

繊維状活性炭による低濃度NOの吸着除去

Removal of Diluted NO Using Activated Carbon Fibers

森 正博* 青木 啓** 磯田 徹***
Masahiro Mori Kei Aoki Tohru Isoda

表原 靖男***
Yasuo Omotehara

(1997年3月12日 受理)

Effective adsorption of diluted nitrogen oxides (NO_x) is one of the most important processes for purifying the polluted air, for instance in tunnels or on busy roads. Activated carbon fibers (ACF, Table 1) were examined on their usefulness as adsorbents for the removal of diluted NO, where NO is a main component of NO_x.

Adsorption tests were carried out at room temperature using an NO measuring apparatus in which a controlled potential electrolysis sensor was used (Fig. 1). ACFs in an "as received" state i.e. without pretreatment were found to adsorb a considerable amount of NO at 5 ppm concentration diluted with air or N₂ (Fig. 3). The test gas was then to be dried with silica gel. On the other hand, the ACFs preheated at 423 K for 24 h in air showed very low capacities of NO adsorption except for PAN-ACF, even though preheating adsorbent is a usual treatment.

Each of the 4 kinds of ACF showed its particular characteristics of NO adsorption (Fig. 4, Tables 2 and 3). NO₂ was well adsorbed from 4.8 ppm NO₂ - N₂ with ACF as was expected, but considerable NO evolution was accompanied with during the adsorption test. The weight of ACF samples was reduced by 7-25% during the NO adsorption test, which corresponds presumably to the removal of adsorbed water on the ACFs (Fig. 5). There were limited scopes for heating ACFs without damaging their NO adsorption capacity and for recovering it after NO desorption (Figs. 7 and 8). When heated at 473K, a PAN-ACF sample having fully adsorbed NO evolved to a maximum NO concentration of 380 ppm and maximum NO₂ of 3.6 ppm in a very short time (Fig. 9). A probable NO adsorption mechanism of ACFs is suggested as "micropore filling of NO assisted by presence of adsorped water and functional groups on ACFs".

キーワード：窒素酸化物，NO_x，低濃度NO，繊維状活性炭，吸着，NO吸着機構，脱離，
 ミクロ孔充填

1. 緒言

大都市における窒素酸化物 (NO_x) による大気汚染はなお深刻であり、NO_x総量のうち自動車から排出される割合の大きいところから、自動車NO_x総量削減法が1994年12月から施行され、施策および技術開発¹⁾が進められている。

トンネルや屋内駐車場における窒素酸化物 (NO_x) の濃度は時間的に変動するので、その除去技術ではNO_xを一旦吸着・濃縮したあと、脱離したガスを処理する方法が有力である。²⁾ NO_xの主要成分であるNOは、臨界温

度が180Kで、常温では非凝縮性であり、数ppmという比較的的低濃度であるため吸着材による分離・濃縮は困難であるとされてきた。³⁾

著者らは低濃度のNOの繊維状活性炭 (ACF) による吸着・濃縮^{3) 4)}を実験的に検討し、ACFがNO吸着能を示す条件、原料を異にする各種ACFのNO吸着特性などについて報告した。⁵⁾そして、その中の個々の実験結果についてNOの吸着機構に関心が持たれた。それは、この機構の理解がNO吸着に適合する吸着材を改良したり開発するのにきわめて重要であるからでもある。

活性炭 (AC) やACFなどの炭素系吸着材のNO吸着機構には、炭素系吸着材炭素触媒で酸化反応による旧來說⁶⁾と炭素系吸着材の担持物質の化学吸着にサポートされた、ミクロ細孔充填によるとする金子説^{3) 4)}がある。

* 材料技術部 環境関連グループ

** 材料技術部

*** システム技術部 熱・燃焼グループ

そこで、この主要な二説の観点から上記論文⁵⁾の実験結果およびその後得た知見を検討した。そして、ACFの低濃度NOの吸着機構について考察し、考える機構を提出した。

2 実験方法

2.1 ACF

供試したACFは、ピッチ系ACF（バルク状およびフェルト状）、PAN系ACF（フェルト状）、セルロース系ACF（フェルト状）およびフェノール系ACF（フェルト状）の4種類である。これらACFの比表面積、細孔直径および元素分析結果を表1に示す。

