

Adsorption News

Vol.12, No.1 (April 1998)

通巻No.44

目 次

○巻頭言

“感動”が支える研究開発 上甲 勲 2

○第10回吸着シンポジウムのお知らせ 4

○第12回日本吸着学会研究発表会のお知らせ 5

○技術ハイライト

活性炭を使用した排ガス処理について 渡部 輝雄 6

○スポットライト ～ポスター賞受賞者特集 その1～

シリンダ状ナノ細孔内凝縮モデルとナノ細孔径評価

—MD法およびメソポーラスシリカを用いた検証—

..... 神田 英輝 20

重金属固定化能を付加した酸性ガス除去剤の開発

..... 長澤 博司 21

○関連学会のお知らせ 22

○寄稿

「早創期から成長期へ～名誉会員の想い～」..... 竹内 雍 23

○海外レポート

CNRS-LIMSI滞在記 児玉 昭雄 25

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

“感動”が支える研究開発

栗田工業株式会社 上 甲 勲



“泣きなさ～い 笑いなさ～い…”と唄う喜納昌吉さんの“花”という歌がある。初めて耳にしたとき全身に衝撃の電波が走った。29年前に現勤務先に入社し、ゼオライトの開発と応用研究に取り組むことになり、吸着の勉強を始め、Langmuirの吸着等温式に出会った。そのとき、固体表面の吸着点と吸着分子の吸着模型の仮定から導き出したIrving Langmuirの考えの簡潔さに感動したときと同じ衝撃であった。それ以来、固体表面の魅力に引きつけられ吸着現象に関わる研究開発に取り組んでいる。

最初は、合成ゼオライトの工業化と適用技術に関する開発研究であった。合成したゼオライトの分子篩作用の特性を比較検討するために吸着天秤の石英スプリングの伸びを毎日毎日測定し、その結果に心をときめかした。分子径が細孔径のサイズよりも大きい分子は吸着されないし、小さな分子は吸着する。その現象がスプリングの伸びの大小から定量できる。カセットメーターを覗くのが楽しみであった。ゼオライトの3次元構造が頭の中に描けられるようになるまでに1年位要した。そうなってくると吸着分子がゼオライトの細孔内を拡散移動し吸着点に吸着されていく様子が想像できるようになってきた。まるで自分自身が分子レベルの大きさになって覗いてきたかの如く。視野が広がり研究の楽しみが膨らんだ。

4A型ゼオライトのNaをKに置換することによってNa型では吸着できていたメタンやエタンガスが吸着されなくなった。実験結果に感動した。分子レベルの分子篩現象を実験を通して覗き見ることができたのである。スプリングの伸びを測定する単調な作業の繰り返しであったが結果を知るのが楽しみで苦にはならなかった。

実験結果が顧客に評価され石油プラントのエチレンガスの脱水剤として採用になった。3 tonの注文を受け先輩研究者と大喜びした。初めての実績である。受

注金額は確か約3百万円であった。参考のために記すと当時の私の月給は4万円に満たなかった。

顧客に認められ、注文を受け売り上げに寄与できる喜びは大学等の研究者にはなかなか体験できない企業の研究者独特の喜びの一つである。このときの喜びも忘れられない感動となりその後の開発研究のドライビングフォースとなった。

その後、別の客先から25 tonの注文を受けた。先に採用いただいたのと同じ目的で固定層式吸着塔に充填された。このときは喜びもさることながら4年間の性能保障に対し大きな責任を感じた。運転が開始し、客先から数日毎に性能の推移を知らされた。当初は破過までの持続時間が100時間以上あったものが吸着サイクルを繰り返す毎に短くなってきた。持続時間の短縮されていく傾向をグラフに描き直線で外挿すると1年も持たないような傾向である。

社内の関係者からも厳しい見通しであることを指摘され緊張した。でも、自分たちの実験結果を信じるしかなかった。使用開始直後の性能低下度合いは大きい。これが私たちの繰り返し耐久性試験結果であった。そのようになると信じ関係者に説明した。祈るような気持ちで過ごした毎日であったが結果的には期待した通りの推移を示し5年間に渡って使用することができ、さらに25 tonの追加注文をいただいた。身の細る思いをした体験であったが実績がついてしまうと逆に自信に繋がった。

地道に積み重ねた実験結果は工業化に当たっても十分に信頼できるものであり、常にそのような姿勢で実験を繰り返すことの大切さを認識した。

入社時に取り組んだゼオライトに関する研究がきっかけとなり、ゼオライト表面の特性に魅せられ、その後触媒としての活用研究に取り組んだ。

ゼオライトの陽イオン交換機能を利用し、Cu、Co

等の金属を担持させてNH₃ガスの空気酸化やNO_xのNH₃による還元触媒としての特性評価を行った。Cuを置換すると200℃程度の反応温度でNO_xの還元脱硝触媒活性を発揮することを見だし特許を出願した。しかし、残念なことに出願日より約1ヶ月前に著名な触媒研究者の発表論文があることが分かり特許は成立しなかった。

企業における研究成果は特許で保護することが利益に結びつけるための有効な手段になる。この点も公的な研究機関での研究成果の位置づけと大きく異なる点である。

それ以後の研究においては実験結果を判断する基準に研究開発の結果は新規性があるか、あればすぐに特許を出そうとの対応が身についた。

その後、排水中からのリンの除去技術として、リン酸カルシウムの結晶析出現象を利用した晶析脱リン法の開発研究に取り組んだ。この仕事の中ではリン酸イオンとカルシウムイオンの反応をリン酸カルシウムの種晶表面への吸着現象として捉えることによって現象を自分なりに理解できた。

また、富栄養化対策として、排水中のアンモニウムイオンを亜硝酸イオンと反応させて窒素ガスに変換処理する触媒を用いた酸化分解処理法の開発研究にも取り組んだ。この仕事の中では有効な触媒を見つけることがポイントであった。触媒の選定には、触媒材料表面への反応物質の吸着が重要になると判断し、そのような視点から触媒の選定を進めてきた。

私の場合、29年前に “Irving Langmuir の固体表

面への気体の吸着に関する定量的な考察” に感動し、その感動がその後の研究開発のドライビングフォースとなってきたような気がする。

吸着現象は固体表面の関わる多くの現象に関係している。今後ますます技術的広がりをもってくると考えられる。研究開発の取り組みの中で明らかになってくる現象に感動し吸着技術分野でとりこになってくる研究者が増えてくることを期待したい。そして、実験によって明らかになって行く結果に素直に対応し、仮説が実証されたときには喜び、予想外の成果が得られたときには感動し、残念ながら意に反した結果の場合には悔し涙をながし再チャレンジしていく。飽くなき挑戦をしていくことが研究者の宿命ではないでしょうか。

研究開発は素直な気持ちで “泣いたり笑ったり” できるような取り組み姿勢が大切なのではないでしょうか。そのような取り組みの中から感動が生まれてくるような気がしている。

上 甲 勲 栗田工業株式会社 開発本部
技術開発センター 研究主幹 工学博士
略 歴 1944年 5 月生まれ（愛媛県）
1969年 3 月 金沢大学理学部化学科卒業
1969年 4 月 栗田工業（株）入社
以来 同社研究開発部門に勤務
1997年～ 現職
E-mail : isao.joukou@kurita.co.jp

Adsorption News 原稿募集

投稿に関する詳細は編集局までお気軽にお問い合わせ下さい。なお、Adsorption Newsは1月、4月、7月、11月の年4回発行、国内外400以上の企業、大学・研究所および個人に発送されています。（以下のページ数は刷り上がりです。）

研究ハイライト、技術ハイライト：A4で4～6ページ（図表を含む）

会 員 紹 介：A4で1ページ

維持会員の紹介。未紹介の会員企業の方は是非、御投稿下さい。

研 究 室 紹 介：A4で1ページ

大学、研究所（民間、公立）の研究室単位での研究内容などの紹介

スポットライト：A4で0.5～1ページ

学生・若手研究者の研究紹介

海外レポート：A4で0.5～2ページ

海外滞在、国際会議の報告です。

コーヒーブレイク（寄稿）：A4で1～4ページ

話題に制限はありません。

第10回吸着シンポジウムのお知らせ

1. テーマ 「最近の吸着技術と分子シミュレーション」

2. 開催日時および場所

平成10年 8月21日(金)、22日(土)

大阪大学コンベンションセンター

〒565-0871 吹田市山田丘 1-1

電話06-877-5111(代表)

3. 参加費

会 員 5,000円 学生会員 2,000円

非会員 10,000円 懇親会 5,000円

4. プログラム (予定)

8月21日(金) 13:00~17:30

1) 安武 昭典 (三菱重工)

圧力スイング吸着法の応用技術の紹介

2) 伊藤 睦弘 (富士シリシア化学)

均一な細孔径分布を有する耐水・耐熱性球状シリカゲルの物性と応用

3) 山田 比路史 (重松製作所)

呼吸用保護具における吸着現象について

4) 堀井 雄二 (神戸製鋼所)

吸着剤・吸着プロセスの開発と実用化例

17:45~19:30 懇親会

(ローゼン : 06-879-9356)

8月22日(土) 9:00-12:00

5) 宮原 稔 (京都大学)

分子シミュレーションの基礎と応用 : ナノ細孔内相転移現象

6) 鈴木 孝臣 (千葉大学)

吸着分子集団構造のナノスペース効果

7) 後藤 成志 (帝人モレキュラーシミュレーション)

MSI社製品群の現状と吸着研究事例

13:00~15:00

8) 茅原 一之 (明治大学)

ゼオライトへの吸着シミュレーション

9) 新田 友茂 (大阪大学)

非平衡MDによる無機膜の透過現象

5. 参加申込み方法

(1)氏名、(2)会員番号、(3)連絡先の住所・電話・FAX番号、(4)懇親会の参加／不参加を記入して、E-mailあるいはFAXで下記までお送り下さい。

大阪大学大学院基礎工学研究科 高橋 英明

560-8531 豊中市待兼山町1-3

TEL: 06-850-6266; Fax: 06-850-6265

E-mail: takahasi@cheng.es.osaka-u.ac.jp

参加申込み締切 8月17日(月)

6. ホテル

千里阪急ホテル (千里中央)

06-872-2211 (9,817円:税サ込み)

茨木京都ホテル (JR茨木)

0726-20-2121 (8,700円:税サ込み)

ホテル大阪サンパレス (万博記念公園)

06-878-3804 (6,500円又は7,000円)

第1サニーストンホテル (江坂)

06-386-0001 (6,000円又は7,300円:税サ込み)

メルパルク大阪 (新大阪)

06-350-2111 (6,800円:税サ込み)

7. 会場へのアクセス

○阪急電車千里線

阪急千里駅(終点)から東へ徒歩20分

○地下鉄・北大阪急行線

千里中央駅(終点)から阪急バスで、「阪大本部前」または「茨木美穂ヶ丘」行、「阪大本部前」下車 約10-20分

○阪急電車京都線

茨木市駅から近鉄バスで「阪大本部前」行、「阪大本部前」下車 約20分

○伊丹空港

モノレールで千里中央駅下車、阪急バスで、「阪大本部前」または「茨木美穂ヶ丘」行、「阪大本部前」下車 約10-20分

第12回 日本吸着学会研究発表会のお知らせ

日本吸着学会・日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会

第12回日本吸着学会研究発表会
第14回日本イオン交換研究発表会
第17回日本溶媒抽出討論会

「3学会の協同効果」

主 催：日本吸着学会・日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会

後 援：佐賀県

主 催：日本化学学会九州支部

協 賛：日本化学会、高分子学会、資源・素材学会、日本分析化学会、日本薬学会、化学工学会、環境科学会、
日本原子力学会、日本生物工学会、廃棄物学会、水環境学会、日本腹学会、日本キッチン・キットサン学会、
日本ゼオライト学会 他

日 時：平成10年10月28日(水)～30日(金)

場 所：佐賀県立女性センター・佐賀県立生涯学習センター “アバンセ”

(〒840-0815 佐賀市天神3丁目2-11、電話：0952-26-0011)

懇親会：10月29日(木) はがくれ荘(公立学校共済組合佐賀宿泊所)

(〒840-0815 佐賀市天神2丁目1-36、電話：0952-25-2212)

講演申込締切：平成10年7月10日(金)

講演要旨締切：平成10年10月9日(金)

予約申込締切：平成10年10月9日(金)

講演申込書には、執筆要項を送付致します。講演時間は、口頭(12分、質疑3分)ポスター(90分)の
予定で、口頭発表はOHPに限ります。なお、口頭発表の希望でも発表件数多数の場合はポスター発表に
変更させて頂くことがあります。また優秀なポスターに対してはポスター賞を授与します。

講演申込方法：B5用紙に(1)題目、所属、発表者(講演者に○印)・(2)申込者氏名・(3)申込者連絡先(所属部課、所
在地、電話番号、FAX番号、E-mailアドレス)・(4)100字程度の講演概要・(5)英文による題目、氏名、所属・
(6)発表様式(口頭またはポスター)、発表希望学会名(日本吸着学会または日本イオン交換学会または日
本溶媒抽出学会)・(7)所属学会名(日本吸着学会または日本イオン交換学会または日本溶媒抽出学会また
はその他)を明記し、下記事務局宛に申し込む。

予約方法：(1)所属学会名(日本吸着学会、日本イオン交換学会、日本溶媒抽出学会またはその他)・(2)氏名・
(3)勤務先・(4)連絡先所在地、所属部課、電話番号、FAX番号・(5)懇親会参加の有無をお書きの上、FAX
またはe-mailで下記事務局宛にお送りください。またインターネットの学会ホームページからの申込も
可能です。

参 加 費：上記3学会の会費8,000円、学生2,000円、その他10,000円(要旨集1部を含む)、要旨のみ5,000円、
予約申込者は各1,000円割引。

懇親会費：6,000円(予約)、8,000円(当日)

参加費支払方法：参加費、懇親会費共 郵便振込 加入者番号：01770-4-29762

加入者名：「3学会の共同効果」事務局(法人会費の方は参加者個人名を併記してください。)

申 込 先：〒840-8502 佐賀市本庄町 佐賀大学理工学部 井上勝利

電 話：0952-28-8671, FAX：0952-28-8591

e-mail：gakkai@ccs.ce.saga-u.ac.jp. homepage: <http://www.ce.saga-u.ac.jp>

技術ハイライト

活性炭を使用した排ガス処理について

住友重機械工業(株) 渡 部 輝 雄

1. はじめに

(1) 排ガスの除去成分と発生濃度

排ガス中の SO_2 、 NO_x 等を除去する場合、それぞれの成分を除去する単一機能型の装置を設置する例がある。二成分だけでなく、通常の排ガスには、 SO_2 、 NO_x 、塩化水素、弗化水素、ダイオキシン、重金属等やダスト等を含む多成分を同時に除去するすることが出来れば経済的である。又、二成分を除去する場合でも、それぞれの濃度によっても、最適な装置の選定をする必要がある。右の図1-1は各分野・領域の SO_2 、 NO_x の発生濃度を示したものである。これらの多成分を活性炭を使用して除去するプロセスを開発したのでその概要を報告する。

