考えられている。すなわち、NO 浄化率の向上には、現行の ACF よりも疎水性の高い ACF を選択すること、スリット長を長くして、汚染空気との有効接触表面積を大きく設計することで解決できる。当然、RH が 40%以下と低い場合、有効接触表面積が小さくても NO 浄化率は向上することになる。そのため、高湿度になるほど、NO の浄化に対しては、ACF と空気の接触時間を 2~3 秒以上、長めにとる必要がある。これまでに得られた実験結果から、効率のよい NO 浄化には、スリット幅が 1.5 cm の場合、スリット長が 60 cm 以上の構造体が望まれる。しかし、実際の野外フェンスには厚みに制限がある。スリット長はそのままフェンス厚となるため、最長でも 20~25 cm が妥当と考えられる。

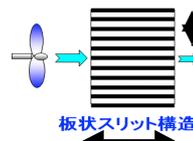
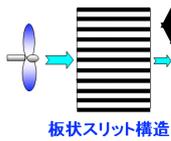
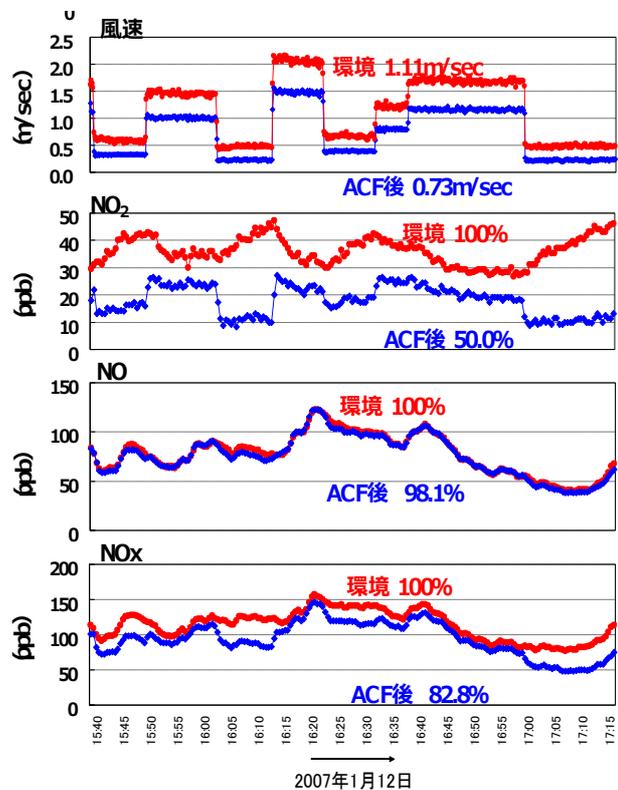
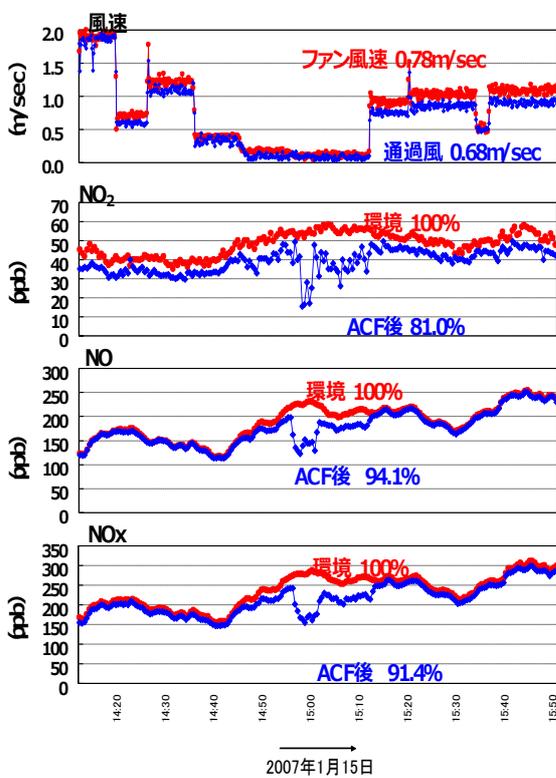


