

3.3 地域全体の環境濃度と環境基準値との対比

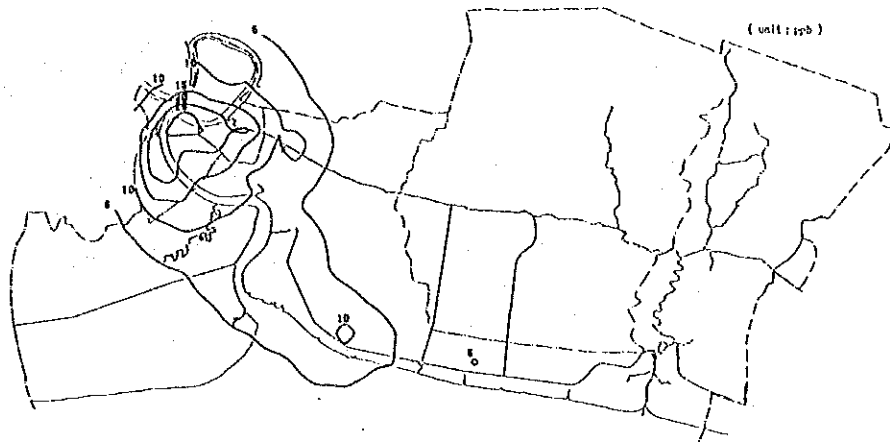
1992年次及び1999年次のサムットプラカン県全域のSO₂、NO_x及びNO₂年平均環境濃度を予測した。この結果を図3-1及び表3-2に示す。また、濃度ランク別メッシュ数を表3-3に示す。これらの結果より、発生源対策が実施されないと表3-4に示すように、現状（1988年次）ではSO₂、NO₂とも全域でタイ国の環境基準を満足しているが、1999年次にはNO₂が31地点で環境基準を超えることが明らかになった。環境基準を超える地点を図3-2に示す。

3.4 発生源別寄与率

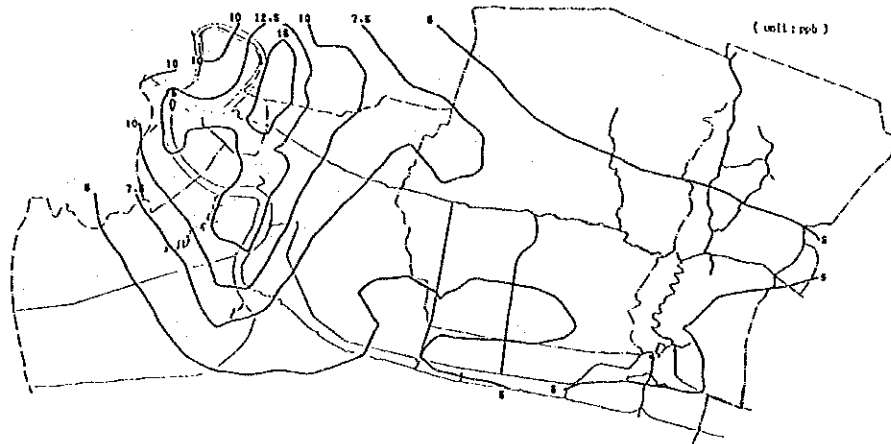
将来においてNO₂環境濃度が環境基準値を超える地点は図3-2に示すとおりであるが、このうち高濃度上位8地点の発生源別寄与率を計算した結果を表3-5に示す。なお、SO₂環境濃度は環境基準値を超えることはないが、SO₂濃度についても高濃度上位8地点の発生源別寄与率を計算した結果を同表に示す。

これらの結果をみると、1999年次にNO₂の環境基準を超える地点の発生源別寄与率は工場（2.6～7.6%）、自動車（32.4～83.4%）、船舶（2.2～11.4%）、フェリーボート（0.1～35.6%）であり、自動車の寄与が多いことが分る。この傾向は1992年次についても同様である。なお、SO₂については、1992年次、1999年次とも工場の寄与が75～88%程度を占めており、自動車の寄与率は6%前後である。

SO₂



NO₂



NO_x

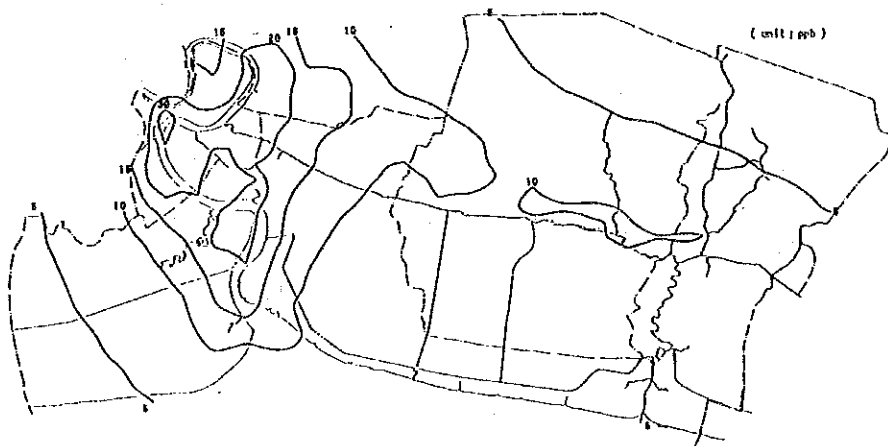
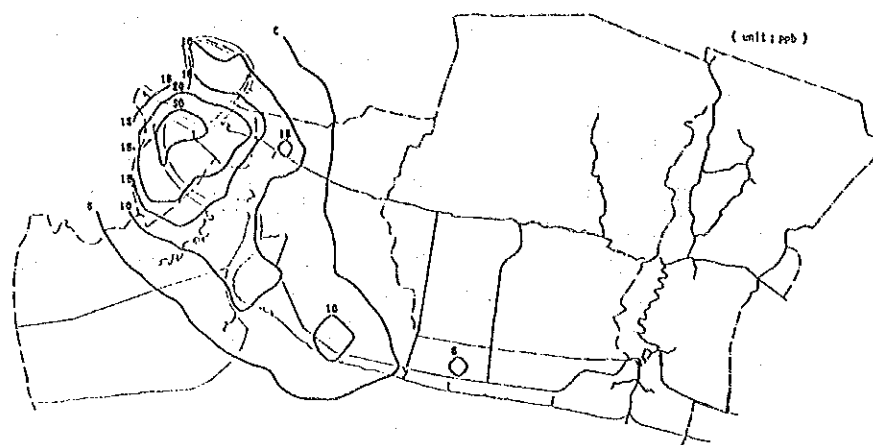
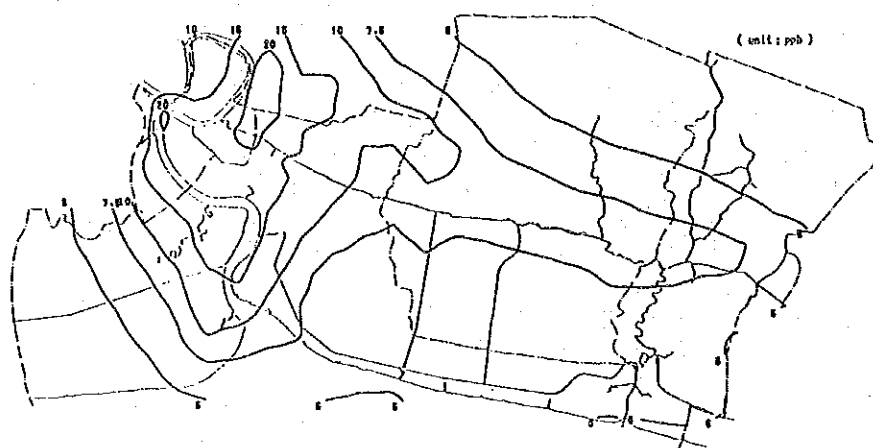


図3-1(1) 発生源対策が実施されない場合のサムットプラカン県の大気環境濃度 (1992年次)

SO₂



NO₂



NO_x

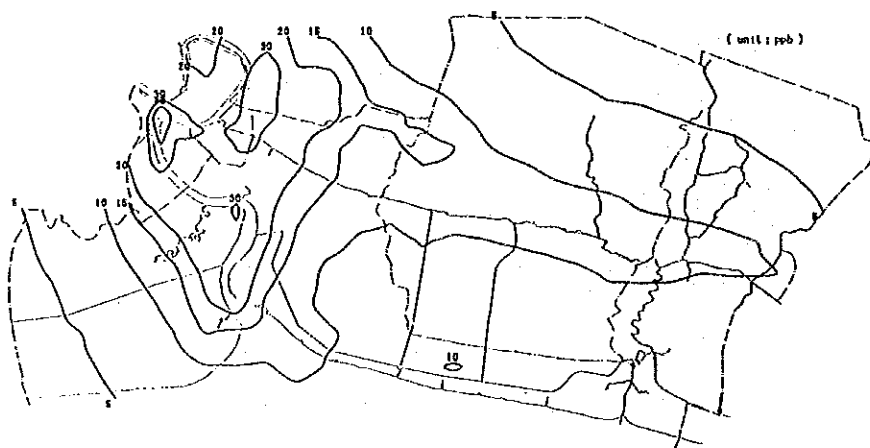


図3-1(2) 発生源対策が実施されない場合のサムットプラカン県の大気環境濃度 (1999年次)

表3-2(1) 発生源対策が実施されない場合のサンプトプラカン県のSO₂年平均濃度(単位; 0.1PPb)

Table with columns for year (1992 and 1999) and a grid of data points for various sampling locations. The data represents annual average SO2 concentration in 0.1PPb units.

1992年次

1999年次

表3-2(2) 発生源対策が実施されない場合のサンプトプラカン県のNO₂年平均濃度(単位:0.1PPb)

1992年次	1999年次
161	161
162	162
163	163
164	164
165	165
166	166
167	167
168	168
169	169
170	170
171	171
172	172
173	173
174	174
175	175
176	176
177	177
178	178
179	179
180	180
181	181
182	182
183	183
184	184
185	185
186	186
187	187
188	188
189	189
190	190
191	191
192	192
193	193
194	194
195	195
196	196
197	197
198	198
199	199
200	200
201	201
202	202
203	203
204	204
205	205
206	206
207	207
208	208
209	209
210	210
211	211
212	212
213	213
214	214
215	215
216	216
217	217
218	218
219	219
220	220
221	221
222	222
223	223
224	224
225	225
226	226
227	227
228	228
229	229
230	230
231	231
232	232
233	233
234	234
235	235
236	236
237	237
238	238
239	239
240	240
241	241
242	242
243	243
244	244
245	245
246	246
247	247
248	248
249	249
250	250
251	251
252	252
253	253
254	254
255	255
256	256
257	257
258	258
259	259
260	260
261	261
262	262
263	263
264	264
265	265
266	266
267	267
268	268
269	269
270	270
271	271
272	272
273	273
274	274
275	275
276	276
277	277
278	278
279	279
280	280
281	281
282	282
283	283
284	284
285	285
286	286
287	287
288	288
289	289
290	290
291	291
292	292
293	293
294	294
295	295
296	296
297	297
298	298
299	299
300	300

表 3-3 大気汚染物質の濃度ランク別メッシュ数 (無対策時)

(SO ₂)				(NO ₂)				(NO _x)			
Rank of concentration (ppb)	Number of mesh			Rank of concentration (ppb)	Number of mesh			Rank of concentration (ppb)	Number of mesh		
	1988	1992	1999		1988	1992	1999		1988	1992	1999
0.0~5.0	977	929	885	0.0~5.0	674	476	300	0.0~5.0	277	223	169
5.0~10.0	128	154	150	5.0~7.5	305	429	437	5.0~10.0	676	643	544
10.0~15.0	28	42	67	7.5~10.0	109	104	190	10.0~15.0	116	141	228
15.0~20.0	21	16	24	10.0~12.5	64	93	68	15.0~20.0	79	92	68
20.0~25.0	5	14	13	12.5~15.0	7	46	55	20.0~25.0	9	51	68
25.0~30.0	0	4	13	15.0~17.5	0	10	68	25.0~30.0	2	7	61
30.0~35.0	0	0	6	17.5~20.0	0	1	28	30.0~35.0	0	1	13
35.0~40.0	0	0	1	20.0~22.5	0	0	7	35.0~40.0	0	1	6
TOTAL	1159	1159	1159	22.5~25.0	0	0	6	40.0~45.0	0	0	0
				TOTAL	1159	1159	1159	45.0~50.0	0	0	1
								50.0~55.0	0	0	1
								TOTAL	1159	1159	1159

表 3-4 環境基準をオーバーするメッシュ数 (無対策時)

年次	SO ₂	NO ₂
1988	0	0
1992	0	0
1999	0	31

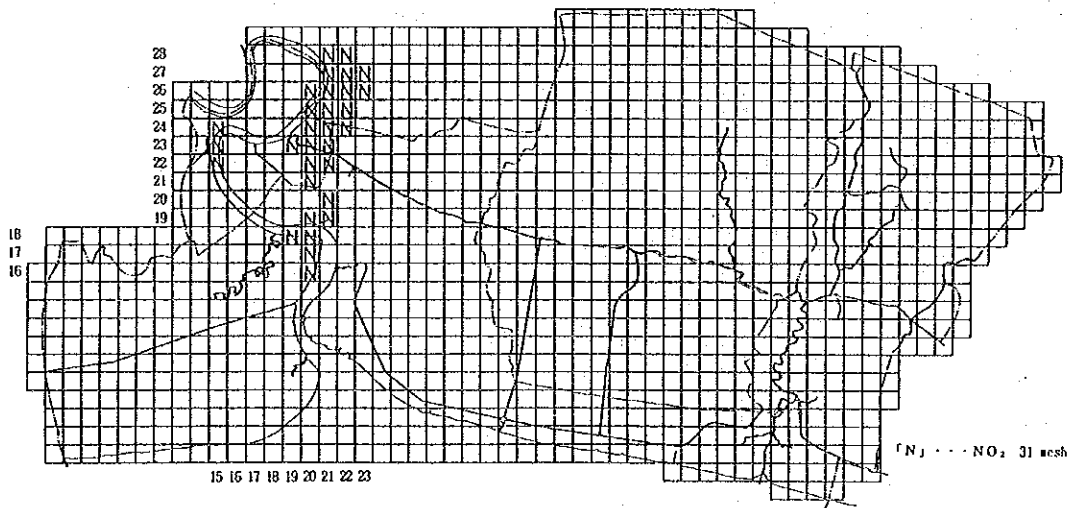


図 3-2 サムットプラカン県においてNO₂環境基準を超える地点 (無対策, 1999年次)

表 3-5(1) SO₂高濃度地点の発生源別寄与濃度 (無対策, 1992年次)

(Rank 1 IX,IV=16,24)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	1	4,493	15.6
2	0	11	0,888	3.2
3	0	4	0,577	2.1
4	0	69	0,440	1.6
5	0	5	0,430	1.6
6	0	5	0,428	1.6
7	0	1	0,426	1.6
8	0	1	0,425	1.6
9	0	6	0,421	1.6
10	0	14	0,418	1.6
Remaining stacks Sub total				22.0
Factory (area source)				5,888
Factory (industrial estate)				13,386
Roadways				7,189
Vessels (sailing)				0,006
Ferryboats (anchoring)				1,141
Ferryboats (sailing)				2,790
Back ground				0,008
TOTAL				26,849

(Rank 2 IX,IV=16,23)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	75	0,067	11.6
2	0	4	0,279	3.2
3	0	11	0,844	3.2
4	0	47	0,755	3.3
5	0	5	0,670	2.3
6	0	9	0,844	2.3
7	0	4	0,532	2.2
8	0	4	0,501	2.2
9	0	14	0,501	1.9
10	0	14	0,501	1.9
Remaining stacks Sub total				24.1
Factory (area source)				6,353
Factory (industrial estate)				15,512
Roadways				7,583
Vessels (sailing)				0,003
Ferryboats (anchoring)				1,203
Ferryboats (sailing)				1,763
Back ground				0,024
TOTAL				26,338

(Rank 3 IX,IV=17,23)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	111	1,347	5.6
2	0	14	1,113	4.6
3	0	14	1,113	4.6
4	0	15	1,072	4.4
5	0	4	0,959	4.0
6	0	4	0,959	4.0
7	0	1	0,850	3.3
8	0	68	0,450	2.1
9	0	13	0,450	2.1
10	0	13	0,400	1.7
Remaining stacks Sub total				27.5
Factory (area source)				5,473
Factory (industrial estate)				13,438
Roadways				6,655
Vessels (sailing)				0,009
Ferryboats (anchoring)				2,155
Ferryboats (sailing)				2,104
Back ground				0,001
TOTAL				24,075

(Rank 4 IX,IV=15,23)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	47	1,016	3.3
2	0	4	0,283	0.9
3	0	4	0,283	0.9
4	0	47	0,588	2.3
5	0	11	0,588	2.3
6	0	1	0,588	2.3
7	0	1	0,588	2.3
8	0	4	0,451	1.8
9	0	4	0,451	1.8
10	0	54	0,418	1.8
Remaining stacks Sub total				26.6
Factory (area source)				5,328
Factory (industrial estate)				12,314
Roadways				6,472
Vessels (sailing)				0,009
Ferryboats (anchoring)				1,119
Ferryboats (sailing)				2,688
Back ground				0,075
TOTAL				23,881

(Rank 5 IX,IV=16,24)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	111	2,336	9.1
2	0	14	1,188	4.0
3	0	14	1,019	3.8
4	0	14	0,915	3.5
5	0	6	0,747	2.9
6	0	6	0,691	2.6
7	0	1	0,691	2.6
8	0	11	0,690	2.6
9	0	75	0,529	2.1
10	0	75	0,529	2.1
Remaining stacks Sub total				21.5
Factory (area source)				5,488
Factory (industrial estate)				13,088
Roadways				7,155
Vessels (sailing)				0,006
Ferryboats (anchoring)				1,141
Ferryboats (sailing)				1,800
Back ground				0,004
TOTAL				25,567

(Rank 6 IX,IV=15,23)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	75	1,543	5.1
2	0	4	1,267	3.8
3	0	4	1,316	3.8
4	0	4	1,219	3.6
5	0	5	0,847	2.6
6	0	1	0,457	1.4
7	0	1	0,413	1.3
8	0	6	0,383	1.2
9	0	6	0,383	1.2
10	0	54	0,341	1.1
Remaining stacks Sub total				24.7
Factory (area source)				6,233
Factory (industrial estate)				13,438
Roadways				5,787
Vessels (sailing)				0,006
Ferryboats (anchoring)				0,970
Ferryboats (sailing)				2,884
Back ground				0,012
TOTAL				25,286

(Rank 7 IX,IV=17,24)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	47	1,299	5.6
2	0	4	0,880	3.9
3	0	4	0,880	3.9
4	0	11	0,485	2.1
5	0	6	0,350	1.5
6	0	6	0,350	1.5
7	0	54	0,269	1.2
8	0	14	0,269	1.2
9	0	14	0,248	1.1
10	0	14	0,248	1.1
Remaining stacks Sub total				23.8
Factory (area source)				6,150
Factory (industrial estate)				11,334
Roadways				7,338
Vessels (sailing)				0,010
Ferryboats (anchoring)				1,141
Ferryboats (sailing)				2,688
Back ground				0,001
TOTAL				23,935

(Rank 8 IX,IV=18,23)

Type of source SBD	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
	Coun ty	Fact No. Sta. No.		
1	0	14	1,319	5.7
2	0	4	1,188	4.4
3	0	4	1,188	4.4
4	0	14	0,922	3.3
5	0	11	0,922	3.3
6	0	1	0,922	3.3
7	0	1	0,922	3.3
8	0	4	0,910	3.3
9	0	4	0,910	3.3
10	0	98	0,538	2.2
Remaining stacks Sub total				25.9
Factory (area source)				5,888
Factory (industrial estate)				14,088
Roadways				6,004
Vessels (sailing)				0,004
Ferryboats (anchoring)				1,261
Ferryboats (sailing)				1,460
Back ground				0,002
TOTAL				23,075

表 3 - 5 (2) NO₂ 高濃度地点の発生源別寄与濃度 (無対策, 1992年次)

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.054	0.4
	2	98	3	0.038	0.2
	3	98	3	0.038	0.2
	4	98	4	0.034	0.2
	5	98	3	0.024	0.1
	6	98	3	0.024	0.1
	7	98	3	0.018	0.1
	8	98	3	0.008	0.0
	9	98	3	0.008	0.0
	10	98	70	0.005	0.0
Remaining stacks Sub total				0.980	9.4
Factory (area source)				0.328	1.8
Factory (industrial estate)				0.185	1.0
Roadways				0.002	0.0
Vessels (sailing)				14.234	79.0
Ferryboats (anchoring)				0.444	2.5
Ferryboats (sailing)				0.002	0.0
Back ground				2.800	15.5
TOTAL				18.015	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.090	0.3
	2	98	3	0.032	0.2
	3	98	3	0.032	0.2
	4	98	4	0.024	0.1
	5	98	3	0.024	0.1
	6	98	3	0.019	0.1
	7	98	3	0.011	0.0
	8	98	3	0.007	0.0
	9	98	3	0.005	0.0
	10	98	70	0.005	0.0
Remaining stacks Sub total				0.340	2.0
Factory (area source)				0.217	1.2
Factory (industrial estate)				0.002	0.0
Roadways				13.606	78.2
Vessels (sailing)				0.410	2.4
Ferryboats (anchoring)				0.002	0.0
Ferryboats (sailing)				2.800	16.1
Back ground				0.005	0.0
TOTAL				17.383	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.057	0.3
	2	98	3	0.038	0.2
	3	98	3	0.038	0.2
	4	98	4	0.034	0.2
	5	98	3	0.026	0.1
	6	98	3	0.026	0.1
	7	98	3	0.011	0.0
	8	98	3	0.007	0.0
	9	98	3	0.006	0.0
	10	98	70	0.006	0.0
Remaining stacks Sub total				0.335	2.4
Factory (area source)				0.309	1.8
Factory (industrial estate)				0.002	0.0
Roadways				12.885	76.8
Vessels (sailing)				0.413	2.3
Ferryboats (anchoring)				0.002	0.0
Ferryboats (sailing)				2.800	16.5
Back ground				0.004	0.0
TOTAL				16.879	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.074	0.5
	2	98	3	0.045	0.2
	3	98	3	0.045	0.2
	4	98	4	0.035	0.2
	5	98	3	0.025	0.1
	6	98	3	0.025	0.1
	7	98	3	0.009	0.0
	8	98	3	0.007	0.0
	9	98	3	0.005	0.0
	10	98	70	0.005	0.0
Remaining stacks Sub total				0.406	2.5
Factory (area source)				0.290	1.8
Factory (industrial estate)				0.002	0.0
Roadways				11.288	67.0
Vessels (sailing)				0.403	2.4
Ferryboats (anchoring)				0.002	0.0
Ferryboats (sailing)				2.800	17.5
Back ground				0.005	0.0
TOTAL				16.041	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.064	0.4
	2	98	3	0.036	0.2
	3	98	3	0.036	0.2
	4	98	4	0.027	0.1
	5	98	3	0.027	0.1
	6	98	3	0.017	0.1
	7	98	3	0.006	0.0
	8	98	3	0.005	0.0
	9	98	3	0.004	0.0
	10	98	70	0.004	0.0
Remaining stacks Sub total				0.314	1.8
Factory (area source)				0.158	0.9
Factory (industrial estate)				0.001	0.0
Roadways				13.450	78.1
Vessels (sailing)				0.473	2.7
Ferryboats (anchoring)				0.003	0.0
Ferryboats (sailing)				2.800	16.2
Back ground				0.002	0.0
TOTAL				17.232	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.054	0.3
	2	98	3	0.038	0.2
	3	98	3	0.038	0.2
	4	98	4	0.034	0.2
	5	98	3	0.026	0.1
	6	98	3	0.026	0.1
	7	98	3	0.011	0.0
	8	98	3	0.007	0.0
	9	98	3	0.006	0.0
	10	98	70	0.006	0.0
Remaining stacks Sub total				0.307	2.1
Factory (area source)				0.224	1.4
Factory (industrial estate)				0.002	0.0
Roadways				12.363	70.9
Vessels (sailing)				0.362	2.0
Ferryboats (anchoring)				0.002	0.0
Ferryboats (sailing)				2.800	16.7
Back ground				0.002	0.0
TOTAL				16.768	100.0

Type of source				Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Coun ty	Fact No.	Sta. No.		
Fac tory (po- int)	1	98	5	0.074	0.7
	2	98	3	0.045	0.4
	3	98	3	0.045	0.4
	4	98	4	0.035	0.3
	5	98	3	0.025	0.2
	6	98	3	0.025	0.2
	7	98	3	0.009	0.1
	8	98	3	0.007	0.0
	9	98	3	0.005	0.0
	10	98	70	0.005	0.0
Remaining stacks Sub total				0.401	2.5
Factory (area source)				0.192	1.2
Factory (industrial estate)				0.002	0.0
Roadways				4.760	30.8
Vessels (sailing)				1.513	9.3
Ferryboats (anchoring)				0.002	0.0
Ferryboats (sailing)				4.056	26.5
Back ground				0.002	0.0
TOTAL				15.439	100.0

表3-5(3) SO₂高濃度地点の発生源別寄与濃度(無対策, 1999年次)

Rank 1 IX, IV=16, 24				Rank 2 IX, IV=16, 23				Rank 3 IX, IV=15, 23				Rank 4 IX, IV=17, 23				Rank 5 IX, IV=15, 22				Rank 6 IX, IV=17, 24				Rank 7 IX, IV=15, 21				Rank 8 IX, IV=18, 23				
Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	
SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	SBD	County	Fact No.	Sta. No.	
Factory (po. int)	1	75	1	1	1	47	1	1	1	47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	111	4	2	2	47	2	2	2	47	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	3	114	4	3	3	47	3	3	3	47	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	4	69	4	4	4	41	4	4	4	41	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	5	14	5	5	5	14	5	5	5	14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	6	52	6	6	6	11	6	6	6	11	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	47	7	7	7	51	7	7	7	51	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	8	118	8	8	8	24	8	8	8	24	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	9	58	9	9	9	54	9	9	9	54	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	10			10				10					10				10				10				10				10			
Remaining stacks		7,763	22.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	Remaining stacks		8,183	23.9	
Sub total		20,663	58.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	Sub total		19,739	57.9	
Factory (area source)		9,583	27.1	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	Factory (area source)		10,095	29.6	
Factory (industrial estate)		9,006	25.9	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	Factory (industrial estate)		9,009	26.5	
Roadways		1,410	4.0	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	Roadways		1,486	4.4	
Vessels (sailing)		3,724	10.6	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	Vessels (sailing)		2,381	6.9	
Ferryboats (anchoring)		0,086	0.2	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	Ferryboats (anchoring)		0,037	0.1	
Ferryboats (sailing)		0,333	0.9	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	Ferryboats (sailing)		0,246	0.7	
Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	Back ground		0,100	0.3	
TOTAL		35,298	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	TOTAL		34,066	100.0	

表 3 - 5 (4) NO₂ 高濃度地点の発生源別寄与濃度 (無対策, 1999年次)

[Rank 1 IX, IV=22.26]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.078	0.3
	2	534	0.042	0.2
	3	535	0.030	0.1
	4	223	0.022	0.1
	5	223	0.022	0.1
	6	1	0.015	0.0
	7	1	0.011	0.0
	8	1	0.008	0.0
	9	1	0.008	0.0
	10	70	0.008	0.0
Remaining stacks Sub total			0.113	0.5
TOTAL			24.706	100.0
Factory (area source)			0.247	1.0
Factory (industrial estate)			0.102	0.4
Roadways			20.617	83.4
Vessels (sailing)			0.562	2.3
Ferryboats (anchoring)			0.064	0.3
Ferryboats (sailing)			0.064	0.3
Back ground			2.800	11.3

[Rank 2 IX, IV=22.25]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.073	0.3
	2	534	0.041	0.2
	3	535	0.030	0.1
	4	223	0.022	0.1
	5	223	0.022	0.1
	6	1	0.015	0.0
	7	1	0.011	0.0
	8	1	0.008	0.0
	9	1	0.008	0.0
	10	70	0.008	0.0
Remaining stacks Sub total			0.128	0.5
TOTAL			23.798	100.0
Factory (area source)			0.289	1.2
Factory (industrial estate)			0.106	0.4
Roadways			19.172	80.8
Vessels (sailing)			0.741	3.1
Ferryboats (anchoring)			0.063	0.3
Ferryboats (sailing)			0.063	0.3
Back ground			2.800	11.8

[Rank 5 IX, IV=21.23]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.065	0.3
	2	534	0.034	0.2
	3	535	0.024	0.1
	4	223	0.018	0.1
	5	223	0.018	0.1
	6	1	0.013	0.1
	7	1	0.009	0.1
	8	1	0.007	0.1
	9	1	0.007	0.1
	10	70	0.010	0.0
Remaining stacks Sub total			0.188	0.8
TOTAL			23.018	100.0
Factory (area source)			0.412	1.8
Factory (industrial estate)			0.202	0.9
Roadways			18.831	81.0
Vessels (sailing)			0.831	3.6
Ferryboats (anchoring)			0.039	0.2
Ferryboats (sailing)			0.039	0.2
Back ground			2.800	12.2

[Rank 6 IX, IV=22.24]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.065	0.3
	2	534	0.034	0.2
	3	535	0.024	0.1
	4	223	0.018	0.1
	5	223	0.018	0.1
	6	1	0.013	0.1
	7	1	0.009	0.1
	8	1	0.007	0.1
	9	1	0.007	0.1
	10	70	0.010	0.0
Remaining stacks Sub total			0.150	0.7
TOTAL			22.833	100.0
Factory (area source)			0.318	1.4
Factory (industrial estate)			0.102	0.4
Roadways			18.808	82.2
Vessels (sailing)			0.508	2.2
Ferryboats (anchoring)			0.022	0.1
Ferryboats (sailing)			0.022	0.1
Back ground			2.800	12.4

