

平成9年度環境庁委託
持続可能な開発支援基盤整備事業

大気環境保全技術研修マニュアル

総論

平成10年3月

社団法人 海外環境協力センター

序

開発途上国の環境保全に対する支援の強化は、我が国の方針として内外に表明されており、これを「顔の見える援助」として実現するためには、我が国の人材を開発途上国に派遣して我が国及び開発途上国双方の専門家が共同して問題解決にあたる技術協力が重要な役割を果たすと期待されている。

開発途上国の環境問題の特徴としては、我が国が高度成長期に経験したような深刻な公害の発生に加え地球規模の環境悪化とが同時に起こっていること、また、それにもかかわらず、十分な環境配慮が行われないまま、経済開発を求める圧力はより増大しているということである。

このような状況の開発途上国へ我が国の専門家が派遣される場合、専門家本人の専門分野に限らない幅広い環境保全について尋ねられることが多々ある。これらの専門家を支援するために、こうした広範な内容を含む資料集の整備が求められていた。

本マニュアル（「大気環境保全技術研修マニュアル・総論」）は、こうした背景を受けて、開発途上国からの技術移転の要望が多く、深刻な問題となっている大気保全分野について、広範な保全技術をまとめたものである。本マニュアルが、開発途上国における我が国による環境分野の技術移転の現場はもとより、国際環境協力専門家を養成するための研修等においてご活用いただければ幸甚である。

このマニュアル執筆は、我が国の大気保全分野の学識経験者等にお願ひし、編集作業については、それぞれの分野の学識経験者により構成された大気環境保全技術研修マニュアル検討会の委員の先生方からの助言を頂きながら行った。また、校正作業については氷見康二先生及び才木義夫先生にお忙しい中、多大なご協力を頂いた。これらの各位に対して厚くお礼申し上げる。

平成10年3月

社団法人海外環境協力センター
理事長 渡 辺 修

目次

第1章 大気汚染概論	1
1.1 「大気」概要	1
1.1.1 大気の組成	1
1.1.2 大気の構造	1
1.1.3 太陽光	3
1.2 大気汚染の定義と汚染物質	4
1.2.1 はじめに	4
1.2.2 大気汚染物質の発生源と種類	4
1.2.3 大気汚染物質	4
1.2.4 その他の大気汚染物質	5
1.2.5 新たな大気汚染物質	5
1.3 大気汚染と資源問題	7
1.3.1 エネルギーと大気汚染	7
1.3.2 大気汚染防止と資源化	8
1.3.3 資源開発と環境問題	8
1.3.4 工業用水の確保とその処理、輸送問題	8
1.3.5 環境と資源問題	9
1.4 地球環境問題	10
1.4.1 はじめに	10
1.4.2 地球温暖化	10
1.4.3 成層圏オゾン層の破壊	10
1.4.4 対流圏大気の酸性化（酸性雨）	11
第2章 大気汚染の歴史	13
2.1 世界の大気汚染史	13
2.1.1 はじめに	13
2.1.2 イギリスの場合	14
2.1.3 アメリカ合衆国の場合	14
2.1.4 世界の巨大都市の大気汚染	16
2.2 日本の大気汚染の歴史	18
2.2.1 第1期における大気汚染	18
2.2.2 第2期における大気汚染	20
2.2.3 第3期における大気汚染	23
第3章 日本の大気汚染規制の背景	27
3.1 概説	27

3.2	規制成立の動機と背景	27
3.3	規制実施の背景としての技術的側面	27
3.4	規制背景としての社会的側面	27
3.5	規制施行の背景としての行政組織	29
3.6	時代背景	29
第4章	気象・大気汚染物質濃度変化と分布	33
4.1	気象の影響	33
4.1.1	はじめに	33
4.1.2	大気境界層	33
4.1.3	気温の垂直分布	33
4.1.4	気温の垂直分布と拡散	34
4.1.5	風の垂直分布	34
4.1.6	市街地風と大気汚染	35
4.1.7	都市境界層と大気汚染	36
4.1.8	総観気象と局地気象	37
4.2	大気汚染物質の生成機構	38
4.2.1	はじめに	38
4.2.2	オゾン生成の光化学反応	38
4.2.3	炭化水素の反応	39
4.2.4	対流圏大気酸性化(酸性雨)に関する大気化学反応	40
4.3	大気汚染物質濃度変化	43
4.3.1	はじめに	43
4.3.2	大気汚染物質濃度の日変化と大気汚染物質相互の関連性	43
4.3.3	大気汚染物質濃度の季節変化	45
4.3.4	大気汚染物質濃度の年変化と大気汚染物質濃度変化の統計的な解析	45
4.4	大気汚染物質分布	46
4.4.1	はじめに	46
4.4.2	都市から郊外への大気汚染の流れ	46
4.4.3	大気汚染の立体分布	47
4.4.4	広域大気汚染の分布	52
4.4.5	大気汚染分布把握とモニタリング	52
第5章	大気汚染の影響	55
5.1	人体影響	55
5.1.1	はじめに	55
5.1.2	呼吸器の仕組み	55
5.1.3	大気汚染物質により引き起こされる呼吸器疾患とは	55

5.1.4	代表的な大気汚染物質の健康影響	57
5.2	植物影響	60
5.2.1	はじめに	60
5.2.2	植物の可視障害発現	60
5.2.3	植物の生理機能・収量への影響	63
5.3	大気汚染の材料・文化財への影響	66
5.3.1	はじめに	66
5.3.2	材料に対する大気汚染の影響	66
5.3.3	大気汚染の影響のメカニズム	69
5.3.4	おわりに	69
5.4	視程低下	70
5.4.1	はじめに	70
5.4.2	視程低下の原因	70
5.4.3	視程の測定	71
5.4.4	視程低下の影響	72
5.5	感覚への影響（嗅覚）	73
5.5.1	嗅覚	73
5.5.2	嗅覚の特質	74
5.5.3	においの生理的機能に及ぼす影響	74
5.5.4	においの効用とその利用	75
第6章	大気汚染物質発生源概要	81
6.1	固定燃焼施設	81
6.1.1	概説	81
6.1.2	主要大気汚染物質の発生	82
6.1.3	火力発電所	83
6.2	粉じん発生源	86
6.2.1	概説	86
6.2.2	粉砕工程	86
6.2.3	研磨工程	87
6.2.4	粉体の篩分け	87
6.2.5	粉体輸送	87
6.2.6	粉体の堆積	87
6.3	化学プロセス	89
6.3.1	概説	89
6.3.2	セメント工業	89
6.3.3	硫酸工業	91
6.3.4	硝酸工業	91

6.3.5	塩素製造	92
6.4	金属精錬	93
6.4.1	概説	93
6.4.2	鉄鋼一貫プラント	93
6.4.3	銅精錬	96
6.4.4	亜鉛精錬	96
6.4.5	アルミニウム精錬	98
6.4.6	チタン、シリコン等の精錬	98
6.5	石油精製	99
6.5.1	石油とは	99
6.5.2	石油精製	100
6.5.3	重油脱硫	102
6.5.4	大気汚染物質	103
6.6	輸送機関	104
6.6.1	はじめに	104
6.6.2	輸送機関としての自動車の現状	104
6.6.3	発生源としての自動車の現状	104
6.6.4	その他の輸送機関	107
6.6.5	指摘課題	108
6.7	悪臭発生源	109
6.7.1	悪臭苦情の状況	109
6.7.2	特定悪臭物質の発生事業場	109
6.7.3	主な臭気発生事業場とその影響	110
6.7.4	事業場の主な臭気発生源	111
6.8	大気汚染物質の排出係数	113
6.8.1	概説	113
6.8.2	固定発生源からの大気汚染物質排出係数	113
6.8.3	移動発生源からの大気汚染物質排出係数	116
第7章	大気汚染防止技術	123
7.1	大気汚染防止の基礎的考え	123
7.1.1	概説	123
7.1.2	大気汚染防止の基本的考察	123
7.1.3	大気汚染防止装置について	123
7.1.4	大気汚染防止組織の確立	124
7.2	大気汚染対策の変遷	125
7.2.1	はじめに	125
7.2.2	指導・協定による例	125

7.2.3	段階的規制の導入とその効果	125
7.3	良質燃料対策	129
7.3.1	はじめに	129
7.3.2	良質燃料対策の必要性	129
7.3.3	大気汚染防止法による燃料使用基準	129
7.3.4	良質燃料使用による効果	129
7.3.5	良質燃料の供給	130
7.4	燃焼管理と省エネルギー	132
7.4.1	燃焼管理の意義	132
7.4.2	日本における燃焼管理と省エネルギーの動向	132
7.4.3	指摘課題	135
7.5	工程管理	136
7.5.1	概説	136
7.5.2	作業場の清掃による方法	136
7.5.3	工程内で使用する原燃料管理による方法	136
7.5.4	工程の維持管理強化による方法	136
7.5.5	工程改善による方法	137
7.5.6	工程の組合わせ合理化による方法	137
7.6	集塵装置	138
7.6.1	はじめに	138
7.6.2	日本における集塵技術の変移	138
7.6.3	集塵装置の分類	138
7.6.4	新技術の開発	139
7.6.5	おわりに	142
7.7	排煙脱硫装置と副産品	143
7.7.1	各種脱硫法	143
7.7.2	排煙脱硫の今後の動向	149
7.8	燃焼改善によるNO_x対策	150
7.8.1	はじめに	150
7.8.2	日本における燃焼改善によるNO _x 対策の歴史	150
7.8.3	日本における低NO _x 燃焼技術	150
7.8.4	指摘課題	152
7.9	排ガス脱硝装置	153
7.9.1	はじめに	153
7.9.2	日本における排煙脱硝技術の歴史	153
7.9.3	日本における排煙脱硝技術の最近の動向	155
7.9.4	指摘課題	157
7.10	有害ガスの処理	158

7.10.1	吸着法	158
7.10.2	吸収法	161
7.11	自動車対策	163
7.11.1	はじめに	163
7.11.2	ガソリン車排出ガス低減対策	163
7.11.3	ディーゼル車排出ガス低減対策	165
7.11.4	指摘課題	167
7.12	炭化水素対策	168
7.12.1	はじめに	168
7.12.2	炭化水素の発生源	168
7.12.3	燃焼排ガス中の炭化水素対策	168
7.12.4	ガソリンペーパー対策	169
7.12.5	炭化水素の処理装置	169
7.12.6	塩素系炭化水素の対策	171
7.12.7	フロン	171
7.13	悪臭対策	172
7.13.1	防臭・脱臭対策の進め方	172
7.13.2	悪臭除去装置	172
7.14	開発計画と対策事例	175
7.14.1	はじめに	175
7.14.2	根岸湾工業地帯造成と横浜方式公害防止協定	175
7.14.3	四日市石油コンビナート計画と大気汚染問題	175
7.14.4	扇島プロジェクトの意義と大気汚染対策	177
7.15	大気汚染防止技術のコスト	179
7.15.1	設備投資金額の推移	179
7.15.2	硫黄酸化物対策	179
7.15.3	個別設備の対策費用－重油火力発電所の例	179
7.15.4	硫黄対策コストの経済影響	180
第8章	大気汚染物質測定法（発生源）	185
8.1	排ガス中の汚染物質測定・分析法	185
8.1.1	概説	185
8.1.2	粒子濃度測定法	185
8.1.3	ガス状汚染物質濃度測定法	188
8.1.4	大気汚染物質排出量の計算	188
8.1.5	リングルマン黒線図による黒煙の簡易測定法	189
8.2	燃焼排ガス中主要成分分析・測定法	190
8.2.1	概説	190

8.2.2	試料ガス採取方法	190
8.2.3	オルザット分析計	190
8.2.4	計測器による方法	191
8.3	排ガス中大気汚染物質自動計測器	193
8.3.1	概説	193
8.3.2	自動計測システムの構成	193
8.3.3	排ガス中の二酸化硫黄自動計測器	193
8.3.4	排ガス中の窒素酸化物自動計測器	194
8.4	燃料試験法	196
8.4.1	概説	196
8.4.2	燃料中硫黄分析法	196
8.4.3	燃料中窒素分析法	196
8.4.4	燃料中炭素、水素分析法	196
8.4.5	燃料の発熱量試験法	196
8.5	防止装置試験法	198
8.5.1	概説	198
8.5.2	集塵装置試験法	198
8.5.3	排ガス脱硫装置、排ガス脱硝装置試験法	202
8.6	自動車排出ガス試験法	203
8.6.1	はじめに	203
8.6.2	測定装置概要	203
8.6.3	自動車排出ガス試験手順	207
8.6.4	指摘課題	209
第9章	大気汚染測定法（環境大気）	211
9.1	分析原理（環境大気測定の基礎）	211
9.1.1	はじめに	211
9.1.2	測定法の分類とサンプリング	211
9.1.3	手分析法	213
9.1.4	濃度計	214
9.1.5	連続分析計	215
9.1.6	測定精度と精度管理	215
9.1.7	実験室の管理	216
9.2	連続分析法	217
9.2.1	はじめに	217
9.2.2	連続分析計	217
9.2.3	環境大気計測の目的と種類	218
9.2.4	測定局の構造と設備	218

9.2.5	国際規格の状況と対応	219
9.3	大気汚染監視システムの計画と管理	224
9.3.1	はじめに	224
9.3.2	監視システムの計画的配置	224
9.3.3	測定場所と測定局の面積	225
9.3.4	測定機器の設置条件	226
9.3.5	測定機器の保守管理	226
9.4	降下ばいじん測定法	228
9.4.1	はじめに	228
9.4.2	試料採取法	228
9.4.3	分析	229
9.5	酸性沈着の測定法	231
9.5.1	はじめに	231
9.5.2	湿性沈着の測定のポイント	231
9.6	大気中粒子状物質の分析法	235
9.6.1	はじめに	235
9.6.2	原子吸光光度法	235
9.6.3	放射化分析法	237
9.7	浮遊粒子中の多環芳香族化合物の測定法	239
9.7.1	はじめに	239
9.8	大気中有害物質（揮発性有機物質）の分析法	241
9.8.1	はじめに	241
9.8.2	ベンゼン等揮発性有機物質（VOCs）の分析法	241
9.8.3	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの分析法	244
9.9	ダイオキシンの分析方法	247
9.9.1	はじめに	247
9.9.2	試料採取	247
9.9.3	分析操作	248
9.9.4	濃度の表示	250
9.10	NO、NO₂簡易測定法	251
9.10.1	はじめに	251
9.10.2	サンプラーの構造と捕集方法	251
9.10.3	サンプラーの準備	252
9.10.4	サンプラーの組み立て	252
9.10.5	窒素酸化物の捕集	252
9.10.6	分析方法	252
9.11	悪臭測定法	254
9.11.1	悪臭測定法の概要	254

9.11.2	機器測定方法	254
9.11.3	官能試験法	257
9.12	健康影響調査法（疫学調査法）	260
9.12.1	はじめに	260
9.12.2	大気汚染の疫学的評価のステップ	260
9.12.3	疫学調査の実際	260
9.13	植物影響調査法	263
9.13.1	可視障害発現を指標とする方法（植物指標）	263
9.13.2	オープントップチェンバー法	263
9.13.3	植物計	264
9.13.4	天然配置法	265
9.14	材料、文化財の影響調査法	267
9.14.1	目視観察法	267
9.14.2	劣化の測定、分析法	268
9.15	気象観測法	269
9.15.1	はじめに	269
9.15.2	地上気象観測	269
9.15.3	上層気象観測	269
9.15.4	上層気象の連続リモートセンシング	270
9.15.5	気象ネットワーク	271
第10章	大気汚染予測技術	275
10.1	大気拡散理論	275
10.2	大気拡散予測モデルの概要	280
10.2.1	ブルーム・パフモデル	280
10.2.2	数値シミュレーションモデル	281
10.2.3	拡散の粒子法モデル	283
10.2.4	煙上昇のモデル	284
10.3	大気拡散の調査	285
10.3.1	気象条件調査	285
10.3.2	拡散調査	287
10.4	大気汚染予測の実際	289
10.4.1	長期平均濃度の予測	289
10.4.2	短時間平均濃度の予測	292
10.4.3	化学反応物質の予測	294
10.4.4	風洞実験による予測	295
10.5	統計的予測モデル	297
10.6	CMB法	299

10.6.1	はじめに	299
10.6.2	CMBモデル	299
10.6.3	指標元素	303
第11章	大気保全に関する法令体系	305
11.1	概要	305
11.1.1	法律、条例	305
11.1.2	条約、議定書、宣言	305
11.2	環境基本法	306
11.2.1	概要	306
11.2.2	環境基準	306
11.2.3	公害防止計画	306
11.2.4	国際協力	307
11.3	大気汚染防止法	307
11.3.1	概要	307
11.3.2	ばい煙	310
11.3.3	粉じん	314
11.3.4	自動車排出ガス	314
11.3.5	有害大気汚染物質対策	314
11.4	自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法	316
11.4.1	背景	316
11.4.2	概要	316
11.5	悪臭防止法	319
11.6	特定工場における公害防止組織の整備に関する法律	319
11.7	環境影響評価法	319
11.8	エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）	319
11.9	条約、議定書締結状況と関係法	320
11.9.1	概説	320
11.9.2	条約、議定書締結	320
11.9.3	国内法整備	320
第12章	大気保全行政概要	323
12.1	大気保全行政機構、執行体制	323
12.2	大気環境監視システム	325
12.2.1	概論	325
12.2.2	大気環境監視システムにおける情報フロー	325
12.2.3	大気環境監視システムの活用	325
12.3	工場立ち入り	329

12.3.1	概論	329
12.3.2	検査対象事項	329
12.3.3	立入検査	331
12.4	環境影響評価制度	332
12.4.1	環境影響評価制度成立経過	332
12.4.2	環境影響評価法と制度の概要	332
12.4.3	大気保全を対象とする評価	333
12.5	公害防止管理者制度等	337
12.5.1	経緯	337
12.5.2	特定工場	337
12.5.3	資格の取得	337
12.5.4	職務の内容	337
12.5.5	大気保全に関するその他制度	339
12.6	公害防止対策助成制度	340
12.6.1	企業の公害防止投資支援措置	340
12.6.2	助成措置の効果	340
12.7	公害健康被害補償予防制度	343
12.7.1	健康被害の多発と四日市公害訴訟、公害健康被害補償制度の成立	343
12.7.2	被害者の認定と補償、費用負担	343
12.7.3	汚染状況の改善にともなう制度改正	344
12.7.4	個別患者補償から地域を対象とした健康被害予防事業へ	344

執筆者一覧

執筆者名	所 属	執筆箇所
井村 秀文	九州大学工学部教授	7.15, 12.7
内山 巖雄	国立公衆衛生院労働衛生学部部長	5.1, 9.12
大歳 恒彦	(助)日本環境衛生センター環境科学部	9.6
加藤 征太郎	中央大学理工学部講師	7.7, 7.10
北林 興二	工業技術院資源環境技術総合研究所所長	10.1~10.5
城戸 伸夫	工業技術院資源環境技術総合研究所統括研究調査官	1.3, 6.1, 6.4, 6.5, 7.4, 7.6, 7.8, 7.9
小暮 信之	工業技術院資源環境技術総合研究所大気圏環境保全部 大気計測研究室	7.6
古明地 哲人	東京都環境科学研究所応用研究部	5.3, 9.14
佐藤 静雄	川崎市公害研究所所長	9.4, 9.6~9.8, 9.10
佐俣 満夫	横浜市環境科学研究所	7.12
戸塚 績	江戸川大学社会学部環境情報学科教授	5.2, 9.13
仲山 伸次	(助)日本環境衛生センター専門官	5.5, 6.7, 7.13, 9.11
二瓶 久雄	(株)数理計画顧問	6.8, 9.3, 12.2, 12.3, 12.5
畠山 史郎	国立環境研究所地球環境研究センター研究管理官	1.4, 4.2
原 宏	国立公衆衛生院地域環境衛生学部主任研究官	9.5
菱田 一雄	菱田環境計画事務所所長 海外経済協力基金技術顧問	2.1, 7.2, 7.3
氷見 康二	東京薬科大学生命科学部講師 (助)日本環境衛生センター技術顧問	2.2, 3.1~3.6, 6.1~6.5, 6.8, 7.1, 7.5, 7.14, 8.1~8.5, 11.1~11.9, 12.1
福岡 三郎	(株)数理計画環境計画部技術顧問	6.6, 7.11, 8.6
藤村 満	グリーンブルー(株)環境コンサルタント事業部副部長	9.9
堀 雅宏	横浜国立大学教育人間科学部助教授	9.1
溝畑 明	大阪府立大学先端科学研究所助教授	10.6
森 正樹	電気化学計器(株)特別顧問	9.2
森嶋 彰	環境事業団業務部企業立地課長	12.6
若松 伸司	国立環境研究所地域環境研究グループ総合研究官	1.2, 4.1, 4.3, 4.4, 5.4, 9.15
鷺田 伸明	国立環境研究所大気圏環境部長	1.1

(五十音順)

大気環境保全技術移転マニュアル検討委員会

氏 名	所 属
加藤 三郎	(社)海外環境協力センター専務理事
菱田 一雄	菱田環境計画事務所所長 海外経済協力基金技術顧問
水見 康二	東京薬科大学生命科学部講師 (助)日本環境衛生センター技術顧問
二瓶 久雄	(株)数理計画顧問

監修協力

氏 名	所 属
才木 義夫 (英語版)	日本大学理工学部非常勤講師
水見 康二 (日本語版)	東京薬科大学生命科学部講師 (助)日本環境衛生センター技術顧問

第1章 大気汚染概論

1.1 「大気」概要

1.1.1 大気の組成

大気はいろいろな分子の混合で成り立っている。大気の主成分は窒素（容積比 78.1%）と酸素（21.0%）で、次に多いのは量は不定であるが水蒸気で、それ以下は極端に量が少なく微量気体（trace gas）とよばれる。その組成を表 1.1.1 に示す。大気に乱流がなければ、各分子は各々異なる質量を持つので、重い分子が下に、軽い分子が上に多くなる重力による拡散分離作用（diffusive separation）が働くが、実際には高度 11 km の対流圏界面（tropopause）より下では大気は乱流によりよく混合されていて混合比は同じと考えてよい。但し希ガス以外の微量気体に関しては発生源や大気中での光化学反応により、大気中に一様に分布しているのではなく、高度、緯度、経度、季節に依存して濃度分布が異なる。また大都市などにおいては全く異った濃度を示す。

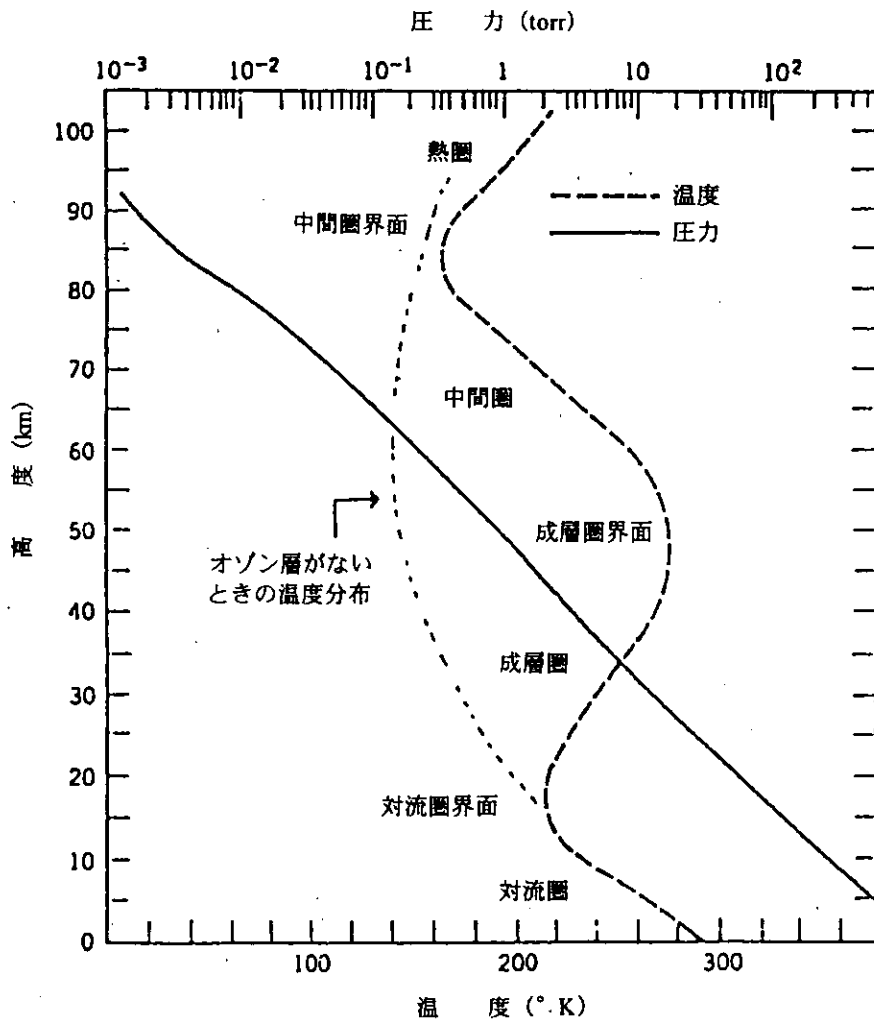
表 1.1.1 地表付近の大気組成

成分	分子式	分子量	存在比率 (%)	
			容積比	重量比
窒素分子	N ₂	28.01	78.11	75.53
酸素分子	O ₂	32.00	20.96	23.14
アルゴン	Ar	39.94	0.9343	1.280
炭酸ガス	CO ₂	44.01	0.03	0.045
一酸化炭素	CO	28.01	1×10 ⁻³	1×10 ⁻⁵
ネオン	Ne	20.18	1.8×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁵
ヘリウム	He	4.00	5.3×10 ⁻⁴	7.3×10 ⁻⁵
メタン	CH ₄	16.05	1.52×10 ⁻⁴	8.4×10 ⁻³
クリプトン	Kr	83.7	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴
一酸化二窒素	N ₂ O	44.02	5×10 ⁻⁵	8×10 ⁻⁵
水素分子	H ₂	2.02	5×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁶
オゾン	O ₃	48.0	2×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁶
水蒸気	H ₂ O	18.02	不定	不定

1.1.2 大気の構造

地表付近の気温は通常高さとともに減少している。この領域の主な熱源は、地表で吸収された太陽放射が、表面から再放射されることにあり、温められた空気は上に運ばれる。空気は図 1.1.1 に示すように上空に向かって密度（圧力）が下がるので、下の空気が上に運ばれると、断熱膨張（adiabatic expansion）により外部に対して仕事をするので分子の内部エネルギーが減少し、温度が下がる。高度約 11 km の高さまで大気中では対流が盛んで断熱膨張機構により気温分布が決まるので対流圏（troposphere）と呼ばれる。この高さを越えると太陽光による光化学反応によって生成されるオゾンが太陽光を熱に変換するため気温の低下が停止し、逆に気温が徐々に上昇する。気温が上昇する領域では暖かい空気が冷たい空気の上にあるので対流が起らず、大気は熱的に安定している。この領域を成

層圏と呼ぶ。気温が減少から増加に転ずる高さは対流圏の上限で対流圏界面 (tropopause) と呼ぶ。成層圏ではオゾンによる太陽の紫外線吸収と赤外線放射による冷却率がつり合う輻射平衡 (radiation equilibrium) で温度分布が決まる。さらに高高度では大気密度が減少し、オゾン濃度も低下するので気温は低下していく。温度の極大は約 50 km の高度であり、この気温が極大になる高さが通常成層圏の上限と定義され、成層圏界面 (stratopause) と呼ばれる。成層圏界面より上では、気温は減少するが、80 km 付近より上では再び上昇する。この気温極小までの領域を中間圏 (mesosphere) と呼び、その上を熱圏 (thermosphere) と呼ぶ。また中間圏と熱圏の堺を中間圏界面 (mesopause) と呼ぶ。熱圏では主として酸素分子が太陽の紫外線を吸収し、光解離と再結合のくり返して、太陽の紫外線を熱に変えるため温度が上昇する。このように大気の構造は太陽光とそのエネルギーを吸収する大気分子の光化学反応さらに大気の物理的運動によって決定されている。



注：オゾン層がないときの予想気温分布を加えてある。

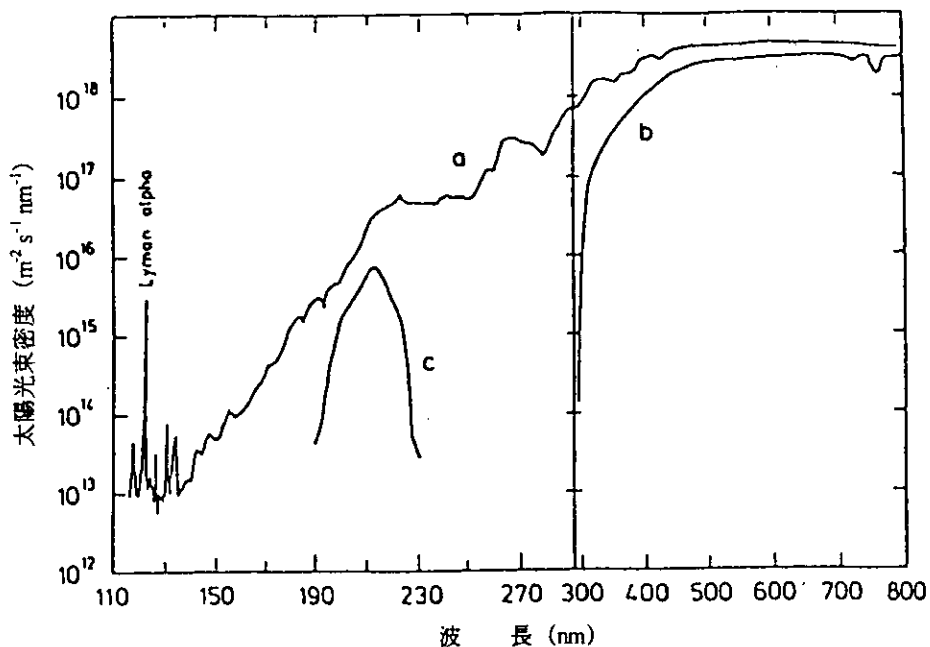
図 1.1.1 気温、圧力の垂直分布と各領域の名称

1.1.3 太陽光

太陽はX線や紫外線などの波長の短い（高エネルギーの）電磁波から、赤外線や電波などの波長の長い（低エネルギーの）電磁波まで様々な波長の光を放射している。太陽の表面温度は $6,000^{\circ}\text{K}$ であるから、太陽の輻射のエネルギー分布は $6,000^{\circ}\text{K}$ の黒体輻射曲線に近く、 480nm 付近の青色で最も強度が強く、そこから長波長へはゆっくり、短波長側へは比較的急激に減少している。図1.1.2はその様子を示したもので、大気圏外観測 (a) と地上観測 (b) の差が主として成層圏から上の大気に吸収されたものである。これらの吸収のうち 200nm より短波長の光は主に酸素分子によって、 $200\text{--}300\text{nm}$ の光は成層圏のオゾンによって吸収されたものである。太陽光の強度（光束密度）はオゾン濃度が高度によって変化するため、成層圏においては高度に依存する。図1.1.2 (c) は地上約 30km の成層圏での光束密度である。 200nm 以下の酸素分子による吸収と、 250nm を中心とするオゾンの吸収帯の谷間の $185\text{--}220\text{nm}$ の波長域に比較的光の届き易い“大気の窓”とよばれる領域がある。

以上のことから、大気微量気体の組成、大気の構造ともに太陽光による光化学反応に大いに支配されており、光化学反応は成層圏では $180\text{--}220\text{nm}$ 、対流圏では 400nm より長波長の太陽光によって引き起こされている。

従って大気の問題を考える場合、大気の物理運動、大気の化学（光化学反応）の両方がその基礎として必要となる。大気に係わるこのような基礎的背景については、以下の参考図書を参照することを奨める。



注：(a) は、大気圏外観測
 (b) は、地上観測
 (c) は、地上 30km の成層圏で観測される“大気の窓”
 出典：P. Warneck, 参考図書 (1) より

図1.1.2 110–800nm領域での太陽の光束密度

1.2 大気汚染の定義と汚染物質

1.2.1 はじめに

大気中に排出された物質が自然の物理的な拡散・沈着機能や化学的な除去機能、及び生物学的な浄化機能を上回って大気中に存在し、その量が自然の状態より増加し、これらが人を含む生態系や物などに直接的、間接的に影響を及ぼす事を大気汚染と言う。自然一般にある空気組成を変化させる物質は総て広い意味での大気汚染物質である。

1.2.2 大気汚染物質の発生源と種類

大気汚染物質の発生源は自然起源と人為起源に分けられる。自然起源の代表的なものとしては、火山排出物、森林火災、花粉の飛散、砂塵・黄砂などの風による地面からの巻き上げ、海塩粒子などの風による海面からの巻き上げ、成層圏から対流圏に沈降するオゾンなどが上げられる。人為起源の代表的なものとしては、工場や火力発電所、自動車などの化石燃料の燃焼による排出物、生産活動により生成するガスや粒子状物質、廃棄物の処理に伴う粒子状物質や化学物質などが上げられる。

大気汚染物質は発生源から直接発生する一酸化炭素、二酸化硫黄、炭化水素、粉塵などの一次汚染物質と環境大気中において化学変化により生成する二酸化窒素、光化学オゾン、エアロゾルなどの二次汚染物質とに分けられる。また形態的にはガス状と粒子状物質がある。

1.2.3 大気汚染物質

人の健康に影響を及ぼす代表的な大気汚染物質に関しては環境基準が定められており、環境中の濃度がその値を越えない様に監視がなされている。日本において環境基準または指針値が定められている大気汚染物質を以下に示す。

(1) 二酸化硫黄： (SO_2) 石炭や石油等の化石燃料に含まれる硫黄成分が燃焼により酸化されて出来る。二酸化硫黄は地域の大气環境汚染をもたらすと同時に、環境大気中でのライフタイムが長い為に長距離輸送され酸性降下物として広い範囲に影響を及ぼす。

(2) 二酸化窒素： (NO_2) 石炭や石油等の化石燃料が燃焼する時に主に空气中に含まれる窒素が酸化されて生成した一酸化窒素 (NO) がさらに酸化されて出来る。一酸化炭素 (NO) と NO_2 の和を窒素酸化物 (NO_x) と言う。窒素酸化物はそれ自体が有毒ガスであるとともに光化学大気汚染の原因物質である。

(3) 浮遊粒子状物質： $(\text{suspended particulate matter ; spm})$ 大気中に浮遊して存在する粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子を浮遊粒子状物質と言う。人為起源と自然起源の物が混在しており、発生源から直接的に排出された粒子と、ガス状物質が大気中で粒子化した二次生成粒子がある。浮遊粒子状物質は視程の低下

を招くばかりではなく特に微粒子は、ガス状の大気汚染物質と共存することにより人の健康に悪影響を及ぼす。

(4) 一酸化炭素：(CO) 燃料に含まれている炭素が不完全燃焼して発生する毒性の高いガス状物質で、代表的な発生源は自動車排ガスである。沿道や駐車場で高濃度汚染が発生する。

(5) 光化学オキシダント：(Ox) 光化学オキシダントは工場、事業所や自動車などの発生源から排出された窒素酸化物や、揮発性有機化合物および植物起源の炭化水素が大気中において光化学反応を起こして生成する。光化学オキシダントのほとんどは、オゾン (O₃) である。

(6) 非メタン炭化水素：(NMHC) メタン以外の炭化水素成分の総称。光化学オキシダントの原因物質となる。濃度はメタン換算の ppm 濃度表示が一般的であり ppmC と表す。

一般には酸性雨と呼ばれている酸性降下物も広い意味での大気汚染物質である。酸性降下物は、雨による湿性沈着とガスやエアロゾルが直接、地上面に降下する乾性沈着に分けられる。

1.2.4 その他の大気汚染物質

上記以外のガス状大気汚染物質として一酸化窒素、ガス状硝酸、PAN、ガス状フッ素、塩化水素などがあげられる。また、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、トリメチルアミン、二硫化メチル、アルデヒド、スチレンなどその他の悪臭成分もガス状大気汚染物質である。

また粒子状大気汚染物質には浮遊粒子状物質とともに降下ばいじんが上げられる。これは単位時間に単位面積に降下するばいじん量であり降下粉塵とも呼ばれる。自然起源としては地上からの土壌の飛散(黄砂等も含む)、火山排出物、海塩粒子、生物起源の炭化水素成分などが大気中で反応により粒子化したもの等があり、人為起源としては工業生産過程(燃焼を含む)からの排出物、自動車からの排出物、走行による道路からの巻き上げ、廃棄物焼却などが上げられる。

1.2.5 新たな大気汚染物質

今日、大気汚染問題は新たな課題に直面している。一つは地球環境問題であり、一つは有害化学物質問題である。化石燃料消費の急速な増加により大気中に二酸化炭素の濃度が増加し地球が温暖化している。またフロンによる成層圏オゾン層の破壊により地上に達する紫外線量が増加している。気温の上昇と紫外線の増加は、ともに光化学大気汚染を増大させる役割を果たすため、これらにより都市の大気汚染は悪化する。二酸化炭素やフロンは、それ自身が地上において大気汚染物質とはならないが間接的な大気汚染物質と言える。一方、大気中の微量有害物質汚染が大きな問題となっている。これらの中には発癌性の高い物質が含まれており、環境中での動態把握とリスクアセスメントが緊急課題となっている。この様な新しい形態の大気汚染の大きな特徴は、これまでのように、汚染発生者と被汚染者との区別が明確ではない事である。すなわち加害者と被害者が同一の不特定多数市民である

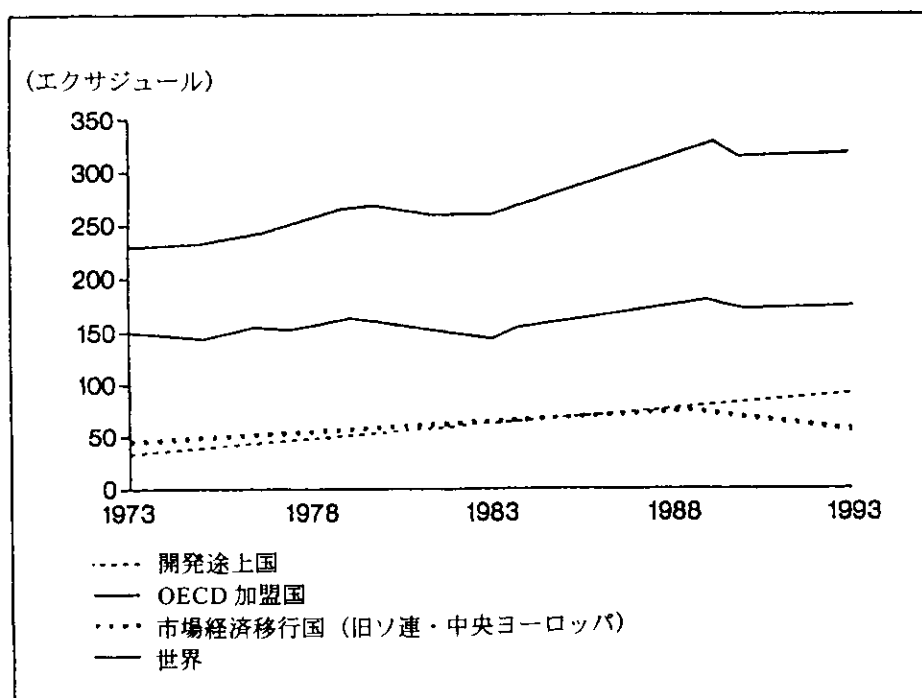
ような都市型大気汚染が多数を占めるようになって来た事が大きな特徴である。特に大都市地域においては、都市への人口の集中や生活の質の変化に伴って各種の大気汚染問題が更に深刻になりつつあり、自動車公害問題は益々大きくなって来ている。これは二酸化窒素、光化学オゾン、浮遊粒子状物質による大気汚染を発生させるとともに、ベンゼンなどの有害化学物質を発生させる。また都市ゴミとして排出されたプラスチック類の焼却からはダイオキシンなどの発癌性の高い物質が発生する。

1.3 大気汚染と資源問題

1.3.1 エネルギーと大気汚染

大気汚染は、工場などの固定発生源や自動車などの移動発生源から排出される硫黄酸化物、窒素酸化物、ばいじん、有害物質、粉じん、一酸化炭素、炭化水素などによって引き起こされる。その原因は化石燃料の燃焼反応によるものが大部分を占めており、さらに燃焼改善により大気汚染は改善された。その意味で、大気汚染問題はエネルギーと密接に関係した資源問題であり、このことは資源を直接用いた素材産業が課題とされたことから理解されよう。

一方、開発途上国のエネルギー消費は、図 1.3.1 に示すように、近年急速に増大している。1993 年のエネルギー消費量は 1973 年のほぼ 3 倍になっている。エネルギー消費量の増加とともに、SOx、NOx などの大気汚染物質の排出量も増加する。特に排煙脱硫装置や排煙脱硝装置等が付設されていない開発途上国では、中国のように、深刻な大気汚染問題を発生している国や、このまま放置すれば将来引き起こす恐れのある国とがある。



出所：United Nations (U.N.) Statistical Division, 1993 Energy Statistics Yearbook (U.N., New York, 1995)
注：OECD加盟国とは経済協力開発機構のメンバーを指す。

図 1.3.1 世界のエネルギー消費、1973～1993年

開発途上国における大気汚染対策を推進するには、その国のエネルギー事情に合致した対策を取らねばならない。最も豊富な化石燃料である石炭消費の増加が見込まれている国が開発途上国に多いことに、注目せねばならない。例えば、中国は1次エネルギーの80%近くを石炭でまかなっており、そ

の石炭も低品位で硫黄分が高く、既に深刻な酸性雨被害を受けている。

次に、省エネルギー対策の実施が第一の大気汚染対策となり得ることを銘記すべきである。省エネルギー対策の実施は、貴重な燃料資源を節約できるばかりでなく、燃料の節約分だけ大気汚染物質の排出量も抑制できることになるからである。まだエネルギー利用効率の高くない諸国においては、省エネルギー技術の適用範囲は、我が国と比較し、はるかに広く、実施すれば、その効果も非常に大きい。低空気比燃焼や排熱回収をはじめとする省エネルギー対策技術の普及が望まれる。

1.3.2 大気汚染防止と資源化

我が国の排煙脱硫装置の中で、現在最も多く稼働している石灰-石膏法は、我が国に豊富な良質な石灰石を用い、原油とともに大量に持ち込まれる硫黄を中和し安全化して利用する技術で、副産品として我が国にとほしい石膏を生成し、セメント凝結遅延材 (Retarder)、石膏ボード、プラスター、焼石膏等に年間 230 万 t ほど利用しており環境と資源を考慮したものである。

しかし、中国ではこのような脱硫石膏の需要が現在のところ見込まれておらず、韓国は良質な石灰石に恵まれず、米国、タイ等優良な石膏資源に恵まれた諸国では副生脱硫石膏の活用は進んでいない。排煙脱硫が普及していない中国では、硫酸化物、窒素酸化物を低コストで回収すると同時に、副産品として高価値の硫酸、硝安のような肥料あるいは、農地の土壌改良剤が得られるプロセスが開発されれば、農業生産性の向上を促す一石二鳥の技術となり得る。

また、石炭燃焼により生ずる灰の処理問題も、処分場確保の困難性のために、その有効利用技術の開発が望まれている。脱硫石膏と同様に材料資源としての活用が有効であり、セメント原料、セメント混合材、路盤材、人工軽量骨材、肥料、融雪材、人工魚礁材等の利用がなされているが、石炭灰の大量利用という観点から技術開発が必要であり、すでに我が国ではフライアッシュがセメント原料に活用されている。

1.3.3 資源開発と環境問題

経済発展に伴い、資源開発が活発化する一方で、各国での環境保全への配慮の必要性も益々高まっている。例えば金属資源の開発においては、探査、開発から操業、閉山の各過程及び製錬過程で環境保全対策等の環境に配慮した資源開発及び鉱害対策が求められるようになってきている。休廃止鉱山における抗廃水の処理をはじめ、閉山後の対策や、開発地区の土地の復旧までも考慮した資源開発計画が要求されている。

1.3.4 工業用水の確保とその処理、輸送問題

我が国は長大な海岸線を持ち、工業用水の確保も困難ではない。従って、大量の工業用水や石灰石が必要である湿式排煙脱硫装置の運転も問題は少ない。しかし、内陸工場立地のケースが多い諸国では、場所によって、この工業用水の確保が困難であり、石灰石や副生石膏の輸送も容易ではなく、日本型の湿式排煙脱硫装置の普及は難しい。また、循環使用するにしても、排水処理と運転に多大な工

エネルギーを必要とする。

1.3.5 環境と資源問題

以上述べたように大気汚染問題は深く資源問題に関係しておりこの対策は発生源地域の資源、技術の実状に沿って実施する必要がある。大気汚染対策には国際協力を求められているが、このためには各地の資源問題をよく理解することが求められるだろう。

1.4 地球環境問題

1.4.1 はじめに

大気に関係する地球環境問題としては、地球温暖化、オゾン層破壊、そして対流圏大気の酸性化（いわゆる酸性雨）の諸問題があり、これらは地球環境問題が一般に注目されるようになるきっかけともなった。

1.4.2 地球温暖化

地球温暖化とは、大気中の微量の成分（化石燃料の消費に由来する二酸化炭素やメタン、オゾン、フロン等）が人間活動に伴って大気中に増加し、水蒸気などの古来より存在する温室効果ガス（地表から放射される赤外線を吸収し、熱が宇宙空間に逃げ出すのを防ぐ役割をするガス。温室のガラスがこの役割を果たしていることからこう呼ばれる）が果たしている保温効果以上の熱を大気圏内に蓄積し、地球の平均気温が上昇することである。IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）によれば、温室効果ガスが現在の増加率で増え続けた場合、地上の平均気温は21世紀末までに約3度上昇するものと予想されている。これによって、海面の上昇や一部地域の少雨・乾燥化などの環境への様々な影響が懸念されている。地球全体の問題だけではなく、たとえば都市域の光化学オゾン汚染の深刻化¹⁾を招くなど、市民生活に密接に結びついた影響も考えられ、その影響は多種多様な側面をもっている。

地球温暖化に寄与する大気微量成分として問題なのは主に化石燃料の燃焼による二酸化炭素（CO₂）であり、メタンと一酸化二窒素（N₂O）がそれに続く。また最近では対流圏内のオゾンの重要性が指摘されている。フロン類は成層圏オゾン問題だけでなく温暖化に対しても重要な役割を果たしている。メタンなどの種々の大気微量成分は水蒸気や二酸化炭素に比較するとその濃度は低いが、水蒸気や二酸化炭素が吸収する領域以外の波長領域の赤外線（いわゆる窓領域）を吸収するため、低濃度でも温室効果増進能力が高い。二酸化炭素だけに話題を絞っても、大気中濃度の増減には化石燃料の燃焼に加えて、森林樹木の伐採や、海洋の吸収能の問題など、まだ明確な結論の出ていない課題もあり、今後もさらに研究が必要であろう。

地球温暖化に対する国際的取り組みとしては、前記 IPCC により、予測、影響、対策等について最新の知見がまとめられ、温暖化防止対策に科学的な基盤が与えられている。また1992年には国際的温暖化防止対策推進のために「気候変動枠組み条約」が締結され、大気中の温室効果ガス濃度を安定化することを目的に、締約国に温室効果ガスの排出・吸収インベントリーの作成、温暖化対策のための国家計画の策定と実施などの責任を課している。

1.4.3 成層圏オゾン層の破壊

成層圏のオゾン層は、太古より植物の光合成によって作り出された酸素が大気中に蓄積され、成層圏において光化学反応を受けることによって生み出されたものであり、高エネルギーの紫外線から地

表の生命を保護する貴重な防壁である。このオゾン層が、人間が放出するフロン類の光分解によって生じる塩素原子によって破壊されてしまうという危険性は、1974年にMolinaとRowlandによって指摘され²⁾、その後、南極におけるオゾン・ホール³⁾の発生とその拡大が確かにこの反応によるものであると確認されて、万人に衝撃を与えた。オゾン層が破壊されれば、エネルギーの高い短波長の紫外線が地上に降り注ぎ、皮膚ガンや白内障の増加など人体に対する直接影響のみならず、全動植物に対して甚大な被害を与えるものと懸念される。

国際的協力の下にオゾン層の保護を図るための取り組みは比較的早くから始められ、1985年「オゾン層の保護のためのウィーン条約」が、また1987年には「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が採択された。この議定書にはオゾン層破壊物質の生産削減等の規制措置が盛り込まれていたが、オゾン・ホールの急速な拡大等、当初の予想以上にオゾン層破壊が進行していることから、1990年、1992年、1995年の三度にわたって見直され、規制対象物質の追加や規制スケジュールの前倒し等、段階的に規制が強化された。これら規制の影響で、最近大気中のフロン類の濃度は減少傾向にあることが観測されている。

1.4.4 対流圏大気⁴⁾の酸性化（酸性雨）

化石燃料消費の増大に伴い、燃焼排ガスの一部として硫黄酸化物や窒素酸化物が大量に大気中に放出されている。また同時に放出される炭化水素類と窒素酸化物の光化学反応により、非常に酸化性の高いラジカルや、オゾン等のオキシダントと呼ばれる活性種が生成し、これらが二酸化硫黄や窒素酸化物を大気中で酸化して硫酸や硝酸を生成している。このために対流圏の大気は産業革命以前に比べると非常に酸性化している。このような酸性物質が雨に溶けて地上に降下する現象がいわゆる酸性雨であり、河川や湖沼水を酸性化して水生生物に被害を与え、森林や文化財・建造物にも影響を及ぼしているものと考えられている。

その原因物質のうち、硫黄酸化物は主に石炭や重油に含まれる硫黄分が原因であり、その対策は比較的現実的だが、中国のように膨大な量の石炭を用い、また低硫黄軽質油や天然ガスへの転換が容易でない国々では今後も息の長い取り組みが必要であろう。一方、窒素酸化物の排出対策はまだ遅れており、特に欧米や日本などの先進工業地域では、今後窒素酸化物対策が酸性雨問題解決のための焦点となる。

酸性雨現象の地域的広がり⁵⁾は、温暖化やオゾン層問題に比べるとやや狭く、地球規模というよりは大陸規模の問題であるといつてよい。このため酸性雨対策の国際的取り組みも大陸ごとに行われている。アジアでは日本や、韓国、中国、台湾などの新興工業地域が集中する東アジア地域を中心とした取り組みがなされている。環境庁が提唱する「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク」もその一つである。

(1.1) 参考文献

- 1) P. Warneck: *Chemistry of the Natural Atmosphere*, Academic Press (1987)
- 2) R.P. Wayne: *Chemistry of Atmospheres*, Claredon Press (1991)
- 3) B.J. Finlayson-Pitts and J.N. Pitts, Jr.: *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, John Wiley & Sons (1986)
- 4) J. Heicklen: *Atmospheric Chemistry*, Academic Press (1976)
- 5) Okabe, H.: *Photochemistry of Small Molecules*, Wiley Intersci (1978)
- 6) 島崎達夫: 成層圏オゾン, 東京大学出版会 (1989)
- 7) 鷲田伸明, 秋元肇: 気相における光化学反応 化学総説 No.39, 無機光化学 日本化学会編, 学会出版センター pp14-38 (1983)

(1.4) 引用文献

- 1) Akimoto, H., Hatakeyama, S., and Washida, N., *Environ. Sci. Technol.*, 25, 1884-1890 (1991)
- 2) M. J. Molina and F. S. Rowland, *Nature*, 249, 810-812, 1974

第2章 大気汚染の歴史

2.1 世界の大気汚染史

2.1.1 はじめに

大気汚染の人体への影響は、すでに14世紀にイギリスで問題になっていた。イギリスでは工業の発展に伴う石炭使用の増加と、家庭用暖房の燃料使用で、空が汚れ、人々の生活を不快にした。そのため1306年に、職人が炉で石炭を焚くことを禁止した。

大気汚染で、いわゆるスモッグ (smog) という合成語が使われ、問題となったのは1909年、スコットランドのグラスゴーと言われ、石炭焚きの煤煙 (smoke) と霧 (fog) により、1,063人の過剰死亡者が出たと報告されている。その後、最も有名な事件としては、1952年のロンドンスモッグ事件がある。

また、米国のロサンゼルスでは、1947年頃から光化学スモッグが発生し、各種の対策を実施してきたが、いまだに解決を見ていない。これらを含めて、表2.1に大気汚染の世界的に著名なできごと (エピソード) を示す。

表2.1 大気汚染の著名なエピソード

	ミューズ (ベルギー) 1930 (12月)	ドノラ (米) 1948 (10月)	ロンドン (英) 1952 (12月)	ロサンゼルス (米) 1944～現在	ボザリカ (メキシコ) 1950 (11月)
環 境	谷地 無風状態 気温逆転 煙霧発生 工場地帯 鉄工場3 金属工場3 硝子工場4 亜鉛工場3	谷地 無風状態 気温逆転 煙霧発生 工場地帯 鉄工場 電線工場 亜鉛工場 硫酸工場	河川平地 無風状態 気温逆転 煙霧発生 湿度90% 人口稠密 冷い臭気のある smog	海岸盆地 1年を通じて海洋性のも やと気温逆転がほとんど 毎日起こる。 白い煙霧発生 急激な人口増加 自動車数増加、 石油系燃料消費増加	ガス工場の 操作の事故 により大量 の硫化水素 ガスが町の 中にもれ た。 気温逆転
被 害	通常の死亡数の10 倍 60名死亡のほか、 全年令層の急性 呼吸器刺激性疾患 の発生、咳、呼吸 困難が主症状、家 畜、鳥、植物も致死 的被害、死亡者は 慢性心肺疾患をも っていた者	人口14,000人中 重症11% 中等症17% 軽症15% の全年令層に肺刺激 症状を起こした18 名死亡、いずれも慢 性心肺疾患者の咳 嗽、呼吸困難、腕部 狭窄感が主訴	2週間に4,000人の過剰 死亡、その後2ヵ月に 8,000人の過剰死亡。 全年令層に心肺性の疾 患多発入院患者激増、特 に45才以上は重症、死 亡者は慢性気管支炎、喘 息、気管拡張症、肺繊維 症などを有する者	眼、鼻、気道、肺などの 粘膜の持続的、反復性刺 激。 日常生活の不快感 (全市 民)、家畜、植物果実の 損害、ゴム製品、建造物 の損害	22,000人の内 320名が急性 中毒となり 22名死亡、咳 嗽呼吸困 難、粘膜刺激 などが主訴
原因物質	工場からの亜硫酸 ガス、硫酸、フッ 素化合物。一酸化 炭素、微細粒子な ど。	工場からの亜硫酸ガ ス及び硫酸微細エア ロゾルとの混合	石炭燃料による亜硫酸 ガス 60%は家庭のストー プからその他工場、発 電所から 微細エアロゾル、粉じん など	石油系燃料に由来する、 SO ₂ 、SO ₃ 、NO ₂ 、アルデ ヒド、ケトン、酸、芳香族 及びオレフィン系炭化水 素、アクロレイン、ホルム アルデヒド、オゾン、ニト ロオレフィンなど。	硫化水素

2.1.2 イギリスの場合¹⁾

イギリスでは、産業革命以降、石炭を大量に使うようになり、大気の汚染が進んだ。ロンドンでは、呼吸器疾患の患者が増え、第二次世界大戦が終って、社会活動が盛んになった、1952年12月、4,000人の過剰死亡者（普通では平均して毎日300人程度の死亡）を出すスモッグ事件が発生した。

このスモッグは、12月5日から9日までの5日間続き、老人の呼吸器系の疾病の悪化による老衰など平常の数倍の死者を記録した。尚、スモッグが終わった後もしばらくの間高い死亡率が続いたという。

原因としては、家庭暖房のストーブ、工場、発電所などで使用される石炭燃焼の際発生する、硫黄酸化物（二酸化硫黄）、ばいじん、微細なエアロゾル（粒子状物質）、粉じん等でこれらの物質が相乗的に作用した。

イギリスでは、このロンドンスモッグ事件を契機として、家庭の暖房まで規制する「大気清浄法」（クリーン・エアー・アクト）が公布された。図2.1にロンドン・スモッグと死亡者の相関を示す。

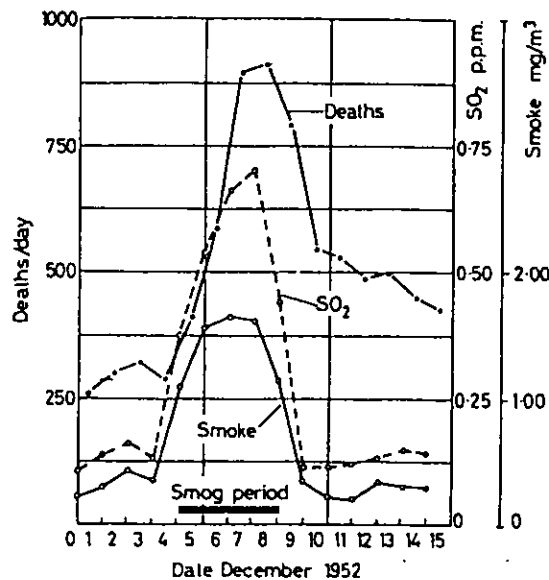


図2.1.1 ロンドン・スモッグと死亡者の相関

ここに見られるように、二酸化硫黄のピーク濃度は平常時0.1 ppm程度であったものが0.7ppm、ばいじんの量は平常時0.2 mg/m³程度だったものが1.7 mg/m³を超えて、それぞれ平常時の7～9倍の汚染濃度であった。

2.1.3 アメリカ合衆国の場合

アメリカにおける大気汚染のエピソードの主なものは次のものである。

(1) ドノラ市（ペンシルバニア州）²⁾

ペンシルバニア州のドノラ市はピッツバーグ市から南へ30マイル程の、モノガヘラ川の堤にある工業都市である。代表的工業施設は鉄鋼や鉄線の工場、亜鉛製錬所と硫酸工場である。特に気象上、安定した期間であった1948年の10月27日から31日までの間に大気が汚染され、多くの人々が病気にかかり20人が死亡した。1952年のロンドンスモッグの時のように、その病気や死亡の原因は明白に確定していない。両市の例において、硫黄の化合物（ $\text{SO}_2 \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ ・無機の硫酸塩）が異常なほど多く大気中に含まれていたことが注意をひいている。

(2) ピッツバーグ市（ペンシルバニア州）³⁾

1948年、「煙の町」というニックネームがピッツバーグ市にぴったりしたものであった。真っ黒なばい煙が昼を暗闇化し、新しい建築物をも2～3ヵ月で黒く汚してしまうほどの状態であった。このことは大きな社会問題となり、ついにはばい煙を規制する法律を公布するに至った。この法律は揮発性の高い固体燃料の使用を禁止し（ただし、十分な機械設備がある場合はその限りではない）、機関車をディーゼル化したり、じんあいの焼却を最小限にとどめるよう規定したもので、その結果環境は見違えるように良くなり、1945年から1953年の間のばい煙の低下率は70%と、公衆衛生局によって算定された。

(3) ロサンゼルス市（カリフォルニア州）⁴⁾

合衆国で一番知られたスモッグは、恐らくロサンゼルス市のものである。この地域は海岸に面した盆地で、一年中海洋性のミストと気温逆転層ができる環境にある。一方、ロサンゼルス地区の人口は近年急激に増加し、1920年には人口が100万人より少なかったが、1940年には286万人、1958年1月には600万人以上になった。同時に産業の発展、自動車の増加により考えられない環境汚染を作り出した。1947年、ロサンゼルス大気汚染制御地区が設定され、ばい煙・二酸化硫黄の排出を規制する法律が通過した。その結果、汚染はやや減少したが、目に対する刺激、野菜に対する被害は増加し、視界はますます悪くなり大気中には過酸化物が増加した。この状態は主に炭化水素と二酸化窒素とが太陽光線により、光化学反応を起こすことに起因するということがわかったのである。炭化水素と二酸化窒素は、内燃機関から排出されるガス中に多く含まれている。南カリフォルニアでは非常に自動車が多く、スモッグの主な原因になっているものと考えられており、スモッグを減少させる方法が熱心に考えられている。

前に述べた都市以外のアメリカの他の都市でもそれぞれの大気汚染の性格を検討して、大気汚染防止の法律の制定が活発になった。1955年スターン（Stem）⁵⁾はニューヨーク州の調査を基にして算定して、アメリカでは約1,000の都市が大気汚染に悩まされていると推察している。もちろん、大気汚染は政治的な境界を持たず、一都市だけでなく近接した幾つかの都市で同じ問題にしばしば悩むのである。

1955年、アメリカ政府は大気汚染防止法を制定して、州や地方の大気汚染防止の研究を援助し、1963年には大気汚染防止計画のための環境基準を制定するように協力し、その後1967年にはさらに大気汚染防止計画のための環境基準を制定するように協力し、その後1967年にはさらに大気汚染防止計画のために環境基準を全米の12の主要都市を中心にして規定している。

(4) ニューオリンズ

1953年頃からニューオリンズの慈善病院の救急医療室の記憶から、喘息で治療を受けるものの数が異常に増加する事が繰り返された。原因として、灌木や雑草類の焼却や市の焼却場からの汚染、穀物リフトから発生する穀物粉じんなどが問題にされたが、明確な結論は出されていない。

2.1.4 世界の巨大都市の大気汚染⁶⁾

WHOによって、人の健康を保護するためのガイドラインが定められている。このガイドラインは、大気汚染物質によって慢性、急性の影響の違いがあるため、いくつかの平均化時間によって基準が定められている。表2.1.2にWHOのガイドラインを示す。

表2.1.2 WHOのガイドライン

大気汚染物質	SO ₂ (ppm)	SPM (μ g/m ³)	Pb (μ g/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)
年平均値	0.017	(60~90)	0.5~1.0			
月平均値						
24時間値	0.04	70 (150~230)			0.03	
8時間値				9		0.05~0.06
1時間値	0.12			26	0.21	0.075~0.1
30分間値						
15分間値				87		
10分間値	0.17					

注：() 内はTSPを示す。

次に、世界の巨大20都市の大気汚染状況をWHOのガイドラインと比較したものを、図2.1.2に示す。このデータは1988~1990年に得られたものである。



- 高濃度汚染。WHOのガイドラインを2倍以上こえている。
- 中程度以上の汚染。WHOのガイドラインを2倍以内でこえている(特定の地点でWHOの短期のガイドラインをこえている)。
- 低濃度汚染。WHOのガイドラインをほぼ満足している(短期のガイドラインをこえることがある)。
- 評価できるデータが得られていない。

図 2.1.2 20 大都市における大気汚染状況

2.2 日本の大気汚染の歴史

日本の大気汚染を明治政府による工業化から太平洋戦争終了までの第1期、工業復興から環境危機までの第2期、それ以後の第3期に分け記述する。

2.2.1 第1期における大気汚染

(1) 工業化の進展と大気汚染提起^{1) 2)}

明治政府の工業化政策は、江戸期の潜在的技術に支えられ急速に進んだ。例えば、洋風建築普及と幕末に創設した横須賀製鉄所ドック増設計画で、セメント需要量増加が見込まれ政府は国産化を意図した。明治8年5月、工部省深川製作寮は湿式セメント焼成炉操業に成功したがダスト飛散に住民の苦情が寄せられた。

幕末以来大島高任は、釜石で木炭高炉を稼働し製鉄技術の原点を作った。これは明治34年の八幡製鉄所創設に繋がり釜石、八幡は製鉄都市として栄えたが大気汚染を経験した。別子銅山では明治15年頃より精錬所を新居浜に移し、洋式精錬法を採用した。これは足尾も同様でともに精錬排ガスによる鉱業と農業の相剋の歴史を繰り返した。他工業でも近代化し繁栄したが大気汚染は注目された。明治40年代の浅野総一郎らによる神奈川県鶴見、川崎臨海部埋立のように、我が国工業化の特徴は埋立地での臨海工業地帯で、第一次大戦時には初期大気汚染の主要舞台になった阪神、京浜、中京、北九州の四大工業地帯を完成した。

(2) 局地的大気汚染紛争^{1) 2)}

精錬排ガスによる農業被害で長期紛争が目立ち、新規工場による局地汚染紛争が頻発した。前者の典型例として明治26年、別子山-新居浜間専用鉄道が全通し、産銅量が増加してから同年9月、新居浜等四村に水稻被害が生じ操業停止、精錬所移転を求める農民デモで端を発した別子銅山の紛争がある。精錬所と農民が折衝したが翌27年の麦作被害で紛争が再燃し、新居浜沖約18kmの瀬戸内海の無人島四阪島への精錬所移転を明治38年に終了した。だが同島での本格操業後から麦作、稲作に被害を生じ賠償金支払い産銅量制限などの協定締結にいたり、昭和4年のペテルゼン式硫酸製造法による排ガスからの硫酸製造、昭和12年のアンモニアによる排ガス中和装置稼働で47年間の紛争史を閉じた。また、後者の例では明治40年代に神奈川県逗子で、味の素製造を開始した鈴木製薬所の塩化水素による農民苦情や深川の前記セメント工場のダスト問題がある。西南戦争による財政逼迫で工部省セメント工場を払下げられた浅野総一郎が経営した浅野セメントのダスト問題は、明治36年に米国から回転焼成炉を導入すると表面化し、明治40年深川区民の移転要求を承諾した。そこでコットレル教授が発明した電気集塵装置を米国から大正6年に輸入し、区民に効果を認めさせ要求撤回に成功したが神奈川県橘郡大師河原村に工場新設を計画するや反対運動が起き、大正6年同郡田島村で操業開始した川崎工場は稼働直後から昭和5年まで長期紛争を繰り返した。

(3) 広域大気汚染^{1) 2)}

工業都市で広域大気汚染が提起され、この問題は局地紛争の域を脱した。まず大阪で最初に煤煙問

題が起きたのは明治16~17年頃で大阪府は石炭燃焼による工場煤煙取締通達を出している。また、明治21年には大阪電灯(株)の煤煙のため『旧市内に煙突をたつる工場の建設を禁ず』と府令が出ている。大阪府議会は煤煙防止を知事に建議し、明治44年府警察部は湯屋に消煙装置設置を命じ、同年府知事を会長とする煤煙防止研究会が発足した。明治45年、市営九条火力発電所の煤煙非難への措置として大阪市は予算を要求した。その後、言論機関の工場煤煙非難が続いたが効果なく、府知事から煤煙防止研究会、大阪商工会議所へ対策が諮問されたが研究会は大正6年自然消滅した。第一次世界大戦中大阪の煤煙は激しくなり、東京でも注目され燃料協会は大正13年都市美観、市民の保健、燃料濫費防止のため防煙すべきと主張し、同年12月内務省は六大都市に煤煙取締まりを発令した。大正11年大阪府立衛生試験所は広域大気汚染調査を開始し、昭和7年大阪府はリンゲルマン3度以上の黒煙の1時間に6分以上の排出を禁止した煤煙防止規則を公布し、昭和8年に京都府、昭和10年兵庫県が同様措置をとった。首都圏でも工場に起因する局地的紛争が早くから始まり、昭和2年東京市衛生試験所は大規模な広域大気汚染調査を開始している。京浜工業地帯の大気汚染の古い記録はあまり見当たらないが、例えば大正5年の程ヶ谷曹達工場による植物被害、大正7年の横浜魚油(株)の煤煙、悪臭問題、大正8年の日本肥料(株)による悪臭問題、大正11年の横浜化学、日本化学、大日本人造肥料(株)による有害ガス被害、昭和4年の川崎での東京電気(株)の植物影響、昭和13年の日本鋼管(株)によるトーマス転炉稼働に起因する酸化鉄フェームなどの記録がある。昭和10年、東京府は煤煙防止指導要綱を作成し、昭和12年神奈川県は煤煙防止委員会規定を決定して対策を開始した。また同年神奈川県議会が大気汚染を取り上げ、昭和15年川崎市会は京浜工業地帯での煤煙による市民、特に学童の保健衛生と幼児の発育阻害を訴えた意見書を神奈川県知事、内務大臣らに提出した。九州では石炭を燃料に工業が明治後半から発展し八幡製鉄所を中心に北九州工業地帯が繁栄して、太平洋戦争以前から大気汚染が提起され三池炭田で発展した大牟田の工業地帯も隆盛を極めた。

(4) 大気汚染調査研究の動き^{1) 2)}

早期の広域大気汚染調査は、藤原九十郎の指導で大正11年に着手され長期継続された大阪府立衛生試験所によるもので結果は同所事業成績概要に掲載された。

昭和2年の同所事業成績概要の『天を覆ふ蒙々たる黒煙は我が大阪市の有する特徴の最たるものにして、又最大なる悩みなり。煤煙により市民が蒙る被害の甚大なるは……煤煙防止方策の如何は実に焦眉の急務と云はざるべからず。本試験所に於いては之れが対策研究の第一歩として数年前より市内各所の降煤量、浮遊煤塵量等の測定を行ひつつあるが前年度報告分以後終了又は着手せるものに就き大要報告すれば次の如し』の記述は有名である。大阪医科大学の武田義章も大阪府で研究し昭和3年11月から1年間の二酸化炭素濃度は月平均315~450 ppm、二酸化硫黄濃度24時間平均0.0075~0.368 ppmでこれらは冬季増加したと報告した。

首都圏の本格的な研究は東京市衛生試験所が昭和2年5月から二酸化炭素、二酸化硫黄、飛塵、降下煤塵等を東京市内で測定を開始したものである。この第1報が同所本邦太郎が『人口ノ増加商業ノ発達ニ伴ヒ都市ノ空気力逐次之ガ汚染ノ度ヲ加エツツアル事ハ既明ノ事実デアル。林立セル煙突蒙々天ヲ覆フ煤煙、勿論其レハ都市ノ繁栄ヲ示ス証拠ノ一ニハ相違ナイカ一面之ヲ国民ノ保健衛生ノ見地ヨリ観ルトキ憂慮タラサルヲ得ナイ……煤煙ノ成因ヨリ之ヲ考フルトキ之ハ燃料ノ不完全燃焼ニ據ルモノテ、煤煙中ニハ尚煤及「タール」分等ノ大量ノ可燃物力含有サレテキル。之ハ大ナル燃料ノ損失

テアルコトハ言ヲ俟タナイ。……』と記した東京市衛生試験所報告である。調査は昭和2年5月から3年3月までと昭和9年5月から10年4月まで、昭和14年から16年に実施し報告されている。また、三宅泰雄は昭和10年から中央气象台や測候所での採取空気や雨水を微量分析した。

2.2.2 第2期における大気汚染^{1) 2)}

(1) 工業復興期の大気汚染提起

京浜工業地帯において日本鋼管(株)は昭和20年末に高炉、平炉を停止していたが終戦直後製管工場、コークス炉、化工工場、製板工場の一部を、昭和21年に平炉3基を稼働し日本石油(株)横浜製油所は昭和20年10月、パラフィン原料油を処理して昭和21年5月には原油を受け入れたように、太平洋戦争で壊滅した我が国の工業復興は進行した。この主要エネルギー源は国産炭で、工業地帯を中心に人々は再び降下煤塵に悩まされ始めた。特に、低品位炭で工業復興を果しつつあった宇部市では昭和20年代前半から煤塵降下が著しく解決すべきと指摘された。さらに製鉄業は各地で酸素製鋼法を採用し平炉、転炉、電気炉からの濃厚な赤い酸化鉄フュームは太陽さえ真っ赤に染め、人々は青空を望めない都市生活を強いられた。煤煙は工場付近に降下し、洗濯物を汚して器物を腐食して見通しを低下した。そして川崎市や尼崎市では工業地域の児童の描く絵の色調は、住宅地域の児童に比較し暗く煤煙の影響と指摘され、植物枯死の目立ち健康影響が気づかれた。当時横浜の駐留米軍将兵とその家族に横浜喘息と呼ばれた呼吸器疾患が発生し、大気汚染が原因とされ大気汚染の健康への懸念は現実的になった。

(2) 公害防止条例制定と地方自治体の苦闘^{1) 2) 3)}

昭和20年代中頃、産業公害苦情が増加し大気汚染被害を訴える住民運動が活発化した。多発した陳情の矢面に立った地方自治体は、この処理のため昭和24年東京都、25年大阪府、26年神奈川県と公害防止条例を制定した。この制定過程で衛生部が条例案を作成すれば『工場に厳し過ぎる。』といわれ、経済部が作成すれば『工場擁護だ。』との意見が出る状況だった。また、商工会議所等経済団体の条例への意見も原則賛成しながらも工場擁護をいい、中には公害発生を否定するなど福祉と工場擁護のジレンマを浮き彫りにした。地方公害行政は苦情処理に終始し有効な措置が取れず大気汚染は激化の道を辿った。昭和27年12月ロンドンで約4,000名の過剰死亡者が出る大気汚染災害が発生したがこの問題を社会が広く理解したのは相当先だった。昭和35年12月、川崎商工会議所は川崎市煤煙対策協議会結成を呼びかけた。産業界の大気汚染改善を求めた市民運動誘発は工業燃料の重油転換による国際収支悪化改善に石炭への再転換を検討した政府動向によるものだった。政府方針は重油化に投資した工場には納得し難く反対陳情で政府は方針を後退させ重油ボイラー設置制限法を施行した。政府の石炭産業救済に反する重油化は大気汚染対策にも有用と同会議所は労働組合、町内会、婦人会、地方議会と協議会を結成したが、これは煤煙から二酸化硫黄汚染への移行兆候だった。

(3) 煤煙規制法の成立

地方自治体が大気汚染規制権限を獲得すべく規制立法目指して本格的調査研究を着手したのは昭和20~30年代である。その結果、主要原因は工場、事業場での燃料燃焼で汚染は国際的に激しく健康被

害等の障害発生を実証した¹⁾。また、産業公害対策を地方自治体に任せ、無策で過ごす政府を世論は疑問視し、公害への積極関与を求める声が高まった。昭和29年3月、厚生省は日本公衆衛生協会に大気汚染物質の許容限度を諮問し昭和30年11月、同協会『発生源で1時間に6分以上黒煙を排出してはならない。』などと答申した。厚生省は昭和30年8月、公害防止に関する法律案要綱を作成したが、これを批判し通産省は同年9月、産業の実施にともなう公害の防止に関する法律案要綱を作成した。厚生省案は環境保全を強調し同省と地方自治体所管とし指定地域を考慮しているのに対し、通産省案は紛争解決と産業発展を目途とし同省所管で指定地域を考慮しなかった。厚生省案は経済団体に批判され運輸省、通産省からも反対されて厚生省は立法作業を一時中止した。昭和34年、通産省は大気汚染問題を公衆衛生問題としてのみ考慮するのではなく産業の健全発展を図る目的で同省所管で解決すべきとし立法準備を開始して厚生省と調整し両省共同で昭和37年3月法律案を第40回国会に提出した。

昭和37年5月、煤煙の排出の規制等に関する法律は成立した⁴⁾。この審議の質問で公害問題への対応が遅れた政府の熱意欠如と厚生省の立法努力を葬った通産省を批判し、大気汚染防止法とせず煤煙規制法とした政府認識の浅さを突き有害ガス、自動車排ガス規制の必要性を主張してから電気・ガス事業への適用除外を疑問視し大都市への権限付与を求め、政府の資金的援助の必要性を述べた迫力あるものがあつた⁵⁾。なお、衆議院は①政府は、工場及び事業場における煤煙処理施設等の整備を促進するため、将来、必要に応じ、中小企業振興資金の償還期間をさらに有利にすることを検討するとともに融資その他の助成措置の整備拡充に努めること。②政府は将来、自動車から排出される排ガス、騒音・振動、悪臭等の公害問題に対処するため、技術的研究を強力に推進し、その対策の確立につき努めることとの決議を付した⁴⁾。法律の概要は、煤煙排出規制地域と対象施設を政令で指定し、地域毎に規制基準を厚生大臣・通産大臣が定めて順守を義務づけ、都道府県知事がこの基準で取締まり規制の具体的方法として新設、改造の規制対象施設届出制度を定め、事故と緊急時措置を規定し大気汚染紛争につき都道府県知事による和解仲介制度を定めて煤煙発生施設整備の助成措置を規定したものである⁴⁾⁵⁾。特に第1条に『工場及び事業場における事業活動に伴って発生するばい煙の処理を適切にする等により、大気の汚染による公衆衛生上の危害を防止するとともに、生活環境の保全と産業の健全な発展との調和を図り、……』と規制し、第2条で排出基準を『ばい煙発生施設において発生し、排出口から大気中に排出される気体に含まれるばい煙の量の許容限度をいう。』としている点が注目される。この法律は電気・ガス工作物を適用除外し論議を生んだが施行日、届出形式、測定法、緊急時措置、排出基準等が異例の早さで公布されたのは印象的だった。この法律には多くの問題が存在したが、これが今日の大気汚染規制の基本的枠組みを形成したことは意義深く、東京大学の原田尚彦⁶⁾が述べた公害対策に要請された新社会秩序を具体化し、伝統的行政法理論を超えたものだったと思うと同法成立に厚生・通産両省は苦心したと考えられる。昭和38年7月12日に告示された排出基準を技術的に考えれば、煤塵に関し微粉炭燃焼ボイラ、転炉、平炉、石灰焼成炉、セメント焼成炉、電気炉等に高性能集塵装置設置を求め、硫酸化物にはC重油燃焼を許容するものだった。このため同法は煤塵防止には有効だったが硫酸化物にはザル法⁷⁾といわれ、我が国が中東産輸入原油で工業拡張したことを考慮すれば大気汚染が二酸化硫黄に移行する問題を孕んでいた。

(4) 公害対策基本法、大気汚染防止法の成立

高度経済成長政策は大気汚染を加速し、我が国は大気汚染健康被害地域を広域化する悲劇に遭遇す

る。政府は昭和42年公害対策の基本姿勢を規定した公害対策基本法を公布し、環境基準を規定して論議を呼んだ。さらに、翌年煤煙規制法を廃止し大気汚染防止法を施行して自動車排ガス規制を実現し、二酸化硫黄着地濃度を一定に抑えるべく硫黄酸化物排出量規制（K値規制）を施行し、高煙突化を促進した⁹⁾。地方自治体は公害行政組織を充実し、昭和43年頃から公害試験研究機関を創設した。行政機構は整備されたが問題は防止技術だった。集塵技術は進展したが重油直接脱硫技術が昭和42年10月出光興産(株)千葉製油所でようやく稼働した⁸⁾。東北大学工学部村上恵一、堀省一朗両教授は二酸化硫黄対策に固有アルカリ資源で豊富な石灰石を用い、硫黄を石膏とし安定化する石灰-石膏法排ガス脱硫技術の優位性を説き昭和30年同法開発を着手した。そして東京工業試験所でパイロットプラント稼働に成功し、特許（日本特許215209号）取得後¹⁾⁹⁾これを基礎にして三菱重工(株)は昭和35年、日本鋼管(株)子安工場で62,500m³/hの実用装置を稼働した⁹⁾。だが通産省は湿式の同法に対抗し乾式法開発を進めた。

結局、石灰-石膏法が排ガス脱硫技術の主流となったが、乾式法に固執した政府方針は疑問である。経済成長は拡大し、各地で工業開発が進み大気汚染を提起したのはこの時代の特徴で、その典型例が四日市であり患者発生、疾風汚染、総量規制、公害裁判、健康被害補償と我が国の大気汚染を語る上で忘れ難い。また根岸湾工業地帯造成は横浜方式の公害防止協定を生んだ。

(5) 太平洋戦争後の大気汚染研究¹⁾

昭和31年、札幌市は石炭暖房による大気汚染に注目し北海道大学安倍三史教授に調査を委託した。調査は昭和30年12月着手され、垂鉛引鉄板漏斗と容器で降下煤塵を市内6地点で測定し、煤塵中硫酸イオン、塩素イオン等を分析した。

東京都では昭和29年11月から東京都立衛生研究所斎藤功らが広口瓶で降下煤塵を都内26か所で測定した。この調査では降下煤塵固形総量、灼熱減量、灰分、放射能、浮遊粒子濃度、炭酸ガス濃度を測定し3月毎に煤塵を詳細分析した。

また、川崎市は市内16か所で昭和31年6月から、横浜市は市内15か所で同年8月から降下煤塵測定を開始した。

そして神奈川県は昭和32年5月、京浜工業地帯大気汚染防止対策技術小委員会（委員長横浜国立大学北川徹三教授）を組織し測定法、降下煤塵、浮遊煤塵、二酸化硫黄濃度変化と地域分布、気象影響、保健衛生、防止技術等を検討した。

大阪では降下煤塵測定の最長の歴史を持つ大阪市立衛生研究所で戦前からの測定がほぼ継続された。大阪市では戦後早期に大気汚染研究が拡大され、昭和30年頃から降下煤塵量、二酸化硫黄濃度、浮遊煤塵濃度の測定が開始された。

神戸市の大気汚染調査研究着手も比較的早く、既に昭和33年から34年にかけての降下煤塵量地域分布測定結果を得ている。降下煤塵中の鉄が分析され、二酸化硫黄濃度測定、健康影響調査が行われた。

宇部市長は山口県立医科大学野瀬善勝助教授に煤塵調査を委託したため昭和24年10月降下煤塵測定が開始された。この調査では健康との関係を考察し、山口大学上岡豊教授と共同して工学的対策を提案する等組織的に行われた。

福岡県でも、戦後北九州5市大気汚染調査会が発足し昭和34年6月から調査研究が開始されている。国立公衆衛生院鈴木武夫らはテープエアサンプラーを試作し昭和29年12月29日より同院7階で大

気中浮遊煤塵濃度連続測定を開始した。また、日本産業衛生協会よりは昭和30年1月18日から1月24日まで東京都内7地点で、大気中の二酸化硫黄濃度を測定し気象的に考察した。気象研究所川村清は昭和25年10月から11月に東京で大気中オゾン濃度を測定し同研究所三宅泰雄らはこれを継続して昭和26年1月から27年9月までのデータを報告している。さらに三宅泰雄らは東京で昭和32年12月から34年3月に大気中オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄濃度を測定した。

燃料有効利用と大気汚染防止を目的に燃焼改善研究が進められ、熱管理指定工場の熱管理診断が実施された。また排ガス脱硫技術、集塵技術開発が推進された。

そして、大気汚染は次第に研究者に注目され始め、代表的大気汚染研究者8名が設立発起人を募り、賛意を示した約80人が昭和34年12月19日国立公衆衛生院において大気汚染研究全国協議会（現大気環境学会）を創設した。

2.2.3 第3期における大気汚染

(1) 環境危機勃発

昭和45年、マスコミが公害対策の遅れを激しく追求し始めた。昭和45年5月21日、東京都牛込柳町交差点付近の住民健康診断で高い血中鉛濃度が見出されこれを契機にガソリン中鉛添加量低減措置が取られた。また光化学スモッグによる健康被害が頻発しこの解決が重要課題と認識され窒素酸化物、炭化水素系物質対策が重点対策課題となった。改善したのは降下煤塵、一酸化炭素だけで大気中二酸化硫黄濃度は低下の兆しさもなく、二酸化硫黄緊急時措置は各地で頻発し大気中の二酸化硫黄濃度の1時間平均値0.7ppmという高濃度が出現する場所もあった。自動車排ガスが注目されたものの、未経験要素でこれら新課題にどう取組むか正念場を迎えていた。マスコミや住民の追求は激しさを加え、まさに環境危機だった。

(2) 公害国会の開催—環境危機への対応^{10) 11)}

昭和45年5月、衆議院産業公害特別委員会で『公害に対する件』が決議され、『政府は、次に掲げる事項等を配慮しつつ、公害対策の一層の推進を図るべきである。』とし『1. 公害対策を総合的かつ強力に推進するため、公害対策会議の運営強化のほか、総合調整機能の活用等に遺憾なきを期すること。2. 公害防止施設の整備の推進を図るため、一層強力に財政上及び金融上、税制上その他必要な措置を講ずること。』が強調された。また同年7月、公害情報機能一元化の動きが強まり、首相を本部長とする公害対策本部が公害対策を一体的に処理すべく昭和45年7月31日に設置された。そして、都道府県も知事を本部長とする地方公害対策本部を設置し公害への行政認識は全国に広まった。この時点で政府部内では環境基準設定推進、公害防止計画承認、公害対策基本法、大気汚染防止法、道路交通法、海面油濁防止法等の一部改定、事業者責務明確化、水質規制関係法改定、公害罪新設等の法律整備が意識され容易でない課題を抱えたとの認識があった。昭和45年11月25日、第64回国会（公害国会）が開催された。この開会前の昭和45年9月21日、宇都宮での国政に関する公聴会で佐藤栄作首相は『福祉なくして成長なし』との理念をうたいあげた。これはこの国会冒頭の同首相の『……今国会において国民生活優先の見地から公害対策基本法の改正を提案することといたしました。……』との所信表明演説とともに印象的である。上程された公害法案は①公害対策基本法の一部を改正する法

律案、②道路交通法の一部を改正する法律案、③騒音規制法の一部を改正する法律案、④廃棄物処理法案、⑤下水道法の一部を改正する法律案、⑥公害防止事業費事業者負担法案、⑦海洋汚染防止法案、⑧人の健康に係る公害犯罪の処罰に関する法律案、⑨農薬取締法の一部を改正する法律案、⑩農地用の土壌の汚染防止等に関する法律案、⑪水質汚濁防止法案、⑫大気汚染防止法の一部を改正する法律案、⑬自然公園法の一部を改正する法律案、⑭毒物及び劇物取締法の一部を改正する法律案の合計 14 法案で一部修正されたものの成立した。大気汚染防止法一部改定では目的から調和条項が外され、大気汚染が顕著でない地域でも未然防止のため規制することとし指定地域を廃止した。また、規制対象煤煙に有害物質、特定有害物質を加え、窒素酸化物やカドミウム、鉛なども規制対象とした。さらに機械的破碎、運搬で発生する粉塵に規制措置を講じ自動車排ガス対策を拡大し炭化水素、窒素酸化物規制を開始した、煤塵排出基準が強化され弗化水素、塩素への地方自治体による上乘せ規制、都市密集地域でのビル暖房施設等への燃料規制による低硫黄燃料化、緊急時措置強化等が規定された。電気、ガス工作物への法適用除外が改正され、都道府県知事が火力発電所などの大気汚染対策を事実上把握出来ることになった。この改正で環境危機回避のための法整備は推進したが技術課題が多く存在した。特に新登場の光化学スモッグは現象解析、窒素酸化物や炭化学水素排出防止など課題が多かった。

(3) 環境庁創設¹⁰⁾

昭和 46 年 7 月、政府は公害行政企画一元化のため環境庁を創設した。その背景と意義は、中央公害対策審議会が昭和 45 年 11 月 19 日、公害対策基本法改正案等公害関連法案答申に際し『なお、広範多岐にわたる公害問題に対処するためには、今後更に経済社会情勢の進展に立脚した長期展望に立ち相互の有機的連携を図りつつ諸制度を整備するとともに、幅広く各般の措置を推進していくことが必要であると考えられるので、行政機構の一元化問題の検討を行うほか、政府として一層総合的な施策を樹立、推進するよう努められたい。』と意見を付したように公害対策の基本的枠組構築に成果をあげた公害対策本部は臨時機関であり各省庁に分散した規制機能を常設機関にまとめ強化するためと認識されている¹⁰⁾。

(4) 環境庁と大気保全対策

環境基準改定と制定、硫黄酸化物と窒素酸化物総量規制導入、炭化水素系物質対策への意欲とためらい、自動車排ガス規制と燃料改善推進、良好な地方自治体との関係、大気汚染研究推進は環境庁の活動として目立った。なお、この過程で他省庁との調整と確執、公害健康被害補償制度運営と住民運動対応、規制に関する産業界との論争と住民運動の矢面に立つ地方自治体との調整のように苦悩に満ちた課題があった。

大気保全局は発足後、全国的大気汚染排出総量把握システムを地方自治体の協力で確立した。また、悪臭問題に関して規制基準を制定し国立公害研究所とともに、オキシダント生成機構を研究した。厚生省による複合大気汚染健康影響調査、国設大気汚染監視システムを引き継ぎ、緊急時措置を通知し地方自治体への設備補助制度を運営した。総量規制マニュアル、環境大気常時監視マニュアル、大気汚染物質測定法指針を監修し、大気汚染制御技術を調査して規制基準を設定した。数次にわたる固定発生源への窒素酸化物排出基準強化と自動車排ガス規制強化は注目された。公害防止計画策定、公害防止事業団、公害健康被害補償制度も大気保全上の重要課題だった。昭和 53 年からのエネルギー危機

対応、環境影響評価制度、公害保健被害補償予防制度も記憶に残る。特にエネルギー危機対応は、固体燃料から流体燃料に転換し大気保全を果たした動向に逆行するものだけに注目された。危機回避への環境庁の役割は大きく、後の環境基本法制定、地球環境問題、国際環境貢献等はその重要性を一層認識させた。

(5) 地方自治体の環境危機対応

都道府県。政令市が公害行政組織を創設し大気汚染監視地域、測定対象物質を広げ、公害試験研究機関機能強化を図って地方環境行政が完成した。硫黄酸化物上乘せ規制に自重を求める政府の意向を無視し、その総量規制を条例や要綱で強行する自治体があられ、この傾向は窒素酸化物総量規制にも示された。大気汚染防止法による硫黄酸化物総量規制が各地で施行され、同法による窒素酸化物総量規制も東京都、神奈川県、大阪府で施行された。昭和46年に関東地方で降雨による目や皮膚に痛みを訴える苦情が発生し雨水汚染問題が提起され、酸性雨研究が地方自治体中心に進められた。地方自治体は地域環境管理計画を策定し、環境監視システム、環境研究機関拡充につとめ、環境庁への環境技術の知見の源泉としての役割を果たしその環境危機回避貢献は目覚ましかった。

(6) 通産省－産業界の対応

通産省、産業界の防止装置開発と公害防止管理者制度による技術者養成は注目され、製鋼炉や火力発電所集塵技術完成は特筆すべきである。排ガス脱硫装置を普及し、現在約2,000基の装置が稼働して我が国は米国、ドイツとともに世界有数の装置保有国である。さらに脱硫重油と燃料の天然ガス転換も二酸化硫黄濃度の劇的低下に貢献した。昭和53年のエネルギー危機以来、省エネルギー技術が普及し燃焼合理化が図られた。産業界は窒素酸化物規制に対応して低NOx燃焼技術、排ガス脱硝技術を確立した。また炭化水素回収技術を普及した。

自動車排ガス対策への自動車業界の対応、廃棄物焼却炉、悪臭発生施設での対策推進は評価される。根岸湾開発と公害防止協定、扇島開発、京葉地帯と大気保全、四日市と公害裁判のような大型地域開発と大気汚染も記憶に残る。

(7) 大気汚染研究の推進

監視技術、大気汚染発生機構研究が進行し、大気汚染物質長距離輸送も研究された。拡散研究が活発化して大気汚染予測技術が開発され硫黄酸化物、窒素酸化物総量規制、環境影響評価制度確立に貢献し悪臭研究も推進された。また大気汚染防止技術開発は目覚ましかった。地方公害研究機関、国立公害研究所、公害・資源研究所、環境庁公害研修所が活動し研究体制は確立した。タイ王国、中華人民共和国、インドネシア共和国、チリ共和国に環境研究機関が供与された。

(2.1) 引用文献

- 1) Ministry of Health, "Mortality and Morbidity During the London Fog of December, 1952" Report of Public Health and Medical Subjects No. 95, London, H.M.S.O., (1954)
- 2) Shrench, H.H. and others "Air Pollution in Donora, Pennsylvania Epidemiology of the Unusual Smog Episode of October, 1968" Public Health Service Bulletin No.306, Washington, D.C., Government Printing Office. (1949)
- 3) Mallete, F.S. "A New Frontier : Air Pollution Control" Proc. Inst. Mechanical Engineers (London)22 : 589, (1952)
- 4) Halliday, E.C. "A Historical Review of Atmospheric Pollution" in Air Pollution, World Health Organization, Columbia University Press, New York, 7, (1961)
- 5) Stern, A.C. "Administrative Needs and Patterns of Air Pollution Control" in Problems and Control of Air Pollution, F.S. Malletic, Editor, Reinhold, New York, (1955)
- 6) WHO and UNEP : Urban Air Pollution in Megacities of the World, Blackwell Publishers. (1992)

(2.2) 引用文献

- 1) 氷見康二ら；本協会の沿革，大気汚染学会誌，24，319-338 (1989)
- 2) 氷見康二；首都圏における大気汚染研究の歩みと展望，公害と対策，20，314-322，734-752 (1984)
- 3) 氷見康二；環境行政とともに43年 (1, 2)，生活と環境，42，(1) 83-89，(2) 103-107 (1997)
- 4) 加藤一郎；公害法の生成と展開，pp.59-98，岩波書店 (1971)
- 5) 官報号外第40回国会衆議院会議録第34号 (1962)
- 6) 原田尚彦；公害と行政法，pp.10-101，弘文堂 (1980)
- 7) 山下喜一；有害ガスによる公害問題，生活と環境，9，(7) 73-79 (1964)
- 8) 緒方雅彦ら；重油・排煙脱硫技術，p.7，日刊工業新聞社 (1974)
- 9) 岸政弘ら；石灰-石膏法亜硫酸ガス除害装置について，大気汚染，1，167-171 (1965)
- 10) 環境庁10周年記念事業実行委員会；環境庁十年史，ぎょうせい (1982)
- 11) 植松守雄編；新しい公害法入門，東京教育情報センター (1971)

第3章 日本の大気汚染規制の背景

3.1 概説

ある地域の大気汚染状況は、その地域の大気汚染物質排出量と気象状況で定まるが、前者は地域に居住する市民の大気を清浄に保ちたいとの意志により決定される。そして、この市民意志を直接に示すのが、大気汚染物質排出規制と考えるのが常識的だろう。とはいえ、これを実現し有効なものにするには、多くの背景と課題の存在を見逃せない。第2章でも述べたように大気汚染物質排出規制施行には多くの経過が存在した。そこで、この背景と課題につき解説しよう。

3.2 規制成立の動機と背景

大気汚染規制の直接的動機は、大気汚染被害を訴える住民運動であり、これを背景に着手された大気汚染性状に関する調査研究だろう。第2章に述べたように黒煙、降灰、二酸化硫黄被害に住民の苦情が集中し、時には経済的損失や健康被害まで招いた。そして、この矢面に立った地方条例による地方公害行政が開始されたが、この原因や被害を確定的にして大気汚染規制を具体化したのは、主に地方自治体の提唱で進められた大気汚染性状と影響に関する調査研究だった¹⁾。

そして、このような調査研究の積み重ねがあったればこそ電気・ガス工作物を適用除外し論議を生んだとはいえ、今日の大気汚染規制の基本的枠組みを形成した『煤煙の排出の規制等に関する法律』が制定されたのである。第2章でも触れたが、東京大学の原田尚彦²⁾が『現代の集積公害には、もはや市民法的な個人責任の原理（刑事責任、不法行為責任、警察責任など）のみによっては、十分に対応しきれものではない。公害を根絶し自然環境の保全を期するには、市民法原理とは異なる新しい社会統制の手段が要請されなければならない。』と述べたように公害対策には新社会秩序が要請され、それをこの法律が具体化したのは、大気汚染被害を訴える住民運動とこれを背景に着手された大気汚染研究の大きな成果だった。さらに、この法律で定めた和解仲介制度は、伝統的行政法理論による私的紛争不介入原則³⁾を超えたものだったと思うと、規制成立の動機と背景の大きな意義の存在が指摘出来よう。

3.3 規制実施の背景としての技術的側面

調査研究もそうだが、大気汚染規制施行には、広範囲にわたる技術的課題が存在した。そこで、まず取り上げられたのは大気汚染分析・測定法だった。すなわち、大気汚染性状の調査研究にも、対策技術開発においてもデータなき環境論は空論であるといわれるように、これらを客観的に評価するにはデータが不可欠であった。当時我が国の大気汚染物質分析・測定法は実績に乏しく、これを今日の連続自動分析技術にまで発展させたのは、我が国に分析化学の基礎が存在していたからである。さらに、対策技術発展にも分析・測定技術が、大きな貢献を果たしたことは説明を要しないだろう。

合理的規制を行うための大気汚染モデルの完成に必要な排出係数や対策技術評価の構築は、排ガス中の大気汚染物質や燃料組成等の発生源での測定データの集積である。また、大気汚染モデルの構築

には気象データ、大気汚染拡散理論、風洞実験結果が不可欠だった。

そして、大気汚染規制における排出基準を実現する集塵装置、排ガス脱硫、脱硝装置、燃料脱硫技術の開発には工学的知見と経験を要した。

これらは、化学工学、機械工学など装置工学的知見を基礎とする総合技術であり、その維持管理システムも技術所産であるとともに、その開発に従事した技術者、生産業に勤務する技術者の努力があって始めて構築されたものであることに注目すべきだろう。そのうえ、規制を主とする大気保全行政の目標である環境基準制定には、主に疫学上の知見からなる大気汚染影響に関する公衆衛生学的知見が不可欠だった。さらに、大気汚染規制に不可欠な、大気汚染監視システムの構築とその維持管理は分析化学、電子工学、気象学などの広範な技術的背景がなければ運営不可能である。そして、直接的規制行為である工場立ち入り検査は、大気汚染物質発生源における汚染物質測定に関する技術的知見だけでなく、その操業への深い技術知見がなければこの行政行為を円滑に施行することは不能である。これは大気汚染発生源の対策審査でも同様である。このため、我が国の大気汚染規制は、背景にこのような広範な技術的所産が存在することを理解すべきだろう。

3.4 規制背景としての社会的側面

我が国の大気汚染規制は、煤煙規制法制定により開始されたが、この法律成立には大きな社会的背景が存在した。この法律制定当時の大気汚染に対する一般的な感情は、煤煙規制法案を審議した第40回国会の衆議院本会議で中嶋英夫議員が『……時の為政者がばい煙は、工業都市市民のスープであると断言した事実があります。今にして思えば暴言もはなはだしいと言えるのでありますが、この言葉が通念化し、固定化して、都市市民生活の上にとず黒くおおい続けて参ったのであります。すなわち、もうもう立ち上がる煙が産業の盛んな象徴であり、喜ぶべきことであって、その煙をなくしようなどという運動は、産業の発達を阻害する危険なものであるという考え方が多かったのであります。しかし、科学の発達は、今や収塵機、除塵装置など、ばい煙防除の諸施設の性能を高度化し、特に新しい電気収塵機はすすやほこりはもちろん、結核菌、大腸菌のようなバクテリアさえ除去できる段階まで進んで参りました。従って、大気汚染防止の運動は世論の支持の中で漸時拡大し、地方公共団体においても公害防止条例を設け、地域住民のために努力を払うようになり、ある県、市においては公害防止の設備に対し補助金すら与えておる実情であります。ところが、ひとり政府のみはこの問題について長年熱意が乏しく、昭和三十年、三十一年に厚生省が大気汚染防止法案を作成した際に通産省の反対で日の目を見ることなく葬り去られたという状態でありました。今回ようやく大気汚染防止法が国会に提出されると聞き、過去は過去として、大いに期待しておったのであります。……』³⁾と発言したように決してこの課題解決に前向きな状況ではなかったのである。

それを、1968年の大気汚染防止法制定、1970年の改定に次ぐ硫黄酸化物、窒素酸化物に関する排出総量規制まで施行した状況は、第2章に述べた歴史的変遷と第5、12章で記述した四日市に代表される激しい大気汚染健康被害、公害裁判にまでいたった社会情勢⁴⁾、健康被害と大気汚染の因果関係が成立するとして企業の共同不法行為と責任を認め、公害行政にも影響を与えたその判決も大きく影響している。

そして、これへの対応の中で、企業の理不尽を非難した住民運動とこれに対応した開発と福祉のジ

レンマに揺れる地方自治体の苦悩が存在したことはいうまでもない。さらに、時にはセンセーショナル過ぎたこともあったかも知れないが、大気汚染を巡る状況を世論に訴えたマスコミの力も無視できない。このことは、1970年の『環境危機』と呼ばれた社会情勢醸成の直接的動機は、マスコミによる非難を含めたこの工業化社会を警告する激しいニュースだったことを考慮すれば、この影響力に注目せざるを得ないように思う。

そして、もちろん我が国の企業努力による経済的背景もあろうが、このような社会背景が、企業経営者をして大気汚染規制に従う姿勢に転じさせその防止に力を注がせたのであろう。

3.5 規制施行の背景としての行政組織

我が国の大気汚染防止は、煤煙の排出の規制等に関する法律施行を嚆矢としたことは紛れもなく、大気汚染防止に規制が有効だったことは残念ながら事実であろう。このため規制行政は重要なものである。

さて、前述のように²⁾この法律は新社会秩序要請に応え、伝統的行政理論を超えたものだった。このため、この行政組織の確立と運営には、相当の困難が存在したが、これを克服したものは行政にあたる行政担当者達だった。皆無に近い科学技術的知識を理解するのに苦しみ、従来行政では経験しなかった法的解釈に悩む事務官（事務吏員）、広範な科学技術的知見を得なければ行政を進行させ得ないためこの取得に奔走する技官（技術吏員）、さらに大気保全行政推進に不可欠な科学技術的知見を測定・分析で取得しようとする研究官（研究職吏員）、いずれも未経験分野における活動であり、困難を極めた行動だった。

大気汚染調査研究にあたる研究者が、測定計器を破壊される事態に遭遇した時代さえあったのである¹⁾。そのうえ、この分野への学術的支援組織は皆無に近く、社会的理解者は一部の人々のみであった。

このような中で活動し、組織を維持して充実し多くの後輩を育成した主に地方自治体における人材と厚生省国立公衆衛生院、通商産業省工業技術院資源技術試験所、環境庁公害研修所の人材育成業務の進展は、大気保全行政だけでなく我が国の環境規制行政を実りあるものに発展させた大きな背景だった。

そして、この行動には1959年に我が国に創設された『大気汚染研究全国協議会（大気環境学会）』¹⁾を主とする学術団体の活動も大きく影響しその背景となっているように考えられる。

3.6 時代背景

提起された大気汚染問題が背景となり進められた規制、裁判、補償などの影響は大きい。表3.1にその時代背景につきまとめた⁵⁻⁷⁾。

表 3.1 日本の大気汚染規制の時代背景^{5~7)}

年 代	提起された大気汚染問題（背景）	大気汚染問題に対応した施策（規制）
1877年 明治10年	大阪で鋼折、鍛冶、湯屋の三業で公害問題多発	大阪で製造業取締規則を公布
1884年 明治17年	工業化が早かった大阪で、最初、石炭燃焼による工場煤煙が問題となる	大阪府が島之内、船場にガスコークス石炭などを焚く工場の設立を禁ずる府達をだす
1888年 明治21年	大阪電灯会社の煤煙問題が提起される	旧市内に煙突をたてる工場の建設を禁ずる府令がでる
1895年 明治28年	足尾銅山の精練所拡張により栃木県松木村で農作物大被害 別子銅山で明治26年、村民数十人が二酸化硫黄による農作物被害に伴う事業停止を訴える。会社は無関係と発表、農民数百人がむしろ旗で分店を襲い、逮捕者がでる	足尾銅山と被害農民との間で示談契約が締結される 住友本社は新居浜精練所の四阪島移転を計画、明治29年建設に着手
1909年 明治42年	明治41年日立鉱山が大製錬所を完成、翌42年二酸化硫黄の被害が激化	交渉に基づき補償金を支払う
1916年 大正5年	明治44年鈴木製薬所逗子工場（味の素製造所）の塩素ガス被害でる	神奈川県工場取締規則を公布
	大阪アルカリ会社の二酸化硫黄で子供の呼吸器障害を引き起こす 農民が訴訟を起こす	大阪市から防除施設設置命令でる 大正8年 原告農民勝訴
1919年 大正8年	国鉄中央線日野春駅近くにある信玄公旗かけの松が機関車の煙で枯れ死	松所有者が損害賠償を請求、大審院判決で勝訴
1924年 大正13年	燃料協会は「都市燃料に関する特別委員会」を組織し、美観、保健上及び燃料乱費防止のため防煙を主張するとともに東京で無煙燃料（無煙炭）使用に限る規制を提案、注目される	同年12月内務省は六大都市（東京市、大阪市、京都市、名古屋市、神戸市、横浜市）に煤煙取り締まりを発令
1932年 昭和7年	昭和2年に発足した「大阪煤煙防止調査委員会」が煤煙被害調査、無煙燃料使用と電化、完全燃焼、煤煙取締まりを決定	昭和7年全13条からなる「大阪府煤煙防止規制」が公布され、リンゲルマン濃度3度以上の黒煙を1時間あたり6分以上排出することを禁止した。昭和8年京都府、昭和10年兵庫県が同様な措置をとった。
1935年 昭和10年	首都圏でも戦時色が濃くなり、工場の拡張、新設が続き、大気汚染問題が次第に注目され始めた	昭和10年東京府は、「煤煙防止指導要綱」を策定し、昭和12年神奈川県は「煤煙防止委員会規定」を決定した
1949年 昭和24年～	第二次世界大戦後の産業の復興に伴い工場からの公害が増大してきた	東京都は全国で初めて「東京都工場公害防止条例」を制定（数値基準はなく、著しく騒音を発生し……等により規制）
1950年 昭和25年		大阪府事業場公害防止条例制定

1951年 昭和26年		神奈川県事業場公害防止条例制定
1955年 昭和30年	主として都心部のビル暖房のすす、燃えがら等によるスモッグが多発、これら煙害の防止が必要となる	東京都ばい煙防止条例制定（リンゲルマン濃度表による濃度規制：住宅専用地域2、その他3）
1962年 昭和37年	高度経済成長に伴い燃料の使用量が増大した。またエネルギー源が石炭から石油へ転換	ばい煙の排出の規制等に関する法律制定（7章37条から成る。煤塵規制はJISZ8808による濃度規制）
1966年 昭和41年	昭和26年宇部市議会は企業代表、市議会代表、学識経験者の三者で構成する「煤塵対策委員会」を市長の諮問機関として設立した（通称：宇部方式）	この活動の進める自主的規制により、昭和26年85.600 t/月の石炭使用量が37年は79%増大したのに、ばい塵量は55.9 t/km ² ・monthから3分の1以下に減少した（40台近い集塵装置を整備し、ばい塵はセメント混和剤として売却、売り上げ9億円/10年にのぼる）
1967年 昭和42年	昭和36年から四日市市議前川辰男氏が弁護士団と相談、四日市公害を裁判に持ち込む計画をたてる。公害認定患者9人が昭和42年第一コンビナート6社を相手どり四日市地裁に提訴 昭和30年代に大気汚染、水質汚濁等を規制する法律が制定されたが、これら個別の対処では不十分で、計画的、総合的な公害行政を推進することが強く要望された	昭和47年勝訴、原告12人に計8,821万823円支払い（判決は被害者救済の立場から「因果関係に厳密な立証は不用」とし、被害にいたる共同不法行為を認める） 公害対策基本法を制定（第9条で環境基準条項を定める：昭和44年硫黄酸化物、45年一酸化炭素、47年浮遊粒子状物質、48年二酸化硫黄改訂、光化学オキシダント、二酸化窒素）（第19条で公害防止計画について規定：既汚染地域と事前予防地域を指定して対応）
1968年 昭和43年	汚染の地域的拡大、汚染物質の多様化、さらに自動車交通量の増加に伴い問題となってきた自動車排出ガス対策が必要となってきた	従来の個別的、応急的対策では相互関連性を欠き、複雑、深刻化する大気汚染に対応するため「大気汚染防止法」を制定
1970年 昭和45年	光化学スモッグ、鉛公害、フッ化物、カドミウム、塩素化合物等による被害が問題視され、規制導入が必要となる	同年11月に開かれたいわゆる「公害国会」で大気汚染防止法を改正強化し、5種の有害物質を規制することとした
1971年 昭和46年	昭和45年に多くの公害問題が提起され、「公害国会」が開かれるまで深刻化した	同年7月に環境庁発足

（二瓶久雄作成）

(3.1) 引用文献

- 1) 氷見康二ほか；本協会の沿革, 大気汚染学会誌, 24, 319-338 (1989)
- 2) 原田尚彦；公害と行政法, pp.10-101, 弘文堂 (1980)
- 3) 官報号外第40回国会衆議院会議録第34号 (1962)
- 4) 財団法人国際環境技術移転研究センター；四日市公害・環境改善の歩みー地球環境への貢献を目指して (1992)
- 5) 東京都公害研究所編；公害と東京都 (1970)
- 6) 川名英之；ドキュメント日本の公害 (1987)
- 7) 地球環境経済研究会；日本の公害研究 (1991)

第4章 気象・大気汚染物質濃度変化と分布

4.1 気象の影響

4.1.1 はじめに

大気汚染の発生と持続に最も大きな影響を及ぼす気象因子は、風と大気安定度である。大気安定度は気温の垂直分布と深い関係がある。大気汚染は、地上から数 km の大気の底で発生するため低層大気の構造を正しく把握する事が重要である。

4.1.2 大気境界層

大気汚染物質の多くは地上付近から排出されるため、環境大気中における挙動は低層大気の気象の影響を強く受ける。地球は太陽からのエネルギーを地表面で吸収する。このエネルギーが大気中に放出される事により、様々な気象現象が生まれる。地表面の影響を直接的に受ける大気層が大気境界層である。この層の厚さは地表面の性質や気象条件により異なるが一般的には1～3 km 程度である。これより上の層は自由大気と呼ばれる。大気境界層の中でも地表から数 10 m の層を接地境界層と言う。

4.1.3 気温の垂直分布

気温の垂直分布の違いにより大気拡散の程度は大きく異なる。実際の標準的な大気では気温は 100 m 上昇すると 0.65℃ の割合で低下する。しかしこの値は気象条件により大きく変化する。大気汚染物質の拡散に最も影響を及ぼす気温の垂直分布に気温逆転層がある。これは大気下層の気温が上層の気温よりも低くなる状態である。逆転層の中に大気汚染物質が閉じこめられ拡散しないため、大気汚染濃度が高まる。気温逆転の主要生成要因としては、放射性逆転、沈降性逆転が知られている。この中でも冬季の晴れた夜間などによく出現する放射性逆転は高濃度大気汚染の発生と持続の大きな要因となる。一方、晴天の日中には地表面が日射により暖められるため熱的な対流が生じ、上下の混合が促進される。この層は混合層と呼ばれる。日中における混合層の高さは積算日射量 I (cal/m^2) の平方根に比例する。東京の夏季の観測結果によれば、時刻 t における混合層高度 $Z(t)$ (m) は、12 時までは (1) 式で近似的に表されることが分かっている。12 時以降は、この値に係数を掛けて求める事が提案されている。具体的には、この係数は 15 時で 1.127、18 時で 0.696、21 時で 0.357 である。(1) 式も含めてこの様な値は地域の特性を強く反映しているため、それぞれの場所での観測との照合が必要である。

$$Z(t) = 76.8I^{0.499} \dots\dots\dots (1)$$

我が国の場合、夏季には北太平洋に中心を持つ高気圧におおわれ、晴天が持続し上空に沈降性逆転層が存在する事が多い。日中に発達した混合層はこの逆転層に抑えられるため地上から 1,000～2,000 m の気層内において高濃度の光化学大気汚染が発生する。

4.1.4 気温の垂直分布と拡散

煙突から排出された煙の挙動に関する観察結果から煙の流れと気温の垂直分布との関連性が調べられている。乾燥空気塊が大気中を断熱的に100m上昇すると気温は、0.98℃下がる。大気の状態がこの値と同じ時、大気は熱的に中立であると言い、これよりも気温減率が大きい時は大気は熱的に不安定、逆に小さい時は熱的に安定状態にある。また上層の気温が下層の気温より高い場合を4.1.3で詳しく述べたように気温逆転の状態と言う。

煙の挙動は、気温の垂直分布により幾つかの典型的なタイプに分類される。大気が中立もしくはやや安定な時には煙は円錐タイプ (coning) に拡散する。このような状態は、曇天の日中や比較的、強風の時に発生する。冬季の夜間などの様な安定層または逆転層の中では鉛直方向の拡散が抑制され扇型タイプ (fanning) となる。夏季の日中などの様に晴天で弱風の場合には下層が不安定で上層が安定な気象状態となる。このような場合には煙は水平、垂直方向に蛇行しループタイプ (loping) となる。上空に沈降性の逆転層が存在する場合には上方への煙の拡散が抑制され、拘束タイプ (trapping) となる。この時、下層の大気が不安定であれば煙は地上付近まで急速に拡散し地上付近に高濃度をもたらす。このような状態をいぶしタイプ (fumigation) と言う。

地表面の凹凸、すなわち粗度が変化するような場合には内部境界層が形成される。例えば地表面粗度の小さい海や湖から粗度の大きい陸地に向かって風が流れると、内陸側に海や湖よりも乱れの大きい内部境界層が発達する。沿岸地域にある工場や発電所からの大気汚染物質が海側の乱れの小さい領域から陸側の乱れの大きい内部境界層に達すると急激な混合・拡散が生じ地上付近に高濃度をもたらすことがある。これを内部境界層フュミゲーションと言う。

4.1.5 風の垂直分布

風の垂直分布もまた、重要な気象因子である。地上100~200m程度までの風速分布は経験的に(2)式で表わされる。

$$\frac{u}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^p \dots\dots\dots (2)$$

ここで u_1 は、高さ z_1 での風速である。また指数 p については以下に説明する。すなわち、風速は上空に行くにつれて指数関数的に増大するが、その程度は地表面の物理的な性質や安定度により異なる。指数 p の大まかな目安としては中立で0.25程度、不安定で0.1~0.2、安定で0.3程度である。一日のうちでも日中は小さく、夜間に大きい値となる。地表面の粗度が変化するような場合には粗度が大きくなると p は増加する。このため市街地では郊外よりも大きな値となる。市街地における p は0.2~0.4程度の値である。

4.1.6 市街地風と大気汚染

道路が周りの建物に囲まれて谷のようになっている状況をストリートキャニオンと言う。このストリートキャニオンでは特別な市街地風が発生しこの風が沿道における大気汚染に大きく影響する。市街地風は建物の高さ、密度、道路幅などの物理的条件や風向・風速や大気安定度などの気象条件と密接に関係する。一般には道路に直角に風が吹く時に最も典型的な状況となる。図 4.1.1 にこの様な時のストリートキャニオン内の風の分布を示す。

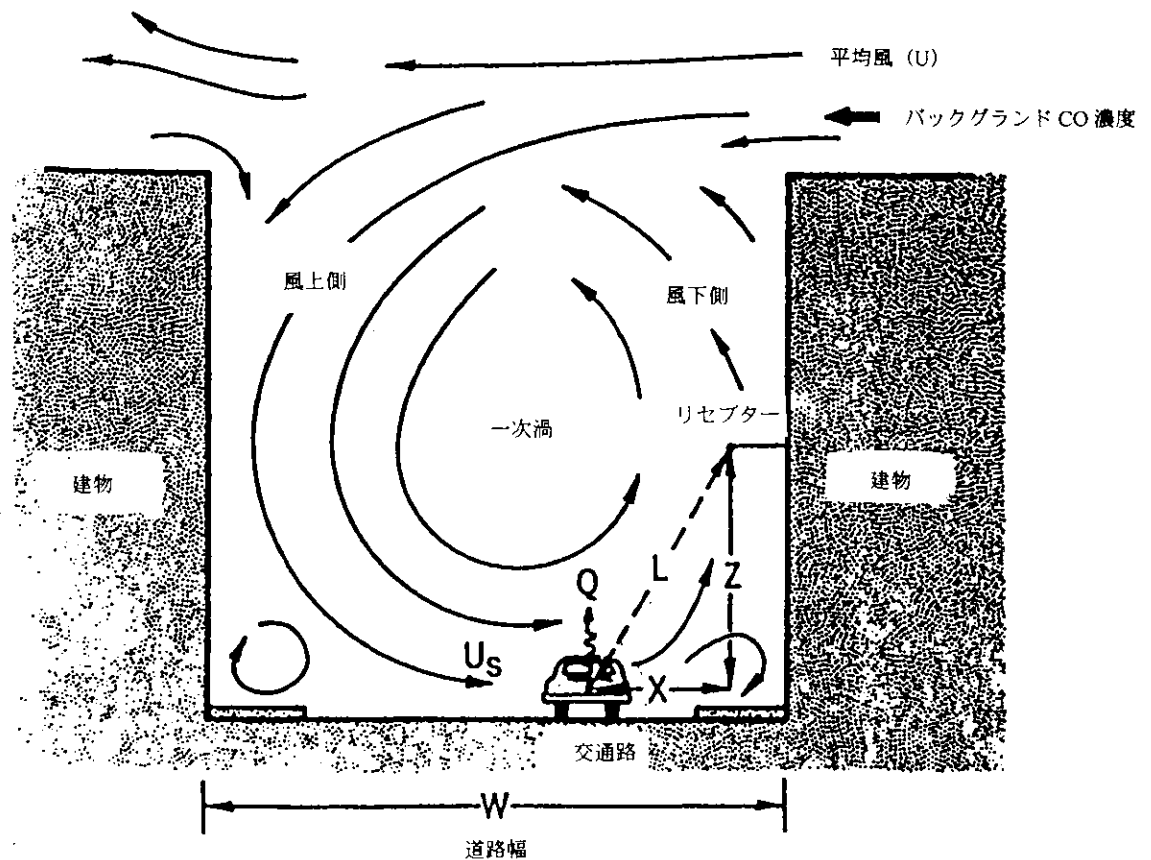


図 4.1.1 ストリートキャニオン内の風の分布

(Johnson, W. B., Ludwig, F. L., Dabberdt, W. F. and Allen, R. J.: An Urban Diffusion Simulation Model for Carbon Monoxide, Journal of the Air Pollution Control Association, Volume 23, No. 6, 490-498 (1973) から転載)

