

中国道路トンネルにおける大気浄化システム実証実験 Demonstration Test of Air Purification System for The Application of Road Tunnels in China

浅井 靖史*

Yasufumi Asai

行川 起央***

Okio Namekawa

仲松 宇大**

Udai Nakamatsu

伊藤 忠彦****

Tadahiko Ito

要 約

中国においては近年の経済発展に伴い、マイカー等の普及によって大気汚染が進行している現状がある。特に上海市は2010年の万博開催もあり、大気汚染対策に本格的に取り組む姿勢を見せている。上海市から日本国内の大気脱硝設備を有するサプライヤーに対し実証試験参加の要請があり、丸紅・メタウォーター・西松建設の3社は共同で実証試験に参画することにした。大気浄化実験装置を上海市内の河川横断道路トンネル換気所に設置し、約4ヶ月にわたって大気浄化性能および耐久性に関するデータ取得を目的とした実証試験を実施した。その結果、窒素酸化物(NO_x および NO_2)および浮遊粒子状物質(SPM)を安定して除去できることが確認できた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 西松式大気浄化システムの概要
- § 3. 国内における事前試験結果
- § 4. 上海市トンネル実証実験結果
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

わが国における大気汚染の現状は、近年ゆるやかな改善傾向が認められているものの、都市部沿道においては自動車等に代表される移動排出源に由来する浮遊粒子状物質(以下SPM)および窒素酸化物(以下 NO_x)等によって、依然と厳しい地域が存在する。

このような状況を踏まえ、当社では2000年(平成12年)から都市部交差点やトンネル換気所等に設置可能な機械式の大気浄化システムの研究開発に着手した。装置の試作および実験室レベルでの検証を経て、実際の沿道実ガス実証試験(6,000時間以上)¹⁾およびトンネル実ガス実証試験(5,000時間以上)²⁾を行い、現場レベルでのシステムの性能、安全性および耐久性に関して十分な検証を行った。その結果、現在までに本システムは首都高

速中央環状新宿線山手トンネル(2004年11月)および東京都環状第8号線板橋相生陸橋(2005年10月)の2ヶ所の道路に採用が決定した。

上記の国内実績は海外においても広く紹介されており、海外からの本システムに関する照会が多いのも事実である³⁾。特に中国上海市は近年の経済発展に伴うマイカー保有率の増加もあいまって大気汚染が進んでいる現状や、2010年に万博が開催されることもあり、大気汚染対策に本格的に取り組む姿勢を見せている。今回、その一環として上海市浦東地区と同浦西地区を結ぶトンネル周辺部一帯の環境対策を踏まえ、同トンネル内の実ガスを用いた実証試験を実施することとなった。上海市は日本国内の大気脱硝設備を有するサプライヤーに対し実証試験の参加を要請し、丸紅(株)を契約者とした丸紅・メタウォーター・西松建設の3社が共同で本実証試験に参画することにした。本実証試験は、上海市におけるトンネル内空気中の NO_x ・SPM等の浄化性能や再生方法の妥当性等の検証を行うためのものである。

本稿では、本システムの上海輸出前に実施した国内事前試験および上海市内の実トンネルにおいて実施した実証試験の結果(速報)について報告する。

§ 2. 西松式大気浄化システムの概要

本システムの主な除去対象物質はSPMおよび NO_x (NO および NO_2)であり、①集塵、②加湿、③酸化および④脱硝の4つの要素から構成される。

* 技術研究所技術研究部環境技術研究課

** 企画技術部企画技術課

*** 平塚製作所

**** 技術研究所技術研究部

システム全体の概念図を図一1に示す。大気浄化の処理の流れとしては、①汚染大気が電気集塵機に最初に導入されることでSPMが除去され、②加湿槽において汚染大気は高湿度に加湿後、③酸化槽でNO_x成分中の一酸化窒素(NO)をNO₂に酸化し、④分解槽でNO₂を吸着後、清浄大気を装置外に放気する手順となる。上記構成要素の詳細を以下に述べる。