[Rank 3 IX, IV=22.27]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.080	0.3
	2	534	0.048	0.2
	3	535	0.030	0.1
	4	223	0.022	0.1
	5	223	0.022	0.1
	6	1	0.014	0.1
	7	1	0.010	0.0
	8	1	0.008	0.0
	9	1	0.007	0.0
	10	70	0.007	0.0
Remaining stacks Sub total			0.100	0.4
TOTAL			23.574	100.0
Factory (area source)			0.211	0.9
Factory (industrial estate)			0.101	0.4
Roadways			19.456	82.7
Vessels (sailing)			0.630	2.7
Ferryboats (anchoring)			0.004	0.0
Ferryboats (sailing)			0.004	0.0
Back ground			2.800	11.9

[Rank 4 IX, IV=21.24]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.081	0.3
	2	534	0.049	0.2
	3	535	0.030	0.2
	4	223	0.022	0.2
	5	223	0.022	0.1
	6	1	0.011	0.1
	7	1	0.008	0.0
	8	1	0.008	0.0
	9	1	0.009	0.0
	10	70	0.009	0.0
Remaining stacks Sub total			0.177	0.8
TOTAL			23.291	100.0
Factory (area source)			0.441	1.9
Factory (industrial estate)			0.102	0.4
Roadways			18.786	80.7
Vessels (sailing)			0.588	2.5
Ferryboats (anchoring)			0.008	0.0
Ferryboats (sailing)			0.008	0.0
Back ground			2.800	12.0

[Rank 7 IX, IV=21.25]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.090	0.4
	2	534	0.054	0.2
	3	535	0.032	0.2
	4	223	0.024	0.2
	5	223	0.024	0.1
	6	1	0.019	0.1
	7	1	0.014	0.0
	8	1	0.011	0.0
	9	1	0.008	0.0
	10	70	0.008	0.0
Remaining stacks Sub total			0.154	0.7
TOTAL			21.786	100.0
Factory (area source)			0.387	1.8
Factory (industrial estate)			0.102	0.5
Roadways			17.214	78.0
Vessels (sailing)			0.841	3.8
Ferryboats (anchoring)			0.004	0.0
Ferryboats (sailing)			0.004	0.0
Back ground			2.800	12.8

[Rank 8 IX, IV=15.24]

Type of source			Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SED	Fact No.	Sta. No.		
Factory (po-int)	1	533	0.125	0.6
	2	534	0.077	0.4
	3	535	0.050	0.3
	4	223	0.038	0.2
	5	223	0.038	0.2
	6	1	0.031	0.2
	7	1	0.021	0.1
	8	1	0.015	0.1
	9	1	0.011	0.1
	10	70	0.023	0.1
Remaining stacks Sub total			0.299	1.3
TOTAL			21.288	100.0
Factory (area source)			0.800	3.8
Factory (industrial estate)			0.100	0.5
Roadways			6.392	30.0
Vessels (sailing)			2.418	11.4
Ferryboats (anchoring)			1.150	5.4
Ferryboats (sailing)			1.150	5.4
Back ground			2.800	13.2

4. 排出源改善とその効果の検討

サムットプラカン県における大気環境濃度は1999年次においてNO₂が環境基準を超えることが明らかになり、環境基準を超える地点の発生源別寄与率は自動車が大部分を占めていた。そこで、NO₂については自動車を対象として具体的な排出源改善方策（NO_x排ガス規制車の導入）を検討するとともに、規制車導入後におけるNO₂の環境濃度を予測した。

SO₂環境濃度は経済社会開発がすすめられても環境基準を超えることはないと予測されたが、高濃度地点の寄与率は工場が大きな割合を占めていることから、今後工場に対するSO₂排出規制を実施した場合、どの程度環境が改善されるかを予測した。

4.1 工場に対するSO₂排出規制

タイ国においては現在、工場に対するSO₂排出規制は行なわれていない。すなわち、現在においては、いくら多量のSO₂を排出しても良いわけである。これは、工場間の公平性に欠けるものであり何らかの対策が必要であると考えられる。そこでここでは、工場に対する具体的な発生源対策方法として、日本におけるK値規制の考え方を1999年次を目標年次として導入した場合の環境改善について検討を行った。このK値規制は式(4-1)に示すように着地濃度規制であり、煙突を高くするか、SO₂排出量を削減するかのどちらかの方法でも対処できるものであるが、具体的なK値の値は、サムットプラカン県と類似な日本の地域のKの値を参考に設定することとした。

$$K = \frac{q}{H_e^2} \times 10^3 \quad \dots \dots \dots (4-1)$$

ここで、qは硫酸化物の量であり、H_eは式(4-2)及び式(4-3)により計算される有効煙突高さである。

$$H_e = H_o + 0.65 (H_m + H_i) \quad \dots \dots \dots (4-2)$$

$$\left. \begin{aligned} H_m &= \frac{0.795 \sqrt{Q \cdot V}}{1 + \frac{2.58}{V}} \\ H_i &= 2.01 \times 10^{-3} \cdot Q \cdot (T - 288) \cdot \left[2.30 \log J + \frac{1}{J} - 1 \right] \\ J &= \frac{1}{\sqrt{Q \cdot V}} \left(1460 - 296 \times \frac{V}{T - 288} \right) + 1 \end{aligned} \right\} (4-3)$$

ここで、

H_c ; 補正された排出口の高さ (m)

H ; 排出口の実高さ (m)

Q ; 温度15度における排出ガス量 (m^3/s)

4.1.1 K値の設定

サムットプラカン県の工場から排出される単位面積当りの SO_2 量を表4-1に、また、サムットプラカン県に類似した日本の地域の工場から排出される単位面積当りの SO_2 量を表4-2に示す。これらの結果をみると、サムットプラカン地域では、単位面積当りの SO_2 量は19.52トン/年/ km^2 であり、一方、日本におけるK値の値が13.0の地域を平均した単位面積当りの SO_2 量は11.72トン/年/ km^2 となっている。同様に、K値が10.0の地域は9.06トン/年/ km^2 であり、K値が0.8の地域では8.37トン/年/ km^2 となっている。これらのことから、サムットプラカン地域に適用すべきKの値は、単位面積当りの SO_2 排出量からみると、 $K=13.0$ が一番適当と考えられる。なお、表4-2におけるKの値をみると、Kの値が同一の県、市でも単位面積当りの SO_2 量が大きく異なっている。これは、日本におけるK値の決め方が、工場の密集度、煙の拡散範囲を考慮する他、行政的な配慮が加わっているためである。

表4-1 1988年次にサムットプラカン県内の工場から
排出される単位面積当りの SO_2 量

Name of county	① SO_2 emission volume (ton/y)	② Area (km^2)	③=①÷② SO_2 volume per area (ton/y/ km^2)
1 Muang	5163	356	14.50
2 Bang Plee	932	534	1.75
3 Phra Pradaeng	12235	49	249.69
TOTAL	18330	939	19.52

表4-2 サムットプラカン県に類似した日本の地域の工場から
排出される単位面積当りのSO₂量

K値	県市名		用途 地域	62年度	①	②	①+②
				SO ₂ 年平均値 (ppb)	60年度 工場 SO ₂ 量 (ton/y)	面積 (km ²)	面積当り SO ₂ 量 (ton/y /km ²)
13.0	群馬県	渋川市	準工	9	1373.6	51.84	26.50
				7	452.0	151.20	2.99
	静岡県	津島市	商	5	1043.2	61.81	16.88
				10	180.7	103.35	1.75
	岡山県	玉野市	準工	7	1093.3	44.38	24.63
				6	730.6	135.41	5.40
	徳島県	鳴門市	商	7	4608.3	252.83	18.23
				7	1675.1	123.93	13.52
福岡県	久留米市	商、未	7	249.9	44.98	5.56	
			2	86.9	48.74	1.78	
10.0	北海道	釧路市	商	11	5417.5	218.85	24.75
				5	446.1	184.98	2.41
	福井県	鯖江市	住	9	386.0	84.23	4.58
				5	1123.7	250.46	4.49
8.0	北海道	小樽市	工	9	504.5	244.65	2.06
				8	1877.7	749.42	2.51
	山形県	酒田市	商	4	1358.9	175.00	7.77
				8	1024.8	312.53	3.28
	栃木県	宇都宮市	住	6	229.2	311.74	0.74
				6	891.5	111.49	8.00
	福井県	真岡市	未	6	1262.9	249.51	5.06
				8	5464.7	117.54	46.49
広島県	竹原市	未	10	1349.8	204.35	6.61	
			8	125.9	110.73	1.14	

ここで、Kの値を(8.0, 10.0, 13.0)を達成するのに必要な実煙突高さを計算すると、表4-3に示すようになる。この結果をみると、Kの値を13.0とした場合、実煙突高さが5m前後の極端に低い煙突を除いて、10~15m前後の煙突高さを20m程度にかさ上げすれば良く、経済性を考慮して最も実行可能性があると考えられる。

以上のことより、サムットプラカン県内の工場を対象としたSO₂排出規制を実施するならば、日本のK値規制の考え方を導入し、具体的なKの値は13.0が適当と考えられる。

表4-3 K値(13.0, 10.0及び8.0)を達成するのに必要な実煙突高さ

SEQ)	Country code	Factory No.	Stack No.	K value	Actual stack height H ₀ (m)	Gas velocity V(m/s)	Gas temperature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m ³ /s)	Normal SO ₂ Emission volume q(Nm ³ /h)	Effective stack height H _e (m)	Actual stack height based on K-value (m)		
											K=13	K=10	K=8
1)	3	75	1	90.039	5	0.00	313	26.092	31.697	18.76	35.6	42.5	49.2
2)	3	34	3	67.761	5	0.00	350	2.935	5.610	9.10	16.7	19.6	22.4
3)	2	23	4	42.609	5	0.00	350	2.697	3.281	8.78	12.1	14.3	16.5
4)	1	68	2	34.269	20	6.09	462	6.712	28.970	29.08	38.1	44.8	51.1
5)	3	23	5	30.064	5	0.00	333	4.349	2.633	9.36	9.9	11.9	13.8
6)	3	24	1	29.116	7	4.46	462	0.350	1.812	7.89	10.9	12.6	14.2
7)	2	24	2	27.290	2	7.58	437	0.157	0.186	2.61	3.2	3.7	4.2
8)	3	96	1	26.888	5	0.00	350	5.849	4.548	13.01	10.7	13.3	15.8
9)	3	33	2	26.734	6	0.00	437	0.007	0.971	6.03	8.6	9.8	11.0
10)	1	39	1	25.701	15	0.00	462	2.940	18.078	26.52	25.8	31.0	36.0
11)	2	19	2	25.591	6	0.00	523	0.519	2.019	8.88	9.6	11.3	13.0
12)	3	97	1	25.134	5	0.00	318	0.125	0.652	5.09	7.0	8.0	8.9
13)	1	68	1	25.125	15	2.64	462	1.860	8.047	17.90	22.0	25.5	28.8
14)	1	66	1	24.422	10	0.00	453	1.570	6.206	15.94	15.9	19.0	21.9
15)	3	59	2	24.260	10	0.00	443	1.852	6.647	16.55	16.1	19.2	22.3
16)	3	111	2	23.762	22	9.32	496	6.119	24.545	32.14	33.3	39.4	45.3
17)	1	56	2	20.636	6	0.00	448	1.482	2.703	11.45	9.0	11.0	12.9
18)	3	14	1	20.192	20	15.30	483	4.587	16.464	28.55	27.0	32.0	36.8
19)	3	14	2	20.192	20	15.30	483	4.587	16.464	28.55	27.0	32.0	36.8
20)	3	109	2	19.581	12	0.00	462	0.926	4.858	15.75	15.6	18.3	20.9
21)	3	90	1	19.235	10	0.00	462	0.932	3.649	13.77	13.0	15.3	17.6
22)	1	70	3	19.096	6	0.00	437	1.639	2.567	11.59	8.5	10.4	12.3
23)	1	35	2	18.772	15	5.69	483	1.305	5.895	17.72	18.6	21.6	24.4
24)	3	54	1	18.708	16	0.00	448	1.864	9.730	22.81	20.5	24.4	28.1
25)	1	35	1	18.651	15	5.69	483	1.305	5.857	17.72	18.5	21.5	24.3
26)	3	16	4	18.528	15	0.00	473	1.813	9.512	22.66	19.4	23.2	26.8
27)	3	102	1	18.359	13	0.00	462	2.319	9.008	22.15	17.2	20.9	24.4
28)	1	68	3	17.797	20	2.03	462	2.237	9.657	23.29	24.0	27.8	31.4
29)	1	66	2	17.647	14	0.00	453	2.223	8.796	22.33	17.7	21.3	24.8
30)	3	16	3	16.988	15	0.00	473	1.449	7.608	21.16	18.0	21.4	24.7
31)	3	47	3	16.855	12	0.00	498	2.025	7.922	21.68	15.0	18.5	21.8
32)	1	2	1	16.752	12	0.00	473	1.778	6.381	19.52	14.6	17.7	20.7
33)	3	109	1	16.244	15	0.00	462	1.237	6.478	19.97	17.4	20.5	23.5
34)	1	64	1	16.110	10	0.00	462	0.667	2.609	12.73	11.4	13.4	15.3
35)	1	70	2	15.533	18	38.04	573	5.406	16.113	32.21	21.0	25.9	30.7
36)	3	5	2	14.924	24	34.79	523	9.631	27.299	42.77	27.1	33.5	39.6
37)	3	16	1	14.734	15	0.00	473	1.086	5.692	19.65	16.3	19.2	22.0
38)	3	16	2	14.734	15	0.00	473	1.086	5.692	19.65	16.3	19.2	22.0
39)	1	70	1	14.690	18	30.38	573	4.317	12.890	29.62	19.9	24.3	28.5
40)	3	54	2	14.540	18	0.00	473	1.864	9.730	25.87	19.5	23.3	27.0
41)	3	54	3	14.540	18	0.00	473	1.864	9.730	25.87	19.5	23.3	27.0
42)	3	110	2	14.309	10	12.61	462	0.556	1.994	11.81	10.6	12.3	14.0
43)	2	5	6	14.268	10	0.00	462	0.608	2.226	12.49	10.6	12.4	14.2
44)	3	28	1	14.122	10	0.00	462	0.445	1.979	11.84	10.5	12.2	13.9
45)	1	55	1	13.881	30	0.00	393	4.230	22.098	39.90	31.3	37.1	42.7
46)	1	55	2	13.881	30	0.00	393	4.230	22.098	39.90	31.3	37.1	42.7
47)	3	14	3	13.771	20	7.65	483	2.293	8.232	24.45	20.7	24.2	27.6
48)	1	64	2	13.344	6	0.00	462	0.196	0.622	6.83	6.1	7.1	8.0
49)	3	95	2	13.218	7	0.00	333	1.141	0.886	8.19	7.1	8.2	9.3
50)	3	36	1	12.723	15	0.00	448	1.037	4.521	18.85	—	17.4	19.9

4.1.2 SO₂排出規制を実施した場合のSO₂, NO_x排出量

K値規制を行う場合、K値をクリアする方法は、前述のとおり煙突を高くするか、SO₂排出量を削減するかのどちらかの方法でも良いわけである。このため、K=13の達成に必要な実煙突高さとしてSO₂排出量を計算した。この結果を表4-4に示す。この結果をみると、SO₂排出量を削減してKの値を達成しようとする、SO₂排出量を現在排出しているSO₂量の1/7程度にしなければならない工場が出現する。これは実行不可能であるので、K値の達成には煙突を高くする方法が現実的であると考えられる。

なお、高い煙突は汚染範囲を広げるのではなく、排ガス量が同じであれば、高い高度から排出された汚染質の地上濃度は同一の拡散条件の下では、低い高度からの濃度に比較して必ず低くなることを認識しておかなければならない。すなわち、図4-1は有効煙突高さ H_e を変えた場合の単一煙突における風下主軸上の地上濃度 $(C u / Q)$ であるが、高煙突は低煙突に比べていかなる風下距離においても地上濃度が低いことが分る。

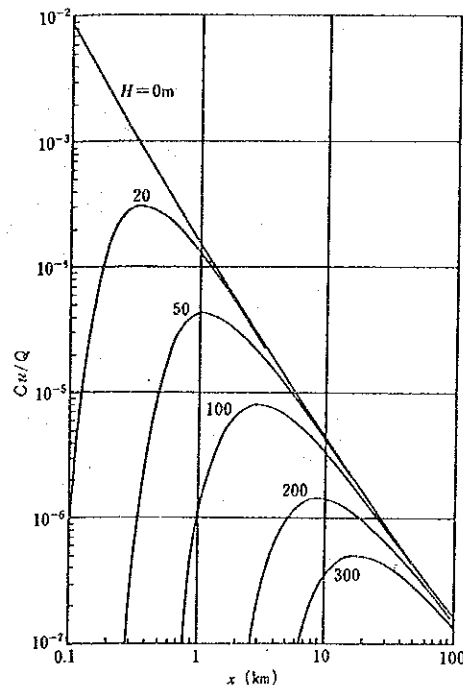


図4-1 風下主軸上の地上濃度の有効煙突高さによる変化 (u ; 風速, Q ; 排出量)

表4-4 K=13.0をクリアーさせるために必要な実煙突高さとSO₂排出量

SEQ)	STACK			K value	Actual stack height H _o (m)	Gas velo- city V(m/s)	Gas tempe- rature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m ³ /s)	Normal SO ₂ Emission volume q(Nm ³ /h)	Effec- tive stack height H _e (m)	Actual stack height & Normal SO ₂ volume sui- table for K=13	
	Coun- ty code	Fac- tory No.	Sta- ck No.								H _o (m)	q(Nm ³ /h)
1)	3	75	1	90.039	5	0.00	313	26.092	31.697	18.76	35.6	4.576
2)	3	34	3	67.761	5	0.00	350	2.935	5.610	9.10	16.7	1.076
3)	2	23	4	42.609	5	0.00	350	2.697	3.281	8.78	12.1	1.001
4)	1	68	2	34.269	20	6.09	462	6.712	28.970	29.08	38.1	10.990
5)	3	23	5	30.064	5	0.00	333	4.349	2.633	9.36	9.9	1.139
6)	3	24	1	29.116	7	4.46	462	0.350	1.812	7.89	10.9	0.809
7)	2	24	2	27.290	2	7.58	437	0.157	0.186	2.61	3.2	0.089
8)	3	96	1	26.888	5	0.00	350	5.849	4.548	13.01	10.7	2.199
9)	3	33	2	26.734	6	0.00	437	0.007	0.971	6.03	8.6	0.472
10)	1	39	1	25.701	15	0.00	462	2.940	18.078	26.52	25.8	9.144
11)	2	19	2	25.591	6	0.00	523	0.519	2.019	8.88	9.6	1.026
12)	3	97	1	25.134	5	0.00	318	0.125	0.652	5.09	7.0	0.337
13)	1	68	1	25.125	15	2.64	462	1.860	8.047	17.90	22.0	4.164
14)	1	66	1	24.422	10	0.00	453	1.570	6.206	15.94	15.9	3.303
15)	3	59	2	24.260	10	0.00	443	1.852	6.647	16.55	16.1	3.562
16)	3	111	2	23.762	22	9.32	496	6.119	24.545	32.14	33.3	13.428
17)	1	56	2	20.636	6	0.00	448	1.482	2.703	11.45	9.0	1.703
18)	3	14	1	20.192	20	15.30	483	4.587	16.464	28.55	27.0	10.600
19)	3	14	2	20.192	20	15.30	483	4.587	16.464	28.55	27.0	10.600
20)	3	109	2	19.581	12	0.00	462	0.926	4.858	15.75	15.6	3.225
21)	3	90	1	19.235	10	0.00	462	0.932	3.649	13.77	13.0	2.466
22)	1	70	3	19.096	6	0.00	437	1.639	2.567	11.59	8.5	1.748
23)	1	35	2	18.772	15	5.69	483	1.305	5.895	17.72	18.6	4.082
24)	3	54	1	18.708	16	0.00	448	1.864	9.730	22.81	20.5	6.761
25)	1	35	1	18.651	15	5.69	483	1.305	5.857	17.72	18.5	4.082
26)	3	16	4	18.523	15	0.00	473	1.813	9.512	22.66	19.4	6.674
27)	3	102	1	18.359	13	0.00	462	2.319	9.008	22.15	17.2	6.379
28)	1	68	3	17.797	20	2.03	462	2.237	9.657	23.29	24.0	7.054
29)	1	66	2	17.647	14	0.00	453	2.223	8.796	22.33	17.7	6.480
30)	3	16	3	16.988	15	0.00	473	1.449	7.608	21.16	18.0	5.822
31)	3	47	3	16.855	12	0.00	498	2.025	7.922	21.68	15.0	6.110
32)	1	2	1	16.752	12	0.00	473	1.778	6.381	19.52	14.6	4.952
33)	3	109	1	16.244	15	0.00	462	1.237	6.478	19.97	17.4	5.184
34)	1	64	1	16.110	10	0.00	462	0.667	2.609	12.73	11.4	2.105
35)	1	70	2	15.533	18	38.04	573	5.406	16.113	32.21	21.0	13.485
36)	3	5	2	14.924	24	34.79	523	9.631	27.299	42.77	27.1	23.780
37)	3	16	1	14.734	15	0.00	473	1.086	5.692	19.65	16.3	5.022
38)	3	16	2	14.734	15	0.00	473	1.086	5.692	19.65	16.3	5.022
39)	1	70	1	14.690	18	30.38	573	4.317	12.890	29.62	19.9	11.407
40)	3	54	2	14.540	18	0.00	473	1.864	9.730	25.87	19.5	8.699
41)	3	54	3	14.540	18	0.00	473	1.864	9.730	25.87	19.5	8.699
42)	3	110	2	14.309	10	12.61	462	0.556	1.994	11.81	10.6	1.812
43)	2	5	6	14.268	10	0.00	462	0.608	2.226	12.49	10.6	2.028
44)	3	28	1	14.122	10	0.00	462	0.445	1.979	11.84	10.5	1.822
45)	1	55	1	13.881	30	0.00	333	4.230	22.098	39.90	31.3	20.695
46)	1	55	2	13.881	30	0.00	333	4.230	22.098	39.90	31.3	20.695
47)	3	14	3	13.771	20	7.65	483	2.293	8.232	24.45	20.7	7.771
48)	1	64	2	13.344	6	0.00	462	0.196	0.622	6.83	6.1	0.606
49)	3	95	2	13.218	7	0.00	333	1.141	0.886	8.19	7.1	0.871
50)	3	36	1	12.723	15	0.00	448	1.037	4.521	18.85	—	—

以上のことより、K値規制を実施した場合のSO₂排出量は、発生源対策を実施しない場合のSO₂排出量と同じであり、図2-1(1)及び表2-1に示すとおり29,442トン/年となる。なお、NO_x排出量も燃焼施設を改善しないので変わらず、図2-1(2)及び表2-1に示すとおり14,052トン/年となる。

なお、K=13を達成させるには煙突を高くしてH_eを増大させる他、煙突の口径を小さくして排ガス吐出速度を大きくしてH_eを増大する方法もある。また、傘つき煙突は、傘を取れば吐出速度が大きくなり、煙突高さが必要以上に高くする必要がなくなる。したがって、このような煙突は、第Ⅶ編に記述するように経済性を考慮して、排ガス吐出速度が15m/sになるように煙突口径を小さくするとともに、実煙突高さがあまり高くないようにした。この結果を表4-5に示す。

表4-5 工場の煙突改善内容

SEQ)	STACK			Actual stack height(m)		Diameter (a)		Gas velocity (m/s)	
	County code	Factory No.	Stack No.	before count.	after count.	before count.	after count.	before count.	after count.
1)	3	75	1	5	38.0	9.9	1.55	0.00	15.0
2)	3	34	3	5	17.0	9.9	0.55	0.00	15.0
3)	2	23	4	5	12.5	9.9	0.53	0.00	15.0
4)	1	68	2	20	37.0	1.5	0.96	6.09	15.0
5)	3	23	5	5	10.0	9.9	0.55	0.00	15.0
6)	3	24	1	7	10.5	0.4	0.22	4.46	15.0
7)	2	24	2	2	3.0	0.2	0.14	7.58	15.0
8)	3	96	1	5	13.0	9.9	0.78	0.00	15.0
9)	3	33	2	6	8.5	0.6	0.03	0.00	15.0
10)	1	39	1	15	31.5	0.5	0.63	0.00	15.0
11)	2	19	2	6	10.5	1.2	0.28	0.00	15.0
12)	3	97	1	5	6.5	9.9	0.11	0.00	15.0
13)	1	68	1	15	21.0	1.2	0.50	2.64	15.0
14)	1	66	1	10	18.5	0.4	0.46	0.00	15.0
15)	3	59	2	10	19.0	0.7	0.49	0.00	15.0
16)	3	111	2	22	33.0	1.2	0.95	9.32	15.0
17)	1	56	2	6	11.0	0.6	0.44	0.00	15.0
18)	3	14	1	20	27.5	0.8	0.81	15.30	15.0
19)	3	14	2	20	27.5	0.8	0.81	15.30	15.0
20)	3	109	2	12	17.0	0.4	0.36	0.00	15.0
21)	3	90	1	10	14.5	0.8	0.36	0.00	15.0
22)	1	70	3	6	10.5	1.7	0.46	0.00	15.0
23)	1	35	2	15	18.0	0.7	0.43	5.69	15.0
24)	3	54	1	16	23.5	0.6	0.50	0.00	15.0
25)	1	35	1	15	18.0	0.7	0.43	5.69	15.0
26)	3	16	4	15	23.0	0.6	0.50	0.00	15.0
27)	3	102	1	13	21.5	0.5	0.56	0.00	15.0
28)	1	68	3	20	22.5	1.5	0.55	2.03	15.0
29)	1	66	2	14	21.5	0.6	0.54	0.00	15.0
30)	3	16	3	15	20.5	0.6	0.45	0.00	15.0
31)	3	47	3	12	20.0	0.7	0.55	0.00	15.0
32)	1	2	1	12	18.0	0.6	0.50	0.00	15.0
33)	3	109	1	15	19.5	0.5	0.41	0.00	15.0
34)	1	64	1	10	12.0	0.5	0.30	0.00	15.0
35)	1	70	2	18	23.5	0.6	0.96	38.04	15.0
36)	3	5	2	24	29.5	0.8	1.22	34.79	15.0
37)	3	16	1	15	18.0	0.6	0.39	0.00	15.0
38)	3	16	2	15	18.0	0.6	0.39	0.00	15.0
39)	1	70	1	18	21.5	0.6	0.85	30.38	15.0
40)	3	54	2	18	23.0	0.9	0.51	0.00	15.0
41)	3	54	3	18	23.0	0.9	0.51	0.00	15.0
42)	3	110	2	10	10.5	0.3	0.28	12.61	15.0
43)	2	5	6	10	11.5	0.5	0.29	0.00	15.0
44)	3	28	1	10	11.0	0.4	0.25	0.00	15.0
45)	1	55	1	30	35.5	0.6	0.70	0.00	15.0
46)	1	55	2	30	35.5	0.6	0.70	0.00	15.0
47)	3	14	3	20	20.0	0.8	0.57	7.65	15.0
48)	1	64	2	6	6.0	0.3	0.16	0.00	15.0
49)	3	95	2	7	7.0	0.3	0.33	0.00	15.0

4.2 NO_x排ガス規制車の導入

サムットプラカン県内においては1999年次にNO_x環境基準を超えることが予想され、その原因の大部分は自動車に占められている（寄与率として80%前後）。したがって、将来年次にNO₂環境基準を満足させるためには自動車の排ガス規制が必要である。

表4-6は日本の建設省による自動車排ガス規制年次別NO_x排出係数である。この表のNO_x排出係数は6車種に分類されているが、タイ国における5車種分類に対応づけたNO_x排出係数が表4-7である（第IV編3.4参照）。この表4-7に示めされているNO_x排出係数及びサムットプラカン県内の車種別自動車構成比、道路別交通量、車速を用いて、1973年規制から順に各年次のNO_x排出規制を導入した場合の自動車のNO_x排出量削減率を計算したものが表4-8である。一方、1999年次においてNO₂環境基準を超える地点の濃度をNO_x規制車の導入によりNO₂環境基準値（18PPb）までに低減させるのに必要な自動車の寄与濃度削減率は表4-9に示すようになり、47.9%の削減が必要であることが分る。ここで、NO_x排出量とNO₂拡散濃度には比例関係があるので、1999年次におけるNO_x排出量削減率は47.9%となる。この削減率を規制車を導入した場合のNO_x削減率（表4-8）と対応づけると、NO₂環境基準を達成させるためには、1999年次には日本の1978年規制車の導入が必要であることが分かる。規制車の導入によるサムットプラカン県内の自動車NO_x排出量を表4-10に示す。また、メッシュ別NO_x排出量を図4-2に示す。

表4-6 自動車排ガス規制年次別NOx排出係数(建設省)

