



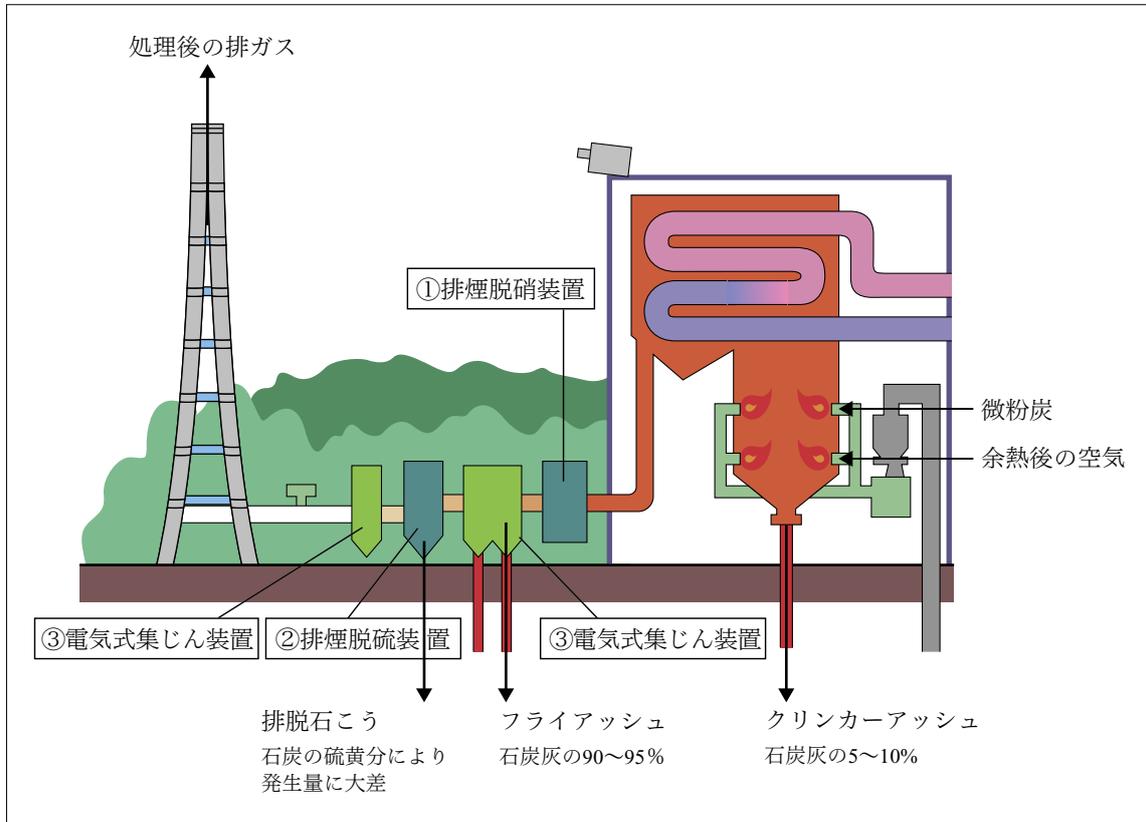
日本と中国における火力発電所の石炭灰と石膏の処理と有効利用

土田 茂 〈電源開発株式会社 茅ヶ崎研究所〉

1. はじめに——石炭火力発電の仕組み——
2. 日本と中国における発電事情
3. 中国における都市問題（大気汚染など）
4. 日本と中国における脱硫と副産物の利用
——山西太原第一熱電廠における簡易型脱硫方式の実証試験を事例として——
5. 日本と中国における脱硝について
6. 日本と中国における石炭灰の利用

1. はじめに——石炭火力発電の仕組み——

1) 大気汚染防止対策



【図1】石炭火力発電所の環境対策（中部電力碧南火力発電所の例）

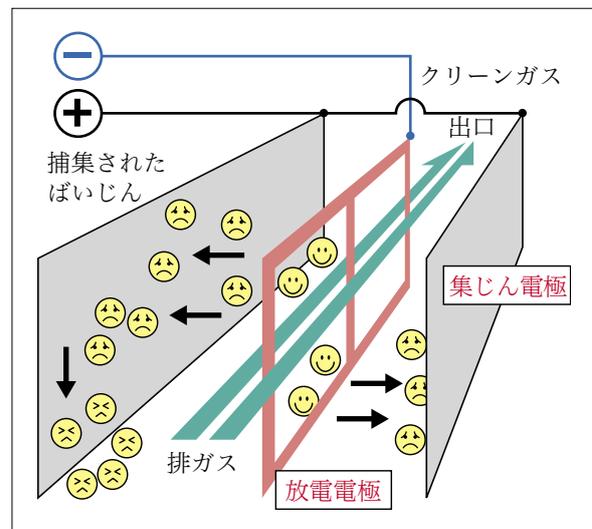
2) 電気集塵器（ばい塵防止）

……集塵効率99%以上

排ガス中に浮遊したフライアッシュがマイナスに帯電していることを利用して、正極側に静電吸引着させて除塵する。（図2、写真1）



【写真1】



【図2】

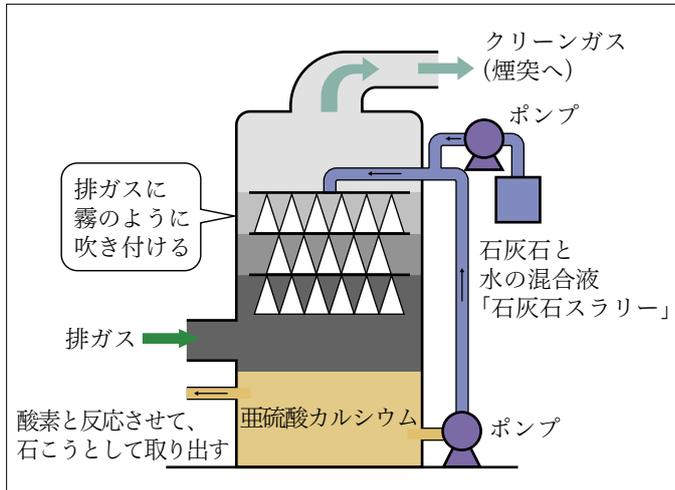
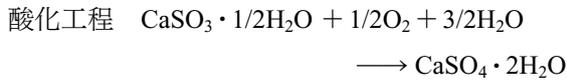
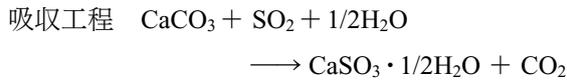
3) 硫黄酸化物 (SO_x) 抑制策

- ・低硫黄含有炭の使用
- ・排煙脱硫装置 (石灰石・石こう法)

……脱硫効率90%以上

排ガスに炭カル (CaCO₃) のスラリーを噴霧して、亜硫酸ガス (SO₂) を吸着させ亜硫酸カルシウム (CaSO₃・1/2H₂O) を生成、さらに酸化した後脱水して石こう (CaSO₄・2H₂O) を回収する。

(図3、写真2)



【図3】

4) 窒素酸化物 (NO_x) 抑制策

- ・低バーナーNO_xの使用
- ・燃焼方法の調整

(所要の空気量を2段階投入、排ガスの一部を燃焼ガスに循環、など)

- ・排煙脱硝装置

(アンモニアによる選択接触還元法)

……脱硝効率90%以上

排ガス中のNO_xを還元剤としてのNH₃を触媒上で反応させ、無害な窒素ガスと水に分解する。

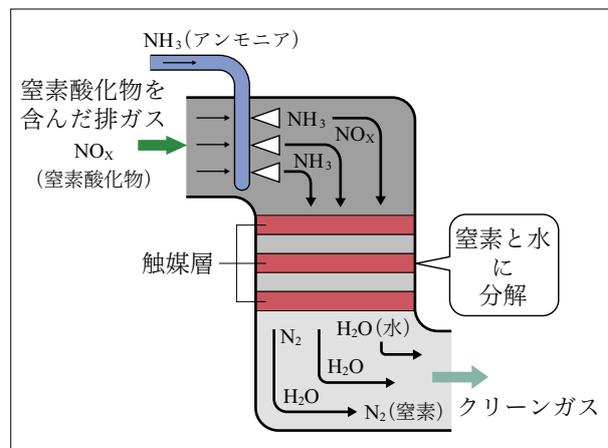
(図4、写真3)



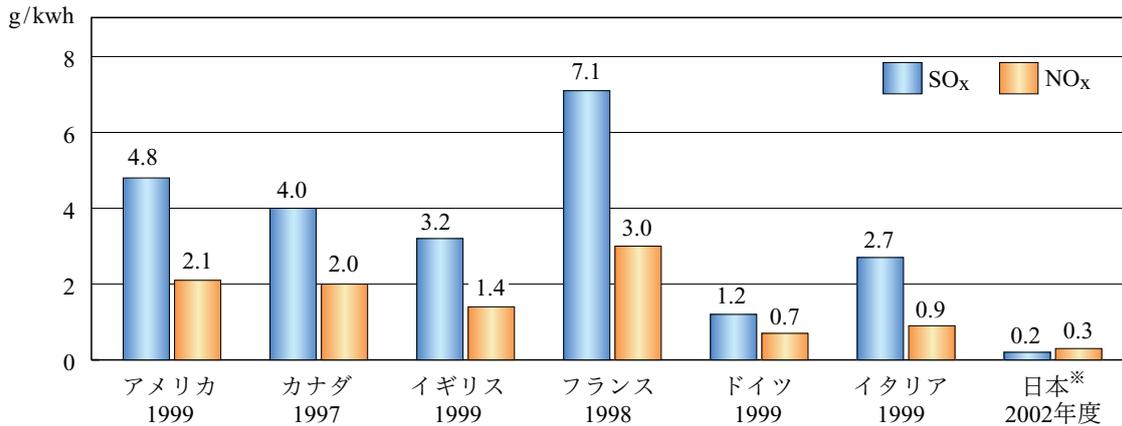
【写真2】



【写真3】



【図4】



【図4-2】 単位発電量当り排出量の国際比較

2. 日本と中国における発電事情

2-1 中国における経済成長

中国は12億6583万人（外務省資料：2000年11月現在）の人口を擁し、2002年11月の第16期中国共産党総会において2020年度までにGDPを2000年度の4倍増にする目標を設定（年平均成長率7.2%に相当）するなど、目覚ましい経済成長を遂げている。

そのため、中国における資源やエネルギーの需要は急進しており、昨年来原材料の国際価格を大きく押し上げる要因になっている。のみならず、臨海地帯を中心とした急激な経済成長は地域差や貧富の差を拡大し、さらには公害や過密など深刻な都市問題も招来している。電力不足や停電は経済成長の制約要因に至っており、すでに2004年6月11日、全国の日電力使用量は59億6700万kWhの過去最大に達した。

