平20.都土木技術センター年報 ISSN 1882-2657
Annual Report
C.E.C., TMG 2008

6．光触媒を用いた舗装の屋外性能評価法の検討

Examination of Site Performance Evaluation Method of Pavement that Uses Photocatalyst

技術支援課　峰岸順一、小林一雄

1．　まえがき

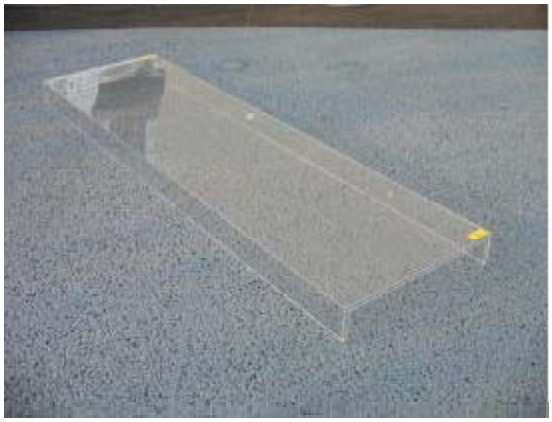
光触媒を用いた舗装のNOx除去性能の室内評価は、JIS R 1701-1を応用した方法を提案してきた[1)2)]。今まで、現道でのNOx除去性能の評価は、散水または降雨時に路面排水を採水しての硝酸イオン濃度の測定や30cm角の光触媒を塗布した供試体を光触媒を用いた舗装（NOx除去舗装）の施工箇所付近の中央分離帯などに暴露して、暴露後水洗し硝酸イオン濃度を測定して評価する方法などを試みてきた。

しかし、現道における適切な評価法は、まだ確立していないのが現状である。本研究では、屋外での性能評価法を検討し、JIS R 1701-1を応用した室内性能評価法との比較を行った。また、実際に走行する自動車から排出されるガスを暴露させたときのNOx除去性能についても検討し、現道を想定したNOx除去性能の把握を行った。

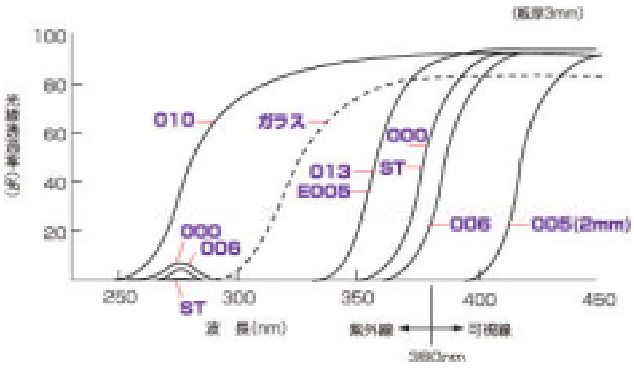
2．　屋外性能評価法の検討

センター構内のNOx除去舗装施工箇所（大きさ3.5×3.5m）において屋外性能評価法の検討を行った。写真－1に示す紫外線透過型のアクリル板を用いて試験治具を作製して舗装面に試験ガスを通気できるようにした。試験ガスは、NOガスと自動車の排出ガスの2種類を用いて所定濃度通気させ自然光下で試験を行い、試験治具の入口と出口のNOx濃度を化学発光式窒素酸化物分析装置（NOx計）で計測した。

また、NOx除去舗装施工箇所から室内性能評価試験用の供試体（長さ80mm、幅50mm、高さ20mm）を切り出してJIS R 1701-1 を応用したNOx除去性能試験を行い、屋外性能評価試験と比較を行った。



写真－1　試験治具（紫外線透過型のアクリル板）



図－1　紫外線透過率

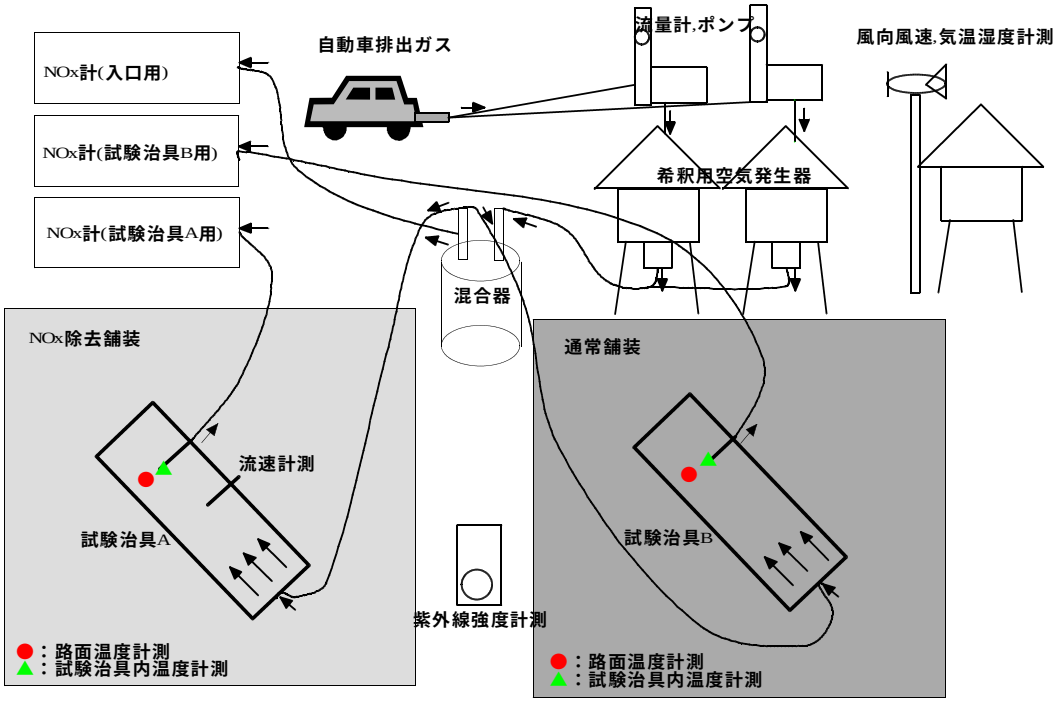
(1)　屋外性能評価試験について

1)　紫外線透過型のアクリル板について

紫外線透過型のアクリル板は、住友化学のスミペックス010を用いた。アクリル板の光線透過光スペクトルは、図－1[3)]に示すとおり最も紫外線透過率の高いものを選定した。