Vehicle type in JAPAN	Section velocity	Restriction year											unit	
		non	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982		1983
Passenger car	10 km/h	2.62	2.58	---	1.38	0.87	---	0.30	---	---	---	---	---	(g/km/car)
	20 km/h	2.54	2.16	---	1.13	0.73	---	0.28	---	---	---	---		
	30 km/h	2.82	2.12	---	1.08	0.72	---	0.25	---	---	---	---		
	40 km/h	3.15	2.13	---	1.06	0.73	---	0.25	---	---	---	---		
	50 km/h	3.48	2.11	---	1.02	0.73	---	0.25	---	---	---	---		
	100 km/h	4.63	3.63	---	2.54	2.65	---	0.90	---	---	---	---		
light cargo vehicle	10 km/h	5.28	4.19	---	2.71	---	---	1.59	1.63	---	---	---	(g/km/car)	
	20 km/h	5.30	3.45	---	2.46	---	---	1.59	1.37	---	---	---		
	30 km/h	5.26	3.34	---	2.39	---	---	1.58	1.33	---	---	---		
	40 km/h	5.04	3.29	---	2.37	---	---	1.55	1.32	---	---	---		
	50 km/h	4.74	3.20	---	2.22	---	---	1.51	1.29	---	---	---		
	100 km/h	6.03	4.74	---	3.64	---	---	3.76	3.14	---	---	---		
heavy duty gasoline vehicle	10 km/h	7.25	5.60	---	---	---	---	4.72	---	---	---	---	(g/km/car)	
	20 km/h	6.04	4.67	---	---	---	---	3.94	---	---	---	---		
	30 km/h	5.82	4.55	---	---	---	---	3.85	---	---	---	---		
	40 km/h	5.29	4.58	---	---	---	---	3.81	---	---	---	---		
	50 km/h	4.52	4.34	---	---	---	---	3.66	---	---	---	---		
	100 km/h	6.68	6.72	---	---	---	---	4.92	---	---	---	---		
Diesel vehicle (Direct fuel injection)	10 km/h	2.074	13.90	---	1.895	11.16	---	1.465	9.42	---	---	---	(g/km/car)	
	20 km/h	1.654	11.06	---	1.362	9.13	---	1.159	7.70	---	---	---		
	30 km/h	1.550	10.38	---	1.309	8.77	---	1.105	7.40	---	---	---		
	40 km/h	1.478	9.90	---	1.284	8.60	---	1.094	7.26	---	---	---		
	50 km/h	1.381	9.26	---	1.240	8.31	---	1.086	7.07	---	---	---		
	100 km/h	1.874	12.45	---	1.679	7.23	---	0.911	6.10	---	---	---		
Diesel vehicle (Indirect fuel injection)	10 km/h	1.185	5.21	---	1.013	4.46	---	0.855	3.76	---	---	---	(g/km/car/ton)	
	20 km/h	1.019	4.45	---	0.872	3.84	---	0.736	3.24	---	---	---		
	30 km/h	1.027	4.32	---	0.878	3.87	---	0.741	3.26	---	---	---		
	40 km/h	1.057	4.65	---	0.934	4.03	---	0.783	3.35	---	---	---		
	50 km/h	1.075	4.73	---	0.934	4.03	---	0.776	3.42	---	---	---		
	100 km/h	1.303	8.51	---	1.654	7.28	---	1.335	6.14	---	---	---		
Diesel vehicle (Swirl chamber type)	10 km/h	0.839	1.79	---	0.832	1.70	---	0.719	1.44	---	---	---	(g/km/car)	
	20 km/h	0.776	1.55	---	0.743	1.49	---	0.627	1.25	---	---	---		
	30 km/h	0.732	1.58	---	0.759	1.52	---	0.680	1.28	---	---	---		
	40 km/h	0.825	1.65	---	0.814	1.58	---	0.687	1.37	---	---	---		
	50 km/h	0.853	1.71	---	0.819	1.54	---	0.691	1.38	---	---	---		
	100 km/h	1.148	2.30	---	1.099	2.20	---	0.929	1.95	---	---	---		

表4-7 タイ国の5車種分類による自動車排ガス規制年次別NOx排出係数

(unit:g/km/car)

Vehicle type in Thailand	Section Velocity	Restriction year											
		non	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Light vehicle	10km/h	2.75	2.05	2.01	1.70	---	1.55	1.18	---	---	---	---	Same as left
	20km/h	2.61	1.74	1.69	1.45	Same as left	1.39	1.01	Same as left	---	---	---	
	30km/h	2.19	1.72	1.71	1.48	Same as left	1.34	1.04	Same as left	---	---	---	
	40km/h	2.14	1.72	1.72	1.50	Same as left	1.35	1.05	Same as left	---	---	---	
	50km/h	2.03	1.72	1.68	1.47	Same as left	1.33	1.03	Same as left	---	---	---	
	100km/h	2.54	2.44	2.39	2.11	Same as left	2.01	1.47	Same as left	---	---	---	
Heavy vehicle	10km/h	11.12	8.91	8.41	7.10	---	7.23	7.33	---	---	---	---	Same as left
	20km/h	9.49	8.46	8.46	7.14	Same as left	7.10	6.28	Same as left	---	---	---	
	30km/h	9.70	8.69	8.69	7.33	Same as left	7.33	6.50	Same as left	---	---	---	
	40km/h	9.79	8.82	8.82	7.44	Same as left	7.44	6.60	Same as left	---	---	---	
	50km/h	9.64	8.79	8.79	7.36	Same as left	7.36	6.53	Same as left	---	---	---	
	100km/h	12.63	11.37	11.37	9.80	Same as left	9.80	8.54	Same as left	---	---	---	
Gasoline	10km/h	2.62	2.58	---	1.38	0.87	---	0.30	---	---	---	---	Same as left
	20km/h	2.54	2.16	---	1.13	0.73	---	0.28	---	---	---	---	
	30km/h	2.82	2.12	---	1.08	0.72	---	0.25	---	---	---	---	
	40km/h	3.15	2.13	---	1.06	0.73	---	0.25	---	---	---	---	
	50km/h	3.48	2.11	---	1.02	0.73	---	0.25	---	---	---	---	
	100km/h	4.63	3.63	---	2.54	2.65	---	0.90	---	---	---	---	
LPG	10km/h	3.21	2.49	---	1.39	0.78	---	0.29	---	---	---	---	Same as left
	20km/h	3.11	2.09	---	1.14	0.65	---	0.24	---	---	---	---	
	30km/h	3.45	2.05	---	1.09	0.64	---	0.24	---	---	---	---	
	40km/h	3.85	2.06	---	1.07	0.65	---	0.24	---	---	---	---	
	50km/h	4.25	2.04	---	1.03	0.65	---	0.24	---	---	---	---	
	100km/h	5.65	3.51	---	2.30	2.36	---	0.82	---	---	---	---	
Motor cycle	10km/h	0.26	0.25	---	0.14	0.09	---	0.03	---	---	---	---	Same as left
	20km/h	0.23	0.22	---	0.11	0.07	---	0.03	---	---	---	---	
	30km/h	0.23	0.21	---	0.10	0.07	---	0.03	---	---	---	---	
	40km/h	0.32	0.21	---	0.10	0.07	---	0.03	---	---	---	---	
	50km/h	0.33	0.20	---	0.10	0.07	---	0.03	---	---	---	---	
	100km/h	0.47	0.26	---	0.13	0.13	---	0.04	---	---	---	---	

表4-8 規制車導入によるNO_x排出量削減率

Restriction year	Cut percent of NO _x emission volume (%)
non restriction	0.00
1973	15.74
1974	21.25
1975	33.24
1976	36.52
1977	44.64
1978	49.25
1979	55.84
1980	55.84
1981	56.67
1982	61.82
1983	62.38

表4-9 1999年次にNO₂環境基準を達成させるのに必要な自動車寄与濃度削減率

年次	NO ₂ 濃度 (PPb)	環境基準値 (PPb)	削減濃度 (PPb)	自動車寄与濃度 (PPb)	環境基準を達成させるに必要な自動車寄与濃度 (PPb)	自動車寄与濃度削減率 (%)
20-16-0	18.1	18.0	0.1	12.95	12.85	0.8
20-17-0	19.0	18.0	1.0	13.98	12.98	7.2
19-18-0	18.1	18.0	0.1	13.13	13.03	0.8
20-18-0	19.8	18.0	1.8	15.00	13.20	12.0
20-19-0	18.5	18.0	0.5	13.72	13.22	3.6
21-19-0	19.0	18.0	1.0	14.58	13.58	6.9
21-20-0	18.6	18.0	0.6	14.43	13.83	4.2
20-21-0	18.7	18.0	0.7	14.26	13.56	4.9
15-22-0	18.7	18.0	0.7	8.80	8.16	7.9
20-22-0	19.7	18.0	1.7	15.15	13.45	11.2
21-22-0	20.3	18.0	2.3	16.07	13.77	14.3
15-23-0	20.0	18.0	2.0	7.78	5.78	25.7
19-23-0	18.4	18.0	0.4	12.96	12.56	3.1
20-23-0	20.8	18.0	2.8	15.90	13.10	17.6
21-23-0	23.0	18.0	5.0	18.65	13.65	26.8
15-24-0	21.3	18.0	3.3	6.89	3.59	47.9
20-24-0	19.1	18.0	1.1	14.00	12.90	7.9
21-24-0	23.3	18.0	5.3	18.80	13.50	28.2
22-24-0	22.9	18.0	4.9	18.81	13.91	26.0
20-25-0	18.6	18.0	0.6	13.15	12.55	4.6
21-25-0	21.8	18.0	3.8	17.21	13.41	22.0
22-25-0	23.8	18.0	5.8	19.70	13.90	29.4
20-26-0	18.4	18.0	0.4	12.65	12.25	3.2
21-26-0	20.7	18.0	2.7	16.02	13.32	16.9
22-26-0	24.7	18.0	6.7	20.61	13.91	32.5
23-26-0	18.0	18.0	0.0	14.23	14.23	0.0
21-27-0	20.1	18.0	2.1	15.26	13.16	13.8
22-27-0	23.6	18.0	5.6	19.40	13.89	28.7
23-27-0	18.9	18.0	0.9	15.07	14.17	6.0
21-28-0	19.2	18.0	1.2	14.54	13.34	8.3
22-28-0	20.4	18.0	2.4	16.35	13.95	14.7

表4-10 サムットプラカン県内の自動車走行によるNO_x排出量

年次	NO _x 排出量 (t/年)	備考
1988年	7,812	—
1992年	10,448	—
1999年	対策前	15,119
	対策後	7,673

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /H)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	109
▨	1.0 ~ 4.0	135
▩	4.0 ~ 10.0	25

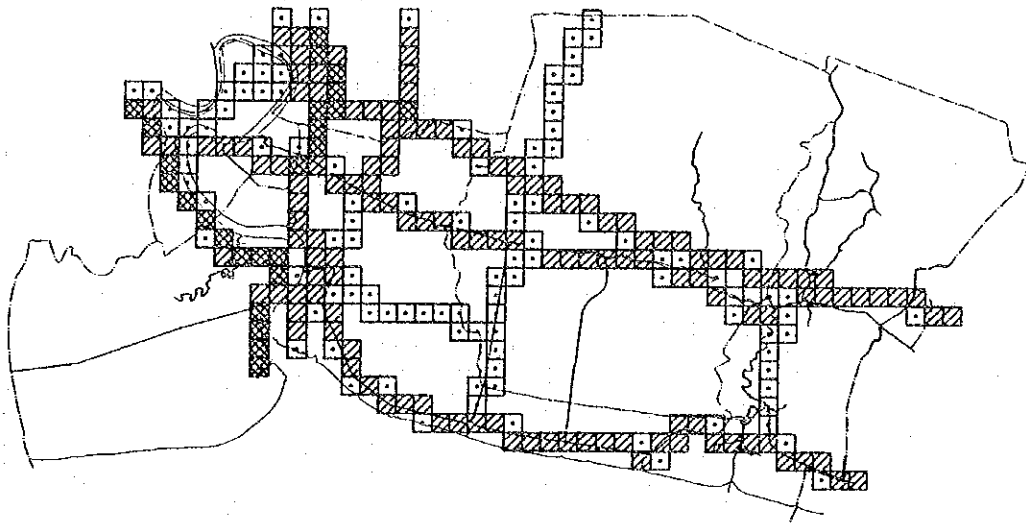


図4-2(1) 自動車から排出されるNO_x量 (1999年次発生源対策後)

4.3 発生源対策実施後におけるSO₂、NO_x排出量

発生源対策実施後におけるサムットプラカン県全域から排出されるSO₂、NO_x量を表4-11及び図4-3に示す。これらの結果をみると、SO₂排出量は、SO₂に係る発生源対策が工場に対するK値規制であり、その方法が高煙突化であるので、発生源対策を実施しない場合の排出量(33,855トン/年)と同じである。一方、NO_x排出量はNO_x規制車を導入することにより24,839トン/年となり、発生源対策が実施されない場合のNO_x排出量32,285トン/年と比較すると、7,446トン/年の削減量となる。

表4-11 サムットプラカン県から排出されるSO₂、NO_x量（発生源対策実施時）

(SO₂)

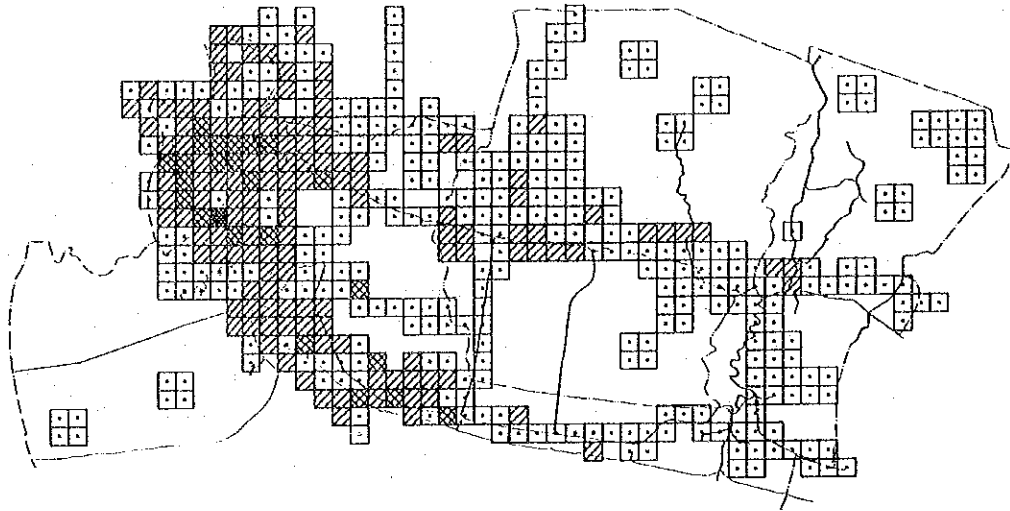
Name of source		Type of source	SO ₂ emission volume (ton/year)			
			1988	1992 (92/88)	1999 (99/88) before count.	1999 (99/88) after count.
Stationary sources	Questionnaire return	point	13649	16269 (1.19)	21701 (1.59)	same as left
	Questionnaire nothing	area	4681	5580 (1.19)	7443 (1.59)	
	Industrial estate	area	—	298 (—)	298 (—)	
	Sub total			18330	22147 (1.21)	
Road way		line	1474	1829 (1.24)	2261 (1.53)	
Vessels and Ferryboats	Vessels (sailing)	point	1263	1505 (1.19)	2007 (1.59)	
	Ferryboats (anchoring)	point	8	11 (1.38)	17 (2.16)	
	Ferryboats (sailing)	point	59	82 (1.38)	128 (2.16)	
	Sub total			1330	1598 (1.20)	
TOTAL			21134	25574 (1.21)	33855 (1.60)	

(NO_x)

Name of source		Type of source	NO _x emission volume (ton/year)			
			1988	1992 (92/88)	1999 (99/88) before count.	1999 (99/88) after count.
Stationary sources	Questionnaire return	point	8108	9665 (1.19)	12892 (1.59)	12892 (1.59)
	Questionnaire nothing	area	712	848 (1.19)	1132 (1.59)	1132 (1.59)
	Industrial estate	area	—	28 (—)	28 (—)	28 (—)
	Sub total			8820	10541 (1.20)	14052 (1.59)
Road way		line	7812	10448 (1.34)	15119 (1.94)	7673 (0.98)
Vessels and Ferryboats	Vessels (sailing)	point	1623	1935 (1.19)	2581 (1.59)	2581 (1.59)
	Ferryboats (anchoring)	point	26	36 (1.38)	57 (2.16)	57 (2.16)
	Ferryboats (sailing)	point	221	304 (1.38)	476 (2.16)	476 (2.16)
	Sub total			1870	2275 (1.22)	3114 (1.67)
TOTAL			18502	23264 (1.26)	32285 (1.74)	24839 (1.34)

SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (t/a ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	324
▨	1.0 ~ 10.0	133
▩	10.0 ~ 100.0	23
■	100.0 ~	1



NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	252
▨	1.0 ~ 10.0	214
▩	10.0 ~ 100.0	8
■	100.0 ~	1

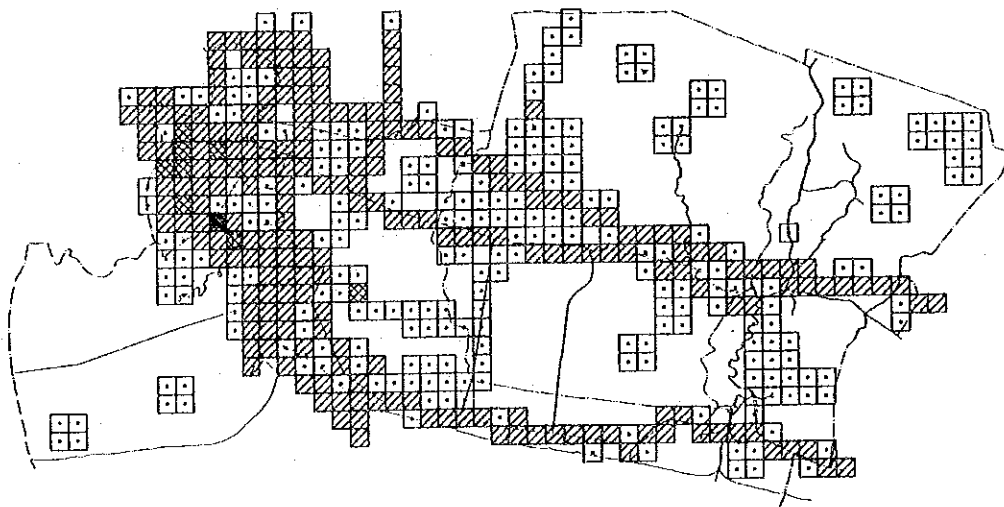


図4-3 全発生源から排出されるSO₂, NO_x量 (発生源対策後)

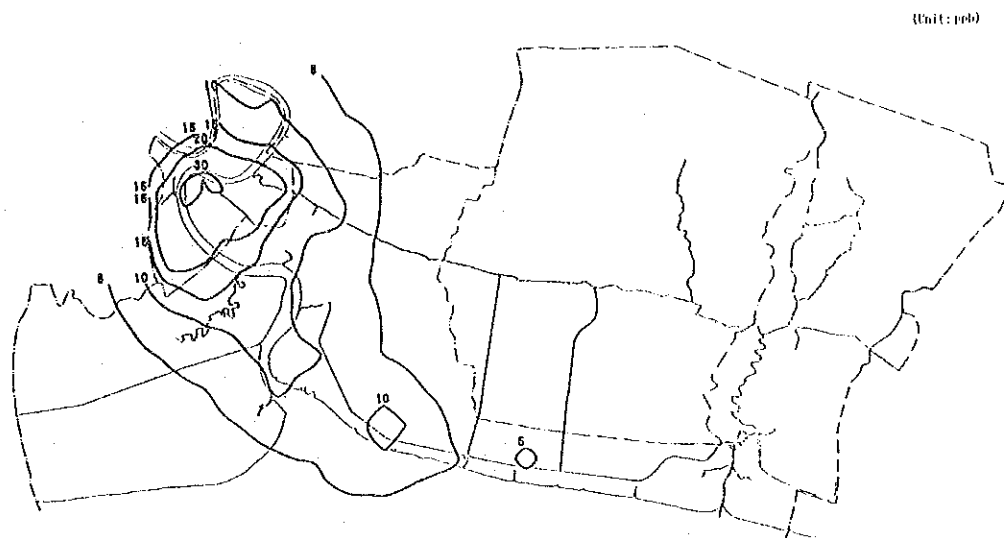


図4-4 1999年次にK値規制を行った場合のサムットプラカン県のSO₂環境濃度

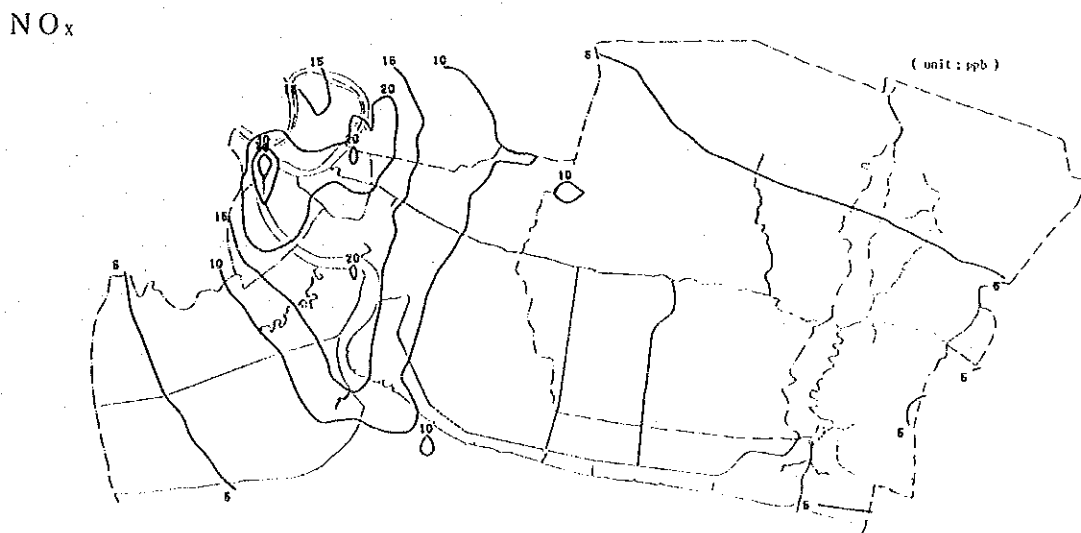
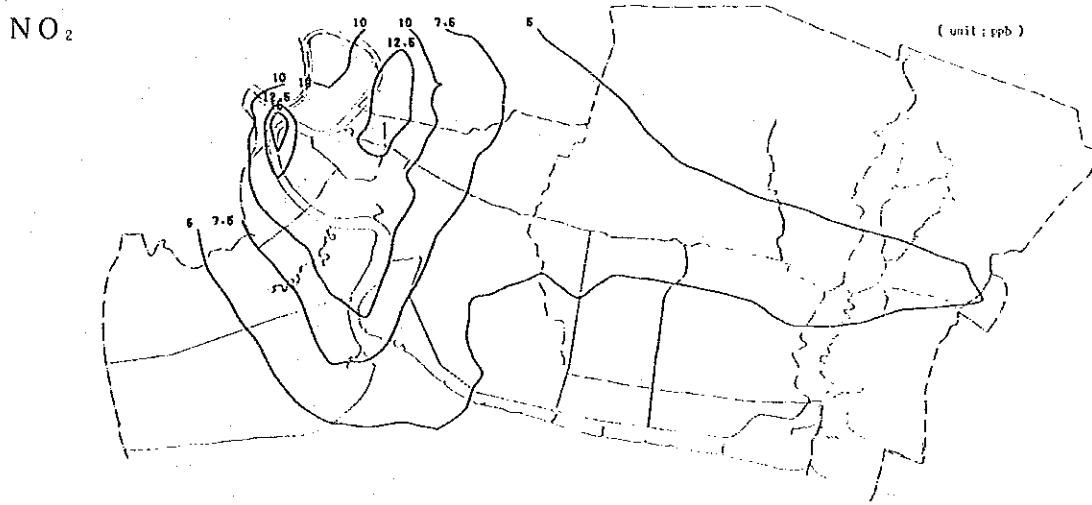


図4-5 1999年次にNO_x排ガス規制車を導入した場合の窒素酸化物環境濃度

表4-13 1999年次にNOx排出ガスを規制車を導入した場合のサムットプラカンの大気環境濃度(単位; 0.1PPb)

NO2	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300																																																							
53	61	71	81	91	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000
53	61	71	81	91	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000

NOx

表4-14 大気汚染物質の濃度ランク別メッシュ数 (対策時)

(SO ₂)				(NO ₂)				(NO _x)			
Rank of concentration (ppb)	Number of mesh			Rank of concentration (ppb)	Number of mesh			Rank of concentration (ppb)	Number of mesh		
	1988	1992	1999		1988	1992	1999		1988	1992	1999
0.0~5.0	977	929	885	0.0~5.0	674	476	300	0.0~5.0	277	223	169
5.0~10.0	128	154	150	5.0~7.5	305	429	437	5.0~10.0	676	643	544
10.0~15.0	28	42	67	7.5~10.0	109	104	190	10.0~15.0	116	141	228
15.0~20.0	21	16	24	10.0~12.5	64	93	68	15.0~20.0	79	92	68
20.0~25.0	5	14	13	12.5~15.0	7	46	55	20.0~25.0	9	51	68
25.0~30.0	0	4	13	15.0~17.5	0	10	68	25.0~30.0	2	7	61
30.0~35.0	0	0	6	17.5~20.0	0	1	28	30.0~35.0	0	1	13
35.0~40.0	0	0	1	20.0~22.5	0	0	7	35.0~40.0	0	1	6
TOTAL	1159	1159	1159	22.5~25.0	0	0	6	40.0~45.0	0	0	0
				TOTAL	1159	1159	1159	45.0~50.0	0	0	1
								50.0~55.0	0	0	1
								TOTAL	1159	1159	1159

Note) 「bef. c.m.」 before Countermeasure
 「aft. c.m.」 after Countermeasure

4.4.2 発生源別寄与率及び寄与濃度

発生源対策実施後のSO₂、NO₂高濃度上位8地点(いずれも環境基準値以下)の発生源別寄与濃度及び寄与率を表4-15及び表4-16に示す。無対策時における発生源別寄与濃度(表3-5)と比較すると、SO₂については工場に対するK値規制により工場点源の寄与濃度が低くなっている。また、NO₂寄与濃度をみると、NO_x排ガス規制車の導入により自動車の寄与濃度が低下しているとともに、工場の高煙突化に低い工場点源の寄与濃度も低下していることが分かる。

表 4-15 K 植規制実施後の SO₂ 高濃度地点の発生源別寄与濃度

Rank 1 IX, IV=15, 23				Rank 2 IX, IV=17, 23				Rank 5 IX, IV=15, 22				Rank 6 IX, IV=17, 24				
Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	
SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			
Factory (part)	1	47	1.278	4.0	1	111	1.779	5.6	1	47	0.883	2.9	1	14	1.300	4.4
	2	47	1.140	3.6	2	14	1.088	3.3	2	47	0.728	2.3	2	14	1.300	4.4
	3	47	0.611	1.9	3	14	0.988	3.0	3	47	0.728	2.3	3	14	1.300	4.4
	4	47	0.521	1.6	4	69	0.816	2.5	4	47	0.656	2.1	4	14	1.300	4.4
	5	54	0.485	1.5	5	11	0.783	2.4	5	54	0.531	1.6	5	14	1.300	4.4
	6	54	0.425	1.3	6	11	0.633	1.9	6	54	0.465	1.4	6	14	1.300	4.4
	7	111	0.425	1.3	7	4	0.374	1.2	7	111	0.465	1.4	7	14	1.300	4.4
	8	111	0.425	1.3	8	4	0.374	1.2	8	111	0.465	1.4	8	14	1.300	4.4
	9	111	0.425	1.3	9	4	0.374	1.2	9	111	0.465	1.4	9	14	1.300	4.4
	10	111	0.425	1.3	10	4	0.374	1.2	10	111	0.465	1.4	10	14	1.300	4.4
Remaining stacks		8.373	26.3	Remaining stacks		5.881	18.2	Remaining stacks		7.884	24.7	Remaining stacks		15.971	24.4	
Sub total		15.625	48.3	Sub total		15.488	47.4	Sub total		14.706	45.7	Sub total		15.971	48.3	
Factory (area source)		7.719	24.3	Factory (area source)		9.544	31.5	Factory (area source)		8.533	29.2	Factory (area source)		8.878	30.3	
Factory (industrial estate)		0.100	0.3	Factory (industrial estate)		0.016	0.0	Factory (industrial estate)		0.008	0.0	Factory (industrial estate)		0.008	0.0	
Roadways		3.528	11.2	Roadways		2.000	6.3	Roadways		0.788	2.4	Roadways		0.788	2.4	
Vessels (sailing)		0.283	0.9	Vessels (sailing)		0.000	0.0	Vessels (sailing)		0.519	1.6	Vessels (sailing)		0.519	1.6	
Ferryboats (anchoring)		0.151	0.5	Ferryboats (anchoring)		0.000	0.0	Ferryboats (anchoring)		0.740	2.3	Ferryboats (anchoring)		0.740	2.3	
Ferryboats (sailing)		0.100	0.3	Ferryboats (sailing)		0.000	0.0	Ferryboats (sailing)		0.100	0.3	Ferryboats (sailing)		0.100	0.3	
Back ground		0.100	0.3	Back ground		0.000	0.0	Back ground		0.100	0.3	Back ground		0.100	0.3	
TOTAL		31.830	100.0	TOTAL		30.286	100.0	TOTAL		29.595	100.0	TOTAL		29.304	100.0	

