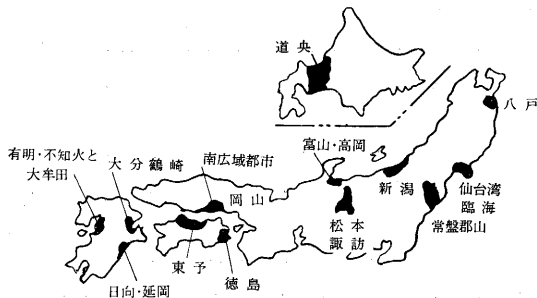


大気汚染問題の現状

菊池 真一・鈴木 伸

1. 経済成長と公害

都市への人口の集中化と都市の発展が急速に行なわれようとしている。すなわち東京・大阪・名古屋など既存大都市への人口の集中と、それによるこれら大都市の膨張、これを是正するかのような低開発地域の工業化、あるいは、地域格差の是正などのスローガンの下に計画されつつある新産業都市の建設、あるいは構想は日本国内の人口分布を激しく変動しつつある(第1図)¹⁾。これと



第1図 新産業都市分布図

に関連して都市構造のみならず交通・産業あらゆるものの形態が今や拡大、あるいは質的に大きく変貌しつつある。都市集中の傾向は、わが国ばかりでなくアメリカにおいてもさらに著しい変化を示している。最近のアメリカの統計²⁾によると 1940 年～1950 年間のアメリカ全人口の増加分の 81% が一般都市地域に集中したものであり、1955 年はこれが 97% に上がり 1970 年には全人口の3/4 がアメリカ全大陸のわずか1割に集中することが予想されているという。

一方われわれ人類のエネルギーの需要は原始時代の 3,000 kcal/日 に対して現在の文化生活の維持のためには少なくともその 50 倍 (150,000 kcal) 程度は必要³⁾ とい、このエネルギー需要は人口の都市への集中化により交通機関、電化生活必需品の増大などにより、ますます増大する一方であろう。50 倍という数字は今から 7～8 年位前のデーターであるから現在ではさらにもっと大きいものかもしれない。そして世界の人口もまた増加の一途をたどり (アメリカでは、人口の増加率が年 2½ 倍ずつ増加するという) Putnam によれば 1950 年 24 億、2050 年 80 億と推定されており、エネルギーの総需要は一個人の需要の増大と人口増大の相乗効果により、うなぎ上りに増大してゆくことが考えられる³⁾。

このために電力の開発、生活のための必需品の生産拡大は、ますます必要であり、要望されるのである。手も

第1表 工業用動力源としての燃料消費量 (アメリカ)

	1930	1952	
石炭	40,000,000 トン	107,000,000 トン	(2.5倍/22年)
石油	9,000,000 バレル	67,000,000 バレル	(7倍/22年)
ガス	120 billion ft ³	912 billion ft ³	(8倍/22年)

とにあるアメリカにおける工業動力源としての燃料消費量のデーターをあげると第1表のとおりである。世界的にみれば、おそらくこの 4～5 倍程度のものになるであろう⁴⁾。

一方わが国の電力は産業発展などを見込んで関東地方だけで今後開発計画中の電力は従来 545 万 kW (石炭火力 332 万 kW, 重油火力 223 万 kW) のものが昭和 45 年 1,500 万 kW, 昭和 60 年 4,000 万 kW の需要になるという。この 3,000 万 kW の増加分中 65% が石油燃料によるといわれる。そして日本全土の需要はこの約 4 倍くらいになるという⁵⁾。

このような人口の増大、産業・交通の膨張に伴って、ここにやっかいなことは、これらの発展に伴いまた増加する廃棄物の処置の問題である。すなわち人といわず、物といわず、あらゆるものの生産活動からは必ず不要の廃棄物を排出してくるのであるから、これらをどうするかということである。これらがそのまま大気中に放出されれば大気汚染を、河川に放出されれば水質汚染の問題を生ずる。廃棄物の一部は自然の力により一部は他のものに变化してゆくものである。たとえば CO₂ のように植物の力を借りていわゆる炭素同化作用により炭化水素と O₂ になってゆく。河川に放流されたある種のものはその自浄作用により浄化されるということもある。しかしながらこれらの転換速度には、おのずから限度がある。あまり過剰の廃棄物が放出される場合にはこれらの廃棄物は地表に停滞蓄積するという現象を起こし、これが極端な場合ついに恐るべき公害の姿となって表われる⁶⁾。

公害は経済成長につきものの必要悪といわれるが現在ではこれに対する批判は手厳しく公害は起こってからではおそい、事前に対策をたてるべしという一般の世論もだんだん無視できなくなってきた。たとえていえば医学という臨床医学的対策ではなく予防医学的対策を要求する声が強くなっている⁷⁾。公害がからむ多くの悲劇的な事件や闘争を避けるためにも公害は万人共通の問題として積極的に取り組むべき時期にきていると思う。

国・県などにおける公害に対する姿勢もようやくこの世論に押されて積極化してきたという感が深い。

第2表 水質基準設定済水域一覧

水 域 名	関都道府県	調査年度	概 況		告示年月日	適 用 年 月 日
			被 害	汚 濁 源		
石狩川(A)	北海道	34	農地、水産	工 場	告示(38. 6. 13)	38. 12. 1 (ただし、公共下水道は 40. 4. 1)
江 戸 川	千葉県 埼玉県 東京都	34	水 産	工場、都市下水	告示(37. 4. 24)	37. 10. 1 (ただし、公共下水道の一部は別に告示する日)
淀 川	京都府 大阪府	34	上 水 道	工場、都市下水	告示(38. 1. 21)	38. 7. 1 (ただし、公共下水道は 41. 3. 31 までの日であ って別に告示する日)
木 曾 川	岐阜県 愛知県 三重県	34	上水道、水産	工場、都市下水	告示(38. 1. 21) (38. 6. 13)	38. 7. 1
石狩川(B)	北海道	35	農地、水産	炭 鉱、工 場	告示(39. 7. 1)	40. 5. 1 (ただし、鉱山は 41. 7. 1)
常 呂 川	"	36	水 産	工場、都市下水	告示(39. 7. 1)	40. 7. 1
荒 川(B)	東京都	36	環 境 衛 生	工場、都市下水	告示(39. 8. 24) (改正39. 12. 15)	40. 1. 1
石狩川(C)	北海道	36	水 産	工場、都市下水	告示(39. 12. 15)	40. 10. 16 (ただし、公共下水道は 45. 4. 1 までの日であ って別に告示する日)
財 田 川	香川県	38	上水道、水産	工 場	告示(40. 2. 1)	40. 8. 1

すなわち昭和 33 年 12 月「公共用水域の保全に関する法律」,「工場排水の規制に関する法律」の 2 法律が公布され、水質審議会が設置され重要な河川の水質調査が行なわれ、地域指定、水質基準が進められている⁸⁾ (第2表)。

一方大気汚染防止に関しても、昭和 37 年 6 月以来、「煤煙の排出の規制などに関する法律」および、これに関する政令省令が公布され、翌年 7 月には、これらの法律の適用される規制地域の指定が行なわれ⁹⁾、9 月からその適用に入った。第一次指定地域は京浜・阪神・北九州地区であったが、その後四日市・千葉・名古屋・大牟田などの地域が追加され、さらに、釜石・室蘭・宇部・小野田・周南・姫路などが指定されるように風聞している¹⁰⁾。

