

中国の石炭火力発電設備の新設と更新に関わる 技術選択による二酸化炭素削減効果と 経済性評価

和田 直樹¹・齊藤 修²・山本 祐吾³・盛岡 通⁴

¹学生会員 大阪大学工学部 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: wada@cm.sec.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 農博 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: saito@sec.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 工博 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: yugo@sec.eng.osaka-u.ac.jp

⁴正会員 工博 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: tmorioka@sec.eng.osaka-u.ac.jp

本研究では、途上国のCO₂排出削減施策の検討の基礎的資料を提供することを目的として、中国の石炭火力発電部門へ高効率技術を導入した場合のCO₂排出削減量とその経済性を、新たに構築したモデルにより求めた。モデル計算では、中国の将来発展シナリオを考慮し、技術導入の時期・既存設備への改修の有無等の選択による削減効果の比較を行い、また中国の東部・西部の地域間での削減効果の比較も行った。その結果、今後50年間で技術導入によるCO₂総排出削減量は約16%であり、また移転が20年遅れることに
よりCO₂削減量は30~40%減少し、CO₂単位削減量当たりの費用も上昇することが示された。

Key Words : coal thermal power generation, greenhouse gases, China, technologytransfer, technology replacement

1. はじめに

2005年2月、ロシアの批准により京都議定書が発効し、日本をはじめとする先進国は、1990年の排出量を基準として全体で少なくとも5%の削減を目標とすることとなった。世界最大の排出国アメリカを含まないという問題点が指摘されているが、これにより当面先進国の地球温暖化防止に向けた国際的な取組は動き出したと言えるだろう。また、京都議定書において排出枠を定められなかった発展途上国における温室効果ガスの削減に向けた施策は、クリーン開発メカニズム (Clean Development mechanism : 以下CDM) 等の京都メカニズムにより徐々に整いつつある。しかしながら、これらは経済的な効率性を重視した制度であり、必ずしも発展途上国での排出削減を効果的に促すものではない。

本研究は、発展途上国において実効性の高いCO₂削減施策を検討するための基礎的資料を提供することを目的として、発展途上国のうち最大のCO₂排出国である中国を対象とし、その中でも特に最大の排出量を占める石炭

火力発電部門におけるCO₂排出量削減の施策の効果と経済性について、中国の社会経済シナリオを考慮した定量分析を試みた。

2. 研究の対象と方法

(1) 研究対象：中国の石炭火力発電

2003年中国のCO₂排出量は4,068Mt-CO₂¹⁾であり、全世界の排出量の約16%を占めている。このうち約81%が石炭燃焼によって排出されたものであり、さらに石炭燃焼の42%は火力発電用に投入された燃料であることから、中国の石炭火力発電部門からのCO₂排出量は、単純計算して世界全体の42%をも占めている。このことから、同部門への排出抑制施策が世界的にみても非常に重要であることが示唆される。

2000年の中国の石炭火力発電の熱効率は、国家平均でおよそ33.8%であった²⁾。それに対し、日本における石炭火力発電の熱効率はおよそ40%であり、単純に約6%

の差がある。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）がおこなった試算²⁾によると、中国の発電効率が日本並みまで向上した場合の2000年の潜在省エネルギー量は43.3MTOEで、省エネルギー率は18.2%となる。これは中国のCO₂排出全体の5%に当たり、技術移転によるCO₂削減ポテンシャルは非常に大きいと言える。

(2) 研究方法

本研究では、中国の将来発展の不確実性を考慮した複数の社会経済シナリオを作成し、将来の電力需要の増加を予測した。

また、「技術選択」を、コア技術とその周辺技術の組み合わせからなる発電技術と、既存の発電設備のリパワリングに関する複数の改修技術の一連の技術パッケージを、その導入時期と合わせて選択すること、と定義した上で、以下の2点に関する選択肢を作成した。

- ・ 新設される設備に対し技術を導入する時期
- ・ 既存の設備の更新時期と改修による高効率化・長寿命化を行うかどうか

次に、発電設備はその予測された需要を満たすように建設・更新が行われるものとし、各選択肢において、発電により排出されるCO₂排出量と発電設備の建設や発電に伴い発生する費用を時系列に沿って定量評価するシナリオ評価モデルを構築し、排出削減量とその費用効率性を評価した。なお、モデル中で中国を東部・西部に分割することにより、地域による経済成長の速度の違いによるCO₂排出削減量とその費用効率性の差を評価した。

