

監修 通商産業省公害保安局

排煙脫硫

監修 通商産業省公害保安局

排煙脱硫

社団法人 産業公害防止協会

推薦のことば

わが国は、世界に例をみない目覚しい経済的發展を続けた反面、公害が発生し、大きな社会的問題となっております。この公害問題の解決の成否は、われわれが次代の社会的、経済的飛躍をめざすうえでの試金石であり、是非とも克服しなければならない国民的課題であります。

とくに大気汚染による公害については、先般の四日市判決をみるまでもなく、その対策に緊急を要し、とりわけいおう酸化物対策をさらに強力に推進しなければなりません。これまでも低いおう原油の輸入、LNGの輸入、重油脱硫、排煙脱硫等各種の施策が講ぜられてきているところではありますが、低いおう原油の入手が困難なこと等の事情を考えれば、今後、いおう酸化物対策として排煙脱硫技術が一層重要な役割りを果すことが期待されております。

㈱産業公害防止協会は、従来から公害防止のための啓蒙と公害防止技術の普及に務め、大きな貢献を行なってこられた団体であります。このたび、上述の観点から、排煙脱硫の理論および装置の構造ならびに運転技術の全般にわたる内容をもった本書を刊行し、広く世に問うことは、まさに時宜を得たものであり、早急な技術開発の要請される排煙脱硫技術の進歩に大きく資するものとして、意義深いことであると申せましょう。

本書の刊行を契機として、公害防止技術のより一層の進歩と向上を願ってやみません。

昭和48年5月

通商産業省公害保安局長

青 木 慎 三

序 文

産業公害は重大な社会問題から政治問題にまで発展し、しかも時々刻々変化し、所によっては、さらに悪化の方向をたどりつつある。これが解決のため政府は、すでに環境庁を設け行政の一本化を図るとともに早急に環境基準を制定し監視体制の強化に努めており、これを受けて関係諸官庁はそれぞれの分野において地方公共団体や国民の協力をえつつ、これが改善の具体策をかかげその実施に努力し、せまりくる環境の悪化を防止しさらにはその改善に努力を傾倒しているのである。

公害のうちでも特に大気汚染の問題は重大で、しかも困難なものの一つである。これがため例えば防止体制強化の一環としてすでに指定地域に対しては知事に公害防止計画の策定およびその実施が義務づけられている外、通商産業省としてはコンビナート地域の造成や拡大に当っては科学的事前調査を行ない、また「特定工場における公害防止組織の整備に関する法律」によって47年9月より同法に定められた特定工場では公害防止管理者等を選任することが義務づけられることなり管理者の養成に努めている。また防止技術の開発にも一段と意を用い国自ら、また民間に対しても補助金を与えて促進を図る等漸く防止対策も地についてきた感がある。

ところが去る47年7月24日四日市市におけるいおう酸化物に係わる公害被害の裁判の判決は(1)複合公害を共同不法行為とみとめ(2)たとえ排出基準が守られていても被害あれば企業者側に責任があり、同時に(3)国や公共団体にも責任の一部があることが明らかにされた。この裁定は関係方面に一大ショックを与えた。

通商産業省は早急に工業再配置法の施行による工場分散の促進と規制を検討すると共にコンビナート8か所の総点検を実施してその実態調査により、公害防止計画と現況とのギャップ、環境基準の見直し、工業地帯全体の総排出量の把握、防止のための共同体制や救済基金に係わる協議会の必要性等の検討資料をつかむこととなった。

また一方関係企業は社長会議を開き今後の対処ならびに業界一体としての対

策に腐心している状況にある。

大気汚染に関するいおう酸化物の問題は今後のわが国のエネルギー政策と密接不可分の関係にあることはいうまでもない。当面は低いおう原油その他の燃料(LNG等)の輸入およびそれらの資源の獲得、重油の脱硫およびガス化のような燃料自体の改善対策と高煙突化、熱設備の集約化、排煙脱硫のような技術的設備の設置による対策が考えられているが前者には自ら制約、価格問題、安定供給といった、いくつかの困難な点があるので後者と併行しつつ今後のエネルギー供給を確保していかねばならない。そのうちでも排煙脱硫技術こそ安定にして確実性を有する手法で将来益々クローズアップされるものであり、一日も速やかに完成を必要とするものである。