また昭和 38 年、法律の公布以来、通産・厚生・運輸・労働・農林などの各省間にも大気汚染防止などに関する動きがみられ、これらの連絡調整の「大気汚染防止研究合同連絡会議」などが、科学技術庁にできたことが新聞に報ぜられている¹¹⁾。

特に、通産・厚生両者の最近の動きは活発で、既成の工業地区の公害防止のみならず、新産業都市・工業整備特別地域など、これから新しく発展しようとする工業地区に対する公害防止に対する積極的な姿勢がみられるようになってきた。

たとえば、厚生省は、人口問題審議会の「新産業都市建設など、わが国の地域開発計画があまりにも経済開発偏重で公害防止など地域住民の福祉のための社会開発がなおざりにされている」(昭和 38 年 8 月)との意見書にもとづきこれまでの社会保障計画を一步前進させ、国民生活に密着した問題として、都市計画・児童福祉・精神衛生・保健衛生・雇用問題などとともに公害問題を含めた総合的な社会開発の構想を検討、そのモデル地域として、岡山県水島地区を選んで研究している¹²⁾。最近はこの

れらのほか、新産業都市・工業整備特別地域などの開発地域の事前調査を通産省・気象庁などと協力して行なうなど積極的な対策を行ないつつある。

通産省も産業公害防止の立遅れが、新産業都市などの工業用地の確保に大きな障害となっていることを重視、これを解決するため地方公共団体の産業公害対策をも十分おり込んだ工業用地の造成を進める具体策などについて検討するなど今後の開発地域に対する公害事前対策に前向きな姿勢がみられてきている。

一方地方自治体の産業公害に対する関心は、四日市・沼津・三島事件以来急速に高まっており、公害防止条例の設置、内容強化、専門部課の新設など、公害防止行政に本腰を入れるところが増加してきている。

条例制定都府県は昭和 38 年 8 月で 10 県であるが、近く 30 県になるようとしている。公害専門部課のある県は 7 県であったのが近く 16 県になるといわれる (第 3 表)¹³⁾。

しかし公害の発生機構についてはなお不明の問題が多く、またその測定、防止技術などに至っては、なお未完成の問題が多く今後の開発研究に期待されるところが大きい。

以下大気汚染の現状とそれに関連した二、三の技術的問題などについてをあらまし述べる。

2. 大気汚染物とその環境測定

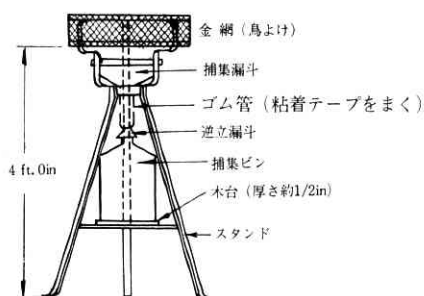
大気汚染物質の種類はきわめて多いが、これを大きくわけるとガスと粒状物質に分けられる。粒状物質は煙霧質(エアロゾル)ともいわれ、ハーバード大学の Silverman 博士ら¹⁴⁾は、これをさらに粉塵(dust)・ミスト(mist)・フューム(fume)・煙(smoke)に分けている。粉塵は岩石のような巨大なものが、粉碎して細くなった固体粒子、形状はまちまちである。ミストは雨滴や硫酸ミストのように液滴状の粒子、形状は一般に球状が多い。フュームはいわゆる冶金工場の金属フュームのようにいった

第 3 表 公害発生状況と防止機構

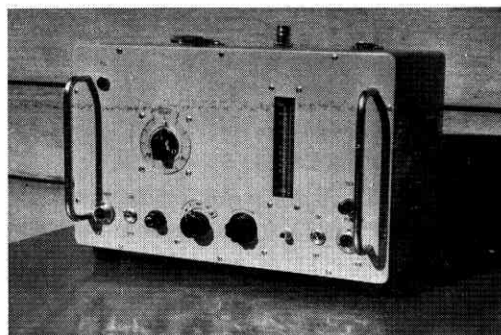
都道府県	公害発生件数			公害防 止条例	公害専 門部課
	37年 1~12月	38年 1~12月	39年 1~6月		
北海道	12	3	16		◎
青森	52	★50	★20	○	
岩手	2	3	1	○	
宮城	235	213	110	○	○
秋田	0	0	2	○	
山形	0	5	0	○	
福島	17	13	5		○
茨城	8	5	7	○	
栃木	11	21	8	○	○
群馬	4	17	★5		
埼玉	315	385	77	◎	
千葉	56	57	49	◎	○
東京都	2,770	2,868	★1,400	◎	◎
神奈川県	29	41	16	◎	◎
新潟	0	4	0	◎	○
富山	4	2	0		
石川	0	2	1	○	
福井	2	0	3		
山梨	1	1	0		
長野	292	419	83	○	○
岐阜	★31	9	18		
静岡県	184	149	41	◎	◎
愛知県	13	11	16	◎	◎
三重	61	196	165	○	◎
滋賀	10	7	7	○	
京都	0	2	0	○	
大阪	916	942	506	◎	◎
兵庫県	△379	△612	13	○	○
奈良	1	1	1		
和歌山	15	33	13	○	
鳥取	0	0	0		
島根	0	0	0		
岡山	5	6	10	○	○
広島	62	106	—		
山口	40	34	17		
徳島	2	2	1	○	
香川	17	14	6		
愛媛	4	3	3		
高知	★2	★2	★2		
福岡	235	249	54	◎	
佐賀	0	0	0		
長崎	4	3	2	◎	
熊本	0	0	0		
大分	1	4	0	○	○
宮崎	4	3	0		
鹿児島	2	2	1	○	
合 計	5,798	6,499	2,679		

〔注〕 発生件数の ★ は推定, △ は市町村分も含む。条例と部課の ◎ は「ある」○「近い将来つくる」

ん高温でガス状に蒸発し、それが再び凝縮してコロイド粒子となった固体状のもの、形状もまちまちである。煙は炭素質のものである。このような学術的分類に対し大気汚染が実地に取り組んでいる人々の間ではむしろ、“降



第 2 図 デポジットゲージ



第 3 図 テーププロ紙式エアサンプラー

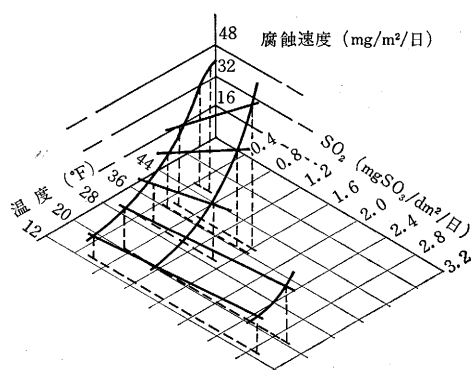
下ばいじん”と“浮遊ばいじん”という言葉を使いわけている。降下ばいじんはその言葉のように粒子の重力沈降性により降下してくる性質のもので比較的重い大きいもの、この測定は第 2 図に示すようなデポジットゲージに降下ばいじんをうけて後分析にかけられる。浮遊ばいじんは、なかなか降下せず大気中で浮遊状態を保っているようなものである。これらはテーププロ紙式エアサンプラー(第 3 図)・電気集塵器・ハイポリウムエアサンプラーなどといったもので捕集もしくは測定される^{15),16)}。

