

空気汚染の制御技術について

工学部応用化学科・大学院理工学研究科 坂本 和彦 関口 和彦

1. はじめに

人間は食べものなしで数週間、水なしで数日間、呼吸しないではわずかに数分間しか生きられない。食料と飲料水の選択は可能だが、一般的な生活において呼吸する空気を選択することは不可能に近い。これは人間生存に対する空気質の重要性を示している。大気汚染とは、人間生活に最も重要な空気の汚染のことである。

私たちは空気質を維持するための対策や技術開発に多くの努力をしてきている。ここでは、環境大気質の保全という点から考えた環境コスト、ならびに現在研究を進めているバイオブリケット(石炭とバイオマスからなる複合燃料)の総合利用による、発展途上国での地域完結循環型総合環境保全対策、ならびに有害化学物質の除去技術について述べる。

2. 環境コスト-大気汚染を例にして-

2.1 煤煙汚染から硫黄酸化物汚染へ

人類が火の使用を開始した時から大気汚染や室内汚染は始まっているが、産業革命以後急激に増加したエネルギー生産のための大量の石炭消費が、本格的な大気汚染を人々に認識させた。この石炭燃焼起因の黒いスモッグの中で最大のものが1952年12月のロンドンスモッグである。地表付近の大気の気温が上層の大気より低く、通常の状態では大気の大気対流混合は起こらず、石炭燃焼により排出された煤煙や硫黄酸化物は地表付近に滞留してしまう。ロンドンのテムズ川の下流地域で生じたこの気温の逆転現象は石炭燃焼による煤煙と硫黄酸化物を地表付近にとじ込め、黒いスモッグと霧は太陽光を遮り、ますます暖房用の石炭使用を増加させた。この気象条件が引き金となったスモッグ状態は4日間継続し、少なくとも4000人以上の過剰死と10000人以上の病気をもたらしたと言われている。

我が国でも最初は石炭燃焼による煤煙と硫黄酸化物による大気汚染が発生し、煤煙に対する規制が石炭から石油への燃料転換をもたらしたが、安価な硫黄分の多い重油の使用は粉塵濃度をやや減少させたものの、高濃度の硫黄酸化物を排出し、三大公害のひとつである四日市ぜんそくを発生させた。当時、我が国は経済成長まっしぐらのただ中にあり、1960年代後半の東海道新幹線の開通(1969年)、東京オリンピック(1969年)、大阪万国博覧会(1974年)の開催に代表される我が国の高度経済成長期には三大公害(四日市ぜんそく、水俣病、イタイイタイ病)と呼ばれる不幸な産業公害が発生している。四日市の汚染のピークは1964年前後にあり、三大公害やいわゆる公害国会(1970年)、多くの公害訴訟による国民行動も、1971年の環境庁の発足に大きく関係したと考えられる。

我が国の硫黄酸化物排出量等は、燃料が石炭から重油へ、さらに原油や重油中の硫黄含有率の低下とそれらの使用量の減少により硫黄酸化物の環境濃度が低下していった。これらの濃度低下に至るまでには、地域における排出量の総量規制や環境基準を満たすために排煙中の硫黄酸化物除去装置、排煙脱硫の設置等が行われていった。

2.2 環境コスト

我が国の1960年代に見られた著しい経済発展は大量生産・大量消費を前提とした社会において、いずれも私たちが目指した豊かな消費生活や社会活動を安価に手に入れるために持続可能性を配慮しないままに行われた企業による生産活動が、環境汚染の多くの原因となっている。経済的価値の高い工業製品を効率よく、安価に生産すると言った「経済指標」から判断すれば、これは発展と言えるかも知れない。しかし、その経済活動の過程で健康被害や生態系の破壊を引き起こしていないかといった持続可能性を考慮するための「環境指標」から判断すれば、望ましい発展ではなかった。

日本の火力発電所建設費の約3分の1は大気汚染物質である硫黄酸化物と窒素酸化物の排出抑制装置の設置費用であり、さらにその運転にも費用がかかる。これらの費用は私たちの支払う電気代の20%にも相当している。すなわち、望ましい環境にするために電気代の20%を、私たちは「環境コスト」として支払っている訳である。