現在排煙脱硫技術はかなり多く紹介されており、その得失に応じ各企業に採用され始めてきたとはいえ企業の種類によって確定した機種は定かではなく、また詳細な点については技術上未解決の部分もあって試行錯誤の状況にある場合もある。

本書はこの点に鑑み、通商産業省のしょうようと援助をえてこれらの点を明らかにするために発刊し一般知識の普及と今後の発展を期することとなり別記編集委員により検討の結果、内容として排煙脱硫技術の現況と理論、各種装置の得失およびその大様の紹介、さらに実施例も数種加えることとなり、そのため関係諸権威の執筆を煩わし集大成したものである。なお参考として新しい脱硫技術ともいふべき重油のガス化についても現状を紹介し将来にそなえたつもりである。従って本書は公害防止技術者のよきテキストとなり、さらには防止の実施の上に参考になることを確信し、今後のいおう酸化物による大気汚染を防除することができ四日市の二の舞を演ずることなく進んで日本列島改造の一翼を荷いつつあすの日本を明るくしようとすることを願うものである。

最後にご監修を賜わった通商産業省に謹んで感謝の意を表し、併せて企画委員ならびに編集委員、執筆各位に深謝する次第である。

昭和48年5月

編集委員長
科学技術会議議員

黒川真武

企 画 委 員

(順不同敬称略)

委員長	黒川真武	科学技術会議議員
委員	山田剛	通商産業省工業技術院公害資源研究所
〃	原田幸雄	通商産業省公害保安局
〃	原田徳治	通商産業省工業技術院
〃	坂部孜	通商産業省工業技術院公害資源研究所
〃	仲井由之	神奈川県工業試験所
〃	大野長太郎	株式会社日立製作所
〃	黒沢慶二	三菱化工機株式会社
〃	宮島正郷	中部電力株式会社
〃	吉持俊太郎	三菱重工業株式会社
〃	鈴木卓	王子製紙株式会社
〃	膳暢夫	住友ケミカルエンジニアリング株式会社
〃	田中五夫	住友重機械工業株式会社
〃	佐藤佳雄	日本鋼管株式会社
〃	水口三郎	株式会社荏原製作所
〃	五十嵐操	月島機械株式会社
〃	古川順一	千代田化工建設株式会社
〃	津川博次	石川島播磨重工業株式会社
〃	紙野康美	日立造船株式会社
〃	青井義則	東洋エンジニアリング株式会社
〃	前島宏	東京電力株式会社
〃	春日進	社団法人産業公害防止協会
〃	浅川照彦	社団法人産業公害防止協会

編集委員ならびに執筆者

[順不同・敬称略
[上段：編集委員(*印は執筆を含む) 下段：執筆者]

編集委員長	黒川真武
副委員長	山田剛
〃	春日進
* 原田幸雄	通商産業省公害保安局
* 原田徳二	通商産業省工業技術院
* 坂部 孜	通商産業省工業技術院公害資源研究所
* 仲井由之	神奈川県工業試験所
* 大野長太郎	株式会社日立製作所
* 黒沢慶二	三菱化工機株式会社
* 宮島正郷	中部電力株式会社
* 吉持俊太郎	三菱重工業株式会社
浅川照彦	社団法人産業公害防止協会
長田豊治	通商産業省公害保安局
清水 浩	通商産業省公害保安局
山口隆章	日本石油株式会社
田山育太郎	三菱化工機株式会社

執筆協力会社名

(五十音順)

石川島播磨重工業株式会社	月島機械株式会社
株式会社 荏原製作所	東京電力株式会社
王子工営株式会社	東洋エンジニアリング株式会社
王子製紙株式会社	東レエンジニアリング株式会社
大阪鋼灰株式会社	日曹エンジニアリング株式会社
神奈川石油販売株式会社	日本鋼管株式会社
ガ德里ウス株式会社	株式会社 日立製作所
川崎重工業株式会社	日立造船株式会社
倉敷紡績株式会社	株式会社 平川鉄工所
呉羽化学工業株式会社	ミウラ化学装置株式会社
昭和電工株式会社	三井アルミニウム工業株式会社
住友ケミカルエンジニアリング株式会 社	三井造船株式会社
住友重機械工業株式会社	株式会社 三井三池製作所
製鉄化学工業株式会社	三菱化工機株式会社
大貴産業株式会社	三菱重工業株式会社
千代田化工建設株式会社	明和鉄工株式会社
中部電力株式会社	吉嶺汽缶工業株式会社
	理研鋼機株式会社