【表1】 世界主要国のGDP推移（米ドル換算）

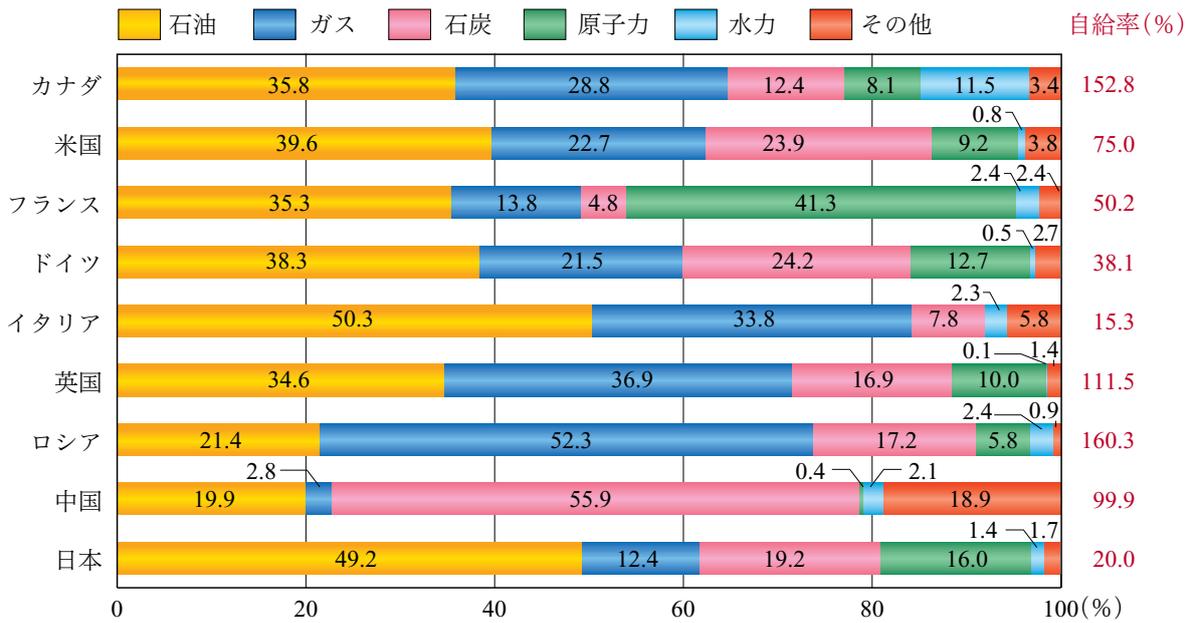
国（地域）	国内総生産（10億米ドル）				1人当たり（米ドル）			
	1995	2000	2001	2002	1995	2000	2001	2002
日本	5,298	4,745	4,162	3,983	42,233	37,408	32,745	31,277
アメリカ合衆国	7,401	9,825	10,082	10,446	27,414	34,472	35,005	35,891
中国	701	1,079	1,191	1,237	575	846	927	955
ドイツ	2,458	1,870	1,853	1,984	30,104	22,731	22,507	24,075
フランス	1,555	1,308	1,320	1,431	26,739	22,064	22,170	23,913
イギリス	1,135	1,441	1,430	1,567	19,675	24,552	24,288	26,524
イタリア	1,097	1,075	1,092	1,184	19,149	18,678	18,981	20,601

International Monetary Fund, *International Financial Statistics Yearbook 2003*

2-2 主要国との比較における中国の一次エネルギー消費量の増進

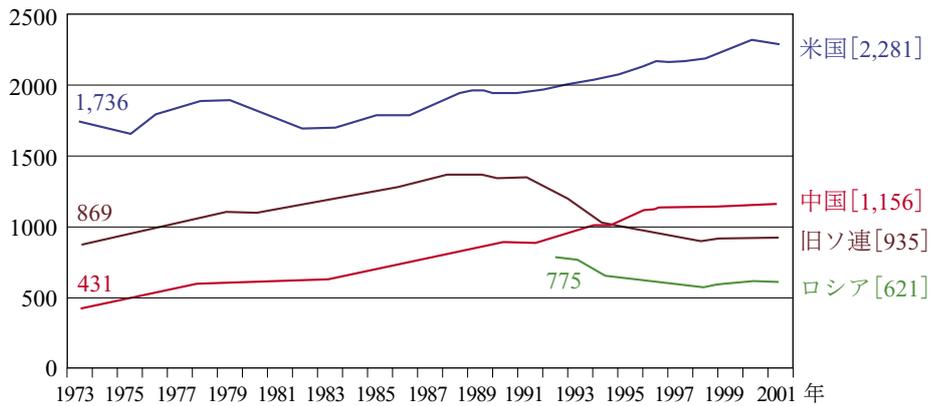
- ・石油への依存度の高い国が多い。
- ・他にはカナダで水力、中国で石炭、ロシアで天然ガス、フランスで原子力の比率が高い。
- ・主要国の一次エネルギー消費量は年々伸び続け

- ているが、欧州各国では比較的緩やかな伸びであるのに対し、米国・日本では1980年代後半以降伸び率が大きくなった。
- ・特に伸びているのは中国で、過去30年間で消費量が2倍以上に増大。
- ・ドイツでは、1990年の東西ドイツ統一後消費

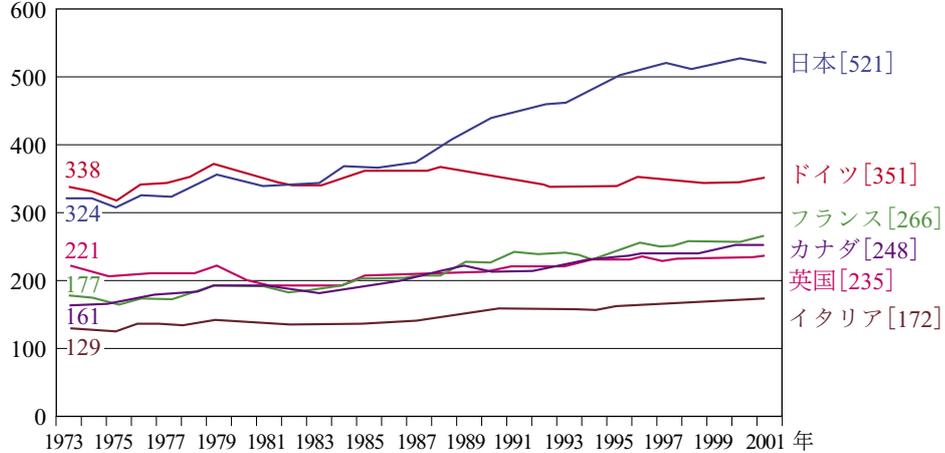


【図5】主要国の1次エネルギー消費構成と自給率（2001年）（出典：OECD/IEA）

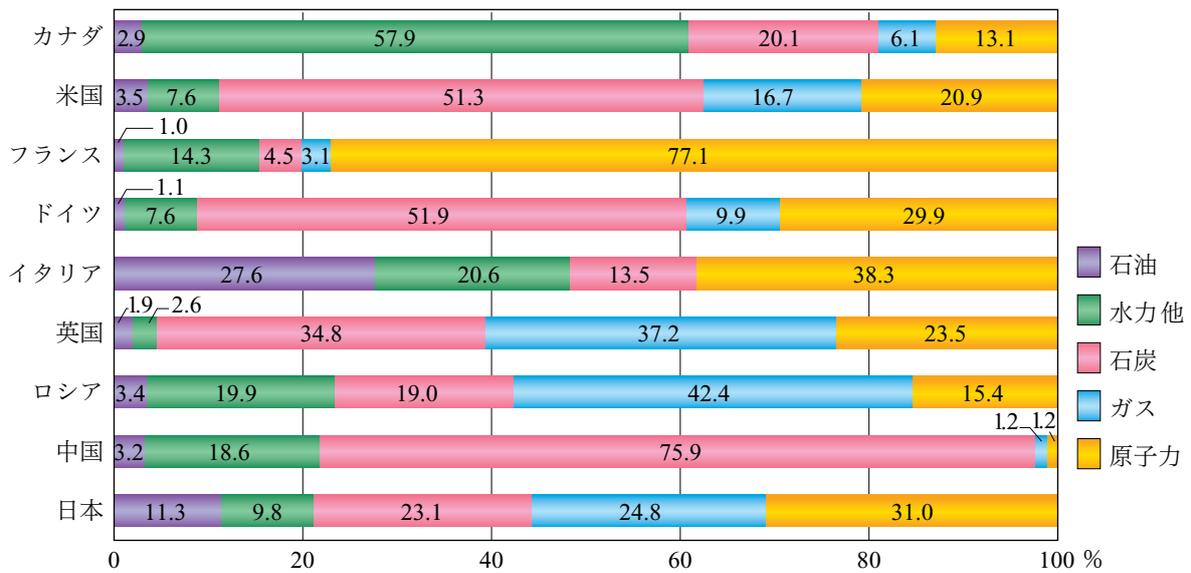
100万石油換算(トン)



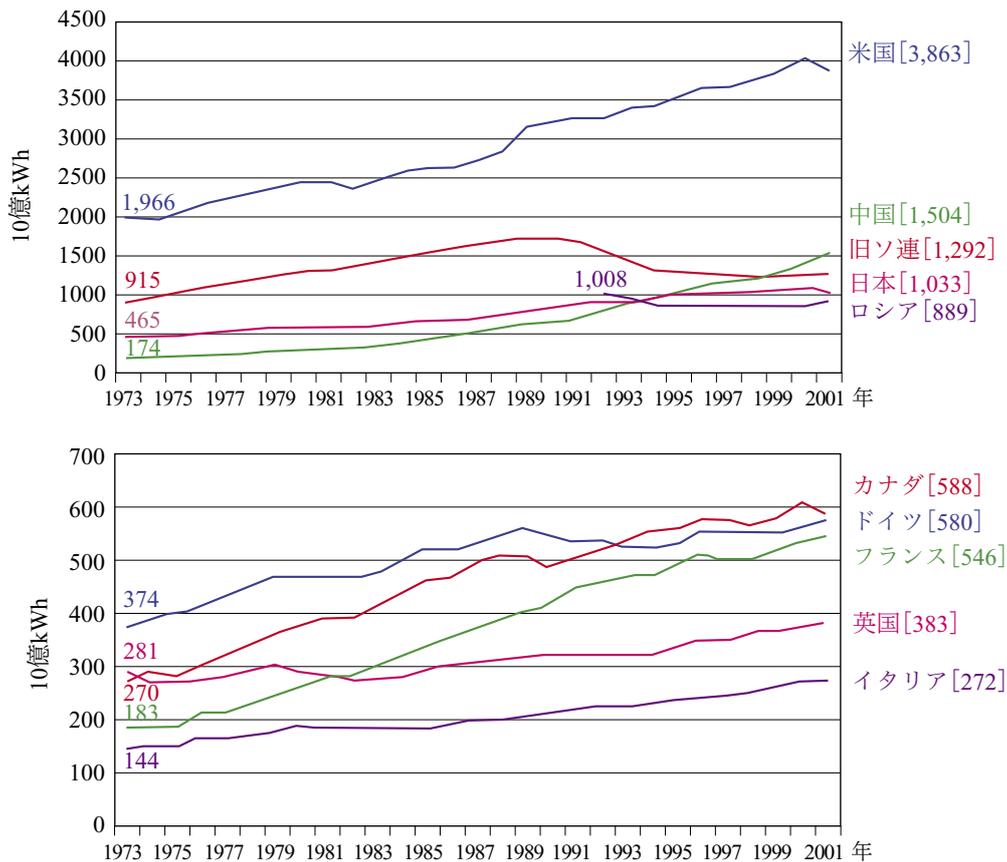
100万石油換算(トン)