①集塵

集塵の目的は、取り込んだ汚染大気中のSPMを除去することであり、新型の交流電気集塵機を用いる。ディーゼル排ガス中微粒子を集塵する場合に、従来の電気集塵装置で課題であった再飛散を効果的に抑制することができる。

②加湿

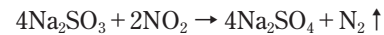
加湿の目的は、取り込んだ大気を加湿することである。加湿によって、後述する分解槽内の脱硝材に吸着したNO₂の還元的離脱(NO)を抑制する効果がある。

③酸化

酸化の目的は、取り込んだNO_x中のNOをNO₂に酸化させることである。理由としては、NOのままでは後述の分解槽中に設置した脱硝材に吸着させることが困難であるため、脱硝材が吸着可能な形態であるNO₂に敢えて転換している。具体的には、酸化手段としてオゾン(O₃)を用いる方法を採用している。O₃によりNOは速やかにNO₂に酸化される。

④脱硝

分解槽にはNO₂を除去する脱硝材が設置されている。脱硝材はNO_x除去のために改良された活性炭ベースのペレット(直径約10mm)を使用している。脱硝材は一定期間使用するとNO_x除去能力を回復させるために再生を行う。具体的な再生方法としては、脱硝材に吸着したNO₂を食品添加剤にも使用される還元性の化学物質の亜硫酸ソーダ(Na₂SO₃)等を使用し、無害な不活性ガス(N₂)と中性塩(Na₂SO₄)等に分解する。再生過程の主たる化学反応式を以下に示す。