目 次

〔() 内は担当執筆者・執筆順〕

1 大気汚染の現状

(原田幸雄・清水 浩)

1.1 大気汚染の概況	1
1.2 いおう酸化物による大気汚染の現状	3

2 大気汚染の防止計画

(原田幸雄・清水 浩・山田 剛・原田徳二・長田豊治)

2.1 わが国のエネルギー事情	6
2.2 環境基準および排出基準	7
2.2.1 環境基準	7
a 環境基準の概要	7
b いおう酸化物に係る環境基準	8
(i) 環境基準 (ii) 達成期間および達成の方途 (iii) 達成のための の対策	
2.2.2 排出基準	10
a 排出基準の概要	10
b いおう酸化物の排出基準	12
c ばいじんの排出基準	14
d 有害物質の排出基準	14
2.2.3 地方公共団体と企業との公害防止協定	15
2.3 燃料の低いおう化	17
2.3.1 低いおう化の現状	20
2.3.2 将来の低いおう化の目標	22
2.3.3 低いおう化の手段と今後の見通し	24
a 低いおう原油および重油	24
b 天然ガス	24
c 原油の生だき	28
d 重油の脱硫と排煙脱硫	29

(i) 重油脱硫	(ii) 排煙脱硫	
e	ガス化脱硫	32
2.4	主要工業地区の公害防止計画	33
2.5	その他の行政的施策	36
2.5.1	産業公害総合事前調査	36
a	背景	36
b	目的	37
c	調査の方法	37
(i)	エアトレーサ実験	
(ii)	大気拡散気象条件調査	
(iii)	風動実験	
(iv)	企業指導	
2.5.2	脱硫装置等の設置に対する助成制度(税制上,金融上の措置)	40
a	税制上の措置	40
(i)	固定資産税の非課税	
(ii)	減価償却資産の耐用年数の短縮	
(iii)	特別償却制度	
(iv)	固定資産税の軽減	
b	金融上の措置	41
(i)	日本開発銀行	
(ii)	公害防止事業団	
(iii)	その他	

3 排煙脱硫技術の概要

(山田 剛・大野長太郎・黒沢慶二・吉持俊太郎・仲井由之・田山育太郎)

3.1	研究開発の経過	43
3.2	排煙脱硫技術の基礎	49
3.2.1	いおう酸化物の物理的および化学的性質	49
a	SO ₂ (二酸化いおう, 亜硫酸ガス)	49
b	SO ₃ (三酸化いおう, 無水硫酸)	54
3.2.2	金属酸化物と SO ₂ との反応	55
a	MnO _x ・nH ₂ O と SO ₂ との反応	58
(i)	活性酸化マンガンの化学組成と SO ₂ 吸収性との関係	
(ii)	SO ₂ の吸収速度	
b	CaO および MgO と SO ₂ との反応	63
3.2.3	活性炭による SO ₂ の吸・脱着特性	67
a	活性炭表面における SO ₂ の吸着状態	67
b	活性炭の SO ₂ 吸着性能	68
c	活性炭の SO ₂ 吸着速度	69
d	活性炭に吸着した SO ₂ の脱離	70
3.2.4	アルカリ溶液による SO ₂ の吸収	71

3.2.5	アルカリスラリーによる SO ₂ の吸収	75
a	石灰石および消石灰スラリーと SO ₂ との反応機構	75
b	MgO および Mg(OH) ₂ スラリーと SO ₂ との反応機構	80
3.2.6	吸収および吸着装置	82
a	乾式吸収および吸着装置	82
b	湿式吸収装置	84
	(i) 吸収塔の物質収支 (ii) 吸収装置	
3.3	排煙脱硫方法の分類	92
3.4	回収物	93
3.4.1	硫酸	93
a	現在の需給状況	93
b	需給見通し	102
3.4.2	石こう	103
a	現在の需給状況	103
b	需給見通し	106
3.4.3	硫安	107
a	現在の需給状況	107
b	需給見通し	108
3.4.4	ぼう硝	109
a	現在の需給状況	109
b	需給見通し	110
3.4.5	亜硫酸	111
a	現在の需給状況	111
b	需給見通し	111
3.4.6	いおう	111
a	現在の需給状況	111
b	需給見通し	112