【図6】主要国の1次エネルギー消費量の推移（出典：OECD/IEA）



【図7】主要国の発電電力量の電源構成（2001年）（出典：OECD/IEA）



【図8】主要国の発電電力量の推移（出典：OECD/IEA）

量は伸び悩み。

- ・旧ソ連では連邦の崩壊後消費量は低下を続け、現在は70年代初めの水準にまで落ち込んでい

るが、1999年以降再び上昇に転じた。

中国は世界有数のエネルギー資源国で、かつ米国に次ぐ世界第二のエネルギー・電力消費国でも

ある。特に近年のエネルギー・電力消費の伸びは目覚ましい。1990年代後半は消費量が横ばいとなったが、2000年から再び増加に転じた。この消費を賄うエネルギーの中心は石炭で、エネルギー消費の56%をカバーしており、この石炭と石油によって2001年のエネルギー自給率はほぼ100%を達成している。しかし、近年、石油消費の増大により、石油輸入量も増大傾向にあり、自給率は今後、低下することが予想される。

2-3 主要国との比較における中国の電力消費量の増進

- ・一次エネルギー同様、各国の主要電源はその国の特性を反映して様々な構成である。
- ・石炭資源の多いドイツ、中国などでは、石炭火力による発電が大きなシェア。
- ・カナダでは水力による発電が、フランスでは原子力による発電が大きなシェア。
- ・多くの国でガス火力による発電量が増大する傾向にあり、とくに英国やロシアで顕著。

国別の電力量の推移は以下の通り。

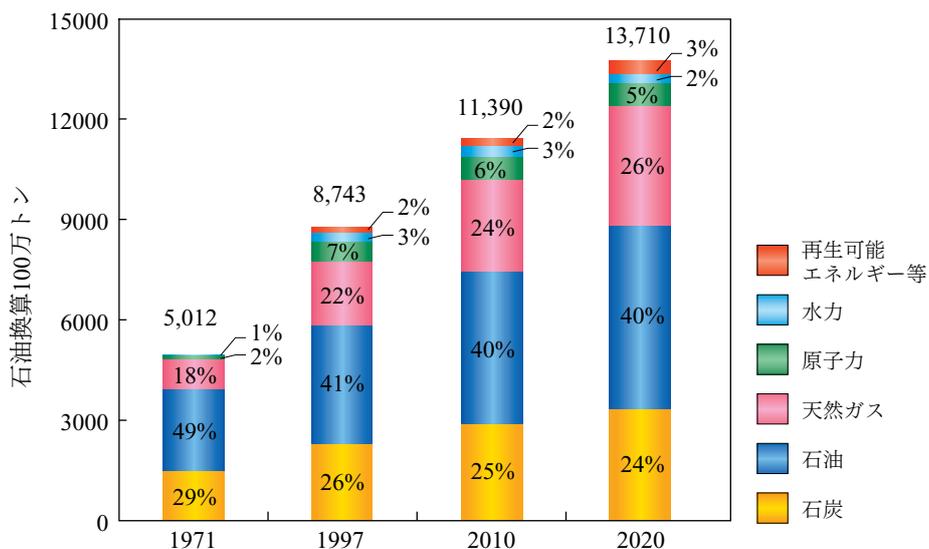
- ・一次エネルギー消費同様、多くの国で発電電力量は年々伸長。

- ・米国の2001年の発電電力量は日本の約3.7倍の水準。
- ・経済成長の著しい中国では、過去30年の間に発電電力量が約8倍に増大。
- ・旧ソ連では、連邦崩壊以降の経済の低迷で発電電力量は低下を続けてきたが、1999年より反転、ドイツも1990年の統一後、一時的に低下したが、その後上昇に転じた。
- ・フランス・カナダは原子力開発・水力開発の寄与で電力量を大きく伸ばし、一部を輸出。

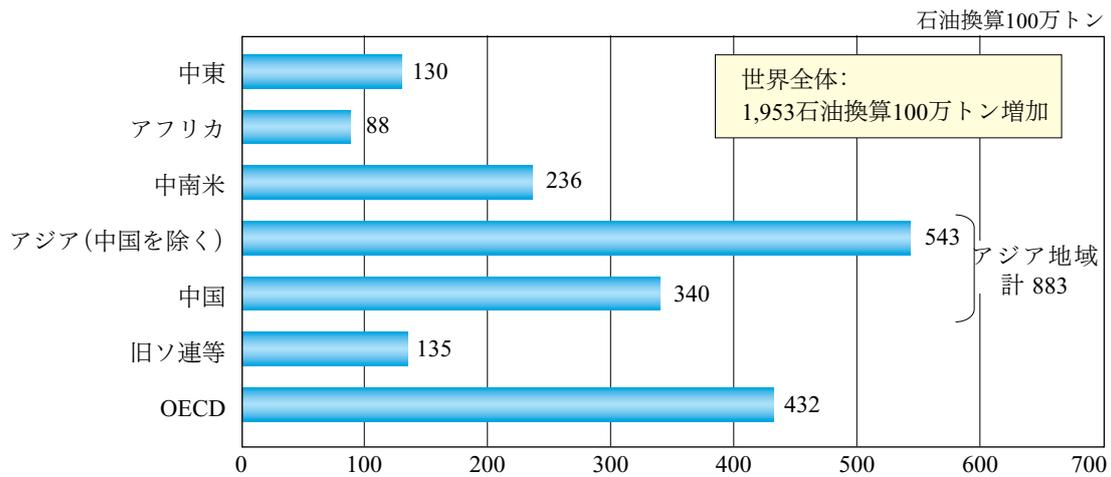
中国の電力消費は、約1兆6,500億kWh（2002年）でこの10年間で2倍超となった。この電力消費に応える発電設備は、2000年末現在約3億5,300万kWと米国に次いで世界第二位の規模を誇る。主力燃料はやはり石炭で、発電電力量の76%は石炭火力による。

2-4 今後の一次エネルギー構成の見通し

- ・世界のエネルギー需要動向を燃料別に見ると、天然ガスのシェアが97年の22%から2020年には26%に増大することが見込まれる反面、石油、石炭のシェアは微減。
- ・上記のようなシェアの変動はあるものの、世界

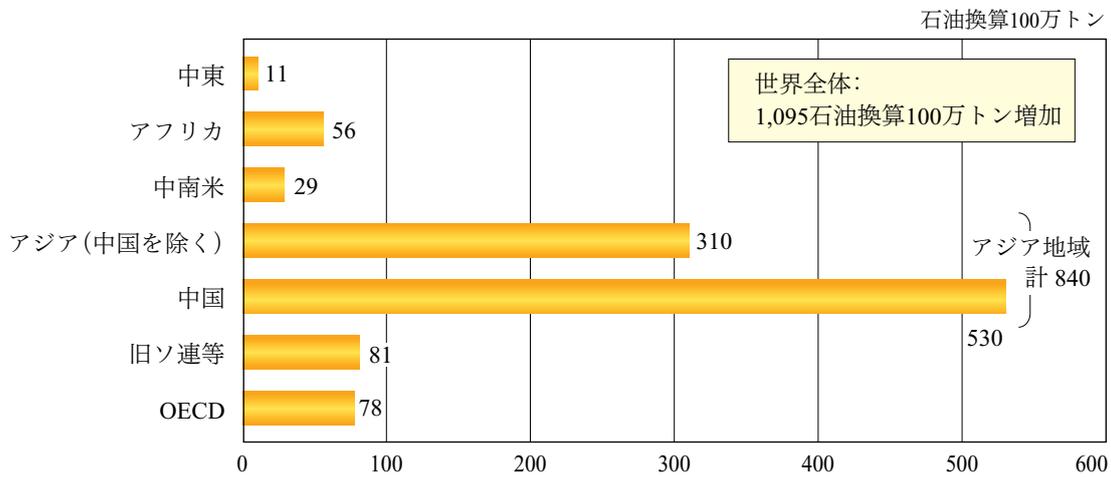


【図9】世界の燃料別エネルギー需要の推移と見通し
出所) IEA/World Energy Outlook 2000



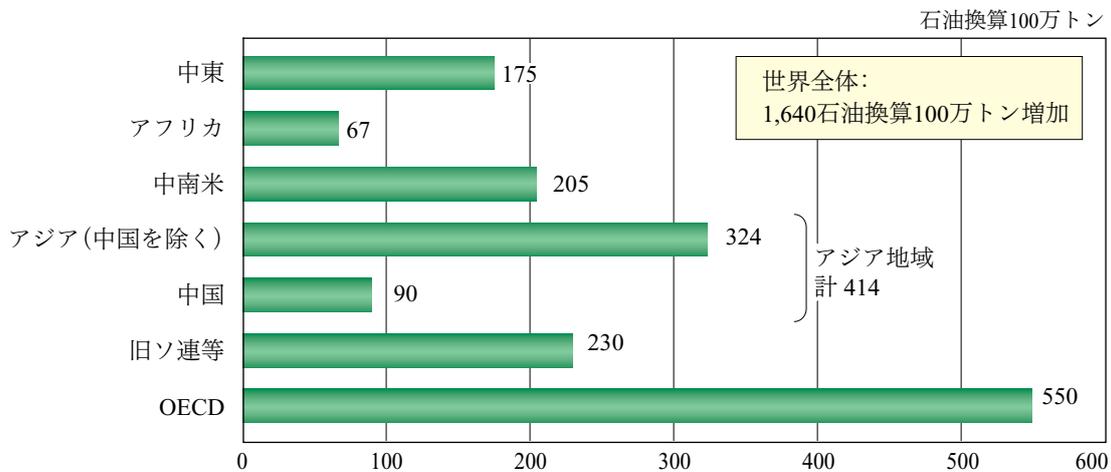
【図10】 世界各地域における石油需要の伸び (1997～2020年)

注) アジア：韓国、台湾、アセアン、インド等 出所) IEA/World Energy Outlook 2000



【図11】 世界各地域における石炭需要の伸び (1997～2020年)

注) アジア：韓国、台湾、アセアン、インド等 出所) IEA/World Energy Outlook 2000



【図12】 世界各地域における天然ガス需要の伸び (1997～2020年)