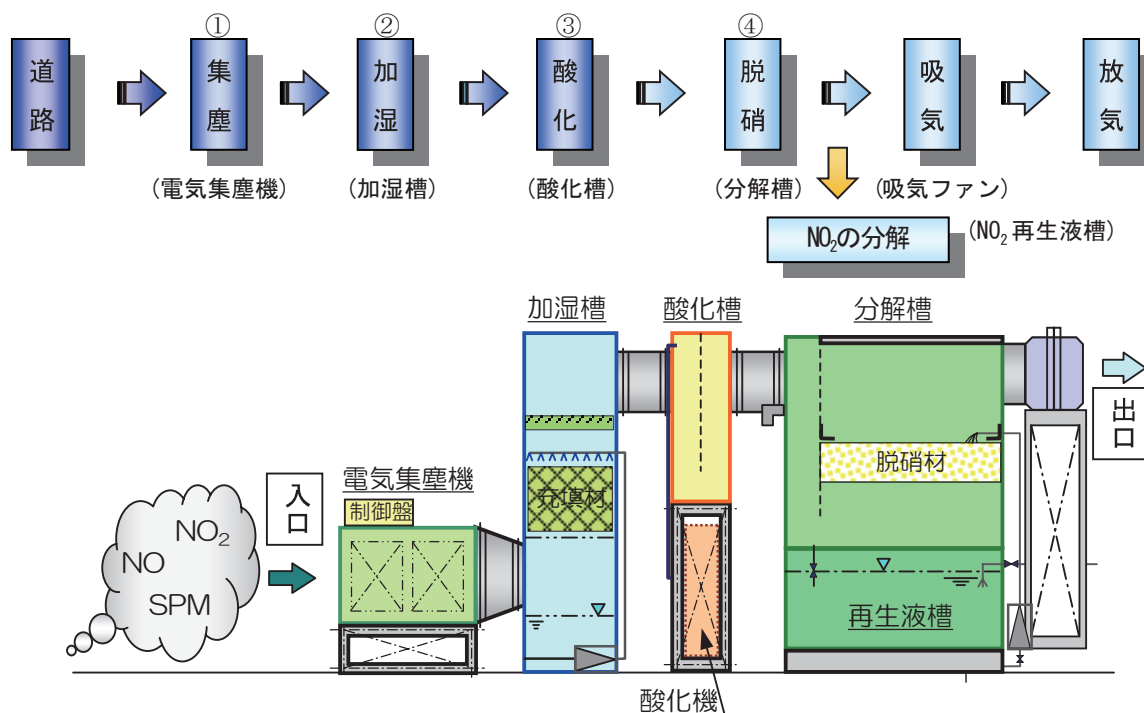


この化学反応は、常温・常圧下で容易に進行するため、余分な外部エネルギーを必要としないので経済的であり、また反応生成物が無害であることから、人体および周辺環境に与えるリスクが少なく、環境に配慮した再生メカニズムとなっている。吸着容量・再生間隔・再生頻度は、汚染大気中のNO_x濃度、処理風量等から設定している。

§3. 国内における事前試験結果

3-1 事前試験の目的

上海市で実証実験を実施する前に、本システムが所定の浄化性能を達成することが可能かを確認することを目的として、トンネル内汚染大気濃度範囲を想定した事前試験を実施した。



図一1 大気浄化システム概念図

3-2 目標浄化性能の設定

本試験における目標浄化性能を表-1に示す。

表-1 本試験における目標浄化性能

浄化対象項目	目標除去率※
NO _x	除去率 80% (1時間値の1日平均値) (入口濃度範囲: 0.5~10 ppm 処理風量: 0.25 m ³ /s)
NO ₂	除去率 90% (1時間値の1日平均値) (入口濃度範囲: 0.05~2.0 ppm 処理風量: 0.80 m ³ /s)
SPM	除去率 80% (入口濃度範囲: 0.2~1.0 mg/m ³ 処理風量: 0.80 m ³ /s)

※除去率(%) : (入口濃度 - 出口濃度) / 入口濃度 × 100

上海市から事前に提供されたトンネル中のNO_x、NO₂およびSPM濃度はそれぞれ2.68~14.0 ppm(平均値: 7.20 ppm), 0.004~0.99 ppm(平均値: 0.073 ppm), 0.48~1.53 mg/m³(平均値: 0.90 mg/m³)であり、日本国内の道路トンネルと比べてオーダーが違ほどの高濃度を示していた。したがって上海での実証試験を実施するに当たっては、上記トンネル大気濃度と現実的な電気集塵機および脱硝材の再生頻度(2~3日装置稼働後の再生実施)を考慮した上で装置処理風量を決定し、浄化対象項目毎の入口濃度範囲と目標除去率を設定した。

3-3 測定項目

今回浄化対象とする項目はNO_x、NO₂およびSPMの3項目である。窒素酸化物の測定にはNO_x計を、SPMの測定にはSPM計(β線吸収方式)を使用し、それぞれ1分および60分間隔で連続測定を実施し、1時間平均値として測定値を整理した。なお、測定箇所は図-2に示す装置入口および出口の2箇所を実施し、模擬ガスは発電機の排ガスを使用した。

また、今回使用する大気浄化装置図を図-2に示す。大気浄化装置は上海への輸出を行うためにフレーム内に設置し、クレーンによる吊り上げに対応できるようにしている。装置構成は基本的に図-1と同様であるが、上海でのNO_xの高濃度条件を考慮し、NO → NO₂の酸化効率を向上させるため、オゾン注入は酸化槽で行わずに発電機と給気チャンバーの間(給気ダクト)に注入した。

3-4 装置運転条件

実験条件を以下に示す(表-2)。

表-2 実験条件

実験パターン	除去方式	入口濃度範囲	装置稼働時間(h)
パターン①	NO ₂	NO ₂ : 0.05~2.0 ppm SPM: 0.2~1.0 mg/m ³	8
パターン②	NO _x	NO _x : 0.5~10 ppm	12
パターン③	NO _x	NO _x : 0.5~4.5 ppm	8