2)　NOx計について

NOx計は、化学発光式窒素酸化物分析装置を使用



図－2　試験器の構成（屋外性能評価法Bの自動車排出ガスの場合）

表－1　試験治具の形状と条件

項目		JIS条件	屋外評価法A	屋外評価法B
試験治具の大きさ	横mm	50	50	500
	縦mm	100	400	1800
	高さmm	5	20	90
線速度の断面積	cm^2	2.5	10	450
線速度	m/s	0.2	0.2	0.2
流量	L/min	3	12	540
試料面積	cm^2	50	200	9000
ガス負荷量	$mmoL/5H/m^2$	7.36	7.36	7.36
ガス濃度	ppm	1.00	1.00	1.00
NOx除去舗装面積比（JIS条件と比較）		1	4	180

した。化学発光法は試料ガス中のNOと空気から生成したO_3(オゾン)を混合したときに生ずる化学発光反応（ケミルミネッセンス反応）の光を光検出器で計測することによりNO濃度を求める方法である。この化学発光式窒素酸化分析装置は、その測定原理上、NOのみしか測定できないため、NO_2の測定は、NO_2をNOに還元する触媒を通し、その時の指示値と触媒を通さない場合の指示値の差よりNO_2を換算して求めている。

3)　試験治具の形状

試験治具の形状は、次の3条件を満たすように決定した。①ガスの線速度は、JIS R 1701-1の条件の0.2m/sと一致させた。②試験治具の大きさは、JIS R 1701-1の条件の大きさと相似させた。③ガス濃度を1.00ppm通気させた際にNOガス負荷量が室内性能評価試験の条件7.36mmoL/5H/m^2と同等になる流量と大きさとした。この条件を満たす試験治具の大きさとして、表－1に示すA、Bの2種類とした。

4)　試験器の構成

試験器の構成は、図－2（屋外性能評価法Bの自動車排出ガスを事例として示した）に示すとおりとした。測定項目は、①NOx濃度②試験治具内の紫外線強度③試験治具内の温度、相対湿度④試験治具内の流速（屋外性能評価法Bのみ）⑤屋外の気温、相対湿度⑥屋外の風向・風速⑦試験治具内の路面温度とした。

5)　試験条件

試験条件は、①路面より2cm（屋外性能評価法A)、9cm（屋外性能評価法B）の高さから試験ガスを通気した。②NOガス通気試験の濃度は、0.50、1.00、1.50ppm、自動車の排出ガス通気試験の濃度は、1.00、1.50ppmとした。③通気時間は5時間とした。④流量は、12L/min（屋外性能評価法A)、540L/min（屋外性能評価法B）とした。⑤測定日前日にイオ

ン交換水で対象路面の洗浄を行った。

なお、試験は天候が晴れで風が穏やかな日に行った。

試験の詳細は、以下のとおりである。

ボンベからのNOガス（0.098%）とポンプを用いて採取した環境大気をガス混合容器に送り込み、NOガスを環境大気で約750～2000倍に希釈して、各目標濃度、各目標流量になるように調整を行った。ガス混合容器のガスは入口ガス濃度としてNOx自動測定器でモニタリングを行った。このガスを光触媒施工箇所、密粒度舗装面またはポーラスアスファルト舗装面に設置した試験治具A又はBに接続し、試験治具の入口側からNOガスを通気した。屋外性能評価法Aでは12Ｌ/min、Bでは540Ｌ/minの流量で舗装面上を通気接触させた。各試験治具の出口側付近の所定の位置を出口濃度としてNOx自動測定器で5時間のモニタリングを行った。

自動車排出ガスの試験では、排出管より直接自動車排出ガスをポンプで取り込みNOガス作製時と同様の手法により約10～20倍に希釈を行いガス混合容器から試験治具にガスを通気した。

(2)　室内性能評価試験について

NOx除去舗装施工箇所から室内性能評価試験用の供試体（長さ80mm、幅50mm、高さ20mm）を3枚、切り出してJIS R 1701-1を応用したNOx除去性能試験を行い、屋外性能評価試験と比較を行った。比較対象として密粒度およびポーラスアスファルト舗装の供試体も各3枚切り出して試験を行った。試験法の詳細は、舗装調査・試験法便覧[4]によった。

3.　試験結果

屋外性能評価試験と室内性能評価試験の結果を以下に示す。また、本試験を行う前に対象舗装が確実に光触媒作用が働いているかどうかなどの予備試験を行った結果も示す。

(1)　予備試験結果

1)　予備試験について

屋外性能評価試験を行うにあたり、光触媒施工箇所において確実に光触媒作用が働いているかどうか確認試験を行った。さらに今後実施する試験は、各試験日の気候条件は異なっており、様々な要因を受けていることが考えられるので、1日の試験時間の中でNOの濃度の差異によりNOx除去率に差が認められるかどうかの予備試験を行った。

写真－2　試験治具の黒い覆い

2)　予備試験方法

①光触媒作用の確認

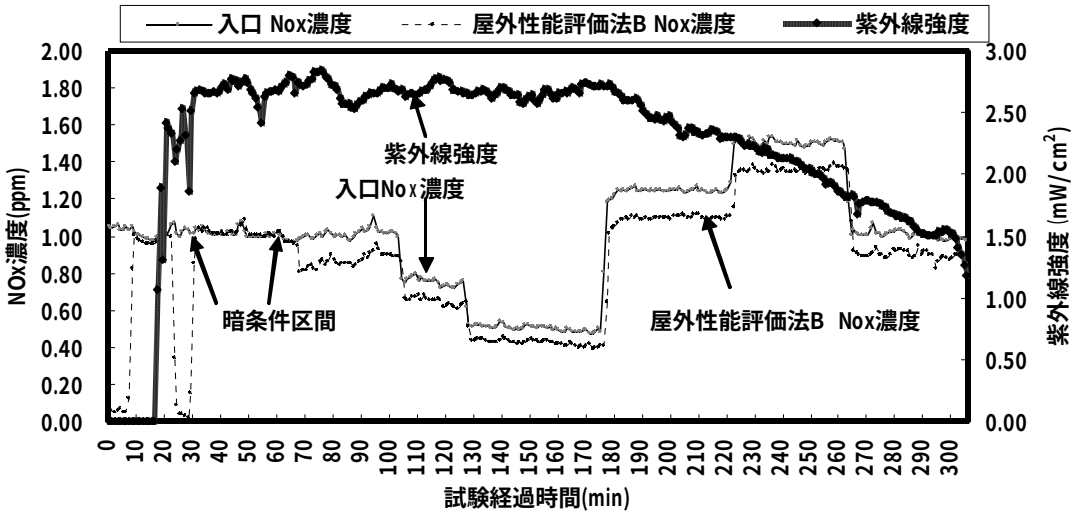
安定した1.00ppmのNOガスを作製し、屋外性能評価試験で使用する試験治具BにNOガスを流通させる。写真－2に示すように試験治具に黒い覆いを行い、紫外線を遮断し、光触媒によるNOx除去が行われないことを確認した。その後黒い覆いを取り、光触媒作用によりNO濃度が低下することを確認した。