注) アジア：韓国、台湾、アセアン、インド等 出所) IEA/World Energy Outlook 2000

のエネルギー需要量全体の増大を背景に、石油、石炭、天然ガスの化石燃料の消費はいずれも増大。その反面で、水力・原子力・再生可能エネルギーのシェアは伸び悩み。

- ・環境への配慮から、OECD 各国では天然ガスの伸びが著しく、同時期の世界全体の伸びの1/3を占める。
- ・アジア地域のシェアにおける1997年～2020年にかけてのエネルギー需要の伸びは目覚しく、石油、石炭、天然ガス消費の増分に占める割合はそれぞれ45%、77%、25%。中でも中国は17%、48%、14%を占める予想。
- ・中国では1997年から2020年までの化石エネルギー量増分の55%を、石炭が占める予想。三峡（工事期間1994～2009）に代表される大規模水力開発を行い、100万kWクラスの原子炉をたて続けに増設し、環境負荷の小さい天然ガスの導入にも前向きで、事実一次エネルギーに占める石炭依存度は1990年の76.2%から2000年の66.1%まで経年的に低下傾向にある（出典：中国能源統計年鑑）。しかし、2001年で一次エネルギーの56%を占めている石炭が、今後20年間も主要なエネルギーソースである事情は変わらないであろう。

※なお、上記見通しは、2020年における中国の石油依存度が3割弱であることを想定しているが、環境配慮により脱石炭化が進むと、石油消費の伸び及びそれらに占めるアジアのシェアは更に拡大する見込み。

（参考：ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES）

2-5 今後のエネルギー政策の方針と目標（第十次5ヵ年計画：2001～2005年）

①経済構造の調整

エネルギー面ではインフラの整備に2001年内に着手

- ・「西電東送」 西の電力を東に送電……東西の需給ミスマッチを解消

東部の北京・広東・上海等7省市だけで全国電力消費量の4割を占めるが、エネルギー資源が乏しく小型火力で対応するも経済性に劣り環境破壊を助長

西部には開発可能水力資源2.74億kW（全国の72%）、石炭賦存量3882億t（全国の39%）、天然ガス26億m³（全国の86%）に恵まれるが、低開発

- ・「西気東輸」 西の天然ガスを東に輸送
- ・「南水北調」 南の水を北に送る
- ・建設の重点を西部地区に移し、西部大開発の目玉「青蔵鉄道」（青海省～チベット）

■2000年の電力消費量が11.36%伸長

（Cf: 1995～2000平均6.38%）で電力不足露呈

要因

- ・景気回復、家電用消費の伸び、電気料金低廉化、広域融通送電線網の不備
- ・大消費地の東部には小型火力が主で、経済性に劣り、消費の急増にも対応難
- ・旱魃による東部沿岸部、内陸部の水力発電の稼働率の低下

その結果

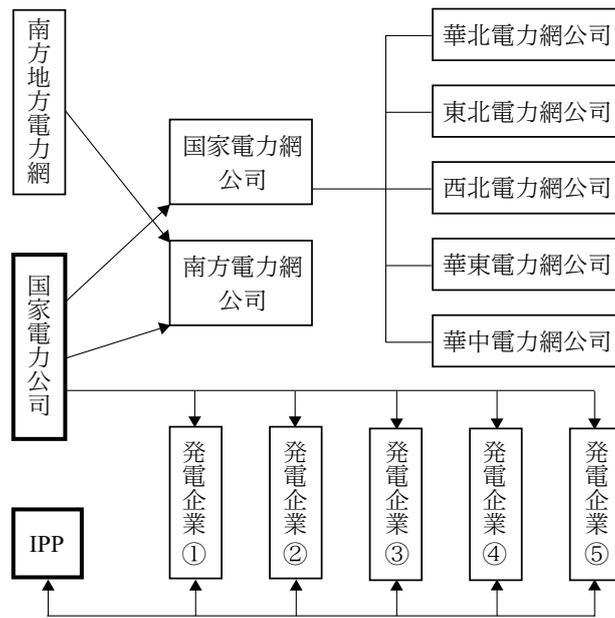
- ・需給逼迫で2003年夏季には中国の過半を超える18省市で供給制限
- ・18のうち9省市（浙江、広東等）ではピーク時に限らず慢性的電力不足
- ・残りの9省市（上海、福建等）ではピーク時に電力不足

②改革開放の推進・拡大、生産向上を制約する体制上の要因を除去、市場経済への転換

- ・国有企業の上場、中外合弁、株式化などによる体制改革の徹底
- ・電力、鉄道、航空、通信などの管理体制改革を推進し、市場メカニズムを導入

■電気事業の再編：管理・経営機能を分離

- 1) 政府による上意下達的一元的管理（行政管理機能と企業経営機能が一体化）
→増大する電力消費に対応した効率的な経



【図13】 発送電分離（2002年12月以降）

出所）中国電力報各号より作成

営を阻害

- 2) 80年代半ば以降、これら二つの機能を分離する「政企分離」改革推進
- 3) 1998年、政府中央官庁である電力工業部廃止

- ・ 企業経営機能は国家電力公司（1997年設立）に
- ・ 行政管理機能は国家経済貿易委員会に

- 4) 国家レベルに続き、地方レベルでも「政企分離」改革

省、自治区など地方レベルの電力公司是国家電力公司の子会社として、発電・送電・配電を一貫して運営する企業体へと再編

■さらに発電部門と送電部門を分離

- 1) 2002年12月には発電部門と送電部門の分割
- 2) これまで国家電力公司が所有していた
 - ・ 発電資産は、その他の独立系発電所（IPP）とともに5社の発電会社に
 - ・ 送電資産は、南北二つの送電会社へと再編成
- 3) 2003年11月までに国家電力網公司の下に5つの広域電力網公司が設立