日本の三大公害における健康補償額や汚染被害額などのそれぞれの総計に対して、被害の未然防止対策を当時行ったと仮定した場合の試算費用を比較すれば、未然防止の費用は実際の補償や被害の総計の1/100から2/3程度になっている(表1)。この結果は、公害が生じた後で行う「治療型の対策」に比べて、未然防止を目指した「予防型の対策」の方が、私たちにとっても環境生態系にとっても望ましいことを示している。本来、治療型、予防型いずれの対策を取る場合でもこの費用(環境コスト)は製品価格に含める必要がある。製品価格に「生産、消費、廃棄に至るすべての過程で引き起こされる生態系の破壊を含む環境破壊の修復費用」(環境コスト)を考慮すべきである。従来型の経済指標とともに「環境指標」を考えれば、おのずと予防型の対策である未然防止対策を取ることになり、さらに環境に対する配慮をした生産プロセス(インバース・マニファクチュアリング)へと移行して行くことになると思われるからである。

表1 公害による被害額と事前対策費の比較(1989年換算)

公害	年間被害額 (健康・被害補償)	年間事前対策費
四日市ぜんそく(硫黄酸化物による大気汚染)	22,338 百万円	14,795 百万円
水俣病(有機水銀による水質汚染)	12,632	125
イタイイタイ病(カドミウムによる土壌汚染)	2,518	603

Study Group for Global Environment and Economics, "Pollution in Japan-Our Tragic Experiences", July 1991.

現在我が国で環境基準の達成率の低い窒素酸化物(NO_2)と光化学オキシダント(Ox)は、ほとんど二次発生であり、浮遊粒子状物質(SPM)もかなりの二次発生分を含んでいる。そのため、燃焼中や大気中での化学反応をきちんと考えないと効果的な対策が困難である。 NO_2 、 SPM 、 Ox の環境基準を達成させるためには、これらの生成にかかわる炭化水素(HC)の排出抑制も不可欠であり、その排出規制の強化(環境コストの分担を考慮して)が進められつつある。

3. 原因物質排出抑制のため技術開発-発展途上国の燃料改善-

燃料燃焼により発生する汚染物質の排出抑制のために、燃料転換、燃料のクリーン化、燃焼管理、排煙処理など、先進国ではさまざまな技術が実用化されている。しかし、発展途上国では、技術的にも難しい点が多く、その費用が高価で、世界的に見た場合その実用化は遅れている。現在、発展途上国向けの中小ボイラーや家庭での石炭燃焼による汚染物質排出抑制対策として、燃焼機内部で

脱硫を行うバイオブリケット技術が注目されている。

粉砕した石炭とオガクズや稲ワラ等のバイオマス(農林業廃棄物)を約 70 - 80%:30 - 20%の割合で混合し、それに硫酸化物の固定剤として消石灰を添加(S/Ca = 2 の割合)し、高压で成型したものがバイオブリケットである。この方法により調整したバイオブリケットを用いれば、燃焼時の硫酸化物排出量は原炭の燃焼と比べて、約 90%以上低下する。石炭のバイオブリケット化は、酸性雨原因物質を排出抑制するだけでなく、枯渇性資源である石炭の使用量の削減、更新性の資源であるバイオマスとして農林業廃棄物の有効利用が図れるため、温暖化ガスの排出抑制にもつながり、極めて効果的な方法と言える。現在、我々の研究グループは、燃焼灰の土壌修復への利用を組み合わせ、中国内陸部(重慶、成都等)でその技術の実用化を図り、1999 年から東北部の鞍山で商業生産を開始している。また、バイオブリケットの使用により、台所で調理をする婦人の有害ガスへの暴露が減少するために健康影響においても著しい改善が期待され、その実効が証明されつつある。これまでの経過を紹介する。

4. 有害化学物質汚染とその制御

4.1 化学物質に囲まれた生活

化学物質はその用途、種類が多岐にわたり、工業用に生産されているだけで約 5 万種類にも及んでいる。今や、私たちは常に様々な化学物質にさらされて生活をしている。建材等から放出されるホルムアルデヒド、自動車排気ガス等に含まれるベンゼン、ゴミ焼却に伴って排出されるダイオキシンなどである。1980 年代に我が国を見舞った石油ショックやさらには地球温暖化対策をにらんだ省エネは、これまで以上にビルやオフィスの換気率を低減させている。このような状況下で室内の材料から発生する揮発性炭化水素(VOC)やアルデヒドなどによる健康影響は、悪化した室内空気によりもたらされ、シックビルディング症候群を多く発生させている。一方、これまでは換気における清浄空気と見られていた環境大気も、特に交通過密な都市部では必ずしも十分な空気質を保ってはいない。