この時リセプターでの濃度 C_L は (3) 式で表される。

$$C_L = \frac{Q}{k_1 k_2 (U + 0.5) [(x^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} + 2]} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 H : 建物高さ (m)、 W : 道路幅 (m)、 X : 車線中央からリセプターまでの水平距離 (m)、 Z : 車線中央からリセプターまでの垂直距離 (m)、 U : ストリートキャニオンの上層の風速 (m/s)、 Q : 排出線源強度 (mg/m/s)

$k_1 k_2$ は定数であり経験的に $K = \frac{1}{k_1 k_2} = 7$ と定められている。この式は単純ではあるが、沿道における最大濃度を大まかに把握するためには有用である。ただし K の値は市街地の状況や安定度によりかなり変化するためトレーサー実験や風洞実験などによる検証が必要である。

4.1.7 都市境界層と大気汚染

都市の存在により生じる都市境界層などの局地的な気象の変化は大気汚染物質の分布と極めて密接な関係を持つ。都市境界層は内部境界層の一つである。一般に都市地域は建造物が立て込んでいるため郊外よりも粗度が大きい。また地表面の熱的な特性や人工排熱量も異なるため、力学的要因と熱的要因により都市境界層が形成される。都市境界層は、都市の風上周縁部から都心に向けて発達することが知られている。周縁部からの距離を X とし、地表付近での顕熱収支のみを考慮すれば、 X における都市境界層の厚さ $Z_h(X)$ は (4) 式で示せる。この式は主に冬季の夜間に成立する。ここでは U は一般風速、 γ は接地逆転層の温度勾配、 $\frac{Q_s}{C_p \rho}$ は顕熱フラックスである。また郊外の気温 T_r と都市の気温 T_u の差を ΔT_{u-r} とすれば (5) 式が成り立つため、都心の地点 X と郊外との気温差は (6) 式で表わされる。これがヒートアイランド現象である。

$$Z_h(X) = \left(\frac{2}{U \gamma} \int_0^X \frac{Q_s}{C_p \rho} dx \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta T_{u-r} \propto \gamma Z_h(X) \dots \dots \dots (5)$$

$$\Delta T_{u-r} \propto \gamma^{\frac{1}{2}} U^{\frac{1}{2}} \left(\int_0^X \frac{Q_s}{C_p \rho} dx \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (6)$$

(3) 式から都市と郊外の温度差は周縁部からの距離を X の間に付加された顕熱総量の平方根に比例し、都市における一般風速の平方根に反比例する事が分かる。この都心部において気温が周辺地域よりも高くなるヒートアイランドは都市域における大気汚染物質の滞留・循環と高濃度の持続をもたらす。都市内部で排出された大気汚染物質は、この都市境界層内部に閉じこめられ高濃度大気汚染が発生する。一方、都市の風上側に建設された施設から排出された大気汚染物質が上空の安定層をあまり拡散・希釈されないままに輸送され都市境界層面から都市域において、 $Z_h(X)$ に取り込まれると、内部境界層フュミゲーションが発生する。

4.1.8 総観気象と局地気象

風の強さや風向、大気の安定度は地球規模の空気の流れと地球表面の物理的な特性から生じる高・低気圧の動きによる総観規模 (Synoptic scale) の気象現象に基本的には支配されるが、これとともに局地的な気象の変化が大気汚染の分布に極めて重要な影響を及ぼす。

その中でも特に重要なものが海陸風である。海や湖は大きな熱容量を持っているため温度の日変化は小さいが、陸地は温度変化が大きい。この結果、日中には陸地の温度が水面の温度よりも高くなり夜間は低くなる。このため、陸上と水上の気温差が出来、大気圧に差が生じる。これにより日中は海や湖から陸上へ、夜間は、逆方向の気流が生じる。これが海陸風である。海陸風は重力流の特性を持っておりその先端部分が渦状となっているため、先端部分で閉鎖系の気流場を形成する。このため、大気汚染物質がその中に閉じこめられ高濃度が生じる。海陸風は時間とともに移動するので高濃度の地域もこれとともに移動する。海風、陸風がそれぞれ侵入する時に出来る風の不連続線を海風前線、陸風前線と言う。また山岳地域や盆地では斜面と谷の同高度の高さの空気温度が異なるため、日中は谷から山へ、夜間は山から谷へ向かう風の流れが出来る。この山谷風による空気の循環が大気汚染に影響を及ぼす。

4.2 大気汚染物質の生成機構

4.2.1 はじめに

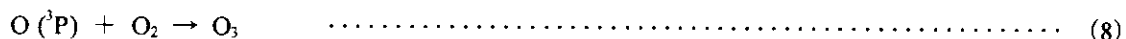
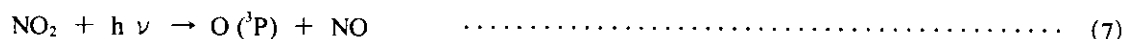
大気汚染物質には、人間活動によって直接排出されている一次汚染物質と、一次汚染物質が大気中で反応して生成する二次汚染物質があることはよく知られているが、本章では二次汚染物質の生成・変質の機構について、特に光化学オゾンの生成、炭化水素の関与する大気化学反応、および酸性雨に関する反応について解説する。

4.2.2 オゾン生成の光化学反応

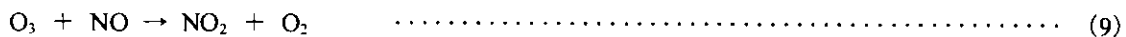
二次汚染物質の生成・変質の過程に関与する反応は主に一次汚染物質としての窒素酸化物（NO_x）と炭化水素類（HC）に太陽光のエネルギーが加わって起る光化学スモッグの生成反応である。NO（一酸化窒素）とNO₂（二酸化窒素）からなる、NO_xは発生源の偏在や、大気中の寿命が短いことなどからその濃度はかなりの幅を持っていて、一般に都市域では20～500 ppb（ppbはppmの1/1,000）、田園地域で1～10 ppb、海洋上などのバックグラウンドでは0.05～0.2 ppb程度である。

NO_xは大気中における反応性が非常に高く、従ってその寿命は短い。大気中のほとんどの反応に直接、間接に関与して重要な役割を果たしているが、特に対流圏でのオゾン生成に関しては、都市における光化学スモッグ発生を契機として明らかにされたように、NO_xはオゾンの生成に主要な役割を果たしている。対流圏のオゾンの生成源となり得るのはNO₂だけであり、この意味からNO_xの存在は非常に重要である。

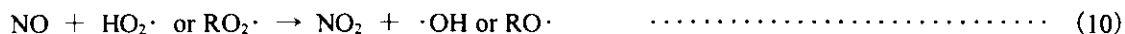
対流圏大気中に微量のNO_xが存在していれば、これに光が当たって、(7)、(8)式に示すように、NOの生成を介してオゾンが生成する。



ここで、O(¹P)は基底状態の酸素原子を表わす。ところがこれだけだと、(7)式で副成したNOによりオゾンが破壊される反応(9)が起るので、オゾン濃度は定常状態に達してしまい、極端な高濃度にはならない。

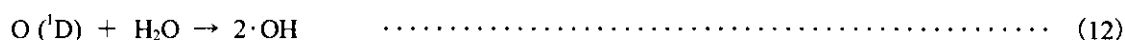


だが、大気中に炭化水素類が存在すると、NOが炭化水素類の反応によって生成するHO₂・やRO₂・といった過酸化ラジカルによって、オゾンを破壊することなくNO₂に戻されるため(10)式に示す反応が進行して、



このNO₂が再び(7)、(8)式の反応を経てオゾンを生ずる。(10)式でRはアルキル基など炭化水素に由来するグループである。その結果、光が強い条件の下では、オゾンが高濃度になる。

対流圏大気中の化学反応は、 $\cdot\text{OH}$ ラジカルによって開始される場合が多い。特に、オゾンと反応しないアルカン類や芳香族炭化水素類はほとんど $\cdot\text{OH}$ ラジカルとの反応によって消滅する。対流圏大気中の $\cdot\text{OH}$ は主に(11)(12)式の反応で生成するが、NO_xや炭化水素を含むラジカル連鎖反応によって(7)式のように再生され再び反応にあずかることになる。



ここで、O(¹D)は励起状態の酸素原子である。基底状態の酸素原子O(³P)は水とは反応しない。

4.2.3 炭化水素の反応

図4.2.1に示したのは代表的な炭化水素のアルカンの典型的な光酸化反応である。このような連鎖反応によって、炭化水素に含まれる炭素は徐々に二酸化炭素まで酸化され、NO→NO₂の変換が起ってオゾンが蓄積されることは前述のとおりである。アルキル鎖が長くなるかまたは大きくなると、(b)のタイプの生成物(パーオキシラジカル)からは図4.2.1に示したNOの酸化だけでなく、(13)式に示すようなNOの付加と転位反応による硝酸エステル(RONO₂)の生成も重要になってくる。



また生成物(c)のアルコキシルラジカル(RO \cdot)は図4.2.1に示したように主に酸素と反応するが、十分な濃度のNO_xが存在すると、(14)式のようにNO_xの付加反応により、硝酸エステルや亜硝酸エステルを生ずる。



亜硝酸エステルは可視光によって容易に分解され、アルコキシルラジカルを生じて、図4.2.1のような連鎖反応を開始することができるので、夜間にオゾン-オレフィン反応やNO₃ラジカルと炭化水素の反応等にもなって(14)式により亜硝酸エステルが蓄積されていると、光化学反応の重要な開始剤になることが知られている¹⁾。

NO_xを含むもう一つ重要な反応生成物は、PANと呼ばれる化合物である。PANとは、もともとはperoxyacetyl nitrate (RC(=O)OONO₂)の総称であったが、現在ではその中で最も重要なperoxyacetyl nitrate (CH₃C(=O)OONO₂)を指すことが多い。その最も重要な生成過程は、図4.2.1に示したように、エタ

ンより分子量の大きい炭化水素の光化学反応で生じた（または一次汚染質として放出された）アセトアルデヒドと・OHの反応によって開始される（15）～（17）式のような過程である。

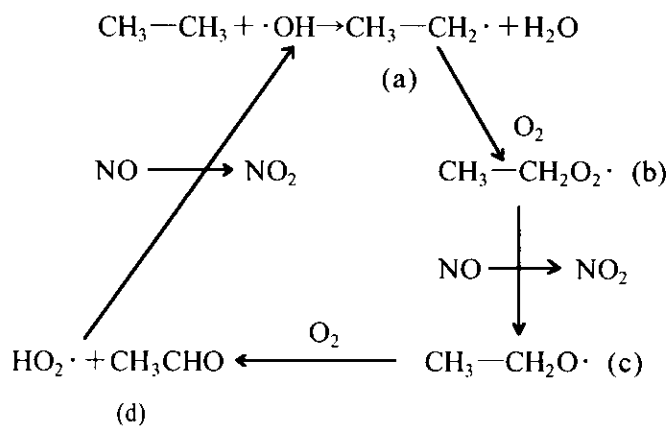
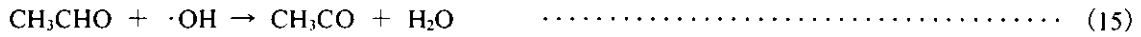


図 4.2.1 ・OHラジカルによって開始される炭化水素の光酸化反応鎖

PANは光化学オキシダントの一つで、植物に可視被害を与えたり、人体への被害も知られている毒性の強い物質であるが、大気化学的な見地から、最近では窒素のリザーバーとしての役割の重要性が指摘されている²⁾。NO_xの大気中での寿命は非常に短いので、NO_xはあまり長距離を移動すること（長距離輸送）はなく、発生源の近傍で反応し、消滅してしまう。しかし、一旦PANとなって、気温の低い上層に移るとその寿命は非常に長くなる。例えば、気温20℃でのPANの寿命は1.7時間しかないが（消滅過程は主に（17）式の逆反応の熱分解である）、0℃では50時間、-20℃では105日にもなる³⁾。従って、窒素がPANの形で長距離輸送され、その後分解してNO₂を放出し光化学反応に関与することも十分に考えられる。実際、北半球中緯度地帯の対流圏で見られる春先のオゾンの高濃度現象は、冬の間蓄積・輸送されたPANが気温の上昇とともに分解し、生じたNO₂がオゾンの生成源となっているためではないかとの指摘⁴⁾もなされている。

4.2.4 対流圏大気の酸性化（酸性雨）に関与する大気化学反応

酸性雨も地球規模の環境問題の一つとして大きな関心を集めている。雨そのものの酸性化もさることながら、対流圏大気の酸性化が問題であり、雨の酸性化はその結果に過ぎないと考えべきである。

言うまでもなく、対流圏大気酸性化は、人間が様々な活動によって排出している硫黄酸化物や窒素酸化物が増大していることに起因している。これらの化合物が大気中で酸化されると硫酸や硝酸になり、これが雨に溶け込んで酸性雨となる。

NO_xの増加は、上記のように対流圏大気中のオゾンや種々の酸化性ラジカル(・OH、HO₂・、RO₂・等)の濃度を増加させ、大気酸化能をも増大させている。これも酸性物質前駆体の増加とあいまって大気中の酸性物質の増加をもたらしている。

酸性物質の生成にはSO₂の酸化による硫酸の生成とNO_xの酸化による硝酸の生成がある。SO₂の酸化には・OHラジカルによる(18)～(20)のような気相の均一反応とSO₂が雲や霧、雨滴などの水に溶けた後の溶液中での反応とがいずれも重要である。溶液中の反応では過酸化水素が主要な役割を果たしている⁵⁾。



一方、NO_xの酸化による硝酸の生成過程は割合単純で、SO₂の場合のような液相での酸化反応は、NO_xが水に溶けにくいとため、ほとんど起こらない⁶⁾。主に次の三つの反応によって進行するものと考えられている。

(1) OHラジカルとの反応

硝酸の生成に対しても(21)式に示すように・OHの役割は重要である。



(2) NO₃ラジカルの反応

NO₃ラジカルはオゾンとNO₂の反応で生成する反応性の高いラジカルである。特に、光のあたらない夜間に炭化水素を含む種々の有機化合物の反応において重要な役割を果たしている。NO₃ラジカルは炭化水素やアルデヒド類等の有機化合物と反応することにより(22)式のように硝酸に転換される。



(3) N₂O₅の反応

N₂O₅は、NO₃とNO₂の反応で生成し、含窒素汚染質として夜間に起こる反応に重要な役割を果たしている。N₂O₅はいわば硝酸の無水物であり、(23)式のような加水分解が可能である。ただし、気相均一系における水蒸気との直接反応の速度定数は $2 \times 10^{-21} \text{cm}^3 \cdot \text{molecule}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下⁷⁾であり、重要ではない。しかし、この反応によるNO_xの消滅過程または硝酸の生成過程は表面が存在することで加速され

るものであり、野外における硝酸の生成過程として重要である。



4.3 大気汚染物質濃度変化

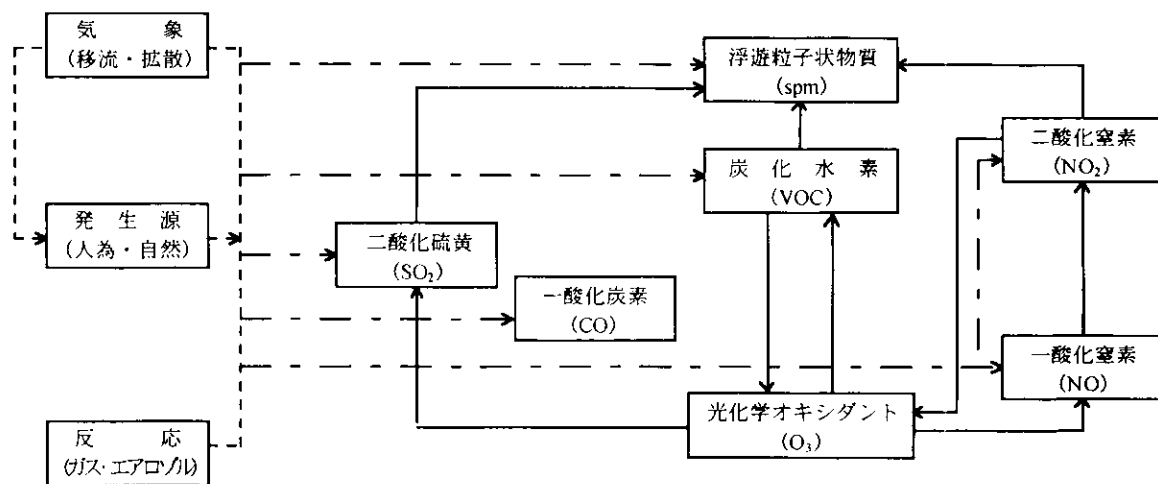
4.3.1 はじめに

大気中の汚染物質濃度は、気象因子や大気中での化学反応、大気汚染物質排出量の変動などが原因で変化する。濃度変化は日変化、季節変化、年変化などが注目される。ここではそれぞれの時間スケールにおける大気汚染物質濃度変化を支配する要因を明らかにする。

4.3.2 大気汚染物質濃度の日変化と大気汚染物質相互の関連性

大気汚染物質濃度の日変化に最も大きな影響を及ぼすのは気象と化学反応である。気象因子の中では特に風と安定度の影響が大きい。これとともに大気汚染物質排出量の変動も日変化に影響を及ぼす。工場操業パターンや自動車走行パターンがその主要因となる。これは人々の生活のパターンとも関係する。例えば自動車交通の一日の変化についてみると朝と夕方の通勤時刻帯にピークを持つ二山型の分布が一般的であり、これが安定で弱風の気象条件と重なった時に大気汚染濃度は顕著に上昇する。

一般に大気汚染物質濃度の日変化は冬季と夏季では異なっており、物質によっても大きな差がある。これを具体的に明らかにあるためには大気汚染物質相互の関連性を理解する必要がある。大気汚染相互の関連性を図 4.3.1 に示す。



注：図中の一点鎖線は一次大気汚染、実線は二次生成大気汚染の流れを示している。

出典：若松伸司；大気汚染のシミュレーション，空気調和・衛生工学，70，(11)，879-887 (1996) の p15 からの複写

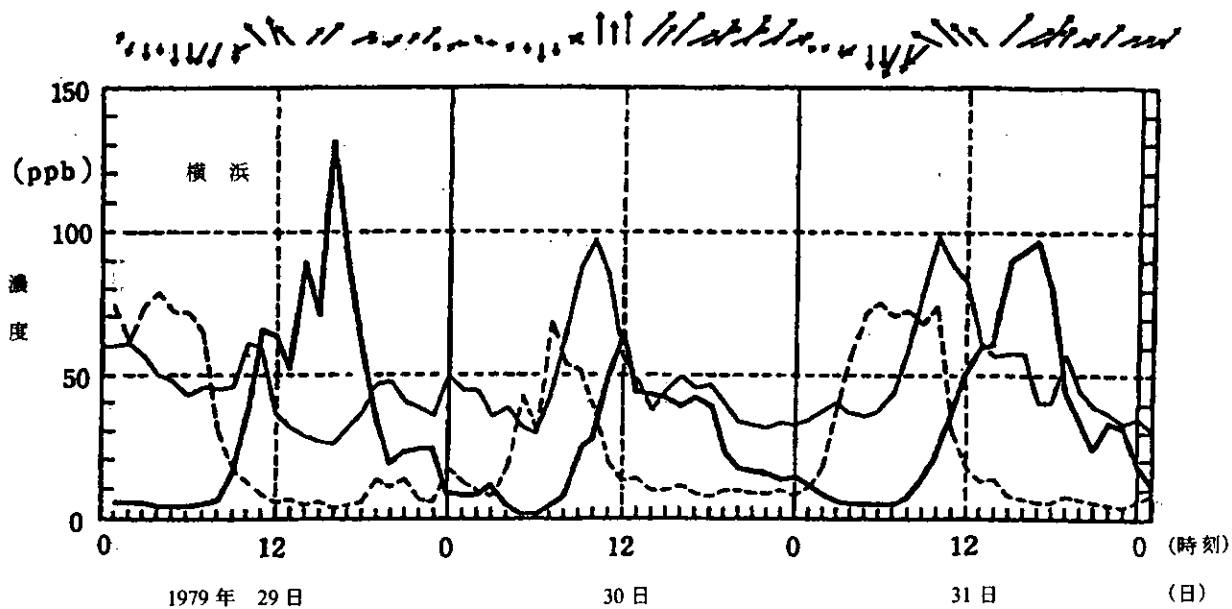
図 4.3.1 大気汚染物質相互の関連性

図 4.3.1 中の破線は大気汚染物質発生源から直接的に排出される経路を示している。NO（一酸化窒素）NO₂（二酸化窒素）VOCs（Volatile organic compounds：揮発性有機化合物）Ozone（オゾン）の間には複雑な関係がある。揮発性有機化合物には炭化水素が含まれるが、一般にアルデヒド類なども含

めて VOCs と総称する。炭化水素の反応メカニズムの詳細は、4.2 において説明したが、その要点を再度簡単に示す。

VOCs 成分は以下のメカニズムで光化学大気汚染の生成を加速させる働きをする。光化学大気汚染の主要成分はオゾンであるが、対流圏においてオゾンが生成する只一つの反応は二酸化窒素の光分解である。即ち二酸化窒素が一酸化窒素と酸素一個に光分解し、この酸素が酸素分子と結合してオゾンが出来る。しかし一酸化窒素は再びオゾンと反応して二酸化窒素になるため、一酸化窒素と二酸化窒素とオゾンの濃度は一定の値になる。これを光化学光定常状態と言う。VOCs 成分がもし無ければ、この様な定常状態になるが、大気中に VOCs 成分が存在するとラジカルと言われる反応性の極めて高い物質が生まれ、これが一酸化窒素を二酸化窒素に酸化する。即ちオゾン破壊しないで二酸化窒素が出来るため更にオゾンが生成する。自動車や燃焼施設から発生する窒素酸化物はその 90% が一酸化窒素なので反応性の高い VOCs 成分が存在する事がオゾン上昇のカギとなる。

このラジカルはまたエアロゾル (spm) の生成も加速させる。大気中の VOCs 成分は炭素数が 10 程度までの揮発性の物質は、ざっとみても 100 成分以上あり、このそれぞれがラジカルを造るスピードに差があるため、どの様な成分がどの程度含まれているかが大変重要になる。また VOCs 成分は光化学反応を促進させるとともに例えばベンゼンはそれ自体が有害である。図 4.3.2 に大気汚染物質濃度の日変化の典型例を示す。



1979年7月29日から31日にかけての横浜におけるNO(---)、NO₂(—)、Ox(—)と風向・風速の時刻変化。早朝には一酸化窒素(NO)のピークがあり、その後二酸化窒素(NO₂)が上昇し、午前中から日中にかけて南東～南系の東京湾からの海風、午後には南西系の相模湾からの海風が卓越し、これとともにオキシダント(Ox)の濃度の上昇が見られる。

図 4.3.2 大気汚染物質濃度の日変化の典型例

4.3.3 大気汚染物質濃度の季節変化

春季の地上における成層圏起源のオゾン濃度が北半球の北緯 30 度程度で 80 ppb 以上になることもある。日本では春に関西地域において二酸化窒素の濃度が高くなる。これは、春には成層圏起源のオゾンが地上に影響する事と光化学大気汚染によりオゾンが生成する事の両方が原因となっている。

夏季の紫外線強度が大きく気温が高いため、光化学大気汚染が発生する。これとともに二次生成粒子状物質の割合も増加する。夏季の海洋性気団の中でのオゾン濃度は 20 ppb 程度と低濃度である。

冬季には放射逆転が発生しやすく夜間から早朝にかけて安定な大気成層となるため大気汚染物質濃度が高くなる。しかし日本では正月休みの時には殆どの人々が休みをとり、自動車走行量が減るため大気汚染物質濃度が下がる。冬季においてもバックグラウンドオゾンや光化学オゾンにより窒素酸化物の酸化が起こるが、夏季よりもその程度は小さいため NO_x 中に占める NO の比率が大きくなる。

4.3.4 大気汚染物質濃度の年変化と大気汚染物質濃度変化の統計的な解析

大気汚染対策の評価や環境負荷の構造的な変化を把握するためには大気汚染物質濃度の年変化の情報が有用である。年変化の特徴を発生源との関連で正しく把握する為には気象の影響を取り除く必要がある。

一般に環境基準は年平均値と一時間値について決められているため大気汚染物質の環境濃度の評価にあたっては平均値と高濃度値の関連性を把握する事が必要である。このためには一時間値の累積度数分布の型やパーセンタイル値と年平均値との関連性の解析が行われる。急性的な影響には一時間値、慢性的な影響には年平均値による評価が対応する。またある閾値以上の濃度の積算値（ドーサージ：dosage）による評価が植物被害やリスクの解析に用いられる。

4.4 大気汚染物質分布

4.4.1 はじめに

大気汚染物質の分布には反応と気象が同時に影響を及ぼす。このため大気汚染物質の長距離輸送が起こる様な場合には、気流の進入に伴って濃度のピークが移動する現象が観測される事が多い。ここでは光化学反応による大気汚染を中心に大気汚染物質分布の特徴を述べる。

4.4.2 都市から郊外への大気汚染の流れ

大気汚染の生成には化学反応と気象条件が複合的に影響を及ぼしている。我が国においては東京や大阪等の大都市地域では、大気汚染の固定発生源は臨海地域に集中している。またもう一つの発生源である自動車は都市地域に広がっている。さらに、海陸風に代表される局地気流の影響を強く受けるため、都心地域と郊外では大気汚染の出現の形態が異なる。都市圏における大気汚染の空間分布の概念図を図4.4.1に示す。

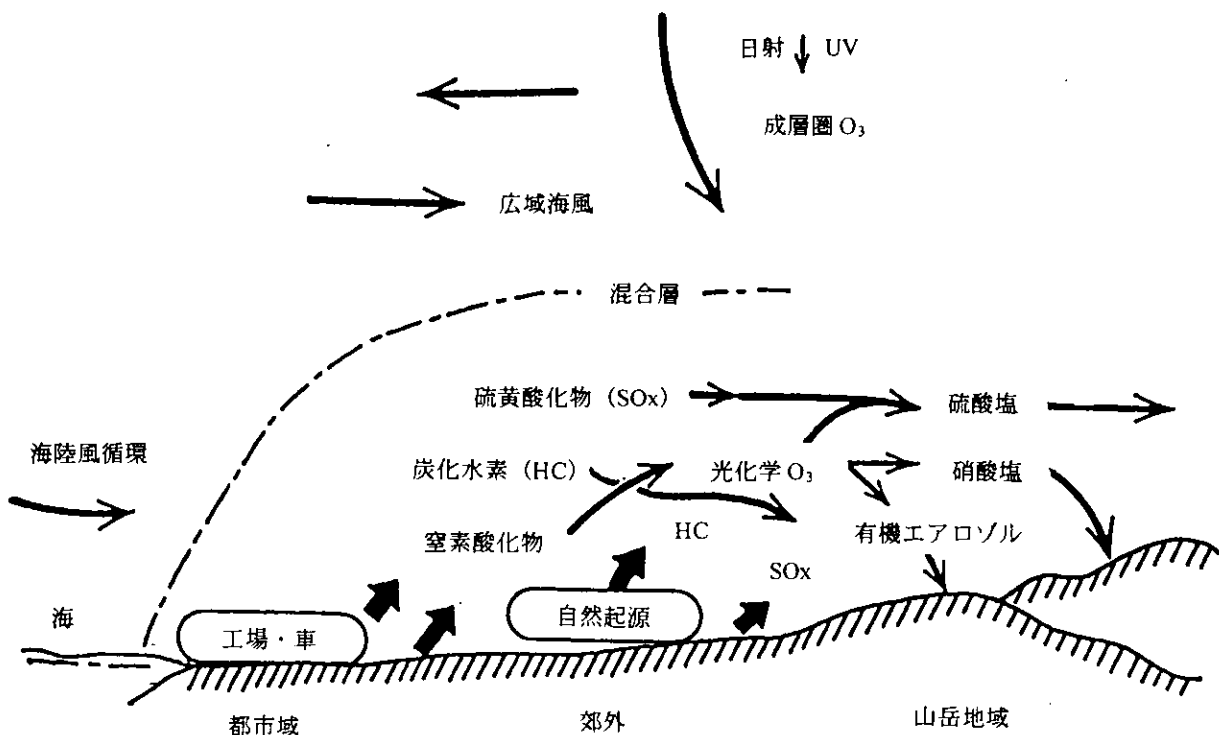
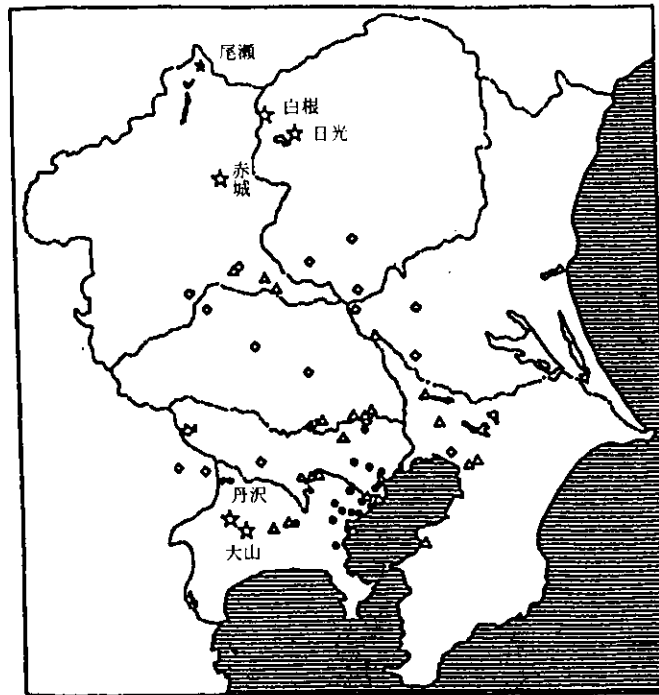


図 4.4.1 大気汚染の空間分布の概念図；都市域から郊外への大気汚染物質の輸送と化学変化

一般に都心地域においては一酸化窒素濃度が高くなりついで二酸化窒素が高くなってさらに郊外地域でオゾンやエアロゾルが高濃度になる。二次生成物の時刻変化と地域分布にはこの様な特徴がある。この様な分布には化学反応と気象条件がともに影響している。大気汚染物質の長距離輸送が起こる場合には気流の進入に伴って濃度のピークが移動する現象が観測される事が多い。また図4.4.2に関東地域における大気汚染の分布の解析例を示す。都市域から郊外への大気汚染物質の輸送と化学変化の様子がうかがえる。



- : NO₂ 年平均値上位測定局 (全国ワースト20に入るもの)
 - △ : SPM 年平均値上位測定局 (全国ワースト20に入るもの)
 - ◇ : Ox 1時間値が0.12 ppm (注意報発令レベル) を超えた日数が多い測定局 (全国ワースト20に入るもの)
 - ☆ : 近年、植物影響等が新聞等で指摘されたことのある地点
- (注) いずれも、平成4年度一般大気測定局データ

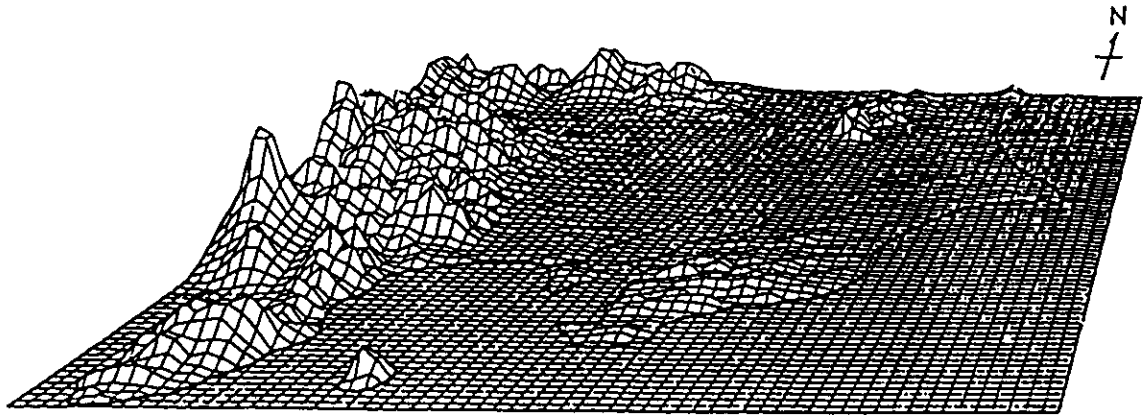
図4.4.2 関東地域に於ける大気汚染の分布の解析例

(柳下正治、真継博、大井通博；浮遊粒子状物質対策に係る総合戦略の策定に向けての考察、大気環境学会誌、31、(2) p.A26 (1996) から転載)

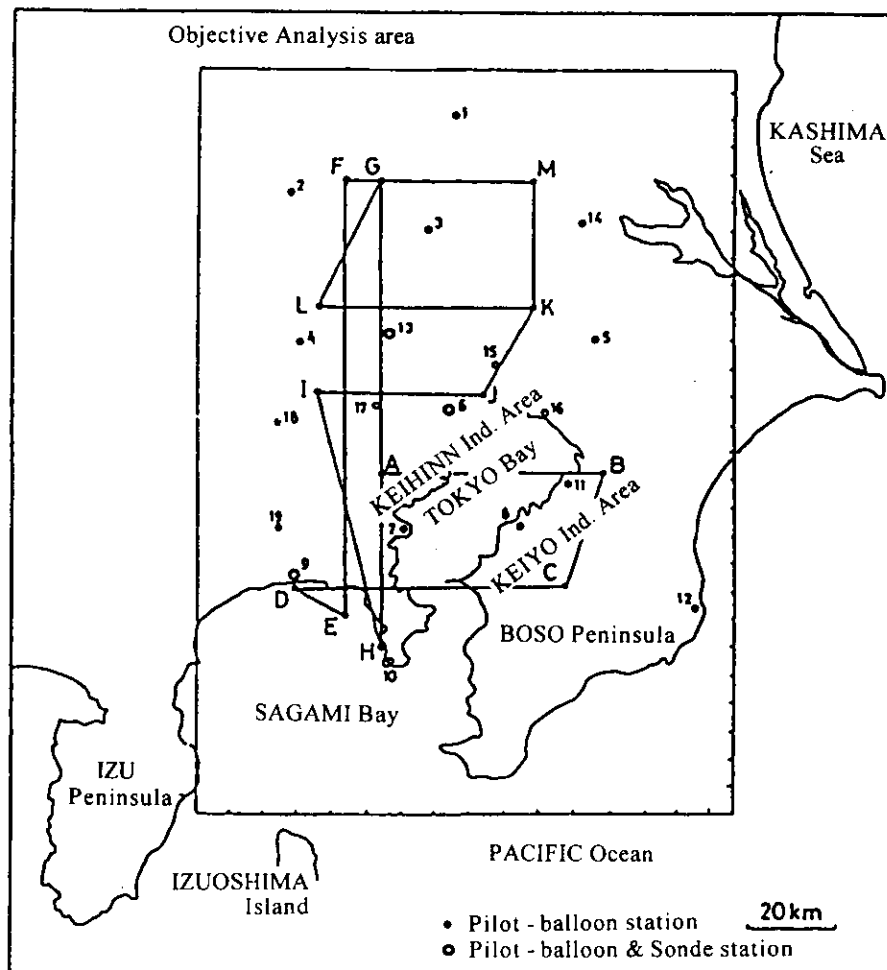
4.4.3 大気汚染の立体分布

大気汚染の立体分布は発生源の高さと汚染物質により異なる。ボイラーなどの固定発生源からの単独の排煙の立体分布に関しては、第10章の大気拡散予測モデルで述べる事にしてここでは、都市スケールの大気汚染の立体分布の特徴を示す。光化学大気汚染が発生した時の典型的な鉛直断面分布を図

4.4.3に示す。このように1979年7月31日から8月1日にかけての航空機観測の結果による O_3 と NO_2 の分布と海陸風循環や気温の垂直分布との間には密接な関連性があることが示されている。この日の混合層高度は1,500 m程度であったが、高濃度オゾンの垂直分布は混合層の内外で大きく異なり、その時間変化は海陸風の変化と良く対応している。また夜間から早朝にかけて、上空500~1,200 mの高度に前日に生成した120 ppb以上の高濃度の光化学オゾンが滞留していた。一般風が弱く局地的な海陸風循環が数日に亘り継続するような場合には、このような状況が繰り返される事により、汚染の蓄積が発生する。

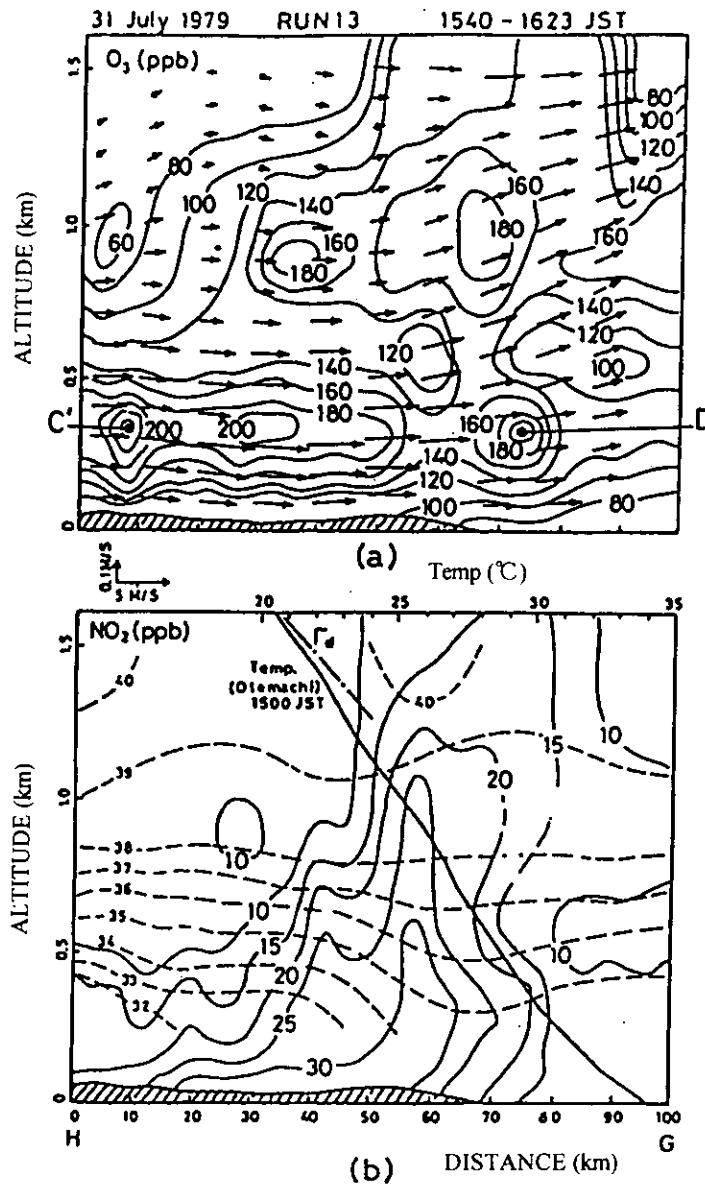


Topography of the Tokyo Metropolitan Area viewed from the south-east direction. Horizontal grid size is about 3 km square.



Map of Kanto District. flight paths and objective analysis area of wind field.

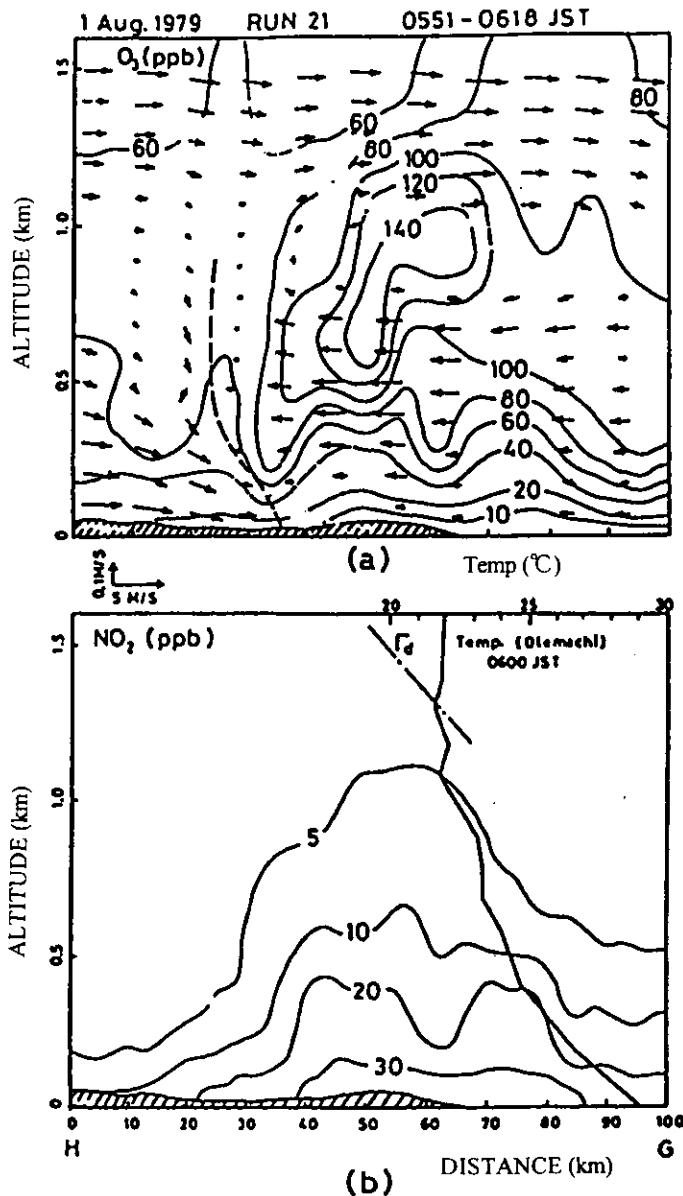
Pilot-balloon and sonde observation points are as follows: 1. Oyama; 2. Kumagaya; 3. Satte; 4. Iruma; 5. Inzai; 6. Otemachi; 7. Yokohama; 8. Sodegaura; 9. Chigasaki; 10. Miura; 11. Ichihara; 12. Ohara; 13. Urawa; 14. Tsukuba; 15. Nagareyama; 16. Tsudanuma; 17. Musashino; 18. Hachioji; 19. Atsugi.



Vertical distribution of pollutants in the afternoon of 31 July 1979 (RUN 13: 1450-1630JST. Cross-section H-G). (a) O₃ distribution and vertical wind profile (v and w components) calculated from the modified MATHEW method. Vertical wind component w is emphasized (see wind scale). The label C and D in (a) indicate the marked air masses of Trajectories C and D in Fig.10. (b)NO₂ distribution and potential temperature (dashed line) and temperature profile at Otemachi (1500JST).

図 4.4.3.1 関東地域に於ける大気汚染の立体分布の観測例

(Uno, I., Wakamatsu, S., Suzuki, M. and Ogawa, Y.: Three-dimensional behavior of photochemical pollutant over the Tokyo metropolitan area. Atmospheric Environment, 18, 751-761 (1984) から転載)



Vertical distribution of pollutants in the early morning of 1 August 1979 (RUN 21: 0445-0620 JST, cross-section H-G). (a) O_3 distribution and vertical wind profile (v and w components) calculated from the modified MATHEW method. The hard dashed line indicated the discontinuity line of wind and in the near of this line, the small downdraft wind zone are detected. (b) NO_2 distribution and temperature profile at Otemachi (0600 JST).

図 4.4.3.2 関東地域に於ける大気汚染の立体分布の観測例

(Uno, I., Wakamatsu, S., Suzuki, M. and Ogawa, Y.; Three-dimensional behavior of photochemical pollutant over the Tokyo metropolitan area. Atmospheric Environment. 18, 751-761 (1984) から転載)

4.4.4 広域大気汚染の分布

光化学オゾンの地域分布や時刻変化には気象条件が大きな役割を演じる。東京、大阪、名古屋などの日本の大都市は臨海地域に位置しているため海陸風の影響を強く受ける。日中は海風により大気汚染物質は化学反応をおこしながら内陸に輸送される。一酸化窒素は直ちに大気中のオゾンや RO_2 ラジカルと反応して二酸化窒素となるため一般に都心近傍において二酸化窒素のピークが出現する。更に内陸に輸送される過程で光化学オキシダントや二次生成エアロゾルの濃度が高くなる。もし反応性の高い炭化水素成分が多く排出されている場合には、光化学オキシダントやエアロゾルなどの二次生成大気汚染物質の生成速度が高まるためより都心に近いところで高濃度が発生する。また風速が大きい場合には大気汚染物質はより早く内陸に輸送される。この様に反応と気象が相互に影響して大気汚染濃度の時刻変化や地域分布を決める事となる。気象条件によっては、都市及びその周辺地域の大気汚染物質は、更に内陸へと輸送され広域大気汚染をもたらす。

大気汚染の内容は環境負荷の構造変化や社会システムの変化により大きく変わりつつある。我が国における大気環境問題は広域化、多様化しており、我々の生活スタイルとも極めて深い関連を持つ様になって来た。今日の都市域大気汚染発生源の主要なものは自動車である。自動車台数の増加と道路網の拡大により窒素酸化物などの大気汚染物質排出量は増大し広域化している。大気汚染物質の排出総量の増加が大気環境問題を質的に変えつつある。この事により東京を中心とした関東地域においても大阪を中心とした関西地域においても大気汚染は都心部から周辺地域へと拡大している。これに伴って光化学大気汚染や二次生成エアロゾルの濃度も都心地域よりも郊外地域で相対的に高濃度の出現率が増加している。また汚染物質も単体ではなく汚染物の相互関連性や有害化学物質を考慮に入れた影響評価が必要となっている。一方、国境を越えた大気環境問題も重視しなければならない。エアロゾルや酸性降下物に関しては中国や韓国を中心としたアジア地域における大気汚染物質排出量の急速な増大による海を越えての移流の寄与が無視出来なくなり、このためモニタリングとデータ解析が大変重要になっている。

4.4.5 大気汚染分布把握とモニタリング

環境基準または指針が定められている大気汚染物質に関しては1時間平均値を基準とした濃度測定による常時監視が行われており、全国で、平成6年度、一般環境大気測定局が1,728局、自動車排出ガス測定局が395局が稼働している。我が国では二酸化硫黄、二酸化窒素、光化学オキシダントの測定方法には吸収液を用いる湿式法が用いられて来たが、乾式法での測定も同等の方法として認められている。測定に当たっては測定器の校正方法の確立が必要である。また現在の大気汚染の測定局は公害対策の歴史的背景から主に高濃度の汚染を監視する事を目的として設けられて来たため、その多くは都市域に集中している。

これらの測定局の管理は行政区単位で行われているため必ずしも大気汚染の生成メカニズムを考慮した配置にはなっていない。汚染物質ごとに発生源の分布や寿命時間が異なるため、その配置の密度や範囲は汚染物ごとに検討する事が合理的である。大気汚染の測定の目的を明確化するとともに測定技術の進歩や社会的な必要性の変化に対応して測定方法、測定項目、測定密度等に関する見直しを測

定の整合性を確保しつつ適宜行う必要がある。VOCs 成分の予測を行うためには、環境濃度の把握も大切である。しかし現在の我が国のモニタリングステーションにおいては VOCs 成分の測定は全く行われておらず、測定は NMHC (non-methane hydrocarbon : 非メタン炭化水素) であり炭素の総数が FID (flame ionization detector) によりカウントされているのみである。今後は VOCs 成分の中で重要な物質は体系的に自動分析し測定値を評価する必要がある。

(4.1) 参考文献

- 1) 森口實, 千秋鋭夫, 小川弘; 環境汚染と気象, 朝倉書店 (1990)
- 2) 環境庁; 南関東大気環境調査報告書 (1977)
- 3) Johnson, W. B., Ludwig, F. L., Dabbert, W. F. and Allen, R. J.: An Urban Diffusion Simulation Model for Carbon Monoxide, *J. of the Air Pollution Control Association*, 23, (6) 490-498 (1973)

(4.2) 引用文献

- 1) B.J.Finlayson-Pitts and J. N. Pitts, Jr.; "Atmospheric Chemistry", p.429, John Wiley & Sons, Inc., New York (1986)
- 2) H. B. Singh and P. L. Hanst; *Geophys. Res. Lett.*, 8, 941(1981)
- 3) B.J.Finlayson-Pitts and J. N. Pitts, Jr.; "Atmospheric Chemistry", p.550, John Wiley & Sons, Inc., New York (1986)
- 4) S.A. Penkett and K. A. Brice; *Nature (London)*, 319, 655 (1986)
- 5) J.G.Calvert, ed.; "SO₂, NO and NO₂ Oxidation Mechanism: Atmospheric Considerations", Butterworth, Boston (1984)
- 6) S.N. Pandis and J.H.Seinfeld; *J. Geophys. Res.*, 94, 1105 (1989)
- 7) W.B.De More, S. P. Sander, D. M. Golden, M. J. Molina, R. F. Hampson, M. J. Kurylo, C. J. Howard and A. R. Ravishankara; "Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling, Evaluation Number 9", p. 217 JPL Publication 90-1 (1990)

(4.3) 参考文献

- 1) 若松伸司; 大気汚染のシミュレーション, *空気調和・衛生工学*, 70, (11) 879-887 (1996)
- 2) 昭和 56 年度環境庁委託業務結果報告書, 光化学オキシダントに関する文献レビュー, 日本科学情報センター (1982)
- 3) Committee on Tropospheric Ozone Formation and Measurement; *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academy Press (1991)

(4.4) 参考文献

- 1) 柳下正治, 真継博, 大井通博; 浮遊粒子状物質対策に係る総合戦略の策定に向けての考察, *大気環境学会誌*, 31, (2) A23-A33 (1996)
- 2) Ohara, T., Uno, I. and Wakamatsu, S.; Recent Trend in Precursor Concentrations and Oxidant Distribution in the Tokyo and Osaka Areas, *Atmospheric Environment*, 30, 715-721(1996)
- 3) Ogawa, Y., Suzuki, M., Uno, I. and Wakamatsu, S.; Tree-Dimensional Behavior of Photochemical Pollutant over the Tokyo Metropolitan Area, *Atmospheric Environment*, 18, 751-761(1984)
- 4) Kurita, H., Muroga, H., Sasaki, K., Ueda, H. and Wakamatsu, S.; Long-Range Transport of Air Pollution under Light Gradient Wind Conditions, *J. Climate and Applied Meteor.*, 24, 425-434 (1985)

第5章 大気汚染の影響

5.1 人体影響

5.1.1 はじめに

代表的な大気汚染物質の健康への影響を述べる。大気汚染が激しい場合には、目や気管の刺激症状（涙、咳、目や喉の痛みなど）も問題となるが、多くの場合は慢性の呼吸器の傷害が重要である。

5.1.2 呼吸器の仕組み

大気汚染物質の最初の標的臓器は呼吸器であるので、その仕組みをおおよそ理解しておこう。図 5.1.1 に、人の呼吸器の概略を示す。空気の通り道である鼻腔から気管支付近までの粘膜上皮は粘液で覆われ、気管、気管支には異物を排除するための繊毛がある。また酸素と炭酸ガスのガス交換を行う肺胞には肺胞マクロファージが存在し、異物を貪食し排除する。

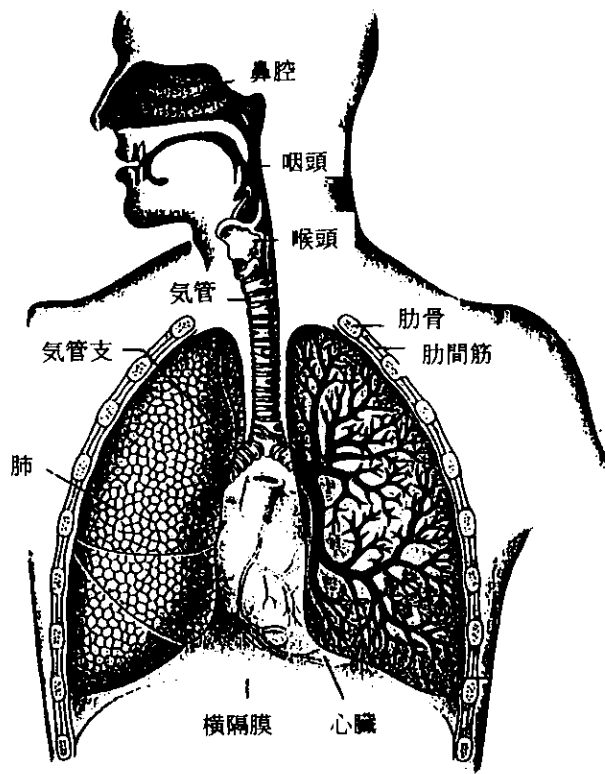
吸入された大気汚染物質のうち、大きい粒子状物質は鼻腔で捕集されるが、直径が $10 \mu\text{m}$ 以下のいわゆる浮遊粒子状物質は、鼻腔を通過して気管、肺胞に達する。ガス状物質のうち、二酸化硫黄は、水に溶けやすいので、主に上気道で吸収され、慢性気管支炎、喘息を引き起こす。これに対して水に溶けにくいオゾンや窒素酸化物は、肺の奥深くまで到達し、喘息や慢性気管支炎の他に、肺気腫を引き起こす可能性がある。また一酸化炭素は肺胞で血液中のヘモグロビンに接触すると、酸素よりもヘモグロビンと結合しやすいので、血液の酸素の運搬を妨げることになる。

5.1.3 大気汚染物質により引き起こされる呼吸器疾患とは

大気汚染の程度が激甚な場合には、急性の気管支炎等により特に高齢者や慢性の基礎疾患を持った患者に過剰死亡のおこる危険性がある（大気汚染の歴史の項参照）。しかし、多くの場合は慢性の呼吸器疾患、特に喘息、慢性気管支炎、肺気腫を引き起こす。これらの呼吸器疾患を総称して慢性閉塞性肺疾患と呼ぶ。これらの疾患は、呼吸機能検査で、肺活量は正常に保たれるが、1秒率（できるだけ早く息を吐き出した時に、1秒間に全体の何%を吐き出せるか）の低下、最大呼気流量（ピークフロー）の低下などが特徴である。

表 5.1.1 はこれらの疾患の定義である。このうち慢性気管支炎は主に持続する咳、痰などの自覚症状で診断されるのが特徴である。喘息は、最近の知見の集積から、気道の炎症性傷害とみられ、定義も変わってきている。ただしこれらの疾患の原因は大気汚染に限らない。

その他、肺癌は石綿によって起こることはよく知られている。その他煤煙やディーゼル排出ガスに含まれる粒子に発癌物質が付着しており、肺癌を起こす可能性が示唆されるが、因果関係はまだはっきりしていない。



末梢気道

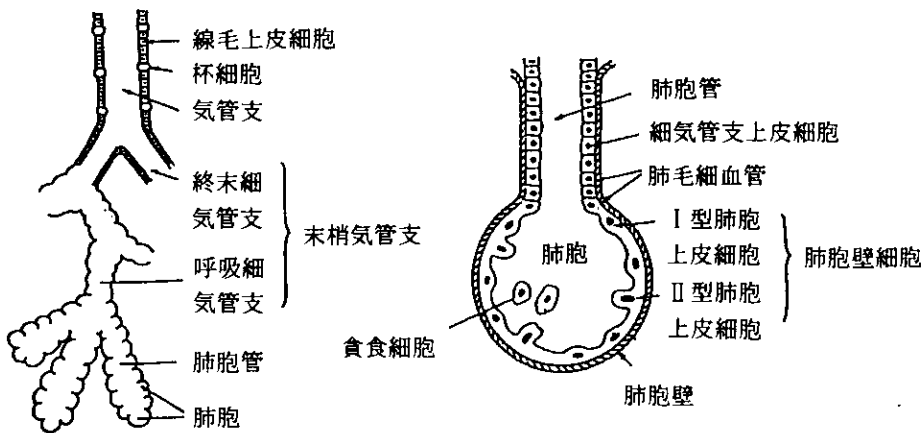


図5.1.1 呼吸器のしくみ

表 5.1.1 慢性閉塞性肺疾患の定義

病名	定義
1) 慢性気管支炎	気管支内に分泌される過剰な粘液分泌の臨床的病像であり、慢性あるいは反復性の痰を伴う咳が見られ、たいていの場合、これらの症状が年に最低3ヵ月のほとんど毎日、かつ少なくとも連続2年間にわたって存在するもの。(ATS)
2) 喘息	喘息とは、種々の刺激による気管及び気管支の反応性亢進を特徴とし、自然にか、あるいは治療により、その強さが変化する広範な気道の狭窄によって症状を現す疾患である。(ATS) 最近の定義では、「気道閉塞、気道過敏性という観点からのこれまでの喘息の定義では喘息の仕組みがよく理解できない為に不十分なものとなっている」とした上で、「喘息は肥満細胞や好酸球など多くの細胞が関係する気道の慢性的炎症傷害である」としている。
3) 肺気腫	肺気腫とは、肺の解剖学的病変を示すもので、気管末梢から終末に至る部位における気室拡大を特徴とする。この際、肺胞壁の破壊を伴うものである。臨床症状としては特異的なものは少ないが、X線写真では不明な場合もある。咳は常時伴うことが多く、喘鳴を伴う。呼吸困難や、疲労感が強い。(ATS)

5.1.4 代表的な大気汚染物質の健康影響

(1) 二酸化硫黄

石炭燃焼による主たる大気汚染物質が二酸化硫黄と煤煙である。有名なロンドンの大気汚染による過剰死亡のエピソードの時は、呼吸循環器系疾患を持った老人に死亡が多かったが、共通の症状は呼吸困難を伴う気管支狭窄症状であった¹⁾。この時は二酸化硫黄濃度はピーク時には1.4 ppm程度であったが、このような急性症状は二酸化硫黄単独の場合よりも、煤煙などの粒子状物質が共存した時に激しく起こると考えられている。その後、燃料が石炭から石油に変換すると、煤煙は減少したが、逆に二酸化硫黄の濃度は高くなり、より広域化した大気汚染被害へと変化していく。

日本の場合には四日市喘息として知られる被害が有名である。特に磯津地区は煙突からの大気汚染物質の最大着地点にあたっていたために、二酸化硫黄濃度はしばしば1～2 ppmに及ぶ高濃度ピーク汚染がみられたことが特徴である。この地区では、4疾患群すなわち感冒症候群、気管支喘息、咽喉頭炎（扁桃腺炎、アングーナ等を含む）の呼吸器系の疾患と前眼部疾患（結膜炎、角膜炎、トラコーマ、眼異物など）が他の地区に比べて明らかに受診率が高かった²⁾。この当時一般の医師に慢性気管支炎の病名を使用する習慣はほとんど無かったので、感冒症候群の中には慢性気管支炎が多く含まれていたものと思われる。図5.1.2は、同地区において気管支喘息、慢性気管支炎、喘息性気管支炎（小児）の3疾患について毎年の新規患者発生数（3年移動平均値）と同地区の二酸化硫黄のピーク汚染（0.2 ppm以上）の出現頻度の推移を示したものである。コンビナートの本格的な操業開始とともにまず気管支喘息、次いで慢性気管支炎さらに小児の喘息性気管支炎の発生増加が見られ、昭和40年頃からの各種対策による二酸化硫黄の濃度の減少に伴って患者の発生数も減少していくことがわかる³⁾。

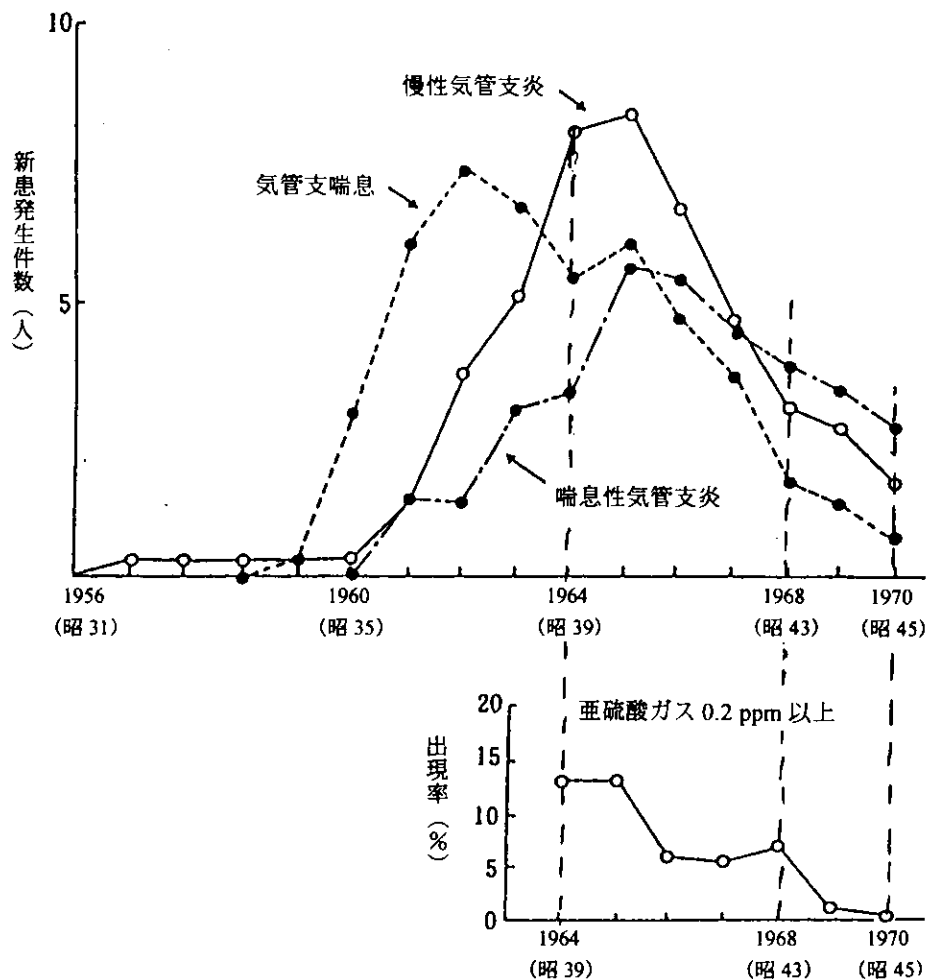


図 5.1.2 四日市、磯津地区における新規患者発生状況

上、3年移動平均値：下、SO₂濃度の推移³⁾

(2) 粒子状物質

石炭や石油の不完全燃焼によって発生する煤煙やディーゼルエンジンからの排出ガス中の粒子は炭素が主体であり、粒径は2.5 μm以下のものが多く、肺胞の奥深くに沈着することから、特に注意が必要である。この粒子には同時に発生した多くの有害物質が付着しており、特に二酸化硫黄との共存で呼吸器傷害を起こすことは前述した。アスベスト繊維の吸入はじん肺や肺癌、悪性中皮腫の原因となる。また、有鉛ガソリンを使用している国では、自動車排ガス中の鉛が問題となり、貧血、歯茎の着色、神経症状などの慢性中毒症状をおこす。最近では粒子状物質と呼吸器疾患の死亡率や入院患者数との関係⁴⁾、アレルギー性疾患に関与する抗体の産生を増強する作用があることも証明されている。

(3) 光化学オキシダント

光化学オキシダントの主成分はほとんどがオゾンであり、人体への影響もこれによるものが大きい。しかし急性症状として訴えの多い眼の刺激症状はオゾン単独では起こらず、PAN、ホルムアルデヒド

等によるものと考えられている。自覚症状の訴えとしては眼の刺激症状の発症が高率であり、影響を知る上で最も鋭敏な指標と考えられる。眼の刺激症状のいき値は、0.1 (0.08~0.15) ppm と考えてよい^{5, 6)}。一般的にはオキシダント濃度の1時間値が0.2 ppm 程度となると呼吸機能の低下(1秒率の低下等)が起こるが、運動中には0.12 ppm 以下でも同様のことが起こると報告されている⁷⁾。長期影響に関しては、呼吸器疾患の有症率に影響を与える可能性が示唆されるものの、その寄与率は明らかではない。

(4) 窒素酸化物

これまでの疫学調査では、窒素酸化物の濃度と持続性の咳と痰の有症率が正の相関を持つことが確かめられており、同時に呼吸機能検査では1秒率、ピークフローの低下が認められ、この結果を下に日本の環境基準が決められた⁸⁾。また、最近の調査では、年平均値が0.03 ppm (環境基準の0.06 ppm に対応)を越える地域では児童の喘息様症状の新規発生率が高い傾向が認められている⁹⁾。これらの成績は他の要因も考えなければならないが、動物実験でも概ねこれらの事実を支持する結果が得られている。

以上のように、大気汚染物質の健康への影響は多要因、1症状であり、その地域によってどの汚染物質の影響が主体となっているかを見極める必要があるだろう。

5.2 植物影響

5.2.1 はじめに

大気汚染による植物被害としては、火力発電所や金属精錬所など固定発生源の周辺で二酸化硫黄 (SO₂) やフッ化水素 (HF) によって森林が枯れたり、農作物の生育・収量が悪くなったりすることが起きた。また、固定発生源に由来するものばかりでなく、都市への人口集中に伴って、自動車通行など移動発生源から排出される二酸化窒素や炭化水素などに由来する光化学オキシダントによる植物被害がみられる。

5.2.2 植物の可視障害発現

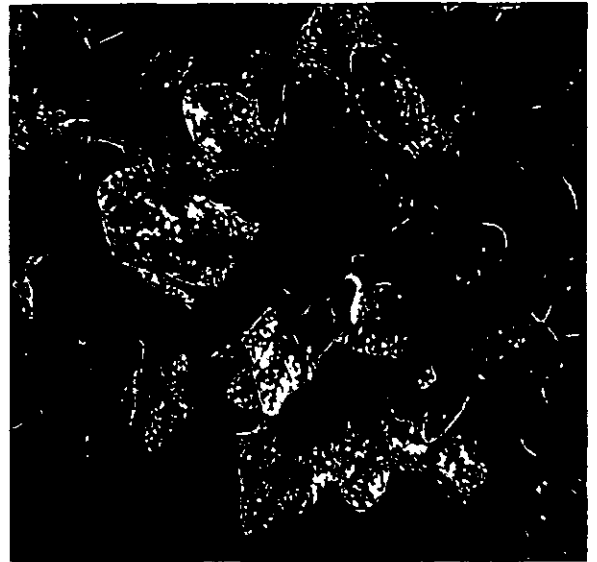
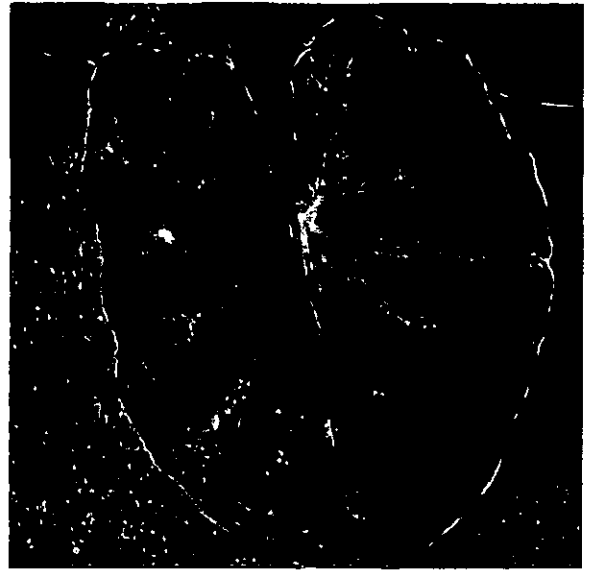
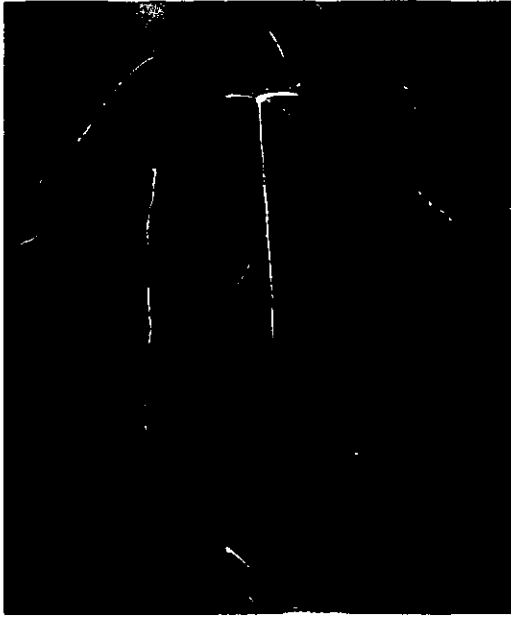
大気汚染による植物被害としては、主として葉面などに現れる可視障害がある。表 5.2.1 に各種汚染物質による可視症状を列記し、その発現するときの濃度をまとめてある。また、図 5.2.1 に可視障害の特徴を四つのタイプに分けて、汚染ガスの種類によって発現の程度の差異を+の数で表示した。写真 5.1 に被害事例を示した。

表 5.2.1 おもな大気汚染物質による植物急性障害の可視症状とその発生濃度いき値

大気汚染物質	植物への急性症状発生いき値	おもな可視症状
二酸化硫黄 (SO ₂)	0.1-1.5 ppm	葉脈間不定形斑点、葉縁部黄褐色斑点 (広葉)、先端・中央部の褐変 (針葉)、一般に大形斑点
二酸化窒素 (NO ₂)	10-50 ppm	二酸化硫黄に類似
オゾン (O ₃)	0.05-0.2 ppm	葉の表面に均一な白色~褐色斑点、ネクロシス、早期落葉、葉の湾曲
PAN	0.05 ppm	葉の裏面に銀色~青銅色の光った大形斑点 (全体として横バンド状)
エチレン (CH ₂ =CH ₂)	0.05-1.0 ppm	葉の上偏生長、開花異常 (めしべ退化、雄花の雌花化など)、落果、早期落葉、黄化促進
フッ化水素 (HF)	5-10 ppb	葉先端、周縁クロロシス、ネクロシス
塩素 (Cl ₂)	0.1-0.3 ppm	葉脈間漂白斑点、葉先端黄変

上に述べた可視障害をもたらす汚染ガス濃度と暴露時間との関係、いわゆるドース・レスポンス関係は反比例関係を示す。

可視障害に対する植物の抵抗性を決めている一つの要因は、その植物のガス吸収能力である。図 5.2.2 は横軸に SO₂ の吸収量、縦軸に可視障害発現度を取り、ガス吸収量の多い植物ほど障害を受けやすいことを示す。



Foliar injury by ozone in morning glory.
Upper; control, Lower; injured leaf.

Foliar injury by ozone in taro (upper) and spinach (lower).

写真 5.1

汚染物質	被害症状			
	(先端・周縁 黄色～褐色変)	(葉脈間 はん点)	(表面小 はん点)	(裏面光沢化 銀灰色～青銅色変)
フッ化水素	++	+		
塩素	++	+	+	
オゾン		+	++	
P A N		+		++
二酸化硫黄		++	+	
硫酸ミスト	+	+	++	〔 ++よく見られる + ときに見られる 〕
二酸化窒素		++	+	

図 5.2.1 各汚染物質による植物葉の被害症状の特徴 (山添、1975)

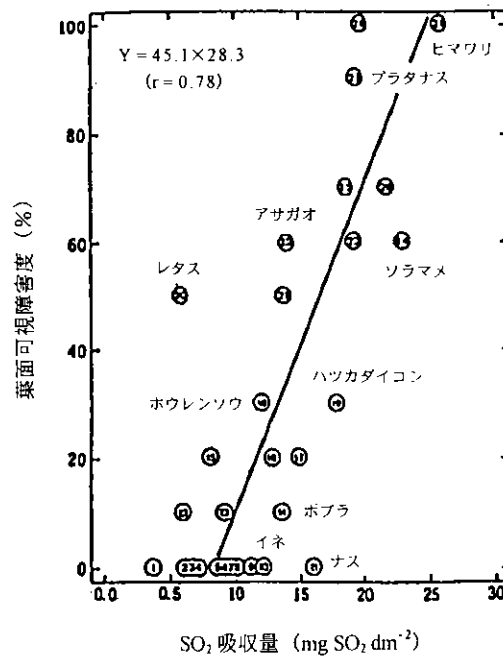


図 5.2.2 SO₂ 暴露に伴う葉面の SO₂ 吸収量と葉面可視障害度との関係 (Furukawa et al, 1980)

5.2.3 植物の生理機能・収量への影響

可視障害は一般に高濃度の汚染ガスに短期間暴露されたときにみられるが、低濃度の汚染ガスでも長期間暴露されると、植物の基本的生理作用である光合成、呼吸、蒸散などの機能が障害をうけて、生育不良を起こす。光合成機能は汚染ガスに対して感受性が高く、極低濃度でも影響を受ける。図5.2.3に汚染ガスの光合成活性に対する影響を種々なガスについて調べた結果を示す。縦軸には光合成の阻害度を対照値に対する相対値(%)で示す。図中の直線の勾配が急なものほど影響が大きく、汚染ガスの植物に対する毒性が強いことを示している。フッ化水素(HF)がもっとも毒性が強く、次いで塩素ガス(Cl₂)、オゾン(O₃)、二酸化硫黄(SO₂)、二酸化窒素(NO₂)の順になっている。

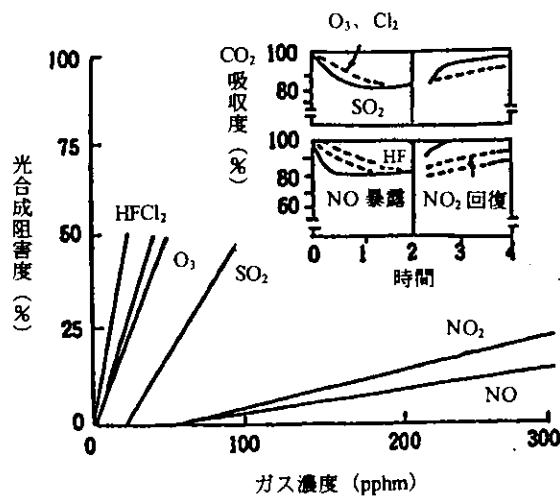


図 5.2.3 オオムギとエンバクの群落純光合成速度に及ぼす各種汚染ガスの影響
(Bennett and Hill, 1974) それぞれの汚染ガス濃度による曝露処理は2時間。

植物の光合成機能が阻害されると、その後の乾物成長が悪影響を受ける。図5.2.4は各種農作物の乾物成長に対する二酸化硫黄暴露(濃度は0.065~0.26 ppmの範囲、表5.2.2参照)の影響を示す。横軸はガス濃度と暴露日数との積(これをドースと呼ぶ)をプロットしたものである。また、縦軸は対照値に対する植物体の重量を相対値で示す。この直線の勾配が急なほど感受性が高いことを示す。また、乾物成長が影響を受け始めるドースが小さいほど感受性が高いことを意味する。図中ではソバが最も感受性が高いといえる。

図5.2.4で、植物体の乾物重100%の所で横軸と平行した線を引き、それぞれの関係直線との交点における横軸の値が1.4 ppm×日となる。つまり、これらの植物の成長が影響を受ける限界のドースを示している。例えば、大気中のSO₂濃度が0.02 ppmの場合、障害を受けない暴露日数は1.4÷0.02=70日となる。従って、70日程度で収穫できる野菜類では0.02 ppmの濃度でも影響を受けないことになる。一方、生育期間が100日間の植物では0.014 ppmということになる。

SO₂以外の汚染ガスについては表5.2.3にまとめられている。

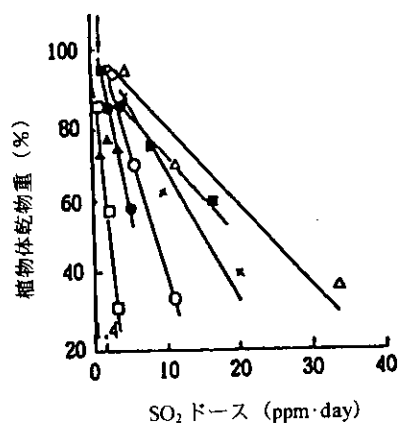


図 5.2.4 数種作物における SO₂ ドースと植物体乾物重 (対照区の値に対する%) との関係
 ソバ (□)、カブ (▲)、レタス (●)、ダイズ (○)、サツマイモ (×)、イネ (■)、エンドウ (△)。
 藤原 (1975) より作図。(戸塚, 1979)

表 5.2.2 図 5.2.4 に示された各種作物の SO₂ 暴露処理条件。藤原 (1975) の資料より整理

種 名	暴露時間 (日 数)	SO ₂ 濃度 (ppm)	測定した植物体
イ ネ	66	0.065-0.26	全個体乾重
サツマイモ	77	" - "	" "
ダ イ ズ	42	" - "	地上部乾重
エンドウ	112	0.05-0.3	" "
カ ブ	14	0.065-0.26	全個体乾重
レ タ ス	20	" - "	" "
ソ バ	13	" - "	" "

(戸塚, 1979)

表 5.2.3 生育・収量被害を起こす各種汚染ガス濃度閾値

NO ₂ 濃度閾値	暴露期間	被害状況	植物	出典
0.068 ppm	56～140 日	葉面積、乾燥重量の減少	ケンタッキーブルーグラス	Ashenden (1979)
0.15～0.26 ppm	10～22 日	トマトの乾物重、葉面積の減少	トマト	Taylor and Eaton (1966)
O ₃ 濃度閾値	暴露時間	阻害率	植物	出典
0.04 ppm	全成育期間	玄米重で約 15% 減	水稲	植物環境技研 (1981)
0.05 ppm	全成育期間	日中 0.05 夜間 0.025 ppm 収量 23% 減少	水稲 (中生新千本)	中国農試土肥第 1 研 (1981)
0.05 ppm	8 時/日×22 日	生育阻害 (葉身生長)	トマト (栄寿)	野菜試生理 2 研
0.05 ppm	8 時/日×26 日	生育阻害 (葉身、根) 葉が薄くなる	キウリ (ときわ 3 号 P)	(1981)
PAN 濃度閾値	暴露時間	被害状況	植物	出典
0.003 ppm	16 ヶ月	枝の生長、落葉、濃度は松岡推定値	ネーブルオレンジ	Thompson & Kats
HF 濃度閾値	暴露時間	被害状況	植物	出典
2～3 ppb	13～26 ヶ月	幹の直径、樹高、樹巾、樹体積、葉表面、果実数重量の低下、特に葉表面では 25～35%	ネーブル、オレンジ	Brewer ら (1960)
2.5 ppb	収穫期まで	果実、種子の数の減少	インゲンマメ類 4 種	PACK (1971)
0.7 ppb	43 日	豆の湿重量約 25% 減	インゲンマメ	Maclean ら (1969)

5.3 大気汚染の材料・文化財への影響

5.3.1 はじめに

大気汚染影響は人の健康、植物影響など生物ばかりでなく、人工物である金属等の材料、また文化財等にも及んでいる。大気汚染の材料、文化財への影響を認識しこれを調査することは大気汚染による経済的な損出を評価するとともに、都市の施設をはじめとする社会資本の安全確保の上にも役立つ。さらに、経済的にはその価値を算出することのできない人類共通の財産である文化財への長期影響を明らかにし、保存のための対策にも役立つ。これらのことから、各地域、国単位で材料、文化財への影響を調査し、明らかにし、対策に活用することは大きな意義がある。

5.3.2 材料に対する大気汚染の影響

大気汚染物質の材料への影響の程度を表 5.3.1 に示す¹⁾。硫化水素は銀、銅に大きな影響を及ぼし、硫酸化物は鉄鋼、石材に大きな影響を与える。またオゾン高分子有機材料に大きな影響を及ぼす。このように大気汚染物質はその種類と材料を構成する物質によって影響の程度が異なる。従って、地域の大气汚染の特徴を知ることは、その地域の大气汚染の影響がどの材料に対してどの程度大きいかを知る基礎となる。

表 5.3.1 被害を与える大気汚染物質に対する感受性

材 料	銀	銅	青銅	黄銅	鉄	鋼	スズ	鉛	ハンダ	ニッケル	珪酸	石	高分子	塗料	紙	写真	繊維
水	L	L	L	L	H	H	L	L		N	L	L	N	N	H	L	N
二酸化炭素	L	L	L		M	M		M		L							
アンモニア	M	M	L	L	M	M	L	L	N	N	L						
窒素酸化物	N								M	M	M	L			L	M	
硫化水素	H	H	M	L	N	M	N	L	H	N	L			L		M	
硫化カルボニル	H	H															
イオウ酸化物	L	L	L	L	H	H	N	L	H	M	L	H		M	M	M	M
塩化水素	L	L	L	L	H	H	L	L		L	L	L					
ホルムアルデヒド		L			L	N					N						
有機酸	N	M	M	L	H	L	L	H									L
オゾン	M	M								M		M	H	M		L	L
過酸化水素					L						L						L

H=高, M=中, L=低, N=無, 空欄=データなし

SO₂による大気汚染が大きな問題であった昭和30-40年代に日本各地で実施された陸上鉄骨構造物防食研究会の調査結果を図 5.3.1 に示す²⁾。最も高濃度の大气汚染地帯であった川崎の鋼の腐食速度が最も大きく、内陸部の高山の約10倍を示した。このデータを見ても大気汚染が材料の腐食をいかに加速していたかを知ることができる。

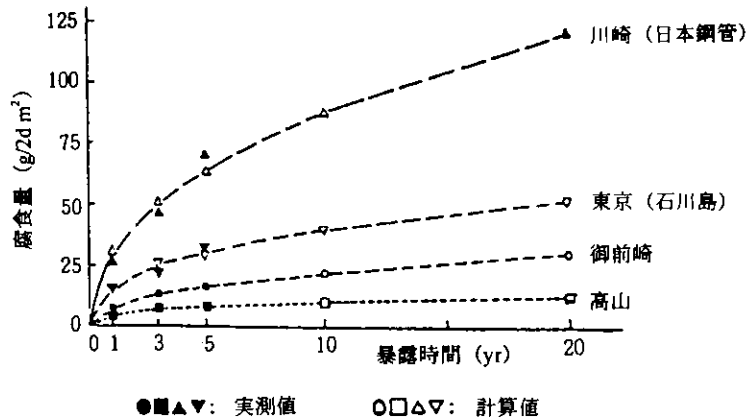


図 5.3.1 キルド鋼の計算値による腐食量

銅の腐食速度と大気汚染との関係を調査した例として、アメリカ東部での屋外の銅の緑錆の発生年を年代別に調査した結果がまとめられている³⁾。その結果を図 5.3.2 に示す。図 5.3.2 から大気汚染の進行とともに、銅の腐食も早まったことが認められる。

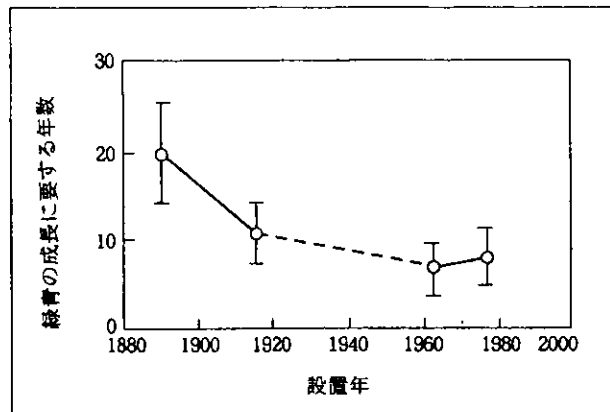


図 5.3.2 米国東部に各年度に設置された銅の表面に緑青が成長するのに要する年数

逆に、材料の腐食速度から大気汚染の程度をランク分けしている例もある。ISO の材料別のランク分けを表 5.3.2~5.3.4 に示す⁴⁾。表 5.3.2 は腐食に影響する主要な環境因子のカテゴリ分類である。表 5.3.3 は材料別の腐食速度を示したものであるが、腐食性カテゴリのランクが同一範囲の場合、材料では鋼の腐食速度が最も大きく、ついで亜鉛、銅、一番小さいのはアルミニウムであった。現在の日本各地の鋼の腐食速度は腐食カテゴリでは低い範囲にはいる。表 5.3.4 は材料別に環境因子と腐食速度との関係をカテゴリ別に示したものである。例えばアルミニウムは S₃ でかなり腐食速度が高いことが分かる。

表 5.3.2 主要環境因子のカテゴリー分類

ぬれ時間		SO ₂ 汚染量			海塩粒子量	
記号	h/y	記号	mg/(m ² ·d)	μ g/m ³	記号	Cl ⁻ ·mg/(m ² ·d)
τ ₁	≤10	P ₀	≤10	≤12	S ₀	≤3 (5)
τ ₂	>10~250	P ₁	>10~35	>12~40	S ₁	>3~60 (99)
τ ₃	>250~2,500	P ₂	>35~80	>40~90	S ₂	>60~300 (495)
τ ₄	>2,500~5,500	P ₃	>80~200	>90~250	S ₃	>300~1,500 (2473)
τ ₅	>5,500					

注：（ ）内の数値は NaCl·mg/m²·d

表 5.3.3 大気暴露・最初の1年の腐食速度 (r_{corr})

腐食性 分類記号	金属の腐食速度 (r _{corr})				
	単位	炭素鋼	Zn	Cu	Al
C ₁	g/(m ² ·y)	≤10	≤0.7	≤0.9	Negligible
	μ m/y	≤1.3	≤0.1	≤0.1	-
C ₂	g/(m ² ·y)	>10~200	>0.7~5	>0.9~5	≤0.6
	μ m/y	>1.3~25	>0.1~0.7	>0.1~0.6	-
C ₃	g/(m ² ·y)	>200~400	>5~15	>5~12	>0.6~2
	μ m/y	>25~50	>0.7~2.1	>0.6~1.3	-
C ₄	g/(m ² ·y)	>400~650	>15~30	>12~25	>2~5
	μ m/y	>50~80	>2.1~4.2	>1.3~2.8	-
C ₅	g/(m ² ·y)	>650~1,500	>30~60	>25~50	>5~10
	μ m/y	>80~200	>4.2~8.4	>2.8~5.6	-

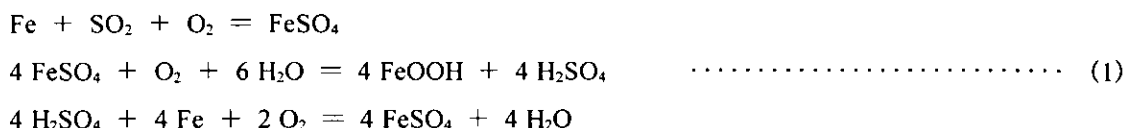
表 5.3.4 環境因子レベルによる大気の腐食性カテゴリーの推定

金属	炭素鋼			Zn and Cu			Al		
	P ₀ -P ₁	P ₂	P ₃	P ₀ -P ₁	P ₂	P ₃	P ₀ -P ₁	P ₂	P ₃
τ ₁	S ₀ -S ₁	C ₁	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁
	S ₂	C ₁	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₁	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₂ or C ₃
	S ₃	C ₁ or C ₂	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₂	C ₂ or C ₃
τ ₂	S ₀ -S ₁	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₁	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₁	C ₁ or C ₂
	S ₂	C ₂	C ₂ or C ₃	C ₃	C ₁ or C ₂	C ₂	C ₃	C ₂ or C ₃	C ₃ or C ₄
	S ₃	C ₃ or C ₄	C ₃ or C ₄	C ₄	C ₃	C ₃	C ₃ or C ₄	C ₄	C ₄
τ ₃	S ₀ -S ₁	C ₂ or C ₃	C ₃ or C ₄	C ₄	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃ or C ₄
	S ₂	C ₃ or C ₄	C ₄ or C ₅	C ₅	C ₃	C ₃ or C ₄	C ₃ or C ₄	C ₃ or C ₄	C ₄ or C ₅
	S ₃	C ₄	C ₄ or C ₅	C ₅	C ₃ or C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄ or C ₅
τ ₄	S ₀ -S ₁	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃ or C ₄	C ₄ or C ₅	C ₃	C ₃ or C ₄
	S ₂	C ₄	C ₄	C ₅	C ₄	C ₄	C ₅	C ₃ or C ₄	C ₄
	S ₃	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅
τ ₅	S ₀ -S ₁	C ₃ or C ₄	C ₅	C ₅ or C ₄	C ₄ or C ₅	C ₅	C ₄	C ₄ or C ₅	C ₅
	S ₂	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅
	S ₃	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₅

5.3.3 大気汚染の影響のメカニズム

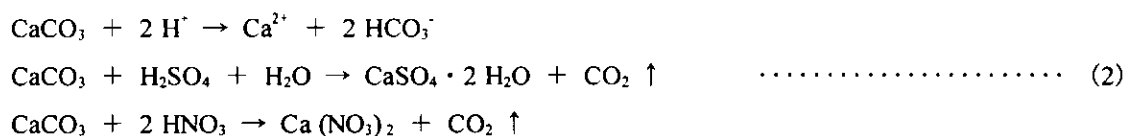
大気汚染が材料の劣化を促進する代表的な例としてSO₂の鋼の腐食への寄与を化学量論的に明らかにした Schikorr の反応式がある⁵⁾。

ここでの反応式を (1) 式に示す。



この機構は auto-catalytic といわれ、反応はくりかえし FeOOH を生成し、腐食が進行することになる。大理石に対しては大気中の酸性物質が次のように作用して劣化を進める。

大気中の SO₂、NO₂は大気中で酸化され、SO₄²⁻、NO₃⁻となり、降水を酸性化し、酸性雨をもたらす。酸性雨は (2) 式に示すように大理石に作用し、劣化を促進する。



また、他の金属材料に対しても大気汚染がその劣化を促進している。

5.3.4 おわりに

材料、文化財への大気汚染影響は複雑でその調査方法は調査対象が非常に多岐にわたっているため標準化は困難であるが、調査に共通する必要な要件を予め明らかにし、検討しておくことは今後の調査結果を総合的に有効活用し大気汚染対策に役立てるために重要である。

5.4 視程低下

5.4.1 はじめに

視程が低下する事により通常の状態に比べて回りの景色がはっきり見えにくくなる。人々は大気汚染が発生している事を先ず視程の低下により直感する。視程の低下は霧などの気象条件によるものもあるが、ここでは大気汚染による視程低下の問題を取り上げる。

5.4.2 視程低下の原因

空気分子による散乱、水蒸気や大気汚染物質による吸収、エアロゾルによる吸収と散乱などにより太陽からの光は減衰する。大気汚染による視程低下の主な原因は大気中にあるエアロゾルとガスであるが、その時の光の強さや分布、対象となる物の光学的な特性、湿度などの大気の状態によって視程の状況は大きく異なる。大気汚染が激しくなると大気に色がついたような状態になるが、汚染の種類によってその色は異なる。石炭燃焼などの煤煙による大気汚染の時には黒い色となり、光化学大気汚染の場合には白っぽい色となる。

(1) 消散係数 : extinction coefficient: (b_{ext})

視程目標からの光 (I_0) が距離 (x) 離れた人の目にとどく時の光の強さを (I) とすると、Lambertの法則により、(1) 式が成立する。

$$I = I_0 [Exp(-b_{ext})]^x \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここでは b_{ext} 消散係数と呼ばれ (2) 式が得られる。単位は m^{-1} である。

$$b_{ext} = -\frac{\ln I_0}{x} \quad \dots\dots\dots (2)$$

大気汚染による視程低下の主要な要因は光の散乱と吸収であるので消散係数 b_{ext} は (3) 式のように以下の四つの部分に分解される。すなわち大気中のガスによる散乱 : b_{gs} (これは一般にはレーリー散乱と呼ばれている)、大気中の粒子状物質による散乱 : b_{sp} (大気中の微少粒子による散乱は一般にはミー散乱と呼ばれている)、大気中のガスによる吸収 : b_{ag} 大気中の粒子状物質による吸収 : b_{ap} である。

$$b_{ext} = b_{gs} + b_{sp} + b_{ag} + b_{ap} \quad \dots\dots\dots (3)$$

この中でも大気中の粒子状物質による散乱 : b_{sp} が視程低下にとって重要である。大気中の粒子状物質はその粒径により光学的な特性が大きく異なる。光の波長に比べて粒径が 10 倍以上になると光の屈

折が起こる。空中の水滴による虹が、その代表的な現象である。これに対して光の波長と粒径が同程度の大きさの場合には散乱が主体となる。太陽光の平均波長は0.52 μm 程度なので粒径が0.1から10 μm 程度の微小粒子によるミー散乱が視程の低下に最も大きな影響をおよぼす。

(2) 識別限界値：日中の状態での実験室での結果によれば人が識別出来るコントラストの閾値 (threshold contrast value) は $\frac{I}{I_0} = 0.018 \sim 0.03$ である。平均的な値として0.02を(2)式に代入すると

(4) 式が得られる。これは Koschmeider の式と呼ばれている。

$$b_{\text{ext}} = \frac{3.912}{x} \dots\dots\dots (4)$$

視程 (x) が10 kmの時には消散係数 b_{ext} は $3.91 \times 10^{-4} (\text{m}^{-1})$ となり、視程が1 kmときには $3.91 \times 10^{-3} (\text{m}^{-1})$ となる。一方空気中に汚染物質が全く無い状態の大気は理想大気状態と呼ばれており、空気分子によるレーリー散乱のみが影響する。この時の海拔高度0 mでの消散係数は約 $13.2 \times 10^{-6} (\text{m}^{-1})$ であり識別限界距離で296 kmとなる。ちなみに高度3 kmでは、約403 kmとなる。

視程と大気汚染濃度との関連性に関する最近の研究は少ないが、概略の目安としては大気中の浮遊粒子状物質の濃度が1 m^3 あたり約0.12 mgを越えると視程は10 km以下、約0.24 mgを越えると5 km以下、約1.2 mgを越えると視程は1 km以下となる。しかしこの値は粒子組成や気象条件により異なる。

(3) 視程低下と大気汚染物質

視程低下に影響を及ぼす大気汚染物質は、その地域における発生源の特徴や季節により大きく異なる。視程はまた気象条件とも密接な関係がある。冬季の早朝などのような、接地逆転が発生し風が弱い時には、大気の拡散能力が低下するため大気汚染濃度が高くなり、視程は悪くなる。日中になり逆転層が解消されるとともに視程が回復する場合が多い。一方夏季の光化学大気汚染の場合には二次生成粒子状物質が反応の進行とともに生成するため、日中から午後にかけて視程が低下する。この汚染気塊が海陸風の局地風により内陸地域に運ばれ視程の悪い地域もこれとともに移動する現象がしばしば観測される。ロスアンゼルスにおける測定結果では夏季に視程の低下が見られる場合には、そうでない日と比べて0.1-1.0 μm の粒径の粒子状物質が顕著に増加している事が明らかにされている。

Seinfeld (1986) は視程に関するアメリカでの幾つかの観測結果を取りまとめて以下の見解を示している。1. 視程の低下の60-95%は粒子状物質の光散乱によるものである。2. サルフェートは常に最も重要な光散乱物質である。ついで有機炭素粒子が重要である。ナイトレートはある地域においては、重要であろう。3. すず粒子による光の吸収は視程の低下の5-40%の原因となる。4. 二酸化窒素は火力発電所の排煙の場合以外はあまり視程の低下の原因とはならない。5. 大気浮遊粒子状物質の内、すず粒子の単位体積あたりの視程の低下能はサルフェート、ナイトレート、有機炭素粒子の3倍である。

5.4.3 視程の測定

視程の測定は一般には目視により行う。具体的には測定する場所から各方位に距離のわかっている

建物や山などの目標物をあらかじめ決めておき、これを目視して視程を測定する。目標物の設定にあたっては、出来るだけ空などの白っぽいものが背景となっており、それ自体の色が白色ではなく適度の大きさを持っていることが望ましいとされている。これらの目標物がやっと識別できる時の距離が視程である。夜間の視程の測定は難しいが、距離が既知の場所にあつて光度が分かっている集光されていない光を目標とする事もある。また夜空を背景とする山の輪郭なども目標物として利用される。同一地点でも観測の方向により、最大視程、最小視程、平均視程、卓越視程などの値が異なる。観測地点からの視程値が地平円の全方位のうち 180 度以上の範囲に適用される最大水平視程を卓越視程 (prevailing visibility) と言う。この時、範囲は必ずしも隣り合っている必要はない。具体的には、視程の大きい扇形から順に角度の大きさを合計し、その値が 180 度以上になる最初の扇形部における視程を用いる。以上は目視による方法であるが、視程が特に安全面で重要な空港においては、トランスミッシオメーター (transmissometer) が利用されている。これは、地上 3 m の高さから水平に投光しこれを 150 m 程度離れた場所で受光する事により、この間の視程をもとめる装置である。現在は、10 m から 100 km の範囲での測定も可能な装置が作られている。

5.4.4 視程低下の影響

視程低下は景観の悪化などの生活環境質の低下をもたらすばかりではなく、観光地においては、美しい景色が損なわれる事により観光客が減少し、地域経済に損失を及ぼす。また視程が低下すると有視界飛行の発着が出来なくなる為、経済的な被害が発生する。特に個人所有の航空機が多いアメリカでは大きな問題となっている。飛行機の飛行方式には計器飛行方式 (IFR ; Instrument flight rule) と、有視界飛行方式 (VFR ; visual flight rule) とがある。一般には地上視程が 5 km 以上で雲高が 300 m 以上であれば有視界気象状態 : VMC (VFR meteorological condition) となり VFR が可能である。しかしこれ以外の場合には計器飛行気象状態 : IMC (IFR meteorological condition) となり VFR が認められない。視程が悪い地域では VFR の為の特別な装備とパイロットの証明が新たに必要となり社会的コストの追加を余儀なくされる。さらに視程が極端に悪化すると交通事故の発生率が増加する。陸上では視程が約 100 m 未満になると交通事故、航空機事故などが、また海上では視程が約 1 km 未満になると海難事故が発生しやすくなると言われている。

5.5 感覚への影響（嗅覚）

5.5.1 嗅覚

人間は外界からの情報入手手段として、視覚、聴覚、嗅覚、触覚、味覚のいわゆる5感を持っている。これらのうち、嗅覚は何のにおいかを認知する働きがあり、味覚とともに化学感覚といわれるものである。また、嗅覚はある限られた化学物質（臭気物質）にのみ反応する機能を持っている。人間は主として視聴覚に頼って生活しているため、視覚と聴覚は発達しているが、これに比べると嗅覚は原始的な感覚とされている。

食物の腐敗臭や物の焦げるにおい等は、危険なことが起こる前触れの情報を得る目的を持っている。一方、香水、化粧品、フレーバ等にみられる芳香については、個人が生活を送る上では、情緒豊かな生活を送るために必要な感覚であり、嗅覚がなくなった場合を考えるとその重要性に気がつく。

空気中に浮遊するにおいは、吸気とともに鼻腔に入り、鼻内気流によって鼻腔の天井の部分にある嗅粘膜部に到着し、嗅粘膜を覆う粘液の中にとけ込む。嗅粘膜の中には感覚受容細胞である嗅細胞を中心に嗅腺（Bowman腺）などがある。嗅細胞からは嗅腺毛が粘液中に長く伸びており、嗅細胞の先端部（嗅小胞）も粘膜中に突出している。粘液中に飛び込んだにおい分子は、嗅腺毛・嗅小胞にぶつかり、細胞の膜の興奮を起こし、嗅細胞にインパルス（電気信号）を発生させると考えられる。嗅細胞を出た嗅神経は、直接嗅覚の第一次嗅中枢である嗅球に入る。さらに大脳皮質へと刺激は伝達され何のにおいであるかが認知される¹⁾。（図5.5.1参照）

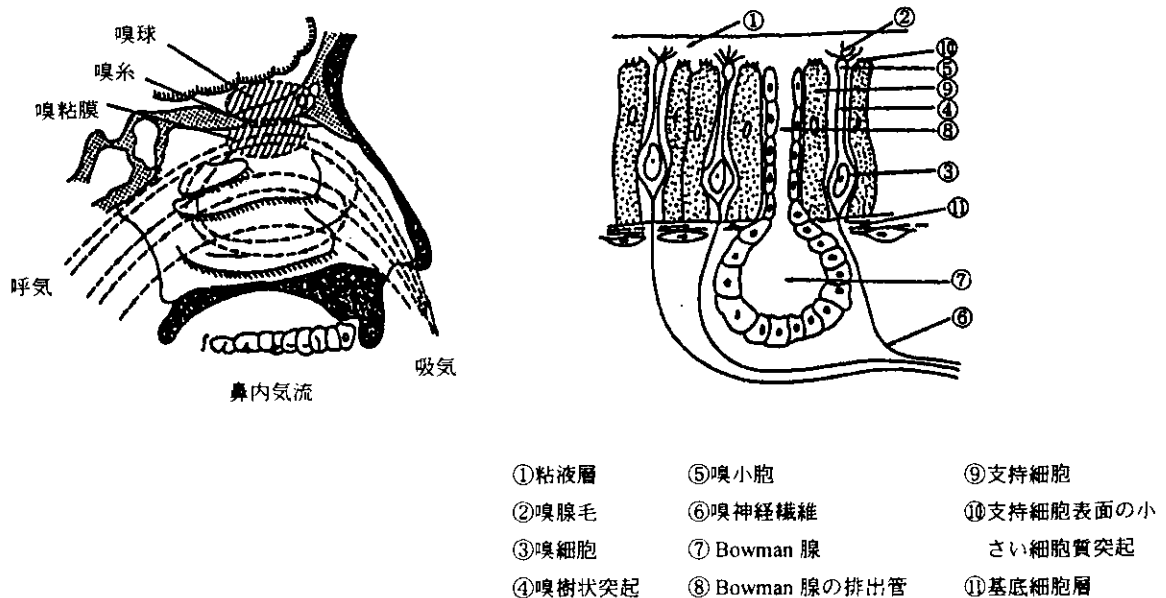


図 5.5.1 鼻内気流及び嗅粘膜の微小構造¹⁾

5.5.2 嗅覚の特質

嗅覚の特性として、敏感な感覚であることを挙げるができる。人間の嗅覚は、犬などと比べるとかなり劣るが、その検知能力（嗅覚閾値）は多くの物質において、現在の分析機器の検出限界よりも優れた感度を示している（表 5.5.1²⁾ 参照）。

においの物質濃度と嗅覚刺激の強さとの間には、(1) 式で示せるウェーバー（独の精神物理学者）・フェヒナー（独の心理学者）の法則（Weber-Fechner の法則）が知られており、感覚の強さは刺激の強さ（物質濃度）の対数に比例する事を示している。

$$R = k \log S \quad (R: \text{感覚の強さ}, k: \text{定数}, S: \text{刺激の強さ}) \dots\dots\dots (1)$$

すなわち、刺激の強さが 10 倍になっても、人間の感覚量は 2 倍にしか感じないことを表わしている。日本の悪臭防止法で規制対象となっている特定悪臭物質等について、物質濃度（刺激の強さ）と 6 段階臭気強度（感覚の強さ）の関係が報告されている。（表 5.5.2 参照）。

同一の臭気を数分間嗅でいると、その嗅覚の強さは著しく減少し、やがてはその臭気をまったく感じなくなってしまう。嗅覚刺激が大きければ大きいほど、また長時間であればあるほど、嗅覚疲労が大きく、またにおいの質によってその程度に違いがある。嗅覚疲労が大きい物質としては、アクロレイン等の刺激臭があり、逆に疲労を起こしにくい物質としては、メチルメルカプタン、トリメチルアミン、イソ吉草酸等の悪臭物質が知られている。

色について、色盲、色弱があるように、においについても嗅盲、嗅弱が見いだされている。他のおいに関しては普通の嗅覚を持っているが、ある特定のにおいに対してだけ感じないか、或いは著しく感度が低い現象を、特異的無嗅覚症（Specific Anosmia）と呼んでいる。たとえば、青酸のにおいを感じない人が、白人で、男性 18.2%、女性 4.5% 見いだされている。

嗅覚機能は、種々の疾患に罹患した際に影響を受ける。慢性副鼻腔炎（蓄膿症）、アレルギー性鼻炎、鼻茸などの鼻の疾患に依って起こることがもっとも多く、その他頭部外傷、薬の副作用、ウイルス感染等で起こることがあり、全くにおいの感覚を失った場合を嗅覚脱失といい、正常に比べ弱くなった状態を嗅覚減退という。このような嗅覚障害は、嗅覚器官が障害されることにより起こる。

5.5.3 においの生理的機能に及ぼす影響^{1) 3)}

嗅覚は精神面とのかかわり合いが大きく、また個人差が大きい。人間を始め多くの動物は悪臭を感じると反射的に悪臭からの忌避行動を起こす。これは本能的な危険予知の情報であり、危険からの回避の構えである。人間が危険に対する構えとして、無意識のうちに自律神経の交感神経機能亢進が起こる。刺激臭を含んだ悪臭に対して、大変驚愕するわけであるが、不快に感じる刺激を連続して受けるとこれに近い状態が作られる。すなわち、悪臭を感じると大変不快な気分となる。不快な気分は無意識のうちに交感神経の緊張を起こす。交感神経の緊張状態は、脈拍数の増加、血圧の上昇など全身の臓器に何らかの影響を与える。悪臭による刺激が短時間であれば交感神経の緊張状態も刺激の消失とともに正常に復帰するが、刺激が長時間あるいは短時間でも頻繁に繰り返される場合には交感神

経の緊張状態が持続し、自律神経失調の状態となる。

よいにおいをかぐと呼吸が深くなるが、さらに強いにおいをかぐと呼吸を反射的に止める。薄いにおいから徐々ににおいの濃度を高めていくと、初めは呼吸数の増加が起こるが、更に濃度を高くすると悪臭と感じるようになり、呼吸数と呼吸の深さが減少する。この呼吸の変化はにおいの情報が呼吸中枢に作用したためである。良いにおいをかいだ場合に深く呼吸をすると同時に血圧に変化が起こり、気が静まる。ストレスの軽減にアップルやスパイシーフローラルなにおいやナツメグ、メース、ネロリ及び吉草根のにおいが役立つことの報告もある。また、動物実験では、アンモニアやクロロホルムのような刺激臭の場合、薄い場合は血圧はいったん下がるが、その後上昇する現象がみられる。

食物を食べるばあい、良いにおいの食物に対しては食欲が高まり、悪いにおいのある食物に対しては食が進まず、時には吐き気を感じたり嘔吐することがある。動物実験では好ましいにおいの餌は、著しく食餌量を増加させる。つまり食物ににおいを付加することによって摂食中枢の機能を亢進させることにより、食餌量は増加する。

その他動物では生殖器系への影響がみられる。動物の発情周期はにおいにより大きな影響を受ける。その他のにおいの影響としては睡眠への影響と精神的影響が考えられる。不快なにおいが睡眠を妨げる原因となるとの報告がある。

5.5.4 においの効用とその利用

昔から人々は、咲く花のにおいを嗅いで心を和ませたり、森林浴で心を落ち着けたりして、においにより気分が変わることが経験されている。人間は有史以前より、においを利用してきた様子が見られ、古代エジプトでは、すでに香料物質をミイラ作成時に用いており、また旧約聖書で香薬の調合の記録が載っている。また、日本では「香合せ」や「香道」が考え出され、また、衣類に「香」を焚きためたり、室内に「香」を焚いて客をもてなすという習慣が生まれていた。

現在、香料は食品、化粧品、飼料、家庭用品、その他の工業用途等の多くの分野で用いられており、その機能として、抗菌、抗酸化、消臭、マスキング、生理及び心理作用の機能を持っている。また、最近になり香りハンカチ、香りネクタイ等の香りグッズ等が販売されるようになってきた。その他住環境に香りを取り入れる傾向が出現し、室内芳香剤や空調システムへの組み込み等に現れている。このような住環境への香りの導入には、アロマコロジー (Aromachology) という考え方が存在している。

香りの持つ様々な心理的・生理的効果を利用して疾病の治療や生活に役立てようとする試みは、古くからヨーロッパにあったが、フランスの比較病理学者 Gattefosse はハーブや芳香生薬中の精油を利用するアロマテラピー (Aromatherapy) を考案した。これは内服、塗布、注射等の従来の治療法でなく、吸入、鼻腔内への直接噴霧等により治療する、香りによる心理療法である。この方法は、嗅覚的刺激により誘発された薬物的反応のみならず、快、不快、興奮、鎮静等の心理的効果が期待され、心身症の治療に有効な治療法であると認められるようになってきた。

一方、においの嗅覚刺激によりおこる生理ないしは心理的な変化を利用し、におい・香料を健常人の日常生活に用い、快適な生活を目指す研究が行われ、これに対して前記のアロマコロジーという言葉が使用されている⁴⁾。

表 5.5.2 悪臭物質濃度と臭気強度の関係

臭気物質	1	2	2.5	3	3.5	4	5
アンモニア	0.1	0.6	1	2	5	10	40
メチルメルカプタン	0.0001	0.0007	0.002	0.004	0.01	0.03	0.2
硫化水素	0.0005	0.006	0.02	0.06	0.2	0.7	8
硫化メチル	0.0001	0.002	0.01	0.05	0.2	0.8	2
二硫化メチル	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.1	0.3	3
トリメチルアミン	0.0001	0.001	0.005	0.02	0.07	0.2	3
スチレン	0.03	0.2	0.4	0.8	2	4	20
プロピオン酸	0.002	0.01	0.03	0.07	0.2	0.4	2
n-酪酸	0.00007	0.0004	0.001	0.002	0.006	0.02	0.09
n-吉草酸	0.0001	0.0005	0.0009	0.002	0.004	0.008	0.04
イソ吉草酸	0.00005	0.0004	0.001	0.004	0.01	0.03	0.3
トルエン	0.9	5	10	30	60	1*10 ²	7*10 ²
キシレン	0.1	0.5	1	2	5	10	50
酢酸エチル	0.3	1	3	7	20	40	2*10 ²
メチルイソブチルケトン	0.2	0.7	1	3	6	10	50
イソブタノール	0.01	0.2	0.9	4	20	70	1*10 ³
アセトアルデヒド	0.002	0.01	0.05	0.1	0.5	1	10
プロピオンアルデヒド	0.002	0.02	0.05	0.1	0.5	1	10
n-ブチルアルデヒド	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.08	0.3	2
イソブチルアルデヒド	0.0009	0.008	0.02	0.07	0.2	0.6	5
n-ペンチルアルデヒド	0.0007	0.004	0.009	0.02	0.05	0.1	0.6
イソペンチルアルデヒド	0.0002	0.001	0.003	0.006	0.01	0.03	0.2

(5.1) 引用文献

- 1) London County Council: Report of the County Medical Officer of Health and School Medical Officer for the year 1952, 157, The County Hall, Westminster Bridge, S.E.1., (1953)
- 2) 吉田克巳; 四日市の大気汚染と「四日市ぜんそく」について, 労働の科学, 19, 15 (1964)
- 3) 吉田克巳; 四日市の公害問題—四日市判決に関連して, 労働の科学, 28, 4-7 (1972)
- 4) J. Schwartz: Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology*, 7, 20-28, (1996)
- 5) D.L.V. Hammer et al.: Los Angeles student nurse study, Daily Symptom reporting and photochemical oxidants, *Arch. Environ. Health* 28, 255-260, (1974)
- 6) Makino, K. et al.: A study on the threshold of acute effects caused by photochemical oxidants. *Proceeding of 4th Inter. Clean Air Congress*, 27-32, (1977)
- 7) M.D. Lebowitz et al.: The effects of air pollution and weather on lung function in exercising children and adolescents. *Am. Rev. Respir. Dis.* 109, 262-273, (1974)
- 8) 中央公害対策審議会専門委員会; 窒素酸化物等に係る環境基準についての専門委員会報告, 大気汚染研究, 7, 151-155, (1972)
- 9) 環境庁大気保全局; 大気汚染健康影響継続観察調査報告 (1991)

(5.2) 参考文献

- 1) 山添文雄; 環境汚染と農業, 種類・影響・検定・対策 博友社, 東京 (1975)
- 2) A. Furukawa et al; Interspecific difference in resistance to sulfur dioxide. *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.11, 113-126 (1980)
- 3) J. H. Bennett and A. C. Hill; Acute inhibition of apparent photosynthesis by phytotoxic air pollutants., *Am. Chem. Soc. Symposium Ser. 3, Air Pollution Effects on Plant Growth*. P.115-127 (1974)
- 4) 藤原喬; 低濃度域二酸化イオウによる植物の障害発現とその診断に関する研究, 電中研農電研報告, 研究報告: 74401 (1974)
- 5) 戸塚績; 植物の生長におよぼす二酸化イオウの影響, 国公研研究報告 No.10, 317-332 (1979)
- 6) T.W. Ashenden; The effects of long-term exposures to SO₂ and NO₂ pollution on the growth of *Dactylis glomerata* L. and *Poa pratensis* L., *Environ. Pollut.*, 18, 249-258 (1979)
- 7) O. C. Taylor and F. A. Eaton; Suppression of plant growth by nitrogen dioxide, *Plant Physiol.*, 41 (1), 132-135 (1966)
- 8) 植物環境技研; 人工ガス接触法による農作物の光化学オキシダント被害の計測に関する研究, 昭和55年度研究報告, 電中研・生物環境技研, 1-8 (1981)
- 9) C.R. Thompson and G. Kats; Effects of ambient concentrations of peroxyacetyl nitrate on navel orange trees, *Environ. Sci. Technol.*, 9, 35-38 (1975)
- 10) R. F. Brewer et al.; The effects of hydrogen fluoride gas on seven citrus varieties, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 75, 236-243 (1960)
- 11) M.R. Pack; Effects of HF on production and organic reserves of bean seed. *Environ. Sci. Tech.*, 5, 1128-1132 (1971)
- 12) D.C. MacLean et al.; Accumulation of fluoride by forage crops. *Contrib. Boyce Thompson Inst.*, 24, 165-166 (1969)

(5.3) 引用文献

- 1) Graedel, T.E. and McGill, R., : Degradation of materials in the atmosphere. Environ. Sci. Technol., 20, 1093-1100 (1986)
- 2) 堀川一男, 滝口周一郎, 大久保秀世, 石津善雄, 金指元計 ; 各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究 (第5報) , 防食技術, 16, 153-158 (1967)
- 3) Graedel, T. E., ; Copper patinas formed in the atmosphere -1. Introduction, Corrosion Science, 27, 639-657 (1987)
- 4) 外川靖人 ; 大気腐食性の分類システムに関する国際共同暴露試験 (ISOCORRAG) について, 防錆管理, 37, 55-66 (1993)
- 5) 久松敬弘 ; 錆層をもつ鋼の大気腐食, 防食技術, 20, 207-212 (1971)

(5.4) 参考文献

- 1) John H. Seinfeld; Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-82857-2 (1986)
- 2) Chilson, R. J. et al.; The direct measurement of atmospheric light scattering coefficient for studies of visibility and pollution. Atmospheric Environment, 1, 469-478 (1967)

(5.5) 引用文献

- 1) 悪臭法令研究会 ; 新訂ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい (1996)
- 2) 永田好男, 竹内教文 ; 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日本環境衛生センター所報, 17, 77-89 (1990)
- 3) 高木貞敬, 渋谷達明 ; 匂いの化学, 朝倉書店 (1996)
- 4) 川崎通昭 ; 住まいとにおい(2), 臭気の研究, 25, 227-233 (1994)

第6章 大気汚染物質発生源概要

6.1 固定燃焼施設

6.1.1 概説

燃焼とは、光と熱をともなう急激な酸化反応であり、発生熱を経済的に利用出来る可燃物を燃料といい¹⁾ 石炭、コークス等固体燃料、重油、軽油等液体燃料、天然ガス、石油ガス等気体燃料に分類され固定燃焼施設は自動車とともに主要大気汚染物質発生源である。(1)式のように炭素 12 kg が燃焼し二酸化炭素 22.4 m_N³を生じ(2)式のように水素 4 kg は 2 × 22.4 m_N³の水蒸気を生じる。このように燃料構成元素量と燃焼所要空気量、燃焼生成排ガス量には理論的關係があり理論的に燃焼に必要な空気量を理論空気量、発生する排ガス量を理論燃焼ガス量という。



例えば炭素 87%、水素 12%、硫黄 1%なる組成の重油 1 kg を燃焼するのに必要とする理論空気量と理論燃焼ガス量を求めると炭素 12 kg を燃焼するに要する酸素は 22.4 m_N³であり、この結果同体積の排ガスが生成するからこの 1 kg の重油中の 0.87 kg の炭素を燃焼するに必要な酸素の体積は 22.4 × 0.87/12 = 1.624 m_N³であって同体積の排ガスすなわち二酸化炭素が発生する。さらに水素は 0.12 kg 含有しているのでこの燃焼に要する酸素の体積は 22.4 × 0.12/4 = 0.672 m_N³であり、その倍の 1.344 m_N³の水蒸気を生成する。また硫黄の分子量は 32 だから 32 kg の硫黄が 22.4 m_N³の酸素と反応し同体積の二酸化硫黄を発生するので重油中の 0.01 kg の硫黄燃焼に必要な酸素の体積は 22.4 × 0.01/32 = 0.007 m_N³であって同体積の二酸化硫黄を生成する。そこでこの燃焼に必要な酸素の体積を求めると 1.624 + 0.672 + 0.007 = 2.303 m_N³となりこれを空気量に換算すると空気中の酸素を 21%として、2.303 × 1/0.21 = 10.97 ≒ 11 m_N³でこれが理論空気量である。また理論燃焼ガス量としては生成ガス 1.624 + 1.344 + 0.007 = 2.975 m_N³に燃焼反応にあずからない窒素体積 2.303 × 0.79/0.21 = 8.66 m_N³が加わるので 2.975 + 8.66 = 11.635 m_N³となる。これは水分を含む湿り理論燃焼ガス量で乾き理論燃焼ガス量はこれから水蒸気発生量を差し引いた 11.635 - 1.344 = 10.291 m_N³となる。一般に燃焼には理論空気量より多量の空気を必要とし実際使用した空気量と理論空気量との比を空気比と呼びこの値が 1 に近い程燃焼は理想的となる。なお理論空気量は例えば燃料油ではほぼ 10~13 m_N³/kg で 1 dl の燃料油燃焼には 1~1.3 m_N³の空気を要する。