表1 供試したACFの特性

Table 1 Characteristics of activated carbon fibers tested

ACF	比表面積	ミクロ孔径	元素分析例 (%)			
	m ² /g		nm	C	H	O
ピッチ系	1000	1.6	98.5	0.0	1.3	0.2
PAN系	900	2.0~2.5	89.3	0.9	4.0	5.8
セルロース系	950-1050	2.8	94.3	0.6	3.5	0.0
フェノール系	1000	1.8	92.0	2.5	5.5	0.0

2.2 ACFの処理条件

ACFは、入手後、簡易・密閉プラスチック容器中のポリエチレン袋に室温で保管しておいた状態のものから供試した。

ACFの実際の使用では、加熱による脱離処理を行って再利用することを考えて、大気中における加熱処理（383、423および473 Kで24 h）、あるいはN₂気流中における加熱処理（423および473 Kで1 h）を行って、デシケーター中で放冷したACFを供試した。また、飽和水蒸気圧のもとで1 hの湿潤処理、あるいは室内に24 h静置する吸湿処理をした、ACFの吸着試験も行った。

2.3 吸着試験方法

NOの吸着試験は、NO_x濃度連続測定器（新コスモス電機製、NOセンサー、NO₂センサー：定電位電解式センサー）を組み込んだ流通法吸着ラインを用いて室温で行った。なお、NO₂の測定値はNOに比べて低いことを確認したのでその計測を省いた。

吸着実験に用いた試料ガスはNO-空気混合ガス（NO濃度：5 ppmを基準）、NO-N₂混合ガス（ボンベ入り、NO濃度：5 ppm）およびNO₂-N₂混合ガス（ボンベ入り、NO₂濃度：4.8 ppm）である。試験装置をNO-空気混合ガスの場合について図1に示す。試料カラムの内径は20 mmで、試料の量は0.25 g-0.5 gである。フェルト

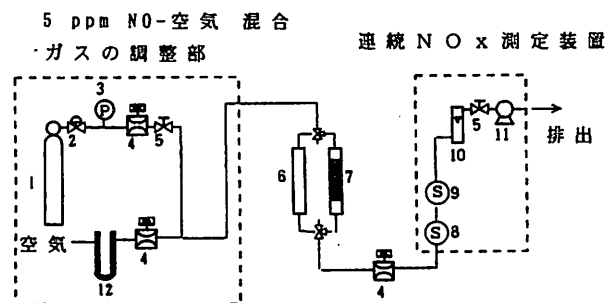


図1 流通式NO吸着測定装置 (5 ppm NO-空気)

- 1: 標準ガス (80 ppm NO-N₂), 7: 試料カラム,
- 2: 圧力調整器, 8: NO₂ センサー,
- 3: 圧力計, 9: NO センサー,
- 4: マスフローセンサー, 10: 体積フローメータ,
- 5: フローコントロールバルブ, 11: ダイアフラムポンプ,
- 6: 空カラム,

Fig. 1 Diagram of NO adsorption measuring apparatus. (5 ppm NO-air mixture)

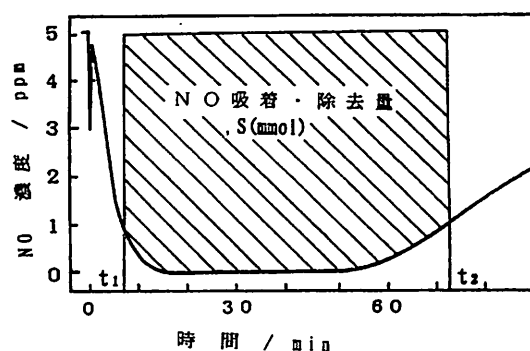


図2 ACFのNO吸着・除去特性の評価

例: PAN系ACF 0.239 g, 5 ppm NO-空気系.
Fig. 2 Estimation of the NO removal capacity of ACFs.
e.g. PAN-based ACF 0.239 g, 5 ppm NO-air mixture.