ガス状物質として重要なものは、硫黄化合物 (SO_2 , SO_3 , H_2S , メルカプタン類), 窒素化合物 (NO_2 , NO , NH_3 , HNO_3), 酸素化合物 (O_3 , CO), ハロゲン化合物 (HF , Cl_2 , HCl), 有機化合物 (ケトン, 有機酸, 過酸, 有機ハロゲン化合物) などに分類されよう。今日特にわが国で環境汚染として注目されているのは、ばいじんとともに SO_2 , NO_2 , CO , O_3 で昭和 38 年来厚生省は、これらの自動測定装置を開発し、各県でも活発にこれらの測定を開始する気運にある¹⁷⁾。

3. 亜硫酸ガスに関する問題

SO_2 は金属・絵画 (文化財などを含む)・建築 (大理石・モルタルなど)・皮革・紙・繊維などを侵し、また動植物にも著しい影響を及ぼすガスである。第 4 図は、金属の腐蝕には SO_2 と温度が関係していることを示したものである¹⁸⁾。植物に対しても湿気と日光が強く影響し、条件によっては一夜にして被害を受けることも珍しくないという¹⁶⁾。

人間に対してはノド・気管支など呼吸器系を侵し、す



第4図 湿った日のスチールの腐蝕と温度
ならびに SO_2 濃度との関係

でにわが国でも東京ゼンソク、横浜ゼンソク、四日市ゼンソクなどの言葉が生まれているくらいである。

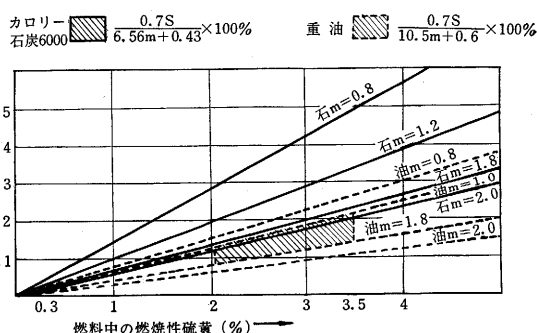
わが国では、昭和31年に公衆衛生協会が厚生大臣の諮問に対し答申した許容限度は 0.1 ppm で8時間を越えてはならぬということになっている⁹⁾。ところが最近、汚染の傾向はだんだんこれを上回るときいている。たとえば、数年前のデーターであるが、東京では昭和37年12月17～20日にかけてこの濃度は 0.230 , 0.207 , 0.194 , 0.190 の各 ppm をいずれもこの限界を越え、川崎 (0.23 ppm)・四日市 (0.8 ppm)・大阪 (0.2 ppm)・尼崎 (0.12 ppm)・神戸 (0.1 ppm)・旭川 (0.1 ppm) の各都市も同様の傾向を示した。

ロンドンのスモッグはさらにひどく1952年3 ppm , 1962年1.5 ppm といわれる。 SO_2 の人体に対する影響は、大気中に微細な煙霧粒子が存在すると、これがより増感されるような相乗効果もするから許容以下とて安心できないことになる。この相乗効果は多分 SO_2 が微粒子に吸着し、人間の肺に沈着しやすくなるためであろうと筆者は考える。しかしこれらのはっきりした研究すらまだなされていない。

このような SO_2 の排出は、石炭・石油の燃焼、金属精練、硫酸工場・石油工場・硫黄工場などの工程から生まれてくる。石炭・石油・硫化鉱類(硫化鉄鉱化)に硫黄が含まれているので、これが燃焼させる際 SO_2 となって排出されるのである。

他のガス、煙霧質の場合も同様であるが、 SO_2 の発生は、たとえば硫酸工場のようなそれ自体が化学プロセスに必要な物質として生成する場合と、精練工場や重油燃焼のように副産物あるいは不必要な廃棄物として生成される場合とに類別できる。そのガスが必要な物質の場合にはなるべくこれを漏洩などにより消失しない方が有利なわけであるから、工場でも装置や操作で当然これらの漏洩のないように考慮されているはずである。問題なのは好まざるにもかかわらず排出される後者の場合である

後者の場合でも、精練所では普通含硫分の高い鉱石(硫



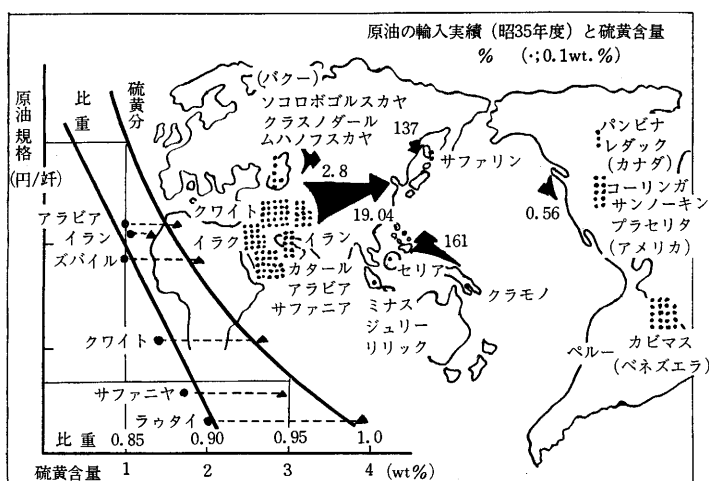
第5図 燃料中の燃焼性硫黄分より計算した石炭および重油排ガス中の SO_2 濃度 (%) の概略範囲

黄20～60%)を用いるので、排ガス中の SO_2 も高く5～10% くらい含まれている。したがって今では大部分の精練所が単に大気汚染防止の立場からのみならず、経済的立場にもその回収を試みており、 SO_2 の回収は普通 SO_2 の形の他に H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, S などの形として回収する^{4),5)}。

大気汚染分野で、 SO_2 問題でやっかいなのは、火力発電所などのボイラーの排ガスの場合で排ガス量はきわめて大きい ($10^8 \sim 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$) にもかかわらず、その中に含まれる SO_2 の濃度がきわめて低い ($0.05 \sim 0.03\%$ 程度) ということである。これは燃料中の硫黄分は多くて数% (重油2～3%, 石炭0.5%) であるからである。このため、この場合の回収は経済的にゆかない。第5図は燃料中の硫黄分と排出ガス中の SO_2 濃度との関係を示したものである¹⁹⁾。

そのためやむを得ず高い煙突から大気中に希釈拡散させる方法がとられてきた。

燃料の燃焼中、硫黄分はその約80%を大気中に出し、残り20%が灰分の中へ硫酸塩などの形となって移行するという。また燃焼過程によって SO_2 が生成されるとき、2～5%程度の SO_3 がその排ガス中に含まれてくる^{18),19)}。これは硫酸塩の分解とか SO_2 と O_2 との反応あるいは SO_2 の接触酸化 (Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , V_2O_5 飛灰などによって行なわれる) などが、原因になるという²⁰⁾。 SO_3 はこのように最初排出されるとき、量も少ないが、大気中に出ると SO_2 の紫外線、 NO_2 , O_3 あるいは塵あいなどの接触酸化によりその量も増大し露点を上昇させ、みずから湿気を吸って硫酸ミストになり、ついに気中をくもらせロンドン型のスモッグを生成するに至る^{4),6)}。最近では自動車排ガスなどと反応してロサンゼルス型スモッグの発生も促進するといわれている²¹⁾。なお煤の中には H_2SO_4 が吸着しやすく煤を分析すると H_2SO_4 が多数見出されるという¹⁹⁾。これらの SO_2 の大気中における光化学反応、接触反応、あるいは他のガスとの化学反応などは学術的には興味深い問題であるが、まだ十分解明しつくされておらず、今後の問題として残さ