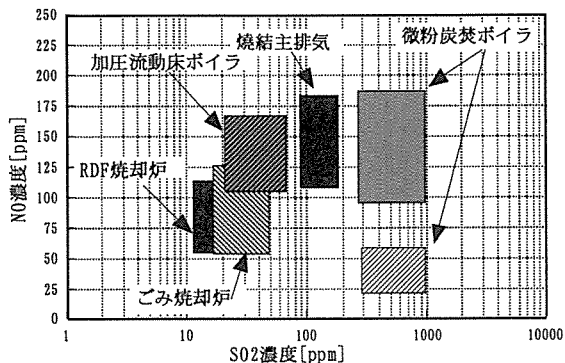


図1-1 各分野・領域と発生濃度

(2) SO_2 と脱硫技術

SO_2 を除去する方法として乾式法、半乾式法、湿式法などが知られている。現在数多く採用されている湿式法は吸収法であり、入口 SO_2 濃度が1000ppm、出口 SO_2 濃度50~80ppmの仕様値で計画されている。又、半乾式は、低効率で出口 SO_2 濃度100~200ppm程度である。乾式活性炭法は、吸着法によるもので入口濃度が低い程高効率であるから入口 SO_2 濃度が10~1000ppmの広範囲で、且つ、出口 SO_2 濃度5~10ppm程度まで減じることができる。この様に、乾式活性炭

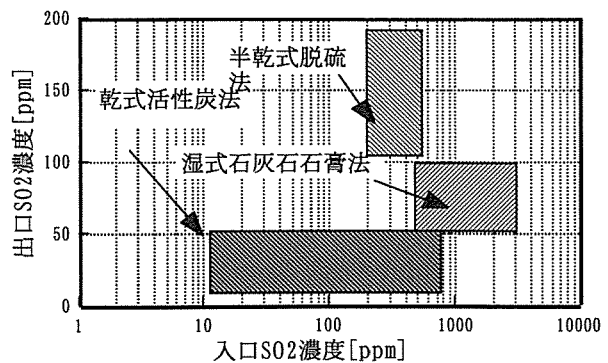


図1-2 SO_2 濃度と脱硫技術

法は、高い脱硫率又は、低い出口 SO_2 濃度が要求される分野にこの乾式活性炭法が使用される。又、湿式の様に、用水の確保は必要ないので水資源の少ない我が国に有っては、この乾式活性炭法は、最適な方法である。又、副産品をどのようなものにするかもプロセス選定の重要なファクターであるが、この乾式活性炭法の脱硫装置では、硫酸として回収している。この他の副産品は熔融硫黄及び液体硫黄等がある。乾式活性炭法は、湿式法と同様に、微粉炭焚きボイラーや、鉄鋼の焼結主排気用等の大風量、大型のプラントに採用されている。一方、半乾式は、我が国では、ごみ焼却炉の脱硫と言うよりは脱塩剤として利用されている例が多いが、開発途上国に於いては、脱硫装置として採用されている。最近では、この石灰石を炉内に吹き込み炉内脱硫等をしている例もある。この場合の炉出口排ガス中の出口 SO_2 濃度は、10~50ppm以下であり、規制値の緩い地方では、集じん器でダストを除去してから、煙突から放出されている。更に、湿式脱硫、半乾式脱硫が単一機能であるのに対し、乾式活性炭法は多成分の除去に使用されているので多機能型である。

(3) NO_x と脱硝技術

脱硝法としては乾式活性炭法とSCR法がある。SCR法は選択接触還元法と言われ、高温の排ガス中にアンモニアを注入して、金属触媒と排ガスを接触させ脱硝する方法である。この方法はボイラー排ガス等で採用されている。一方、活性炭法は、低温で、排ガス中の NO_x を処理する方法であり、活性炭法低温脱硝等と名付けられている。又SCR法で処理した排ガスを更に処理し、出口 NO_x 濃度を低くする場合等にもこの活性炭低温脱硝装置をガス流の後段に設置する場合がある。活性炭は常時補給しているのに対し、SCR法では、使用期間により、被毒するため積替、積増等により触媒の寿命を考慮しなければならない。脱硝方法にはこれ

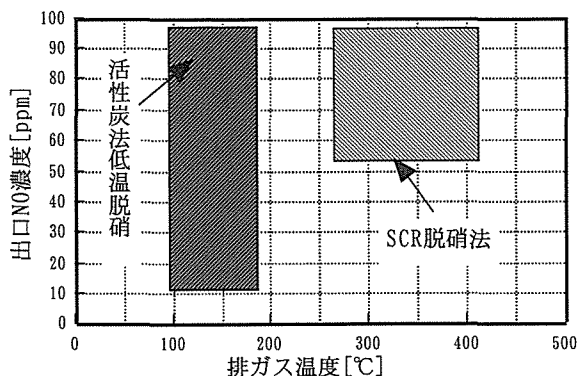


図 1-3 NO_x濃度と脱硝技術

以外に、湿式法等もあるが、最近では採用されていない様である。

(4) ダイオキシンの発生源

ごみ焼却炉等からダイオキシンが検出され、問題になっているがダイオキシンの主な発生源と年間の排出量の関係を示すとデータを図 1-4 に示す。この例からごみ焼却炉からのダイオキシンの発生が桁違いに多いと言える。これはダイオキシンの濃度が高く且つ、焼却設備の数が多いことに起因している。

都市ゴミの焼却炉の排出の次に廃油の焼却、金属精錬関連施設の排煙、医療廃棄物の焼却、紙・板紙製品の塩素漂白、たばこの煙等の順に発生している。この試算結果は前述の通り、発生濃度、ガス量、台数などの積算によるからこの発生源を細分化することになると、ごみ焼却炉、電気炉、RDF焼却炉、その他の鉄鋼等に分類できる。これらの発生ガス量と、ダイオキシン類濃度について分類する。発生源の細分化として、ダイオキシンの濃度の高低と処理ガス量の大小について表したものが第 5 図である。

ごみ焼却炉の場合には、発生濃度が炉の形式等により、或いは運転の連続、断続等により、更には、季節

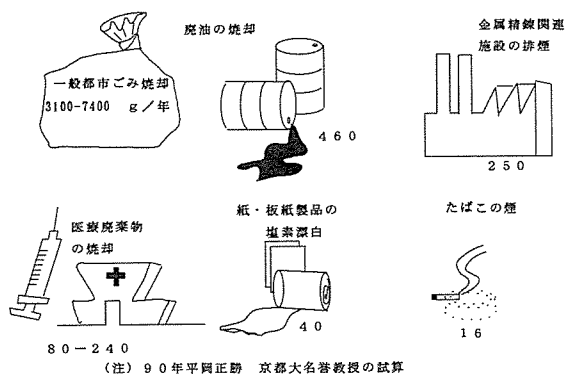


図 1-4 主な発生源と年間排出量

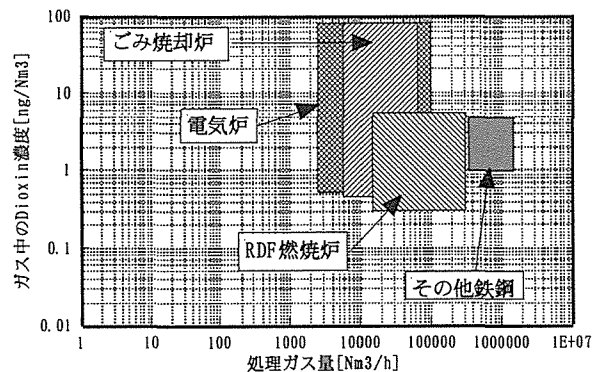


図 1-5 ダイオキシンの発生源と量

等により大きく異なる。しかしガス量は10,000Nm₃/h～100,000 Nm₃/h程度と小型ではあり、数としては多く、約1800箇所と言われている。一方ごみを固化し燃料としたいわゆるRDF焼却炉は現在実用機としては、日本ではまだ無い様であるが、今後の増えることも予想される。又電気炉については運転などによりどの程度までダイオキシンが削減できるのか検討している。操業や原料などの兼ね合いから削減できない場合はダイオキシンの除去設備を設置する必要がある。排出基準値としては、海外などでも規制されているように毒性等価濃度で0.1ng/Nm₃ at T.E.Q以下の濃度になっている。現在、活性炭粉等の注入・噴霧等により0.5 ng/Nm₃ at T.E.Q迄削減している技術があるが、更なる高度なダイオキシン除去技術として、粒状の活性炭を使ってダイオキシンを吸着し、吸着したダイオキシンをプラント内で分解する方法を開発し、商品化している。この様に乾式活性炭法は、脱硫・脱硝のみならず脱ダイオキシンまで幅広い用途を持った方法である。

(5) 活性炭を使用した用途別排ガス処理領域

以上の様に活性炭の使用して排ガス処理をする場合

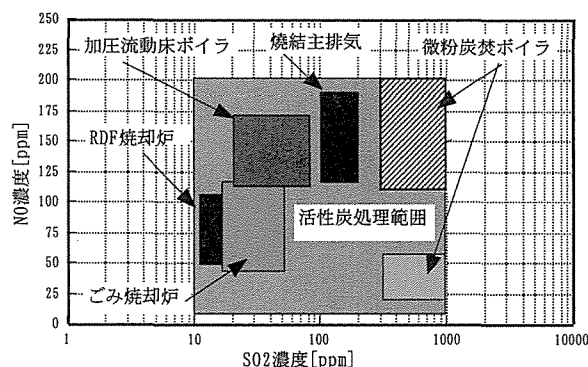


図 1-6 活性炭の排ガス処理範囲

は単一機能型でなく多成分を除去するいわゆる多機能型の装置として使用される。そして、水処理の最終処理設備の様に排ガス処理の最終処理設備として採用されると期待される。

2. 排ガス処理用活性炭の特性

(1) 粒状の活性炭

排ガス処理に使用する活性炭の粒度分布を図2-1に示す。粒子径を大きくするとばらつきは大きくなり、粒子径を小さくするとばらつきは少なくなる傾向がある。又、吸着塔の圧力損失、損耗率、着火温度等を考慮して粒子の径を選定する必要がある。現在迄使用した粒径は4.5φと8φであるが、移動層で使用するので強度やプロセス全体を考慮して、今後は、むしろ、大きい径で強度がある8φを使用する方向である。但し、固定層その他疑似移動層で使用するのであれば性能優先で選定する場合もある。粒状でも、活性炭の成形の仕方によりいろいろな形状があるが円柱状が一般的である。

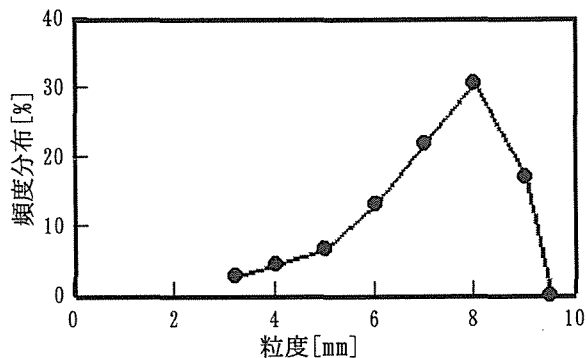


図2-1 活性炭の粒度分布

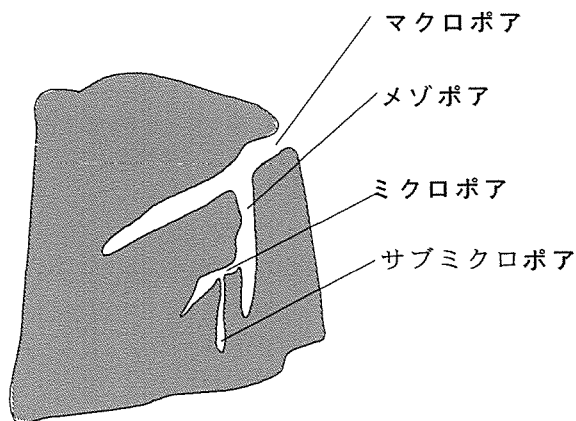


図2-2 活性炭の細孔構造モデル

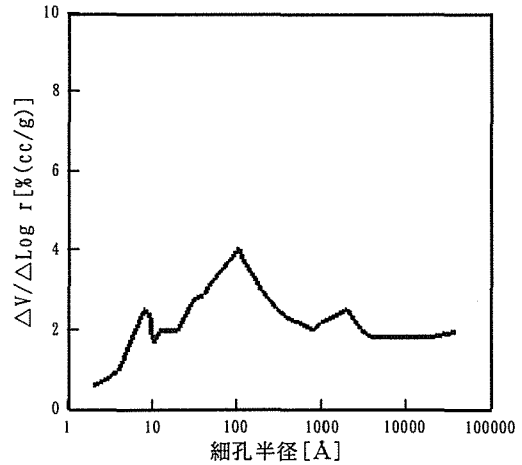


図2-3 活性炭の細孔分布

(2) 細孔構造

活性炭は、一個の活性炭に、小さい細孔を沢山造ることによって、その活性性能を向上と言われている。細孔の大きい方からマクロポア、メゾポア、ミクロポア、サブミクロポアに分類できる。ミクロポア、サブミクロンの多い活性炭を製造する為には、原料の粉碎→乾燥→炭化→賦活等の活性炭製造技術で最適な製造条件で製造する必要がある。しかしながら、製造条件によっては、性能と強度の関係や、活性炭の賦活と歩留等の関係から、細孔としては大きいメゾポア及びミクロポアの多い活性炭が、ガス処理用として製造されている。

(3) 細孔分布

細孔径が小さく且つ多いほど性能は高いと言われているが、その細孔径の頻度分布を図2-3に示す。この図から明らかに細孔半径とその分布から細孔半径の幅が広い事を示している。活性炭の細孔を増やすには、製造時点で賦活等により増やす方法と、活性炭を使用中に SO_2 ガスを、 $\text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ として吸着し、脱離再生するときに活性炭が化学損耗する。この時の反応は $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ であり、この時のCの損耗が、製造時点での細孔に、更に、細孔を造る事になり活性炭の初期活性を向上することになる。この様に活性炭は使用することにより被毒による活性低下の形態をとる通常の触媒とは違って、活性炭を循環使用することにより、活性を増加することが出来る。