図 16 ACF ユニットの通風性試験結果

図 17 ACF ユニットの通風性試験結果



スリット幅 7-8 mm

板厚2mm

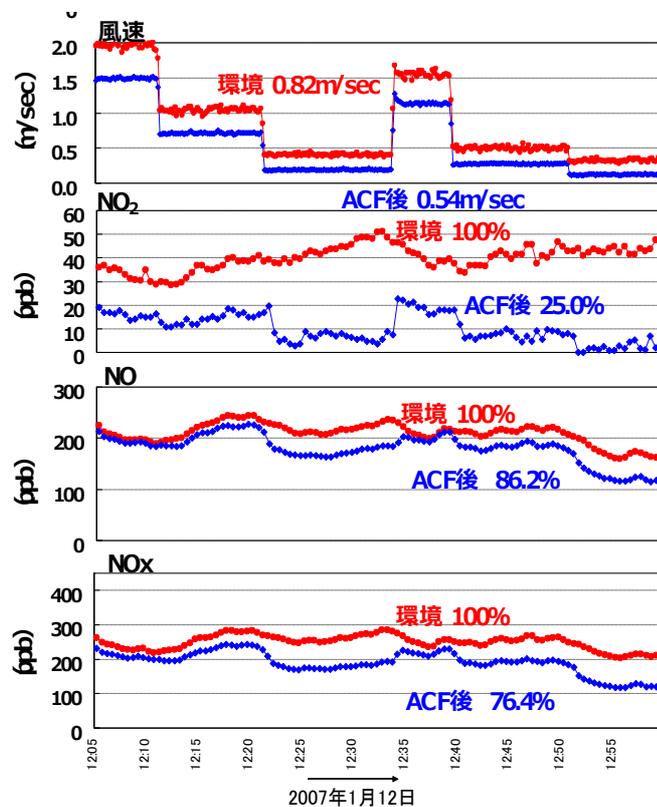
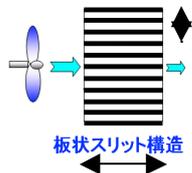
新ピッチ系ACF

20 cm

板厚を 0.2 cm に、スリット長を 25cm から 20cm に変更した。ファン送風試験を行なった結果を図 16 に示す。測定時間の RH は平均 29.0%と低かった。ファンからの平均風速 0.78m/sec に対して、ユニットの通過風速は、その 87%の 0.68m/sec と著しく速くなった。この時、NO₂、NO、NO_x の各平均浄化率は、19.0%、5.9%、8.6%と非常に低かった。ファン風速に対して、通過風速が速まったこと、それに対して、スリット幅が 1.5cm と広いため、汚染空気が ACF と十分には接触できなかったことが考えられる。

スリット長 20cm、ACF の板厚 0.2cm、スリット幅を 1.0~1.1cm の ACF ユニットに対して測定した。その結果を図 17 に示す。測定時間の RH は平均 45%であった。ファンからの平均風速 1.11m/sec に対して、ACF ユニットの通過風速は、65.8%の 0.73m/sec であった。この時、NO₂、NO、NO_x の各平均浄化率は、50.0%、1.9%、17.2 %に上昇した。

スリット長 20cm、ACF の板厚 0.2cm のまま、スリット幅を 1.0cm から 0.7~0.8cm へとさらに狭くした。その結果を図 18 に示す。RH は平均 51%であった。ファンからの平均風速 0.82m/sec に対して、ACF ユニットの通過風速は、61.2%の 0.54m/sec であった。この時、NO₂、NO、NO_x の各平均浄化率は、75.0%、13.8%、23.6%とさらに上昇した。前述した板厚 1.5cm、スリット幅 1.5cm、開口率 50%、スリット長 25cm と比較して、スリット幅を狭めることで、例えば、スリット長が 20cm と短くても NO_x 浄化率が向上していることが分かる。



3. 浄化装置・ACF 併設の環境改善効果シミュレーション

川崎市川崎区池上町をモデルに、浄化装置及び ACF フェンスを併設することを仮定し、周辺 PM 濃度に加えて NO_x 濃度の改善効果をシミュレーションにより検証した。