3. 技術選択のシナリオ評価モデル

(1) 社会経済状況の将来予測

中国における将来のCO₂排出量を予測するに当たり、社会経済の成長速度の予測とそれに伴う電力需要の増加は無視できない要素である。本研究で用いるモデルでは電力需要は外生値として与え、電力需要は社会経済の成長の将来予測によって決定される。しかし、この値の大小により算出されるCO₂排出量、コストが大きく異なる

ことが予測されるため、社会経済の将来予測シナリオを3通り用意することでその不確実性を考慮した。また、中国は東部・西部で経済状態が大きく異なることから、本研究では東部・西部を分けてシナリオを描いた。地域の分割に関しては第4章で詳述する。これより、社会経済状況のシナリオとして以下の3通りを想定した。

シナリオ1：全土にわたる高度経済成長シナリオ

東部・西部ともに飛躍的に経済発展をとげ、全土に渡って所得の増大が起こり、同時に全国的に都市化が促進される。それに伴いライフスタイルの変化が進み、大量生産・消費、家電製品の普及等が大幅に進展し、そのため一人当たりの電力消費は飛躍的に増大する。また、経済発展は進むが東西格差はあまり縮小せず、西部から東部への人口の移動はある程度発生する。

シナリオ2：東西格差解消シナリオ

東部地域と比較して西部地域が大きく経済発展を遂げ、東西格差が縮小する。西部地域では、所得の増大・ライフスタイルの変化等により一人当たりの電力消費は大幅に増大する。一方東部では経済の停滞により一人当たりの電力消費は抑えられる傾向となる。また東西の格差の縮小により人口の東西の移動は起こりにくい。

シナリオ3：東部偏重シナリオ

東部が大きく経済発展を遂げる一方西部は取り残される形となる。東部では富裕層の電力消費は増大するが、格差の拡大による人口流入により一人当たりの電力消費量はシナリオ1ほどは増大しない。しかし、人口が増加することで東部全体としては電力需要は増加する。また、西部は経済の低迷により電力消費量の増大も低く抑えられる。

社会経済の将来予測から電力需要を求めるに当たっては、中国の将来予測を行っている既往の研究を参考とし、その枠内で、予想されるシナリオに沿って一人当たりの電力消費量・中国の人口・人口の東西比率を与えることで電力需要値を得るという手法をとった。参考とした既往研究は文献2)、7)、8)、14)～16)である。表-1に各社

表-1 各社会経済シナリオでの電力需要設定値

石炭火力発電需要	年	2000	2010	2020	2030	2040	2050
①中国全土にわたる高度経済成長シナリオ	東部	5.93×10^5	1.38×10^6	2.38×10^6	3.25×10^6	3.70×10^6	3.82×10^6
	西部	4.68×10^5	1.05×10^6	1.67×10^6	2.20×10^6	2.68×10^6	3.07×10^6
②東西格差偏重シナリオ	東部	5.93×10^5	9.23×10^5	1.28×10^6	1.62×10^6	1.90×10^6	2.13×10^6
	西部	4.68×10^5	8.77×10^5	1.39×10^6	1.90×10^6	2.45×10^6	2.99×10^6
③東部偏重シナリオ	東部	5.93×10^5	1.41×10^6	2.26×10^6	2.97×10^6	3.43×10^6	3.65×10^6
	西部	4.68×10^5	6.07×10^5	7.48×10^5	8.98×10^5	1.02×10^6	1.14×10^6

単位: TWh/y

会経済シナリオでの年間電力需要の設定値を示す。

(2) 設備更新のモデル化

今後中国では、電力需要が急激に増加し、供給が需要に追いつかないという状況が報告されている³⁾。したがって、今後建設される新たな施設はより高効率で供給力の大きいものが求められると同時に、現状の設備は極力長期間使いつづけて、供給力を維持することが望まれている。ただし、古くなった施設はエネルギー効率が低く、CO₂排出の面からみて不利である。また、新たな設備導入では、刻々と高効率化・高価格化していく導入技術をいつ導入するか、タイミングが問題となる。そこで、本研究では中国の発電設備が新技術に更新されていく様を、発電設備を「今後新たに建設される設備」と「現在既に建設されている設備」の2つのグループに分けて、モデル化し、これら2つのグループへの対応を別々に選択肢として用意し、比較した。