※実験は平成20年5月7日~15日の期間で実施した

また、装置処理風量・通気風速を表-3に示す。

表-3 装置処理風量および通気風速

実験パターン	処理風量	通気風速	
		分解槽	集塵装置
パターン①	0.80 m ³ /sec	0.80 m/sec	9.0 m/sec
パターン②	0.25 m ³ /sec	0.25 m/sec	2.8 m/sec
パターン③	0.4 m ³ /sec	0.4 m/sec	4.5 m/sec

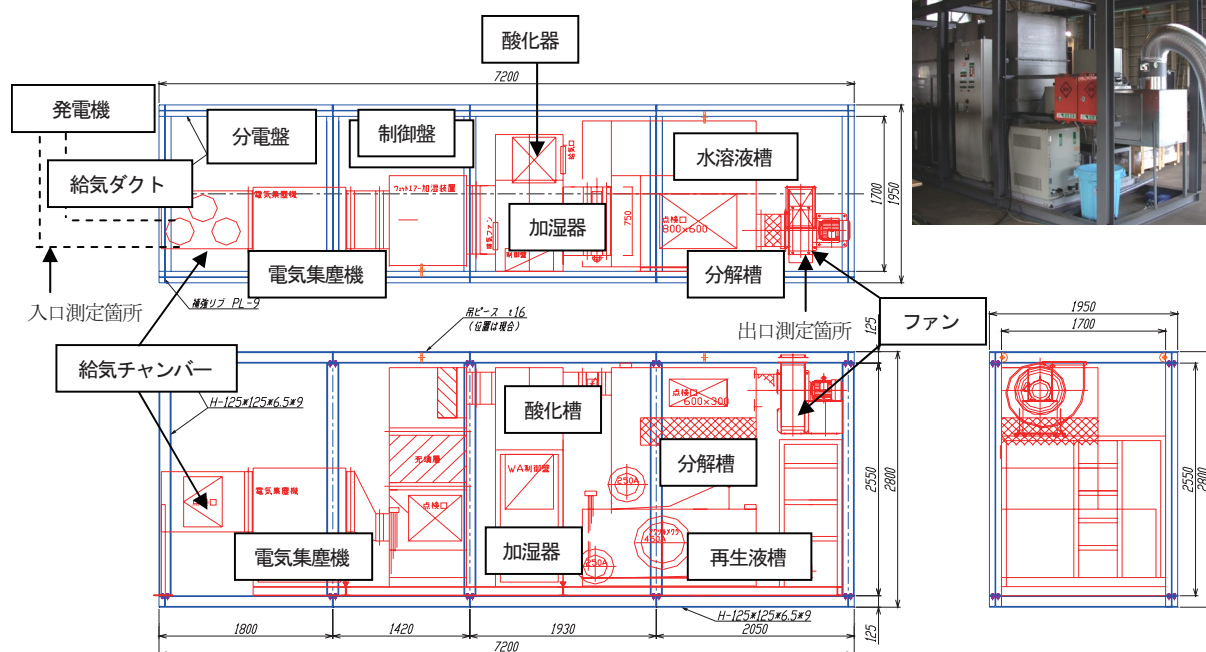


図-2 事前試験に供した大気浄化装置図



3-5 実験結果

実験パターン①は除去方式として NO_2 除去を行う運転モードである(NO_x 除去率は測定項目の対象外)。その結果を図-3に示す。 NO_2 除去に関しては、入口濃度範囲0.22~3.06 ppm(平均入口濃度:1.71 ppm)の全ての範囲において除去率が100%を示し、目標除去効率90%以上を大きく上回る結果となった。SPM除去に関しては、平均除去率92%を示し、入口濃度範囲0.21~1.1 mg/m^3 (平均入口濃度:0.48 mg/m^3)の全ての範囲において目標除去率80%以上を達成した。