燃料発熱量は燃料で相違し石炭で 4,500~8,000 Kcal/kg、灯油、ガソリン 11,000~11,500 Kcal/kg 等の値をとる。さて燃焼には燃料と空気補給、両者の混合を要し燃焼温度を保つ燃焼場が不可欠である。だがこれだけでは燃焼は進まず生成する燃焼熱及び燃焼排ガスを燃焼場から取り除かなければ停止する。そこで燃焼炉が用いられ熱を利用し排ガスを煙突から大気中に排出し大気汚染問題を提起した。

6.1.2 主要大気汚染物質の発生

(1) 硫黄酸化物²⁾

高分子硫黄有機化合物として原油中に存在する硫黄は精油過程で大部分重油に移り水素化脱硫技術で脱硫されるものの重油に残存し、硫黄は燃焼施設の火炎中で酸化され二酸化硫黄となり、一部は無水硫酸として排ガス中に入りともに大気中に排出される。また、石炭中にも鉄の硫化物、有機硫黄化合物または石膏として硫黄は存在し燃焼すると前二者は硫黄酸化物になり一部は石炭灰に残留する。

(2) 煤塵²⁾

石炭には無機化合物を含み燃焼で灰になり一部は燃焼排ガス中に入る。特に微粉炭燃焼で発生する細かいフライアッシュは人々に注目された。原油中にも無機化合物はわずかに存在し燃焼すると灰になる。燃焼過程では煤も生成し人々に注目された黒煙の原因となった。煤には燃焼過程で生成する可燃ガス成分が気相状態で燃焼する場合に生成するスート (soot)、燃料油滴が炉内で熱分解し重合・縮合反応して残留した炭素質である残炭形セノスフェア (cenosphere) 等があり、スートは球状で粒径 0.02 ~ 0.05 μm で微細だが、セノスフェアはほぼ球径で表面に凹凸を有し粒径は 10 ~ 300 μm 程度である。煤の化学組成は炭素質と一般に思われているが、これは $\text{C}_{60}\text{H}_{16}$ 程度の炭化水素の複雑な集合体で多くの縮合多環炭化水素を含有している。煤の発生機構は複雑でガス燃焼の場合炭化水素の脱水素、熱分解、重合、不飽和結合、芳香族環生成を経て煤が出来るといわれ、液体噴霧燃焼では油滴内部で熱分解が進みタール状となり、高位炭化水素が生成しガス成分を放出しつつ残炭形煤となる。

(3) 一酸化炭素

一酸化炭素は燃料の不完全燃焼で生じガス製造業、製鉄業、カルボニル化合物製造業などから排出される恐れがある。

(4) 窒素化合物²⁾

空気は酸素 1 容と窒素 4 容の混合気体で、燃焼に際し両者は主に火炎中で反応して窒素酸化物を生成し大気汚染物質としては注目されている。また、燃料中にはアニリン、キノリン等の窒素分が含まれこれも窒素酸化物生成原因となる。なお前者 (サーマル NO_x) より後 (フューエル NO_x) の方が生成速度は速い。

またフロン同様成層圏オゾン層を破壊する亜酸化窒素 (N_2O) が石炭流動層ボイラや汚泥燃焼施設など窒素分が多い燃料を低温燃焼する施設で発生する。

(5) ダイオキシン

燃焼過程でのダイオキシンの発生機構は複雑で、完全に解明されていないが、一般廃棄物 (ごみ) 焼却炉、産業廃棄物焼却炉での排出が課題となっている。

(6) その他汚染物質

燃焼過程で発生する大気汚染物質は燃料、燃焼施設、燃焼機器等の相違でその種類と排出量が相違

する。以上のもの以外にも特に石炭燃焼や廃棄物焼却、ガラス炉など燃焼の場に工業原料などを添加する燃焼炉からは重金属、多環芳香族炭化水素など種々の大気汚染物質が排出する場合がある。

6.1.3 火力発電所³⁾

(1) 概要

火力発電所は文明を支える重要施設だが大気汚染をもたらした。火力発電技術には化石燃料燃焼によってボイラで発生させた高圧蒸気で蒸気タービンを回転し発電機で電力に得る汽力発電所と動力源として内燃機関を用いるものとこれらの複合技術がある。図6.1.1は汽力発電所の構成例で燃料および灰系統、燃焼系統、蒸気系統、給水系統、電気系統からなる³⁾。これらのうち大気汚染物質発生源は前二者で燃料として石炭、石油、天然ガスが用いられる。

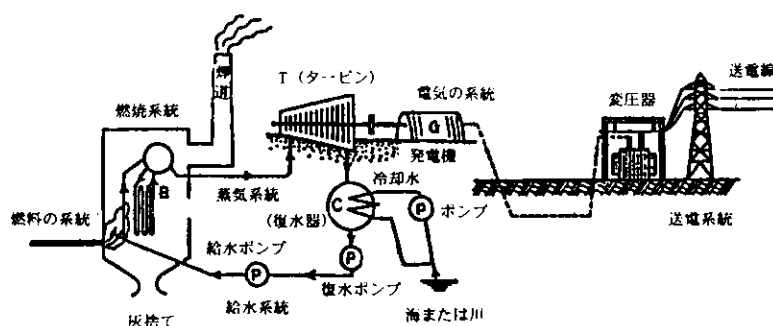


図6.1.1 汽力発電所の構成例

(2) 汽力発電所

(燃焼装置と大気汚染物質発生機構) ; 石炭を移動式火格子で火炉中心に送りつつ燃焼するストカー式燃焼装置が用いられた。ストカー燃焼では石炭が加熱され可燃分が揮発し着火して加熱で軟化し燃えた。このため空気との接触部分が少なく煤発生が多くて燃焼効率は低い。そこで、燃料と空気の接触面積を大きくし両者の混合を良好にして燃焼効率をあげようと微粉炭燃焼法が試みられた。これは石炭をその70~80%が200メッシュを通過する程度に微粉碎し、空気で搬送させバーナで燃焼する方法で最近の石炭専焼発電所に採用されている。なお、微粉炭バーナとしては微粉炭と一次空気を混合し中央から噴射してその周囲に二次空気を平行噴射させる噴射形バーナ、中央の回転羽根で微粉炭と混合させた一次空気に周囲から送られた二次空気をかき混ぜながら混合し、燃焼させる渦巻きバーナ等が用いられる。微粉炭燃焼施設では灰の一部はスラッグとして灰溜に入る。石炭中無機物質は火炎中で液化、蒸発し火炎から出ると温度が降下するため固体となる。この場合、その表面積を最大にし周囲から均一に力がかかるため微細なフライアッシュとなる。フライアッシュの主成分はシリカでこのガラス質微粉の粒径は0.1~100 μ m、平均径約15 μ mで、排ガス中濃度は15g/m³程度である。現在電気集塵装置で99%以上が回収されている。次に重油燃焼の場合、まずこれをバーナに送込む噴霧動力を軽減すべく貯蔵タンク中の温度約35℃の重油を85~105℃程度に加熱し粘度をあげる。バーナは

重油を霧状にし空気と混合して接触面積を大きくし完全燃焼することを目的にしている。重油バーナには重油を加圧し高速度で回転させながら小孔から小さい室内に噴射して霧状にするか、重油に旋回運動を与えつつ噴射し燃焼する圧力噴射式バーナ、水蒸気ジェット流で重油を霧状にする蒸気噴霧式バーナ、水蒸気の代わりに圧縮空気を混合し重油を螺旋通路から回転させながら噴射する空気噴射式バーナ、高速回転している円筒カップに重油を衝突させて油膜を作り重油を微粒にする噴射回転バーナ等があるが、一般に圧力噴射式バーナと蒸気噴射式バーナが大容量ボイラに採用される。また火力発電所には重油のみ燃焼する重油専焼方式、大気汚染対策のため灯油、ナフサ等を燃焼するものがあり重油・微粉炭混焼、重油・微粉炭のいずれでも燃焼できるもの、重油と微粉炭を発熱量として等量混合し重油中に微粉炭を懸濁させたコム（Coal Oil Mixture）を燃料とするものがある。また液化天然ガスをタンカーで海上輸送する技術が開発され、輸入天然ガスを燃料とする火力発電所も多くなった。この燃焼排ガス中には大気汚染物質が少なく天然ガス火力発電所は増加している。天然ガスはガスバーナで燃焼され空気とよく混合しその燃焼効率は高い。

（ボイラ）³⁾；ボイラはタービン運転用の高圧水蒸気発生装置で火力発電所では発電機やタービンとならぶ重要設備である。図 6.1.2 はボイラ概念図でボイラは給水系統から送り込まれた水を入れるドラムを上置きこれから多くの水管を引き出し火炉の全面と側面の一部に並べここで燃焼で発生した熱放射を吸収する。なお、ボイラへの給水は節炭器（Economizer）で燃焼排ガスにより加熱されボイラドラムに入り、ここから下降水管を下り熱を吸収して温度上昇し蒸気と飽和水が混合した状態となって水管を上昇してドラムに戻る。そしてドラムで汽水分離器により水分が除かれ蒸気のみ加熱器で加熱されてタービンに送られる。

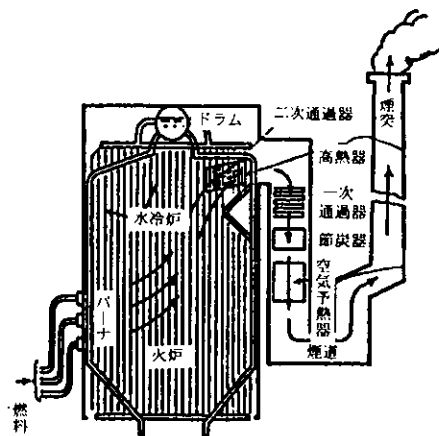


図 6.1.2 ボイラ概念図

（蒸気タービン）³⁾；蒸気タービンは水力発電における水車に相当し、ボイラで発生した高圧・高温蒸気をタービン羽根に導き、これを高速回転させ動力を得る装置であり、その作動原理で衝動タービンと反動タービンに分類される。一般に前者は高圧に後者は低圧蒸気に適しているので組み合わせて用いる。さらに蒸気の使用方法による分類としては、蒸気の熱量をそのタービン系統のみで効率よく利用するためにタービンで仕事し終わった蒸気を全部復水器に導いてその圧力を下げ、真空に近い状態にして圧力落差を大きくする復水タービン、仕事し終わった蒸気をあまり低圧とはせず生産用蒸気

として使用する背圧タービン、工場生産用蒸気を途中から取り出す抽気タービン等がある。

(大気汚染物質発生状況)⁴⁾; 汽力発電所の煙突から排出される大気汚染物質濃度は燃料種類で異なりその排出量は燃料使用量すなわち発電所発電量で相違する。

硫黄酸化物の大部分(95%以上)は二酸化硫黄として大気中に排出されるためその排出量は燃料使用量と燃料中硫黄含有量から計算出来る。さらにその排ガス中濃度は燃料組成と燃焼条件すなわち空気比で計算できる。さらに煤等の固体粒子濃度は微粉炭燃焼の場合フライアッシュ濃度として前述のとおりにほぼ 15 g/m^3 程度であるがかなりばらつく。また重油燃焼では固体粒子はほぼ煤でありその濃度は例えばC重油燃焼で $0.02\sim 0.038\text{ g/m}^3$ となるというデータがある⁴⁾。

このため石炭と重油を混焼している場合は、石炭の混焼率にほぼ比例して固体粒子濃度は上昇する。また天然ガス燃焼においては、排ガス中に固体粒子はほぼみとめられない。次に窒素酸化物であるが、これはほとんど一酸化窒素の形で生成され排出されるが、二酸化窒素としても排出するので一般にその含量を二酸化窒素に換算して排出量は質量で示し濃度を体積比(ppm)であらわしている。

またこれらの発生機構から考慮しこれらの排出は燃料、施設により異なる。特に燃料中に含まれる有機窒素化合物に起因するフューエル NO_x は石炭燃焼の場合多く、さらに空気中窒素の酸化に起因する窒素酸化物すなわちサーマル NO_x は火炎温度が高い程濃度が高くなるので空気加熱器で燃焼用空気を加熱している汽力発電所の場合に高くなる。このため窒素酸化物濃度は、石炭燃焼が一番高く石油燃焼がこれに続き、ガス燃焼が一番低いという傾向にある。例えば汽力発電所において石炭燃焼の場合、排ガス中酸素を0%の状態に換算した時545 ppm、原油燃焼の場合同じく122~372 ppm、C重油燃焼において同じく173~672 ppmというデータがある⁴⁾。

(3) その他の火力発電所

火力発電所としてはディーゼルエンジンやガスタービンによるもの、ガスタービンとその排気を熱源とするボイラによる蒸気タービンを同軸に配置し発電機を回転するコンバインド発電システムも稼働している⁵⁾。特にコンバインド発電システムは専ら発電しても熱効率60%以上の熱効率を記録し注目されている。

また高温燃焼ガスプラズマ噴流を磁場に流して発電するMHD発電⁶⁾は熱効率が高い直接発電技術として大形化の可能性がありその開発が注目されている。

6.2 粉じん発生源

6.2.1 概説

機械的な力で固体の細分化をはかり、より細かい粒子を作り出す粉碎は人類の最も古い機械的操作である。この操作により固体の取扱いを容易にし固体の表面積を増加して反応速度、溶解速度、触媒活性を改善することができる¹⁾。これは、例えば微粉炭燃焼施設での石炭粉碎、精錬における鉱石処理等で容易に知ることができる。さらに、研磨とは固体材料表面を滑らかに仕上げる操作である²⁾。このような固体の破壊、その他の機械的処理またはそれら操作で得た物質の堆積にともない発生、飛散する粒体物質を粉じんといい大気汚染源として注目される。

そして粉じん主要発生源としては粉碎機、研磨機、篩分け、粒子輸送施設、鉱石または土石堆積場、コークス炉などがあげられる。一般に粉碎のような機械的操作で生ずる粉じんの粒径は、化学反応により生ずるフェームのように微細ではなく普通数 μm 程度で比較的粗いが、粒径範囲は広い。

6.2.2 粉碎工程

(1) 粉碎工程

セメント原料、石灰石、石炭など原鉱石採掘、セメント工場でのクリンカー粉碎、微粉炭専焼火力発電所での微粉炭製造、ガラス原料製造、陶磁器製造原料調整、建築用骨材製造、廃棄物処理など粉碎工程は多岐で粉碎機の種類も多い。

(2) 粉碎機^{2) 3)}

粉碎機は固体に力を加え微細化する機械で加える力の種類により次の3種類に分類される。すなわち粉碎すべき碎料を2つの面に挟み圧力を押し付け破壊する圧力によるもの、碎料をハンマーで叩いて速度を与え堅い物体に衝突させ瞬間的に粉碎する衝撃によるもの、圧力張力と直角の剪断力で破壊するものがある^{2) 3)}。

(粗砕機)^{2) 3)}；粗砕機は1,500~100 mmの固体を500~25 mmに粉碎に適しジョークラッシャー、ジャイレトリークラッシャー、クラッシングロール、インパクトクラッシャー、ディスインテグレーターなどがある²⁾。ジョークラッシャーは丁度口で物を咀嚼のように固体を固定顎と動く往復顎の間に挟み強力な圧力で押し砕く機械で咀嚼機ともいう。ジャイレトリークラッシャーは旋動破碎機ともいい倒立した円錐形の輪の中にその回転軸を偏心的に取付けた円錐形回転体を回転旋回し輪と回転体の間隔を絶えず変化させて上部から固体を供給して粉碎する³⁾。

(中砕機)^{2) 3)}；中砕機は500~6 mmの固体を50~1 mmに粉碎するものでコーンクラッシャー、ロールミル、ハンマーミル、ディスクミルなどがある。このうちハンマーミルは急速度の打撃棒により打撃で粉碎する衝撃粉碎機である。

(微粉碎機)^{2) 3)}；微粉碎機は12.5~1 mmの固体を2~0.1 mmに粉碎するもので、コニカルボールミル、チューブミル、ロッドミル、ローラーミル、スタンプミル、エッジランナー、振動ミル、インパクトミルなどがある。

(超微粉碎機)^{2) 3)} ;超微粉碎機は、6～0.1 mmの固体を0.1～0.001 mmに粉碎するもので流体エネルギーミル、コロイドミル、摩擦円板ミルなどがある。

(剪断機)²⁾ ;剪断機としてはナイフカッター、ロータリーカッター、スクリュウカッターなどがある。

6.2.3 研磨工程

研磨はベルトサンダー、ドラムサンダー、ワイドベルトサンダーのような研磨機を用い材質表面を仕上げる操作である。ベルトサンダーは2～4個のベルト車で研磨紙または研磨布を走らせ加工材表面を研磨する機械であり、ドラムサンダーは研磨紙または研磨布を外面に巻いた円筒を高速回転して加工材を研磨する。

さらに、ワイドベルトサンダーは上下2個のドラムにエンドレス研磨紙を巻いて研磨する機械であり、これらは紙・パルプ、家具製造、合板製造工場などで用いられともに粉じんが発生する²⁾。

6.2.4 粉体の篩分け^{2) 3)}

篩は小孔を通る小粒と通らぬ大粒とを分離するもので、篩網に粉じんを乗せてこれを運動させ篩網目に相当する粉じんを選別するのに使用する。篩網の間隔と太さは日本工業規格(JIS)で規定されている。篩網目の大きい篩を上小さい篩が下になるよう重ねて粉じんを選別すれば、その粒子径分布を求められる。

工業的には円筒壁が篩になっている回転篩、平面な篩網目が運動する平面篩が使用される。篩分けプロセスでの粉じん発生場所は、篩への粒子投入部、篩網上および粒粉排出部で防止カバー、集塵装置設置などの措置がとられている。

6.2.5 粉体輸送²⁾

粉体輸送にはベルトコンベア、バケットコンベアが使用されこれらも粉じん飛散原因である。ベルトコンベアはフレームの両端に設けたプーリーにベルトをエンドレスに張って、その上に荷を乗せてベルトを連続的に移動させて荷を運搬する設備である。これは石炭、鉱石、砂利などのばら物の運搬に経済的効果を発揮するが粉じん飛散をとまなうことがある。さらに、バケットコンベアは垂直または急傾斜でばら物を低位置から高位置に運搬する装置で上下に張ったチェーンまたはベルトに一定間隔でバケットを取り付けバケットに投入されたばら物を連続的に上部に運搬する装置であり粉体運搬の場合これが飛散する。防じんカバーを設けたり囲いフードを設備して集塵装置で集塵する。

6.2.6 粉体の堆積

石炭、鉱石など工業原料の野外堆積貯蔵はよく行われるがこれにより粉じん飛散があり損失となる。例えば石炭の堆積で堆積量1 kgにつき1年間堆積で、6.4 mgが、飛散するという報告がある。また1日24時間稼働の岩石堆積場で1日に堆積面積1エーカー(1エーカーは4046.6 m²)当たり13.2ポ

ド（1ポンドは0.4536 kg）を失うという報告がある⁴⁾。対策としてスプリンクラーによる散水、薬剤散布も行われている。

6.3 化学プロセス

6.3.1 概説

人類繁栄に化学工業は不可欠だがこの業種は多くの化学物質を扱う故に幾多の大気汚染問題を引き起こしてきた。化学工業種類は多岐にわたるので、代表的なものにつき大気汚染物質発生状況につき例示する。

6.3.2 セメント工業^{1) 2) 3)}

セメント工業のダスト飛散はしばしば苦情原因となった。セメントはプラスター、石灰、マグネシア、火山灰等を含む無機膠質の総称で今日セメントといわれているのは『主として石灰質原料およびマグネシア質原料を適当な割合で十分混合し、その一部が熔融するまで焼成して得たクリンカーに適量の石膏を加え粉碎して作る』とその製造法が要約されるポルトランドセメントおよびこれを主体とする混合セメントである。セメント製造法には乾式法と湿式法とがある。

(1) 乾式法乾燥焼成工程

乾式法は石灰石、粘土等を水分含有量1%以下に図6.3.1のような回転乾燥炉で乾燥し、それらの成分を考慮して混合し回転焼成炉で焼成してクリンカーを生産する。回転乾燥炉の熱源は石炭または石油燃焼ガスで円筒形回転炉の一端から原料を連続挿入し他端から乾燥原料を取出す。この場合回転焼成炉排ガスが熱源に使用されることもある。乾燥セメント原料は図6.3.2に示す水平に対し3~5度傾斜し鋼製円筒に耐火煉瓦を内張した回転焼成炉で連続的に焼成される。すなわち炉上端から供給された原料は1~2 rpm程度の回転数で回転する炉内を下に移動し下端のバーナで1,450℃程度の高温で1~4時間かけて一部が熔融するまで焼成されセメントクリンカーになり炉下端から約1,100℃で排出される。

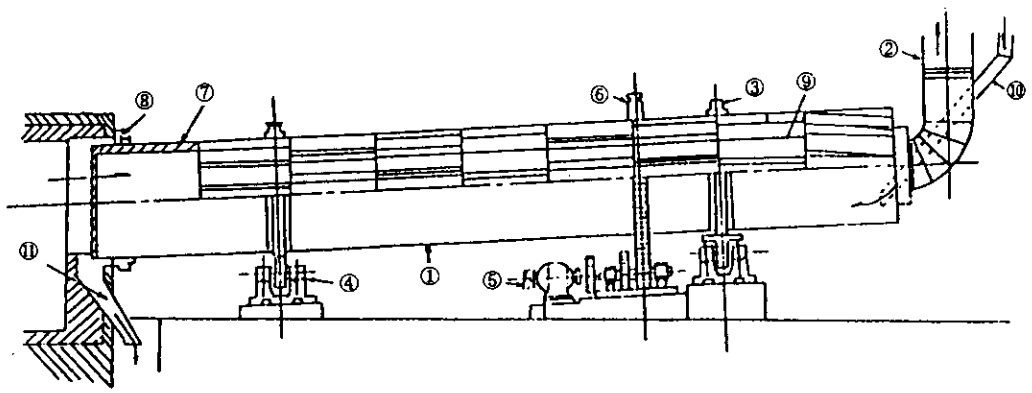
焼成炉にはボイラーやサスペンションヒーターが付き熱回収する。図6.3.2は幾つも連ねたサイクロン内に原料と排ガスを通じて熱交換するサスペンションヒーター付き焼成炉である。また焼成炉はセメント工業最大の大気汚染物質発生源でセメントダスト、硫黄酸化物、窒素酸化物、重金属フューム等の大気汚染物質を生成する。

(2) 湿式法、レポール式乾燥焼成工程

湿式法は原料を乾燥させず水分約35%のスラリーとしてボールミル、コンパートメントミル等で粉碎混合し回転焼成炉で焼成し製品を得る。

また、レポール式は乾式原料混合工程で得た原料に10~14%の水を加え造粒機で直径2.5~5 cmのペレットとし、回転焼成炉排ガスで乾燥し同様焼成してクリンカーを得る。

- ①胴体本体
- ②排気筒
- ③タイヤ
- ④ローラー
- ⑤駆動装置
- ⑥ガスギヤー
- ⑦内張煖瓦
- ⑧エアゾール
- ⑨リフター
- ⑩材料供給シート
- ⑪排出シュート



⑨リフターの構造例

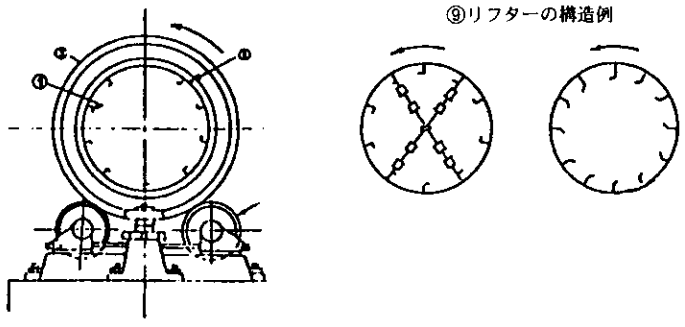


図 6.3.1 回転乾燥炉

- ①クーラー排気風車
- ②集じん装置
- ③クリンカ、クラッシャー
- ④クーラー
- ⑤冷却風車
- ⑥吹込風車
- ⑦ロータリーキルン
- ⑧排気風車
- ⑨電気
- ⑩煙突
- ⑪サスヘンション……I~IV
フレヒーター

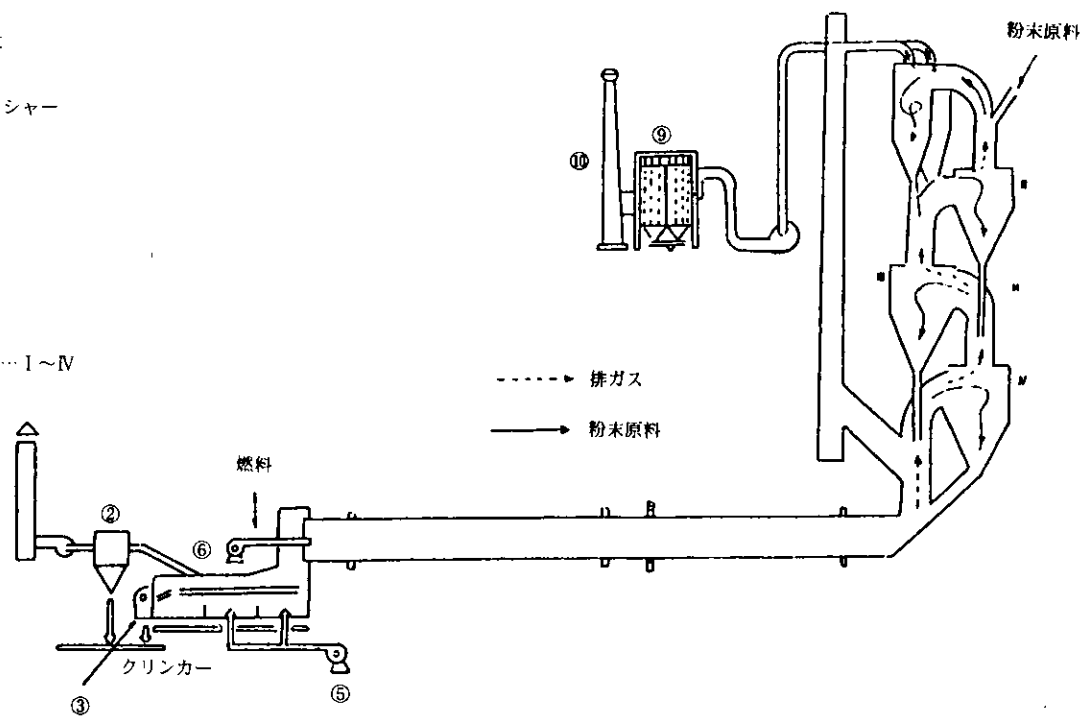


図 6.3.2 回転焼成炉

(3) セメント製造

焼成工程で得たクリンカーはエアクエンチングクーラで常温まで冷却しこれに4～6%の石膏を加えボールミル、チューブミルで粉碎しセメントとする。なお石膏はセメントの凝結調節剤として加えられるもので、第7章の脱硫石膏の最も環境安定性が優れた吸収先でこの点と廃棄タイヤを燃料としたり、石炭燃焼フライアッシュを原料としている点でこの工業は注目されている。

(4) 大気汚染物質

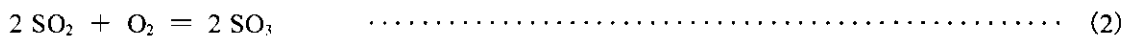
主要大気汚染物質は粉碎・混合工程、貯蔵サイロ、輸送工程、焼成工程、乾燥工程からの粉じん発生で、回転焼成炉、回転乾燥炉では硫黄酸化物、窒素酸化物も発生する。特に回転焼成炉排ガス中窒素酸化物濃度は高い。注目されてきたのは粒子で現在電気集塵装置で処理している。燃料中硫黄による硫黄酸化物はセメント原料に吸収され石炭を燃料として場合には灰はセメントに入る。まず煤塵濃度だが乾式回転焼成炉で25～130 g/m³で排出し電気集塵装置で処理している。

湿式では排出濃度84.5 g/m³を電気集塵で処理して97.8%の集塵率を得たという記録がある。回転乾燥炉の場合粉じん排出濃度42.9 g/m³、集塵率99.93%というデータがある¹⁾。また回転焼成炉排ガスの窒素酸化物が酸素0%換算濃度として乾式で158～1,469 ppm、湿式の場合503～1,927 ppmというデータがある¹⁾。

6.3.3 硫酸工業^{4) 5)}

硫酸製造には元素硫黄を空気を用いて酸化して二酸化硫黄とし、これを五酸化バナジウムを触媒として三酸化硫黄に酸化し、硫酸と接触せしめて高濃度の硫酸とする接触法が用いられている。なお従来は硫化鉄鉱を燃焼し二酸化硫黄を得ていたが近時重油脱硫で副生する元素硫黄を原料とする方法が採用されている。

また、このプロセスの主要化学反応は(1)～(3)式のように進む。

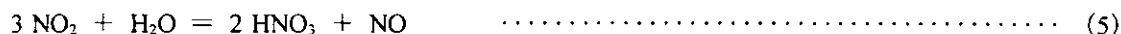


主要大気汚染物質は二酸化硫黄と酸ミストで、二酸化硫黄は酸生産量1 t当たり約20～70ポンド(1ポンドは0.4536 kg) 排出し、酸ミストは除去装置がない場合、酸生産量1 t当たり0.3～7.5ポンド、除去装置のある場合0.02～0.2ポンドに軽減する⁴⁾。

6.3.4 硝酸工業^{4) 5)}

硝酸製造にはアンモニアを白金触媒の存在のもと空気でも高温酸化して一酸化窒素を生成し、一酸化

窒素と空気の混合物を酸化して得られる二酸化窒素を水に吸収する方法が用いられている。主要化学反応を(4)(5)式に示す⁵⁾。



このプロセスで排出される主要大気汚染物質は吸収塔から排出される一酸化窒素及び二酸化窒素で、100%硝酸生産量1t当たり二酸化窒素として57ポンドであり、この他硝酸濃縮器から強酸生産量1,000ポンド当たり二酸化窒素として10ポンド排出するという報告がある。

さらに吸収塔からの排出ガス処理のための触媒式燃焼器の除去率は、36~99.8%であって平均して80%、アルカリスクラバーのそれは90%であると報告されている⁴⁾。

6.3.5 塩素製造^{4) 5)}

塩素は食塩水を電気分解して製造し塩素は陽極で生成する。図6.3.3は隔膜法の概要である。このように生成した高温の塩素は冷却し、硫酸で洗浄して乾燥してから液化し出荷する。主要な塩素排出は液化していないガスの放出である。防止装置のない場合、液化塩素生産量100t当たりの塩素排出量は水銀法で2,000~16,000ポンド(濃度20~50ppm)、隔膜で2,000~10,000ポンドでこの他に水吸収塔から400ポンド、タンク車通風孔から450ポンド、貯蔵タンク通風孔から1,200ポンド排出すると報告されている^{4) 5)}。

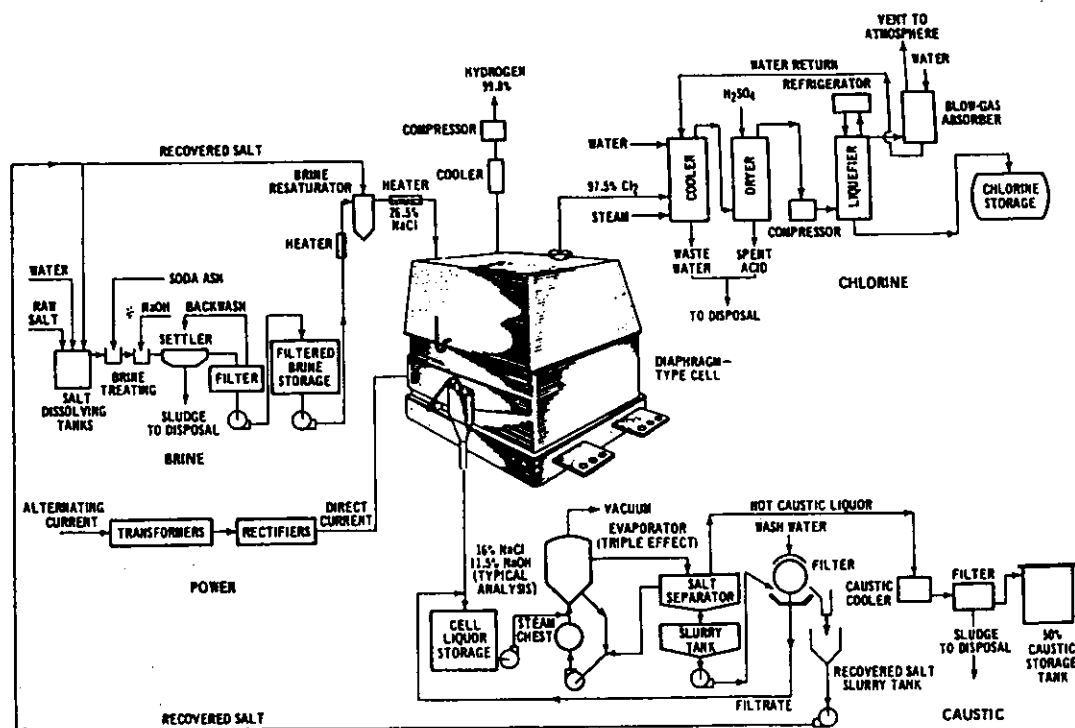


図 6.3.3 食塩水電気分解プロセスの概要

6.4 金属精錬

6.4.1 概説

一般に酸化物として埋蔵される鉄は人類の生活に重要な金属でその精錬は大規模である。また主に硫化物として埋蔵される銅も重要でその精錬は比較的大規模でともに大気汚染問題を引き起こした。アルミニウム精錬にはフッ素を用い、チタン、シリコンなどの精錬には塩素が使用され、これらも大気汚染問題を引き起こした。

6.4.2 鉄鋼一貫プラント

(1) 鉱石

地球は鉄が豊富な惑星で製鉄用に赤鉄鉱（Hematite, Fe_2O_3 ）、磁鉄鉱（Magnetite, Fe_3O_4 ）等が使用される¹⁾。また石炭も必要だが我が国の資源は少なく輸入に頼っている。さらに石灰石等も必要で鉄鋼一貫プラントは港湾設備を整えている。

(2) 施設概要^{2~4)}

15世紀に高炉が完成し鉄の大規模精錬が開始されたが当初は木炭を還元剤としたため森林が伐採され木炭不足は高炉製鉄の制約だった。18世紀にコークス化による石炭脱硫に成功し高炉製鉄は現在コークス炉、鉱石焼結炉等原料施設、高炉と付属炉等製鉄施設、銑鉄を転炉、平炉等で鋼にする製鋼施設、鋼板、鋼管等の加工炉やこれらを結ぶ輸送、エネルギー供給及び制御システム等を備える例えば年間生産量1,200万tの大型一貫プラント稼働に躍進した。我が国は1億8,000万tの年間総製鉄能力、年間製鋼量1億tを誇る世界最大の製鉄国である。

(3) 高炉^{2~4)}

高炉は鉄鋼一貫プラントの象徴的存在で製鉄所訪問者は一際高く聳える高炉を印象深く思うだろう。高炉は図6.4.1に示すように背が高く下部がやや太い円筒炉で鋼製外板の内側に煉瓦張りした本体とこれに熱風を送る熱風炉よりなり1日の出銑量が4,000tの大型高炉も出現している。普通高炉内容積1m³当たりの1日の銑鉄生産量は0.8~1.0tといわれる。高炉は炉頂から鉄鉱石（焼結鉱）、コークス、石灰、石炭等炉内に挿入しつつ、下部の羽口から熱風炉で約700℃に加熱した空気を吹込み炉内還元反応を促進する。なお熱風炉燃料は一酸化炭素を主成分とする熱量約1,000Kcal/m³程度の高炉で生成した高炉ガスである。

高炉内は還元雰囲気であり、ここでは鉄鉱石の還元と生成鉄熔融、石灰石や炭石熔融とこれへの熔融鉄中硫黄、燐等不純物の溶込みが起きる。そして重い熔融鉄は炉底へ流込み、その上に熔融石灰石が浮び両者が分離する。炉内温度は1,600℃程度でこの状況は地球が高温だった時代の中心核、マントル、地殻生成すなわち第一分別とよく似ている。炉底に溜まった熔融鉄（溶銑）は1日5~7回高炉下部の出銑口より出銑され次いでこの上に浮く熔融石灰石（溶滓）も出滓口から炉外に交互に出される。高炉からの大気汚染物質排出は熱風炉排ガスの他に、出銑、出滓時のダスト、フューム等の排出、

炉頂からのリークである。熱風炉排ガス中の窒素酸化物濃度は燃料が高炉ガスの場合酸素濃度0%換算で6.27~1.11 ppmで、高炉ガスとコークス炉ガスの混合燃料を用いると34.8~97.7 ppmになる²⁾。

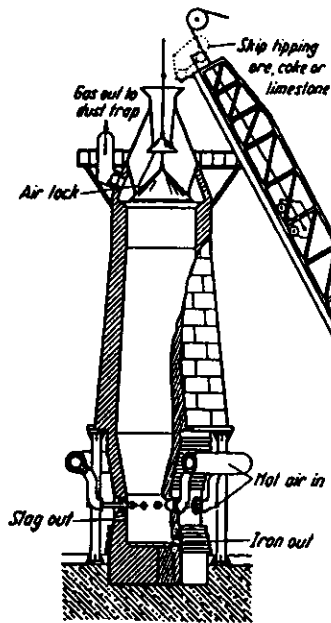


図 6.4.1 高炉

(4) コークス炉^{2) 4)}

コークス炉は石炭を乾留しコークスを得る設備で煉瓦で作られている。コークス炉は炭化部と燃焼部から構成され前者に石炭を挿入しコークス炉で生成するコークス炉ガスを後者で燃焼して石炭を空気を遮断し加熱乾溜してコークス化する。

炭化部幅 400~450 mm、長さ 8~6 m、高さ 4~6 m、装炭量 8~27 t 程度のコークス炉が、100 炉程隣合わせて築炉される。燃焼部温度は 950~1,300℃程度で 14~24 時間かけ石炭はコークス化される^{2) 4)}。コークスを押出機で一炉ずつ順次押し散水して消火する湿式消火法が従来用いられたが近時鋼製容器に取出し密封して窒素ガスで消火する乾式消火法が用いられる。後者は熱エネルギーの回収が可能で、水蒸気排出による粉じん放出なく有利である。なおコークス炉の大気汚染物質発生としては湿式消火による粉じんの他にコークス炉ガス燃焼によるものが考えられる。コークス炉ガスは精製されており硫黄酸化物は発生せず、粉じんもガス燃焼故認められず窒素酸化物が問題にされる。コークス炉排ガス中の窒素酸化物濃度は炉からのコークス取出し周期にあわせて周期的に変化し、コークス炉ガスを燃料としている場合、およそ 284~1,844 ppm であるというデータがある²⁾。

(5) 焼結炉^{2) 4)}

製鉄用鉄鉱石の形状はかならずしも一様でなく粉鉱も多い。このためこのまま高炉に挿入すると炉内温度分布が不均一になり、高炉の通風を悪化させる。そのうえ鉄鉱石中硫黄が鉄鉄中に入りその性質を劣化させる。そこで原料鉄鉱石の粒径を整え高炉内の通風を良好にし、原料鉄鉱石の有効利用を図るとともに脱硫するため鉄鉱石を焼結する。焼結工程は焼結炉の一端から粉鉱、硫酸滓、砂鉄、ミル

スケール、高炉ダスト、スクラップ等に石灰石、転炉滓等を混入し燃料としてコークスを加えた混合物を送り、二つのスプロケット間を廻るパレットのベルト上をその移動にともない移動させつつ進め、焼結炉の他端に移動し終わって焼結が終了したら空気中で消火されるようになっている^{2) 4)}。焼結工程での主要大気汚染物質の排出は硫酸化物で、鉄鉱石中の硫黄の71%が硫酸化物としてここで排出されそれは鉄鋼一貫プラントの硫酸化物排出量の大部分に相当しその濃度は、重油燃焼排ガス程度であるといわれている⁴⁾。また窒素酸化物排出量が鉱石処理量1 ton 当たりNO₂として76.2~369 kg であるというデータがある²⁾。

(6) 転炉、加熱炉等^{2) 4)}

鉄鋼一貫プラントには銑鉄を鋼に精錬する転炉、平炉、電気炉、鋼の加工炉、ボイラー等多くの燃焼施設がある。転炉は図6.4.2に示す洋梨に似た上部が開口した炉で高炉とともに鉄鋼一貫プラントを代表する施設である。

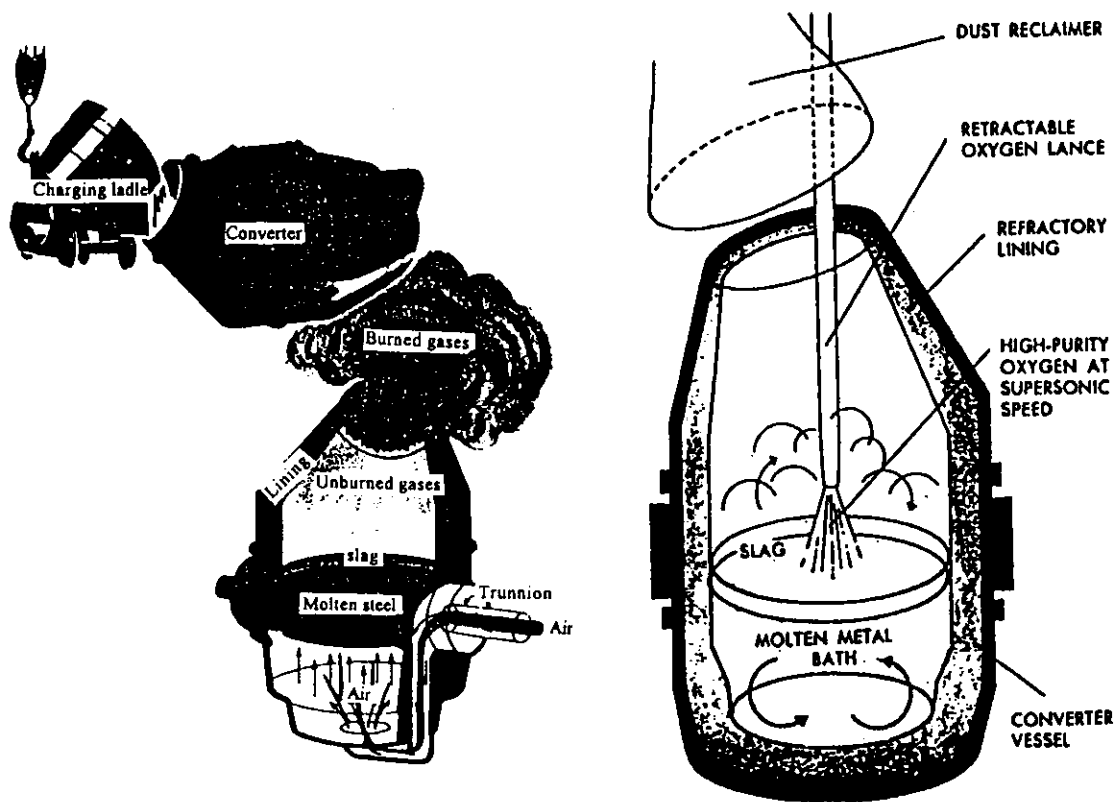


図 6.4.2 転炉

図 6.4.2 左のように、傾けて内部の熔綱、熔滓が取出せるようになっており、酸素製鋼法を採用し能率上昇に成功した図 6.4.2 の右に示す酸素製鋼上吹き転炉 (LD 炉) は例えば粒径 $0.2 \mu\text{m}$ といわれる細かい酸化鉄フェームを排出し、この $70\sim 80 \text{ g/m}^3$ といわれた高濃度の空気に立ちのぼる赤い煙の排出は注目された。なお現在は集塵装置で解決し製鉄業での大気汚染対策の大きな成果といわれた。また鉄鋼一貫プラントの大気汚染対策として焼結炉には電気集塵装置、排ガス脱硫・脱硝装置設置で好成績をあげている例がある。我が国では転炉で優良綱が迅速に精錬可能で平炉は稼働していない。

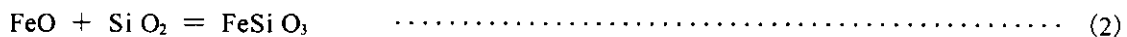
6.4.3 銅精錬⁵⁾

銅は、自然銅 (Native Copper, Cu)や赤銅鉱 (Cuprite, Cu₂O)としても産出するが、豊富なのは硫化鉱で、鉄を含む黄銅鉱 (Chalcopyrite, CuFeS₂)、輝銅鉱 (Chalcocite, Cu₂S)、銅藍 (Covelite, CuS)である^{1) 5)}。銅鉱石の銅含有率は僅かで品位を高めるため、母岩から有用鉱石を分離すべく浮遊選鉱し得た精鉱を乾燥して多段焙焼炉で焙焼し過剰硫黄、ヒ素、アンチモン等を燃焼する。この工程では銅全部と大部分の鉄と結合する硫黄を鉱石中に止め、過剰硫黄は二酸化硫黄として大気中に排出する。次に焙焼工程で得た焼鉱を反射炉、自熔炉を用い石炭又は重油で1,370~1,500℃に加熱熔融し不純物を鉱滓として銅濃度を高める。

この工程で銅は硫化第一銅、鉄は硫化第一鉄になり両者は熔融し銅を38~45%含むかわ (matte) になる。次にかわをシリカ、アルミナ等と転炉に挿入する。

転炉工程の第1段階では硫化第一鉄が転炉に吹込まれた空気で酸化され二酸化硫黄を放出しシリカ、アルミナ等と鉱滓を作り純粋な硫化第一銅は炉底に残る。

転炉を傾け鉱滓を除去し転炉を起こして精錬を継続し硫化第一銅を分解して硫黄を二酸化硫黄として放出し、転炉内の熔融銅を取り出す。銅精錬の主要化学反応を(1~3)式に示す。また転炉で得た粗銅は電解精錬し精銅を得る⁵⁾。



銅精錬の主要大気汚染物質は二酸化硫黄と粒子で、例えば自熔炉排ガス中には20~30/m³の粒子が含まれサイクロンや電気集塵装置で回収されている。

6.4.4 亜鉛精錬

亜鉛の主要鉱石は閃亜鉛鉱 (ZnS, Zinc Blend) でこの金属も銅同様硫化物として産出する。亜鉛精錬でも選鉱して得られた精鉱をまず図6.4.3のように焙焼して硫黄分を二酸化硫黄とする。二酸化硫黄は大気汚染原因だから硫酸を製造するが、希薄な場合は排ガス脱硫装置で石膏とする。そして亜鉛は図6.4.3のように浸出溶解工程へ送られ電解精錬される。

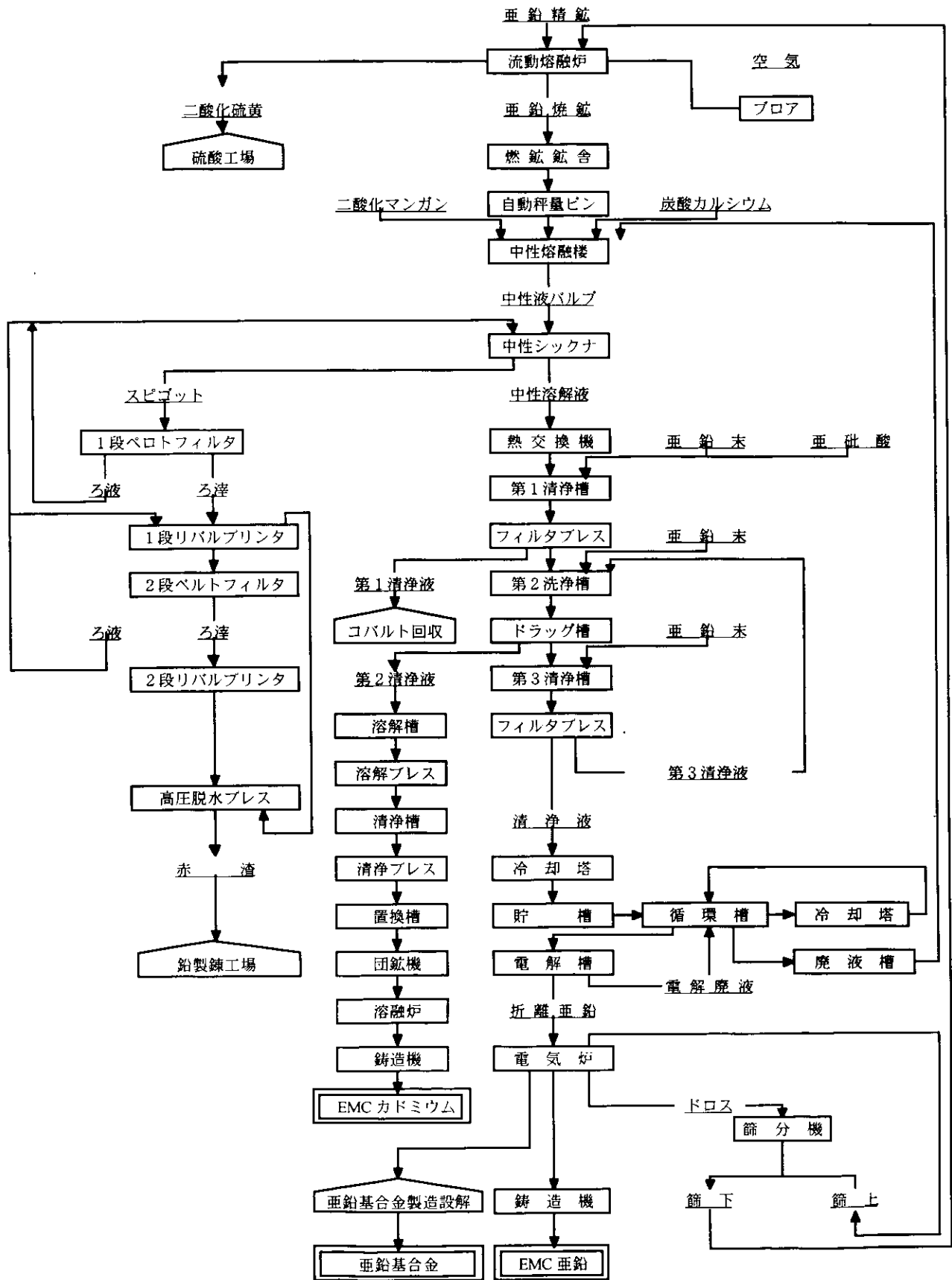


図 6.4.3 亜鉛精錬

6.4.5 アルミニウム精錬⁶⁾

アルミニウムの主要鉱石はボーキサイト (Bauxite, $\{HAlO_2\}_2 \cdot H_2O = Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) である⁷⁾。アルミニウムはボーキサイトを水酸化ナトリウムで処理してアルミン酸ナトリウムとし、加水分解して得た水酸化アルミニウムをか焼するバイヤー法 (Bayer Process) で得たアルミナ (Al_2O_3) をフッ素を含む熔融塩浴で電気分解し精錬する。この工程は我が国では繁栄したが、エネルギー危機以来電力価格が上昇し廃止され海外立地を進め、国内のアルミニウム工業は加工部門に限られる。

この精錬は熔融塩電気分解工程でふっ化水素等を排出し大気汚染問題を引き起こした。この電解精錬は、アルミニウムとナトリウムの複ふっ化物である氷晶石 ($AlF_3 \cdot 3NaF$) の高温熔融浴中にアルミナを溶解し、電解炉下部にある陰極 (炭素) と上部に挿入した炭素陽極間に通電して進める。この場合稼働電圧は4.7ボルト、電解温度は950℃程度である。なお陽極にはアルミナ中酸素で酸化され一酸化炭素として消耗する。陽極には炭素ペーストを焼成しつつ電極を形成するゼーダベルグ式と予め焼成した陽極を用いるプレバーク式とがあるが後者の方が大気汚染物質発生量が少ない。熔融状態では熔融浴の比重は2.08~1.96、アルミニウムのそれは2.28~2.24で生成アルミニウムは熔融浴から分離する。この工程は一酸化炭素、タール、アルミナ粒子、ふっ化水素を発生し電解炉排ガス中にふっ化水素 40 mg/m³、タール 100 mg/m³、粒子 90 mg/m³を含む例があり排ガス処理されている⁶⁾。

6.4.6 チタン、シリコン等の精錬

チタンは優れた耐食性を持ちガスタービン翼材料として使用される超耐熱合金材料である。さらにシリコン、ゲルマニウム、ジルコニウム等も半導体や特殊材料として有用である。これらは塩素と容易に塩化物を作りこれを蒸留し不純物を除去して水素還元して精錬される。これら精錬の主要大気汚染物質は塩素である。

6.5 石油精製

6.5.1 石油とは^{1) 2)}

石油は古代海底埋没動物による有機物沈積で生成したとされるが、これに関しては多くの学説が唱えられた。1890年ロシアのソコロフ (N.V.Sokoloff) は、隕石中に微量メタンが存在するので石油の炭化水素は宇宙生成時期より存在したと宇宙起源説を提唱した。また油田地域の火山噴火と火山ガス中に炭化水素が含有するため火山説も唱えられた。さらに地球深部で地下水に溶けた二酸化炭素がアルカリ金属と作用しアセチレンを生成して石油が出来たという地球深部説もあった。これら無機起源説には合理性もあるが石油産出状況と一致せず有機起源説が支持された。陸性植物起源説は地中埋没植物が熱と圧力で石油になったと石炭生成と石油生成の差を熱と圧力作用の相違で説明したが化学的根拠に乏しかった。

さらに、石炭起源説は石炭、石油が同時に存在しないので支持されず、油頁岩起源説が支持を得たが油頁岩の成因を説明せねばならなかった。なお海草が熱と圧力で石油に変化したという海草起源説の支持者は多い。動物起源説は魚類、貝類、微生物類が変化したと主張した。魚類説は太古海棲動物が海中に埋没し腐敗、発酵作用で蛋白質は溶解して脂肪分が石油になったといい1880年ドイツのエングラウ (Engler) は魚類を10気圧、320℃に乾溜し石油を製造した。小林久平は魚類に酸性白土を混ぜ常圧で容易に石油が出来ると実験的に証明し酸性白土が石油生成に関係すると述べた。石油の起源については多くの学説と実験結果があるが石油中有機窒素化合物の存在は動物起源説に有力な根拠を与え魚類起源説が多くの支持を得た¹⁾。すなわち海底沈積有機物が嫌気性細菌で酸素、硫黄、窒素の大部分を放出して分解し、生成炭化水素が水に溶け堆積岩に濃縮され岩の中のドーム型空間に溜められて油田ができたと考えた。また、天然ガスにはこのドーム中で石油とともに生成したものと植物の嫌気性分解で生成したものとがあり前者のほうが主要資源である。

石油は分子構造や炭素数を基本に分類出来る炭化水素の混合物だが、僅かな有機窒素、硫黄化合物を含有する。石油中炭化水素には一般式 $C_{2n}H_{2n+2}$ のパラフィン系、 $C_nH_{2n-6}+6H$ のナフテン系、 C_nH_{2n} のオレフィン系、 C_nH_{2n-6} のベンゼン系などがあり直鎖または分岐炭素鎖をもつ化合物、五員または六員の環状構造や多重結合をもつ化合物があり構造は複雑である¹⁾。

石油中炭化水素はその分子量の相違で蒸溜して分離出来る。表6.5.1は原油溜分組成の概略である^{2) 3)}。

表 6.5.1 各種石油溜分の組成と沸点の概略^{2) 3)}

溜分	代表的炭化水素	沸点の概略値 (°C)
天然ガス	CH ₄	-161
液化ガス	C ₃ H ₈ , C ₃ H ₁₀	-44~+1
石油エーテル	C ₅ H ₁₂ , C ₆ H ₁₄	30~60
航空機用ガソリン	C ₅ ~C ₉	32~150
自動車ガソリン	C ₅ ~C ₁₂	32~210
ナフサ	C ₇ ~C ₁₂	100~200
灯油	C ₁₀ ~C ₁₆	177~290
軽油	C ₁₂ ~C ₁₈	205~316
潤滑油	C ₁₅ ~C ₂₄	250~400
重油		300~

6.5.2 石油精製

(1) 概要

原油は沸点が相違する各種炭化水素成分を類似成分別に分けて利用した方が有利なため蒸留する。蒸留は混合液をその成分の沸点と揮発度の相違を用い蒸発と凝縮で分離する操作である。また製油所では留分の需給バランスを確保すべく需給上価値の少ない留分を化学変化させ有利な製品とする石油転化や製品中不純物や有害成分を除く精製も行われ燃料油、潤滑油などを生産している^{4) 5)}。

(2) 製油所

製油所の構成は精製設備と付帯設備に大別され前者には常圧蒸留、常圧減圧結合、減圧蒸留、接触改質、コーキング、ピスプレーキング、灯・軽油水素化精製、重質油脱硫、溶剤脱蠟、溶剤抽出、ナフサ洗浄、灯・軽油洗浄、潤滑油洗浄、硫黄回収（脱硫）などがあり、後者として港湾、ボイラ、貯油設備などがあげられる。製油所は大型化し単一製油所として運転1日当たりの処理能力30万バレル（1バレルは159ℓ）が水準能力となると考えられている³⁾。

(3) 原油貯蔵

我が国の製油所は輸入原油に頼っているので港湾設備を保有し輸入原油を屋外タンクで貯蔵する。貯蔵タンクには固定屋根式と浮屋根式がある。なお蒸留操作前に原油中塩分は電気脱塩法または化学脱塩法で除去される⁴⁾。

(4) 蒸留

蒸留は常圧蒸留と減圧蒸留に分けられ製油所の基本である。常圧蒸留は製油の第1段階でトッピングと呼ばれる。原油は加熱炉〔パイプスチル (pipestill) 〕でまず加熱されるが圧力がかかっているため蒸発せず液状を保ち多数の泡鐘と孔を持つ十数段の段棚を45～90 cm 間隔に備える精留塔 (fractionator) のフラッシュゾーンに吹き込まれる。ここは常圧なので重質部分を除き気化され重質部分は塔内を下降して取出される。精留塔を上昇する気化原油は塔内が上部程低温になっているので、高沸点原油成分から次第に段棚で凝縮し下部段棚に流下する。下部段棚は上段より高温故軽質部分は上段に再び移る。精留塔内では気化と液化が繰り返され再蒸留されたと同様効果をもたらし、凝縮液体を適当な取出口のある段棚から留出させ熱交換器で冷却して各種留分を得る。重質原油を直接蒸留すると熱分解するため減圧蒸留する。減圧すると沸点が降下し比較的低温で蒸留できるため熱分解が防止出来る。減圧蒸留の原理は常圧蒸留同様で類似した精留塔を使用するがスチーム・エジェクターで30～80 mm 程度に減圧する。この場合、一般に精留塔の直径は太く段棚間隔は大きくずんぐりした外観となる⁴⁾。図6.5.1に原油蒸留行程の概要を示した⁵⁾。

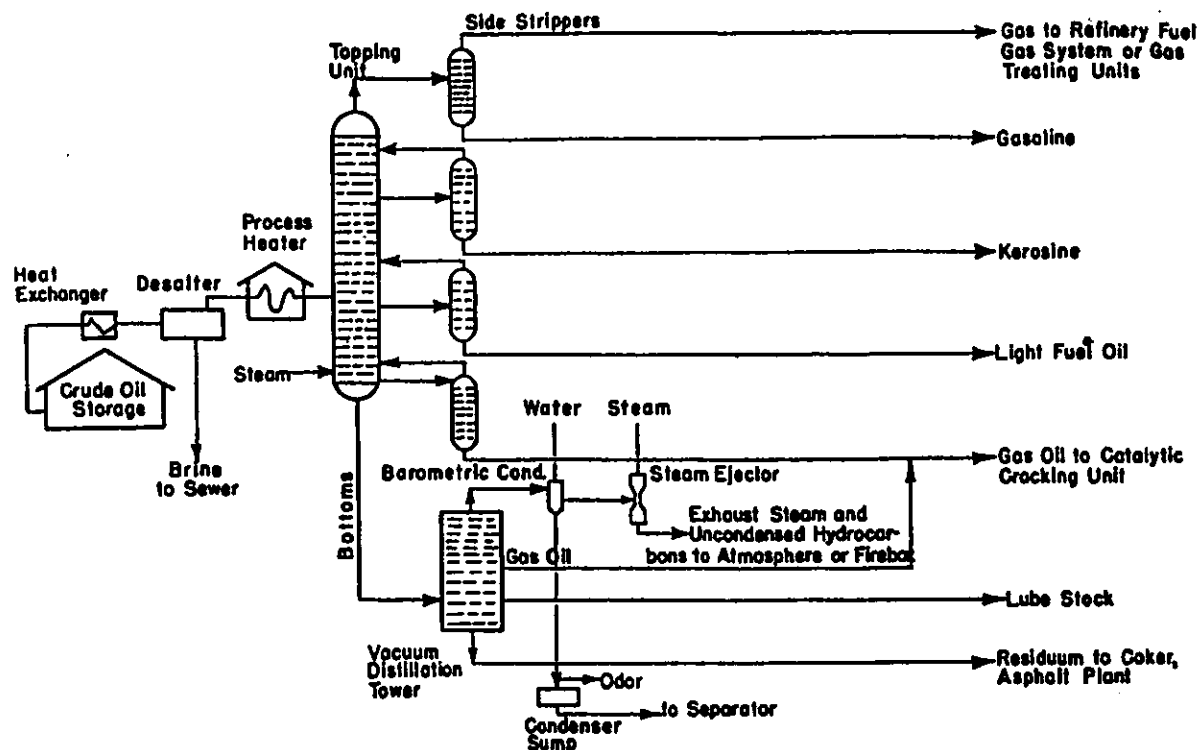


図 6.5.1 原油蒸留工程の概要

(5) 転化

原油直留分をそのまま市場に出すと石油製品の比率は原油組成に制約され、必ずしも需要に一致せず需給バランスが取れず製品によっては供給不足や過剰をもたらす。そこで過剰が見込まれる原油直留分を化学変化させて有利な製品にすることが望ましくこれを石油の転化という。転化はガソリン需要が増え直留ガソリンだけでは需要を賄いきれなくなり始められた。石油転化には例えば 500℃程度の温度で重油を加圧分解しガソリンを製造する熱分解、灯油以上の高沸点留分を触媒を用い分解して高オクタンガソリンを製造する接触分解、不飽和炭化水素を飽和炭化水素としたり硫黄や窒素化合物を除く水素化分解などがある⁴⁾。なお、水素化分解は大気汚染対策上重要なので後で詳述する。

(6) 精製

原油留分には不純物や有害物質などが含まれるので硫黄、窒素、酸素化合物、樹脂質、アスファルト質、芳香族化合物を除去する。このプロセスを精製といい酸・アルカリ洗浄、吸着精製、溶剤抽出、水素化精製などが行われる⁴⁾。

(7) 石油製品と出荷

石油製品はガソリン、灯油、軽油、ジェット燃料、重油、石油液化ガスなど燃料類、潤滑油、グリース、石油ピッチ等種類が多く燃料類はタンカー、タンク車、タンク・ローリー等で出荷され潤滑油、グリースは缶で輸送される^{4) 6)}。

6.5.3 重油脱硫

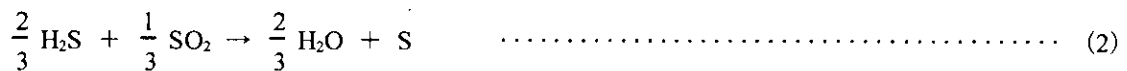
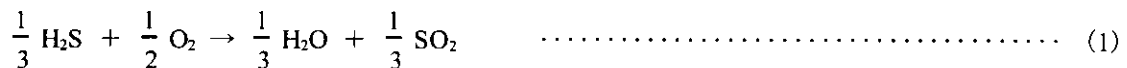
(1) 水素化脱硫

石油精製において、大気汚染対策上重要なのは重油脱硫を目的に進められる水素化脱硫行程である。原油にはチオール（メルカプタン）、サルファイド、チオフエン等を基本構造とする硫黄化合物が含まれ、一般に中東系原油の硫黄含有率は東南アジア系原油よりも高い。また、高沸点留分ほど硫黄含有率が高くなり、原油硫黄分の80%以上は常圧残油に存在する。もちろんすべての留分に硫黄は残り、脱硫されるが大気汚染防止上重要なのは常圧残油の水素化脱硫である。この行程は、各種石油留分に含まれる硫黄化合物がCo-Mo/Al₂O₃などの触媒存在下で高压水素と反応し、硫化水素を生成する反応を利用している。水素化脱硫のうち最も重要な重油水素化脱硫は、直接脱硫方式と間接脱硫方式に大別される。前者は常圧残油全体を脱硫するもので、現在では硫黄含有率を0.1%にすることが可能となっている。後者は脱硫触媒の金属被毒を軽減するため、常圧残油を減圧蒸留装置で減圧軽油と減圧残油に分け、減圧軽油のみを水素化脱硫する方式である。

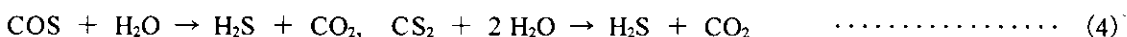
このため、常圧残油全体として脱硫率は低く脱硫重油の硫黄含有率は1%台が限界である。なお現在では減圧残油の直接水素化脱硫技術も確立されている。

(2) ガス洗浄と硫黄回収

水素化脱硫装置から出るガスの大部分は水素だがこの中に硫化水素、炭化水素が含まれている。そこで、硫化水素を脂肪族アルカノールアミン等で吸収し分離濃縮して回収する。回収された硫化水素を元素硫黄に転換する代表的プロセスがクラウス法である。この方法は(1)、(2)式に示すように硫化水素の1/3を燃焼反応炉で燃焼して二酸化硫黄とし、これを硫化水素で還元して元素硫黄を生成させる。燃焼反応炉での硫黄転化率は、60~70%と低いので未反応ガスはさらに後続する2~3段の触媒反応器で反応を進める。



クラウス装置を出たテールガス中には、数1,000 ppmの硫化水素と二酸化硫黄が残留し微量のCOS、CS₂、硫酸ミストが含まれており、この処理にSCOT (Shell Claus Off-gas Treater) プロセスを用いる。この装置では、テールガス中の二酸化硫黄等を(3)式のように水素還元し、(4)式のようにCOS等を加水分解して硫化水素を回収してクラウス装置にリサイクルする。



吸収塔排ガス中の未反応の硫化水素濃度は300 ppm程度で燃焼炉で二酸化硫黄とし排出されている。以上のクラウス法プロセスとテールガス処理プロセスの組合わせで硫化水素からの元素硫黄回収率は99.5～99.8%となる⁷⁾。

6.5.4 大気汚染物質

製油所で注目すべき大気汚染源は原油と製品タンクである。これらには固定屋根式と浮屋根式がありいずれも石油蒸発で炭化水素を排出する。前者は円筒形鋼製シェルに内部圧調整用バルブをつけた屋根を固定したもので、油面と屋根の空間に貯蔵油の蒸気が充満し気温上昇で内圧が上昇してバルブが開き膨張分が漏れる。また気温低下でタンク内部気相は収縮し外気をタンク内に吸引するがこの時気相蒸気を飽和すべく蒸発し損失となる。固定屋根式では一日の気温変化による内部気相膨張と収縮で貯蔵油を損失し、これを息ずき損失（Breathing Loss）という。固定屋根式タンクの蒸気排出はタンクへの石油類供給、タンクからの取出しによる油面高さ変化でも起きこの損失を仕事損失（Working Loss）という。浮屋根式タンクはこの蒸発を防止すべく建設され現在製油所の大型原油貯蔵タンクはこの形式である。これは円筒形鋼製シェルと貯蔵油表面に浮く浮屋根とからなり、外気に触れる浮屋根は完全に油面をカバーし屋根とタンクの内壁面はシールされている。浮屋根は貯蔵油受け入れ取出しに起因する油面上下動で上下しタンク内壁面とのシールで蒸発を最小にして蒸発量を固定屋根式タンクの0.2～0.1%程度に止めている。この蒸発損失で主要なものはタンク上の風によるものと、貯蔵油取出しにともなう油面降下によるタンク内壁面の付着油蒸発である。その損失として原油1kℓ取り出し当たり 0.48×10^{-3} kgが排出するというデータがある⁸⁾。

このような蒸発損失は石油燃料類積込み過程でも起き、石油精製施設の石油類パイプラインのフランジ、バルブ、ポンプ類からも石油蒸気が漏れる。一般に製油所における蒸発損失は製油施設のメンテナンスで相違するといわれている⁹⁾。

さらに、石油精製では加熱炉、触媒再生炉、ボイラでの燃焼過程で大気汚染物質が発生する。とくに触媒再生炉排ガス中には炭素粒子、微粒金属塩類が含まれる恐れがある。製油所での悪臭原因物質は主に硫化水素、メルカプタン類等である。これら発生源と対策を表6.5.2に示した⁸⁾。

表 6.5.2 精油所における悪臭原因と対策

装置・設備	発 生 源	対 策
精製装置	装置の開放点検のためのスチームハーシ時に悪臭が発生することがある。	凝縮→気相分離→気相→焼却→液相→排水処理
タンク	① 固定屋根タンクにおける蒸発損失にともない悪臭物質も蒸発する。普通悪臭物質を含む原油、組成ナフサは浮屋根タンクに貯蔵される。 ② 液状硫黄タンクから硫化水素が発生する。 ③ アスファルトタンクのベンドから特異臭が発生する。	① 吸収、吸着など ② 水酸化ナトリウム溶液による吸収 ③ 燃焼、吸収など
出荷設備	① ガソリンのローリー積込み時に炭化水素臭がする。 ② 原油の船積み時に船槽、ベントから悪臭発生	① 凝縮、吸収、バランスラインなど ② 水酸化ナトリウム溶液、灯油で吸収
排水処理設備	排水に溶解した悪臭物質がオイルセパレーター、加圧浮上槽、活性汚泥暴気槽から発生する。	槽にカバー取付、ブローアで吸引し吸収、吸着など

6.6 輸送機関

6.6.1 はじめに

輸送機関のなかで最大の大気汚染源は自動車である。自動車排出ガスの中でも CO による汚染が先ず始めに顕在化した。種々の排出ガス対策により CO 汚染を環境基準以下に抑制することができ、現在、自動車は NO₂ 並びに浮遊粒子状物質汚染の最大の汚染源としてその対策の強化が求められている。

6.6.2 輸送機関としての自動車の現状

我が国においては昭和 40 年代に入ってから急速にモータリゼーションが進み、それに対応して自動車の輸送機関として占める位置が大きくなる一方、大気汚染、騒音・振動の発生源としてもその比重を増している。輸送機関別貨物輸送量の推移を見ても、貨物輸送における自動車の占める割合は、年々増加の一途をたどり昭和 35 年に 15% であった自動車の割合が、昭和 47 年には 39% に、平成 5 年度には 51% を占めるにいたっている。また、旅客輸送量の推移においても最近の増加率はやや鈍化しているものの、自動車の旅客輸送割合は年々増加し、旅客輸送量全体に占める割合も昭和 35 年度の 23% に対し昭和 47 年は 51%、平成 5 年度は 60% となっている。

次に自動車の使用状況について見ると、昭和 40 年度に 81 万台の自動車保有台数は、50 年度 291 万台（3.59 倍）、60 年度 482 万台（5.95 倍）、平成 6 年度 681 万台（8.4 倍）と著しい伸びを示している。各種自動車の中でも乗用車の増加の伸びが著しい。また、自動車の走行距離の推移も、自動車保有台数の増加に従い大幅に増加しており、平成 6 年度は昭和 46 年度の 2.36 倍の総走行距離となっている。

6.6.3 発生源としての自動車の現状

(1) 自動車から排出される汚染物質

発生源としての自動車は、ガソリンエンジンを使うものとディーゼルエンジンを使うものとに分かれるが、この二つのエンジンには表 6.6.1 に示すような違いがあり、この相違が排出ガス性状の違いを生み、さらには排出ガス対策を異なったものにしていく。

表 6.6.1 ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの違い

項目	ガソリンエンジン	ディーゼルエンジン
燃料及びその特性	ガソリン 揮発性が高い	軽油 揮発性が低いが硫黄含有率が高い
着火及び燃焼方式	気化された燃料と空気とを予め混合（混合気）し、これを圧縮して電気火花で点火し燃焼させる。	空気を断熱圧縮し、高温になったところで燃料を噴射し、燃焼させる。
燃焼の特徴	燃料が完全燃焼するように常に混合気を調整、この燃料と空気の割合はそれほど変動しない。	空気は常に一定。燃料は出力に応じて増減、燃料と空気の割合は大きく変動する。

ガソリン自動車からの汚染物質の排出箇所は、図 6.6.1 に示すように3ヶ所に大別できる。このうち排出ガスは燃料がエンジンの中で燃焼し、その燃焼ガスがマフラーから排出されるもので、その中には完全燃焼生成物としてのCO₂、NO_x、H₂Oと不完全燃焼生成物としてのCO、HCが含まれる。次のブローバイガスは、ピストンとシリンダの隙間からクランクケース内に吹き抜けるガスで、成分は殆ど未燃焼燃料すなわちHCである。また、燃料蒸発ガスは、ガソリンが揮発性の高い燃料であることに起因するもので、燃料タンク、キャブレター等燃料供給装置から蒸発して大気を汚染する。

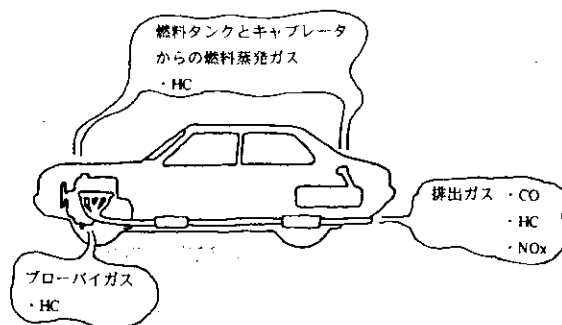


図 6.6.1 ガソリン車から排出される汚染物質

ディーゼル自動車からの汚染物質排出箇所を図 6.6.2 に示す。軽油はガソリンと違って揮発性が低いことから、燃料蒸発ガスによる大気の汚染は著しく少ない。また、ブローバイガスも、燃焼初期にピストンリング部に押し込まれるのは空気のみで、HC濃度は著しく低い。従って大気を汚染するガスの大部分は、排気管から排出される。表 6.6.1 に示したようにディーゼルエンジンでは、空気過剰状態での燃焼が多く、CO、HCの排出が少ない。しかし、その反面NO_xの排出は多く、また、燃焼後期における部分的酸素不足から黒煙・粒子状物質の発生が避けられず、さらには燃料中S分含有率がガソリンより多いために、SO₂も排出される。

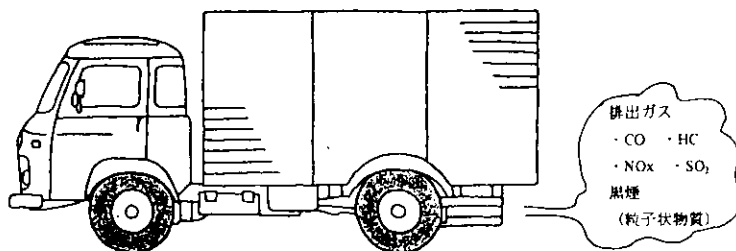


図 6.6.2 ディーゼル車から排出される汚染物質

(2) 汚染物質排出レベル

自動車から排出される汚染物質は、車種、車両重量、走行状態等によって大きく変動する。表 6.6.2 は各種汚染物質の東京都の平均的走行条件（平均車速 18.2 km/h）における排出レベルを比較したものである。表 6.6.2 に見るとおり、車種、車両が大きくなるに従って汚染物質の排出量は増加する。この傾向は NOx と PM において顕著である。乗用車を 1 とした比でみると、NOx では 10 tトラックはガソリン乗用車の 31 台分排出していることとなり、PM では同じく 55 台分排出していることになる。CO はもともとディーゼル車においては排出量が少なく、10 tトラックでも乗用車なみの排出量である。また、HC はガソリン乗用車の排出量が著しく少ないので、相対的に 10 tトラックの排出量比が大きくなっているが、排出量そのものは重量ガソリン車とそれほどの差異はない。

表 6.6.2 自動車からの有害物質車種別排出レベル 単位 g/km

有害物質名	ガソリン乗用車	中量 ガソリン車 750 kg	重量 ガソリン車 1 tバン	ディーゼル車			
				2 tトラック	4 tトラック	8 tトラック	10 tトラック
NOx	0.26	0.39 (1.5)	0.96 (3.7)	3.25 (12.5)	3.99 (15.3)	5.13 (19.7)	8.05 (31.0)
CO	3.99	5.76 (1.4)	15.84 (4.0)	1.63 (0.4)	1.88 (0.5)	2.03 (0.5)	3.56 (0.9)
HC	0.19	0.20 (1.1)	1.39 (7.3)	0.78 (4.1)	1.12 (5.9)	1.11 (5.8)	1.86 (9.8)
PM	0.012	0.010 (0.8)	0.022 (1.8)	0.173 (14.4)	0.365 (30.4)	0.505 (42.1)	0.656 (54.7)

註 () 内ガソリン乗用車を 1 とした比

(3) 発生源としての自動車の寄与割合

図 6.6.3 は全国レベルの発生源別 NOx 排出割合を示したものである。自動車からの寄与は規制対象自動車と未規制自動車合わせて 42% を占める。未規制自動車とは産業機械（フォークリフト等）、建設機械（油圧ショベル、ブルドーザー、ホイールロータ等）、農業機械（トラクタ、コンバイン等）を装備した特殊車で、NOx は大部分作業時に排出される。この発生源割合は大都市地域になると若干変わる。図 6.6.4 に大都市地域の NOx 発生源別排出割合を示した。自動車からの排出割合は、規制、未規制合わせて 60% を超える。また、車種別 NOx 排出寄与割合は図 6.6.5 のようになり、排出割合の大きいのは未規制自動車を別にすれば、普通貨物車等の貨物車類である。

自動車からの SOx 排出割合も工場からの排出量の低減により相対的に増加（平成 2 年度東京地域の排出量計算では SOx 全排出量の 55% が自動車）しているが、近年の軽油中の S 分含有率の低減に伴い、自動車からの排出寄与割合は低下するものと思われる。

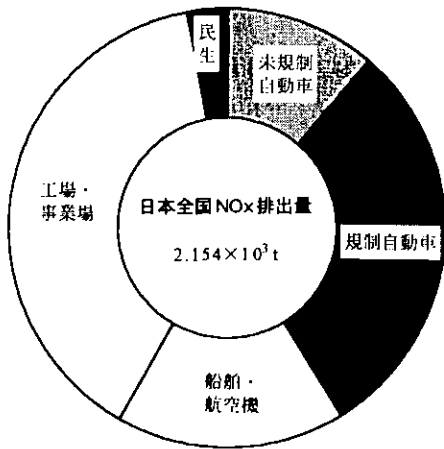


図 6.6.3 NOx 発生源別寄与割合 (全国)

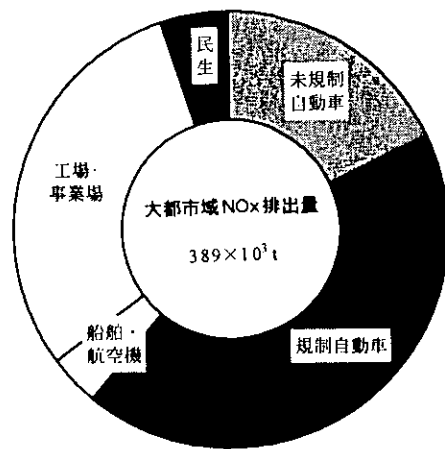


図 6.6.4 NOx 排出量発生源別寄与割合 (大都市)

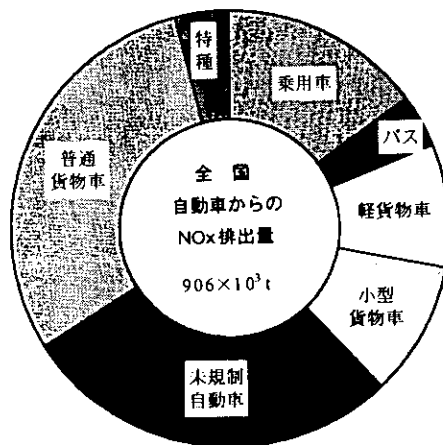


図 6.6.5 NOx 排出量車種別割合

6.6.4 その他の輸送機関

(1) 大気汚染源としての航空機

航空機排出ガスを地上の汚染源として取り扱う場合、一般的に地上 1,000 m までの高度を設定し、この高度からの航空機の着陸、駐機、そして再び 1,000 m までの離陸高度に達する間に排出する排出ガスを対象にする。このような航空機の離着陸モードは LTO (Landing Take Off) サイクルと言い、この間の運転モードを Approach, Aidle, Take-off, Climb に分類している。したがって航空機からの排出ガス量を算出するには各モード別所要時間と当該航空機の汚染物質 Emission Factor (単位時間 : エンジンモード当たり汚染物質排出量) とが判れば良い。このモード別所要時間は空港によっても、航空機種によっても異なるものである。一方、エンジン種別汚染物質 Emission Factor については、国内に調査デー

タが乏しく米国EPAの公表値に依存している。これらの数値を使って羽田空港からのNOx排出量を算出すると、年間1,400 tになり、これは東京地域全体のNOx排出量の2.4%を占める。また、1機当たりのNOx平均排出量は、1 LTOサイクル当たり8.7 kgと試算され、この数値は、10tトラックを平均車速18.2 km/hで1,080 km走行させた場合の排出量に匹敵する。

(2) 大気汚染源としての船舶

大気汚染源としての船舶を評価する場合、船舶が航行している場合と港内に停泊している場合に分けて検討する必要がある。また、停泊している場合でも荷役時と非荷役時では発生源の状態は異なる。船舶の航行ルート of 運転モード出現比率や荷役、非荷役の時間比率、ボイラー、ディーゼルエンジンの負荷率等の状態が判れば、船舶からの有害物質排出量が算出できる。図6.6.4に示した大都市地域のNOx排出量発生源寄与割合では、船舶は航空機と共に全体の4%をしめている。船舶独自の寄与割合は、港湾や空港の規模等によって違ってくる。東京地域の平成2年度のNOx排出量算出結果では、船舶からのNOx排出量は全体排出量の2.7%を占めており、横浜市ではこの比率が9%となる。

6.6.5 指摘課題

輸送機関における汚染物質排出状況把握には未だ多くの課題がある。第1に自動車にしても船舶にしても汚染物質排出実態把握に大がかりな装置を必要とし、排出ガス測定ができる機関が著しく少ないことがあげられる。第2にこれら輸送機関は、ベンゼン、1-3ブタジェン、アルデヒド、ベンゾ(a)ピレン等有害化学物質の発生源でもあり、その排出実態把握が急務となっている。

6.7 悪臭発生源

6.7.1 悪臭苦情の状況

公害等調整委員会が毎年行っている曲型7公害についての種類別の年間苦情件数についてみると、悪臭は騒音について第2位となっており、全体の苦情件数の約17%を占めている。これはこの調査開始以来20年以上にわたり変化していない¹⁾。

平成7年度の悪臭の苦情件数を発生源別にみると、「サービス業・その他」が最も多く、2,930件で全体の26.0%を占め、次いで「畜産農業」の1,824件(16.2%)である。第3位は、「個人住宅・アパート・寮」の1,481件(13.1%)である。また、食料品製造業、化学工場及びその他の製造工場等の製造業が、合計では全体の約1/4を占めており、依然として悪臭苦情の大きな原因の一つとなっている(図6.7.1)。なお、「サービス業・その他」の中で苦情件数も多いものは、飲食店、野焼き、自動車修理工場、クリーニング店等であり、同様に「その他の製造工場」の中では、塗装工場、金属製品製造工場、木工工場等が苦情件数が多い²⁾。これらの動向以上に近年の悪臭の苦情件数で特徴的なことは、一般住宅・アパート・寮、下水・用水その他の日常生活に起因する悪臭の割合が増加の傾向にあることであり、都市・生活型の悪臭苦情件数は全体の46.2%を占めている。

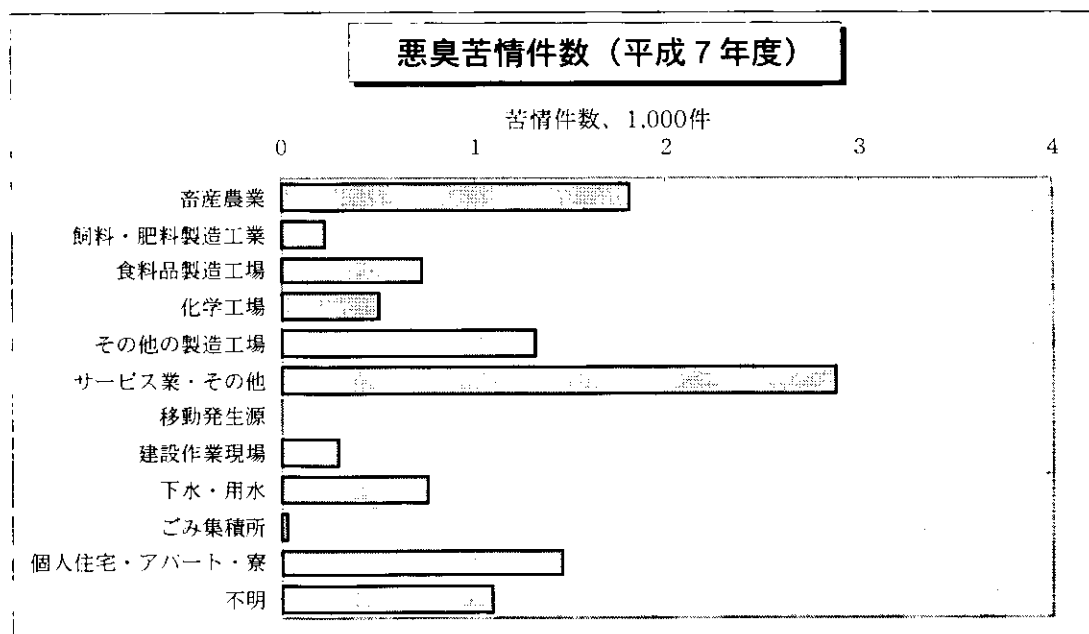


図6.7.1 日本の悪臭苦情件数 (平成7年度)

6.7.2 特定悪臭物質の発生事業場

悪臭防止法では、アンモニア、硫化水素、脂肪酸等の22物質が規制対象物質として規定されており、これらの物質を特定悪臭物質と呼んでいる。これら特定悪臭物質ごとの主な発生源を表6.7.1に示す³⁾。

表 6.7.1 特定悪臭物質の主な発生源

アンモニア	畜産農業、鶏糞乾燥場、複合肥料製造業、澱粉製造業、化製場、魚腸骨処理場、フェザー処理場、ゴミ処理場、し尿処理場
メチルメルカプタン	クラフトパルプ製造業、化製場、魚腸骨処理場、ゴミ処理場し尿処理場、下水処理場
硫化水素	畜産農業、クラフトパルプ製造業、澱粉製造、セロファン製造業、ビニール製造業、化製場、魚腸骨処理場、フェザー処理場、ゴミ処理場、し尿処理場、下水処理場等
硫化メチル	クラフトパルプ製造業、化製場、魚腸骨処理場、ゴミ処理場、し尿処理場、下水処理場等
二硫化メチル	クラフトパルプ製造業、化製場、魚腸骨処理場、ゴミ処理場、し尿処理場、下水処理場等
トリメチルアミン	畜産農業、複合肥料製造業、化製場、魚腸骨処理場、水産缶詰製造業
アセトアルデヒド	アセトアルデヒド製造工場、酢酸製造工場、酢酸ビニル製造工場、クロロリン製造工場、たばこ製造工場、複合肥料製造工場、魚腸骨製造工場
アルデヒド類 プロピオンアルデヒド n-ブチルアルデヒド イソブチルアルデヒド n-パルアルデヒド イソパルアルデヒド	塗装工場、その他の金属製品製造工場、自動車修理工場、印刷工場、魚腸骨処理場、油脂系食品製造工場、輸送用機械器具製造工場
溶剤類 イソブチルアルコール、酢酸エチル メチルイソブチルケトン トルエン、キシレン	塗装工場、その他の金属製品製造工場、自動車修理工場、木工工場、繊維工場、その他の機械製造工場、印刷工場、輸送用機械器具製造工場、鋳物工場
スチレン	スチレン製造工場、ポリスチレン製造工場、SBR製造工場、FRP製造工場、化粧合板製造工場
プロピオン酸	脂肪酸製造工場、染色工場、畜産事業場、化製場、澱粉製造工場
n-酪酸、n-吉草酸 イソ吉草酸	畜産事業場、澱粉製造工場、化製場、魚腸骨処理場、畜産食品製造業、し尿処理場 廃棄物処分場

6.7.3 主な臭気発生事業場とその影響

臭気発生事業場等から発生する臭気の排出量と、その臭気による周辺環境への影響範囲との関係を知ることは、悪臭対策を検討する上からも重要である。一般に臭気の原因から環境への影響を調べるのに、各種の拡散方程式を用いて環境濃度を計算する方法が採られている。しかし、臭気の場合、発生源の特定、発生量の把握等が困難であり、実際との間で差が生じることが多い。重田は、総臭気排出強度（T.O.E.R.：Total Odor Emission Rate）を用いて、経験的に臭気の影響との関係を表 6.7.2 のように導き出している⁴⁾。なお、O.E.R.とは発生源の臭気濃度に排ガス量（ m^3/min ）を乗じた値であり、T.O.E.R.は、同一事業場内に複数の発生源がある場合に、各々のO.E.R.を加えた値である。

表 6.7.2 T.O.E.R と影響範囲の関係

TOER	悪臭公害の起こり 具合	発生業種代表例 (悪臭防止対策無)	影響範囲
10 ⁴ 以下	特殊な場合を除いて 起こらない	ハン工場 醸造工場	
10 ⁵⁻⁶	現在、小規模の悪臭公 害が起こっている が、その可能性を内在 している。	塗料・塗装工場 印刷・インク工場 皮革工場、FRP工場 飼・肥料工場 下水処理場	悪臭の最大到達距離は1～ 2 kmで悪臭苦情も500 m 以内が中心で、1 km以退 はなし。
10 ⁷⁻⁸	小・中規模の悪臭公害 が起こっている。	鋳物工場 し尿処理場 養豚・養鶏場 石油化学工場	悪臭の最大到達距離は2～ 4 kmで悪臭苦情は1 km範 囲内である。
10 ⁹⁻¹⁰	大規模の悪臭公害が 起こっている。	KP工場 セロファン工場 へい獣処理場 レイヨン工場	悪臭の最大到達距離は10 km以内で悪臭苦情は2～ 3 km範囲内である。
10 ¹¹⁻¹²	最大の悪臭発生源 で、その例は少ない。	公害対策をしていない 大規模のKP工場。	悪臭の最大到達距離は数十 kmに及び被害も4～6 km の範囲に及ぶ。

6.7.4 事業場の主な臭気発生源

悪臭の場合、臭気発生源を特定することは、必ずしも容易なことではない。予想していた場所とは異なり、思わぬ場所から発生している臭気が、周辺に大きく影響を及ぼしていることが少なくない。高橋⁵⁾は下水処理場における臭気発生状況について、その発生源及びその臭気濃度について取りまとめている。下水処理場における臭気の発生状況を表6.7.3に示す。また谷川⁶⁾は、都市ごみの処理・処分に伴って発生する臭気について報告、その中で臭気の種類としては、ごみそのものから発生する臭気、ごみ処理に伴い発生する臭気（焼却排ガス、コンポスト処理、埋立処理等）及びその他（ごみ収集車の排ガス、排水処理施設等）に分類している。都市ごみの処理・処分過程での主な臭気発生源を表6.7.4に示す。

表 6.7.3 下水処理場の臭気発生源と臭気濃度

臭気発生源	最小値	最大値	幾何平均値
予備エアレーションタンク	730	7,300	2,300
沈砂地	14	2,300	210
スクリーンかき上げ機	980	2,300	1,500
重力式汚泥濃縮槽	230	230,000	6,200
真空ろ過器	<10	310	28
加圧ろ過器	<10	10	<10
ベルトプレスろ過器	5,500	13,000	7,300
遠心脱水機	—	—	55
多段焼却炉排ガス	3,100	55,000	16,000
最初沈殿池	18	41,000	220
曝気槽	10	1,900	110
汚泥洗浄タンク	<10	980	120

表 6.7.4 ごみの処理・処分過程における主な臭気発生源

ごみの処理・処分過程	臭気発生源		臭気の種類
収集	ごみ集積所 ごみ収集車		ごみの臭気、自動車排出ガスの臭気 ごみの臭気、自動車排出ガスの臭気
運 搬	ごみ収集車		ごみの臭気、自動車排出ガスの臭気
中間処理	都市ごみ 焼却施設	プラットフォーム ごみピット 煙 突 灰ピット 環境対策施設 廃棄物運搬車両	ごみの臭気、自動車排出ガスの臭気 ごみの臭気 焼却排ガスの臭気 焼却灰の臭気 排水の臭気、薬品の臭気 自動車排出ガスの臭気、ごみの臭気 焼却灰の臭気
最終処分	埋立処分場		埋立処理の臭気、ごみの臭気、焼却灰の臭気 自動車排出ガスの臭気、排水の臭気

その他の事務所から発生する主な臭気発生源について、事業場ごとに以下に示す。

- 畜産農業 : 豚舎、鶏舎、糞尿とその処理施設、堆肥置き場、堆肥化施設乾燥場
- 化 製 場 : クッカー・プレス・ドライヤー及びその廃蒸気、廃水処理装置、原料置き場、濃縮装置のドレーン
- 塗装工場 : 塗装ブース、ヤッチング、焼き付け乾燥炉
- 印 刷 業 : 印刷機に組込まれた乾燥装置、印刷部、版・ローラ等の洗浄作業、印刷インキ、希釈剤の調合作業、インキ・溶剤の貯蔵保管庫
- 食品工業 : 排水、原料・包装材の焼却、燻煙、ボイラー排煙、原料置き場
- 石油精製業⁷⁾ : 蒸留装置・分解装置・水素化精製装置・脱硫装置等の副生ガス、硫黄回収装置、貯蔵出荷所、フレアスタック、排水
- 化学工場⁸⁾ : 反応設備、蒸留設備、吸収・吸着設備、乾燥設備、焼却設備 :
- 下水処理場⁹⁾ : 沈砂池、沈殿池、曝気槽、し査ホッパー、沈砂ホッパー、汚泥濃縮槽、汚泥貯留槽、汚泥消化槽、汚泥脱水機、汚泥焼却炉
- し尿処理場¹⁰⁾ : 投入孔、投入室、曝気槽、消化槽、濃縮槽、汚泥処理施設、汚泥焼却炉
- クラフトパルプ製造¹⁰⁾ : 蒸解釜、エバポレータ、回収ボイラー、ライムキルン

6.8 大気汚染物質の排出係数

6.8.1 概説¹⁾

ある地域の大気汚染対策を合理化するにはその地域での大気汚染物質総排出量を大気汚染物質別に、その地域での人間活動種類別に推定する必要がある。この推定には、燃料燃焼や工業生産活動等ともなう大気汚染物質排出量実測結果とこれら人間活動とから算出した大気汚染物質排出係数が活用されてきた。また、地域的大気汚染物質総排出量推定に必要なこの技術定数は、大気拡散理論による大気汚染濃度予測を可能とし、環境評価制度運営や大気汚染物質の地域的削減計画策定にも活用されてきた。

1970年アメリカ合衆国政府は、1968年における全米での5種類の大気汚染物質総排出量推定結果を発表した²⁾。また同政府は、この算出基準と考えられる大気汚染物質の排出係数に関するR. L. Dupleyによる報告書³⁾を提出しており、これは我が国において社団法人燃料協会により翻訳されている⁴⁾。R. L. Dupleyは、この報告書の中で排出係数につき『大気汚染物質の排出係数とは、燃焼炉で一定量の燃料を燃焼させた場合、工場で一定量の製品を製造した場合、また自動車であれば一定走行距離のようなパラメーターを基準とした場合に、排出される汚染物質の統計的な平均排出量のことである。』と定義し燃料燃焼、各種工業プロセスや輸送機関等の大気汚染物質発生源概要とそれらにおける排出係数を紹介している。またこの報告書³⁾序文には、これは既発表技術論文データをまとめたもので、算出基礎をM. Mayerが1965年に編集したもの⁵⁾に置いたと記している。

一方、我が国では1960年に通産省工業技術院が、全国271工場の煤煙排出状況を調査し、1961年その結果を発表しているがこの報告書⁶⁾の中でセメント焼成炉からの煤塵排出量をセメントクリンカ生産tあたりの排出煤塵排出量として計算している。その結果は0.3~3.3 kg/tであり、湿式プロセスでは1.8 kg/t以下、乾式プロセスでは1.0~3.3 kg/tのものが多く述べ、とくに大気汚染物質排出係数とはいっていないが、アメリカ合衆国政府より早くからこの概念を持っていた事が伺える。とはいえその後の通産省の活動に同様なものは見当たらない。

さて、この通産省の報告書⁶⁾も前述のアメリカ合衆国政府によるもの同様に、すでに測定した排ガス中大気汚染物質濃度をもとに算出したものだが、その後我が国で排出係数を必要とした1970年代に、大気汚染発生源に関する技術論文があまり見当たらず独自の実測組織を構成したのは特筆すべきだろう。

6.8.2 固定発生源からの大気汚染物質排出係数

(1) 我が国における固定発生源からの大気汚染物質排出係数算出作業

我が国で一定地域の大気汚染物質の総排出量が推定されたのは、昭和45年の公害防止計画策定時だったが、前述の工業技術院の報告書⁶⁾を別にすると実測結果から排出係数をまとめたのは東京都によるもの⁷⁾が最初だったといわれている。

昭和46年神奈川県公害対策事務局は川崎市、横浜市に立地する主要40工場の重油燃焼量と硫酸化物排出量との関係式を得て比例モデルによる硫酸化物総量削減規制を導入したが、この関係式も

排出係数といえるだろう^{8) 9)}。

昭和47年環境庁大気保全局は『光化学反応による大気汚染調査委員会』を設置し『発生源分科会』を付設して固定発生源からの大気汚染物質の排出係数に関する調査研究を開始した^{1) 10)}。この活動は前述のように独自に排ガス中の汚染物質を実測する組織を構成し進められ、昭和48年からは『大気汚染発生源委員会』に引き継がれた¹⁾。そして、昭和51年に地方自治体による測定データも集めて例えば発電用と工業用ボイラーについて図6.8.1のような窒素酸化物排出量と燃料燃焼量との関係を得た。またその負荷変動、窒素酸化物排出量、燃料燃焼量の関係式を得て表6.8.1のようなボイラーについての窒素酸化物の排出係数を得た。さらに、煤塵、窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素に関する排出量と燃料燃焼量の比を発生源種類別、燃料別に平均して例えば、表6.8.2の排出係数を求めた。^{1) 11) ~13)}

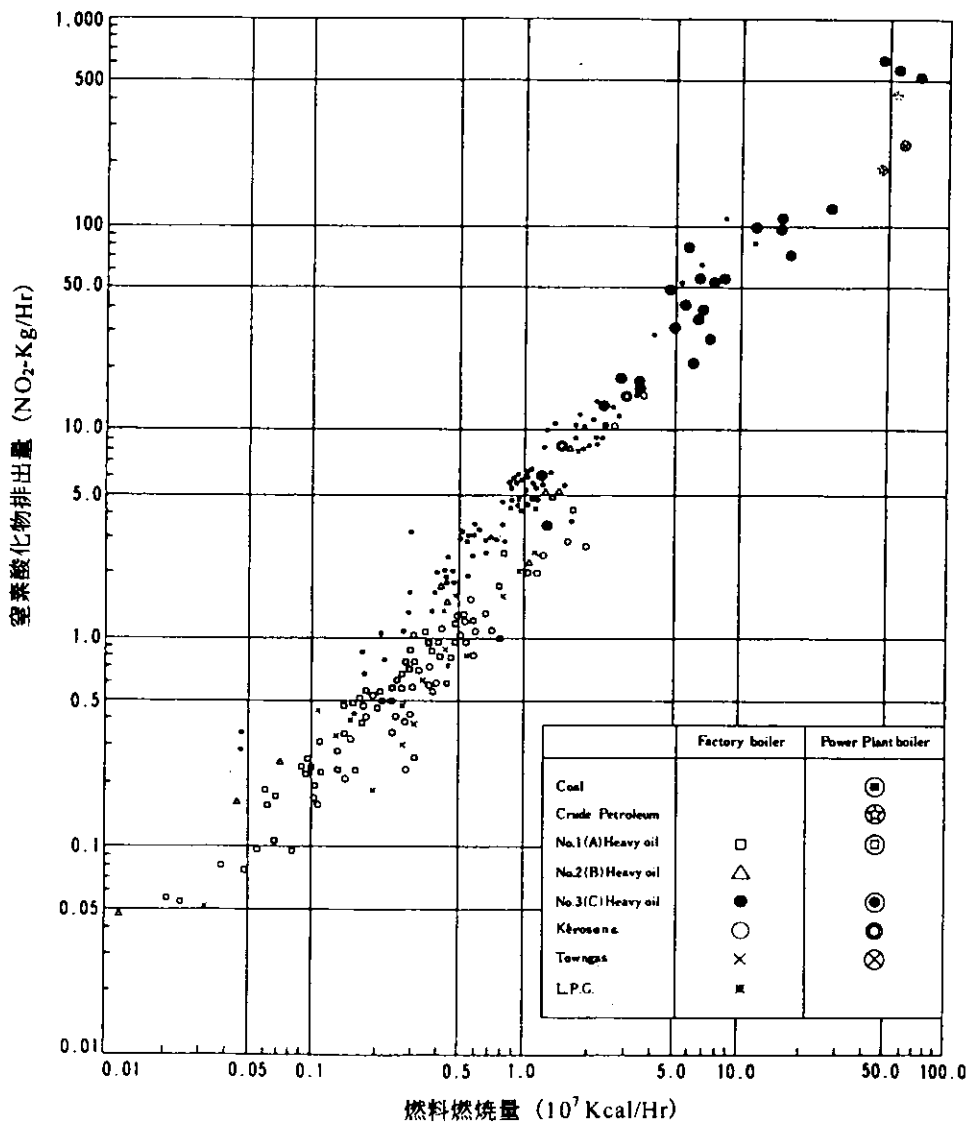


図6.8.1 発電用と工業用ボイラーにおける窒素酸化物排出量と燃料燃焼量との関係

表6.8.1 発電用と工業ボイラーの窒素酸化物排出係数

燃焼量の定格 (10 ⁷ Kcal/h)	窒素酸化物排出係数 (NO ₂ -Kg/10 ⁸ Kcal)			
	負荷 0.4	負荷 0.6	負荷 0.8	負荷 1.0
10	49.1	57.3	64.1	69.8
30	49.7	58.1	64.9	70.7
50	50.0	58.5	65.3	71.2
70	50.2	58.7	65.6	71.5
90	50.3	58.9	65.8	71.7
100	50.4	58.9	65.9	71.8

表6.8.2 固定燃焼施設の排出係数の例

燃焼施設	燃料種類	排出係数 (Kg/10 ⁸ Kcal)			
		煤 塵	窒素酸化物	一酸化炭素	炭化水素
発電ボイラー	C重油	4.7	63.5	78.9	37.1
	A重油		50.7		
	原油		56.5	3.3	89.0
	LNG		38.9		
	石炭		128.0		
工業ボイラー	C重油	12.2	56.6	7.5	0.11
	B重油	5.9	40.5	7.1	1.12
	A重油	6.4	25.2	3.5	0.43
	軽油	5.6	20.7	17.3	0.08
	LPG		32.4		0.09
ガラス熔融炉	C重油	48.1	251.0	32.5	0.25
	B重油		257.0		
	A重油	2.4	121.0		
セメント焼成炉	乾式	9473	127.0	83.2	4.64
	湿式	11782	162.0	12.2	1.63
	レボル	14414	212.0	246.0	1.42

(2) 大気汚染物質の排出係数の算出結果例

アメリカ合衆国政府は、その後も多くの大気汚染物質の排出係数を算出し、発表している¹⁴⁾。その例を表6.8.3、表6.8.4に示す¹⁴⁾。

表6.8.3 固定燃焼施設の排出係数（燃料油燃焼、ノーコントロール）

		煤塵	二酸化硫黄	無水硫酸	一酸化炭素	窒素酸化物
		(大気汚染物質排出量-Kg/燃料油燃焼量-kℓ)				
ボイラ形式	発電用（重油燃焼）		19S	0.34S	0.6	8.0
	工業用（重油燃焼）		19S	0.24S	0.6	6.6
	工業用（軽油燃焼）	0.24	17S	0.24S	0.6	2.4
	商業用（重油燃焼）		19S	0.24S	0.6	6.6
	商業用（軽油燃焼）	0.24	17S	0.24S	0.6	2.4
	住居用（軽油燃焼）	0.3	17S	0.24S	0.6	2.2

S：燃料中硫黄含有率（％）

表6.8.4 ガソリン給油所からの炭化水素系物質の蒸発損失

排出源		排出比（排出ガソリン蒸気-mg/ガソリン給油量-ℓ）
地下タンクへの給油	自由落下（給油管油面上）	1440
	給油管油面中	840
地下タンク息付損失		120
自動車タンク給油損失 （コントロールせず） （コントロール）		1320 132
	こぼし損失	80

(3) 固定発生源に関する大気汚染物質の排出係数の利用

表6.8.1、表6.8.2の排出係数はその後我が国全国における窒素酸化物等の大気汚染物質の総排出量の推定に用いられ¹¹⁾、さらに窒素酸化物総量削減計画の策定に使用されて、我が国の大気汚染防止政策の遂行に役立った。

また、排出係数は前述のように環境影響評価のための大気汚染物質の地域的拡散モデル構築¹⁵⁾にも有用である。

6.8.3 移動発生源からの大気汚染物質排出係数¹⁶⁾

自動車からの大気汚染物質の排出量は、車種（エンジン種類 [ガソリン、ディーゼル]）、大きさ [車種重量、積載量]、排気量、走り方（走行パターン）、排出ガス対策の種類によって相違する。これらの異なる要因を可能な限り平準化して総体をを把握し、車種別の汚染寄与割合を算出するための基礎資料として排出係数は重要である。

(1) 大気汚染物質排出と走り方の関係（一般的傾向）

大気汚染物質排出と走り方の関係の一般的傾向を表6.8.5に示す。なお、排出係数の算出には車種、車両重量、積載量、排気量、走行パターンを効率よく平均的に把握する事が重要である。

表6.8.5 大気汚染物質と走行との関係

CO、HC、燃費	平均車速に依存する。
ディーゼル車NOx	都市内走行では、低速程排出量が多い。高速道路（渋滞無）では、逆に高速程排出量が多い。
ガソリン車NOx	平均車速にはあまり依存しない。高負荷時（加速時、高速走行時）に多く排出される。

(2) 排出係数算出の手順の概要

排出係数の算出には、まず算出対象地域の道路上において実験車を用いた実走行調査を行い、得た走行結果を解析し代表走行パターンを作成する。

そして、シャーシダイナモメーター上に排出係数の算出対象車を乗せて、作成された代表走行パターンを再現し模擬走行させつつ、その排出ガス中の大気汚染物質排出量を測定する。さらにこの測定結果を集計解析して排出係数を算出する。

(3) 対象地域における実験車による実走行調査

排出係数算出対象地域の道路上の自動車走行状況を把握する目的で実験車による実走行調査を行う。走行方法は通常の自動車走行の流れに従い、実験車を走行させ車速、アイドリング時間、定速時間、加減速量・時間帯を、例えば0.5秒毎に載録する。走行時間帯、路線はそれぞれ複数を交通量を勘案して決定する。

(4) 代表走行パターンの抽出

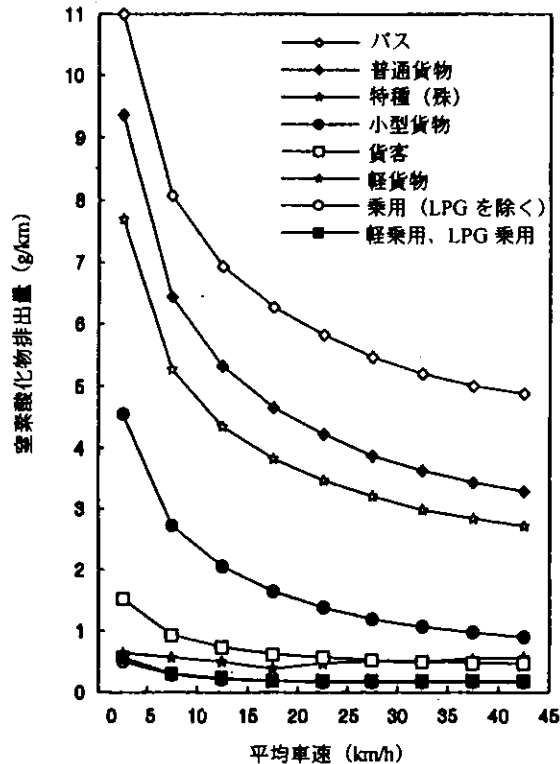
上記載録結果を車速、アイドリング時間、定速時間、加減速量・時間帯が平均的になる走行パターン（通常20分程度とする。）を抽出する。なお、東京都の場合は、首都高速道路1パターン、一般街路は平均して10パターン（4.5～45.0 km/h）を抽出している。

(5) シャーシダイナモメーター上における排出ガス測定試験

代表走行パターンをシャーシダイナモメーター上で再現し、模擬走行試験を行い、排出ガスを分析・測定する。測定車種は、調査対象地域の走行車種を勘案して選定する。なおシャーシダイナモメーターは、自動車の動力車輪をこの装置のローラー上に乗せて固定し、走行パターンに従い、自動車を静止の状態に保ちつつそのエンジンを走行状態にさせる装置である。ローラーには、走行抵抗が、車速に従い負荷される機構になっている。走行抵抗は、車種により異なるので、走行抵抗が不知の場合は、実測する必要がある。

(6) 排出係数の作成

実測結果を車種別に整理する。なお、東京都の場合は、一般街路については回帰曲線を排出係数としている。図 6.8.2 に平成 6 年度に東京都で得た窒素酸化物の排出係数算出結果を示した。



出典：東京都環境保全局

図 6.8.2 窒素酸化物排出係数 (平成 6 年度)

(7) 大気汚染物質排出量の算出

自動車の排出係数は通常 (g/台・km) で示す。なお台は省略する事が多い。さらに排出量算出には、排出係数に対応する車種の (台・km/h) が必要である。(台・km/h) の算出方法は、特定区間 (x km) における交通量 (y 台/h) を把握し、これらを乗じて (x・y 台 km/h) で得られる。すなわち大気汚染物質総排出量は (1)、(2) 式で求める。

$$\text{車種別排出量 (kg/h)} = \text{特定区間 (x Km)} \times \text{車種別交通量 (y 台/h)} \times \text{車種別排出係数 (g/台・Km)} \dots\dots (1)$$

$$\text{総排出量 (Kg/h)} = \text{A 車種 (Kg/h)} + \text{B 車種 (Kg/h)} + \dots\dots\dots (2)$$

(8) 一般的注意事項

排出係数は、地域的、平均的なものである。ある特定の路線、時間帯に利用するには、注意が必要である。排出係数は、あくまでも排出量の算出に必要なものである。算出に必要な、例えば

交通量などのデータが不十分の場合は、あまり精度を追求しても意味はなく、また交通量データに対応した単位の排出係数としなければならない。

(6.1) 引用文献

- 1) 黒川真武；燃焼工学概論, pp.1-14, 技報堂 (1953)
- 2) 辻正一；公害防止燃焼技術概論, 日本熱エネルギー技術協会 (1973)
- 3) 柴田巧；発電電所, 電気書院 (1972)
- 4) 環境庁大気保全局；固定燃焼施設における大気汚染物質の排出係数に関する調査報告書 (1977)
- 5) 氷見康二；大気環境保全の将来と科学技術の役割, 公害と対策, 21, 310-312 (1985)
- 6) 玉置琢摩, 萩原宏康；MHD 発電, 総合科学出版 (1975)

(6.2) 引用文献

- 1) 粉体工学会編；粉体工学用語辞典, 日刊工業新聞社 (1981)
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課監修；粉じん発生施設解説集, ぎょうせい (1985)
- 3) 八田四郎次；化学工学概論, 共立出版社 (1951)
- 4) 氷見康二；固定発生源からの大気汚染物質の排出係数について, 大気汚染学会誌, 21, 465-485 (1986)

(6.3) 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局；固定燃焼施設における大気汚染物質の排出係数に関する報告書 (1977)
- 2) 通商産業省立地公害局監修；公害防止の法規と技術, 産業公害防止協会 (1978)
- 3) 氷見康二；固定発生源からの大気汚染物質の排出係数, 大気汚染学会誌, 21, 465-485 (1986)
- 4) R.L.デュプレイ著, 燃料協会訳；大気汚染物質の排出源-発生過程と排出係数, 横川書房 (1971)
- 5) 庄司務；酸、アルカリ及肥料, 産業図書 (1948)
- 6) US. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; ATMOSPHERIC EMISSIONS FROM CILOR-ALKALI MANUFACTURE (1971)

(6.4) 引用文献

- 1) 岩崎重三；応用鉱物学, 内田老鶴圃 (1943)
- 2) 環境庁大気保全局；固定燃焼施設における大気汚染物質の排出係数に関する調査報告書, pp.312-313 (1976)
- 3) 氷見康二；固定発生源からの大気汚染物質の排出係数について, 大気汚染学会誌, 21, 465-485 (1986)
- 4) J.J.Schneneman, W.D. High, W.E. Bye; Air Pollution Aspect of the Iron and Steel Industry, U.S. Department of Health Educaation and Welfare, Public Health Service (1963)
- 5) 田鍋力ら訳；シュレーガー, 金属学入門, 丸善 (1971)
- 6) 森永卓一；アルミニウム精錬, 日刊工業新聞社 (1968)

(6.5) 引用文献

- 1) 伊木貞雄；天然石油と人造石油, 共立出版 (1952)
- 2) 岩本振武訳；環境理解のための基礎化学, 東京化学同人 (1989)
- 3) 石油学会編；改訂石油精製プロセス, 幸書房 (1972)
- 4) 森田義郎；石油精製－理論と工業, 昭晃堂 (1972)

- 5) U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION, AND WELFARE Public Health Service; Atmospheric Emission from Petroleum Refineries, A GUIDE FOR MEASUREMENT AND CONTROL (1960)
- 6) 氷見康二; 固定発生源からの大気汚染物質の排出係数, 大気汚染学会誌, 21, 465-485 (1986)
- 7) 日本石油株式会社; 石油便覧 1994, p.245 (1994)
- 8) 石油学会編; 新石油事典, p.857 (1992)

(6.6) 参考文献

- 1) 環境庁大気保全局; 日本の自動車環境対策, 平成8年7月 (1996)
- 2) 東京都環境科学研究所; 自動車排出ガスと大気汚染, 環境トピックシリーズNo.8 (1995)
- 3) 東京都環境保全局; 都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書(概要版)平成8年3月 (1996)

(6.7) 引用文献

- 1) 山本進一; 悪臭防止関係法令の改正について, 環境管理, 32, 137~144 (1996)
- 2) 倉谷秀和; 最近の悪臭苦情の動向について, 産業と環境, 3月号, 57-60 (1997)
- 3) 悪臭法令研究会; 新訂ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい (1996)
- 4) 新環境管理設備事典編集委員会; 大気汚染防止機器, 産業調査会 (1996)
- 5) 高橋正宏; 下水処理場の臭気問題の現状, 臭気の研究, 25, 1-7 (1994)
- 6) 谷川 昇; 都市ごみの処理・処分に伴う臭気の発生と対策の現状, 臭気の研究, 27, 1-8 (1996)
- 7) 田澤信治; 石油精製業における臭気対策, 産業公害, 29, 430-436 (1993)
- 8) 吉村恒典; 化学工場における臭気対策, 産業公害, 29, 437-442 (1993)
- 9) 大越芳男; 下水道施設における臭気対策, 産業公害, 29, 443-455 (1993)
- 10) 石黒辰吉; 臭気対策の基礎と実際, オーム社, (1997)