②NOx除去率の確認

NO濃度でのNOx除去率の差異を確認するために1日の試験内でNOx濃度を変えた場合のそれぞれのNOx除去率を算出した。試験濃度は1.00→0.75→0.50→1.25→1.50→1.00ppmと変化させた。最後に試験治具の形状での変化を確認するために出口側をアクリル板で閉鎖し、濃度の変化を調べた。

3)　予備試験結果

予備試験結果を、表－2、図－3に示す。黒い覆いを試験治具にかけ、NOを通過させてもNO濃度は低下せずに黒い覆いを取り試験治具に太陽光を当てるとNO濃度が低下することが確認できた。これは確実に光触媒の作用によりNOが除去できることを示している。またNO濃度を変化させるとNOx除去率は変化した。濃度が低いとNOx除去率は大きくなる傾向が認められた。一連の試験時間は全工程で6時間程度であるが、ガスが接触開始後のNOx濃度1.00ppmのNOx



図－3　予備試験結果

表－2　予備試験結果

NOx濃度（ppm）	NOx除去率（%）
1.00	14.5
0.75	13.4
0.50	15.8
1.25	11.6
1.50	9.8
1.00	11.1
1.00（出口閉鎖）	9.9

除去率は14.5%、終了時のNOx濃度1.00ppmのNOx除去率は11.1%とNOx除去率の低下が認められた。

試験治具の出口を閉鎖するとNOx濃度は入口濃度と比較して、開放の状態の時より少し高めになる。すなわちNOx除去率は悪くなる。出口を閉鎖することは室内性能評価試験方法の流通系での試験に似通ってくる。しかし出口を閉鎖することにより、光触媒舗装面の母体がポーラスアスファルト舗装であるため試験治具に圧力がかかり、舗装表面からガスが路面下に抜ける。そこへ1.00ppmのガスの供給を続けることから試験治具内のNOx濃度は1.00ppmに近づくと予想された。このことから試験治具は、出口を閉鎖する型より開放型で行うこととした。

4)　密粒度およびポーラスアスファルト舗装での結果

光触媒を無塗布の密粒度およびポーラスアスファルト舗装において、試験時間5時間でNOの低下がないかをNOガスを用いて屋外性能評価法Bの試験を行った。結果を表－3に示す。密粒度およびポーラスアスファルト舗装どちらにおいてもNOx除去率は1%程度でありNOxの吸着は認められないと判断した。

表－3　光触媒を無塗布の舗装の試験結果

舗装種別	ガスの種類	ガス濃度（ppm）	入口ガス濃度（ppm）	NOx除去率（%）	紫外線強度（mV/cm²）
密粒度舗装	NO	1.00	1.02	1.3	1.40
ポーラスアスファルト舗装	NO	1.00	1.10	0.9	1.31

(3)　屋外性能評価法Aの結果

屋外性能評価法Aの試験結果一覧は、表－4に示すとおりである。

1)　気象条件とNOx除去率の関係

NOx除去舗装箇所において10測点で、NOガス濃度1.00ppmを用いて屋外性能評価試験Aで試験を行った。結果を図－4に示す。異なる位置10点で測定し、算出したNOx除去率は3～20%であった。変動係数は40%であり、光触媒塗布における、ばらつきも原因と考えられるが、この試験は62日間の期間で行ったため、試験時の気象条件の違い、施工時からの経時変化等がNOx除去率に大きく影響を及ぼしていたと考えられた。

表－4　屋外性能評価法Aの結果

試験番号	NOx除去舗装施工後日数	試験開始後日数	対象舗装	ガスの種類	試験ガス濃度 (ppm)	入口ガス濃度 (ppm)	出口ガス濃度 (ppm)	濃度比 (%)	NOx除去率 (%)	ガス温度 (℃)
1	23	0	NOx除去舗装	NO	1.00	1.02	0.81	79.3	20.7	21.1
2	23	0	密粒度舗装	NO	1.00	1.02	1.01	98.7	1.3	26.1
3	24	1	NOx除去舗装	NO	1.00	1.02	0.91	88.7	11.3	24.4
4	24	1	NOx除去舗装	NO	1.00	1.02	0.85	83.1	16.9	24.8
5	28	5	NOx除去舗装	NO	1.00	1.10	0.96	87.4	12.6	20.4
6	28	5	密粒度舗装	NO	1.00	1.10	1.09	99.1	0.9	23.7
7	29	6	NOx除去舗装	NO	1.00	1.02	0.89	86.8	13.2	24.6
8	29	6	NOx除去舗装	NO	1.00	1.02	0.89	87.4	12.6	25.1
9	31	8	NOx除去舗装	NO	0.50	0.57	0.50	87.8	12.2	27.6
10	31	8	NOx除去舗装	NO	0.50	0.57	0.49	86.4	13.6	28.7
11	37	14	NOx除去舗装	自動車排出	1.00	1.01	0.88	86.8	13.2	26.1
12	38	15	NOx除去舗装	自動車排出	1.50	1.50	1.32	87.9	12.1	26.4
13	45	22	NOx除去舗装	NO	1.50	1.49	1.44	96.4	3.6	27.0
14	45	22	NOx除去舗装	NO	1.50	1.49	1.42	94.8	5.2	27.6
15	73	50	NOx除去舗装	NO	1.00	1.01	0.87	86.3	13.7	35.4
16	73	50	NOx除去舗装	NO	1.00	1.01	0.94	93.6	6.4	33.5
17	84	61	NOx除去舗装	NO	1.50	1.50	1.37	91.0	9.0	36.5
18	84	61	NOx除去舗装	NO	1.50	1.50	1.23	82.3	17.7	38.0
19	85	62	NOx除去舗装	NO	1.00	1.01	0.98	96.9	3.1	28.0
20	85	62	NOx除去舗装	NO	1.00	1.01	0.94	92.2	7.8	27.8