(4) 活性炭の比表面積

活性炭の比表面積と吸着量の関係を図2-4に示す。比表面積も細孔と同様に、比表面積を増やすには、活性炭を循環使用することによって、即ち、脱離再生す

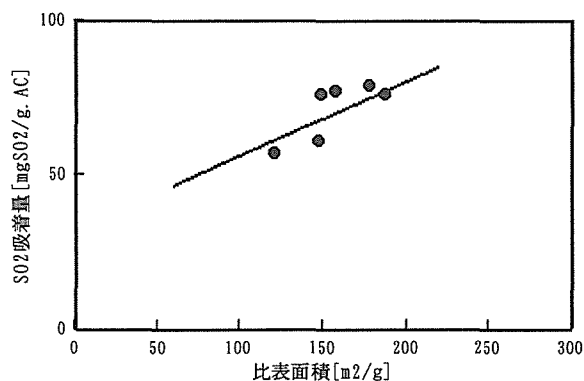


図 2-4 比表面積と吸着量の相関

るときに出来る細孔により、結果として、比表面積も増加する。通常の新品の活性炭の比表面積を $150 \text{ m}^2/\text{g}$ として、これを充填し移動層として使用した場合、排ガスの負荷条件にもよるが、 $200 \sim 250 \text{ m}^2/\text{g}$ 程度まで増加する。従って、運転初期より 1 年経過後の方が、プラント性能が高い結果を得ることが出来る。従って、初期充填の活性炭は、性能の高い活性炭とし、補給する活性炭は若干初期充填の活性炭より性能の低い活性炭供給する方法を計画する例もある。比表面積と SO_2 吸着量には、相関が認められる。従って、活性炭を脱硫装置のみとして使用する場合には、比表面積の多い活性炭を選定する。しかしながら、比表面積が多ければ多いほど良いからと言っても限度有り、前述の活性炭の経済性を考慮して $350 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下で充分である。

(5) 活性炭の細孔容積

比表面積と同様な活性炭の物性として細孔容積がある。細孔容積と吸着量の相関を取ると図 2-5 の様になる。即ち SO_2 吸着量が増えるに従って、細孔容積は増えるが極めて少ない増加である。

SO_2 吸着量が倍増しても細孔容積は 3 ~ 4 割の増加で

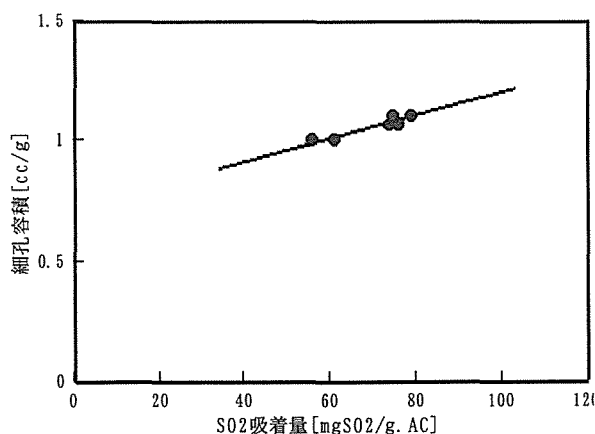


図 2-5 SO_2 吸着量と細孔容積

ある。 SO_2 吸着量の増加と比表面積の関係と細孔容積の関係を比較すると比表面積関係が量にほぼ比例するが、細孔容積は暫増した比例である。これらの傾向は、 SO_2 の負荷条件、即ち、 SO_2 濃度によって、又 SO_2 の累積吸着量によるが、活性炭の循環再生のサイクルにも依存する。脱離塔内で、活性炭が再生されるとき、活性炭の細孔が造られるが、この時の新たに出来る細孔径、分布は比表面積の増加にはなっても、細孔容積の増加には余り寄与しない様である。この活性炭の物性と SO_2 の吸着量の相関であるが、活性炭の物性と脱硝性能についても相関があるが紙面の都合で省略する。更に、活性炭を移動するため、活性炭の強度が問題となる。活性炭を移動すると壁面や活性炭どうしで擦り磨耗を起こし活性炭が粉化をする。さらにシュートやロールフィーダ等のところで、落下し、衝撃を受け損耗する。これらの擦り磨耗や落下衝撃損耗を考慮した強度試験を実施し、実機使用のシミュレートをし、更にベンチ試験、パイロット試験等や実証試験を通じて、活性炭の損耗量をデータを採取し、解析して、実機の活性炭損耗量を予測している。また、初期投入時の活性炭の損耗量、活性炭の相違による損耗量の相違、使用する活性炭の温度や SO_2 吸着量の違いなどによっても活性炭の損耗量が違うので注意を要する。

3. 吸着・脱離のメカニズム

<吸着反応工程>

(イ) 活性炭の細孔表面上に酸素及び SO_2 が吸着し、 SO_2 は SO_3 に酸化され、其処に、水蒸気が接触して硫酸となる。吸着した硫酸は水蒸気と接触して飽和蒸気圧まで希釈される。

(ロ) 一方、アンモニアを吸着塔の前に注入した場合は硫酸と反応し、酸性硫酸安、又は中性硫酸安になり吸着される。

SO_2 の硫酸としての吸着のモデルを表すと次図様になる。 SO_2 、 O_2 が活性炭細孔に近づき、 SO_3 となり、そこで、 H_2O と反応し、硫酸として吸着する。更に、 H_2O が硫酸希釈として細孔内に近づく。温度によりこの水分量は異なるが、いずれにしても稀薄硫酸であり 1 モル程度の水分を含んでいる。

アンモニア注入時の吸着はアンモニアの注入濃度、吸着塔の大きさ、活性炭の滞留時間等によって中性硫酸安、酸性硫酸安吸着の比率が異なる。吸着塔の入口の活性炭は、中性硫酸安で、ガス流の後段は酸性硫酸安で吸着している。更に、上部の後段や下部の後段は硫酸で吸着しているいわゆる混合ゾーンである。更に、ごみ焼却炉などのダイオキシンは一部ダイオキシンの反

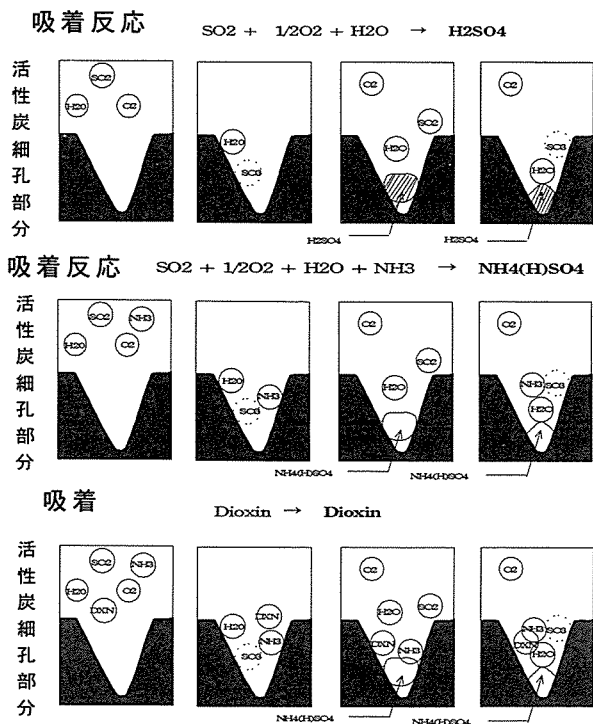


図3-1 吸着反応モデル

応と物理吸着等除去されている。即ち、アンモニアを吹き込んでない場合は物理吸着で吸着可能であり、アンモニア注入時の方がダイオキシンの吸着は容易であるという実験結果を得ている。これ以外の排ガス成分として塩化水素やフッ化水素、重金属などの吸着が有るがここでは省略する。同時に処理する多成分系の吸着及びガス温度特性等についても省略する。SO₂の吸着と温度特性については脱硫・脱硝の性能のところに記述するので、ここでは簡単に触れると、SO₂の吸着は、酸化されSO₃として水蒸気と反応しているので、活性炭は、水和による発熱、吸着による発熱、及び硫酸の希釈熱等によって、入口ガス温度より、活性炭層の出口ガス温度の方が、SO₂濃度にもよるが、2～3℃から、5～6℃上昇する。従って、発熱反応であるから温度が低いほど吸着効率は高い。即ち、SO₂の吸着は、温度が低いほど、除去率が高く、濃度が薄いほど、高い吸着効率を示す傾向を持っている。

<NO_x分解反応工程>

活性炭による排ガス中のNO_x分解する反応は、通常のSCR金属触媒による選択接触還元法の場合の反応と、活性炭特有の反応に分類できる。又、排ガス中にSO₂等の成分が含まれていない場合は、アンモニア注入無しでも、活性炭による脱硝が継続できることを経験している。

(イ) アンモニアによるNO_xの還元反応

(ロ) 活性炭の塩基性化合物による還元反応

アンモニアの注入による脱硝反応

活性炭細孔表面に於いてアンモニアの存在で、NO_xを還元する。NO_xは還元されN₂とH₂Oに分解される。この時、活性炭は、触媒の働きをする。

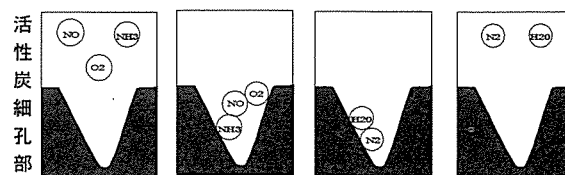
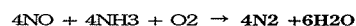
活性炭特有の脱硝反応

活性炭細孔表面に於いて脱離再生時に生成した活性炭表面の塩基性化合物の存在でN₂に分解される。活性炭の脱離再生時に生成する塩基性化合物とは、-C-NHNH₂ ヒドラジン基、-C-N≡N- ジアゾ基、-C-N=N- アゾ基、-C-NH₂- アミノ基、-C=N-N= アジノ基、-C=NH ミノ基等が生成される。

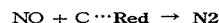
脱硝反応

排ガス中にSO₂とNO_xの両方を含む場合には、SO₂の吸着反応が早いので、アンモニアは、SO₂に奪われるため、脱硝効率は低い値を示す。従って、SO₂をむしろ除去してからつまり、脱硫をして、SO₂を取り除いてから、NO_xを除去する方法が高い脱硝率が得られる。又、脱硝率は排ガス温度が高ければ高いほど有効である。但し、活性炭の場合は、前述の通り発熱の問題があるから、MAX170～180℃が限度である。低温では、NO_xも物理吸着などして、脱離塔内でNO_xを発生させる例がある。NO_xの除去の温度特性、濃度特性及び二成分除去の方法については、プロセスのところに記述する。

脱硝反応



脱硝反応



C⋯Redは活性炭表面の塩基性化合物を示す。

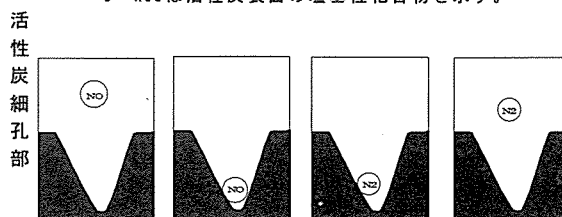


図3-2 脱硝反応モデル

＜脱離再生工程＞

活性炭を循環使用するプロセスに於いて、吸着したSO₂を脱離再生する方法として熱脱離する。吸着した形態によって脱離反応もいろいろである。

(イ) 硫酸として吸着したときの脱離反応

(ロ) 酸性硫酸、硫酸として吸着したときの脱離反応

硫酸脱離の例

活性炭細孔内に吸着した硫酸は、加熱されると活性炭の炭素と反応しSO₂、CO₂、H₂Oを放出する。この活性炭の炭素と反応することによって、活性炭は新たな細孔を形成する。即ち細孔比表面積の増加し、結果的に、性能が向上する。この時の活性炭消費することを、特に、化学損耗と言われている。

酸性硫酸の例

酸性硫酸、中性硫酸の場合は、活性炭を消費することなく、加熱されることによって、分解反応が起こっている。脱離は、基本的には吸着したSO₂を活性炭に残留無く、脱離再生することにある。その温度は350～400℃あれば達成でき、通常脱離再生した活性炭中の残留SO₂量は 活性炭単位重量当たり1mg/g.A.C以下である。この残留量が多いと脱硝効率が低下するので注意が必要である。脱離再生後の活性炭は、使用される排ガス温度程度まで冷却して、吸着塔に戻される。但し、脱離温度は必ずしも、SO₂の脱離再生温度で決まるのではなく、アンモニアの分解やその他活性

脱離反応

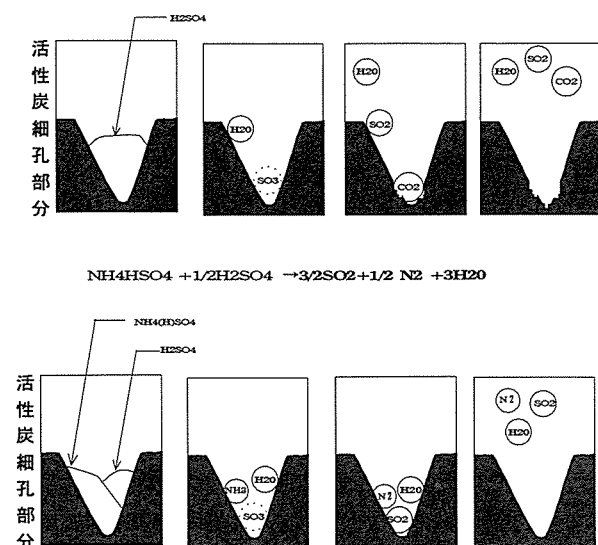
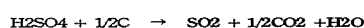


図 3-3 脱離反応モデル

炭の有効な再生効果を向上するためにいろいろな再生温度を選択して実施される。脱離方法については、プロセスの項で詳述するので参照願います。

＜ダイオキシンの分解＞

ダイオキシンを脱離塔内で分解した場合どの様に分解しているかについて推定すると次の二通りのことが考えられる。

(イ) 酸素ブリッジの破壊

(ロ) 脱塩化

酸素ブリッジの破壊

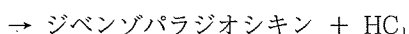
ダイオキシン類の場合は2箇の酸素があり、このところで2つのベンゼン核が切れる現象を言え、フランの場合は1箇の酸素のところで2つのベンゼン核が切れる現象を言う。そして最終的にはベンゼン核が崩壊するまで分解するとすれば $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{HC}_1$

それぞれの成分迄分解すると考えられる。ただこの酸素ブリッジの破壊は、脱離塔内で活性炭の表面の酸性酸化物とSO₃等の作用により分解する。活性炭表面の酸性化合物は $\text{SO}_3 + \text{C} \rightarrow \text{C}\cdots\text{O} + \text{SO}_2$ の反応より生成される。即ち酸性酸化物とSO₃の存在が分解を促進している。一方脱塩化については次の様に定義する。