4 排煙脱硫技術の実際

(山田 剛・坂部 孜・大野長太郎・黒沢慶二・吉持俊太郎・宮島正郷)

4.1	乾式	114
4.1.1	気流輸送式	116
a	アルカリ金属化合物吹込み法	116
b	アルカリ金属化合物添加法	117
	(i) 活性炭ソーダ法 (ii) アルカライズド・アルミナ法	

c	酸化マンガン法	122
4.1.2	固定床および移動床式	125
a	活性炭吸着法	125
(i)	固定床水洗式活性炭法	
(ii)	移動床加熱式活性炭法	
(iii)	移動床ガス脱離式活性炭法	
(iv)	移動床水洗式活性炭法	
(v)	水蒸気脱離式活性炭法	
b	接触酸化法	135
c	接触還元法	136
(i)	CO を用いる方法	
(ii)	H ₂ S を用いる方法	
4.1.3	その他	138
a	溶融炭酸塩法	138
4.2	湿式	139
4.2.1	吸収装置の性能と吸収剤との関係	139
4.2.2	吸収装置	142
a	充填塔	142
b	段塔	142
c	スプレイ塔	143
d	ベンチュリ・スクラバ	143
e	ハロイド・フィルタ	143
f	十字流接触吸収装置	144
g	その他	144
4.2.3	構成機器と材質	144
a	ガス予冷装置	144
b	吸収装置	146
c	デミスタ	147
d	再生装置および副生品処理設備	147
4.2.4	白煙防止対策	147
4.2.5	各種方式	150
a	溶液吸収法	150
(i)	か性ソーダおよび亜硫酸塩溶液吸収法	
(i-1)	Na ₂ SO ₃ または Na ₂ SO ₄ 溶液を廃棄あるいは回収する方法	
(i-2)	結晶 Na ₂ SO ₄ または Na ₂ SO ₃ を回収する方法	
(i-3)	SO ₂ を回収する方法	
(i-4)	CaSO ₄ , CaSO ₃ を回収あるいは廃棄する方法	
(ii)	アンモニア溶液吸収法	
(ii-1)	硫安を回収する方法	

(ii-2) CaSO ₄ を回収する方法	
(ii-3) S を回収する方法	
(ii-4) SO ₂ を回収する方法	
(ii-5) 吸収液を廃棄する方法	
(iii) NaClO 溶液吸収法	
(iii-1) CaSO ₄ を回収する方法	
(iv) 稀硫酸吸収法	
(iv-1) CaSO ₄ を回収する方法	
(v) その他	
(v-1) S を回収する方法	
b スラリ吸収法.....	213
(i) CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ スラリを用いる方法	
(i-1) 石こうを副生品として回収する場合	
(i-2) 石こうを副生品として回収しない場合	
(ii) Mg 化合物を用いる方法	
c その他.....	239
(i) 湿式活性炭法	
4.3 いおう酸化物および窒素酸化物の同時除去法	243
4.3.1 吸収法	243
a NO 接触酸化法	244
b NO ₂ 添加法	244
4.3.2 非選択的還元法	246
4.3.3 選択的還元法	247
a アンモニアを用いる方法.....	247
4.4 経済性	248
4.4.1 概要	248
4.4.2 経済計算の方式	249
a 建設費.....	250
b 処理ガス量または使用燃料量.....	250
c 金利・償却.....	250
d 原材料費.....	251
e 労務費.....	251
f 保守費.....	251
g 副生品売却益.....	252
4.4.3 脱硫コスト	252
4.4.4 まとめ	252

5 ガス化脱硫

(宮島正郷・山田 剛)

5.1	燃料の低いおう化方法	253
5.2	減圧残油の非分解処理法	255
5.3	減圧残油の分解処理法	258
5.3.1	流動接触分解 (FCC)	258
5.3.2	ビスプレーキング	259
5.3.3	ディレードコーキング	260
5.3.4	フレキシコーキング	261
5.3.5	部分酸化法	263
5.4	まとめ	267