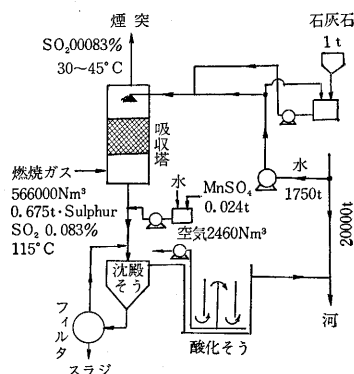


第 6 図 硫黄含量と原油規格

れている²¹⁾。

このように燃焼排ガス量の増大とともに SO_2 の排出はいつまでも、このまま放置はできない問題になってきた。ここに対策の問題が重要な課題として考えてゆかねばならぬ事態になってきたわけである。

SO_2 対策は燃料政策問題にからむので行政・経済・科学技術あらゆるものが錯そうした問題でその現実的な解決案も行政・経済・科学それぞれ専門的な立場から必ずしも一致するとは限らないであろう。しかしこれを科学的にみるならば、その放出対策として最も抜本的方法は、硫黄を含むような燃料を用いぬこと、もしくは、硫黄を含んでも使用前にこれを脱硫して使用することということになる。この前者の問題は、石油・石炭に関する限り大なり小なり硫黄を含むから、きれいな気体燃料を用いるが、原子力エネルギー・太陽エネルギー、あるいは地熱エネルギーなどの新しいエネルギー源を使用するべしという問題に帰着する。しかし現時点においてはこれらが全面的に実用しうる段階ではもちろんないし、原子力は SO_2 公害に代わって放射能汚染による公害が起こる可能性があるし、コストが高つく。太陽エネルギーは、エネルギー密度 (1.4 cal/cm^2) が低くて、大容量の発電の見込みは現状の技術では不可能とされ³⁾、地熱エネルギー利用は局地的で見込みなし、むしろ新しい化学燃料の開発の方が見込みがあるかもしれない。かくして現状においては石油もしくは石炭の利用ということにけっきょく帰着するから、より現実的なのは、燃料の脱硫をはかれという問題ということになる。しかしこれはいろいろきくところによれば、まだ経済的な方法が完成されておらぬという。もう一つ考えられることは、低硫黄分の燃料を用いることである。しかしわが国では、種々の事情から中東方面の原油を用いざるをえない。文献によれば原油の含硫分とコストとの関係は第 6 図のと



第 7 図 Battersea 法

おりである¹⁹⁾。

現在はそのため一応含硫性の燃料を用いて燃やしても排出前、煙道中でこれをとるいわゆる除染法が検討されている。

しかしこれもまだどこでも推奨できるというよい方法は見つかっていない。

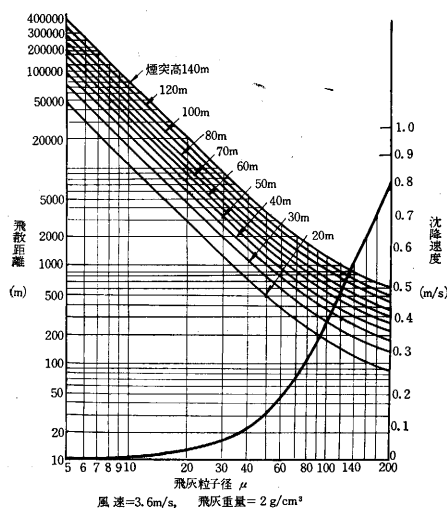
実際このような排煙中の脱硫を実施しているのは、イギリスの Battersea もしくは Bankside 火力発電所など数カ所に限られ^{22),23)}、その他はまだ試験段階に過ぎないように聞いている。わが国の火力発電所ではアンモニアで SO_3 を除いている例はきいているが SO_2 を除いている例は聞いている。

イギリスの Battersea 発電所では、テムズ河に面しているが、この水質自体がアルカリを含むそうで、これに石灰をさらに加えて排煙を洗滌する方式 (第 7 図) である^{22),23)}。洗滌液は沈でん槽に入れてから硫酸マンガンを加えて亜硫酸塩を酸化したスラッジを沈降ろ過し液は河に放流する。しかしこの方法を見学した人々の話ではあまり推奨していない^{24),25),26)}。すなわちこの方式はテムズ河がいく分アルカリを含むのでよいが、どこの場合の水に適しているとはいえない。またスクラブ方式は高温の排ガスを冷却することになるので煙突からガスを排出されるとき排ガス温度が低下してガスの上昇力を失い排出口付近に落下しやすくなるとか、テムズ河に放流後の洗滌水がやはりいろいろの問題を起こしているらしいからである。排煙中の SO_2 の除染法はこの外にもいくつか試みられているが、これらはいずれも大別すれば、湿式法と乾式法に分けられる^{27),28)}。

湿式法は前述の石灰法の外、亜硫酸ナトリウムを用いる亜硫酸ナトリウム法、アンモニア液を用いる Fulham-Simon-Carves 法などがある。乾式法には、酸化アルミニウム法、酸化マンガ法、酸化バナジウム法、活性炭

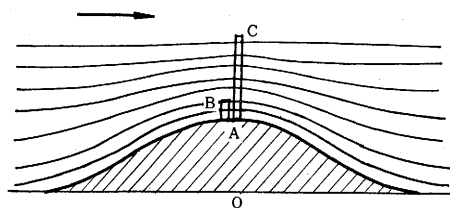
吸着法などがある。これらはアメリカの Bureau of Mine やイギリスの D.S.T.R. ドイツの Reinluft などでも研究している。わが国でも資源技術研究所などで研究中のようにきく^{27), 28)}。

以上排煙中の脱硫法について述べてきたが、これらの方法もいずれ開発が実現されるとしても現在はまだ実用され得る段階にない。したがって最後の現実的 SO_2 対策は、前述したように高い煙突から大量の空気を希釈拡散するという方法である。この際問題になるのは煙突の設置場所と煙突の高さの問題である。煙突による分散はあくまで環境に対する汚染物質が、許容濃度以下になるように配慮されねばならぬ。

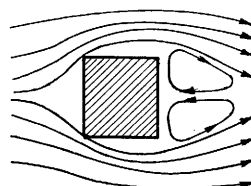
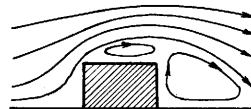