状のACFはキルク・ポラーで20 mmφに切り出し、所定量をカラムに充填した。

2.4 NO吸着能の評価

吸着試験によって図2のような、NO濃度-通ガス時間曲線が得られる。同図で脱硝率が上昇し80%を示す最初の時点をとし、その後、脱硝率が低下し80%を示す時点をとす。ACF吸着剤を通過する試料ガスの流量は、NO-空気混合ガスの場合、約500 mL/minで、NO-N₂混合ガスの場合、500 mL/minである。

このようにして、ACFのNO吸着能をt₁, t₁-t₂, およびNO吸着除去量, S (mmol) から求めたACF単位重量当たりのNO吸着除去量, S (mmol/g) で示した。なお、各試験の空間速度, SV (space velocity, 吸着材単位体積当たりの試料ガス流量) および吸着試験前後の試料の重量変化も調べた。

2. 5 NOを吸着したACFからのNOとNO₂の脱離

PAN系ACF (入手した状態, 0.500 g) に5 ppm NO-空気混合ガスからNOを吸着させ, 0.061 mmol/g 吸着した試料を調製した. その際, 試料重量は20.8%減少し, 0.395 g になっていた. この試料を入れたU字形カラムを473 K に保った炉に装入し, 温度上昇に伴って脱離してくるNOとNO₂を, 2. 3で述べたNO_x濃度連続測定器で測定した. このときのバージ・ガスにはN₂を用い, 体積流量を400 mL/min とした.

3 実験結果および考察

3. 1 ピッチ系ACFによるNO吸着実験

バルク状ピッチ系ACFのNO吸着試験の結果を図3に示す. 試料ガスがNO-空気混合ガスおよびNO-N₂混合ガスの場合, 同図のa, bに示すように, 入手した状態のままのACFがNO吸着能を有することを見いだした. なお, 吸着試験では, 試料の初期条件として加熱したり, 真空脱気して初期吸着物質を除去し, 清浄化することが当然のことになっている.

吸着試験の際, 試料ガスはシリカゲルで乾燥する必要があった. この乾燥処理をしない試料ガスでは, 同図のcに示すように, NO吸着能は脱硝率が約10%で停止したままであった. *の時点で試料ガス中の空気を乾燥するとNO吸着能は向上し, 同図のaと同程度になった. このとき, 試料の重量は吸着試験によってaの場合, 9.3%, bの場合, 7.6%減少した.

323 K で加熱処理したACFのNO吸着能は, 同図a'のように脱硝率が約, 60%から漸減して低かった. 特に, 試料ガスがNO-N₂混合ガスの場合, NO吸着能は見られなかった.

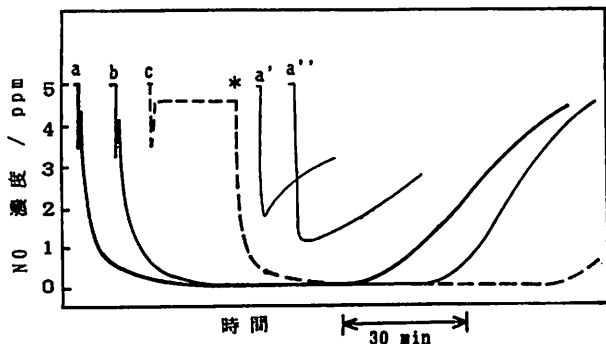


図3 ピッチ系ACF (バルク状, 0.5 g) についての吸着試験結果

- a : 受取状態 (試験ガス: 5 ppm NO-空気系).
- b : 受取状態 (試験ガス: 5 ppm NO-N₂系).
- a' : 423 K で乾燥後.
- a'' : 423 K で乾燥後, 飽和蒸気圧下で湿潤.
- c : 試験ガス: 5 ppm NO-空気系, 乾燥しないが, 時点*で乾燥.

Fig. 3 NO concentration-time curves in case of using pitch-based ACF (bulk) 0.5 g.

なお, 試料ガスの乾燥が必要であることに関して, 乾燥が不要になるようACFの改良が試みられている.⁷⁾

3. 2 各種ACFのNO吸着特性

フェルト状のピッチ系, PAN系, セルロース系およびフェノール系のACFについてNO吸着特性を調べ, その結果を5.0 ppm NO-空気混合ガスの場合に関して図4 (実線) と表2に, 5ppm NO-N₂混合ガスの場合に関して図4 (点線) と表3に示す.

3. 1で述べたバルク状のピッチ系ACFのNO吸着の特徴は, これらのACFについてもほぼ同様であった.