6 排煙脱硫装置設置状況および設置計画

6.1	調査対象	269
6.2	処理能力の推移	270
6.3	方式別設置予定状況	271
6.4	業種別設置予定状況	271
6.5	規模別方式別設置予定状況	272
6.6	規模別業種別設置予定状況	273
6.7	対象施設別方式別設置状況	274
6.8	業種別対象施設別設置状況	275
6.9	まとめ	276

付 録

1	低硫黄化対策等の見地からの天然ガス長期需給見通しに関する試算	282
2	燃料の低硫黄化の目標とその手段について	288
3	大気汚染に係る環境基準について	304
4	SNG	306
5	図 表	309
6	灯油・軽油・重油の規格, 各種重油の発熱量	330
7	量記号および単位記号	336
	低温度湿度図表・高温度湿度図表	巻末折込

索引	357
----------	-----

1. 大気汚染の現状

1.1 大気汚染の概況

大気汚染は工場、事業場の生産活動等に伴って、固定発生源から排出される物質、たとえば、いおう酸化物、ばいじん、有害ガス、重金属、粉じんなどと自動車等の移動発生源から排出される物質、たとえば一酸化炭素、炭化水素等の有害ガス、粉じんなどにより引き起こされ、さらにこれらにより2次的に生ずる物質、たとえば、オキシダント等がこれに加わる。

大気汚染現象はわが国が近代化を進めようとした明治時代に、すでに鉱山、セメントなどの粉じん問題においてその徴候が見られる。しかし、現在のように、全国的な規模で、かつ深刻な大気汚染が発生するにいたったのは、戦後、とくに、昭和30年代以降の急激な経済成長に伴うものである。また最近はいおう酸化物、ばいじんによる汚染の量的増大に加え、光化学スモッグ、重金属汚染などがクローズアップされ、質的にも従来になかった新しい様相をみせてきている。

このように、大気汚染が量的、質的に拡大してきた背景としては、わが国の経済が著しい急成長をたどり、産業および人口の都市集中が非常に早いテンポであったのに対して、生活環境に関連する社会資本の整備がこれに追いつかず、この経済活動の規模と生活環境関連社会資本ストックとの間に大きなギャップが生じたことがあげられる。

ちなみに平地面積当たりのGNPの推移を見ると、図1.1のように、わが国は、欧米諸国と比較しても、その値が著しく大きいことがわかる。すなわち、狭小な国土に、多数の産業と人口とが密集し、これが大気汚染につながったといえることができる。

昭和30年後半以降の経済成長は、鉄鋼、石油化学を中心とする重化学工業と、これらにエネルギーを供給する電力業、石油精製業の急激な伸長を背景にしているが、これらの工業

2 1 大気汚染の現状

はいわゆる素材型産業であり、多量の物質を処理加工するため、必然的に多量の汚染物質を排出する。また同時に装置型産業であるため、スケールメリットを得ようとして急速にユニットの増大が行なわれることおよびこれらの各産業がいわゆるコンビナートとして同一地域に集中して立地した一方、必ずしも防除対策がこれらの状況に対処し得なかったこともあって、各地域において大気汚染をひき起こした。

昭和30年以降の重化学工業化の推移は表1.1のとおりである。これらに伴うエネルギー消費量の伸びを、平地面積当たりで、諸外国と比較すると、図1.2のとおり、昭和35年までは、西ドイツ、イギリスとほぼ同じ程度の値であったが、昭和40年以降急激に増大していることがわかる。