(1) PM・NO_x 排出量分布の推定

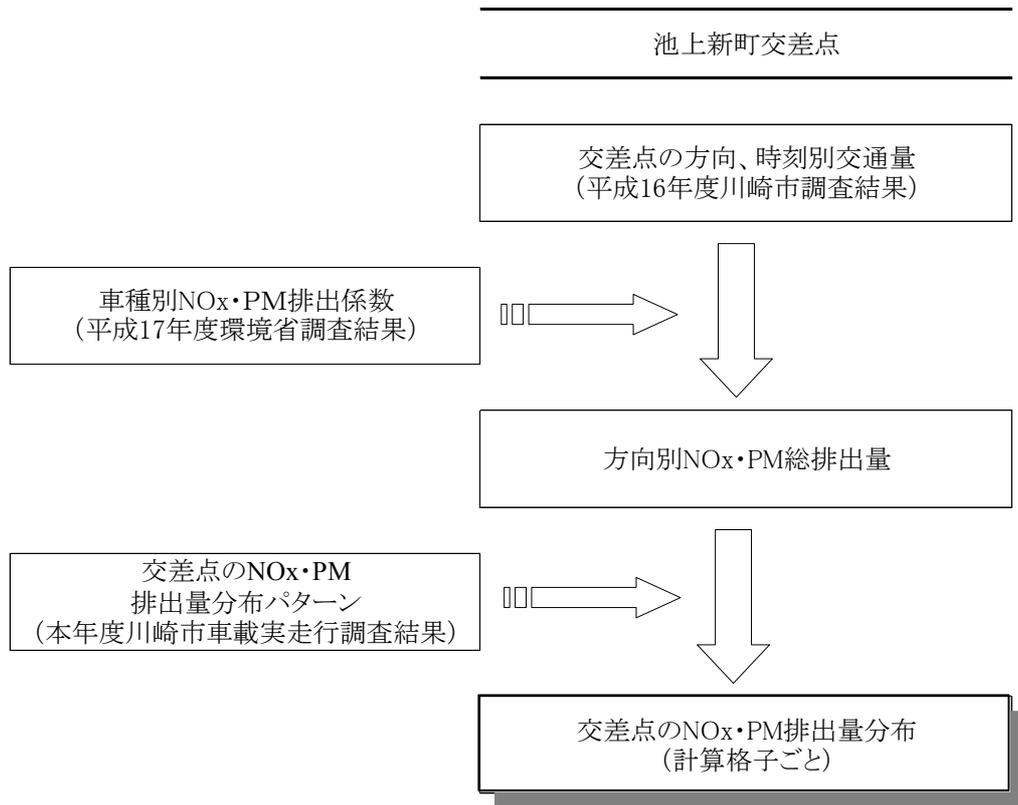


図 19 NO_x・PM 排出量分布の推定方法 (利用した資料と推計方法)

(2) 建物計算モデル・領域と計算格子

基本的に平成 15 年度実施したモデルの基本計算領域 (340m×240m×28.8m) を踏襲し、最新の住宅地図で変化部分の修正を行った。基本計算領域は 2.0m×2.0m×0.9m (地面上 2 格子は高さ 0.45m) を基本格子とし、その外側に前後左右の水平可変格子 15 格子で 750m、上部に 15 格子で 400m の格子を配置した。計算モデルは表 8 に示した標準型 $k-\epsilon$ モデルを使用した。