試料ガスが5.0 ppm NO-空気混合ガスの場合, ピッチ系ACFはフェノール系ACFとほぼ同程度の吸着能を示し, 試験後の重量減少量は少ない. PAN系ACFの吸着特性はもっとも優れており, NOの吸着量は0.071 mmol/g である. セルロース系ACFはNOの吸着能を発

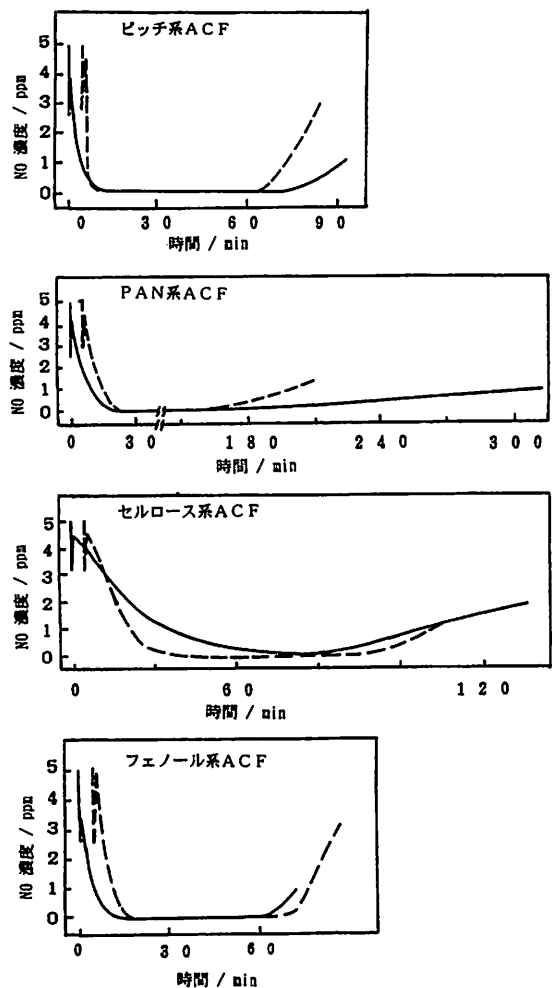


図4 4種類のACF (フェルト状) についての吸着試験の結果 (ACF試料: 0.5 g)

- 実線: 試験ガスとして5 ppmNO-空気系.
 - 破線: 試験ガスとして5 ppmNO-N₂系 (5 minずらせて表示).
- Fig. 4 NO concentration-time curves for four kinds of ACF (felt). ACF sample: 0.5 g
Solid line: 5 ppm NO-air mixture as test gas.
Broken line: 5 ppm NO-N₂ mixture as test gas.

表2 NO除去性能の評価 (約 5 ppm NO-空気系, ACF試料: 0.5 g)

Table2 NO adsorption removal Characteristics of the ACFs tested (5 ppm NO-Air, ACF sample: 0.5 g)

ACF	t_1	$t_1 \sim t_2$	NO 吸着量 mmol/g	試料重量 の減少 %	SV (空間速度) h^{-1}
	min	min			
ピッチ系	5	88	0.020	13.3	4370
PAN系	11	310	0.071	20.3	4530
セルロース系	18	112	0.023	25.5	10240
フェノール系	5	69	0.016	13.7	5070

表3 NO除去性能の評価 (約 5 ppm NO-N₂系, ACF試料: 0.5 g)

Table3 NO adsorption removal Characteristics of the ACFs tested (5 ppm NO-N₂, ACF sample: 0.5 g)

ACF	t_1	$t_1 \sim t_2$	NO 吸着量 mmol/g	試料重量 の減少 %	SV (空間速度) h^{-1}
	min	min			
ピッチ系	5	67	0.015	11.0	3820
PAN系	5	194	0.043	20.8	4150
セルロース系	18	118	0.025	26.3	7720
フェノール系	6	65	0.014	12.1	4150

揮するまでの通ガス時間が長い, 試験後の重量減少量が多い, SVが大きいといった特徴がある。

試料ガスが5ppm NO-N₂混合ガスの場合, 5 ppm NO-空気混合ガスの場合と比べると, NO吸着除去量は, ピッチ系およびフェノール系ACFが同程度であり, PAN系ACFは減少し, セルロース系ACFは増加している。

浦野らは⁷⁾, NO-N₂混合ガスでは活性炭(AC)によるNO吸着はきわめて少ないとしている。本研究とはACとACF, 試験温度が高い, 試料ガスのNO濃度が高い, NOの吸着量を吸着重量の計測によっている, といった点で差異がある。