(6.8) 引用文献

- 1) 氷見康二; 固定発生源からの大気汚染物質の排出係数について, 大気汚染学会誌, 21, 465-485 (1986)
- 2) U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service; Nationwide Inventory of Air Pollutants Emissions 1968 (1970)
- 3) Dupley, R.L.; Compilation of Air Pollutants Emission Factors, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Bureau of Disease Prevention and Environment Control, National Center for Air Pollution (1968)
- 4) R.L. デュブレイ著, 社団法人燃料協会訳; 大気汚染物質の発生源—発生過程と排出係数 (1971)
- 5) Mayer, M.; A Compilation of Air Pollutants Emission Factors for Combustion Process, Gasoline Evaporation, and Selected Industrial Processes, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, National Center for Air Pollution (1965)
- 6) 工業技術院; 煤煙等に関する実態調査報告書 (1961)
- 7) 東京都公害局規制部; 大気汚染物質排出係数算出調査(固定発生源) (1973)
- 8) 神奈川県公害対策事務局; 神奈川県公害防止条例等逐条解説, 帝国地方行政学会 (1972)
- 9) 氷見康二; 神奈川県における大気汚染防止対策の成果について, 産業公害, 16, 461-469 (1980)

- 10) 日本熱エネルギー技術協会；光化学反応要因物質発生源調査報告書，固定燃焼施設における窒素酸化物・炭化水素の排出量について，昭和47年環境庁委託調査（1973）
- 11) 環境庁大気保全局；固定燃焼施設における大気汚染物質の排出係数に関する調査報告書（1976）
- 12) Himi Y. et al.; Air Pollutant Emission Factors from Stationary Combustion Sources, Proceedings of The Fourth International Clean Air Congress, pp. 913-918 (1977)
- 13) Himi Y.; Air Pollutant Emission Factors from Stationary Combustion Sources, EXTENDED ABSTRACTS, JAPAN-CHINA SYMPOSIUM ON AIR POLLUTION, pp.173-178 (1991)
- 14) U.S. Environmental Protection Agency; Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point And Area Sources, Fourth Edition, pp.1.3-1, pp.4.4-15 (1985)
- 15) 氷見康二；NOx 総量規制への対応と課題，省エネルギー，10, (7) 10-17 (1983)
- 16) 東京都公害局大気保全部；自動車公害ハンドブック（1980）

第7章 大気汚染防止技術

7.1 大気汚染防止の基礎的考え

7.1.1 概説

大気汚染防止には、大気汚染物質排出削減が不可欠で、この目的のため多くの技術が応用され、集塵装置や排ガス脱硫、脱硝装置等の汚染物質処理回収技術が広く普及している。とはいえ、これだけが大気汚染防止の手段ではなく、後述するように燃料改善、燃焼管理、省エネルギー、工程管理等多くの技術的防止手段が存在する。そこで、これら採用する大気汚染防止の基礎的考えを紹介する。

7.1.2 大気汚染防止の基本的考察

後述のように大気汚染物質発生量は、生産工程の合理的管理で達成可能な場合がある。いいかえれば、工程管理が不適切なために大気汚染物質発生原因となっているケースは多く、この大気汚染防止のため、生産工程が合理的か否か第1に点検することが望ましい。名古屋大学の新保元二¹⁾は、従来生産工程中の原料と製品をつなぐ物の流れを中心にフロー・シートが描かれていたが、環境に影響をするものの方を中心に、フロー・シートを描くネガティブ・フロー・シートの考えを紹介している。要するに、生産工程における物質すべてに関する流れを把握し、汚染物質の排出まで考慮して工程管理しようという考え方である。要は、汚染物質排出を最小限に保って生産するのが、大気汚染防止にまず必要であることを認識すべきだろう。さらに、横浜国立大学の浦野紘平²⁾が紹介している環境汚染物質排出・移動登録（PRTR）にもこの考えが存在する。

そこで一般に、生産工程において製品に入って行かない原材料が多い工程汚染物質排出要因が高く、幾段も生産工程が重なっている複雑な工程汚染物質排出が多いと考えるべきだろう。

7.1.3 大気汚染防止装置について

以上の考えに基づいて生産工程を徹底的に合理化し、原燃料を選択しても大気汚染規制基準にまで汚染物質排出量をコントロール不可能で、さらに規制されていない物質でも、その排出量から考慮し大気汚染を引き起こすと考えたら、大気汚染防止装置採用を考慮せねばならない。一般に、大気汚染防止装置は集塵装置、排ガス脱硫装置、重油脱硫装置のいずれもが、汚染物質の回収装置であることを認識し、採用に十分慎重であるべきである。すなわち、環境汚染は物質の重積と物事の偏りで発生すると考えられ、回収汚染物質は放置すれば自然界においてやがて分散し、環境汚染を引き起こすのである。そこで、物質回収装置である大気汚染防止装置は、不注意に回収汚染物質を放置したら環境汚染の一時的低下に役立っても、見方を変えれば環境汚染原因を断切っていないことを認識すべきなのである。さらに、大気汚染防止装置の運転・管理には、いくばくかのエネルギーを必要とし、この取得手段が汚染物質発生要因であることを考慮すべきであろう。

1823年、イギリスではルブラン・ソーダ法を採用したアルカリ工業が繁栄して塩化水素による大気

汚染被害が提起され、これが契機でアルカリ法が制定されて塩化水素規制が施行された。世界で最初の化学物質排出規制と考えられるこの規制も1863年排ガスの水洗処理で解決したものの、この排水を河川放流したため『大気汚染を水質汚濁に変更したに過ぎなかった。』と評価されている³⁾⁴⁾。このため、大気汚染防止装置で回収された大気汚染物質の利用法を含めた環境安全性保持は重要であり、回収汚染物質の資源的考察も欠かせないように思われる。さらに、資源的考察といえば大気汚染防止装置で用いる物質の資源的考察も肝要である。例えば、アンモニアで窒素酸化物を接触還元する乾式排ガス脱流装置の場合、アンモニア生産量という制約の存在も考慮すべきであるし、この点アンモニアで中和する湿式排ガス脱流装置でも同様である。さらにこの場合、副生硫酸を肥料に利用すると耕地を酸性化してその荒廃を招き環境保全上課題を残すことを認識すべきだろう⁵⁾。また、乾式排ガス脱硫装置による硫酸製造は、硫酸の肥料としての使用を促進することになる。

特に我が国においては硫酸は余剰である。この点石膏は不足し輸入しており石灰-石膏法は資源的、環境安全性の意味でも優位性が存在する。

さらに、電気集塵装置で回収したフライアッシュをセメント原料に利用したり、バグフィルターで回収した転炉排ガス中フュームを製鉄原料に用いたり、灯油洗浄で回収したガソリン出荷施設からのガソリン蒸気を原油タンクに戻すことは、優れた大気汚染物質回収技術利用方法である。このように、大気汚染防止装置の利用にはその資源的、エネルギー的制約を考慮して回収物質の利用、環境安全性付与に十分な検討を必要とするとともに、装置運転に必要とする資材と副生物質の運搬手段に関して考察することが肝要であろう⁶⁾。

7.1.4 大気汚染防止組織の確立

さて技術的活動には技術者を中心とする大気汚染防止組織確立は不可欠で、防止技術のソフト部分として重視すべきである。そして、これは従来の生産技術の考え方に基本的変更を迫る場合もある。例えば、敷地面積の多くを大気汚染防止装置で占められた火力発電所もあるし、火力発電所の重要部分である石炭堆積場を排ガス脱流装置建設のため、割かざるを得なくなった石炭専焼火力発電所がある。また排ガス脱流装置等の管理を円滑化するためだろう、一般に電気技術者が多い火力発電所長に化学技術者を任命したという電力会社もある。このように大気汚染防止技術は、従来の工学分野の学術的境界を完全に超えるまでになっていることも大気汚染防止組織運営のため留意すべき事項だろう⁷⁾。

7.2 大気汚染対策の変遷

7.2.1 はじめに

大気汚染の防止する方法としては

- (1) 被害地域と発生源を離す（距離減衰を図る）
- (2) 煙突や排気筒を高くし、地上での高濃度をさける。
- (3) 集塵装置や有害ガス処理装置等の処理装置を付ける。（自動車：三元触媒）
- (4) 燃料を良質なものに転換する。（自動車：低公害車）

などが考えられるが、これらの施策をより確実に実行に移すためには、

- (1) 協定を結び（公害防止協定等）、その中に目標を定めて、対策を具体化させる。
- (2) 法律、条例などにより規制値を定め、遵守させる。
- (3) 指導標準、指導要綱、指導指針などを作成し、目標値を置き守らせる。

などがあり、これらの組み合わせにより対策効果が発揮される。

7.2.2 指導・協定による例

1951年宇部市議会は企業代表、市議会代表、学識経験者の3者で組織する「ばい煙対策委員会」を市長の諮問機関として設立し、この指導で、1951年石炭使用量月85,600tを1962年には153,600tと79%以上増加したにもかかわらず、煤塵量は55.9t・月・kmから18t・月・kmと3分の1以下に減少させた。（40台近い集塵装置を整備し、煤塵はセメント混和材として売却、10年間で9億円の売り上げを得た）：通称「宇部方式」といわれている。

このほか、大手の公害発生企業と自治体とが協定を結ぶ方式が多数みられた。

7.2.3 段階的規制の導入とその効果

(1) すす・ばいじん対策

1932年「大阪府煤煙防止規則」が公布され、リングルマン濃度3以上の黒煙を禁止したのが大気汚染規制の始まりである。このとき採られた対策は無煙炭焚きとボイラー技術者養成であった。その後は戦争などの影響で前進は見られなかった。

戦後、1955年、「東京都ばい煙防止条例」が制定され、リングルマン濃度表による規制が始まった。さらに、1962年政府は、「ばい煙の排出の規制に関する法律」を制定し、リングルマン濃度表とJISZ8808に規定するばいじん質量濃度を制限する規制が導入された。

これに基づき東京、川崎、大阪、北九州などですす・ばいじんの排出濃度規制が行われた。しかしながら、硫酸化物による大気汚染は一層進行し、自動車排出ガスによる大気汚染も加わるなど複雑深刻化してきた。

(2) 総合的な大気汚染対策

このような大気汚染を防止するため1968年に「大気汚染防止法」が制定され硫黄酸化物量規制が導入された。また、1970年には、光化学スモッグや鉛による大気汚染など新しい公害問題が提起されたことから、自動車排出ガスの炭化水素規制や有害物質（Cd、Cl、HCl、F、HF、Pb、NOx、など）の規制が行われるようになった。

また、合成、分解、その他の化学的処理に伴い発生する物質の内、人の健康又は生活環境に被害を生ずるおそれのある物質（アンモニアなど26種）を「特定物質」とし、事故時の措置を義務付けた。さらに、物の粉碎、選別、堆積等により飛散する粉じんについて、構造、使用、管理基準を定めた。その後、1974年、硫黄酸化物総量規制、1986年に窒素酸化物総量規制がそれぞれ地域を指定して施行され、さらに1989年12月アスベストの排出規制が導入された。表7.2.1に大気汚染防止法規制措置等一覧を示す。

1997年1月ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンが指定物質となり抑制されることとなった。

表7.2.1 大気汚染防止法規制措置等一覧

規制物質	物質の例示	発生形態	発生施設	規制基準等	規制措置等	
ばい煙	硫黄酸化物	SO ₂ 、SO ₃	物の燃焼	ばい煙発生施設	排出量基準 (量規制、地域ごとK値方式、総量規制基準)	改善命令、直罰など
	ばいじん	すすなど	同上	同上	同上 (濃度規制、施設の種類・規模ごと)	同上
	有害物質	NOx、Cd、Pb、HF、Cl ₂ 、Hclなど	物の燃焼、合成、分解、加圧など	同上	同上 (濃度規制、物質の種類・施設の種類ごと。NOxについては総量規制基準もある。)	同上
	特定有害物質	(未指定)	物の燃焼	同上	同上 (量規制、K値方式)	同上
粉じん	特定粉じん	石綿	解綿、切断、研磨など	特定粉じん発生施設	規制基準 (濃度規制、敷地境界)	改善命令
	一般粉じん	セメント粉、石炭粉、鉄粉など	物の粉碎、選別、堆積など	一般粉じん発生施設	構造・使用・管理基準	基準適合命令
自動車排出ガス	CO、HC、Pb、Noxなど	自動車の運行	特定の自動車	許容限度 (保安基準で考慮)	交通規制、整備命令等(他法による。)	
特定物質	C ₆ H ₅ OH(フェノール)、C ₆ H ₅ N(ピリジン)など	物の合成等の化学的処理中の事故	特定施設(政令等で特定せず。)	なし	事故時の措置命令	
有害大気汚染物質(指定物質)	ベンゼン (C ₆ H ₆) トリクロロエチレン (C ₂ HCl ₃) テトラクロロエチレン (C ₂ Cl ₄)	物の洗浄、乾燥	指定物質排出施設	環境基準		

(3) 大気汚染対策による効果

(7) 東京都でとられた固定発生源対策とその効果(二酸化硫黄、浮遊粉じん)を図7.2.1に示す。

(1) また、自動車排出ガス規制(一酸化炭素)とその効果を図7.2.2に示す

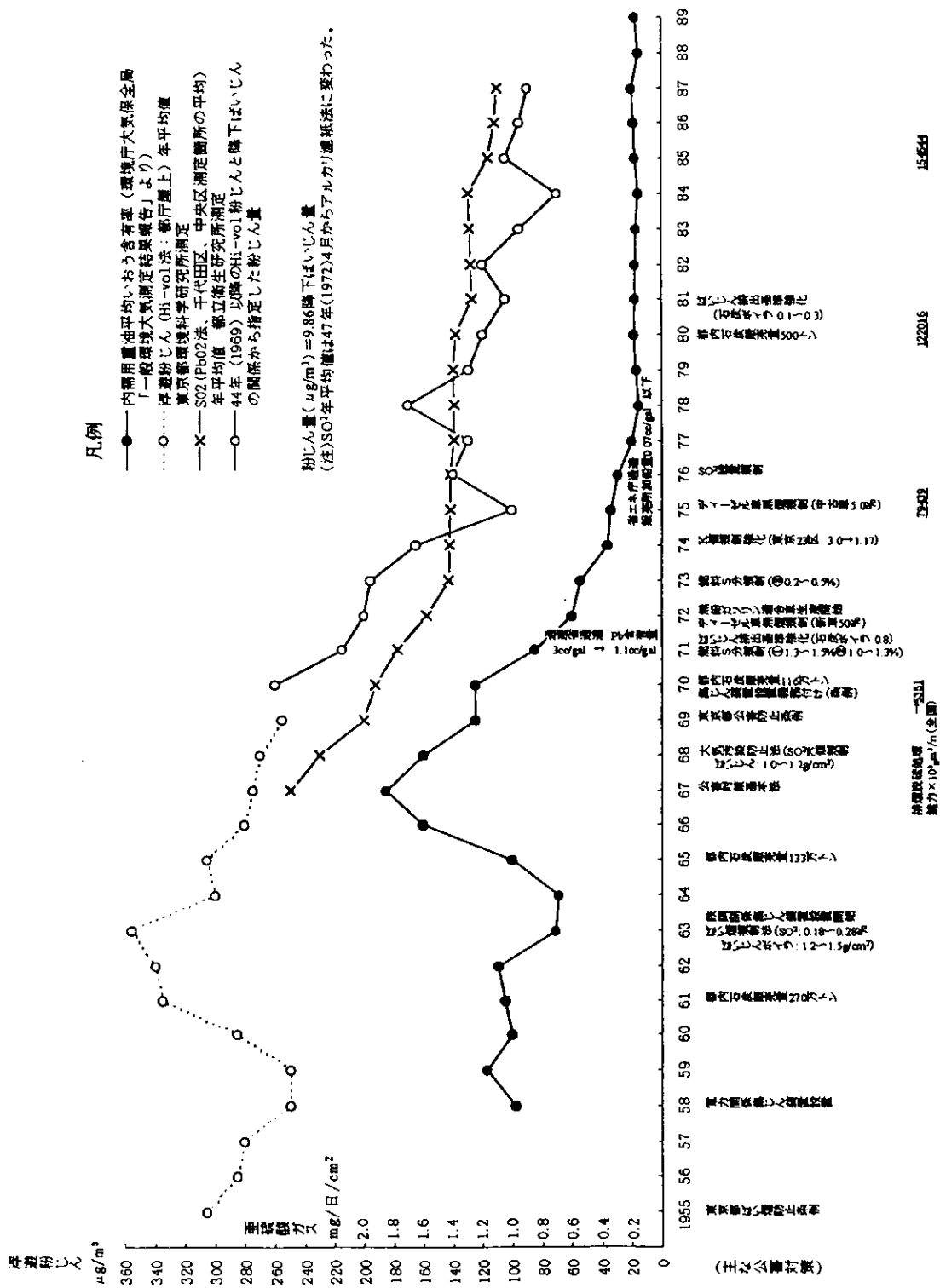


図 7.2.1 35年間の都心部における大気汚染状況と公害対策

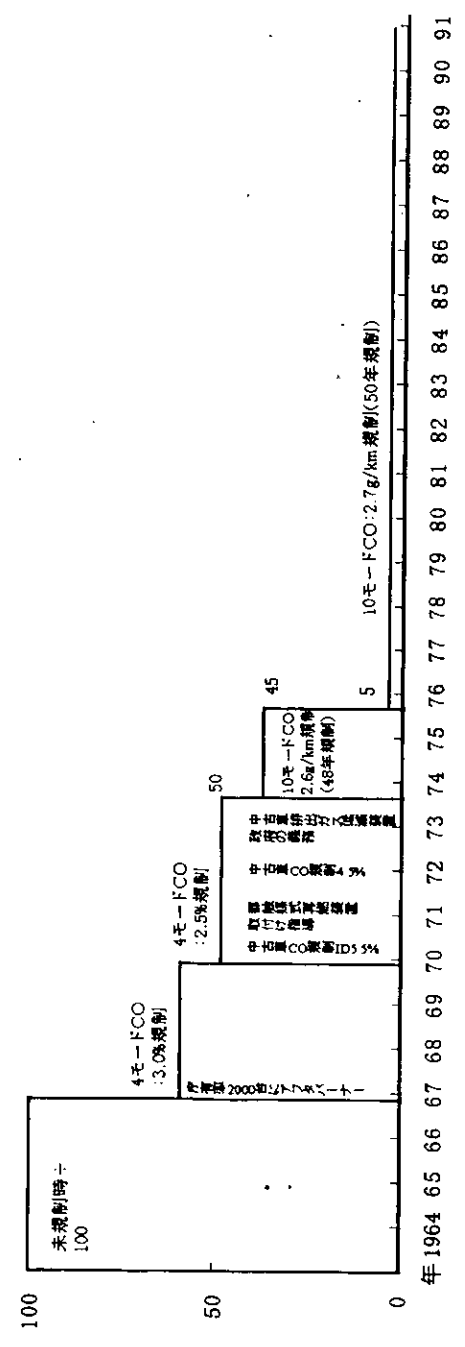
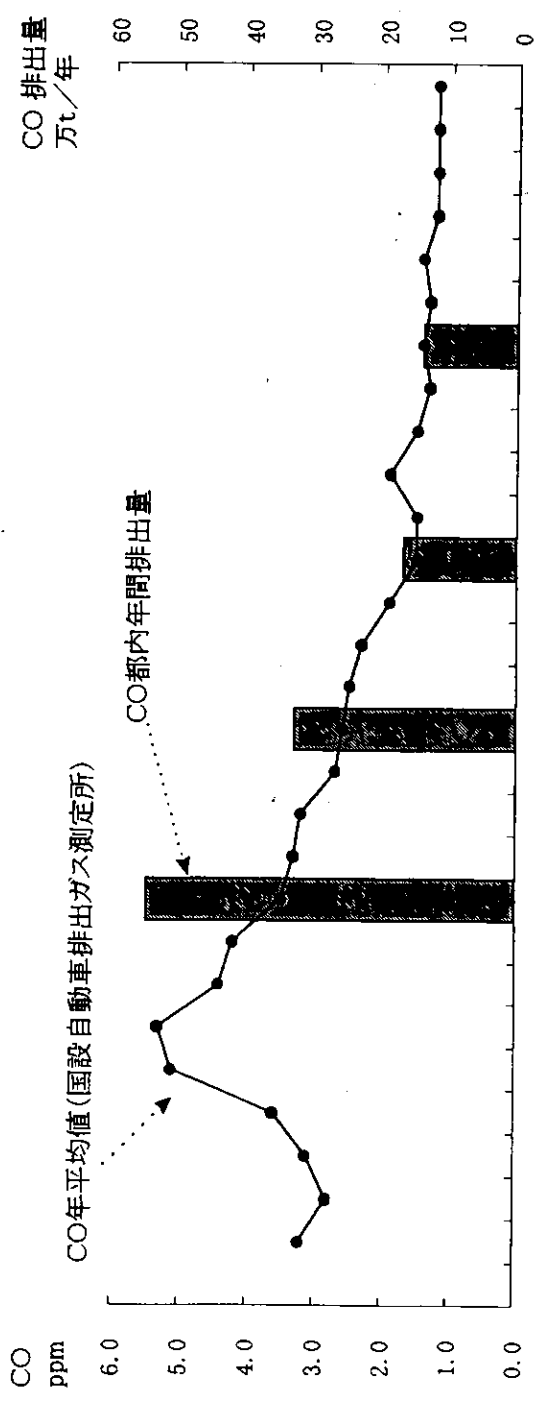


図 7.2.2 CO年平均値と自動車排出ガスCO規制の推移

7.3 良質燃料対策

7.3.1 はじめに

良質な燃料を使用することにより、大気汚染物質の生成を抑制し、削減しようとするものである。燃料の種類を転換してしまう方法（石炭焚きから重油かガス焚きに替える）。同一燃料の中でより良質な燃料を使う（硫黄含有率の高いものから低いものに切り替える）方法とが採用されている。

7.3.2 良質燃料対策の必要性

事務所ビルや商業ビルが集中し都市化の進んだ地域では、それぞれのビルのボイラが排出基準を守っていても、発生源が集中しているため高濃度汚染をもたらす。

このような密集化したビル街では、敷地も少なく、規模も小さいことなどから排煙脱硫装置の設置は困難である。そこで、このような地域に対しては、季節を限った燃料使用基準が有効となる。

7.3.3 大気汚染防止法による燃料使用基準

この基準は、次の二通りある。

- (1) 季節による規制：札幌、東京など14都市で燃料中の硫黄分を規制する。
- (2) 総量規制地域の規制：総量規制対象施設より小さい施設に対し規制しようとするもので、東京、大阪など24地域で、硫黄分0.3%以下の中から地域にあわせて規制する。

7.3.4 良質燃料使用による効果

- (1) 気体燃料（天然ガス、LPG等）
 - ア) 僅少な過剰空気で燃焼し、燃焼効率が高い。
 - イ) 硫黄分、灰分を含まないため硫黄酸化物、ばいじんの発生もない。
 - ウ) 窒素分を含まないため、FuelNOxの生成はない。（ただしThermalNOxには注意する必要がある）。
- (2) 液体燃料（重油、軽油、灯油等）
 - ア) 重質油ほどばいじんを発生するが、石炭に比べ、ばいじんの発生は少ない。
 - イ) 重質油は硫黄分、窒素分を含んでいるため、硫黄酸化物や窒素酸化物を発生する。この場合には、排煙脱硫や排煙脱硝が行われる。
 - ウ) 重油脱硫により、硫黄分を除去した低硫黄重油燃焼では、硫黄酸化物の発生は少ないし、窒素酸化物の発生も少ない。これは脱硫の際に窒素分も同時に除去されるためと考えられる。図7.3.1 重油中の硫黄分と窒素分の関係を参照されたい。

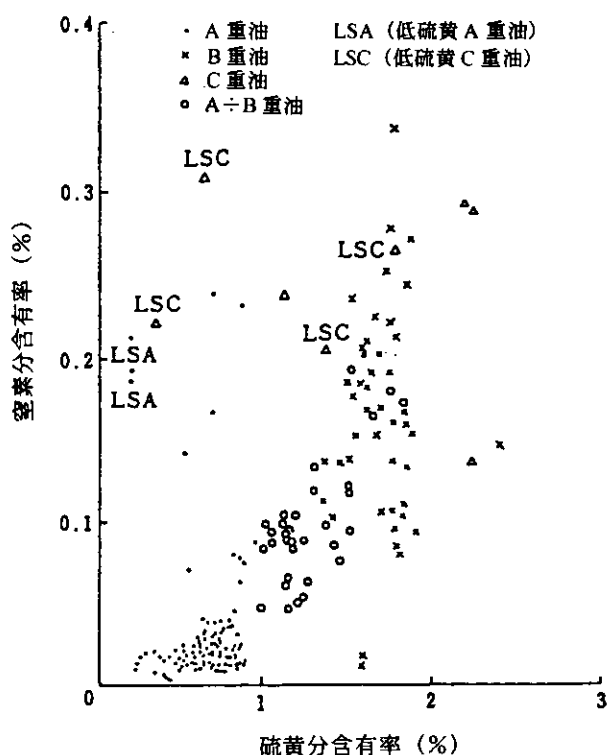


図 7.3.1 重油中の硫黄分と窒素分の関係

(3) 固体燃料（歴青炭、無煙炭、亜炭、コークス）

- 7) 灰分、硫黄分を多く含んでいるため、ばいじんや硫黄酸化物が多量に出る。
- イ) 窒素分も含んでいるため、窒素酸化物も出る。
- ウ) 燃焼管理が難しく、熟練を要する。
- エ) 大型燃焼施設では、微粉炭燃焼や流動層燃焼が行われ、排ガス処理でばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物を除去している。

7.3.5 良質燃料の供給

1967年より統計がとられ、その年の燃料中の硫黄分が2.5%であったものが1980年には1.33%と低減した。図7.3.2に硫黄分別に見た重油供給の推移と平均硫黄含有率の推移を示す。なお、現在は1.1%前後で推移している。

このようにして、1985年には二酸化硫黄の環境基準を国内全域で達成した。

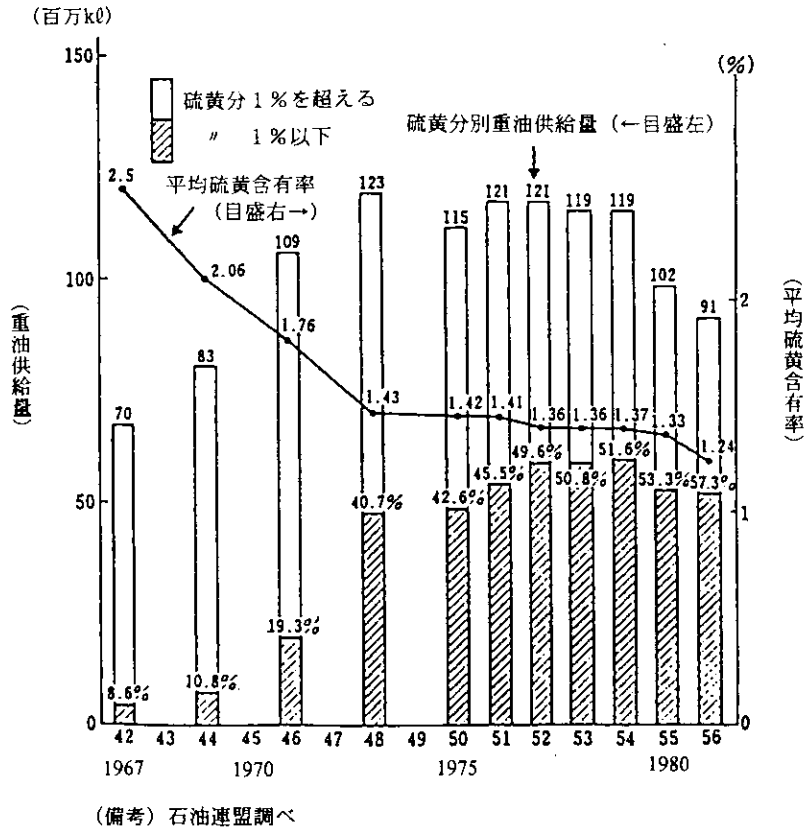


図 7.3.2 硫黄分別に見た重油供給の推移と平均硫黄含有率の推移

7.4 燃焼管理と省エネルギー

7.4.1 燃焼管理の意義¹⁾

燃焼管理とは燃焼装置の操業において、燃焼方法や設備管理を合理化し、燃焼効率の改善を図ることをいう。

石炭が主要燃料だった時代には、熱経済とすすの発生防止がその主要目的であったが、流体燃料の時代になると、自動燃焼制御が採用され燃焼設備の設計の良否が燃焼管理の重要な因子となった。

また、光化学スモッグ問題により、NO_x生成抑制をも考慮した燃焼管理が必要となり、燃料、燃焼装置、燃焼技術等の改善が進められた。

7.4.2 日本における燃焼管理と省エネルギーの動向

(1) 低空気比燃焼の採用

燃焼排ガス中の酸素濃度の測定及び制御が、過剰空気量を適切に制御し、完全燃焼を達成するとともに、排ガスによる熱損失を減少させることを目的に精力的に行われている。すなわち、炉内空気量を少なくすることにより過剰空気が持ち去る熱量を減らしている。原理的には、図7.4.1²⁾に示すように、空気不足に起因するCO、H₂等の未燃分発生による熱ロスと、過剰空気を加熱するに必要な熱ロスからなるトータル熱損失の極小点に相当する酸素濃度に燃焼を制御すれば、トータル熱損失は最小となる。しかし、現実には侵入空気の問題等により酸素制御目標値はこの極小点より高めにとっている。表7.4.1³⁾には各燃焼装置の標準空気比を示す。この数値を目標として、技術的に可能な範囲内で省エネルギーの合理化を図るべく低空気比燃焼を実施するよう操炉すべきである。

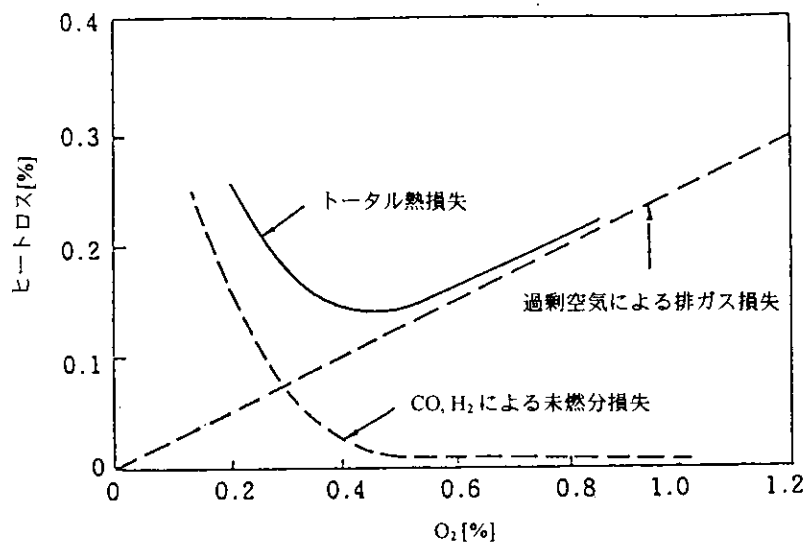


図 7.4.1 O₂濃度とトータル熱損失の関係

表 7.4.1 標準空気比

(1) ボイラ

区 分	負荷率 [%]	標準空気比			
		固体燃料	液体燃料	気体燃料	高炉ガスその他の副生ガス
電気事業用	75~100	1.2~1.3	1.05~1.1	1.05~1.1	1.2
その他	蒸発量が毎時 30 t を超えるもの	1.2~1.3	1.1~1.2	1.1~1.2	1.3
	蒸発量が毎時 10 t を超え 30 t 以下のもの	—	1.2~1.3	1.2~1.3	—
	蒸発量が毎時 10 t 以下のもの	—	1.3	1.3	—

(2) 工業炉

区 分	標準空気比
金属鑄造用溶解炉	1.3
連続鋼片加熱炉	1.25
連続鋼片加熱炉以外の金属加熱炉	1.3
連続熱処理炉	1.3
ガス発生炉およびガス加熱炉	1.4
石油加熱炉	1.4
熱分解炉および改質炉	1.3
セメント焼成炉	1.3
アルミナ焼成炉および石灰焼成炉	1.4
連続式ガラス溶解炉	1.3

低空気比燃焼を行うことにより排ガス熱損失が減少し、燃料消費量を節減できる。さらに、燃焼空気量、排ガス量が減少し、押込送風機（FDF）、誘因通風器（IDF）の動力も減少するので、動力費も節減できる。

この他、低空気比燃焼は次の対策にも効果があり、燃焼管理上、実行されている。

① NO_x対策

燃焼領域における酸素濃度を低くするので、NO_xの生成量を抑制できる。

② 低温腐食対策

低空気比燃焼を行うと、SO₂からSO₃への酸化反応が抑制され低温腐食の原因となるSO₃の発生割合を低下させる。

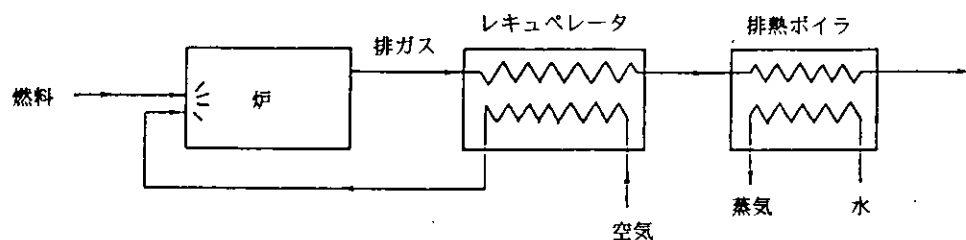
③ アシッドスマット対策

燃料の燃焼によって発生したすすが核となって、燃料中の硫黄から燃焼によって生成した硫酸をすす中に吸着し、燃焼ガスの露点温度付近で雪状に成長したものをアシッドスマットというが、低空気比燃焼を行えば、SO₃の生成が抑制され、硫酸の生成が抑制されるので、アシッドスマットの生成が少なくなる。

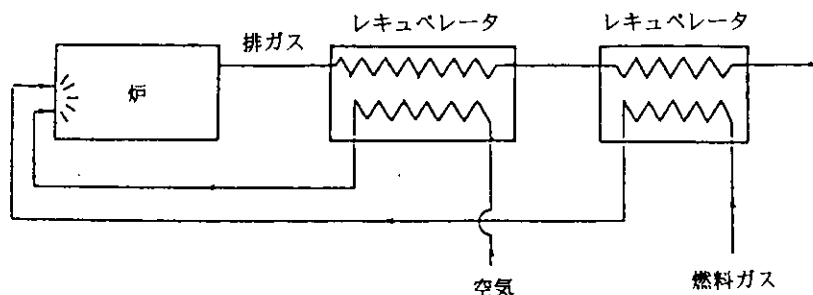
(2) 燃焼用空気・気体燃料の予熱

燃焼炉における最も手近で効果的な省エネルギー対策は、排熱による燃焼用空気及び燃料の予熱であるが、現在のところ、燃焼用空気を予熱することが多い。燃料の予熱は、熱分解や安全性の点から十分な配慮がなされた上で実施すべきで、特に液体燃料は最適霧化温度に予熱する以外、燃料節約を目的として予熱することはない。従って、省エネルギーの目的で燃料を予熱するのは気体燃料に限られる。

空気や気体燃料の予熱にはレキュペレータ（排熱回収用熱交換器）を用いる。レキュペレータは金属製あるいはタイル（セラミック）製で、隔壁を通じて排ガスの熱を空気あるいは気体燃料に伝えるものである。レキュペレータによる排熱回収の配列例を図 7.4.2⁴⁾ に示す。



(a) 燃焼用空気を予熱しさらに排熱ボイラで蒸気を発生する場合



(b) 燃焼用空気と燃料を予熱する場合

図 7.4.2 レキュペレータによる排熱回収の配置例

(3) 省エネルギーを巡る最近の動向

工業炉分野で省エネルギーに大いに貢献できる技術としてリジェネレイティブバーナーシステム⁵⁾が開発された。この技術は工業用加熱炉の排熱回収率が 80%以上という高効率の省エネルギー効果を有し、50%近い燃料節約率が達成される。また、高温予熱空気にも十分対応できる低 NO_x 燃焼技術として、FDI (Fuel Direct Injection) 燃焼も開発された。

火力発電分野では、出力規模の拡大と熱効率の改善に力が注がれているが、特に熱効率の改善は省エネルギーの他に、CO₂排出量を抑制する観点からも重要である。圧縮した空気中で燃料を燃やして燃

焼ガスを発生させ、その膨張力を利用して発電機を駆動するガスタービンと、ガスタービンから発生する余熱を利用して蒸気タービンを回転するコンバインドサイクル発電では 48～49%という従来の火力発電所を上回る高熱効率を実現している。また、石炭を燃料とする場合には、加圧流動層ボイラや石炭ガス複合発電などの新技術が実用化を目指している。

7.4.3 指摘課題

2度のオイルショックを契機として、日本では省エネルギーに対するたゆまぬ努力を続けてきたが、最近では CO₂ 対策として、さらなる熱効率の改善が求められている。一つのエネルギー源から2種類以上の有効な二次エネルギーを複合的に生産、供給するコージェネレーションシステムの採用もその一手段である。

開発途上国においては、一般的に平均熱効率は 30%程度であり、省エネルギーを実施できる余地は大きい。低空気比燃焼と排熱回収の実施をその対策としてまず実施すべきである。これによって、省エネルギーと同時にエネルギーコストの大幅な低減を果たすことができる。

7.5 工程管理

7.5.1 概説

大気汚染防止には、発生源における大気汚染物質発生量を減少することが肝要である。このため、防止装置を設置し汚染物質を回収したり、燃焼管理によって汚染物質発生量を低減している。そして、後者同様な考えで生産工程を合理的に管理し、大気汚染物質発生量を低減させることが可能である。生産工程には多くの種類が存在するので、以下実例で工程管理による大気汚染対策に関し紹介する。

7.5.2 作業場の清掃による方法

1960年代のことで、現在こんな例は、我が国で存在しないと思われるが、1月に1,400t程度の固体原料粉碎工程を稼働させた小規模工場が操業し、粉塵飛散で住民から苦情を申し立てられ問題になった。工場内の粉碎機からの粉塵が床に堆積して飛散し、その工場内空気中濃度は、粉碎機付近で50～500mg/m³であって工場内の見通しが悪化する状況だった。これを、堆積塵を清掃し目視的に粉塵飛散低下を認めた経験がある。清掃は工程管理上重要と思われる。

宅地造成、土地改良現場や土砂採掘現場では、多数のダンプ・トラックが、土砂の運搬にあたっておりその環境影響は注目されている。そして、輸送中にタイヤに付着した土砂が、粉塵飛散原因になって苦情の原因になった。また、積載している土砂の道路上落下も粉塵飛散の原因である。このため、現場から発車するダンプ・トラックを、浅い洗浄用池の中に入れてタイヤを洗浄し、積載土砂を被う等その落下防止につとめているケースがある。

7.5.3 工程内で使用する原燃料管理による方法

ガラス工場で原料に用いる粘土には、少量のフッ素を含む場合があり、ガラス熔融炉からのフッ化水素排出の原因になる。このため粘土の品質を管理してフッ素含有量の少ない粘土を原料に選び、フッ化水素排出量を低減すべきである。

さらに大型造船所での船体塗装工程における塗装器具の清掃現場で、使用済み有機溶剤を捨てたり、必要以上の量の溶剤を用いたり、使用方法が不合理だったので、使用量を減少させて有機溶剤揮発量を低減させた例がある。

燃料炭の硫黄含有率を混炭により管理して、燃焼の結果生成する灰の電気抵抗を適切に保ち、電気集塵装置の集塵率を高率に保っている例がある。

7.5.4 工程の維持管理強化による方法

揮発性有機化合物を大量に輸送するシステムの輸送管には、フランジ、バンド等の継ぎ手が多く調節バルブも多い。また、これを輸送するにはポンプやコンプレッサーも必要だが、これらにはパッキング部分は不可欠である。

とはいえ、この部分から場合によっては揮発性有機化合物が蒸発する。

例えば、ナフサ輸送システムのポンプから平均0.15 g/hの炭化水素が漏洩するというデータがあり、液体炭化水素輸送システムのバルブから0.031 g/hの炭化水素漏洩のデータがある¹⁾。

そして、この蒸発量はこれら施設の維持管理に関係するといわれている²⁾。大気汚染防止のため、これら工程では維持管理とくにパッキング部分のそれを強化することが望ましい。

7.5.5 工程改善による方法

ある半導体メーカーの下請け工場で、金属材料を多数の広口ビーカーに入れ、それぞれに濃硝酸を加えて加熱洗浄していた。大量の刺激性硝酸ガスが、建屋から大気中に排出して苦情原因となった。広口ビーカーを還流冷却管つきフラスコに代えるか、コニカルビーカーに代えて時計皿をビーカーの口に乗せ、硝酸蒸気を冷却凝結させたところ問題は解消し、硝酸消費量も減少した³⁾。

大型塗装施設で、塗装すべき金属部品のおおきさに関係なく塗装噴霧器の振り角度を保持して塗装していた。このため、小型金属部品の塗装には塗装無駄が多く、必要以上に塗料中有機溶剤が揮発した。そこで、金属部品の大きさを光センサーで検出し、その大きさに応じて噴霧器の振り角度を調節するよう工程管理システムを作り上げ、塗料使用量を削減して、有機溶剤揮発量を減少させた。塗装施設における有機溶剤含有塗料の噴霧塗装工程を、水性塗料や粉体塗料工程に変更すれば、有機溶剤揮発量は減少する⁴⁾。

7.5.6 工程の組合わせ合理化による方法

近接した2基のボイラーが片方は負荷不足で、片方は過負荷で稼働していたため、ともに相当の黒煙を排出した。そこで2基のボイラーの蒸気供給システムを連絡し、負荷調節してこの状況を改善した。

胡麻油の製造工程で、胡麻の臭が悪臭として苦情の対象になった。そこでその工場のボイラーの燃焼空気に胡麻油の製造工程排気を用いるよう工程を変更して苦情を解消することに成功した。

同様な考えに立てば、自動車製造工場の塗装工程のブース排気には、塗料中の有機溶剤を含んでいる⁴⁾。この排気を火力発電所の燃焼空気に用いるよう工程と工場立地を考慮すれば、有機溶剤をエネルギーに利用可能で、その揮発量を皆無にすることは可能である。

製鉄高炉とセメント焼成炉の立地を考慮して、高炉をセメント燃成炉に隣接させれば、高炉が副生するスラグを水滓として容易にセメント工場に供給可能で、焼成したセメントクリンカーと倍量の高炉セメント製造が可能になり、セメント増産が図られ、焼成燃料原単位を削減出来る。

7.6 集塵装置

7.6.1 はじめに

集塵とは、処理ガス中に含まれる粒子を分離・捕集する操作をいう。集塵装置は、一般に生産プロセスの最終段階で用いられ、大気汚染防止装置と呼ばれているが、作業環境の保全、排ガスの浄化、有用粒子の回収、プロセスの高純度化など異なる目的を持って様々な分野で活用されている。通常、集塵の対象となるものには、燃焼過程から発生する煤塵のほか、粉碎等の機械的操作に伴って発生する粉塵もあり、これらは総称して「ダスト」と呼ばれる。ここでは、排ガス中ダストの最近の集塵技術について概説する。

7.6.2 日本における集塵技術の変移

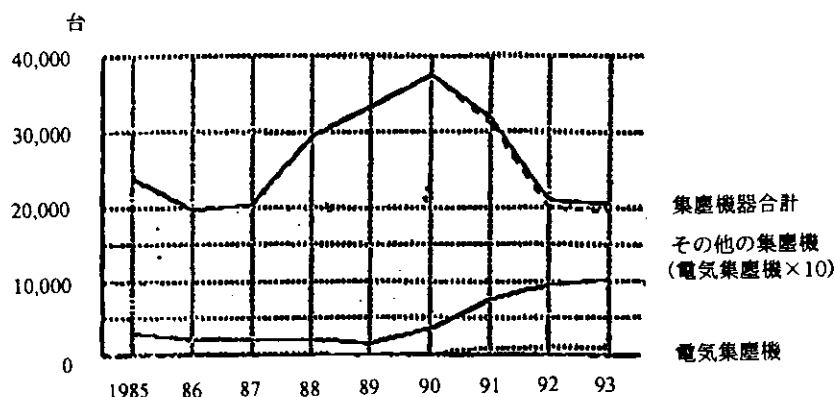
集塵技術は戦後大きく発展してきた技術であり、現在ではサブミクロンの微粒子までの分離・除去を可能とした技術である。大気汚染防止が重要視されるようになり、幾度となく煤塵の排出基準が強化され、それに呼応した形で集塵技術が向上した。集塵技術には原理的に分離捕集可能な粒子（とくに粒径）、集塵率などに制約がある^{1, 2)}。すなわち、従来はサイクロンなどの遠心力集塵装置やスクラバなどの洗浄集塵装置でダストの排出基準をクリアーできたが、現在の厳しい基準ではバグフィルタなどのろ過集塵装置や電気集塵装置（ESP:electrostatic precipitator）など高性能な装置を適用しなければならぬ状況となった。さらに、近年廃熱利用などによる省エネルギー効果を目指す高温高压技術として、セラミックフィルタや充填層フィルタなどの新しい高温集塵装置技術が登場するようになった^{3, 4, 5)}。

7.6.3 集塵装置の分類

集塵装置は、排ガス中からダストを分離してダストホップに捕集するため、重力、慣性力、熱力、拡散力、電気力などを、一つあるいは幾つかを同時に利用している。主体となる集塵作用力によって分類すると、1) 重力集塵装置、2) 慣性力集塵装置、3) 遠心力集塵装置（サイクロン）、4) 洗浄集塵装置（スクラバ）、5) ろ過集塵装置（バグフィルタ）及び6) 電気集塵装置（ESP）となる⁶⁾。表7.6.1はこれらの装置の主な特徴をまとめたもので、一般に、1)～3)の集塵装置は、高濃度ダストの前処理（一次集塵）や粗大ミストの分離捕集の目的として、4)～6)は排出基準を達成する目的で使用される。図7.6.1は我が国における集塵装置の生産台数の推移を表わしたもので、トータル台数は景気の動向を反映して1990年を頂点に減少しているが、数千台のESPとその他の集塵装置の中でバグフィルタが増加傾向にある。

表 7.6.1 各種集じん装置の実用範囲

分類名	形式	取り扱われる 粒度 (μm)	圧力損失 ($\text{mm H}_2\text{O}$)	集じん率 (%)	設備費	運転費
重力集じん装置	沈 降 室	1,000~50	10~15	40~60	小 程 度	小 程 度
慣性力集じん装置	ルーハー形	100~10	30~70	50~70	"	"
遠心力集じん装置	サイクロン形	100~3	50~150	85~95	中 程 度	中 程 度
洗浄集じん装置	ベンチュリースクラバー	100~0.1	300~900	80~95	"	大 程 度
音波集じん装置		100~0.1	60~100	80~95	中程度以上	中 程 度
ろ過集じん装置	バグフィルター	20~0.1	100~200	90~99	"	中程度以上
電気集じん装置		20~0.05	10~20	90~99.9	大 程 度	小~中程度



出典：通産省：「機械統計年報」

図 7.6.1 集塵機器の生産台数の推移

7.6.4 新技術の開発

(1) ろ過集塵技術

①セラミックフィルタ⁹⁾

セラミックフィルタは、300~1,300℃、数気圧~10気圧以上といった高温高压排ガス中のダストの集塵のため、シリカ、アルミナ、ジルコニア、シリコンカーバイドなどを基盤材質にしている。形状は織布製や不織布製、多孔性の円筒型、またろ過面積を非常に大きくとることができる図 7.6.2 に示すような十字流型 (cross flow) などがある。装置は極めてコンパクトとなる利点があるが、ダストの払い落とし特性、ダストの目詰まりによる圧力損失の増大、寿命などの点で課題が残されている。

②粒子充填層フィルタ

粒子捕集機構として、慣性力、拡散力、遮り力、重力の他、高温排ガスと移動する充填層粒子との温度差に伴う熱力 (熱泳動力) が働く。高温高压集塵のために開発された装置で、ろ過材として数 mm

程度の砂、砂利、セラミックなどの粒状物を用い、500℃程度の高温排ガスに適応される。集塵率は粒径は1 μ m程度のダストに対して約93%、圧力損失は従来のバグフィルタと同程度とされている。

③エレクトレットフィルタ¹⁰⁾

これまでのフィルタの機械的粒子捕集機構において粒子の捕集に有効に作用しない0.1 μ m 付近の粒径がある。半永久的に分極した電荷をもつ繊維からなるエレクトレットフィルタでは、機械的粒子捕集機構に加えて、無帯電粒子では誘気力、帯電粒子では電気力（クーロン力）と誘気力が作用するので、この粒径範囲の粒子でも効率よく捕集できるうえ、従来のフィルタと同じ圧力損失でその他の粒径の粒子をも高効率で捕集できる。圧力損失が低く高集塵率が実現できる省エネルギー型のフィルタといえる。

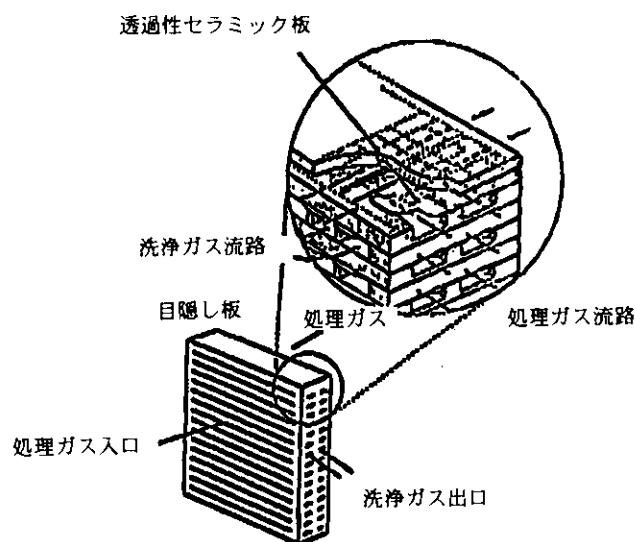


図 7.6.2 セラミック製十字流フィルタの形状

(2) 電気集塵技術

①パルス荷電型

電気集塵装置においてとくに問題になることは、石炭燃焼ダストのような高電気抵抗ダストの捕集で、逆コロナや逆電離現象が生じ、集塵率を著しく低下することである。この対策の一つとして開発されたものが、パルス荷電型 ESP である。従来の ESP は直流高電圧を採用しているが、この装置ではパルス高電圧を用いる。パルス荷電ではコロナ電流の分布が均一であり、かつパルス頻度の調整により印加電圧を下げずにコロナ電流の広範囲な設定ができるので、高電気抵抗ダストに応じて、逆コロナが生じないコロナ電流で適宜運転でき、安定した集塵、消費電力の削減など省エネが期待できる。

②移動電極型

図 7.6.3 に示すように、集塵極を常時移動させて集塵面を清浄に保つことによって、集塵極の付着ダスト層に形成される電界をできるだけ小さくし、逆電離現象を抑制する。電極は上から下にゆっくり

りと移動し、付着したダストは下部の非電界域において回転ブラシによって剥離され、電極の清浄化を図っている。

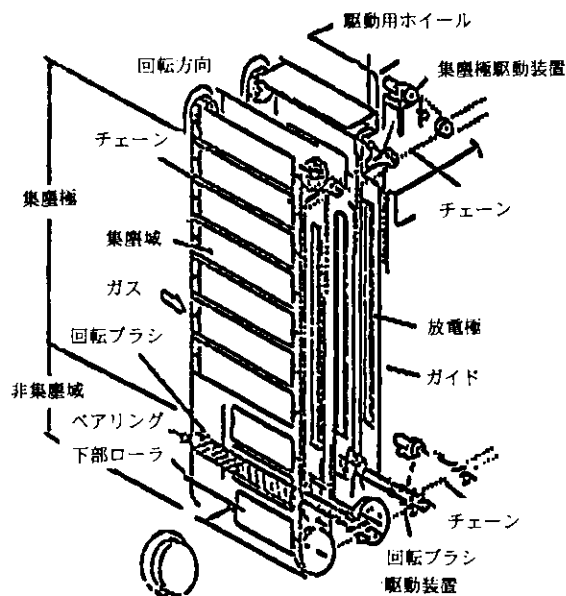


図 7.6.3 移動電極型電気集塵装置の構造

③高流速湿式型¹¹⁾

図 7.6.4 に示すように、放電極を挟んで隣り合った集塵極の間隔、すなわち集塵極間隔を狭めて処理ガスの流速を速め、装置の小型化を図ったものである。基本処理ガス流速を従来 (2~3 m/s) の 2 倍以上とし、放電電流密度を従来 (0.3 mA/m^2) の数倍以上にすることによって、集塵面積を 1/2 以下と大幅に縮小している。

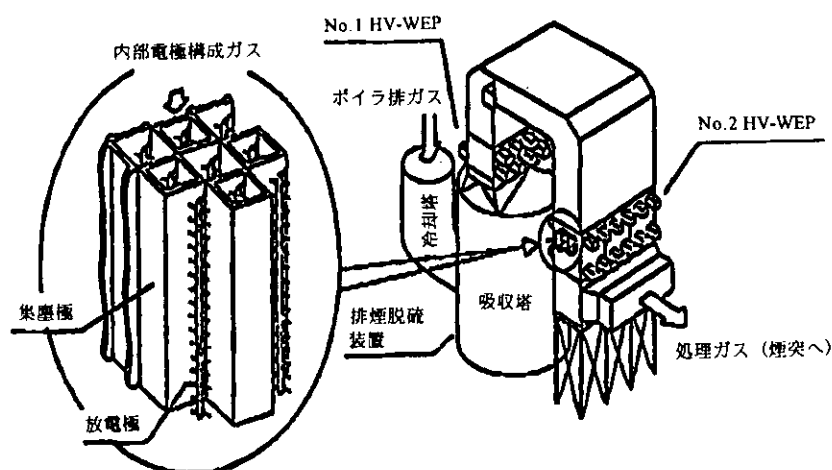


図 7.6.4 高流速湿式電気集塵装置の概要

7.6.5 おわりに

各種集塵装置の特徴を比較したものは、上記の表 7.6.1 に示した。これらの装置の選択は、発生するばい煙の性状、装置の特性、設備費、経済性などを十分考慮して決定する必要がある。新しい集塵技術は日進月歩で、上述の他にも多数あるが、ここにあげた参考文献や関連工業規格などを参照されたし。

我が国の集塵技術は世界的に見てかなりの高い技術レベルに達しているが、今後も新たなる技術開発が重要で、より高性能化を図りつつ、省エネルギー型あるいは省資源型といった集塵技術の確立を期待したい。また、環境保全の観点から膨大に発生する集塵ダストの減容化や再資源化についても併せて検討する必要があるだろう。

7.7 排煙脱硫装置と副生品

わが国では、排煙脱硫装置が、1970年代に入って急速に普及しはじめ、平成6年の環境庁の集計では、設置基数2,196基、総処理ガス流量2億2,000万 m^3/h に及んでいる。

排煙脱硫の方式は、湿式法と乾式法に大別され、現在設置されている大部分が湿式法である。湿式法は脱硫率がよく、負荷変動に対しても安定な脱硫成績が得られ、技術的に確立された方法である。電気事業用の石炭火力など発電ボイラー用の大容量には石灰-石こう法、一般産業用の自家発電ボイラー用には水酸化マグネシウム法が主に普及している。

表7.7.1に稼働中、開発中の各種排煙脱硫法とその副生品を挙げる。

主な脱硫プロセスについて、特徴とその副生品について以下に示す。

表7.7.1 脱硫プロセスと副生品

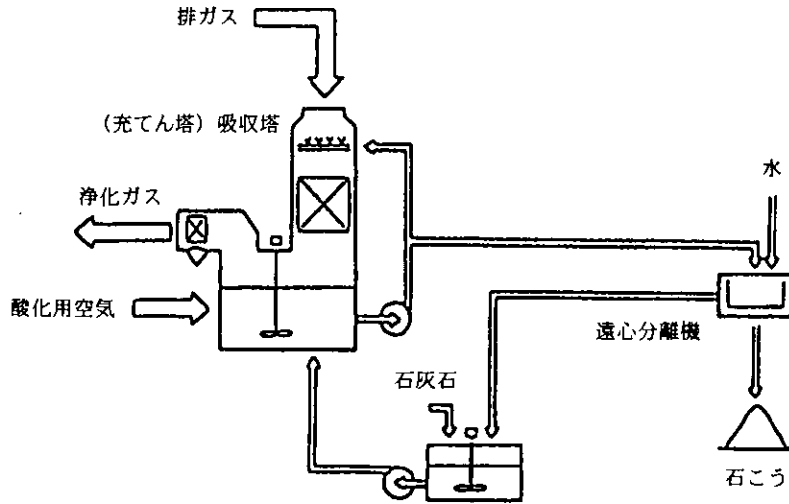
プロセス	吸収剤	副生品	用途
石灰石こう法	石灰石 消石灰	石こう	石こうボード セメント
水マグ法	水酸化マグネシウム	硫酸マグネシウム	放流
アンモニア法	アンモニア	硫安	肥料
電子ビーム法	アンモニア	硫安	肥料
ソーダ法	水酸化ナトリウム	亜硫酸ソーダ ボウ硝	パルプ蒸解剤 化学薬品
簡易脱硫法	石灰石、消石灰	石こう + 石炭灰	土壌改良剤 路盤剤

7.7.1 各種脱硫法

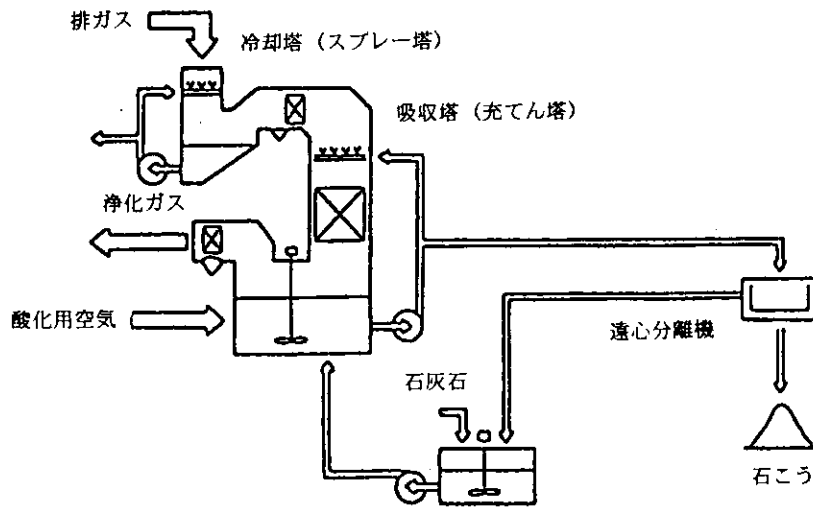
(1) 石灰-石こう法

石灰石や消石灰の微粉をスラリー液として SO_2 を吸収し、石こうを副生する。石灰石や消石灰の溶解度が低く、吸収塔内に石こうが固着するトラブル（スケーリングトラブル）が当初発生したが、この対策もほぼ解決されて、大型の排煙脱硫装置の主流となっている。基本的なプロセスは、排ガスを冷却し、吸収塔で SO_2 を吸収し、生成する亜硫酸カルシウムを、酸化塔で空気酸化し、石こうとして回収する方式（2塔式）である。最近では、冷却、吸収、酸化を一塔で行う方式が多く採用されている。図7.7.1に示すように、冷却塔は条件によって別に設置することもある。

この一塔方式は、吸収された SO_2 が吸収塔内で直ちに酸化されて石こうとなるため、液中の SO_2 分圧が小さくなり、一旦吸収した SO_2 の再離散が少なくなり、吸収液のpHが4.5～5程度の低い領域でも SO_2 の吸収反応は進行することになる。また、この一塔方式の利点は、排水中のCOD起因物質の生成が少なくなり、排水処理施設も軽減できる特長がある。石こう純度は冷却塔、酸化塔を別に設置する2塔方式に比べるとやや低下するが、設備費は従来の方法の50～60%程度に低減できる。



(a) 吸収-酸化-塔方式 (スート混合-塔方式)



(b) 冷却塔設置方式 (スート分離二塔方式)

図 7.7.1 石灰石-石こう法の標準的プロセス²⁾

冷却塔の設置は、排ガスの性状や回収する石こうの純度などを考慮して決められるが、冷却塔を設置した場合、石こう純度 95%以上、除塵率 90%以上で、副生石こうを回収利用する面では有利である。反面、設備費がかかり、排水量、汚泥量を増加することになる。

吸収装置は、圧力損失の小さい装置の充填塔やスプレイ塔が多く、もれ棚式装置、ジェットバブリング装置 (図 7.7.2) なども用いられている。

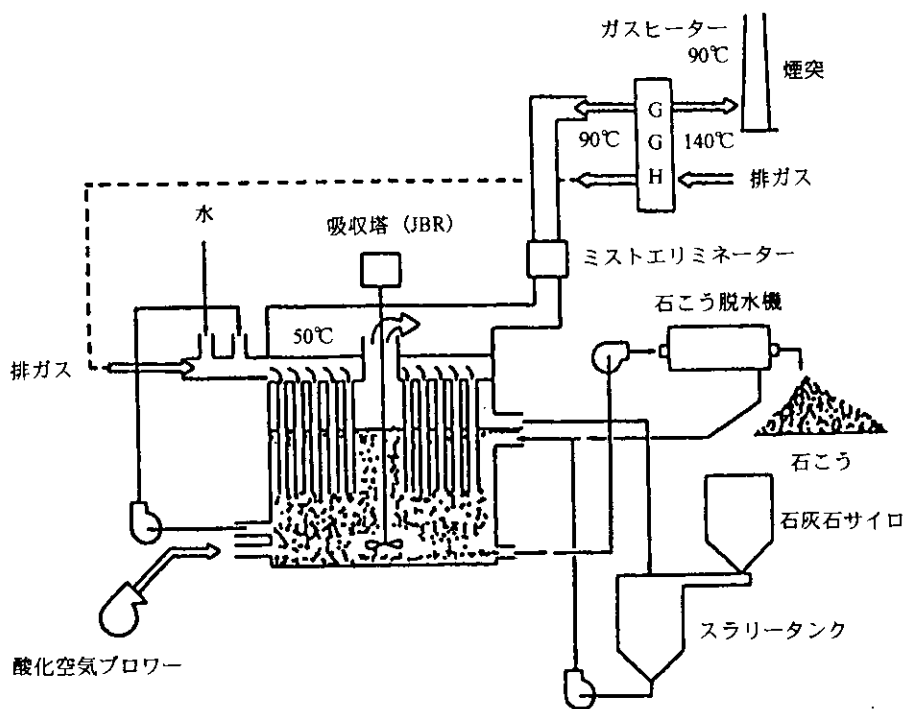


図 7.7.2 ジェットバブリングリアクター³⁾

(2) 水マグ法

吸収剤の水酸化マグネシウムはスラリー状で SO_2 と反応し、亜硫酸マグネシウムが生成する。さらに酸化されると水への溶解度が高い無害な硫酸マグネシウムとなり、放流廃棄が可能となる。水酸化マグネシウムは水酸化ナトリウムに比べると人体にとって危険性が少なく、比較的安価であり、5～40万 m^3/h 程度の中小規模の排煙処理に多く採用されている。とくに吸収液の放流可能な臨海地区での設置が多く、わが国では、石灰-石こう法と二分する勢いで伸びている。プロセス装置は、吸収塔と酸化塔を一体化した方式、さらに煙突をも一体化した方式も採用されている（図 7.7.3）。

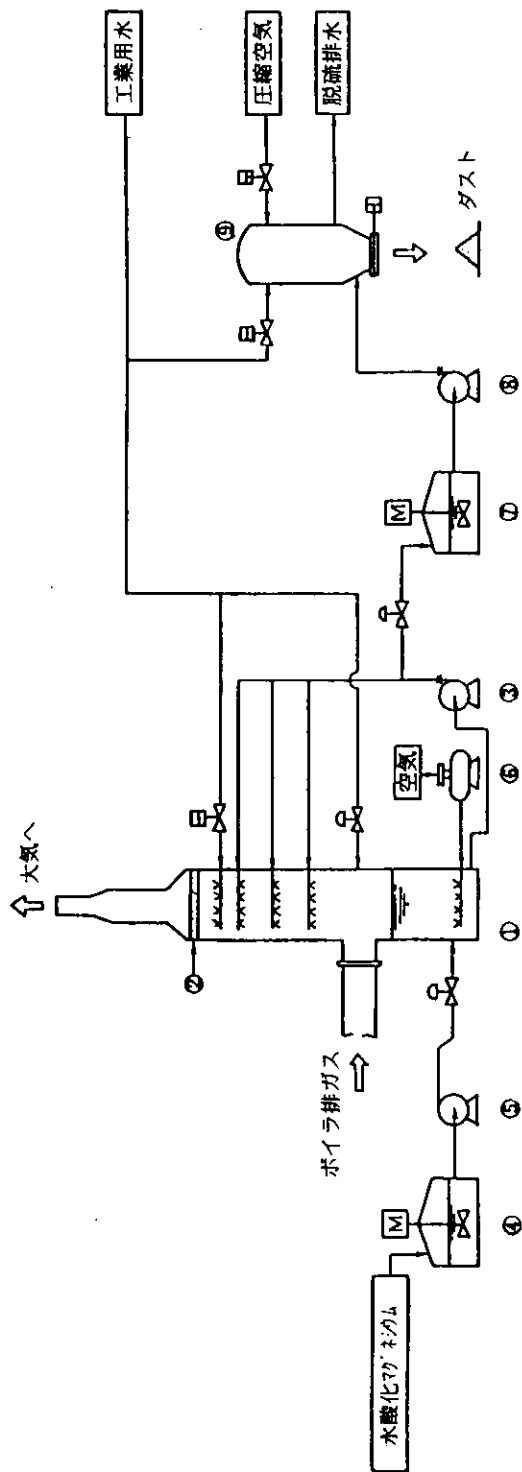
(3) ソーダ法

水酸化ナトリウムまたは炭酸ナトリウムを吸収剤として使用する。これらは溶解度が高く水溶液として使用できスケーリングの心配がなく吸収性能も高い。2万 m^3/h 以下の小型排煙脱硫装置向けとして実績が多く、特に副生する亜硫酸ナトリウムや硫酸ナトリウムを工場内で使用する紙・パルプ工場などで多く行われている。

(4) アンモニア法

(4-1) 水酸化アンモニウム法

水酸化アンモニウム水溶液を用いて SO_2 を吸収し硫安を副生する方法である。この生成する硫安水溶液を肥料として利用するには、固化する必要がある、これには相当のエネルギーを要することになる。事業所内での余剰のアンモニアを利用する場合を除き、最近ではほとんど新設されていない。



- (注) ①：吸収塔 ④：水酸化マグネシウムタンク ⑦：フィルタ供給タンク
 ②：ミストエリミネータ ⑤：水酸化マグネシウムポンプ ⑧：フィルタ供給ポンプ
 ③：吸収塔循環ポンプ ⑥：酸化空気ブロワ ⑨：フィルタ

図 7.7.3 水マグ法脱硫装置同時脱硫酸化方式フローシート⁴⁾

(4-2) 電子線照射による脱硫法

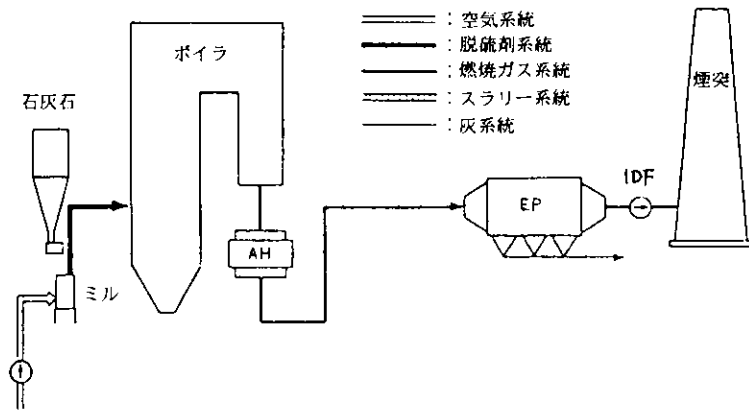
このプロセスは排ガスを 70~90℃に冷却し、アンモニアを注入するとともに電子線を照射し、排ガス中の SO₂ と NO_x を硫酸と硝酸の肥料にして集塵装置で回収する脱硫脱硝方式である。このプロセスは、日本で開発され、米国と独国で実証試験が行われているが、まだ実用には至っていない。このプロセスの特徴は副生物が肥料で廃棄物がなく、排水が無いことなどが挙げられる。今後、大型電子線照射装置が製作され、消費電力が低下すれば、肥料など資源の活用の点からも期待される方法である。

(5) 乾式、半乾式法

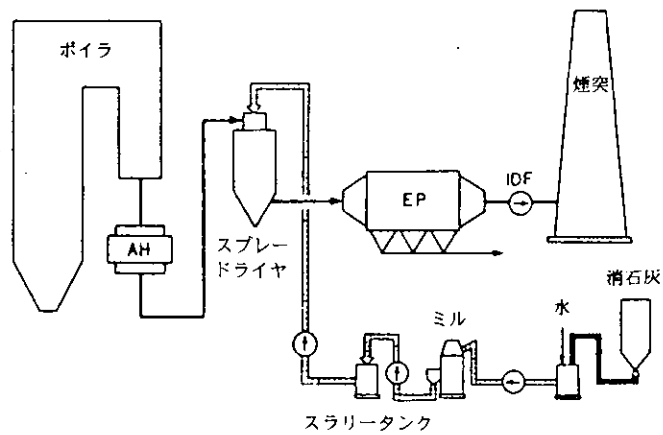
脱硫率はやや低いが、コストの低廉な簡易脱硫法として乾式あるいは半乾式法が開発されている。①石灰石を 900~1,200℃の炉内に吹き込み SO₂ を吸収させる方法、②消石灰スラリーを煙道内に噴霧し SO₂ 吸収し副生物をダストと共に集塵装置で回収する方法の二方式がある。いずれの方式もその後で水をスプレーする方式や集塵装置で回収した吸収剤の未反応成分を含むダストを吸収剤として再循環する方法などがある（図 7.7.4）。設備が簡単である反面、吸収剤の反応率が低いこと、副産物の利用価値が低く、その廃棄が可能な地域に限定されている。

(6) 活性炭による脱硫法

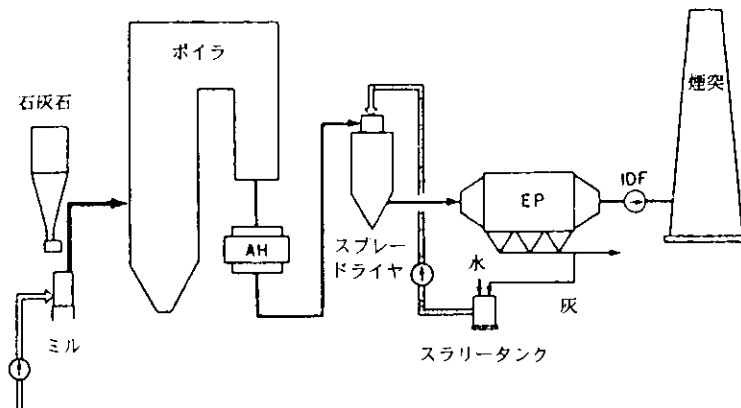
日本とドイツで開発が進められており、活性炭を二段に分け、前段で SO₂ を吸着し、後段でアンモニアを注入して活性炭を脱硝触媒とし NO_x を窒素にする脱硫脱硝法である。吸着した SO₂ は硫黄または硫酸として回収する。活性炭プロセスは他の湿式プロセスと比べ建設費は低いが、運転費は高い。



(a) 炉内脱硫



(b) 半乾式脱硫



(c) ダスト再循環半乾式脱硫システム

図 7.7.4 簡易・乾式、半乾式脱硫⁵⁾

7.7.2 排煙脱硫の今後の動向

大容量の排煙脱硫が石灰-石こう法であることは当分変わらないと考えられる。今後は、排水設備も含めた設備のコンパクト化、国内では硫黄分の少ない石炭を燃焼する機会が多く、出口濃度レベルの低減化、脱硫率の向上が要求される。省エネルギー対策としては、排熱利用、白煙防止の排ガスの再加熱方法の検討などである。排水処理設備の低減として、無廃水法が検討されている。排ガスの熱を利用し排水を蒸発させ排水中の固形分を集塵器で捕集する方式と廃液を電気透析法で固液分離する方式が開発されている。

発展途上国でも、排煙脱硫装置の設置も増加するとみられるが、脱硫性能を犠牲にしても安価な設備を望む傾向がある。硫黄や硫酸あるいは直接に肥料を副生するプロセスはいずれも設備費が高価である。石灰石、消石灰を用いる乾式法、半乾式法の簡易式脱硫プロセスでは、副生物が石炭灰との混合物として回収されるため、今後、この混合物の有効利用についての検討が重要な課題となる。

7.8 燃焼改善による NOx 対策

7.8.1 はじめに

窒素酸化物 (NOx) の排出防止技術には、NOx 抑制技術 (低 NOx 燃焼技術) と排煙脱硝技術とがあり、ほとんどの燃焼装置で実用化されている。燃焼改善による NOx 対策としては、低 NOx バーナ・二段燃焼法・排ガス再循環が主として採用されており、さらに炉内脱硝法も大型ボイラで適用されている。

7.8.2 日本における燃焼改善による NOx 対策の歴史

NOx はそれ自体で人の健康に悪影響を及ぼすばかりでなく、1970 年夏に起こった立正高校事件以来、近年多発傾向にある光化学オキシタンドの原因物質の一つでもあるとされ、その発生源である固定燃焼装置、自動車等で種々の対策が採用されている。

環境庁は 1973 年 5 月に NO₂ の環境基準を設定したが (1 時間値の 24 時間平均値が 0.02 ppm 以下)、その後、1978 年 7 月に 1 時間値の 1 日平均が 0.04~0.06 ppm のゾーン内、またはそれ以下とするように改訂した。

この環境基準を達成すべく、環境庁はばい煙発生施設を対象とする NOx 排出基準を 1973 年 8 月に設定し (第 1 次規制)、その後 1975 年 12 月 (第 2 次規制)、1977 年 6 月 (第 3 次規制)、1979 年 8 月 (第 4 次規制)、1983 年 9 月 (第 5 次規制) と逐次、強化拡充が行われてきた。

これらに沿って、低 NOx 燃焼技術の開発は各方面で精力的に進められてきた。当初は二段燃焼法が代表的な低 NOx 燃焼技術だったが、その後低 NOx バーナが各メーカーで開発され、さらに改良型低 NOx バーナ、炉内脱硝法等が開発され、実用化されている。

その結果、現在では、燃焼改善によって排ガス中 NOx 濃度を 60~70% 程度減少させ、ボイラの場合、NOx 濃度を石炭燃焼で 200 ppm、重油燃焼で 100 ppm、ガス燃焼で 50 ppm 程度まで下げることが可能である。低減費用は排煙脱硝の 1/10 程度である¹⁾。

7.8.3 日本における低 NOx 燃焼技術

(1) 燃焼過程における NOx の生成

燃焼に伴って発生する窒素酸化物は大部分が NO であり、NO₂ は少ない。NO は大気中で酸化されて NO₂ になる。NO と NO₂ を併せて NOx と呼ぶが、燃焼用空気中の N₂ と O₂ が高温状態において反応して生成する thermal NOx と、燃料中の N 分が燃焼中に酸化されて生成する fuel NOx とに区別される。

thermal NOx は①燃焼温度が高いほど、②燃焼領域での酸素濃度が高いほど、③高温域での燃焼ガスの滞留時間が長いほど、多量に発生する。また、fuel NOx は燃焼領域での酸素濃度が高いほど多く発生する。

(2) 低 NOx 燃焼技術

工業用の燃焼装置において NOx の排出量を減らすには、上述した NOx の生成機構の逆の原理に従っ

てNOxの生成を抑制するか、生成したNOxを排ガスから除去する排煙脱硝を行えばよい。図7.8.1は発電用ボイラに、NOx抑制技術及び排煙脱硝技術を適用した場合を図示したものである。

NOx発生量を低減するには、まず燃焼管理によるNOx低減対策を実施すべきである。低空気比燃焼の実施、炉内への空気の侵入の防止のほか、加熱プロセスや装置全体のバランスを考えて必要以上に炉内温度、火炉負荷、予熱空気温度を上げないことが重要である。

燃焼改善によるNOx対策には以下のようなものがある。

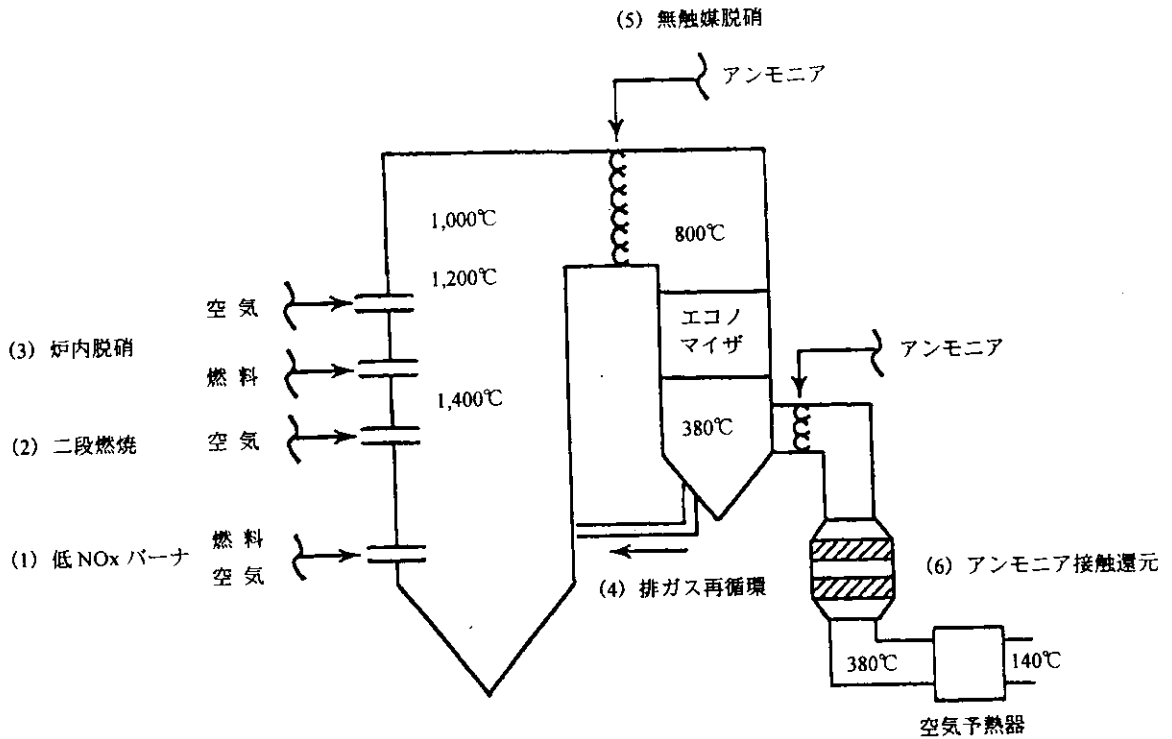


図7.8.1 発電用ボイラにおけるNOx低減技術

①低NOxバーナの使用

低NOxバーナの使用は、設備費が比較的安く、NOx低減効果が大いことから、現在NOx対策の主流となっている。酸素濃度の低減、火炎温度の低下、高温域でのガスの滞留時間の短縮等のNOx低減方法の一つ、あるいはその組合せを、バーナに取り入れることによってNOxの低減を図るもので、(7)急速燃焼型 (イ) 分割火炎型 (ウ) 自己再循環型 (エ) 段階的燃焼型等の低NOxバーナが開発されている。特に thermal NOx, fuel NOx の両者に対して効果があり、NOx低減率の大きい段階的燃焼型が多く使用されている。

②二段燃焼法

燃焼用空気を二段に分けて供給し、第1段階では理論空気量の80~90%程度に、供給する空気量を制限し、第2段階で不足の空気を補って供給し、系全体で完全燃焼させる。第1段階の還元域の形成により、火炎温度の低下と酸素濃度の低下によってNOxの生成を抑制する。ほとんどすべての大型ボイラでは本方式を採用している。

③炉内脱硝法

本方式は炭化水素燃料がNO_xを還元することを利用し、主燃料の一部をバイパスさせて脱硝用燃料として用い、脱硝反応もすべて炉内で完了させるもので、リバーニング法、三段燃焼法と呼ばれているものもこの方式に属する。NO_xの40～50%を低減し、他の燃焼改善法と組合せれば80%程度の低減ができる。ただし、炉の高さ（長さ）がやや大きくなるので、既存の炉には適用し難い場合が多い¹⁾。

④排ガス再循環

図 7.8.1 に示すように、燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混入して燃焼させ、火炎温度の低下によってNO_xの低減を図るものである。排ガス循環率は安定燃焼限界から制限を受けるが、通常10～20%である。

(3) 低NO_x燃焼技術の最近の動向

オイルショック後の微粉炭燃焼ボイラの増加により、多くのメーカーが微粉炭燃焼用低NO_xバーナの開発を精力的に進めてきた。PMバーナは供給微粉炭を分配器で高濃度と低濃度の微粉炭流に分けて供給し、炉内で燃料過剰及び希薄火炎を形成させるものである。燃料過剰火炎の上下には拡散混合を遅延させるため、排ガスを投入し、バーナ1次燃焼域に強い還元炎を形成させて、低NO_x化を図っている。NO_xはバーナ自身で200 ppm程度まで低減させ、二段階燃焼との組合せにより100 ppm程度になると報告されている²⁾。

炉内脱硝法においてもアドバンストMACT法や拡大還元燃焼法（INPACT法）に見られるように、バーナとオーバーファイアエアポート（OAP）までの滞留時間を大きくとり、その中間にも二段燃焼用のインタステージエアポート（IAP）を設け、いわゆる多数燃焼とし、NO_x低減を図っている。

また、高温空予熱燃焼用のNO_x対策としてFDI（Fuel Direct Injection）バーナシステム³⁾が開発された。FDIは燃料の自己着火温度を上回る高温の炉内に、ある離隔距離をおいて燃料と空気を別々に高速で直接噴射し、炉内で燃焼させた方式である。これによると、それぞれの噴流には炉内ガスが十分に混合される（自己排ガス再循環効果）と、燃料と燃焼用空気の炉内での流れが平行に近いと、急速な混合は起こらない（緩慢燃焼効果）。この二つの効果で、火炎温度に高温のピークが発生することを抑え、NO_x排出量を1/10程度に低減する。

7.8.4 指摘課題

燃焼改善によるNO_x対策は、排煙脱硝法と比較し、NO_x低下率は劣るものの、低減コストは排煙脱硝法の1/10程度である。たとえ、排煙脱硝法を採用せざるを得ないにしても、まず燃焼改善でNO_xを減らしてから排煙処理を行う方が、アンモニアの使用量削減等によりコスト的に有利となる。また、燃焼装置によっては、排煙脱硝装置を付設する場所に余裕が無い場合もある。

酸性雨問題の顕在化により、途上国の排煙処理は現在SO_x対策が中心となっているが、NO_xの排出も必ず大きな問題となるであろう。燃焼改善によるNO_x対策は途上国で早急に実用化されるべきであり、それもエネルギーロスの少ない方法が望まれる。

7.9 排ガス脱硝装置

7.9.1 はじめに

日本における窒素酸化物（NO_x）による大気汚染は、低 NO_x 燃焼及び排煙脱硝によって改善された。

7.9.2 日本における排煙脱硝技術の歴史

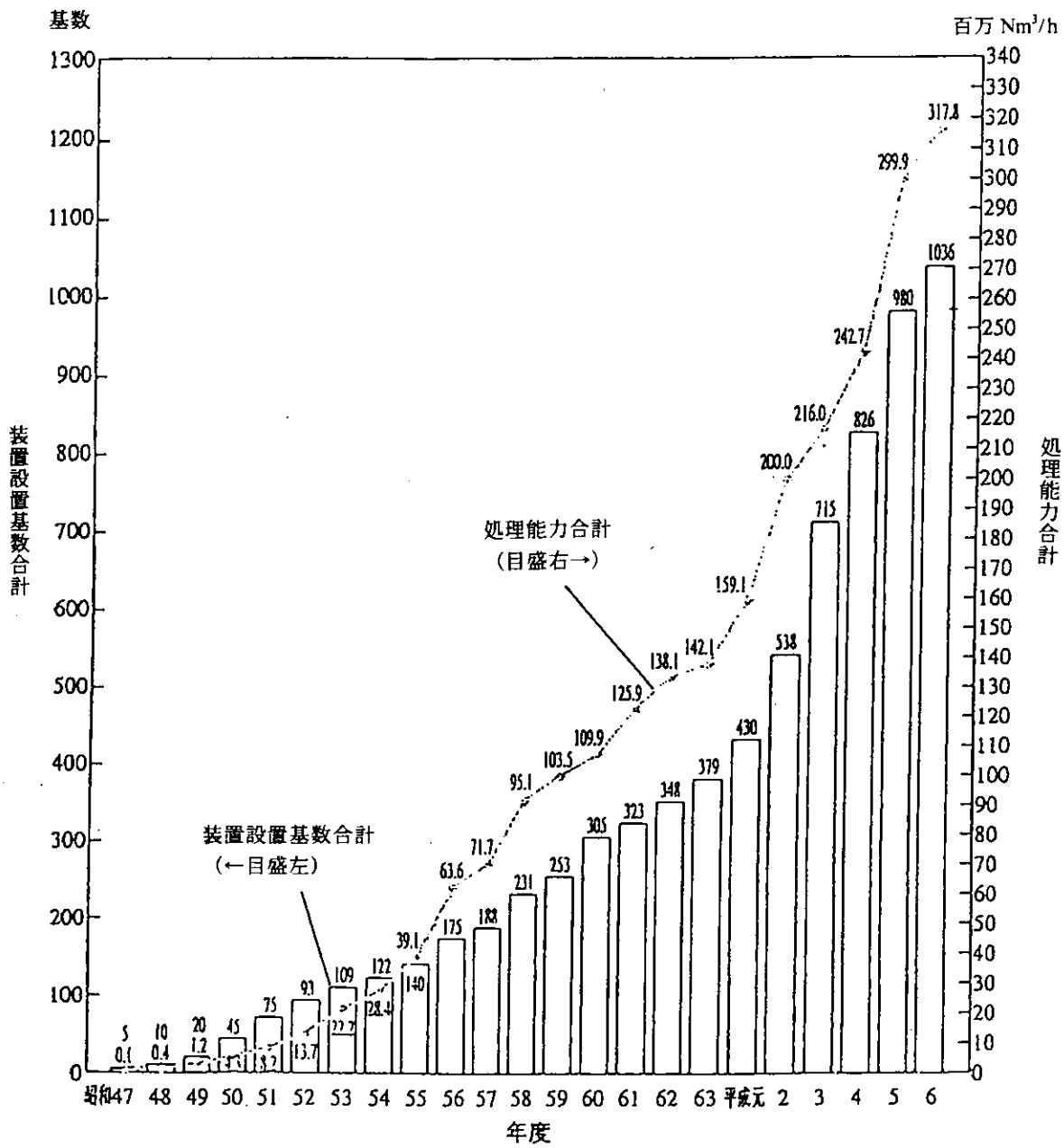
前述のように1970年に東京で発生した立正高校での光化学スモッグ禍を契機に、NO_xは大気汚染物質として注目をあび、低 NO_x 燃焼技術とともに排煙脱硝技術の研究も開始された。

当初は乾式法として、接触分解法、接触酸化法、非選択接触還元法、湿式法として、直接吸収法、酸化吸収法、液相吸収還元法、錯塩生成吸収法などが研究されたが、NOは反応に乏しく、これらの方法は結局実用化の段階に入らなかった。実用化（実証試験段階を含む）された排煙脱硝プロセスを表7.9.1¹⁾に示す。我が国で実用化されているものの大部分が乾式であり、乾式のなかでもアンモニア接触還元法が最も多く、処理能力で全体の約90%以上を占めてる²⁾。また、最近になって同時脱硫、脱硝が可能で排煙処理システムについても、精力的に実証試験が行われ、その技術開発が進んでいる。

表 7.9.1 脱硝プロセス一覧表

	反 応 剤	方 法	実用化の状況	
乾 式	アンモニア接触還元法	NH ₃ , (NH ₂) ₂ CO	触媒を用いてアンモニアと NO _x を反応させ、無害な窒素 (N ₂) と水蒸気 (H ₂ O) に分解させる方法。	ボイラ、ガスタービン、ディーゼル、ごみ焼却炉、加熱炉等に適用されており、現在実用化されている脱硝装置の90%以上を占めている。
	無触媒還元法	NH ₃ , (NH ₂) ₂ CO	アンモニアを還元剤として排ガス中に吹込み、気相無触媒で NO _x を N ₂ に還元する。	石油加熱炉、ごみ焼却炉等に採用実績があるが、脱硝率が低く、未反応還元剤も多いので適用先は少ない。
	活性炭法 (同時脱硫・脱硝法)	NH ₃	活性炭（または活性コークス）により排ガスの SO _x を吸着し、NO _x は活性炭（活性コークス）の触媒作用により、NH ₃ で N ₂ に分解させる同時脱硫脱硝法。	ボイラ、焼却炉等に数基採用されている。事業用流動層ボイラの同時脱硫・脱硝装置として活性コークス法が実用化されている。
	電子線照射法 (同時脱硫・脱硝法)	NH ₃	排ガスに NH ₃ を加え、電子ビームを照射して SO _x を硫酸に、NO _x を硝酸とする同時脱硫脱硝法。	米国、ドイツ等で長く実証試験が行われており、日本においても実証試験が実施されている。ボイラ、焼却炉等への適用が期待される。
湿 式	酸化還元法	O ₃ , ClO ₂ , Na ₂ SO ₃	NO をオゾンまたは二酸化塩素で強化し、ソーダ溶液に吸着させる方法。	比較的小型のボイラや加熱炉に数基採用されている。酸化剤として使用されるオゾン、二酸化塩素等が高価なため、大型装置への適用は難しい。

図 7.9.1³⁾ に示すように、排煙脱硝装置は、1972年頃から設置され始め、1994年度末には1036基が稼働中である。なお、総排ガス処理能力は3億1780万 m³N/h であり、排煙脱硫装置のそれを上回っている。



注：昭和57年までは当該年度の1月1日現在の数値であり、昭和58年以降は当該年度の3月31日現在の数値である。

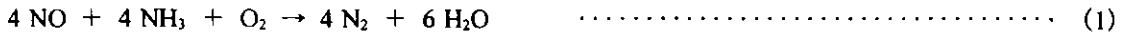
(資料) 環境庁

図 7.9.1 年度別排煙脱硝装置届出状況

7.9.3 日本における排煙脱硝技術の最近の動向

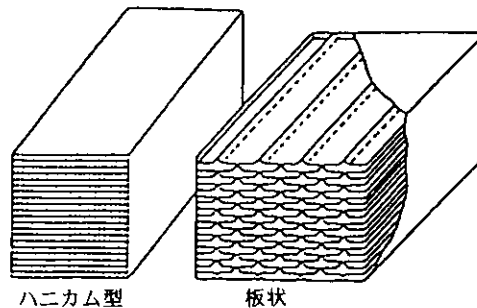
(1) アンモニア接触還元法

排ガス中にNH₃を注入し、触媒の作用によりガス中のNO_xをN₂とH₂Oとに分解するものであり、その基本反応は(1)、(2)式のとおりである。



現在用いられている触媒はSO_xによる被毒の少ないTiO₂を担体とし、V₂O₅、WO₃等を活性体とするもので、用途に応じて様々な成分配合のものが使用されている。触媒形状は圧力損失を少なくするために、ハニカム状または板状の並行流型が主に用いられている。(図7.9.2⁴⁾参照)

これまでの技術開発により、アンモニア接触還元法による脱硝装置は安定した自動運転ができるようになり、発電ボイラ、ディーゼルエンジン、ガスタービン、ごみ焼却炉などに広く採用され、現在の脱硝装置の主流となっている。



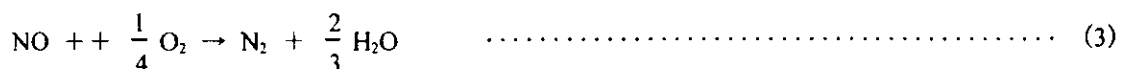
ハニカムに通常 150 mm×150 mm で長さは 500-1000 mm、板状の寸法はさまざま

図 7.9.2 代表的な触媒の形状
安藤淳平：世界の排煙浄化技術、石炭技術研究所、141 (1990)

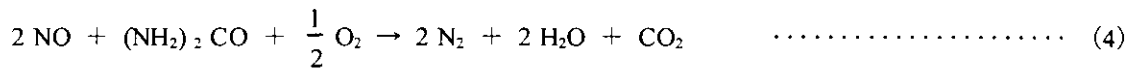
(2) 無触媒還元法

本法はNO_xとO₂が共存する燃焼排ガスの800~1,000℃の温度域に還元脱硝剤としてアンモニアまたは尿素水などを吹き込むと、NOを選択的に還元するという原理に基づいたものである。基本反応は(3)、(4)式のとおりである。

・アンモニアの場合



・尿素水の場合



反応式で明らかなように、無触媒還元法を行うためには燃焼ガス中の酸素が不可欠である。しかし、共存酸素濃度が1%を越えると、900℃付近からアンモニアの酸化によるNOの副生が多くなるため、脱硝率はある濃度で極大値を示すことになる。

本方式はボイラ、ごみ焼却炉などで使用されているが、脱硝率は30~40%とあまり高くない。特に、ごみ焼却炉ではNO_x濃度の最高ピーク時における低減対策として使用されることが多い。

(3) 同時脱硫・脱硝技術⁵⁾

排煙処理技術として、脱硫については湿式石灰石-石膏法が、脱硝についてはアンモニア接触還元法がすでに技術的に確立し、実用化されている。しかし、湿式石灰石-石膏法においては多量の用水を必要とすることや、アンモニア接触還元法においては触媒寿命やリークアンモニアによる後段機器の閉塞への対策が必要であることから、乾式同時脱硫・脱硝技術の開発が鋭意推進されている。

① 活性炭法⁶⁾

本プロセスは活性炭（または活性コークス）により排ガス中のSO_xを吸着し、NO_xは活性炭の触媒作用によりNH₃でN₂に分解させる同時脱硫・脱硝技術である。焼却炉に数基採用されている他、1995年に運転開始した電源開発竹原火力発電所の流動層ボイラ（350MW）の脱硝装置として稼働している。

本プロセスにおいて、排ガス中のSO_xは脱硫塔の活性炭により容易に吸着され、硫酸あるいは硫酸アンモニウム（以下「硫安」と略記する）（アンモニアを注入した場合）の形で捕捉される。しかし、活性炭の吸着能力には限界があり、再生が必要となるため、活性炭は移動層とし、再生系で再生を行いながら循環使用する。

また、活性炭は、アンモニア接触還元法で使われている金属触媒と同じく、アンモニア存在下で還元分解する触媒として働く。また、活性炭表面の還元物質による脱硝反応や、吸着によるNO_x除去能力もあると考えられる。

② 電子線照射法⁷⁾

本技術は、排ガスにNH₃を加え、電子ビームを照射してSO_xを硫安に、NO_xを硝酸アンモニウム（以下「硝安」と略記する）とする同時脱硫・脱硝プロセスであり、石炭火力発電用ボイラの実証試験を終え、実用化直前の段階にある。

約130℃の排ガスは、まず乾式電気集じん装置でフライアッシュが粗取りされた後、GGHを通過し約110℃に冷却される。さらに、冷却塔で脱硫反応に適した60~70℃までに冷却され、反応器において電子ビームの照射を受ける。

ガスに電子ビームを照射すると、排ガス中に含まれるO₂、H₂OからO*、OH*、HO₂*等の非常に酸化力の強いラジカルが生成する。SO_x及びNO_xは、これらのラジカルによってそれぞれH₂SO₄、HNO₃にまで酸化され、これら強酸があらかじめ添加してあるNH₃と反応することによって最終的に硫安及び硝安が生成する。

7.9.4 指摘課題

世界及び日本のエネルギー需要見直しからみて、化石燃料、特に石炭の燃焼による利用量の増加に伴って、SO_x・NO_x 排出総量のさらなる低減が求められている。

また、地球環境問題により最近では CO₂ 低減にも配慮せねばならない。火力発電所で集塵装置、排煙脱硫・脱硝装置稼働させることは、送電端効率を落とすことになる。今後は CO₂ 排出も含めたトータルな最適排煙処理システムの構築へ向けた技術開発が望まれる。

7.10 有害ガスの処理

有害ガスは、それぞれの発生源で排出形態が多様であり、その集煙方法および処理法を選択する際、処理ガスの特性と同時に設置場所、周辺環境、それに経済性などを考慮する必要がある。処理法を分類すると、①燃焼法、②触媒法、③凝縮法、④吸着法、⑤吸収法などがあり、①、②、③については7.12 炭化水素対策で記述されており、ここでは④吸着法、⑤吸収法についてその概要を述べることにする。

7.10.1 吸着法

吸着法は大きな内部表面積を持った多孔性の物質であり、被吸着物質に対して特有の親和力を有し、選択性もある。したがって、処理するガス成分に合わせて選定する必要がある。

吸着法による排ガスの処理は、比較的簡単な装置で確実な除去率を得ることが可能であるが、使用済み吸着剤の処理、吸着された成分の回収または廃棄処理についての考慮が必要である。一般に低濃度ガスの処理では、脱着工程を持たず新吸着剤と交換する方式が多く、大容量の高濃度ガス処理の場合は、脱着工程を設置して脱着成分の回収と吸着剤の再生を行っている。また、吸着装置を濃縮装置として用い、燃焼装置などと組み合わせて処理する方法も採用されている。

(1) 吸着剤

吸着剤の種類と主な用途を表7.10.1¹⁾に示す。吸着剤は、物理的吸着剤と化学的吸着剤とに大別でき、物理的吸着剤は活性炭、ゼオライトなどで、もっとも多く用いられているのは活性炭である。形状は、粒状の他に繊維状、球状、ハニカム状などがある。一方、化学吸着剤には、活性炭表面に酸、アルカリ、酸化剤、触媒成分などを保持させた添着炭がある。例としてアンモニア、アミンなど塩基性物質の処理用として石炭を化学的に処理したスルホン化炭、酸性物質の処理用としてスルホン化ソーダ炭などがある。そのほか、硫黄化合物の処理用には、鉄イオンを基剤としたものやイオン交換樹脂を応用した化学吸着剤がある。

(2) 吸着装置

吸着塔で吸着剤と処理ガスとの接触方法には移動層方式、固定層方式（充填方式）、ハニカム回転式などがある。装置構造及び操業管理が容易な固定層方式が多く用いられている。

固定層吸着装置を図7.10.1に示す。固定層への充填方式には、吸着剤を直に充填する方式と、搬出入可能なカートリッジとして交換する方法がある。

粒状活性炭の場合、吸着剤の層高は、30～80 cmの単一層または多段層で用いる。充填層を余り薄くすると層内での濃度分布が不均一になり、厚くすると圧力損失が増大する。粒状活性炭の場合、処理ガスの基本流速は30 cm/s～60 cm/s程度である。連続式固定層は、吸着、脱着を交互に行うため、少なくとも2塔が必要となる。1塔で吸着させている間に、他の塔を脱着するためであり、このサイクルを繰り返す場合、吸着剤が吸着成分で飽和される前に脱着側は脱着を完了し、吸着温度にまで冷却されていなければならない。

表 7.10.1 吸着剤の種類と用途

吸着剤の種類		主な用途	
物理吸着剤	活性炭	炭化水素系溶剤回収・脱臭、排煙脱硫、排煙脱硝、フロン回収、ハロゲン化炭化水素の回収、スチレンの吸着	
	ゼオライト（親水性）	アンモニアの吸着、空気の脱湿、し尿処理場の脱臭、空気中の酸素分離、微生物脱臭法の担体、硫化メチル・二硫化メチルの吸着	
	ハイシリカゼオライト（疎水性）	水溶液からのアルコール、芳香族、ハラフィンの吸着	
	モレキュラーシービングカーボン	空気中の酸素分離	
	シリカゲル	空気の脱湿・脱臭	
	アルミナ	空気の脱湿・脱臭	
	活性白土	溶剤の精製、油脂類の脱色精製・脱臭	
化学吸着剤	添着吸着剤	塩基性ガス用	アンモニア、トリメチルアミンの吸着
		酸性ガス用	硫化水素、メチルメルカプタンの吸着
		金属添着炭	一酸化炭素、シアン化水素、ホスゲンの吸着
		酸化剤添着炭	一酸化窒素、硫化水素系、アミン、アルデヒド、アクロレインの分解・吸着
	イオン交換樹脂	アンモニア、トリメチルアミンの吸着、硫化水素、メチルメルカプタンの吸着	
	酸化鉄系脱臭剤	硫化水素、酢酸の吸着	

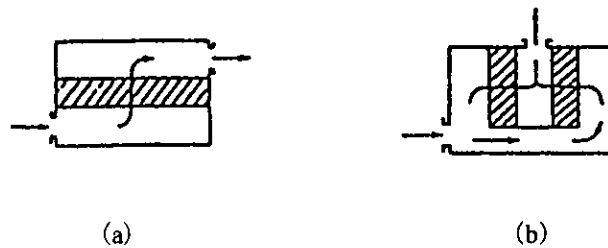


図 7.10.1 固定層吸着装置¹⁾

移動層吸着方式は、吸着剤を移動させながら処理し、再生工程へ移動させ連続操作を行う方式であり、大容量のガス処理に適している。粒状の活性炭を使用した移動層では活性炭が摩耗し易く、ダストによってふさがれ易いことなどの欠点がある。移動層方式の一種として、球状ビーズ炭を用いた濃縮方式を図 7.10.2 に示す。この方式は、球状（直径 0.7 mm 程度）の活性炭を傾斜多孔板上に流下させ、順次下の段へ移動させ、塔下部から処理ガスを導入し吸着させる。使用済みの吸着剤は連続的に脱着塔に送られ再生し、被処理ガス成分は脱離濃縮されて燃焼装置など他の処理装置に導かれて最終処理される。

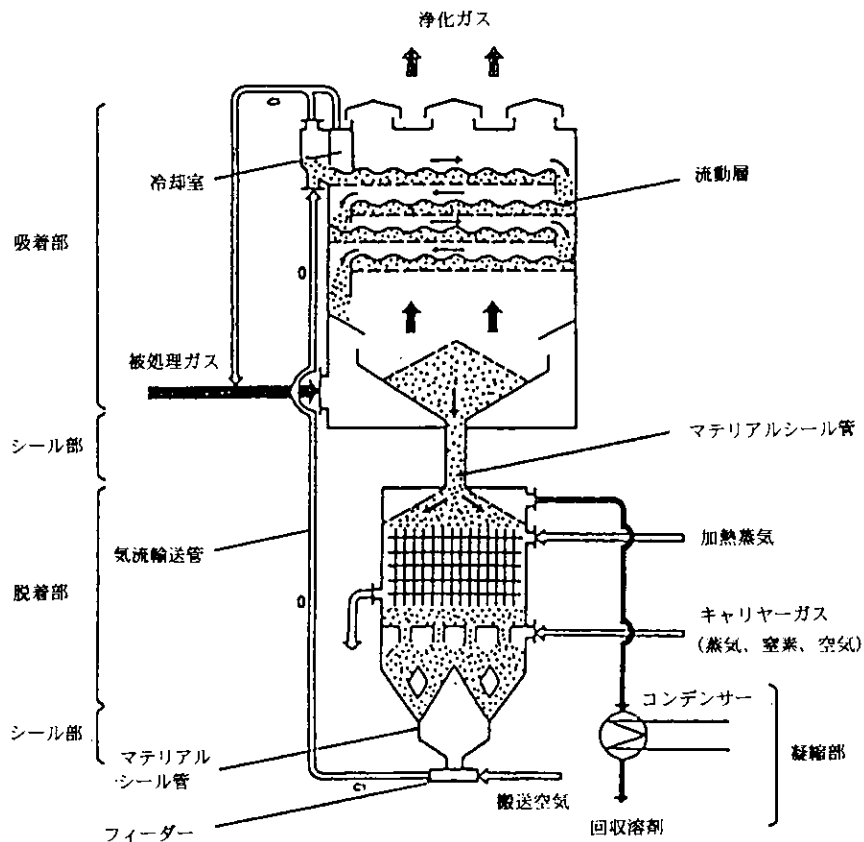


図 7.10.2 ビーズ炭を用いた連続吸脱着装置²⁾

図 7.10.3 にハニカム回転式吸着装置を示す。ハチの巣状の構造の活性炭を円筒形に成型した装置で、これを回転させ、吸着と加熱脱着を連続的に行い被処理ガス成分の濃縮用として用いられる。処理ガス成分が可燃性の場合、ガス量を減少させ成分濃度を高めて燃焼装置や触媒酸化装置と組み合わせて効果的に処理することが可能である。

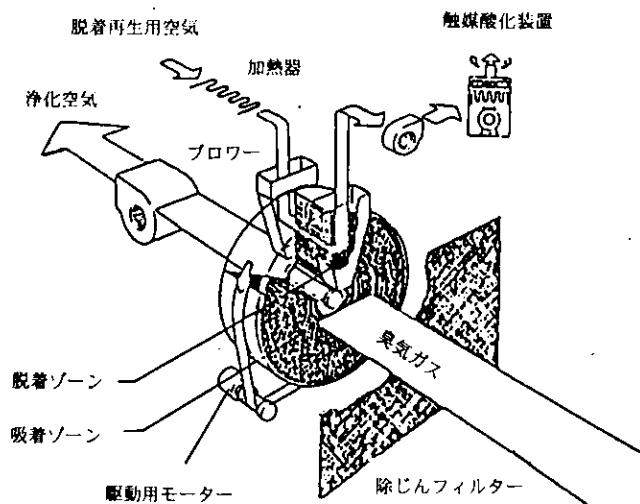


図 7.10.3 ハニカム回転式連続濃縮装置²⁾

(3) 吸着剤の再生

脱着法には加熱による熱スイング法と減圧による圧力スイング法とがあり、とくに熱スイング法である加熱脱着法が広く行われている。加熱媒体として加熱水蒸気、加熱空気、加熱窒素ガスなどが用いられ、加熱と同時に減圧して脱着する方式もある。可燃性の有機溶剤に対しては発火、爆発などを考慮しなければならない。とくにメチルエチルケトン、シクロヘキサノンなどのケトン類の回収では、ケトンの酸化、蓄熱による温度上昇での発火の例があり、とくに運転停止時充分に脱着する必要がある。

一般に、吸着剤の再生は、完全に脱着するには長時間を要するため、100%の脱着は行わない。実際には技術的及び経済的見地から適当な脱着率にとどめて循環使用する。

(4) 排ガスの前処理

処理ガスが高温で、かつ多量のダスト、ミストを含む場合、吸着操作上きわめて不都合であり、吸着剤を損なう原因となる。また、処理ガス濃度が高い場合、作業時間を長く保つためには、適当な前処理装置を付設する必要がある。普通は前処理として洗浄方式が多く用いられているが、活性炭を濡らさないように洗浄液の飛沫を吸着層まで同伴しないよう充分注意しなければならない。吸着は低温ほど除去率がよく、一般には、処理ガス温度40℃以下とする必要がある。

7.10.2 吸収法

(1) 中和吸収法と酸化吸収法

洗浄吸収法は、有害ガスの除去法として最も広く用いられている。吸収処理法を大別すると、物理的に水に吸収させる方法と、汚染ガスを吸収薬液と化学反応させる化学的吸収がある。後者には、中和反応により液中に固定させる方法、酸化反応により無害物に分解させる方式とがある。水による吸収は、成分が水に可溶で成分濃度が高い場合に適用される。中和法には、酸洗浄によるアンモニア、トリメチルアミンなど塩基性ガスの除去、アルカリ洗浄によるフッ素、フッ化水素、塩素、塩化水素、メルカプタン、硫化水素などの酸性ガスの除去が挙げられる。酸化吸収法は、吸収液として、次亜塩素酸ソーダ、過マンガン酸カリ、過酸化水素などの水溶液が用いられ、とくに、悪臭ガスの分解処理に使用されている。

ダストが共存する場合、ガス成分の吸収と同時にダスト除去にも効果がある。有機化合物系有害ガスは、水への溶解度が一般に小さく、吸収法だけで十分な除去効果を上げるのは困難であり、他の処理法と組合せて採用される例が多い。

(2) 吸収装置

吸収装置には、吸収液をガス中に分散する方式と、液中に処理ガスを分散させる方式とがある。吸収液への溶解度が大きいガスに対しては吸収液を分散させる装置が適しており、吸収液への溶解度の小さいガスの処理にはガスを液中に分散させる装置が適している。一般には、吸収液として被吸収成分の溶解度の大きな薬液を使用するので、液を分散させる充填塔やスプレー塔を採用する例が多い。大容量のガス処理には、多孔板式漏れ棚塔や十字流接触装置などが採用されている。

(3) ミスト除去

一般に、吸収洗浄方式では、吸収液がミストとなり大気中に飛散し二次的公害を引き起こすこともあり、ミスト除去装置を付設する必要がある。ミスト除去には、吸収塔上部に充填物を詰めただけのものが多いが、この形式ではミスト除去効果は低い。とくに、温度が高く、凝縮性ガスを含む場合、吸収塔を出たあと、配管ダクト内で成分が凝縮し、これが飛散するため、ミスト除去装置の設置場所は、できるだけ排出口の近くにすることが好ましい。

7.11 自動車対策

7.11.1 はじめに

自動車排出ガス対策のうちガソリン車対策は技術的にはほぼ完成されており、今後はディーゼル車のNO_x、黒煙・粒子状物質低減対策が重要な課題として残されている。

7.11.2 ガソリン車排出ガス低減対策

ガソリン車排出ガス低減の基本的理念は、①燃焼システム改良による汚染物質発生の抑制、②排気途中における後処理、③大気開放部の密閉化と蒸発ガスの吸気系への戻しの3点に集約できる。しかし、一般的にCO、HC対策とNO_x対策は相反関係にあり、ガソリン車排出ガス低減対策も複雑になり、複数の低減方法を組み合わせた機構が多くなっている。図7.11.1に現在のガソリン車に適用されている排出ガス低減対策系統図を示す。

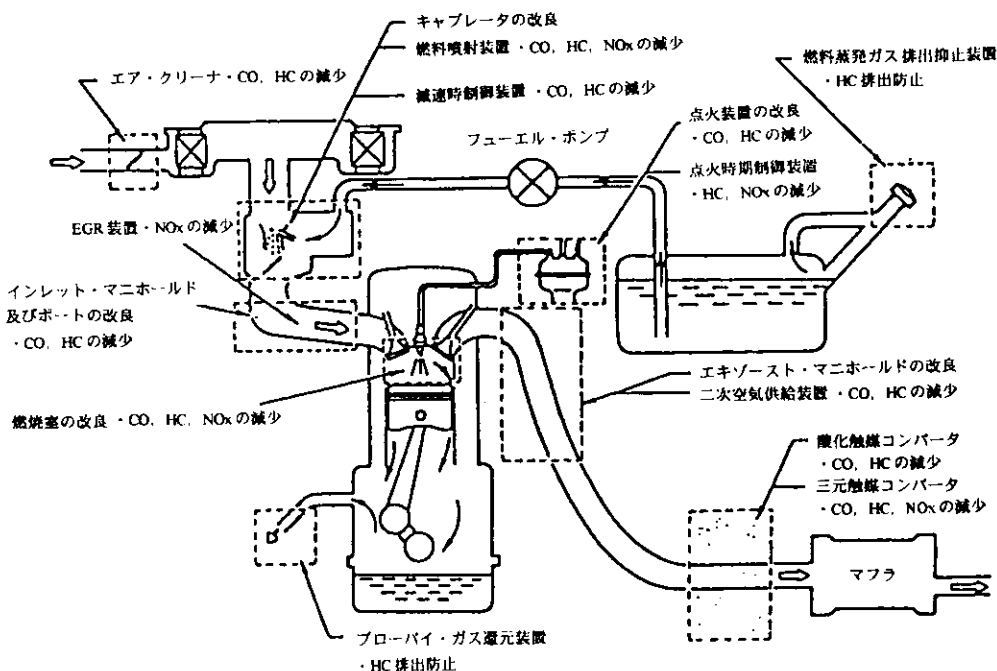


図7.11.1 排出ガス規制適合ガソリンエンジンの例

(1) 燃焼システム改良による汚染物質発生の抑制対策

①点火時期制御：一般的に点火時期を遅らせるとNO_x、HCが減少する。しかし、あまり遅らせると、出力や燃費に悪影響があるので運転性能と排出ガス浄化を両立させるようコンピューター制御を行っている。

②減速時制御装置：減速時はスロットルバルブが閉じ燃焼室に入る空気が少なくなり不完全燃焼が起こる。これを防止するために減速時に燃料カットしたり、減速時負圧を検知し、強制的にスロットルバルブを開き、吸入空気量を増加したりするシステムである。

③EGR：排出ガスの一部を吸気にもどして、燃焼最高温度を下げてNOx生成を抑制する。10%の排出ガス還流でNOx排出量を1/2にすることができる。

④リーンバーン：一般にCO、HCは空燃比が過濃側で排出が多く、NOxは理論空燃比付近で濃度が最高となり、それより薄い空燃比では排出濃度が低下する。そこで空燃比を22~24付近になるようにコントロールして、CO、HC並びにNOxを抑制しそれに伴って発生するエンジンの不安定性に対しては別途対策を施し、NOx低減と燃費改善を両立させる。（図7.11.2）

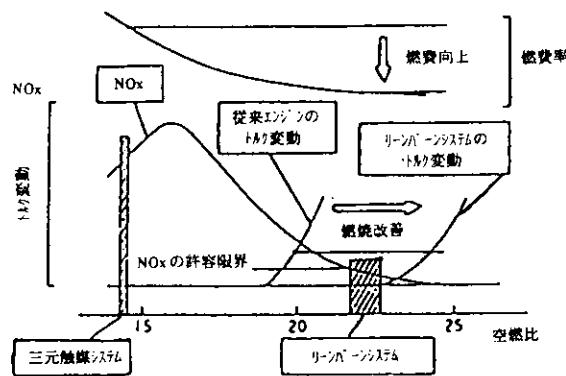


図 7.11.2 リーンバーンシステム

(2) 排気経路における後処理技術

①酸化触媒：排気管途中に触媒（白金、パラジウム等）を装着し、排出ガスを通過させることによりCO、HCを酸化しCO₂、H₂Oに無害化する。この場合触媒前に二次空気を供給する装置が必要で、二次空気供給装置にはエアープンプで強制的に空気を送り込む二次空気噴射装置と、エンジン排気管内の排気圧の脈動が負圧状態の時二次空気孔を大気開放、負圧に見合った二次空気を排気管内に導入する装置とがある。

②三元触媒：触媒に白金とロジウムを使用し、排出ガス中のCO、HCを酸化反応でNOxは還元反応により3成分同時に無害化する装置である。酸化触媒と違って空燃比は理論空燃比にコントロールする必要がある。そのためには排気ガス中のO₂濃度を絶えず検知しコンピュータに送信する空燃比フィードバックシステムが不可欠である。また、燃料供給装置もあらゆる空燃比制御に対応できる電子燃料噴射装置が用いられている。（図7.11.3）

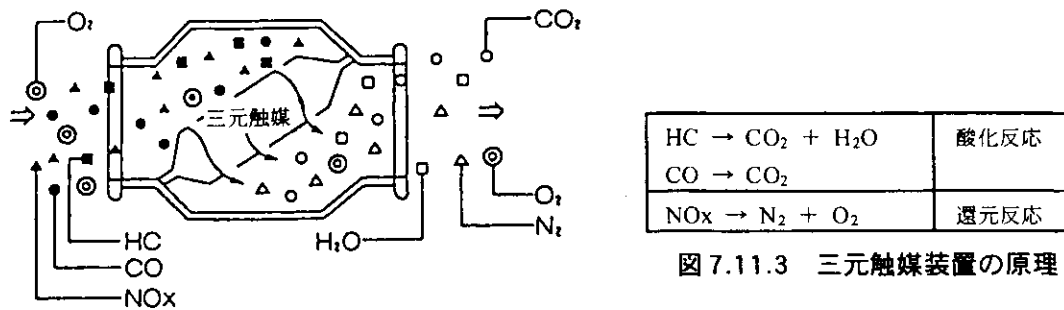
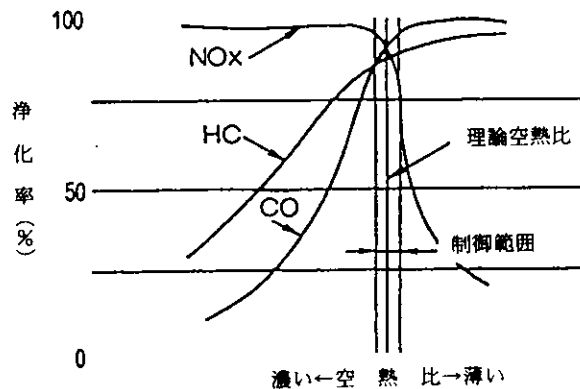