実験パターン②は装置の除去方式として NO_x 除去を行う運転モードである。上海での実証実験における脱硝方式としては NO_x 除去方式を主に想定している。 NO_x および NO_2 の除去結果をそれぞれ図-4および図-5に示す。なお、SPMに関しては条件として最も過酷であるパターン①で実験を行っているため、パターン②および③では実施していない。 NO_x 除去に関しては、平均除去率は入口濃度範囲0.68~9.70 ppm(平均入口濃度:6.84 ppm)において95%を示し、目標除去率80%以上を達成した。 NO_2 除去に関しては、入口濃度範囲0.18~2.34 ppm(平均入口濃度:1.63 ppm)において98%を示し、パターン①同様に目標除去率90%を大きく上回る結果を示した。

実験パターン③は、実験パターン②の処理風量を1.6倍に増加(0.4 m^3/sec)させた場合の運転モードである。結果を図-6および図-7に示す。 NO_x 除去に関しては、平均除去率は入口濃度範囲1.16~7.72 ppm(平均入口濃度:4.57 ppm)において98%を示し、パターン②での除去率を上回るとともに目標除去率80%以上を達成した。 NO_2 除去に関しては、入口濃度範囲0.24~1.98 ppm(平均入口濃度:1.20 ppm)の全ての範囲において除去率は100%を示し、パターン②の除去率を上回る結果となった。

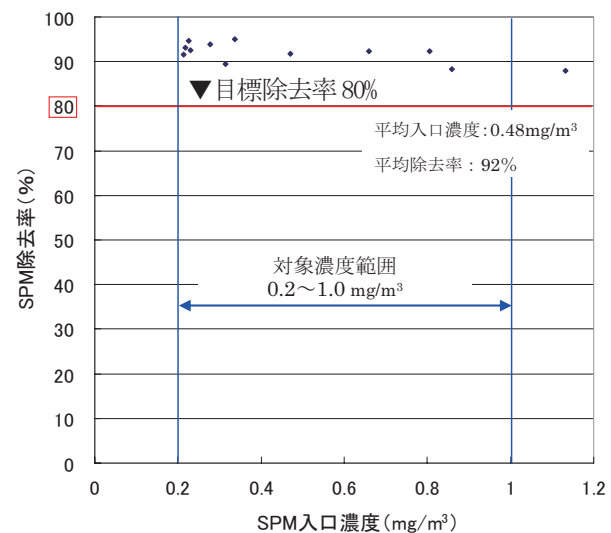
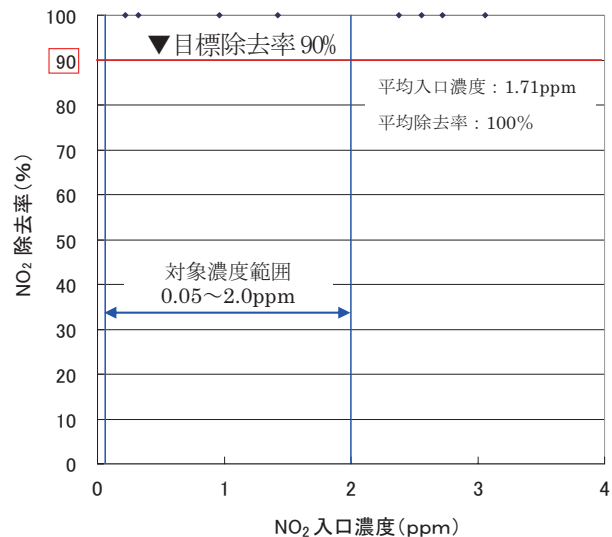


図-3 パターン①結果 (NO_2 除去率(上图) SPM除去率(下图))