■卸電力市場の自由化を計画

電力自由化に向けた準備として、まず卸電力市場への競争導入を計画（2003年6月に他地域に先駆けて東北地域で卸電力取引市場の導入試験を実施）

③国民生活水準の向上と格差是正

④経済発展と社会発展を結びつけて促進

[出典] 海外諸国の電気事情 第一編 第18章（2003年、海外電力調査会）

2-6 中国の石炭生産や消費に関する近年の特記事項

①90年代後半の停滞

97年以降、アジア金融危機と経済の構造調整によって、需要が急減し供給過剰状態に。

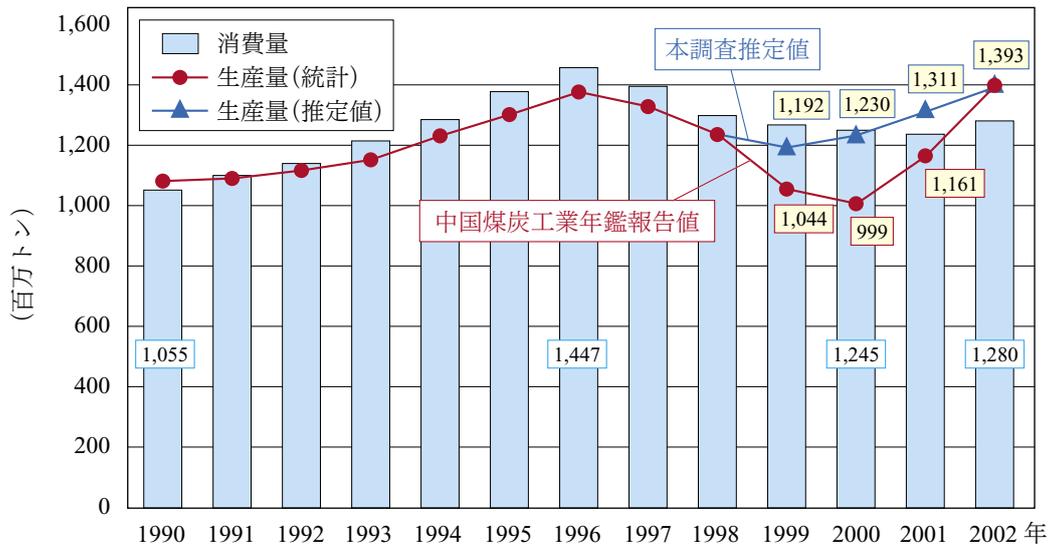
→産炭効率・安全性に劣る小規模の郷鎮炭鉱を強制閉鎖して生産調整、輸出増で対応

→一方では、生産見通しの読み違いや長年の炭鉱に対する投資低迷の問題も指摘

データの信頼性は国内外から疑問の声

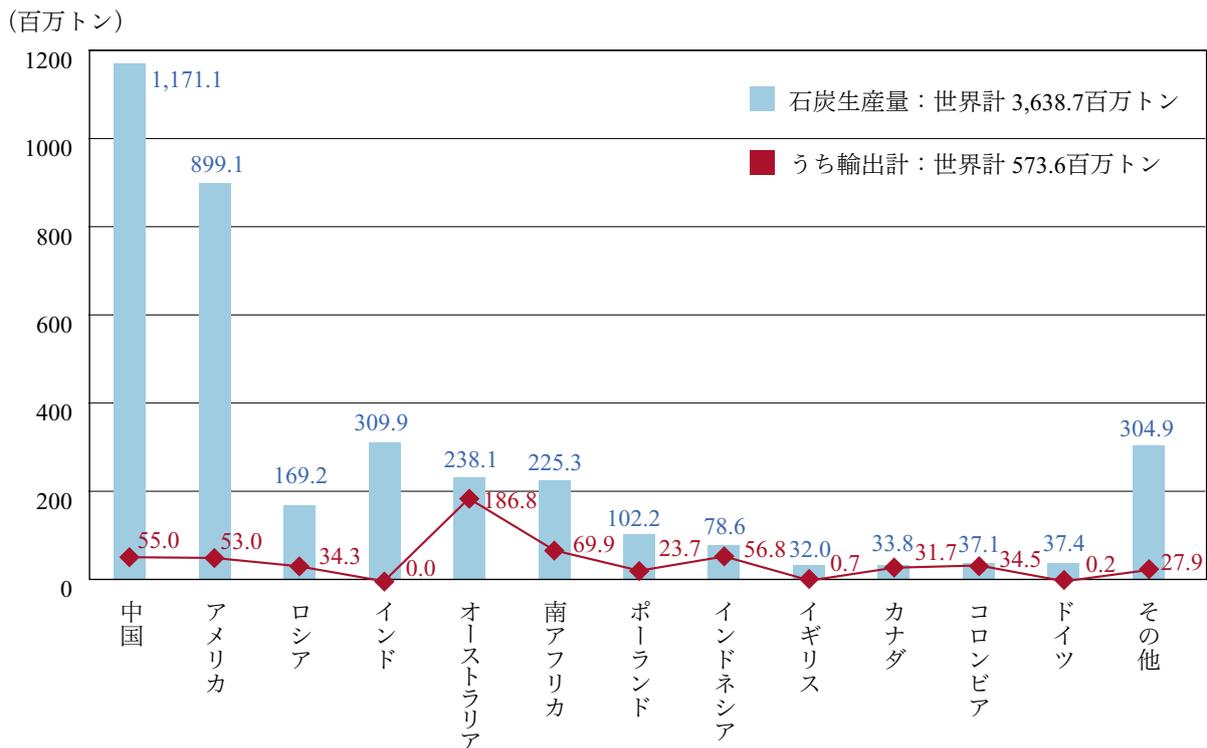
事実、今年に入り逆に石炭の輸出制限を行って市場の波乱要因になっている

むしろ国有炭鉱の供給不全を個人・郷鎮炭鉱が



【図14】 1990年代後半の石炭生産調整

出所) 生産量は煤炭工業年鑑および本調査結果、消費量は中国統計年鑑より作成。
2001年、2002年の生産量は速報値、2001年、2002年の消費量は推定値。

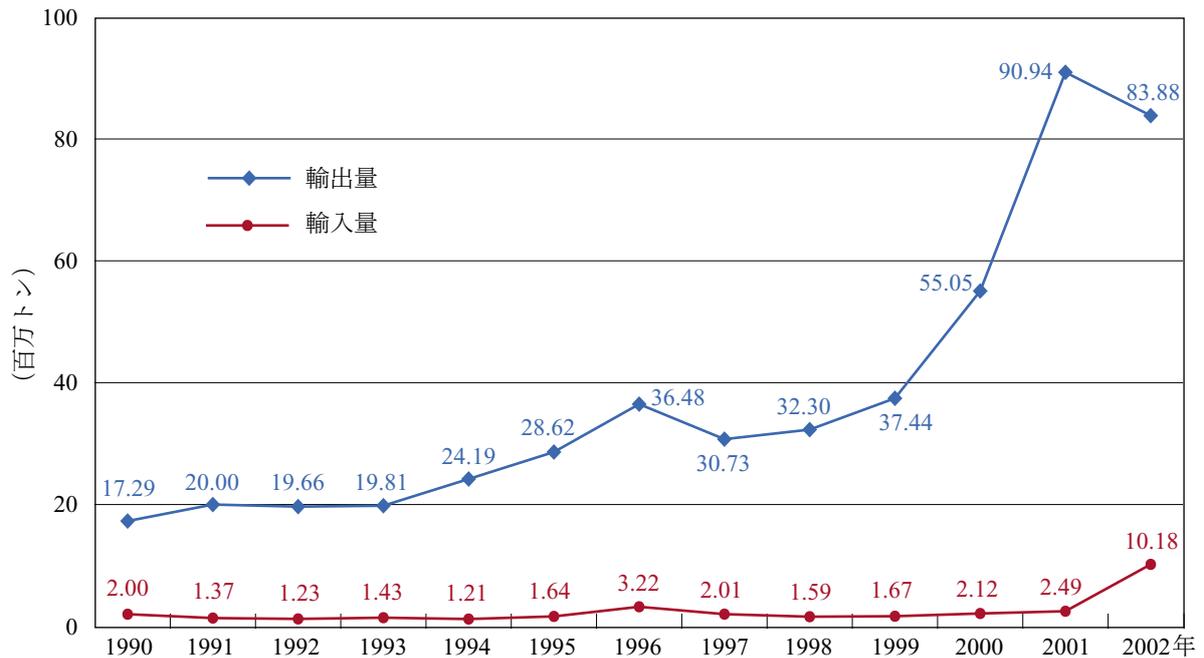


【図15】 主要産炭国の生産量と輸出量 (2000年)

出所) IEA Coal Information 2001 (data 2000)

- クッションとなって補った側面も
- ②国際石炭市場で拡大する中国のプレゼンス (生産量)
- ・世界の石炭生産量は約36億トン (2000年)

- ・世界第一の石炭生産国は中国で全体の約30%を生産
- ・いずれの主要産炭国でも自国内での消費が多く、輸出量は生産量の約15%程度



【図16】 中国の石炭輸出入量
出所) 中国統計出版社「中国能源統計年鑑」および「中国海関統計」

(輸出量)

- ・世界の石炭輸出量(貿易量)は約5.7億トン(2000年)
- ・世界第一の輸出国は豪州で、全体の約33%を輸出
- ・2001年に中国の輸出量は9000万トンに急進して世界第二の輸出国に(図16)
- ・中国の2003年の輸出実績は9400万トンだったが、2004年は国内のエネルギー需要が急増し輸出余力が乏しくなってきたため、一転して減少に転じ石炭輸出枠を昨年実績比15%少ない8000万トンにただけではなく、輸出企業への輸出権の発給も抑制
- ・この影響で、わが国では、火力発電所で使う発電用石炭(一般炭)の2004年度輸入価格交渉が前年度比最大7割高と異例の大幅引き上げで決着。中国の内需拡大に伴う輸出余力低下などで国際価格が急騰したのが主因
- ・中部電力など電力各社がオーストラリアなど海外の鉱山会社と進めていた発電用石炭の価格交

渉は、豪州産の代表品種で1トン40-45米ドル(海上運賃を除く)の水準でほぼ決着。3年ぶりの値上げ受け入れとなった。前年度の26.75米ドルの5-7割高で上げ幅が10ドルを超えるのは異例

- ・同国の高度成長がもたらした素材インフレが電力市場にも波及し、自由化で期待される料金引き下げが進まない公算も
- ・元来国内消費の比率が高い中国では、国内景気によって輸出量が大きく影響を受ける懸念が内在。輸送インフラの不備も相俟って将来の波乱要因に

[出典]

海外諸国の電気事情 第一編 第18章(2003年、海外電力調査会)
張継偉「注目すべき最近の中国石炭産業の動向」IEEJ 2003.4
佐川、福島ほか「中国における石炭需給の見通しと石炭輸送問題」IEEJ 2003.7
日経ニュース04.04.17、Yahooメッセージ2004/4/17 など

3. 中国における都市問題（大気汚染など）

中国の1次エネルギー消費量の推計は、1990年のGDPおよび1次エネルギー消費量データによれば中国の1990年の1次エネルギー消費原単位は373 Toe/百万元（1947 Toe/百万\$に相当）であり、同時期の米国の391 Toe/百万\$、日本の150 Toe/百万\$と比べてはるかに高い。その原因として、製造業を中心とした産業構造やエネルギー利用技術レベルの低さによるエネルギー効率の悪さなどが考えられる。従って産業構造の転換、エネルギー利用技術の開発や技術移転、省エネルギーの促進などによって、1次エネルギー消費原単位を先進国の1990年レベルまで下げる可能性が十分あると思われる。2020年までは、中国のエネルギー消費量が増加し続け2022年以降は減少に転じる。その原因として2020年以降はGDPの成長率が低下し、エネルギー消費原単位の低下率（省エネルギー率）が3.64%で一定であるためと考えられる。

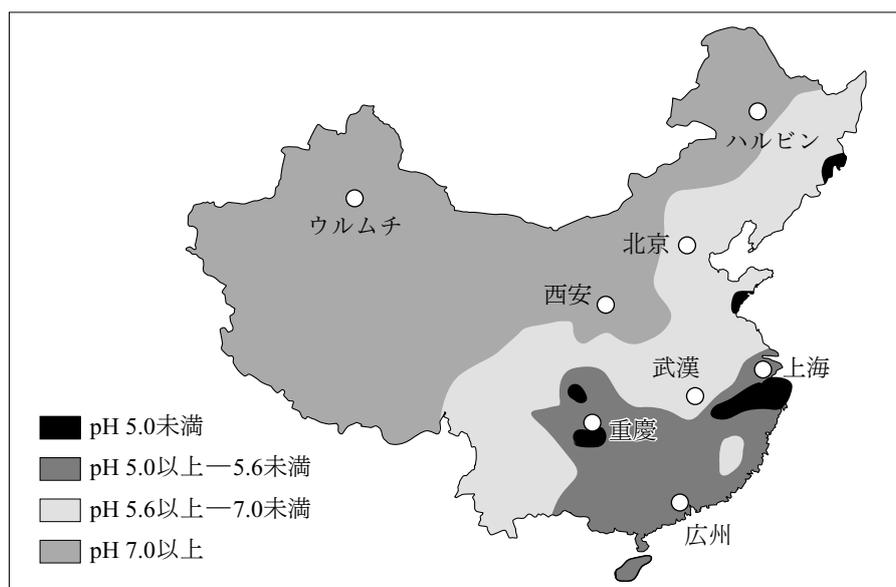
また、火力発電所の平均容量は5万kWを下回っており、こうした小規模火力が多いことも環境悪化の一因である。

中国政府の環境投資は1998年以降急増しており、従来GDPの0.6%程度から1999年には1.0%にあたる823億元（約1.2兆円）に到達した。今後の成長に伴う環境投資に加え、過去に回避した環境投資にも対応せざるを得ないことから今後20年以上は増加トレンドと見られる。環境対策として経済成長の原動力となっている沿海都市部の生活環境に密接な下水道プロジェクト、ゴミ処理、自動車排ガス規制などを先行させているため、内陸部の重厚長大型の国有企業には手が回っておらず、重慶などの内陸都市の大気汚染は特に激しい。

3-1 大気汚染

世界保健機構（WHO）が1999年に発表したところでは、大気汚染が最も深刻な10都市のうち7都市が中国の都市であった。

大気汚染は都市部に集中している。中国の現状、特に電力について考察すると、発電設備容量は2010年には現在の約2倍の5億kWに達し、この増設分の約70%は石炭火力を予定している。酸性雨の抜本対策となる石炭火力発電所への脱硫装置の設置や、天然ガスへの転換のペースも緩慢な



【図17】中国の酸性雨分布（1999年）

【表2】主要汚染物質放出量の実績と目標

年	SO ₂ (万 t)	ばい塵 (万 t)	粉塵 (万 t)	COD (万 t)	鉛 (t)	固形廃棄物 (万 t)
1995実績	2370	1744	1731	2233	1700	6172
2000実績	1995	1165	1092	1445	655	3186
	工 1612	工 953		工 705		
	生 383	生 212		生 740		
対1995削減率 (%)	15.8	33.2	36.9	35.3	61.5	48.4
2005目標	1800	2000		1300		2900
対2000削減率 (%)	9.8	11.4		10.0		9.0

出典：中国能源発展報告 2000年実績の上段：総量、中段：工業起源、下段：生活起源
 その他 2005目標 アンモニアと窒素放出量 165万トン

【表3】日本と中国の大気環境基準

項目	単位	中国 (級別)			日本
		1 級	2 級	3 級	
二酸化硫黄 (SO ₂)	1 時間	0.15mg/m ³	0.50mg/m ³	0.70mg/m ³	0.1ppm
	日平均	0.05mg/m ³	0.15mg/m ³	0.25mg/m ³	0.04ppm
	年平均	0.02mg/m ³	0.06mg/m ³	0.10mg/m ³	—
浮遊粒子状物質 (SPM)	日平均	—	—	—	0.20mg/m ³
	年平均	0.12mg/m ³	0.30mg/m ³	0.50mg/m ³	0.10mg/m ³
一酸化炭素 (CO)	1 時間	10.0mg/m ³	10.0mg/m ³	20.0mg/m ³	—
	8 時間	—	—	—	20ppm
	1 日	4.0mg/m ³	4.0mg/m ³	6.0mg/m ³	10ppm
窒素酸化物 (NO _x)	1 時間	0.15mg/m ³	0.15mg/m ³	0.30mg/m ³	(NO ₂)
	日平均	0.10mg/m ³	0.10mg/m ³	0.15mg/m ³	0.04~0.06ppm
	年平均	0.05mg/m ³	0.05mg/m ³	0.10mg/m ³	
光化学オキシダント (O _x)	1 時間				0.06ppm