脱塩化

ベンゼン核の廻りの塩素が飛び出し、減少して行く現象を脱塩化という。これは脱離塔内で発生する水素及び活性炭表面の塩基性化合物の存在で作用しベンゼン核の廻りの塩素が水素と置換され

ポリ塩素化ジベンゾパラジオキシン



ダイオキシン類及びジベンゾフラン類の分解

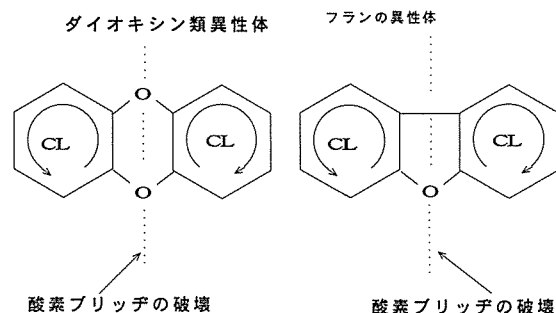


図 3-4 ダイオキシン分解-1

ダイオキシン類及びジベンゾフラン類の分解

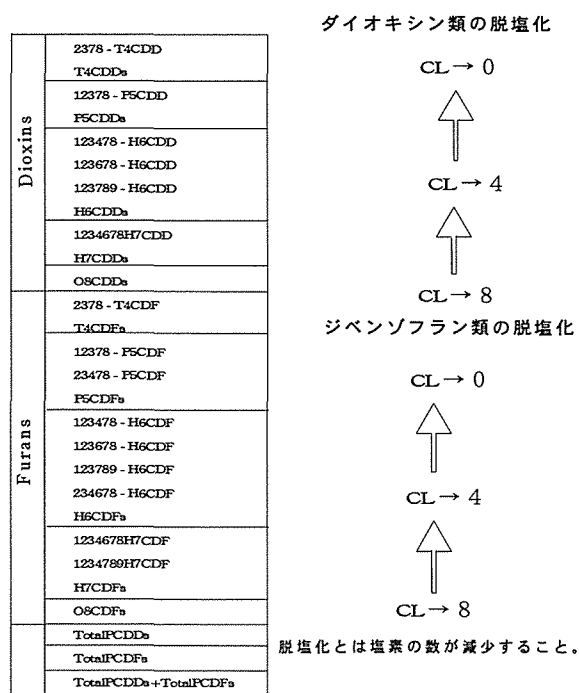


図 3-5 ダイオキシン分解-2

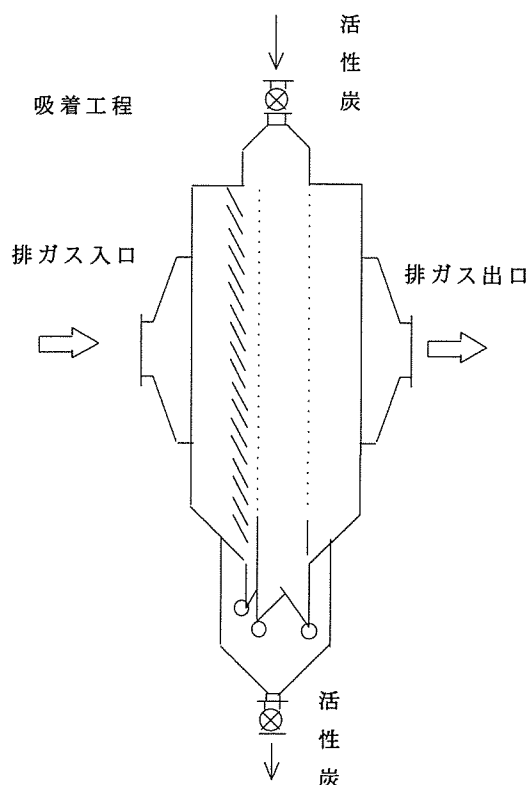


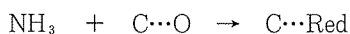
図 4-1 吸着塔の基本構造

ポリ塩素化ジベンゾフラン

→ ジベンゾフラン + HCL

等の様になる。

この現象は + H₂及び活性炭表面の塩基性化合物の存在で反応する。この塩基性化合物は



となり、塩基性化合物を生成する。この反応も基本的には脱離塔内で発生し、H₂とともに脱塩化に寄与している。

4. 脱硫脱硝装置のプロセス

<吸着工程>

排ガスは入口コーン煙道から導入し、活性炭の充填されている層に拡散させる。活性炭層の入口には、入口ルーバーが設けられ、ガスは、入口ルーバーを通過して、前室を通り、次に後室の活性炭と接触して出口のルーバーを通り出口コーン煙道から排出される。一方活性炭は、塔上部から供給され、上部ホッパーで前室と後室に分割され、降下させる。前室と後室の分割は、多孔板で隔壁をつくり、前室の活性炭の流れと後室の活性炭流れを区分する。活性炭の降下速度は、塔の下部に設けられたロールフィーダの回転速度によって調整される。即ちガスと活性炭の流れは十字流になることから、移動層の型式は、十字流移動層と呼ばれている。

1つの吸着塔の大きさは幅（ガス流れと直角方向）：8～10m、高（層の高さ）：15～20m、奥行（層厚）：1～2m程度のものであり、処理ガス量としては小型のもので、10,000 Nm³/h、大型のもので300,000 Nm³/h程度である。

①ラボ試験

仕様のガス条件で、使用する予定の活性炭を使ってラボ試験を実施し、SV：空塔速度、LV：ガス線速度、RT：活性炭滞留時間等の設計値を求める。

②ベンチ試験

合成ガス条件で、負荷変動（ガス温度、濃度、ガス量）を想定した条件を与えて性能の変動を求めて、その結果から、RT：活性炭滞留時間等を変化させる設計資料を求める。

③パイロット試験

実ガスを試験機に導入し、ダストの移動層への影響、活性炭の損耗及びダストの集じん性能等についての設計資料を採取する。

④大型化

前記試験結果に基づき、シミュレーションを実施し、大型化への対応を検討する。右図はガスを中央より導入し、ガスは、左右に分かれて、各々左右の

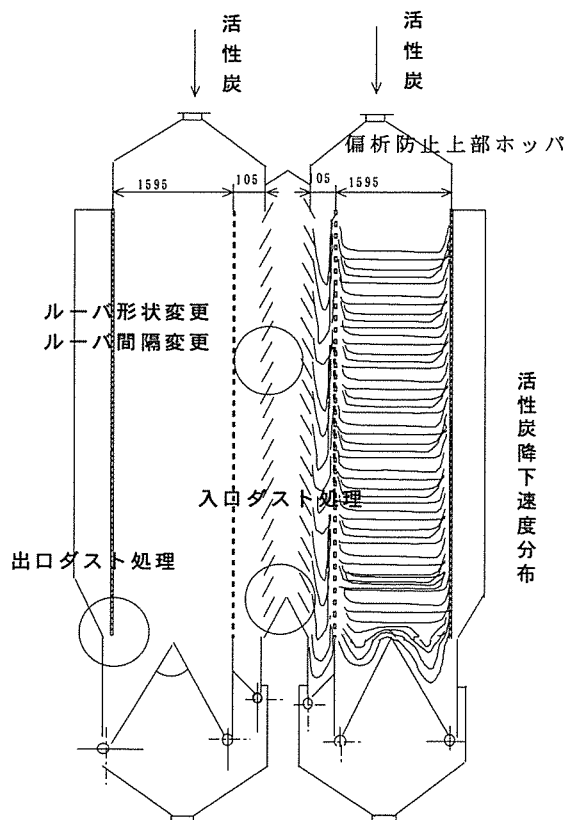


図 4-2 吸着塔の詳細と活性炭の流れ

層を通り出ていく方法の例である。高さと幅方向に広げていく方法である。活性炭の粒の偏り等が無い様に上部ホッパー等も配慮する必要がある。

<脱離再生>

吸着した活性炭の脱離は、間接加熱する事によって行われる。下図はその一例を示す。活性炭は脱離塔の上部からロータリーバルブを介して供給される。活性炭のディストリビュータで管内に均一に活性炭を分配し、加熱部で約400℃前後迄加熱され、次に冷却部で約150℃迄冷却されて、塔下部のロールフィーダで定量排出される。一方塔上部からキャリアガスを導入し、加熱部下端から脱離ガスを取り出す。冷却は水又は空気で行う。脱離と同時に、アンモニアの分解等も考えた脱離方法及び脱離温度の設定をしなければならない。

○活性炭供給バルブ

活性炭を脱離塔に供給するバルブであり、塔内のガスシールを備えたものである。

○活性炭ディストリビュータ

活性炭の加熱部、冷却部に於いて、均一な活性炭降下速度で分配されるよう設計された分配管を設けている。

○キャリアガス入口

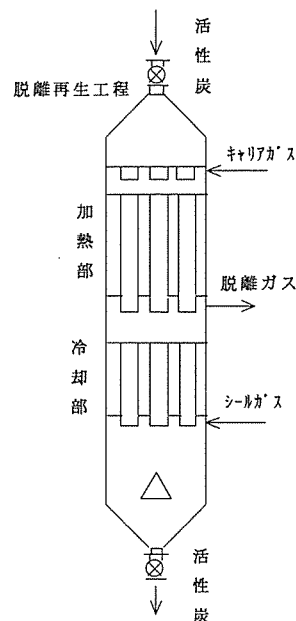


図 4-3 脱離温度分布図

並流の場合は上記のディストリビュータ下端から不活性ガスを導入する。

○活性炭加熱部

活性炭の温度を脱離再生温度まで加温する所である。

○脱離ガス取り出し

加熱管の下端部より脱離ガスを取り出します。

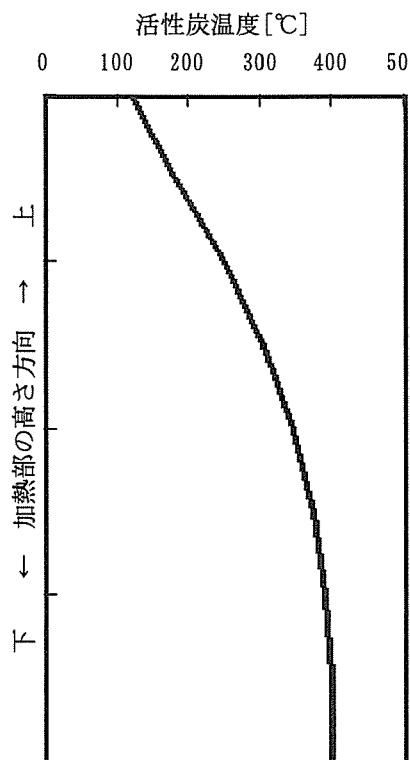


図 4-4 脱離塔全体図

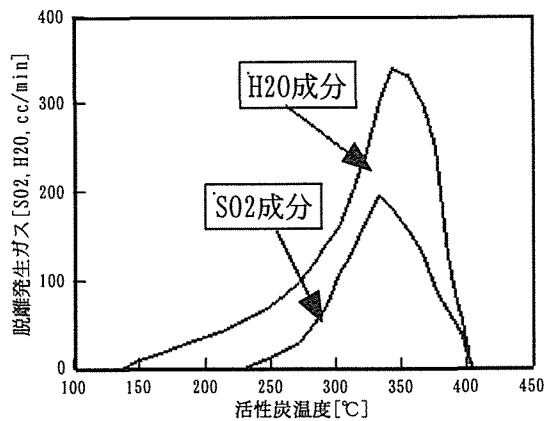


図 4-5 脱離温度とSO₂ガス発生状況

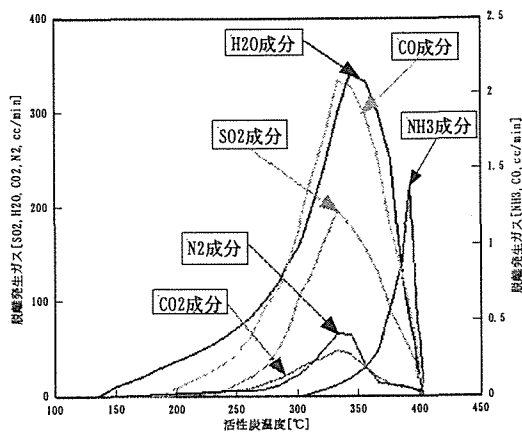


図 4-6 脱離ガス発生状況

○活性炭冷却部

活性炭を安全な温度迄冷却します。脱離現象を温度とともに表すと下図のようになる。即ち脱離は、まず水分を放出し次に、SO₂を220～240℃の温度で脱離し始める。350℃がピークであり400℃では、ほぼ脱離は終了している。CO、CO₂等の成分もSO₂の脱離とともに上昇しSO₂が少なくなるに従い少なくなっている。これはSO₂が脱離現象によりCO、CO₂等の成分が発生したことを意味している。

<通常のプロセス>

排ガスは、吸着塔をワンスルーするものが通常のプロセスである。吸着塔は、除去性能条件によりいろいろな形式があるが、入口出口ともに一個のものが、普通である。活性炭は、脱離塔と吸着塔との間を循環使用するが吸着塔のロールフィーダによって、定量活性炭を切り出し、脱離塔の上部ホッパーレベルによって活性炭を補給する方式である。このプロセスに於ける性能及び適用例については下記の通りである。