Rank 3 IX, IV=15, 24				Rank 4 IX, IV=15, 23				Rank 7 IX, IV=15, 21				Rank 8 IX, IV=15, 24				
Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	
SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			SBD	Fact. Sta. No.			
Factory (part)	1	75	1.394	4.6	1	47	1.293	4.3	1	47	1.293	4.3	1	5	0.813	2.9
	2	111	1.185	3.8	2	47	1.092	3.7	2	47	1.092	3.7	2	75	0.692	2.4
	3	111	0.588	1.8	3	14	0.421	1.4	3	14	0.421	1.4	3	47	0.590	2.0
	4	111	0.555	1.7	4	14	0.388	1.3	4	14	0.388	1.3	4	47	0.536	1.9
	5	111	0.510	1.6	5	14	0.355	1.2	5	14	0.355	1.2	5	47	0.415	1.5
	6	111	0.501	1.6	6	14	0.344	1.1	6	14	0.344	1.1	6	114	0.400	1.4
	7	111	0.496	1.6	7	14	0.334	1.1	7	14	0.334	1.1	7	114	0.400	1.4
	8	111	0.496	1.6	8	14	0.334	1.1	8	14	0.334	1.1	8	114	0.400	1.4
	9	111	0.496	1.6	9	14	0.334	1.1	9	14	0.334	1.1	9	114	0.400	1.4
	10	111	0.496	1.6	10	14	0.334	1.1	10	14	0.334	1.1	10	114	0.400	1.4
Remaining stacks		7.684	25.5	Remaining stacks		7.893	27.0	Remaining stacks		13.746	47.2	Remaining stacks		11.641	41.4	
Sub total		14.948	48.6	Sub total		15.488	51.9	Sub total		13.746	47.2	Sub total		11.641	41.4	
Factory (area source)		9.553	31.7	Factory (area source)		10.095	33.9	Factory (area source)		9.788	33.6	Factory (area source)		6.051	21.5	
Factory (industrial estate)		0.006	0.0	Factory (industrial estate)		0.000	0.0	Factory (industrial estate)		0.010	0.0	Factory (industrial estate)		0.008	0.0	
Roadways		1.410	4.7	Roadways		1.486	5.0	Roadways		1.388	4.8	Roadways		1.388	4.8	
Vessels (sailing)		0.721	2.3	Vessels (sailing)		0.351	1.1	Vessels (sailing)		3.556	12.2	Vessels (sailing)		3.556	12.2	
Ferryboats (anchoring)		0.056	0.2	Ferryboats (anchoring)		0.000	0.0	Ferryboats (anchoring)		0.045	0.1	Ferryboats (anchoring)		0.045	0.1	
Ferryboats (sailing)		0.100	0.3	Ferryboats (sailing)		0.000	0.0	Ferryboats (sailing)		0.000	0.0	Ferryboats (sailing)		0.000	0.0	
Back ground		0.100	0.3	Back ground		0.100	0.3	Back ground		0.100	0.3	Back ground		0.100	0.3	
TOTAL		30.137	100.0	TOTAL		29.816	100.0	TOTAL		29.082	100.0	TOTAL		28.143	100.0	

表 4-16 NO_x 排ガス規制車導入後のNO₂高濃度地点の発生源別寄与率

Rank 1 IX, IV=15, 24				Rank 2 IX, IV=15, 23				Rank 3 IX, IV=22, 25				Rank 4 IX, IV=15, 22				Rank 5 IX, IV=22, 25				Rank 6 IX, IV=21, 24				Rank 7 IX, IV=22, 27				Rank 8 IX, IV=21, 23								
Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)	Type of source		Sta. No.	Conce. of contr. (ppb)	Rate of cogtr. (%)		
SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty				SBD	Coun ty
1	3	5	0.125	0.7	1	5	0.117	0.7	1	5	0.173	0.5	1	5	0.081	0.5	1	5	0.049	0.3	1	5	0.041	0.3	1	5	0.041	0.3	1	5	0.041	0.3	1	5	0.041	0.3
2	3	5	0.177	0.4	1	5	0.173	0.4	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3	1	5	0.144	0.3
3	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
4	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
5	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
6	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
7	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
8	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
9	3	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3	1	5	0.053	0.3
10	3	5	0.017	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1	1	5	0.019	0.1
Remaining stacks Sub total				1.5	4.4	Remaining stacks Sub total				0.285	2.1	Remaining stacks Sub total				0.125	0.9	Remaining stacks Sub total				0.125	0.9	Remaining stacks Sub total				0.125	0.9	Remaining stacks Sub total				0.125	0.9	
Factory (area source)				4.5	33.7	Factory (area source)				1.020	6.3	Factory (area source)				0.295	2.1	Factory (area source)				0.295	2.1	Factory (area source)				0.295	2.1	Factory (area source)				0.295	2.1	
Factory (industrial estate)				0.000	0.0	Factory (industrial estate)				0.000	0.0	Factory (industrial estate)				0.000	0.0	Factory (industrial estate)				0.000	0.0	Factory (industrial estate)				0.000	0.0	Factory (industrial estate)				0.000	0.0	
Roadways				3.458	19.6	Roadways				3.946	24.3	Roadways				3.946	24.3	Roadways				3.946	24.3	Roadways				3.946	24.3	Roadways				3.946	24.3	
Vessels (sailing)				2.418	13.5	Vessels (sailing)				2.343	14.5	Vessels (sailing)				2.343	14.5	Vessels (sailing)				2.343	14.5	Vessels (sailing)				2.343	14.5	Vessels (sailing)				2.343	14.5	
Ferryboats (anchoring)				1.150	6.4	Ferryboats (anchoring)				0.554	3.4	Ferryboats (anchoring)				0.554	3.4	Ferryboats (anchoring)				0.554	3.4	Ferryboats (anchoring)				0.554	3.4	Ferryboats (anchoring)				0.554	3.4	
Ferryboats (sailing)				5.415	29.7	Ferryboats (sailing)				4.800	28.6	Ferryboats (sailing)				4.800	28.6	Ferryboats (sailing)				4.800	28.6	Ferryboats (sailing)				4.800	28.6	Ferryboats (sailing)				4.800	28.6	
Back ground				2.800	15.7	Back ground				2.800	17.4	Back ground				2.800	17.4	Back ground				2.800	17.4	Back ground				2.800	17.4	Back ground				2.800	17.4	
TOTAL				17.866	100.0	TOTAL				16.109	100.0	TOTAL				14.088	100.0	TOTAL				14.088	100.0	TOTAL				14.088	100.0	TOTAL				14.088	100.0	

第Ⅶ編 排出源の具体的改善方策と
経費の見積り、経済影響の分析

1. 概要

前編での検討により工場を対象とした排出規制を将来において実施するならば、その規制方式はK値規制が妥当であり、その方法は高煙突化による方策が最も現実的であるとの結論に達した。また、具体的なK値としては $K = 1.3$ が適当であること、その場合実際に対策が必要となる煙源は49本であることも明らかになった。そこで本編では実際に対策を実施するのに要する費用を概算ではあるが提示するとともに、この投資によりサムットプラカン地区あるいはタイ全体の経済に及ぼす影響についても分析を行った。さらに、高煙突化以外の改善方法の概要を示すとともに、NOxや粒子状物質の低減化技術についてもその概要を紹介する。

2. 高煙突化の実際とその投資

2.1 煙突の形状を決定する要因

第VI編の表4-4によると $K = 1.3$ とした場合、高煙突化の対象となる煙突数は49である。これらの煙突は煙突とはいえ単なる排気口であるものや、煙突であっても頂部に傘がつけられており汚染質の十分な拡散に寄与していないものもあり、必ずしも単に高さを高くするだけでは現実的でない。一般的に煙突の形状を決定する要因としては、下記の項目があり、法規上あるいは煙突の機能上から十分な検討が必要となる。

2.1.1 気象及び立地条件

将来の予測を含めた煙突周辺の立地条件の把握、風向・風速などの気象条件と地形の影響の検討が必要となる。また近接の建造物への影響（ダウンウォッシュ、ダウンドラフト）を避けるために煙突の高さ（近接建造物の2.5倍以上）、吐出速度（風速の2倍程度以上）の検討が必要となる。

2.1.2 圧力損失と有効通気力

ボイラー等の燃焼条件、送風機の能力、煙突迄の経路の圧力損失などを考慮した上で、燃焼の通風能力（有効通気力）を設定し煙突の形状を決定する。

煙突の有効通気力は次のように計算される。

$$H_t = H_o - P_{total} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$H_o = h(\rho_a - \rho_g) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$P_{total} = P_t + P_b + P_f \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$$P_t = \zeta_1 \times \frac{\rho_g \times V^2}{2 \times G} \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$P_b = \zeta_2 \times \frac{\rho_g \times V^2}{2 \times G} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$P_f = \lambda \times \frac{h}{D} \times \frac{\rho_g \times V^2}{2 \times G} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

ここで、

H_t : 煙突の有効通気力 (m)

H_o : 煙突の理論通気力 (m)

h : 煙突高さ (m)

ρ_a : 大気の比重量 (kg/ m³)

ρ_g : 排ガスの比重量 (kg/ m³)

P_{total} : 圧力損失

P_t : 突出損失

P_b : 曲り損失

P_f : 摩擦損失

$\zeta_1, \zeta_2, \lambda$: 損失係数

V : 排ガス流速 (m/s)

G : 重力加速度 (m/sec²)

D : 煙突内径 (m)

2.1.3 実煙突高さの設定

有効煙突高さを計算し、実煙突高さを設定する。有効煙突高さは排出基準 (K値) により計算できる。すなわち、サムットプラカン県では $K=13$ の採用により、式 (2-7) により煙突有効高さ H_e が求められる。

$$He = (q \times 10^3 / K)^{1/2} = 8.77\sqrt{q} \dots\dots\dots (2-7)$$

ここで、

q; SO₂排出量 (Nm³/h)

2.2 高煙突化検討の前提条件

2.2.1 煙突の構造

煙突を立てる場合の構造は大きくわけて次の4つがあげられる。(図2-1 参照)

① 自立式

その構造上、小形煙突に適している。ただしカルマン渦による振動を考慮する必要があり、煙突の半径が小さい場合には不利である。また、排ガス条件によっては保温が必要である。

② RC外筒支持式

中、大形煙突に適している。排ガス温度が高い場合には断熱が必要である。

③ 鋼製外筒支持式

中、大形煙突に適している。排ガス条件に関係なく保温する必要はないが外筒の塗装(1回/5~10年)が必要となる。

④ 鉄塔支持式

中、大形煙突は保温する必要があり、さらに鉄塔の塗装(1回/5~10年)が必要となる。

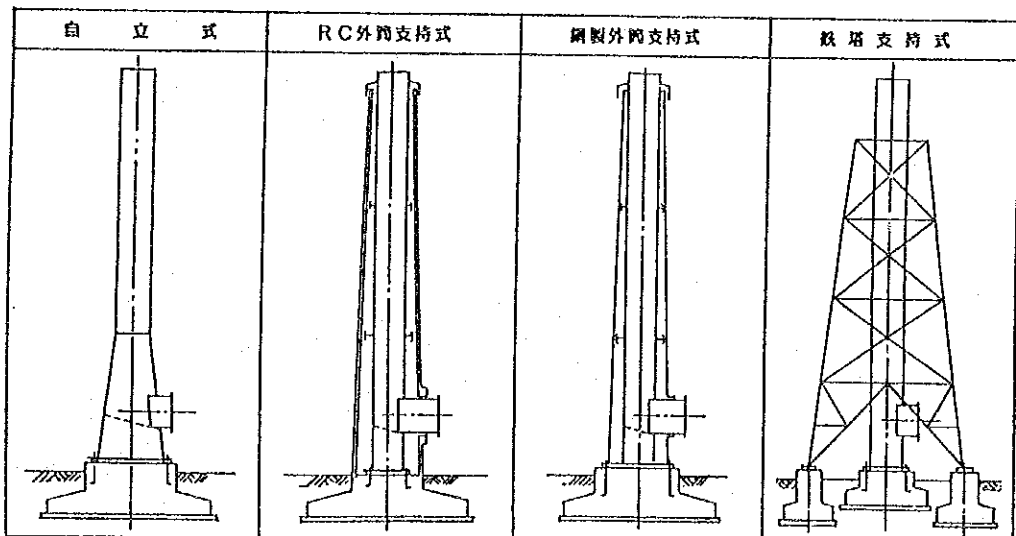


図 2-1 煙突の構造

今回対象となる煙突は、表2-1 に示すように高煙突化後の煙突高さが3~38 mとばらつきがあるため、個々の諸条件を考慮した上で構造を設定すべきであるが、現時点では個々の諸条件は不明であるので「2-24-2 (County Code-Factory No-stack No)」を除き、全ての煙突について鋼製外筒支持式により高煙突化を図るものとした。なお、「2-24-2」については高煙突化後の高さが3 mであるので自立式とした。

表 2 - 1 K = 1 3 の達成に必要な煙突高さ

SEQ)	County code	Factory No.	Stack No.	Present stack height H ₀ (m)	Gas temperature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m ³ /S)	Normal SO ₂ Emission volume q(Nm ³ /h)	New Stack Dia (m)		New Stack height H ₀ (m)
								Internal Sus Tube	External Cs Stack	
1)	3	75	1	5	313	26.092	31.697	1.55	2.2/3.5	38.0
2)	3	34	3	5	350	2.935	5.610	0.55	1.2/1.6	17.0
3)	2	23	4	5	350	2.697	3.281	0.53	1.2/1.2	12.5
4)	1	68	2	20	462	6.712	28.970	0.96	1.6/3.4	37.0
5)	3	23	5	5	333	4.349	2.633	0.65	1.3/1.3	10.0
6)	3	24	1	7	462	0.350	1.812	0.22	0.9/1.0	10.5
7)	2	24	2	2	437	0.157	0.186	0.14	—	3.0
8)	3	96	1	5	350	5.849	4.548	0.78	1.4/1.4	13.0
9)	3	33	2	6	437	0.007	0.971	0.03	0.7/0.8	8.5
10)	1	39	1	15	462	2.940	18.078	0.63	1.3/2.9	31.5
11)	2	19	2	6	523	0.519	2.019	0.28	0.9/1.0	10.5
12)	3	97	1	5	318	0.125	0.652	0.11	0.8/0.8	6.5
13)	1	68	1	15	462	1.860	8.047	0.50	1.2/1.9	21.0
14)	1	66	1	10	453	1.570	6.206	0.46	1.1/1.7	18.5
15)	3	59	2	10	443	1.852	6.647	0.49	1.1/1.7	19.0
16)	3	111	2	22	496	6.119	24.545	0.95	1.6/3.0	33.0
17)	1	56	2	6	448	1.482	2.703	0.44	1.1/1.1	11.0
18)	3	14	1	20	483	4.587	16.464	0.81	1.5/2.5	27.5
19)	3	14	2	20	483	4.587	16.464	0.81	1.5/2.5	27.5
20)	3	109	2	12	462	0.926	4.858	0.36	1.0/1.6	17.0
21)	3	90	1	10	462	0.932	3.649	0.36	1.0/1.4	14.5
22)	1	70	3	6	437	1.639	2.567	0.46	1.1/1.1	10.5
23)	1	35	2	15	483	1.305	5.895	0.43	1.1/1.7	18.0
24)	3	54	1	16	448	1.864	9.730	0.50	1.2/2.2	23.5
25)	1	35	1	15	483	1.305	5.857	0.43	1.1/1.7	18.0
26)	3	16	4	15	473	1.813	9.512	0.50	1.2/2.1	23.0
27)	3	102	1	13	462	2.319	9.008	0.56	1.2/2.0	21.5
28)	1	68	3	20	462	2.237	9.657	0.55	1.2/2.1	22.5
29)	1	66	2	14	453	2.223	8.796	0.54	1.2/2.0	21.5
30)	3	16	3	15	473	1.449	7.608	0.45	1.1/1.9	20.5
31)	3	47	3	12	498	2.025	7.922	0.55	1.2/1.9	20.0
32)	1	2	1	12	473	1.778	6.381	0.50	1.2/1.7	18.0
33)	3	109	1	15	462	1.237	6.478	0.41	1.1/1.8	19.5
34)	1	64	1	10	462	0.667	2.609	0.30	1.0/1.1	12.0
35)	1	70	2	18	573	5.406	16.113	0.96	1.6/2.2	23.5
36)	3	5	2	24	523	9.631	27.299	1.22	1.9/2.7	29.5
37)	3	16	1	15	473	1.086	5.692	0.39	1.0/1.7	18.0
38)	3	16	2	15	473	1.086	5.692	0.39	1.0/1.7	18.0
39)	1	70	1	18	573	4.317	12.890	0.85	1.5/2.0	21.5
40)	3	54	2	18	473	1.864	9.730	0.51	1.2/2.1	23.0
41)	3	54	3	18	473	1.864	9.730	0.51	1.2/2.1	23.0
42)	3	110	2	10	462	0.556	1.994	0.28	0.9/1.0	10.5
43)	2	5	6	10	462	0.608	2.226	0.29	0.9/1.1	11.5
44)	3	28	1	10	462	0.445	1.979	0.25	0.9/1.0	11.0
45)	1	55	1	30	393	4.230	22.098	0.70	1.3/3.3	35.5
46)	1	55	2	30	393	4.230	22.098	0.70	1.3/3.3	35.5
47)	3	14	3	20	483	2.293	8.232	0.57	1.2/1.9	20.0
48)	1	64	2	6	462	0.196	0.622	0.16	0.8/0.8	6.0
49)	3	95	2	7	333	1.141	0.886	0.33	1.0/1.0	7.0

2.2.2 煙突の材質

今回高煙突化の対象となる施設は当然のことながらSO₂排出濃度が高いため煙突の材質はステンレス鋼製とする。一般に酸露点と排ガス温度は図2-2のような関係があり今回のようにSO₂濃度が高い場合、200℃以下であれば酸露点以下になる可能性がある。したがって200℃以下の煙突については内外筒の間に50mmのロックウール保温材を施し排ガス温度の低下を少しでも抑えることとして計画した。

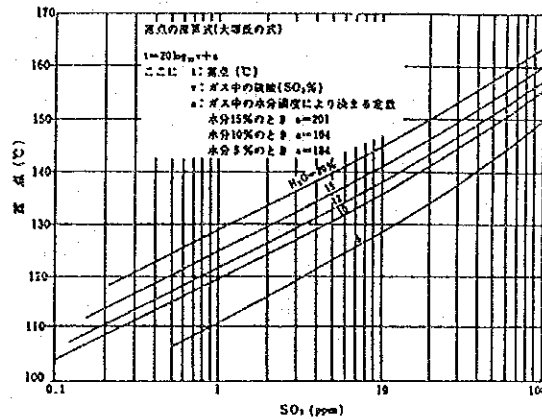


図2-2 SO₂濃度と露点の関係

2.2.3 煙突の高さと口径

煙突の口径を決める場合、圧力損失と有効通気力が支配要因となるが、これらが不明の場合、経験から煙突出口流速を10~20m/s となることが最も経済的といわれている。したがって、今回は煙突出口流速を15m/s とし、K=13により煙突高さを決定することとした。ただし、計算上の端数は0.5m単位に切り上げた。施設毎の設定高さを表2-1 に示す。

2.3 高煙突化に係わる費用

2.2 項での前提条件をベースに高煙突化に係わる費用を算出した。この結果を表 2-2 に示す。費用には煙突の材料費、組立費及び保温・塗装(外筒のみ)が含まれているが、基礎は地質状況が不明のため含まれていない。また、図2-3 に示すように、煙突は全て新品に更新するものとし、既設の改造及び新設の場合の立地スペースの有無については考慮していない。表2-2 によると、49本の煙突を更新して高煙突化した場合の総額は、およそ11,500万パーツとなり高煙突化をと

っても多額の投資はまぬがれないことがわかる。また、ランニングコストは必要ないが、外筒の塗装は5～10年に1回程度実施する必要がある。

表2-2 高煙突化に係わるコスト

SEQ)	County code	Factory No.	Stack No.	Gas temperature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m³/S)	Normal SO ₂ Emission volume q(Nm³/h)	New Stack		Cost (×10 ⁴ Bahts)
							Dia (m)	Height H ₀ (m)	
1)	3	75	1	313	26.092	31.697	1.55	38.0	8,100
2)	3	34	3	350	2.935	5.610	0.55	17.0	2,000
3)	2	23	4	350	2.697	3.281	0.53	12.5	1,400
4)	1	68	2	462	6.712	28.970	0.96	37.0	6,150
5)	3	23	5	333	4.349	2.633	0.65	10.0	1,300
6)	3	24	1	462	0.350	1.812	0.22	10.5	900
7)	2	24	2	437	0.157	0.186	0.14	3.0	85
8)	3	96	1	350	5.849	4.548	0.78	13.0	2,050
9)	3	33	2	437	0.007	0.971	0.03	8.5	450
10)	1	39	1	462	2.940	18.078	0.63	31.5	3,700
11)	2	19	2	523	0.519	2.019	0.28	10.5	1,050
12)	3	97	1	318	0.125	0.652	0.11	6.5	450
13)	1	68	1	462	1.860	8.047	0.50	21.0	2,300
14)	1	66	1	453	1.570	6.206	0.46	18.5	1,700
15)	3	59	2	443	1.852	6.647	0.49	19.0	1,950
16)	3	111	2	496	6.119	24.545	0.95	33.0	5,600
17)	1	56	2	448	1.482	2.703	0.44	11.0	1,200
18)	3	14	1	483	4.587	16.464	0.81	27.5	4,250
19)	3	14	2	483	4.587	16.464	0.81	27.5	4,250
20)	3	109	2	462	0.926	4.858	0.36	17.0	1,550
21)	3	90	1	462	0.932	3.649	0.36	14.5	2,400
22)	1	70	3	437	1.639	2.567	0.46	10.5	1,300
23)	1	35	2	483	1.305	5.895	0.43	18.0	1,650
24)	3	54	1	448	1.864	9.730	0.50	23.5	2,400
25)	1	35	1	483	1.305	5.857	0.43	18.0	1,650
26)	3	16	4	473	1.813	9.512	0.50	23.0	2,350
27)	3	102	1	462	2.319	9.008	0.56	21.5	2,300
28)	1	68	3	462	2.237	9.657	0.55	22.5	2,300
29)	1	66	2	453	2.223	8.796	0.54	21.5	2,300
30)	3	16	3	473	1.449	7.608	0.45	20.5	2,150
31)	3	47	3	498	2.025	7.922	0.55	20.0	2,150
32)	1	2	1	473	1.778	6.381	0.50	18.0	1,700
33)	3	109	1	462	1.237	6.478	0.41	19.5	1,900
34)	1	64	1	462	0.667	2.609	0.30	12.0	1,100
35)	1	70	2	573	5.406	16.113	0.96	23.5	4,400
36)	3	5	2	523	9.631	27.299	1.22	29.5	7,100
37)	3	16	1	473	1.086	5.692	0.39	18.0	1,650
38)	3	16	2	473	1.086	5.692	0.39	18.0	1,650
39)	1	70	1	573	4.317	12.890	0.85	21.5	4,000
40)	3	54	2	473	1.864	9.730	0.51	23.0	2,600
41)	3	54	3	473	1.864	9.730	0.51	23.0	2,600
42)	3	110	2	462	0.556	1.994	0.28	10.5	950
43)	2	5	6	462	0.608	2.226	0.29	11.5	1,000
44)	3	28	1	462	0.445	1.979	0.25	11.0	950
45)	1	55	1	393	4.230	22.098	0.70	35.5	3,900
46)	1	55	2	393	4.230	22.098	0.70	35.5	3,900
47)	3	14	3	483	2.293	8.232	0.57	20.0	2,150
48)	1	64	2	462	0.196	0.622	0.16	6.0	100
49)	3	95	2	333	1.141	0.886	0.33	7.0	200

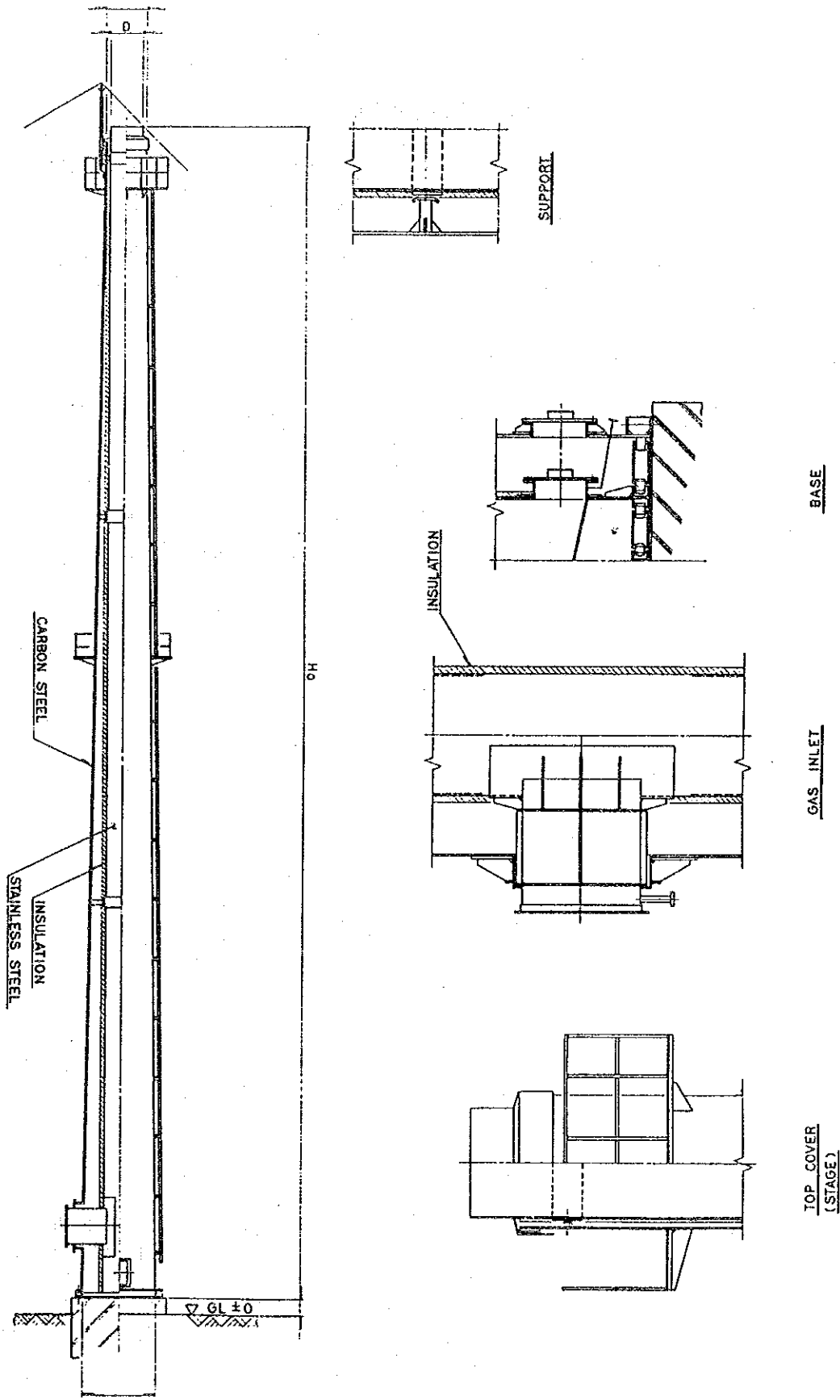


图 2-3 煙 突 形 状

3. 高煙突化以外の発生源対策

K値規制を前提として発生源での改善を行うことを考えた場合、高煙突化によらない場合の方法としてはSO₂の排出量を削減する方法が考えられ、その具体的な方法としては次の3つを挙げることができる。すなわち、使用する燃料のS分を削減する重油脱硫法、あるいは燃料を低硫黄のものへ転換する方法、そして3つ目は発生した排ガス中のSO₂を取り除く排煙脱硫法である。ここでは上記3方法についてシステムの概要説明と適用した場合の概略コストについて検討した。

3.1 重油の脱硫

重油の脱硫法としては微生物による方法、放射線照射による方法、金属酸化物による方法、接触式水素化脱硫法などが考えられているが、現在のところ水素化脱硫法のみが技術的にも経済的にも実現可能である。現在、工業的に実施されている重油の水素化脱硫法は直接脱硫法、間接脱硫法およびその両者を合わせた中間法の3つに大別することができる。これらの方式の系統図を図3-1～図3-3に示す。