図 7.11.3 三元触媒装置の原理



(3) 未燃燃料対策

- ①ブローバイガス還元装置：ピストンとシリンダーの間を吹き抜けるブローバイガスをもう一度吸気系にもどし燃焼させるシステムである。
- ②燃料蒸発排出抑制装置：燃料タンクやキャブレターからの蒸発燃料を一旦活性炭（キャニスター）に吸着し、エンジン負圧を利用してもう一度吸気系に還流するシステムである。

7.11.3 ディーゼル車排出ガス低減対策

ディーゼル車の排出ガス低減対策は、①吸排気系の改良、②燃焼室改善、③燃料噴射系改良、④後処理、⑤燃料対策に大別できる。図 7.11.4 に低減技術概要図を示す。

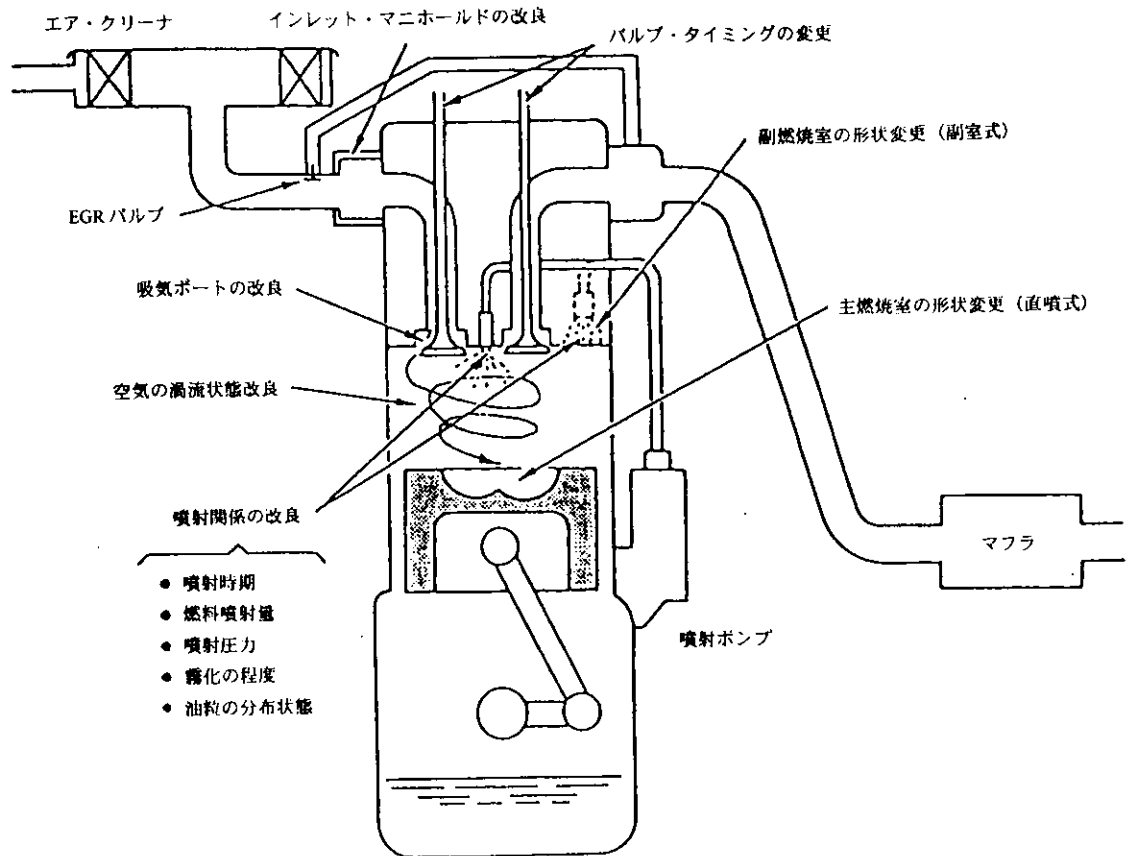
(1) 吸排気系の改良

吸気系では空気流動の最適化、体積効率の向上をめざしてインレットマニホールドの改良バルブタイミングの変更、吸気ポートの改良などを行い、吸気抵抗を減少させて空気の吸入効率上げ、燃焼に必要な空気を十分確保するとともに空気に適度の渦流を与えることにより燃料との混合を良くし燃焼が良好に行われるようにする。

また、多弁化をはかることにより、それだけガスの通路を広くし、吸排気を多量に素早く行うことを可能とし、体積効率を向上する。過給は、エンジンから排出された排気エネルギーでタービンをまわし、コンプレッサーを稼働させることにより、大気圧より高い圧力でエンジンに空気を送り込むことで、これにより空燃比が希薄となり黒煙・PM（粒子）が低減する。過給により温度の上昇した給気

は冷却してからエンジンに供給し、NO_x 発生を抑制する。

排出ガスの一部を吸気系にもどして、燃焼温度を下げてNO_x を低減する方法は乗用車で既に実用化されているが、トラック、バスについては乗用車に比べはるかに寿命が長くかつ使用条件が厳しいため、燃料中の S 分によるエンジン内部の腐食、すすによる摩耗、オイルの劣化等信頼性、耐久性に課題が多いが、燃料中 S 分比率の低減、燃焼改善等黒煙抑制技術の向上により、今後中、小トラックを中心に EGR の適用が増加しよう。



規制に適合したディーゼル・エンジン

図 7.11.4 排出ガス規制適合ディーゼルエンジンの例

(2) 燃焼室改善

黒煙・PM を低減するには、燃焼室内のスワールを活発にすれば良く、逆に NO_x を低減するためにはスワールを小さくしてやれば良い。シリンダ内のガス流動状態は燃焼室の形状によって大きく影響される。

(3) 燃料噴射系の改良

①燃料噴射時期の遅延：ディーゼルエンジンの NO_x は、予混合燃焼時に多く発生する。予混合燃焼で

は燃料噴射から着火までの時間が長ければ長い程、爆発的に燃焼が起こり NOx 排出量が多くなる。従って NOx の発生を少なくするには、燃料の噴射をできるだけ遅らせ、予混合燃焼期間を短くすることが効果的な対策となる。しかし、燃料噴射時期を遅延することにより、燃焼温度低下、黒煙・PM 増加、燃費悪化、出力低下などが生ずる。このデメリットを克服するために燃焼室形状改良、空気流動活性化、噴霧拡散促進等の燃焼改善対策を同時に行う必要がある。また、最近では燃焼初期の予混合燃焼を抑制して NOx の低減をはかりつつ、かつ、燃焼後期の拡散燃焼を促進させて、黒煙・PM の低減と性能改善を両立させる燃料噴射率制御が行われている。

②高圧噴射：高圧で燃料を燃焼室内に噴射、燃料を微細化することにより空気との混合を良くし、燃焼を改善黒煙の低減をはかるもので、噴射圧力を 400 kg/cm^2 から $1,000 \text{ kg/cm}^2$ にすることにより黒煙を $1/4$ にすることができる。高圧噴射は燃焼を改善するもので NOx が増加する。燃料噴射時期遅延等の NOx 対策の併用も必要となる。

(4) 後処理

ガソリン車に使用されている酸化触媒、三元触媒をディーゼル車に適用することは燃料中 S 分に起因するサルフェイトの増加、 O_2 過多のために NOx 還元処理ができない等のためになかなか難しい。しかし、近年の S 分含有比の低減措置により SOF 低減用酸化触媒の実用化が一部の車種でできるようになった。また、ハニカム状のトラップ（材質：コーゼライトや炭化珪素）に排出ガスを通しトラップにすすを捕集させ黒煙を低減処理する DPF (Diesel Particulate Filter) も実用化が進んでいる。

還元触媒については、ゼオライト（多量に水を含んだ結晶性の珪酸塩鉱物）触媒が高濃度の O_2 の存在下においても NOx を還元するが還元率が悪い（10%程度）、温度が低いと効果が出ない、水分が存在すると効果が下がる等の課題が多く、実用化は難しい。

(5) 燃料対策

燃料中の S 分比率は、平成 4 年に $0.4\% \Rightarrow 0.2\%$ に低減し平成 9 年以降含有率を 0.05% にまで低減される。また、含酸素化合物（ポリプロピレングリコールアルキルエーテル、植物油メチルエステル等）を軽油に添加することにより、HC、CO、PM が低減することができる、この場合増加する NOx はセタン価向上剤を添加することにより抑制する。

7.11.4 指摘課題

ガソリン車排出ガス低減技術は著しい進歩を遂げている。今後は重量ガソリン車等に適用する場合のコストアップの問題が大きい。ディーゼル車については燃焼改善による黒煙低減化が進んでいるが、それに伴い増加する NOx 対策が課題。また DPF システムやハイブリッドシステム等については、コストの低廉化とシステムの信頼性、耐久性が課題。

7.12 炭化水素対策

7.12.1 はじめに

我が国では、昭和45年から光化学スモッグによる健康被害が問題となりはじめ、その原因物質である窒素酸化物とともに炭化水素排出量削減対策が行われてきた。近年、光化学スモッグ対策とは別に、ベンゼンのようにそれ自身健康被害をもたらす炭化水素や塩素系炭化水素なども問題となり、それらの対策は多岐にわたっている。

7.12.2 炭化水素の発生源

大気汚染に関わる炭化水素の発生源の内ここでは固定発生源について述べる。わが国での炭化水素の主な発生源は、ボイラなどの燃焼施設、ガソリンの給油を含めた石油関連工業、化学工業、印刷業、自動車工業、建設業、クリーニング業などである。炭化水素物質は大気中でペーパーもしくはミスト状で存在し、石油類、各種溶剤が主である。特にわが国で「有害物質」として指定されている炭化水素の内比較的広く使用されているものにメタノール、アセトン、メチルエチルケトン、ベンゼン、トルエン、キシレン、また塩素系炭化水素としてトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンなどがある。その他、オゾン層破壊の原因物質としてのフロンやベトナム戦争で使用された枯葉剤としてのダイオキシンなども炭化水素に含まれる。

7.12.3 燃焼排ガス中の炭化水素対策

ボイラなどでの燃焼施設排ガス中の炭化水素は、わが国では軽質の重油が普及していることもあって、通常10ppm以下である。燃焼排ガス中の炭化水素の低減は主に燃料と燃焼状態の改善による。燃料を軽質化すれば炭化水素も一般に低減する。燃焼状態の改善としては混合空気量の適正化が有効である。一般に重油での最適空気比は1.3程度であるが、図7.12.1に示すように空気比を小さくすると排ガス中の炭化水素濃度は増大する¹⁾。逆に空気比を過剰に大きくしても未燃炭化水素が生じて炭化水素濃度は増大する²⁾。

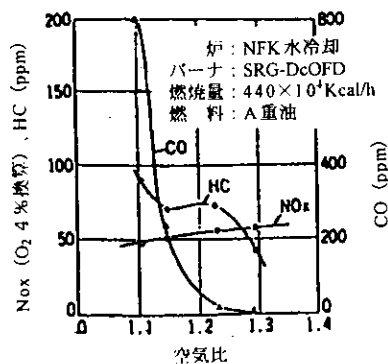


図 7.12.1 NOx, CO, HC と空気比との関係

7.12.4 ガソリンベーパー対策

我が国ではタンクローリー車からガソリンスタンドへの給油時に放出されるガソリンベーパーは、光化学スモッグの主要な原因物質の1つとなっている³⁾。このガソリンベーパーの排出量は気温上昇とともに上昇し、図7.12.2のようにガソリンベーパー排出量は増加する⁴⁾。即ち、大気温度が1℃上昇するとガソリンベーパーの排出量は10%程度増える。ガソリンベーパー対策は主にベーパーリターン方式による。装置を図7.12.3に示すが、給油時に配管系を遮断し、蒸気をタンクローリーに還流させるものである。この方式は装置が比較的安価なため我が国では主要都市で設置が義務づけられている^{3,5)}。

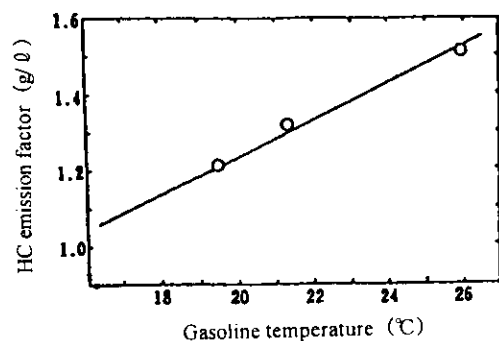


図7.12.2 ガソリン給油時におけるガソリン温度と炭化水素排出量

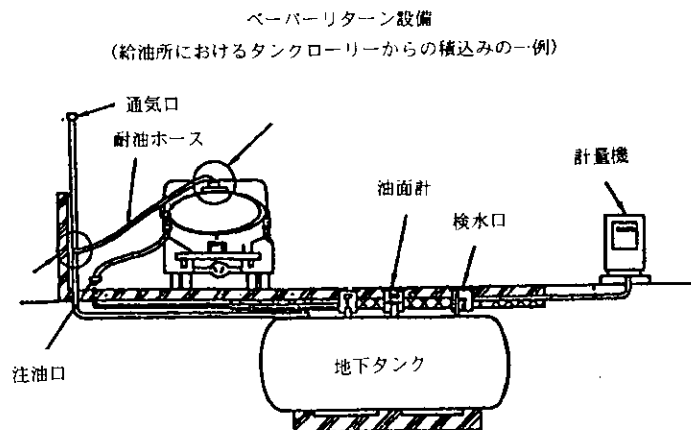


図7.12.3 ベーパーリターン設備

7.12.5 炭化水素の処理装置

炭化水素の処理方法には大別して、凝縮法、吸収法、吸着法、直接燃焼法、触媒酸化法があるが、吸着法は7.10で述べた。

(1) 凝縮法

この方法は、気化した炭化水素をその沸点以下に冷却凝縮して回収する方式である。そのため炭化水素濃度が高く、処理ガス流量が少ない場合に適する。多くの場合、単独で使用されることは少なく、吸着装置や吸収装置の前処理として使用される。ガソリンやトルエンなどの低沸点物質に用いられている。

(2) 吸収法

吸収法は炭化水素ガスに対する溶解度の大きな吸収液にガスを接触吸収させる方法である。吸収液には灯油、軽油、アセトン、アルコールなどが一般に用いられる。多くの場合、吸収液へのガスの溶解度は温度に影響され、我が国では季節によって除去率が変ることがあるが、精油所でのメインタンクからタンクローリ車への給油時に使用されている。またガスが酸やアルカリと反応性をもっている場合は吸収液にカソーダや過マンガン酸カリ溶液などを使用する。

(3) 直接燃焼法

直接燃焼法は燃焼効率が良い場合炭化水素濃度によらず95%以上の高い除去効率が得られ、塩素系炭化水素のような有害ガス(Cl₂等)を発生するものを除き、すべての炭化水素に適用可能である。しかし、補助燃料が必要なため、焼却炉排ガスの除じん対策やスクラバー後の白煙除去のためのアフターバーナなどと併用して用いられる場合が多い。

(4) 触媒酸化法

触媒酸化法は、白金、ニッケルなどの触媒の下で250~350℃で0.1~0.3秒間の燃焼条件で炭化水素ガスを完全燃焼する方法である。この方法では直接燃焼法に比べて燃料費を30~40%軽減できる。しかし、排ガスによっては触媒が汚染されたり、ガスに対する触媒の選択性などもあり適用に当たって注意を要する。また低温のガスは昇温する必要がある。図7.12.4にガス温度と酸化率の関係を示す⁶⁾。

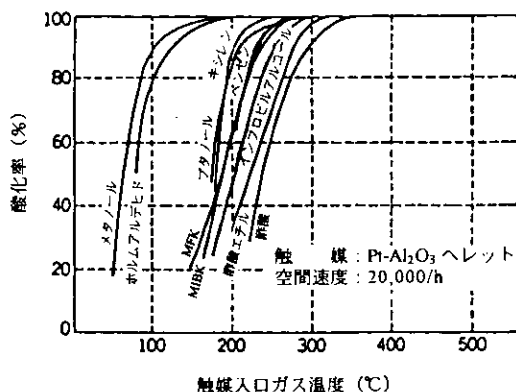


図 7.12.4 触媒酸化法におけるガス温度と酸化率の一例

7.12.6 塩素系炭化水素の対策

我が国では電子産業、クリーニング業で多量に使用されているトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンが問題となっている。これらは排ガス処理の前に室内や洗浄槽からの排出を極力抑えることが重要であり、例えば、蒸気洗浄槽の蒸気空隙率を大きくとるなど溶剤の損失を抑制するように努める。

7.12.7 フロン

フロンの回収方法としては活性炭吸着法が一般的である。その他の方法では発生するハロゲン類の処理が必要となる。またフロン類を含むカークーラーや冷蔵庫などの野外解体作業は行わないことが重要である。

我が国では、ダイオキシンの主要な発生源はごみ焼却炉とみられており、都市ごみ焼却場周辺での大気中でのダイオキシンの摂取量は0.9～1.2 pg/Kg/dayと報告されている⁷⁾。対策としてはコロナ放電を含まない低温集じんが有効である。そのためわが国の自治体では都市ごみ焼却炉での電気集じん装置による高温集じんからバグフィルターを用いた低温集じんへの転換が徐々に進められている。

7.13 悪臭対策

7.13.1 防臭・脱臭対策の進め方

防臭・脱臭対策の立案の基本は、臭気発生源、発生機序とその排出状況を正確に把握する必要ことである。臭気の場合、予期しない場所から発生している場合も多く、発生源の数及び発生量をもれなく調査し、それを減少させることを防止対策の基本とする。臭気の発生量として臭気排出強度（Odor Emission Rate, OER）を調査し、主たる臭気発生源を確認し、基本的に OER の大きい発生源から対策を取る。なお、OER は臭気濃度と排ガス量（ m^3/min ）の積で示される。対策の第一としては、臭気発生源からの発生要因を調べ、工程変更を含むその臭気発生量の低減を検討する。次いで処理ガス量をなるべく少なくするために、カバーや適当なフードワークにより開放部、開口部を少なくしたり、建屋等からの漏洩対策を実施する。処理ガス量を少なくすることは、脱臭装置のコストを削減する上で必要なことである。その後に発生臭気の脱臭対策を行う。まず、主要な臭気成分及びその濃度を把握し、それに最適な脱臭方法を選択する。その他発生源が数カ所にわたる場合には、高濃度臭気、低濃度臭気を明確にし、高濃度臭気と低濃度臭気を分離して処理する必要がある。この場合、臭気ガスを新しく設置する脱臭装置に導くだけでなく、高濃度臭気を既設の焼却炉用助燃空気として、また既設の水処理用曝気ガスとして使用する方法により、処理する方法も実施されている。図 7.13.1 にし尿処理場での脱臭対策例を示す¹⁾。

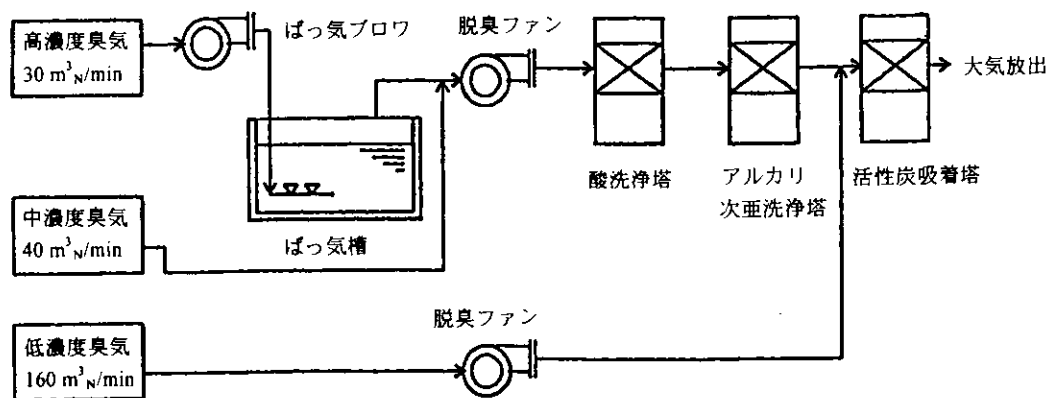


図 7.13.1 し尿処理場の脱臭対策例¹⁾

7.13.2 悪臭除去装置^{2) 3)}

悪臭除去装置としては、燃焼法、吸着法、薬液洗浄法、生物脱臭法、オゾン酸化法、消臭・脱臭剤法等による方法が利用されている⁴⁾。これらの装置は脱臭の対象物質の物理化学的性状及び発生施設の状況等を考慮して選択する。以下に各装置の特徴及び適用範囲について示す。

(1) 燃焼方式

①直接燃焼法

臭気成分を燃焼により高温（650～800℃、0.3～0.5秒の滞留時間）で分解し、脱臭する方法である。燃焼には、都市ガス、灯油等の補助燃料を用いる。完全燃焼すれば最も確実な方法であるが、不完全燃焼の場合かえって不快な臭気とともに有害物質が発生する。広範囲の臭気に対して適用性がある。高温で使用するため、ランニングコストが高かつき、熱回収装置が必要となる。連続的に高濃度の排出する発生源の対策に効果的である。しかし、脱臭後の排ガスの臭気濃度を100以下にすることは難しい。

②触媒酸化法

臭気成分を接触酸化分解して脱臭する方法である。白金、バナジウム、マンガン等の触媒を利用して、比較的低温（300～350℃）で酸化する。そのために、直接燃焼法に比べ使用熱量は少なく、ランニングコストは少ない。重金属、シリカ、ハロゲン等の触媒毒のほか、ダスト、ミスト、ヤニ等も性能に影響するため、フィルター等の前処理を必要とする。

③蓄熱式燃焼法^{5) 6)}

蓄熱式燃焼法は処理ガスを高温に保ち（800～900℃）処理ガス中の臭気物質を酸化し、二酸化炭素と水にして排出する方法で、直接燃焼方式と基本的なメカニズムは同じである。この装置は、脱臭後の高温の排ガスを一旦蓄熱体（金属やセラミック蓄熱材が充填されている）の中を通して排気することにより、排ガスが持つ熱量を蓄熱体に吸収させ、その熱を利用して未処理のガスを昇温させて燃焼室で脱臭する構造となっている。この場合、熱の授受が蓄熱体から直接行われ、かつ十分な接触面積を保持しているため、熱回収率は90～95%以上となる。溶剤系臭気に利用されており、臭気濃度が比較的低濃度で稼働時間の長い場合、ランニングコストが低く、メリットのある方法である。

(2) 吸着法

活性炭等の吸着剤に臭気成分を吸着し、脱臭する方法である。処理ガス流量が比較的大きく、低濃度の臭気成分の処理に適し、脱臭装置の最終段階の処理方法に採用されている。濃度、湿度、ガス量により処理装置の規模が大きく変わり、また、臭気物質にあわせて吸着剤の種類を選ぶ必要がある。吸着法は吸収法のような他の装置と組み合わせて使用される場合が多く、高濃度臭気を他の装置で除去し、比較的低濃度臭気を処理している。吸着剤をそのまま交換する装置や、スチーム等で再生する装置、また、新しくハニカム式の装置等も利用されている。

(3) 薬液洗浄法

水、酸、アルカリ、酸化溶液等によって、排ガス中の溶解しやすい物質を溶液に吸収させ、脱臭する方法である。吸収液としては、酸性ガス（硫化水素等）にはアルカリ溶液（水酸化ナトリウム）、アルカリガス（アンモニア、アミン等）には酸性溶液（硫酸等）、アルデヒド・ケトン類に対してはチオ硫酸水素ナトリウム及び一般有機物の酸化剤としてアルカリ一次亜塩素酸ナトリウム等が用いられる。本法は比較的処理ガス流量の大きい場合にも対応できる。イニシャルコストは比較的安価であるが、廃液処理が必要で、ランニングコストに影響する。最近では吸収液として活性汚泥を用いて、生物脱臭法との組み合わせで脱臭する方法も実用化されている。

(4) オゾン脱臭法

強力な酸化剤であるオゾンを用いて、臭気成分を酸化分解し、脱臭する方法である。吸収法や吸着法と組み合わせて使用する場合もある。

(5) 生物脱臭法^{7) 8)}

土壌（黒ぼく土）、活性汚泥及びピート層中等の微生物との生化学反応により分解し、脱臭する方法である。下水、し尿や有機溶媒の処理に利用されている。この方法は、①ランニングコストが安い（他の方法の0.2~0.8倍）、②運転管理が容易、③2次公害の恐れがない等の特徴があり、微生物増殖のための栄養源及び水分の確保が不可欠の要因で、親水性の成分の除去率が高い。生物脱臭法は図7.13.2のように分類されている。

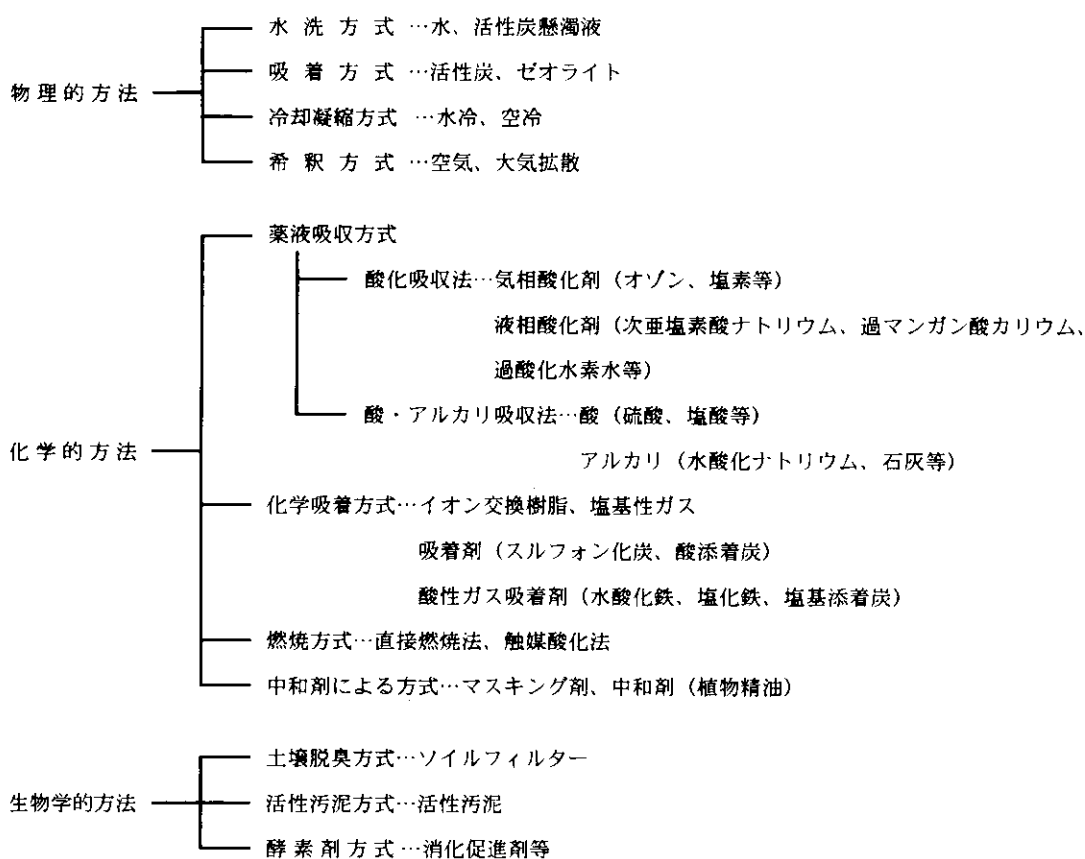


図 7.13.2 脱臭方式の分類⁴⁾

7.14 開発計画と対策事例

7.14.1 はじめに

我が国では海岸埋立による工業用地造成が進められ、臨海工業地帯操業は日本の工業の特長である。そしてここを舞台に大気汚染が提起され種々対策がとられてきた。工業開発計画は、我が国の大気汚染問題を考える上で見逃せない。

7.14.2 根岸湾工業地帯造成と横浜方式公害防止協定

根岸湾は横浜港南側海域で、古く沿岸漁業が営まれた。明治31年、奥田直弘らはこの海域埋立計画を神奈川県知事に申請した。しかし、明治43年の横浜市会討議、昭和15年の内務省決定、昭和26年の国際観光基地計画等を経たものの実現せず、昭和32年横浜市会で『根岸湾海面埋立事業第一期計画』が可決され昭和34年ようやく着工した。大気汚染が問題となったのは大規模工場が立地した第一、第二期計画約610.5万m²の工業用埋立地（図7.14.1¹⁾）である。とくに、東京電力(株)進出予定地の一部を昭和37年に閣議決定した石炭対策要綱による電源開発(株)の53万Kw石炭専焼火力発電所建設用地に用いることを昭和39年東電が横浜市に同意を求めたことから具体化した。石炭火力発電所による大気汚染経験を持つ横浜市民が、これに反対したのは当然で、煤煙規制法の行政権限を持たなかった飛鳥田一雄横浜市長は、東京電力(株)への土地売却契約書に記載された『第三者に転売したり、貸与したりする場合、横浜市の同意を必要とする。』の条項と『埋立て地引き渡し後も第三者に転売したり、貸与したりする場合、横浜市の同意を必要とする。』の条項とで、電源開発の土地使用容認条件として公害対策を横浜市と協議し実行するとの紳士協定を締結して我が国で初めて液化天然ガス専焼火力発電所をここで稼働した東京電力にも同様の締結を求めた。これが、横浜方式と呼ばれた公害防止協定で全国地方自治体に波及した²⁾。なお煙突高さ、煙道中大気汚染物質濃度を規制される等具体的条件に、電源開発²⁾は英国ロジ社の技術硫酸調質電気集塵装置を採用し大気汚染対策に万全を尽くした³⁾。また、最大立地面積を占め根岸湾工業地帯生みの親といわれた日本石油精製(株)根岸製油所^{1) 3)}は良質低硫黄燃料使用、低NOxバーナ採用、電気集塵装置設置などの対策を実行した⁴⁾。

7.14.3 四日市石油コンビナート計画と大気汚染問題^{5) 6)}

昭和31年、伊勢湾沿岸の旧海軍第二燃料工廠跡の約100ヘクタールに昭和四日市石油(株)が原油処理能力日量4万バレルの製油所を着工し、原料供給される工場群が昭和32年に着工してこのコンビナートは稼働した。すなわち昭和34年、三菱油化(株)四日市工場が年産2万2,000tのエチレンプラントを完成し、昭和36年中部電力(株)が日本最初の重油専焼三重火力発電所(12万5,000Kw)を稼働した。なお、この第1コンビナートには表7.14.1の諸工場が立地し通産省の計画に応じ三重県、四日市市は、約90ヘクタールを埋立てここに大協石油(株)、中部電力(株)などの第2コンビナートが昭和38年に稼働して四日市は我が国有数の石油化学工業地帯に発展した。しかし、高度経済成長の象徴だった巨大コン

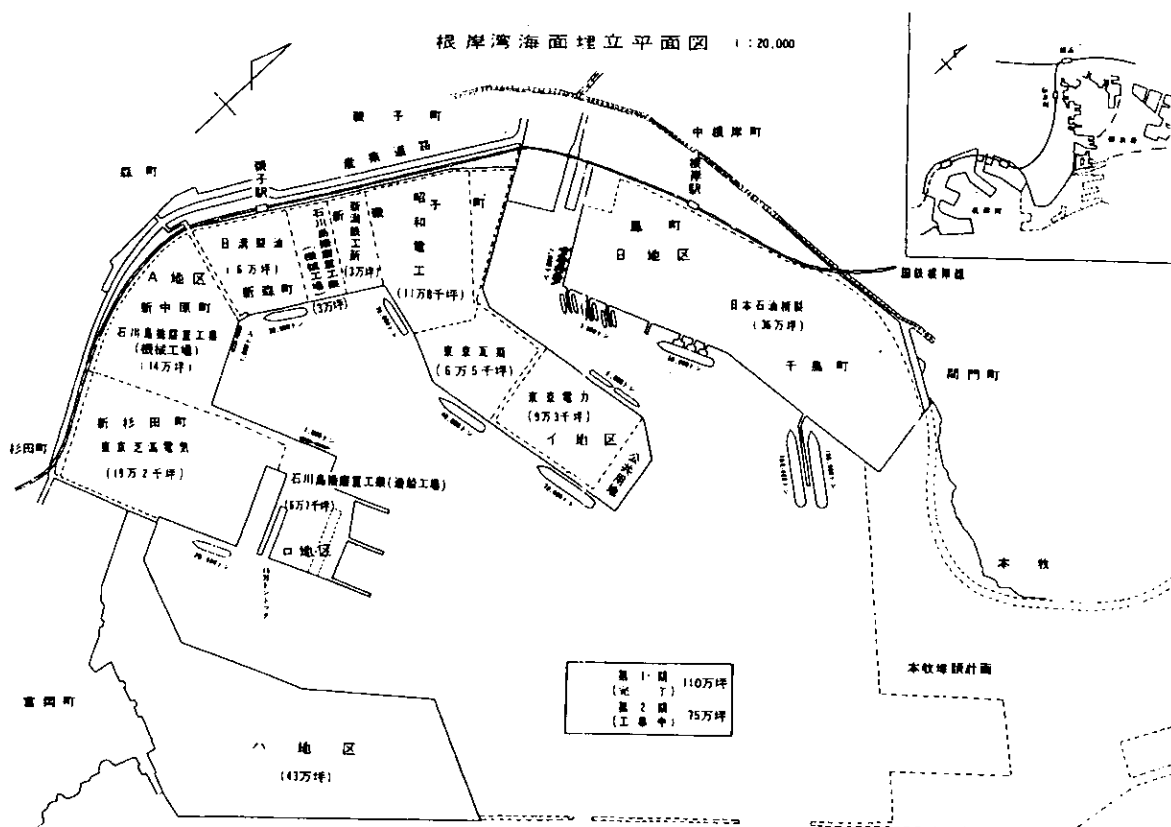


図 7.14.1 根岸湾工業用埋立地立地図

表 7.14.1 四日市第1コンビナートの主要企業⁵⁾

企業名	当時の主な生産製品
昭和四日市石油 四日市精油所	ガソリン、灯油、重油
三菱化成工業 四日市工場	カーボンブラック
日本合成ゴム 四日市工場	合成ゴム
味の素 東海工場	グルタミン酸ソーダ
四日市合成 四日市工場	界面活性剤
日本ブタノール 四日市工場	ブタノール
中部電力 三重火力発電所	電力
三菱油化 四日市工場	エチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン
三菱モンサント化成 四日市工場	スチロール系樹脂
松下電工 四日市工場	熱硬化性樹脂
三菱江戸川化学 四日市工場	過酸化水素
油化パーディッシュ 四日市工場	発泡性ポリスチレン
石原産業 四日市工場	酸化チタン、農業

ピナートは、大気汚染等環境汚染問題を背負った。昭和35年4月、第1コンビナートに隣接する塩浜地区連合自治会から『工場騒音とガスで夜も眠れない。』と四日市市に対策が要請され、同年7月『刺激臭ガスで吐き気をもよおす。』と苦情が寄せられた。四日市市は同年10月公害対策係を創設し、四日市市公害防止委員会を設置した。そして三重県立医科大学吉田克巳教授、名古屋大学水野宏教授が担当し、大気汚染と健康影響調査が開始された。昭和36年夏、同年3月に大気中二酸化硫黄濃度が1時間値で1ppmを超え、最高1.64ppmを記録した磯津地区住民は工場からの風で咳、喉の異常と激しい喘息を訴えた。吉田教授はこの症状を研究し、二酸化硫黄と硫酸ミストが繊毛細胞を侵して気管支炎症、肺炎、肺気腫に進行すると述べた。反公害運動が高まり同年10月、四日市市総合連合自治会は、早期解決と防止設備改善を決議した。三重県と四日市市は昭和35年11月組織的大気汚染調査を開始し、昭和37年の報告書は磯津地区の大気汚染を早期改善しなければ被害が増大すると警告し吉田教授は健康被害が二酸化硫黄高汚染地域で高いと疫学調査で明らかにした。昭和38年第2コンビナートが稼働し、四日市市長は市民の先頭に立ち対策にあたりと約束したがこの地域は、昭和37年の煤煙規制法で地域指定されず、黒川調査団派遣で決定し昭和41年指定された。とはいえ、これは効果なく黒川調査団員伊東彊自気象研究所応用気象部長が、指摘した疾風汚染を回避すべく高煙突が建設され成果があったが汚染地域を拡大した。昭和36年頃から呼吸器系疾患が増加した塩浜地区では、その医療費を全額自治会が負担し公費負担を要望した。昭和39年大気汚染によると思われる死亡者が発生し、同年12月四日市市議会で市長は公費負担の実施を表明し、昭和40年『四日市市公害関係医療審査会』が発足して医療費公費負担が開始された。その後、患者は増加し続け本質的解決のないまま推移して裁判で解決する機運が生じ、昭和42年9月磯津地区住民9人が第1コンビナート6社を提訴した。4年10ヵ月の長期裁判は原告勝訴となり企業は環境保全姿勢を問われ危機感を生じ行政にも多くの反省を生んだ。四日市市地域では昭和47年三重県公害防止条例による硫酸化物総量規制が公布され、年間10万t以上だった硫酸化物排出量は、驚異的速度で1.7万tにまで減少し住民の閉塞性肺炎患死亡率も昭和50年をピークに減少に転じた。なお、硫酸化物対策の30%は排ガス脱流装置により他は低硫黄燃料への転換で達せられた。

7.14.4 扇島プロジェクトの意義と大気汚染対策⁷⁾

明治45年、我が国最初の鋼管製造を目指し創業した日本鋼管(株)は、川崎市で鋼管製造プラントを稼働し大正8年高炉稼働を、昭和13年にトーマス転炉操業を開始して製鉄一貫企業の雄として繁栄した。

扇島プロジェクトは、神奈川県東京湾沿岸川崎市と横浜市に分散所在していた敷地面積約394万m²、高炉7基、年間粗鋼生産量約550万tの同社京浜製鉄所を年間粗鋼生産量を据え置き、東京湾に新たに建設した人工島扇島の敷地550万m²に移設し高炉2基に集約して、製鉄施設を近代化し、大気汚染等の公害防止対策を果たすべく実施された今世紀最後といわれた大型製鉄高炉新設をとまなう製鉄所移設事業である。なおこの事業には、大気汚染を主とする公害防止のため神奈川県、横浜市、川崎市と同社の間で公害防止協定が締結され話題になった。

このプロジェクトは扇島建設を昭和46年末開始し、昭和51年に新設の扇島第1高炉と既存の水江高炉の2基体制に移行して、昭和54年新設扇島第2高炉の稼働により既存水江高炉の火を落とすという約8年間の長期にわたるものだった。

そして流量132万 m³/hの電気集塵、排ガス脱流、排ガス脱硝装置からなる焼結炉全排ガス処理システム、原料ヤードの粉塵対策、乾式消火方式コークス炉、徹底した高炉と転炉集塵システム、燃料低硫黄化とガス化、省エネルギーシステム導入等の大気汚染対策は製鉄設備合理化とともに注目された。

7.15 大気汚染防止技術のコスト

7.15.1 設備投資金額の推移

過去における大気汚染防止対策装置の生産額（支払ベース）の推移を示したのが図 7.15.1 である。1966 年から 1995 年までのおよそ 30 年間に於ける大気汚染防止対策装置の生産額（支払ベース）を単純に合計すると約 4.7 兆円に達する。1990 年価格（1 ドル＝142 円）に換算すると、総額 6.6 兆円（467 億ドル）で、その内訳は、集塵装置が 2.3 兆円（467 億ドル）、排煙脱硫装置 1.4 兆円（102 億ドル）、重・軽油脱硫装置 8800 億円（62 億ドル）、排煙脱硝装置 4,400 億円（31 億ドル）などである。集塵装置は、大気汚染対策の一番基礎になるものであり、これが全体の約 3 分の 1 を占める。

歴史的に見ると、1960 年代半ばから大気汚染防止対策装置への投資が急増したが、まず最初に重点が置かれたのは集塵と重油脱硫であり、次いで高層煙突であった。そして、1970 年代に入ってから排煙脱硫が導入され、1970 年代半ばから排煙脱硝が導入された。

7.15.2 硫黄酸化物対策

我が国においては、1960 年代前半においては、汚染の激しい地域では硫黄分の少ない原油の生だきが行われた。次いで、1967 年から、原油の精製過程で重油中の硫黄分を除去する重油脱硫技術が導入された。重油脱硫のための設備投資は 1966 年から開始され、1967 年から 1976 年の 10 年間で約 5,850 億円に上がった。これによって、重油中硫黄分の約 45% が除去できた。重油脱硫の導入によって、1966 年以前は平均 2.6% であった重油中硫黄分が、1970 年には 1.93%、1973 年には 1.43% にと急速に低下した。

しかし、重油脱硫によって重油中の硫黄分を減らすには技術的な限界があり、環境基準達成のためには排煙脱硫の導入が不可避となった。また、それと並行して、1969 年から天然ガスの輸入が開始された。

これに対して、排煙脱硫設備への本格的な設備投資は 1970 年に開始された。その金額は、1974 年に 1,467 億円、1975 年に 952 億円、1976 年に 980 億円と大きな額を記録し、1980 年代前半には毎年 300～400 億円のレベルにあった。その後、1990 年代に入ると、1970 年代に設備された装置の更新期に入ったこともあり、再び金額が大きくなっている（図 7.15.1 参照）。

また、1990 年代に入ってから、1970 年代半ばから少なくなっていた重・軽油脱硫への投資も再び活発になっている。

7.15.3 個別設備の対策費用－重油火力発電所の例

以上によって、設備費だけからマクロ的に見た硫黄酸化物対策費用の概要が把握できる。他方、これをミクロ的に分析するには、建設費（設備投資費用）だけでなく、運転費も含めた計算が必要である。こうした計算例として、ある火力発電所（発電容量 300 MW、排ガス量 100 万立方メートルの重油火力発電所）のモデル的な結果（西嶋）を引用すると、重油（重質油）を燃料として、石灰石膏法に

よって排煙中の SOx 濃度を 2,000 ppm から 200 ppm にまで脱硫する場合の費用は消費する重油 1 トン当たり 2,600 円と見積られている。ちなみに、1993 年の C 重油の卸売り価格が 1 キロ当たり約 19,000 円であるから、重油価格の 10% 以上が脱硫のためにかかることになる。また、重油の硫黄分濃度を 1.5% 程度とすれば、硫黄 1 トン当たりを除去する費用が約 20 万円と大きい。

排煙脱硫のみならず、集塵、排煙脱硝も含めた対策費用合計の試算では、発電電力量 1 キロワット時当たり、1.35 円である。これは、あくまでもひとつの試算例に過ぎないが、現在、火力発電による発電原価が 1 キロワット時当たり、約 10 円なので、その約 13% に相当する。

7.15.4 硫黄対策コストの経済影響

以上に示したとおり、我が国において硫黄分を含む化石燃料を燃焼する場合には、その硫黄含有量に応じたコスト負担が必要であり、その額は、燃料価格そのものの 10~20% にも相当する。これはマクロ経済に対して燃料価格の上昇とほぼ等価の影響を持つと考えられる。ここで、C 重油の卸売り価格の推移を見ると、1973 年 9,100 円だったものが、1974 年には 19,300 円に急上昇し、1982 年に 61,400 円とピークを記録した後、1990 年代に入ってから 2 万円前後と低い水準にある。石油危機後に石油価格がこのように大きく変動していることを考えると、硫黄対策コストの経済影響はこの変動による影響に吸収された部分が大きいと言えよう。

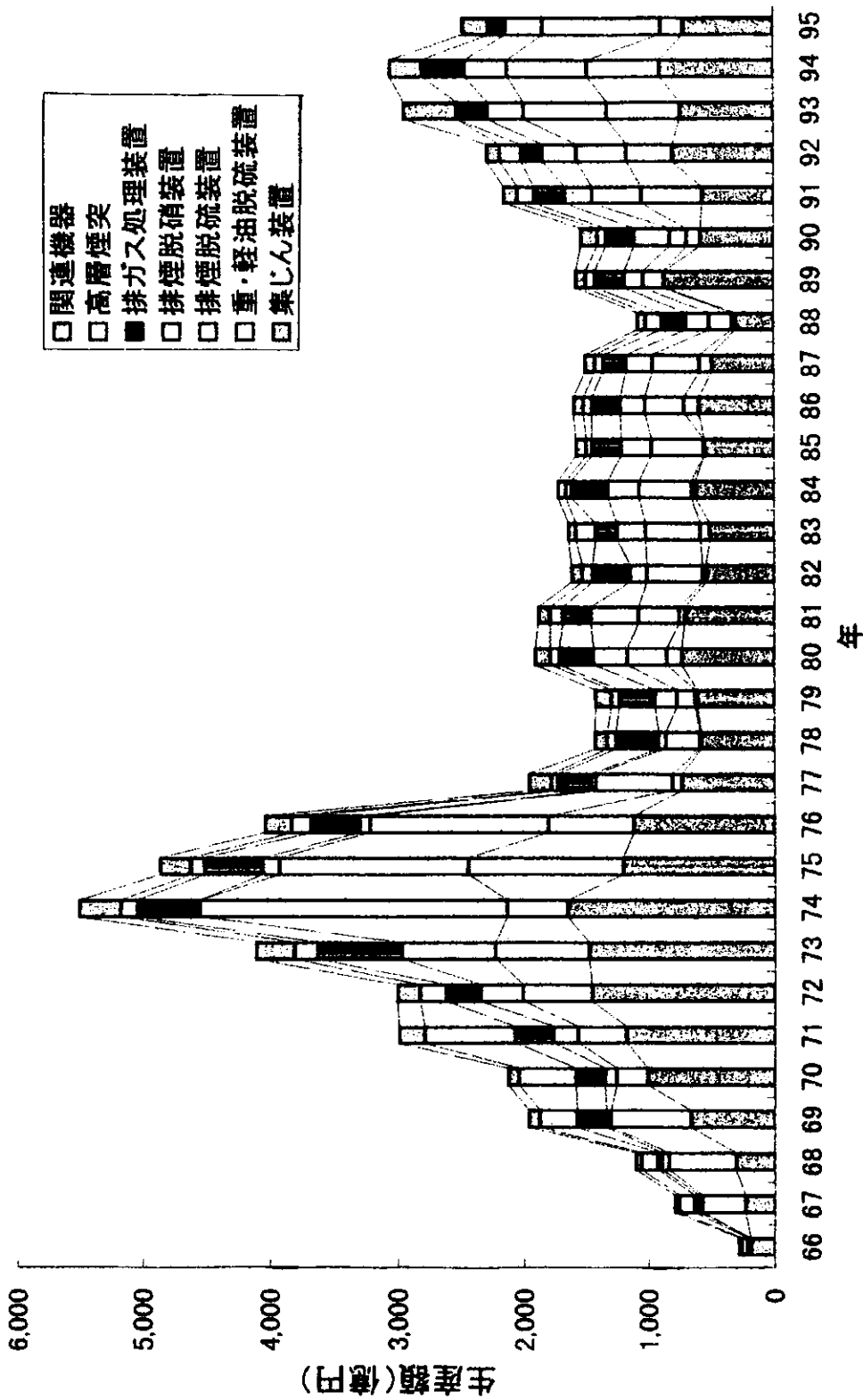


図 7.15.1 大気汚染防止装置生産額の推移 (1990年価格)

(日本産業機械工業会資料から作成)

(7.1) 引用文献

- 1) 新保元二；生産は環境と調和できるか, pp.165-168, 日刊工業新聞社 (1973)
- 2) 浦野紘平；化学物質の新しい環境安全管理制度, 環境汚染物質排出・移動登録 (PRTR), 化学工学, 61, 50-53 (1997)
- 3) 鎌谷親善ほか訳；アイド現代化学史2 専門の分化, pp.448-449, みすず書房 (1979)
- 4) 大場英樹；環境問題と世界史, pp.191-202, 公害対策技術同友会 (1979)
- 5) 槌出敦ほか；化学者槌田龍太郎の意見, pp.99-112, 化学同人 (1979)
- 6) 氷見康二；わが国とアジア諸国の大気汚染対策, 無機マテリアル, 1, Nov. (No.253) 67-76 (1994)
- 7) 氷見康二；環境技術者はいかにあるべきか—工学の立場から地方公害試験研究機関の研究者の進む路を考えて, 国公害研会誌, 11, 109-123 (1986)

(7.4) 引用文献

- 1) 通産省環境立地局監修；「公害防止の技術と法規（大気編）」p.86 (1990)
- 2) 省エネルギーセンター編；「省エネルギー燃焼技術」, p208 (1984)
- 3) 同上, p220 (1984)
- 4) 同上, p.2 (1984)
- 5) 新井紀男監修；「燃焼生成物の発生と抑制技術」, p.417 (1997)

(7.5) 引用文献

- 1) 神奈川県環境部；昭和54年度炭化水素系物質排出実態調査報告書, pp.6-44 (1980)
- 2) U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION, AND WELFARE, Public Health Service; Atmospheric Emissions from Petroleum Refineries, GUIDE FOR MEASUREMENT AND CONTROL (1960)
- 3) 氷見康二；公害の現状と対策 (VI), 石膏と石灰, No.125, 31-37 (1973)
- 4) 神奈川県公害対策事務局；神奈川県における炭化水素系物質の蒸発防止に関する調査報告書 (1975)

(7.6) 引用文献

- 1) 通産省環境立地局監修；「公害防止の技術と法規（大気編、四訂）」
- 2) (株)産業調査会事典出版センター；大気汚染防止機器 (1995)
- 3) 井伊谷綱一；ろ過集じん技術の新しい方向, 産業公害, 18, (4), 304-310 (1982)
- 4) (株)東レリサーチセンター；気体フィルタの新展開 (1994)
- 5) エヌ・ティ・エス；(社)日本伝熱学会編エネルギー新技術体系 (1996)
- 6) JISB9909「集じん装置の仕様のあらわし方」
- 7) 粉体工業技術協会（集じん分科会）・粉体工学会（高温集塵グループ会）；平成5年度例会
- 8) 粉体工学会（高温集塵グループ会）；平成6年度第1回例会
- 9) 金岡千嘉男, 田森行男；高温セラミックスフィルタの開発と動向, 粉体と工業, 20, (2), 57-64 (1988)
- 10) 大谷吉生, 江見準, 森治朔；エレクトレットフィルタの初期捕集効率と集塵性能の安定性, 化学工学論文集, 18, (1) 29-36 (1992)
- 11) 永田真之；高速流湿式電気集塵装置, 産業機械, 517, 27-30 (1993)

(7.7) 参考文献

- 1) 環境庁編；平成8年度版環境白書（各論）p.49 (1997)
- 2) 荒井；三菱重工技報, 27, (4) 303 (1990)
- 3) 小川；硫酸と工業, (9), 161 (1991)
- 4) 池野ほか；石川島播磨技報, 30, (3), 183 (1990)
- 5) 吉井ほか；三菱重工技報, 29, (1), 60 (1990)

(7.8) 引用文献

- 1) 安藤淳平；「世界の排煙浄化技術」, 石炭技研, p.170 (1990)
- 2) 高橋恭郎ほか；三菱重工技報, 17, (6), 929 (1980)
- 3) 仲町一郎；燃焼研究, No.98, 51 (1994)

(7.9) 引用文献

- 1) 城戸伸夫；ガス浄化技術の基礎, 「環境と省エネルギーのためのエネルギー新技術体系」, エヌ・ティ・エス, pp.395-401 (1996)
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課；ばい煙処理装置の設置実態について, 環境と測定技術, 22, (2), 4-7 (1995)
- 3) 環境庁；平成8年度版環境白書（各論）p.35 (1997)
- 4) 安藤淳平；「世界の排煙浄化技術」, 石炭技研, p.141 (1990)
- 5) 城戸伸夫；我が国の大気汚染防止技術の現状, 産業と環境, (285), 31-34 (1996)
- 6) 電源開発株式会社；活性炭式乾式同時脱硫脱硝技術, 地球を守る環境技術 100 選 94, pp.44-47 (1994)
- 7) 土居祥孝ほか；電子ビームによる石炭火力発電所排煙処理実証試験, エバラ時報, (166), 56-64 (1995)

(7.10) 参考文献

- 1) 加藤征太郎；公害防止対策要説「大気編」, 産業環境管理協会 (1991)
- 2) 水島清；ケミカルエンジニアリング, (7), 81 (1994)
- 3) ダイキン資料, EDX-10 b
- 4) 出雲正矩；公害と対策, 21, (12), 46 (1985)

(7.11) 参考文献

- 1) 環境庁大気保全局；日本の自動車環境対策, 平成8年7月 (1996)
- 2) (社)日本自動車整備振興会連合会；自動車排出ガス対策平成5年版 (1993)

(7.12) 引用文献

- 1) 広瀬靖夫；燃焼排出物, 工業加熱, 18, (3) 65-71 (1981)
- 2) 辻正一；公害防止燃焼技術概論, 日本熱エネルギー技術協会 (1973)
- 3) 安藤保；横浜市におけるHC規制の現況について, 大気汚染学会誌, 13, 382-386 (1978)
- 4) 櫻村広秋, 須山芳明, 才木義夫, 山本昭夫, 氷見康二；自動車へのガソリンの給油時における炭化

水素排出量, 同上, 18, 432-438 (1983)

- 5) 環境庁大気保全局; 炭化水素排出抑制マニュアル (1981)
- 6) 化学工学協会; 悪臭・炭化水素排出防止技術 (2) (1977)
- 7) 環境庁; インターネットホームページ (1997)

(7.13) 引用文献

- 1) 川崎慎一郎, 滝島満; し尿処理施設における活性汚泥ばっ気脱臭による処理, 臭気の研究, 24, 141-145 (1993)
- 2) 石黒辰吉; 臭気対策の基礎と実際, オーム社 (1997)
- 3) 新環境管理設備事典編集委員会; 大気汚染防止機器; 産業調査会 (1996)
- 4) 悪臭法令研究会; 新訂ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい (1996)
- 5) 岡田久行; アドテック蓄熱式脱臭装置による VOC を含む排ガスの処理, 臭気の研究, 27, 189-191 (1996)
- 6) 山田英男; 蓄熱式燃焼脱臭法, 同上, 27, 192-199 (1996)
- 7) 大迫政治, 樋口能士, 田中勝; アンケート調査にもとづく生物脱臭法の技術的評価 (その3), 同上, 25, 310-313 (1996)
- 8) 森田陽一; 微生物を用いた排ガス処理, 資源環境技術総合研究所第10回研究講演会資料, 48-53 (1996)

(7.14) 引用文献

- 1) 横浜市; 横浜市根岸湾臨海工業地帯造成事業概要 (1965)
- 2) 横浜市港湾局臨海開発部; 横浜の埋立, pp40-101, 技報堂 (1992)
- 3) 氷見康二; 開発途上国への環境技術移転について (1), 生活と環境, 38, (6) 72-76 (1993)
- 4) 日本石油株式会社, 日本石油精製株式会社社史編纂室; 日本石油精製三十年史, 日本石油精製株式会社 (1982)
- 5) 財団法人国際環境技術移転センター; 四日市公害・環境改善の歩み (1992)
- 6) 吉田克巳; 四日市における大気汚染とその経緯, 第24回大気汚染学会講演要旨集, pp.63-73 (1983)
- 7) 日本鋼管株式会社七十年史編纂委員会; 日本鋼管株式会社七十年史 (1982)

(7.15) 参考文献

- 1) 西島洋一; 「地球環境をエンジニアリングする」社会経済生産性本部
- 2) 日本産業機械工業会; 「環境保全装置の販売実績」
- 3) 石油連盟; 「内外石油資料」

第8章 大気汚染物質測定法（発生源）

8.1 排ガス中の汚染物質測定・分析法

8.1.1 概説

大気汚染発生源からの排ガスには、粒子・ガス状汚染物質を含みこの濃度測定は法令遵守、大気汚染対策、防止装置性能試験上重要である。さらに、排ガス流量を得て汚染物質排出量を算出することも必要である。排ガス中大気汚染物質濃度は排ガスを吸引採取し、捕集した汚染物質質量と吸引ガス体積から求める。排ガス試料採取法は、排ガス中で慣性を持つ粒子と持たぬガス状汚染物質とは基本的に異なる。何故なら粒子は採取管先端でガス流れが乱れたり著しく方向変換すれば、その慣性のためガス流れに追随できず、排ガス濃度と異なる濃度で採取管に導かれるからである。そこで、この測定方法を規定した JISZ8808 には煙道、煙突、排気ダクトでの排ガス流れが整流され乱れの無い位置を選び、測定すると規定している。これは排ガス流速を得てその流量を求めるにも必要で、ガス状汚染物質分析用試料採取法を規定した JISK0095 でも同様に規定している。粒子濃度は同一ダクト断面でも相違するため、測定位置断面に複数の測定点を例えば図 8.1.1 のように選ぶことが要求される。また、採取した試料粒子はこれに含まれる重金属、多環芳香族炭化水素の分析にも用いる。排ガス温度、圧力の測定法が JISZ8808 に規定されている。

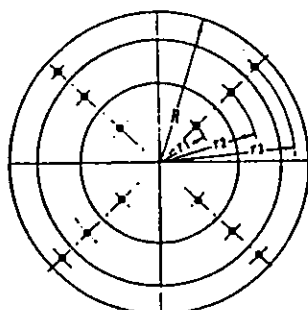


図 8.1.1 円形断面煙道の測定点（測定点 12 の場合）

8.1.2 粒子濃度測定法

(1) 粒子試料採取法

排ガス内粒子の定量的採取には、粒子の慣性影響を避けるため採取管先端でガス乱れを起こさぬようその先端を 30° 以下の鋭角に仕上げた吸引ノズルを持つ採取管を用意し、採取管先端での吸引ガス速度と排ガス速度を等速に保ちガス吸引して試料を採取する。この操作を等速吸引といい、これはガス状汚染物質採取の場合必要としない。等速吸引操作は測定点における排ガス流速をピトー管で測定し、これにあう吸引流量を計算して、吸引流量をこの値に一致させて試料採取する普通試料採取管による方法と、ノズル内吸引ガス静圧と排ガス静圧を等しくするかその動圧と試料採取装置の吸引ガス流量測定装置の差圧とを等しく保てば等速吸引可能な平衡型試料採取管による方法とがある。さらに、

試料採取装置は吸引ノズル付採取管、試料捕集用フィルタ、吸引ガス流量測定装置、吸引ポンプから構成される。なお、捕集用フィルタは煙道内に挿入し試料を捕集する1型と煙道外に置く2型とに分類され、一般に耐熱性シリカ繊維製円筒フィルタをガラス製ホルダーで保護した図8.1.2に示す1型が使用される。等速吸引には測定点における排ガス流速が必要だが、この測定には原則としてJISB8330に規定するL字型ピトー管を用いる。なおL字型ピトー管は煙道への挿入が困難で、静圧測定孔に粒子が詰まるため図8.1.3の特殊ピトー管が繁用される。

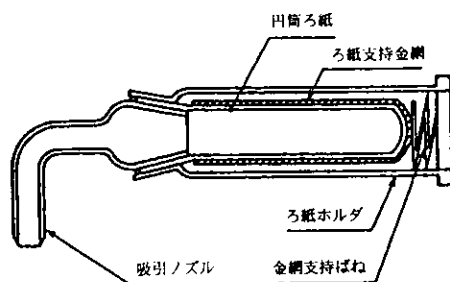


図 8.1.2 1型試料捕集フィルタ



図 8.1.3 特殊ピトー管

この場合ピトー係数が予め必要である。流速は、2つの圧力測定孔の中心A、Bを結ぶ線を測定点と排ガス流れの方向に一致させて両者の差圧を図8.1.4に示す傾斜管マンノメータで測定し(1)式で計算する。

$$v = c \times \left[\frac{2gh}{\gamma} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに v ; 流速 (m/sec)
- c ; ピトー係数 (-)
- g ; 重力の加速度 (m/sec²)
- h ; 傾斜管マンノメータで得た差圧 (mmaq)
- γ ; 排ガス密度 (kg/m³)

粒子試料採取には試料採取装置を組立て採取管を煙道に挿入して吸引ノズルを測定点位置に一致させ、採取管を排ガス流れ方向に向けこれと平行に保ち、等速吸引を保つよう採取装置を操作し排ガスを吸引する。この場合試料捕集用フィルタは予め恒量に保ち秤量しておく。吸引中は等速吸引維持につとめ吸引ガス流量測定装置の温度、圧力を測定する。なお試料採取には複数選定した測定点毎に捕

集用フィルタを交換し各点の粒子濃度を求めて平均濃度を計算する各点採取法、1つの捕集用フィルタで各点で等時間づつ試料採取し1度に平均粒子濃度を得る移動採取法がある。後者では測定位置煙道断面での粒子濃度分布を得ることが不可能で、代表的粒子濃度点で行う簡易採取方法に繋がらない。

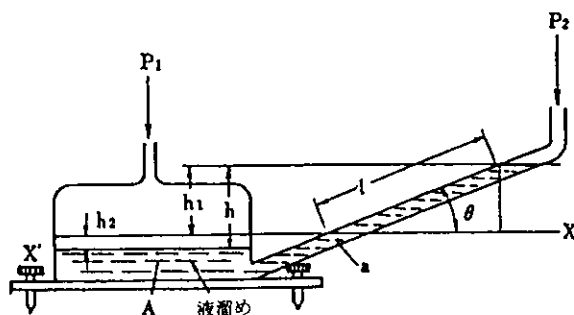


図 8.1.4 傾斜管マンメータ

(2) 粒子濃度測定・計算法

試料採取操作終了後試料捕集用フィルタを恒量にし秤量して捕集粒子質量を求める。粒子濃度は標準状態における乾きガス 1 m³中の粒子質量 (g/m_N³) で示し捕集粒子質量、吸引ガス流量測定装置で求めた吸引ガス体積と流量測定装置における温度、圧力から計算する。詳細は JISZ8808 を参考にする。なお粒子径別濃度測定には図 8.1.5 の分級捕集器で粒子径範囲毎に粒子を採取する。

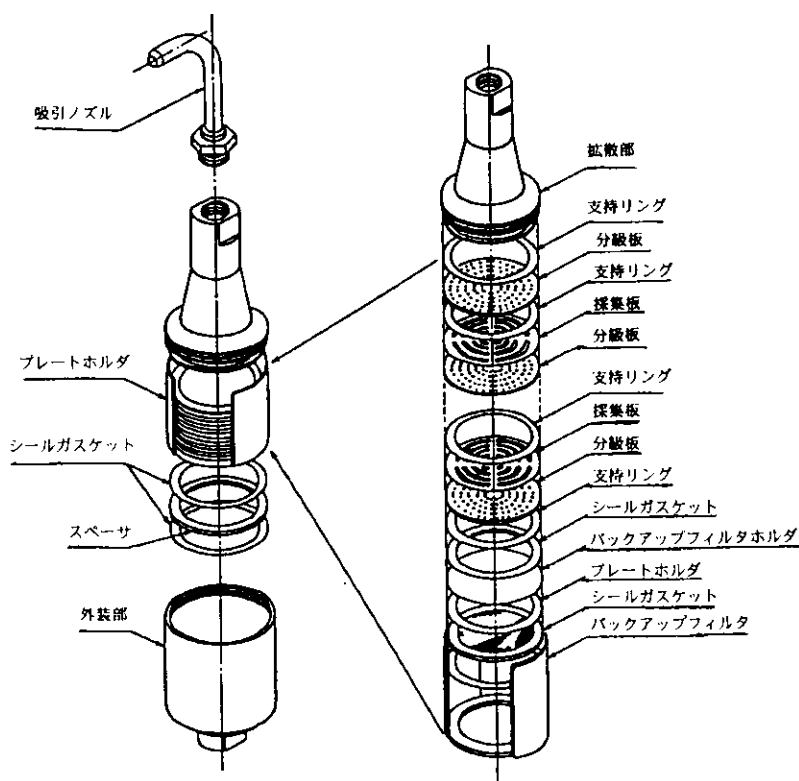
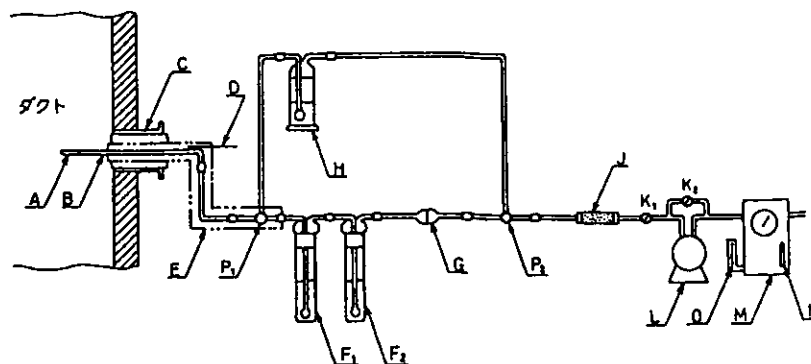


図 8.1.5 分級捕集器

8.1.3 ガス状汚染物質濃度測定法

ガス状大気汚染物質濃度測定に用いるガス試料採取装置は、試料ガス採取管、ガス吸収瓶、捕集瓶などの試料採取装置、吸引ガス流量測定装置（ガスメータ）、吸引ポンプなどから図8.1.6のように構成される。なお試料ガス採取管には、粒子吸引を防止すべくフィルタを装着し、排ガス中水蒸気が凝縮しこれに成分ガスが吸引されるのを避けるため加熱または保温する。さらにガス吸引瓶、捕集瓶には分析すべきガス状大気汚染物質を吸収する吸収液を所定量満す。ガス状大気汚染物質試料採取には、試料ガス採取管を煙道内に挿入し、吸引ポンプを用いて所定量の試料ガスを吸引して目的汚染ガス成分を吸収液に吸収させる。この場合インピンジャなどのガス吸収瓶を用いた場合には、吸引ガス流量測定装置で吸引ガス体積とその温度、圧力を求める。また容量のわかった真空にした捕集瓶を用いた場合にはその温度、圧力を求める。一般に、試料ガス採取管は煙道中心に挿入し等速吸引は必要としない。採取操作が終了したらガス吸収瓶、捕集瓶などの試料採取装置中の吸収液について所定の分析操作を行い、吸収液中の大気汚染物質体積を求めその体積濃度を計算する。この場合標準状態でのガス状大気汚染物質の体積が求まるから、吸引ガス体積も流量測定装置で求めた吸引ガス体積と流量測定装置での温度、圧力から標準状態での値に換算する必要がある。詳細は、JISKO1303、JISKO104、JISKO095などを参考にする。



- | | |
|---|---|
| A : ろ過材 | J : 乾燥管 |
| B : 試料ガス採取管 | K ₁ , K ₂ : 流量調節コック |
| C : 保温材 | L : 吸引ポンプ |
| D : 温度計 | M : ガスメータ |
| E : ヒータ | N : 温度計 |
| F ₁ , F ₂ : 吸収瓶 (容量 250 ml 又は 100 ml) | O : マノメータ |
| G : ガラスフィルター | P ₁ , P ₂ : 流路切換三方コック |
| H : 洗淨瓶 (吸収液 50 ml を入れる。) | |

図 8.1.6 ガス試料採取装置の例

8.1.4 大気汚染物質排出量の計算

大気汚染物質排出量は、排ガス中大気汚染物質濃度と排ガス流量から(2)式で計算する。この場合、排ガス中大気汚染物質濃度は水分を含まないかわきガス中の値として、排ガス流量は水分を含んだし

めりガスの状態で求められているため、かわき排ガス流量を知らねばならない。このため JISZ8808 の規定によりしめり排ガス中の水分量体積を測定する。なおこれは普通試料採取管で粒子試料を等速吸引するための吸引流量を求めるにも必要である。

$$S = 0.06C \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times Q \quad \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、 S ; 大気汚染物質排出量 (kg/h)
- C ; 排ガス中大気汚染物質濃度 (g/m³)
- X_w ; 排ガス中水分量 (%)
- Q ; しめり排ガス流量 (m³/min)

なお Q は JISZ8808、JISB8222 に規定する方法で測定した排ガス流速と煙道断面積から求めるか、燃料組成、排ガス主要組成から計算する。

8.1.5 リンゲルマン黒線図による黒煙の簡易測定法

リンゲルマン黒線図は、煙突から排出される煤煙濃度測定法として最も古いもので熱管理技術者に広く使用された。

また、昭和7（1932）年に公布された「大阪府煤煙防止条例」でリンゲルマン黒線図で測定される3度以上の黒煙を1時間に6分以上排出することを禁止したように大気汚染防止にも利用された。

リンゲルマン黒線図は図 8.1.7 に示すように 21 cm×14 cm の白紙上に 0 mm、1.0 mm、2.3 mm、3.7 mm、5.5 mm 及び全黒の格子を全白、9.0 mm、7.7 mm、6.3 mm、4.5 mm、0 mm 間隔にえがき、白紙上に黒い部分が 0、20、40、60、80、100% を占めるようにしたリンゲルマン黒線図を作り、この黒線図と煙突から排出される煙の黒さを黙視比較して黒煙を 0 から 5 度までの 6 階級に分類しようとするものである。

測定にあたっては、測定者と煙突までの距離を約 40 m に保ち、煙突出口から 30～45 cm 離れた所の煙の黒さと測定者から 16 m 離れた位置に置いた測定者の目の高さに保った黒線図とを肉眼で比較する。この場合、測定位置と煙の流れは直角に保ち太陽に向かうことなく煙突の背景に山、建築物、樹木などの障害物のないように注意する。なお、これは煤煙濃度の目安を知るもので種々問題はあるが、誰でも簡単に測定できる。

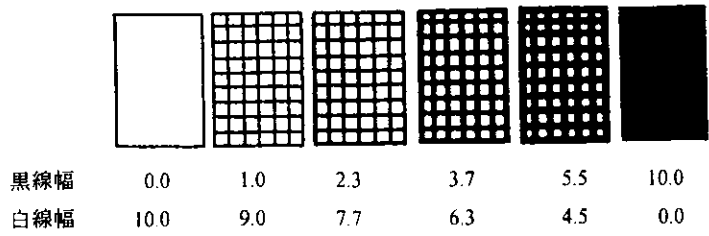


図 8.1.7 リンゲルマン黒線図

8.2 燃焼排ガス中主要成分分析・測定法

8.2.1 概説

燃焼排ガスの主要組成は燃料中炭素、水素が燃焼して生成する二酸化炭素、水蒸気、燃焼に使用された空気の主要成分窒素と余剰酸素及び不完全燃焼生成成分である一酸化炭素である。これらのうち二酸化炭素、酸素、一酸化炭素の測定・分析は燃焼管理上重要で古くから実施された。また、これらは排ガス流量算出にも必要である。また、大気汚染物質排出基準に関し濃度規制の場合、空気希釈を避けるため、煤塵や窒素酸化物のように一定の酸素濃度条件下の濃度として規定されているものがあり、酸素濃度の測定は法令による排出基準遵守判定にも不可欠である。表 8.2.1 にこれらガス分析の種類と原理を示した。以下主要なものを説明する。

表 8.2.1 ガス分析計の種類と原理

	測定法式	分析計の名称	測定成分
化学的ガス分析計	溶液の吸収反応	ヘンベル式ガス分析計	CO ₂ , O ₂ , CO, CmHn
		オルザット式ガス分析計	CO ₂ , O ₂ , CO
物理的ガス分析計	ガスの熱伝導率	電気式 CO ₂ 計	CO ₂ , H ₂
	ガスの比重	比重式 CO ₂ 計	CO ₂
	赤外線吸収	赤外線ガス分析計	CO ₂ , CO, CH ₄ , SO ₂
	溶液導電率	SO ₂ 自動記録計	SO ₂
	起電力	ジルコニア式 O ₂ 計	O ₂
	発生電流	ガルバニ電池式 O ₂ 計	O ₂
	燃焼熱	燃焼式 O ₂ 計	O ₂
		未燃ガス計	CO+H ₂
磁気式	磁気式 O ₂ 計	O ₂	
カラムによる分離	ガスクロマトグラフ	CO ₂ , O ₂ , H ₂ , CH ₄ , SO ₂ , NO ₂	

8.2.2 試料ガス採取方法

煙道ガスは負圧である場合が多く、この場合の試料ガス採取には吸引装置を必要とし、さらに空気が混入しないよう配管する。また燃焼排ガス中の水蒸気が採取管内に凝縮することがあるから、閉塞しないよう傾斜させドレン抜きをつける。さらに、排ガス中の煤や灰の混入防止のため、採取管にフィルタを設ける。

8.2.3 オルザット分析計

オルザット分析計は、燃焼排ガス中の二酸化炭素、酸素、一酸化炭素の分析に広く使用された。これは、燃焼排ガスを食塩水で水封したガスビュレットに 100 ml (50 ml 採取する分析計もある。) だけ採取し、これを水酸化カリウム水溶液の入った吸収瓶内に移して二酸化炭素を吸収し、再びガスビュレットにもどし二酸化炭素吸収による試料ガスの体積減少をよみとりその体積濃度を求めるようになっている。次に酸素を吸収するピロガロール-水酸化カリウム水溶液、一酸化炭素を吸収する銅アン

モニア錯イオン溶液の入った吸収瓶に順次移して同様操作し、酸素濃度、一酸化炭素濃度をそれぞれ求めるもので図 8.2.1 にその概略構造を示した。なお、オルザット分析計で得られる分析結果は、かわき排ガス中のそれぞれの成分ガスの体積濃度 (%) である。

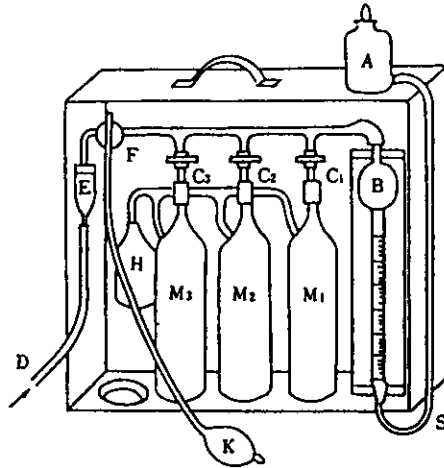


図 8.2.1 オルザット分析計

8.2.4 計測器による方法

オルザット分析計のような手分析によるほかに、燃焼排ガス中の主要成分ガス用連続分析計が用いられている。

(1) 電気式二酸化炭素分析計

気体はそれぞれ固有の熱伝導度を有し、燃焼排ガス主要成分であるガスのそれは空気を 100 とした場合、水蒸気 99、酸素 101、窒素 100、二酸化炭素 59 である。

このように、二酸化炭素を除く成分ガスの熱伝導度は 100 前後であるため、排ガスの熱伝導度を空気と比較すれば、二酸化炭素を分析することが出来る。図 8.2.2 は、これを利用した二酸化炭素分析計の原理図で S_1 、 S_2 に標準ガスである空気を満たし、 G_1 、 G_2 に排ガスを流しながらこれらの中に一定電流を流して発熱させた白金線を入れて、ブリッジを図のように構成したものである。

白金線の電気伝導度はガスの熱伝導度により変化するから、この場合指示計にはガスの熱伝導度すなわち、二酸化炭素濃度に関係した電流が指示されるのでこの回路で排ガス中の二酸化炭素を連続分析できる。

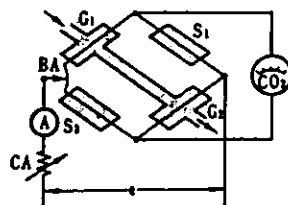


図 8.2.2 電気式二酸化炭素分析計原理図

(2) 機械式二酸化炭素分析計

ガスの密度を機械的に指示する分析計である。すなわち、二酸化炭素の密度が空気に比較して大きいことを利用して二酸化炭素を分析する計器でその構造を図 8.2.3 に示した。図のように、この計器は 2 個の同型羽根車を一方は空気室内、一方は煙道排ガスを送り込んだ室内で同速度で回転させて、これらによる風圧をそれぞれ対向する自由に回転できる羽根車で受けさせる構造になっている。風圧を受けた羽根車にはそれぞれの室内ガスの密度に比例したトルクを生ずるから、このトルク比を図示した機構で記録させてガス密度比すなわち二酸化炭素を分析する。

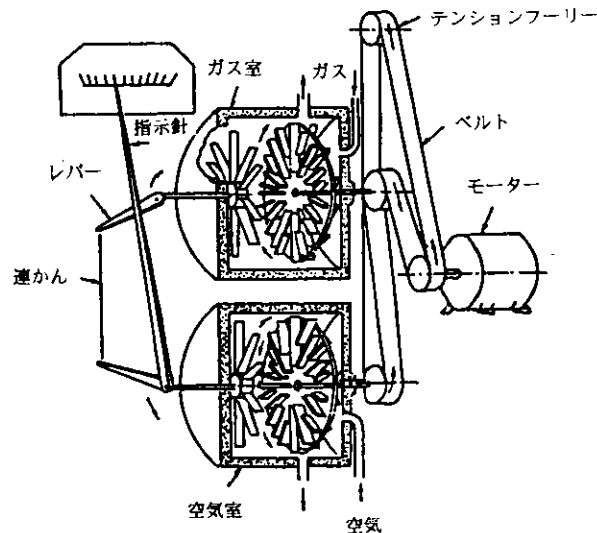


図 8.2.3 機械式二酸化炭素分析計原理図

(3) 磁気式酸素分析計

磁気式酸素分析計は常磁性体である酸素分子が、磁界内で磁化された時に生じる吸引力を利用して酸素濃度を測定するもので、磁気風方式と磁気力方式に分類できる。前者は磁界内で吸引された酸素分子の一部が加熱され、磁性を失うため生じる磁気風の強さを熱線素子で検知するものであり、後者はダンベルと試料ガス中酸素の磁化の強さの相違で生じるダンベルの偏位量を検出するダンベル形と周期的に断続する磁界内で酸素分子に働く断続的吸引力を磁界内に一定流量で流入する補助ガスの背圧変化量として検出する圧力検出形とに分類される。

(4) 電気化学式酸素分析計

電気化学式酸素分析計は、酸素の電気化学的酸化還元反応を利用し、酸素濃度を連続測定する分析計である。高温に加熱されたジルコニア素子の両端に、電極を設けて一方に試料排ガスを、他方に空気を流して両電極間の起電力を検出するジルコニア形と、ガス透過性隔膜を通し電解槽中に拡散吸収された酸素が固体電極表面で還元される時の電極電流を検出する電極方式がある。

(5) 赤外線吸収一酸化炭素分析計

赤外線ガス分析装置を用い、排ガス中の一酸化炭素濃度を連続的に測定する分析計が使用されている。

8.3 排ガス中大気汚染物質自動計測器

8.3.1 概説

排ガス中の大気汚染物質濃度の連続測定は、大気汚染源の法令遵守状況、発生源管理のため重要であり、法津による総量規制地域においては連続測定が義務づけられている施設があり公害防止協定で連続測定を継続している場合もある。

8.3.2 自動計測システムの構成

排ガス中大気汚染物質自動計測器は、例えば図 8.3.1 のように排ガスが流れる煙道に挿入した排ガス試料採取管を用い、自動計測器本体（収納部）に排ガス試料を導入し、本体のガス検知部分（分析計）で検知した排ガス中大気汚染分析濃度に応じた電気信号を指示記録計で指示記録するよう構成されており、0 ガス、標準ガスで指示値を校正する。

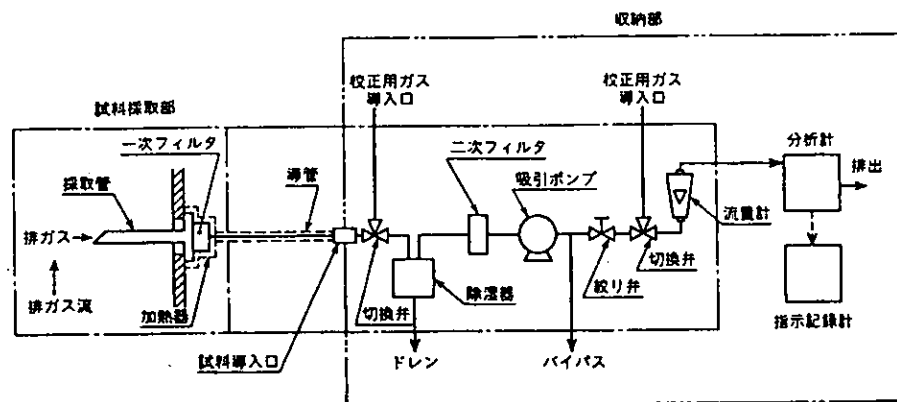


図 8.3.1 計測器構成例

8.3.3 排ガス中の二酸化硫黄自動計測器

排ガス中の二酸化硫黄自動計測器としては表 8.3.1 に示す種類のものが、JISB7981 に規定されている。

このうち溶液導電率分析計は、比較電極、ガス吸収部、測定電極、吸収液送液ポンプ、吸収液タンク、増幅器、排液タンクなどで構成され、過酸化水素吸収液に吸収された硫黄酸化物によるその導電率変化を記録する計測器である。また、赤外線吸収方式（非分散赤外分析計）はニクロム線、炭化ケイ素などの抵抗体に通電し加熱した光源を用い、これからの光を回転セクタ、光学フィルタを通して試料セルおよび、アルゴンまたは窒素を封入した比較セルに透過させ、赤外線吸収の相違を電気信号に変換して記録するものである。この構成例を図 8.3.2 に示す。さらに、紫外線吸収方式は光源に重水

素放電管または中圧水銀灯を用い、分光器で紫外線を得てその排ガス試料の吸収を連続的に記録する方式である。

表 8.3.1 二酸化硫黄計測器の種類

計測器の種類	レンジ ⁽¹⁾ volppm	備考
溶液導電率方式	0~25 ┆ 0~2000	共存する二酸化炭素、アンモニア、塩化水素、二酸化窒素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~25 ┆ 0~2000	共存する水分、二酸化炭素、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~25 ┆ 0~2000	共存する二酸化窒素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線蛍光方式	0~10 ┆ 0~1000	共存する炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。

注⁽¹⁾ このレンジ内で、測定目的によって適当に分割したレンジをもつ。

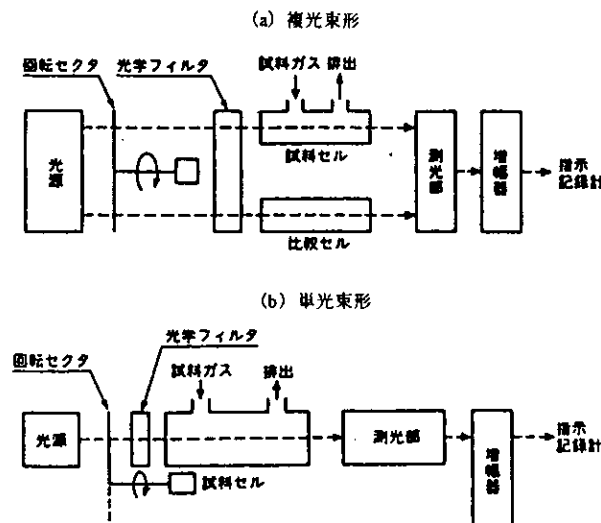


図 8.3.2 赤外線ガス分析計の構成例

8.3.4 排ガス中の窒素酸化物自動計測器

排ガス中の窒素酸化物自動計測器としては表 8.3.2 に示す種類のものが、JISB7982 に規定されている。このうち化学発光方式は、排ガス中の一酸化窒素とオゾンが反応する場合の化学発光を応用している。すなわち、この反応により生成した電子励起された二酸化窒素が基底状態にもどる時に窒素酸化物濃度と比例する 600~3,000 μm のスペクトル分布をもつ発光を示す現象を利用している。この構成例を図 8.3.3 に示す。

表 8.3.2 窒素酸化物計測器の種類

計測器の種類 原理	レンジ (1) volppm	測定対象物質	適用条件
化学発光方式	0~10 ∩ 0~2000	一酸化窒素 窒素酸化物 (2)	共存する二酸化炭素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~10 ∩ 0~2000	一酸化窒素 窒素酸化物 (2)	共存する二酸化炭素、二酸化硫黄、水分、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~50 ∩ 0~2000	一酸化窒素 二酸化窒素 窒素酸化物 (1)	共存する二酸化硫黄、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。

注： (1) このレンジ内で、測定目的によって適当に分割したレンジをもつ。
 (2) 窒素酸化物は、あらかじめ二酸化窒素を一酸化窒素に変換して測定する。
 (3) 一酸化窒素と二酸化窒素のそれぞれの測定値の合量である。

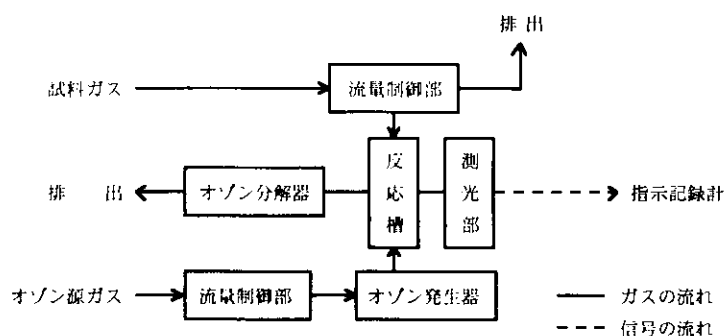


図 8.3.3 化学発光分析計の構成例

8.4 燃料試験法

8.4.1 概説

燃料試験は大気汚染防止に有用なデータを提供し、燃焼計算や燃料の評価にも必要である。とくに、燃料中硫黄の分析結果は、液体燃料を燃焼している場合、燃焼施設からの硫黄酸化物排出量に直接関係するので法令における排出基準遵守状況の判定にも必要である。以下主要なものを説明する。

8.4.2 燃料中硫黄分析法

燃料中硫黄分析法としては、石油および石油製品試料を酸素流中で燃焼し、生成した硫黄酸化物を過酸化水素に吸収させて生じた硫酸をジメチルスルホナゾⅢを指示薬として過塩素酸バリウムで滴定する酸素流中ジメチルスルホナゾⅢ滴定法、試料を加熱燃焼管に導入し、酸素と不活性ガス中で燃焼して生成した二酸化硫黄を電解液に吸収して電流測定し、この場合の消費電流量から硫黄分を求める方法、加熱石英燃焼管に空気を導入して試料を燃焼し生成した硫黄酸化物を硫酸として水酸化ナトリウムで中和滴定する方法、エネルギー分散型蛍光 X 線により硫黄分を分析する方法、炭酸ナトリウム溶液を入れたボンベに試料を入れ高圧酸素を圧入して試料に点火し燃焼して生成した硫酸塩を塩化バリウムとし秤量するボンベ法などが用いられる。

8.4.3 燃料中窒素分析法

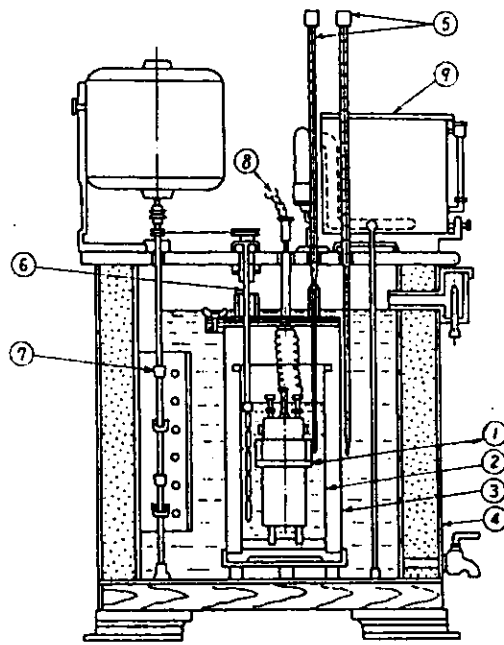
燃料中窒素分析法としては、触媒を加えた濃硫酸中で、試料を加熱・分解して試料中の窒素を硫酸アンモニウムにし、これにアルカリを加えて水蒸気蒸留して発生アンモニアをほう酸に吸収し、硫酸標準液で滴定するマクロケルダール法、同様操作し水蒸気蒸留して発生アンモニアを希硫酸に吸収し、1-ナフトール溶液と次亜塩素酸ナトリウム溶液を加えて発色させ 730 μm で吸光度を測定して窒素を定量するマイクロケルダール法、微量電流測定法、化学発光法などが用いられている。

8.4.4 燃料中炭素、水素分析法

試料を低速の酸素気流中で加熱・燃焼し、生成する水蒸気および二酸化炭素を過塩素酸マグネシウム詰めた吸収管、溶融している水酸化ナトリウムに珪酸マグネシウムを担体として混合した粉末と過塩素酸マグネシウムを詰めた吸収管にそれぞれ吸収しその増量を秤量して定量する方法が用いられている。

8.4.5 燃料の発熱量試験法

例えば、図 8.4.1 に示すような熱量計のボンベ中に酸素を圧入して試料を燃焼させ、燃焼前後のベックマン温度計のよみから、燃料の発熱量を測定する方法が用いられている。なお、この場合熱量計の熱当量は熱量検定用または国際熱量標準安息酸を用いて求める。



- | | |
|-----------|------------|
| ①ポンペ | ⑥内筒用かき混ぜ機 |
| ②内筒 | ⑦外そう用かき混ぜ機 |
| ③中間筒 | ⑧点火用導線 |
| ④外そう | ⑨加温水そう |
| ⑤ベックマン温度計 | |

図 8.4.1 熱量計の一例

8.5 防止装置試験法

8.5.1 概説

集塵装置、排ガス脱硫装置、排ガス脱硝装置等大気汚染防止装置の性能試験法はそれらの設計、保守、性能保証試験に必要な技術であり、その研究開発にも欠くことはできない¹⁾。集塵装置の仕様の表し方を規定した JISB9909²⁾、性能試験方法を規定した JISB9910³⁾ を中心に解説する。

8.5.2 集塵装置試験法^{1) 2) 3)}

(1) 集塵装置の仕様の表し方²⁾

集塵装置の仕様は共通項目として分類、名称及び形式等 17 項目、特定項目として重力集塵装置 2 項目、遠心力集塵装置 4 項目、慣性力集塵装置、洗浄集塵装置、濾過集塵装置それぞれ 5 項目、電気集塵装置 7 項目があげられている。共通項目と繁用される遠心力、洗浄、濾過、電気集塵装置の特定項目を例示する。

(I) 共通項目

- ①分類、②名称および形式、③用途、④集塵系統図、⑤処理ガス流量、⑥処理ガス温度、⑦処理ガス圧力、⑧処理ガス性状、⑨処理粒子性状、⑩集塵装置入口含塵濃度、⑪集塵装置出口含塵濃度、⑫集塵率、⑬圧力損失、⑭概略寸法、⑮粒子排出方法、⑯保温、⑰その他

(II) 特定項目

- ①遠心力集塵装置－i 遠心力の基本となる直径、基本流速、ii サイクロンの段数、個数、iii ダスト(粒子)ボックスの有無、②洗浄集塵装置－i 液体の種類(淡水か海水か、他液体か)、ii 液量(洗浄液量と圧力、補充液量と圧力、保有液量)、iii 基本流速、iv 気液分離方式、v その他、③濾過集塵装置－i 濾過面積と基本流速、ii 濾材(材質、形式・寸法、本数・個数、使用温度範囲)、iii 払落し方法、iv その他、④電気集塵装置－i 集塵室の配列、ii 集塵極の断面形状、寸法、ダクト数、ダクトピッチ、iii 放電極の断面形状と寸法、本数、iv 荷電設備の容量、台数と荷電系統、整流方式、制御方式、槌打装置等

(2) 集塵装置試験法^{1) 2) 3)}

(I) 試験項目

集塵装置の性能試験項目はその目的を考慮し以下の項目から適宜選択する。

- ①集塵装置の入口および出口ダクト内ガス温度、静圧および組成、②同ガス流量、③集塵装置の圧力損失、④集塵装置の入口および出口ダクト内ガスの含塵濃度、⑤同ダスト流量、⑥集塵装置の集塵率または通過率、⑦集塵装置の入口および出口ダクト内ガスの含有ダスト及び捕集ダストの比重と粒径分布、⑧同見掛け固有電気抵抗、⑨集塵装置の使用水量及び液ガス比、⑩集塵装置の排水量及び排水の水質、⑪集塵装置の動力消費量、⑫集塵装置の騒音

(II) 測定方法総則

性能試験項目の各測定は、原則として集塵装置とそれが設置されている大気汚染物質発生源の操業

状態の安定時期に実施する。この場合、これらに周期性が存在すればそれら1周期より長期間にわたり測定する。さらに、前記 (I) ①~⑦のように集塵装置の入口および出口ダクトで測定するものは、それぞれ同時に測定し、そのダクト上の測定位置とダクト断面内測定点は、JISZ8808の規定により選定する。この場合、測定位置は可能な限り集塵装置本体に接近させる。一般に測定位置は、ダクト内ガス流れが整流された位置が望ましく、ダクト形状の変化部分を避けるのが原則とされているが濾過集塵装置、電気集塵装置のように集塵性能保持上、その本体内ガス流れを整流する必要のある装置にあっては、本体近くに測定位置を選定することが可能である。また、遠心力集塵装置のように、ダクト内ガス流れを旋回させる装置では整流格子をダクト内に設置して測定することが望ましい。なお、これら測定法の詳細は第8章1項および関連工業規格 (JISZ8808、JISB9910) に記載されている。

(Ⅲ) 集塵装置入口および出口ダクト内ガス温度、静圧および組成測定法

温度は、各測定点で JISZ8808⁴⁾ の規定または第8章1項によりガラス封入温度計または電気式温度計を用い測定する。静圧は、各測定点でピトー管または静圧管を用い、JISZ8808 または第8章1項により測定する。なお、ダクト壁面左右2ヵ所に静圧孔を設けて測定した壁面静圧が相違しない場合、その平均値を測定結果としても差し支えない。ガス組成は、オルザット分析計等を用い JISZ8808 または第8章2項により測定する。

(Ⅳ) 集塵装置入口および出口ダクト内ガス流量測定法

ガス流量は JISZ8808 の規定または第8章1項によりピトー管を用い測定するか JISB8330 に規定するオリフィスで測定する。

この場合、ガス流量は入口および出口ダクト内ガス温度、圧力における湿りガス流量、同かわきガス流量、温度0℃、圧力1気圧における湿りガス流量、同かわきガス流量、指定状態における湿りガス流量、同かわきガス流量で表示することが可能である。

(Ⅴ) 集塵装置の圧力損失計算方法

圧力損失は集塵装置入口および出口ダクトにおける処理ガスの平均全圧の差で示し (1) 式で計算する。

$$\Delta p = (p_{ii}) - (p_{io})$$

$$(p_{ii}) = \frac{p_{ii1} v_{ii1} + p_{ii2} v_{ii2} + \dots + p_{iim} v_{iim}}{v_{ii1} + v_{ii2} + \dots + v_{iim}} \dots \dots \dots (1)$$

$$(p_{io}) = \frac{p_{io1} v_{io1} + p_{io2} v_{io2} + \dots + p_{iom} v_{iom}}{v_{io1} + v_{io2} + \dots + v_{iom}}$$

ここに

- Δp ; 圧力損失 (mmAq または kgf/m²)
- (p_{ii}) ; 入口ダクト内ガス平均全圧 (mmAq または kgf/m²)
- (p_{io}) ; 出口ダクト内ガス平均全圧 (mmAq または kgf/m²)
- $p_{ii1}, p_{ii2} \dots p_{iim}$; 入口ダクト内各測定点ガス全圧 (mmAq または kgf/m²)
- $v_{ii1}, v_{ii2} \dots v_{iim}$; 入口ダクト内各測定点ガス流速 (m/sec)
- $p_{io1}, p_{io2} \dots p_{iom}$; 出口ダクト内各測定点ガス全圧 (mmAq または kgf/m²)
- $v_{io1}, v_{io2} \dots v_{iom}$; 出口ダクト内各測定点ガス流速 (m/sec)

(VI) 集塵装置入口および出口ダクト内含塵濃度とダスト流量測定法

JISZ8808 または第 8 章 1 項により測定する。この場合、解放型バグフィルタのように出口ダクトを備えていない装置についてはバグフィルタ出口含塵濃度をハイボリウム・エア・サンプラで測定する。この場合、ダスト流量の計算に必要な処理ガス流量は、装置の吹き上げ部分の平均ガス流速を携帯羽根車風速計により測定して吹き上げ面積から求める。

(VII) 集塵装置の集塵率または通過率の計算方法

①入口および出口ダクト内ダスト流量から求める方法

集塵率は (2) 式で計算する。なお $Q_o=Q_i$ の場合には (3) 式で求められる。

$$\eta = \left(1 - \frac{S_o}{S_i}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{C_o Q_o}{C_i Q_i}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{C_o}{C_i}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

②入口ダクト内ダスト流量と集塵装置の単位時間の捕集ダスト量で求める方法

この場合、集塵率は (4) 式で計算する。

$$\eta = \left(1 - \frac{S_c}{S_i}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

③出口ダクト内ダスト流量と集塵装置の単位時間当の捕集ダスト量で求める方法

この場合、集塵率は (5) 式で計算する。

$$\eta = \left(1 - \frac{S_c}{[S_c + S_o]}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

④集塵装置の通過率は (6) 式で計算する。

$$p = 100 - \eta \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに

- η ; 集塵率 (%)
- S_o ; 出口ダクト内ダスト流量 (kg/h)
- S_i ; 入口ダクト内ダスト流量 (kg/h)
- S_c ; 集塵装置の単位時間当の捕集ダスト量 (kg/h)
- C_o ; 出口ダクト内含塵濃度 (g/m³, g/m_N³)
- C_i ; 入口ダクト内含塵濃度 (g/m³, g/m_N³)
- Q_o ; 出口ダクト内ガス流量 (m³/h, m_N³/h)

Q_i ; 入口ダクト内ガス流量 (m^3/h 、 m_N^3/h)

p ; 通過率 (%)

(VIII) 集塵装置の単位時間当の捕集ダスト量の測定方法

捕集ダスト質量と捕集時間を測定し、(7)式で計算する。

$$S_c = \frac{M}{t} \dots\dots\dots (7)$$

ここに

M ; ダクト内のダスト試料採取全期間における捕集ダスト質量 (kg)

t ; ダクト内のダスト試料採取全期間における集塵装置の捕集時間 (h)

(IX) 集塵装置のダスト試料の比重、粒径分布、見掛け固有電気抵抗の測定方法

集塵装置出入口ダクト内ダストと捕集ダストにつき比重は JISZ8807 の規定又は空気比較式比重計を用い、粒径分布は JISZ8801 に規定する篩分法又は JISZ8901 および JISA1204 に規定する沈降法又は顕微鏡法で測定し質量基準で示す。さらに、見掛け固有電気抵抗は円盤電極法、針・円盤電極法、円筒電極法、櫛型電極法により測定する。

(X) 集塵装置の使用水量および排水量の測定方法

使用水量および排水量は JISZ8761 に規定するフロート型面積流量計、JISZ8762 に規定する絞り機構流量計、JISZ8763 に規定するベンチュリ管又は JISK0102 に規定するせきにより測定する。さらに液ガス比は (8) 式で計算し、水質試験は JISK0102 による。

$$L = \frac{q_w}{Q_i} \dots\dots\dots (8)$$

ここに L ; 液ガス比 (l/m^3)

q_w ; 使用水量 (l/h)

Q_i ; 集塵装置の入口ダクト内しめりガス流量 (m^3/h)

(XI) 集塵装置の動力消費量と騒音測定方法

①圧力損失による消費動力は (9) 式で求めることができる。

$$P = 0.273 \times 10^5 \Delta p Q_i \dots\dots\dots (9)$$

ここに P ; 消費動力 (kw)

②電力消費量は、送風機電動機、集塵装置付属機器電動機等の電力消費装置につき積算電力計で測定する。③集塵装置の騒音は JISZ8731 の規定で測定する。なお、付属送風機の騒音は JISB8330 に規定による。

8.5.3 排ガス脱硫装置、排ガス脱硝装置試験法

前述の集塵装置試験法に準じて測定する。この場合入口出口ダクト内ガス含塵濃度をそれぞれ硫黄酸化物濃度、窒素酸化物濃度とし、排ガス脱硫装置にあつては捕集ダスト質量は副生石膏量となる。また、集塵系統図に準じて装置のフローシートも必要である。

8.6 自動車排出ガス試験法

8.6.1 はじめに

昭和48年の自動車排出ガスの重量規制の開始に伴い、10モード排出ガス試験法が制定され、さらに平成6年規制では自動車からの粒子状物質（PM）の規制がこれに加わり自動車からの有害物質の測定方法はある程度確立された。

8.6.2 測定装置概要

自動車排出ガス測定上必要な装置は、①自動車の路上走行状態を再現（動力吸収と制御を行う）する装置、②排出ガスサンプリング装置、③分析装置、④データ処理装置である

(1) 動力吸収・制御装置

試験車両又はエンジンを条件設定したうえで運転し、発生した動力を吸収する装置をダイナモメータと言う。動力計は種々の制御装置、周辺機器を組み合わせるシステムが構成される。実車の状態での動力吸収システムをシャシダイナモメータと言い、エンジンのみの動力吸収システムをエンジンダイナモメータと言う。

シャシダイナモメータでは道路の代わりに回転するローラを無限平坦路とし、ローラ上に駆動輪を乗せて動的試験を行うものである。代表的なシステム構成例を図8.6.1に示す。この場合、ローラ軸には実際に道路を走行する際の走行抵抗を動力計から与え、慣性抵抗はフライホイールを接続することで与えられ、道路上での実走行状態が近似される。通常走行抵抗は、平坦路定常走行抵抗を考える。

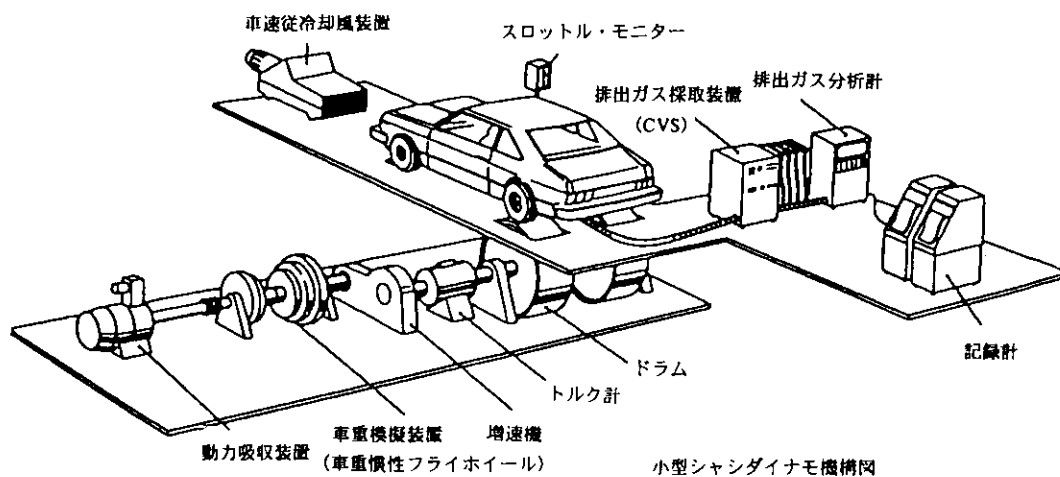


図 8.6.1 排出ガス測定機器

転がり抵抗は、低速では速度に関係なく一定、高速になると増大する。空気抵抗は速度の自乗に比例して大きくなる。シャシダイナモメータ上の試験車の発生する動力は、大部分は動力計で吸収されるが、加減速時はフライホイールでも吸収し、また、一部はメカロス（機械損失）として吸収される。

エンジンダイナモメータもエンジンからの出力を吸収、制御するもので機能的にはシャシダイナモメータと同じである。エンジンダイナモメータの基本概念は、エンジンを台上に取り付け、操作卓・制御盤からの指令に基づきアクチエータを駆動することにより、エンジンを運転、その時発生する動力を直接又はプロペラシャフトを介して動力計に伝達して吸収するものである。測定目的に応じて種々の機器が付加されるが、都市実走行モードのような過渡運転を行う場合には、フライホイール、ブレーキ装置等を取り付け、走行抵抗は動力計で、加減速時の慣性抵抗はフライホイールで与えることにより、シャシダイナモメータ同様に路上走行状態が再現される。エンジンダイナモメータでは、エンジンからの出力を直接動力計へ伝えているので、シャシダイナモメータに比べ駆動系の損失やタイヤスリップが無く、動力測定としては精度の良い結果が期待できる。又、条件設定が機械的に精度良く行えることから、再現性も良く、長時間の連続運転も可能であり、測定法の検討や、排出ガス低減システムの耐久テスト等に最適である。エンジンダイナモメータは、車両を実験室内に入れる必要も無く、システムがコンパクトにまとめられ、効率的な試験が可能である。

(2) 排出ガスサンプリング装置

7) 直接ガスサンプリング

自動車排出ガスの直接サンプリングにおける問題点としては、①オイルや黒煙によるサンプリング経路の汚れ、②燃焼排出ガス中に多量に含まれる水分の調整、③有害物質成分の管壁への吸着或いは凝縮水への溶解等の点である。サンプリング経路の汚れの原因となるオイル等はオイルキャッチャーで、黒煙は加熱フィルターで除去された後分析系に導入される。排出ガス中の水分については、有害物質測定の妨害になる恐れがあるので、電子クーラーで凝縮除去する措置をとっている。吸着性の強い汚染成分は、流路系を加熱する措置がとられる。HCの加熱導入管は、190℃に、NO_xの加熱導入管は60℃に加熱されている。そのほか直接ガスサンプリング特有の問題として、ハングアップ（排出ガス中のHCが、測定経路中で吸着された後脱着される現象）がある。このような現象を防止するには、管材質を吸着の少ないテフロン管にしたり、サンプリング系接ガス部を表面積の小さいものを選択するほか、分析していない間バックフラッシュ（エアを二次フィルターの前から逆に排出ガス導入口に向け流す）を行って吸着したHCの脱離を図る。

1) 希釈ガスサンプリング

直接サンプリングにおける問題点を解決し、変動の激しい過渡運転における有害物質濃度・量を適正に把握する方法として、希釈ガスサンプリングいわゆるCVS法（Constant Volume Sampling）がある。米国では1972年から自動車排出ガス規制の公定法として採用され、我が国でも1973年の10モード規制の公定法として取り入れられた。ヨーロッパ（EC）でも1983年それまでのトータルバッグ法を改めCVS法を採用している。

CVS法は、排出ガスを全て採取し清浄な空気（マイクロガラス繊維で粉塵を除去、チャコールフィルターでHC除去したもの）で希釈（10～10²倍）するもので、排出ガスと希釈空気の総量は常に一定になるようにブローで吸引する。ブローでの吸引方法にはPDP（Positive Displacement Pump）法とCFV（Critical Flow Venturi）法とがある。PDP方式ではルーツブローを定回転で運転することにより、常に一定量排出ガスと希釈空気の含量が吸引されていることになる。CFV方式は気体を音速にすると流量が一定になると言う原理を利用したもので、必要とする流量に対応したベンチュリーを選定、セ

ットすることにより流量コントロールが可能となる。

このようにCVS法では、排出ガスと希釈空気の総流量は常に一定となるようになっており、その総流量の中の有害物質濃度はその排出重量に比例する。したがって、この希釈排出ガスから一定比の流量で測定用ガスをサンプリングバッグに採取し、走行モード運転終了後分析計に導入測定すれば、試験車の重量ベースの有害物質排出量は容易に求められる。ただし、希釈空気の汚染が問題となる場合が多いので、希釈空気についても別途バッグサンプリング並びに分析を行い、バッググラウンド値として差し引く必要がある。ここで使用されているバッグの材質は、TEDLAR（フッ化ビニール樹脂 PUF50 μ ）製で、容量150~200 L 、サンプリング量は5~10 L/min 。CVS法は、排出ガスがマフラーからでた後直ちに大量のエアで希釈し、排出ガスを一瞬にして常温にするシステムであるため、採取系に水分除去の低温トラップ等を置く必要がないので、水溶性ガスの損失が避けられること、希釈されるので化学的活性の強い物質の相互反応による組成の変化が少ないこと、HCのハンガアップも考えなくて良い等の利点がある。ただ、ディーゼル車排出ガス中のHCの測定の場合、HCのバッグへの吸着の恐れがあるので、希釈排出ガスをバッグに充填しないで、そのまま分析計に導入、連続測定して濃度を積分することにより試験モードのHC排出量を求める。

り) 希釈トンネル

自動車排出ガス中粒子状物質サンプリング用希釈トンネルの構造図を図 8.6.2 に示す。図に見る通り希釈トンネルシステムは大別して①主希釈トンネル、②2ndトンネル、③PMサンプリング装置、④CVS装置の4つに区分される。

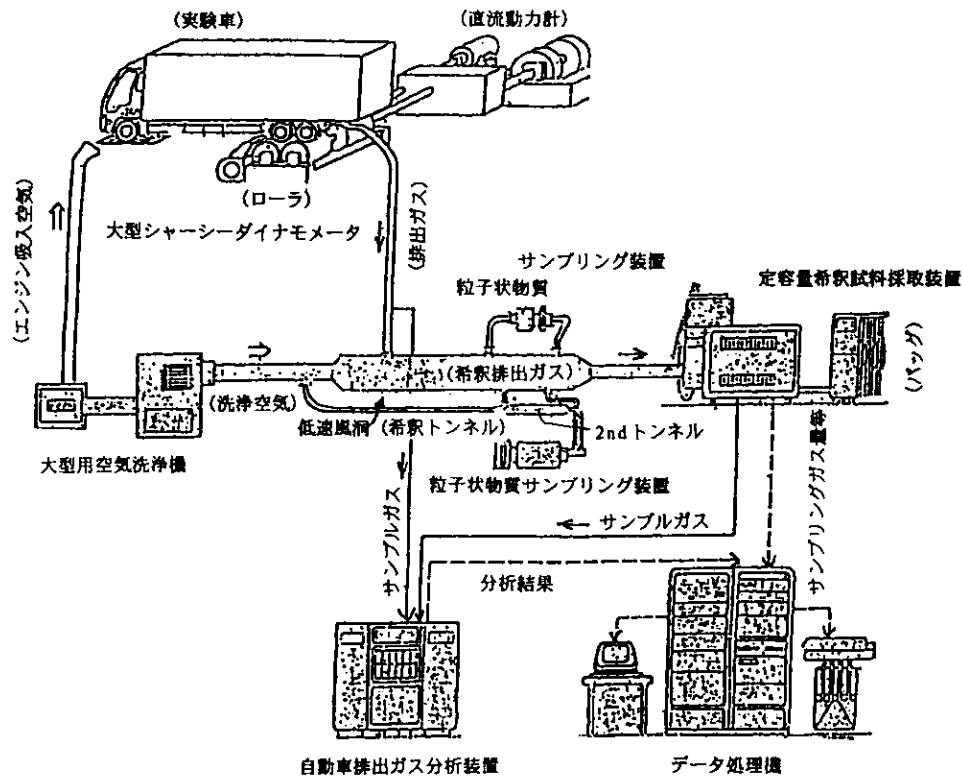


図 8.6.2 希釈トンネル構造図

(3) 排出ガス分析装置

自動車排出ガス成分のうち黒煙・PMを別にすると、その分析対象となるガス成分は、各国で規制の対象になっているNOx、HC、COとエンジンの燃焼状態、燃費把握のために必要なO₂、CO₂等である。このような自動車排出ガス成分を分析する場合要求される基本的性能は、感度、分析値の直線性、応答速度、干渉効果、安定性（ドリフト）等であり、それぞれ測定目的に応じて分析法が選択されねばならない。表8.6.1に我が国の公定法で定められている測定項目毎の測定原理一覧を示す。^{2) 3) 4) 5)}

表 8.6.1 日本の公定法に定められている測定原理

車種		モード名称	NOx	CO, CO ₂	HC
GVW 2.5 t 未満の自動車	ガソリン車	10-15モード	CLD	NDIR	FID
	ディーゼル車	10-15モード	CLD	NDIR	HFID
GVW 2.5 t 以上の自動車	ガソリン車	ガソリン 13モード	CLD, NDIR	NDIR	FID
	ディーゼル車	ディーゼル 13モード	HCLD, CLD, NDIR	NDIR	HFID

CLD：化学発光分析計、NDIR：非分散形赤外線分析計、FID：水素炎イオン化分析計、HCLD：加熱化学発光分析計、HFID：加熱式水素炎イオン化分析計

自動車排出ガス測定の目的（検査、認証、研究等）、対象車種（ガソリン、ディーゼルの別）に応じて、使用すべき分析計の測定項目、測定原理、サンプリング方法等を選択し、2～10 数台の分析計を組み合わせて自動車排出ガス連続測定装置が構成される。表8.6.2に各測定項目別に測定範囲、測定精度、応答速度等の一覧を示す。この装置では加熱・保温経路の各点における温度表示を行ない、クーラーユニット異常、循環水異常、加熱ライン温度異常、水素炎点火、ドレンレベル異常が発生した時警報回路が作動する。

表 8.6.2 各種分析計の仕様

項目	CO (Hi)	CO (Low)	CO ₂	HC	NO	THC	NOx	O ₂
測定原理	NDIR	⇐	⇐	⇐	⇐	FID	CLD	磁気
測定範囲	5,000 ppm ↓ 10%	100 ppm ↓ 3,000	1 % ↓ 20%	100 ppm ↓ 1,000	500 ppm ↓ 6,000	10 ppm ↓ 5,000	10 ppm ↓ 5,000	5 % ↓ 25%
レンジ数	4	4	4	4	4	9	9	3
再現性	フルスケールの±1%以内							
ゼロドリフト	フルスケールの±1%/8時間（周囲温度±5℃にて）							
スパンドリフト	同上（同上）							
直線性	フルスケールの±1%以内							
90%応答	1.5～3.0 Sec					1.5 Sec	1.5 Sec	2.0 Sec

一方、使用過程車の排出基準遵守状況をチェックする自動車整備点検検査用排出ガス測定装置は、連続自動分析計とは違った仕様が要求される。時には路上検査にも用いられることから①軽量コンパクトであること、②ランニングコストが安いこと、③操作が簡単で暖機時間が短いこと等の条件が求められる。これらの条件を満足する機器として、NDIR方式のCO・HC計がある。

ディーゼル車の黒煙濃度についても排出基準があるが、日本の黒煙濃度測定公定法は、反射式スモークメータが用いられる。この方式では排気管から排出ガスの一部を吸引ポンプでサンプリングし、その排出ガスを濾紙に通過させ、濾紙上に生じた黒煙スポットに一定の光をあて、その反射光を光電素子で受けて、スモーク濃度を求める。濾紙はテープ状のものをいい、一回の測定が終わると自動的に移動する。

(4) データ処理装置

計測装置制御並びに測定結果演算用コンピュータ。試験条件に対応して予め作られたプログラムに従って分析計、CVS装置に指示を与え、測定システム全体の制御及び運転管理を行うとともに、排出ガス濃度、エンジン運転状態等の各種計測データの収録、単位換算、濃度・重量計算を行い、必要に応じてCRT画面、記録用紙にアウトプットを行う。

8.6.3 自動車排出ガス試験手順

(1) 排出ガス試験準備

- ア) 試験車の選定：排出ガス対策、市場占有率、既走行距離等を勘案して選定すること
- イ) 路上走行抵抗データの取得：シャシダイナモメータに走行抵抗の負荷設定を行うための路上走行抵抗データの測定の実施。代表的な測定方法として①試験車を基準にした方法（試験車の車速に対応した吸気負圧の計測）、②シャシダイナモメータを基準にした方法（路上走行時の惰行データ計測）等がある。
- ウ) 試験車両の固定：駆動輪をローラの中心に据え付け、従動輪をY型クランプ、ワイヤー等で固定する。試験車マフラーとCVS排出ガス採取管を接続して、各種計測機（ブースト計、燃料消費量計、吸入空気量計、エンジン回転計）を取り付ける。
- エ) 測定施設の調整：①シャシダイナモメータの暖機と負荷設定、②分析計、CVS装置の暖機、③分析計の校正を行う。

(2) スタート条件の選定

自動車は走り始めとある程度走行した時点とでは、排出ガスの性状がかなり変化する。したがって、排出ガス試験もエンジン始動直後に試験をスタートさせるコールドスタート法と十分暖機してから試験をスタートさせるホットスタート法とでは、測定結果に違いが出てくる。コールドスタートの場合、シリンダー壁の冷却効果によるクエンチングゾーンが広がるため、ホットスタート法に比べHCやCOの排出量が多くなる。触媒装置もその機能を発揮するためには、暖機時間を必要とし、始動直後はどうしても有害物質の低減効果がうすれる。ただ、ホットスタート試験では、短時間（速度60 km/hで15分程度）で試験車を一定の状態に持っていくことが可能であるが、コールドスタート試験では、

試験自動車の冷却水、潤滑油、トランスミッション、デフレンシャルギアなどの各部の状態を室温放置で一定状態にするには長時間を必要とする。コールドスタート試験のソーク時間は、米国では12時間以上、日本では6時間以上と規定している。

(3) 試験車の運転

7) 非定常運転

テストドライバーは非定常運転の場合、ドライバーズエイドのCRT画面にリアルタイムに表示されるテスト走行チャートに追従するように車両を運転するが、この場合の速度及び時間の追従誤差は、速度 ± 2 km/h、時間 ± 1 秒以内と規定されており、許容範囲を逸脱した回数が多い測定については再試験が必要となる。ガソリン乗用車など小型車における公定法の走行モードは、各国とも非定常のモード試験が採用されている。地域の有害物質排出総量算出のための Emission Factor 設定の基礎資料とする実走行パターンも非定常運転で行う。

