

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
<b>5.2</b>	<b>植物影響</b>	<b>60</b>
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
<b>5.3</b>	<b>大気汚染の材料・文化財への影響</b>	<b>66</b>
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
<b>5.4</b>	<b>視程低下</b>	<b>70</b>
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
<b>5.5</b>	<b>感覚への影響（嗅覚）</b>	<b>73</b>
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
<b>第6章</b>	<b>大気汚染物質発生源概要</b>	<b>81</b>
<b>6.1</b>	<b>固定燃焼施設</b>	<b>81</b>
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
<b>6.2</b>	<b>粉じん発生源</b>	<b>86</b>
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
<b>6.3</b>	<b>化学プロセス</b>	<b>89</b>
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
<b>6.4</b>	<b>金属精錬</b>	<b>93</b>
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
<b>6.5</b>	<b>石油精製</b>	<b>99</b>
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
<b>6.6</b>	<b>輸送機関</b>	<b>104</b>
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
<b>6.7</b>	<b>悪臭発生源</b>	<b>109</b>
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
<b>6.8</b>	<b>大気汚染物質の排出係数</b>	<b>113</b>
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
<b>第7章</b>	<b>大気汚染防止技術</b>	<b>123</b>
<b>7.1</b>	<b>大気汚染防止の基礎的考え</b>	<b>123</b>
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
<b>7.2</b>	<b>大気汚染対策の変遷</b>	<b>125</b>
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
<b>7.3</b>	<b>良質燃料対策</b>	<b>129</b>
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
<b>7.4</b>	<b>燃焼管理と省エネルギー</b>	<b>132</b>
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
<b>7.5</b>	<b>工程管理</b>	<b>136</b>
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
<b>7.6</b>	<b>集塵装置</b>	<b>138</b>
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
<b>7.7</b>	<b>排煙脱硫装置と副産品</b>	<b>143</b>
7.7.1	各種脱硫法	143
7.7.2	排煙脱硫の今後の動向	149
<b>7.8</b>	<b>燃焼改善によるNO<sub>x</sub>対策</b>	<b>150</b>
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 <sub>x</sub> 対策の歴史	150
7.8.3	日本における低NO <sub>x</sub> 燃焼技術	150
7.8.4	指摘課題	152
<b>7.9</b>	<b>排ガス脱硝装置</b>	<b>153</b>
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
<b>7.10</b>	<b>有害ガスの処理</b>	<b>158</b>

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
<b>8.3</b>	<b>排ガス中大気汚染物質自動計測器</b>	<b>193</b>
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
<b>8.4</b>	<b>燃料試験法</b>	<b>196</b>
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
<b>8.5</b>	<b>防止装置試験法</b>	<b>198</b>
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
<b>8.6</b>	<b>自動車排出ガス試験法</b>	<b>203</b>
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
<b>第9章</b>	<b>大気汚染測定法（環境大気）</b>	<b>211</b>
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
<b>9.3</b>	<b>大気汚染監視システムの計画と管理</b>	<b>224</b>
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
<b>9.4</b>	<b>降下ばいじん測定法</b>	<b>228</b>
9.4.1	はじめに	228
9.4.2	試料採取法	228
9.4.3	分析	229
<b>9.5</b>	<b>酸性沈着の測定法</b>	<b>231</b>
9.5.1	はじめに	231
9.5.2	湿性沈着の測定のポイント	231
<b>9.6</b>	<b>大気中粒子状物質の分析法</b>	<b>235</b>
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
<b>9.7</b>	<b>浮遊粒子中の多環芳香族化合物の測定法</b>	<b>239</b>
9.7.1	はじめに	239
<b>9.8</b>	<b>大気中有害物質（揮発性有機物質）の分析法</b>	<b>241</b>
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
<b>9.9</b>	<b>ダイオキシンの分析方法</b>	<b>247</b>
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
<b>9.10</b>	<b>NO、NO<sub>2</sub>簡易測定法</b>	<b>251</b>
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
<b>9.11</b>	<b>悪臭測定法</b>	<b>254</b>
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
<b>第10章</b>	<b>大気汚染予測技術</b>	<b>275</b>
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
<b>第11章</b>	<b>大気保全に関する法令体系</b>	<b>305</b>
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
<b>第12章</b>	<b>大気保全行政概要</b>	<b>323</b>
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	<b>環境影響評価制度</b>	<b>332</b>
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	<b>公害防止管理者制度等</b>	<b>337</b>
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	<b>公害防止対策助成制度</b>	<b>340</b>
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	<b>公害健康被害補償予防制度</b>	<b>343</b>
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