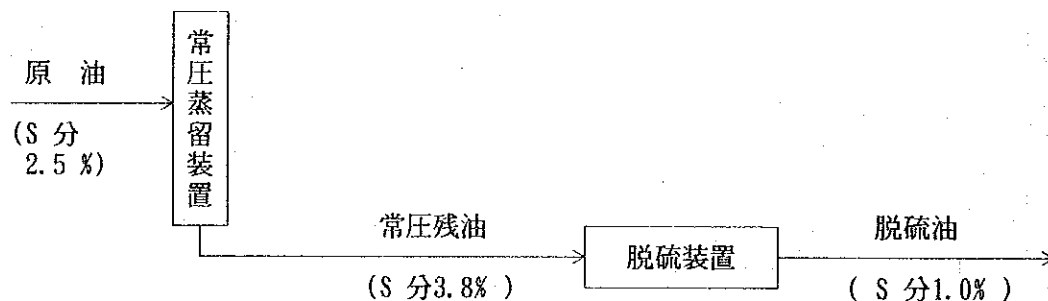


図3-1 直接脱硫法

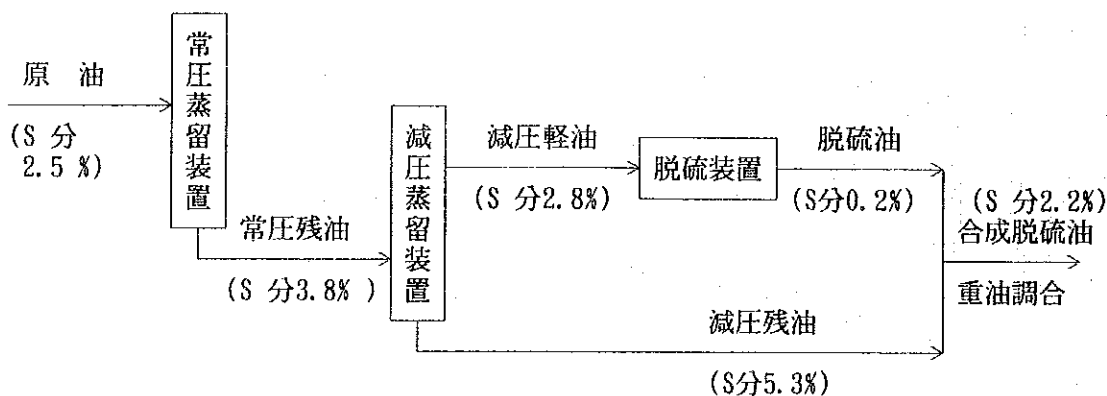


図3-2 間接脱硫法

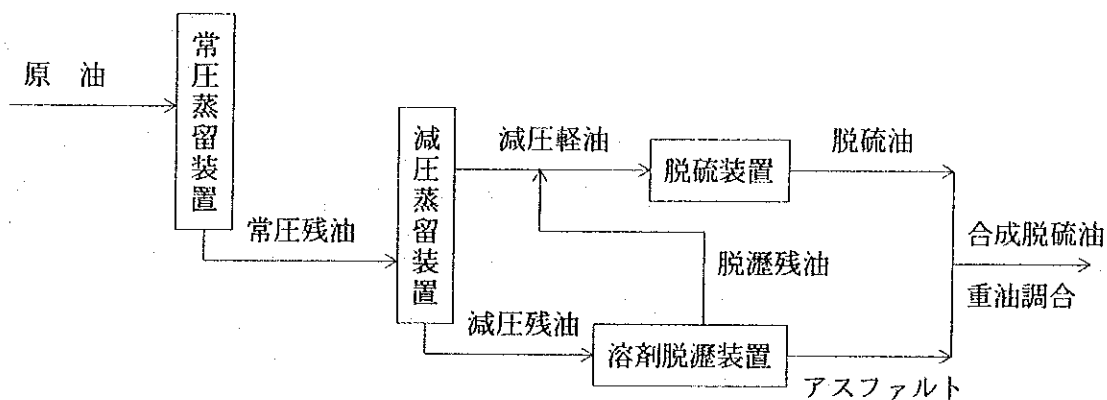


図3-3 中間法

3.1.1 直接脱硫法

この方法は常圧蒸留装置の釜残（常圧残油）をそのまま脱硫装置に導入し、高温、高圧、触媒の存在下で水素下脱硫を行う方式であり、約75% 前後の脱硫ができるといわれている。本法は使用する触媒を反応塔内に固定するか、あるいは流動状態にするかにより固定床方式と懸濁床方式の2つに大別することができる。両方式とも反応温度350～450℃、反応圧力50～200kg/cm²液空間速度(LHSV)1.0前後で反応が行われる。一般的にはアスファルテン分やバナジウムなどの金属成分を多く含む原料油に対しては懸濁床方式が有利であるが、表3-1にみられるように生成油の軽質化が固定床方式より大きいので重油の需要が多い場合あまり好ましくない。

表3-1 懸濁床方式と固定床方式の製品収率、性状の比較例

(クウェート常圧残油、硫黄3.8wt%)

	懸濁床	固定床
製品収率(Vol%)		
ガス、LPG	1.5 (Wt%)	0.4(Wt%)
ナフサ	4.3	1.2
中間留出油	17.6	10.0
残油	79.5 (S=1.0Wt%)	90.5 (S=1.0Wt%)
水素消費量(Nm ³ /Kℓ)	113	123

3.1.2 間接脱硫法

この方法は常圧残渣を一度減圧蒸留し、触媒被毒物質(たとえばアスファルテン分、バナジウム及びニッケルなどの有機金属化合物など)の少ない減圧軽油と、これらの濃縮されている減圧残油とに分離する。そして脱硫しやすい減圧軽油のみを水素化脱硫し、得られた脱硫油に減圧残油を混合しS分の少ない油を得る方法である。このため減圧軽油からみると脱硫率は90～95%と高いが、常圧残油からみると脱硫率は40～45%程度である。

3.1.3 中間法

中間法は直接脱硫と間接脱硫の中間的方法であるが、アスファルト分に分けるという意味からいうと間接脱硫法に属する方法といえる。この方法は図3-3に示したように常圧残油を減圧蒸留し、減圧軽油と減圧残油とに分離するところまでは間接脱硫法と同様であるが、この方法では減圧残油をさらにプロパンあるいはその他の溶剤で処理して可溶分と不溶分に分離する。この可溶分(脱瀝油)を減圧軽油と一緒にして脱硫し、これに不溶分(脱瀝残油)を混合して最終脱硫油を得る。この方法を適用することによって最終のS含有量を約1.5%程度(脱硫率として60%程度)まで脱硫できる。

3.1.4 発生源対策としての重油脱硫

発生源対策として重油脱硫を実施する場合以下の問題点を解決する必要がある。

(1) 使用燃料の統一

表3-2に示すように現状対策対象設備で使用されている燃料はA重油、B重油、C重油及び灯油並びに石炭であり、かつS分含有量も1.2～3.5%までばらつきがある。したがって、まず各社の使用燃料を同一種の燃料に統一する必要がある。

(2) 燃料転換に伴う設備の改造の要否

(1)の使用燃料の統一に際し問題となるのは、設備上の改造なしに燃料転換が可能かどうかということである。特に「1-39-1(County Code-Factory No-Stack No)」のようにGENERAL COALを使用している場合、重油への転換を行うならば大幅な設備改造が必要と思われる。

表3-2 K=13を達成させる必要がある施設の燃料性状及び使用量

SEQ)	County code	Factory No.	Stack No.	Fuel	Sulfur Content (%)	Specific Gravity	Calory (Kcal/Kg)	Fuel Consumption (t/H)	SG=0.95 10,300 Kcal/Kg 換算値
1)	3	75	1	AHO	2.00	0.9408	10,430	2,400	2,406
2)	3	34	3	AHO	3.00	0.9850	10,000	270	272
3)	2	23	4	AHO	2.00	0.9408	10,000	248	238
4)	1	68	2	CHO	3.00	0.9561	10,296	1,440	1,449
5)	3	23	5	AHO	2.00	0.9408	10,430	200	201
6)	3	24	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	75	75
7)	2	24	2	L.O	1.20	0.8660	10,950	25	24
8)	3	96	1	AHO	1.28	0.9462	10,000	538	520
9)	3	33	2	L.O	1.20	0.8700	10,950	1	1
10)	1	39	1	COAL	3.00	1.000	6,399	859 Kg/H	562
11)	2	19	2	AHO	2.76	0.9358	10,495	111	111
12)	3	97	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	40	40
13)	1	68	1	CHO	3.00	0.9561	10,296	399	401
14)	1	66	1	AHO	2.80	0.9383	10,394	337	329
15)	3	59	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	398	401
16)	3	111	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	375	378
					3.50	0.9900	9,900	375	376
					3.50	0.9900	10,495	375	398
17)	1	56	2	AHO	1.28	0.9462	10,000	318	306
18)	3	14	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	984	991
19)	3	14	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	984	991
20)	3	109	2	CHO	3.50	0.9950	9,900	199	200
21)	3	90	1	CHO	2.66	0.9764	10,400	200	208
22)	1	70	3	L.O	1.50	0.9200	10,950	266	274
23)	1	35	2	AHO	2.92	0.9500	10,518	280	286
24)	3	54	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	401
25)	1	35	1	AHO	2.92	0.9500	10,518	280	286
26)	3	16	4	CHO	3.50	0.9950	9,900	389	392
27)	3	102	1	AHO	2.76	0.9358	10,495	498	500
28)	1	68	3	CHO	3.00	0.9561	10,296	480	483
29)	1	66	2	AHO	2.80	0.9383	10,394	477	475
30)	3	16	3	CHO	3.50	0.9950	9,900	311	313
31)	3	47	3	CHO	2.66	0.9764	10,400	435	451
32)	1	2	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	382	385
33)	3	109	1	CHO	3.50	0.9950	9,900	266	268
34)	1	64	1	CHO	2.66	0.9764	10,400	143	148
35)	1	70	2	CHO	3.50	0.9900	9,900	663	664
36)	3	5	2	AHO	2.00	0.9408	10,430	2,067	2,073
37)	3	16	1	CHO	3.50	0.9950	9,900	233	235
38)	3	16	2	CHO	3.50	0.9950	9,900	233	235
39)	1	70	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	529	530
40)	3	54	2	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	401
41)	3	54	3	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	401
42)	3	110	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	119	120
43)	2	5	6	BHO	2.50	0.9750	10,000	130	130
44)	3	28	1	AHO	3.00	0.9850	10,000	95	96
45)	1	55	1	CHO	3.50	0.9900	10,336	908	950
46)	1	55	2	CHO	3.50	0.9900	10,336	908	950
47)	3	14	3	CHO	2.50	0.9529	10,340	492	495
48)	1	64	2	AHO	2.16	0.9609	10,461	42	43
49)	3	95	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	52	52

AHO : A重油, BHO : B重油, CHO : C重油

(3) 脱硫能力の設定

表 3-3に示すK=13の達成に必要な煙突別SO₂排出量からわかるように、「2-24-2」の場合、S=1.2%であっても約50%の削減が必要である。したがって、前提とする燃料のスペックは脱硫後でS=0.6%以下とする必要がある。

しかしながら、他施設にとっては $S=0.6\%$ までにする必要はなく過剰能力の設備となる。したがって、脱硫能力(特に製品S分)を決める場合、最適ポイントを見つける必要があるが、その場合、一部の施設は他の発生源対策も併せて実施することが必要となる。

表3-3 K=13 の達成に必要なSO₂ 排出量

SEQ)	County code	Factory No.	Stack No.	Gas temperature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m ³ /S)	Normal SO ₂ Emission volume q(Nm ³ /h)	K=13.0 の達成に必要な通常SO ₂ 排出量 q(Nm ³ /h)
1)	3	75	1	313	26.092	31.697	4.576
2)	3	34	3	350	2.935	5.610	1.076
3)	2	23	4	350	2.697	3.281	1.001
4)	1	68	2	462	6.712	28.970	10.990
5)	3	23	5	333	4.349	2.633	1.139
6)	3	24	1	462	0.350	1.812	0.809
7)	2	24	2	437	0.157	0.186	0.089
8)	3	96	1	350	5.849	4.548	2.199
9)	3	33	2	437	0.007	0.971	0.472
10)	1	39	1	462	2.940	18.078	9.144
11)	2	19	2	523	0.519	2.019	1.026
12)	3	97	1	318	0.125	0.652	0.337
13)	1	68	1	462	1.860	8.047	4.164
14)	1	66	1	453	1.570	6.206	3.303
15)	3	59	2	443	1.852	6.647	3.562
16)	3	111	2	496	6.119	24.545	13.428
17)	1	56	2	448	1.482	2.703	1.703
18)	3	14	1	483	4.587	16.464	10.600
19)	3	14	2	483	4.587	16.464	10.600
20)	3	109	2	462	0.926	4.858	3.225
21)	3	90	1	462	0.932	3.649	2.466
22)	1	70	3	437	1.639	2.567	1.748
23)	1	35	2	483	1.305	5.895	4.082
24)	3	54	1	448	1.864	9.730	6.761
25)	1	35	1	483	1.305	5.857	4.082
26)	3	16	4	473	1.813	9.512	6.674
27)	3	102	1	462	2.319	9.008	6.379
28)	1	68	3	462	2.237	9.657	7.054
29)	1	66	2	453	2.223	8.796	6.480
30)	3	16	3	473	1.449	7.608	5.822
31)	3	47	3	498	2.025	7.922	6.110
32)	1	2	1	473	1.778	6.381	4.952
33)	3	109	1	462	1.237	6.478	5.184
34)	1	64	1	462	0.667	2.609	2.105
35)	1	70	2	573	5.406	16.113	13.485
36)	3	5	2	523	9.631	27.299	23.780
37)	3	16	1	473	1.086	5.692	5.022
38)	3	16	2	473	1.086	5.692	5.022
39)	1	70	1	573	4.317	12.890	11.407
40)	3	54	2	473	1.864	9.730	8.699
41)	3	54	3	473	1.864	9.730	8.699
42)	3	110	2	462	0.556	1.994	1.812
43)	2	5	6	462	0.608	2.226	2.028
44)	3	28	1	462	0.445	1.979	1.822
45)	1	55	1	393	4.230	22.098	20.695
46)	1	55	2	393	4.230	22.098	20.695
47)	3	14	3	483	2.293	8.232	7.771
48)	1	64	2	462	0.196	0.622	0.606
49)	3	95	2	333	1.141	0.886	0.871

(4) 処理量の設定

SO₂削減対策が必要な表3-2に示す工場の重油処理量は約3500バレル/日である。しかしこの値を処理能力とした場合、この設備は単にこれらの工場のためだけのものとなり、立地場所、建設資金あるいは処理コスト等の負担の問題を解決する必要がある。

上述のように重油脱硫の場合解決すべき難問が多く、当面の対策として現実的でないと思われる。

3.1.5 重油脱硫に係わるコスト

他の対策との比較をする上での参考として概略コストを算出すると、約88000万バツと推定される。この場合の前提条件は以下の通りである。なお、建設コストは基礎工事（土台）費を除く一式である。ただし、現地工事以外は日本より供給することとした。

① 燃料油性状

$S = 3.0\%$ （タイ分析値MAX 3.04による）

$SG = 0.95$

発熱量 = 10300 Kcal/Kg

② 脱硫後のS分

$S = 0.6$ （脱硫率 80%）

③ 脱硫方式

直接脱硫方式（高脱硫率に対処するため）

④ 処理量

3500バレル/日

⑤ その他

3.2 燃料転換

発生源対策対象施設は大部分が重油を使用しているが、燃料転換により他燃料に切り替える場合考えられるのは、天然ガス、LPG及びリグナイトであるが、ON Bとの打合せに基づき、ここでは天然ガスへの燃料転換について検討する。

3.2.1 天然ガスの性状

通常、天然に発生するガスのうち炭化水素を主成分とする可燃性のものを天然ガスといい重油ガス、ガス田ガス、炭田ガスなどがあり、鉱床を形成するガス層の状態によって油溶型、水溶型、遊離型に分類される。また、表3-4 に示すように、ガスの性状から乾性ガスと湿性ガスに大別されるが、前者は可燃成分がほとんど CH_4 からなるものと、後者は CH_4 、 C_2H_6 のほか、相当量の C_3H_8 以上の高級炭化水素を含むものをいう。発熱量はそれぞれ $9000\sim 9300\text{Kcal/Nm}^3$ 、 $10400\sim 12200\text{Kcal/Nm}^3$ 程度である。

表 3-4 天然ガス性状

	成 分 %									高発熱量 Kcal/Nm ³	
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	C _n H _{2n+2}				N ₂		S
					C ₁	C ₂	C ₃	C ₄			
乾性	3.4	0.1	—	—	94.6	—	—	—	1.9	—	9000
湿性	0.7	—	—	—	75.4	13.6	7.5	2.8	—	—	12200

3.2.2 ガス燃焼の特徴

重油の燃焼に比べガス燃焼には次の特徴がある

- ① 燃焼の調節が迅速、正確で自動制御に適する
- ② 燃焼室の状況に関係なく炎は安定し高い燃焼効率が得られる
- ③ 過剰空気を少なくし炉内雰囲気調整を容易に行うことができる
- ④ 小型バーナの多数併用使用によって炉内温度分布を空間的、または時間的に自由に調節することが容易である
- ⑤ 燃焼室、バーナ、被熱物、煙道などに灰や炭素集積の害がない
- ⑥ 配管工事などの施設費が高い
- ⑦ 放射熱が少なく燃焼室温度が低い
- ⑧ ガス中のCO成分または不完全燃焼により生ずるCOによる衛生上の危害及び爆発事故の危険性がある。

3.2.3 発生源対策としての燃料転換（天然ガス）

発生源対策として天然ガスへの燃料転換を実施する場合、以下の問題点を解決する必要がある。

(1) 燃料転換に伴う燃焼設備能力の変化

前項⑦で述べたように、重油燃焼に比べ放射熱が少ないため、特に蒸気ボイラの場合、同一投入熱量に対する蒸発能力が低下する可能性がある。したがって、現状設備がフル稼働に近い工場の場合、改造による天然ガスへの燃料転換は十分に検討する必要がある。

(2) 燃料の供給及び貯蔵

一般に天然ガスの供給はパイプラインにより行われるが、製造設備と使用設備間の距離がある場合は、中間にガスホルダーを設ける必要がある等前項⑥で述べたように施設費がかかる。したがって、このコストをどこがどのように負担するかを明確にしておく必要がある。一方、貯蔵についても各使用先の状況によっては個別に貯蔵施設を設ける必要もあり、この点についても明確にしておく必要がある。

3.2.4 天然ガスへの燃料転換に係わるコスト

前項で述べたように、製造設備からガスホルダーにいたるまでの設備の負担をどのようにみるかにより、必要コストは大きく変化する。したがって、ここではすべて蒸気ボイラーでの改造を仮定した上で供給側の設備コストを除き、純粋にバーナ廻りの改造に係わる分のコストを算出した。この結果を表3-5に示す。なお、改造工事の範囲は下記の通りである。また、参考のため重油及びガスのバーナユニット系統図及ガスバーナユニット図を図3-4～図3-6に示す。

- ① 既設バーナの撤去
- ② 既設ウインドボックス装着の油配管の撤去
- ③ 既設ウインドボックス装着の油噴霧蒸気配管の撤去
- ④ 既設噴燃ユニットの撤去
- ⑤ 新規ガスバーナの取付け
- ⑥ 電気配線工事
- ⑦ ガス配線工事

表3-5 燃料轉換に係わるコスト

SEQ)	County code	Factory No.	Stack No.	Fuel	Sulfur Content (%)	Specific Gravity	Calory (Kcal/Kg)	Fuel Consumption (t/H)	Cost (× 10 ⁴ Bahts)
1)	3	75	1	AHO	2.00	0.9408	10,430	2,400	2,280
2)	3	34	3	AHO	3.00	0.9850	10,000	270	1,340
3)	2	23	4	AHO	2.00	0.9408	10,000	248	1,340
4)	1	68	2	CHO	3.00	0.9561	10,296	1,440	1,950
5)	3	23	5	AHO	2.00	0.9408	10,430	200	1,340
6)	3	24	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	75	1,180
7)	2	24	2	L.O	1.20	0.8660	10,950	25	1,180
8)	3	96	1	AHO	1.28	0.9462	10,000	538	1,470
9)	3	33	2	L.O	1.20	0.8700	10,950	1	1,180
10)	1	39	1	COAL	3.00	1.000	6,399	859 Kg/H	1,470
11)	2	19	2	AHO	2.76	0.9358	10,495	111	1,180
12)	3	97	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	40	1,180
13)	1	68	1	CHO	3.00	0.9561	10,296	399	1,470
14)	1	66	1	AHO	2.80	0.9383	10,394	337	1,400
15)	3	59	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	398	1,470
16)	3	111	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	375	4,270
					3.50	0.9900	9,900	375	
					3.50	0.9900	10,495	375	
					1.28	0.9462	10,000	318	
17)	1	56	2	AHO	1.28	0.9462	10,000	318	1,400
18)	3	14	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	984	6,230
19)	3	14	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	984	6,230
20)	3	109	2	CHO	3.50	0.9950	9,900	199	1,340
21)	3	90	1	CHO	2.66	0.9764	10,400	200	1,340
22)	1	70	3	L.O	1.50	0.9200	10,950	266	1,340
23)	1	35	2	AHO	2.92	0.9500	10,518	280	1,340
24)	3	54	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	1,470
25)	1	35	1	AHO	2.92	0.9500	10,518	280	1,340
26)	3	16	4	CHO	3.50	0.9950	9,900	389	1,470
27)	3	102	1	AHO	2.76	0.9358	10,495	498	1,470
28)	1	68	3	CHO	3.00	0.9561	10,296	480	1,470
29)	1	66	2	AHO	2.80	0.9383	10,394	477	1,470
30)	3	16	3	CHO	3.50	0.9950	9,900	311	1,400
31)	3	47	3	CHO	2.66	0.9764	10,400	435	1,470
32)	1	2	1	CHO	2.50	0.9529	10,340	382	1,400
33)	3	109	1	CHO	3.50	0.9950	9,900	266	1,340
34)	1	64	1	CHO	2.66	0.9764	10,400	143	1,340
35)	1	70	2	CHO	3.50	0.9900	9,900	663	1,600
36)	3	5	2	AHO	2.00	0.9408	10,430	2,067	2,280
37)	3	16	1	CHO	3.50	0.9950	9,900	233	1,340
38)	3	16	2	CHO	3.50	0.9950	9,900	233	1,340
39)	1	70	1	CHO	3.50	0.9900	9,900	529	1,470
40)	3	54	2	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	1,470
41)	3	54	3	CHO	3.50	0.9900	9,900	400	1,470
42)	3	110	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	119	1,340
43)	2	5	6	BHO	2.50	0.9750	10,000	130	1,340
44)	3	28	1	AHO	3.00	0.9850	10,000	95	1,340
45)	1	55	1	CHO	3.50	0.9900	10,336	908	1,790
46)	1	55	2	CHO	3.50	0.9900	10,336	908	1,790
47)	3	14	3	CHO	2.50	0.9529	10,340	492	1,470
48)	1	64	2	AHO	2.16	0.9609	10,461	42	1,180
49)	3	95	2	CHO	2.50	0.9529	10,340	52	1,180

AHO : A 重油, BHO : B 重油, CHO : C 重油

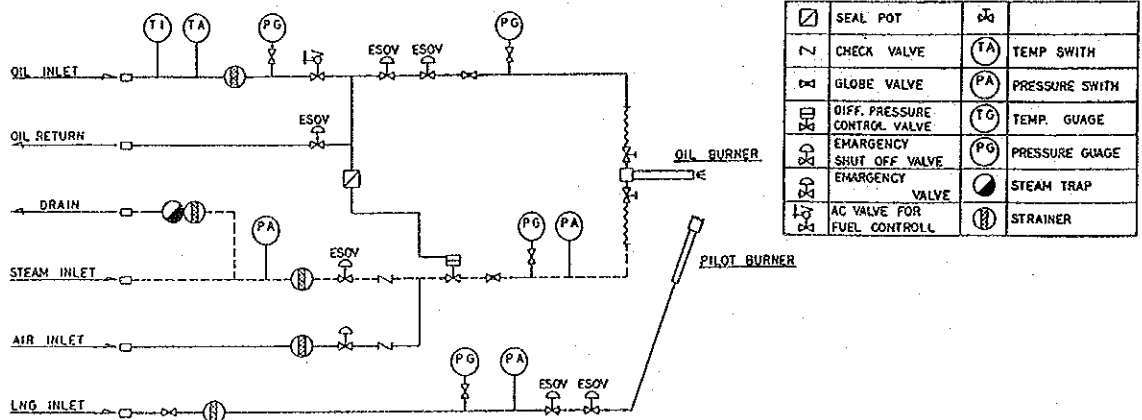
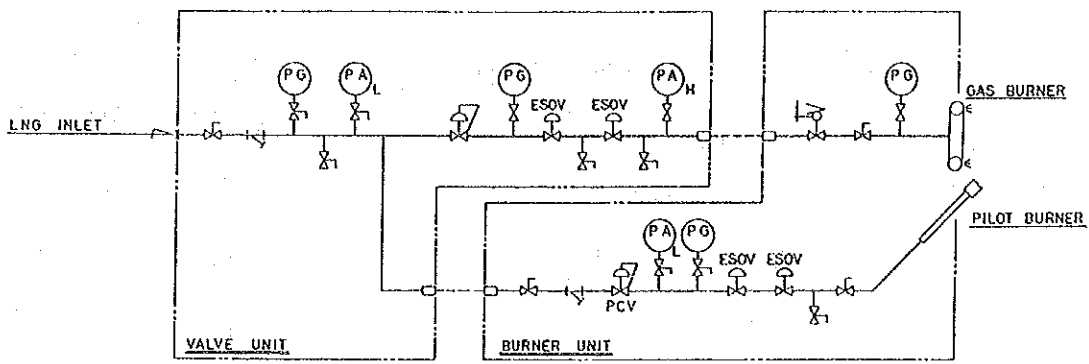
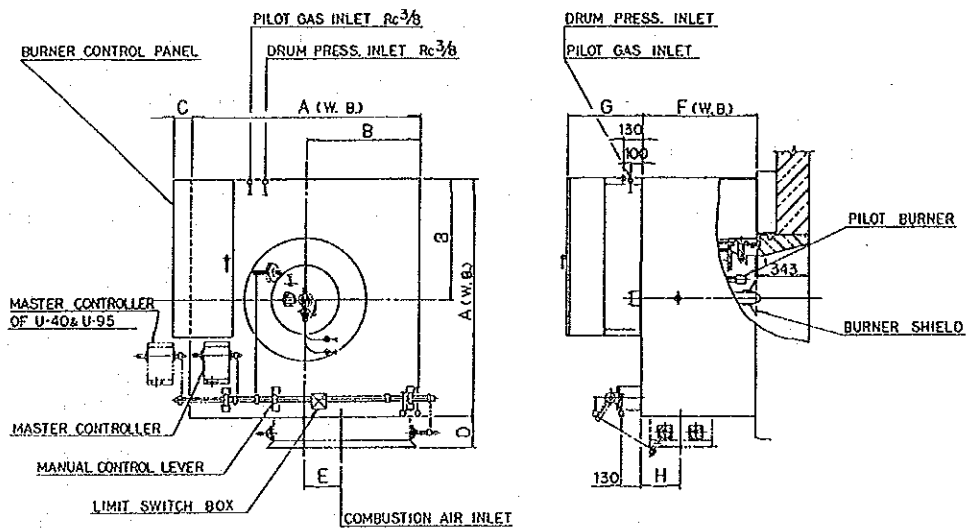


図3-4 重油バーナー系統図



	Y-TYPE STRAINER		PRESSURE GAUGE
	AC VALVE FOR FUEL CONTROL		PRESSURE SWITCH
	BALL VALVE		
	EMERGENCY SHUT OFF VALVE		
	PRESS. CONTROL VALVE		

図 3-5 LNGバーナー系統図



MARK	A	B	C	D	E	F	G	H	OIL INLET	STEAM INLET	ATOMIZING AIR INLET
U-40NF	715	457.5	200	200	130	450	500	170	Rc 1/2	Rc 1/2	Rc 1/2
U-95NF	1220	610	200	200	200	762	500	253	Rc 1	Rc 1	Rc 1
U-85NF	1524	762	126	200	250	762	500	260	Rc 1	Rc 1/4	Rc 1/4
U-65NF (1)	1830	915	70	200	100	920	500	260	Rc 1/4	Rc 1/4	Rc 1/4
U-65NF (2)	1830	915	70	200	100	920	500	360	Rc 1/4	Rc 1/4	Rc 1/4
U-60NF	1980	990	70	200	0	1220	500	470	Rc 1/2	Rc 1/2	Rc 1/2

図 3-6 ガスバーナーユニット

3.3 排煙脱硫

発生源対策としては低硫黄燃料への転換、重油の脱硫と並んで排煙から硫黄酸化物を除去する排煙脱硫法がある。この方法は、排煙を吸収剤、吸着剤と接触させ、または触媒で酸化して、硫黄酸化物を亜硫酸塩、硫酸塩、硫酸などとして回収するかまたは廃棄する方法である。回収物は、石こう、硫安、硫酸ソーダ、亜硫酸ソーダ、硫酸、硫黄などである。

3.3.1 排煙脱硫法の分類

排煙脱硫法の種類は多く、分類法もいろいろあるが、ここでは吸収法、吸着法、接触酸化法に大別し、さらに吸収法を湿式法と乾式法に分類する。吸収法は亜硫酸ガスと化学的に反応しやすい化合物を吸収剤として排ガスに接触させ、亜硫酸ガスを液体または固体の化合物として排ガスから分離する方法である。吸収法は、さらに次のように分類することができる。

(1) 湿式法

吸収剤を水に溶解した溶液吸収法と、吸収剤を水に懸濁させたスラリー吸収法がある。溶液吸収法では吸収剤の種類によって、カセイソーダ法、亜硫酸ソーダ法、アンモニア法、希硫酸法に分類される。同様にスラリー吸収法も石灰法、水酸化マグネシウム法に分けられる。

湿式法は排ガスを溶液またはスラリーで洗浄して、排ガス中の硫黄酸化物を亜硫酸塩あるいは硫酸塩として除去する方法であり、ボイラ排ガス、硫酸工場テールガスなどの処理に数多く実用化されている。現在、実用化されているプロセスの大部分は湿式法である。湿式法は脱硫率が高く、操業も容易で、高濃度の亜硫酸ガスを含む排ガスの処理にも適用できるが、水を用いるため排煙の温度が低下し、煙の拡散がわるくなるので処理後の排煙を再加熱する方法等が実施されている。

(2) 乾式法

アルカリ土類金属、アルカリ金属、マンガンなどの各種酸化物を吸収剤として、固相-気相反応で排ガス中の硫黄酸化物を硫酸塩として除去する方法である。吸着法は、約100℃の燃焼ガスを活性炭層に通し亜硫酸ガスと酸素を活性炭で吸着する方法で、吸着された亜硫酸ガスは酸素と反応し