1 級：一類地域（自然保護区域、風景、名所その他）で遵守すべき基準であり、長期的に生活することに問題のないレベル
 2 級：二類地域（住民区、商業・交通・住民混在区域及び一般工業区、農村）で遵守すべき基準であり、短期的に生活することに問題のないレベル
 3 級：三類地域（特定工業所在区域）で遵守すべき基準であり、短期的な生活にも支障を来さずレベル
 日本：工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所については、適用しない
 中国：1989環境保護法 日本：1993環境基本法に基づく

状況である。

環境問題は、エネルギー利用に起因する大気汚染が深刻な状況になっている。経済活動の拡大と共にエネルギー消費が増大している。特に石炭消費量の増加に伴い、石炭燃焼により排出される二酸化硫黄の量が増えており、多年に渡って2,000

万トンを超える状態が続いている。

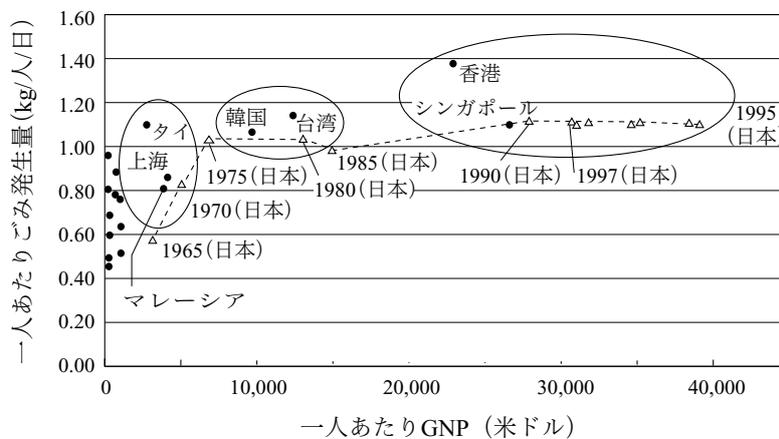
二酸化硫黄排出量で中国は世界一となり、酸性雨や二酸化硫黄汚染が日増しに深刻になっている。中国の酸性雨は、80年代には西南部のわずかの地区に見られただけであったが、現在では揚子江以南、青藏高原以東、四川盆地の大部分の地

区にまで拡大し、降水の pH 値が 5.6 未満（酸性雨判定の国際基準）の地区の面積は、既に国土面積の 30% を占めている。2000 年降雨 pH 値が 5.6 を下回った都市は 70.6%、3.98 が観測された都市もあった。

これに対して中国政府も改善には努めており、1995 年に比較して 2000 年にはその効果が見られ、さらに第十次 5 年計画でもさらなる削減が目標とされている。しかし、依然として環境全体の汚

染状況は厳しいものがある。

2000 年の環境測定結果によれば、環境統計を取っている 338 都市のうち、36.5% の都市が国家空気品質基準 2 級に達したが、63.5% は 2 級を下回り、3 級を切った都市は 112 に上った。また、SO₂ 濃度年平均が国家基準 2 級を切った都市は 20.7%、人口が集中して自動車が多い大都市では、窒素酸化物濃度年平均が 0.1mg/m³ を上回っている。



	1人当たり GNP (1995 USドル)	1日1人当たり 都市ゴミ 発生量 (kg/人/日)
ネパール	200	0.50
バングラデシュ	240	0.49
ミャンマー	240	0.45
ハノイ	240	0.96
ホーチミン	240	0.81
モンゴル	310	0.60
インド	340	0.46
ラオス	350	0.69
中国	620	0.79
スリランカ	700	0.89
インドネシア	980	0.76
フィリピン	1,050	0.52
マニラ	1,050	0.64
タイ	2,740	1.10
マレーシア	3,890	0.81
上海	4,180	0.85
韓国	9,700	1.07
台湾	12,439	1.14
香港	22,990	1.38
シンガポール	26,730	1.10

	1人当たり GNP (1995 USドル)	1日1人当たり 都市ゴミ 発生量 (kg/人/日)
日本 (1965)	3,138	0.58
日本 (1970)	5,077	0.83
日本 (1975)	6,864	1.03
日本 (1980)	13,076	1.03
日本 (1985)	15,051	0.99
日本 (1990)	27,937	1.12
日本 (1991)	30,803	1.12
日本 (1992)	31,084	1.10
日本 (1993)	34,711	1.10
日本 (1994)	39,211	1.11
日本 (1995)	38,636	1.11
日本 (1996)	35,253	1.11
日本 (1997)	31,908	1.11

注1：ゴミ発生量は日本機械輸出組合の調査結果数値
 注2：経済指標は GDP (2000年)
 注3：1965、1970年のゴミ発生量は収集分のみ
 注4：香港の都市ゴミ発生量には、建設廃材が含まれている

【図18】日本とアジア諸国におけるゴミ発生量と GNP の比較

出所) What a Waste: Solid Waste Management in Asia, Urban Development Sector Unit World Bank 1999、
 日本機械輸出組合調査結果、日本の廃棄物 2000、INTERNATIONAL FINANCIAL STATISTICS YEARBOOK (IMF)

3-2 水質汚染

2000年の廃水放出量は415億トンで、都市化の進展と生活水準向上によって生活污水とCODの放出量は逐年増加し、生活廃水は工業廃水量を超えた。2000年において、水環境の悪い地域は主に遼河、海河、淮河と太湖などに分布している。県以上の工業企業と重点工業郷鎮汚染源の廃水処理率は94.7%、工業廃水の基準合格率は82.0%であった。

3-3 都市ゴミ（固形廃棄物）

2000年における固形廃棄物は8億2000万トンであり、石炭と金属資源の豊富な地域に集中した。そのうち採掘業の放出量は工業固形廃棄物総量の80.2%を占めた（注：表2の値と符合しない）。都市部ごみ発生量は1億4000万トンで、処理率は63%であるが、無害化処理達成率は10%に満たない。

図18に示した通り、日本やシンガポール・香港並みに国民一人当たりGNPが向上すると、ゴミ発生量も安定するのであるが、その過程にある諸国はソフトまたはハードの一方または両方が伴わない。一部、経済発展の進んだ上海などの地域では最新の焼却場が建設されるなど今後を期待できるが、GNPの中国全体では憂うべき状態である。一人当たりの発生量は少なくとも人口稠密な都市部では総量が多くなり、その処理インフラが伴わないために処理ができない状態で、国家としての支援を要するレベルである。

3-4 貧富の差

改革初期にわずか0.23で、90年代初期でも0.3（社会で一般にある通常の配分型）であった国内のジニ指数が、現在ではすでに0.45（格差が大きい）を超えており、経済格差が急速に拡大していることの証左である。

[出典]

海外諸国の電気事情 第一編 第18章（2003年、海外電力調査会）

花井、相馬、清家、劉、刘、樊「中国の環境問題と日本の技術移転——石炭燃焼炉の転換と脱硫技術を中心として——」文部科学省科学技術政策研究所、中国科学技術部科学技術促進発展研究中心との研究協力に基づく共同研究 2002年1月

中川「アジア諸国の廃棄物処理の実態と日本企業の目指す方向」JMC ジャーナル2003.11

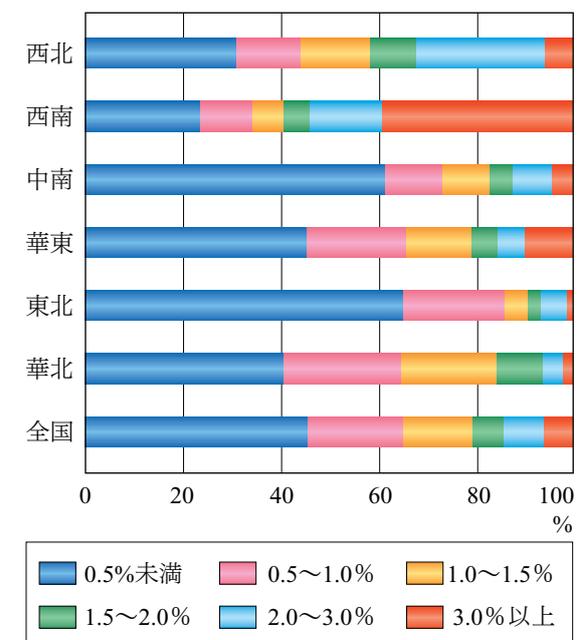
王建「中国経済成長の趨勢に関する三つの判断」中国マクロ経済研究会資料

4. 日本と中国における脱硫と副産物の利用——山西太原第一熱電廠における簡易型脱硫方式の実証試験を事例として——

4-1 中国における排煙脱硫技術について

火力発電所大気汚染物質排出基準（GB-13223-1996）において、硫黄酸化物は以下のように規定されている。

- 1) 「酸性雨規制区域およびSO₂汚染規制区域」では、硫黄含有率1%以上の石炭を使用する場合排ガス中のSO₂は1200mg/m³以下、1%



【図19】 地区別石炭中の硫黄含有量
出所) 『煤炭工業年鑑2002年版』

以下の場合には2100mg/m³以下

- 2) 「規制区域」以外および硫黄含有率1%以下の発電所に対する規制は、条件を加味して脱硫装置を採用するか否かを決定

まず選炭を第一とするが、図19の通り、必ずしも低硫黄炭に恵まれているわけではないので、脱硫装置の導入は進んでいる。それ以外に、流動床や石炭ガス化などの進んだ試みもなされているが、コスト的には国産の簡易脱硫法式が主体となる。

4-2 中国における排煙脱硫プロジェクト

最初の脱硫設備は、1978年の同和鋳業(株)により建設された、小規模な硫酸アルミニウム石膏法の設備である。1987年には南京と上海の重油火力にアンモニア吸収法の脱硫設備が石川島播磨重工によって造られ、副産物の硫酸を肥料用に利用した。最近では、荏原製作所の電子ビーム照射法や、台湾独自資本の海水脱硫法に関心が寄せられている。

しかし、中国では1990年代に入って湿式石灰石-石膏法が一般的となった。中国では、海外から導入した脱硫技術の内製化を進めている。

【表4】 運転中の脱硫設備と循環流動床ボイラー（電力）

名称	設備容量（万kW）	採用した脱硫法	運転状況	技術導入相手先国
四川白馬発電所	2.4相当	ロータリースプレー式乾燥法	1990年運開	国産技術
重慶珞璜発電所0期	36×2	湿式石灰-石膏法	1992年運開	日本
山東黄島発電所	10相当	ロータリースプレー式乾燥法	1993年運開	日本
山西太原第一発電所	20相当	簡易湿式石灰-石膏法	1995年運開	日本
四川高壩発電所	10	循環流動床	1995年運開	フィンランド
四川成都熱電所	10相当	電子ビーム法	1996年運開	日本
深圳西部発電所	30	海水脱硫法	1998年運開	ノルウェー
南京下関発電所	12.5×2	炉内カルシウム噴霧法	1998年運開	フィンランド
重慶珞璜発電所1期	36×2	湿式石灰-石膏法	1998年運開	日本
重慶発電所	20×2	湿式石灰-石膏法	2000年運開	ドイツ
浙江半山発電所	12.5×2	湿式石灰-石膏法	2000年運開	ドイツ
北京第一熱電所	10×2	湿式石灰-石膏法	2000年運開	ドイツ
貴州貴陽発電所	5	集じん脱硫一体型法	2000年運開	日本