(3) 技術移転の時期による選択肢

a) 選択肢の設定

新たに建設される設備へ技術の導入を行う際の選択肢は、その導入時期の違いにより、以下の3つを用意した。

- ・ 技術の導入は行わない …BASEAケース
- ・ より早く技術の導入を進める …EARLYケース
- ・ 特定の時期を見計らって技術の導入を行う …LATEケース

BASEAケースは、基準ケースとして2000年時点の中国の最新技術を文献(11)より37%とし、今後中国の技術が進歩し2020年に日本の現在の平均的な発電設備の技術(発電効率40%)に追いつく程度となった場合を想定する。EARLYケースでは現時点での技術の導入を行うことを想定、LATEケースでは現存の技術が徐々に高効率化していく中で、飛躍的に性能が向上する新たな技術が登場するタイミングに着目する。この時、ライフサイクルでの設備のコスト効率・資源効率が以前の技術を上回ることが期待される。

b) 導入技術と導入時期の設定

導入する技術の決定は、既に公表されている技術ロードマップや、各種関連する論文を参考に行う。参考にした資料は本研究の参考文献(2), 4)~11)である。これらの資料における各技術の掲載状況を表-2に示す。各技術の略称は石炭エネルギーセンターのCoal Science Handbook 2005¹²⁾を参考とした。さらに、図-1にこれらの技術の登場時期と発電効率の関係を示す。文献中での掲載が多いことは、技術の将来における実現可能性の大きさ、現在の開発の速度や技術の実用化による影響の大きさ等の評価が高いことによるものと推測される。また、導入技術の決定にあたっては、その技術の登場によって、それ以前と比較して効率が飛躍的に向上することが望ましい。

以上より、導入技術を設定すると、現時点での導入技術としては加圧流動床複合発電(PFBC)が、また将来の導入技術としては石炭ガス化複合発電(IGCC)が適していると判断した。また、IGCCの登場時期は文献5)・6)より2020年とした。

c) 技術の詳細設定値

PFBC, IGCCとともに2000年、2020年の予測される中

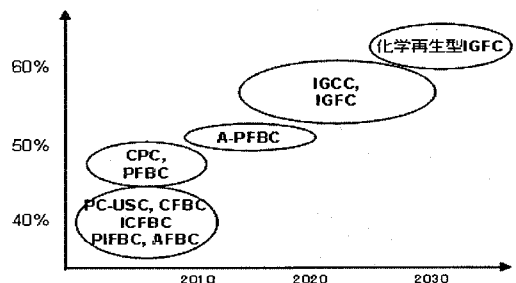


図-1 技術の登場時期と発電効率の関係

表-3 モデル中での詳細設定値

	発電効率	O&Mコスト	建設費用
	%	million \$/(MW・y)	million \$/MW
PFBC	42	0.029	1.242
IGCC	50	0.023	1.025
中国技術2000	37	0.025	0.747
中国技術2020	40	0.023	0.687

表-2 各種文献中での技術の掲載状況

	現在の発電技術						将来の発電技術					
	超々臨界圧微粉炭燃焼ボイラ (PC-USC)	循環型常圧流動床ボイラ (CFBC)	常圧内部流動床ボイラ (ICFC)	加圧内部循環型流動床ボイラ (PICFC)	石炭部分燃焼炉 (CPC)	常圧流動床燃焼ボイラ (AFBC)	加圧流動床燃焼ボイラ (PFBC)	高度加圧流動床燃焼ボイラ (A-PFBC)	石炭ガス化複合発電 (IGCC)	石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)	化学再生型IGFC	
経済産業省 ⁴⁾	○								○	○	○	
DRI-WIFA ⁵⁾									○			
EPRI ⁶⁾									○			
Takahashi M ⁷⁾	○	○					○		○			
Whysing C ⁸⁾	○					○	○		○			
Ma C, Fuji Y, Yamaji K ⁹⁾	○						○		○			
Xin Z, Chunxiu ¹⁰⁾	○					○			○			
原田道昭 ¹¹⁾	○	○	○	○			○					
慶応義塾 ¹²⁾	○	○					○		○			

国の技術の発電技術のモデル中での詳細設定値を表-3に示した。なお、表中発電効率、送電端効率、O&Mコストは操業を続ける際に必要な維持管理にかかる年間費用を示している。