試験番号	ガス湿度 (%)	紫外線強度 (mW/cm^2)	路面温度 (℃)	最多風向 (16方位)	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	平均湿度 (%)	日射量 1号(w/m^2)	日射量 2号(MJ/m^2)
1	14.9	1.40	19.9	NW	1.40	10.4	17.3	欠測	欠測
2	7.8	1.40	26.7	NW	1.40	10.4	17.3	欠測	欠測
3	15.7	1.71	26.9	NW	1.39	9.7	24.4	535.6	1.87
4	14.1	1.71	26.4	NW	1.39	9.7	24.4	535.6	1.87
5	21.5	1.31	19.6	E	1.25	9.2	34.1	395.4	1.54
6	17.2	1.31	19.6	E	1.25	9.2	34.1	395.4	1.54
7	21.3	1.60	24.3	ENE	1.44	11.4	34.2	513.8	1.80
8	20.6	1.60	24.9	ENE	1.44	11.4	34.2	513.8	1.80
9	21.3	1.59	26.8	ESE	1.30	13.9	32.0	510.9	1.79
10	20.5	1.59	26.4	ESE	1.30	13.9	32.0	510.9	1.79
11	18.0	1.82	28.4	NW	1.74	11.4	22.8	580.8	2.17
12	22.2	1.47	27.2	E	1.34	11.7	35.9	498.8	2.02
13	23.3	1.70	28.3	ESE WNW	1.26	12.1	35.9	552.3	2.11
14	20.1	1.70	27.8	ESE WNW	1.26	12.1	35.9	552.3	2.11
15	22.8	2.01	34.6	ESE	2.25	17.8	36.7	欠測	欠測
16	22.5	2.01	33.2	ESE	2.25	17.8	36.7	欠測	欠測
17	20.0	2.23	38.3	ESE	1.49	19.8	30.7	642.2	2.39
18	22.2	2.23	37.7	ESE	1.49	19.8	30.7	642.2	2.39
19	45.4	1.12	27.6	NNE NE	1.22	19.2	66.0	258.2	0.97
20	45.8	1.12	27.3	NNE NE	1.22	19.2	66.0	258.2	0.97

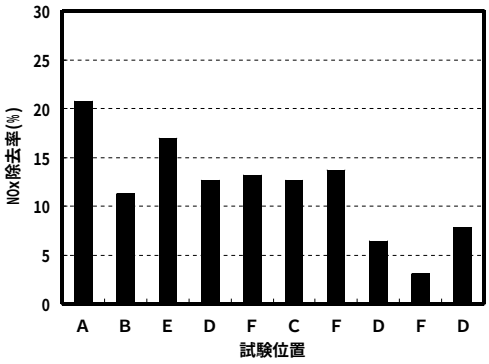
NOx除去率と温度、湿度などの測定項目との関係について検討した結果、次の3点が確認された。

①試験中のガス温度と光触媒舗装の路面温度はほとんど同じであった。

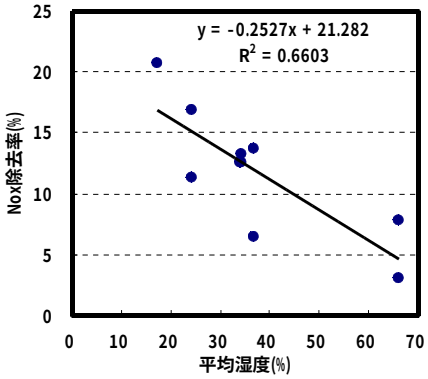
②試験が進むにつれてガス温度、湿度ともに上昇した。

③試験後半は、NOx除去率の低下が認められた。

NOx除去率と各測定項目の相関係数を求めた結果



図－4　屋外性能評価法Aの結果



図－5　NOx除去率と平均湿度の関係

表－5　NOx除去率との関係(r=√R²)

測定項目	相関係数ｒ
ガス温度	0.47
ガス湿度	0.76
紫外線強度	0.22
路面温度	0.46
平均気温	0.71
平均湿度	0.81
日射量A	0.84
日射量B	0.86
平均風速	0.05
試験開始後日数	0.75

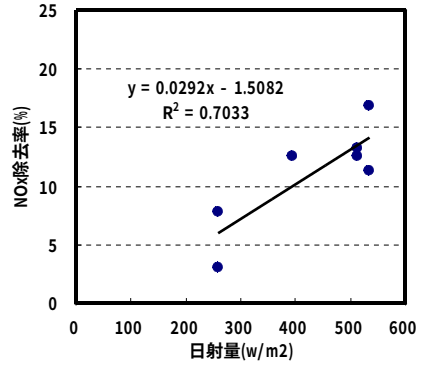
を表－5に示す。

相関係数rが0.8以上のものは、NOx除去率と平均湿度（図－5）と日射量1号（図－6）であった。その他、ガス湿度（図－7)、平均気温（図－8）も相関係数rが0.7以上と高い相関であった。

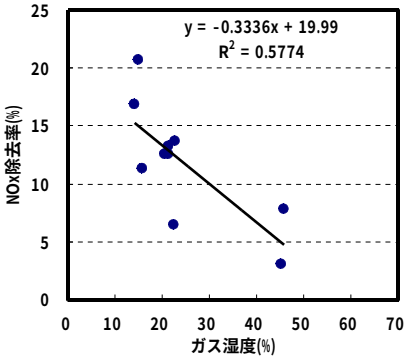
温度に関しては、一般的に温度の上昇は触媒の反応を促進するが、温度が上昇するとNOx除去率は下がる傾向にあった。屋外性能評価法Aでの調査は気温が低い初期の気候から気温が上がりつつある気象の中で試験を行った。この期間に光触媒の経時的な変化がおこりNOx除去率が低下した可能性も考えられ、NOx除去率と試験開始後日数の相関係数r=0.75と高い値であった。このことは、JISを応用した室内性能評価試験の場合では、湿度が高いとNOx除去率が小さくなることが認められていることから、湿度による影響も受けていることが考えられた。

2)　ガス濃度とNOx除去率の関係

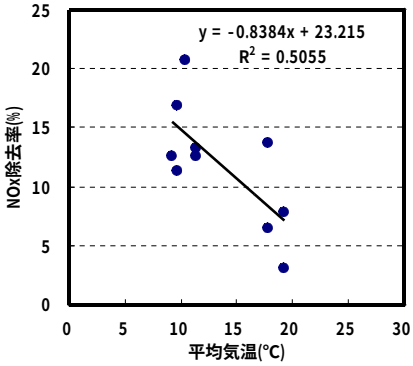
NO濃度とNOx除去率の試験結果は、図－9に示すとおりである。同一濃度で複数回行った場合は、平均



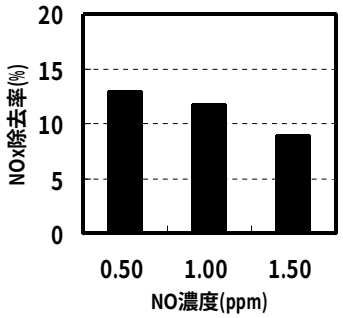
図－6　NOx除去率と日射量1号の関係



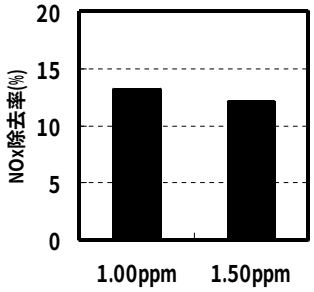
図－7　NOx除去率とガス湿度の関係



図－8　NOx除去率と平均気温の関係



図－9　ガス濃度とNOx除去率の関係



図－10　ガス濃度とNOx除去率の関係

値を用いた。試験時のガス温度は25℃～38℃、ガス湿度は約20%であった。JIS法を応用した室内性能評価試験（ガス温度25℃、ガス湿度50%）に比較すると、ガス温度が高めであり、湿度は低かった。