著者らもNO-N₂混合ガスの室温における吸着試験でACによるNO吸着能が少ないことを確認している。⁹⁾ここで, NOの吸着試験の過程における試料の重量の減少が著しいという特徴の詳細を, 入手した状態のPAN系ACFについて図5に示す。試料ガスは5.0 ppm NO-空気混合ガスである。NOの吸着が進行している過程, 点A, B, C, Dに相当する各時点で吸着試験を中止し, 試料の重量を測定して得た結果である。入手した状態のACFは, NO吸着の過程で重量減少を伴いながらNO吸着能が向上し, 時点Bで5ppmのNOを吸着する性能を有しており, 重量減少のなくなる時点C以降, 時点Dにおいても5ppmのNOを吸着・除去する性能を維持していることがわかる。

吸着試験後の試料重量は, 室内放置による吸湿によっ

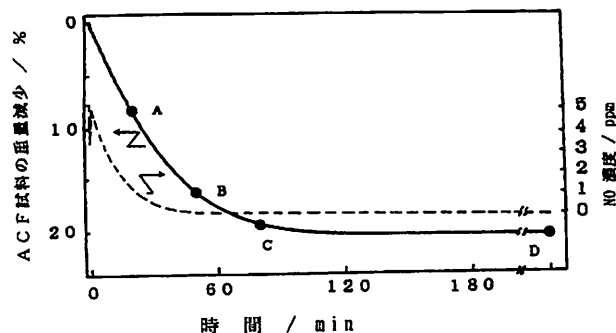


図5 吸着試験のNO吸着・除去過程における試料の重量減少
試験ガス: 5 ppm NO-空気系, 試料: PAN系ACF 0.5 g
Fig.5 Sample weight reduction in case of using PAN-based ACF 0.5 g during NO removal from 5 ppm NO-air mixture.

てもとの重量に戻るもので, 重量減少は吸着していた水分の脱離に起因するものと考えられる。それゆえ, 時点BはACFが吸着水分を3-4%有している状態で, 時点C以降, 時点Dでは, ごく少量の吸着水が残留している。

このように, NO吸着過程において吸着水の散逸現象が顕著であることがわかる。

3.3 ACFのNO₂吸着特性

4.8ppm NO₂-N₂混合ガスについて, フェルト状のピッチ系ACFのNO₂吸着特性を調べた結果を図6に示す。NO₂の吸着は容易であることがうかがえる。しかし, NOが吸着試験の初期に少し生成され, 40min以降は徐々に増加していき, 2ppm程度のNOが生成されることがわかった。ACF上で還元反応が起っているものと考えられる。

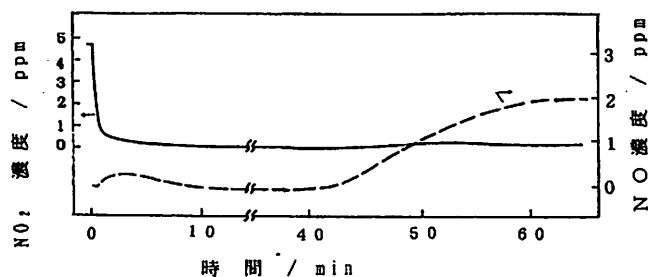


図6 試験ガス: 4.8 ppm NO₂-N₂系についての吸着試験の結果 (ACF試料:ピッチ系ACF 0.25 g)
Fig.6 Adsorption test result for 4.8 ppm NO₂-N₂ as test gas. ACF sample: pitch-based ACF, 0.25 g

3.4 ACFの加熱処理, 吸湿処理および脱着

ACFを実際に利用するためには, 加熱による吸着物質の脱着のあと, 吸着能を回復した状態で再使用する必要がある。しかし, ピッチ系, セルロース系およびフェノール系のACFは, 323 K大気中の加熱処理によって

吸着能が著しく低下した。一方、PAN系の場合は、図7に示すように、大気中加熱によっても、加熱温度によっては初期から脱硝率、100%の吸着能が見られ、そのまま維持されていることがわかる。

次に、N₂気流中で加熱処理の影響を調べた結果を示す。図8は423 Kの場合、NO吸着量が0.020 mmol/g (試料重量: 0.254 g) で、473 Kの場合、NO吸着量は0.079 mmol/g (試料重量: 0.245 g) であり、未処理のものとのレベル (NO吸着量: 0.079 mmol/g, 試料重量: 0.245 g) にまで回復する。他の系のACFにおいては、このようなN₂気流中での加熱処理の有用性は認められない。

ACFのNO吸着作用における吸着水の役割が注目されるので、加熱処理を受けて吸着能が低下したACFは、水分の吸湿によってNO吸着能が回復することが期待される。図3の曲線a' および図7の曲線dは、飽和水蒸気のもとで1 hの湿潤処理および室内で24 h静置する吸湿処理の有効性を大気加熱をしたバルク状ピッチ系ACFおよびPAN系ACFについて調べたものである。加熱温度によってはNO吸着能は回復する場合とそうでない場合のあることを示している。