て無水硫酸となり、さらに水蒸気と反応して硫酸となって吸着される。硫酸を脱着した活性炭は繰り返し脱硫に用いられる。

接触酸化法は亜硫酸ガスを五酸化バナジウム触媒を用いて接触的に酸化して無水硫酸とする方法で、接触硫酸製造法として工業的に行われている。この反応を応用して排ガス中の亜硫酸ガスを無水硫酸として除去する方法が、接触酸化排煙脱硫法である。亜硫酸ガスの接触酸化は450～470℃で行われる。

3.3.2 湿式吸収法

(1) 石灰のスラリーを吸収剤とする方法

CaCO_3 、 Ca(OH)_2 、カーバイドかすなどを、約200メッシュ以下に粉碎したものを5～15%スラリーとして排ガスを洗浄する。亜硫酸ガスは亜硫酸カルシウムとなる。これを空気酸化して石こうとして回収あるいは廃棄する。溶液のpHにより脱硫率は異なり、高pHでは脱硫率は高いがスケーリングの心配がある。

(2) 水酸化マグネシウムのスラリーを吸収剤とする方法

亜硫酸ガスと反応させて、亜硫酸マグネシウムあるいは硫酸マグネシウムとする。吸収剤の一部を循環系から抜き出し、乾燥後熱分解により吸収剤を再生すると同時に、発生する濃厚亜硫酸ガスは硫酸原料ガスとして用いるか、または液体 SO_2 として回収する。

(3) アンモニア水溶液を吸収剤とする方法

アンモニア水溶液はアンモニアの分圧が高く、排ガスに伴われて損失となるので、亜硫酸ガスを吸収して亜硫酸アンモニウムの水溶液として使用するのが普通であり、亜硫酸ガスを吸収して亜硫酸水素アンモニウムを生じる。吸収塔を出た吸収液にはアンモニアと水を加えて循環使用し、一部が回収工程へ送られる。回収法としては、①硫酸を加えて硫安と濃厚亜硫酸ガスを回収する方法、②アンモニアを加えて亜硫酸アンモニアとした後、加圧空気で酸化して硫安を回収する方法、③硫酸を加えて150℃、5 Kg/cm²に加熱処理して、硫黄と硫安を回収する方法、④石灰石あるいは消石灰を加えて石こうを回収し、アンモニアを再生する方法がある。

(4) カセイソーダまたは亜硫酸ソーダを吸収剤とする方法

カセイソーダまたは亜硫酸ソーダを吸収液として亜硫酸ガスを吸収し、生成した亜硫酸水素ナトリウムを処理して硫酸ナトリウム、亜硫酸ナトリウム、石こうとして回収するか、または廃棄する方法と、亜硫酸ガスとして回収する方法などがある。吸収液の再生法としては、水蒸気による加熱分解法、カセイソーダを加える方法などがある。

(5) 希硫酸を吸収剤とする方法

酸化触媒を添加した希硫酸を吸収液として亜硫酸ガスを吸収して硫酸とする方法である。充てん塔で亜硫酸ガスを吸収した吸収液は、酸化塔で空気酸化されて硫酸となり吸収塔に循環するが、その一部は抜き出して結晶槽に送り、石灰石と反応させて石こうを回収する。

3.3.3 乾式吸収法

(1) 石灰またはドロマイトの炉内添加法

高温において石灰石あるいはドロマイトが分解して生成する酸化カルシウムまたは酸化マグネシウムは、亜硫酸ガスおよび酸素と反応して直接硫酸塩を生成する。ボイラの燃焼室へ石灰石やドロマイトの粉末または消石灰を吹き込み、これを燃焼ガスによって輸送する間に前記の反応によって亜硫酸ガスを固定し、集じん機で捕集する。吹き込み位置のガス温度が約1050℃の場合、最良の結果が得られる。脱硫率は一般に低く、亜硫酸ガスに対する理論量の1～2倍の添加で、20～40%程度である。伝熱面などへの吸収剤の付着が問題になる。

(2) アルカリ系の吸収剤による方法

多孔質のアルミナにアルカリ金属の酸化物を保持させたもの、あるいは炭酸ソーダ(軽質ソーダ灰)を約300℃の燃焼排ガスに添加して、亜硫酸ガスを硫酸ナトリウムとして固定する。集じん機で捕集された吸収剤は約600℃の水素などで還元し、吸収剤を再生するとともに硫化水素を回収する。また、融解炭酸塩混合物(炭酸リチウム、炭酸ナトリウム、炭酸カリウム)を吸収剤とする方法もある。

(3) 酸化マンガンを吸収剤とする方法

活性の高い $M_nO_x \cdot nH_2O$ ($x=1.5\sim 1.8$, $n=0.3\sim 1.0$)を吸収剤として用いる。微粉状吸収剤は135 ~150 °Cの排ガスに添加された後、吸収塔内を気流輸送される間に亜硫酸ガスを吸収し、硫酸マンガンとして固定される。次いで、集じん機で排ガスから分離される。捕集された吸収剤は大部分が循環使用されるが、一部を抜き出し、アンモニア水の存在下で空気酸化することによって硫酸を回収するとともに吸収剤を再生する。

3.3.4 吸着法

活性炭を吸着剤とする活性炭法では、排ガスと活性炭の接触方式として、固定床、移動床、流動床が用いられる。活性炭は再生して繰り返し使用するが、再生法としては水洗脱着法、加熱脱着法、水蒸気脱着法があり、活性炭に吸着されていた亜硫酸ガスは濃厚亜硫酸ガス、硫酸、または石こうとして回収する。数基の活性炭充てん塔があり、バルブの切換えによって吸着、水洗、乾燥を繰り返す。排ガスは除じんされた後、130 ~145 °Cで乾燥塔を通過して水洗後の活性炭を乾燥させる。このために温度の低下したガスはもとの排ガスと混合されて、約100 °Cで吸着塔へ送られ脱硫される。水洗塔からは希硫酸が得られる。これを濃縮するか、あるいは石灰石を加えて石膏を回収する。活性炭は間歇的に水洗され、洗浄後はガス冷却塔へ送られて、排ガスの冷却と硫黄の濃縮が同時に行われる方法もある。活性炭を移動床とし、これと向流あるいは十字流に排ガスを流して亜硫酸ガスを吸着し、約300 °Cの酸素を含まないガスまたは過熱水蒸気で脱着する方法もある。

3.3.5 接触酸化法

燃焼排ガスを集じん機で除じんした後、450 ~470 °Cで触媒層を通し、亜硫酸ガスの90%を無水硫酸に酸化する。次いで、エコノマイザまたは空気予熱器で冷却し、その間に生ずる硫酸ミストを硫酸で吸着する。

3.3.6 その他の方法

排ガス中の亜硫酸ガスを硫化水素などと反応させ、単体の硫黄として除去する方法、鉛室法による硫酸製造と同様に窒素酸化物を酸素移動の媒体として排ガス中の亜硫酸ガスを酸化して硫酸として除去する方法などがある。

3.3.7 排煙脱硫に係わるコスト

前述のように排煙脱硫方式にはいろいろな方式があるが、表3-3 に示すように各施設毎の排ガス量が非常に小さいこと、および最も一般的で助剤の入手が比較的容易と思われる苛性ソーダを用いた湿式吸収法を設定し検討を行った。各施設毎のコスト及び基本フローを表3-6 及び図3-7 に示す。なお、ランニングコストは電力及びカセイソーダとし、水代及びスラッジ処理費はランニングコストに含まない。また、脱硫率はコントロールがむずかしいため標準最低運転での値（≒ 85%）とした。建設コストはフローシート上、煙突及びコントロールダンパー（ダクト含）並びに基礎工事費以外を一式含んだ値である。

表3-6 排煙脱硫に係わるコスト

SEQ)	Country code	Factory No.	Stack No.	Gas temperature T (°K)	Normal Exhaust gas volume Q (m³/S)	Normal SO ₂ Emission volume q (kg/h)	New Stack		Cost (×10 ⁴ Bahts)
							Dia (m)	Height H ₀ (m)	
1)	3	75	1	313	26.092	31.697	1.55	38.0	8,100
2)	3	34	3	350	2.935	5.610	0.55	17.0	2,000
3)	2	23	4	350	2.697	3.281	0.53	12.5	1,400
4)	1	68	2	462	6.712	28.970	0.96	37.0	6,150
5)	3	23	5	333	4.349	2.633	0.65	10.0	1,300
6)	3	24	1	462	0.350	1.812	0.22	10.5	900
7)	2	24	2	437	0.157	0.186	0.11	3.0	85
8)	3	90	1	350	5.849	4.548	0.78	13.0	2,050
9)	3	33	2	437	0.007	0.971	0.03	8.5	450
10)	1	39	1	462	2.940	18.078	0.63	31.5	3,700
11)	2	19	2	523	0.519	2.019	0.28	10.5	1,050
12)	3	97	1	318	0.125	0.652	0.11	6.5	450
13)	1	68	1	462	1.860	8.047	0.50	21.0	2,300
14)	1	66	1	453	1.570	6.206	0.46	18.5	1,700
15)	3	59	2	443	1.852	6.647	0.49	19.0	1,950
16)	3	111	2	496	6.119	24.545	0.95	33.0	5,600
17)	1	56	2	448	1.482	2.703	0.41	11.0	1,200
18)	3	14	1	483	4.587	16.464	0.81	27.5	4,250
19)	3	14	2	483	4.587	16.464	0.81	27.5	4,250
20)	3	109	2	462	0.926	4.858	0.36	17.0	1,550
21)	3	90	1	462	0.932	3.649	0.36	14.5	2,400
22)	1	70	3	437	1.639	2.567	0.46	10.5	1,300
23)	1	35	2	483	1.305	5.895	0.43	18.0	1,650
24)	3	54	1	448	1.864	9.730	0.50	23.5	2,400
25)	1	35	1	483	1.305	5.857	0.43	18.0	1,650
26)	3	16	4	473	1.813	9.512	0.50	23.0	2,350
27)	3	102	1	462	2.319	9.008	0.56	21.5	2,300
28)	1	68	3	462	2.237	9.657	0.55	22.5	2,300
29)	1	66	2	453	2.223	8.796	0.54	21.5	2,300
30)	3	16	3	473	1.449	7.608	0.45	20.5	2,150
31)	3	47	3	498	2.025	7.922	0.55	20.0	2,150
32)	1	2	1	473	1.778	6.381	0.50	18.0	1,700
33)	3	109	1	462	1.237	6.476	0.41	19.5	1,900
34)	1	64	1	462	0.667	2.609	0.30	12.0	1,100
35)	1	70	2	573	5.406	16.113	0.96	23.5	4,400
36)	3	5	2	523	9.631	27.299	1.22	29.5	7,100
37)	3	16	1	473	1.086	5.692	0.39	18.0	1,650
38)	3	16	2	473	1.086	5.692	0.39	18.0	1,650
39)	1	70	1	573	4.317	12.890	0.85	21.5	4,000
40)	3	54	2	473	1.864	9.730	0.51	23.0	2,600
41)	3	54	3	473	1.864	9.730	0.51	23.0	2,600
42)	3	110	2	462	0.556	1.994	0.28	10.5	950
43)	2	5	6	462	0.608	2.226	0.29	11.5	1,000
44)	3	28	1	462	0.445	1.979	0.25	11.0	950
45)	1	55	1	393	4.230	22.098	0.70	35.5	3,900
46)	1	55	2	393	4.230	22.098	0.70	35.5	3,900
47)	3	14	3	483	2.293	8.232	0.57	20.0	2,150
48)	1	64	2	462	0.196	0.622	0.16	6.0	100
49)	3	95	2	333	1.141	0.886	0.33	7.0	200

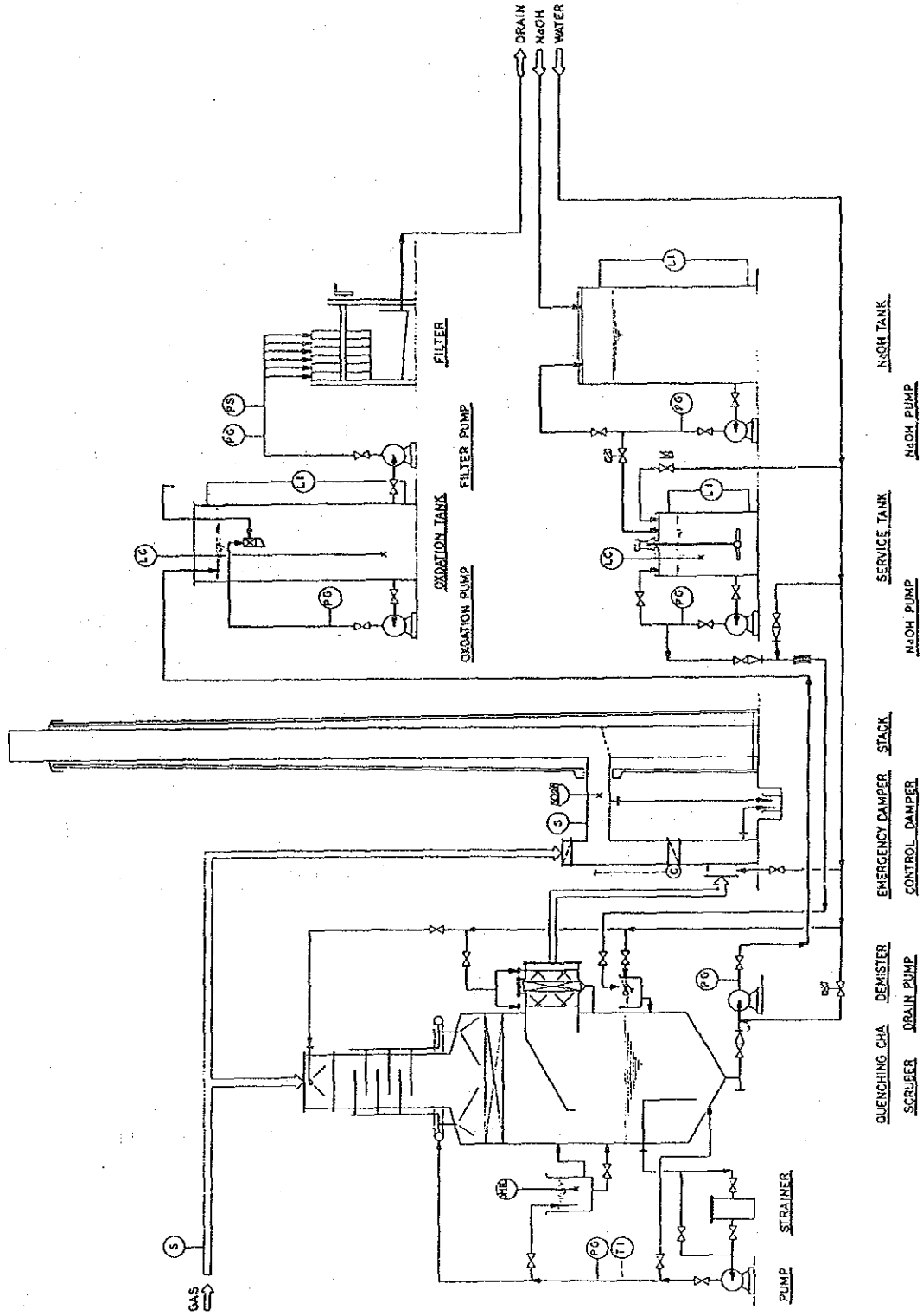


图 3-7 排煙脫硫裝置基本フロー

3.4 省エネルギーによる燃料消費量の低減

3.4.1 省エネルギーの効果

これまではなんらかの施策を実施することで対策を行うという視点で述べてきた。しかしながら現実の問題としては当該工場の全てがそのような投資ができる可能性は非常に少なく、かりに投資能力があったとしても利益につながらない投資をすることは考えられない。したがって、できるだけ少ない投資でかつ多少なりともメリットを伴う方法で取り進めなければならない。その唯一の方法が省エネルギー対策実施による燃料使用の低減である。省エネルギー対策は投資は比較的小さいけれど、おもてだった効果も少なく長時間こまめな努力が必要であることから、つい忘れされがちであるが、中・長時間でみれば最も堅実な方法である。

表3-7に日本における省エネルギー対策とその効果の一例を示す。この表はいくつかの業種において省エネルギー対策によりエネルギー原単位（単位量当りの製品や額を生産するのに必要な電力熱量などのエネルギー消費量の総量）がどの程度下がったか（向上したか）を示しており、1973年を100とした1987年時点での数値を示している。これから分るとおり14年間で20～40%の節減ができており年率に直すと1.5～3%/年となる。仮にサムットプラカン県にこの値を当てはめ、10年間で15～30%の燃料節減になるとすれば1999年にはかなりの施設でK値＝13.0をクリアできることになる。参考のため表3-8に工場に係わる事業者のエネルギー使用合理化判断基準の概要を示す。

3.4.2 省エネルギー対策に係わるコスト

まず、業種別省エネルギー率を大胆ではあるが表3-7に示す日本における省エネ率を用いて表3-9に示すような年率に置き変えた。ここで、省エネ実施のための投資額は、日本で一般的な判断基準となっている省エネにより削減されるエネルギーの金額の3年分に相当する金額を投資するとした。

この結果、49の煙突（燃焼施設）を対策として1993年から1999年の間の省エネ量を計算すると、65.5千klとなり、1999年の重油単価3960パーツ/klで評価すると、投資額（16,000万パーツ）の約1.6倍にあたる26,000万パーツが節約できることになる。また、この省エネにより1999年時点でサムットプラカン県の全製造業が消費する重油使用量（584千kl）の約11%節約でき、これに伴い11%のSO₂

排出量の低減ができることになる。

なお、省エネ投資とその効果については、第6章6.4で詳述する。

表3-7 エネルギー多消費業種における省エネルギー対策の現状

(単位:A)

業 種 名	エネルギー(石油) 原単位低減状況 (87年度/73年度)	省エネルギー対策の概要	代表的な省エネルギー整備等
鉄 鋼	77.2 (26.2)	① 操業技術の改善 ② 廃エネルギーの回収 ③ 生産工程の改善 ④ エネルギー使用効率向上	① 高温珪片連続式鋳造設備 ② 低圧型高炉留圧回収発電設備 ③ コークス乾式消火設備
石油化学 (エチレン部門)	57.3 (76.0)	① 廃熱回収強化 ② プロセスの合理化 ③ 蒸留系における還流比の低減化	① 加熱炉廃ガスからの廃熱回収設備 ② 分解生成物からの廃熱回収設備 ③ 高効率コンプレッサー
セメント	69.7 (0)	① NSP転換 ② 原料ミル・仕上げミルの改善化 ③ 廃熱の利用 ④ 燃焼管理の適正化	① SP・NSPキルン ② 堅型ミル ③ 中低温廃熱利用発電
紙・パルプ	59.6 (45.0)	① 生産工程の連続化 ② 廃熱の回収 ③ 生産工程の効率化 ④ 古紙利用の拡大	① 予備浸透型連続蒸解装置 ② 高圧パルプ洗浄装置 ③ 高性能サイズプレス装置
染色整理	63.7 (59.8)	① 保守管理の徹底 ② 温排水及び廃熱の回収利用 ③ 低浴比染色機等省エネルギー設備の導入 ④ 加工条件の改善等	① 噴流式染色装置 ② 染液低付与装置 ③ 向流式洗浄装置
板ガラス	73.0 (67.7)	① 保温材による断熱 ② 窯のシーリング改善 ③ 蓄熱効率の向上 ④ 廃熱ボイラーの設置	① 廃熱利用ボイラー

注) 鉄鋼におけるエネルギー(石油)原単位は、1986/1973年度の数字。

石油化学(エチレン部門)におけるエネルギー(石油)原単位は、1987/1976年度の数字。

表3-8 工場に係わる事業者のエネルギー使用合理化判断基準の概要

	① 燃料の燃焼の合理化	② 加熱及び冷却並びに伝熱の合理化	③ 放射・伝導等による熱の損失の防止	④ 廃熱の回収	⑤ 熱の動力等への変換の合理化	⑥ 抵抗等による電気損失の防止	⑦ 電気の動力、熱等への変換の合理化
管理標準改善のための標準設定	空気比の管理標準	被加熱・冷却物の温度、熱媒体の温度、圧力・流量等の標準、空調の温度、湿度の標準	断熱工事の標準	廃熱の回収利用の標準	複数のボイラー・タービンの間の負荷調整の標準、排気、背圧タービンにおける最低許容圧力の標準	受変電・配電設備の電圧・電流・力率、負荷率、需要率の管理標準	電動力応用、電気加熱照明設備等に関する電圧、電流・力率、需要率の標準等
計測・記録等の実施	燃料の供給量、排出ガスの温度、排出ガス中の残存酸素量等の計測・記録等	温度、圧力、流量等熱媒体の状態を把握するための計測・記録、空調の温・湿度の計測・記録	熱損失分析の実施	廃熱の状況把握のための計測・記録、廃熱の有効利用方法の調査検討	主要なボイラー・タービンの熱効率の計測・記録、最低許容圧力下運転に関する計測・記録	同上値の計測・記録	同上値の計測・記録(例として、付録の計測を含む)
保守・点検の実施	燃焼設備の保守及び点検	伝熱性能の低下の防止、ボイラー給水の水质管理、空調設備の保守及び点検	欠損による熱媒体の漏洩防止、断熱部分の損傷、スチーム・トラップの保守及び点検	廃熱回収設備の伝熱面等の汚れ除去、設備からの熱媒体の漏洩防止等	ボイラー・タービンの保守・点検、最低許容圧力下運転におけるタービン羽根等の保守及び点検	受変電・配電設備の保守及び点検	摩擦等機械損失の削減、流体機械における流体の漏洩防止等。その他電熱、電解、照明設備の保守、点検
合理化のための改善措置及び設備の導入等	燃焼負荷の調整、適正なバーナーの選択、燃焼装置の改善等、燃焼制御装置の設置、蓄熱設備の設置	熱の使用条件、供給条件の見直し、ヒートパターンの改善、負荷の調整等、直接加熱への改善、熱の多段階利用等、熱効率の高い設備の導入、工程の連続・結合、短縮・省略	断熱の強化、開口部の縮小等、開放型設備のおおい設備、配管経路の合理化等	廃熱の輸送過程での温度の低下防止、廃熱回収装置の伝熱面の改善、廃熱の用途に応じた回収利用設備の設置	最低許容圧力を低減するためのタービンの改造、利用価値のある余熱蒸気の発電・作業用動力等への利用	変圧器の適正負荷運転、変圧器の容量適正化、負荷の平準化変電設備の配置の適正化等、力率の改善、三相不平衡の改善	電動機の空転防止、負荷の適正配分等、電圧の見直し、速度制御の実施等、適正容量の電動機の設置等、その他の設備改善、設備導入

表3-9 タイ国における業種別省エネ率設定値

産 業	省エネ率
Agriculture & Fishing	2.0/年
Mining & Quarrying	2.0
Foods & Beverages	2.0
Textiles & Wearing	2.4
Wood & Wood Products	2.0
Paper & Printing	3.0
Chemical & Petroleum	4.0
Nonmetallic & Mineral	2.0
Basic Metal	2.0
Fabricated & Machinery	2.0
Electricity & Gas	3.0
Construction	2.0
Trades & Hotels & Resid.	2.0
Transport & Communication	2.0
Banks & Service	2.0

4. NO_x及び粒子状物質の低減化技術

4.1 NO_x低減化技術

4.1.1 NO_xの生成メカニズム

窒素と酸素の化合物としては、NO、NO₂、N₂O、N₂O₃、N₂O₄、N₂O₅などが知られているが、一般の燃焼装置で化石燃料の燃焼によって発生するのは、そのほとんどがNOとNO₂であり、両者の和、NO+NO₂を窒素酸化物、NO_xとよんでいる。ボイラーなどの通常の燃焼装置ではNO₂は、NO_xの容積割合で数%~10%程度であり、NO_x中のほとんどはNOであると考えてよい。しかし、非常に高い空気比で燃焼させている装置、たとえばガスタービンの場合などは、NO_x濃度としては低いですが、NO₂がNO_xの50%をこえるようなこともある。燃焼において発生するNOは、そのNの供給源からつぎの二つに分けることができる。

① 空気中の窒素分子が高温状態において酸化されて生成するもの

② 燃料中に含まれる各種の窒素化合物から燃焼に際して生成されるもの

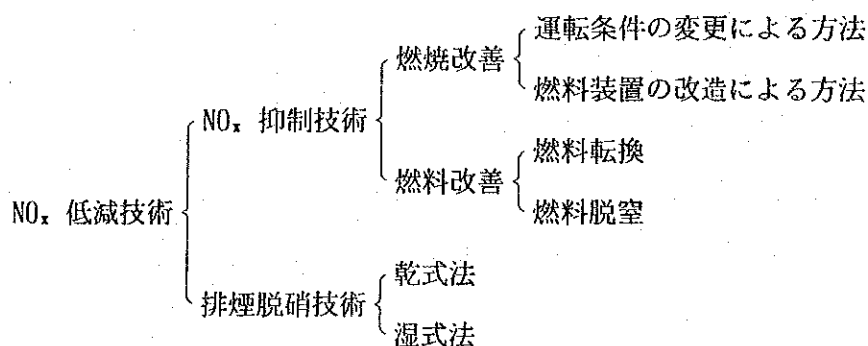
①は熱的な作用によって発生するのでThermal（熱的）NO_xと呼ばれ、一方、②は燃料中のN分から生成されるのでFuel（燃料）NO_xと呼ばれている。

このように生成源、生成機構が大きく異なる2種類のNO_xがあること、及びSO_xの場合と違って燃料中のN分のすべてはNO_xとはならないことなど生成機構は複雑であり、このことは同一の低減技術を行っても、その発生施設ごとに、低減効果が異なるなどの結果をもたらすことになる。

4.1.2 NO_x対策技術の分類

窒素酸化物の防除技術には、表4-1に示すようにNO_x抑制技術（低NO_x燃焼技術）と排煙脱硝技術がある。NO_x抑制技術としての燃焼改善の技術は、炉内の燃焼条件をできるだけNO_xの生成がしにくいようにするための技術である。燃料改善のうち、燃料脱窒については現在のところ重油から硫黄分を除去する重油脱硫のような技術が窒素分についてはまだ確立されていないが、重油脱硫の際、付随的にある程度の窒素分が除去されるので、低硫黄燃料を使用することはNO_x低減にも効果があることになる。

表 4-1 NO_x 低減技術の分類



4.1.3 燃焼改善によるNO_x抑制技術

(1) 低空気比燃焼によるNO_x対策

NO_xは、空気の構成ガス成分である窒素(N₂)と酸素(O₂)とが高温で反応してできたものである。そしてこれは発生機構から大別してThermal NO_xとFuel NO_xとに分けられるが、これらの生成量は火炎温度、酸素濃度、火炎内のガスの滞留時間によって変化してくる。結論から先にいえば、火炎内におけるNO_xの生成量は、火炎温度を下げ、酸素濃度を低下させ、さらに滞留時間を短くすることによって抑制することができる。

低空気比燃焼とは、このうち酸素濃度を低くして燃料を燃焼し、NO_xの生成量を抑え込もうという低NO_x化の方法である。すなわち、燃焼施設に供給する酸素の量をできるだけ燃料が燃えるのに必要な最低の酸素量に近づけて燃焼施設を運転しようというところみである。このため、燃焼施設に供給された空気中の酸素は、ほとんど燃料と化合し、これに使われてしまい、窒素と反応してNO_xを生成する余地が与えられないので、低NO_x化が達成できると考えればわかりやすい。

一般のバーナでは、NO_xの生成に関係するといわれる火炎の最高温度は空気比1、すなわち理論空気量の場合よりわずかに空気過剰の状態で見られるといわれており、それより空気比が小さくなると温度は低下し、大きくなっても酸素の混合のための温度低下をきたす。そのうえ、空気比が小さければ小さいほど酸素濃度が薄くなるので、これらの影響が重なりあって低空気比の場合にNO_x濃度が低下する結果になる。もちろん、この場合でもガスの混合性の善し

悪しが問題となり、長炎の場合と短炎の場合とを比較すると、短炎の方がNO_x濃度は高く、長炎よりも小さい空気比でNO_x濃度は上昇する。このように、酸素濃度を低くする低空気比燃焼は、酸素濃度の影響だけで、低NO_x化が実現することは説明できない。なお、図4-1は排ガス中の酸素濃度と、NO_x濃度との関係を示した実験例で、酸素が1%以下になった場合、NO_x濃度が急激に減少していることが示されており、低空気比燃焼の効果がよく現れている。しかしながら図4-2に示すように、あまり空気比を低下させ、低NO_x化を実現しようとすると、ばいじんが余計発生することになる。

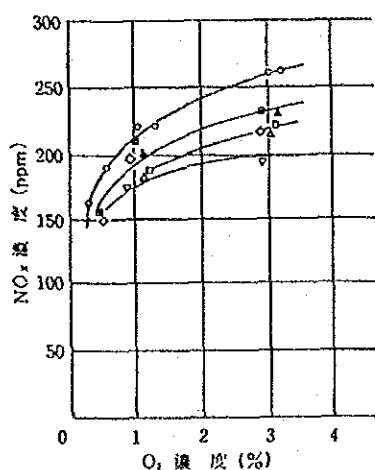


図4-1 排ガス中の酸素(O₂)濃度とNO_x濃度の関係(例)