第 8 図 飛灰粒子の飛散距離と沈降速度

この問題はその地域の地勢・気象条件を十分考慮に入れて適当な場所と高さを選ばねばならぬ(第 8 図)。煙突の高さは普通 50~130 m 程度の範囲にする。それ以上高いものは経済的問題、耐震性などの問題で制限をうけよう。煙突からの排煙の拡散には有名な Sutton, Bosanquet と Pearson, Cramer, Leonard, 坂上, イギリス気象局などの諸理論が与えられているが、その是非は各学者間で必ずしも一致していないようにきく²⁹⁾。エアロゾルを扱うかガスを扱うかによって結果は多少違ってくるが、エアロゾルでも 2~3 μ 以下の粒子は気体と同様に扱えるという。気体とエアロゾルを合わせて Plume というが Plume は一般に温度(外気に対して 100°C くらい)の差はもつ)が高くまた噴出速度(25 m/sec くらい)をもつので、ある程度上昇する力をもつ。Bosanquet らの理論などからも示されるように、排煙は一般に噴出速度や排煙の温度が高いほどよく上昇する。したがって一般に煙突の高い方がよいとされるが、必ずしも煙突の実際の高さは高くなくとも有効高さはこのような因子によって大きくすることもできるわけである。煙突から排



第 9 図 地形による流線の変形



第 10 図 建物の風下の死水領域

出される汚染最大平均濃度は煙突有効高さの 2 乗に逆比例するといわれる。煙突の有効高さが大であっても設置場所が悪いと、かえって公害を引きおこすこともある³⁰⁾。第 9 図のように丘の上の AB の煙突は有効な高さは OA+AB とならず流線に沿ってかえって公害をひき起こす。また第 10 図のような建物のあるときにはその国下側に死水領域ができ、その中は激しい渦状運動をして沈降してまき込みが起こる。したがって建物のないときまず有効高さの効果が減殺される³⁰⁾。この外風向・風速その他その地域の気象条件などをよく考慮する必要がある。誤った設計をすると煙突は本来の拡散の使用を果たさずして、かえって公害をふやす結果にもなりかねないから注意を要する。排煙処理でスクラブ方式があまり好ましくないのは排煙の温度が低下するからであるということは前述した。煙突からの排煙による汚染状況は常に監視されていることが好ましく(大きな工場ではテレビなどで監視しているところもある)、もし環境温度が危険状態に達するような徴候のみえる場合に、排煙の排出をコントロールにしなければならない。そのためには速かに燃焼を停止するか低硫黄の燃料(重油)に切りかえるとか、あるいはこれらをまぜて硫黄分をうすめて燃やすとかいうような方法が講ぜられる。

4. 酸化窒素に関する問題

酸化窒素には NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_5 などがある。これらのガスが最近とくに注目され出したのは、ロサンゼルス型スモッグ発生に密接な関係をもち二次的にさまざまな害を及ぼすからである(後述)。ロサンゼルス市中のこの NO_2 ガス濃度は普通 0.04~0.8 ppm 程度である。酸化窒素は硫酸・硝酸工場などからも大気中に漏洩されるが、自動車(排出時は 20~5,000 ppm)、発電所

(400~700 ppm) ボイラー (100~500 ppm) 焼却炉 (50~100 ppm) などからの燃焼過程からも空气中に排出される。ロサンゼルスでは日に 330 トンの NO_2 が自動車 (250 万台) から排出されるという。

自動車エンジンから NO_2 が排出されるのは、エンジン内で N_2 と O_2 が NO の高温合成を行ない、生成された NO が急冷して直ちに O_2 と反応するからである。 NO_2 の排出量は自動車の運転条件によってもいちじるしく影響を受ける^{31),32)}。

酸化窒素の汚染防止対策としては吸収液でスクラブする方法、活性炭に吸着させる方法、あるいは $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ なる反応を接触的にあるいは温度を下げることによって行なわせる方法(自動車アフターバーナー)、高温で CO や H_2 などで接触還元して H_2O , CO_2 , NH_3 などに変えてしまう方法などが考えられている^{22),23)}。

5. 炭化水素およびオゾンに関する問題

大気中の炭化水素は天然ガスや石油類の不完全燃焼過程から発生したり、それらの取扱い中の漏洩の結果、大気中に放出されるものである。またこれは大気中でさまざまな化学反応を行ない他の有機化合物に変化する。

ロサンゼルス市の炭化水素汚染物排出源の調査結果によれば第 4 表のとおりである。自動車から排出される排気ガス中の炭化水素濃度は使用燃料の種類、運転条件のいかなどによってそれぞれ異なるが、だいたい 50~12,000 ppm 程度であるという。

このような炭化水素の結果ロサンゼルス市の大気中の炭化水素濃度は平均 0.1~0.5 ppm (ヘキサンとして計算) (1954 年) 程度といわれ、ピーク時には 2~3 ppm 程度に達することもある。

炭化水素の公害は悪臭、粘膜の刺激となって現われるばかりでなく、いわゆるロサンゼルス型スモッグといわれる現象を生じ種々の有害物を生成すると同時に市中を曇らせてしまう。

ロサンゼルス型スモッグは煙霧がかかるばかりでなく粘膜(眼)に刺激を与え、植物類にも SO_2 とは違った型の被害を与え、またゴムのクラッキングなどを激しく起こすという^{31),32)}。このスモッグや被害を与えるものの本質が何であるかについては学者間でここ 10 年ばかり激しく論ぜられてきたところであるが、まだ十分証明しつくされていない²¹⁾。

しかし空気中には一次汚染物とは異なった型の有機物や O_3 が多数見出されているとして Haagen-Smit はこの中の O_3 に特に注目し、スモッグ時には必ず O_3 がまず生成し、ついでこれがさらに有機物と反応を起こしアルデヒド、ケトン有機酸をつくるという論説をなして、この考え方が主流をなした^{3),4)}。

この O_3 生成の機構の詳細についてはまだいろいろ問題点があるが、現在多くの化学者が推定している反応機

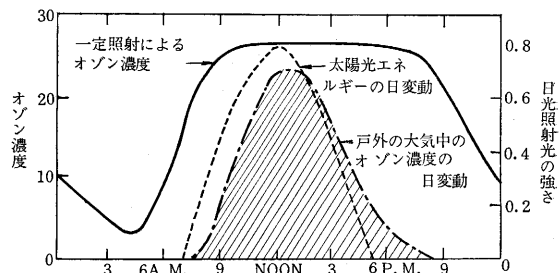
第 4 表 炭化水素の廃棄量 (ロサンゼルス)

汚 染 源	排出量 (トン/日)	
	1961 年	1953 年
自 動 車	1,000	875
溶 剤	430	—
石 油 精 製	100	830
石 油 製 造	60	270
石 油 市 場	90	120
ボ イ ラ	20	—
焼 却 炉	5	—
そ の 他	20	35
合 計	1,700	2,130

構の一つは、たとえば $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$, $\text{RH} + \text{O} \rightarrow \text{R} + \text{OH}$, $\text{R} + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO}_2$, $\text{RO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO} + \text{O}_3$ のような反応過程によるものである。すなわち NO_2 が太陽光の照射によって NO と O とに解離し、この O が炭化水素 RH と反応を起こし遊離基 R を生ずる。この遊離基は活性であるが、空気中の O_2 とすぐ反応し過酸化化物遊離基 RO_2 をつくる。この RO_2 がさらにまた空気中の O_2 と反応し、 O_3 と RO を生成する。 RO はまた他の O_2 と繰返し同様の反応を起こし、 O_3 をいくつも生成してゆく。このようにして NO_2 と RH が導火線となって以下大気中の O_2 を消費しながら O_3 を連鎖反動的に増加するという考え方である。