(3) 装置条件のモデル化

装置は表 9 に示す構造と特性から装置の格子を幅と高さを基本格子に合わせ配置し、奥行きだけ 600mm (ACF フェンスは 300mm) の格子とする。

表 8 計算モデルと計算条件

計算モデル	標準型 $k - \varepsilon$ モデル
パラメータ	$\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 、 $C_1 = 1.44$ 、 $C_2 = 1.92$ 、 $C_\mu = 0.09$ 流入 $k = 0.0001$ 、流入 $\varepsilon = 0.0001$ 流入流出境界：流速規定 解法：一次精度風上差分 拡散係数： $D_m (m^2/s) = S_c \nu$ (シュミット数 $S_c = 1$ 、動粘性係数 ν)
計算格子	1 格子：2.0m×2.0m×0.9m (地面上の 2 格子は高さ 0.45m) 基本格子領域：340m×240m×28.8m (170×120×33 格子) 水平可変格子部：前後左右に 15 格子で 750m を接続 垂直可変格子部：上部に 15 格子で 400m を接続 全格子数：200×153×49 (地面 1 格子分、除去装置 3 格子分を含む)
代表風	風向：NNW、SE 風速： $U_{0.45} = 0.5m/s$ および $1.0m/s$ (代表高さ 0.45(m) の風速) 風速鉛直分布： $U_z = (Z/10)^{1/3} \times U_{10}$
初期拡散と煙源モデル	初期拡散：道路の上方に 5 格子分(0.45m×2+0.9m×3=3.6m)とし、車の走行にともなう初期拡散は考慮していない。 煙源モデル：上下線別に高速道路 4 格子幅、産業道路 6 格子幅、梶橋水江線 4 格子幅 排出量：上下線別に交差点の停止線からの位置での排出量をそのままその格子地点の排出量とした。
除去装置	計算格子の奥行きを 0.6m とし、幅 2m 高さ 0.9m の格子に 2 台分の除去装置を設置出来るものとした。ACF フェンスについては奥行き 0.3m で高さ 1.8m のものを除去装置と同じ範囲で北西及び南東の歩道に配置するものとした。PM の除去はこの格子を通過する単位時間当たりの総量に対し除去率分除去されるものとした。
装置の通風率	装置は計算格子サイズ以下の構造で空気の流れに影響を与えるため圧力損失の抵抗係数 C_f を設定した。 C_f は試算により求め、除去装置の通風率 0.8 の場合 $C_f=0.2$ 、ACF 装置は通風率 0.4 で $C_f=7.9$ とした。

表 9 装置条件

項目		浄化装置	ACF フェンス
1 台あたりの寸法	幅	1,000mm	-
	高さ	900mm	1,800mm
	奥行き	600mm	300mm
PM 除去率		80%	0%
NO ₂ 除去率		50%	80%
NO _x 除去率		30%	30%
通風性 (透過率)		0.8	0.4
設置場所		中央分離帯	車道と歩道の境界
設置台数		84 台×2 段積み (平成 15 年度同等)	浄化装置延長と同じ長さ

(4) 拡散物質

算定物質は PM、NO_x、NO₂ の 3 物質とする。ただし NO₂ の化学変化は排出地点の NO₂/NO_x 比を基準にそこからの経過時間（格子位置とその距離から代表風速による換算）と O₃ バックグラウンド濃度による NO から NO₂ への変化率により NO₂ を求める。変化率は代表風速により全ての格子点であらかじめ算定しておく。

変化率算定式

$$[NO_2] = [NO_x] \cdot \left[1 - \frac{\alpha}{1 + \beta} \{ \exp(-Kt) + \beta \} \right] \quad (\text{窒素酸化物総量規制マニュアル 2-4-55 式})$$

$\alpha = 0.8$ 発生源（テールパイプ）の NO / NO_x

(石井、飯田「ディーゼルトラックから排出される二酸化窒素(NO₂)について」大気汚染学会誌 35(1)、2000)