【表5】 運転中の脱硫設備と循環流動床ボイラー（一般産業）

名称	採用した脱硫法	運転状況	技術導入相手先国
山東濰坊化工廠	簡易脱硫装置	1996年運開	日本
広西南寧科学工業集团公司	簡易脱硫装置	1996年運開	日本
四川長寿化工廠	簡易脱硫装置	1996年運開	日本
湖南湘氮実業有限公司	簡易脱硫装置	1998年運開	日本
北京房山服装集团公司	循環流動床	1998年運開	日本
山東淄博鋁務局嶺子炭鋁	循環流動床	1998年運開	日本
山東棗莊鋁務局紫里炭鋁	循環流動床	1998年運開	日本
遼寧錦州熱電莊公司	循環流動床	1998年運開	日本
吉林遼源市熱力能源公司	循環流動床	1998年運開	日本

【表6】建設中またはF/Sの審査をパスした脱硫設備と循環流動床ボイラー

名称	設備容量 (万 kW)	採用した脱硫法	運転状況	技術導入相手先国
陝西韓城第二発電所	60			日本
福建漳州後石発電所	60×2	海水脱硫法		台湾
江蘇望亭発電所	30	湿式石灰-石膏法		
上海石洞口発電所	30			
上海外高橋発電所	30×2			
広西柳州発電所	20×2			日本
広東沙頭発電所	30	湿式石灰-石膏法		
山東青島発電所1期	30×2	湿式石灰-石膏法		
湖北荊門発電所	20×2	湿式石灰-石膏法		
四川内江白馬発電所		循環流動床		フィンランド

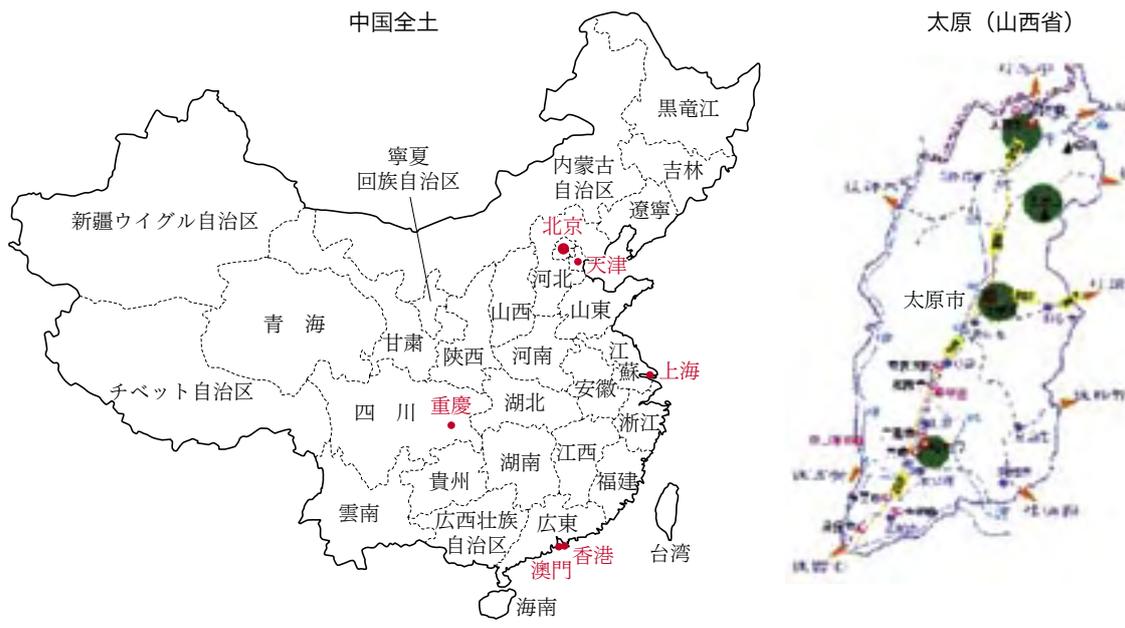
4-3 山西太原第一発電所における簡易石灰石—石こう脱硫設備の事例

以下に、電源開発(株)がグリーンエイドプラン(通産省提唱)の一環として1993~1999まで携わった、山西太原第一発電所における簡易石灰石—石こう脱硫設備の事例を紹介する。

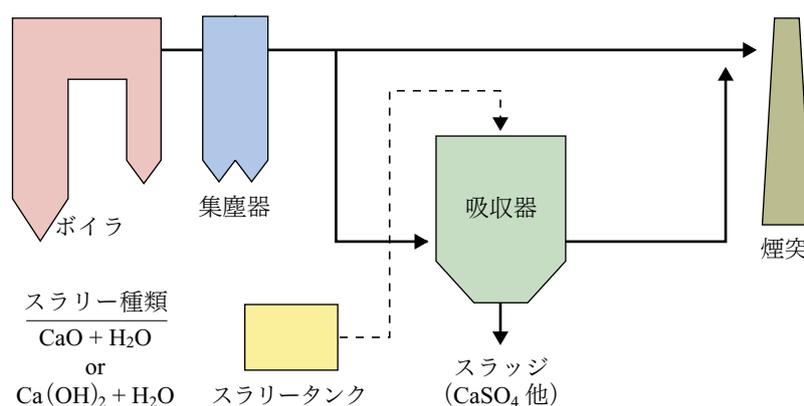
簡易石灰石—石こう脱硫設備とは、図3、写真2に前記した本格の設備ではなく、図21に示すように煙道の途中を拡幅して石灰石スラリーを噴霧する設備を増設するものである。比較的安価で既設発電所への増設も可能である。実証試験によ

る設備の性能は以下の通りであり、本来の脱硫設備には性能は及ばないものの、発展途上国の環境対策としては満足すべき結果を得た。

- ・実証試験期間中の脱硫効率の総平均値は80.4%となり、設計値の80%以上を達成
- ・石膏純度は80.8%と目標の85%に未達であるが、石膏付着水は15.5%とほぼ目標値の15%前後を達成
- ・設備の実績稼働率は、初年度こそ69.6%と低かったが、2年目85.1%、3年目には90.7%を達成し、3年間平均で81.5%であった



【図20】位置図



- a) 装置が簡易で設備コストが小さい。
b) 運転に要するユーティリティのコストが小さい等の特徴を具備する簡易脱硫装置を石炭焼きボイラの排煙系統に付加し、実証運転、普及活動等の事業を行う。

【図21】簡易脱硫設備

4-4 わが国における石こうのリサイクルについて

石こうボードとセメント用で需要全体の9割近くを占めているが、それに代る第三の大口利用先が開発されていないことが、長年問題とされてきた。前者は建築着工戸数、後者はコンクリート需要に直接影響を受けることから、1996年度のピークから2001年度にかけて200万トン以上の需要低下が予想されている。さらに、石こうボード廃材が建設リサイクル法の対象に加わることが確実視されていることから、石こうボード用の新規石こう需要が減少する見通しであることも、弱含み要因となっている。

副産石こう産出量(国産)を需要が下回る事態は当分考え難いが、需要の弱含みから石こう販売価格が長期的に低下する懸念は高いと考えられる。

副産石こうのうちでも排脱石こうは電力が大きな発生源であるが、電力以外にも製鉄、非鉄製錬、石油化学、石油精製、繊維、製紙など広範な業種において発生する。大気汚染防止法の施行によって1974年から急増し、リン酸石こうに代わって主要な発生源となる。排脱石こうの伸長によって国内の需給バランスが崩れ、在庫が急激に積み上

がったため、危機感を抱いた通産省では官民一体の「石こう対策推進中央協議会」を設置して、市場拡大を図っている。

直近の資料(1999年度)に拠ると、わが国の副産石こう生産量は572万トン、排脱石こうはその内234万トンである(表7参照)。1980年度と比較して、化石燃料の消費が増大しているにもかかわらず排脱石こう量がむしろ低下しているのは、低硫黄分の燃料に対する志向が強まった結果と考えられる。

一方、天然石こうに関して言えば、安価で純度の高い副産石こうに押されて1976年に国内石こう鉱山は全閉して以来、数年は国内でほとんど使用されなかった。しかし、その後の市場拡大努力が結実し、国内副産石こうの不足分を補う形で1985年頃から天然石こうの輸入が始まっている。現在はオーストラリア、メキシコ、タイの3ヶ国で輸入量全体の95%以上を占める。国産石こう量(すなわち副産石こう生産量)には1995年度以降大きな変動はなく、輸入量で需給バランスをとっている。

なお、硫黄およびその化合物(石こう)の流通量は、環境規制とエネルギー資源の消費量で一義的に決定される。世界的視野で捉えると、天然ガ

【表7】国内の石こう需給実績（二水石膏換算、単位：万トン）

		1980 (参考)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
供 給	排脱石こう	257.2	213.6	212.7	212.6	213.1	234.4		
	鈹水・製錬石こう	14.5	93.5	104.5	99.1	104.5	121.2		
	りん酸石こう	288.0	122.4	121.1	113.2	102.0	95.0		
	チタン石こう	36.0	60.9	53.8	61.1	62.1	63.5		
	ふっ酸石こう	40.0	43.8	40.9	41.3	40.6	39.8		
	その他	33.2	19.0	20.0	19.3	18.2	17.7		
	副産石こう小計	668.9	553.2	553.0	546.6	540.5	571.6		
	輸入（天然が主）	3.0	382.2	450.6	427.1	315.2	236.7		
計	671.9	935.4	1003.6	973.7	855.7	808.3			
需 要	石こうボード用	195.1	490.6	544.1	524.7	440.9	443.0 (240.7*)	458.8* (264.1*)	430***
	セメント用	249.3	320.2	326.7 (252.1**)	304.7 (252.4**)	269.7 (242.6**)	265.6 (256.7**)	265*** (264.3**)	250*** (256.8**)
	プラスター用	40.0	12.9	12.6	11.0	8.9	8.1		
	焼石こう用	9.0	11.5	11.5	11.0	10.0	9.4		
	その他	15.0	69.9	75.8	71.9	71.3	74.7		
	輸出	25.0	0.0	1.1	0.0	10.6	8.6		
	小計	533.4	905.1	971.8	923.3	811.4	800.8		
	欠減等	16.0	33.0	34.9	33.5	30.1	30.1		
	計	549.4	938.1	1006.7	956.8	841.5	830.9		
	在庫	612.5	134.9	131.8	148.7	162.9	131.7		
出荷価格（円／トン）		2534	2603	2461	2343	2173			