一方 O_3 がいったんできると、これは他の有機物と反応を起こして種々のオゾン化合物をつくり、前述のようにこれが分解しアルデヒド、ケトン、過酸類を生成してゆき、これらのあるものが大気中に煙霧を形成するといっているのである(第 5 表)^{21),34)}。

太陽の照射の強い夏とか真昼間にスモッグがいちじるしくなる。そしてこのようなとき、大気中に O_3 らしきものがいちじるしく増大しており(第 11 図)⁶⁾、また煙霧成分は有機物から成っていることがわかる。ロンドンのスモッグとロサンゼルスのは、まったく性格を異にする。ロンドンのスモッグは湿度の高いとき、ロサンゼルスのは晴天時に激しくなる。またロンドンのそれは早朝時にピークがみられ、ロサンゼルスのは真昼間にピークがみられる。人呼んでロンドンのスモ



第 11 図 日光の強さとオゾン生成との関係を示す図 (大気安定条件)

第5表 オゾンオレフィン反応生成物 (クロマトグラフの分析による)

オレフィン	消費されたオゾン 1 mole 当たりの生成物の mole 数										
	アルデヒド				ケトン		HCOOH	CH ₃ OH	炭化水素	CO ₂	b 回 収 %
	Ac	Pr	n-Bu	その他	A	MEK					
エチレン	0.019	—	—	—	—	—	0.25	—	nd	n. d.	15
プロピレン	0.38	0.003	—	—	0.008	—	0.34	0.033	nd	0.32	50
ブテン	0.133	0.48	0.006	—	—	—	0.24	0.014	0.089	0.40	64
イソブテン	—	—	—	0.005 c	0.53	—	0.66	0.013	0.014	0.37	69
シス-2-ブテン	1.02	—	—	—	—	—	0.20	0.152	0.023 t	0.42	72
トランス-2-ブテン	1.06	—	—	—	—	—	0.23	Pr.	0.014	0.35	69 t
1-3-ブタジエン	0.026	—	—	0.43 d	—	—	0.18	—	0.136 f	0.24	52
1-ペンテン	0.061	0.161	0.32	—	—	—	0.20	—	0.175 g	0.29	59
2-メチル-1-ブテン	0.130	—	—	—	—	0.42	0.33	0.113	tr.	0.54	58
3-メチル-1-ブテン	0.032	—	—	0.30 c	0.074	—	0.25	0.015	0.213 g	0.29	54
2-メチル-2-ブテン	Pr.	—	—	—	0.43	—	0.24	0.058	0.026 t	0.29	40 t
シス-2-ペンテン	0.56	0.56	0.0003	—	—	0.001	0.20	0.013	0.014	0.30	67
トランス-2-ペンテン	0.56	0.56	n. d.	—	—	n. d.	0.16	0.012	0.117 h	0.36	71
1-ヘキサエン	0.005	—	0.056	0.118 e	0.015	—	0.24	—	0.108	0.23	30
シクロヘキサエン	0.014	—	—	—	—	—	0.29	—	0.118 f	0.59	19
テトラメチルエチレン	0.010	—	—	—	1.49	—	0.22	pr.	tr.	0.40	74

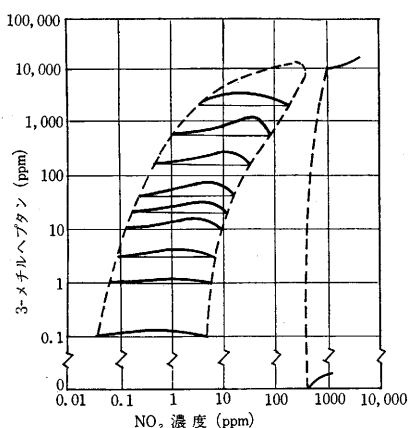
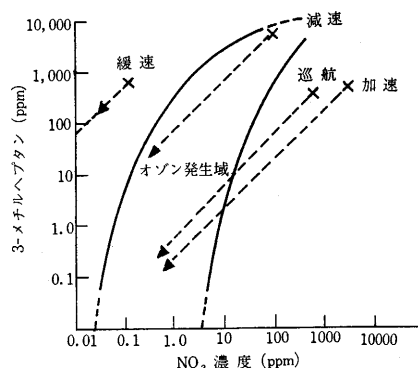
Ac=アセトアルデヒド, Pr=プロピオンアルデヒド, n-Bu=n-ブチルアルデヒド, A=アセトン, MEK=メチルエチルケトン,
nd=未決定, Pr=存在, tr=痕跡

a. 回収された炭化水素は最初のオレフィンから1炭素数の少ないオレフィンを含む。

b. オゾン mole 当たり1 mole のオレフィンが消費されたと仮定して回収された炭素原子の割合 (%)

c. イソブチルアルデヒド d. アクロレイン e. n-パレルアルデヒド f. ほとんどがエチレン g. プロパンとピロピレン

h. 主としてエタン少量 (0.001~0.007) のメチルギ酸塩が得られる場合もある。

炭化水素と NO₂ の濃度範囲とオゾン生成量第12図 炭化水素と NO₂ の光化学反応によるオゾン生成とこの反応を起こし得る炭化水素 NO₂ の濃度範囲

自動車の操行状態のいかにその排ガスがオゾン生成領域に入ることを示す図

グを還元型, ロサンゼルスのを酸化型という²¹⁾。

なお Haagen-Smit によれば炭化水素と酸化窒素の反応により O₃ を生成するにはこれらのガスの最適濃度範囲がある(第12図)。このような領域下ではオゾンが多くできてスモッグが激しくなる。一般に自動車減速時の排ガス成分の割合は、この領域にはいるのでこのような運転は大気汚染防止上好ましくないとされる。

炭化水素によるスモッグの生成しやすさは炭化水素の種類にも関係し一般にオレフィンのように不飽和化合物で著しくまた不飽和化合物でも二重結合の分子内の位置

なども関係するという(第6表)。

最近はこのような反応に SO₂ も関係するという説ができていますが、詳細は他にゆずる^{21),34)}。

ロサンゼルス市では1960年7月以降オレフィンの含有率が15%以上のガソリンの販売を禁止し1962年には10%に強化したという³³⁾。

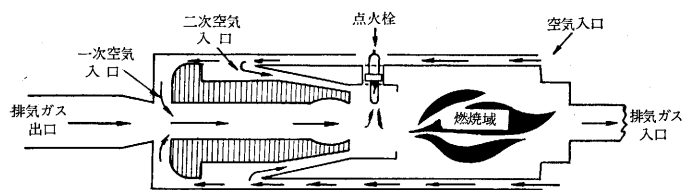
このように炭化水素は今日大気汚染物としては最も注目すべきものである。このような汚染物を大気中にふやさないようにするには、もし漏洩が原因となっているならば、かかる漏洩をなくすることが第一である。実際ロ