$\beta = 0.3$ 平衡状態を近似する定数

$$K = 0.23U [O_3]_B \quad ([O_3]_B = 0.023 \text{ ppm オゾンバックグラウンド濃度})$$

$t = \text{経過時間(s)}$

(5) シミュレーションのケース

表 10 の検討パターンについて拡散シミュレーションを行った。

表 10 シミュレーションの計算ケース

パターン	浄化装置		ACF フェンス		風向	風速
	設置	稼働(浄化)	設置	稼働(浄化)		
① e01z	×無し	×無し	×無し	×無し	NNW	1m/s
② e02z	×無し	×無し	×無し	×無し	NNW	0.5m/s
③ e03a	○有り	×無し	○有り	×無し	NNW	1m/s
④ e04a	○有り	×無し	○有り	×無し	NNW	0.5m/s
③' e03b	○有り	×無し	×無し	×無し	NNW	1m/s
④' e04b	○有り	×無し	×無し	×無し	NNW	0.5m/s
⑤ e05b	○有り	○有り	×無し	×無し	NNW	1m/s
⑥ e05b	○有り	○有り	×無し	×無し	NNW	0.5m/s
⑦ e07a	○有り	○有り	○有り	○有り	NNW	1m/s
⑧ e08a	○有り	○有り	○有り	○有り	NNW	0.5m/s
⑨ e09z	×無し	×無し	×無し	×無し	SE	0.5m/s
⑩ e10a	○有り	×無し	○有り	×無し	SE	0.5m/s
⑪ e11a	○有り	○有り	○有り	○有り	SE	0.5m/s

(6) シミュレーション結果

拡散シミュレーション結果から濃度の改善効果をととして図 20 に示した評価ラインと評価領域の除去効果指数 (%) を求めた。装置の有無のパターン①と③や①と⑦の比較を行った結果、装置の有無により風況が大きく変化している。このため装置無しを基準にすると適切な除去効果の算定が行えないことから基準パターンとして装置を配置するが除去なしの場合とした。

除去効果 (%) = (100% - 稼働 / 稼働なし)

除去効果 L : 歩道からの距離 (風下方法) が 10m と 20m 及び 50m 位置のライン上
(沿道方向の) の 90m から 110m 長の格子点の最小、最大の除去効果
計算格子 1 行内の格子毎の濃度比 (1F、3F) を求めて算定

除去効果 A : 歩道からの距離 (風下方法) が 10m と 50m 位置を囲む矩形領域全体
(除去効果 L の地点を囲む) の除去効果
計算格子 1 平面領域 (1F、3F) の物質総量を求めて算定

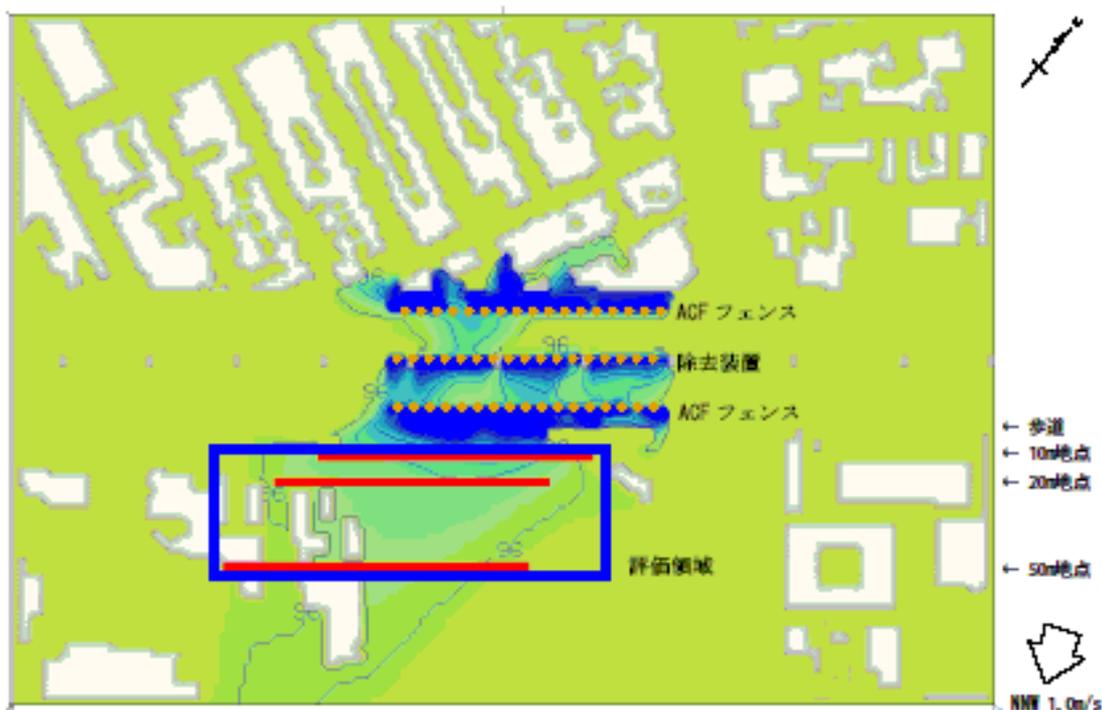


図 20 除去効果算定位置と領域 (風向 NNW の場合)