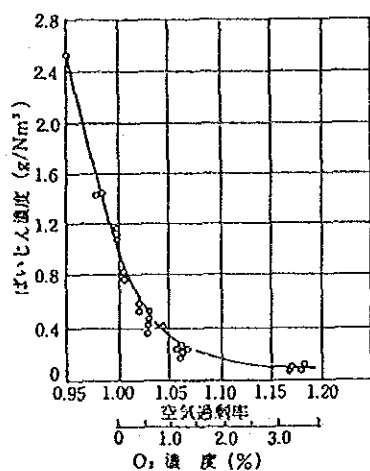


図4-2 排ガス中のばいじん濃度と酸素(O₂)濃度の関係(例)

(2) 熱負荷の低減によるNO_x対策

NO_xの生成は、火炎温度が高ければ高いほど速く、その生成量も大きい。したがって火炎温度を低下させることにより低NO_x化をはかることができる。燃焼室内に入る燃焼熱量を考える時、燃焼室体積熱負荷(単位燃焼室体積当りに単位時間内に投入される燃焼熱量をいう。単位はKcal/m³・h)の値が大きければ火炎温度は上昇し、NO_x発生量は増加すると考えられている。

図4-3は数種の火力発電所における体積熱負荷とNO_x排出量の関係を示したものである。この場合NO_x排出量は燃焼室に入る燃料の熱量当りのNO_x発生量(Kg)で示してある。このように体積熱負荷が大きいほどNO_x発生割合が大きいことがよく示されている。さらに、図4-4はあるボイラーにおける定格蒸気発生量

に対する実稼働の場合の蒸気発生量の比、すなわち負荷率とNO_x発生量との関係を示したもので、負荷率が小さくなればNO_x発生量が減少することを示しており、低負荷運転がNO_x発生量を低下させる手段であることがわかる。

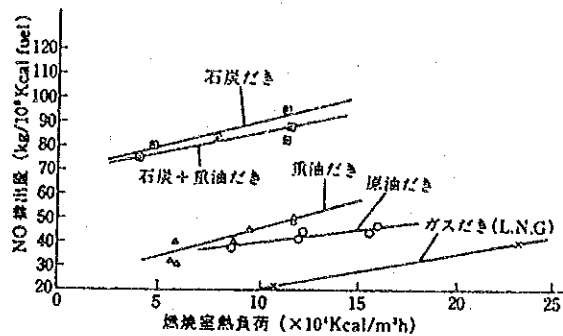


図4-3 火力発電所の燃焼室熱負荷とNO_x排出量の関係例

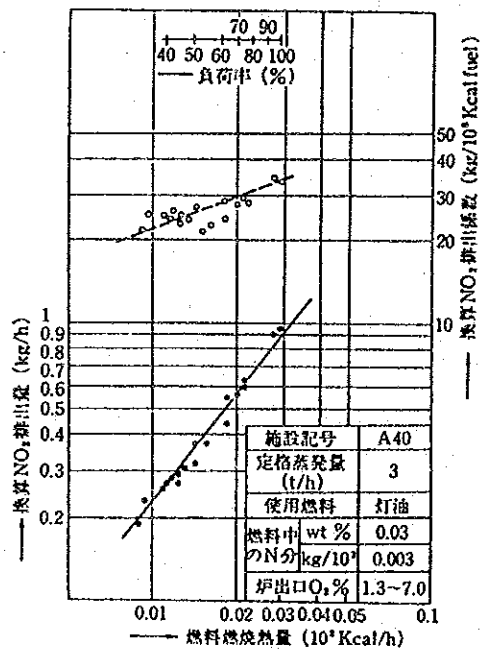


図4-4 ボイラーの負荷率とNO_x排出量の関係例

しかしながら、ただ単に負荷を下げることは設備の稼働率、しいては工場の稼働率を下げることに繋がる。したがって、大切なことは、省エネを図り無駄な燃料を使わないよう工夫することであり、この省エネによりNO_xだけでなく無駄なコストも抑えることができる。

(3) 燃焼用空気の温度低下によるNO_x対策

大型火力発電所やガラス溶融炉のように燃焼用空気の予熱を行っている施設が多く存在する。これらの施設においては、この予熱温度を低下させることも火炎温度を下げNO_x対策となる。例えば、空気予熱器を用いて空気を排ガスと熱交換して予熱し、燃焼に用いているボイラーと、予熱しないでそのまま空気で燃焼しているボイラーについてNO_x発生量を求めてみると、予熱しない場合が予熱した時に比べてNO_x発生量は10%低いというデータがある。そこで低NO_x化のために、空気予熱温度を低下させることも一つの方法であるといえる。必要に応じて行われている。しかしこの方法は、(2)で述べた熱負荷の低下による稼働率の低下と同様、熱効率の低下という問題が起こってくる。

(4) 低NO_xバーナ

低NO_xバーナは、現在各メーカーでさまざまな原理、構造のものが開発されており、その適用に当たってはバーナ及びその付帯設備の比較的小幅の改造ですむので、中あるいは小規模の燃焼施設では、新設の場合のみならず既設装置にも向くものであるといえる。中小施設に対してはNO_x抑制対策の本命ともいってもよい。低NO_xバーナをその原理、構造から分類すると、次の四つに分けられる。

- ① 混合促進型
- ② 分割火炎型
- ③ 自己再循環型
- ④ 段階的燃焼組込み型

1) 混合促進型

図4-5に示すように、このバーナでは燃料噴流と空気流とをほぼ直角的に衝突させることにより、急速な混合をはかり、ちょうど吊鐘を横にしたよう

な非常に薄い火炎をつくる。混合を良好にするために空気の流速はかなり速く、また従来型バーナのように一次、二次空気に分かれておらず、すべてが一次空気とみなせるような送込法をとっている。また、燃料噴流と空気流の速度の比を変えることにより、ある程度の範囲で火炎形状を変化させることもできる。さらに非常に薄い、面積の大きな火炎となるとから、火炎自身からの放射による熱の伝達はよく、最高火炎温度があまり高くなりならず、また高温での燃焼ガスの滞留時間も短縮され、Thermal NO_xが減少する。

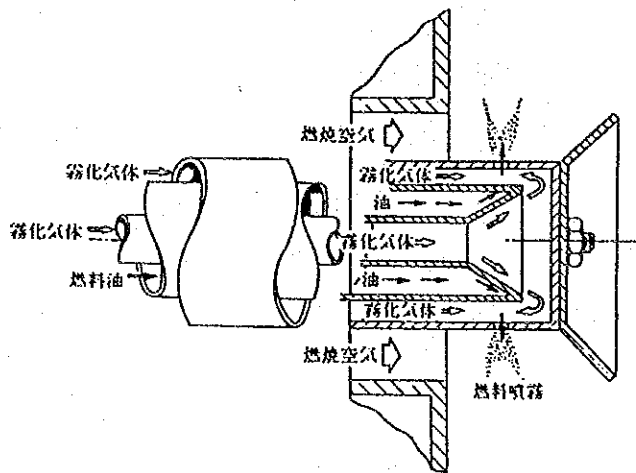


図4-5 混合促進型低NO_xバーナ

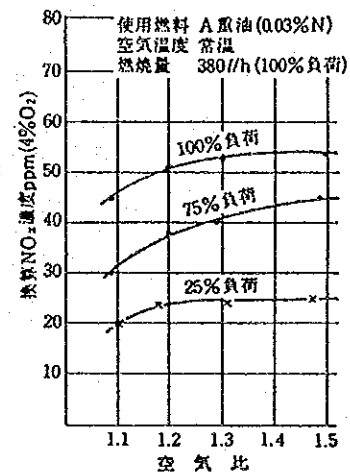


図4-6 混合促進型低NO_xバーナのNO_x排出量

図4-6は、このバーナのNO_x排出量を示したものである。空気比が低下するとNO_x濃度も若干低下するが、その差は比較的少なく、この点がこのバーナの一つの特徴になってる。火炎径は空気比、負荷にあまり左右されず、また火炎長さも50%負荷まではほとんど変化しない。

2) 分割火炎型

図4-7は分割火炎型バーナの一例である。このバーナはバーナチップの先端面に図4-7のように溝を設け、火炎を複数の独立した小火炎に分割し、火炎温度の低下と滞留時間の短縮によってThermal NO_xを抑制する方法である。

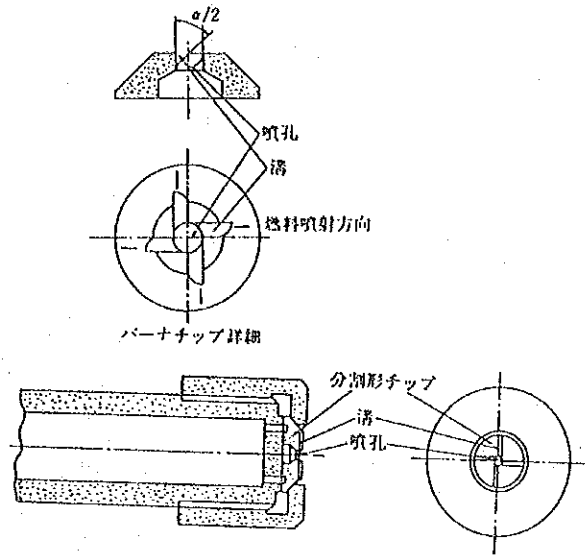


図4-7 分割火炎型低NO_xバーナ（渦巻式油圧噴霧バーナ）

このタイプのバーナには、油圧噴霧式と蒸気を用いた二流体噴霧式がある。図4-8は分割火炎型バーナと他の抑制対策を組合せた場合の効果を示したものである。

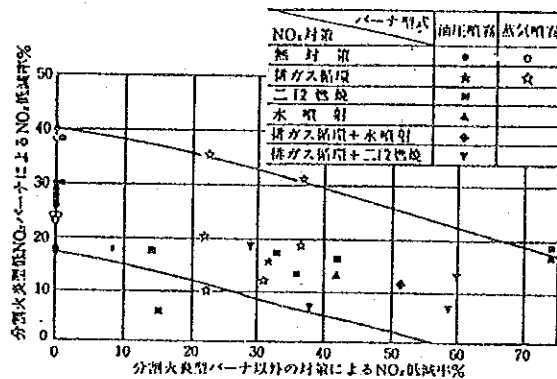


図4-8 分割火炎型低NO_xバーナによるNO_x低減率と分割火炎型バーナ以外の対策によるNO_x低減率の関係

3) 自己再循環型

この形式は、空気と燃料の噴流によって生じる伴流により、バーナ内部で燃焼ガスの再循環を強制的に行わせることによって循環域でのO₂濃度を低下させるとともに燃料の蒸発、ガス燃焼に近づけることによってNO_xの低減をはかるというものである。伴流というのは、高速の流れに伴って起こる周囲

流体の流れであり、この場合、高速の空気と燃料流はまわりの燃焼ガスを引っぱり、自分の中に取り入れる性質を利用している。この燃焼ガスの取り入れ法により、自己再循環型バーナは、図4-9に示すように二種類に分けられる。

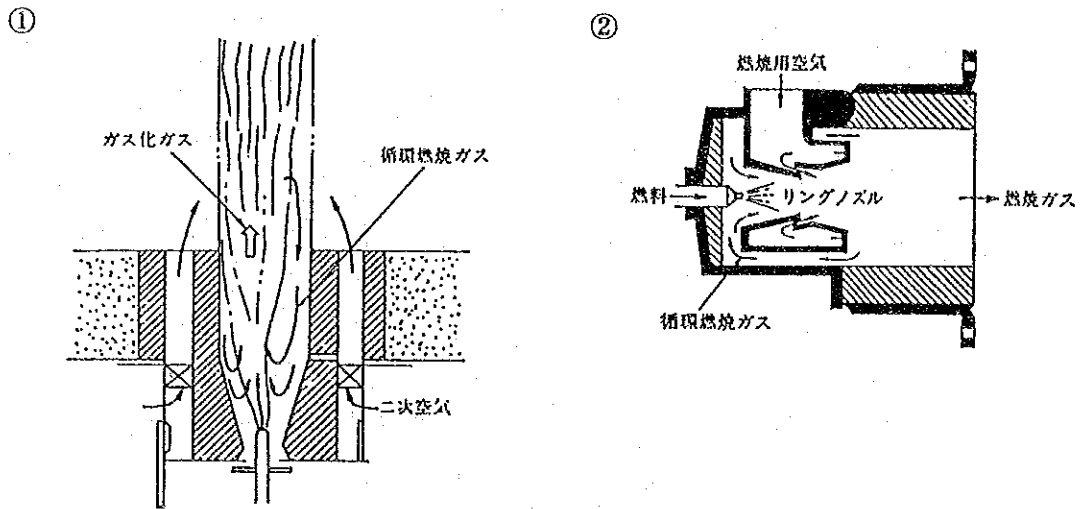


図4-9 自己再循環型低NO_xバーナ

図4-10は、このバーナと従来型のタンデムバーナのNO_x排出量を比較したものである。NO_x低減率は25~45%程度である。火炎長さや火炎径は空気比に対してあまり変化しない。しかし火炎の寸法はかなり大きくなるので、ボイラーなどに適用する場合には、燃焼室とのマッチングに十分注意する必要がある。またこのバーナには空気予熱を高めても、あまりNO_x排出量は変わらないという特徴がある。

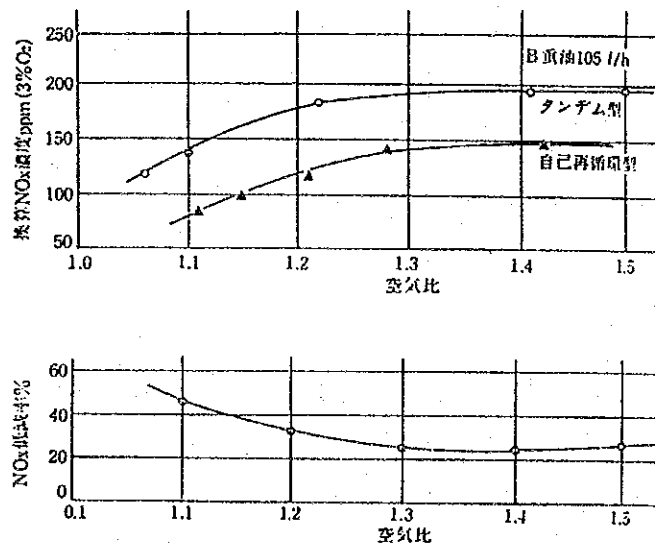


図4-10 自己再循環型バーナーと従来型バーナーのNO_x排出量の比較

4) 段階的燃焼組込み型

この方式はバーナ構造により、後で詳述する二段燃焼やOff-stoichiometric燃焼などの段階的燃焼を行わせることによって一段目で O_2 濃度の低い燃焼状態をつくり、 NO_x を抑制するものである。段階的燃焼というのは、燃焼用の空気が数段（通常は二段）に分けて供給されるものであり、一段目の燃焼では、必ず O_2 濃度の低い状態が作られている。従来の燃焼法でも一次、二次空気というように、これと近い形での空気の送込法がとられているが、それをさらに明確にした状態にしてあるのが、段階的燃焼法であると考えてよい。図4-11及び図4-12にガス用及び油用二段燃焼組込み型低 NO_x バーナの概略構造を示す。また、図4-13にこのバーナの NO_x 抑制効果例を示す。

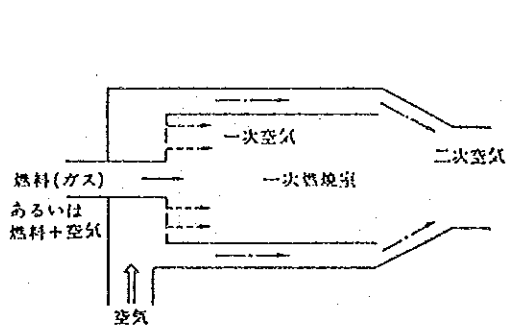


図4-11ガス用二段燃焼組込み型低 NO_x バーナ

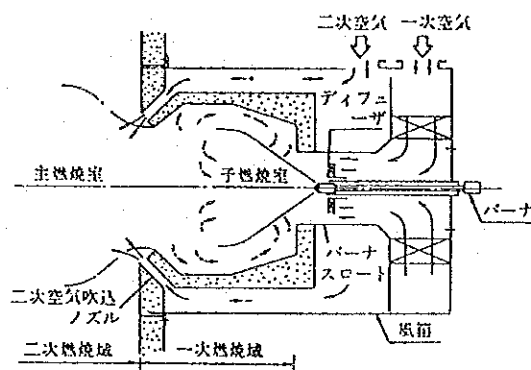


図4-12油用二段燃焼組込み型低 NO_x バーナ

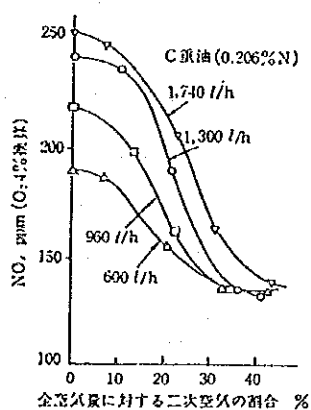


図4-13油用二段燃焼組込み型低 NO_x バーナの効果

(5) 二段燃焼

この方法は、固定燃焼装置に対する NO_x 対策として最も歴史が古く、1950年代の終りに、米国において火力発電用ボイラ向けの対策として開発が始まった。この方法の原理は図4-14に示すように、燃焼用空気を二段階に分けて供給し、一段目においては空気比が1以下(通常は0.8~0.9)で燃焼させ、その後流の二段目で、所定の空気比に不足分の空気を送って完全燃焼させるものである。

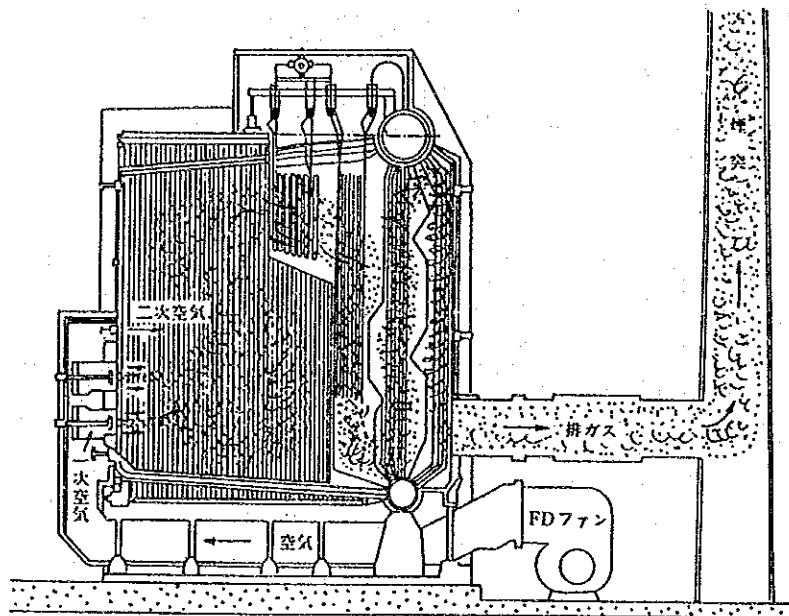


図4-14 二段燃焼

二段燃焼では、一段目での O_2 濃度の低い燃焼と、二段目空気吹き込み点以後の比較的すみやかな燃焼によって NO_x 抑制を可能にしている。低 O_2 燃焼が前段階にあるため、通常の燃焼に比べると完全燃焼に必要な空気量は若干多くなる。この方法は図4-15に示すように、Thermal NO_x とFuel NO_x の両方に低減効果をもち、一段目空気比および総合空気比によって、その程度は異なるが、おおむねThermal NO_x に対して50~30%、Fuel NO_x に対して50%以下の低減を示す。

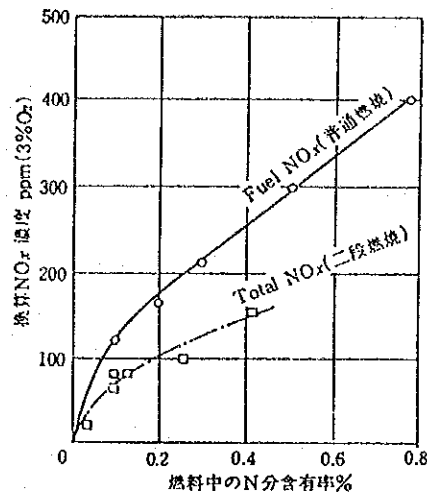


図4-15 NO_x低減に対する二段燃焼の効果

二段燃焼をとった場合、特に注意しなければならないのは、ばいじんやCO、HCなどの未燃分の発生量の増加である。COやHCは計測されることがまれなので見過ごすことが多いが、二段燃焼を適用したボイラーでは500ppm以上のCOを排出しているものがある。これまでのボイラーでは、小型のものを除き、10~20ppm以下であることを考えると大幅な増加である。また、大型の施設では、二段燃焼によって、不安定燃焼を生じやすいことが報告されている。これは一時的にせよ、燃焼の初期段階で空気不足の燃焼を行わせていることと、バーナ部での空気速度が低下して、炉内での燃料と空気の混合特性が悪化するためであると考えられている。

(6) Off-stoichiometric燃焼

大形のボイラーでは、燃焼室の前面、あるいはそれと対向した面に多数のバーナが配置されているのが普通であり、これまでの燃焼法では、これらのバーナに燃料と空気をできるだけ均一になるように送入していた。なぜなら、こうすれば、空気比の低い状態で良好な燃焼状態が得られ、ボイラーの効率が良くなると同時に低温部腐食の原因であるSO₃の発生をおさえることができるからである。このように空気比を下げた燃焼法は低過剰空気燃焼とか低O₂運転と呼ばれており、これもNO_x抑制対策の一つではあるが、これから説明するOff-

stoichiometric燃焼は、これまで望まれる方向として追究されていた燃料と空気の均一送込とは逆に、まるででたらめにといいわけではないが、積極的に不均一にしようとする方法である。

実際の方法としては図4-16に示すように空気量の配分は従来どおり均一にして、多数バーナのうち何本かの燃料を増加し、燃料の濃い状態で使用し、その周囲には空気過剰のバーナか、あるいは空気のみを送入口を配置するようにする。抑制の原理ならびに効果の程度は二段燃焼と同じと考えてよい。ただし、二段燃焼より過剰空気の吹込み位置が燃料過濃バーナに近く、均一に分布させることができるので、二段目以降の燃料と空気の混合がよく、ばいじん、CO, HC, などの発生防止のうえからはすぐれていると思われる。図4-17はこのOff-stoichiometric燃焼によるThermal NO_x低減効果を示したものである（燃料が天然ガスなのでFuel NO_xはない）。

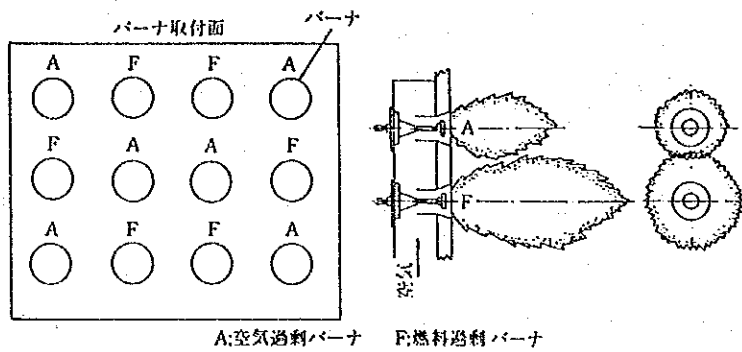


図 4-16 Off-stoichiometric燃焼

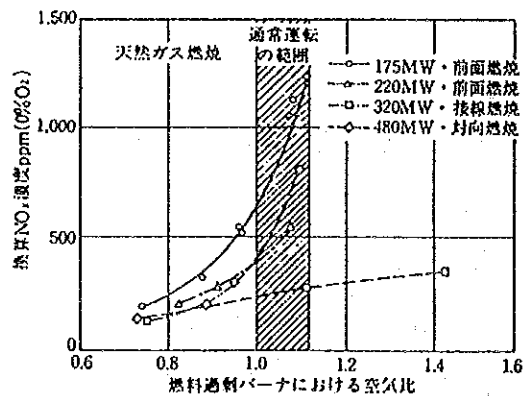


図 4-17 Off-stoichiometric燃焼の効果

(7) 排ガス循環燃焼

図4-18に示すように、燃焼用空気に低温の燃焼排ガスの一部を混入して燃焼させ、燃焼温度の低下によって NO_x を抑制しようとするのが、この方法である。排ガスは完全燃焼したものであるから N_2 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 が主成分であり、この中には再度燃焼室に送られても、燃えて発熱するようなものはない。しかもこれらは排ガスの状態、すなわち 200°C 程度までに冷却されているので、新しい燃料の発した熱をもらうことになって、燃焼室内での温度は低下してしまう。この温度低下によって図4-19に示すようにThermal NO_x はかなり低減できるが、Fuel NO_x に対しては図4-20のように殆ど効果をもたない。

排ガス循環燃焼の場合、循環用送風機やダクトの装置など、かなりの装置構造を行わなければならないうえ、さらにこれらの新設機器の装置スペースの問題もあるので、中小施設にはお奨めできない対策である。

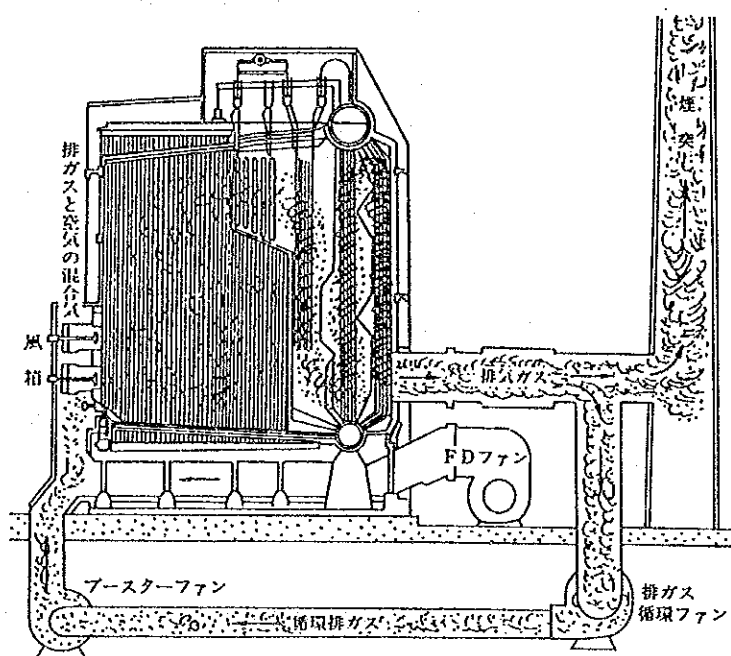


図4-18 排ガス循環燃焼

(8) 水あるいは蒸気噴射

水あるいは蒸気を燃焼室内に吹き込んで燃焼させた場合にも、排ガス循環燃焼と同様、燃焼温度が低下することになるので、 NO_x を抑制することができる。吹き込まれた水や蒸気が燃料の燃焼により発生する熱を奪うわけである。この方法

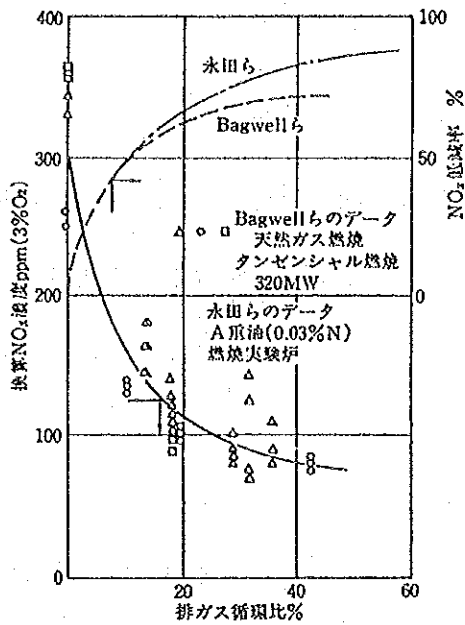


図4-19 排ガス循環燃焼のThermal NO_x低減効果
(ガスあるいは低N分燃料使用の場合)

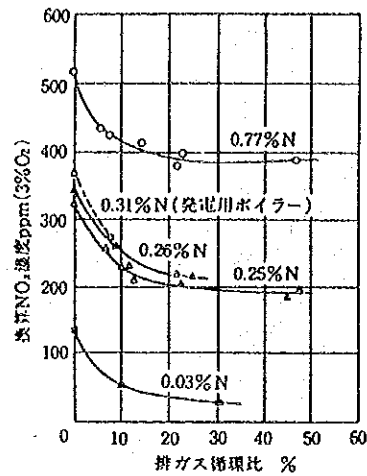


図4-20 排ガス循環の効果及び
燃焼中N分による違い

の場合、燃焼温度の低下がNO_x低減の主因となっているので、Thermal NO_xに対しては効果をもつが、Fuel NO_xには影響はないと考えてよい。水あるいは蒸気の燃焼室内への吹き込み方法としては、次の三通りの方法がある。

- ① 燃焼用空气中に水あるいは蒸気を噴射させる。
- ② 燃焼室内のある位置で、水あるいは蒸気を吹き込む（二流体式のうち蒸気を霧化媒体としたバーナにおいて、霧化用蒸気量を増加させる方法も、この範囲に含まれる）。
- ③ 燃料に水を混合したエマルジョン（乳濁液）燃料を用いる。

水あるいは蒸気を吹き込む場合、吹き込み量が同じなら燃焼室全体の燃焼に関与していない領域にまでいきわたるようにするよりも、燃焼域にだけ吹き込む方が温度低下に対して有効に作用する。したがって、①の方法より②あるいは③の方がNO_x低減効果は大きくなると考えてよい。②の場合には、同じ理由から吹き込む位置が重要な影響因子となるが、一般的にはバーナにできるだけ近い位置が良いとされている。同量の水と蒸気を噴射した場合、水の方が蒸気潜熱に相当する分だけ温度低下が大きいと考えるので、NO_x抑制効果は高くなる。②の方法による対策は、バーナ近傍に水あるいは蒸気の噴射孔を設けるなど比較的小幅の改