これらの産業の重化学工業化と平行して、東京、大阪、名古屋などの大都市に、著しい

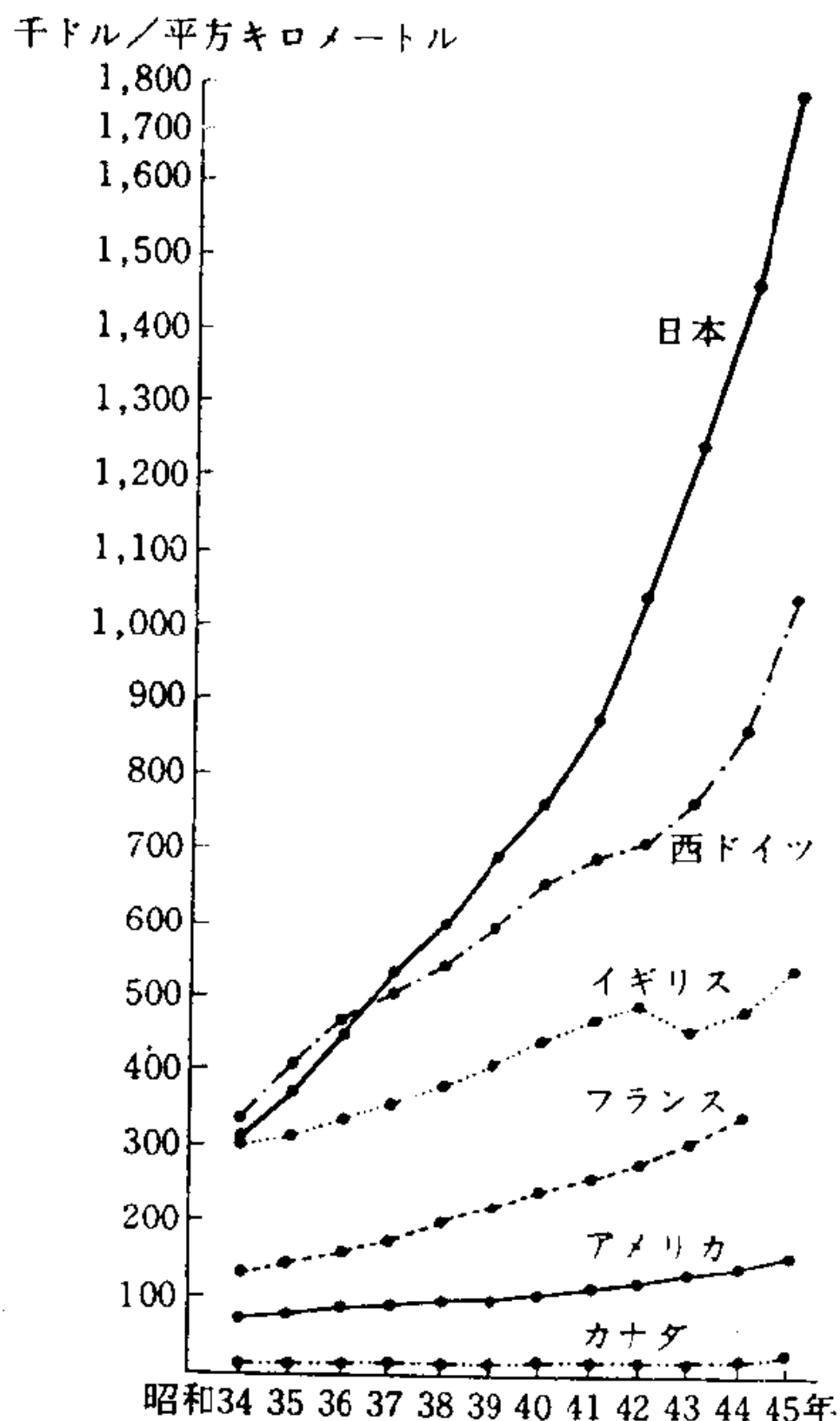


図 1.1 平地面積当り GNP の推移 (47年度環境白書による)

表 1.1 重化学工業化の推移

年 度	30	35	40	45
1. 重油消費量 (千kl)	6,300	19,484	49,830	109,626
2. 石油精製設備 (蒸留設備 千BPSD)	283	773	2,058	3,320
3. 火力発電設備 (電気事業者分 千万KW)	4,137 (内重油火力 147)	8,843 (397)	21,162 (9,353)	38,710 (22,739)
石油化学工業生産額(百万円) 4. 石油化学生産量 (エチレン換算 万トン)	—	57,000	292,473	1,006,267
5. 鉄鋼生産量 (粗鋼 万トン)	979	2,316	4,130	8,854