第 6 表 スモッグの生成と炭化水素の種類

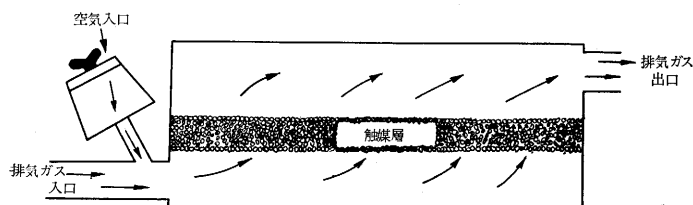
オレフィンの酸化における相違

炭化水素の型	炭 化 水 素	アルデヒド P.P.M	有機過酸化物 (過酸化水素 τ 量)	オゾン a	エアロゾル
飽和炭化水素	ヘ プ タ ン	5.2	0.2	(1)	不活性
オレフィン					
Alpha	1-ヘ プ タ ン	17.6	1.7	(3)	わずかに活性
Internal	2-ヘ プ タ ン	100.6	5.5	(5)	非常に活性
	3-ヘ プ タ ン	199.6	5.3	(3)	非常に活性
Branched Alpha	2-メチル・1-ブテン $\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)$	97.7	4.3	(5)	非常に活性

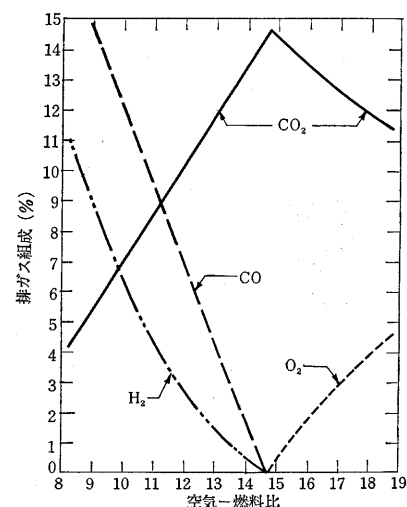
10 時間の照射後の標準ゴム片のクラッチングの深さ



第 13 図 火炎式アフターバーナー



第 14 図 接触式マフラー

第 15 図 自動車エンジンの空気燃料混合比と排ガス中の CO, CO₂ 濃度との関係

サンゼルスでは石油を取り扱うところは密閉そう(槽)とか浮動屋根とか蒸気回収装置など種々の漏洩防止装置が用いられている。

燃焼排ガスには燃焼法を改良して完全燃焼化をはかることが考えられる。

このためには燃料の改質、燃焼装置(自動車ならエンジン)の改良などが考えられる。そしてこのような処置を講じて、なおかつその排出が防止できないならば、この排ガスを大気中に排出直前において再燃焼するか、もしくは取り除くことを行なう。再燃焼を行なうには燃焼を維持するだけの条件がそろわねばならない。もしその燃焼条件が十分維持できないならば触媒を使って酸化させる方式が考えられる。この原則にもとづいて自動車の排ガス用として現在第 13 図に示すようなアフターバーナーや第 14 図のような触媒転換器(触媒としては白金、バナジウム、ホプカライトなどがある)が考えられている³⁶⁾。

排ガスを燃焼させないでこれを取り除く方法としては洗浄法、吸収法、ろ(濾)過法、凝縮法などが別個に考えられている^{22), 23)}。

しかし自動車についてこれらを実施するには現段階ではいろいろ問題があるようである。たとえばアフターバーナーを定常的に燃やすのがむずかしいとか、触媒が四エチル鉛に毒されるといった問題である。自動車の排ガ

ス問題ではこの外、鉛の問題、肺ガン物質といわれる 3-4 ベンツピレンの問題などもあるが省略する。

6. 一酸化炭素に関する問題

CO は燃料の不完全燃焼の結果生成するもので、数年前は中毒事件などでだいぶやかましかった。CO は O₂ より 210 倍も早い速度で血液中のヘモグロビンと結合を起し、O₂ の肺から筋肉への輸送を抑制するという。1 ppm の CO は人体のヘモグロビンを 0.16% 一酸化ヘモグロビンとしてしまう。30 ppm の CO 中に 4~6 時間いることは人体に対し 6,000 ft の山頂にあると同じ状態にするという。

CO の汚染源としては自動車(第 15 図)¹⁸⁾・製鉄・冶金工場・製油所・ガス工場・炭鉱などがあげられる。しかし、ロサンゼルスのような場合には CO は毎日 10,000 トン以上排出されるが、その 80%(8,950 トン)が自動車によるものという(1961 年)。この 8,950 トンという量は容積で約 2 億 3,000 万立方 ft に当たり、ロサンゼルス市中の空気に約 30 ppm の濃度を与えることになる。

実際ロサンゼルスでは 45 ppm 程度の CO が検出されている。シンシナチでは 55 ppm、東京では 3.5 ppm

程度の CO が検出されている。それでもマラソンのアベベ選手も日本の自動車排ガスには悩まされたというエピソードがあるから一刻も早くこの対策を急がねばならない。この対策としてはほぼ炭化水素と同様な対策が考えられている。

完全燃焼させようとする場合には排ガス濃度が濃ければ、その燃焼熱をなるべく有効に利用することが得策であるといわれる(製油所・製鉄所の例)。

7. 今後の問題点

以上大気汚染のごく概括的問題について、述べてきたが、最後にこれらのまとめとして、今後の技術的問題について私見を述べて本稿を終わりたい。

今後大気汚染防止の立場からみて主として化学的立場からみた技術的課題としてとりあげられるべき問題としては少なくとも次の諸事項があげられよう。

まず第1にすでに公害発生地域はもちろんのこと新しく開発される予定地域でも大気汚染の実態を正しく把握することは、あらゆる意味で必要であるといわれる。ところで大気汚染物の内容は地域的にも時間的にも常に変動してやまない性格のものであるから、その完全を期するには、広大な地域にわたって常に観測が行なわれなければならない。そしてその対象たるやきわめて微量ガスもしくは微小粒子ときているから従来の分析方法あるいは機器は一般に適用しがたい場合が多い。今後これらに適應した鋭敏な分析機器、それも人手を要しない自動記録式のものの開発が望まれる。そしてそれらが将来各地に多数配置されるとするとその装置もなるべく簡便で安価なものが好ましいということになる。現在でも種々の型のものが考案されているが、これらは技術的にも経済的にも改良する余地がある。エアロゾルではその化学組成の外に粒度・濃度あるいは荷電などの諸物性の測定も必要である。これらの内でも粒度測定は 0.3μ 以下という微細な領域の粒子の測定が問題になる場合が多いがこれらの領域になると技術的にもまだまだ解決されねばならぬ問題が多い。

第2に燃料の改質や燃焼法の改良などに関する研究が要望される。公害を生じない燃料あるいは脱硫技術の開発が要望される。脱硫に関しては、また脱硫して生成された硫黄の利用面の開発研究なども問題であろう。

第3に、排煙中からの脱硫問題がある。これらは再三述べたように技術的にはある程度可能性があっても経済的には解決されていないというのが現状である。そしてこれは現在最も差し迫った課題でもある。脱硫にとまらうその回收利用の研究も必要である。また脱硫のみならず、 NO_2 、CO、炭化水素、ハロゲンその他のガスならびにエアロゾルについても、さらにその除染方法が開発されねばならぬこれらの問題はこれらの方法・装置もさることながら同時にこれらの効率測定に必須な微量ガス・