NO濃度0.50、1.00、1.50ppmではNOx除去率は各濃度の平均値で9～13%であり、若干ではあるが、濃度が低くなるとNOx除去率が高くなる傾向であった。

NO濃度1.50ppmでは、NOx除去率は4～18%程度となり変動係数が71%と大きかった。試験番号17、18の試験は同一日、同一時間の試験であり気象条件等も同一であるが､NOx除去率が約2倍と異なっている。原因としては、施工箇所の違いが考えられるが、その他については不明である。

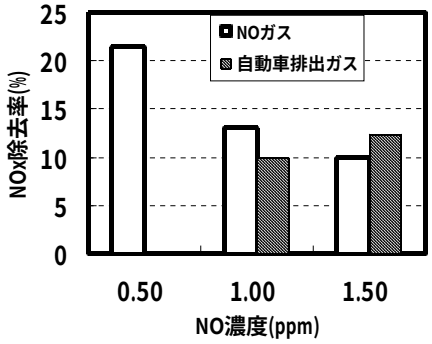
3)　自動車の排出ガス通気試験結果

屋外性能評価法Aにおける自動車の排出ガス通気試験結果を図－10に示す。自動車からの排出ガスからのNOx除去率は、NOx濃度1.00、1.50ppmともに12～13%であり濃度の変化による違いはなかった。

自動車排出ガスでのNOx除去率はNOガスとほぼ同等であった。

(4)　屋外性能評価法Bの結果

屋外性能評価法Bの試験結果一覧は、表－6に示す



図－11　屋外性能評価法Bの結果

とおりである。

比較舗装であるBL（密粒度舗装）でのNOx除去率は、0.1～3.4%，平均で1.7%であり、NOxの吸着はなかった。

1)　屋外性能評価法BにおけるNOx除去率

屋外性能評価法BにおけるNOガス及び自動車排出ガスの試験結果を図－11に示す。

屋外性能評価法BではNO標準ガスで0.50、1.00、1.50ppm、自動車排出ガスで1.00、1.50ppmの条件でBL（密粒度舗装）とともに各1ケース試験を行った。

NOガスのNOx除去率は、図－11に示すように濃度が低くなるにつれてNOx除去率が高くなる傾向が認められた。0.50～1.50ppmNO濃度でNOx除去率 9.9～21.5%であった。

自動車排出ガスでのNOx除去率は、1.00ppm、1.50ppmでそれぞれ10%，12%であった。NOガスとの大きな差は認められなかった。

2)　気象条件とNOx除去率の関係

NOx除去率と各測定項目との相関は、表－7、図－12、図－13に示すように相関係数r＜0.7であり、明確な関係はなかった。

(5)　室内性能評価試験結果

1)　供試体の寸法

切り取って整形した供試体の寸法は、幅49.0～49.3，長さ79.0～79.8，厚さ19.0～20.1㎜であった。

NOx除去性能試験時にNOガスが接触する空気層の厚さを5㎜にすることが重要であることから調整板を用いて空気層の厚さを一定とした。

2)　NOx除去試験前の洗浄水の濃度

供試体のNOx除去性能試験前に行った洗浄での最

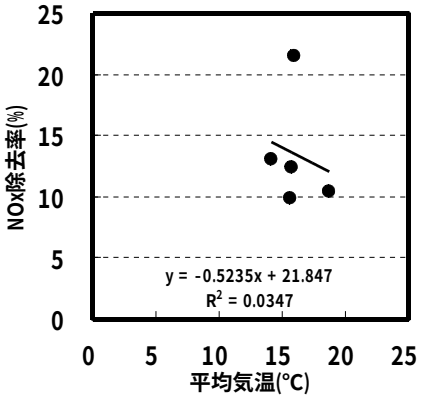
表－6　屋外性能評価法Bの試験結果

試験番号	施工後日数	試験開始後日数	対象舗装	ガスの種類	試験ガス濃度 (ppm)	入口ガス濃度 (ppm)	出口ガス濃度 (ppm)	濃度比 (%)	NOx除去率 (%)	ガス温度 (℃)	ガス湿度 (%)
1	51	28	NOx除去舗装	NO	1.00	1.01	0.88	86.9	13.1	37.6	16.2
			密粒度舗装	NO	1.00	1.01	1.00	99.0	1.0	40.5	14.1
2	56	33	NOx除去舗装	NO	0.50	0.50	0.39	78.5	21.5	40.1	17.2
			密粒度舗装	NO	0.50	0.50	0.50	99.9	0.1	44.3	12.4
3	71	48	NOx除去舗装	NO	1.50	1.50	1.35	90.1	9.9	32.0	14.3
			密粒度舗装	NO	1.50	1.50	1.47	97.9	2.1	36.3	11.0
4	64	41	NOx除去舗装	自動車排出	1.00	1.00	0.90	89.6	10.4	42.8	20.6
			密粒度舗装	自動車排出	1.00	1.00	0.97	96.6	3.4	48.2	14.8
5	65	42	NOx除去舗装	自動車排出	1.50	1.51	1.32	87.6	12.4	42.2	18.8
			密粒度舗装	自動車排出	1.50	1.51	1.48	98.2	1.8	47.1	11.9

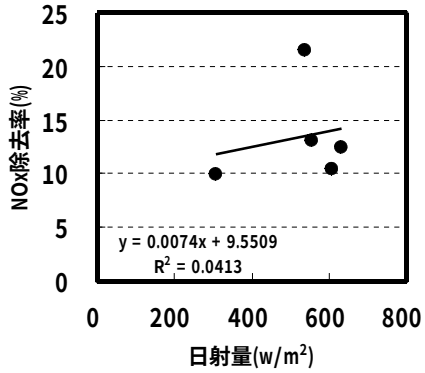
試験番号	紫外線強度 (mW/cm^2)	路面温度 (℃)	流速 (m/s)	最多風向 (16方位)	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	平均湿度 (%)	日射量 1号(w/m^2)	日射量 2号(MJ/m^2)
1	1.78	35.4	0.19	ESE	1.54	14.1	42.0	556.5	1.913
	1.78	40.3	0.19	ESE	1.54	14.1	42.0		
2	1.88	38.6	0.18	ESE	1.41	16.0	42.4	537.8	1.862
	1.88	43.9	0.18	ESE	1.41	16.0	42.4		
3	1.31	30.9	0.19	ENE	1.60	15.6	27.5	308.5	1.282
	1.31	35.9	0.19	ENE	1.60	15.6	27.5		
4	2.06	41.1	0.20	ENE	2.09	18.7	50.7	609.3	2.182
	2.06	47.9	0.20	ENE	2.09	18.7	50.7		
5	2.09	42.4	0.21	E	1.76	15.7	34.8	631.7	2.113
	2.09	47.5	0.21	E	1.76	15.7	34.8		