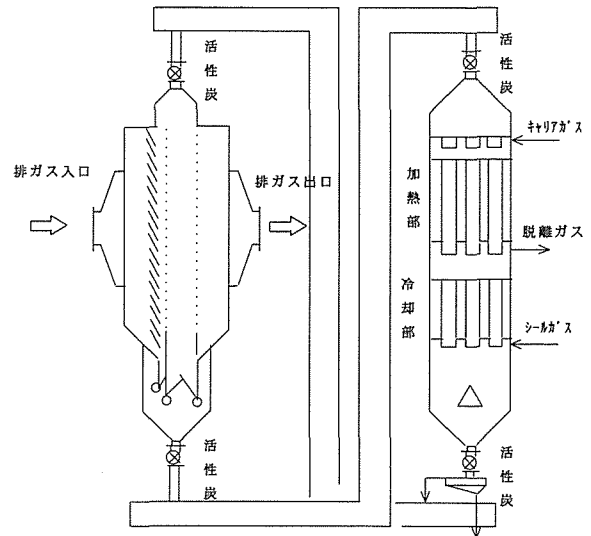


図 4-7 活性炭法排ガス処理基本プロセス

性能例

脱硫率 95～98%・脱硝率 25～50%

SO₂濃度NO_x濃度やガス温度にもよるが単段（1塔）での性能では、脱硫率が高く、脱硝率が低い。脱硝が律速である。

適用例

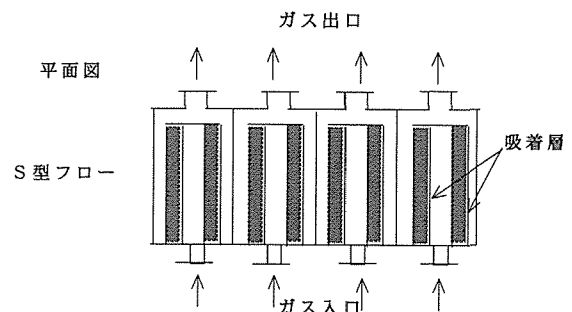


図 4-8 吸着塔 S字流ガス流れの例

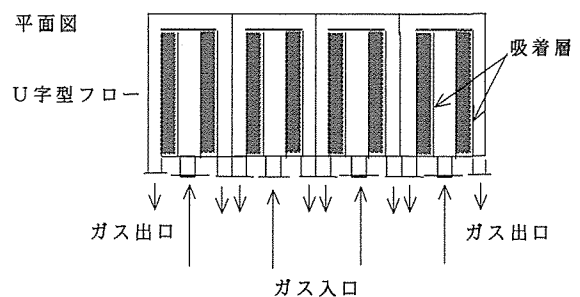


図 4-9 吸着塔 U字流ガス流れの例

微粉炭条焼きボイラー 鉄鋼焼結主排気

微粉炭条焼きボイラーでは、 SO_2 濃度 500～1000ppm、 NO_x 濃度150～200 ppm、ガス温度120～150℃。鉄鋼焼結主排気では、 SO_2 濃度180～200ppm、 NO_x 濃度150～200ppm、ガス温度100～140℃とそれぞれ排ガス成分特性がある。

ガス出入口形式

移動層のガス流れは層とガスは十字流であるが、ガスの流れを層の断面で見るとS字流、U字流の2種類を配置上考えている。ガスの分布が層に対して均一であるか検討したが、層の圧力損失が大きいため殆ど差は認められなかった。

<二段プロセス>

通常のプロセスでなく、特に高脱硝を得る方法として、二段プロセスいわゆる脱硫と脱硝をシリーズに行う方法がある。この方法は排ガスを脱硫塔に導き、主に脱硫を行い、次に排ガスは脱硝塔に導き脱硝する方法である。活性炭は、脱離塔から再生されたものをまず、脱硝塔に供給し脱硝塔から排出された活性炭を、次の脱硫塔に供給する。即ちガスと活性炭は向流とする方法である。このことによって活性炭のランニングコストを削減することが出来る。

脱硫脱硝性能

脱硫率 99%・脱硝率 80%

低い SO_2 NO_x 出口濃度

SO_2 10 ppm以下・ NO_x 10 ppm以下

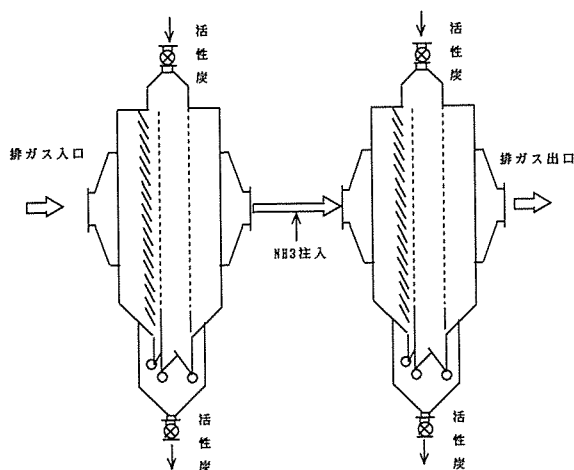


図4-10 活性炭法排ガス処理二段プロセス

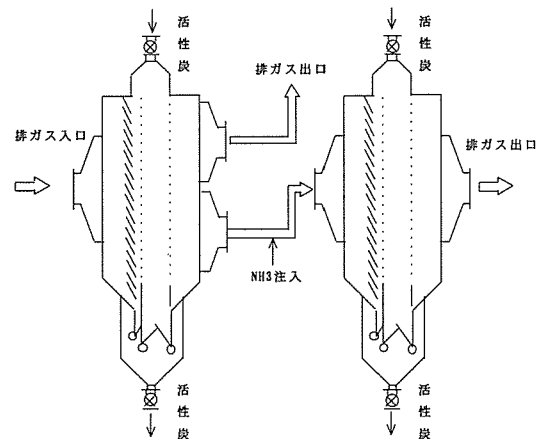


図4-11 部分二段プロセス脱硫塔全安注

高い脱硫・脱硝性能が要求される場合は、この二段プロセスを採用する。特に高い脱硝性能が要求される場合は、二段プロセスとし、前段の脱硫塔で殆ど SO_2 を除去して、脱硝塔に導入する。アンモニアは、脱硫塔には、 SO_2 1モルに対し約0.5モルとし、脱硝塔には NO_x 1に対して約1.0モル注入する。但し入口の、 SO_2 、 NO_x 濃度により脱硫塔、脱硝塔の比重が若干異なる。

適用例

微粉炭条焼きボイラー

<部分二段プロセス>

高い脱硫脱硝性能

脱硫率 99%・脱硝率 75～80%

低い SO_2 NO_x 出口濃度

SO_2 10 ppm以下・ NO_2 20 ppm以下

部分二段プロセスは、脱硫塔上部の脱硝率は、高いので、脱硝塔には導入せず、放出し、脱硫塔下部のガスを脱硝塔に導く方法である。この方法は、脱硝塔のイニシャルコストを放出処理ガス量分だけ削減することである。

適用例

微粉炭条焼きボイラー

<部分二段プロセス>

焼結主排気のように排ガス温度が低く（ガス温度100～140℃） SO_2 濃度180～200ppm、 NO_x 濃度150～200ppmで、且つ脱硫・脱硝率が高い場合には部分二段プロセスが必要である。ただし、焼結用などの場合は、半工程安注等によって吸着塔の上部にのみアンモニアガスを注入したガスを導入している。従って

脱硫塔の上部と下部の活性炭は中性硫安吸着→酸性硫安吸着→硫酸吸着のゾーンとなり、脱硫塔上部、下部は右図の様な分布を形成している。従って半工程安注の部分2段プロセスも成り立つので脱硫塔の入口、出口を上下に、又は3つに区分しアンモニアの傾斜注入をして上部のガスはそのまま放し出し、下部のガスなどは再度脱硝塔に導入し、アンモニアの注入により脱硝率を向上する方法を考案している。

高い脱硫脱硝性能

脱硫率 99%・脱硝率 75～80%

低いSO₂・NO_x出口濃度

SO₂ 5～10ppm以下・NO_x 20～50 ppm以下

適用例

鉄鋼の焼結主排気等の様なSO₂濃度、NO_x濃度で、且つ出口濃度が低い場合はこの様な半工程安注により適用することが出来る。脱硫塔の構造と脱硝塔の構造は同一でも良く又は脱硝塔の構造は変更しても良い。何故なら脱硝塔はダストの負荷は殆どないため入口ルーバー近傍での活性炭の動きはスムーズであるので一層構造でよいからである。半工程安注で上部にのみアンモニアを注入した例は右図の例である。基本的には上

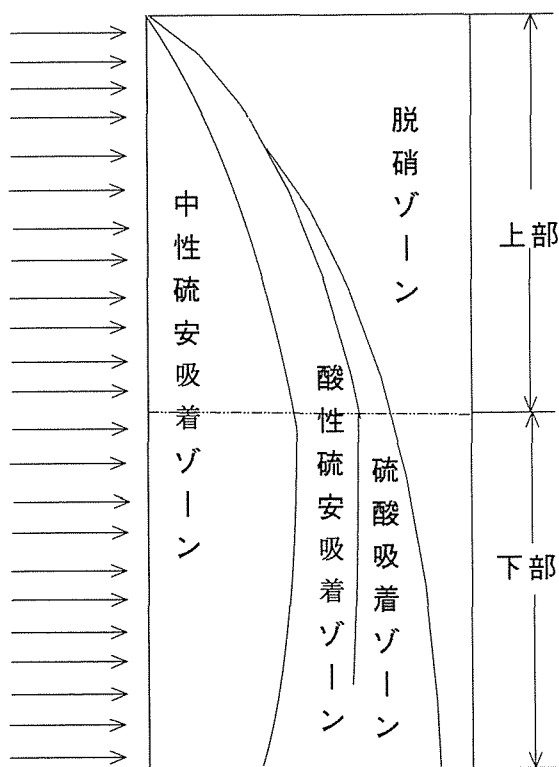


図4-12 半工程安注のモデル図

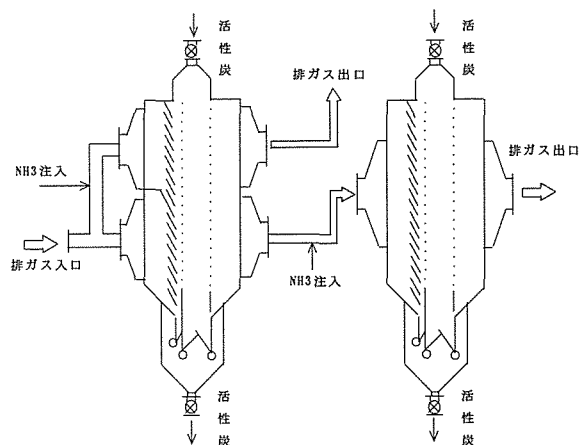


図4-13 部分二段プロセス脱硫塔半工程安注

部と下部に入口ダクトで区分され出口もコーン煙道で上下に区分している。この様にすることにより後段設ける脱硝塔の大きさを加減することにより又、活性炭の流れを一部シリーズ、一部再生活性炭を直接脱硫塔に使用するなどして得られる脱硝効率を計画することが可能である。

5. 活性炭による脱硫・脱硝性能

<脱硫性能>

SO₂濃度と脱硫率の関係を右図に示す。SO₂濃度高

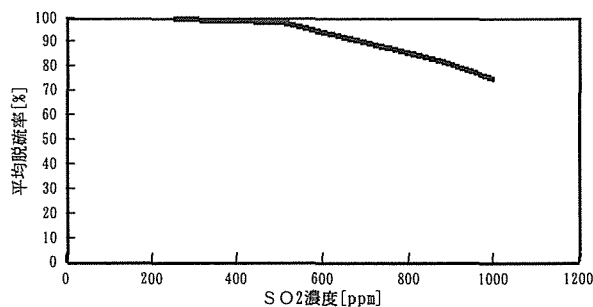


図5-1 脱硫性能

い時は、脱硫率は低く、SO₂濃度低い時は、脱硫率は高い。従って、SO₂濃度低い程高い性能が確保できる。即ち、吸収と吸着の違いである。活性炭にSO₂が吸着した場合は吸着熱（発熱）が有るので、装置の安全上は排ガス温度を一定以下で運転する必要がある。又、出来ればSO₂濃度を1000 ppm以下で運転する事が望ましい。

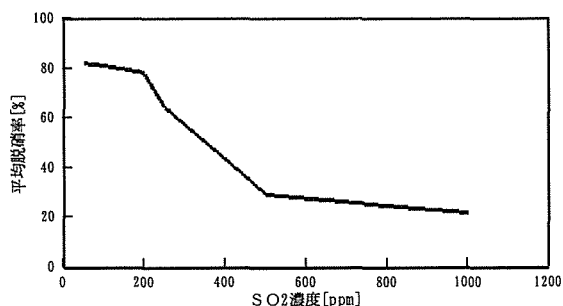


図 5-2 脱硝性能

<脱硝性能>

脱硝率は前述した様にSO₂濃度と排ガス温度に依存している。このSO₂濃度との依存性は下記に示すとおりである。即ち500ppm以上と200～500ppmと200ppm以下の3つに区分できる。いずれにしても、SO₂濃度が高い時は、脱硝率が低く、O₂濃度低い時は、脱硝率高い事を示している。従って、SO₂を除去した後NO_x除去する事が脱硝率を高くする手段である。このことが、二段プロセス、部分二段プロセスの基本的な概念である。更に、排ガス温度の影響としては、脱硝性能は温度が高いほど、高い効率であり、120℃を超えると、特に、活性炭の場合は活性化している様である。脱硫特性と脱硝の温度特性は、クロス特性であり、脱硫率は温度が上がれば上がるほど脱硫性能は悪化する傾向がある。従って、二成分除去の場合の排ガス温度の選択は、両者のともに高効率で運転できる温度を取る必要がある。但し右図の場合は脱硫率は、ほぼ100%であるから、脱硝のみの温度選択でよい。この様に成分、濃度、効率等の主要仕様によって活性炭の適用範囲が広く、いろいろな業種分野に採用することが出来る。

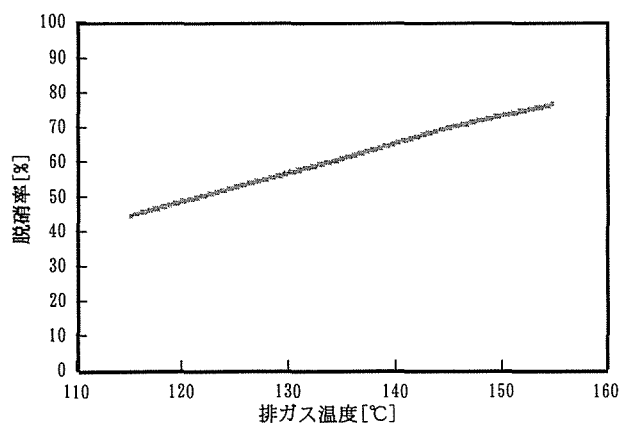


図 5-3 排ガス温度と脱硝性能

6. 活性炭層の集じん性能

<部分分離効率>

活性炭の充填層にダストを含む排ガスを通して、排ガス中の有害ガス成分を除去するばかりでなく、排ガス中のダストを除去することができる。この方法はサウンドフィルター等と呼ばれているものと同一であり、ろ過の単位操作と同様である。即ち入口の任意の粒度を持つダストが、粒子状の活性炭と衝突拡散し失速捕集され、更に気流に乗った活性炭は活性炭粒子内を拡散しながら活性炭層出口に来るまで拡散し、粒子層内に捕集される。この途中に於いて、捕集再飛散を繰り返し行われ、活性炭は上部から下部まで移動し、最終的には吸着塔下のロールフィーダを介して、活性炭排出バルブから排出される。この時、活性炭は損耗し、数十ミクロンの粉になるが、それらは一部は再飛散し、一部は活性炭粒子とともに吸着塔下部のホップから排出される。そこで活性炭の移動層によるダストの部分分離効率を求めると上記のようである。サブミクロン