また、悪性新生物質(がん)の増加は少なくとも産業化の進んだ先進国においては共通の動向である。日本におけるがんによる死亡率は、1981 年以来死因別では第 1 位であり、1993 年で人口 10 万人当たり 190.4 人、実死亡数は 23 万人を越え、総死亡数の 26.8%を占めている。このような状況下で、有害大気汚染物質の健康リスクとその対策が強い関心を呼んでおり、米国や EU 諸国での具体的な対策の実施を迫りかけて、我が国でも大気汚染防止法の改正(1996 年～)による有害大気汚染物質に関する環境基準の設定が進んでいる。

4.2 有害大気汚染物質対策

これらの有害化学物質には、各種の発生源から大気中へ排出されるものと、直接の生産や発生にかかわらず廃棄物焼却や燃料燃焼等に伴い、非意図的に生成する物質も多い。なかでも、一般環境中に残留し、かつ有害性の高い化学物質については濃度レベルを把握し、排出抑制対策が必要である。

窒素酸化物や硫酸化物などはある暴露量以下では健康影響が起こらないというレベル(閾値)が考えられ、それらの値以下にこれまでの大気環境基準が設定されている。一方、最近になって問題となっている有害大気汚染物質、ベンゼンは微量であってもがんを発生させる可能性を否定できず、閾値がないと考えることが適切な物質である。閾値のある物質については、物質の有害性に関する各種の知見から、人に対して影響を起こさない最大の量(最大無毒性量)を求め、それに基づいて大気環境基準を定めている。一方、閾値のない物質では、暴露量から予測される健康リスクが十分低い場合は実質的に安全とみなしてリスクレベルを設定し、そのレベルに相当する目標値を定めている。

ベンゼンは、このような考え方から環境基準が設定されている。具体的には、このリスクレベルとして、一生涯暴露された場合の死亡率を自然災害(表 2 参照)と同程度、すなわち 10^{-5} (10 万分の 1)が当面の目標として考えられている。1996 年に改正された大気汚染防止法では、健康リスクという概念に基づいて、有害大気汚染物質対策が取り入れられている。この対策として、ガソリン中の低ベンゼン化、排気ガスからの排出抑制などが進められている。

表 2 我が国における事故等による死亡数, 死亡率

死 因	死亡数	年間死亡率	生涯リスク(死亡)
交通事故	10,549 人	8.5×10^{-5}	6.0×10^{-3}
歩行者(交通事故再掲)	2,886	2.3×10^{-5}	1.6×10^{-3}
水難	1,360	1.0×10^{-5}	7.0×10^{-4}
火災	1,041	8.4×10^{-6}	5.9×10^{-4}
自然災害	59	4.8×10^{-7}	3.4×10^{-5}
銃器発砲	38	3.1×10^{-7}	2.2×10^{-5}
山崩れ等(自然災害再掲)	10	8.0×10^{-8}	5.6×10^{-6}
落雷(自然災害再掲)	4	3.2×10^{-8}	2.2×10^{-6}

[警察白書(1994)の資料より作成]

平成 7 年 9 月 20 日付中央環境審議会大気専門部会資料

環境大気が浄化されたとしても室内に発生源がある場合は、別途汚染物質を無害化する必要がある。我々の研究室では、そのような観点から、室内空気の殺菌とともに有害物質を分解除去する技術の開発を行っている。これは、紫外線と光触媒を用いたベンゼンやアルデヒド類の分解技術であるが、簡単に紹介する。

5. おわりに

私たちの研究室では「クリーンルームから地球環境まで」をキャッチフレーズに、汚染現象の解明と汚染制御技術の開発に取り組んでいます。単なる研究ではなく、常に社会との接点を持ち、基礎研究と技術開発を進めています。ご興味をお持ちの方は応用化学科 2 号館 3 階の研究室の廊下に発表例が掲示してありますので、ご覧下さい。