(4) 既設発電施設への対応の選択肢

a) 選択肢の設定

既設の発電設備への対応の選択肢としては、

- ・ 現存の設備に対する改修は行わず寿命がきたものに関しても長期にわたり使用を続ける

…BASEBケース

- ・ 現在の設備を改修し高効率化・長寿命化すること

で長期にわたり使用を続ける

…REPAIRケース

- ・ 改修は行わず寿命がきた設備に関しては廃棄し新しい物へと置き換える …REPLACEケース

の3種類を用意した。なお、BASEBケースにおいて、設備の寿命後長期間にわたって使用を続けることによるリスクの増大が考えられるが、本研究ではそれらは表-3に示されたO&Mコストによって対処できる範囲であると仮定し、リスクの増大によるコストの上昇は考慮に入っていない。

表-4 改修技術適用事例

発電所	ユニット		発電端効率	送電端効率	効率向上	費用
			%	%	%	million \$/MW
山東省 鄒県発電所	1号	改修前	36.34	33.68		
		改修後	40.27	37.33	3.64	
		2号	36.06	33.42		
	300MW	改修前	39.89	37.07	3.64	
		改修後	36.69	34.01		
		3号	40.34	37.39	3.38	
	4号	改修前	36.83	34.23		
		改修後	40.36	37.41	3.18	
		平均	36.51	33.84		
	300MW	改修前	40.24	37.30	3.46	0.158
		改修後	36.45	33.79		
		2号	40.36	37.41	3.62	
安徽省 洛河発電所	1号	改修前	36.38	33.72		
		改修後	40.68	37.71	3.99	
		2号	36.42	33.76		
	300MW	改修前	40.52	37.56	3.80	0.185
		改修後	35.51	32.91		
		270MW	38.80	35.96	3.05	
	2号	改修前	36.00	33.37		
		改修後	40.36	37.41	4.04	
		平均	35.75	33.14		
	300MW	改修前	39.56	36.67	3.53	0.199
		改修後				
		全体平均			3.60	0.175

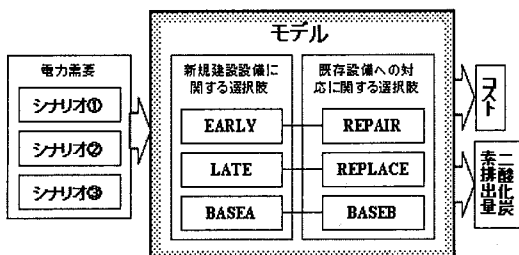


図-2 モデルのマクロ構造

b) 改修技術の設定

実際に改修に用いられる技術は数多くあり、また設備の状況によって適した技術は異なってくる。しかし、本研究では現存の設備全体に対して改修を行うことを想定することから、これらの技術をパッケージ化し、適用による効果・費用を一定とする。

具体的には文献13)を参考とし、計27種類の改修技術の適用事例8例の平均を取ることにした。表-4にその適用事例の詳細を示した。これより、改修による効率改善は平均3.6%、改修費用は平均0.175 million \$/MWと設定した。

4. モデルの構造と評価単位

(1) モデルの構造

本研究で用いるモデルのマクロ構造を図-2に示す。モデルへのインプットは電力需要であり、アウトプットとして算出されるものはコストとCO₂排出量である。インプットである電力需要が3通りあり、モデル内で新規に建設される設備に関する選択肢が3通り、既存設備への対応による選択肢が3通り存在していることから、本モデルによって計27通りの結果が計算されることとなる。

モデルの内部では、与えられた電力需要量に対し、それに見合うよう設備の建設を進め、また発電を行うものとする。建設される設備容量の算定に当たっては、設備の利用率を現状の56%のまま推移すると仮定した。発電は各種発電設備の設備容量に比例して行われる。また、発電設備の種類毎に建設費用・CO₂排出量に関する原単

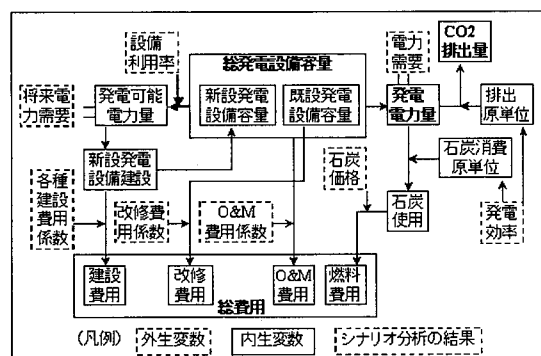


図-3 モデル内部構造

表-5 発電設備の排出係数・石炭関連原単位

	CO ₂ 排出係数 t-CO ₂ /MWh	石炭消費原単位 t/MWh	石炭費用原単位 \$/MWh
PFBC	0.999	0.442	9.73
IGCC	0.839	0.371	7.79
中国技術2000	1.138	0.501	10.5
中国技術2020	1.059	0.464	9.74
既存の中国石炭	1.197	0.531	11.2
火力発電設備	1.281	0.568	11.9