表－7　NOx除去率との関係($r=\sqrt{R^2}$)

測定項目	相関係数r
ガス温度	0.23
ガス湿度	0.03
紫外線強度	0.22
路面温度	0.20
平均気温	0.19
平均湿度	0.22
日射量A	0.20
日射量B	0.12
平均風速	0.65
試験開始後日数	0.58



図－12　NOx除去率と平均気温の関係



図－13　NOx除去率と日射量（1号）の関係

終洗浄液の亜硝酸イオン、硝酸イオンの濃度の結果を表－8に示す。すべての供試体において、最終洗浄液濃度は1.00ppm(mg/L)以下であった。

3)　NOx除去性能試験の結果

NOx除去性能試験の結果は、表－9に示すとおりである。NOx除去量は5.14μmol、NOx除去率は5.14÷40.22（試験時間5時間のガス負荷量）＝12.8%であった。

表－8　硝酸イオン濃度

供試体番号	NOx除去試験前洗浄液濃度			
	亜硝酸イオン NO_2^-(mg/L)	硝酸イオン NO_3^-(mg/L)	合計 (mg/L・NO_3^-)	pH
1	<0.01	0.05	0.05	6.5
2	<0.01	0.06	0.06	6.6
3	<0.01	0.06	0.06	7.9

表－9　NOx除去性能試験結果

項目（μmol）	1	2	3	平均
NOx 吸着量	0.00	0.00	0.00	0.00
NO 除去量	11.30	7.09	10.54	9.64
NO_2 生成量	5.31	2.70	5.42	4.48
NOx 脱着量	0.03	0.02	0.02	0.02
NOx 除去量	5.96	4.37	5.10	5.14

表－10　溶出試験結果

供試体番号	NOx除去量（μmol）	硝酸溶出量（μmol）	再生効率（%）	平均再生効率(%)
1	5.96	5.03	84	84
2	4.37	3.35	77	
3	5.10	4.63	91	

4)　NOx除去性能試験後の溶出試験結果

NOx除去性能試験後の溶出試験結果は、表－10に示すとおりである。

再生効率の算出は、溶出液濃度から硝酸溶出量を算出し、NOx除去量で除して求めた。

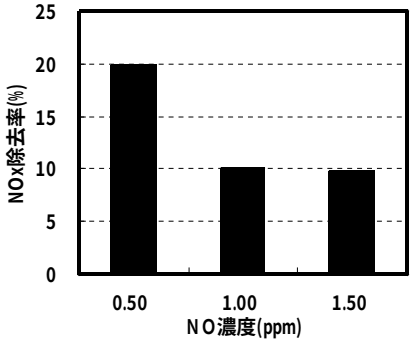
平均再生効率は84%であり、生成した硝酸イオンは水洗洗浄により回収出来ることが確認できた。

5)　室内性能評価試験におけるNO濃度、紫外線強度の影響

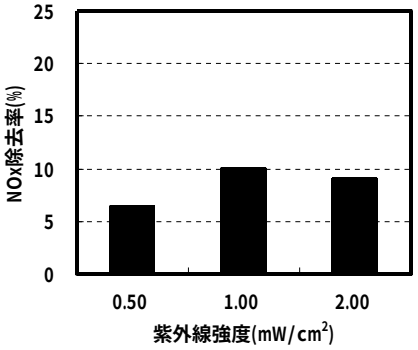
室内性能評価試験において試験ガスの初期濃度、紫外線強度の影響を検討した。

①試験ガスの初期NO濃度、紫外線強度の影響

JIS R 1701での試験ガスはNOガスであり、濃度は1.00ppmである。本調査では屋外性能評価法の試験でNOガスを0.50、1.00、1.50ppmで試験を行った。室内性能評価試験でNO濃度を変化させた時にNOx除去率に及ぼす影響を検討した。



図－14　NO濃度とNOx除去率の関係

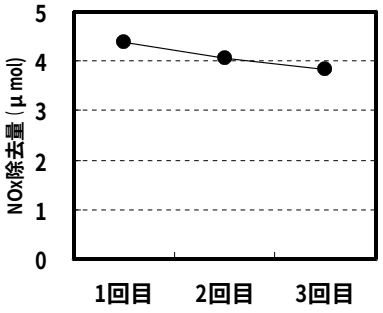


図－15　紫外線強度とNOx除去率の関係

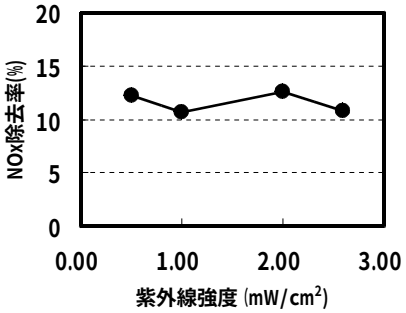
紫外線強度の検討では、JIS R 1701の紫外線強度(1mW/cm²＝10W/m²）に比較して、屋外性能評価法の試験では、それ以上に紫外線強度が高かった。そこで室内性能評価試験において紫外線強度を変化させた時に、NOx除去率に及ぼす影響がどの程度かを把握した。NOx除去性能試験を行った後、水洗を行い再度NOx除去性能試験を行った。

試験結果は、図－14、15に示すとおりである。

NO濃度を0.50→1.50ppmに変化させた時、NOx除去率は20→10%に変化し、NO濃度が低いほどNOx除去率は大きかった。また、紫外線強度は 1.00～2.00 mW/cm²ではNOx除去率の大きな変化は認められなかった。しかし紫外線強度が低い0.50mW/cm²になるとNOx除去率は1.00mW/cm²時のおおよそ40%の低下となった。屋外性能評価法では試験中の紫外線強度は2.00mW/cm²を超えることが多かったため、更に紫外線強度が強い時の除去量を試験する必要があるが、試験片自体の除去量の低下が認められたため2.00 mW/cm²までの試験とした。



図－16　洗浄の繰り返しとNOx除去率の関係



図－17　紫外線強度とNOx除去率の関係

6)　試験の繰り返しとNOx除去率の関係

洗浄の繰り返しによるNOx除去率の低下は、図－16に示すとおりであった。NOx除去性能試験を繰り返すとNOx除去率が徐々に低下することが確認された。

7)　紫外線強度とNOx除去率の関係

屋外性能評価法の平均紫外線強度は、屋外性能評価法Aで 1.10～2.20mW/cm²、屋外性能評価法Bで1.30～2.10mW/cm²であった。1個の試験片で紫外線強度を変化させた時のNOx除去率の変動を検討した。試験時間は各紫外線強度で1時間とした。紫外線強度は室内性能評価試験の最大強度である2.60mW/cm²までとした。結果は、図－17に示すとおりである。