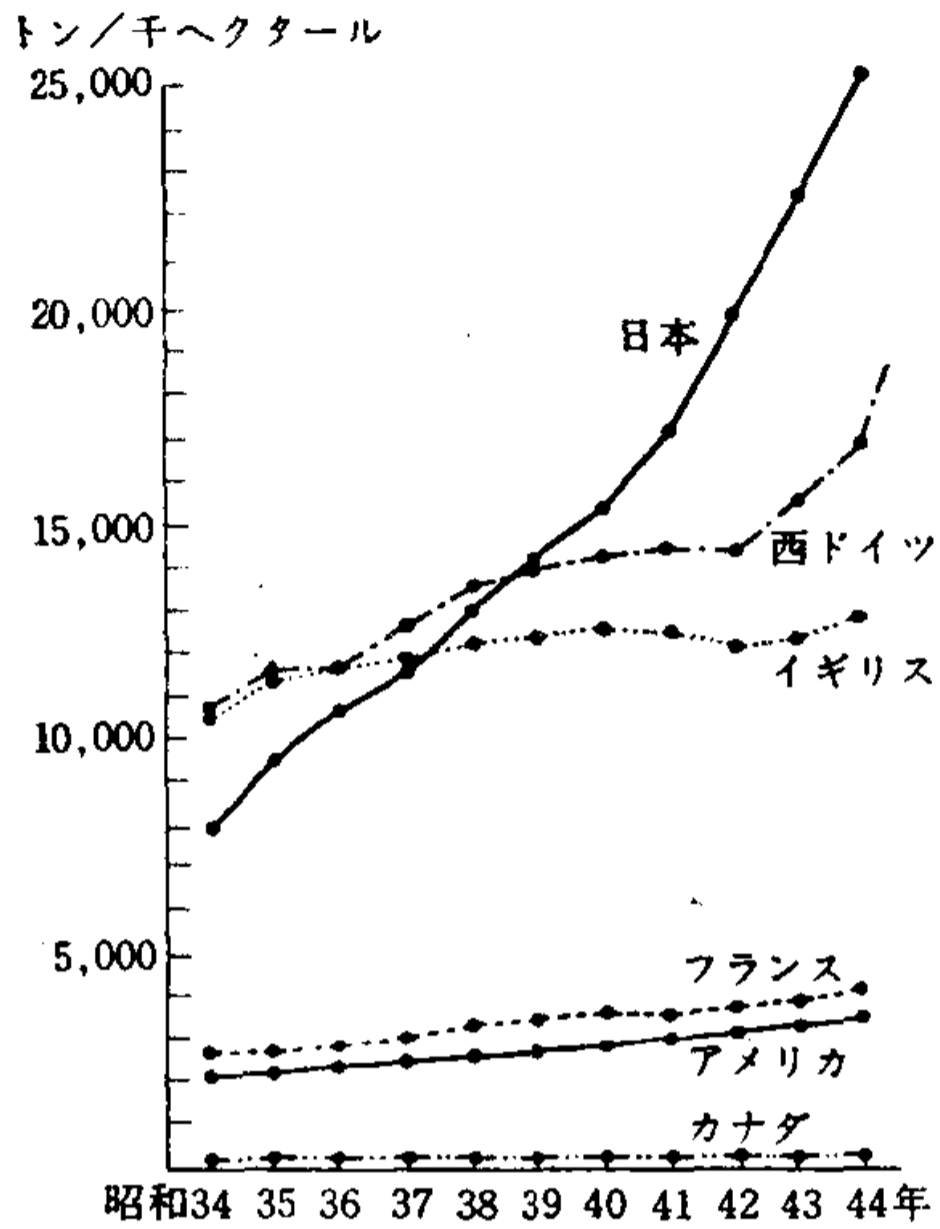


図 1.2 平地面積当りエネルギー消費量の推移 (47年度環境白書による)