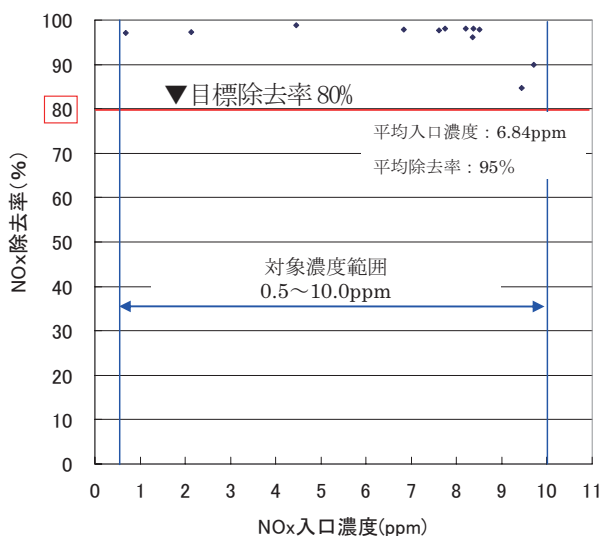


図-4 パターン②結果 (NO_x 除去率)

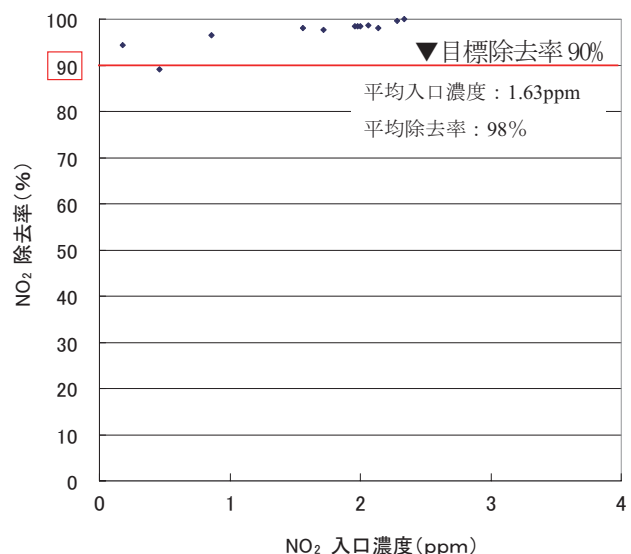
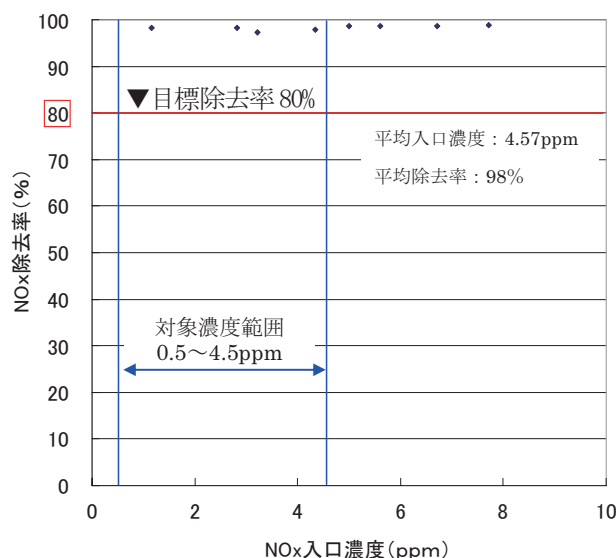
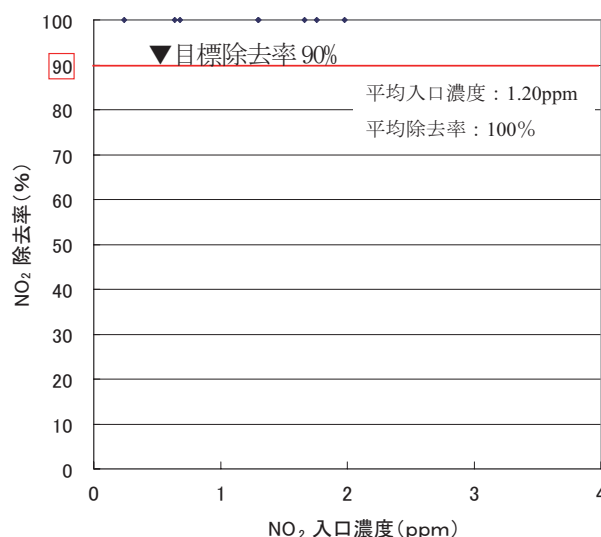