出典) 1995～1999年度データは実績値 経産省資料「石こう需給推移」
 1980年度データは予想値 石こうの新規有効利用技術に関する資料集 産業情報サービス社
 * 石こうボード工業会 HP 統計より抜粋、ただし廃石こうボード再使用分は除外
 ** セメント協会 HP より抜粋
 *** 当該年度における石こうボードおよびセメント生産量の比例にて推算
 注) 括弧内の数値は全需要のうち副産石こう使用分

スや石油の増産に伴って元素硫黄の供給は増える一方で需要は伸び悩んでいるため、世界的な元素硫黄の需給バランスは1992年を境に硫黄不足の時代から一変し、大幅な生産過剰状態になると試算されている。

4-5 中国における石こうのリサイクルについて

中国における電力の排脱石こう副産石こうを含めた数値に関しては確かな情報が乏しい上に、今後は新設既設を併せて脱硫設備を増設する（2005年までに2150万相当まで計画）ため、石こうが増産されるのはこれからである。（注：2001年段

階で中国の火力発電所の全出力は約2億5000万kWであるから、脱硫設備が備わる2150万相当とは全体の1割にも満たない）中国の建設事情に関して言えば、日本のように石こうボードやプラスターを使用するのが一般的ではないため、日本以上に用途開発に苦慮することになろう。また、簡易脱硫法では純度の高い石こうが得られにくいため、低品位で大量利用を行う必要がある。この点では地盤改良材や固化材、あるいは肥料や土壌改良材が有望であろう。

[出典]

中国高硫黄炭脱硫技術実証試験 第二方式評価報告書
電源開発(株) 2000.3
安藤淳平「世界の排煙浄化技術」平成2年8月 (助)石炭技術研究所
排煙脱硫・脱硝装置の現状Ⅳ (導入実績と技術動向)
2001 (株)プロジェクトニュース社
海外諸国の電気事情 第一編 第18章 (2003年、海外電力調査会)

技術研究所
排煙脱硫・脱硝装置の現状Ⅳ (導入実績と技術動向)
2001 (株)プロジェクトニュース社
海外諸国の電気事情 第一編 第18章 (2003年、海外電力調査会)

5. 日本と中国における脱硝について

火力発電所大気汚染物質排出基準 (GB-13223-1996) において、窒素酸化物は以下のように規定されている。

「火力発電所の粉炭ボイラーの蒸発量が1000t/h 以上の場合、燃焼方式の改善を通じて NO_x の排出濃度の抑制を図る」

アンモニアを用いた脱硝法も試験的に導入されてきたが、触媒がよくないこと、またコスト高である事から、アンモニアを用いる本格の脱硝は当分普及せず、当面は国産化に成功した低 NO_x 燃焼システムによる抑制が主流となる見通しである。

[出典]

安藤淳平「世界の排煙浄化技術」平成2年8月 (助)石炭

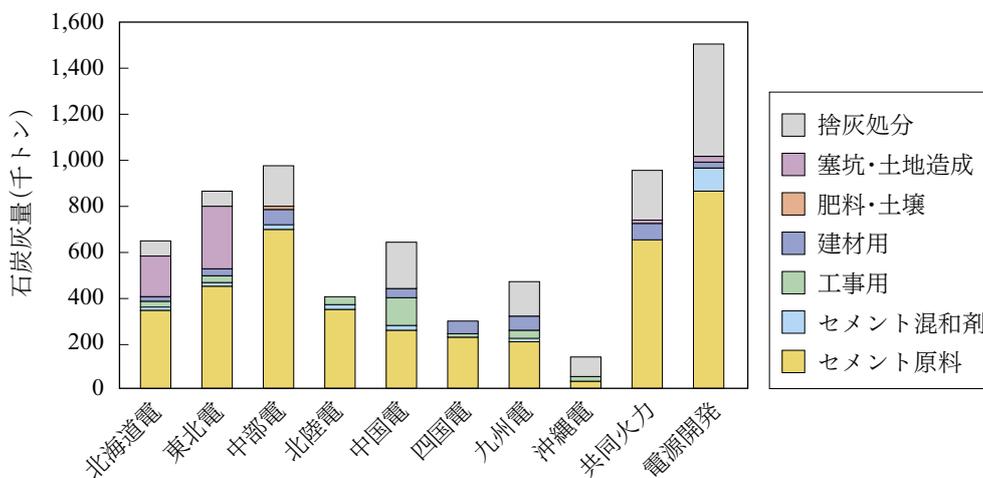
6. 日本と中国における石炭灰の利用

6-1 日本における石炭灰の利用

2002年度における電気事業者の出灰量は690万トン、これに一般事業者分を加えて900万トン強となる。地球温暖化の問題はあるが、電源多様化とコスト低減の見地から石炭火力のシェアは今後も緩やかな増加が予想され、石炭灰発生量が1000万トンに達するのは目睫に迫っている。電気事業者の処理先は、セメント原料が6割、灰捨処分(塞坑・土地造成を含む)が3割、その他有効利用が1割である。

その他有効利用の用途としては、一部には少量高品位利用も検討されているが、セメント混和材、工事用、道路・土工材、建材、肥料・土壤改良材に大別される。

石炭ソースの多様化、電力需要変動に対する追従で負荷率が変動すること、大気汚染防止協定に基づく運転制約などによって、従来に比較して良



【図22】 わが国の電力事業者の石炭灰処理状況 (2002年度)

出典) フライアッシュ協会資料

質な灰を得ることは困難になってきた。

しかし、セメント原料引取りに関しては、セメントの減産によって引取り枠が縮小傾向にある上に、自治体の都市ゴミや下水汚泥の焼却灰が競合することから、今後は引取り条件が悪化することが自明である。また、灰捨処分に関しても最終処分場を確保することは困難になりつつある上に、自治体の産廃税課徴の動きが散見される。

こうした状況から、各電力ではセメント原料以外の有効利用用途の開拓に鋭意努めている。

6-2 中国における石炭灰の利用

①石炭灰有効利用の実績

世界一の産炭国である中国では、石炭灰発生量も日本とは桁違いに大きい。1990年代前半で

3200万トンも産出量は増加し、さらに2000年の産出量を1億6000万トンと予想する向きもある。

1億6000万トンの備蓄には39000haの土地を確保しなければならないことも背景に、中国ではその大量の石炭灰を政策的に有効利用してきた。とくに上海地区は積極的で、全国一の有効利用率を誇る。

②特記すべき有効利用法

(1) コンクリート用混和材

耐久性向上、建築用ポンプ圧送性の向上、高強度化、温度抑制、水密性向上、固練りダムコンクリートの施工性向上

(2) 道路用

砕石・石炭灰の混合物を道路用補助基層に使用

【表8】中国全体の石炭灰有効利用先

単位：万トン

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
発生量	5549	6215	6779	7483	7982	8600	9114	9936
利用量	1421	1600	1975	2321	2547	2993	3700	4145
建材			661	724	892	1043	1080	1244
建築工事			124	202	229	339	297	415
道路			233	321	557	743	1047	1292
埋戻材			505	748	485	462	804	845
その他			277	290	385	406	472	349
有効利用率(%)	25.6	25.6	29.1	31.0	31.9	34.8	40.0	41.7

【表9】上海地区の石炭灰有効利用先

単位：万トン

	1991	1992	1993	1994	1995
発生量	276	284	291	327	386
利用量	161	210	285	308	377
壁材	16	18	22	10	18
セメント混和材	27	29	35	35	48
コンクリート混和材	19	25	33	40	46
道路材	40	84	134	137	180
埋戻材	29	25	42	67	54
その他	29	31	19	18	32
有効利用率(%)	58.4	74.0	97.6	94.2	97.8

- (3) フライアッシュによる高速道路の高級築堤
……大量使用可
土壌や地下水への溶出や、放射性元素の影響も検証
- (4) 湿式排出フライアッシュの土地造成用埋め
戻し材としての使用
水中投入では支持力が弱いいため、排水促進
により改良を要する

【表10】地域別石炭灰利用状況（1998年）

地域	石炭灰 発生量 (万トン)	石炭灰 利用量 (万トン)	利用率 (%)	地域	石炭灰 発生量 (万トン)	石炭灰 利用量 (万トン)	利用率 (%)
北京	146.1	101.5	69	湖北	380.7	330.6	87
天津	168.0	186.2	111	湖南	243.8	150.7	62
河北	970.3	455.6	47	広東	423.0	310.6	73
山西	619.6	214.6	35	広西	275.8	178.3	65
内モンゴル	525.6	104.2	20	海南	22.4	2.1	9
遼寧	987.6	247.7	25	重慶	153.4	110.5	72
吉林	546.2	243.6	45	四川	360.3	377.2	105
黒龍江	685.4	367.1	54	貴州	257.7	81.7	32
上海	317.7	316.4	100	雲南	133.4	76.5	57
江蘇	805.3	603.0	75	チベット	0.1	0.0	0
浙江	349.8	294.4	84	陝西	304.2	74.4	24
安徽	383.1	285.4	74	甘肅	180.2	77.6	43
福建	98.0	81.6	83	青海	42.7	4.8	11
江西	258.1	111.0	43	寧夏	134.8	53.0	39
山東	881.1	887.1	101	新疆	78.4	11.2	14
河南	769.5	458.8	60	全国合計	11502.3	6797.4	59

【表11】産業別石炭灰利用状況（1998年）

産業分類	石炭灰発生量 (万トン)	石炭灰利用量 (万トン)	利用率 (%)
採掘	194	95	49
食品、煙草と飲料製造	159	104	65
紡織	20	18	90
製紙	118	60	51
石油加工とコークス	165	56	34
化学原料と化学製品製造	457	291	64
製薬	16	15	94
化学繊維	104	78	75
ゴム製品	9	8	89
プラスチック製品	3	3	100
非金属鉱物加工	71	74	104
そのうち、セメント製造	48	57	119
金属精錬	199	67	34
非鉄金属精錬	142	79	56
金属製品	15	9	60
機械、電気機械製造	51	43	84
電力、ガスと水の生産	9,696	5,731	59
その他	76	59	78

- (5) 建材……現在では中心的な分野
粘土煉瓦、軽量骨材、タイル、ブロック、
スラブなど20種類以上
- (6) 農業ほか
微量元素や放射性元素の影響も検証済み
その他 希少元素の抽出も実施
- (7) 高カルシウム含有石炭灰を硬化体やセメン
ト混和材に使用する試み

③石炭灰利用上の問題点

- (1) 地域的なアンバランス (表10)
- (2) 利用方法のアンバランス。石炭灰の大部分
は建築材として都市建設工事に利用されてい
る。(表11)

[出典]

Wang, Pu, Wang, Fuyan 「中国におけるフライアッシュ利
用の現状と将来展望」 12th ACAA 1997

李「中国における石炭灰利用実績と将来構想」クリーン・
コール・テクノロジー国際シンポジウム 石炭灰有
効利用 1996.2