光照射直後の試験時間ではNOx除去率は高く、その後低下する傾向であった。このため紫外線強度を変化させても明確な結果は得られなかった。1.00→2.00→2.60mW/cm²では、紫外線強度を上げているにかかわらず大きな低下は認められないことから2.60 mW/cm²までには大きなNOx除去率の変化は無いことが予測された。

(6)　NO_2の生成についての検討結果

表－11　NO_2の生成量及び生成率

供試体番号	NOx除去量（μmol）	NO_2生成量（μmol）	NOx除去率（%）	NO_2生成率（%）
1	5.96	5.31	14.80	13.20
2	4.37	2.70	10.90	6.70
3	5.10	5.42	12.70	13.50
平均	5.14	4.48	12.80	11.10

屋外性能評価法及び室内性能評価試験において生成するNO_2ガスについて検討を行った。また屋外試験においてNO_2生成率と各測定項目の関係についても検討した。

1)　室内性能評価試験におけるNO_2生成率

室内試験におけるNO_2の生成量及び生成率を表－11に示す。3点繰り返しによるNO_2生成率は平均で11.1%であった。

2)　屋外性能評価法AにおけるNO_2生成率

屋外性能評価法AにおけるNO_2生成率を図－18に示す。NO_2生成率は、NOガスで7～9%、自動車排出ガスで3～4%であった。NO_2生成率では自動車排出ガスでの生成が低い結果となった。

3)　屋外性能評価法BにおけるNO_2生成率

屋外性能評価法BにおけるNO_2生成率を図－19に示す。NO_2生成率は、NOガスで9～12%、自動車排出ガスで7～9%であった。NOガスと自動車排出ガスを比較すると若干、自動車排出ガスが低めな結果であった。

４．試験結果の考察

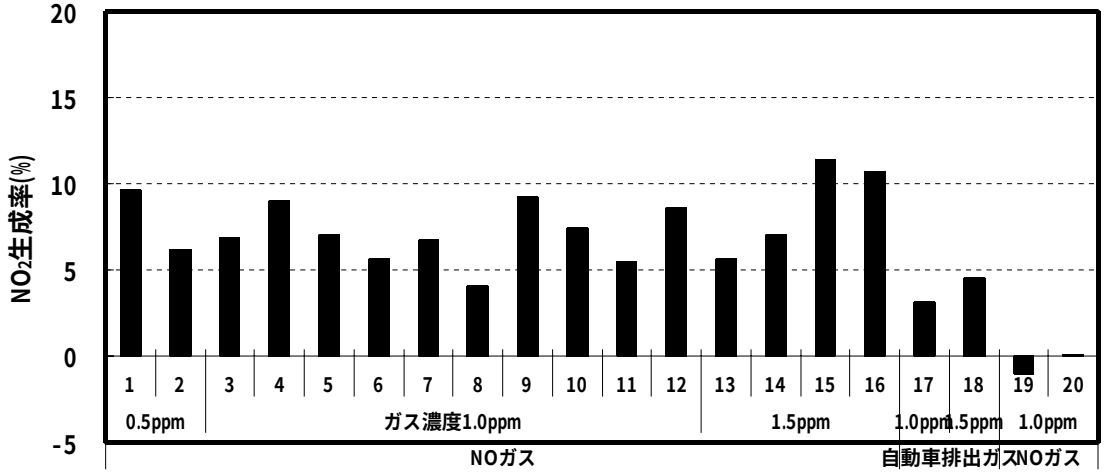
(1)　屋外性能評価法A、B及び室内性能評価試験の比較

屋外性能評価法A、Bおよび室内性能評価試験の3評価法についてNOx除去性能とNO_2生成率について比較した。室内性能評価試験の供試体は実際に屋外評価を行った場所から採取した供試体である。

3評価法のNOx除去率及びNO_2生成率の一覧を表－12に示す。これから、以下のことがわかった。

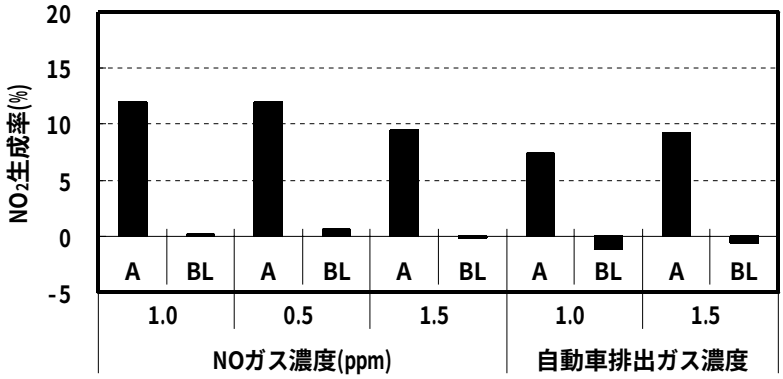
①1.0ppm、NOガスでの屋外性能評価法A、BのNOx除去率は、室内性能評価試験の結果12.8%とほぼ一致した。

②1.0ppm、NOガスでの屋外性能評価法BのNO_2生成率は、室内性能評価試験での11.1%とほぼ一致したが、屋外性能評価法AのNO_2生成率はやや低かった。



図－18　屋外性能評価法AにおけるNO₂生成率

凡例：AはNoｘ除去舗装，BLは密粒度舗装



図－19　屋外性能評価法BにおけるNO₂生成率

表－12　3評価法のNOx除去率とNO₂生成率

試験項目		試験ガス	濃度	NOx除去率	NO_2生成率
			ppm	%	%
屋外性能評価試験	A	NO	0.5	12.9	7.9
			1.0	11.8	7.0
			1.5	8.9	8.9
		自動車排出	1.0	13.2	3.1
			1.5	12.1	4.5
	B	NO	0.5	21.5	12.0
			1.0	13.1	12.0
			1.5	9.9	9.5
		自動車排出	1.0	10.4	7.4
			1.5	12.4	9.2
室内性能評価試験		NO	1.0	12.8	11.1

③①、②より1.00ppm、NOガスでの屋外性能評価法Bの結果は室内性能評価試験とNOx除去率、NO_2生成率ともによく一致していた。屋外性能評価法Bは、室内性能評価試験をほぼ再現していた。

④屋外性能評価法A、Bでは、NOガスの結果と自動車排出ガスの結果を比較した時、NOx除去率ではともに同様なNOx除去率であった。すなわち実際の現道において自動車から排出されるガスのNOx除去率は、室内性能評価試験のNOx除去率と同等であることがわかった。