1) 定常運転

車両総重量2.5t以上の試験車における公定法は、エンジン回転数と負荷の組み合わせポイント毎の排出ガス測定となる。この場合シャシダイナモメータによるエンジン制御は技術的に難しいので、一般的にはエンジンダイナモメータで試験が行われる。定常状態におけるエンジンの制御は、手動（ダイヤル設定）によるか制御盤からの制御指令による。何れの場合でもステップ状の運転モードとなり、このモードに合わせて排出ガス測定が行われる。定常運転の場合も日本ではホットスタートであり欧米ではコールドスタートである。日本におけるGVW 2.5 t以上の重量車に適用される13モードも定常運転で行われるものである。

(4) 排出ガス測定

排出ガス測定は、希釈ガス測定と直接ガス測定とで行われる。非定常試験では一般的に希釈ガス測定が行われる。CVS 装置によって希釈された排出ガスの一部がバッグに充填され、バッグの中の混合過程で試験モードの平均化が行われ、バッグ内有害物質濃度とCVS装置で吸引した希釈ガス量とから有害物質排出量が計算される。バッグへのサンプリング量は5~10 l/minに設定されるが、実走行パターン等では測定時間の長短でサンプリング量を調整する必要がある。希釈排出ガスの充填⇒分析⇒排気⇒ページといった一連の測定動作はコンピューター制御で自動的に行われる。定常状態の排出ガス測定を直接ガス測定で行う場合は、燃料消費量、吸入空気量の測定も同時に行われなければならない。

PMの採取は主希釈トンネル内排出ガス温度が51.7℃以上の場合は、2ndトンネルを使用することになるが、排出ガス温度条件のほかに排出ガス中PM濃度の多い車両の排出ガス試験でも、吸引ポンプ能力を超えることがあり2ndトンネルを使わざるを得ない場合がある。PMの採取が終わったフィルターは、1~80時間の範囲内でソーク後天秤で秤量しPM排出量を求める。

(5) 黒煙測定

日本における新型車に対する黒煙排出基準は全負荷状態で最高出力時回転数の40%、60%、100%の時の黒煙濃度が対象である。したがって、試験を行う場合はシャシダイナモメータ又はエンジンダイ

ナモメータを使用しなければならない。使用過程車に対する黒煙測定は無負荷急加速モードが適用される。

8.6.4 指摘課題

自動車排出ガス測定は大がかりな装置を必要とするもので、どこの機関でも測定できるものではない。測定データが未だ十分でない現状を考えると測定施設の整備、充実が早急に望まれる。特に自動車からの有害化学物質測定法の確立と実態把握が急務である。

(8.1) 参考文献

- 1) 日本規格協会；JISハンドブック 10, 環境測定, 日本規格協会 (1996)
- 2) 環境庁規格調整局研究調整課監修；環境測定分析法注解, 日本環境測定分析協会 (1984)
- 3) 大気汚染研究全国協議会編；大気汚染ハンドブック(1) 測定編, コロナ社 (1975)
- 4) 氷見康二；実用ばいじん測定, 日本熱エネルギー技術協会 (1974)
- 5) JISB8330
- 6) JISB8222

(8.2) 参考文献

- 1) 日本規格協会；JISハンドブック 10, 環境測定, 日本規格協会 (1996)
- 2) 大気汚染研究協会；大気汚染ハンドブック(4) 燃焼編, コロナ社 (1979)

(8.3) 参考文献

- 1) 日本規格協会；JISハンドブック 10 環境測定, 日本規格協会 (1996)
- 2) 大気汚染研究全国協議会編；大気汚染ハンドブック(1) 燃焼編, コロナ社 (1975)

(8.4) 参考文献

- 1) 日本規格協会；JISハンドブック 10 環境測定, 日本規格協会 (1996)
- 2) 日本規格協会；JISハンドブック 12 石油, 日本規格協会 (1983)
- 3) 大気汚染研究協会；大気汚染ハンドブック(4) 燃焼編, コロナ社 (1979)

(8.5) 引用文献

- 1) 氷見康二；実用ばいじん測定, 日本熱エネルギー技術協会 (1974)
- 2) JISB9909
- 3) JISB9910
- 4) JISZ8808

(8.6) 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局；日本の自動車環境対策, 平成 8 年 9 月 (1996)
- 2) (株)堀場製作所；ZERO EMISSION (ゼロへの挑戦) (1993)
- 3) 運輸省自動車交通局；ディーゼル自動車 13 モード測定の技術基準, 平成 5 年 11 月
- 4) 運輸省自動車交通局；ガソリン自動車 10-15 モード測定の技術基準, 平成 3 年 7 月
- 5) 運輸省自動車交通局；ディーゼル自動車 10-15 モード測定の技術基準, 平成 3 年 7 月
- 6) 運輸省自動車交通局；ガソリン自動車 13 モード測定の技術基準, 平成 4 年 9 月

第9章 大気汚染測定法（環境大気）

9.1 環境大気測定の基礎

9.1.1 はじめに

大気汚染物質濃度の測定はその目的を明確にし、測定対象物質を決定することから始まる。通常想定される目的は次の通りである。①発生源と発生物質が明確な場合の濃度変動と汚染レベルを把握する、②発生源も汚染物質も明確でない場合、汚染原因を解明する、③発生源が分ってる時、そこから排出される物質の種類と濃度レベルを把握する、④汚染している物質は明らかであるが、発生源を特定し、それらの寄与率を知る、⑤任意の時間の暴露位置や境界地の濃度を簡単に把握する、⑥広範囲の汚染レベルとその変動を把握する。

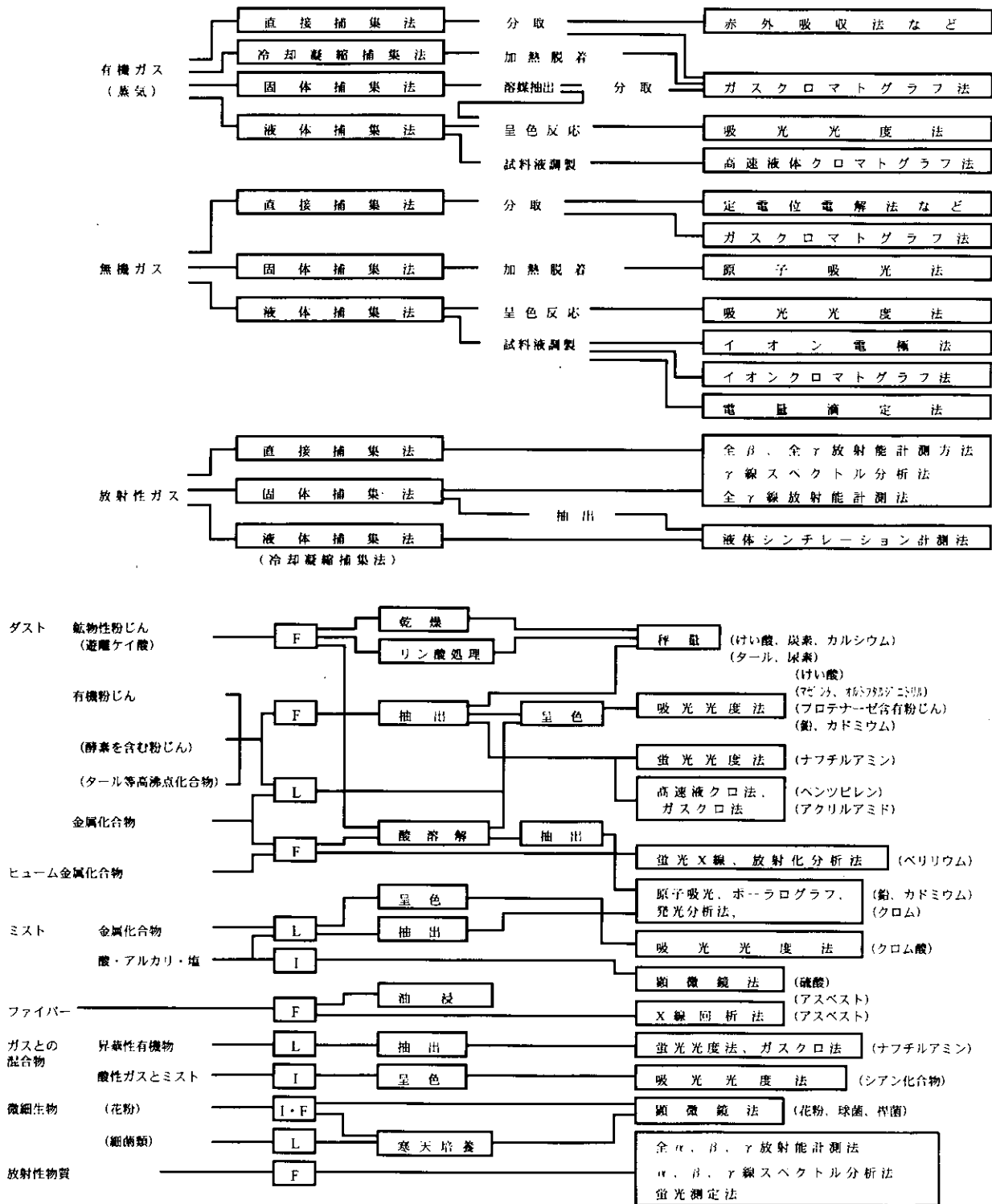
測定は捕集－分析（手分析法）、濃度計、連続（自動）分析計、簡易測定器の何れかによって実施する。手分析法は現場で一旦汚染物質を捕集し、実験室に持ち帰って分析するため、分光光度計やガスクロマトグラフなど汎用機器を使用できるので、ほとんどの化合物に適用できる。濃度計はポータブルで対象ガスについてはその場で測定値が得られる。簡易測定器は取り扱いやすく安価で、その場で測定できるものを指す。連続分析計は定点観測に使用され、経時変化や平均濃度が記録される。近年、測定現場で分析値を得たり、ポータブル連続分析計も市販されているが、大気汚染測定の基本的なパターンはこの4種である。

上記の目的で②や③には手分析による精密分析が、①や⑥には連続分析計が、⑤には簡易測定器が適用される。④の目的には手分析、連続分析計が併用される。高価な測定器であっても、使用法が誤っていれば、正しい環境情報は得られず、また安価な機器でも、やり方次第では上記の目的は達成される。特徴のある測定パターンを適切に選択すれば合理的な測定が可能になる。

9.1.2 測定法の分類とサンプリング

前記4種の測定パターンに適用できる分析原理や検出原理は多い^{1) 2)}。図9.1.1に整理したものを示す。これらの選択は対象物質に対する感度、選択性（妨害）、精度、経済性、簡便性などを考慮して実施される。次節でそれぞれの測定パターンについて説明する。この他、サンプリングせずに直接、広領域の大気中のエアロゾルやガスを測定できるレーザーリモートセンシング法もある。

環境測定では前述のリモートセンシングを別にすれば、環境空気の一部のみを試料とするので、空間的・時間的・代表的性のある測定値を得るためにサンプリングは重要である。ある地域の汚染レベルを知るには幹線道路の路肩や特定の煙突から排出される有害物質の着地点など最高濃度が期待される位置と平均的な濃度を得られるような地点でサンプリングする。一方、濃度は季節や曜日、天候や風速によっても支配されるので、通年測定するか、少ない試料数で汚染レベルの概略を知るのに最高濃度と最低濃度を示す条件でサンプリングを行う。なお、年間の平均濃度を求めるには月2回のサンプリングが必要で、1回のサンプリングは生活時間の24時間にする。



F: ろ過捕集法、L: 液体 (インピンジャー) 捕集法、I: インハクター法、() 内は対象物質の例

図 9.1.1 手分析における種々の汚染物質の測定パターン³⁾

9.1.3 手分析法

このパターンはほとんどの汚染物質に適用され(図9.1.1)、分析機器に導入される状態はほとんど液体か気体である。このとき試料空気中の濃度は(1)式で求める(容器捕集は別)ので、定量濃度範囲は分析機器の感度のほか、試料空気量によって決まる。

$$C = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 C ；濃度、 M ；対象物質質量(検出量×捕集量/導入量)、 V ；試料空気量(通気流量×通気時間)

従って同じ測定器でより低濃度まで測定するには精度に影響がない範囲で試料空気量を増せばよい。測定精度は操作誤差と分析機器の精度に加え、捕集率、試料空気流量の測定精度によって支配される。それゆえ、これらのバランスが重要で、正しい捕集条件が分からない場合、捕集率を確認し、校正された(積算)流量計を正しい接続法で用い、捕集する必要がある。捕集率は通気流量と濃度によって決まる。捕集部を直列に2段接続してこれを確認する。流量計(ロータメーター・熱線式とも)は計測部の汚れによる影響を受けやすいので注意する。

大気汚染物質を手分析する際、汎用される分光分析法(吸光光度法・原子吸光法・ICP発光法)とクロマトグラフ法(ガスクロマトグラフ法・液体クロマトグラフ法)を例にとって詳述する。

(1) 分光分析法

分光分析法は特定の波長に対する光度計の試料液や対象物質の標準液に対する応答(吸光度、発光強度の相対値)を用いる。定量には通常検量線法が用いられる。検量線は標準原液(標準物質を溶媒に溶解したもの、市販されているものもある)を使用する濃度範囲まで希釈して調製した5種類以上の標準液濃度を横軸に、それぞれの応答出力を縦軸にとった関係(通常直線的な関係)で、まずこのグラフを作成する。この関係を用いて、試料液の応答から対象物質質量を求め、並行して未使用の吸収液やろ紙からの抽出液などの応答からブランク値(小さいほど望ましい)を求め、両者の差を対象物質質量とする。この間の誤差要因は①操作誤差(捕集した対象物質の試料液への抽出移行や分析機器への試料液の注入)と②機器そのものの再現性、③共存妨害物質による誤差が考えられる。③の誤差要因に対しては、a、捕集液に選択性を持たせる、b、光度計の検出条件(分光器の波長や原子化雰囲気、発光温度など)を妨害を受けにくいものに設定する。c、捕集した試料に適当な前処理をするなどの対策はとられているが、絶対的なものではない。一方、標準添加法は負の誤差要因には有効である。

(2) クロマトグラフ法

クロマトグラフ法はクロマトグラムのピークの保持時間で定性分析し、ピーク面積で定量する代表的な分離分析法である。ガスクロマトグラフや液体(イオン)クロマトグラフの分析機器は分離カラムと検出器とキャリア導入部、恒温槽から成り立っている。使用するために、恒温槽温度カラムの長

さ・内径・充填剤・固定層液体の種類、検出器の種類、キャリアガスや液の種類や組成・流量・温度、試料注入量の分析条件を設定しなければならない。とくにカラムの種類は分離度を、検出器は検出感度と選択性を支配する。設定した条件で標準物質を注入し、ピークの保持時間を測定する。分析対象成分が多く、未知成分がある揮発性有機化合物のような場合、ピーク位置が重なる可能性もあるので、同定はマススペクトルを併用した方がよい。大気濃度は通常低いので、図9.1.1の捕集操作を行い、その一部あるいは全量を注入し、標準物質の応答と試料の応答を比較して(2)式で計算する。

$$C = \frac{\left(\frac{\ell}{\ell_0}\right) \times \left(\frac{P_0}{P}\right) \times m}{V} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、C；濃度、 ℓ ；試料量、 ℓ_0 ；注入量、 $P \cdot P_0$ ；標準物質・試料の応答、 m ；標準物質質量、 V ；試料空気量

一度は使用する濃度範囲で検量線の直線性を確認しなければならない。なお、ブランク値は抽出や濃縮操作などの前処理を行った時には測定する。捕集率などの捕集条件や注入操作、機器の再現性などの誤差要因も光分析計と同様である。

クロマトグラムのデータ処理はコンピューター内蔵のデータ処理装置やデータロガーとコンピューターソフトで行われることも少なくないが、ペンレコーダーと手計算で行う場合と本質的には変わらない。むしろ、ピークの形状などのアナログデータも観察し、定性定量の評価とチェックも怠ってはならない。

クロマトグラフ特有の同定の誤差としてピーク位置の再現性の問題がある。キャリア流量と温度が影響するので、安定状態に入った後も、留意しなければならない。また長期的にみると、カラムは固定層液体の流出(ガスクロマトグラフ)やコンタミネーション(液体クロマトグラフ)による劣化のために保持時間が徐々に変化する。使用開始時や連続使用時でも数日間に一回は標準物質でピークの保持時間と面積を確認しなければならない。なお、容器捕集した空気試料は保存性をチェックして使用し、活性ガスは安定な成分に転換して捕集分析する方法が推奨される。

9.1.4 濃度計

ガス濃度計と全浮遊粉じん濃度計が実用されている。ガス濃度計は試料空気を測定器に導入し、直接対象物質の濃度を測定できるものである。共存物質に対して十分な選択係数(対象ガスに対する感度/共存物質に対する感度)を持ち、検出下限が環境基準などの10分の1の以下であればなおよい。しかし、濃度計は選択性や精度には限界があるので、特に正の妨害をする共存ガスの大体の濃度レベルを一度測定し、その濃度と選択係数の逆数の積を求め、妨害程度をチェックしておかなければならない。

濃度計はゼロガス(対象成分を含まない空気など)を通してゼロを合わせ、フルスケールに近い標準ガスで指示値がその濃度になるように感度調整ツマミを回転し、調整する。調整頻度は原理によって異なる。例えば光学的原理であればメーカーの定期点検時でよく、電気化学的原理であれば使用開始毎に行う。精度は単位時間あたりのゼロドリフトと繰り返し精度のフルスケールに対する比率で表

す。粉塵濃度計も相対濃度計で、標準粉塵流を濃度計に導入し、感度を調製するが、いずれの原理も正常稼働時には感度の変動はほとんどなく、メーカーの定期点検時に行えばよい。

9.1.5 連続分析計

連続分析計は試料空気を連続的に導入し、出力を連続的あるいは間欠連続的に記録する装置で、自動分析計である。この装置は通常標準ガス発生部を内蔵し、1日に1回程度試料空気の替わりに標準ガスを導入し、感度チェックし、調整するので、一般に装置は大型になる。精度の表現法は濃度計と同じである。

9.1.6 測定精度と精度管理

(1) 測定精度⁴⁾

測定精度と密接に関係する検出限界と定量限界について述べる。検出限界（図9.1.2で C_d ）はブランク試料の応答（平均値 R_b ）の標準偏差（ S_b ）の3倍値とすることがIUPACの勧告でも推奨されている（図9.1.2）。図9.1.2中の R_b 、 S_b はブランク試験を10~20回行い求める。検出限界付近では相対誤差は極端に大きい。図9.1.2にZnのICP発光分析における濃度と変動係数の関係⁵⁾も示した。定量下限界（図9.1.2で C_t ）を $R_b + 10 S_b$ に相当する濃度にとれば10%程度の精度が期待できる。なお、一般に高濃度側でも精度は低下するので、定量上限界もあると見なければならぬ。文献などで測定精度のみ与えられているとき定量限界は測定精度の10~100倍が定量範囲とみてよい。

一方、記録計のチャートや濃度計の応答ではベースライン（zero air）のノイズ幅（100個のノイズのpeak to peak）を $5 S_b$ として前述のように検出限界や定量限界を定義することができる。

なお、環境濃度は特別な目的がなければ平均値の有効数字2桁で十分である。

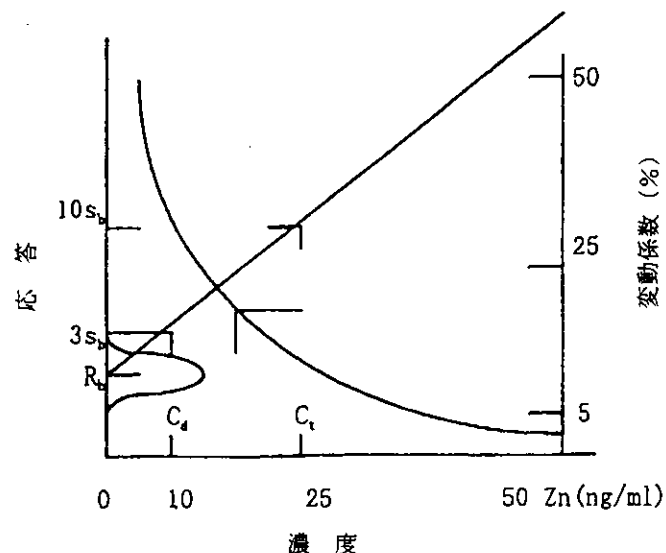


図9.1.2 検量線における検出限界 (C_d) と定量下限界 (C_t) とブランクの標準偏差 (S_b) 及び亜鉛のICP発光分光分析における濃度と変動係数の関係の例

(2) 精度の保証と管理

前述の捕集を伴う3種のどの測定パターンでも、精度を保証するためには標準が重要である。液体や固体の標準物質ではその純度（99.9%以上、場合によって99%でもよい）と調製された標準溶液の安定性に配慮しなければならない。一方、濃度計や連続分析計では標準ガスボンベがよく用いられ、メーカーにボンベ濃度の精度管理が要求される。また検定が義務づけられている濃度計もあり、ユーザ側もNOのように保存中に一部がNO₂に変化するものや、ホルムアルデヒドのように内壁に吸着するものもあるので、留意しなければならない。

9.1.7 実験室の管理

有害物を測定するための分析を実験室で行うとき、環境と安全に配慮することが大切である。前者は分析操作者の作業環境の衛生と大気や水の汚染に対するものである。基本は有害な試薬などをできるだけ使用しないプロセスを選ぶことである。例えば乾式法を用いたり、標準液の調製液量を最小量に留める（例えば標準溶液を1ℓも調製しない）ことが必要である。

作業環境として問題なのは、第一は分析者に対する有害な蒸気や浮遊粒子の暴露である。局所排気装置を設け、換気のよい部屋としなければならない。第二は使用済みの分析廃液の処理である。有機溶媒は焼却処理、金属イオン廃液は吸着や凝集沈殿などで処理し、もし少量で極端に有害なものであれば、安全な容器に入れ、表示をして倉庫などに保管するのの一法である。

安全では第一に可燃性の溶剤やガスの管理が重要である。大量の水素ガスなどの漏洩や有機溶剤の揮発が起こり、部屋の空気と混合し、その濃度が数%になったとき、着火源があるとその部屋では爆発が起こる。従って試薬棚の倒壊や換気に留意しなければならない。なお、FIDガスクロマトグラフでは、水素が消えても希釈され、普通の部屋では危険はない。第二は酸素欠乏：無臭の窒素やアルゴンなどの大量漏洩。第三は誤操作である。

近年大きな問題となっているダイオキシンなどの有害化学物質の分析に当たっては、建物等の設備、高価な分析装置等ハード面の整備と共に、作業状況や人の出入りを管理するセキュリティシステム、廃棄物等の管理など厳格な安全管理が行われる施設でなければ分析できない。サンプルの履歴や入荷から最終的に処分されるまでの動きを把握、記録するシステムの導入や、精度保証/精度管理(QA/QC)システムも必要である。

ダイオキシンは青酸カリの5,000倍の毒性を有するので、周囲に飛散しないような減圧室が必要となる。十分な減圧を得るために特殊な作業ボックスやコンパートメントを用いることもある。実験室の排気や排水は活性炭を用いてダイオキシンを吸着し、外部に出ないようにする。また、使用済みの活性炭や拭取り布などのラボ廃棄物は永久保管する必要があり、それらの施設も必要となる。

ダイオキシンは通常、1pg（ピコグラム、1兆分の1）前後を定量下限とするので、使用する溶媒、試薬、ガラス器具などはコンタミネーションを起こさないように最上級のものを用い、用途を分けて使用する。また、常にブランクテストを行い、実験作業でのコンタミネーションが定量下限以下であることを確認する。

9.2 連続分析法

9.2.1 はじめに

連続分析計による測定結果は行政的に利用される場合が多いので、評価が可能なように整理する必要がある。環境基準に対応する測定方法を用い、データ処理、評価方法など、適切なデータマネジメントを可能とするシステムを確立する必要がある。分析計については、国内、国際規格に適合する分析計ならば、その機能、性能に隔たりはなく、その機種選定よりも、測定局設置の整備、計画的な維持管理の実施が重要である。

環境大気のモニタリングの計測方法にはそれぞれの国の公定法又は国内規格、国際規格があり、現在、国際規格に整合が進められている。環境大気のモニタリングシステムの構築の場合、その基本となり、参照されている代表的な規格を次に示した。

ISO : International Organization for Standardization (国際規格)

CFR : Cord of Federal Regulation (米国規格)

ASTM : American Society for Testing and Materials (米国規格)

JIS : 日本工業規格 (日本規格)、環境大気常時監視マニュアル (環境庁)

9.2.2 連続分析計

標準的に使用されている環境大気連続分析計について表 9.2.1 に示す。

表 9.2.1 (その1) 標準的連続分析計

測定対象		
SO ₂ Sulfur Dioxide	原理仕様	紫外線蛍光法、標準的測定範囲 0~0.05/0.1/0.2/0.5/1.0 ppm
	注意事項	トルエン、キシレン等の芳香族炭化水素で指示値に正の干渉を受ける、炭化水素除去のスクラバーが必要、自動車排ガスの多い所、工事現場等にて発生する炭化水素に対しスクラバーの容量を大きくする、交換頻度を上げる等の十分な対策が必要。
NO _x Oxides of Nitrogen	原理仕様	化学発光法、標準的測定範囲 0~0.1/0.2/0.5/1.0 ppm
	注意事項	切替法では、NO が高濃度か変動が激しいと NO ₂ がばらつく。水分により指示値に負の干渉を受ける、除湿の対策を確認する。大気中の高濃度のアンモニア化合物は反応ガスの O ₃ によって反応セル中に汚れを生ずる、アンモニア除去のスクラバーの装着が効果的。また有機性窒素化合物がコンバータで NO として測定される事もある。
O ₃ Ozone	原理仕様	紫外線吸収法、標準的測定範囲 0~0.1/0.2/0.5/1.0 ppm
	注意事項	切替法なので、オゾン分解器の維持管理が重要。化学発光法は反応ガスとしてエチレンを供給する必要があるので、紫外線吸収法が多く使用されている。
CO Carbon Monoxide	原理仕様	赤外線吸収法、標準的測定範囲 0~5/10/20/50/100 ppm
	注意事項	切替式 NDIR 法とガス相関式 NDIR 法がある、切替式は我が国独特の測定方式である。

表 9.2.1 (その2) 標準的連続分析計

NMHC Non-Methane Hydrocarbons	原理仕様	ガスクロマトグラフ法、標準的測定範囲 0~5/10/50/ ppm
	注意事項	切換弁、各カラム、配管を常に清浄に維持する。スタート時に不用意に汚れた大気を吸い込み、分析計を不調とすることが多い。測定値は CH ₄ 換算、感度チェックは C ₃ H ₈ による。水素発生器の供給水は特に精製した純水を使用する。
THC Total Hydrocarbons	原理仕様	水素炎イオン化法、標準的測定範囲 0~5/10/20/50/100 ppm
	注意事項	東南アジア諸国では THC を測定する機会が多い。 ガスクロマトグラフ法でない連続測定法である
SPM Suspended Particulate Matter	原理仕様	β線吸収法、標準的測定範囲 0~1/5/10 mg/m ³
	注意事項	雨水、昆虫等を吸い込まぬようにサンプリング管の先端にフード、スクリーン等を付ける必要がある。自動車排ガス（特にディーゼル排ガス）の多いところの測定は、テープ濾紙が目詰まりするので、吸引能力の大きなポンプを使用する。β線源のアイソトープの取扱に注意する。
CO ₂ Carbon Dioxides	原理仕様	赤外線吸収法、標準的測定範囲 0~500 ppm、350~450 ppm
	注意事項	地球温暖化対応の測定範囲 350~450 ppm の様な高感度の計測器は、試料大気の露点-80℃程度の除湿、周囲温度の十分な管理等の種々の対策が必要。

9.2.3 環境大気計測の目的と種類

環境大気計測はその目的により表 9.2.2 のような種類の測定局がある。

表 9.2.2 測定局の目的と種類

一般環境大気測定局	都市、住宅地、産業地区等の環境大気の汚染状況を常時監視する測定局で標準的な環境大気測定局である。標準的な分析計が使用される。
自動車排出ガス測定局	自動車排出ガスによる大気汚染の著しい交差点、道路端付近の汚染状況を常時監視する測定局。高濃度の測定範囲を持つ分析計が用いられている。分析計の汚染、干渉成分の影響に注意が必要。
環境大気測定局	山野、海浜等の非汚染地区の大気環境（バックグラウンド）の状況を広範囲な視野で基礎試料を得る目的の測定で、低濃度の測定をするので高感度でゼロ変動が少ない分析計が必要。また、H ₂ S、O ₃ 、CO ₂ 、酸性雨等の分析計も設置する場合がある。

9.2.4 測定局の構造と設備

測定局は設置した分析計が良く保全され、維持管理が容易に行える構造でなければならない。測定局の設備としての留意事項を表 9.2.3 に示す。

表 9.2.3 測定局の設備

電源設備	電源は十分に余裕があり、大きなポンプ等が起動しても電圧が変動しないこと、自動電圧調整器を使用するときも同様である。電圧変動が激しい場合は UPS 等の無停電電源を使用するのが望ましい。
空調設備	空調は冷やしすぎで結露しないよう、気温-5℃程度、30℃を越えないようにすることが望ましい。空調の冷気がサンプリング管に当たらぬ事。

また、試料大気のサンプリング用配管は表 9.2.4 のようにする。

表 9.2.4 測定局のサンプリング配管

集合分配管	大気を一括して測定局舎内のマニホールドに大流量で吸引し、ここで試料大気を個々の計測器にテフロン管で分配する。硬質ガラス、テフロンライニングの金属管を使用する。SPM は PVC チューブ、ステンレス管等の帯電しない材料を使用する。
個別配管	測定局舎外より各々別のサンプリング管で大気を吸引する、内径 6~8 mm のテフロン管、SPM は内径 20 mm 程度の PVC チューブを使用する。

9.2.5 国際規格の状況と対応

(1) はじめに

環境大気の測定分析技術は、環境大気常時監視を中心として広範囲に適用され、対象とされる分野も非常に広く多岐にわたっている。大気中の有害物質の濃度をより正確に測定するための計測技術の高度化が必要とされている。又、地球規模の問題である温室効果ガス、最近の話題である、HAP とも言う有害化学物質等の新しい環境汚染物質の計測分析についての関心が強い。測定分析について重要なことは其の結果の整合性であり、広い意味での再現性、信頼性が整えられていなければならない。最近海外に対する技術援助も活発で、測定結果の国際的な整合性の必要が痛感されている。測定分析の方法には標準化が必要であり、かつこれが最新の状態に整備されている必要がある。わが国にては環境大気の測定分析は大気汚染防止法にもとづく規則、告示、通達等による方法、指針、マニュアル、または基本的には日本工業規格 JIS 等によって行われている。

海外にても多くの規格があり、環境大気について基本的と思われるのは、1965 年に米国の U.S. Department of Health, Education, and Welfare で制定された、Selected Methods for the Measurement of Air Pollutants であり、以下に説明する諸規格の源は此処に発していると言っても過言ではない。

米国に於いては環境基準の設定と管理が Code of Federal Regulations に規定され、年々改訂が続けられ、他の規格に引用されることも多い。米国に於いてはこの CFR のほか、ASTM, NIST, IEC, ANSI 等の著名な規格がある。ヨーロッパにはドイツの DIN、英国の BS があり、更に国際的には、かつて知られていた WHO Selected Methods があつたが、現在は International Organization for Standardization より、International Standard, ISO として各規格を統合した形で充実されている。

以下に代表的な規格とも言える、CFR、ASTM、ISO についての其の内容のあらましを紹介する。各規格とも年々改訂が進められているので、わが国の諸規格との整合について研究の必要がある。また、下記の国際規格は記述が詳細で、また引用文献も多い。内容の改訂も行われ規格としての信頼性があり、規格と言うよりは文献としても価値あるものである。

(2) わが国の規格

わが国の環境基準についての測定法は、大防法に係わる告示、通知、環境大気測定機器維持管理要綱、環境大気常時監視マニュアルに示されている、其の要点は次の通りである。

二酸化硫黄	溶液導電率法	JIS B 7952 の溶液導電率方式
"	紫外線蛍光法	" の紫外線蛍光方式
一酸化炭素	非分散赤外線分析計を用いる方法	JIS B 7951 の赤外線吸収方式
浮遊粒子状物質	光散乱法、圧電天秤法、ベータ線吸収法	JIS B 7954 の光散乱方式、圧電天秤方式、 ベータ線吸収方式
光化学オゾン	吸光光度法、電量法	JIS B 7957 の吸光光度方式、電量方式
二酸化窒素	ガルツマン試薬を用いる吸光光度法	JIS B 7953 の吸光光度方式
"	化学発光法	" の化学発光方式
炭化水素	直接法測定法	JIS B 7956 の水素炎イオン化検出方式

(3) Code of Federal Regulations (CFR)

米国政府 EPA の管轄する法律で、環境測定上で最も大きな影響力を持っている。

40 CFR 50 National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standard は大気質の国家基準を示すとともに、其の測定法について個々の物質について APPENDIX A~K に詳細に規定されている。

40 CFR 53 Ambient Air Monitoring Reference and Equivalent Methods は各測定法についての定義、試験方法等について規定されている。測定方法は Manual と Automated があり、SO₂ が manual Method であることは興味深いところである。

Manual Reference Method

TSP	High Volume Sampler
LED	High Volume Sampler with Atomic Absorption Analysis
SO ₂	Pararosaniline Method

Automated Reference Method

O ₃	MP	Chemiluminescence with Ethylene. CP Ultraviolet Photometry
NMHC	MP	Gas Chromatography with Flame Ionization Detector CP Calibration Gases
NO ₂	MP	Chemiluminescence with Ozone. CP Gas Phase Titration of on NO Standard with Ozone or NO ₂ Permianion
CO	MP	Nondispersive Infrared Spectrometry Device. CP Calibration Gases

以下に APPENDIX A~K のタイトルを紹介する。

- APPENDIX A - Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method)
- APPENDIX B - Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Method)
- APPENDIX C - Measurement Principle and Calibration Procedure for the Carbon Monoxide in the Atmosphere (Non- Dispersive Infrared Photometry)
- APPENDIX D - Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Ozone in the Atmosphere
- APPENDIX E - Reference Method for the Determination of Hydrocarbons Corrected for Methane

- APPENDIX F - Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Nitrogen Dioxide in the Atmosphere (Gas Phase Chemiluminescence)
- APPENDIX G - Reference Method for the Determination of Lead in Suspended Particulate Matter Collected from Ambient Air
- APPENDIX H - Interpretation of the National Ambient Air Quality Standards for Ozone
- APPENDIX I - Reserved
- APPENDIX J - Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere
- APPENDIX K - Interpretation of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter

(4) American Society for Testing and Materials (ASTM)

日本工業規格 (JIS) に相当する広範囲な規格で、15 の Section に分かれ、各種材料、試験、分析、測定、電気、医療等について膨大な規格が規定されている。JIS に引用されている規格も多い。

環境大気の測定、分析については、

Section 11 Water and environmental Technology

Volume 11.03 Atmospheric Analysis

に記載されている、わが国の環境大気常時監視に関係のある項目について、其のタイトルを以下に記述する。

- D- 1607- 91 Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess- Saltzman Reaction)
- D- 1704- 95 Standard Test Method for Determination the Amount of Particulate Matter in the Atmosphere by Measurement of the Light Absorbance of a Filtered Sample
- D- 2914- 95 Standard Test Method for Sulfur Dioxide Content of the Atmosphere (West - Gaeke Method)
- D- 3249- 95 Standard Practices for General Ambient Air Analyzer Procedures
- D- 3608- 91 Standard Test Method for Nitrogen Oxides (Combined) Content in the Atmosphere by the Griess- Saltzman Reaction
- D- 3609- 91 Standard Practices for Calibration Techniques Using Permeation Tubes
- D- 3824- 95 Standard Test Method for Continuous Measurement of Oxides of Nitrogen in the Ambient or Workplace Atmosphere by the Chemiluminescent Method
- D- 4298- 95 Standard Guide for Intercomparing Permeation Tubes to Establish Traceability
- D- 4536- 95 Standard Test Method for High- Volume Sampling for Solid Particulate Matter and Determination of Particulate Emissions
- D- 5011- 92 Standard Practices for Calibration of Ozone Monitors Using Transfer Standards
- D- 5110- 94 Standard Practices for Calibration of Ozone Monitors and Certification of Ozone Transfer Standards Using Ultraviolet Photometry
- D- 5149- 90 Standard Test Method for Ozone in the Atmosphere: Continuous Measurement by Ethylene Chemiluminescent
- D- 5015- 95 Standard Test Method for pH of Atmospheric Wet Deposition Samples by Electrometric Determination

D- 5280- 94 Standard Practice for Evaluation of Performance Characteristics of Air Quality Measurement Methods with Linear Calibration Function

(5) International Organization for Standardization (ISO)

ISO International Standard は品質保証の国際規格である。ISO 9000 及び 14000 シリーズの登場を機に、ISO の規格がクローズ・アップしている。ISO は材料、加工、自動車、プラスチック、食品、医療、測定分析等の広範囲に渡っての国際規格として国際的な地位を占めつつある。

環境大気の測定分析に関連する項としては下記の様であるが、内容については CFR、ASTM の引用が多い。

13. Environment and Health Protection. Safety

13. 040 Air Quality

13. 040. 10 General Aspects

ISO 4225 : 1994 Air Quality - Vocabulary - Biling Edition

ISO 4226 : 1993 Air Quality - Unit of measurement

ISO 6879 : 1983 Air Quality - Performance characteristics and related concepts for air quality measuring methods

ISO 7708 : 1983 Air Quality - Particle size fraction definition for health - related sampling

ISO 8756 : 1994 Air Quality - Handling of temperature, pressure and humidity data

ISO 9169 : 1994 Air Quality - Determination of performance characteristics of measurement methods

13. 040. 20 Ambient atmospheres

ISO 4219 : 1979 Air quality - Determination of gaseous sulfur compounds in ambient air Sampling equipment

ISO 4220 : 1983 Ambient air - Determination of a gaseous acid pollution index - Titrimetric method with indicator potentiometric end-point detection

ISO 4221 : 1980 Air quality - Determination of mass concentration of sulfur dioxide in ambient air - Thorin spectrophotometric method

ISO 4227 : 1989 Planing of ambient air quality monitoring

ISO 6767 : 1990 Ambient air - Determination of the mass concentration of sulfur dioxide - Tetrachloromercurate (TMC) /Pararosaniline method

ISO 6768 : 1985 Ambient air - Determination of the mass concentration of nitrogen dioxide - Modified Griess-Saltzman method

ISO 7168 : 1985 Air quality - Presentation of ambient air quality data in alphanumeric form

ISO 7996 : 1985 Ambient air - Determination of the mass concentration of nitrogen oxides - Chemiluminescence method

ISO 8186 : 1986 Ambient air - Determination of the mass concentration of carbon monoxide - Gas chromatographic method

ISO 9359 : 1989 Air quality - Stratified sampling method for assessment of ambient air quality

ISO 9835 : 1993 Ambient air - Determination of a black smoke index

ISO 9855 : 1993 Ambient air - Determination of the particulate lead content of aerosols collected on filters -

Atomic absorption spectrometric method

ISO 10313 : 1993 Ambient air - Determination of the mass concentration of ozone - Chemiluminescence method

9.3 大気汚染監視システムの計画と管理

9.3.1 はじめに

大気汚染監視には、苦情処理や環境アセスメント等で使う移動監視と地域を代表した一般環境大気を測定する一般環境大気測定局や沿道での自動車排出ガスを測定する自動車排出ガス測定局などの常時監視とがある。

大気汚染監視システムは、大気汚染の変化状況を的確に把握し、評価・活用するためのものであり、大気汚染物質別連続分析計・データ処理機・データ伝送システム・中央データ処理機・受信端末などから構成されている。

大気汚染常時監視システムの活用は、①測定値が短時間に中央監視局でオンライン処理され、汚染状況をリアルタイムで把握し緊急時に対応する、②近隣自治体と連携し、広域汚染状況を短時間に把握できる、③発生源に汚染物質排出量削減を指示する根拠を作る、④街頭表示装置により住民に周知できる、⑤システムの異常・故障個所を迅速に見つけ出せる、などの機能を持っていることが求められる。

9.3.2 監視システムの計画的配置

環境庁から監視システムの適正な配置のため通知が出されている。表 9.3.1 にこれを要約した。

表 9.3.1 大気環境測定局配置に関する環境庁通知の要約

件 名	内 容
「大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について」 (昭和 46 年 8 月 25 日環大企第 5 号、大気保全局長通知)	<p>大気汚染の監視測定場所等について 汚染物質の特性を考慮し、大気汚染を配慮すべき地域における有効な場所に測定点を配置することが必要である。</p> <p>7. 硫黄酸化物 25 km²あたり 1 ケ所を標準として設置する。大気汚染が著しい地域には必要に応じて増加する。</p> <p>1. 一酸化炭素 交通頻繁な道路又は交差点の周辺であって、人が常時生活し、活動している場所又は近接した場所に設置する。</p> <p>ウ. 浮遊粒子状物質 硫黄酸化物及び一酸化炭素の測定点に併設する。</p> <p>エ. 二酸化窒素 同 上</p> <p>オ. オキシダント 従来いおう酸化物等による汚染が著しくなかった郊外地域にも汚染が及んでいることを配慮して設置する。</p>
「一般環境大気測定局における測定値の地域代表性について」 (環境庁・測定値の地域代表性に関する検討会、昭和 61 年 3 月報告送付)	<p>「測定値の地域代表性に関する検討会報告」を地方各自治体に検討の参考資料として送付</p> <p>{要点} NO₂、SO₂の代表性について ある時間平均値の場所的な差異が、ある与えられた許容範囲 (5 ppb) 以内に納まる領域を一つの測定値で代表させて表現し、この値のことを“地域代表性”と呼ぶ。対象とする全地域が最も適切な形に領域分けされる場合、測定局は地域代表性を有するといひ、このように測定局を配置することを“測定局の適正配置”という。</p>

この通知を参考にしつつ、それぞれの地方自治体における地域に合った地域代表性を把握することが必要となる。

そこで、自治体では、市町村単位に地域を等面積のメッシュに分割し、その交点で移動測定車等を活用して大気汚染状況を実測し、その測定結果等から測定局の適正配置を検討し、地域代表地点を決める方法がある。

また、実測値が豊富で、SO₂やNO₂の総量削減計画（大気拡散シュミレーションを活用）がたてられている地域などでは、その結果を活用することも必要である。表9.3.2に環境大気常時監視マニュアルに記載された留意点を示した。

表 9.3.2 環境大気測定局留意点

件 名	内 容
「環境大気常時監視マニュアル」（改定版） （環境庁大気保全局編集、平2.12発行）	<p>各自治体等の常時監視業務の手引書として発行（昭和61年版の改定版） （測定局関連要点抜粋）</p> <p>一般局配置の留意事項</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 汚染物質の発生源特性、発生源分布と風向特性を考慮して配置する。 ② 人口密集地域には、他の地域に比べて、きめ細かく配置する。 ③ 隣接自治体の発生源分布と気象状況を考慮して、境界領域にも配置する。 ④ 将来の土地利用計画を考慮して配置する。 ⑤ 特定地域に偏った配置をしない。 <p>試料大気採取口の位置</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 乱気流等の影響を受けないよう付近の建物や障害物からできるだけ離す。 ② 煙突、排気塔など特定の発生源の影響を受けない場所にする。 ③ 測定対象物質による汚染状況を的確に把握できるような高さにする。 （「地上1.5～10 mの高さが望ましい。」（通知を引用） <p>自排局配置の留意事項（今回の改定で登載）</p> <p>自動車排出ガスによる大気汚染の状況が効率的に監視できるよう、道路、交通量等の状況等を勘案する。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 交通量、交通渋滞の状況、道路構造、地形及び周辺建物の状況、局地及び地域の気象条件等を勘案して、大気汚染の状況が効率的に把握できるよう配置を決定する。 ② 配置場所には、交通頻繁な道路または交差点の周辺であって、人が常時生活し、活動している場所またはこれに近接した場所を選定する。また自動車排出ガスの距離減衰を考慮して、できるかぎり道路に近い地点に設置することが望まれる。

9.3.3 測定場所と測定局の面積

大気環境測定局の設置場所と試料採取口の高さ等に関して環境庁よりの環境基準設定時に通達や通知は、大気汚染物質毎に表9.3.3の様に示されている。

表 9.3.3 大気汚染常時測定局の「測定場所」及び「採取口」の高さ

測定項目	測定場所	採取口高さ	例外等
CO	交通頻繁な道路又は交差点周辺であって、人が常時生活し活動している場所又はその近接場所	おおむね 1.5 m	
SO ₂	測定点は 25 km ² あたり 1ヶ所を標準として設定し、大気汚染が著しい地域は、必要に応じて増設	原則として 1.5 m 以上 10 m 以下	高層集合住居等 10 m 以上の高さにおいて、多数生活している場合は適宜その実態に応じて設置
SPM	測定点は、いおう酸化物及び一酸化炭素測定点に併設	原則として 地上 3 m～10 m	地上からの土砂巻き上げ等による影響を排除するため、原則として地上 3 m～10 m の高さに置く
NO ₂	測定点は、いおう酸化物及び一酸化炭素測定点に併設	原則として 地上 1.5 m～10 m	SO ₂ と同様
Ox	従来いおう酸化物等による汚染が著しくなかった郊外地域にも汚染が及んでいるので測定点は、この点を考慮して設置	原則として 地上 1.5 m～10 m	SO ₂ と同様

また、測定局の面積としては大気汚染物質別測定機器と気象要素（風向、風速、温度、湿度、日照等）の観測機器が収納できるとともに、データ整理用の事務机、洗浄等に使用するための流し台、保守部品類の収納ロッカー等の設置スペースが必要である。測定局の床面積としては 20～30 m²程度が必要となる。

9.3.4 測定機器の設置条件

測定機器の設置場所は次の様な条件を備えることが望ましい。

- (1) 振動を防止する：吸引ポンプ等の出す振動を他機器に伝えられない様、防震対策を施す。
- (2) 腐食性ガスや粉じんの侵入を回避または防止する。
- (3) 高湿度を避け、また、室温が 40℃以下で、直射日光があたり可能な限り室温 10～30℃の範囲内で温度変化は±5℃になるようコントロールすることが望ましい。
- (4) 電源電圧及び周波数の変動が少ないこと。また、避雷措置を講ずること。
- (5) 測定機器が傾かないように水平に設置できること。
- (6) 保守作業が容易に安全に行えること。
- (7) 試料大気導入管が短くてすむこと。また、雨水、排ガスなどを直接吸引しないこと
- (8) 温式の分析計からの廃液の一部は、特定産業廃棄物となることから「特別管理産業廃棄物管理責任者」の資格を有する者が管理する必要がある。

9.3.5 測定機器の保守管理

時々、刻々と変動する測定データが正確に取得され、それを蓄積・処理し転送するテレメータシステムの維持にあたっては、その測定機器の保守点検・管理を確実に実行し、データの欠落が生じな

い様、細心の注意をはらう必要がある。そこで、測定機器類の保守管理の種類と内容を表9.3.4に示す。

表9.3.4 保守管理の種類と内容

管理区分	目的	実施頻度	内容
日常点検 (通常点検) (巡回点検)	自動測定器を正常に連続 運転させる。 (データの獲得)	1回/週以上	1. 測定機稼働状況の確認 2. 消耗品の交換、補給 3. 簡易な校正、チェック 4. 簡易な部分の清掃、交換
定期点検 (精密点検) (伝送精度確認)	機器性能の維持と故障の 予防保全 (精度を基準幅の中に保 障)	1回/年以上	1. 流路部の検査 2. 検出部の検査 3. 制御、伝送系の検査 4. 増幅、記録部の検査
緊急点検	異常或いは故障発生時の 迅速かつ応急点検 (正常な状態に復帰)	異常発生時	1. 故障の発見と軽微な修理 2. 原因究明と修理(メーカーによる)
性能試験	保守又はデータ評価上の 継続性の保持、トラブル 防止 (機器特性の把握)	機器購入時 (改造、交換更新 を含む) 1ヵ月	1. 機器性能テスト(基準ガスメーター等) 2. 機器安定性テスト(流量変動、ゼロ、ス バンドリフト等) 3. 測定データの評価(旧計測機との整合性 等)
動的校正	精度幅の中身を決める	随時	1. 標準ガスによるチェック 2. 検量線の作成

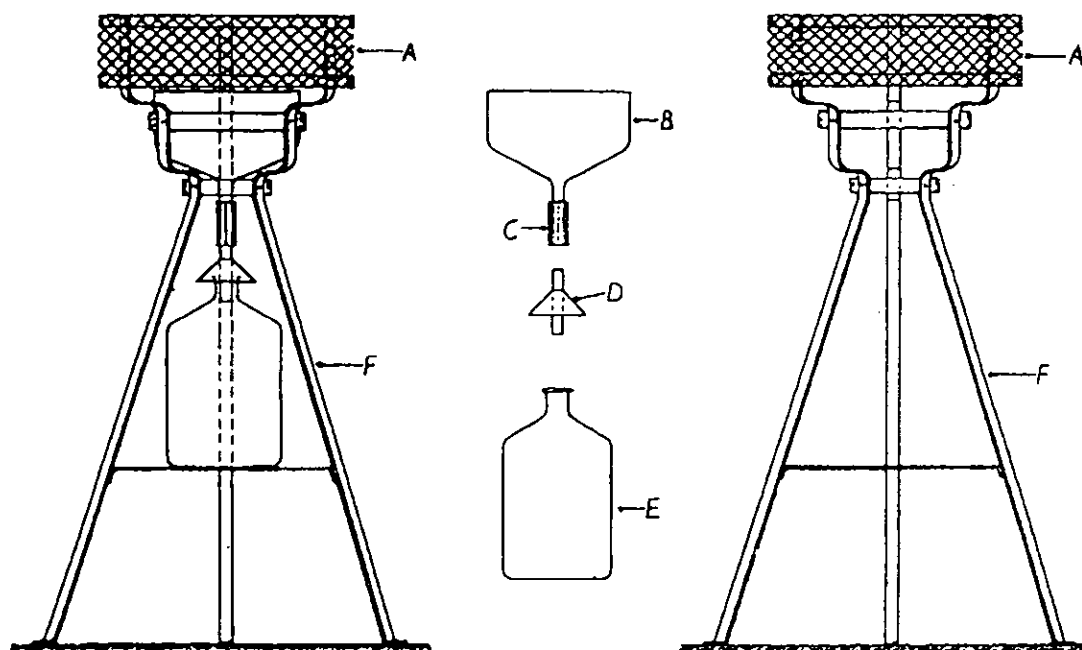
9.4 降下ばいじん測定法

9.4.1 はじめに

降下ばいじんとは、大気中の汚染物質のうち、自己の重量により、あるいは雨などとともに沈降するばい煙、粉塵その他の不純物である。降下ばいじん測定法¹⁻⁷⁾のうち、最も多く用いられ、また一般的であるテポジットゲージ法について記述する。

9.4.2 試料採取法

降下ばいじん計は図9.4.1に示すように組み立てる。金網Aは捕集ロートBをある程度保護し、鳥がその縁にとまることを防止する。ガラス製捕集ビンを使用する場合には、凍結によって破損する危険があるので、適当な絶縁物質でビン巻いておくといよい。またその代わりにポリエチレン製ビンを使用するのもよい。



- A. 金網（鳥を防ぐ）
- B. ガラス製捕集ロート
- C. ゴム管（粘着テープをまく）
- D. 逆立ロート
- E. 捕集ビン
- F. スタンド

図9.4.1 降下ばいじん計（デポジットゲージ）

降下ばいじん計は広々とした空地地上面に立てるべきで、いかなる建物からも、その距離が捕集ロートから建物の高さまでの2倍以上離れていなければならない。

わが国では、地面から舞い上がる砂塵を防止するため地上から5 m～15 mの高さの建物の屋上に設置する場合が多く、この場合煙突の位置などに注意が必要である。

降下ばいじん計は釘かボルトで締めておくといよい。1ヵ月間捕集するので、藻が発生すると捕集物質の化学的性質を変化させるおそれがある。そこで、これを防止するために0.02 Nの硫酸銅液10 mlを捕集ビンに加えておく。1ヵ月後捕集ロートを調べ、木の葉、昆虫のような明らかな異物があれば取りのぞく。そして、ビューレットブラシをガラス製ロートの出口に通して上下に動かし、連結管内まで通す。ビンに捕集された水を約250 mlとり、ロートに注ぐ（もしビンの中に十分な水が無いときは、その代わりに蒸留水を一定量使用する）。捕集ロートの内側に付着した沈降物質をポリスマンで落として固形物質で懸濁した水をビンの中に流し込み、その間にビューレットブラシで連結管の内側を洗浄する。

用意した清浄な捕集ビンと取り替え、ばいじん計はさらに次の1ヵ月間の測定準備が出来上る。水と固形物質を含んだ捕集ビンにコルク栓をしっかりつけ、さらにレットルに次の項目を記入して貼りつける。

場所の詳細、捕集期間、捕集ロートの正確な直径、受器洗浄に蒸留水を使用した場合はその量、さらに沈降物質に影響のありそうな異常なできごとがあればそれを記入する。

9.4.3 分析

一般的な分析としては、次の項目の報告が必要である。

- ① 捕集された液の容量：捕集ビン内の容量で、加えた蒸留水や硫酸銅液の量を差し引いたもの
- ② 液のpH値：水を加えた場合は必要でない。
- ③ 不溶性物質総量。
- ④ タール物質量：③のうちCS₂に可溶性の部分。わが国ではCS₂の代わりにアセトンを用いている。
- ⑤ 灰分量：CS₂で抽出した後、残留物を焼いて得られる。
- ⑥ タール以外の可燃性物質量：すなわち⑥=③-④-⑤。
- ⑦ 溶解性物質総量。
- ⑧ Ca⁺⁺、Cl⁻、SO₄⁻等の量。
- ⑨ 固形物総量：これは不溶性物質総量と⑦溶解性物質総量の合量である。

分析操作の概要を系統的に図9.4.2に示す。

液量が300 ml以下の場合には蒸留水を加えて300 mlとする。ろ紙は東洋ろ紙 No.5C などのashless filter paperを用いる。タール分抽出には、ろ紙上の水不溶性物質を乾燥、秤量後、ソックスレー抽出を行うが通常数時間を必要とする。抽出後の不溶性物質を電気炉で800℃で強熱し、灰分量を求める。ろ液の一定量（1～2 l）を重量既知の白金皿または磁製皿にとり、水溶上で蒸発乾固する。次にこれを乾燥器中で105℃で2～3時間乾燥した後、デシケーター中で放冷して秤り、蒸発皿の前後の重量の差を求め、これを液量に換算して水溶性物質総量を求める。現在ではイオンクロマトグラフ法によりSO₄²⁻、

NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺等の多種イオン成分分析が可能である。

降下ばいじん量（または成分）はt/km²/月（=g/m²/月）で表され、(1)式で求める。

$$\text{降下ばいじん量} = 1.273 \frac{w}{D^2} \times 10^4 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに w ; 総量（または成分）の分析値 (g)

D ; ばいじん計ロートの直径 (cm)

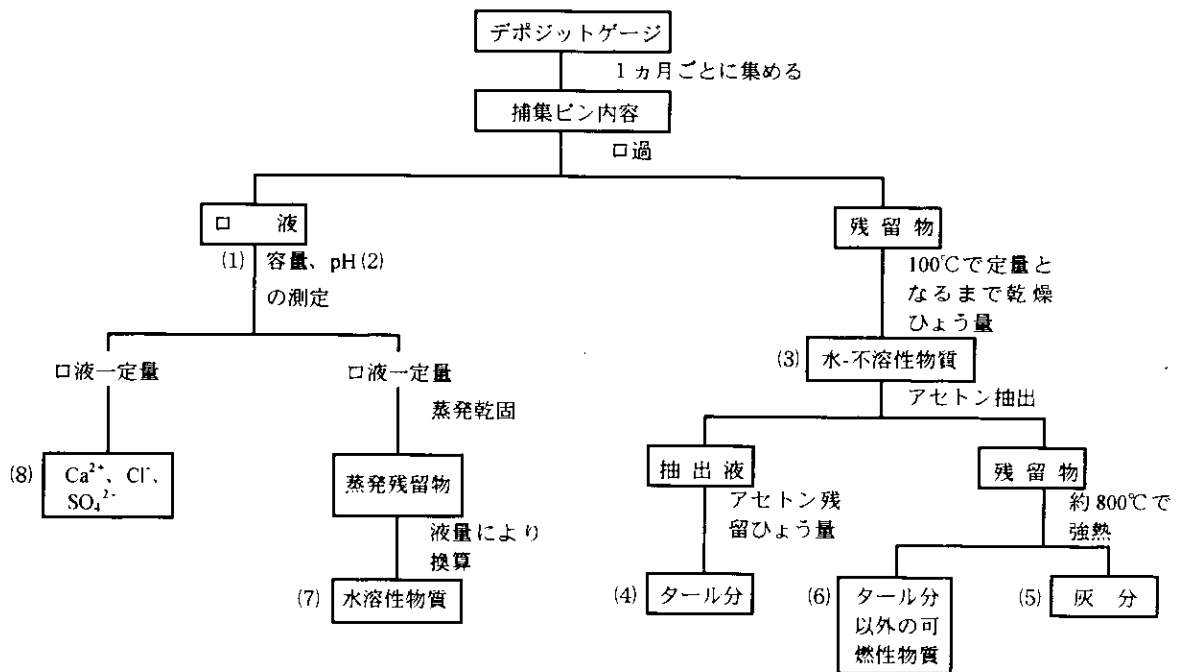


図 9.4.2 降下ばいじん一般分析系統図

9.5 酸性沈着の測定法

9.5.1 はじめに

酸性沈着とはこれまで「酸性雨」と呼ばれた大陸規模の大気汚染である。化石燃料を燃焼すると硫黄酸化物や窒素酸化物が排出される。これらの酸化物はさらに、光化学反応などで硫酸や硝酸に変換され、大気を酸性化する。これらの酸は湿性沈着、乾性沈着の二つの過程により地上に沈着し、地上の生態系を酸性化する。沈着した酸はさまざまな影響を及ぼす。この環境問題は「雨が酸性になる」ことでも「酸性降水物」でもない。その現象は酸性沈着（Acid Deposition）であり、問題の本質は、大気の、さらには環境の“酸性化（Acidification）”であり¹⁾ “地球酸性化”というほうがわかりやすいのかもしれない。

酸性物質の湿性沈着量と乾性沈着量は同等であるので、その測定は湿性沈着と乾性沈着の両方を行う必要がある。しかし、乾性沈着の測定には実用的な方法が無く、研究を目的として、短期間の測定を少数地点で行う以外は極めて困難である。したがって、ここでは湿性沈着、すなわち降水化学の測定法の基本的な考え方を述べる²⁾。

技術的な詳細は文献を参照していただきたい^{3)~7)}。

9.5.2 湿性沈着の測定のポイント

湿性沈着に限らず、何ごとも目的をはっきりさせて、とりかかることがポイントである。この目的を達成するのに必要かつ十分な方法を取るときにのみ、適切なデータが得られる。安易な妥協ばかりでなく、やみくもな精密化も中途半端なデータを生産するだけでなく、人的なエネルギー、経費、時間などの浪費につながりかねない。

測定の最初のステップは予算、技術水準、技術基盤、マンパワーなど制約的な因子を計画段階で詳細に検討、評価することである。そして測定計画に一貫性を持たせることが不可欠である。

測定方法は大きく次の4つに分れる：①測定地点の選定、②試料の捕集方法、捕集の単位期間、および試料の取り扱い、③化学分析、④これら全体の精度保証・精度管理。それぞれの方法が違うと、当然、結果は違ってくるので、調査結果を比較するとき、まず方法を確認しなければならない。その精度を評価してデータを解析するとき、その精度を100%生かした解釈ができ、それに対応した結論を引き出すことができる。

一般に調査研究やモニタリングネットワークにより、上記の項目①～④の内容は相当異なる。以下、各項目について簡単に説明しよう。

(1) 測定地点の選定

測定地点を決めて測定を始めれば簡単に地点を変更することができない。この地点選定が最も重要な問題である。測定地点の選定で大切なのは、その地点が目的とする領域を十分代表するかどうかということである。その地点に対する潜在的な汚染源を、マクロ的およびミクロ的に評価する。さらにその地点へのアクセスなど維持管理の要素を加味して測定値点が選択される。この測定地点の選択が、

測定における最も重要な因子である。ここでのミスは致命的である。決定するときその地点の性格付けを明確にしておかねばならない。この測定地点の代表性は半定量的な尺度で評価するのが一般的である。

(2) 試料の捕集とその取り扱い

降水試料を捕集する装置はバケツや漏斗を基本にしたものである。これらの装置は降水時開放型と常時開放型に分れる。降水時開放型の装置は降水感知器と連動した蓋を備え、降水時にのみ大気に開放されて降水だけを捕集するものである。常時開放型の装置はこのような蓋が無く、非降水時の乾性沈着の影響を受けることになる。

降水捕集の時間単位も重要である。一降水を降水量で数ミリ単位に分割して捕集するものから、一日、一週間、10日間ごと、2週間、さらには1ヶ月間までの降水を捕集するものまである。国際的に見て標準的な捕集方法は、降水時開放型の装置を用いて一日単位あるいは一降水単位で捕集するものである。

(3) 化学分析

現在、図 9.5.1 で示されている9種のイオン⁹⁾と電気伝導率を測定することが標準になっており、表 9.5.1 などの方法で化学分析する。pHの測定はまだまだ問題が多く、その他のイオンの化学分析もそれぞれに解決すべき点も少なくない。しかし、長期的な測定という観点から見ると、化学分析の問題は大きな問題でないといってよい。むしろ測定地点の選択など、化学分析以外のところに本質的な問題があるという認識が重要である。

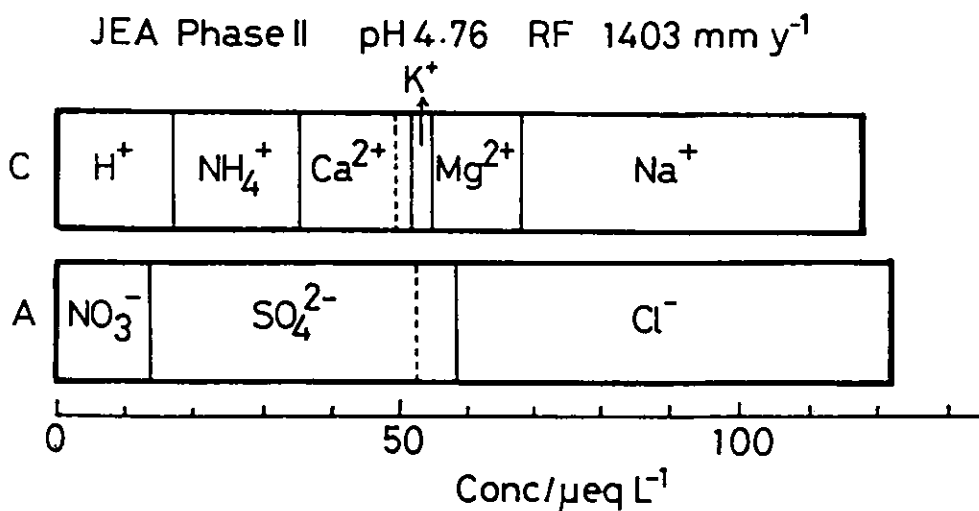


図 9.5.1 降水の化学分析で通常測定される9種のイオン⁹⁾とその組成の例
(環境庁第二次酸性雨対策調査)

表 9.5.1 雨水中の主要成分の分析に推奨される分析方法

分析項目	機器分析の方法
pH	ガラス電極（漏れない内部セルを持つ電極が望ましい）
電気伝導率	電気伝導率計
塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオン、亜硝酸イオン、フッ化物イオン	イオンクロマトグラフィー（サブレッサー付きが望ましい）
アンモニウムイオン	イオンクロマトグラフィー 分光光度法（インドフェノールブルー）
ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムの各イオン	イオンクロマトグラフィー 原子吸光/エミッション分析法
リン酸イオン	分光光度法
重金属、アルミニウム 水銀	黒鉛製の炉を用いる原子吸光法、ICP エミッション分光法、ICP/MS、金トラップ式水銀分析器
有機酸	イオンクロマトグラフィー

(4) 精度保証・精度管理 (Quality Control/Quality Assurance, QA/QC)

これまで精度保証・精度管理とは標準試料の化学分析だけが強調されてきたきらいがある。しかし、精度管理とは、データの質が測定の目的を満たすよう前記 (1) ~ (3) の項目を管理することである。

そして、精度保証とは得られたデータの質をこれらの項目に関して評価し、その質の評価を保証することである。つまり、得られたデータの質を明らかにしておき、データの使用者がその使用目的に応じてデータを取捨選択できるような定量的な判断材料を数値データに付加するものである。低い精度のデータであっても、それなりの解釈が可能であるが、精度それ自体が不明であれば、結果やその解釈の精度そのものも不明になる。

測定地点の精度は発生源を含めた周辺状況をマクロ的かつミクロ的に把握することである。試料の取り扱いについては捕集装置や試料容器の管理状況、試料の輸送、化学分析までの試料保存など、試料の履歴 (Sample History) を記録し、データの一部として取り扱うことである⁶⁾。

化学分析に関する精度は標準試料の分析のほか、いわゆるイオンバランスや電気伝導率のチェックなどで評価される。図 9.5.1 の場合、陽イオンの当量濃度の和と陰イオンのそれがいずれも一致を示している。これを「イオンバランスがとれている」などという。これらのチェックにより化学分析の全体の精度を評価したとき、一定以上の精度を持つものの割合、いわば「合格率」とでもいうべき尺度も評価しなければならない。この尺度を完全度 (data completeness) といい、一年間の降水試料のうち、どれだけの試料が一定以上の精度であったかを降水量の割合、などの量で表わされる。完全度の低い通年データなどについては、欠測値を推定したり、年平均値などを算出してはならない。

この完全度と、測定地点の代表性、捕集方法などの評価を総合して、そのデータの精度を決定することが精度保証である。いいかえると、データのユーザーが使用目的に応じてデータを選択したり、解析、解釈するための評価結論を出すことである。研究、行政判断などの目的でデータを使用するとき、それら研究、行政判断などの結論、解釈の精度は、データの精度、以上でもなければ以下でもない。データの精度保証・精度管理を十分に理解し、活用することが測定およびその結果、解釈のすべ

てに影響する。

酸性雨に限らないが、特に酸性雨を含む環境問題では、この精度管理・精度保証の考え方は測定の基礎の基礎である。測定地点、試料の捕集装置、捕集期間、試料の取り扱い、化学分析法が違えば結果は違う。特に異なる方法で測定されたデータを共通の項目で解析するとき、第一に行うべきことが精度保証である。測定法の違いなどを頭に入れながら評価、解釈するならかならずその精度に対応する結論を引き出すことができる⁹⁾。精度管理・精度保証の概念の重要性はいくら強調しても強調しすぎることはない。

データそのものの精度とそのデータから引き出した結論の精度は一致していなければならない。

9.6 大気中粒子状物質の分析法

9.6.1 はじめに

大気中の粒子状物質の測定はハイボリュームエアサンプラ（以下 HV とする）又はローボリュームエアサンプラ（以下 LV とする）を用いてフィルタ上に粒子を捕集し、粒子濃度を求め、金属成分等の分析に供する^{1)~3)}。そのほかに粒子の粒径別採取法としてアンダーセンサンプラ法⁴⁾等がある。

原子吸光光度法や ICP（Inductivity Coupled Prazuma）発光分析法で金属成分を分析する場合は、あらかじめ試料を酸分解し、測定対象物質を溶液化する必要があるが、放射化分析法や蛍光 X 線分析法では非破壊分析が可能である。

ここでは、粒子状物質中の金属成分分析法として最も広く用いられている原子吸光光度法について記述し、非破壊分析が可能である放射化分析法について概説する。

9.6.2 原子吸光光度法

(1) 試料採取法と質量濃度の測定

図 9.6.1 に HV、図 9.6.2 に LV の試料採取装置を示す。フィルタには粒径 $0.3 \mu\text{m}$ の粒子状物質に対し 99% 以上の捕集率を有し、圧力損失が低く、吸湿性及びガス状物質の吸着と反応性が少なく、分析の妨害となる物質を含まないことが求められる。通常 HV では石英繊維フィルタ、弗素樹脂フィルタ、ニトロセルロースフィルタを用い、LV では上記のフィルタのほかメンブランフィルタも使用している。捕集時間は通常 HV では 24 時間、LV では 4 日間から 1 週間である。

試料捕集前後に 24 時間以上恒温（通常 20°C ）、恒湿室（50%）で恒量にした後にフィルタを秤量し、粒子濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を求める。

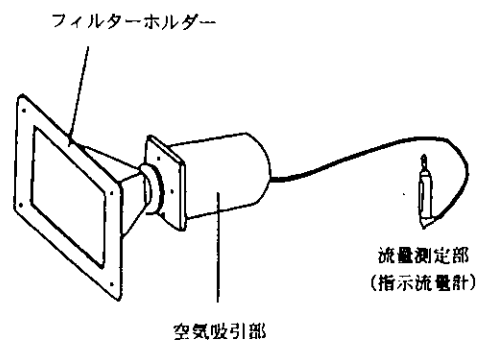
(2) 試料溶液の調製（ふっ酸・硝酸・過塩素酸法）

- a) 試料を捕集したフィルタは適切量切り取り、100 ml の四ふっ化エチレン製ビーカに入れ、硝酸 20 ml、塩酸 5 ml を加え四ふっ化エチレン製時計皿で覆い、 130°C のホットプレート上で穏やかに約 1 時間加熱する。時計皿を取りのぞき、液量が 5 ml 程度になったら、硝酸 5 ml 加え、再び加熱する。
- b) 冷却後硝酸 10 ml、過塩素酸 3 ml、ふっ化水素酸 3 ml を加え、時計皿をずらしてかぶせ約 200°C のホットプレートで穏やかに加熱する。
- c) 過塩素酸の白煙が発生し始めたら冷却し、硝酸 5 ml を加えて加熱する。過塩素酸の白煙が発生し始めたらビーカを時計皿で完全に覆い、引き続き加熱し、内容物が白色ないし淡黄色になったら時計皿を外し、乾固して白煙の発生が僅かになったら加熱を止め冷却する。
- d) 温水 50 ml 及び硝酸（1⇒10）10 ml を加え、水浴上又はホットプレート上で約 10 分間加温し、固形物を溶かす。
- e) 静置してから内容物をろ紙 No.5C を用いてろ過する。ビーカ及びろ紙を温硝酸（1⇒10）で洗い、同様にろ過する。全てのろ液を 100 ml の四フッ化エチレン製ビーカに移し、水浴上又はホットプレート上で穏やかに加熱し、蒸発乾固する。

f) 冷却後、先のピーカ内に塩酸（1⇒10）10 mlを加え、水浴上で加温して溶かす。冷却後、全量をフラスコ（25 ml）に移し、水を加えて定容とし、試料溶液とする。

g) 別に、ブランク試験用フィルタについてa) からf) の操作を行いブランク試料溶液を調製する。

この他に試料溶液の調製法として試料を捕集したフィルタを加圧分解装置で加熱分解する方法や王水によって加熱分解し、試料溶液を調製する方法³⁾ などがある。



ハイポリウムエアサンプラ

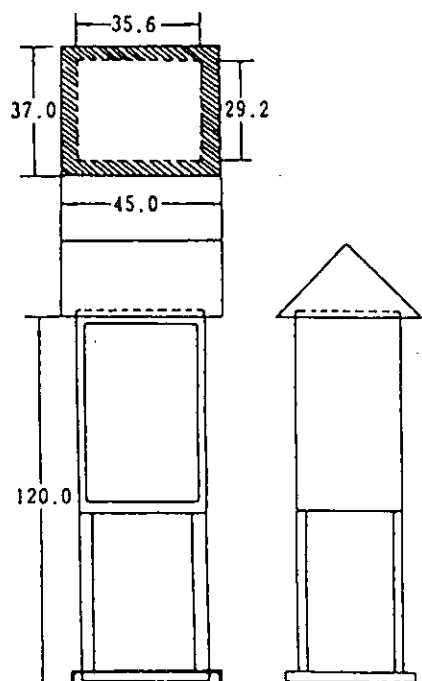
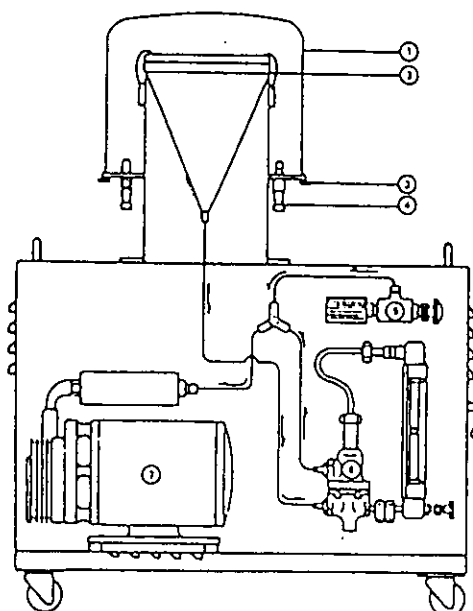


図 9.6.1 HV (上) とそのシェルタ (下)



- ① トップカバー (ステンレス)
- ② フィルターホルダー、フィルター押え金具 (ステンレス)
- ③ トップカバー締付ねじ (5 コプラスチック)
- ④ サイクロン (3 コ)
- ⑤ 調整弁及びフィルター (ステンレス)
- ⑥ 定差圧弁 (ステンレス、カバーはアクリル)
- ⑦ ロータリーポンプ (200 W)

図 9.6.2 LV の構造

(3) フレーン原子吸光分析条件設定と機器の調製

9.6.2の(2)で調整した試料溶液をアセチレン-空気フレーン中に噴霧し、各対象物質の分析線波長の吸収を測定して各対象物質の検量線から定量する。

フレーン原子吸光分析条件として以下のものを参考として適宜設定する。

分析線波長 : 各対象物質の波長 (例えばニッケルの場合 232.0 nm)

ランプ電流 : 各対象物質による (例えばニッケルの場合 10 mA)

ガス流量 : アセチレン (1.7 l/min)、空気 (15 l/min)

(4) 検量線の作成

各対象物質標準液 (100 μg/ml) の 0.3~6.0 ml を全量フラスコ (100 ml) に段階的に取り、試料溶液と同じ条件になるように酸を加えた後、水を加えて定容とする。0 を含めて 5 段階以上の標準濃度系列を調製する。

調製した各標準濃度系列について (3) の条件で操作し、検量線を作成する。

(5) ブランク試料溶液及び試料溶液についてそれぞれ (3) の条件で操作し、ブランク値 (M_b : μg/ml) 及び各対象物質質量 (M_s : μg/ml) を求める。

(6) 濃度の算出

(1) 式により各対象物質の大気中濃度を算出する。

$$C = \frac{(M_s - M_b) \times E \times S}{s \times V_{20}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

C : 大気中の各対象物質濃度 (μg/m³)

M_s : 試料溶液中の各対象物質濃度 (μg/ml)

M_b : ブランク試料溶液中の各対象物質濃度 (μg/ml)

E : (2) で得た試料溶液の量 (ml)

S : 試料を捕集したフィルタ面積 (cm²)

s : 分析に用いたフィルタ面積 (cm²)

V_{20} : 20℃における空気捕集量 (m³)

9.6.3 放射化分析法

(原理及び特徴)

放射化分析法は原子核反応に基づく分析法の総称である。なかでも、原子炉での高い密度の熱中性子により試料を照射し、生成する放射性核種のガンマ線を半導体検出器により測定する熱中性子放射化分析法は多元素の微量分析が可能な方法である。大気中粒子物質のように、得られる試料の量が少

なく、多くの微量元素が含まれるような試料の分析に適した方法であり、次のような特徴がある。

<長所>

- 高感度多元素分析法であり、大気中粒子物質の約30元素の分析が出来る
- 化学処理をしない非破壊分析が可能のため、分析中にコンタミ（汚染）が少ない

<短所>

- 実験用原子炉の施設及び半導体ガンマ線検出器等が必要である
- 放射性同位元素の半減期により、分析結果が全てわかるまでに約1ヵ月かかる
- 鉛、カドミウム等の元素の感度がわるい

(分析例)

環境庁の国設大気測定網においてローポリウム・エアサンプラーを用いてニトロセルロース製メンブラン・フィルターに捕集した大気中粒子物質を次のような条件で照射・測定して約30元素の分析を行っている⁹⁾。

- 原子炉及び熱中性子密度：立教大学原子力研究所、熱中性子密度 $0.5 \sim 1.5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$
- 熱中性子照射：3分間（短寿命核種用）及び6時間（中・長寿命核種用）の照射
- ガンマ線測定：数分後（短寿命核種）、数日後（中寿命核種）及び数週間後（長寿命核種）にそれぞれ5分間、20分間及び1時間の測定
- 測定元素：Ag, Al, As, Ba, Br, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, K, La, Lu, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V, W 及び Zn
- その他元素：Cd, Ni 及び Pb については蛍光 X 線分析法により分析

放射化分析法を用いて大気中の多元素成分を測定することによって、大気中粒子のキャラクタリゼーションを行うことができる。また、土壌（Al, Sc 等）、海塩（Na, Cl）、鉄鋼業（Mn, Fe 等）、廃棄物焼却（K, Sb 等）、重油燃焼（V, Ni 等）等の典型的な発生源の寄与率を指標元素の測定値から推定する、CEB（Chemical Element Balance）法にも用いられる。その他、黄砂現象の解明などの地球科学的研究にも用いられている。

9.7 浮遊粒子中の多環芳香族化合物の測定法^{1) 2)}

9.7.1 はじめに

大気中の浮遊粒子をハイボリュームエアサンプラまたはローボリュームエアサンプラを用いてフィルタ上に捕集し、ベンゼンエタノールで抽出した後、アセトニトリルに転溶して高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いれば、ベンゾ(a)ピレンのほか、ベンゾ(k)フルオランテン、ベンゾ(ghi)ペリレンなどの多環芳香族化合物の分析が可能である。

(1) 試料採取法

9.6.2に同じ

(2) 試験操作

①抽出操作

抽出方法にはベンゼンエタノールによる超音波抽出やジクロロメタンによるソックスレー抽出、CO₂またはN₂Oによる超臨界抽出などがある。ここでは最も簡易な超音波抽出法について記述する。

<超音波抽出>

試料フィルタの一定量を切り取り、小さく刻んだ後10 mlの共栓付き遠心沈殿管に入れる。

これにエタノール1 ml及びベンゼン3 ml*を加え、超音波発生装置内で15分間超音波をかけて、有機成分を抽出する。この抽出液を3,000 r.p.m.で15分間遠心沈殿処理した後、上澄液2 mlを他の遠心沈殿管に移し、5%水酸化ナトリウム3 mlを加え、ラボミキサーで約1分間激しく攪拌した後、3,000 r.p.m.で15分間遠心沈殿処理する。この有機層1 mlを他の試験管に移し、風乾後、一定量(通常1 ml)のアセトニトリルに再溶解させたものを分析用試料溶液とする。

* ; ジクロロメタンでも可能であるが比重が大きいため、アルカリ洗浄後下層から分取の際には相応の工夫と注意が必要となる。

②HPLCの分析条件の設定と機器の調整

HPLCの分析条件として以下のものを参考にして適宜設定する。

分離カラム : ODS, 5 μ m

内径4.6 mm ϕ , 長さ250 mm

移動層 : アセトニトリル/水=85/15

流量 : 1.0 ml/min

試料注入量 : 10 μ l

カラム温度 : 40°C

検出器 : 蛍光光度検出器 (励起波長 ; 365 nm, 蛍光波長 ; 410 nm)

③試料溶液の測定

①で調製した試料溶液をマイクロシリンジにより20 μ l程度分取し、HPLCに注入して、そのクロマトグラムを記録し、ベンゾ(a)ピレン(以下BaPとする)の保持時間のピークについて、ピーク面積またはピーク高さを求める。あらかじめ作成した検量線から注入した試料溶液中のBaP量を求める。

④検量線の作成

- a) BaP の標準溶液 (10 μg/ml) を濃度が 1 ~ 10 ng/ml になるようにアセトニトリルで希釈し、検量線作成用標準系列を作成する。標準系列は 0 を含めて 5 段階以上とする。
- b) ③の操作を行って、それぞれの BaP に相当するピーク面積または高さを求める。
- c) BaP の量とピーク面積または高さとの関係から検量線を作成する。

⑤ブランク試験

試料と同一のロットのフィルタについて①により試料溶液を調製し、③の操作を行い、ブランク値 (Ab ; ng) を求める。

⑥感度試験

標準濃度系列の中から検量線の間隔付近の濃度の標準溶液について③の操作を行い、感度の変動を確認する。この操作は 10 回の試料測定の間になくとも 1 回は行う。

(3) 濃度の算出

(2) の③及び⑤で得られた結果から (1) 式により大気中の BaP 濃度を算出する。

$$C = \frac{(A_s - A_b) \times ve \times E \times S \times 1,000}{v \times \left(\frac{4}{3}\right) \times vc \times V \times s \times \frac{293}{273 + t} \times \frac{P}{101.3}} \dots\dots\dots (1)$$

ここに

- C : 0℃における大気中の BaP 濃度 (μg/m³)
- A_s : HPLC に注入した試料溶液中の BaP の量
- A_b : BaP のブランク値 (ng)
- S : 試料を捕集したフィルタ面積 (cm²)
- s : 測定に用いたフィルタ面積 (cm²)
- E : 抽出液量 (ml、通常 4 ml)
- v : HPLC への注入液量 (μl)
- ve : 最終試料液量 (ml、通常 1 ml)
- vc : アルカリ処理後分取した液量 (ml、通常 1 ml)
- V : 空気吸引量 (l)
- t : 試料採取時の平均気温 (℃)
- P : 試料採取時の平均大気圧 (kPa)

9.8 大気中有毒物質（揮発性有機物質）の分析法

9.8.1 はじめに

揮発性有機物質は、その採取方法によってベンゼンや塩素系炭化水素（以下 VOCs）とアルデヒド類に区分される。なお金属類の有害物質については粒子状物質の項を参照されたい。

9.8.2 ベンゼン等揮発性有機物質（VOCs）の分析法¹⁻³⁾

(1) 試料採取

一般には内面を電解研磨したのち、さらに純粋クロム・ニッケル酸化薄膜を形成させた特殊な不活性化処理をしたステンレス容器（キャニスター）を用いて試料採取（図 9.8.1 参照）する。このほかに、固体吸着・溶媒抽出法⁴⁾ 等がある。

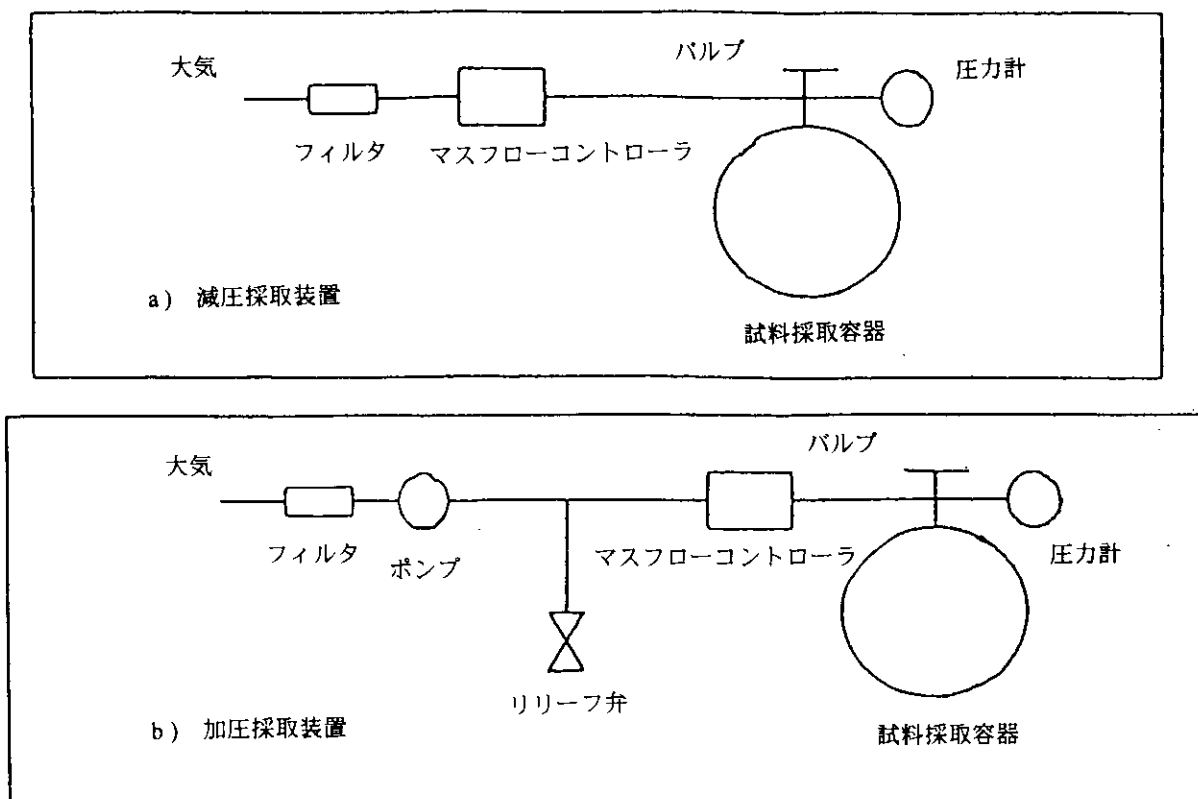


図 9.8.1 試料採取装置の概要³⁾

①減圧採取法（準大気圧採取法）

試料採取容器の先端部分を試料採取装置に接続する。試料採取容器のバルブを開いて、あらかじめ設定した流量で採取を開始し、24 時間経過後にバルブを閉じて試料採取を終了し、試料採取容器の先

端部分を密栓する。試料採取開始時及び終了時の時刻と試料採取容器内圧力を記録しておく。

②加圧採取法

試料採取容器の先端部分を試料採取装置に接続する。試料採取装置のポンプを作動させながらバルブを開いて、あらかじめ設定した流量で採取を開始し、24 時間経過後にバルブを閉じ試料採取を終了し、試料採取容器の先端部分を密栓する。試料採取開始及び終了時の時刻と試料採取容器内圧力を記録しておく。

(2) 試験操作

① GC/MS の分析条件の設定と機器の調整

GC/MS の分析条件として以下のものを参考にして適宜設定する。

使用カラム	: メチルシリコーン被覆キャピラリーカラム 内径 0.25 mm、長さ 60 m、膜厚 0.25 μ m
カラム温度	: 40 $^{\circ}$ C (5 min 保持) \Rightarrow 4 $^{\circ}$ C/min \Rightarrow 140 $^{\circ}$ C
インターフェース温度	: 220 $^{\circ}$ C
キャリアーガス	: ヘリウム 1 ~ 3 ml/min
イオン源温度	: 200 $^{\circ}$ C
イオン化電圧	: 70 eV
検出法	: SIM 法又はスキャン法

MS に質量校正用標準物質として PFTBA (Perfluorotri-*n*-butyl amine) 又は PFK (Perfluoro kerosine) を導入し、質量校正プログラムにより、マスバランス、分解能 {質量数 (m/z) = 18 ~ 300 程度の範囲を 1 質量単位以上} 等を測定目的に応じて所定の値に校正する。質量校正結果は測定結果とともに保存する。

②試料濃縮

減圧採取法により採取した場合、試料採取容器をゼロガスで 200 kPa (1.5×10^3 mmHg) 程度まで加圧し、試料採取容器内の圧力 P (kPa) を正確に読み取る。加圧による希釈倍率 (n) は (1) 式で与えられる。

$$(n) = \frac{P}{p} \dots\dots\dots (1)$$

ここで p は採取後の容器内の圧力 (kPa)

減圧採取後ゼロガスで加圧したもの又は加圧採取法で採取したものは、試料採取容器を試料導入装置に接続し、除湿しながら試料を一定流量で濃縮部に濃縮する。流量の制御はマスフローコントローラにより行い、一定時間で濃縮を終了する。

この際、検量線作成時と同量の内標準ガスの一定量を濃縮部に一緒に濃縮する。

濃縮部を加熱 (吸着濃縮管では 1 分間で 250 $^{\circ}$ C まで、低温濃縮管では 90 $^{\circ}$ C 程度) して測定対象物質を脱着し、液体窒素で冷却したクライオフォーカス部に再濃縮する。

③試料導入

クライオフォーカス部として中空管を用いるものでは、この中空管を一定時間加熱して VOCs を脱着し、分析カラムに導入して、GC の昇温プログラムを開始する。

カラム槽を冷却したり、分析カラムの先端部分を冷却する装置にあっては、GC のカラム槽温度の昇温プログラムをスタートして分析を開始する。

④SIM 法

- a) 各測定対象物質毎の測定質量数（参考のため例として表 9.8.1 に示す）を設定する。
- b) a) で設定した各測定対象物質の定量用質量数と確認用質量数によるクロマトグラムを記録し、両者の比を求める。
- c) 検出された測定対象物質のピーク面積又はピーク高さと同標準物質のピーク面積又はピーク高さを測り、両者の比を求め、あらかじめ⑥により作成した検量線を用いて試料中の各測定対象物質の質量（As : ng）を求める。

表 9.8.1 VOCs の GC/MS 測定用質量数

物質名	定量用質量数	確認用質量数
アクリルニトリル	52	53
塩化ビニルモノマー	62	64
ジクロロメタン	84	86, 49
1,2-ジクロロメタン	62	64
テトラクロロエチレン	166	164, 129
トリクロロエチレン	130	132, 95
ベンゼン	78	77
1,3-ブタジエン	54	53, 51
内標準物質	98	
トルエン d8	96, 70	
フルオロベンゼン	117	
クロロベンゼン d5		

⑤スキャン法

- a) 測定用のパラメータを設定する。
- b) a) で設定した条件で全イオンクロマトグラム（TIC）を記録する。
- c) TIC 上の各測定対象物質と同標準物質に対応するピークの面積又は高さを求める。測定対象物質と同標準物質とのピーク面積又はピーク高さの比を求め、あらかじめ⑥により作成した検量線を用いて試料中の各測定対象物質の質量（As : ng）を求める。

⑥検量線の作成

- a) 混合標準ガス及び内標準ガスの一定量を試料導入装置の濃縮部に直接導入した後、②から④又は⑤までの操作を行って、各測定対象物質のクロマトグラムを記録する。混合標準ガスの導入量を各測定対象物質の定量範囲に対応させて 5 段階以上（0 点を含む）に変えて、上の操作を繰り返す。
- b) a) で測定した検量線用混合標準ガスの中から各測定対象物質の GC/MS への注入量が検量線の間程度のもを選び、各測定対象物質毎に定量用質量数及び確認用質量数のクロマトグラムを記録する。それぞれのピーク面積又はピーク高さをを用いて各物質毎の定量用質量数及び確認用質量数と強

度比を求める。

c) それぞれの濃度毎に各測定対象物質の定量用質量数及び確認用質量数のピーク面積又はピーク高さの強度比を求め、b)で求めた各測定対象物質毎の強度比と一致することを確認する。各測定対象物質と内標準物質のピーク面積又はピーク高さの比を求め、各測定対象物質の量とピーク面積又はピーク高さの比による検量線を作成する。

⑦ブランク試験として②に従って容器に加湿ゼロガスを導入後、試料と同量の加湿ゼロガスを濃縮部で濃縮し、②から④又は⑤までの操作を行いブランク値 (A_b : ng) を測定する。

(3) 濃度の算出

前項(2)の④又は⑤及び⑦で得られた結果から(2)式を用いて試料中の各測定対象物質の濃度を算出する。

$$C = \frac{n(A_s - A_b)}{V \times \frac{293}{273 + t} \times \frac{P}{101.3}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで

- C : 20℃における大気中の各対象物質の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- n : 希釈倍率 (減圧採取法の場合)
- A_s : 検量線より求めた試料ガス中の各対象物質の質量 (ng)
- A_b : 検量線より求めたブランク試験ガス中の各対象物質の質量 (ng)
- V : 分析に供した試料ガス量 (ℓ)
- t : 試料分析時における温度 (℃)
- P : 試料分析時における大気圧 (kPa)

9.8.3 ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの分析法¹⁻³⁾

(1) 試料採取及び試験液の調製

樹脂製管 (内径 10 mm、長さ 20 mm 程度) に 2, 4-DNPH (2, 4-Dinitrophenyl hydrazine) 1 mg 程度の一定量を粒径 50~250 μm 程度の粒状シリカゲル 350 mg に被覆したものを充填したものを試料採取管とする。このほかに比較的高濃度の場合、2, 4-DNPH 溶液中に捕集し、四塩化炭素で抽出した後、ガスクロマトグラフ法で定量する方法^{1, 2)}もある。

①採取法

図 9.8.2 に採取装置を例示する。捕集管及びオゾンスクラバを開封し、オゾンスクラバ、捕集管、ポンプ、ガスメータを接続し、0.1 ℓ/min 程度の流量で 24 時間捕集する。試料採取終了後、捕集管を密栓する。

採取した捕集管はなるべく速やかに抽出操作を行う。オゾンスクラバは再使用しない。

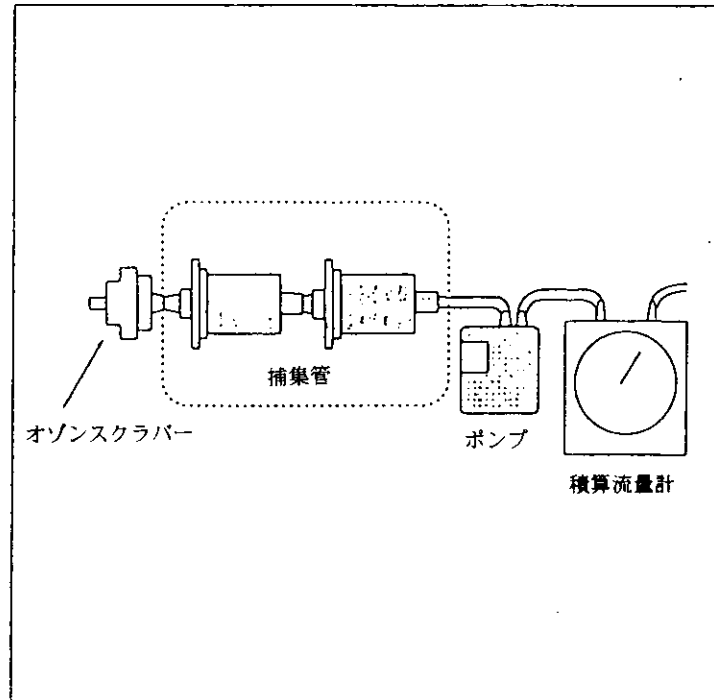


図 9.8.2 アルデヒド類のサンプリング (島津カタログ No.G179)

② 試験液の調製

捕集管を保存容器から取出し、両端の栓を取り外した後、上部にアセトニトリルを 5 ml 入れた液体用シリンジ (10 ml) を接続し、1 ml/min 程度の流速でアセトニトリルを捕集管内に穏やかに通して、アルデヒド類のヒドラゾン誘導体を内容積 5 ml の全量フラスコ (目盛り付き) に溶出させる。

溶出液にアセトニトリルを加えて、全量フラスコの標線に合わせ、密栓してよく振り混ぜる。この溶液を 2 本のバイアルに取り付け、この内の 1 本は HPLC (High Performance Liquid Chromatograph) 試験液とする。残りの一本は冷蔵庫に入れ、分析値が確定するまで保存する。

③ ブランク試験として、試料採取していない同一ロットの捕集管について、②の操作をしてブランク試験液を調製する。

(2) 試験操作

① HPLC の分析条件の設定と機器の調製

HPLC の分析条件として以下のものを参考にして適宜設定する。

- 分離カラム : ODS、5 μ m
4.6 mm \times 50 mm + 4.6 mm \times 250 mm
- 移動相 : アセトニトリル : 水 / 60 : 40
- 流量 : 1.0 ml/min
- 試料注入量 : 20 μ l
- カラム温度 : 40 $^{\circ}$ C
- 検出器 : UV (360 nm)

②試験液の測定

(1) ②で調製した試験液を、マイクロシリンジにより 20 μl 程度分取し、HPLC に注入し、そのクロマトグラムを記録し、FA-2, 4-DNPHz 及び AA-2, 4-DNPHz の保持時間のピークについて、ピーク面積又はピーク高さを求める。

FA-2, 4-DNPHz 及び AA-2, 4-DNPHz のピーク面積又はピーク高さをを用い、あらかじめ作成した検量線から、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドとして換算した物質質量 (A_s : ng) を求める。

③検量線の作成

a) ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの混合標準原液 (各 10 $\mu\text{g/ml}$) の 0 ~ 2 ml を段階的に全容フラスコ (10 ml) に取りアセトニトリルで定容とし検量線作成用標準系列を作成する。標準系列はゼロを入れて 5 段階とする。

b) ②の操作を行って、それぞれのホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドに相当するピークの面積又はピーク高さを求める。

c) ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの注入量 (ng) とピーク面積又はピーク高さとの関係から検量線を作成する。

④ブランク試験液を HPLC に注入し、②の操作を行いブランク値 (A_b : ng) を求める。

⑤感度変動試験として、検量線の間付近の濃度の標準溶液を HPLC に注入し②の操作を行う。この操作は 10 回の試料測定の間になくとも 1 回は行う。

(3) 濃度の算出

(2) の②及び④で得られた結果から (3) 式により大気試料中の各測定対象物質の濃度を算出する。

$$C = \frac{(A_s - A_b) \times E \times 1,000}{V \times V \times \frac{293}{273 + t} \times \frac{P}{101.3}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで

C : 20°Cにおける大気中のホルムアルデヒド又はアセトアルデヒドの濃度 ($\mu\text{g/m}^3$)

A_s : 検量線から求めた試験液中の各測定対象物質の質量 (ng)

A_b : 検量線から求めたブランク試験液中の各測定対象物質の質量 (ng)

E : 試験液量 (ml)

V : HPLC への注入液量 (μl)

V : ガスメータで計測した吸引大気量 (l)

t : 試料採取時の平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)

P : 試料採取時の平均大気圧 (kPa)

9.9 ダイオキシンの分析方法

9.9.1 はじめに

ダイオキシンまたはダイオキシン類といわれるものは、ポリ塩化ジベンゾ-*p*-ジオキシン(PCDD)とポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)の総称であり、PCDDの75異性体とPCDFの135の異性体がある。ダイオキシン類は毒性が青酸カリの5,000倍という猛毒物質であるので、その取扱いには十分な訓練を受けた分析者が必要であり、9.1.7にも記したように十分に管理された実験室設備、高分解能のGC/MS(6千万~1億円程度)と標準物質類(1千万~8千万円)、廃棄物処理・保管設備が必要である。

さらに、分析は極めて低いレベルの数値を扱うので、データの精度管理や品質管理が確立していなければならない。このような体制の整った実験室は實際上、先進国の特定の専門実験室に限定される。

9.9.2 試料採取

①環境大気試料の採取¹⁾

9.6で述べたハイポリウムエアサンプラーのろ紙の後段に、ポリウレタンフォーム2枚を装着した採取筒(内径84mm×長さ200mm)を取り付けて、700ℓ/min程度で約24時間吸引する。

用いるろ紙およびポリウレタンフォームは、あらかじめ加熱処理やソックスレーによる16時間以上の洗浄などを経て、妨害物質を除去しておかなければならない。また精度管理のため、同一ロットのろ紙およびポリウレタンフォームをトラベルブランクとして用意しなければならない。

②排ガス試料の採取^{1,2)}

ダスト成分は8.1で述べたJIS Z 8808に規定する2形の捕集器(フィルタ)により等速吸引を行い、ろ紙捕集部が120℃以下になるようにする。

ガス状成分はインピンジャーと吸着剤(XAD-2樹脂)カラムに捕集する。厚生省法ならびに環境庁法では、図9.9.1に示すように吸着剤カラムの前に3本、後ろに2本のインピンジャーを直列に接続し、前の2本には水(ヘキサン洗浄水)を、第4本目のインピンジャーにはジエチレングリコールを入れる。各部の接続部分にグリースを使用してはならない。なお、U.S.EPAのメソッド23A⁴⁾では、吸着剤カラムの前に水の入ったインピンジャーを置く代わりに凝縮管を用いるなど、従来の半揮発性有機物質の採取方法³⁾から変更されている。

試料の採取は原則3m³以上(4時間平均)を基準とし、燃焼状態が安定した時点から最低1時間以上経過した後に開始する。

用いるろ紙および吸着剤等は、あらかじめソックスレーによる洗浄を行うなどして、妨害成分を除去しておく。また、試料の保存やブランク試験も細かく規定されている。

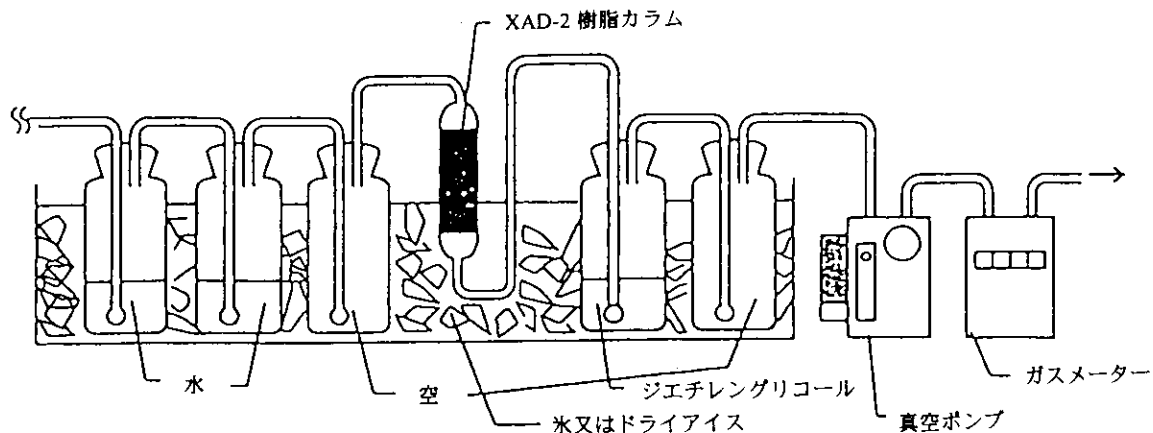


図 9.9.1 ろ紙捕集部より以降の排ガス採取装置の例

9.9.3 分析操作

サンプリングした試料中のダイオキシン類は個別に抽出し、水分を除去して濃縮した粗抽出液を、各種カラムクロマトグラフィーによりクリーンアップを行う。最終抽出液が無色になるまでクリーンアップした後、高分解能 GC/MS (HRGC/HRMS) に注入して分析する。図 9.9.2 は、厚生省マニュアル²⁾ に示された排ガス試料の分析フローの例である。

分析は四塩素化物 (T_4CDD, T_4CDF) から八塩素化物 (O_8CDD, O_8CDF) までの全ての異性体および塩素同位体 ^{37}Cl を含むダイオキシン類の全てを、選択イオンモニター (SIM、Selected Ion Monitor) 法で同定し定量する。

ダイオキシン類を内標準法により同定・定量するために、標準物質として C_{12} -PCDD 及び PCDF を 17 種類、内標準物質として $^{13}C_{12}$ -PCDD 及び PCDF を 16~19 種類、それと $^{37}Cl_4$ -PCDD を 1 種類用意する。内標準物質の添加 (スパイク) は、サンプリングスパイク、クリーンアップスパイク、シリンジスパイクについてそれぞれ別の異性体を用いる。

クリーンアップスパイクは、各塩素化物ごとに ^{13}C で標識された内標準として PCDD 及び PCDF について計 10 種類を用意し、クリーンアップの開始前に試料に添加する。(ただし、U.S. EPA 法では、OCDF については妨害を避けるために入れないので、計 9 種類をスパイクする。) この目的は極微量分析を可能にする同位体希釈法による定量を行うためと、クリーンアップが確実に行われたか否かを回収率によってチェックするためである。なお、U.S. EPA 法では内標準を抽出操作を始める直前に入れ、これにより抽出およびクリーンアップ操作を通した回収率をチェックするよう定められている。

シリンジスパイクは、分析機器の感度変化の影響を避けるため、GC/MS に注入直前に入れ、全ての濃度をシリンジスパイクの応答との相対濃度となるようにする。

試料のコンタミネーションの影響が小さいことを保証するため、採取用の吸着剤にはサンプリングスパイクをし、回収率を見る。また、実験室での全ての操作を実試料と同一に行い、全操作ブランクを分析定量し、ブランク値が定量下限以下であることを確認する。

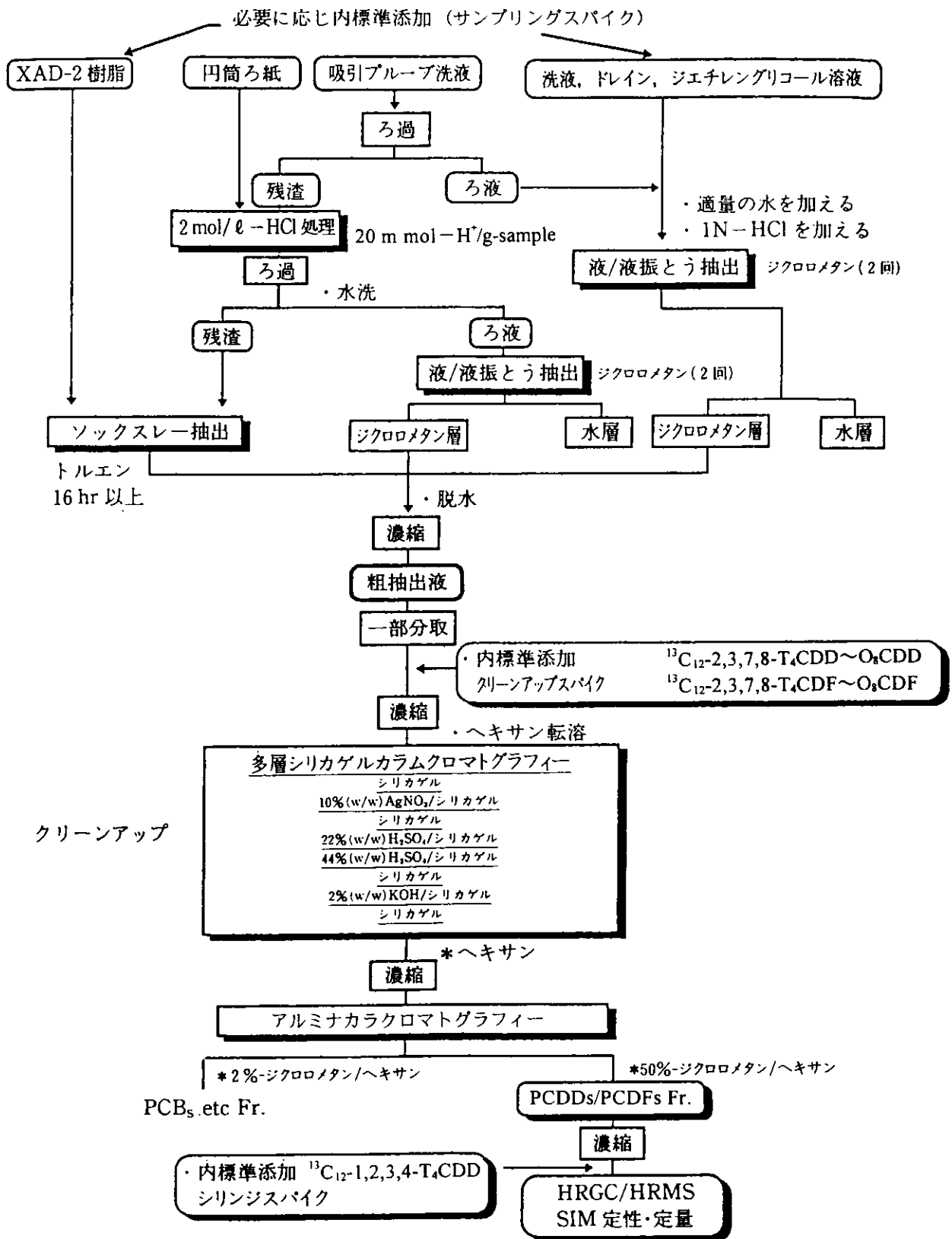


図 9.9.2 排ガス試料の分析フローの例

9.9.4 濃度の表示

実測濃度として、四塩素化物から八塩素化物の各同族体について、表 9.9.1 に表示するようにそれぞれ 2, 3, 7, 8-位塩素置換異性体の濃度と、それ以外の異性体の合計濃度で表示すると共に、その総和を表示する。

また、強い毒性を有する 17 異性体について、定量された濃度にダイオキシン類の毒性等価係数 (TEF, Toxicity Equivalency Factor) を乗じ、毒性当量 (TEQ, Toxic Equivalents) を求めて合計する。環境大気では pg-TEQ/m^3 、排ガスでは $\text{ng-TEQ/m}^3_{\text{N}}$ (乾きガス量) として表す。

表 9.9.1 ダイオキシン類の表示

塩素置換体	PCDDs		PCDFs	
	同族体	異性体	同族体	異性体
四塩素化物	T ₄ CDDs	2, 3, 7, 8 - その他	T ₄ CDFs	2, 3, 7, 8 - その他
五塩素化物	P ₅ CDDs	1, 2, 3, 7, 8 - その他	P ₅ CDFs	1, 2, 3, 7, 8 - 2, 3, 4, 7, 8 - その他
六塩素化物	H ₆ CDDs	1, 2, 3, 4, 7, 8 - 1, 2, 3, 6, 7, 8 - 1, 2, 3, 7, 8, 9 - その他	H ₆ CDFs	1, 2, 3, 4, 7, 8 - 1, 2, 3, 6, 7, 8 - 1, 2, 3, 7, 8, 9 - 2, 3, 4, 6, 7, 8 - その他
七塩素化物	H ₇ CDDs	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 - その他	H ₇ CDFs	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 - 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 - その他
八塩素化物	O ₈ CDD	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 -	O ₈ CDF	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 -
Σ (四塩化物～八塩化物)	PCDDs	—	PCDFs	—

9.10 NO、NO₂簡易測定法

9.10.1 はじめに

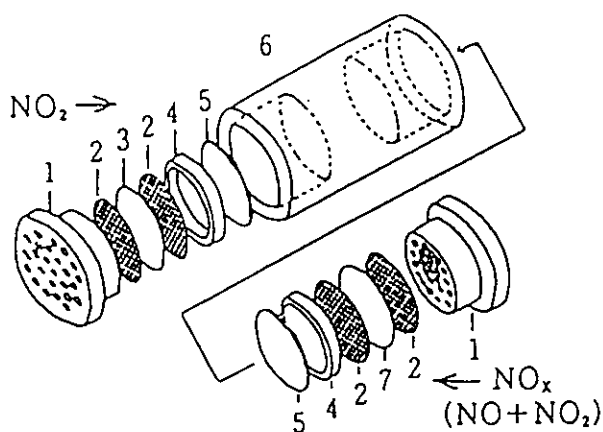
NO₂を主とした簡易測定法^{1~5)}は9.12に述べる疫学調査の分野では注目されている方法の一つである。PTIO (2-Pheny 1-4.4.5.5-tetramethylimidazoline-3-oxide-1-oxyl) を、捕集剤であるTEA (Triethanolamine) に混合したものをを用いるとNOとNO₂を同時に測定できる。

このことを利用し、分子拡散原理による小型サンプラを用いて大気中のNO、NO₂を簡便に測定する方法⁵⁾について述べる。本方法のサンプラー及び付属品は市販されており、このほかにもNO₂測定用のバッチ式パーソナルサンプラー⁴⁾などが市販されている。

9.10.2 サンプラーの構造と捕集方法

サンプラーの捕集部はNO₂とNO_xに分かれ、大気中のNOとNO₂はそれぞれの捕集部へ捕集される。サンプラーの構造を図9.10.1に示す。

NO₂は図9.10.1の2の部分に捕集され、一方NO_x (NO+NO₂) は図9.10.1の7の部分に捕集されることから、捕集されたNO量はNO_x-NO₂によって求められる。



- 1 ポリエチレン多孔栓 (円筒型吸引口 25 個)
- 2 ステンレス金網 (80 メッシュ)
- 3 NO₂ 捕集エレメント
- 4 テフロンリング (厚さ 2 mm)
- 5 テフロン板 (厚さ 1.5 mm、直径 14 mm)
- 6 アクリル円筒 (内径 15 mm、外径 19 mm、長さ 26 mm)
- 7 NO_x 捕集エレメント

図 9.10.1 PTIO 法 NO_x サンプラーの構造図⁵⁾

9.10.3 サンプラーの準備

(1) 試薬の調整

① NO₂ 吸収液 (10% V/V TEA・アセトン溶液)

トリエタノールアミン (特級) 20 ml をアセトン (特級) に溶かし、200 ml とする。

② NO_x 吸収液 (PTIO・TEA 溶液) *

PTIO 0.3 g を NO₂ 吸収液に溶かし、10 ml とする。

*) PTIO は常温でも分解するので要時調整し、冷却保存が望ましい。

(2) NO₂ 捕集エレメントの調整

直径 14.5 mm に打ち抜いたセルロース繊維ろ紙 (東洋 No.50) をテフロン網上に置き、マイクロシリンジを用いて、NO₂ 吸収液 50 μl をろ紙上に担持 (dripping) させ、NO₂ 捕集エレメントとする。

(3) NO_x 捕集エレメントの調整

直径 14.5 mm に打ち抜いたセルロース繊維ろ紙 (東洋 No.50) をテフロン網上に置き、マイクロシリンジを用いて、NO_x 吸収液 50 μl をろ紙上に担持 (dripping) させ、NO_x 捕集エレメントとする。

9.10.4 サンプラーの組み立て

サンプラーの左右の奥側にそれぞれテフロン板、テフロンリングをいれる。次に、NO₂ 及び NO_x 捕集エレメントをステンレス金網 (80 メッシュ) 2 枚で挟み、それを各捕集部に納め、ポリエチレン多孔栓をはめこみ固定する (図 9.10.1 分解構造図を参照)。このサンプラー本体を付属の安全ピン・クリップ付き固定バッチに装着し、ただちにチャック付きポリ袋に入れ、スチロール瓶 (70 ml 広口薬剤保存防湿容器が適当) 中に密栓保存する。

9.10.5 窒素酸化物の捕集

- (1) サンプラーを被検場所に暴露する。暴露時間は 24 時間を標準とする。このサンプラーを 24 時間暴露した場合、数 ppb から数 ppm までの濃度範囲の NO_x 濃度の測定が可能である。
- (2) 屋外空気の測定に用いるときは、付属シェルターの中にサンプラーを固定し、直射日光を避けるとともに、雨が直接当たらないようにする。
- (3) 個人暴露量の測定に用いるときは、サンプラーを着衣などに着けて暴露する。

9.10.6 分析方法

(1) 試薬の調整

① スルファニル溶液

スルファニルアミド (特級) 80 g をリン酸 (特級) 200 ml と水約 700 ml を混合した溶液に溶かし、更

に水を加えて1 ℓとする。冷暗所に保存する。

② NEDA 溶液

N-(1-ナフチル) エチレンジアミン二塩酸塩 0.56 g を水 100 ml に溶かす。冷暗所に保存する。

③ 発色試薬

スルファニル溶液 10 容と NEDA 溶液 1 容を混合する。使用時調整する。

④ NO₂ 標準原液

亜硝酸ナトリウムを 105~110℃ で 4 時間以上乾燥し、その 1.50 g を精秤し、水に溶かして 1 ℓ とする。この溶液 1 ml の中に NO₂ 100 μg を含む。

⑤ NO₂ 標準溶液

NO₂ 標準原液を水で 100 倍に希釈し、さらにその 0, 2, 4, 6, 8, 10 ml をとり、それぞれ水で希釈し、100 ml とし標準液 (0~1.0 μg NO₂/ml) を使用時調整する。

(2) 分析操作

- ① 暴露されたサンプラーの NO₂ 捕集部及び NO_x 捕集部の金網と共に、捕集エレメントをピンセットで取出し、それぞれ 25 ml 共栓試験管に入れる。
- ② 水 8 ml を加え、30 分間抽出後、軽く振り混ぜる。
- ③ これを 2~6℃ に冷却後、発色試薬 2 ml 加えると同時に速やかに攪拌し、冷却したまま 30 分間放置する。
- ④ 室温に戻し、波長 545 nm 付近の最大吸収波長で吸光度を測定する。
- ⑤ 暴露しなかった捕集エレメントについて同様の操作を行い、空試験値を測定する。
- ⑥ 段階的に調整した NO₂ 標準液 (0~1.0 μg NO₂/ml) の一定量 (8 ml) を正確にとり、発色試薬 2 ml を加え、同様の発色操作を行い検量線を作成する。

(3) 濃度の算出

NO、NO₂ 濃度を (1)、(2) 式で計算する。

$$\text{NO 濃度 (ppb)} = \alpha_{NO} \times \frac{W_{NOx} - W_{NO_2}}{t} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{NO}_2 \text{ 濃度 (ppb)} = \alpha_{NO_2} \times \frac{W_{NO_2}}{t} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