除去効果 L (赤ライン) : 10m、20m、50m 位置の評価ライン

除去効果 A (青領域) : 10m と 50m 位置を囲む矩形領域

計算パターン⑦/③による NO₂ 濃度比 (%) の例、1F(1.35m)風向 NNW 1.0m/s

求めた除去効果のPMについては表11に、NO_xおよびNO₂は表12と表13に示した。

表11 歩道からの距離10mから50m地点での除去効果(%) PM
除去効果(100%-稼働/稼働なし)

上段3F、下段1F

比較パターン	装置	除去率 下段 ACF	風	除去効果 L (%)	除去効果 A (%)
⑤/③'	中央分離帯2段のみ —	80% —	NNW 1.0m/s	5~8	5
				5~14	6
⑥/④'	中央分離帯2段のみ —	80% —	NNW 0.5m/s	5~8	5
				5~14	6
⑦/③	中央分離帯2段と ACF フェンス	80%	NNW 1.0m/s	5~8	5
		0%		5~11	6
⑧/④	中央分離帯2段と ACF フェンス	80%	NNW 0.5m/s	5~9	5
		0%		5~11	6
⑪/⑩	中央分離帯2段と ACF フェンス	80%	SE 0.5m/s	15~22	16
		0%		11~36	16

風向SEの場合、評価地域は建物が密集しているため路地および屋根上などになる。

風向NNWに比べSEの場合の除去効果が大きいのは、SE側車線の方が排出量が多いため。

表12 歩道からの距離10mから50m地点での除去効果(%) NO_x
除去効果(100%-稼働/稼働なし)

上段3F、下段1F

比較パターン	装置	除去率 下段 ACF	風	除去効果 L (%)	除去効果 A (%)
⑤/③'	中央分離帯2段のみ —	30% —	NNW 1.0m/s	2~3	2
				2~5	2
⑥/④'	中央分離帯2段のみ —	30% —	NNW 0.5m/s	2~3	2
				2~5	2
⑦/③	中央分離帯2段と ACF フェンス	30%	NNW 1.0m/s	3~5	3
		30%		3~8	4
⑧/④	中央分離帯2段と ACF フェンス	30%	NNW 0.5m/s	3~5	3
		30%		3~8	4
⑪/⑩	中央分離帯2段と ACF フェンス	30%	SE 0.5m/s	7~10	7
		30%		5~21	7

表 13 歩道からの距離 10m から 50m 地点での除去効果 (%) NO₂
除去効果 (100% - 稼働 / 稼働なし)

上段 3F、下段 1F

比較 パターン	装置	除去率 下段 ACF	風	除去効果 L (%)	除去効果 A (%)
⑤ / ③'	中央分離帯 2 段のみ	50%	NNW 1.0m/s	3~5	3
	—	—		3~8	3
⑥ / ④'	中央分離帯 2 段のみ	50%	NNW 0.5m/s	3~5	3
	—	—		3~8	3
⑦ / ③	中央分離帯 2 段と ACF フェンス	50% 80%	NNW 1.0m/s	5~9 5~16	6 7
	中央分離帯 2 段と ACF フェンス	50% 80%		5~9 5~16	6 7
⑧ / ④	中央分離帯 2 段と ACF フェンス	50% 80%	NNW 0.5m/s	5~9 5~16	6 7
	中央分離帯 2 段と ACF フェンス	50% 80%		10~17 7~37	12 12