PAN系ACFをN₂気流中、423 Kおよび473 Kで加熱した試料の場合、図8に示すように、室内静置による吸湿によってNO吸着能が回復した。NO吸着量は423 K加熱の場合、0.067 mmol/g (吸湿試料重量: 0.315 g) で、473 K加熱の場合、0.073 mmol/g (吸湿試料重量: 0.296 g) であった。一方、飽和水蒸気のもと1 hの湿潤の場合、吸着試験の初期のNO吸着能の発現が遅れるとともに、NO吸着量は0.033 mmol/g (湿潤試料重量: 0.273 g) で、吸着能の回復が不十分であった。

このように、ACFを加熱前処理してもNO吸着能を損なわない条件および吸湿によりNO吸着能を回復させる条件は、きわめて限定されている。

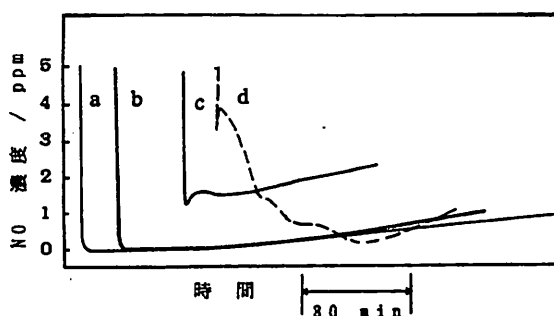


図7 PAN系ACFのNO吸着・除去能に及ぼす大気中加熱およびその後の湿潤の影響

- a: 423 K乾燥後.
- a': 423 Kで乾燥後、飽和蒸気圧下で湿潤.
- b: 423 Kで乾燥後.
- c: 473 Kで乾燥後.
- d: 473 Kで乾燥後.

Fig. 7 Effect of heating in air and subsequent moistening on NO concentration-time curves of PAN-based ACF.

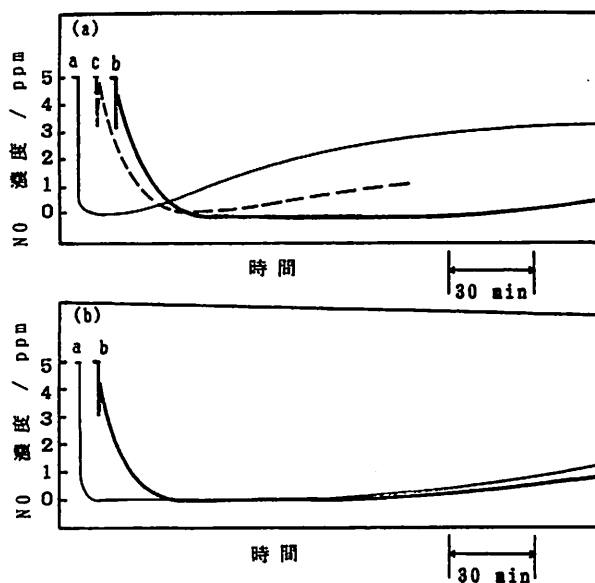


図8 PAN系ACFのNO吸着・除去能に及ぼすN₂中加熱およびその後の湿潤の影響.

- (a) 423 KまでN₂中加熱. (b) 473 KまでN₂中加熱.
- a: 423 Kおよび473 KまでN₂中加熱.
- b: N₂中加熱・湿潤後.
- c: N₂中加熱・飽和蒸気圧下で湿潤後.

Fig. 8 Effect of heating in N₂ flow and subsequent moistening on NO concentration-time curves of PAN-based ACF.

- (a) Heating in N₂ flow up to 423 K.
- (b) Heating in N₂ flow up to 473 K.