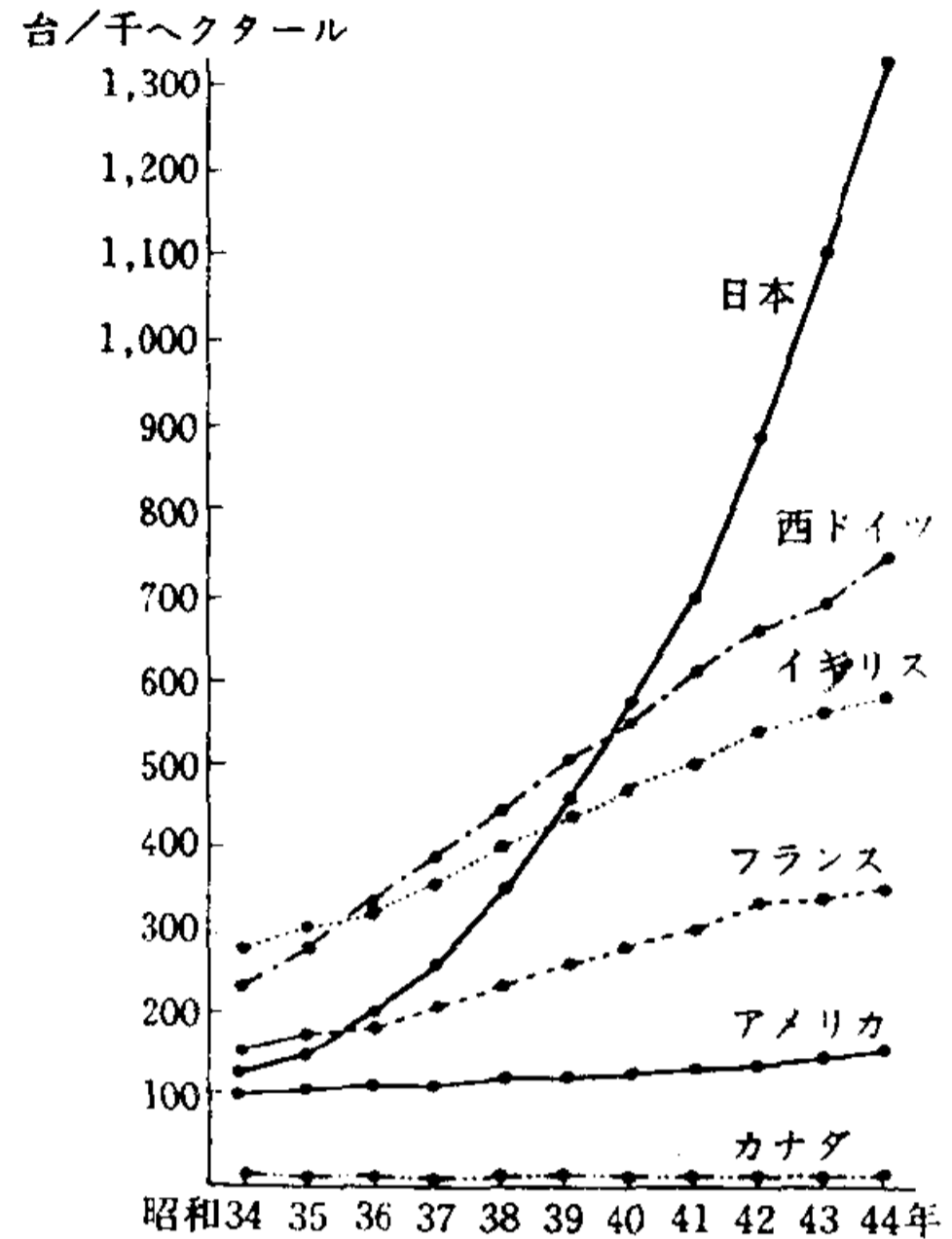


図 1.3 平地面積当り自動車保有台数 (47年度環境白書による)

人口の集中が進んだ。このことは、国民生活水準の向上ともあいまって、これらの大都市におけるビル暖房施設などの増加、自動車保有台数の急増を招き、いわゆる都市公害型の大気汚染現象を生ぜしめるにいたった。これらの地域においては重化学工業による汚染、多数立地する中小工場による汚染の複合に、ビル暖房施設、自動車等による汚染が重合し、広範囲の地域にわたって、複雑、かつ高濃度の汚染状況を呈している。

都市型大気汚染源として現在もっとも問題となっている自動車について、平地面積当たりの保有台数を各国と比較してみると、図 1.3 のとおり、昭和40年を境にして、欧米各国の水準を追い越して、それ以降は急激に上昇してきたことがわかる。

1.2 いおう酸化物による大気汚染の現状

いおう酸化物はその大部分が物の燃焼に伴って発生しており、とくに燃料としての重油の中に含まれているいおう分が燃焼して発生する。

全国的に、昭和40年頃から汚染が著しくなり、43~44年にはピークに達した。しかし、