W_{NOx}, W_{NO_2} : 検量線に照らして求めた NO_x 及び NO₂ 捕集エレメントに捕集された NO₂ 量 (ng)

$\alpha_{NO}, \alpha_{NO_2}$: ppb 濃度換算係数 (ppb · min/ng)

t : 暴露時間 (min)

通常、気温 20℃、相対湿度 70% とみなし、

$$\alpha_{NO} = 60$$

$$\alpha_{NO_2} = 56 \text{ として算出する。}$$

9.11 悪臭測定法

9.11.1 悪臭測定法の概要

悪臭の測定法は、臭気物質を分析機器を用いて測定する機器測定法と、人間の嗅覚により臭気の強さを判定する官能試験法の2方法に分類できる。悪臭は感覚公害であるとの観点では、官能試験法が直接的で悪臭の被害感をとらえやすい測定方法であると考えられることができるが、測定結果の客観性という意味では問題がある。一方、機器測定法は、その測定結果について、各物質濃度と臭気の強さとの関係（Weber-Fechnerの法則）からの評価を行い¹⁾、悪臭の測定方法としているが、発生源ごとの的確に臭気成分を把握、発生状況を評価することが容易ではない。このように機器測定法、官能試験法ともに一長一短があり、両方法を活用することにより、より詳細に悪臭を評価することができる。

悪臭防止法では、当初臭気規則物質を定め（22物質）、機器測定法により濃度を求め、その濃度による規制を行ってきたが、平成7年の悪臭防止法の改正により、官能試験法（3点比較式臭袋法）も併せて採用することになっている。

なお、このほかに悪臭の測定法として、においセンサーが市販されているが、物質に対する選択性や、汎用性のあるにおいセンサーはまだ開発されていない。

9.11.2 機器測定方法

(1) 機器測定法の概要^{2) 3)}

悪臭物質は多くの場合、極低濃度でも「におい」を感じることができる。そのために悪臭物質をそのまま分析機器に導入したのでは、多くの場合不検出となる。そのために悪臭物質を測定するには、臭気ガスを濃縮した上で機器に導入する必要がある。また、臭気ガス中には多くの物質が混在しており、サンプリング段階で選択的に試料を捕集したり、前処理で悪臭物質のみを分取し、また分析機器に物質選択性のある検出器を用いる必要がある。

臭気物質の測定には、試料捕集、濃縮、前処理、分析の各操作過程がある。捕集と濃縮及び前処理は同時に行われる場合があり、また省略される操作もある。測定方法は試料捕集方法別に分類することができる。①袋、びん（ガラス、ステンレス製）等の容器中に臭気ガスを捕集する。（容器捕集法）②臭気物質と反応する溶液中に捕集する。（溶液吸収法）③反応液を塗布した吸着剤を充填した捕集管中に捕集する。（固体反応管法）④反応液を塗布したろ紙上に捕集する。（反応ろ過捕集法）⑤吸着剤を充填した捕集管内に試料を捕集する（常温吸着法）。これらの試料捕集法のうち、②～⑤は試料の濃縮が同時に行われる。①の容器捕集方法の場合のみ別の濃縮操作が必要となる。①は揮発性の成分を対象としており、濃縮方法として基本的には、ガラス管内に吸着剤を充填したU字型のガラス管を液体酸素等の冷媒で冷却し、この中を容器に採取した臭気ガスを通過させることにより濃縮できる（図9.11.1参照⁴⁾）。この濃縮したガラス管を加熱し臭気成分を機器に導入する（低温濃縮法）。その他、この容器に②～⑤の捕集方法を組み合わせて測定することができる。②～④の方法は全て反応性のガスを対象としている。酸性ガスの場合、塩基性の試薬を各媒体に添加し、この中を試料ガスを通し、酸・塩基反応により捕捉する。捕捉した酸性ガスは、強酸を加え遊離させ分析に供する。塩

基性ガスの場合はこの反対の操作となる。⑤の常温吸着法は、低温濃縮法より沸点の高い物質に対して適用し、常温で捕集管の中を試料ガスを通気させた後、管を加熱するか、溶媒で抽出し、機器に導入する。

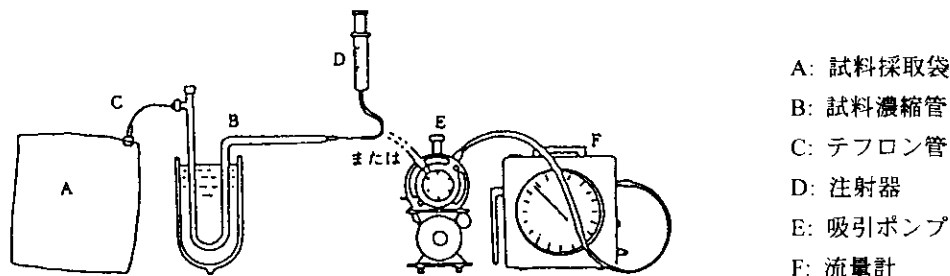


図 9.11.1 低温濃縮法の概要⁴⁾

(2) 悪臭分析の機器

臭気はその成分がガス状であり、また多くの成分が混在していること、また、検知感度が高い等の理由により、ガスクロマトグラフ或いはガスクロマトグラフ質量分析計が用いられている。これらの機器は、大きく分けて注入口、カラム、検出器より構成され、注入された試料ガスがカラムにより各成分に分離され、検出器へ導入され分析が行われる。検出器は、汎用的な応答を示す検出器と、官能基に選択性を持つ検出器が市販されている。その概要を表 9.11.1 に示す。

表 9.11.1 ガスクロマトグラフ検出器の概要

検出器	分析対象物質	検出量 (pg)	直線範囲
水素炎イオン化検出器 (FID)	一般的有機化合物	50~	10 ⁶
炎光光度検出器 (FPD)	硫黄、リン化合物	10~	10 ²
アルカリ熱イオン化検出器 (FTD、NPD)	窒素、リン化合物	10~	10 ⁴
電子捕獲型検出器 (ECD)	有機ハロゲン、有機金属	0.1~	10 ³
光イオン化検出器 (PID)	不飽和化合物	50~	10 ⁶
電気伝導度検出器 (ELCD)	ハロゲン、硫黄、窒素化合物	5~	10 ⁶
質量分析計 (MS) スキャン法	一般的有機化合物	10~	10 ⁶
質量分析計 (MS) SIM 法	一般的有機化合物	0.01~	10 ⁶

(3) 特定悪臭物質の測定方法

悪臭防止法では、規制対象物質（特定悪臭物質）として、硫化水素をはじめとする 22 物質につき測定方法が定められている。各物質ごとの測定方法の概要を表 9.11.2 に示す。

表 9.11.2 特定悪臭物質の測定方法の概要

特定悪臭物質	別表*	区分	捕集法 (採取法)	濃縮法	採取量 (定量下段)	測定方法	使用機器
アンモニア	1	敷地境界 排出口	吸収法	溶液捕集 (試料液の調整)	50 0 (0.05 ppm)	吸光度法	吸光度計 (分光光度計)
硫化水素 メチルカブタン 硫化メチル 二硫化メチル	2	敷地境界 排出口 (硫化水素を除く)	試料採取袋 (バッグ採取)	低温濃縮-加熱導入法	1 0 (0.0002 ppm) 1 0 (0.0002 ppm) 1 0 (0.0005 ppm) 1 0 (0.0005 ppm)	ガスクロマトグラフ法	炎光光度検出器 (FPD) 付ガスクロマトグラフ分析装置
トリメチルアミン	3	敷地境界 排出口	吸収法	溶液捕集 アルカリ分解 - 低温濃縮 - 加熱導入法	50 0 (0.0005 ppm)	ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器 (FID) 付ガスクロマトグラフ分析装置
アセトアルデヒド プロピオンアルデヒド ノルマルブチルアルデヒド イソブチルアルデヒド ノルマルハレアルデヒド イソハレアルデヒド	4	敷地境界 排出口 (アセトアルデヒドを除く)	試料採取袋 カートリッジ法	2,4-DNPH 捕集・試料調整	50 0 (注)	ガスクロマトグラフ法	アルカリ熱イオン化検出器 (FTD) 付ガスクロマトグラフ分析装置
イソブタノール	5	敷地境界 排出口	試料採取袋 (バッグ採取)	常温吸着-加熱導入法	2 0 (0.0005 ppm)	ガスクロマトグラフ質量分析法	電子衝撃イオン化法 (EI 法) が可能なガスクロマトグラフ質量分析装置 (SIM 法)
酢酸エチル メチルイソブチルケトン	6	敷地境界 排出口	試料採取袋 (バッグ採取)	低温濃縮-加熱導入法 常温吸着-加熱導入法 低温濃縮 常温吸着 (加熱導入法)	1 0 (0.01 ppm) 1 0 (0.01 ppm)	ガスクロマトグラフ法 ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器 (FID) 付ガスクロマトグラフ分析装置 水素炎イオン化検出器 (FID) 付ガスクロマトグラフ分析装置
トルエン スチレン キシレン	7	敷地境界 排出口 (スチレンを除く)	試料採取袋 (バッグ採取)	低温濃縮 常温吸着 (加熱導入法)	1 0 (0.01 ppm)	ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器 (FID) 付ガスクロマトグラフ分析装置
プロピオン酸 ノルマル酪酸 ノルマル吉草酸 イソ吉草酸	8	敷地境界	吸着法	アルカリビーズ捕集 ギ酸注入-加熱導入法	25 0 (0.005 ppm) 25 0 (0.005 ppm) 25 0 (0.005 ppm) 25 0 (0.005 ppm)	ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器 (FID) 付ガスクロマトグラフ分析装置

(注) アセトアルデヒド (0.005 ppm)、プロピオンアルデヒド (0.005 ppm)、ノルマルブチルアルデヒド (0.005 ppm)、イソブチルアルデヒド (0.0005 ppm)、ノルマルハレアルデヒド (0.002 ppm)、イソハレアルデヒド (0.002 ppm)
* 別表とは、特定悪臭物質の測定の方法 (環境庁告示) の別表で、1、2、……は第1、第2、……ということである。

(4) その他の機器測定方法

(3) で示した測定方法は、機器や整備や熟練した測定者が必要であり、十分な測定体制を整備することが困難である。そのため、作業環境測定等の分野で広く使われている検知管を、簡便な測定方法として悪臭分析に活用することが検討されている。特定悪臭物質のうち、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、アセトアルデヒド及びスチレンの5物質について、作業環境用検知管を改良し、実用に供することができるようになった。悪臭用検知管の仕様を表9.11.3に示す⁵⁾。なお、検知管での試料採取は、検知管に吸引ポンプ及び積算流量計を接続し、多量の試料ガスを採取する。

表9.11.3 悪臭物質用検知管の仕様⁵⁾

対象物質	メーカー	判定範囲 (ppm)	採取ガス量	反応原理	妨害ガス	変色状況
アンモニア	G社	0.5 ~5.0	750mℓ	$2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	7メチル類、シアミン類2 ppm以上で類似の変色 NH ₃ の1/15以上の共存で高めの誤差	桃色→黄色
	K社	0.3 ~5.0	500mℓ	$2\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	7メチル類	桃色→黄色
硫化水素	G社	0.01 ~0.2	750mℓ	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HS}^- + \text{Cl}^- + \text{HCl}$	CH ₃ SH、SO ₂ 、NO ₂ 、NH ₃ の影響なし	黄色→紫色
	K社	0.02 ~0.2	1500mℓ	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HS}^- + \text{Cl}^- + \text{HCl}$	0.02 ppm以下のCH ₃ SHは影響なし	黄色→桃色
スチレン	G社	0.2 ~4.0	1500mℓ	発煙硫酸による縮重合	7メチル類2 ppmで黄褐色の発生、10倍以上の7メチル類、7メチル類、7メチル類は変色を薄める	白色→黄色
	K社	0.4 ~4.0	2000mℓ	発煙硫酸による縮重合	7メチル類、7メチル類、7メチル類、酢酸イソブチルが各10 ppm以下で影響なし	白色→黄色

9.11.3 官能試験法^{6) 7)}

悪臭の官能試験法は、人間の嗅覚を用いてにおいを測定する方法である。人間の嗅覚はにおいを全体的に捉える利点がある。臭気の官能試験方法には、数値化の方法により臭気の希釈倍数（臭気濃度、臭気指数）を求める方法と臭気の強度を求める方法が適用されている。希釈倍数を求める方法としては、3点比較式臭袋法が、臭気強度を求める方法としては6段階強度尺度を用いた方法が用いられている。

(1) 3点比較式臭袋法

臭気を徐々に希釈して、においが人間の嗅覚で検知しなくなるまでの希釈率を求める方法としては、セントメータ法、オルファクトメータ法、注射器法等が報告されているが、注射器法の欠点を改良した3点比較式臭袋法が我が国において広く用いられてきており、平成7年の悪臭防止法の改正により、新たな悪臭測定法として導入された。

3点比較式臭袋法は、3ℓの付臭臭袋1袋と無臭臭袋2袋をパネルに渡し、その中から図9.11.2に示す操作法で付臭袋を選択する。正解した場合はさらに希釈した付臭臭袋について同様の操作を行い、不正確になるまで、試験を行い、所定の方法で希釈倍率（臭気濃度、臭気指数）を求める方法である。希釈方法は、3倍系列の下降法により実施する。3点比較式臭袋法の臭気指数の計算方法を図9.11.3に示す。なお、試料の採取はプラスチックバッグ（マイラーバッグ、テドラーバッグ等）及びガラスびんにより捕集する。

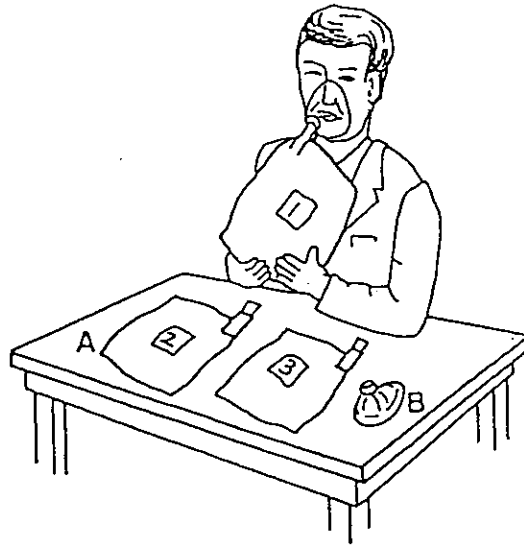


図 9.11.2 3点比較式臭袋法の操作法⁷⁾

希釈倍数	30	100	300	1,000	3,000	1万	各ハネルの 閾値	最大・最小 カット
対数値	1.48	2.00	2.48	3.00	3.48	4.00		
ハ ネ ル	A	/	/	○	○	×	3.24	
	B	/	/	○	×			カット
	C	/	/	○	○	○		カット
	D	/	/	○	○	○	×	3.74
	E	/	/	○	○	×		3.24
	F	/	/	○	○	○	×	3.74

図 9.11.3 3点比較式臭袋法の計算方法⁶⁾

(2) 6段階臭気強度

臭気強度の測定は、環境で測定者が直接においを嗅ぎ、そのときの臭気の強さの感じ方を表に示した尺度に基づいて数値化し、測定する方法である。測定法は、3人以上の測定者が、各調査地点で10秒おきにおいを嗅ぎ、臭気の強度を図 9.11.4⁸⁾に示すようにグラフ上にプロットする。この操作を同一地点で、5分間連続して行う。測定者の平均を各時間ごとにまとめ、測定地点の臭気の強さを評価する。

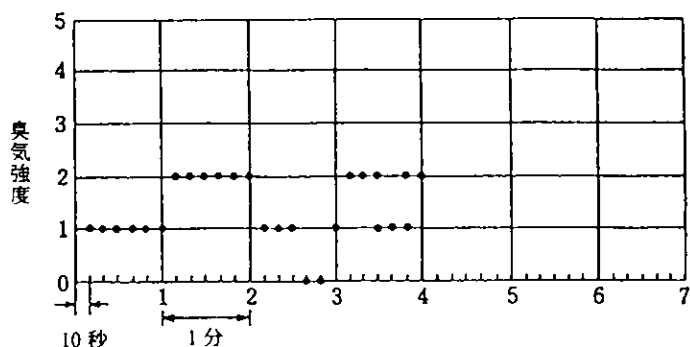


図 9.11.4 6段階臭気強度表示方法⁸⁾

臭気指数の算出

(1) 環境試料

臭気指数は、次の式により算出する。

ただし、当初希釈倍数に係る平均正解率が0.58未満の場合にあっては、臭気指数の値は、 $10 \log M$ 未満として表示するものとする。

$$Y = 10 \log \left(M \times 10^{\frac{Y_1 - 0.58}{Y_1 - Y_0}} \right)$$

この式において、 Y は臭気指数、 M は当初希釈倍数、 r_1 は当初希釈倍数に係る平均正解率、 r_0 は当初希釈倍数を10倍したときの平均正解率を表すものとする。

(2) 排出口試料

ア 次の式により試料臭気の希釈倍数に係る各パネルの閾値を算出する。

$$X_i = \frac{\log M_{1i} + \log M_{0i}}{2}$$

この式において、 X_i は試料臭気の希釈倍数に係るあるパネルの閾値、 M_{1i} は当該パネルが付臭におい袋を選定した場合における当該におい袋に係る希釈倍数の値のうち最大のもの、 M_{0i} は当該パネルが無臭におい袋を選定した場合又は選定することが不能であった場合における付臭におい袋に係る希釈倍数の値を表すものとする。

イ 各パネルについて算出した X_i のうち最大の値と最小の値をそれぞれ一つずつ除き、当該除かれた値以外の値を加算して得た値をパネルの人数から2を減じた値で除す。

ウ 次の式により算出する。

$$Y = 10 X$$

この式において、 Y は臭気指数、 X は上記イにより算出した値を表すものとする。

9.12 健康影響調査法（疫学調査法）

9.12.1 はじめに

大気汚染物質の健康への影響を調べるためには、大きく分けて動物実験による方法と人の疫学調査がある。動物実験の結果は人に直接外挿できない面もあるが、単一の物質で曝露濃度を明らかにして実験することにより、傷害のメカニズムを研究することにも適しており、また発がん実験などには特に有用である。動物実験の方法等は他の機会にゆずり、ここでは人の疫学調査について述べるが、特に大気汚染と人の健康に関する疫学調査を行う時に注意すべき点を中心に述べる。

9.12.2 大気汚染の疫学的評価のステップ

大気汚染が引き起こす呼吸器の疾患は非特異的疾患であり、大気汚染との因果関係を明らかにするのは困難なことが多い。そのため、疫学のデザインには十分注意する必要がある。一般的に疫学的アプローチとしては仮説を設定し、その検証を行う。そのためのステップとして、①対象集団の特徴を十分把握する。②原因、仮説としてあげられた大気汚染物質の曝露の状態を把握する。③因果関係にあるのではないかと考えられる健康傷害、疾患の分布や頻度を把握する。④量－反応関係を把握し、因果関係の推定や判定を行う。⑤適切な対策や予防措置を講ずるなどの事項があげられる。

9.12.3 疫学調査の実際

(1) プロトコールの作成

仮説の妥当性を検討するためにはしっかりしたデザイン、プロトコール（調査計画書、行動計画書）が重要である。調査は多くの人々が関与することが多いので、文書化して、総ての人が調査内容を理解し共有することが望ましい。

(2) 対象集団の選定

大気汚染が健康に悪いという仮説を検定するならば、対象集団は高濃度の大気汚染地区ということになろうし、比較する対照集団として田園地帯などの大気汚染のあまりない集団を選ぶことになる。この場合、この母集団の特徴を把握する必要がある。例えば呼吸器疾患を引き起こす様な曝露を受ける職場がこの地域に多くないかということも重要である。また、攪乱要因として、喫煙、年齢、性別なども問題となる。これらの処理としては、攪乱要因をそのまま認めて、対照集団と意図的に同じにする方法や、層化抽出法といって社会層、年齢層等を層化して均等化し攪乱要因を消去する方法がある。

(3) 調査対象者の選定

調査対象集団が決ると、今度はその中に属する人に調査を行うこととなる。出来れば全数調査が理想であるが、多くの場合予算や人手の関係で抽出調査となる。抽出方法としては、ケースコントロー

ルスタディ（患者対照調査）、無作為抽出法などがある。いずれにせよ、対象者ができるだけ母集団を代表していることが大切である。母集団と抽出した対象者数の比率も大切である。分析を行う際に統計的に正しく検定出来るか否かが重要である。そのためにはどの位の標本数が必要かを逆算によって求めることができるので、出来ればそれによって標本数を決定するとよい。

(4) 一般的調査項目

- * 本人に関する項目：性、年齢、人種、身体状況、既往歴、社会経済的状况、居住歴、職業、宗教、学歴、個人的習慣（喫煙、食習慣等）
- * 本人の居住環境に関する項目：居住地（道路沿道、工場近傍等）、一戸建、集合住宅、気密性、建築年数、冷暖房の種類等
- * 環境自体の項目：温度、湿度、風向、地形等

(5) 呼吸器の症状に関する調査

- * BMRC（英国医学研究協議会）質問表

ロンドンのスモッグによる過剰死亡が問題になった後、慢性気管支炎を疫学的に把握する方法として開発されたものがBMRC標準質問表で1960年に公表された。その後、改訂されて、実際に現在使用されているのは1976年版である。BMRC質問表は面接調査なので、均一な結果を得る為には、面接者の訓練が重要である。現在まで約12カ国語に翻訳されているが、国民の習慣、風俗に合わせて適切な用語を使用する事が大切であり、一部を変更した場合には、その妥当性の検討も必要である。

- * ATS-DLD（米国胸部疾患学会）質問表

アメリカ胸部疾患学会の胸部疾患部の専門家が作成したもので、1978年に公表された。BMRC質問表の用語がアメリカ人に多少違和感があったために、これを参考にして大人用と子供用が作られている。慢性気管支炎およびぜん息様症状に関する自己記入式の質問用紙である。日本では、これに準拠して一部を変更したものを用いている。

- * 呼吸機能調査

上記の二つはいずれも自覚症状調査であるが、客観的指標として呼吸機能調査が行われる。時間と手間はかかるが、客観的であること、経年的変化を追うことができる。肺活量、努力性肺活量、一秒率、最大呼気流量などが指標となる。またぜん息の気道過敏性を検査することもある。

- * 免疫学的検査

血液を採取し、アレルギー反応の指標となるIgE（免疫グロブリンE）や補体を測定する。

(6) 曝露量の把握

大気汚染の場合は一定期間内の個人曝露量を把握することは困難なので、地域測定局の値を地域住民の曝露量に代えていることが多い。最近の一部の調査で個人サンプラーを使用して曝露量を把握する試みがなされているが、サンプル数が限定されること、多くとも一日、二日の測定しか出来ないところに難点がある。

(7) 分析と評価

仮説の検定に際しては、調査の結果から帰無仮説を設定し、これに対立する仮説を対立仮説として、帰無仮説が否定された時に対立仮説が採択され、否定できなければ帰無仮説は受け入れられることになる。統計的関連性が認められた場合には、そのデータの質が十分正しく、攪乱要因も出来る限り取除かれていれば、その因果関係を推定することが可能となる。

9.13 植物影響調査法

植物への影響を評価する方法として葉面の可視障害の評価、植物計、オープントップチェンバー法、天然配置法の利用がある。

9.13.1 可視障害発現を指標とする方法（植物指標）

高等植物は一般に動物のようにその生活場所を勝手に移動することができず、その植物のおかれた環境条件の影響を受けて生育が阻害されたり、生活様式を変化させて、その環境に適応しながら生活している。また、動物と比較して、大気汚染物質に対する感受性が著しく高い。

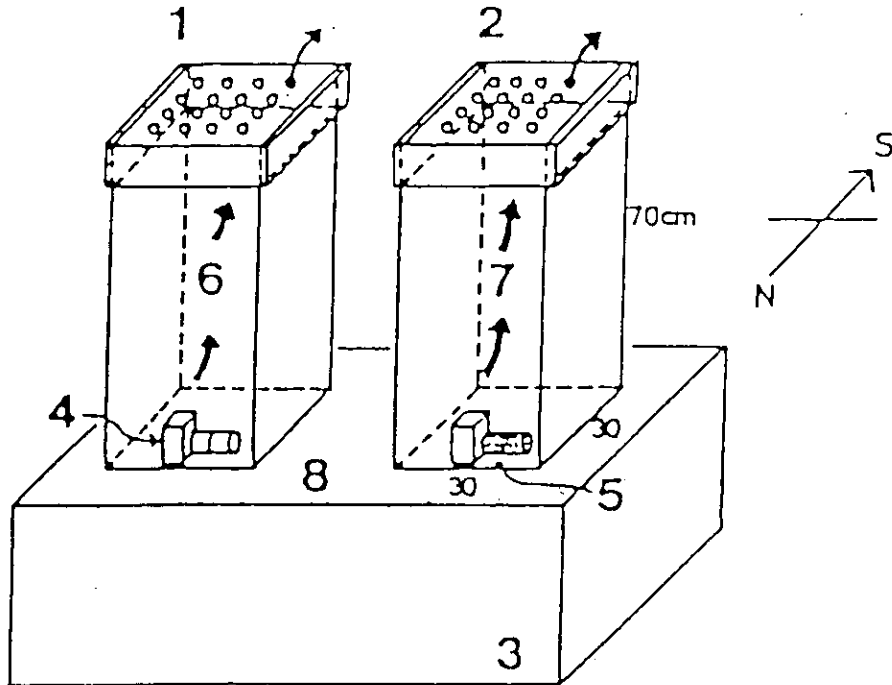
大気汚染に高感受性の植物では、比較的低濃度の大气汚染でも葉面に可視障害が発現する。例えばアサガオ（品種名スカーレットオハラ）では、オゾン濃度が4 ppb以上で可視障害が発現し、その程度は濃度が高くなると、それに比例して増大する。葉面に可視障害が発現すると、その後の生育が影響をうける。アルファルファでは葉面の可視障害発現度が5%以上では、障害発現度の増大とともに、植物の乾物生長量が直線的に減少する¹⁾。

9.13.2 オープントップチェンバー法

オープントップチェンバー（Open-Top Chamber, OTC）法では、天井部が開放された二つの透明なチェンバーを野外に設置し、一方には周囲の空気をそのままチェンバー内に導入して非浄化区とする。他方には、活性炭フィルターなどによって空気中に含まれる大気汚染物質を除去した浄化空気を導入してこれを浄化区とする。これらの両チェンバー内で生育させた指標植物の生長量などを比較し、その場所における大気汚染の植物影響を評価する。OTCを設置した場所の空気が汚染されている場合は、非浄化区で育成した植物の葉面に可視障害が発現したり、その葉面積や個体の乾物成長が浄化区で育成した植物に比べて低下する。両区の植物の生育反応を比較することによって、野外における大気汚染の植物影響を評価できる。

図9.13.1にOTCの一例の概略図を示す²⁾。チェンバー部（縦30 cm×横30 cm×高さ70 cm）は透明アクリル製である。チェンバー下部の植物育成用木箱（縦90 cm×横45 cm×高さ30 cm）の底部に排水のための穴をあけ、箱には植物の育成に適した培養土をつめる。

OTCに使用する指標植物として大気汚染に感受性の高い植物を使用すれば、植物反応から現場での極低濃度の大气汚染でも検出でき、大気環境の評価も可能である。例えばハツカダイコンはO₃など光化学オキシダントに対して感受性が高く、成長も速く、比較的栽培も簡単である³⁾。



- | | | |
|--------------|-------------|------------|
| 1. 非浄化区の OTC | 2. 浄化区の OTC | 3. 植物育成用木箱 |
| 4. シロッコファン | 5. 活性炭フィルター | 6. 非浄化空気 |
| 7. 浄化空気 | 8. 植物培養土 | |

図 9.13.1 オープントップチェンバー (OTC) の概略図 (相原ら、1988)

9.13.3 植物計

大気汚染の植物影響調査法のうち植物の栄養成長期の成長速度を地域ごとに比較する方法として、植物計がある。これは土壌の水分条件や無機栄養条件を一定にして幼植物を鉢植えなどして、各地に配置して一定期間ごとに植物体の乾物量を測定し、その成長速度を数値化することによって、その配置場所における大気汚染が植物の生育に及ぼす影響の程度を評価しようとするものである。そのための植物としては、1) 栽培が容易で初期成長がよくそろっていること、2) 大気汚染に対して感受性が高く、病虫害が少ないこと、3) 季節を問わず1週間～1ヶ月程度の比較的短期間で評価が可能なおこと、をあげることができる。これまで使用されてきた植物として、ソバ (*Fagopyrum esculentum*)、ヒマワリ (*Helianthus annuus*)、マカラスムギ (*Avena sativa*)、ペレニアルライグラス (*Lolium perenne* L. cv. S23)、ハツカダイコン (*Raphanus sativus* L. cv. comet) などがある。また、長期間の評価にはケヤキ、スギなどの樹木が用いられる。

鉢植え植物を設置する場所では、大気汚染簡易測定器具、積算日射計、最高最低温度計などで、大気汚染状態や気象条件などを測定することが望ましい。

図 9.13.2 に野外配置のための植物計の一例を示す⁴⁾。生育状態がよくそろった鉢植え植物 10 個体を配置し、1週間～2週間後に回収して、葉面積を測定したあと植物体を葉身、茎、根に分けて各器

官の乾重量を測定する。大気汚染の植物影響を評価する指標として、配置開始時の植物個体あたりの乾重量 (W_1 , g) を求めておき、回収時の個体当たり乾重量 (W_2 , g) を測定して、植物の相対成長率 (Relative Growth Rate, RGR と略称) の変化を求めるとよい。

RGR (g/g/日) は (1) 式で求めることができる。

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、($t_2 - t_1$) は配置日数で、通常は1週間または2週間とする。

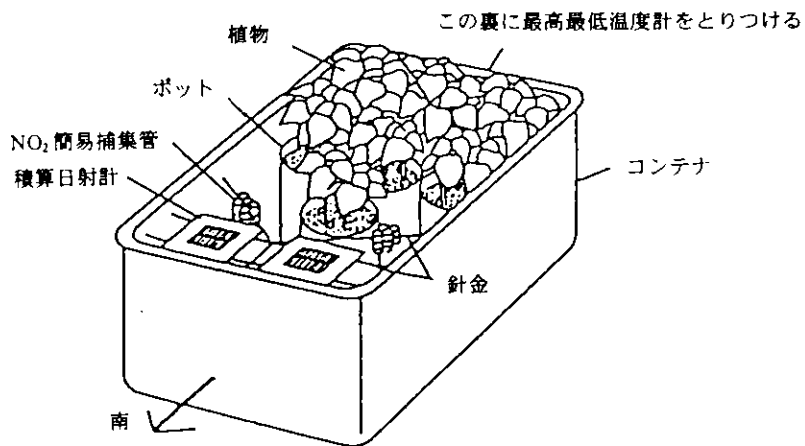


図 9.13.2 植物計の一例 (牛島, 1981)

9.13.4 天然配置法

大気汚染の植物影響を評価するために、野外に自然状態で生育している植物を観察計量して利用する方法として、樹形の変化、年輪幅の変化を評価する方法がある。

図 9.13.3 はスギとケヤキについて樹形変化を5段階で評価して、大気汚染の樹木への影響の程度を数量化した例を示す⁵⁾。また、表 9.13.1 に樹木活力指標の評価項目の一例がまとめられている⁵⁾。

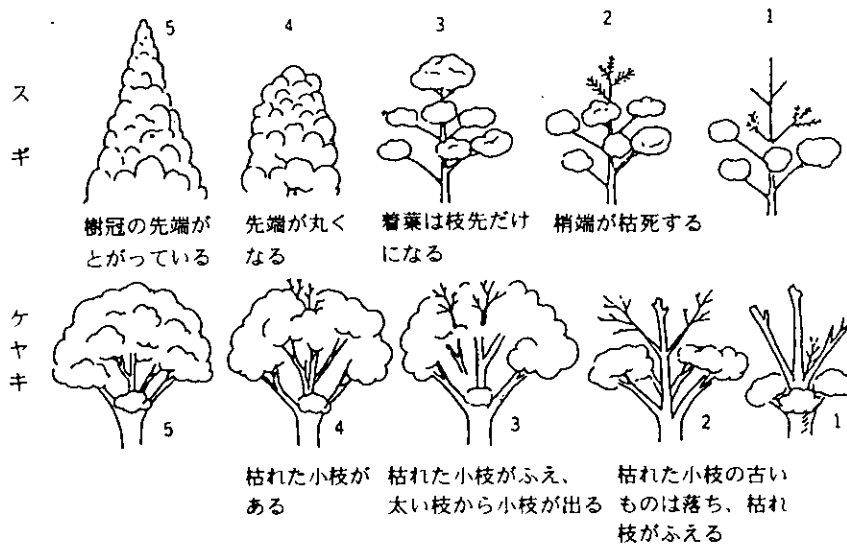


図 9.13.3 スギおよびケヤキの衰退程度を示す基準の模式図 (松中, 1975)

表 9.13.1 樹木活力指標の評価基準 (松中, 1975)

測定項目	評価基準			
	1. 良好・正常	2. 影響はあるが正常に近い	3. 悪化のかなり進んだもの	4. 顕著な悪化
樹 勢	盛んな生育状態を示し被害がまったくみられない	やや被害の影響を受けているがあまり目だたない	異常が明らかに認められる	生育状態が劣悪で回復の見込みがない
樹 形	自然樹形を保っている	若干の乱れはあるが、自然樹形に近い	自然樹形の崩壊がかなり進んでいる	自然樹形が完全に崩壊され、奇形化している
枝の伸長量	正 常	やや少ないが、それほど目だたない	枝は短小となり細い	枝は極度に短小、鞘芽状の節間あり
梢端の枯損	な し	少しあるがあまり目だたない	かなり多い	著しく多い
枝葉の密度	正常枝の葉の密度のバランスがとれている	ふつうは 1 に比べてやや劣る	やや疎	枯葉が多く葉の発生が少ない 密度が著しく疎
葉 形	正 常	少しゆがみがある	変形が中程度	変形が著しい
葉の大きさ	正 常	やや小さい	中程度に小さい	著しく小さい
葉 色	正 常	やや異常	かなり異常	著しく異常
葉の障害	な し	わずかにある	かなり多い	著しく多い
紅(黄)葉状況	春または秋に正常な落葉をする年 1 回	正常なものに比べてやや早い年 1 回	不時落葉する年 2 回	不時落葉する年 3 回以上
落葉状況	正 常	やや色が悪い	葉が部分的に紅葉するが色が悪い	紅葉せず汚れた状態で落葉する

9.14 材料、文化財の影響調査法

9.14.1 目視観察法

現地調査用機器は個人が自力で携帯可能な範囲に限定する。

原則として、調査用紙、記録用紙を用意する。試験的に様式を定めておく。

東京都が実施したモニュメント調査の調査票を表9.14.1に示す。

携帯品

カメラ（できればmacro、望遠付）、磁石、小ポリ袋、ポリピン、脱塩ガーゼ片、竹製ヘラ、イオン交換水100～200ml、小スポイト、ルーペ、記録用紙

表9.14.1 屋外設置金属像等影響調査票

設置場所	() 連絡先
設置物名	() 資料
設置年月日	年 月 日 調査日 年 月 日
材質	金属(材質: 加工法:) その他(材質: 加工法:) 複合
表面処理	無 ・ 有 (種類:)
設置環境	日射(良・悪) 樹木: 障害物: 照明: 大気汚染発生源: 空調: 気象条件: 主風向、川、海洋の位置等
目視観察	損傷の程度 大 ・ 中 ・ 小
写真記録	周辺、全体、部分、部分拡大
保存状態	全体: 部分: 表面: 保守管理状態: 清掃方法、表面管理、管理主体
サンプル採取	降水の流下水、乙部の残存物等

注) 目視観察: 銅像(損傷大: 緑青腐食80%<、損傷中: 緑青腐食30~80%、損傷小: 30%>) 石、コンクリート像(損傷大: 輪郭損傷80%<、損傷中: 輪郭損傷30~80%、損傷小: 輪郭損傷30%>)

9.14.2 劣化の測定、分析法¹⁾

(1) 外観観察

対象物を直接観察するだけで分析用に試料を採取できない場合は、対象物の劣化の程度をそれぞれの材料別に標準化した方法によってランク分けすることが先ず野外観察の第1段階として必要である。植物の光化学被害の評価のように面積のパーセントで示す方法、リングルマン濃度表による煤煙測定法のような方法等が参考となる。

(2) 機器による測定、分析

調査対象物の試料が得られるものについては非破壊的分析であるX線回折、蛍光X線分析、色差、顕微鏡観察等を応用できる。化学的に処理しても良い場合はさらに分析手段を拡張できる。原子吸光分析、発光分光、放射化分析、イオンクロマトグラフィー等を応用できる。

(3) 大気汚染、気象要素の測定

対象物の劣化に影響を与えると考えられる代表的な大気汚染物質濃度、気象項目については可能な限りデータを収集する。他の機関が実施したデータの収集が不可能である場合は、直接調査者が測定を実施する。簡易測定法によるNO₂、気温等の測定は簡単に実施することができる。

(4) 標準試料によるフィールド暴露実験

比較的長期に調査を実施することが可能な場合は、各種材料について標準試験片を作成し、現地で暴露実験を実施して、損傷の程度と環境因子との関係を検討する。この結果からアセスメントにも使用することのできる被害関数を作成できる。

(5) 標準試料による人工暴露実験

環境因子の材料への影響を個々に定量的に明らかにすることを目的とする実験手段として人工気象室による定濃度暴露実験がある。この方法によって例えば濃度別にある時間、ある材料に二酸化硫黄だけを人工的に暴露すると二酸化硫黄濃度とある材料の損傷の程度とを定量的に評価できる。この結果とフィールドデータとを比較することによって相互に関数の精度を改善できる。

(6) 報告

報告の様式も調査の水準を確保するためには重要であり、調査目的に従ってあらかじめ用意しておく必要がある。

9.15 気象観測法

9.15.1 はじめに

大気汚染は、大気低層の気象と密接な関係がある。ここでは、気象観測法の中から特に大気汚染の動態解明のために必要なもので、それ程特殊な知識や技術を必要としない観測法を選び解説する。また現在行われている地上並びに高層気象観測モニタリングの概要を示す。

9.15.2 地上気象観測

(1) 建物を利用した気象観測：建物の屋上などを利用して気象観測が行われる事が多い。測風塔の設置にあたっては、建物周辺に障害物がなく建物自体がつくり出す風の乱れの領域を避けて場所を決める事が大切である。また地形的にも地域代表性が確保される場所を選定しなければならない。測定項目としては、風向・風速、気温、湿度、日射量、紫外線強度、気圧を自動測定する事が必要である。

(2) タワーによる気象観測：煙突やタワーによる気象観測はその地域の気象特性を知る方法としてよく用いられる。風向によっては塔体の影響を受けるため、同じ高度に同一の測定システムを2ないし3セット配置し、主風向に応じて塔体の影響を受けない測定器の測定値を利用するのが最も望ましい。気温の垂直分布のデータは接地逆転層の出現頻度を明らかにする上で大変貴重である。タワーによる観測では大気汚染の常時監視装置を併設する事により、その地域の大気汚染生成機構を詳細に把握する事が可能となる。

9.15.3 上層気象観測

(1) パイボール観測：パイボール観測は上空の風向風速を知ることが出来る簡便な方法である。実用性も極めて高いので少し詳しく紹介する。方法はパイロットバルーン (pilot balloon) と呼ばれる一般に自重20gの風船にヘリウムガスを充填し浮力を調整した後に上昇させその動きを測風経緯儀 (ballon theodolite) により追跡し仰角と方位角を一定の時間間隔で読みとり、その数値の変化から上空の風向・風速を求めるものである。

浮力は浮力錘を用いて地上の風の無い所で調整する。上昇速度を150m/分に設定したい時には57.6gの錘を用いる。夜間には水に浸すと電流が流れ発光する注水電池（水を含んだ状態で重さ13.3g）を用いる。この時には74.9gの錘を用いる。上昇速度を200m/分に設定したい時にはそれぞれ136.4gと154.8gの錘を用いる。上昇速度が与えられているので読みとり間隔を20秒とすると上昇速度が150 m/分場合には50 m 毎の層の風の平均風向・風速が求められる。

(2) ノンリフトバルーン観測：一定高度での風の流れや、垂直方向の乱れの程度を把握するために利用する。気球の浮力を気球の重さとバランスさせたノンリフトバルーン (non-lift balloon) の動きを用いる。気球に送信機を取り付けこれを地上で受信し、動きを把握する方法や、ヘリコプターで追跡す

る方法などがとられる。

(3) 低層ゾンデ観測：パイボール観測では空の風向風速しか求められないが、低層用のラジオゾンデ (radiosonde) を用いる事により、2～3 km までの気温、湿度の垂直分布を求める事が出来る。気温の分布は大気の安定度や気温逆転層の高さを知るためには不可欠である。また湿度の垂直分布を知る事により上空の気層の履歴や雲底高度を正確に知る事ができる。

(4) レーウィンゾンデ観測：(rawinsonde) ラジオゾンデの動きを自動追尾型のアンテナで捉え風向・風速も同時に計測出来るシステム。パイボール観測の場合は雲より上空の観測は出来ないがレーウィンゾンデ観測を行う事により雲がある場合や視程が悪い場合にもデータが得られる。

(5) オゾンゾンデ観測：レーウィンゾンデ観測システムにさらにオゾン計測装置を着けて上空 30 km 程度迄のオゾンの垂直分布を観測出来るシステム。オゾンセンサーにはヨウ化カリウムの溶液が用いられる。地上でのセンサーの調整とキャリブレーションが必要である。

(6) 係留気球観測：係留気球 (カイトーン/kytoon) は浮力を持った飛行船のような形をした大型の気球である。地上のウインチを操作、係留索を上昇・下降させる事により目的の高さに係留し、測定を行う。気温、湿度、オゾン測定する小型・軽量のものから風向・風速や乱流成分も計測できるものまで、各種のサイズがある。信号の伝送は無線方式と光ファイバーケーブルを用いた方式がある。大型の係留気球を用いる事により大気サンプリングパイプを持ち上げて上空の空気をサンプリングしながら地上に設置した大気汚染自動測定機器により各種の大気汚染物質の測定を行う事も可能である。測定高度は 1 km 程度までであるが、風の強い時や雨の時は観測が難しい。

(7) 航空機観測：気象と大気汚染の立体分布を把握するためには航空機を用いた観測が最も有効である。航空機としては固定翼の飛行機 (aircraft)、回転翼のヘリコプター (helicopter)、飛行船 (airship) が用いられる。航空法により一般的には 300 m 以下での観測は出来ない。広域的な観測には固定翼の飛行機が、垂直分布中心の観測にはヘリコプターが、また低速での観測には飛行船が威力を発揮する。いずれの場合においても電力の確保が最も大きな問題となる。

9.15.4 上層気象の連続リモートセンシング

(1) レーザレーダ：混合層の時刻変化の状況を実時間で把握する事ができれば大気汚染の監視や予測・予報に役立つ。この目的のためにはミー散乱型レーザレーダが利用出来る。大気中にある粒子状物質による光の散乱をミー散乱と言うが、レーザ光を上空には発射しミー散乱強度を地上の望遠鏡で受信・増幅して上空の粒子状物質の垂直分布を求めるシステムである。小型のワゴン車程度に設置可能なシステムも実用化しており上空 3 km 程度までの連続計測が可能である。

(2) ドプラー音波レーダ：大気汚染の動態解明には上空の風向・風速の情報が最も有用である。特に

垂直方向の風の動きが重要である。ドプラー音波レーダを用いる事により上空の風の構造を実時間で把握する事が出来る。ドプラー音波レーダは上空に音波を発射し、これが大気中の粒子状物質に反射して戻った音の周波数の変化から水平風速や垂直風速を求める事が出来るシステムである。具体的には2100 Hz, 30 W 程度の出力で上空 1,000 m 程度までの観測が出来る。測定精度は高く、水平、垂直方向共に 0.01 m/s 程度の弱風の観測が可能である。出力を上げる事により、より高度の高い測定が可能であるが、近隣への騒音に対する配慮が必要である。また周囲で大きな音が発生するような場所での測定はノイズによる妨害を受ける。

9.15.5 気象ネットワーク

通称アメダス (AMeDAS : Automated meteorological data acquisition system) と呼ばれている地域気象観測システムは日本全国に約 1,300 ヶ所展開されており平均的な格子間隔は、17 km である。このうち約 840 ヶ所は、風向・風速、気温、日照時間、降水量が測定されており、得られたデータは大気汚染の地域分布の解析に有用である。しかし微風の測定は出来ないので広域的な汚染の動態解析に適している。この4気象要素観測点の平均格子間隔は、21 km である。一方、大気汚染常時観測局においても風向・風速、気温、湿度などの気象要素の連続観測が行われている。しかしこれらの測定点は都市地域に集中しており広域的な解析には不十分であるが、弱風時における都市地域での高濃度大気汚染の平面分布の解析には極めて有用である。

日本においては高層気象観測所においてラジオゾンデの観測が毎日2~4回行われている。観測の時間は3時、9時、15時、21時である。高層気象観測の時間はグリニッジ標準時刻の零時と12時が基本となっており、日本では9時と21時がこれにあたる。

(9.1) 参考文献

- 1) S. Butcher and R. Charlson (荒木峻訳) ; 大気汚染の化学 (1975)
- 2) 大気汚染研究協会 (現大気環境学会) 編 ; 改訂大気汚染ハンドブック(1), 測定編 (1975)
- 3) 堀雅宏 ; 有害因子測定法, 安全工学協会編, 安全工学講座4, 健康障害 p.149 (1982)
- 4) 河口広司 ; 検出限界と感度, ぶんせき (1982), No.1, 36-42 (1982)
- 5) 杉前昭好 ; 分析化学, 28, P.559 (1979)

(9.3) 参考文献

環境庁大気保全局編 ; 環境大気常時監視マニュアル (昭和 55 年)

(9.4) 引用文献

- 1) British Standards Institution; Deposit Gauges for Atmospheric Pollution, British Standard 1747 (1951)
- 2) Department of Scientific and Industrial Research; Measurement of Air Pollution, Her Majesty's Stationery Office (1957)
- 3) 寺部本次 ; 空気汚染の化学, 技博堂 (1951)
- 4) Air Pollution Measurements Committes: Recommended Standard Method for Continuring Dust Fall Survey (APM-I. Revision 1), J.Air Poll. Control Assoc., 16 (7), (1966)
- 5) 日本環境測定分析協会 ; 環境測定分析法註解, 第1巻, 丸善 (1984)
- 6) 大気汚染研究全国協議会 ; 改訂大気汚染ハンドブック(1) 測定編, コロナ社 (1975)
- 7) 寺部本次訳, 英国理工学研究局編 : 大気汚染の測定法, 技博堂 (1958)

(9.5) 引用文献

- 1) 原 宏 ; 酸性雨とは? : 定義とその生成機構, 天気, 42, 264-271 (1995)
- 2) 北村守次, 原 宏 ; 酸性雨の測定法 気象研究ノート, 182, 59-79 (1994)
- 3) 玉置元則編 ; 「酸性雨調査法」ぎょうせい (1993)
- 4) EMEP EMEP manual for sampling and chemical analysis. EMEP/CCC-Report 1/95, O-7726, Norwegian Institute for Air Research, Norway. (March 1996)
- 5) World Meteorological Organization: Chemical Analysis of Precipitaion for GAW:Laboratory Analytical Methods and Sample Collection Standards. WMO Report Series No.85.
- 6) R.J.Vet;(1991) Wet deposition: measurement techniques. Handbook of Environmental Chemistry Vol.2, Part F, ed. by O. Hutzinger, Springer-Verlag, Berlin, (1991)
- 7) Guidelineds and Technical Manuals for Acid Deposition Monitoring Network in East Asia, Japan Environment Agency. (March 1997)
- 8) Hara, H., Kitamura, M., Mori, A., Noguchi, I., Oizumi, T., Seto, S., Takeuchi, T., Deguchi, T., Precipitation Chemistry in Japan 1989-1993. *Walter, Air and Soil Pollution*, 85, 2307-232. (1995)
- 9) Ishikawa, Y. and Hara, H.. Historical Change in Precipitation pH at Kobe, Japan; 1935-1961. *Atmospheric Environment* 31, 2367-2369 (1997)

(9.6) 引用文献

- 1) 日本環境測定分析協会；環境測定分析法註解，第1巻（大気汚染物質の試料採取方法），同第2巻（大気汚染物質の測定分析方法），丸善（1984）
- 2) 環境庁大気保全局；大気汚染物質測定法指針（1987）
- 3) 環境庁大気保全局大気規制課；有害大気汚染物質測定マニュアル（1997）
- 4) 日本環境衛生センター；浮遊粒子状物質汚染の解析・予測（1987）
- 5) 環境庁委託業務結果報告書「国設大気測定網 浮遊粉じん及び浮遊粒子状物質の分析」昭和50年～平成8年，(財)日本環境衛生センター

(9.7) 引用文献

- 1) 松下秀鶴，塩崎卓哉，加藤幸彦，後藤純雄；高速液体クロマトグラフィーによる大気浮遊粉塵中のベンゾ(a)ピレン簡易分析法，分析化学，Vol.30, 362（1981）
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課；有害大気汚染物質測定法マニュアル（1997）

(9.8) 引用文献

- 1) 日本環境測定分析協会；環境測定分析法註解，第2巻（大気汚染物質の測定分析方法），丸善（1984）
- 2) 環境庁大気保全局；大気汚染物質測定法指針（1987）
- 3) 環境庁大気保全局大気規制課；有害大気汚染物質測定方法マニュアル（1997）
- 4) 神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会；有機塩素系物質及びフロンの環境濃度調査，神奈川県臨海地区大気汚染調査報告書，4-58（1990）

(9.9) 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局大気規制課；有害大気汚染物質測定方法マニュアル（平成9年10月）
- 2) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課；廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定マニュアル（平成9年2月）
- 3) U.S. EPA: Method 0010, Modified method 5 sampling train（1986）
- 4) U.S. EPA: Method 0023A, Sampling method for polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofuran emissions from stationary sources（1996）
- 5) 塩崎；ダイオキシン類の分析，ぶんせき，1997（1），32～38

(9.10) 引用文献

- 1) A.C. Barton and H.G. McAdie；A cumulative survey technique for atmospheric nitrogen dioxide. In : 67th annual Meeting of the Air Pollution Control Association. Denver, Colorado, June 9-13, pp 1-20（1974）
- 2) 佐藤静雄ら；大気中のNO₂相対濃度測定法について，公害と対策，Vol.13, No.3, 52-57（1997）
- 3) 窒素酸化物簡易測定法研究会；窒素酸化物相対濃度測定法に関する研究，環境庁委託研究報告書（1977）
- 4) 柳沢幸雄，西村肇；生活環境中濃度測定用NO₂パーソナルサンプラー，大気汚染学会誌，8, 316-323（1980）

- 5) 平野耕一郎ら；NO、NO₂の簡易測定法，環境と測定技術，12，32-39 (1985)

(9.11) 引用文献

- 1) 永田好男，竹内教文；3点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定，大気汚染学会講演要旨集，528 (1988)
- 2) 加藤龍夫；大気汚染のガスクロマトグラフ技術，三洋出版 (1975)
- 3) 加藤龍夫，石黒智彦，重田芳広；悪臭の機器測定，講談社 (1984)
- 4) 長谷川隆，古川修，並木章；悪臭物質の測定方法の改正について，悪臭の研究，24，351-364 (1993)
- 5) 環境庁大気保全局特殊公害課；悪臭物質簡易測定マニュアル (1990)
- 6) 石黒辰吉；臭気対策の基礎と実務，オーム社 (1997)
- 7) 新環境管理設備事典編集委員会；大気汚染防止機器，産業調査会 (1996)
- 8) 山縣登，大多喜敏一；環境汚染分析法 12，大日本図書 (1973)

(9.13) 引用文献

- 1) 戸塚績；植物の生長におよぼす二酸化硫黄の影響，国公研研究報告 No.10. 317-332 (1979)
- 2) 相原敬次，大道章一，矢島巖，篠崎光夫，戸塚績；大気汚染による植物影響評価のための小型オープントップチェンバー (OTC) について，神奈川県公害センター研究報告，10，12-21 (1988)
- 3) 伊豆田猛，滝川正義，堀江勝年，三宅博，戸塚績；ハツカダイコンの生長を指標とした小型オープントップチェンバー (OTC) による大気環境の評価，大気汚染学会誌，23，284-289 (1988)
- 4) 牛島忠広；植物計，昭和 55 年度環境庁委託，大気汚染の植物影響に関する環境影響評価マニュアル (案) 別冊，P.64-70，日本公衆衛生協会 (1981)
- 5) 松中昭一；指標生物，講談社サイエンティフィック，P.182 (1975)

(9.14) 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局，1988；大気汚染による金属材料の腐食測定指針

(9.15) 参考文献

- 1) 気象ハンドブック編集委員会；気象ハンドブック 朝倉書店 (1979)

第10章 大気汚染予測技術

10.1 大気拡散理論

大気中に排出された煙は風により移流され、風の乱れにより拡散される。移流による希釈効果は風速に比例する。図10.1.1は移流による希釈効果を示したものである。図中の○は煙を時間的に不連続な塊（パフと呼ばれる）で表したものである。煙を一秒間隔で排出されるパフで近似すると、隣り合うパフの間隔は風速に比例する。つまり、風速が1 m/sでは、間隔が1 m、風速が2 m/sでは2 mとなる。隣り合うパフの間隔は希釈効果を表す。間隔が1 mの場合の濃度は、2 mのもの2倍の濃度となる。つまり、風速の効果だけをみると、濃度は風速に逆比例する。

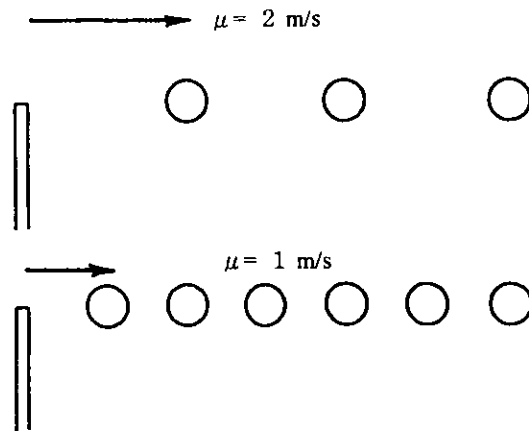


図10.1.1 風速による煙の希釈効果

そこで、第4章と一部重複するが、大気中の風や気層につき考えてみる。風は木や森や都会の高層ビル群や山を越えて吹いて行く。これらの地表面の凹凸は粗度と呼ばれる。粗度は風の流れを妨害し、渦を発生させる（図10.1.2）。渦は風を乱し、風向や風速を時々刻々変化させる。風向や風速がランダムに変化する流れを乱流と呼ぶ。大気中の風はもっとも典型的な乱流である。

地表面粗度で作られる風の乱れは地表面近くでもっとも大きく、上空に行くに従い次第に小さくなる。地表面の風の乱れの影響が及ぶ上空までの大気層を大気境界層と呼ぶ。大気境界中層では、乱れの大きさだけでなく、風速も高さ方向に変化する。つまり、地表面による抵抗により、風速は地表近くでは弱く、上空に行くに従い増加する。

地表面にはこれらの凹凸だけでなく、水面や地面など温度の相違も存在する。また、晴天の日の日中には、地表面が日射により暖められ、地表面近くの空気の温度が高くなるため、対流が生じる。この対流運動も風の乱れを発生させる大きな原因の一つである。日中の対流が活発に生じている大気境界層を混合層と呼ぶ。これに対し、曇天の日中など対流が弱く、風速の効果が支配的な大気境界層を中立境界層と呼ぶ。

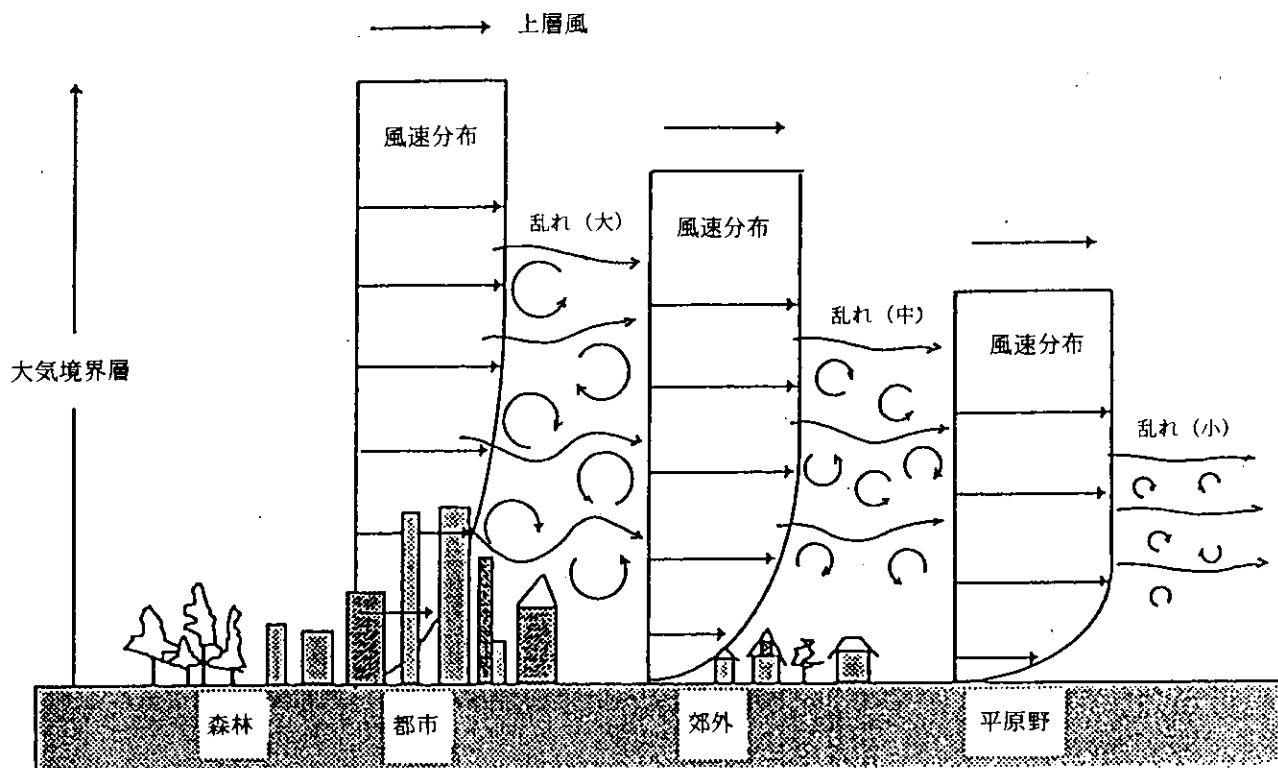


図 10.1.2 地表面粗度による大気の乱れの発生と大気境界層

一方、晴天の日の夜間には、赤外放射により地上面から熱が上空に逃げる。このため、地表面の温度が下がり、それとともに地表面近くの大気が冷やされる。大気の温度分布は地表面近くで急激に下がる。この気層を接地逆転層と呼ぶ。逆転層の中では風の乱れが小さくなる。図 10.1.3 に混合層、中立層、接地逆転層時の大気境界層の概念図を示す。

気温は通常は上空ほど低下する。気温低下の割合は、大気を乾燥空気とし、空気塊の上下移動が可逆断熱的に行われるとすると、100 m あたり 0.98°C となる。これを乾燥断熱減率と言い、記号 γ_d で表す。気温の減率が γ_d より大きい場合、浮力の効果により気塊の上下運動が促進されるため、大気は不安定状態にあるといわれる (図 10.1.4)。一方、気温の減率が γ_d より小さい場合、浮力が気塊の上下運動を抑える方向に働くため、大気の乱れは小さくなる。これを大気は安定状態にあると言う。大気の温度が上空ほど高い領域を気温逆転層と呼ぶ。逆転層は風の弱い晴天日の夜間に出現するが、極めて強い安定状態である。図 10.1.4 に気温鉛直勾配と大気安定度の関係を示す。

次に、風の乱れと拡散の関係を考える。風は時々刻々その大きさと風向が変化する。風のベクトルをその平均と平均からの偏差で表す。平均風向に直角で水平な成分と鉛直方向の成分に分解する。これを乱流成分と呼ぶ。風の乱れの大きさは、乱流成分の二乗平均の平方根で表す。風の変動と拡散の関係は煙の粒子一つ一つの乱流中での軌跡を考えてみると分かり易い (図 10.1.5)。煙の粒子は風の乱れにより上下左右に蛇行しながら流れて行く。このとき風の乱れが大きければ、煙の拡がりも大きくなる。

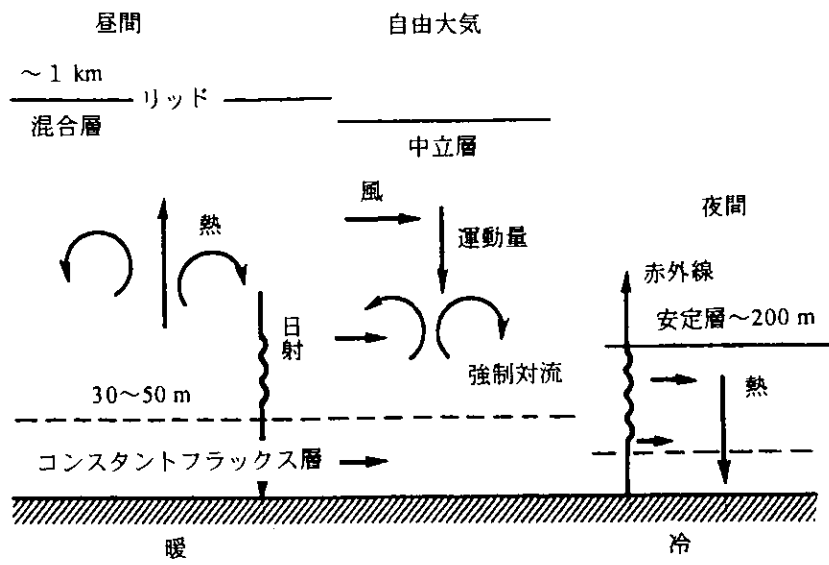


図 10.1.3 大気境界層の成因と分類

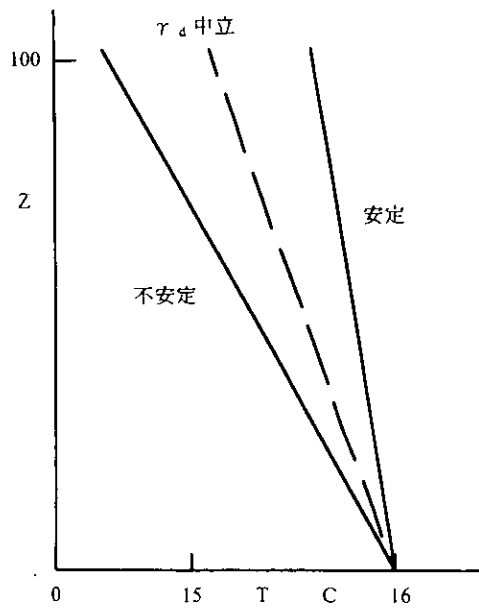


図 10.1.4 大気温度勾配と大気安定度

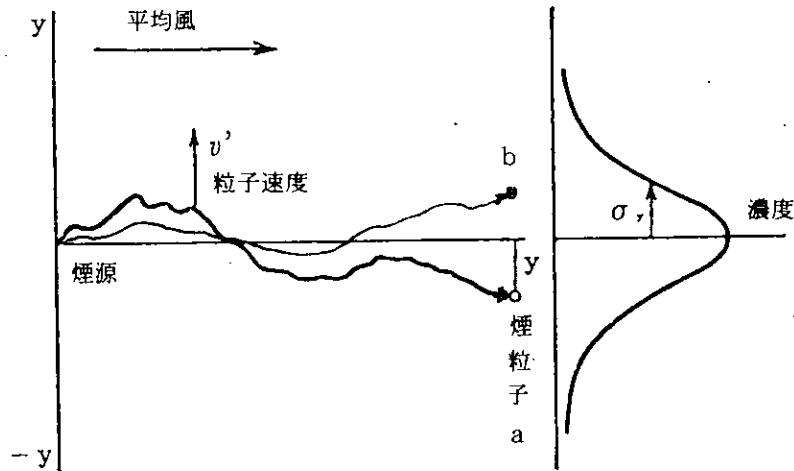


図 10.1.5 粒子の拡散と濃度分布

煙を重さも大きさも無視できる粒子の集まりと考え、図 10.1.5 のように多数の粒子を追跡する。風下側のある断面での粒子群の拡がりを見ると、平均風向の延長線上でもっとも数が多く、それから離れるに従って数が減少する。この粒子の数が濃度を表す。煙の濃度分布は中心（以後煙軸と呼ぶ）で最大で、煙軸を中心に正規分布あるいはガウス分布と呼ばれる分布となる。この分布関数の標準偏差を煙の拡散幅と呼ぶ（図 10.1.5）。すなわち、濃度分布を数式で表すと (1) 式で示せる。

$$C(y) = C_0 \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 σ_y は y 方向の拡散幅である。また、 C_0 は煙軸の濃度を表す。

その性質が場所にも方向にもよらず一定な乱流を等方性乱流と呼ぶ。等方性乱流場での拡散、つまり、拡散幅 σ_y は乱流の大きさ σ_v により (2) 式のように表される。

$$\sigma_y = \left\{ 2\sigma_v^2 \int_0^T (T - \xi) R(\xi) d\xi \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 T は煙が大気中を浮遊している時間、 $R(\xi)$ は乱流の統計的な性質で自己相関係数と呼ばれる。 $R(\xi)$ は ξ が 0 の時に 1 であり、 ξ が大きくなるにしたがい 0 に近づく。拡散幅は大気の安定度によっても変化するが、それについては次節で述べる。

拡散を表す他の方法に、拡散係数による方法がある。例えば図 10.1.6 のように濃度の分布が表せるとき、ある点 z で、 z 方向の煙の拡散による輸送量 $F(z)$ は (3) 式のように表される。

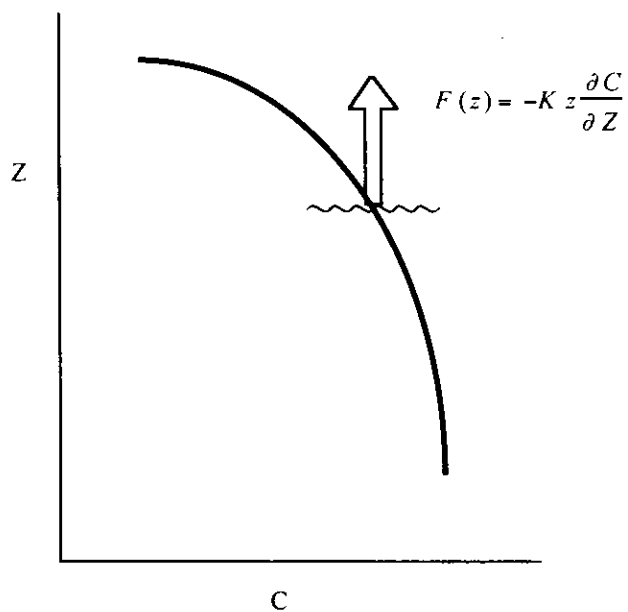


図 10.1.6 濃度勾配と物質の輸量 Fz の関係

$$F(z) = -K z \frac{\partial C}{\partial z} \dots\dots\dots (3)$$

拡散係数 K もまた大気安定度により大きく変化する。

以上が解析解および、拡散係数を用いた拡散の理論的な取扱い法である。

10.2 大気拡散予測モデルの概要

大気拡散の取り扱いには、現在までのところ、プルームモデルおよびパフモデルと呼ばれる解析解による方法、微分方程式を解く数値的な方法、さらに、計算機の中でたくさんの粒子を流しその個数を計算する粒子法と呼ばれる方法がある。

10.2.1 プルーム・パフモデル

プルームモデルは風が吹いている状態（有風時）の煙拡散を濃度が正規分布になるものとし、さらに、拡散幅を与えることにより求めるものである。大気中での煙は風に流されつつ、上下左右に拡散する。鉛直方向、水平方向の濃度の分布を正規分布とすると、拡散による濃度の変化は（4）式のように示せる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \left[\exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \quad \dots\dots (4)$$

ここで記号は、

- $C(x, y, z)$: 煙源の風下 x, y, z 地点での濃度
- σ_y, σ_z : 煙の y 方向、および、 z 方向の拡散幅
- Q : 単位時間当たりの煙の排出量 (m^3/s)
- U : 風速 (m/s)
- He : 煙の中心軸の地上からの高さで、有効煙突高と呼ばれる (m)

地表面での濃度を考えると、 z は 0 であるから、プルーム式は（5）式のように簡単になる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \exp\left\{-\frac{He^2}{2\sigma_z^2}\right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

パフモデルは風のない無風条件での拡散を時間的に不連続なパフで表し、正規型の濃度分布式により記述する式であり、地上濃度は（6）式で与えられる。

$$C(x, y, z) = \frac{q}{\pi^{\frac{3}{2}}\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-\frac{(x+y)^2}{2\sigma_y^2}\right\} \exp\left\{-\frac{He^2}{2\sigma_z^2}\right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

上で示したプルームモデルでは、拡散幅 σ_y, σ_z を与えることにより、水平方向の濃度分布をも計算することができる。しかしながら、多数の煙源が分散して存在する工業地域の汚染予測では、年平均などの長期平均的な濃度が予測対象であるため、より簡単な拡散モデルが用いられる。長期平均濃度の予測は、通常、16 方位の風向分割について行われるため、風に直角な方向の濃度は、その方位の

中で一様と仮定される。これは、 σ_y を $\frac{\pi x}{8}$ とし、横方向の濃度分布を積分したものに等しい。

これにより、拡散式は (7) 式のように書ける。

$$C(x, 0) = \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{Q}{\frac{u\pi x\sigma_z}{8}} \exp\left(-\frac{He^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (7)$$

また、パフ式は1個のパフによる濃度であるため、連続源については、ある時間に空間に浮遊している全てのパフの濃度を積算する必要がある。拡散幅 σ_y 、 σ_z を浮遊時間 t の関数として、

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \alpha t \\ \sigma_z &= \beta t \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式で表し、その時間までに放出された全てのパフについて積分する、つまり、時間について積分すると、地上濃度を与えるパフ式は、

$$C(R, 0) = \frac{2Qp}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} \left\{ \frac{1}{R^2 + \alpha^2 He^2 / \gamma^2} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

(9) 式で与えられる。ここで、各記号は

- R : 点源から計算地点までの距離 $(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$
- Qp : 単位時間当たりのパフの排出量 (m^3/s)
- α : 水平方向拡散幅の時間増加率
- γ : 鉛直方向拡散幅の時間増加率

10.2.2 数値シミュレーションモデル

拡散の数値シミュレーションモデルは、複雑な地形上の拡散や時間的に変動する気流場での拡散などの計算に適している。地形の影響を受けた拡散や、非定常場での拡散には、通常の正規分布型のブルームモデルは使えない。

数値シミュレーションモデルではまず第一に、気流の計算を乱流場に対する Navier Stokes の方程式を解いて行う。次に、その流れの場において拡散を計算する。

Navier Stokes 方程式の基本形を (10) 式に示す。

$$\rho \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + u * \nabla u \right\} = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 u \dots\dots\dots (10)$$

質量保存の式は (11) 式のとおりである。

$$\nabla u = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで各記号は以下の通りである。

$$\nabla : \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$$

u : 流れのベクトル

ρ : 流体の密度

g : 重力加速度

μ : 分子粘性係数

大気の流れは通常、乱流であり、流れの場合は Navier Stokes 方程式を乱流場について書き直した式となる。さらに乱流場の数値シミュレーションモデルには、乱流を統計的に処理した方法があり、 $k - \epsilon$ モデル、さらに高次の乱流を考えたクロージャーモデル、乱流そのものを計算で再現する Large-eddy シミュレーションモデルなどがある。

これらのモデルは、複雑な地形上での気流の計算、海陸風循環のシミュレーションなどに用いられ、空間的な気流の分布を与える。

拡散の数値計算には、拡散の微分方程式を解く方法、流れの中に粒子を放出しその動きをラグランジュ的に追跡する粒子法などがある。

乱流境界層中での拡散の微分方程式（フィック型の方程式）は（12）式で与えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = k_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial C}{\partial z}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、記号は以下のとおりである。

C : 濃度

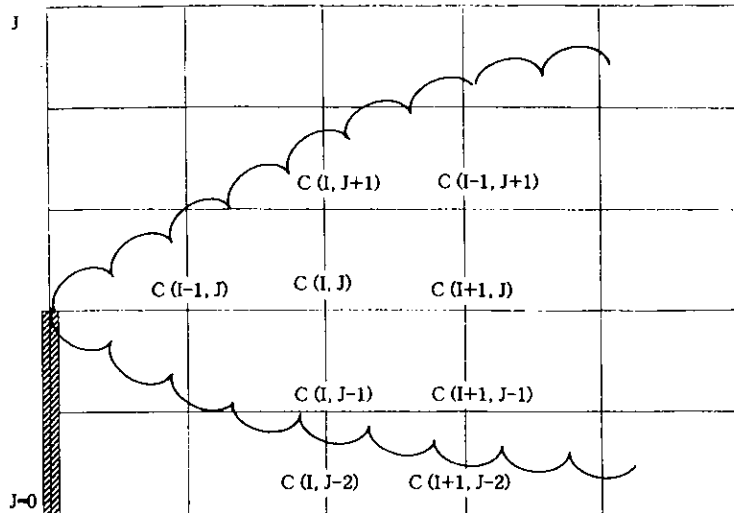
t : 時間

x, y, z : 直角座標の各座標軸

u, v, w : それぞれ x, y, z 方向の平均流成分

k_x, k_y, k_z : x, y, z 方向の乱流拡散係数

拡散の微分方程式では、拡散場をメッシュに区切り、メッシュの交点や中間の点での濃度を差分法により解く。図 10.2.1 にメッシュの例を示す。（図 10.2.1）



$$u \frac{\partial C}{\partial x} = K_z \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}$$

$$u_{i,j} \frac{C(i,j) - C(i+1,j)}{\Delta X} = K_z \frac{C(i,j+1) - 2C(i,j) + C(i,j-1)}{\Delta Z^2}$$

図 10.2.1 差分法による数値計算のメッシュ分割の例

10.2.3 拡散の粒子法モデル

次に、粒子法による拡散シミュレーションについて紹介する。粒子法では乱流拡散の統計的な性質を満足するように拡散条件を設定することが出来る。つまり、微分方程式の方法では拡散係数で拡散の条件が決まる。一般に大気拡散では、煙源の近くでは、拡散幅が煙源からの距離に比例し、さらに風下では、距離の1/2乗に比例することが知られている。このことは、拡散係数が煙源からの距離によって変化することを示している。しかしながら、フィック型の方程式では拡散係数を距離によって変化させることは難しい。一方、粒子法では粒子をコンピュータの中で作り出した乱流により拡散させるため、実際の乱流拡散にかなり近づけることができる。しかしながら、粒子法をそのまま使って拡散濃度を計算すると、滑らかな濃度分布を得るためには数十万個以上の粒子を放出する必要がある、計算時間が長くなる。このため、より簡易な粒子法も考えられている。

粒子法での粒子の速度 $v(t)$ は (13) 式のように与えられる。

$$v(t) = v + v'(t) \dots \dots \dots (13)$$

$$v'(t) = R(\Delta t) v'(t - \Delta t) + n(1 - R(\Delta t)) \sigma v$$

ここで、 v は平均の速度、 $v'(t)$ は乱流成分であり、 n は平均値が0で標準偏差が1の乱数である。粒子法では、粒子の分布を雲のように表現することにより、拡散状態が視覚的に容易に把握できる。

10.2.4 煙上昇のモデル

大気中に排出された煙はそれ自身の持つ慣性力と、浮力により大気中を上昇する。実際の煙の拡散計算では、煙上昇距離を計算し、煙の最高到達高（有効煙突高 H_e ）から水平に煙が放出されると考える。煙上昇の推定法としては多くのモデルが提案されている。ここでは、我が国の総量規制マニュアルで採用されている CONCAWE（Conservation of Clean Air and Water, Western Europe）と Briggs モデル

を紹介する。

CONCAWE モデルでは、陸上昇距離 ΔH を (14) 式で与えている。

$$\Delta H = 0.157 Q_H^{\frac{1}{2}} u^{-\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (14)$$

ここで、各記号は以下の通りである。

ΔH : 煙上昇距離 (m)

Q_H : 排出熱量 (cal/s)

u : 風速 (m/s)

また、 Q_H は (15) 式で示される。

$$Q_H = \rho C_p Q \Delta t \dots\dots\dots (15)$$

ρ : 0 C における排ガス濃度 ($1.298 \times 10^3 \text{g/m}^3$)

C_p : 空気の低圧比熱 (0.24 cal/kg/K)

Q : 単位時間当たりの排ガス量 ($\text{m}^3\text{N/s}$)

Δt : 排ガス温度 (T_g) と気温との温度差 ($T_g - 15\text{C}$)

Briggs モデルは風の吹かない無風条件下での煙上昇を (16) 式で与える。

$$\Delta H = 1.4 Q_H^{\frac{1}{4}} \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^{-\frac{3}{8}} \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 $\frac{d\theta}{dz}$ は温位勾配 (C/m) である。

また、有効煙突高は煙突高さと煙上昇高の和である。

10.3 大気拡散の調査

新しく工場が立地する。個々の工場煙突の環境影響を正しく評価したい。あるいは、多くの工場の立地している工業地域の大气環境を改善したいなどの要求を満足させるためには、それらの地域で実際に、環境や拡散の調査をする必要がある。特に対象地域が地形的に複雑であったり、大气環境の保全にとって不利な気象の特徴を有している場合には、現地調査が必要である。調査は拡散場の状況を把握するための気象条件調査と環境濃度や拡散の状態を調べる環境調査に分けられる。

10.3.1 気象条件調査

気象条件調査は対象とする地域が大気拡散からみてどのような性質や特徴をもっているかを明らかにすると同時に、拡散シミュレーションのデータを得るために行う。拡散場調査の測定項目は以下の通りである。

- ① 1時間毎の地上風向風速
- ② 1時間毎の日射量および放射収支量
- ③ 気温および気温の鉛直分布
- ④ 大気の乱れ
- ⑤ 風向風速の鉛直分布

地上風向風速は風車型の風向風速計あるいは超音波風速計で測定される。地上風向風速は対象地域全体で複数箇所、できれば5キロ範囲に一ヵ所程度の密度であることが望ましい。測定器の高さは地上10m程度で、建物や樹木などの影響を受けない場所に設置する。写真10.3.1にポール上の超音波風速計を示す。

日射量および放射収支量は、大気安定度の分類、および、混合層あるいは接地逆転層の発達を推定するのに必要である。日陰とならない開けた場所の出来れば草地の上に設置する。写真10.3.2に放射収支計を示す。

気温および気温鉛直分布は地表近くの気象状態や逆転層、混合層などの状態を明らかにし拡散モデルに取り入れるために必要である。地上気温は、草地の上に設けられた百葉箱の中の温度計により測定する。気温鉛直分布を連続的に測定するためには、塔や煙突等の構造物に温度計を取り付ける。温度計は通風式の白金温度計などが用いられる。また、塔や煙突の利用できない地域では、低層ゾンデ(写真10.3.3)等遠隔測定による方法も利用できる。

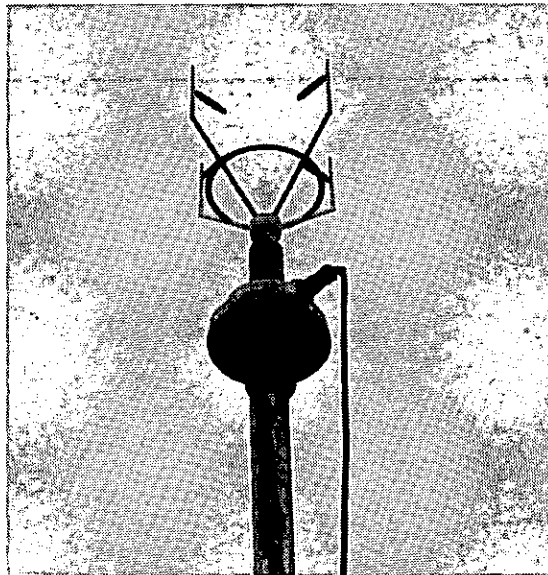


写真 10.3.1 超音波風速計

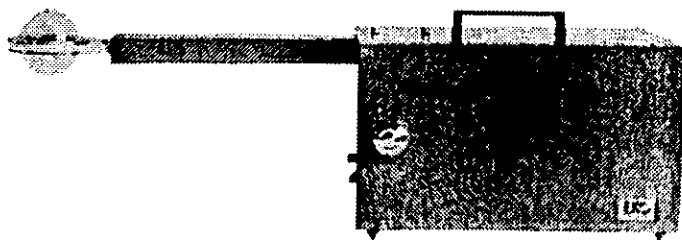


写真 10.3.2 放射収支計

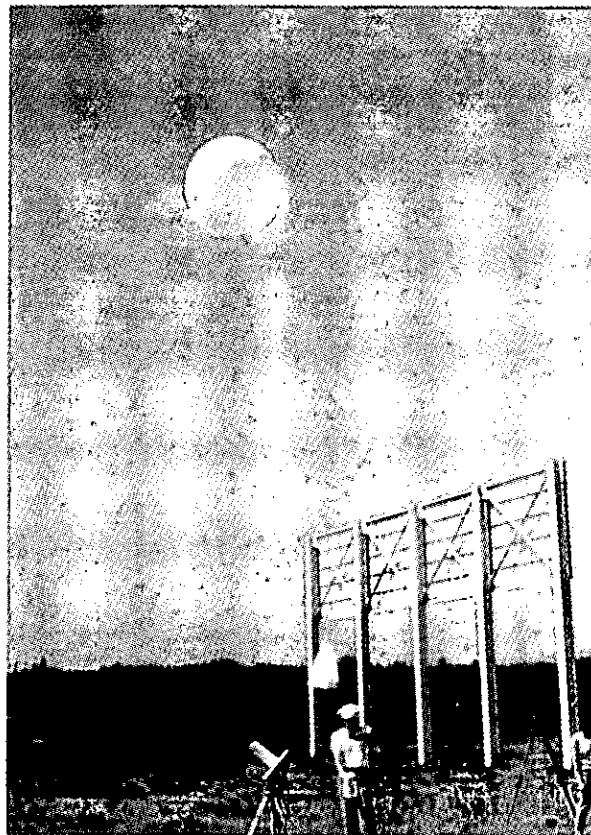


写真 10.3.3 低層ゾンデ

大気の流れは対象地域の地形や構造物による拡散への影響を取り入れるために必要である。高さ 20 m 以上の塔などに超音波風速計などを取り付け、水平方向と鉛直方向の二成分の流れを測定する。風向風速の鉛直分布は高煙突等、高い発生源からの拡散を取り扱うためには必要な情報である。風向風速の鉛直分布も高い塔や煙突に風向風速計や超音波風速計を複数取り付け、連続的に行う。塔や煙突が利用できない場合は、風船を放出してセオドライトで追跡するパイロットバルーン法や、レーウィンゾンデなどの遠隔測定法も利用できる。

10.3.2 拡散調査

煙突等から放出される大気汚染物質の拡散調査は費用もマンパワーも必要であるが極めて重要なものである。既存の工業地域や発生源の既に存在する地域では、対象とする汚染物質の拡散分布そのものを測定することが第一である。発生源がまだ稼働していない地域や、多数の発生源が存在する地域で特定の発生源の影響だけを明らかにしたい場合には、トレーサ拡散実験が行われる。トレーサ実験では、汚染物質の代わりにバックグラウンド濃度が低く、分析感度の高い物質を放出し、それを風下側に円弧状に配置したサンプリング網で捕集し分析する。トレーサ物質としては従来より、六フッ化硫黄 (SF_6) やフロン 13BI (CBrF_3) などが用いられてきたが、これらの物質は温室効果気体であり、その使用は不可能になりつつある。

図 10.3.1 は六フッ化硫黄を用いたトレーサ実験により得られた地上の拡散濃度分布の例である。放

出高度は147m、噴霧時間、サンプリング時間共、約1時間である。トレーサ物質は半円弧状に配置したサンプラーで捕集され分析されて、等濃度分布図が作成された。このような濃度分布図から、最大濃度やその出現距離、拡散幅などが得られ、気象条件と関係づけて解析される。

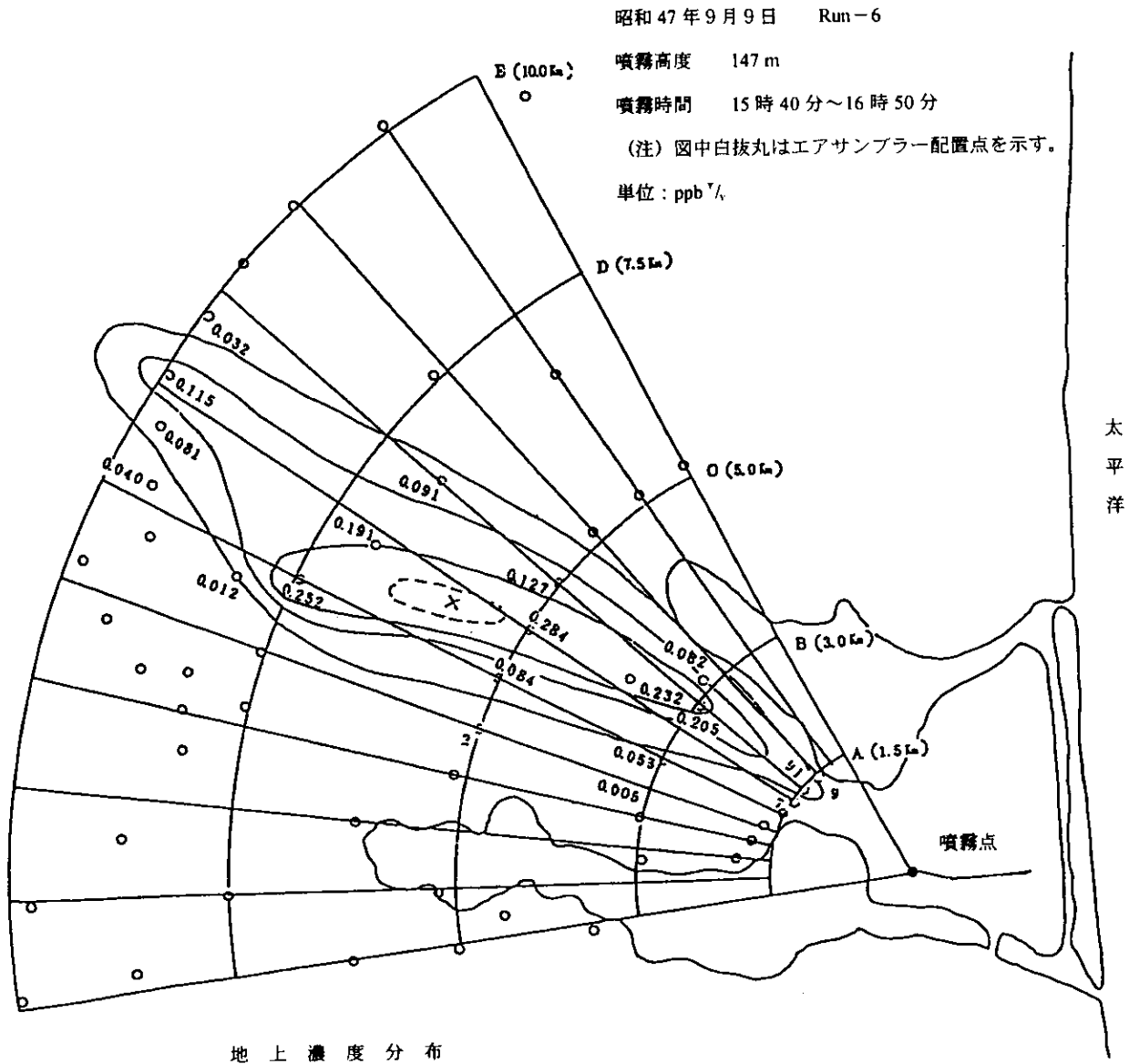


図10.3.1 トレーサ拡散実験により得られた地上濃度分布

10.4 大気汚染予測の実際

上で述べた拡散のシミュレーションモデルは実際の大気環境予測の場でどのように利用されているのか。また、そのときどのようなデータが収集され解析されて利用されているのか。ここでは実際の大気環境濃度の予測モデルの活用例を示す。

10.4.1 長期平均濃度の予測

現在の大気汚染予測モデルで最も精度が高く予測出来る濃度は、年平均濃度や季節平均濃度などの長期平均濃度である。この理由の第一は、乱流拡散現象が基本的に確率的な現象であり、ある地点、ある時刻の濃度は確率的にしか予測できないことによる。しかしながら、年平均値季節平均値のような長期平均値は、1時間平均値を多数集めたものの平均であり、確立論的な不確定性が減少する。その他の誤差要因として、拡散場の誤差や発生源の推定誤差などがある。

以上の理由から現在では、プルームモデルやパフモデルなどの解析解モデルを用いた長期平均濃度予測が一般的であり、硫黄酸化物や窒素酸化物の濃度予測に用いられている。

長期平均濃度の予測には、発生源、気象、および、環境濃度のデータが必要である。我が国における硫黄酸化物や窒素酸化物の総量規制における長期平均値の予測作業は、図 10.4.1 の手順により行われる。

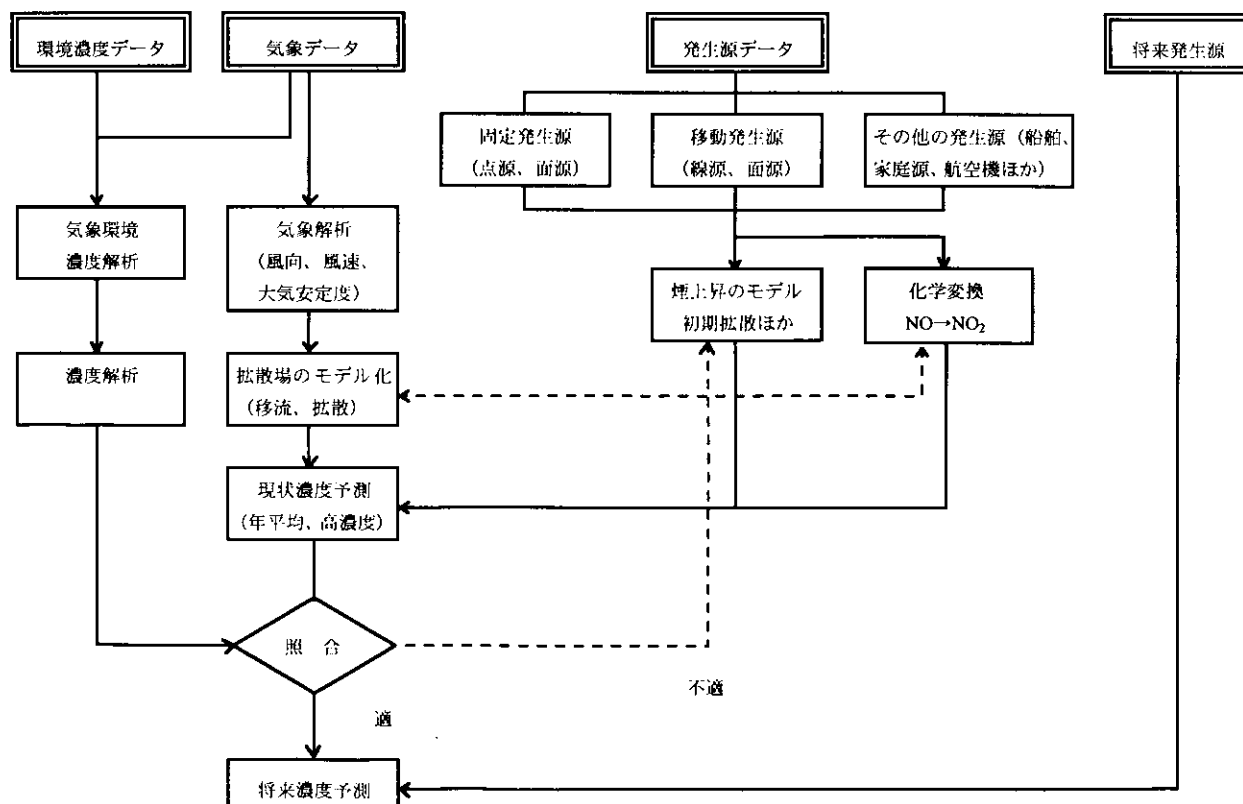


図 10.4.1 長期平均濃度の予測フロー

一年、つまり、365日の毎時の風向風速、日射量データから、16方位毎の風速階級別、大気安定度階級別の気象条件の出現頻度を計算する。

風速階級および大気安定度階級の分類は、表10.4.1に示す日本式大気安定度分類表による。この分類法は英国のPasquillにより提案されたものを改良したものである。Pasquillの方法では日射の強さを雲量で表示していたが、日本式分類では定量的な量である日射量に変更した。この方法は地上風速と日射量または放射収支量で対流や逆転層の強さを評価し、安定度を分類する。安定度AからCが不安定、Dが中立、EとFが安定である。Pasquillはそれぞれの安定度に対して、拡散幅を図10.4.2に示すように線図で与えた。

表10.4.1 日本式大気安定度分類

地上風速 (m/sec)	日中 日射量 cal/cm ² /hr			本曇 (8~10) 本曇の夜	夜間	
	>50	49~25	<24		上層雲(5~10) 中、下層雲(5~7)	雲量 (0~4)
<2	A	A~B	B	D	(F)	(G)
2~3	A~B	B	C	D	E	F
3~4	B	B~C	C	D	D	E
4~6	C	C~D	D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D	D

(注) パスキルの安定度分類表の日射量ランクを日本の気候を考慮した数値で表現したものである。

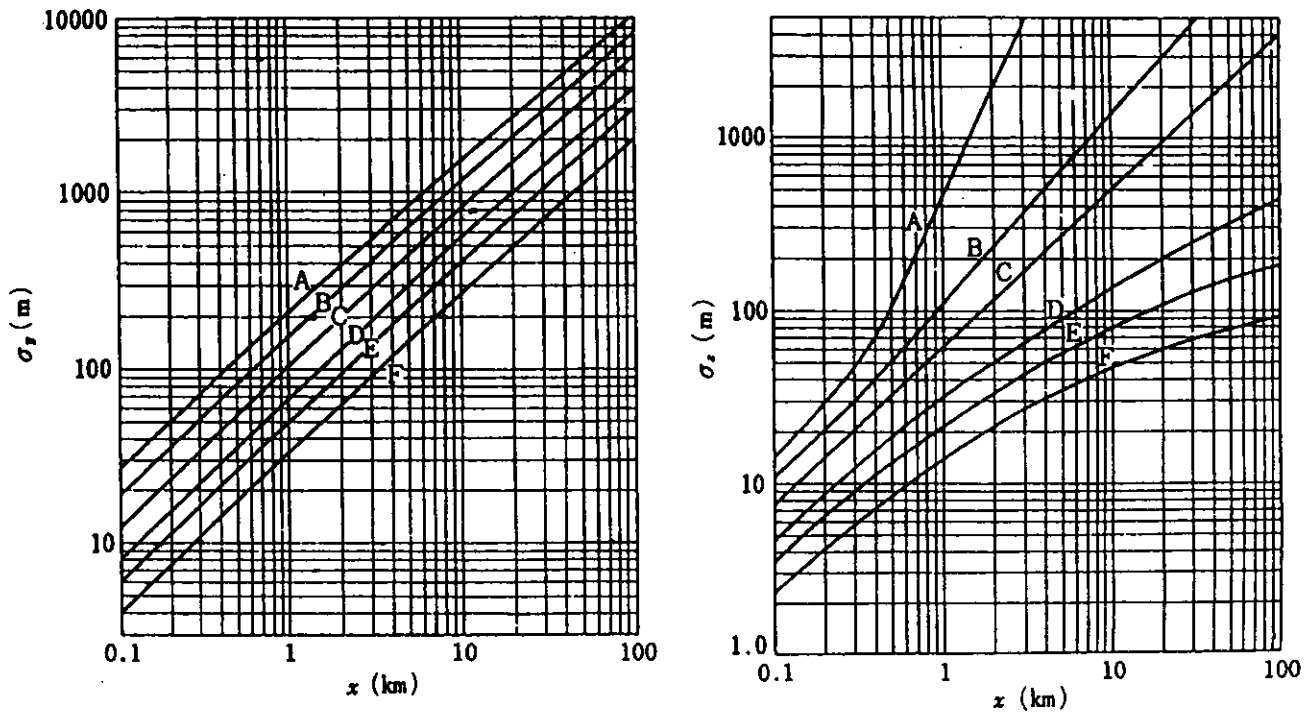


図10.4.2 Pasquillによる大気安定度別拡散幅

年平均濃度は、季節別、時間帯別に推定した汚染物質排出量データを用い、季節別時間帯別に整理された風向・風速・大気安定度出現頻度を用いて計算される。なおこの場合汚染物質排出量の推定には第6章8で紹介した排出係数が用いられる。

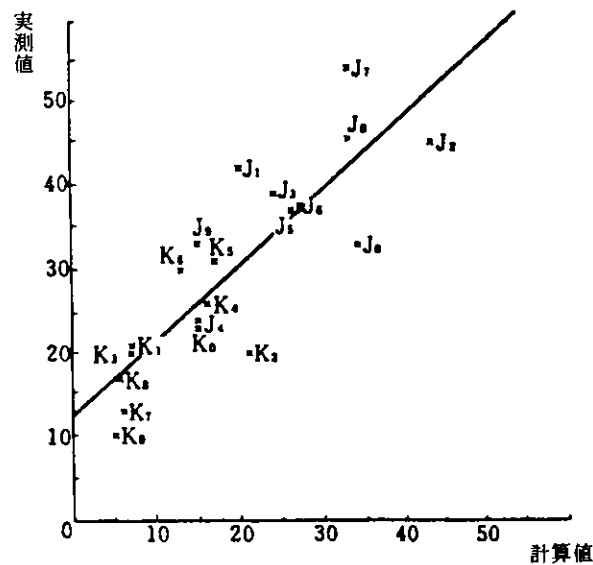


図 10.4.3 プルーム、パフモデルによる SO₂年平均値の計算値と実測地の散布図

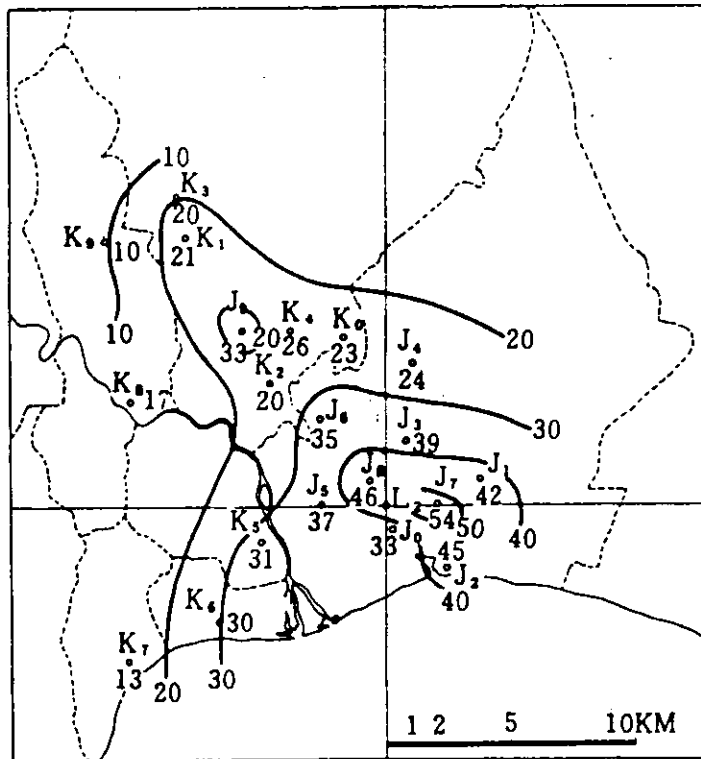
図 10.4.3 は、この方法で計算された環境濃度の実測値（横軸）と計算値（縦軸）の散布図である。点が原点を通り、45度の線上にあれば、計算値と実測値は完全に一致したことになる。しかしながら、一般に、実測濃度には把握できない発生源や、他の地域からの移流汚染があるため、計算値は実測値より低くなる。この差をバックグラウンド濃度と呼んでいる。計算値を x 、実測値を y 、バックグラウンドを b とし、実測値と計算値の関係を (17) 式により近似する。

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots (17)$$

ここで、 a は実測値と計算値の比例係数である。

シミュレーションの斉合性は実測値と計算値の相関係数と係数 a により、評価される。相関係数が 1 に近く、 a が 1 に近い計算が精度の高いシミュレーションとなる。富士地域の季節別平均濃度の拡散計算結果の一例として非暖房期の例を図 10.4.4 に示す。

プルーム、パフモデルによる長期平均濃度の予測に対しては、パーソナルコンピュータプログラムも販売されている。また、風向、風速、日射量などの気象データから、気象条件の統計解析を行うプログラムも販売されている。



年平均濃度 (ppb) 富士地域

図 10.4.4 ブルーム、パフモデルによる長期平均濃度分布

10.4.2 短時間平均濃度の予測

特定の気象条件下の濃度、複雑地形上の拡散予測などには、ブルーム・パフモデルと同時に、2節で述べた数値シミュレーションモデルなどが用いられる。数値シミュレーションモデルは海陸風条件下の拡散計算などによく用いられている。図 10.4.5 に数値シミュレーションモデルによる関東地方の海陸風の計算例を示す。地上近くの風向と風速をベクトルで表示してある。この数値モデルでは、太陽放射による地表面と大気との顕熱輸送、潜熱輸送も取り入れてある。

ブルーム・パフモデルによる短期間濃度の予測では、高さによる風向や風速、さらに、拡散幅の変化なども取り入れることにより、実態にあった拡散予測が可能となる。また、拡散場が時間とともに変化する場合の拡散計算では、移動パフモデルや有限ブルームモデル、ボックスモデルなども用いられる。図 10.4.6 に移動パフモデルと有限ブルームモデルの概念図を示す。

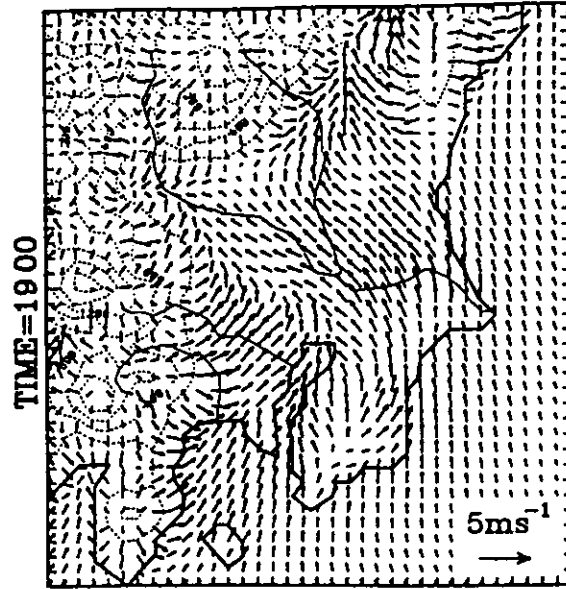


図 10.4.5 数値シミュレーションモデルによる関東地方の海陸風時の地表風の分布

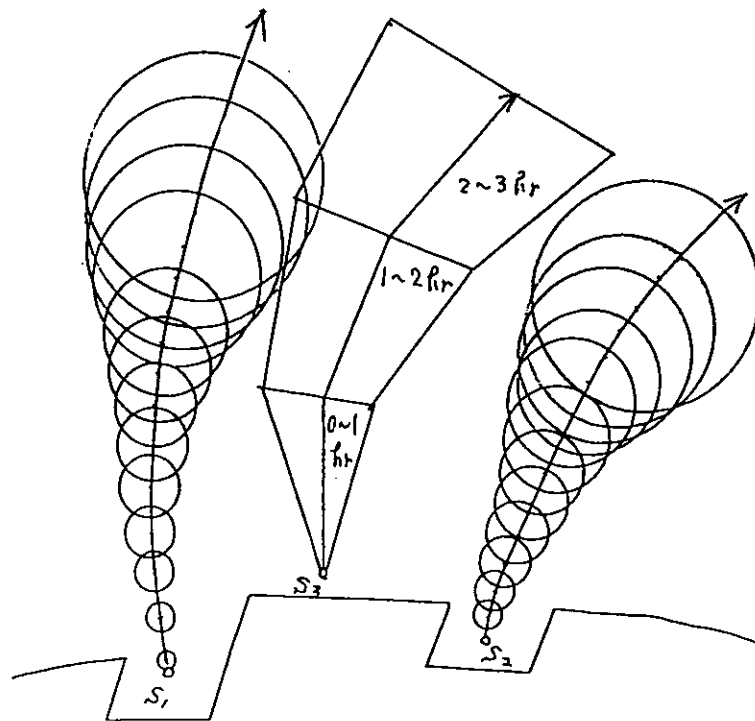


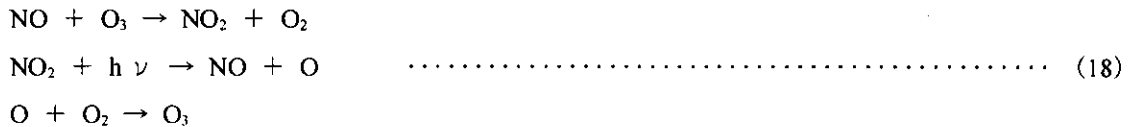
図 10.4.6 移動バフモデルと有限ブルームモデルの概念図

10.4.3 化学反応物質の予測

大気中で化学変化をする物質の環境濃度シミュレーションでは、拡散過程と同時に、化学変化の過程を計算する。化学変化には殆どの場合、光による反応も関与している。化学変化を行う物質として、光化学反応によるオキシダントの生成、一酸化窒素から二酸化窒素への変換、二酸化硫黄から硫酸根や酸性物質の生成、窒素酸化物や炭化水素類から粒子状物質の生成、成層圏におけるオゾンの分解などがある。

光化学オキシダントのシミュレーションでは数10の化学種とその2倍以上の反応式を考慮する。代表的な化学種は非メタン炭化水素類、窒素酸化物などであり、非メタン炭化水素類は、エチレン、エチレンを除く芳香族炭化水素、ホルムアルデヒド、ホルムアルデヒドを除くカルボニル化合物などに分類される。

窒素酸化物の反応 ($\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$) では、 NO と O_3 の反応が最も速い反応である、近距離の拡散など光化学反応を無視できる場合には、 NO , NO_2 , O_3 , O_2 の5物質と紫外線強度を与えればよい。反応式を(18)式に示すが、反応の詳細は第4章2に述べてある。



我が国の窒素酸化物総量規制手法では、この反応系を簡略化した(19)式の方法(指数関数モデル)が用いられる。

$$\frac{\text{NO}_2}{\text{NO}_x} = 1 - \frac{\alpha}{1 + \beta} \{ \exp(-kt) + \beta \} \quad \dots\dots\dots (19)$$

ここで、 α は排出源での NO の割合、 β は反応が平行に達したときの NO の割合に関する数値、また、 k は反応速度である。また、これらの係数の値として

$$\begin{aligned} k &= 0.0062 \text{ UO}_{3\text{B}} \text{ (固定源、船舶)} \\ &= 0.208 \text{ UO}_{3\text{B}} \text{ (自動車、家庭)} \\ \beta &= 0.3 \\ \alpha &= 0.9 \end{aligned}$$

が用いられている。

ここで U は風速、 $\text{O}_{3\text{B}}$ はオゾンの濃度である。

この他の方法として、窒素酸化物の測定濃度からその比率を統計的に処理して作成する(20)式による方法(統計モデル)が用いられる。

$$\text{NO}_2 = a [\text{Nox}] b \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで、係数 a および b は実測値の解析から定める。

実際の環境濃度予測では、個々の固定発生源の寄与率を計算するときには指数関数モデルを、自動車の影響を計算するときには統計モデルを用いる。

10.4.4 風洞実験による予測

地形や地物による拡散への影響、例えば、建物や煙突のウエイクによる拡散への影響、いわゆるダウンウォッシュ、ダウンドラフトなどが発生する拡散のシミュレーションでは、数値モデルと共に風洞実験が用いられる。風洞実験装置の例を図 10.4.7 に示す。風洞装置は送風機、整流部、測定部、循環部からなる。拡散風洞実験は測定部に地形あるいは建物模型を置き、模型煙突から煙の代わりにトレーサガスを流し、これを下流側でサンプリング、分析して行う。大気に相似な乱流境界層は測定部上流に乱流発生器や粗度要素をおいて発生させる。十分に発達した乱流境界層を発生させるためには、最低 2～5メートルの助走距離が必要であり、測定部の長さは 5メートル以上必要である。模型の縮尺は建物の場合は、1/100 から 1/1,000、地形の場合は数百分の 1 から数千分の 1 が一般的である。

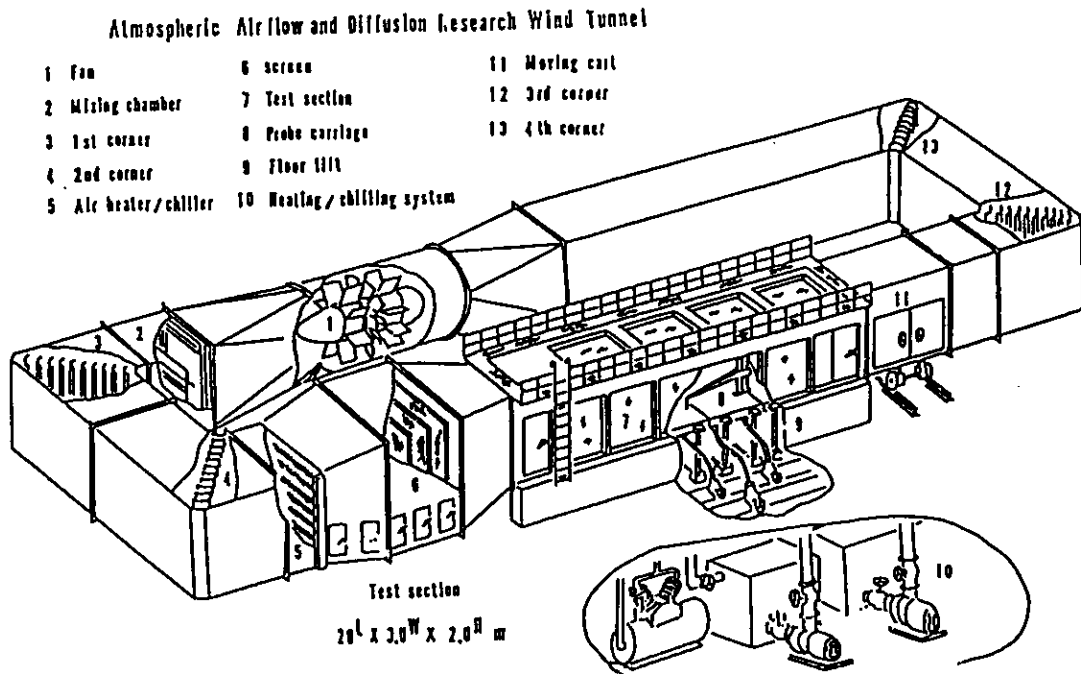


図 10.4.7 拡散風洞実験装置の例

拡散実験のトレーサガスとしては、エチレンやプロパンなどの炭化水素類が多く用いられる。風洞実験時の風速は、実物と同じか少し小さくする。このため拡散風洞に要求される風速範囲は 1～10 m/s 程度である。写真 10.4.1 による煙の拡散写真を示す。

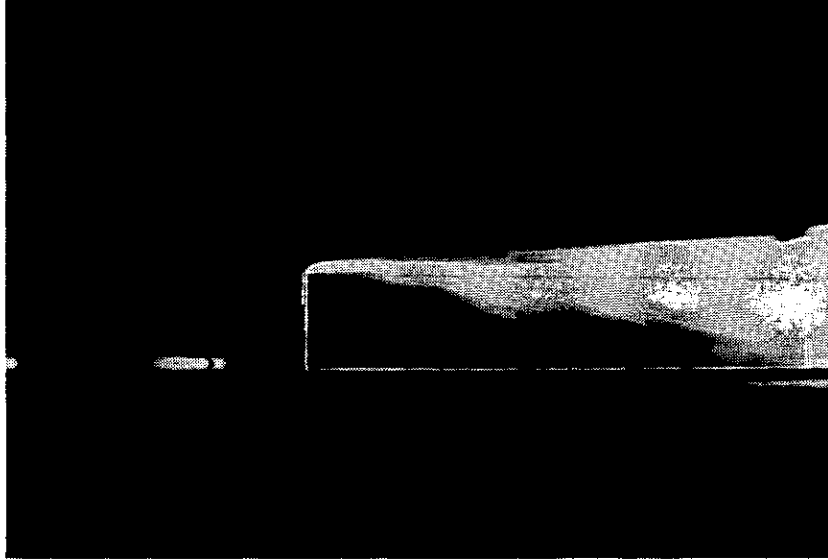


写真 10.4.1 風洞による煙の拡散実験

10.5 統計的予測モデル

大気汚染の予測には通常、物理的および化学的な拡散モデルが用いられる。しかしながら、物理的あるいは化学的なモデルが確立していない汚染質や、物理的な汚染モデルのための入力データが得られない場合、また、数時間後の汚染濃度の予測だけが必要な場合には、時系列的な濃度データ、あるいは、濃度と気象などのデータを統計的に使用して予測する方法もある。

大気汚染レベルの予報に用いられている方法に天気図パターン分類法がある。これは、季節および、高気圧、低気圧、前線の有無などにより気象のパターン分類を行い、パターン毎の汚染濃度を調べておくことにより、汚染レベルを予測するものである。この方法は、光化学オキシダントや窒素酸化物濃度の地域全体の濃度レベルの予測に利用されている。表 10.5.1 に典型的な天気図の分類例を示す。

物理的な拡散モデルを用いずに、数時間後の濃度を定量的に予測する方法として、重回帰分析やカルマン・フィルターあるいは、ウィナー・フィルターなどと呼ばれる自己回帰的な予測法がある。濃度変動は日変化などの周期成分と変動成分にわけられ、変動成分について数値フィルター法により予測する。つまり、予測対象である時刻 t の濃度 $C(t)$ を日変化分 $C_p(t)$ と不規則成分 $C'(t)$ に分け、日変化分については、過去の濃度データから求める。不規則成分については、例えばウィナーモデルでは、 $C'(t)$ の予測値 $C_e(t)$ は重み関数 $w(\tau)$ によって (21) 式のように予測される。

$$C_e(t) = \int_0^{\infty} w(\tau) C'(t - \tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (21)$$

ここで、 τ は遅れ時間であり、重み関数 $w(t)$ は $C'(t)$ と $C_e(t)$ の誤差を最小にするように求められる。図 10.5.1 にカルマン・フィルターモデルによる SO_2 の 1 時間先予測結果の例を示す。

表 10.5.1 大気汚染予測のための天気図分類の例

記号	説明
PN	北高南低型（梅雨型、オホーツク海高気圧など）
PE	東高西低型
PS	南高北低型（夏型、五月晴れなど）
PW	西高東低型（強い冬型）
OW	弱い西高東低型（弱い冬型）
H	移動性高気圧に覆われる。帯状高気圧に覆われる
F	前線（活発な前線の影響あり）
T	台風（台風の影響あり）
LF	強い低気圧の前面
LC	強い低気圧の中心域
LB	強い低気圧の後面
LS	強い低気圧の暖域
OLF	弱い低気圧の前面
OLC	弱い低気圧の中心域
OLB	弱い低気圧の後面
OLS	弱い低気圧の暖域
L2	二つ玉の中間域
OL2	弱い二つ玉
MX	500 km 以内に強い低気圧及び移動性高気圧がある
OX	その他

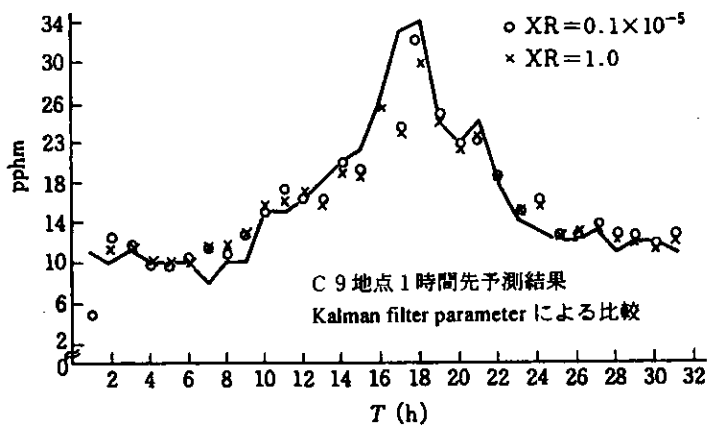


図 10.5.1 カルマンフィルターモデルによる SO₂ の 1 時間先予測の例

10.6 CMB 法

10.6.1 はじめに

大気浮遊粒子状物質の発生源同定のためのレセプターモデルの基本概念は簡単な質量保存の考えである。すなわち、発生源が p 個存在し、それらから排出された粒子状物質間で質量の除去や生成を引き起こす相互作用がないとすると、レセプター（測定点）での粒子状物質濃度 C は (22) 式のようにそれぞれの発生源からの寄与 S_j の線形和となる。

$$C = \sum_{j=1}^p S_j, \quad \dots\dots\dots (22)$$

同様に、粒子状物質の成分 i の質量濃度 C_i は (23) 式のようになる。

$$C_i = \sum_{j=1}^p a_{ij} S_j, \quad \dots\dots\dots (23)$$

ここで、 a_{ij} は発生源 j からレセプターに来る粒子状物質中の成分 i の含有濃度である。

レセプターモデルには 1 個の観測データを取り扱う CMB (Chemical Mass Balance) モデルと、多数個を取り扱う多変数量モデルとがあり、以下でしばしば発生源寄与解析に利用される CMB モデルに属する代表的な方法について概説する。