NOを十分吸着したACF (試料ガス: 5 ppm NO-空気) から加熱によるNOの脱離を検討し、その結果の一例を473 Kについて図9に示す。ACFの温度上昇に応じて、最高、約380 ppmのNOと約3.6 ppmのNO₂の脱離が認められた。この結果は、ACFが試料ガス中のNOをNOとして吸着し、殆どNOをそのまま脱離したことを示している。

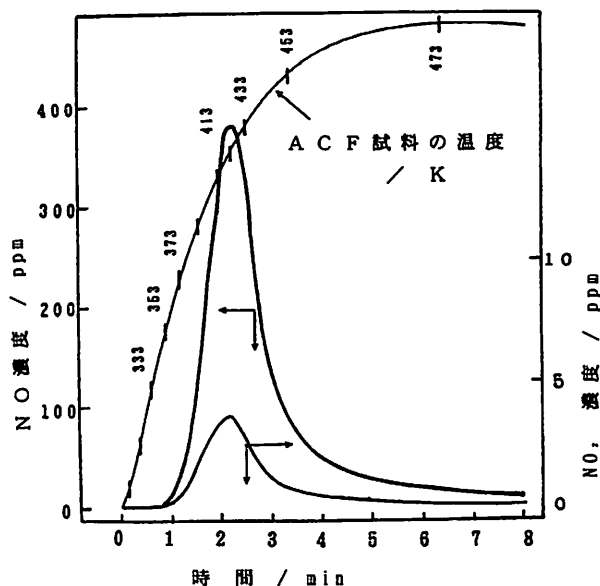


図9 脱離実験の結果.

Fig. 9 An example of the desorption experiments.

3. 5 ACF上での低濃度NOの吸着機構についての考察

江口らによる炭素触媒に関する集録⁵⁾では、ACのNO吸着機構は、NOの酸化反応であり、その官能基が関与しているとされている(旧来説)。浦野ら⁸⁾もNO-空気系ではACが酸化触媒として作用し、NOをNO₂として吸着すると報告している。堀井ら²⁾もNOがNO₂の形態で酸化され吸着されるが、脱離の際、NOが脱離して1原子のOを残し、CO₂も脱離すると推定している。

一方、金子らは、NOは非凝縮性気体であるため物理吸着は困難であるが、微細な鉄酸化物を分散させたACFはNO吸着能が高く、NO吸着機構は、「高分散・鉄酸化物の化学吸着にサポートされた、マイクロ細孔充填」によるとしている(金子説)^{3), 4)}。

実験結果をNO吸着機構の観点から整理すると次の通りである。

(1)低濃度のNO(NO-空気系およびNO-N₂系)は、入手した状態のままの未処理のACFによって常温で吸着・除去できる。その際、試料ガスは乾燥することが必要である。(図3、図4)

(2)空气中で加熱・乾燥したACFのNO吸着能は、PAN系ACFを除いて低い。(図3、図7)

(3)NO吸着過程でACFの重量は7~25%減少するが、吸着試験後、長時間静置によりほぼ元の重量に戻る。吸着過程で吸着水を放出し、ほぼ同量の水を吸着する。(図5)

(4)ACFの種類によってNO吸着能が異なる。(図4)

(5)ACFのNO₂吸着は容易であるが、ACF上で還元反応が起ってNOが生成される。(図6)

(6)脱着により排出されるガスは主としてNOでありNO₂は少ない。(図9)

(7)N₂気流中で473Kに加熱した、PAN系ACFの吸着能は、吸着試験の初期から発現し、NO吸着量はほぼ維持されている。(図8)

実験結果(6)は、ACFが試料ガス中のNOをNOとして吸着し、NOをそのまま脱離したことを示す。このことは金子³⁾も指摘している。

実験結果(1)は、試料ガスがNO-N₂系で、酸素が共存しなくても良好なNO吸着能を有することを示している。

実験結果(5)は、ACFのNO₂吸着ではACF上で還元反応が起こることを示している。

これらから、ACFはNOの酸化触媒として作用していないのではないかと考えられる。

実験結果(1)および(3)は、吸着水の散逸現象がACFのNO吸着過程において顕著であることを示し、実験結果(2)はACFに吸着された水分がNO吸着に寄与してい

ることを示している。

このような吸着水分の役割は、金子らの最近の研究⁹⁾による「ACFマイクロ孔中のNO分子と水分子とのクラスター化合物生成」と同一の内容を示唆するものであると考えられる。彼らは「NOを予め吸着させた鉄酸化物高分散・ACF」を試料としているが、本研究で用いた試料は「H₂Oを予め吸着させたACF」である、といえる。

この鉄酸化物高分散・ACFは、鉄酸化物の化学吸着性のため強い吸着をしていて、熱脱着温度のピークも220℃と高い。³⁾一方、入手した状態のACFでは、NOを十分吸着させた試料から、NOが室内放置によっても脱離・散逸する。⁹⁾それゆえ、ACFの吸着水や表面OH基などの官能基の化学吸着は、弱い吸着である可能性がある。