図-5 パターン②結果 (NO_2 除去率)

図-6 パターン③結果 (NO_x 除去率)図-7 パターン③結果 (NO₂ 除去率)

以上、結論としては以下の知見が得られた。

- ・実験パターン①、②および③において、目標の対象濃度範囲における目標浄化性能を全て達成した。
- ・処理風量による除去率の影響に関しては、NO₂ 除去および NO_x 除去方式の両者とも、風量が大きい運転モード（パターン②に対して①および③）の方が除去率は向上した。これは、分解層中の脱硝材を汚染大気が通過する際は、ある程度の圧損がかかった方が、脱硝材全体を均等に接触通過できるためと考えられる。

§4. 上海市トンネル実証実験結果

4-1 実証実験の目的

前述の国内事前試験を実施した結果、浄化対象項目に対する目標浄化性能は全て満足することが確認できた。次のステップとしては、実際の上海市内河川横断道路トンネルの実ガスを使用した場合に、事前試験で確認された浄化性能が実証され、かつ実運転を考慮に入れた長期間における装置稼動においても浄化性能が問題なく維持され、実用に供する際に問題ない耐久性を有しているかを確認する必要がある。そのため、目標浄化性能および装置運転モード（実験パターンおよび処理風量）は事前試験条件と全て同じとし、各実験パターン①～③における長期間の装置稼動において目標浄化性能を達成可能か確認し、実証することを本実験の目的とした。

4-2 実証実験サイトの概要

(1) 河川横断道路トンネル

実証実験を実施したトンネル（写真-1）は上海市浦東地区と同浦西地区を結ぶトンネルの一つである。本トンネルは黄浦江の下を抜ける河川横断トンネルとなっている。元々トンネルが狭い上に対面通行になっており、加えて早朝および夕方のラッシュ時の交通渋滞が著しく、



写真-1 トンネル入口



写真-2 換気所外観



写真-3 装置設置状況



写真-4 大気採取状況

このため NO_x および SPM 濃度がこの時間帯は特に高くなる。このため、複線化のため別途新規のトンネルが建設中であり、現状のトンネルは対面から片側一方通行に変更される予定である。また、上海万博開催にあわせて、浦東-浦西を結ぶ新規のトンネルが複数計画または建設中である。

(2) 大気浄化装置の設置状況

本装置は国内事前試験が終了した後、必要な輸出手続を経て現地に搬入した。換気所敷地内（写真-2）に実証実験のために建屋を新設し、装置はそこに搬入された（写真-3）。トンネル内の汚染大気は換気塔の扉に採取口を開け、ダクトを設置して直接取り出した。採取口の設置状況を写真-4に示す。

4-3 実証実験工程および装置稼動状況

各実験パターンにおける実験工程を表-4に示す。実

表一4 実証実験工程

実験項目	9月	10月	11月	12月
パターン①				
パターン②				
パターン③				

※実証実験は平成20年9月10日～12月30日の期間で実施した

証試験は平成20年9月10日～12月30日まで約4ヶ月間実施した。最初に実験パターン②を2ヶ月実施し、次に実験パターン①を約1ヶ月、最後に実験パターン③を約3週間実施した。なお、装置の稼動は一日7:00～19:00の12時間とし、毎週の火、金曜日は装置のメンテナンス（電気集塵機および脱硝材の現地再生作業）を行うために運転を終日停止した。