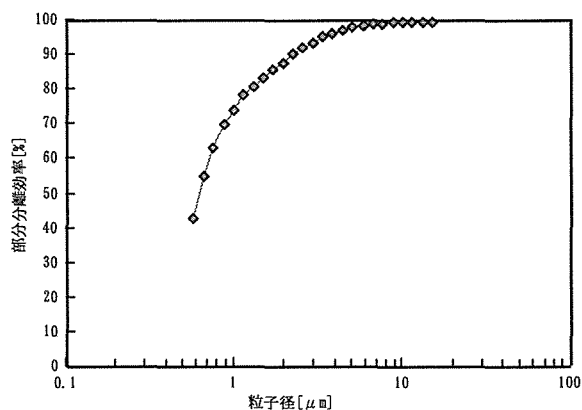


図 6-1 活性炭移動層の部分分離効率

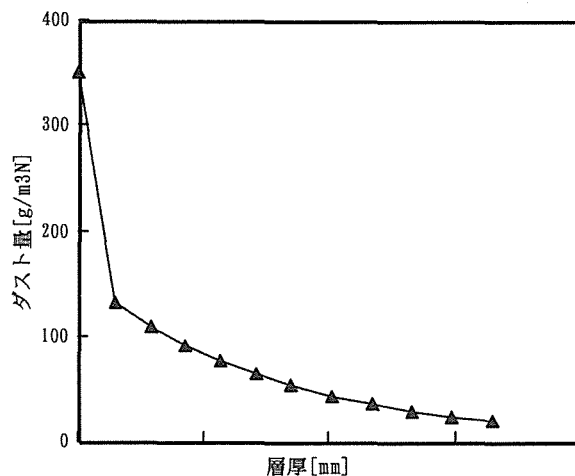
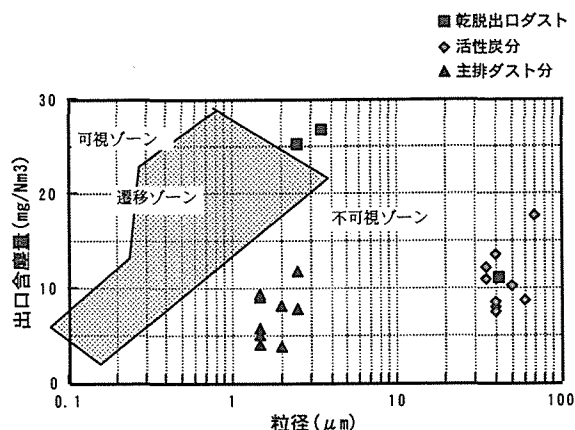


図 6-2 層厚とダスト減少



のダストの粒子の捕集まで明確になっていないが、活性炭の粒径が大きいので、ほぼ上記が実力と考えられる。

＜活性炭層厚＞

活性炭の層厚を上げれば上げるほど、出口のダスト量を少なくすることが可能である。この関係を右図に示す。この図が示す様に、活性炭層入口部の衝突集じんが大きく捕集効率を上げていることが判る。即ち、衝突集じんと拡散集じんを比較した場合には、衝突集じん > 拡散集じんであることが判る。但し、層厚との関係は、ダストと活性炭の粒子径のファクター等によって異なるが、層厚が100~300mmの厚みで、約85%以上の捕集効率である。従って効率的なダストの捕集は、層との衝突回数を増やした方が得策であり、効率的であると言える。又此の現象から、活性炭の層の流れのガスに対して後部のところでのダストの再飛散を抑制することが捕集効率を高める方法である。従って、活性炭の降下速度も前部は速く移動させ、後部はゆっくりと移動させてダストの再飛散を少なくする。

＜排煙の不可視化＞

更に、排煙の不可視化は、環境対策として避けられない永遠の課題であると言える。排煙が、見える原因として、ダストの

- 個数濃度と重量濃度の相関の問題
- SO₃や hidroカーボン類の捕集率
- 粒子の色と反射吸収

等の問題が有ると言われている。しかしこれらの問題を論理的に解決するには、莫大な資金の投資が必要である。むしろ経験的に、乾式の活性炭法を採用する事によってこの不可視化問題に、有る解決の方向性を提起している。

7. 活性炭によるダイオキシンの除去

＜ダイオキシンの吸着＞

粒子状活性炭を循環使用する乾式活性炭法のごガス処理に於いて排ガス中に含まれているダイオキシンを除去することは可能である。下図はダイオキシン類及びフラン類の吸着塔に於ける除去特性を示したものである。ダイオキシン類の毒性等価濃度の吸着効率は、95～97%であり、出口のダイオキシン等価濃度は0.11 [ng-T.E.Q./Nm³]である。ダイオキシンの吸着毒性濃度の吸着効率をみると、塩素が4つのものは殆ど吸着している。塩素が5つのものが悪く、更に、塩素が増えるに従って吸着効率は、高くなっている。

フランの吸着

ダイオキシンと同様にフランの毒性濃度の吸着効率を見ると、塩素が4個のものが一番悪く、塩素が増えるに従って吸着効率は高くなっている。毒性濃度の1 [ng-T.E.Q./Nm₃]のもの (Case-1) と3 [ng-T.E.Q./Nm₃] (Case-2) とを比較しても上記の傾向は変わらない。

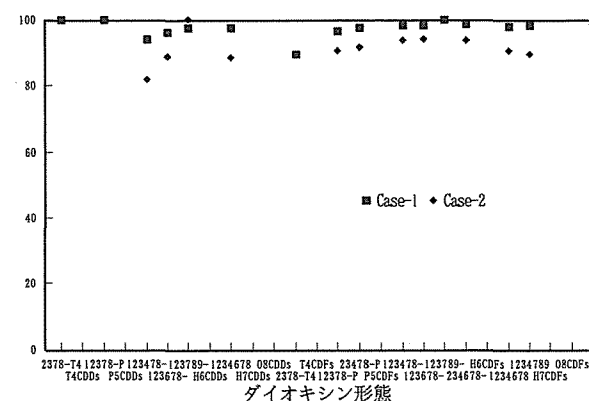


図7-1 ダイオキシン類の吸着除去

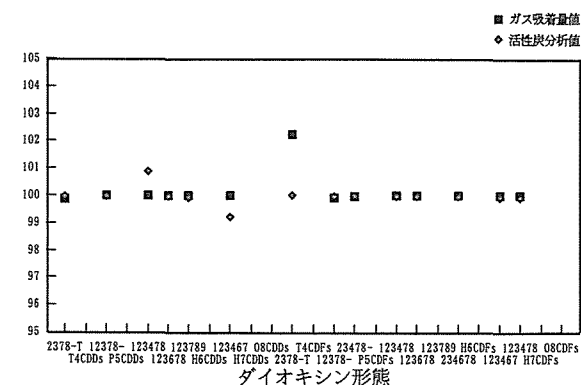


図7-2 ダイオキシン類の分解性能

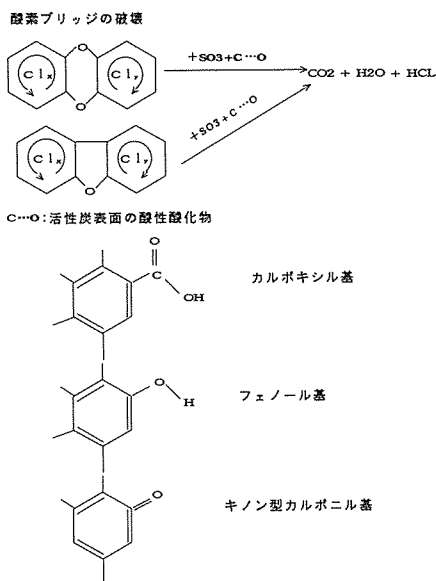


図 7-3 酸素ブリッジ破壊のメカニズム

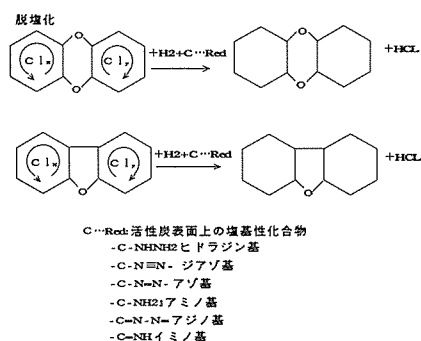


図 7-4 脱塩化のメカニズム

<ダイオキシンの分解>

同様に脱離塔内での分解の程度をダイオキシン類別に表すと7-2のようになる。吸着塔における入口出口の吸着量（ガス分析値）から求めたダイオキシン量をベースに、分解したものと、脱離塔の入口活性炭と出口活性炭（活性炭分析値）、脱離ガス量、粉塵中の量等の分析値から出したものとを比較したが殆ど差はなかった。ただ分析値又はサンプリングのばらつきが有り、2～3のダイオキシン類は100%超え、99%程度のものである。しかし、殆どのものが99.99%以上分解していることが判る。

ダイオキシンの分解

塩素の量と分解率の傾向はなく、殆どが分解している。但し、分解温度等が低い場合には、塩素の多いものほど分解し、塩素4個のものが分解しにくい傾向を

示す。

フランの分解

ダイオキシンと同様である。又フランとダイオキシンとを比較した場合、フランの方が分解の分解性能し易い。脱離塔に於いて、ダイオキシン類を分解した場合、どのような成分になるか分析すると下記の様な形である。

8. 結びに

活性炭を使った排ガス処理について、脱硫・脱硝からダイオキシン除去迄、広い範囲の用途に、且つ、又、多成分で、幅広い濃度に渡って、採用されている現状について紹介した。そして、今後益々その範囲を広げつつある活性炭を使った排ガス処理について、更に研究開発を嵩ねて行きたいと考えている。そのことによって、社会への還元、未来への環境伝達が出来れば幸いである。



渡 部 輝 雄

1941年 5 月 福島県会津生まれ

1965年 3 月 中央大学理工学部
工業化学科卒業

1968年 3 月 住友重機械工業(株)
化工機事業
部入社

1977年 2 月 集じん、乾式脱硫
装置等の総合環境装置に関する基本設計、開発のプロ
ジェクト室従事

1978年 6 月 1987年 2 月

乾式脱硫・脱硝装置の開発担当

1987年 3 月～1990年 3 月

乾式脱硫脱硝装置の設計及び活性炭の開
発を担当

1990年 4 月 活性炭を使った排ガス処理担当部長

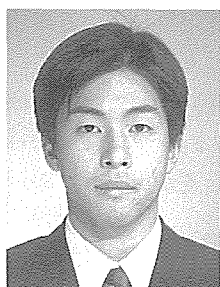
スポットライト

～ポスター賞受賞者特集 その1～

シリンダ状ナノ細孔内凝縮モデルと ナノ細孔径評価

—MD法およびメソポーラスシリカを用いた検証—

Condensation in Cylindrical Nanopores and Pore Size Estimation
—Modeling and Verification—



京都大学工学部
Department of Chemical
Engineering, Kyoto University

神田 英輝、宮原 稔
吉岡 朋久、岡崎 守
Hideki KANDA, Minoru MIYAHARA,
Tomohisa YOSHIOKA, and Morio
OKAZAKI

この度は、ポスター賞を頂き、深く感謝いたしますとともに、大変光栄に存じます。また発表当日は、的確なご指摘、熱心かつ丁寧なご指導を各先生から承り、心よりお礼申し上げます。今回の受賞対象研究は、我々が提案したスリット状ナノ細孔内凝縮モデルのシリンダ形状への拡張、新規分子動力学(MD)法を用いた提案モデルの検討、FSM-16を用いた検証の三点から構成されています。この研究に関しては平成9年第3号にて宮原先生が執筆していますが、今回はその際に記載

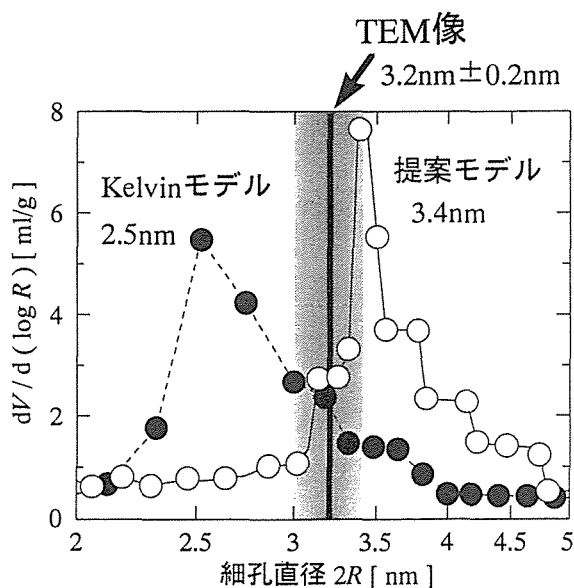


図1 FSM-16細孔径評価

の無かった点やご指摘に対する当日の回答に重点を置いて紹介致します。

90年代に入り、カーボンナノチューブや超均質メソポーラスシリカといったナノオーダーの空間構造を持つ、これまでにない特徴の多孔体が開発されていますが、これらは吸着・分離操作のみならず、ナノ制限空間反応場、ナノ材料創製時の鋳型の提供、といった既往の多孔材料の枠を越えた応用が既に試みられ、工業製品の高付加価値化にも大きな役割を果たすことが期待されています。ナノ多孔材料の有効活用、ならびに吸着系で重要な普遍量としての細孔径分布同定の信頼性向上のためには、Kelvin式では過小評価してしまうナノ細孔径の評価モデルが必要であり、この問題意識を背景にナノ細孔内凝縮現象の定量化と新規凝縮モデルの検証を修士論文のテーマとして行いました。

厳密さは発表要旨に任せ、誤解を恐れぬざっぱな表現だと、私どもの提案凝縮モデルは、FHH吸着理論+Kelvinモデル+ α の概念を凝縮現象に適用したものとと言えます。 α として、ナノスケールでは表面張力が界面の曲率半径に依存し液相表面の形状が凹の場合にバルク界面の値より大きい点があり、この α と細孔壁表面過剰エネルギーの寄与から、提案モデルではKelvinに比して凝縮しやすくなっています。また、シリンダ状細孔では、細孔壁上の吸着膜表面の曲率半径が有限値をとり、吸着膜厚みの評価についても表面張力の寄与を考慮するので、提案モデルの表面吸着膜は標準吸着等温線の値より厚くなります。