また、ACFのマイクロ孔における水分子の状態¹⁰⁾はordered water であるといわれているが、本実験のように、ACFのNO吸着の過程で吸着水がACFから散逸しても水分子として残存しているか否か、また、そのようなordered waterやマイクロ孔中に、生成される「NO分子と水分子とのクラスター化合物」のNO吸着機構における意義に関心が持たれる。

実験結果(2)、(4)および(6)からは、PAN系ACFのNO吸着能が他系のACFに比べ優れ、特異であることが注目される。ACFのNO吸着作用における、元素C、H、O、特に、Nに関わる官能基の寄与がうかがえる。

以上のように、ACFのNO吸着機構に関連する実験結果から、ACFがNOの酸化触媒として作用しているのではなく、金子説を参照して、「ACFの吸着水および表面OH基などの官能基の弱い化学吸着にサポートされた、マイクロ細孔充填」による、と考察することができる。

4 結言

交差点やトンネル内におけるような低濃度NOの吸着・濃縮に適合する吸着材としてACFに着目し、その室温におけるNO吸着除去特性を、定電位電解方式NOセンサーを組み込んだ流通式吸着試験装置により調べた。5ppmという低濃度のNO(空気あるいはN₂中)は、入手した状態のままの未処理のACFによって常温で吸着できることがわかった。その際、試料ガスは乾燥することが必要であった。一方、大気中で加熱前処理したACFのNO吸着能は、PAN系ACFを除いて低かった。原料を異にする4種類のACFのNO吸着特性は異なり、PAN系ACFがもっとも良好なNO吸着能を示した。ACFのNO₂吸着は容易であるが、還元反応が起ってNOが生成された。加熱処理してもNO吸着能を損なわ

ない条件および加熱で低下したACFのNO吸着能を回復させる条件は、限定されたものであった。NOを十分に吸着したACFから加熱・脱離によって排出されるガス中には、NO₂は少なく、主としてNOであった。ACFのNO吸着機構は、ACFの吸着水および表面OH基などの官能基の弱い化学吸着にサポートされた、マイクロ細孔充填によると考察することができた。

謝 辞

NO濃度連続測定器を貸与され、適切な使用方法を提示された、新コスモス電機(株)堀内 雅司氏、繊維状活性炭の試料および関連技術資料を提供いただくとともに、ご教示いただいた、大阪ガス(株)前田 武士氏および大川 勝美氏、東邦レーヨン(株)島崎 賢司氏、また、繊維状活性炭の試料を提供いただいた、東洋紡績(株)石崎信男氏、日本カインール(株)糟谷敏広氏に、厚くお礼を申し上げます。

本研究は、大阪府立大学工学部応用化学科、安保研究室で行われた、大阪府地球環境会議の委託研究、「光触媒触媒による窒素酸化物の分解に関する研究」(平成5-7年度)に協力する形で進められた。ご指導と激励をいただいた、安保 正一教授に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) (財)先端建設技術センター、低濃度脱硝技術のフィールド実験の概要、(1992)。
建設省関東地方建設局、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、低濃度脱硝実験設備、(1996)。
- 2) 堀井雄二、山下岳史、由良慶太、古田覚士、第7回日本吸着学会研究発表会講演要旨集(依頼講演)、千葉、(1993)、p.119-122。
- 3) 金子克美、現代化学、1987、12、pp.18-22。
- 4) 金子克美、尾関寿美男、井上勝也、日化、1985、1351
金子克美、尾関寿美男、井上勝也、日化、1985、2315
- 5) 森 正博、青木 啓、磯田 徹、表原 靖男、安保正一、日化、1997、147
- 6) 江口良友、児玉佳彦、触媒工学講座、第10巻、p.143
- 7) Mochida I., Kawano S., Hironaka M., Yatsunami S., Korai Y., Matsumura Y. and Yoshikawa M., Energy and Fuels, 9, 659(1995)
- 8) 浦野 紘平、谷川 昇、増田俊男、小林義隆、日化、1978、303
- 9) 森 正博ほか、未発表
- 10) 藤江和彦、鈴木孝臣、金子克美、日本化学会第69回春季年会講演予稿集第1分冊、417、(1995)
- 11) I. Iiyama, K. Nishikawa, T. Otowa, K. Kaneko, J. Phys. Chem., 99, 10075, (1995)