但し、NO_2生成率に関しては、自動車排出ガスでは、室内性能評価試験よりA、Bともに低めの値であった。特に屋外性能評価法AではNO_2生成率が低かった。

⑤屋外性能評価法A、Bでは、NOガスの濃度を0.50、1.00、1.50ppmと設定し試験を行った。屋外性能評価法A、Bとも濃度が低くなるにつれてNOx除去率は大きくなる傾向であった。室内試験においてもこの傾向は同様であった。

以上より屋外性能評価法A、Bで同様なNOx除去性能が得られることがわかった。

(2) 屋外性能評価法AおよびBの試験方法について

屋外性能評価法AおよびBの試験では、室内性能評価試験の線速度及びガス負荷量を同等として試験を行った。その結果同等な結果が得られた。屋外性能評価法A、Bの試験治具の大きさを比較すると光触媒舗装面、流量ともにBが45倍大きい。光触媒が舗装されている舗装路面はポーラスアスファルト舗装であり空隙の大きい供試体となっている。試験中、風の強い日は供試体の空隙からのあおりを受け、NOx計が圧変動をうけマイナス値に大きくふれることがあった。そのためNOx除去率が過大評価されるおそれがある。本試験では試験中の平均風速が2.5m/s以下でかつ試験治具の試験部分以外はシートで覆い、極力風の影響を受けないようにした。この観点から試験治具の大きさを考えると、Aの試験治具は大きさ、流量とも、取り扱いやすいことが利点であるが試験治具の体積が小さいことから風等の影響を受けやすく、また光触媒接触面が小さいことから塗布時のばらつきが大きく影響する可能性があると考えられる。これより屋外性能評価法としての手法はBがよいと考えられた。しかし、現道における除去性能を評価する場合はチャンバーの大きさ等、更に改良が必要と考えられた。

(3) 屋外性能評価法A、BにおけるNOx除去率に与える影響要因について

屋外性能評価法A、Bにおいて、路面温度と試験治具内温度はほぼ同一の結果であった。これは天気の良い日の試験であったため、太陽光によって照射され試験治具内の温度は外気温より高い状態になり、路面温度とほぼ同等になったと考えられた。これらの測定項目とNOx除去率の関係は明確に認められなかった。

屋外性能評価法AでNOx除去率の相関が認められた測定項目は、湿度と日射量であった。湿度においては、JIS R 1701-1で湿度が高くなるとNOx除去率が下がる傾向であり、屋外性能評価法Aでは同様な傾向が認められた。また日射量においては、日射量が高くなるとNOx除去率が高くなり、日射量とNOx除去率の関係は、紫外線強度との関係より高い相関であった。室内性能評価試験の検討では、紫外線強度は1.00mW/cm²以上でNOx除去率はほぼ一定になることがわかり、1.00mW/cm²以下ではNOx除去率の低下が認められた。

屋外性能評価法Bでは同一条件での繰り返し数が少ないために、各測定項目との傾向は明確に把握できなかった。

5．まとめ

本研究で得られた結果は、次のとおりである。

①屋外性能評価法A、Bで同様の効果が得られるか確認を行った。屋外性能評価法AおよびBでのNOガス1.00ppmでのNOx除去率を把握した。

屋外性能評価法Aの除去率11.8%

屋外性能評価法Bの除去率13.2%

屋外性能評価法A、Bでは試験治具の大きさが異なるが、JISの条件どおりの線速度とNO負荷量を同一として行った試験では、同様な結果が得られた。このことからNOx除去率は、光触媒面に接触するNOガスの線速度と光触媒面積に係るNO負荷量に関係することがわかった。

②室内性能評価試験でのNOx除去率は12.8%であった。屋外性能評価法では12～13%であり、屋外性能

評価法の結果は室内性能評価試験の結果とほぼ一致していた。

③屋外性能評価法の試験では、ボンベからのNOガスと自動車からの排出ガスによる違いを把握した。屋外性能評価法A、Bでの結果よりボンベからのNOガスと自動車からの排出ガスの違いによるNOx除去率の差は認められなかった。自動車の排出ガスには二酸化炭素、水、一酸化炭素、炭化水素、有機物質、粒子状物質が含まれており、NOx除去率の低下が懸念された。しかし本調査から屋外性能評価法で自動車排出ガスを用いた除去効率は、NOガスのNOx除去率と同等であることがわかった。またNO_2生成率はNOガスに比較して小さめの傾向であった。

④JIS R 1701-1では、NOx除去舗装の汚染ガスをNOガスとして評価を行っている。しかし現道での大気は、自動車からの排出ガスである。本調査ではNOx除去性能の本来の効果を把握するためには現道を想定し、実際の効果の検証を行った。自動車排出ガスとNOガスを用いて作成したガスを屋外で施工されている箇所に適用してNOxの除去試験を行った結果、両者に違いは認められなかった。

また、これらの結果は室内性能評価試験の結果とほぼ同等であった。これより本調査法の屋外性能評価法は妥当な評価法であることがわかった。

⑤屋外性能評価法では、試験条件として流量の設定、触媒面へのNOガス負荷量を同等にすることが重要であることが把握できた。

⑥屋外での光触媒舗装面のNOx除去効果を評価する場合、現道でコアを採取し、室内性能評価試験法で評価する方法が妥当であることがわかった。

６．あとがき

JISを応用した室内性能評価試験法では、通気ガスをNOガスとして評価を行っている。しかし現道での大気は、自動車からの排出ガスである。NOx除去性能の本来の効果を把握するために現道を想定した試験を行った結果、屋外および室内性能評価試験法とも性能評価法として妥当であることが把握できた。

当初、自動車排出ガスの大部分は無害な二酸化炭素と水蒸気であり、微量成分として一酸化炭素(CO)、炭化水素（HC)、窒素酸化物（NOx)あるいは粒子状物質を含むことから、これら他成分の影響を受けると想定したが、両試験ガスともNOx濃度を同一にすることによって同様な結果が得られた。このことから、本手法が屋外試験法として適用可能であると考えられた。ただし、現道で評価するには、試験装置が大がかりとなることと試験時間が長いことから採用には課題がある。

本研究は、現道における屋外での評価法としての第一歩であった。今後、現地のガス濃度に対応した、簡易で精度の高い屋外性能評価法を確立していく必要があると考えている。

参　考　文　献

1)峰岸順一、小林一雄：NOx除去舗装の性能評価法と機能の持続性、東京都土木技術センター年報、p29-38、2006.9

2)峰岸順一、小林一雄：光触媒を用いた舗装のNOx除去性能評価試験の一検討、土木学会第60回年次学術講演会、p311～312、2005.9

3)http://www.sumitomo-chem.co.jp/acryl/0235touka.html

4)（社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、C046T、2007.6