10.6.2 CMB モデル

図 10.6.1 は、都市域で採取した多くの粒子状物質試料の分析結果をまとめたものであり、各種の元素について、大気中濃度の幾何平均値と濃度範囲が示されている。また、表 10.6.1 は、都市域における主要発生源排出粒子の成分濃度の測定例である。CMB の基本概念は、このように測定点で採取した試料について多くの化学成分濃度を知ると、その地点での発生源の寄与濃度を同定できるとするもので、表 10.6.1 に掲げた発生源排出粒子の化学成分濃度パターン（発生源プロファイル）が特徴的であることに着目して解析される。

都市域の主要な発生源の排出粒子について、20 種程度以上の化学成分濃度を正確に把握できたとすると、環境中で観測される粒子状物質の化学成分濃度は、これらの発生源粒子の化学成分濃度パターンを重率 S_j で重ね合わせたものである。重率 S_j はある発生源からの排出粒子の寄与濃度である。測定された化学成分数 n が発生源数と同数以上であると、原理的には (23) 式の連立方程式を解いて、それぞれの発生源の質量寄与濃度を求めることができる。実際の計算方法として、指標元素法、線形計画法、最小自乗法、有効分散最小自乗法などが利用される。

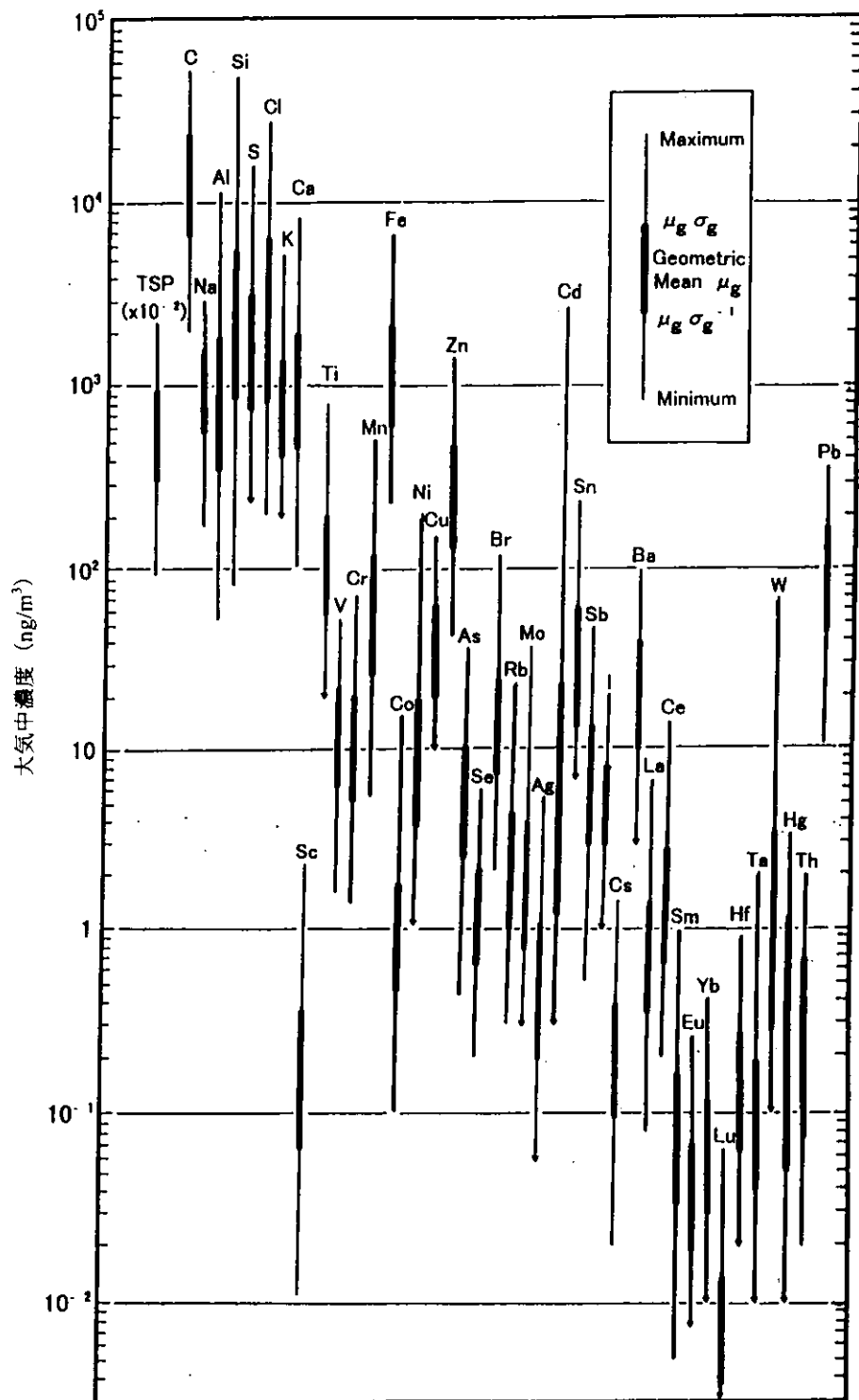


図 10.6.1 都市域の大気浮遊粒子状物質中の各種元素濃度

表 10.6.1 都市域における主要発生源からの排出粒子の成分濃度

成分	土 壌	海 塩	鉄鋼業	廃棄物焼却	石油燃焼	自動車排気	
						加鉛ガソリン	ディーゼル
Na (%)	1.3	30.42	1.4	12	1.0	0.027	0.10
AL (%)	6.8	0.00003	1.0	0.42	0.21	0.15	0.24
S (%)	—	2.6	4.8	13	9.6	—	—
CL (%)	0.023	55.05	3.4	27	0.092	0.34	—
K (%)	1.6	1.1	1.3	20	0.085	0.12	0.090
Ca (%)	1.6	1.2	4.5	1.1	0.085	—	0.20
Sc	8.6	0.001	1.3	0.46	0.09	0.23	0.36
Ti	4200	0.029	1000	900	740	—	190
V	61	0.058	130	27	9200	2.4	9.6
Cr	46	0.001	3200	850	210	16	12
Mn	790	0.058	22000	330	120	36	44
Fe (%)	3.9	0.000029	15.7	0.62	0.46	0.41	0.11
Co	8.9	0.014	44	21	31	1.8	0.70
Ni	—	0.014	2900	—	4900	39	—
Cu	—	0.017	3700	3600	—	190	—
Zn	290	0.029	52000	26000	400	1500	470
As	18	0.029	100	150	23	—	2.8
Se	5.2	0.12	51	—48	—	—	—
Br	1.3	1900	140	830	8.5	6200	38
Rb	86	3.5	77	260	—	—	1.9
Ag	—	0.087	54	150	—	—	—
Cd	—	0.002	250	500	240	—	—
Sn	—	0.087	2800	3000	—	—	—
Sb	37	0.014	90	610	6.9	2.1	4.7
Cs	3.2	0.029	—	12	—	—	0.21
Ba	730	0.86	—	390	920	640	20
La	21	0.009	9.8	7.7	—	—	1.1
Ce	49	0.012	69	170	—	—	2.1
Sm	4.2	—	0.21	0.49	7.6	—	0.13
W	2.5	0.003	47	—	—	—	—
Pb (%)	—	0.087	1.4	1.7	0.033	3.7	—
Th	9.3	0.020	—	—	—	—	0.11
V-C (%)	—	—	—	—	—	—	10.7
NV-C (%)	—	—	—	—	—	—	76.6
SO ₄ ²⁻ (%)	—	—	—	—	—	—	7.7
NO ₃ ⁻ (%)	—	—	—	—	—	—	0.78

(1) 指標元素法

指標元素法は最も簡単な計算法であり、化学成分に関してそれぞれの発生源には他の発生源にはないユニークな成分(指標成分)が存在すると仮定する。指標成分 t を持つ発生源 j の寄与濃度 S_j は (23) 式を変形した (24) 式で与えられる。

$$S_j = \frac{C_t}{a_{tj}} \dots \dots \dots (24)$$

この方法は、指標元素について、①レセプターで測定される発生源粒子の a_{ij} がよく知られていて発生源とレセプター間で変化しない、② C_i が環境試料で正確且つ精度良く測定できる、③レセプターにおける成分 i の濃度は発生源 j のみからもたらされるとする条件を満足するとき、有効である。

実際にはこれらの条件は完全に満足されないし、モデルを1発生源に1指標元素と限ることはエアロゾルに含まれるその他の元素の貴重な情報が利用されないことを意味する。しかし、例えば第一近似を求めるとか、発生源寄与の上限值を求める場合には有効である。

(2) 線形計画法 (Linear Programming method)

線形計画法では (25) 式、(26) 式の条件下で発生源寄与の和を最大にする組み合わせを求める。

$$0 \leq S_j \leq M \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$C_i + 3\sigma_{C_i} \geq \sum_{j=1}^p a_{ij} S_j \quad \dots\dots\dots (26)$$

ここで、 M は粒子状物質濃度、 σ_{C_i} は C_i の測定誤差である。これらの条件は発生源寄与が満足すべき必要条件ではあるが十分条件ではなく、得られる結果の物理的な意味は明確でない。

(3) 最小自乗法 (Ordinary linear least-squares method)

最小自乗法では、 $n > p$ の場合の発生源寄与 S_j の最確値を (27) 式で計算される x^2 を最小にすることによって求める。

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - \sum_{j=1}^p a_{ij} S_j)^2}{\sigma_{C_i}^2} \quad \dots\dots\dots (27)$$

CMB の (23) 式は行列表示すると (28) 式のようにになる。

$$C = AS \quad \dots\dots\dots (28)$$

ここで、 C は、 $n \times 1$ の環境粒子の成分濃度観測地ベクトル、 A は $n \times p$ の発生源粒子の成分濃度行列、 S は $p \times 1$ の発生源寄与濃度ベクトルである。(28) 式に対する最小自乗法の解は (29) 式のようにになる。

$$S = (A'WA)^{-1} A'WC \quad \dots\dots\dots (29)$$

ここで、 W は対角行列であり、その対角成分は $\sigma_{C_i}^{-2}$ である。また、肩付きの i および -1 はそれぞれ転置行列および逆行列を示す。発生源粒子の成分濃度行列には誤差がなく、環境粒子の成分濃度観測値のみに誤差があるとする最小自乗法によって計算される発生源寄与の推定誤差は (30) 式の行列の

対角成分として与えられる。

$$(A'WA)^{-1} \dots\dots\dots (30)$$

(4) 有効分散最小自乗法 (Effective variance least-squares method)

環境粒子の成分濃度測定値のみならず発生源プロファイル・データにも誤差を伴うので、計算に際してはこれら両方の誤差を考慮する必要がある。有効分散最小自乗法では、それぞれの化学成分に発生源プロファイル・データおよび環境濃度測定データの精度に比例した重率をかけて (23) 式を解く。すなわち、(31) 式の関数 x^2 を最小にする S_j を繰り返し計算によって求める。

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - \sum_{j=1}^p a_{ij} S_j)^2}{\sigma_{C_i}^2 + \sum_{j=1}^p \sigma_{a_{ij}}^2 S_j^2} \dots\dots\dots (31)$$

ここで、 $\sigma_{a_{ij}}$ は a_{ij} の測定に伴う誤差であり、(31) 式の右辺の分母が有効分散 V_{eff} と呼ばれるものである。(31) 式から求められる解を行列で表示すると (32) 式のとおりである。

$$S = (A'VA)^{-1} A'VC \dots\dots\dots (32)$$

ここで、 V は V_{eff}^{-1} を対角成分に持つ対角行列である。また、計算される S_j の推定誤差は (33) 式の行列の対角成分として与えられる。

$$(A'VA)^{-1} \dots\dots\dots (33)$$

10.6.3 指標元素

CMBでは、指標成分の選択が結果を決定づける。指標成分は、①特定の発生源に特徴的であり、他の発生源と区別できること、②精度よく測定できること、③大気中で成分濃度が変化しないことなどを考慮して選定される。用いる分析法によって感度・精度が異なるために、②の条件を満足する成分は必ずしも濃度の高いものになるとは限らない。③の条件は、気体状で放出されたものが大気中で粒子状に変化したり、また逆に大気中で粒子から逃散する成分では満足されない。現実には①の条件を満足するいくつかの成分のうちから、②および③を満足する最適なものが選ばれる。

指標として従来からよく利用される成分は、Al、Sc、Ti、Th (土壌および石炭燃焼)、Na (海塩)、V、Ni (石油燃焼)、Fe、Mn、Zn (製鉄・製鋼業)、K、Zn (廃棄物燃焼)、Pb、Br、C (自動車排気) などであり、これらが単独あるいは組み合わせて用いられる。

(10.1~5) 参考文献

- 1) 通商産業省環境立地局監修；公害防止の技術と法規（大気編），産業環境管理協会（1996）
- 2) 大気汚染実時間監視制御システムについて，産業公害，11，(9) 43-52（1975）
- 3) 大原利真，若松仲司，鶴野伊津志，伊藤保，泉川碩雄，神成陽容，外岡豊；光化学オキシダント・シミュレーションモデルの構築と検証，大気環境学会誌，32，(1) 6-28（1997）
- 4) Kondo, H.; The Thermally Induced Local Wind and Surface Inversion over the Kanto Plain on Calm Winter Nights, J. of Applied Meteorology, 34, (6) 1439-1448（1995）
- 5) Yamada, T. and S. Bunker; Development of a Nested Grid, Second Moment Turbulence Closure Model and Application to the 1982 ASCOT Brush Creek Data Simulation, J. of Applied Meteorology, 27, (5) 562-578（1988）

(10.6) 参考文献

- 1) 溝畑朗；レセプターモデルの現状，大気汚染学会誌，26，(2) 59-71（1991）
- 2) 浮遊粒子状物質対策検討会，環境庁大気保全局大気規制課監修「浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル」，pp267-284, 322-370, 東洋館出版社（1997）

第11章 大気保全に関する法令体系

11.1 概要

我が国の環境法体系は『環境基本法』を基本としている。そして、大気保全に関する法令体系については、表 11.1.1 のように『大気汚染防止法』を中心として『自動車から排出された窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法（自動車 NOx 法）』、『鉱山保安法』、『電気事業法』、『ガス事業法』、『道路交通法』、『道路運送車両法』及び地方公共団体が公布した『公害防止条例』などによって工場、事業場から排出されている煤煙、粉塵及び自動車から排出されるガスなどの汚染物質排出規制が行われている。さらに『悪臭防止法』で悪臭規制も推進している。

また、地球環境問題の重要性から地球温暖化、オゾン層破壊防止のための国際条約、議定書が締結され国内法も整備されている。このように、大気保全に関する法令体系は複雑である。そこでこれら基礎的事項をまず紹介しておこう。

表 11.1.1 大気汚染規制法とその内容

法律	規制の内容
○大気汚染防止法（昭 43、法 97）	ばい煙、粉じんの排出規制（排出基準の設定等）自動車排出ガスの許容限度、自動車燃料の許容限度の設定
○自動車 NOx 法（平 4、法 70）	特定地域における自動車の使用車種規制
○電気事業法（昭 39、法 170）	電気工作物の技術基準の設定、技術基準適合命令
○ガス事業法（昭 29、法 51）	ガス工作物の技術基準の設定、技術基準適合命令
○鉱山保安法（昭 24、法 70）	ガス、粉じん、鉱煙による鉱害防止（鉱煙排出基準、保安命令等）
○採石法（昭 25、法 291）	採取計画の認可、災害防止のための防止措置、採取停止等の命令
○道路運送車両法（昭 26、法 185）	自動車排出ガスの規制（道路運送車両の保安基準の設定）
○道路交通法（昭 35、法 105）	整備不良車両の取締（運転中止命令）、交通規制（通行禁止、信号機等による交通整理）
○エネルギーの使用の合理化に関する法律（昭 54、法 49）	エネルギーの有効利用による排ガスの発生防止

11.1.1 法律、条例

『法律』は原則として国会の両院議決で制定される憲法、条約に次ぐ効力を持つ国法の一形式である。さらに、『条例』は地方公共団体の行政事務に関し、憲法で保障された地方議会の議決で制定された法令であり、公共団体自らの判断に基づく行政行為の基本である。

11.1.2 条約、議定書、宣言

『条約 (convention)』とは具体的名称が『憲章 (chapter)』、『条約』、『協定 (agreement, arrangement)』、『議定書 (protocol)』の何れだろうと国家間又は国際機関間の文書合意を広義にしている。条約による合意は、条約締結権を有する機関同志で行われねばならず、我が国は内閣が条約締結権を有し、

国会承認が必要である。『条約』は、国内法に優先し条約履行のため国内法が制定されるのが通例である。

『議定書』も広義には条約である。通常ある条約の修正、補足する条約の名称として用いる。さらに『協定』は比較的専門的なまたは重要でない国家間の取り決めの名称である場合が多い。また、『宣言（declaration）』は国際機関の場で作成された文書や署名された各国の共通誓約である。

11.2 環境基本法

11.2.1 概要

この法律は平成5年公布された環境行政の基本を定めた法律で公害対策、自然保護、国際化を踏まえ制定された。環境保全の基本理念を定め国、地方公共団体、事業者及び国民の責務を明示している。そして、環境保全施策基本を定め総合的、計画的にこれを推進して現在及び将来の国民の健康で文化的な生活確保に寄与し、人類福祉への貢献を目的としている。また「環境への負荷」、「地球環境保全」、「公害」を定義し、環境の恵沢の享受と継承、環境負荷の少ない持続的発展社会の構築、国際協調による地球環境保全の必然性を規定している。

さらに環境の日、環境基本計画、環境基準、公害防止計画、環境影響評価、公害規制、自然環境保全、経済措置、施設整備、環境教育と学習、情報提供、調査実施、監視体制整備、科学技術振興、公害紛争処理及び被害救済、環境国際協力、地方公共団体又は民間団体への措置、地方公共団体の施策、費用負担及び財政措置などを規定している。以下大気保全に具体的に影響する事項を説明する。

11.2.2 環境基準

環境基準は『政府は、大気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染及び騒音に係る環境上の条件について、それぞれ、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準を定めるものとする。2.（省略）、3. 第1項の基準については、常に適切な科学的判断が加えられ、必要な改定がなされねばならない。4. 政府は、この章にある施策であって公害の防止に関するもの（以下「公害の防止に関する施策」という。）を総合的かつ有効適切に講ずることにより、第1項の基準が確保されるよう努めなければならない。』と規定されている。環境基準は環境行政目標とされ後述の総量規制で二酸化硫黄の環境基準（1日平均値 0.04 ppm）、二酸化窒素の環境基準（1日平均値 0.04 ppm～0.06 ppm）が環境目標とされ公害防止計画、環境影響評価制度でも重視されている。

11.2.3 公害防止計画

公害防止計画は『内閣総理大臣は、次のいずれかに該当する地域について、関係都道府県知事に対し、その地域において実施されるべき公害の防止に関する施策に係る基本方針を示して、その施策に係る計画（以下「公害防止計画」という。）の策定を指示するものとする。一、現に公害が著しく、かつ、公害の防止に関する施策を総合的に講じなければ公害の防止を図ることが著しく困難であると認

められる地域 二. 人口及び産業の急速な集中その他の事情により公害が著しくなるおそれがあり、かつ、公害の防止に関する施策を総合的に講じなければ公害の防止を図ることが著しく困難であると認められる地域 2. 前項の基本方針は、環境基本計画を基本として策定するものとする。3. 関係都道府県知事は、第1項の規定による指示を受けたときは、同項の基本方針に基づき公害防止計画を作成し、内閣総理大臣の承認を受けなければならない。4. 内閣総理大臣は、第1項の規定による指定及び前項の承認をするに当たっては、あらかじめ、公害対策会議の議を経なければならない。5. 内閣総理大臣は、第1項の規定による指示をするに当たっては、あらかじめ、関係都道府県知事の意見を聴かなければならない。』、『国及び地方公共団体は、公害防止計画の達成に必要な措置を講ずるよう努めるものとする。』と規定され、全国34地域で策定または見直されている。

11.2.4 国際協力

国際協力につき国は、地球環境保全などの国際的連携を確保し、国際協力推進に必要な措置を講じ、開発途上国の環境保全への支援を行うことに努めるよう定めている。そして監視、観測などの国際連携を確保し地方公共団体又は民間団体等による国際連携活動を促進するよう措置し、国際協力への地球環境保全配慮を求め、本邦以外の地域での事業活動に関し、事業者が地球環境保全につき適正配慮が可能なよう情報提供など必要措置を講ずるよう努めると規定している。

11.3 大気汚染防止法

11.3.1 概要

この法律は昭和37年5月第40回国会で成立した『煤煙規制法』を基礎としたもので昭和43年に成立し何回か改正されている。

『大気汚染防止法』は、工場及び事業場における事業活動に伴って発生するばい煙（硫黄酸化物、煤塵、有害物質）の排出などを規制するとともに、自動車排出ガスの許容限度を定めることなどにより、大気の汚染に関し、国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全することを目的として制定された。

その後、石油系燃料の消費量の増大に伴う大気汚染の進行、光化学スモッグ、フッ化水素・カドミウム・鉛など有害物質による大気汚染問題、自動車排出ガスによる高濃度汚染問題などを背景として、事業者の無過失責任制度の導入、硫黄酸化物及び窒素酸化物の総量規制の導入、数時にわたる排出基準の見直しや規制対象の追加などの規制強化が図られてきた。

さらに平成8年には、ベンゼンなど低濃度長期暴露による健康影響が懸念される有害大気汚染物質について健康影響の未然防止の観点から所要の対策を講ずることなどの改正が行われた。同法の体系を図11.3.1に示す。

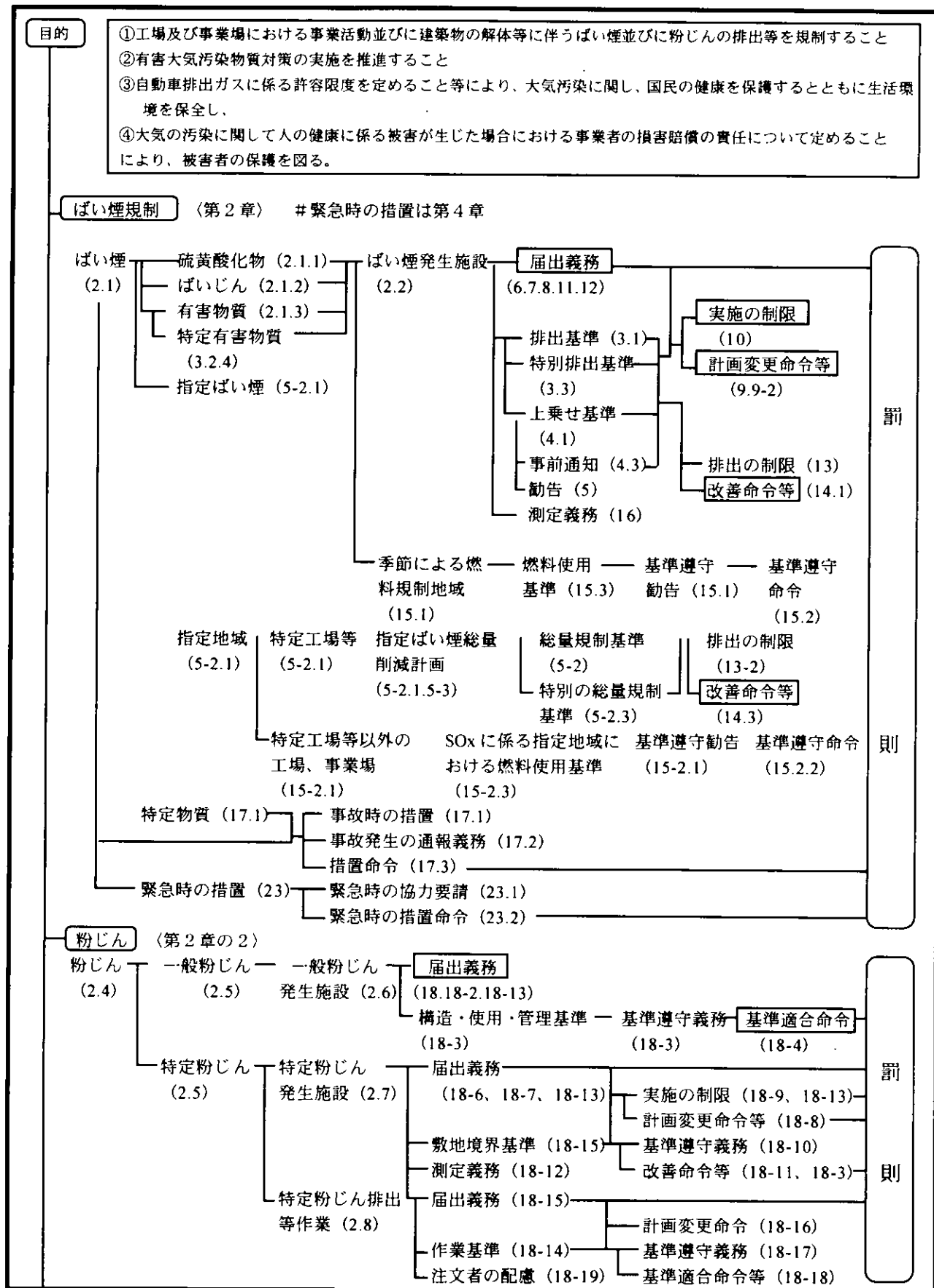


図 11.3.1 (その1) 大気汚染防止法の体系

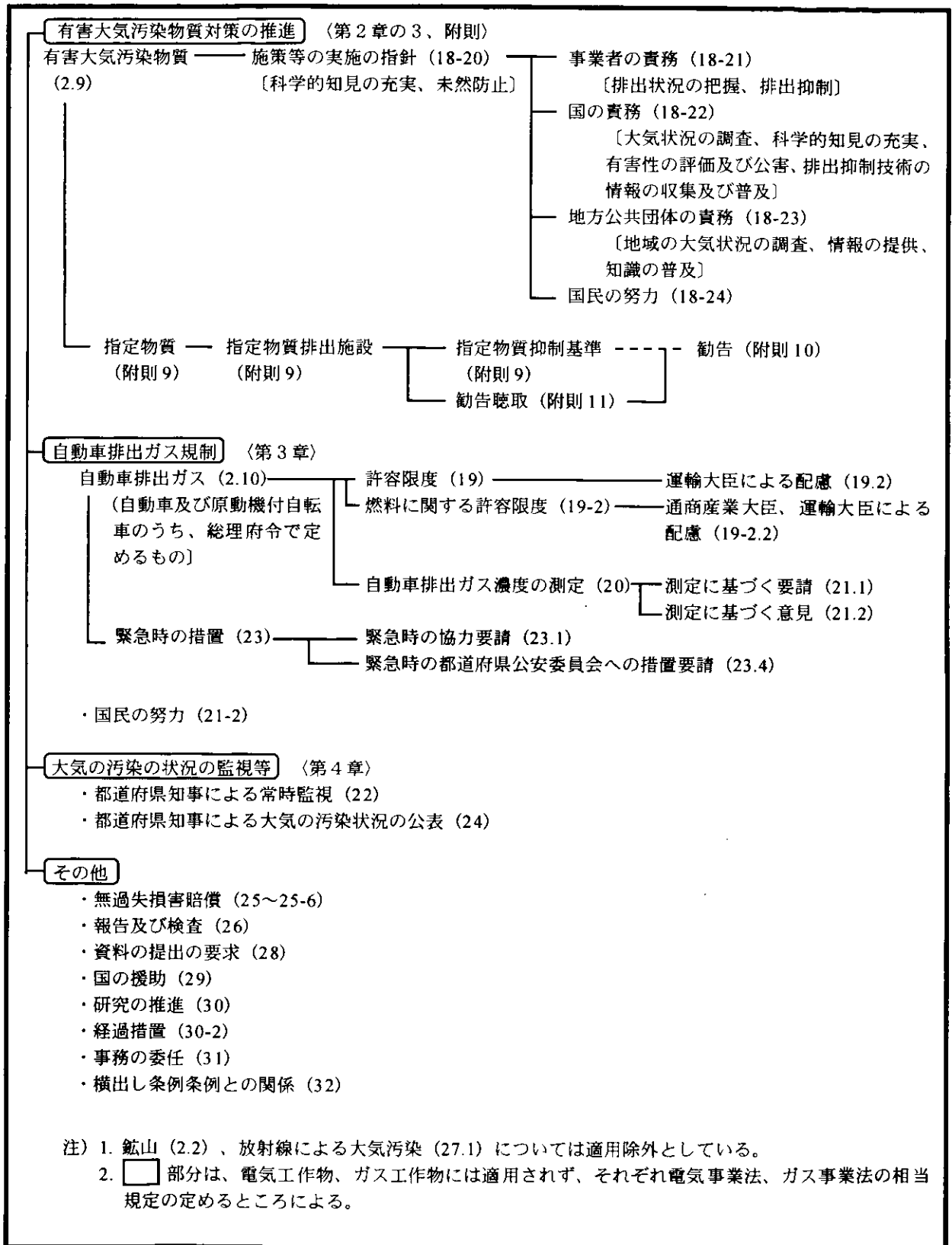


図 11.3.1 (その2) 大気汚染防止法の体系

11.3.2 ばい煙

(1) ばい煙及びばい煙発生施設

大気汚染防止法において、「ばい煙」とは、燃料その他の物の燃焼などに伴い発生する、1) 硫黄酸化物、2) ばいじん、3) 政令で定める有害物質（①カドミウム及びその化合物、②塩素及び塩化水素、③フッ素、フッ化水素及びフッ化塩素、④鉛及びその化合物、⑤窒素酸化物）をいう。「ばい煙発生施設」とは、1) 工場または事業場（鉱山を除く）に設置され、2) ばい煙を発生・排出し、3) 排出されるばい煙が大気汚染の原因となる、の3要件に該当する施設であり、具体的には、一定規模要件を満たすボイラー、加熱炉、ばい焼炉、溶鉱炉、乾燥炉、廃棄物焼却炉、ガスタービン、ディーゼル機関、ガソリン機関等が政令により定められている。

表 11.3.1 (その1) 大気汚染防止法の対象となるばい煙発生施設

	施設名	規模要件
1	ボイラー	・伝熱面積 10 m ² 以上 ・燃焼能力 50 Q/時以上
2	ガス発生炉、加熱炉	・原料処理能力 20 トン/日 ・燃焼能力 50 Q/時以上
3	ばい焼炉、焼結炉	・原料処理能力 1 トン/日以上
4	(金属の精錬用) 溶鉱炉、転炉、平炉	
5	(金属の精錬、または鑄造用) 溶解炉	・火格子面積 1 m ² 以上 ・羽口面断面積 0.5 m ² 以上
6	(金属の鍛練、圧延、熱処理用) 加熱炉	・燃焼能力 50 Q/時 以上 ・変圧器定格能力 200 kvA 以上
7	(石油製品、石油化学製品、コールタール製品の製造用) 加熱炉	
8	(石油精製用) 流動接触分解装置の触媒再生塔	・触媒に付着する炭素の燃焼能力 200 kg/時 以上
8の2	石油ガス洗浄装置に付属する硫黄回収装置の燃焼炉	・燃焼能力 60 Q/時 以上
9	(窯業製品製造用) 焼成炉、溶融炉	・火格子面積 1 m ² 以上 ・燃焼能力 50 Q/時 以上
10	(無機化学工業用品または食料品製造用) 反応炉(カーボンブラック製造用燃料燃焼装置含)、直火炉	・変圧器定格能力 200 kvA 以上
11	乾燥炉	
12	(製鉄、製鋼、合金鉄、カーバイド製造用) 電気炉	・変圧器の定格容量 1,000 kvA 以上
13	廃棄物焼却炉	・火格子面積 2 m ² 以上 ・焼却能力 200 kg/時 以上
14	(銅、鉛、亜鉛の精錬用) ばい焼炉、焼結炉(ペレット焼成炉含)、溶鉱炉、転炉、 溶解炉、乾燥炉	・原料処理能力 0.5 トン/時 以上 ・火格子面積 0.5 m ² 以上 ・羽口面断面積 0.2 m ² 以上 ・燃焼能力 20 Q/時 以上

表 11.3.1 (その2) 大気汚染防止法の対象となるばい煙発生施設

15	(カドミウム系顔料または炭酸カドミウム製造用) 乾燥施設	・容量 0.1 m ³ 以上
16	(塩素化エチレン製造用) 塩素急速冷凍装置	・塩素処理能力 50 kg/時 以上
17	(塩化第二鉄の製造用) 溶解槽	
18	(活性炭製造用〔塩化亜鉛を使用するもの〕用) 反応炉	・燃焼能力 30/時 以上
19	(化学製品製造用) 塩素反応施設、塩化水素反応施設、塩化水素吸収施設	・塩素処理能力 50 kg/時 以上
20	(アルミニウム製錬用) 電解炉	・電流容器 30 kA 以上
21	(燐、燐酸、燐酸質肥料、複合肥料製造用〔原料に燐石を使用するもの〕) 反応施設、濃縮施設、焼成炉、溶解炉	・燐鉱石処理能力 80 kg/時 以上 ・燃焼能力 500/時 以上 ・変圧器定格容量 200 kVA 以上
22	(弗酸製造用) 濃縮施設、吸収施設、蒸留施設	・伝熱面積 10 m ² 以上 ・ポンプ動力 1 Kw 以上
23	(トリポリ酸ナトリウム製造用〔原料に燐鉱石を使用するもの〕) 反応施設、乾燥炉、焼成炉	・原料処理能力 80 kg/時 以上 ・火格子面積 1 m ² 以上 ・燃焼能力 500/時 以上
24	(鉛の第2次精錬〔鉛合金の製造含〕鉛の管、板、線の製造用) 溶解炉	・燃焼能力 100/時 以上 ・変圧器の定格容量 40 kVA 以上
25	(鉛蓄電池製造用) 溶解炉	・燃焼能力 40/時 以上 ・変圧器の定格容量 20 kVA 以上
26	(鉛系顔料の製造用) 溶解炉、反射炉、反応炉、乾燥施設	・容量 0.1 m ³ 以上 ・燃焼能力 40/時 以上 ・変圧器の定格容量 20 kVA 以上
27	(硝酸の製造用) 吸収施設、漂白施設、濃縮施設	・硝酸の合成、漂白、濃縮能力 100 kg/時 以上
28	コークス炉	・原料処理能力 20トン/時 以上 ・燃焼能力 500/時 以上
29	ガスタービン	
30	ディーゼル機関	
31	ガス機関	・燃焼能力 350/時 以上
32	ガソリン機関	

注) ・規模要件がある場合、いずれかひとつに該当するとばい煙発生施設となる。
・「燃焼能力」とは、燃料を重油換算した場合の1時間当たりの燃焼量である。

(2) ばい煙規制

ばい煙に対しては、下記の4種類に大別される各種の規制手段、規制方式が採用されている。

1) 一般排出基準

ナショナルミニマムとしてばい煙発生施設ごとに国が定める基準。

2) 特別排出基準

硫黄酸化物、ばいじん又は特別有害物質に関するばい煙発生施設が集合して設置されている地域（施設集合地域）に新設されるばい煙発生施設に適用されるもので、1) より厳しい特別の基準。

3) 上乗せ排出基準

一般排出基準及び特別排出基準では人の健康を保護し又は生活環境を保全することが十分でないと認められる区域があるとき、都道府県が条例によって一般基準に代えて定める厳しい基準をばいじん及び硫黄酸化物を除く有害物質について設定できることとされており、現在21都府県で設定されている。

4) 総量規制基準

1) から3) の基準のみによっては環境基準の確保が困難であると認められる指定地域において、指定ばい煙を排出する特定工場等に適用される基準。

総量規制基準は、排出基準と異なり、施設単位の基準ではなく、特定工場等に設置されている全てのばい煙発生施設から排出される当該指定ばい煙の合計量について、計画に基づき都道府県知事により定められる基準であり、現在、硫黄酸化物及び窒素酸化物を指定ばい煙に指定しこれらを対象として定められている。硫黄酸化物に係る総量規制地域は、24地域（全国人口の約33%、全国燃料使用量の約56%を占める。）が指定され、昭和53年5月より、全面的に規制が適用されている。また、窒素酸化物に係る総量規制地域は、東京都、大阪府及び神奈川県が指定され、昭和57年より規制が適用されている。

なお、硫黄酸化物対策として、排出基準による規制のみで十分でない場合、都道府県知事は燃料使用基準として当該地域で使用される燃料中の硫黄酸化物の含有量を定め、事業者等に従うべきことを勧告、命令することができる。燃料使用基準には、都市中心部におけるビル暖房等に起因する大気汚染に対処するため期間を定めて適用されるものと、硫黄酸化物に係る指定地域において特定工場以外の工場又は事業場の設置者に適用されるものがある。

また、事故時の措置として、ばい煙発生施設又は特定施設（人の健康又は生活環境に係る被害が生じるおそれがある物質として政令で定められたアンモニア、ベンゼンなど28物質の特定物質を発生する施設ばい煙発生施設以外のもの）において故障などの事故が起こり、ばい煙又は特定物質等が大量に排出されたときは、設置者は直ちに応急の措置を講じ復旧に努めるとともに都道府県知事に通報することとされている。

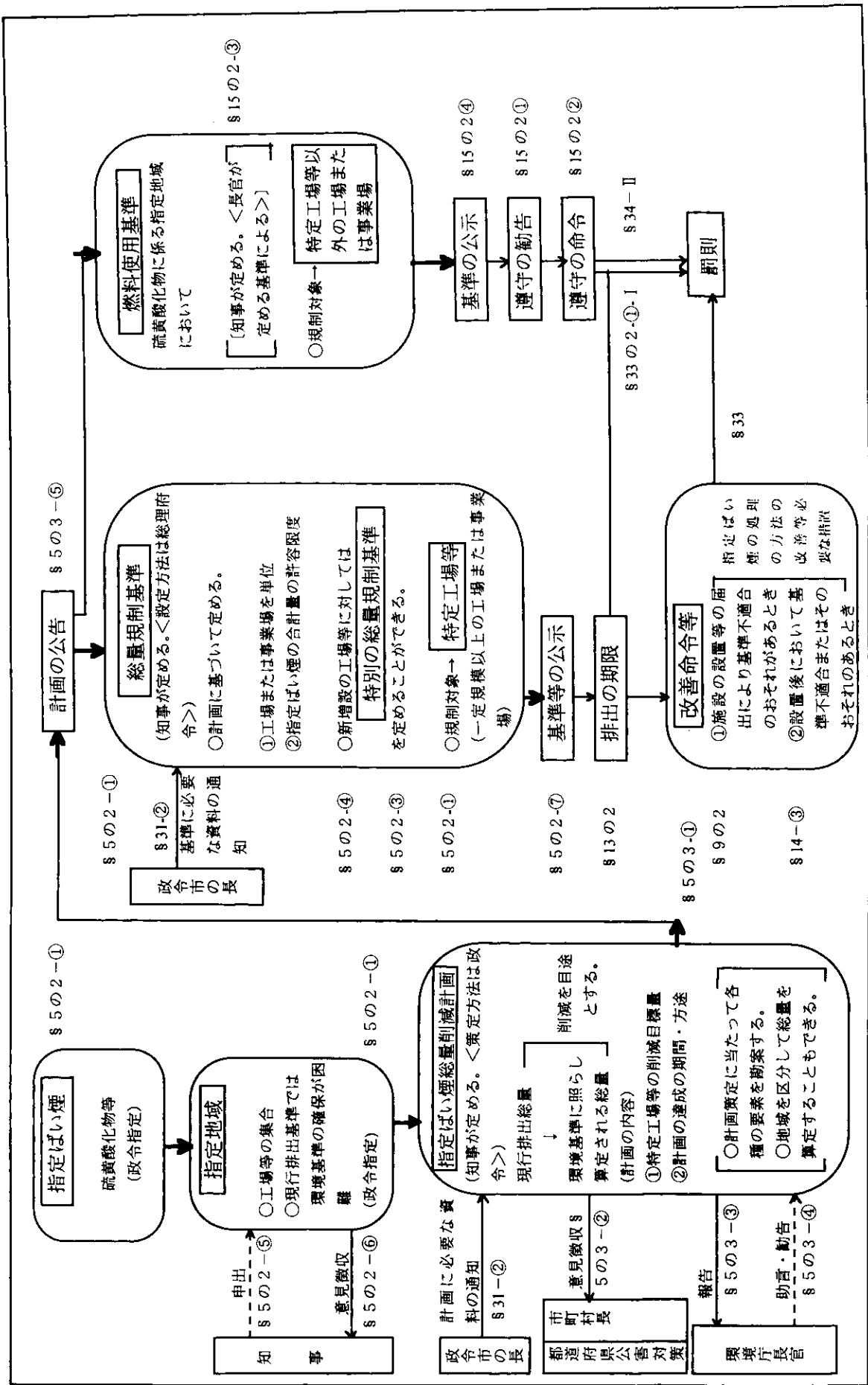


図 11.3.2 総量規制の仕組みの概略

11.3.3 粉じん

大気汚染防止法において「粉じん」とは、物の破砕、選別その他の機械的処理又はたい積に伴い発生し、又は飛散する物質とされている。一般粉じんの規制は粉じん発生施設の構造並びに使用及び管理に関する基準として定められている。また、石綿については、人の健康に係る被害を生じるおそれのある物質として特定粉じんに指定され、工場又は事業場の敷地境界線における大気中の濃度の許容限度が定められるとともに、建築物の解体現場等からの飛散防止のための作業基準等の規制が導入されている。

11.3.4 自動車排出ガス

自動車は、昭和30年代以降の急速なモータリゼーションの進展を通じ国民の日常生活、経済活動において重要な輸送機関となったが、反面で深刻な大気汚染、騒音、振動等の公害問題を惹起し、大きな社会問題となった。このため、昭和40年代以降、自動車排出ガスに係る規制が導入され、逐次強化された。

我が国における自動車排出ガス規制は、大気汚染の監視結果及び自動車排出ガス提言技術の紹来予測に基づいて環境庁長官が自動車から排出される大気汚染の原因物質の量の許容限度を定め、運輸大臣この許容限度が確保されるよう道路運送車両法に基づく保安基準での自動車排出ガスの規制に必要な事項を定めることとなっており、自動車の検査により新車及び使用過程車に対する規制が確保されている。従来、許容限度は、普通自動車、小型自動車及び軽自動車に対して、一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、粒子状物質（ディーゼル車のみ）、ディーゼル黒煙について定められてきたところであるが、二輪車についても平成10年以降規制が導入されることとなっている。

11.3.5 有害大気汚染物質対策

平成8年5月の大気汚染防止法の改正により、低濃度長期暴露による健康影響が懸念される有害大気汚染物質について、健康影響の未然防止の観点から所要の対策を講ずることとされた。

有害大気汚染物質のうち、ベンゼン、トリクロロニチレン及びテトクロロエチレンについては、その排出又は飛散を早急に防止しなければならないものとして指定物質とされている。これらを排出し又は飛散させる施設は、指定物質排出施設として指定され、排出又は飛散の抑制に関する基準として、施設ごとに指定物質抑制基準が定められている。（図11.3.3）

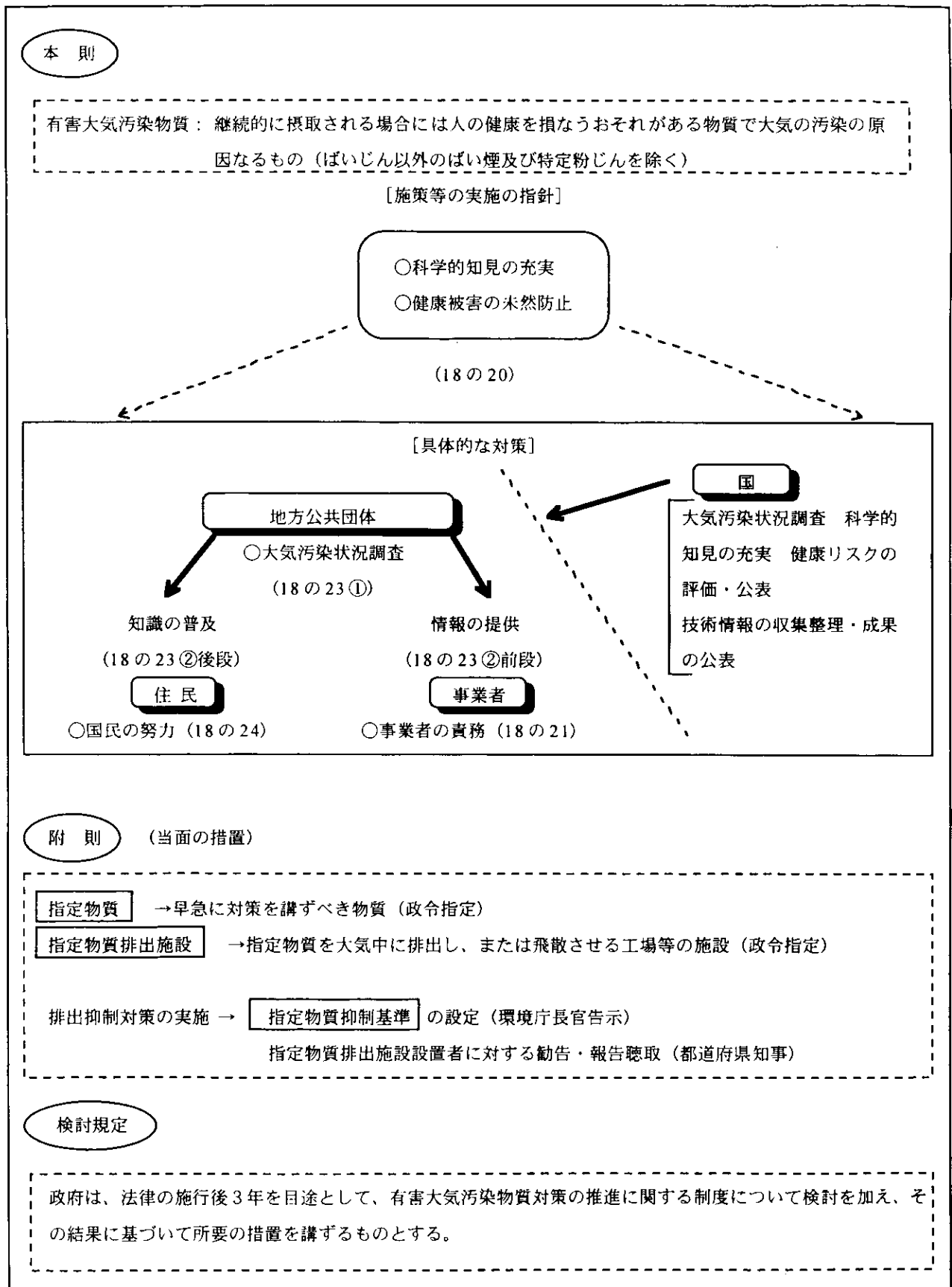


図 11.3.3 改正大気汚染防止法に基づく有害大気汚染物質対策の概要

11.4 自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法

11.4.1 背景

窒素酸化物による大気汚染問題については、大気汚染防止法による工場・事業場に対する規制や自動車排出ガス規制（単体規制）の強化などが行われてきたが、大都市地域における窒素酸化物による大気汚染は深刻な状況が続いており、汚染地域が拡大した。近年では、窒素酸化物発生源としての自動車の負荷率はきわめて大きく、平成2年度には、東京都71%、大阪府53%となっている。

このため、単体規制の強化を図りつつも、これだけでは二酸化窒素に係る環境基準を満たすことが困難と予測される地域において、地域全体の自動車排出窒素酸化物の総量の削減を図るため、平成4年「自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」が制定された。

11.4.2 概要

同法に基づき、自動車が排出する窒素酸化物による大気汚染が著しい地域として埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府及び兵庫県の196市区町村を特定地域として指定し、平成12年度末までに二酸化窒素に係る環境基準を概ね達成するため、以下の対策を講じている。（図11.4.1）

(1) 総量削減基本方針及び総量削減計画

法に基づくマスタープランとして国は総量削減基本方針を定め、この中で総量削減のための施策として、自動車単体規制の強化、車種規制の実施、低公害車の普及促進、物流対策の推進、人流対策の推進、交通流対策の推進、局地汚染対策の推進及び啓発活動の推進を定めている。また、基本方針に基づき各都道府県が総量削減計画を策定し、所要の施策を講じている。

(2) 特定自動車排出基準

特定地域内を使用の本拠とする貨物自動車、バス等について特定自動車排出基準を定め、基準に適合しない自動車については自動車検査証を交付しない等の措置をとっている。

(3) 自動車使用合理化指針

事業所所有大臣は、自動車使用の合理化等を図るための指針を定め、事業者に対して、窒素酸化物排出量の低減に資するよう必要な指導及び助言を行っている。

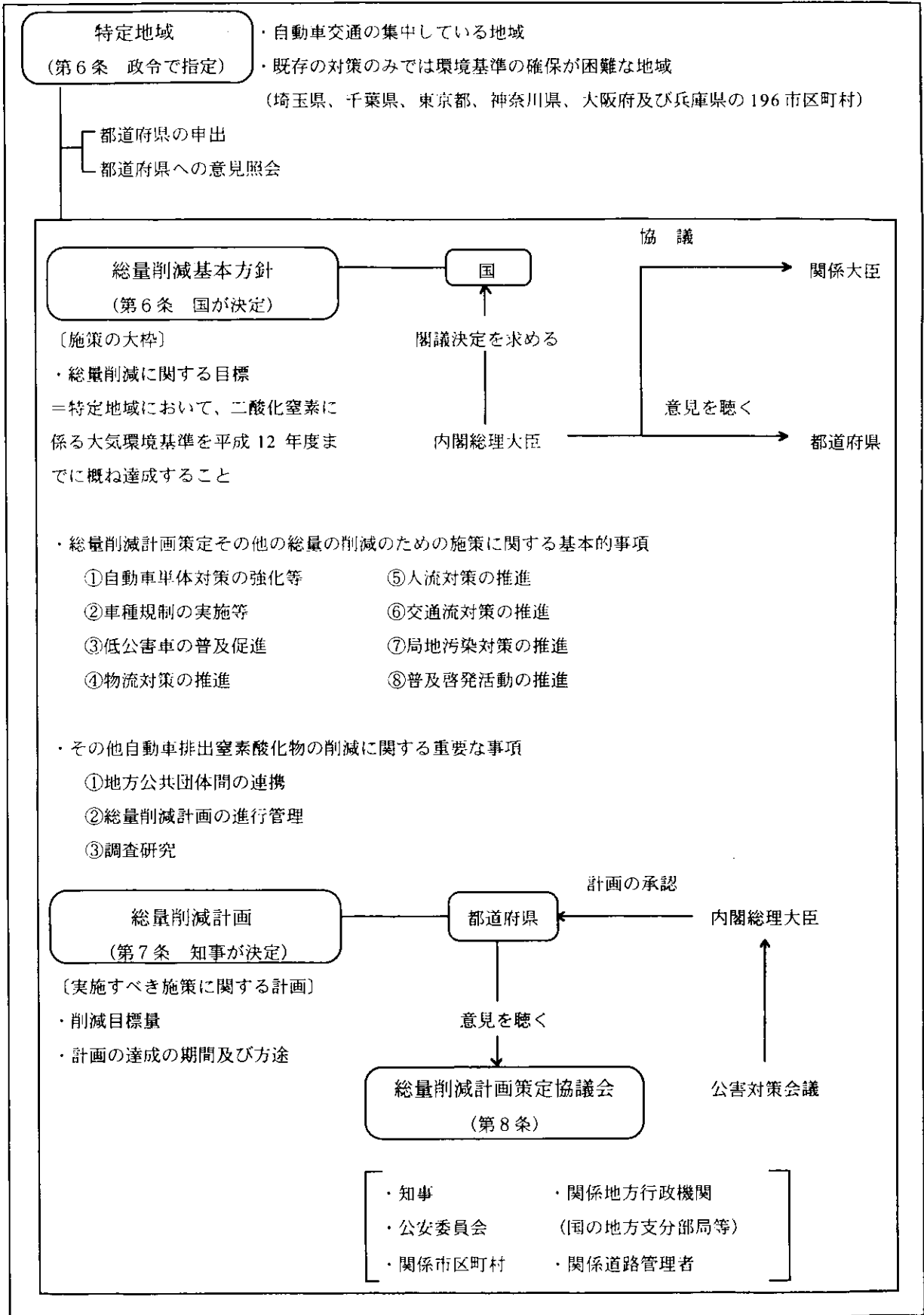


図 11.4.1 (その1) 自動車 NOx 法の体系図 (平成4年6月3日公布、平成5年12月1日車種規制施行)

国の援助（第15条）

特定自動車排出基準の適用（車種規制）（第10～12条）

- ・ 特定地域内に使用の本拠を有する貨物自動車、バス、及び特種自動車（貨物自動車及びバスをベースにしているもの）で、特定自動車排出基準（下表）に適合しないものは、使用できなくなる。

車両総重量区分	特定自動車排出基準
1.7t以下	昭和63年規制ガソリン・LPG車並
1.7t超え2.5t以下	平成元年規制ガソリン・LPG車並
2.5t超え5.0t以下	平成元年規制ディーゼル副室式車並（注）
5.0t超え	平成元年規制ディーゼル直噴式車並（注）

（注）平成7年9月以降製作の車には平成6年規制並の基準値が適用される。

- ・ 使用過程車には、適用猶予期間が設定されている。

種別	初度登録日からの年数	ナンバープレートの分類番号
普通貨物自動車	9年	1及び10～19
小型貨物自動車	8年	4及び40～49、6及び60～69
大型バス（定員30人以上）	12年	2及び20～29
マイクロバス（定員11人以上30人未満）	10年	2及び20～29（一部5、50～59、7、70～79）
特種自動車（貨物車・バスベースのもの）	10年	8及び80～89

- ・ 車種規制は、道路運送車両法により担保される（基準不適合車への車検証不交付）。

事業者の自動車使用合理化指導等
（第13条）

事業所管大臣 ← 環境庁長官 ← 都道府県

要請

指導・助言

自動車使用合理化指針 → 事業者

卸・小売業、製造業、電話・ガス
・ 熱供給事業運輸業、建設業

その他の施策

（施策の所掌大臣、知事）

- ・ 低公害車普及
（電気自動車、天然ガス自動車等の普及促進）
- ・ 物流対策
（共同輸配送の推進、物流施設の適正配置等）
- ・ 人流対策
（公共交通機関の整備、乗継ぎ利便性向上等）
- ・ 交通流対策
（バイパスの整備、交通管制の高度化等）

図 11.4.1（その2） 自動車 NOx 法の体系図（平成4年6月3日公布、平成5年12月1日車種規制施行）

11.5 悪臭防止法

悪臭は、典型的感覚公害で例えば魚腸骨処理、屠殺場、精油所など悪臭への苦情は頻発した。中でも昭和38年8～9月に川崎市南部港湾にメルカプタンを含む廃棄物が不法投棄された悪臭問題は東京都北区、横浜市中区付近まで影響した。

とはいえ効果的防止技術開発の遅れ、定量的悪臭評価の困難などが原因で規制が遅れ、昭和46年『悪臭防止法』が制定された。この法律は工場、事業場が排出する悪臭物質を規制して生活環境を保全し、国民の健康保持に役立てる目的で制定され『規制区域内の悪臭物質排出工場、事業場が規制対象である。規制区域は都道府県知事により指定され22種の悪臭物質につき事業場の敷地境界線における空气中濃度又は排出ガス濃度、排出水中濃度を政令で定める範囲において規制基準として都道府県知事が定め悪臭規制するものである。なお平成8年に規制方法に臭覚感応法も採用している。

11.6 特定工場における公害防止組織の整備に関する法律

昭和43年『大気汚染防止法』、『騒音規制法』、昭和45年『振動規制法』が成立し環境法体系は整えられ、昭和30年代から厚生省公衆衛生院、通商産業省工業技術院による公害行政機関技術職員の養成が実施されたとはいえ公害防止を実際行う事業者の組織体制、特に技術者養成はこれに追従できなかった。

そこで昭和46年、公害発生源である工場、事業場に公害防止組織を作ること義務づけるべくこの法律が制定された。この法律の目的は、公害防止管理者制度を設けて特定工場における公害防止組織整備を図り組織的に公害防止に取り組む体制をつくることである。そして、法律適用事業場として一定規模以上で対象施設を設置する製造業、電気供給業、ガス供給業、熱供給業を『特定工場』として指定し、特定工場に公害防止統括者、公害防止主任管理者、公害防止管理者を選任させ都道府県知事に届け出させて組織的に公害防止に取り組ませるのである。

なお、公害防止主任管理者、公害防止管理者は国家試験を合格した有資格者であり、公害防止管理者は大気1～4種、特定粉塵、水質1～4種、騒音、振動に分類されている。

11.7 環境影響評価法

環境影響評価法が平成9年6月9日成立した。この法律に規定する制度においても大気保全是重視されている。この法律と環境評価制度に関しては第12章において紹介する。

11.8 エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）

昭和30年代、世界のエネルギーは石油で賄われたが、昭和53年の第1次エネルギー危機以来石油逼迫が現実的となり、石油依存率が高いエネルギー供給状況を継続した我が国のエネルギー事情は変化せざるを得なくなった。すなわち省エネルギー政策と脱石油エネルギー政策推進である。昭和53年、海外依存度の高い我が国のエネルギー事情にかんがみ、燃料資源有効利用を図るべく工場、建築物、

機械のエネルギー使用の合理化措置を講ずるため『エネルギーの使用の合理化に関する法律案（省エネ）』が国会に提出され、昭和54年成立し『熱管理法』は廃止された。また、平成5年地球環境問題の認識の高まりによりエネルギー需要対応策として『省エネ法』、『石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律』、『石炭並びに石油及び石油代替エネルギー対策特別会計法』が改正され『エネルギー等の使用の合理化の促進に関する臨時措置法』が制定されて省エネルギーとリサイクル促進、特定フロン使用合理化が図られることになった。

11.9 条約、議定書締結状況と関係法

環境問題国際化の進行にともない、我が国は多くの国際条約、議定書を締結し、この履行のため国内法を整備している。以下その状況を概説し、大気保全に係る主要な条約、議定書、国内法を説明する。

11.9.1 概説

我が国が国際舞台で環境行政につき本格的に活動し始めたのは1972年6月のスウェーデンのストックホルムで開催された『国連人間環境会議』の場だった。以来我が国政府は1982年のケニアでの『ナイロビ会議』、1992年のブラジルのリオ・デジネイロでの『環境と開発に関する国連会議』で主導的役割を演じた。

11.9.2 条約、議定書締結

政府は、『環境の保護の分野における協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国政府との間の協定（1975）』締結後、環境国際協力を推進したが、大気保全に直接関係するのはオゾン層保護のため『オゾン層保護のためのウィーン条約（1988）』、『オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書（1988）』、リオ・デジネイロでの『環境と開発に関する国連会議』で基本的に合意された『気候変動に関する国際連合枠組条約（1994）』締結であろう。

11.9.3 国内法整備

政府は昭和63年『特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律』を制定し特定物質の製造を規制するなど対策を進め、オゾン層状況を観測し特定物質の大気中濃度の観測を実行してオゾン層保護に努めている。また『地球温暖化防止行動計画』を平成2年に閣議決定し、『エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）』などで地球温暖化による気候変動対策を進めている。

(11.1～11.9) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法, 中央法規 (1997)
- 2) 環境庁企画調整局；環境影響評価法について (1997)
- 3) 鈴木敏央；よくわかる環境法, ダイヤモンド社 (1997)
- 4) 地球温暖化防止行動計画, 社団法人産業公害防止協会 (1990)

第12章 大気保全行政概要

12.1 大気保全行政機構、執行体制

我が国の大気保全行政は、環境庁大気保全局を中心に、規制権限をもつ地方公共団体により執行されている。環境庁大気保全局は図12.1.1に示すように、局長以下企画課、大気規制課、自動車環境対策第1課、自動車環境対策第2課、大気生活環境室及び広域大気管理室の4課2室体制により、大気汚染、騒音、振動、悪臭、オゾン層保護、酸性雨対策行政を執行している。

また、企画調整局において公害防止計画策定、大気汚染健康被害者補償予防制度関係業務にあたるほか、他省庁で行う大気汚染対策研究、燃料供給改善、省エネルギー政策の調整にあたっている。

大気保全行政における国と地方公共団体との分担に関しては、おおむね国が全国的な広域的な基準設定や地方公共団体への補助事業を推進し、地方公共団体が規制、監視などの業務執行に当たっている。

例えば、大気汚染防止法による大気汚染物質の排出規制に関しては、国は規制対象施設・排出基準設定に関して環境大気中の汚染物質の実態、汚染物質排出施設と排出防止技術の実態を調査して実施し、地方公共団体は煤煙排出者の届け出審査、工場立入検査、改善指導と命令、常時監視などの行政業務を執行している。

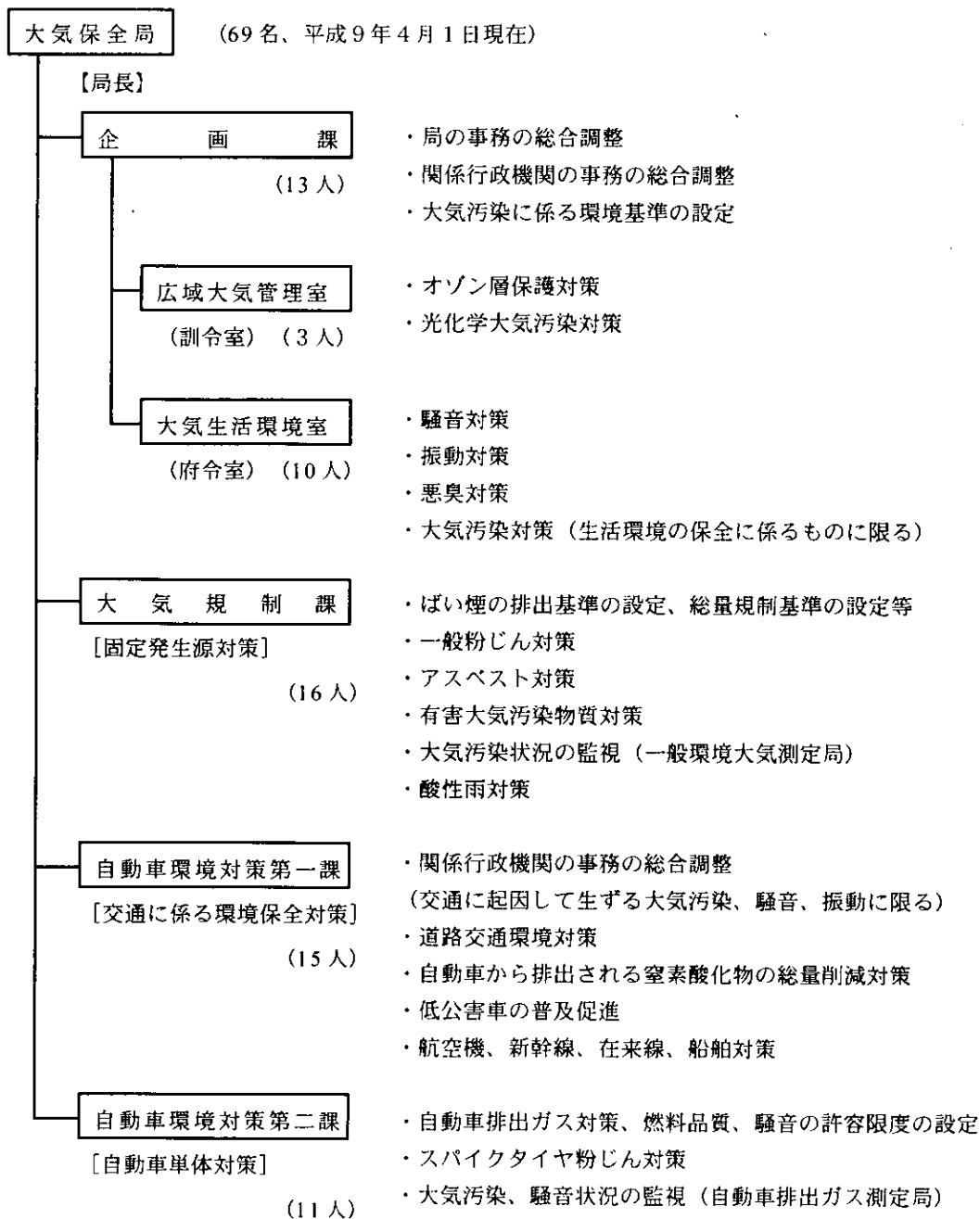
さらに、指定煤煙についての総量規制に関しては、国は規制対象地域・規制対象物質の設定と総量規制マニュアルや汚染物質測定技術を確定し、地方公共団体は幾多の技術調査を行い、総量規制の基礎である総量削減計画を策定して総量規制基準を定め、改善命令などの総量規制の実行に関する業務を進めている。

自動車排出ガスに関しては、国は自動車排出ガスの許容限度及び自動車燃料品質の許容限度と設定に関する業務を、地方公共団体は道路周辺の自動車排出ガス濃度を測定し、その結果に基づき関係行政機関への必要事項の要請や意見を述べている。なお、大気汚染防止法による常時監視に関しては、地方公共団体が測定局を維持運営し、大気汚染状況の監視を継続しており、このデータの全国的取りまとめは大気保全局が実行し『環境白書』、『大気測定局測定結果報告書』を編集してデータ周知を図っている。

さらに、自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法においては、国は総量削減基本方針を制定、規制対象地域の指定、特定自動車排出基準の設定にあたり、地方公共団体は総量削減基本方針に基づき総量削減計画を策定している。

また、大気保全局は悪臭防止法に関する悪臭物質やその基準の設定、その測定法指定にあたっている。

その他、大気保全局では環境基本法による環境基準（大気関係）の設定、測定指針や管理マニュアルの編集、公害防止計画関連事務、オゾン層保護など地球環境問題、国際協力関連行政の推進にも積極的に取り組んでいる。



* 大気保全局の所管法律

- ・ 大気汚染防止法
- ・ 自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法
- ・ スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律
- ・ 特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律
- ・ 騒音規制法
- ・ 振動規制法
- ・ 悪臭防止法

図 12.1.1 環境庁大気保全局の組織と所管法律

12.2 大気環境監視システム

12.2.1 概論

大気汚染防止法第22条により、大気汚染状況の常時監視が、都道府県知事に義務付けられている。地方公共団体では、環境大気汚染状況の把握と大気汚染防止対策推進を目的に、大気汚染常時監視システムの整備、運営を図っている。

大気汚染常時監視の具体的目的は、①地方公共団体の地域全体の汚染状況を把握し、大気汚染防止法第23条に規定する緊急時の措置の執行を円滑化して、環境基準の適否判断に役立てるとともに、規制効果や規制基準の強化の必要性の判断に活用すること、②環境影響評価制度の推進、地域公害防止計画や総量削減計画の策定の基礎資料に供するとともに、環境データを表示し周知するなどである。

12.2.2 大気環境監視システムにおける情報フロー

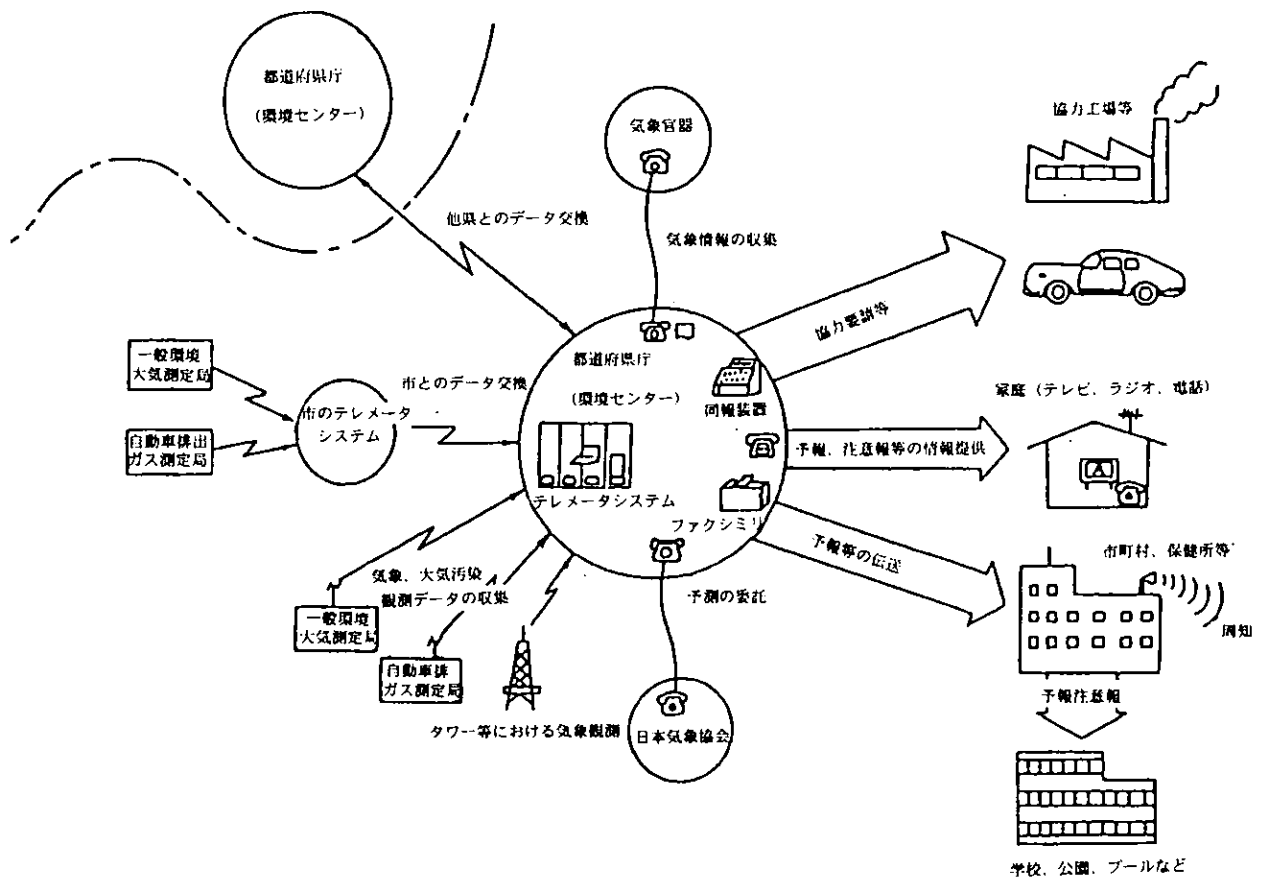
大気汚染監視システムにおける情報の流れを図12.2.1に示した。

このように、テレメーター・システムで地方公共団体が管理・運営する監視センターにリアルタイムで送られてくる、大気汚染物質濃度、気象要素の測定結果は、コンピューターで管理され、隣接公共団体へ送られ、緊急時措置に用いられ、気象官署ともデータ交換しており、常に活用し得る体制にある。

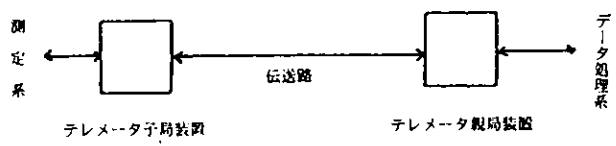
12.2.3 大気環境監視システムの活用

(1) 環境基準とデータの評価

監視地域における大気汚染の実態、濃度レベルの時間的変動などを考慮し、異常と判断される測定値が得られた場合、大気汚染連続測定機器の維持管理状況、気象条件、大気汚染物質発生源状況について慎重に検討し、測定値が測定機器の維持管理作業に起因し地域大気汚染状況を正しく反映していないと認められたら、当然その測定値は評価対象から除外する。なお、1日を基準として評価する場合には、1時間平均値の測定データの欠測時間が1日(24時間)のうち4時間を越えたら評価対象から除外する。また、長期間評価にあたっては、測定時間が年間6,000時間に達しない測定局のデータは評価から除外する。短期評価と長期評価に必要な環境基準を表12.2.1に示す。



大気環境常時監視システムにおける情報の流れ



データ伝送系の構成図

図 12.2.1 大気環境常時監視システムにおける情報の流れとデータ伝送系構成図

表 12.2.1 環境基準の短期的評価と長期的評価

物 質	短期的評価（下記環境基準と対比して評価）	長期的評価
二酸化硫黄	1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下でありかつ1日平均値が0.1 ppm以下であること	1日平均値の高い方から2%を除外して評価する ただし環境基準超過日が2日以上連続した場合は不適合とする
二酸化窒素	1時間値の1日平均値が0.04 ppmから0.06 ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること	1日平均値の低い方から98%を除外して評価する ただし環境基準超過日が2日以上連続した場合は不適合とする
一酸化炭素	1時間値の1日平均値が10 ppm以下でありかつ1時間値の8時間平均値が20 ppm以下であること	SO ₂ 評価法に同じ
浮遊粒子状物質	1時間値の1日平均値が0.10 mg/m ³ 以下でありかつ1時間値が0.20 mg/m ³ 以下であること	同 上
光化学オキシダント	1時間値が0.06 ppm以下であること	なし

(2) 大気汚染緊急時の対応

都道府県知事は、大気汚染が著しくなり、人の健康又は生活環境に被害が生ずるおそれがある場合として、政令に規定する状況になった場合には、その事態を一般に周知させるとともに、ばい煙排出者又は自動車使用者や運転者に、ばい煙排出量削減や自動車運行の自主的制限につき協力を求めなければならないと大気汚染防止法第23条に規定され、さらに、同条では大気汚染が進み重大緊急時にいたった場合にはばい煙濃度の減少、ばい煙発生施設の使用制限などの必要措置を命ずることが出来ることとされている。なおこの命令違反には罰則が定められている。

これら大気汚染緊急時発令要件はそれぞれ表12.2.2に定められており、この発令には当然大気環境監視システムが活用される。なお、この場合、緊急時におけるばい煙排出者の規模、削減や使用変更に関する技術的内容を検討し、具体的合意に達しておく必要がある。

表 12.2.2 緊急時の要件

物 質	一般緊急時	重大緊急時
硫黄酸化物	0.2 ppm 以上 3時間継続 0.3 ppm 以上 2時間継続 0.5 ppm 以上 48時間平均値が0.15 ppm 以上	0.5 ppm 3時間継続 0.7 ppm 2時間継続
浮遊粒子状物質	2 mg/m ³ 2時間継続	3 mg/m ³ 3時間継続
一酸化炭素	30 ppm 以上	50 ppm 以上
二酸化窒素	0.5 ppm 以上	1 ppm 以上
オキシダント	0.12 ppm 以上	0.4 ppm 以上

(測定値はすべて1時間単位)

(3) その他の活用

発生源規制による汚染物質排出量削減の効果の判断材料として、大気汚染常時監視データは重要である。すなわち、大気汚染常時監視データは、これと行政目標である環境基準を比較し、基準値達成の可否により、発生源に対する大気汚染物質排出規制強化の必要性判断に活用するなど、行政判断上、不可欠な資料である。

また、環境影響評価実施においても、長期的な信頼性の高い大気環境データは不可欠である。すなわち、この基礎データを基に、新規開発行為に伴う大気汚染物質排出量増加を勘案して、それによる大気環境を予測して新規開発行為を評価し、それへの対応策を検討することになる。

さらに、公害防止計画の策定にあたっては、現状の大気汚染常時監視データを基本に、策定地域で予定されている新設工場や団地、道路整備を勘案して将来の大気汚染状況を予測し、必要な対策を計画することになる。なお、予測にあたっては、拡散シミュレーションモデル構築を要するが、これには計算値と実測値の照合を必要とし、大気汚染常時監視データは不可欠である。

12.3 工場立ち入り

12.3.1 概論

大気汚染防止法第26条は、ばい煙排出者からの都道府県知事への報告とばい煙排出設備への都道府県知事による立入検査につき規定している。

すなわち、同条により知事が大気汚染防止法の施行に必要な限度において、その職員を工場や事業場に立ち入らせ、ばい煙発生施設、ばい煙防止施設などを検査させることができる。これは大気汚染防止法による規制執行にあたり、その実行性を担保するため与えられた知事の権限であり、立入検査はあくまでもこの法律施行に必要な行政上の措置として行われるものであり、刑事上の犯罪捜査のために司法警察権が認められたものではない。なお、この立入権限は大気汚染防止法第31条により政令で定めた市長に委任されている場合がある。

12.3.2 検査対象事項

立入検査における検査対象事項を以下に列挙する。

- ① ばい煙排出者に関連報告を求め、ボイラ、加熱炉などばい煙発生施設、集塵装置、排ガス脱硫装置などばい煙処理施設とこれらの関連施設、ばい煙発生施設で使用する燃料、原料及びそれらの関係帳簿類の検査
- ② 一般粉じん発生施設を設置している者に対し、一般粉じん発生施設の構造、使用方法、管理方法につき報告を求め、一般粉じん発生施設とその関連施設と関係帳簿類の検査
- ③ 特定粉じん発生者に対し、特定粉じん発生施設の使用の方法、処理方法、飛散防止方法などにつき報告を求め、特定粉じん発生及び関連施設、特定粉じん発生施設で使用する原料及び関連帳簿類の検査
- ④ 特定施設設置者に対し、特定施設の事故の状況及び事故時の措置につき報告を求め、特定施設及び関連施設と関連帳簿の検査

なお、以上の立入検査を実施する職員は、**図 12.3.1** に示す身分証明書を携帯し、関係人に提示しなければならない。

表 12.3.1 大気汚染防止法第 26 条第 2 項の規定による身分証明書

表

12 センチメートル		
第 号		8 センチメートル
大気汚染防止法第 26 条第 2 項の規定による身分証明書		
職名及び氏名		
年 月 日生		
年 月 日発行		
都道府県知事		
印		
市 長		

裏

<p>大気汚染防止法抜すい</p> <p>第 26 条 都道府県知事は、この法律の施行に必要な限度において、政令で定めるところにより、ばい煙排出者、特定施設設置者、一般粉じん発生施設を設置している者若しくは特定粉じん排出者に対し、ばい煙発生施設の状況、特定施設の事故の状況、一般粉じん発生施設の状況、特定粉じん発生施設の状況その他必要な事項の報告を求め、又はその職員に、ばい煙排出者、特定施設設置者、一般粉じん発生施設を設置している者若しくは特定粉じん排出者の工場若しくは事業所に立ち入り、ばい煙発生施設、ばい煙処理施設、特定施設、一般粉じん発生施設、特定粉じん発生施設その他の物件を検査させることができる。</p> <p>2 前項の規定により立入検査をする職員は、その身分を示す証明書を携帯し、関係人に提示しなければならない。</p> <p>3 第 1 項の規定による立入検査の権限は、犯罪捜査のために認められたものと解釈してはならない。</p> <p>第 31 条 この法律の規定により都道府県知事の権限に属する事務は、政令で定めるところにより、政令で定める市の長に委任することができる。</p> <p>第 35 条 次の各号の一に該当する者は、10 万円以下の罰金に処する。</p> <p>三 第 26 条第 1 項の規定による報告をせず、若しくは虚偽の報告をし、又は同項の規定による検査を拒み、妨げ、若しくは忌避した者。</p>
--

12.3.3 立入検査

立入検査は通常2名程度の職員で実施する。まず工場の概要を把握するため、事前に原料から製品が完成するまでの生産工程や作業内容をフローシートで確認する。工場における作業現場での検査にあたっては、ばい煙発生施設の設置届出書を基本にして実施する。検査に必要な確認事項を以下に列挙する。

- ① ボイラ、工業用炉などが検査対象施設である場合には燃料や原料の種類、組成、使用量、炉の種類、構造、規模、能力、バーナなど燃焼機器の形式、能力、排ガス量、排ガス中大気汚染物質濃度、排ガス組成、煙突材質、煙突高さや太さ、排ガス処理装置のある場合には、処理方法、入口管路中大気汚染物質濃度、出口管路大気汚染物質濃度、大気汚染物質除去率、廃棄物処理法など
なお、大気汚染物質の排出基準や燃料使用基準の適合状況を検査するために、排ガス中の硫黄酸化物、窒素酸化物、ばいじん濃度を測定する。また、燃料検査に供するための試料を採取することも必要である。なお、これら測定実施には、安全確保に十分配慮する。
- ② 合成、分解などの化学反応による作業を行っている場合には、反応容器の構造、反応機構（反応式）、反応温度と圧力、有害ガス処理装置におけるその入口管路中及び出口管路中濃度、廃棄物処理方法
- ③ 総量規制対象工場内には、排ガス中大気汚染物質濃度測定機器が、設置されているから、その測定値を確認する。また、条例、協定でも同様措置がとられている場合にも、同様に確認する。
- ④ 事故時、緊急時の措置、工場内の安全確保上の措置や方策、対応方法、それらの実施体制などにつき聴取し、公害防止組織についても確認する。

12.4 環境影響評価制度

12.4.1 環境影響評価制度成立経過

環境に著しい影響を及ぼす恐れがある開発事業実施にあたり、事業者自らが開発事業の環境に与える影響を予め調査、予測及び評価し、その結果に基づき環境保全に適切に配慮するという『環境影響評価制度』は、環境破壊を未然防止し、持続可能な社会を構築するための重要な施策で、1969年にアメリカ合衆国で制度化されて以来、世界各国で制度化が進展した。

我が国におけるこの制度実施経過は、昭和42年『各種公共事業に係る環境保全対策について』の閣議了解以来、昭和56年に法案が提出されたものの、昭和58年に廃案となった。そして、環境影響評価制度は、昭和59年に閣議決定された『環境影響評価実施要綱』（以下『閣議決定要綱』という。）、公有水面立法などの個別法、発電所立地に関する通産省省議決定などの個別行政指導、地方公共団体による条例、要綱に基づき運営されてきた。平成5年『環境基本法』が制定され、これを契機に制度見直しの検討が開始され、『中央環境審議会』の審議を経て、平成9年3月に『環境影響評価法案』を閣議決定し、第140回国会に提出されて6月9日可決・成立し法律第81号として公布された。

12.4.2 環境影響評価法と制度の概要

『環境基本法』第20条は、環境影響評価への国の措置を求めており、これを受け、『環境影響評価法』は具体的手続きを規定している。

第1章は総則で、第1条目的では、環境影響評価制度の重要性を認識し、国の責務を明確にして制度円滑化の手続きを定め、評価結果の反映により環境保全に適切な配慮を払い、国民の健康で文化的生活の確保に資するとされている。このように、法制定で閣議決定要綱という行政指導による制度運営が、権威と信頼性高いルールで実行されることになった。第2条定義では、環境影響評価に関し、概略で事業実施による環境影響に関し環境要素に係る項目毎に調査、予測、評価し、その過程で環境保全措置を検討して、それが実行された場合の環境影響を総合的に評価する事業者行為を指すと述べている。なお、本法で対象事業とは、環境影響評価手続きを義務づけられた事業であり、環境影響評価を実施させるべき一定規模以上の事業を『第1種事業』として定め、これに準ずる規模の事業を『第2種事業』とし、評価実施の必要性を個別に判断する仕組み（スクリーニング）を導入した。すなわち『第2種事業』は、環境影響評価実施が必要と判定され対象事業となる。また『第1種・第2種事業』は具体的に政令で定める。法律では対象事業に発電所が加えられ、スクリーニングが新たに導入された。第3条は国などの責務で国、地方公共団体、事業者及び国民は、環境影響評価の重要性を認識し、その手続きが円滑に行われ事業実施による環境負荷の回避、低減に配慮すべきことを求めた。第2章は準備書の作成前手続きを定め、第4条に環境影響評価の手続のスクリーニングを定め、第5～10条において環境影響評価方法書作成手続きを規定している。すなわち、事業者は対象事業に係る調査、予測、評価手法などにつき、環境影響評価方法書を作成して都道府県知事及び市町村長に送付し、さらにこれを公告・縦覧して環境保全上の意見を聴取した結果を都道府県知事及び市町村長に送付する。そして、都道府県知事は市町村長に意見を聞いたうえで、事業者に意見を提出する

ことになっている。この手続きはスコーピングと呼ばれ、新たに導入された。第11～13条には環境影響評価の実施などが規定され、事業者は以上の意見を踏まえ環境影響評価項目、調査、予測、評価手法を選定して環境影響評価を実施するとされ、この場合必要に応じ主務大臣の技術的援助を受けることが可能とされている。なお、これらに関する指針は環境庁長官が基本的事項を定め、主務大臣は長官と協議し省令で定めるとされている。

第3章は準備書で、第14～20条は環境影響評価準備書作成手続きで、事業者は環境影響評価準備書を作成して、都道府県知事及び市町村長に送付し公告・縦覧、説明会を開催し、環境保全上の意見を求め、その概要とこれへの見解を都道府県知事及び市町村長に送付すると規定され、都道府県知事は、市町村長の意見を聞いたうえで、事業者に意見を述べるとされている。なお、閣議決定要綱による意見提出者を関係地域住民のみとの限定は撤廃され、住民の意見提出機会は拡大された。第4章は評価書であり、第21～27条は環境影響評価書の手続きを規定している。すなわち、事業者は上記手続きを踏まえ、環境影響評価書を作成して許認可権者に送付し、環境庁長官は必要に応じ許認可権者に意見を述べ、これを踏まえて許認可権者は事業者に意見を述べ、事業者は事業を再検討して評価書を補正し、最終的公告・縦覧を行うとされている。第5章は対象事業内容の修正などを定めている。すなわち、第28～30条には対象事業の内容修正などを規定し、方法書公告から評価書公告までに事業を修正しようとする場合、微細修正か政令規定該当以外の事業では、手続きをやり直す必要性を示している。第6章は評価書の公告及び縦覧後の手続きで、第31条で評価書公告までの対象事業の実施を禁止している。第32条は評価書公告後における環境影響評価の再実施を規定し、第33～37条に許認可などにおける環境保全審査に関し許認可者は、評価書とこれへの意見に基づき審査し、許認可などを拒否したり、条件を付せると規定している。第38条には事業者の環境保全上の配慮が規定されている。第7章は環境影響評価の特例で、第39～46条は都市計画決定権者が事業者に代わり評価する場合の特例、第47～48条は港湾計画の特例である。第8章雑則には、第49条～50条に地方公共団体との連絡、第51条に技術開発を定め、第52条適用除外、第53条～56条経過措置、第57条政令への委任、第58条主務大臣、第59条発電所への規定である。第60～61条は条例により制度運営を図っている先行地方公共団体との関係で、対象事業に該当しない事業への評価手続きやこの法律に定める地方公共団体における手続きを条例で規定することは妨げないとしている。なお、施行期日は平成9年6月13日から起算し2年以内とされている。

環境影響評価手続きの流れを、表12.4.1に示した。なお、この制度運営には、地方公共団体の条例、要綱も着目される。

12.4.3 大気保全を対象とする評価

環境影響評価法は施行前なので環境影響評価の一般論を大気保全に関して以下に示す。大気汚染原因となる汚染物質の種類は多いが、個別事業についての環境影響評価では対象事業内容に応じ、事業実施に伴い排出する可能性のある大気汚染物質の中からその種類、影響の程度に応じて評価対象汚染物質を選定し調査、予測及び評価項目とする。一般には、環境基準が定められている二酸化硫黄、二酸化窒素、一酸化炭素及び浮遊粒子状物質などの中から評価対象事業の特性に応じ選択される。環境影響評価において大気汚染が調査、予測及び評価の対象とされるのは対象事業実施に伴う大気汚染物

質排出により、大気中汚染物質濃度が増加し、様々な環境影響が考えられるためである。大気汚染物質による環境影響は、人の健康への影響をはじめ、植物や農作物の生育不良、建築物の腐食被害、煤煙、粉塵、悪臭による生活妨害が考えられ非常に多岐にわたる。

(1) 調査

環境影響評価における大気質調査（現況調査）は、対象事業の実施により影響を受けると思われる地域における大気汚染の現況把握と予測、評価に必要なデータ取得を目的とする。大気汚染の場合、調査項目としては、現状の大気汚染物質濃度のほか、大気拡散予測に必要な気象、地形、地物、土地利用、周辺の大気汚染物質発生源の状況及び関連法規を勘案した必要項目が選定される。

例えば、大気汚染物質の種類については、燃料燃焼過程に関し硫黄酸化物、窒素酸化物、煤塵などを選ぶ。また、廃棄物燃焼過程では焼却廃棄物の性状に応じ、前述の物質以外に塩化水素、水銀、亜鉛など重金属を選ぶ。

(2) 予測

大気汚染予測項目は、現況調査で調査項目とした大気汚染物質の中から、大気汚染物質総排出量予測値を参考に、対象事業の環境負荷程度を勘案して予測の必要を認める項目とする。この他、影響を受ける原因の有無、その分布などを検討して項目を選択する。技術指針のこうした考え方の示し方は様々で、対象事業の種類ごとに基本的に予測項目を列挙している場合や予測項目として選定する際の条件を示している場合もある。このような考え方を基本に、結果としてどんな項目が選択されたかを着目して環境影響評価事例を見ると、最も多く選ばれているのが窒素酸化物であり、これに硫黄酸化物、一酸化炭素、粉塵、浮遊粒子状物質が続き、総じて環境基準が規定された項目を予測項目としている場合が多い。

環境影響評価における大気汚染の予測手法とは、拡散計算などにより大気汚染物質濃度を予測する定量的手法と濃度の定量的予測をせず、類似事例を参考とする定性的方法とに大別される。

(定量的手法)

定量的手法としては、①拡散計算による手法、②統計的手法、③風洞実験による方法、④野外実験による方法などがある。2つの方法を併用する場合もあるが、その場合は通常拡散計算を補完する方法としての他の手法が用いられている。

(定性的手法)

定性的手法としては、①類似事例による類推、②汚染物排出量検討による方法、③環境保全対策の検討による方法、④気象要因などの検討（風速・風向）による方法などがある。

(3) 評価

評価は、通常予測項目につき予測範囲・時期・時間に従って行う。定量的予測が実施されなかった場合も、定性的予測に基づき評価する。

評価は、我が国では環境影響予測結果に対し、環境保全対策を検討し事業者見解を明示して行われている。定量的予測が行われた場合、その結果に対して全国一律に定められている環境基準、国が定めた指針値やガイドライン、あるいは地域特性を反映し定めた地方公共団体の条例や計画に基づく目

標値、指針値などを参考とし、事業者見解が示される。

これら行政的目標値がない場合は、環境濃度と人の健康、生活環境や植物影響などに関する科学的知見により、環境目標値を設定し事業者見解を示す。

大気汚染防止法や条例による排出基準や総量規制が施行されている場合には、想定された汚染物質排出量が、基準を満たすかどうかの確認をまず行う。

評価手法の適用状況に関して述べると、技術指針などにおいては、原則として評価は環境保全目標と比較して行うのが一般的で、環境基準が規定されている項目は、環境基準を環境保全目標とする。また、定量的予測が困難な場合や環境基準が規定されていない項目は、定性的目標や科学的知見を参考に目標値を設定するとした技術指針が多い。

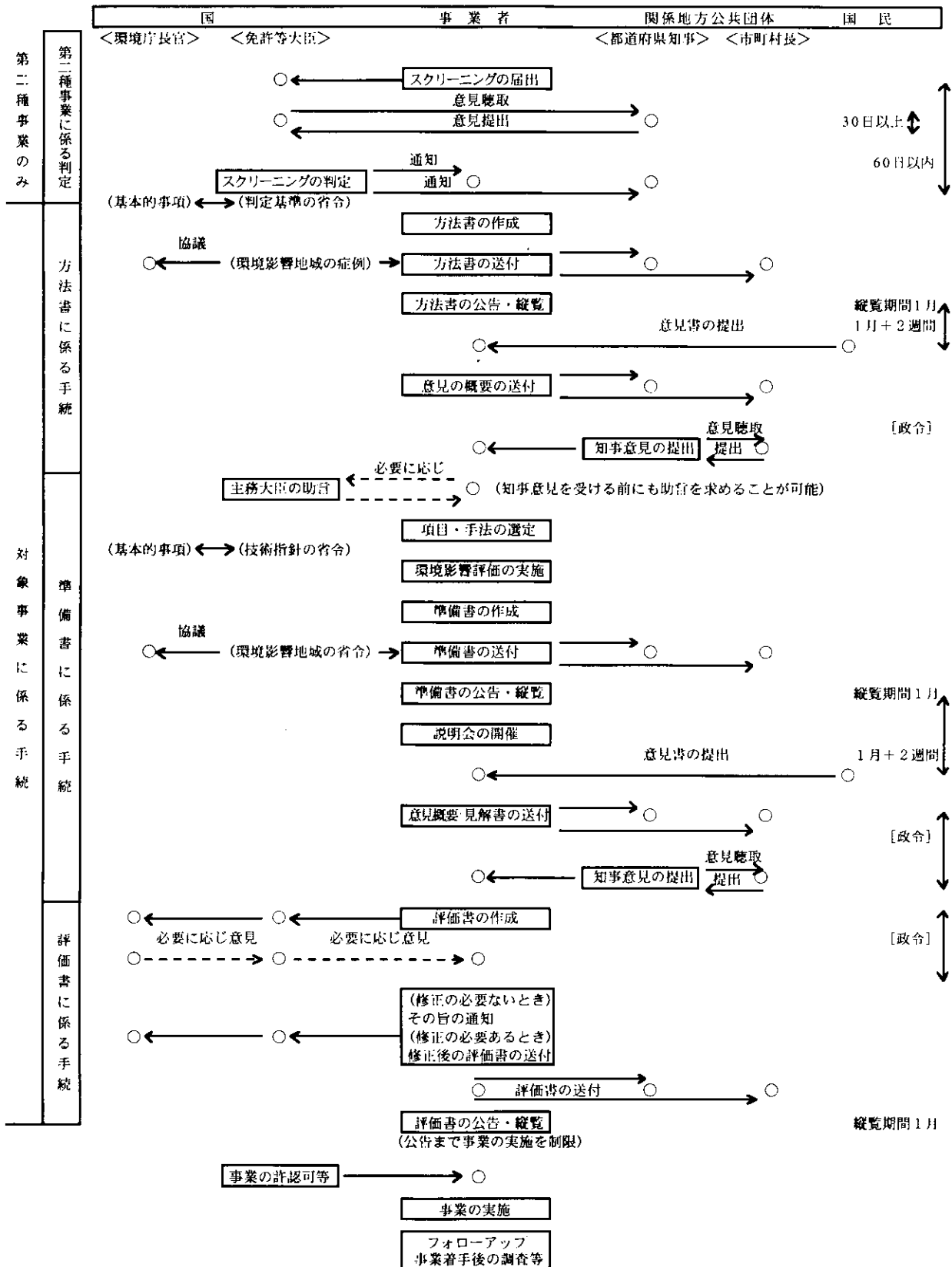
(4) 事後調査

環境影響評価制度では、一般に事業者の立案した事業計画への予測・評価が行われるが、計画は事業着手以降、種々の外部要因で変動する可能性がある。

例えば、交通関連施設は、予測年次までに社会的、経済的条件の変化により、計画交通量や走行速度が変化する可能性がある。また、現在の環境影響評価における予測技術は、予測手法の精度や条件設定に不確定な部分も残されている。

そこで、事業着手後も事業実施状況やその環境への影響に関して事後調査で、これに対応する。この場合、この結果に応じて対策が取られることがある。また、環境負荷と影響について継続的モニタリングが実施され、その調査を集積し、分析出来れば、環境影響評価の基礎となる科学的知見の充実が可能になる。

表 12.4.1 環境影響評価法の手続の流れ



事業内容等の変更の場合

- 〔 軽微な変更・・・必要に応じ追加調査等を実施し、手続を続行 〕
- 〔 事業内容の大幅な変更・・・方法書の作成にもどって手続を再実施 〕

12.5 公害防止管理者制度等

12.5.1 経緯

昭和45年の第64回国会において大気汚染防止、水質汚濁防止、騒音規制など法律整備が進み、公害の規制面が大幅に拡充、強化された。この強化された法律を着実に実行に移すため、事業者側にも応分の公害防止体制を執らせる必要が生じた。このため、昭和46年産業公害の発生源である工場に公害防止組織の設置を義務付け、これによって事業者の公害防止体制の整備を図る目的で「特定工場における公害防止組織の整備に関する法律」が制定された。

12.5.2 特定工場

本制度の対象となる特定工場とは、①製造業（物品の加工業を含む）②電気供給業③ガス供給業または④熱供給業に属す業種であって、大気汚染関係の特定工場は、有害物質（カドミウム及びその化合物、塩素及び塩化水素、弗素、弗化水素、弗化珪素、鉛及びその化合物、窒素化合物）、硫黄化合物、ばいじん、一般粉じん、特定粉じん等の汚染物質をある規模以上排出するものである。

そして、この特定工場には公害防止管理者（有資格者を充てる）及びこれらを総括管理する公害防止統括者などからなる公害防止組織を設置しなければならない。ただし、従業員数20人以下は不要である。（一定規模以上では公害防止主任管理者が必要）

12.5.3 資格の取得

大気関係の公害防止管理者には大気第1種から第4種までの区分があり、粉じん関係では一般と特定粉じん管理者とがある。これらの資格取得には、いずれも毎年1回行われる国家試験に合格するか、規定された学歴や資格を有する者で関係各省が行う資格認定講習を修了することが必要である。

12.5.4 職務の内容

(1) 公害防止統括者

公害防止統括者の業務は、公害防止業務が、適切かつ円滑に実施されるよう必要な措置を講じ、かつ、その実施状況を監督して、具体的には次の業務を統括管理することである。

ばい煙発生施設設置工場

- ① ばい煙発生施設の使用方法の監視並びにばい煙処理施設及びこれに属する施設の維持及び使用に関すること
- ② 排ガス中のばい煙濃度と排出量の測定及び記録に関すること
- ③ 特定施設の事故時の措置及び緊急時の措置に関すること

特定粉じん発生施設

- ① 特定粉じん発生施設の使用の方法の監視並びに施設から排出されまたは飛散を処理する施設及びこれに付属する施設の維持及び使用に関すること
- ② 特定工場の敷地の境界線における大気中の特定粉じんの濃度の測定及び記録に関すること

一般粉じん発生施設

- ③ 一般粉じん発生施設の使用の方法の監視並びに施設から排出されまたは飛散を処理する施設及びこれに付属する施設の維持及び使用に関すること

(2) 公害防止管理者の職務

公害防止管理者の職務は、公害防止統括者の指揮統括の下で、工場の公害防止活動を専門技術的側面から対応することである。具体的業務は工場の種類に応じて次のとおり定められている。

ばい煙施設設置工場

- ① 使用する燃料又は原材料の検査
- ② ばい煙発生施設の点検
- ③ ばい煙発生施設における処理施設及びこれに付属する施設の操作、点検及び補修
- ④ 排ガス中のばい煙濃度又はばい煙排出量の測定及びその結果の記録
- ⑤ 測定機器の点検及び補修
- ⑥ 特定施設についての事故時における応急措置の実施
- ⑦ ばい煙に係わる緊急時におけるばい煙量又はばい煙濃度の減少、ばい煙発生施設の使用制限その他の必要な措置の実施

特定粉じん発生施設設置工場

- ① 使用する原材料の検査
- ② 特定粉じん発生施設の点検
- ③ 特定粉じん発生施設から発生し、又は飛散する特定粉じんを処理するための施設及びこれに付属する施設の操作、点検及び補修
- ④ 特定粉じんの濃度の測定及びその結果の記録
- ⑤ 測定機器の点検及び補修

一般粉じん発生施設設置工場

- ① 使用する原材料の検査
- ② 一般粉じん発生施設の点検
- ③ 一般粉じん発生施設から発生し、又は飛散する一般粉じんを処理するための施設及びこれに付属する施設の操作、点検及び補修

12.5.5 大気保全に関するその他制度

大気汚染公害の防止に関連して、公害防止管理者制度以外に、表 12.5.1 に示す制度が制定され、活用されている。

表 12.5.1 大気保全に関するその他制度

制 度	所 管
(1) 環境カウンセラー（市民部門、事業者部門）	環境庁
(2) 国際環境アドバイザー（専門分野別）	通商産業省
(3) 技術士（環境部門）	科学技術庁
(4) 環境計量士	通商産業省
(5) 作業環境測定士	労働省

12.6 公害防止対策助成制度

12.6.1 企業の公害防止投資支援措置

政府は、企業の公害対策は原因者負担原則（PPP）を基本としつつ、汚染削減や排出抑制を促すために、公害防止施設の設置に必要な公的な長期低利資金の提供、税制上の優遇措置及び技術指導と技術開発などの支援策を講じてきた。

(1) 資金支援および技術支援

まず、長期低利資金の提供と技術支援専門機関として環境事業団（旧公害防止事業団）が設置され、公害を発生する中小企業の工場を移転するための施設や緩衝緑地などの未然公害防止施設の建設譲渡事業と産業公害防止施設設置資金の融資事業を実施している。また、企業の事業資金や設備投資資金を融資してきた他の公的機関にも公害防止施設設置資金融資制度が創設された。

一方、地方公共団体も地域の中小企業の公害防止設備資金を提供するため、民間金融機関に信用を補完する仕組みなどによる融資制度を創設した。これは公害対策の規制を担当する地方公共団体の役割と噛み合ってその成果は大きかった。

これらの資金は、民間金融機関の設備投資資金と比較して、償還期間が長期で金利も1～2%程度低い有利な条件となっている。

(2) 公害防止対策費用に対する税制上の優遇措置

企業の公害対策費用の経営面での負担を軽減して対策を進めさせるために、国税、地方税において公害防止施設や施設設置に必要な土地などの減税や免税などの優遇措置が設けられた。

(イ) 国税

- ①公害防止関係特定設備等の特別償却制度 ②再生資源利用促進準備金の非課税
- ③公害防止施設の耐用年数の短縮措置 ④特定の資産の買い替えの場合の課税の特例

(ロ) 地方税

- ①固定資産税の免税 ②特別土地保有税の非課税 ③事業所税の特例

また、工場が密に集積した地域から郊外に移転する場合の優遇税制も措置された。

12.6.2 助成措置の効果

日本の企業は自己資金率が低く、非生産的な公害への防止投資をすることは非常に厳しい状況にあり、また、民間金融機関も非生産設備投資でリスクのある公害防止設備資金融資には消極的であった。

公的資金は、リスクの多い公害防止設備に加えて低公害や未然公害防止の機能を持つ生産設備までを融資対象にして企業の投資意欲を喚起する構造となっていた。民間金融機関はその成果をみて積極的に対応するようになり、結果的には企業の公害防止総投資額の60～70%を民間資金が占めた。

これらのことから、公害対策の助成措置が果たした役割と効果としては、

- (1) リスクの多い公害防止設備資金に、民間資金を誘導する効果があった。

- (2) 企業の生産設備の近代化や合理化に対する意欲と公害防止を合わせて実施することで対策意欲を喚起した。また、規制とリンクして適切な公害防止技術指導と情報の提供がなされた。

図 12.6.1 は公害防止投資と公的資金の推移を示したものである。

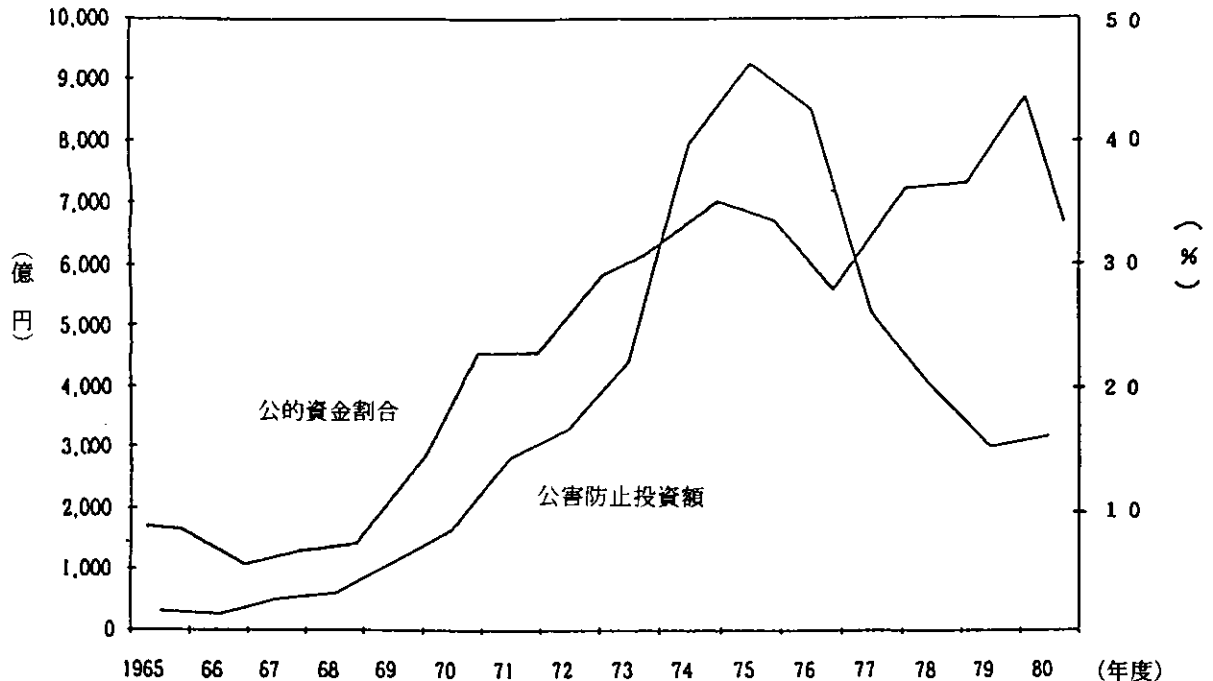


図 12.6.1 公害防止投資と公的資金の推移

また、公害防止施設投資は、その施設装置を受注した産業においては需要の増加となる。すなわち公害防止投資は実質国民総生産を減少させる要因と実質国民総生産を増加させる要因を合わせて持っていることも大切な要素である。

これらの経験から、開発途上国の環境協力における助成制度を考えるならば、

- ① 民間資金を誘導するような仕組みが欠かせない。日本の場合は、公的資金のほとんどを財政投融资資金からまかなっている。他の国に見られない資金であり、開発途上国は必要資金を民間に頼るしかない。
- ② 我が国が所有する公害防止技術を提供するとともに、公害防止投資による実質国民総生産の減少を低減するためにも環境産業を育成するための支援が欠かせない。

例えば、ツーステップローン方式の環境協力に、信用補完制度を導入することも一案である。技術指導と審査、情報提供及び信用保証機能を有する公害対策専門機関を設置し、この機関の信用保証をもとに民間金融機関が融資する仕組みである。図 12.6.2 に信用保証機能を主体とする公害対策協力に関して示す。

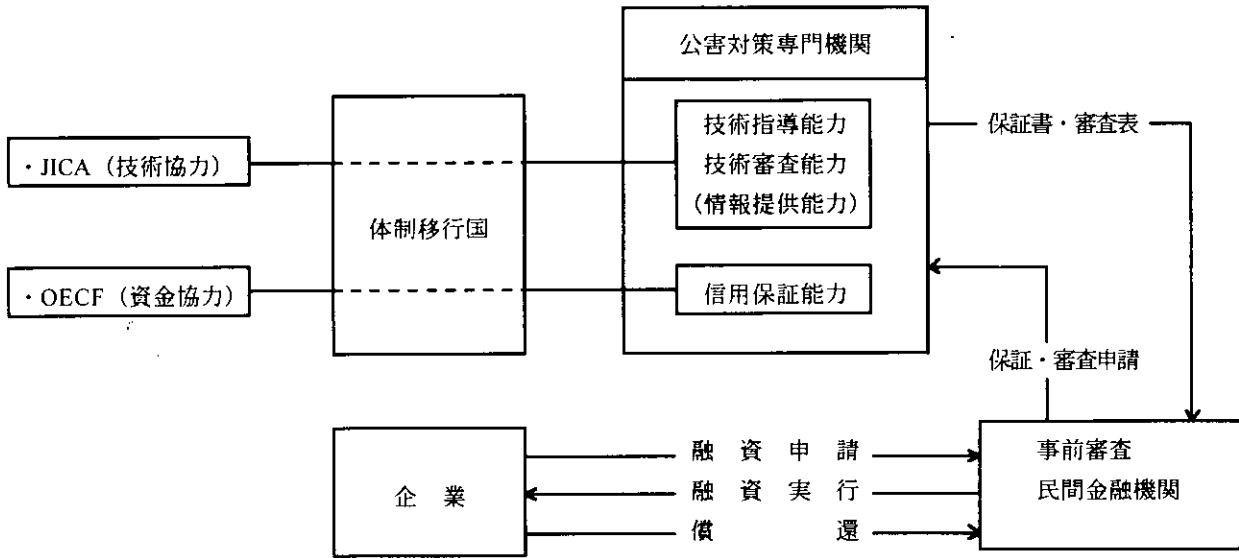


図 12.6.2 信用保証機能を主体とする公害対策協力

12.7 公害健康被害補償予防制度

12.7.1 健康被害の多発と四日市公害訴訟、公害健康被害補償制度の成立

日本の大気汚染問題とその対策を振り返るとき、悲惨な健康被害が多発したという事実を忘れることはできない。高度経済成長期の初期から、四日市等の全国各地の工業都市の住民に、大気汚染の影響によると見られる呼吸器疾患が発生し、その発症率は非汚染地域の2～3倍、あるいはそれ以上に及んでいた。大気汚染による疾病に苦しむ住民達の行動の1つが1967年9月に提訴された四日市公害訴訟であった。1972年7月に出されたこの裁判の判決では、「当時としては最新の技術によって防止措置を講じていた。」との被告企業の主張を退け、企業が人間の生命、身体に危険のあることを知りうる汚染物質の排出については、「経済性を度外視し、世界最高の技術・知識を動員して防止措置を講ずるべき」であり、そのような措置を怠れば過失を免れない（無過失損害賠償責任）こと、また、因果関係については疫学調査の結果から明らかであること」等が示された。

この判決を受け、民法上の損害賠償制度を補い、被害者補償制度を抜本的に整えるための法律として「公害健康被害補償法」が1973年6月に成立した。

12.7.2 被害者の認定と補償、費用負担

この法律において、被害者の認定については、大気汚染が著しくその影響による疾病が多発している地域を指定し（指定地域）、一定期間以上居住・通勤して大気汚染に暴露されている者が（暴露要件）、慢性気管支炎、気管支喘息、喘息性気管支炎及び肺気腫並びにその続発性（指定疾病）に罹っているときは、その者の疾病と大気汚染との間に因果関係があるとする制度的な取り決めを行った。

地域指定については、中央公害対策審議会の答申において、「著しい大気の汚染」があり、「その影響による疾病が多発」していることが要件とされ、例えば、大気の汚染の程度が二酸化硫黄年平均値0.05 ppm以上で、疾病の有症率の程度が自然有症率のおおむね2～3倍以上のような場合が典型的な例であるとされている。

法律に基づき知事の認定を受けた健康被害者は、医療費等のほか、疾病に罹ったことによって失った利益を補償する補償費の給付を受けられる。また、公害健康被害補償法では、指定疾病により失われた健康を回復させ、保持し、増進するといった被害者の福祉増進に必要な公害保健福祉事業を行うこととされた。

大気汚染による健康被害の補償制度の実施に必要な費用は大気汚染物質の排出の寄与率によることとされ、工場・事業場の固定発生源と移動発生源との間の費用分担割合は、大気汚染物質のうち全国の硫酸化物と窒素酸化物とを考慮して8対2とされた。全体の8割を負担する固定発生源分の費用は、一定規模以上の全国の工場・事業場が負担することとされ、個々の工場・事業場は、硫酸化物を指標とし、その排出量に応じて負担することとされた。

本制度の指定地域は、当初の12地域から次第に拡大され1978年には41地域となり、認定患者数も1988年には10万人以上に達した。これに伴い、補償給付の総額は一時年間1,000億円を超えた。

12.7.3 汚染状況の改善にともなう制度改正

本補償制度発足後、大気汚染防止対策が進展し、本制度で汚染の主な指標とされた二酸化硫黄による汚染は著しく改善され、ほとんどの地域で環境基準が達成された。これに対して、窒素酸化物や浮遊粒子状物質の汚染は、環境基準の達成状況が低いまま、ほぼ横ばいで推移するなど大気汚染の態様に変化がみられるようになった。具体的に、継続測定局における年平均値で大気汚染状況の変化をみると、二酸化硫黄は0.030 ppm（1973年）から0.010 ppm（1987年）、二酸化窒素は0.025 ppm（1973年）から0.028 ppm（1987年）、浮遊粒子状物質は0.059 mg/m³（1974年）から0.041 mg/m³（1987年）となっていた。

一方、認定患者については、1978年最後の地域指定がなされてから、概ね、1年間で新規認定9,000人、制度離脱6,000人、差し引き3,000人が純増という状況が続いていた。

こうした状況を踏まえて1983年秋、中央公害対策審議会において本制度のあり方につき検討が開始された。この結果、1986年10月、①それまでの指定地域の全てを指定解除すること、②既認定患者の補償給付は継続すること、③総合的な環境保護施策を推進すること等を柱とする答申がまとめられた。これを受けて、公害健康被害補償法は、1987年に改正され、翌1988年3月には大気汚染に係る指定地域は全て解除された。

この指定地域解除によって、新たな認定は、1974年から1988年までの14年間で終了した。解除時点の認定患者は約11万人であったが、この間に認定された患者の総数は、約18万人にのぼっていた。また、制度発足から解除が行われた1987年度までに給付された補償総額は約1兆円であった。指定地域解除後も、すでに認定されている患者に対しては、指定疾病に罹患している限り補償が行われ、1995年度では認定患者数は約74,000人であり、補償に要する費用は年間約890億円となっている。また、それまでの累積額は約1兆8,000億円となっている。

12.7.4 個別患者補償から地域を対象とした健康被害予防事業へ

指定地域の解除によって新たな公害病患者の認定は行われなくなったが、現在の大気汚染が総体として、慢性閉塞性肺疾患に関して何らかの影響を及ぼしている可能性を否定できないとの判断に立ち、健康被害予防事業の実施、大気汚染の健康影響に関する調査・研究の推進及び環境保護サーベイランス・システムの構築等の大気汚染による健康被害の発生を予防するための施策が強化・推進されることとなった。このうち健康被害予防事業の実施のために必要な経費は、大気汚染の原因となる物質を排出する施設を設置する事業者及び大気汚染に関連する事業活動を行う者からの拠出金と政府出資金からなる基金（500億円）を設けその運用益によって賄うこととされた。この基金は1988年から1994年にかけて積み上げられた。

(12.1) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法 (1997)

(12.2) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法 (1997)
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課；大気汚染常時監視マニュアル (1987)

(12.3) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法 (1997)
- 2) 通商産業省立地公害局監修；四訂公害防止の技術と法規〔大気編〕，産業公害防止協定 (1992)
- 3) 日本規格協会；JISハンドブック〔環境測定〕 (1992)
- 4) 環境庁大気保全局大気規制課監修；ばい煙発生施設解説集，ぎょうせい (1981)
- 5) 環境庁大気保全局大気規制課監修；粉じん発生施設解説集，ぎょうせい (1985)

(12.4) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法 (1997)
- 2) 環境影響評価法 (1997)
- 3) 環境庁大気保全局大気規制課；窒素酸化物総量規制マニュアル (改訂版) (1993)
- 4) 通商産業省立地公害局；産業公害総合事前調査における大気に係る環境濃度予測手法マニュアル (1985)
- 5) 環境庁大気保全局大気規制課；浮遊粒子状物質の解析・予測 (1987)
- 6) 環境庁大気保全局担当官編著；大気関係の基礎知識 (1994)
- 7) 通商産業省立地公害局監修；四訂公害防止の技術と法規〔大気編〕，産業公害防止協会 (1992)
- 8) 厚生省水道環境部地域計画室；廃棄物の最終処分地に係る環境影響の手引き (1986)
- 9) 日本道路協会；道路環境整備マニュアル (1989)
- 10) 環境庁企画調整局；詳解環境アセスメント (1992)
- 11) 日本規格協会；JISハンドブック〔環境測定〕 (1992)
- 12) 横山長之；大気環境シミュレーション—大気の流れと拡散— (1992)
- 13) 近藤次郎；大気汚染—現象の解析とモデル化 (1975)

(12.5) 参考文献

- 1) 通商産業省立地公害局監修；四訂公害防止の技術と法規〔大気編〕，産業公害防止協会 (1992)
- 2) 環境庁大気保全局担当官編著；大気関係の基礎知識 (1994)

(12.6) 参考文献

- 1) 環境庁環境法令研究会編集；環境六法 (1997)