造で実施できるので、ガスや灯油、A重油などの良質燃料を用いる場合のNO_x対策に向いている。ただし、排ガス保有熱の増大による熱効率の若干の低下は覚悟する必要がある。特に蒸気を用いる場合、エネルギー的な損失は大きくなる。

(9) ま と め

一般的にいて、運転条件の変更による抑制対策は、現在稼働中の施設でも経済的な負担なしに適用できる方法であるが、それだけに低減効果もあまり大きくなく、また実際の運用においても問題のあるものが多い。それに対して新燃焼法によるNO_x低減対策のための自由度が大きいのでよいが、すでに稼働中の装置につけようとする場合には、かなりの装置の改善を必要とするものが多い。これまでの燃焼改善によるNO_x抑制技術をまとめると表4-2 のようになる。

表4-2 種々のNO_x抑制対策の特徴

抑制方法	Thermal NO _x			D	Fuel NO _x			H	考慮しておかなければならない障害				備 考	
	抑制理由				抑制理由				I	J	K	L		
	A	B	C		E	F	G							
運 転 条 件	運転空気比範囲の変更	◎	◎	◎	△		○	◎	△	既			×	大型施設では、低過剰空気燃焼。Fuel NO _x に対しては低過剰空気燃焼が効果あり。特に高い空気比以外L×印は低空気比側に移行したとき。
	エアレジスタ操作による燃焼室内混合特性の変更	◎	◎	○	△		△	△	◎	○		○	既	混合不良化ではF,G○印、L,K,L×印、混合良好化ではF,G×印、L,K,L◎印。
	燃焼室熱負荷の低減	◎		○	○				◎	△	既	×	既	
	燃焼用空気予熱の低減	◎		○	○				◎	×	既	×	既	
燃 焼 方 法	混合促進型	○		◎	◎			○						◎
	分割火炎型	◎		◎	◎			○						
	自己再循環型	○	◎	○	◎			○	○					
	段階的燃焼組込型		◎		◎			○	○					
そ の 他	二段燃焼		◎		◎			○	○	○				×
	Off-stoichiometric燃焼		◎		◎			○	○	○				×
	排ガス循環燃焼	◎		○	◎				△	×	既		×	L×印は過度の場合、適性の場合には、ばいじん、COについて改善の可能性大。
そ の 他	水あるいは蒸気噴射	◎		○	○				○	×	既		○	Lばいじんについての改善の可能性大。
	燃料転換	◎	◎	◎	□	○		◎	△					◎
燃料室形状	◎		○	◎					△					

- A: 燃焼温度の低下
- B: 燃焼域でのO₂濃度の低減
- C: 高温域での滞留時間の減少
 - ◎ 特に関係のあるもの
 - 関係のあるもの
- D: 抑制効果の程度
 - ◎ かなり大きいもの
 - あまり大きくないもの
 - △ 抑制法と効果が一定の関係になく装置ごとに異なるもの
 - これまでの研究成果でこの効果が明確でないもの
- E: 燃料中の窒素化合物の低減
- F: 初期燃焼域におけるO₂濃度の低減
 - 作用するもの
 - △ 装置ごとに異なるもの
- G: 抑制効果の程度
 - ◎ かなり大きいもの
 - あまり大きくないもの
 - △ 装置ごとに異なるもの
- H: 対策としてとる場合の難易度
 - ◎ 現状の装置のままでも可能なもの
 - 若干の改造が必要なもの
 - △ 大規模な改造が必要なもの
- I: 熱効率の低下
- J: 出力の低下
- K: 装置の大型化
- L: 他の汚染質(ばいじん、CO、HC(炭化水素類))の増加
 - × 特に関係の強いもの
 - 装置ごとに異なるもの
 - ◎ 改善が予想されるもの
- 既: 既設に適用した場合
- 新: 新設に適用した場合

4.1.4 燃料転換によるNO_x抑制技術

燃料を転換してNO_x発生量を低下させようとするには、まずどのような燃料を燃焼させるとどの程度のNO_xが発生するか理解しておく必要がある。そこで、今NO_xの排出係数というものをを用いて燃料毎の値を比較する。NO_xの排出係数は、NO_xの排出量をkgで示し、その量がどのようにした結果排出されたかを表すために、たとえば単位量の燃料を燃焼すると、どの程度のNO_xが出るかを示したNO_x排出割合である。すなわち10kℓの重油を燃焼した結果、NO_xが55kg排出されたとすれば、NO_xの排出係数は5.5kg-NO_x/kℓ重油ということになる。もちろん燃料の使用量として石炭ならton, ガス燃料ならNm³を用いるが、これではお互いに燃焼量を比較できないので、発熱量で示すことが多い。

排出係数は、いろいろな施設におけるNO_x排出量と燃料消費量の実測結果をいくつも集め、これを統計的に処理して推定する。すなわち、排出係数とは、「ある汚染物質が燃料燃焼や工業生産のような人間活動に伴って大気中に排出する場合、その排出量を人間活動水準で割った統計的割合のことである」といえるのである。排出係数は、アメリカ合衆国政府によって大分以前からまとめられ発表されてきているが、日本においても、たとえば環境庁大気保全局によって大気汚染物質の実測が行われ、その算出に努力がかたむけられてきた。

表4-3は、主として日本の環境庁大気保全局が行った固定燃焼施設におけるNO_x排出量実態調査結果を用いて、燃料消費量当りのNO_x排出量をまとめたものである。この表からわかるように、NO_xの排出量は用いた燃料の種類で異なり気体燃料の場合少ないが、それでもガスの種類によって異なっている。また、液体燃料も燃料の種類で相違があり、重油より軽質油のほうがNO_x発生量は少ない。一方、最もNO_x発生量が多いのは石炭であることがわかる。以上のことは、Fuel NO_xはガス、軽質油の方が重質油、石炭より少ないことを示している。しかし、この傾向は特にボイラーのように、炉の温度が比較的低い場合に顕著であるが、ガラス溶解炉、セメント焼成炉などのように炉の温度が高くThermal NO_xの発生量の大きい場合は顕著でない。以上のことからわかるように、燃料転換はかなり有効なNO_x防止対策であり現在多くの固定燃焼施設で用いられている。

表4-3 施設別、燃料別NO_x排出係数(NO₂kg/10⁸kcal Fuel)

発電ボイラー

燃 料	測定施設数	排出係数
石 炭	1	128.0
石炭+重油	1	105.3
重 油	26	63.0
原 油	2	56.5
天然ガス	1	38.9

事業用ボイラー

燃 料	測定施設数	排出係数
C重油	79	56.6
B重油	10	40.5
A重油	58	25.2
灯油	34	20.7
C重油+ガス	3	35.5
都市ガス	15	24.0
L P G	6	32.4

鋼材加熱炉

燃 料	測定施設数	排出係数
C重油	13	55.8
B重油	4	56.4
A重油	9	37.4
軽油	2	42.8
灯油	7	17.4
天然ガス	3	14.8

石油加熱炉

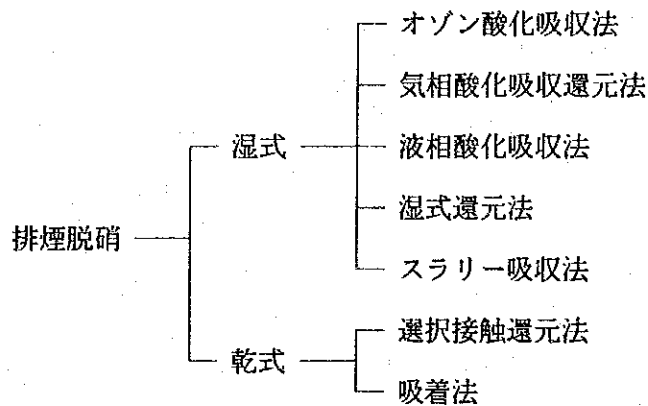
燃 料	測定施設数	排出係数
C重油	5	34.6
C重油+ 副生ガス	3	34.5
副生油	4	28.4
副生油+ 副生ガス	3	22.2
副生ガス	8	45.4
L P G	1	19.8

注： この表で示した排出係数は、表示してある数の測定施設におけるNO_x排出量、燃料燃焼量から求めたNO_x排出割合(NO₂kg/10⁸kcal Fuel)を施設ごとに平均したものである。このため測定施設1の場合、実測された排出割合がそのまま示されている。一般に測定施設数が多いほど信頼性が高いと考えてよい。なお発熱量は高発熱量である。

4.1.5 排煙脱硝によるNO_x低減

排煙脱硝には、表4-4に示すように、湿式と乾式による方法がある。湿式排ガス脱硝法は、排ガスをアルカリ溶液などの液体でよく洗浄し、排ガス中のNO_xをこの溶液の中に吸収して除去する方法であり、乾式排ガス脱硝法は、排ガスを湿式法のように濡らすことなく排ガス中のNO_xを分解するガス体で触媒を用いて分解してしまったり、粒状、粒状の吸収剤を用いてNO_xを吸着して除去してしまう方法である。

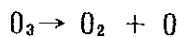
表4-4 排煙脱硝の分類



(1) オゾン酸化吸収法

排ガスのNO_xの大部分を吸収しやすい形に酸化する方法として、オゾンを使用する排ガス脱硝法があり、洗浄液としては水かアルカリ溶液を用いる。

オゾンは酸素より酸化力がはるかに強く、酸化されやすい物質に出会うと、次式のように反応し、容易に原子状の酸素を出してこれを酸化する。



排ガス中にオゾンを加えると、排ガス中のNOはN₂O₆またはNO₂にまで酸化されるが、これは吸収塔で水またはアルカリ溶液で吸収される。

洗浄液に水を用いた場合のNOの酸化、

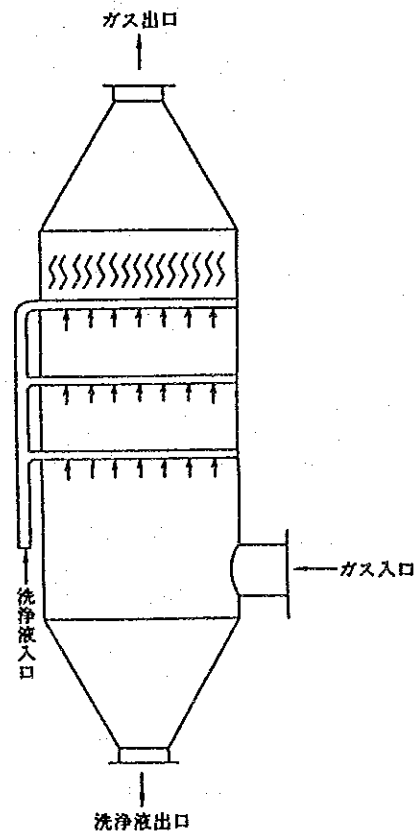
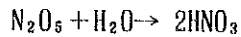
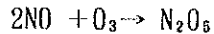
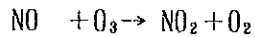


図4-21 スプレー塔

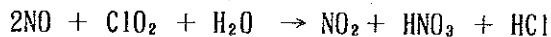
水への吸収反応は次のように示される。



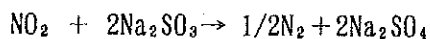
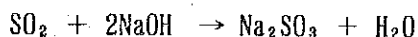
この場合、 NO_x は硝酸として回収されるわけであるが、得た希硝酸は精留塔で60%程度の硝酸に濃縮する。この方法は、オゾン酸化剤としているため、 NO_x を酸化するのに酸素ができるだけで、他の汚染物質を反応系に持込まない点で有利であるが、高圧放電してオゾンを作るオゾン発生機の大型化があまり進んでいないこと、この電力消費量が大きいことなどの問題がある。オゾン酸化吸収法は、天然ガス専焼火力発電所排ガスの脱硝に利用し、100,000Nm³/hの装置を稼働している実績があるが、この場合水洗いして NO_x を硝酸として回収しており、高性能が確認されている。

(2) 気相酸化吸収還元法

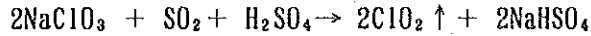
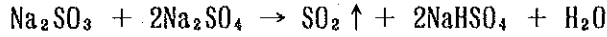
この方法は、排ガス中の NO_x を二酸化塩素を主体とする塩素系薬品により気相で酸化し、吸収液として亜硫酸ナトリウム水溶液を用いて吸収し、 NO_x を N_2 に還元処理する方法である。この方法は、酸化剤としてオゾンも用いることができるし、特徴として排ガス中の二酸化硫黄も処理できる脱硝、脱硫プロセスである。このプロセスは図4-22に示すように、まず冷却塔を用い、燃焼排ガスを水で増湿冷却すると同時に、除じんしてから酸化剤である二酸化塩素ガスを排ガス中に導くようにする。こうすると排ガス中の NO は、次のように反応して半分は NO_2 に、半分は硝酸になる。



そこで排ガスは、水酸化ナトリウムを吸収液とする棚段塔に送られ、脱硫と脱硝が同時に行われる。すなわち排ガスは水酸化ナトリウム溶液で循環洗浄されるが、この場合排ガス中の二酸化硫黄が吸収され、次のように亜硫酸ナトリウムが生成し、これが酸化剤で生成した NO_2 を還元して次のように硫酸ナトリウムを生成する。



なお、排ガス中のNOの酸化用に用いる二酸化塩素は、洗浄液中に残る亜硫酸ナトリウムを用い、塩素酸ナトリウムに作用させて発生させる。この反応式は、次のとおりである。



このプロセスは、ボイラー排ガス処理用や、加熱炉排ガス処理用にすでに稼働しているが、図4-22は処理ガス量62,000Nm³/hのボイラー排ガス処理用の装置のフローシートを示したものである。表4-5は、この方法における吸収塔での還元条件であり、表4-6にはランニングデータを例示した。このようにこの方法は、脱硫率、脱硝率ともかなり高く、それぞれ99.5%、95%程度が期待できる。このプロセスの問題としては、薬剤を多種類使用するのでその運転管理及びコストに問題の有ることがあげられるほか、廃水処理上の問題もある。

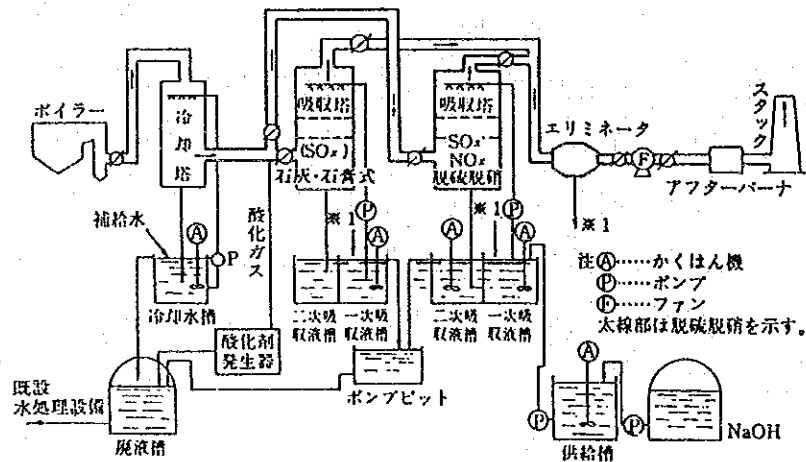


図4-22気相酸化吸収還元法プロセスフローシート (62,000Nm³/h)

表 4-5 吸収塔での還元条件

項目	数 値
1) 吸収塔運転条件	
空塔速度	3~6 m/sec
気液比	2~10 l/m ³
段 数	4 段
2) 吸収液循環 pH	6 ~ 8
3) 吸収循環液中のSO ₃ 濃度	10~100g/l (Na ₂ SO ₃ として)

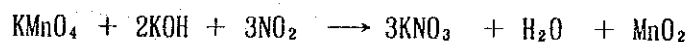
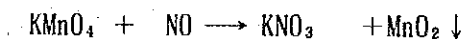
表4-6 気相酸化還元法のランニングデータ

テスト No.	空塔速度 (m/sec)	圧 損 (mmH ₂ O)	SO ₂ 濃度(ppm)		NO _x 濃度(ppm)	
			入 口	出 口	入 口	出 口
1	5.85	210	770	4	240	14
2	5.85	210	810	4	245	12
3	5.70	200	780	4	250	13
4	5.70	200	800	5	238	15
5	5.70	200	800	4	260	10
6	5.91	215	810	4	242	14
7	5.90	215	810	4	270	18
8	5.48	190	790	4	255	19
9	5.67	195	750	4	260	17
10	5.70	200	740	4	263	14
11	5.81	205	780	5	268	18
12	5.81	205	800	5	248	15
13	5.90	215	790	5	250	12
14	5.70	200	810	5	260	15
15	5.81	205	810	5	258	13

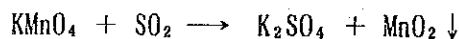
(3) 液相酸化吸収法(MON法)

前述の二つの排ガス脱硝法は、排ガスのNO_xの主成分であるNOにガス状物質であるオゾンや二酸化塩素を作用させて酸化し洗浄液に吸収させる方法で、これらを気相酸化吸収法というが、この液相酸化吸収法方法は、たとえば酸化力のあるマンガネ素酸塩をアルカリ水溶液に溶解した洗浄液で排ガスを洗浄する方法がある。すなわちこの方法は、排ガス中のNOを洗浄液中のマンガネ素酸塩で酸化して硝酸塩として固定し吸収するやり方で、その代表なものがMON法である。

MON法として過マンガネ酸カリウムを酸化剤に、アルカリとして水酸化カリウムを用いた場合の反応式を次に示す。



また排ガス中の二酸化硫黄も同様次のように吸収される。

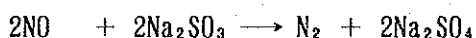
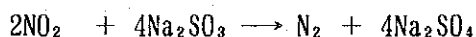


このようにMON法は排ガス脱硫も同時に行なえる特徴を有している。また生成したMnO₂は、沈降性がよいためろ過が容易で、たやすく洗浄液から分離出来るの

で、回収し再生工程に送り電解酸化して再使用することができる。MON法の実績としては、充てん塔の実験でNO除去率90～95%のデータがある。そして過マンガン酸カリウムの使用量は、この1モル(158.03g)がNO、SO₂それぞれ1モル(NO 30g、SO₂ 64g)に相当するので、過マンガン酸カリウム1kgでNO 0.19kg、SO₂ 0.04kgを処理できる。

(4) 湿式還元法

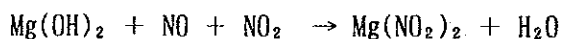
これは亜硫酸ナトリウム水溶液で排ガスを洗浄して、排ガス中のNO_xを窒素にまで還元する方法であり、その基礎式は次のとおりである。



本法は排ガス中のNO_xを窒素に還元する点では有利であるが、亜硫酸ナトリウムは酸化され硫酸ナトリウムを副生する。

(5) スラリー吸収法

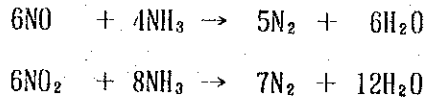
前述のように排ガス中にNOとNO₂が等モルずつ、いいかえれば等濃度で存在している場合は、アルカリの水溶液で吸収することができる。そこでこの方法は、排ガス中のNO_xをあらかじめNOとNO₂とが等濃度になるよう調整して、水酸化マグネシウムをスラリー状にして接触させ、亜硝酸マグネシウムとしてNO_xを吸収しようとするもので、この反応は次式のとおりである。



この場合、得た亜硝酸マグネシウムは、加熱分解して水酸化マグネシウムとして再使用し、この際発生するNOを酸化して硝酸とし、一部は排ガス中に入れてNO₂補給用に用い、NO、NO₂が排ガス中で等濃度となるよう調整する。この方法は、排ガス脱硫も可能であるが、反応速度がおそく、装置が大型化する欠点がある。また水酸化マグネシウムの代わりに水酸化カルシウムを用いても実施できる。

(6) アンモニアによる選択性接触還元法

排ガス中のNO_xを触媒を用いてアンモニアで還元する接触還元法は、前述のようにアンモニアがある温度範囲で、選択的にNO_xを還元するため都合がよく広く用いられており、その反応は次のように進む。



少し重複するようであるが、ここで選択的に還元するというのは、たとえばメタンや一酸化炭素を用いた還元のように、排ガス中の酸素や二酸化硫黄とも反応するようなことはなく、アンモニアの場合は NO_x との反応が圧倒的に起こりやすく NO_x を選択して還元しているように見えるからである。一酸化炭素やメタンによる還元は、 NO_x を還元するばかりでなく、酸素や二酸化硫黄とも反応するので、還元剤が脱硝以外の目的に消費されることになるうえ、この消費すなわち燃焼による温度上昇が問題となる。必要とするアンモニアの量は NO_x 処理量で定まり、 NO , 1mol(30g)に対してアンモニア1mol(17g)を必要とする。すなわちアンモニア1kgで処理できる NO は1,318Nm³である。次に反応温度はほ250~425℃とされているが、この点がこのプロセスの問題点といわれている。というのは一般に燃焼排ガス温度がこの温度より低い場合は、例えば熱交換器を用いて加熱しなければならないので、設備がかさみかなりのエネルギーが消費されるからである。

さて次に問題は触媒である。この還元反応の反応速度は遅いので、前述のように触媒を必要とするが、その性質、その量などが問題となる。まず触媒には貴金属系のものと非貴金属系のものがある。そして貴金属系のものでは NO_x の還元が窒素まで進まず、 NO_x が若干存在するようになっているともいわれている。しかし、触媒についてそれよりも問題なのは被毒である。触媒はそれ自身が触媒作用をもたなくても、ある物質をほんのわずか加えてみると著しくその触媒能力が高まる場合があり、この作用を促進作用といい、その物質を促進剤という。一方これとは逆に、触媒にわずかでも加わるとその触媒能力が低下する物質がありこの微量物質を毒物 (poison)といい、この作用を被毒作用といっている。 NO_x のアンモニアによる選択性接触還元法に使用する触媒にもこのようなことがあり、種々の促進剤が研究され、さらに被毒対策が検討されている。そしてもっとも問題なのは排ガス中に存在するばいじん、二酸化硫黄等汚染物質の脱硝触媒に対する毒作用であり、現在開発されている触媒にはこれらにより被毒し、その活性が失われるものが多い。そのため、ばいじん、二酸化硫黄などが含まれていないガス燃料や、軽質油の燃焼排ガスのようなクリーン排ガスしか接触還元できない触

媒も多い。しかし中にはこれら汚染物質を含むダーティー排ガスも脱硝できるものも開発されているが、あまりダーティーであると活性が劣化することは避けられないようである。

このようなことから、排ガス脱硝装置の前に集じん装置や脱硫装置を設置して、あらかじめクリーンガスにして脱硝することも検討されてはいるが、この場合、たとえば湿式排ガス脱硫装置を用いると排ガス温度が50~60°Cに低下してしまうので、脱硝温度に上昇させるため著しくエネルギーを消費することになり問題となる。このようなことから今後一層の触媒開発が注目されている。つぎに触媒の使用量であるが、触媒は決して価格的に安いものではないので注目される場所である。一般に触媒量は、触媒層1m³あたり1時間に何m³の排ガスを脱硝し得るかという値で示し、これを空間速度といい、英語のSpace Velocityを略してSVといっている。SVは、排ガス流量(m³/h)を触媒層体積(m³)で除した値であるからm³/h/m³=h⁻¹という単位で示される。SVは大きい方が望ましいわけであるが、この場合7,000h⁻¹以下と見込まれている。触媒の形状は、粒状、ペレット状、リング成形にしたものといろいろありこれを充てんして反応器とするが、この形は特に排ガス中のばいじんの堆積に関係し、さらに前述のSVとともに触媒の損失にも関係する。

(7) その他の還元剤による還元法

前述のように排ガス中のNO_xは、アンモニアばかりでなく一酸化炭素やメタンによっても還元することができる。しかし、これら還元剤は、排ガス中のNO_xだけを還元するのではなく、酸素と反応し発熱するので大量の還元剤を消費するとともに、この熱を回収しなければ経済的に好ましくない。すなわち選択的接触還元法でないのである。図4-23は、一酸化炭素を還元剤とし特殊な触媒を用いた排ガス脱硝装置のフローシートである。これはボイラー排ガス処理用に設置されたもので、処理ガス量は10,000Nm³/h、処理ガス組成はNO_x150~200ppm、硫酸化物250~350ppmである。

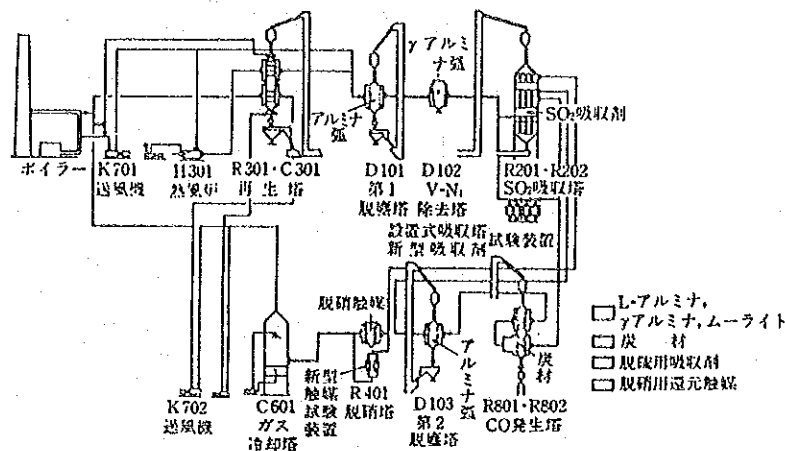


図4-23非選択的接触還元排ガス脱硝装置の一例

この装置は、硫酸化物、ばいじんを除去して脱硝塔に排ガスを導く必要があり、図のように排ガス脱硫装置、集じん装置を前置しており、排ガス中の NO_x を1~5ppm、硫酸化物を1~2ppmにまで除去して排出している。なお、このような非選択的還元法は、アンモニアによる選択的還元法が問題としている触媒の劣化のほかに、発熱の吸収のことを考えると酸素や硫酸化物濃度の高い燃焼排ガスへの適用は疑問であるといわれている。

(8) 吸着法

活性炭やモレキュラシーブを用いて NO_x を吸着する方法は、排ガス脱硫技術における活性炭吸着のように一応原理としては考えられるが、吸着量は排ガスが低温であるほど大きいことや NO の吸着は NO_2 の吸着より小さいこと、さらに水分が吸着に傷害を与えるなどの理由でその実用化にはかなり問題があるといわれている。

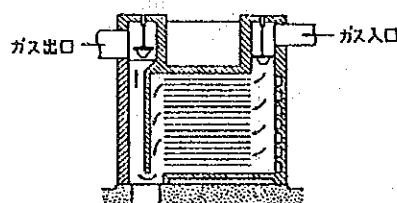
4.2 粒子状物質低減化技術

気体中に含まれる固体粒子や液滴の分離操作を一般に集じんと呼んでいる。気体中の粒子の呼び方は、例えば、煙、霧、ダスト、ミスト、ヒュームなどがあるが、はっきりとした分類ではない。一般には固体粒子をダスト、液体粒子をミストとして示すことが多い。特に蒸気の凝縮により生成するような $1\mu\text{m}$ 以下の微小な固体粒子をヒュームと呼ぶことがある。

集じんは、古くから種々の方法が試みられ実用化されているが、それらの代表的なものを捕集機構別に分類すると、重力沈殿（重力沈降室、多段沈降室）、慣性分離（バフフル室、ルーバ室）、遠心分離（サイクロン、マルチクロン、ダブルクロン、サイクロンスクラバなど）、濾過集じん（バグフィルタ、繊維充てん層）、洗浄集じん（ベンチュリスクラバ、噴霧塔、ジェットスクラバ、タイゼンワッシャなど）、電気集じん（コットレル、2段式）のように分けられるが、たとえば湿式サイクロンのように、遠心力利用のサイクロンに洗浄スプレを設け、また粒子の重力・慣性力を利用しているものでは、いくつかの機構が組み合わされておき、一概に分類しがたい。

4.2.1 重力集塵装置

空気中に含じんガスを導き、ダストをみずからの重力によって自然沈降させ分離する装置である。空室とダスト取り出し部をもった簡単な構造のもので、沈降室に入って1~2 m/sに減速したダスト



トは慣性力を失って沈降する。ダストの
 図 4-24 ホワード式集じん装置
 空室内沈降の理論から、室内進行方向距離が大きいほど、また室内高さが小さいほど、小さいダストが分離できることになるが、実際には沈降室の長さを大きくとると据付面積が大きくなるので、沈降室高さを小さくして、これを数段並べた多段沈降室（ホワード型）が用いられる。図4-24のホワード型は20 μ m位までのダストに適用できる。この装置は取扱いが簡単で設備費が安く、また圧力損失も10mmH₂O前後と小さいため、含じん量の多いガスの処理の場合にプレダスター（一次集じん器）として粗粒子の除去に適する。

4.2.2 慣性力集塵装置

慣性力集じん装置は含じんガスをじゃま板などに衝突させ、あるいは気流の急激な方向転換を行い、粒子をその慣性力によって分離捕集する装置である。慣性力利用の意味では、遠心力あるいは洗浄による集じんも、また充てん層形式にしても慣性集じんに属するが、ここでは慣性力（および重力）のみによる比較的単純な集じん法に限る。装置の概略図を図4-25に示す。