4-4 実証実験結果

実証実験結果（速報）を表一5に記す。実験期間全体を通して、トンネル大気濃度は NO_x 、 NO_2 およびTSP濃度に関してそれぞれの平均濃度は約4ppm、約0.3ppm、約6mg/m³であり、窒素酸化物に関しては想定した濃度範囲であったが、浮遊粒子状物質に関しては規定濃度範囲を大幅に上回った。なお、計画では浮遊粒子状物質濃度はSPMとして計測する予定であったが、今回の実証では測定器の都合によりTSP値として測定している。

実験は NO_x 除去方式に関する実証を主体に考えていたため、実験パターン②を最も長いスパンで行った。実験パターン②の結果としては、 NO_x 、 NO_2 とも除去率がそれぞれ93%、98%を示し、 NO_x が事前試験結果をやや下回ったものの、目標除去率を大きく上回る結果となった。また、TSPは除去率が98%であり、目標除去率を大きく上回った。

同じ NO_x 除去方式で処理風量のみを大きくした実験パターン③に関しては、 NO_x 除去率はパターン②を上回る結果となり、事前試験結果と同様の傾向を示した。

NO_2 除去方式である実験パターン①に関しては、除去率が97%を示し、事前試験結果に比べ除去率が低下したものの、目標除去率を大きく上回った。また、実験パターン①は電気集塵機にとって一番厳しい条件であり、かつ想定濃度範囲を大幅に上回る条件下でもあったが、印加電圧設定を見直す等の変更により、当初の目標除去率を十分満足した。

実験全体を通して、大きな除去効率の低下は認められず、各除去対象物質に対して安定した浄化性能を発揮し、耐久性に関して問題ないことが確認された。

表一5 トンネル実証実験結果一覧（速報）

除去対象物質	入口濃度範囲 (NO_x NO_2 : ppm, TSP: mg/m ³) (): 平均入口濃度	処理風量 (m ³ /s)	平均除去効率 (%)	目標除去効率 (%)	実験パターン
NO_x	2.92～4.96 (3.98)	0.25	93	80	②
	3.77～5.02 (4.32)	0.40	95		③
NO_2	0.25～0.41 (0.32)	0.80	97	90	①
	0.14～0.45 (0.24)	0.25	98		②
	0.20～0.33 (0.28)	0.40	94		③
TSP	4.17～8.48 (6.05)	0.80	96	80	①
	5.19～8.79 (6.89)	0.25	98		②
	3.99～5.57 (5.06)	0.40	96		③

※測定結果は日平均値

§5. おわりに

今回、国内において導入実績のある西松式大気脱硝システムを、国外である中国上海市内の道路トンネルにおいて長期間に亘る浄化性能および耐久性を評価する実証実験を行った。 NO_x 、 NO_2 およびSPM濃度は国内のそれを大きく上回るものであるにもかかわらず、目標浄化性能を長期間に亘り安定して維持できることが確認できた。今後、大気脱硝の需要が高まると予想される東南アジア諸国に対しても適用の可能性が十分見出せる結果となった。

参考文献

- 1) 伊藤 忠彦：大気浄化システムの開発—沿道実ガスによる1年間の実証実験結果—，電力土木，No.314，pp.15-119，2004.11
- 2) 森田 俱志，伊藤 忠彦：我が国初の道路トンネル低濃度脱硝設備の設置—首都高新宿線換気所大気浄化システム—，建設の施工企画，No.665，pp. 22-26，2005.7
- 3) PIARC Technical Committee C3.3 Road tunnel operations：ROAD TUNNELS: A GUIDE TO OPTIMISING THE AIR QUALITY IMPACT UPON THE ENVIRONMENT, 2008.

謝辞

本実証実験は丸紅(株)が上海市側との契約、マネジメントおよび輸出入業務を担当し、メタウォーター(株)と西松建設が実験装置の製作および実験を担当した。関係各位に深く感謝いたします。