何故、如何なるシミュレーションなのか？詳細は宮原先生の文章に任せ、結論のみを申し上げますと、MD計算を行い提案モデルを検討した結果、両者はほぼ一致し、正確なナノ細孔径の予測が可能であることが示されました。情報量削減のためにポスターや要旨にはありませんが、吸着膜の表面張力による吸着量変化・凝縮相の表面張力の存在に関しても検討を行ってまいりました。ナノ細孔内の表面吸着膜は数分子程度の厚みしかない上に層構造を有しており、バルク界面での表面張力の概念を適用出来るのか疑問を抱いたからです。本系では細孔壁原子によるエネルギー伝達を無視した点から表面吸着状態に関しては通常のMC法が適切であると判断し、Gibbs-MCで計算しました。統計力学を用いた考察は困難であるため、シリンダ状細孔壁上の吸着量を同一相互作用を持つ平面固体上への吸着量と比較する方法を用い、シリンダ状細孔壁上の表面吸着状態で表面張力の寄与に相当する吸着量増加を確認しました。界面形状だけでなくこの点からも、凝縮相に関しても通常の表面張力の概念が適用出来ると判断

しました。

実在系での検証材料にはFSM-16（真の細孔直径3.2nm）を用いました。本モデルによる細孔径評価には細孔壁の相互作用強度を表すパラメータが必要であり、これをFSM-16の窒素吸着等温線の低圧領域を未凝縮と仮定して用いることで同定しました。なお、同定精度の観点から半無限固体からの相互作用関数を前提にしたため、FSM-16細孔内の平均的相互作用強度は得られるものの、薄い細孔壁ゆえに細孔中心部でのポテンシャル減衰挙動に誤差が生じ、この誤差はKelvinモデルには影響しない一方、本モデルでは過大評価させる要因として働くため、提案モデルにとって最も不利な条件での検証となります。このパラメータを用いた提案モデルをD-H法の手順を基にした新規解析法に組み込んでFSM-16の細孔径分布を評価した結果3.4nmと予測し、Kelvinの2.5nmに比べてはるかに

正確なナノ細孔径予測が可能だと確認しました。本モデルでの評価誤差+0.2nmは前述のようにFSM-16特有の細孔壁構造に起因すると思われる、より細孔壁が厚い通常の多孔材料では本モデルの精度はさらに向上すると期待されます。

昨年の春、岡崎守男先生の定年退官と博士課程進学に伴い東谷公先生の研究室に移りました。今回の受賞対象研究も東谷先生の多大なご支援のもとに完成したものであり、この場を借りて感謝の意を表します。現在は同様に移籍された宮原先生とともに、本研究の発展形とも言えるナノ細孔内固液相転移現象に対して、分子シミュレーションと実験の両面からアプローチしています。最後になりましたが、今後より一層の努力をしていく所存ですので、ご指導のほど宜しくお願い致します。

重金属固定化能を付加した酸性ガス除去剤の開発

Development of the agent for acid gas removal having the function of immobilizing toxic heavy metals in fly ash from a municipal waste incinerator



奥多摩工業(株)

Okutama Kogyo CO., Ltd. 107,
Kuriharashinden, Mizuho-machi,
Nishitamagun, Tokyo, Japan

長澤 博司

Hiroshi NAGASAWA

現在、有害物質による水質汚染、土壌汚染および大気汚染による環境破壊が世界的規模で問題になっている。特に廃棄物については、近年の廃棄物発生量の増加による埋立地不足、適切な処理をしていない廃棄物からの有害物質の漏出による土壌、水質汚染、廃棄物の焼却処分において発生する酸性ガスによる大気汚染による環境に与える悪影響は非常に大きく最も解決が急がれる問題の一つになっている。この中で産業廃棄物以外の家庭や事業所から排出される「一般廃棄物」は、総排出量の約85%が焼却、破碎、堆肥化などなんらかの減量、資源化処理が行われているが、排出量の増加に伴い最終処分場の残余容量は急激に減少している。従来、ゴミ焼却における廃ガス中の酸性ガスは水

酸化カルシウムにより中和され、飛灰として捕集されているが、反応性が低いため、埋め立て量の増加の一因となっている。そこで弊社では、ドイツのライニッシュ・カルクシュタインベルケ（RKW）社から廃棄物規制の厳しいヨーロッパにおいてすでに多くの導入実績をもつ高反応性・高表面積水酸化カルシウムのライセンス供与を受け、「タマカルク」として製造・販売しており、ごみ焼却炉の廃ガス中に含まれる酸性ガスの除去効率を大幅に向上させることにより、飛灰の発生量を減少させ埋め立て地の延命化に貢献している。また、飛灰は、おもにばいじん、塩化カルシウム、水酸化カルシウムから構成されているが、微量成分として重金属（鉛、カドミウム、亜鉛、銅など）、有機塩素化合物を含んでいる。そのため、平成4年7月より「特別管理一般廃棄物」に指定され、厚生大臣が定める4方法（セメント固化法、薬剤添加法、溶融固化法、酸その他の溶媒への抽出法）により中間処理後、埋立処分されているが、飛灰の処理にはまだ多くの問題が残っており、特に酸性雨による土壌の酸性環境に長期間さらされた場合、重金属の溶出は避けられず、早急な解決がのぞまれている。

そこで我々は、酸性ガス処理時に重金属固定剤を均一に飛灰等の酸性ガス除去処理物中に分散させることができ、重金属の溶出防止をいっそう効果的に行うことができる、無機物質のみで構成されており、チウラム等の有害物質を含まないため、飛灰処理時に、有害ガス（ H_2S 、 CS_2 等）の発生がない、また、年月を経るごとに安定度を増していく鉱物を生成するため、長

期的に優れた重金属溶出抑制能力を維持する等の効果が期待される重金属固定化能を付加した酸性ガス除去剤の開発を行っており、その一環として、高反応性・高表面積水酸化カルシウムに酸性領域において特に重金属の固定化に効果的であると考えられるリン酸塩を含有させ、リン酸塩化合物の形成による重金属に対する固定能力について検討している。特に両性金属であり、酸性および塩基性領域での溶出が問題となっている鉛に対する固定能力について検討した結果、酸性廃

ガス処理剤をリンで修飾することにより、生成した飛灰中の鉛は鉛含有アパタイトとして固定されるため、 Pb^{2+} の溶出が抑制される。また、養生させることにより、鉛含有アパタイトの生成が促進され Pb^{2+} の溶出を抑制する効果が大きくなることが、明らかとなっている。

今後、他の有害物質の固定化能についても検討し、あらゆる有害物質に効果のある有害物質固定化能を付加した酸性ガス除去剤を開発、実用化していきたい。

関連学会のお知らせ

International Sorption Heat Pump Conference

March 24-26, 1999, Munich, Germany

First Announcement and Call for Papers

Experts in the field of liquid and solid sorption science and technology are invited to participate actively in the Munich '99 International Sorption Heat Pump Conference by giving oral presentations on their recent work. Please submit abstracts of about two pages (including essential artwork) that give a clear and comprehensive outline of your subject. If the quality and relevance of your contribution is recognized by the scientific committee you will be asked to submit your complete paper for peer review.

Abstracts are due: April 30, 1998

Complete papers are due: September 15, 1998

Revised papers are due: January 15, 1999

Please communicate your contributions, suggestions and requests to:

Dr. Martin Hellmann

ZAE Bayern, Walther-Meissner-Str. 6

D-85748 Garching, Germany

Fax: +49 - (0)89 - 329442 - 12

martin.hellmann@physik.tu-muenchen.de

寄稿

草創期から成長期へ

～名誉会員の想い～

竹内 雍

はじめに

1996年11月、記念すべき第10回目の総会の席で私は名誉会員に推戴された。推戴とは、「身分の高い人を尊んであの地位に着いていただくこと、あるいは長上としていただき、尊敬すること」と辞書にある。単なる一方的な推薦ではないようである。私もその年齢になったと思ってお受けしたが、一方では、まだ現役の大学教授であるので、学会において現役でない寂しさを感じている。

10年は一つの区切りであるし、会の設立から今日までの会の動きをご存じの方も少なくなったようなので、編集委員会のお勧めもあり、これまでの本会と私の関わりを記してみた。(以下、敬称略で記すのをお許し願いたい。)

1. 会の発端と設立

1985年11月26日(月)、27日(火)の両日、豊橋技術科学大学を会場に中部化学系学協会連合(略称中化連)研究発表会があり、パネル討論会「吸着」が開催された。それを企画したのは同大学の堤和男教授(前本会会長、現同学副学長)であったが、東大生研の鈴木基之教授(現同所所長、本会会長)が「ラーメン屋の会合みたいですが、是非化学工学の分野を代表して講演して欲しい」と勧められた。理論物理、理論化学、応用化学、化学工学の分野から何人かがまとまった話題を提供することになっていた。化学工学の分野からは、私のほか鈴木教授、川井利長元神奈川大学工学部教授がスピーカーであった。

終了後、豊橋駅近くの鰻屋の二階で宴会が開かれ、これを機縁に理論屋と実際家を集めた吸着の学会を作りたいということになり、賛同が得られた。

翌1986年5月に米国カリフォルニア州 Santa Barbaraで第2回吸着国際会議が開催された。指定されたホテルで、近藤精一(当時大阪教育大学教授)、鈴木(前出)、茅原、古谷(以上現明大教授)、富田、大加茂(以上東洋エンジニアリング株)と私が集まって夜の会合を楽しみ、将来この会議が日本で開催され

ることを考えて受け皿となる学会を作ることが必要との認識が生まれた。学会設立の準備はこの時始まったといえる。

1986年秋、高石哲男(当時豊橋技術科学大教授)、近藤、竹内、鈴木基之、堤、鈴木喬(山梨大教授)の六人を発起人代表として日本吸着学会の設立と参加勧誘の文書を作成・配付した。私は当時、「化学工学会研究会 B-004, 吸着操作の最適化研究会」の世話をしていたが、長期継続を許されたとはいえ今後の活動を考えている時だった。そのメンバー(約60名)に新しく作る学会へ加入して貰ったらかなりの人数になると思った。また、鈴木基之教授と諮って、企業には維持会員(1口10万円)として参加頂くことを考えた。およそ活動に見合う資金がこれで集まると思われた。そして何度か発起人の内輪の会合が開かれ、役員候補名もまとまった。

1987年5月29日(金)、発起人総会兼学会設立総会が東大生研の会議室で開催され50名余の参加があった。席上で、会長に高石氏、副会長に近藤氏、中谷治夫東ソー(株)副社長と私(事務局担当)が推薦され、会則や規約類も承認され、会が動き出した。(この内容はAdsorption News 第1巻1号に記載されている。)

設立時、私は当面の目標として会員300名、維持会員(企業会員)30社を確保したいと述べ、その目標は案外早く達成された。時期が景気上昇の頃であったことも幸いしたと思う。

同年11月27日(金)、28日(土)、第1回研究発表会が豊橋技術科学大学で開催された。堤教授(当時理事)の肝煎りでシンポジウムが開催され、地元の援助もあり盛会だった。その後は11月に研究発表会、夏にシンポジウム、時々講習会を開催することが恒例となった。また、松村芳美さん(当時労働省産業医学総合研究所部長、前本会副会長)を委員長にお願いし、会報Adsorption Newsを年に4回刊行することになった。当初のニュース刊行と事務局の仕事(会員の把握、文書作成など)はとても大変で、松村さんと鈴木義丈君(現明大講師)のご苦勞には心から感謝している。

2. 会長在任中の出来事

第2回研究発表会が1988年11月24日(木)、25日(金)、明治大学駿河台校舎の新築間もない大学会館で開催された。私は実行委員長を勤め、特別講演を行った。そして、24日に開催された総会の席上で来年4月から2年間、第2代会長を勤めることになった。事務局は労働省産業医学総合研究所(松村芳美部長室)移ることになり、引き続き松村さんには大変御世話になった。そ

の後、毎年場所を変えて研究発表会が行われてきた。

ところで、本会の活動と同時進行の形で吸着国際会議 (International Conference on Fundamentals of Adsorption) が開催されて来た。この会議は3年毎に5月に行われているが、第1回は1983年に西ドイツ (当時・南部) のクライスで開催され、鈴木基之教授に勧められて私と当時の大学院生池田浩君が参加した。そして第3回会議が、1989年に、再びドイツ南部のSonthofenで開催され、日本から前回よりさらに大勢の参加者があった。その折に第4回会議 (1992年) を日本で開催することが決まった。Alan L. Myers 米国ペンシルベニア大学教授を通して鈴木基之教授と私が話を進めた。この会議で、国際吸着学会の設立が決議された。

1990年秋の本会の総会では1991年4月からの2年間、私は再度会長を勤めることになった。第4回吸着国際会議の開催準備に現体制で進む方が都合が良いとの大方の考えからであった。なお、この年から東洋カルゴンの基金で奨励賞が設けられ、若い方の業績を対象に表彰が行われ、金子克美、茅原一之、吉田弘之の三氏が受賞した。これは同社 (納富優社長、現本会副会長) と推進された鈴木基之教授の功績である。

さて、第4回吸着国際会議は鈴木基之教授がChairman、私とSivaji Sircar博士 (米国 Air Products 社) が Co-Chairman となった。採択論文決定のため、鈴木教授によりScientific Advisory Board 会議を開くため、東大生研シンポジウムが開催された。会議は1991年5月20日 (月)、21日 (火)、同所会議室に満員の参加者を集めて行われ、本会行事の宣伝になった。

本会は今までは爪に火を灯すような思いで備蓄に努めて来たが、ここでその蓄積分を国際会議に支出し、足りない分は維持会員にお願いして拠出して頂くことになった。幸いにバブル景気が続いていたことと、国際会議開催の意義をご理解頂いたためか、かなりの資金が集まった。「私集める人」になった感じがしないでもないが、海外の方々にも喜ばれた。鈴木基之教授のほか、事務局担当の東大生研迫田章義助教授、会場担当の京大岡崎守男教授 (当時、元本会会長) ほか岡崎研究室の皆さんのご苦勞に深謝する。岡崎教授は会議でPlenary Lecture をされた。私は主催学会を代表して歓迎の辞を述べたり自分も論文を発表した。また、Co-Chairman として何時も最前列で発表を聞いた。この会議の詳細は Adsorption News Vol. 6, No. 5 (特集号) に載っている。

同年11月24日 (月)、25日 (火) の両日、浜松市で研究発表会が開催された。その際、開催されたシンポジウムで、

私は依頼され「暮らしの中の吸着技術」の講演を行った。また、総会では会長として初めて設置した技術賞の授与を行った。この賞は前年9月に開催された吸着技術講習会 (分離技術懇話会 (現分離技術会) との共催) の収益 (約50万円) の一部を基金として設置されたものである。この手作りの賞を差し上げ、多くの方に喜ばれたことは楽しい思い出である。以後、授賞は続けられている。ただ、賞の設置を提案した時に反対もあったが、根回しが足りなかったためかとも思った。翌年宇都宮で開催された総会で次期会長に岡崎守男教授を推薦し、会長退任の挨拶をした。会は発展を続けているので、もう心配はいらないと思った。