微小エアロゾルの発生法やその測定法も十分開発させておく必要がある。これらは簡単なようで案外一般には見のがされている問題である。

第4に煙突からの排煙の拡散ならびにその過程における物理化学的变化に関する研究がもっと深められねばならぬ。

第5に大気汚染物質の拡散後の大気中における化学挙動について調べる必要がある。都市上空の汚染物はいわば一つの巨大なフラスコに閉じ込められた一種のガス化学反応系にたとえられる。そしてそこには熱反応あり、光学反応あり、放電化学反応あり、また触媒反応が考えられる。ただしこれらの反応においては、従来の化学反応と著しく異なるところはその濃度がきわめて低いこと、共存する物質の種類がきわめて多いということである、またこの巨大フラスコ中のガスの分布は必ずしも均一なものではなく、むしろ不均一でさえあることも従来の反応系といささか趣きを異にするところである。こういったことから従来の熱力学、反応速度論の知識に加えてこの取扱いとは従来のやや異なった取扱い方もしてゆかなければならないこともある。この分野はアメリカでは大気汚染の化学として新しい発展をみせている。

第6は、大気汚染の影響の問題である。この中にはもちろん医学的・農学的問題もあるが、工学的問題としては金属の腐蝕、物件の変色や汚損の問題、高純度物質に対する汚染の影響、化学工場の防災の問題などいろいろの問題があげられよう。

第7に以上の諸研究の実施に常に密着した問題であるが、ガスやエアロゾルの物性、性状などについて、もっと深く掘り下げて、その知見を豊富にたまたねなければならない。

以上、筆者の専門上、工学的、それも比較的化学的問題に終始したが、公害問題は一種の境界領域的性格を有するもので、この外に冶金工学・機械工学・交通工学・土木工学・都市工学・応用物理学などあらゆる分野の問題が直接間接に関連しており、本問題の解決には、これらの分野の研究者の協力あってこそ解決される問題であると考える。

(1965年9月7日受理)

文 献

- 1) 亀井幸次郎; 産業環境年報 (1964) p. 65, 産業環境工学研究会
- 2) 黒柳寛吉; 環境衛生 (環境衛生研究会) 12, No. 1, 47 (1965)
- 3) F. Daniels & J. A. Duffie; Solar Energy Research p. 3 (1955) (The University of Wisconsin press)
- 4) 鈴木伸; 排ガスの公害とその防止対策, 工場における公害問題とその対策講習会 (1962) テキスト (工業技術振興会, 日刊工業新聞社)
- 5) 白沢富一郎; 公害と対策 1, No. 1, 37 (1965)
- 6) 鈴木伸; 大気汚染, 関東工業教育協会, 横浜国立大学工学部安全工学学会, 安全工学学会公開講座, 講義テキスト

- ト (1958)
- 7) たとえば, 日本経済新聞社説 (昭和 39 年 6 月 8 日)
 - 8) 山本毅, 竹内不二雄; 公害と対策 1, No. 2, 11 (1965)
 - 9) 通産省企業局立地政策課, 厚生省環境衛生局環境衛生課編; 大気汚染便覧 (1963)
 - 10) 橋本道夫; 産業環境工学 35, 36, 3 (1965)
 - 11) 日本経済新聞 (昭和 38 年 11 月 15 日)
 - 12) 厚生省大臣官房企画室; 地域開発における社会開発の策定に関する研究 (厚生科学研究報告) (1965)
 - 13) 日本経済新聞 (昭和 37 年 8 月 4 日)
 - 14) S.K. Friedlander, L. Silverman, P. Drinker & M. W. First; Handbook of Air Cleaning AEC, Washington D.C. (1952)
 - 15) 大気汚染研究全国協議会第二小委員会; 大気汚染の測定, コロナ社 (1962)
 - 16) 前野道雄; 大気汚染 1, No. 2, 18 (1965)
 - 17) 大気汚染測定ならびに微量分析に関する討論会, 大気汚染研究全国協議会, 日本分析学会他 (1963, 12 月)
 - 18) A.C. Stern; Air Pollution vol. 1, p.206 (1962) Academic Press (New York & London)
 - 19) 高官和彦; 産業環境工学 33, p.42 (1964)
 - 20) A.R. Meetham; Atmospheric Pollution p.237 (1952) Pergamon Press (London & New York)
 - 21) P.A. Leighton; Photochemistry of Air Pollution (1961) Academic Press (New York & London)
 - 22) F.S. Mallette; Problems and Control of Air Pollution p.143 (1955) Reinhold Publishing Corp. (New York)
 - 23) W.L. Faith; Air Pollution Control p.188, John Wiley & Sons Inc. Publishers (1959)
 - 24) 庄司光, 宮本憲一; 恐るべき公害 p. 109 (1964) (岩波書店)
 - 25) 北川徹; 化学と工業 17, No.3, 53 (1964)
 - 26) 橋本道夫; 産業環境工学 25, 2 (1963)
 - 27) 山田剛; 第 187 回講習会, 大気汚染に関する講習会教材 p.113, 日本機械学会 (1963)
 - 28) 山田剛; 大気汚染 1, No.2, 12 (1965)
 - 29) 日本原子力産業会議原子動力研究会; 放射性廃棄物処理総説 p.102 (1964-3)
 - 30) 坂上治郎; 第 187 回講習会, 大気汚染に関する講習会教材 p.11, 日本機械学会 (1963)
 - 31) A. J. Haagen-Smit Eng. Sci. Monthey (Dec. 1954)
 - 32) A. J. Haagen-Smit & C.E. Bradley; Ind. Eng. Chem. 45, 2086 (1953)
 - 33) 八巻直臣; 第 187 回講習会, 大気汚染に関する講習会教材 p.57, 日本機械学会 (1963)
 - 34) 大気汚染研究全国協議会第三小委員会; 大気汚染気象ハンドブック, 第 2 章第 5 節 (1965) (印刷中)
 - 35) 内田秀雄; 空気調和・衛生工学 36, No. 8 (1962)
 - 36) 西脇仁一; 産業環境工学 26, 3 (1963)

次 号 予 告 (12 月号)

研 究 解 説

回転速度変動の無接触測定装置	江 守 一 郎 横 山 茂 治 斎 藤 彦 彦
芳香族ジアゾニウム塩の光分解	菊 池 真 一 勤 柄 光 則

研 究 速 報

地震動の非定常性の一取扱法について	佐 藤 壽 芳 武 藤 敏 昭
4-[4-オキシナフチル-(1)]-ベンゾアントロンの合成, および リンモリブデン酸アンモニウムによる多環縮合フェノールの呈色	永 井 芳 男 長 沢 孝 太 郎
ジェン化合物のイオンテロメル化反応	浅 原 照 三 木 瀬 秀 夫 鄭 東 静

総 索 引

1965 年 (生研報告発行リストを含む)

東京大学生産技術研究所報告刊行

第 14 巻 第 4 号 藤 井 陽 一 著

(英 文)

Studies on Eletron Beam Noise

電子ビーム雑音の研究

電子ビームの雑音は, 特にマイクロ波の低雑音電子管において重要なファクタである。この論文では, 電子ビームの雑音について, いわゆる雑音パラメータと称する量, および, ショット雑音の軽減係数の観点から実験的に研究したものである。

第 I 部においては, 低雑音の進行波管について, その雑音パラメータを測定し, これが, 電子ビームのいろいろな状況に対してどのように変化するかをみたものである。

第 II 部は, ショット雑音の軽減係数を, 陰極の光電効果を利用して測定したものである。測定には, レーザ光を利用している。

(1965 年 8 月発行)