【調査の成果】

1. 浄化装置の改良および基本性能評価フィールドテスト

- ① ラボ実験では、SPM 除去部については、奥行寸法を維持したまま SPM 除去率目標 80% を達成した。NO_x 除去部については、通風性を大きく損なうことなく NO₂ 除去率目標 50% を達成した。SPM 除去部および NO_x 除去部のラボ実験結果を組み合わせると、浄化装置トータルの除去率を予測すると、SPM 除去率約 80%、NO₂ 除去率約 60% と目標を達成できる見込みとなった。
- ② ラボ実験の結果から最も浄化性能の高い組み合わせで浄化装置を試作し、川崎市の産業道路中央分離帯でフィールドテストを実施した。印加電圧 8kV、周囲風速 1~1.5m/s の SPM 除去率は目標の 80% を達成し、NO₂ 除去率 2%、NO_x 除去率 23% となった。印加電圧を 6kV に下げた場合、SPM 除去率 45%、NO₂ 除去率は 54% となった。この結果から、汚染地域の状況 (SPM 重点除去、NO_x 重点除去) によって、浄化装置の印加電圧を変えることで効果的に対策可能であることが確認できた。

2. ACF フェンスおよび浄化装置に組み込む ACF について

① ACF 種の変更の検討 (PAN 系からピッチ系へ)

PAN 系 ACF からピッチ系 ACF への変更を検討した。数種類のピッチ系 ACF の中から NO_x 浄化能力の高い ACF を選択できた。この ACF に対して、800°C-1 時間の焼成処理を行なうことで、NO_x 浄化能力は飛躍的に向上した。その結果、ピッチ系の SY-H800 は従来の PAN 系 ACF よりも大気湿度に対して疎水性が高く、NO、NO₂ の浄化能力も高いことが分かった。

② 通風性を重視した板状スリット構造体の検討

これまでの実験結果から、理想的な ACF 形状は以下のとおりであることが結論できた。通気性が高く、かつ、NO_x 浄化能力の高い ACF 構造体は、板状スリット構造体である。この時、板厚を薄く、スリット間隔を狭めることで、開口率の高い構造体が良い。この方法では、ACF 量が少なくすむことも利点である。

板状スリット構造体の ACF を道路沿道のフェンスとして利用する場合、ACF 板の入口付近の局所的な劣化に対しては、降水洗浄等の“その場再生”で対処することができる。一方、ACF ユニットの電気集じん装置等に組み込むのであれば、さらに高い通風性が要求される。この時、ACF 板の厚みはできるだけ薄くする必要がある。その結果、ACF の NO_x 浄化寿命は数ヶ月以内と短くなることが予測できる。そのため、ACF ユニットの 1 ヶ月に一回程度の定期的な自動水洗を考慮した設計が理想的である。

3. 浄化装置・ACF 併設の環境改善効果シミュレーション

川崎市川崎区池上町をモデルに、浄化装置及び ACF フェンスを併設の改善効果シミュレーションを行い、以下の結果を得た。

- ① NW の風に対して、歩道からの距離 10～50m の地点での SPM 除去効果は、5～14%。SE の風に対しては最大 36%の改善効果が得られた。
- ② 同様に、NNW の風に対して NO_x および NO₂ 除去効果はそれぞれ 2～8%、3～16%となった。SE の風に対しては最大で NO_x 除去率 21%、NO₂ 除去率 37%となった。

表 14 浄化装置の性能評価まとめ

項目	開発目標	SPM除去部、NO _x 除去部 単体ラボ試験結果からの予測		フィールド試験結果 ^{※1}	
SPM除去率	80%以上	79%	41%	81%	45%
NO ₂ 除去率	50%以上	62%	62%	2%	54%
NO _x 除去率	30%以上	18%	23%	23%	1%
印加電圧	—	+7.3kV	+6kV	+8kV	+6kV
通風性	0.8以上(ラボ)	0.8 (ラボ)		0.2 ^{※2}	

※1 周囲風速1～1.5m/sでの平均値

※2 平成15年度のフィールドテスト時は約0.4（当時はNO_x除去部なし）

【今後の展望】

- ① NO_x除去部の更なる通風性改善と除去率向上
- ② NO_x吸着剤の除去性能持続性の向上
- ③ SPM除去率とNO_x除去率の最適なバランス検討
- ④ 商品化に向けた耐久性の向上