3. その後の出来事

——一会員として、元役員として——

1993年秋、本会と日本イオン交換学会共催で研究発表会が開催された。これは初めての試みであった。会場は千葉大学であったが、私は、実行委員長金子克美千葉大学教授の依頼を受けて「活性炭の最近の利用」の特別講演を行った。ここは私が学生時代の校舎であるが、講演会場は元東大第二工学部の中央講堂と同じ位置にあって、懐かしかった。

1995年5月の第5回吸着国際会議 (米国カリフォルニア州のMontereyで開催) においては元会長として本会主催のパーティー (Japan Night) で中締をした (Adsorption News 特別号参照)。そして、1996年11月の総会で、4番目の名誉会員にして頂いた。今まで高石、近藤、荻野 (元副会長、元東京理科大学教授) の各先生を名誉会員に推戴した私が、自分がそうなって、感慨無量である。

同時にこの会議では歴代会長3名の特別講演が、一般の研究発表に先んじて行われた。従来の2日間に代わって3日間会議が開かれたわけである。演題は自由ということであったが、本会における活動のまとめとして「吸着工学の過去、現在、将来」とした。幸いに予想以上 (約200名) の聴衆に集まって頂き、良い記念になった。

おわりに

いささか遠慮しながら私が関わった本会の動きを記した。本会関連の行事には、夏期のシンポジウムと日中米国際吸着シンポジウム (International Symposium on Adsorption Separation Science and Technology between China-Japan-U.S.A.) がある。これは当初はいずれも鈴木基之教授が推進したものである。後者に関しては、私は第1回 (1988、杭州)、第3回

(1994、大連)に参加し、第4回(1997、広州)には学生を参加させた。なお、昨年はそれに先立ち千葉大学の金子克美教授(現理事)企画のP-AST 97(千葉)があり、私も講演の機会を得た。これも本会の関連行事として定着すると思われる。金子教授の熱意に敬意を表したい。

なお、名誉会員になっても本会の発展を願う気持ちに変わりない。企画・運営に関わる方々は勿論、一般の会員の方々の一層のご努力を願いたい。なお、会の創立の際に発起人代表となった六名はいずれも会長、あるいは副会長として本会の運営に関わった。当時一番

お若かった鈴木基之教授が現会長である。氏は、International Adsorption Society の会長でもある。心からご活躍を祈りたい。ご承知のように本年は第6回の吸着国際会議FOA 6がフランスで開催される。次回は再び我が国で開催が予定されるように思われる。

なお、私は本会と同時に分離技術会(元分離技術懇話会)の運営にも関わり、4年前から会長を勤めてきたが、両学会の共存・共栄を心願している。終わりにお世話になった方々に深甚なる感謝の意を表したい。なお、本会の活動と私の関わりを次の表にまとめ示した。

日本吸着学会での活動の小史

年・月	研究発表会 開催地(主催団体)	学会での私の役職 (研究発表会での私の役割)	特記事項
1987.11	豊橋(豊橋技科大)	副会長	5月、会創立(東大生研講堂で)
1988.11	東京(明大)	同, 実行委員長 (特別講演)	5月京都で国際吸着シンポジウム開催 (近藤精一副会長(当時)が推進)
1989.11	京都(京大)	会長	5月第3回吸着国際会議(ドイツ)
1990.11	野田(理科大)	会長	Steele 教授の特別講演あり。合宿
1991.11	浜松(静大)	会長(特別講演)	技術賞設置
1992.11	宇都宮(宇都宮大)	会長	5月第4回吸着国際会議(京都)
1993.11	千葉(千葉大)	(特別講演)	○イオン交換学会と共催
1994.11	福岡(九大)		(海外出張中のため、不参加)
1995.11	仙台(東北大)		5月第5回国際吸着会議(米)協賛
1996.11	大阪(大阪工業大)	(特別講演)	(名誉会員に推戴される)
1997.10	甲府(山梨大)		○イオン交換学会と共同開催
1998.11	佐賀(佐賀大、予定)		5月第6回国際吸着会議(フランス)



国際吸着会議(京都)にて

海外レポート

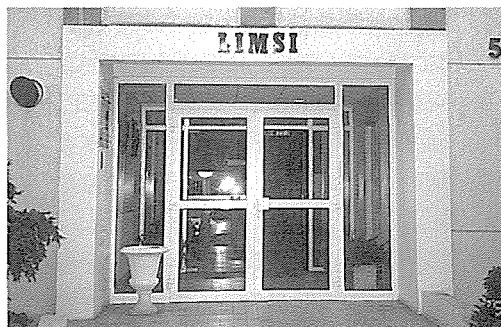
CNRS-LIMSI (フランス) 滞在記

熊本大学工学部 児玉昭雄

平成9年9月1日～12月20日までの約4ヶ月間(財)地球環境産業技術研究機構RITEの海外派遣事業でフランスの国立研究所CNRS-LIMSIで研究を行う機会を得た。CNRS-LIMSIはFOA6のチェアマン、F. Meunier教授の属する研究所である。第6回国際吸着会議を前に研究所の紹介とその滞在記を報告する。

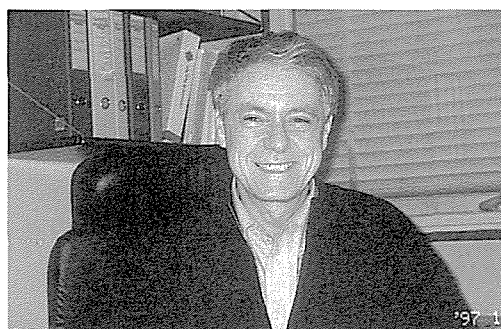
関西空港～パリ 初めての長期海外滞中で携帯した荷物は合計50kg。(預けた荷物30kgと機内に持ち込んだ20kg) よくもまあ運んだものだと感心する。中身はコンピューターをはじめ、各種文献、フランス語辞典、ガイドブック類、その他生活用品諸々。空港のカウンターで超過料金を気にしながらチェックイン。正規料金の航空券のおかげで超過料金は支払わずに済んだ。飛行機に搭乗し、「帰ってくるときはもう正月か」とこれからの海外生活への不安と熊本に残した妻のことを考えながらなんとなく憂鬱な気分であった。機内では金沢大学で2年間情報工学の研究を終えて帰国途中のフランス人研究者と一緒にになった。私の決して流暢とは言えない英語と彼の片言の日本語でなんとなく意志の疎通はできた。英語に自信のなかった私に“コミュニケーションは何とかなるぞ”という妙な安心感が沸いた。後にこの安堵感は見事に打ち碎かれるのであるが...

研究所で CNRS-LIMSIの住所はBP-133, Orsay Cedex, F-91403, Franceである。Orsay→オルセー→博物館→芸術の都、華の都パリの中心!?と連想できるが(実際、私もそのように期待した)、実はパリから高速郊外鉄道RERとバスを乗り継いで約1時間の隣県、ESSONNE県、閑静なOrsay市?町?にある。パリ第11大学の一角にあるのだが大学本体とは高台の上と下に離れているので大学という感じは全く受けなかった。“Plateau”と呼ばれるこの高台地区には他にも国立研究機関、国立技術系短大があり、パリ市内への一極集中を避けるために郊外に建設したようである。



LIMSI-CNRS

CNRS-LIMSIは人間情報工学、機械工学部の2つから成っており、総勢200名が所属している。F. Meunier教授は機械工学部のエネルギー(吸着)工学研究室の



Francis Meunier教授

責任者で副所長を兼務している。この吸着工学研究室では太陽熱駆動型の吸着ヒートポンプ(J. J. Guilleminot博士)、250℃程度の中級エネルギーで駆動する吸着ヒートポンプ(M. Pons博士)、そして、吸着の動力学に関する研究(Ph. Grenier博士)が主に進められている。拡散係数については吸着熱に起因する表面温度の変化をIRで追跡することで測定していた。それぞれの研究テーマに対してリーダー(博士)とポストドクあるいは博士課程学生(パリ第11大学および第6大学)と技官とで研究チームを組織しており、ほとんどの場合、実験および実験装置に関することは技官あるいは博士課程学生に任されている。完全な分業制でほとんどの時間をその研究に集中でき、日本の大学の現状から考えると羨ましい限りであった。しかしながら、その集中力には驚かされた。朝の9時から夕方6時過ぎまで1時間程度のランチタイムと15分のティータイムを除くと話し掛けるにも戸惑うほどの集中である。バカンスも思ったほど長くなく、夏は2～3週間程度、クリスマスから年始にかけて1週間、そして復活祭前後に1週間の休みがある程度で休まない人もいた。バカンスの国フランスのイメージが変わった。

私はハニカム型除湿機を組み入れた吸着式除湿冷房

の高度化の手掛かりを探るためにM. Pons博士のもとで2nd law analysisのオープンサイクル吸着プロセスへの適用を試みた。応用化学出身の私にとって熱力学は苦手で、恥ずかしながらエントロピーとは何か？、不可逆性とは何？からスタートした。3ヶ月間、クローズドサイクルの理論をオープンサイクルへどう適用すればよいのか、また、エンタルピーとエントロピーに取り組んだが論文として結果をまとめるまでには到達できなかった。自分の力の無さを痛感した。これにも増して、最大の苦労はコミュニケーションであった。研究に関しては私の幼稚な英語で何とか会話が通じるとフランス語なので全く参加できなかった。(時折、英語に訳してくれるのであるが不意に英語を話されてもフランス語なのか英語なのか判別さえできないこともあった。) フランス語を片言でも話せたらもっと有意義な毎日をおくれたことだろうと今更ながら後悔している。

日本経済と私の体重!? 日本から予約した住居は研究所の最寄り駅の“ル・ギシェ”駅から歩いて10分ほどのところにある民家の1室(ワンルーム形式)であった。庭にはリスが住んでいる非常に閑静な、いや、静かすぎる環境であった。ここの貸し部屋は2部屋あり、向かいの部屋には台湾からのポストドクが住んでいた。



お世話になったMichel Pons夫妻

家主さんも非常に親日的で優しく、对人的に苦勞することはなかった。しかし、家主さんは不在がちで、また向かいの中国人がスイスへ引っ越した後は私1人で日に日に早まる日没と徐々に増してくる寒さで人生で最も寂しい思いをした。こういう状況で病気にでもなったらと非常に不安であったが、運よく体だけは丈夫にできていたようである。それでもフランス語への抵抗、一人暮らしの不安感、そして通勤途中にあった158段



“158段” 階段の頂上付近とOrseyの町並み

の階段の上り下りで83kgあった体重も75kg(一時73kg)まで減少した。折りしも拓銀の破産、山一証券の自主廃業と、自国の事を中心に報道するフランスのテレビでも日本経済の低迷が大きく取り上げられる日々が続いた。それとともに私の体重も減少していったのであるが、財政政策の転換とともに現在、回復基調?である。しかし、よくあんなところに住んでいたものである。途中で遊びにきた妻曰く、「出そうなところだったね。」精神的に強くなった気がする。

何を得たのか? 今回の長期海外滞在を通じて、研究に関しては新しいステップへのきっかけを得た。これよりも私はもっと大きなものを得ることができたと思う。それは新たな視野・考え方である。まず、私の出会ったフランス人の印象に触れておくと、彼らはよい意味での“自己中心主義”であった。自己中心主義といっても協調性を欠いているわけではなく、弱者への慈愛心は学ぶべきである。ここで言う「自己中心主義」とは「自分を高めるのは自分自身、それに対する責任は自身でしかとれない」という考え方である。フランス人の考え方すべてに賛成するわけではないが、自分自身の目標は何かと問われて答えることのできない私にとっては大きなショックであった。また、彼らは夕方6時から7時になると帰宅し、家族との時間を大事にする。休日には仕事を一切しない。しかし、仕事の効率と生産性は私に比べて10倍は高い。毎日遅くまで研究室に無意味に残ってきた自分に今、結果として何が残っているのだろうか....、どれだけの時間を無駄にしてきたのだろうか....。自分のための時間とこれまでの業績を秤にかけながら今日の帰宅時間も11時過ぎである。

FOA6 ワンポイント：パリには2つの空港、シャルル・ド・ゴール空港(CDG, 通称ロワシー空港)とオルリー空港があります。日本からの直行便は全て

CDGに到着します。マルセイユへは同じ空港で乗り継げますがトゥーロンへはオルリー空港発なのでバスあるいは電車で1時間強の移動が必要です。フライトスケジュールに変更があるかもしれませんので詳しくは旅行会社に問い合わせして下さい。またマルセイユへはヨーロッパ各地から直行便がありますので例えばロンドン・ヒースロー空港で乗り継ぎも可能です。なお、TGV（フランスの新幹線）はシャルル・ド・ゴール空港駅からマルセイユ方面の列車がありますが5時間以上かかりますので鉄道ファン以外の方にはお勧めで

きません。最後になりますフランスで注意することはスリ（地下鉄内に多い）と犬の糞、そして突如として始まるストライキです。

CNRS-LIMS I :

Laboratoire d'Informatique pour la Mecanique et les Sciences de l'Ingenieur, Centre National de la Recherche Scientifique, FRANCE
BP-133, Orsay Cedex, F-91403, France
WWW: <http://www.limsi.fr>

編 集 委 員

委員長 広瀬 勉（熊本大学工学部）
委 員 金子 克美（千葉大学理学部）
音羽 利郎（関西熱化学）
川井 雅人（日本酸素）
迫田 章義（東京大学）

石川 達雄（大阪教育大学）
上甲 勲（栗田工業）
田門 肇（京都大学）
近沢 正敏（東京都立大学）
茅原 一之（明治大学）

Adsorption News Vol.12 No.1 (1998) 通巻No.44. 1998年4月25日発行
事務局 〒441 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
豊橋技術科学大学物質工学系内
TEL (0532) 44-6811 FAX (0532) 48-5833
編 集 児玉 昭雄（熊本大学）TEL (096) 342-3665 FAX (096) 342-3679
印 刷 〒862 熊本市渡鹿5丁目8番4号
株式会社 かもめ印刷 TEL (096) 364-0291 FAX (096) 279-3457

General Secretary

JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)
c/o Department of Materials Science, Toyohashi University of Technology
Tempaku-chō, Toyohashi 441, JAPAN
Tel: +81-532-44-6811 Fax: +81-532-48-5833(c/o Materials Science)
E-mail: jsad@tutms.tut.ac.jp

Editorial Chairman

Professor Tsutomu HIROSE
Faculty of Engineering, Kumamoto University
2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860, Japan
Tel: +81-96-342-3666 Fax: +81-96-342-3679
E-mail: hirose@gpo.kumamoto-u.ac.jp

Editor Akio KODAMA, Kumamoto University, Tel: +81-96-342-3665 Fax: +81-96-342-3679
E-mail: akodama@gpo.kumamoto-u.ac.jp
www of JSAd : <http://www.chem.kumamoto-u.ac.jp/~jsad/>