位・係数を与え、建設・発電にかかるコスト・CO₂排出量を算出する。上記以外の費用としては、改修費用と発電容量に応じて算出されるO&M費用、発電量に応じて算出される燃料費用がある。燃料費用は発電効率等を考慮した上で単位発電量当たりの石炭使用量を求め、石炭価格を乗じることで得られる。石炭価格は2003年度の平均価格173.8元/t（当時1\$=8.28元より21\$）を用いているが、将来社会における石炭価格の変化は考慮されていない点に注意が必要である。以上の関係を図-3に示す。また、各種発電設備のCO₂排出係数・石炭消費原単位・石炭費用原単位を表-5に示す

(2) モデル分析の注意点

本モデルを用いての計算の中で、本来ならば将来予測を行う際、将来に発生する費用に関して割引率を適用する必要がある。しかし、本研究の目的のひとつは将来発生するCO₂削減にかかる費用から、CO₂削減量当たりの費用を算出し、施策の経済性を検討することにある。仮に割引率を3%と設定した場合でも、50年という長期を対象とする場合、50年後の価格は想定される費用の2割程度にまで縮小されることとなり、そのために結果的にはCO₂排出抑制の施策が先送りになること可能性がある。以上より、本モデル計算中では割引率は用いないものと

表-6 地域区分の省内訳

東部	北京市、天津市、河北省、遼寧省、上海市、江蘇省、浙江省、福建省、山東省、広東省、広西スワン自治区
西部	山西省、内モンゴル自治区、吉林省、黒龍江省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省、海南省、四川省、重慶市、貴州省、雲南省、陝西省、甘肅省、青海省、寧夏自治区、新疆自治区、チベット自治区

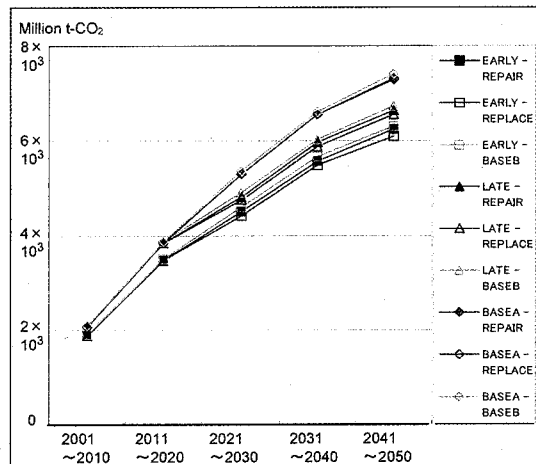


図-4 年間CO₂排出量の推移—シナリオ1

したが、この結果将来の不確実性が増加していることに注意が必要である。

また、本モデルのもう一つの目的は、技術の導入による削減可能量の算定である。そのため、各施策に対する投資の上限は定められておらず、現実に施策を実行する際には政府等の主体の予算による制約が生じることに注意が必要である。

(3) 評価の単位

a) 地域単位

第3章で既に述べたが、本モデルでは中国を東部・西部の2地域に分割している。東西の分割は地理的要因と経済的要因の両面によっておこなわれ²⁾、東部・西部の省の内訳は表-6の通りである。

b) 時間単位

本モデルの時間境界は2021年に導入された技術によって建設される設備の効果を測り取るために2001~2050年とする。この間に発電設備建設の機会が期間の開始年と

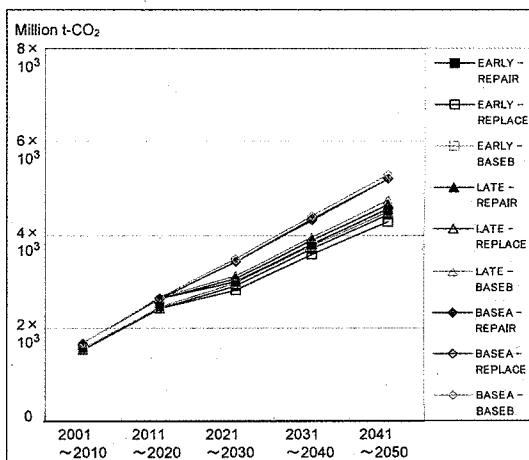


図-5 年間CO₂排出量の推移—シナリオ2

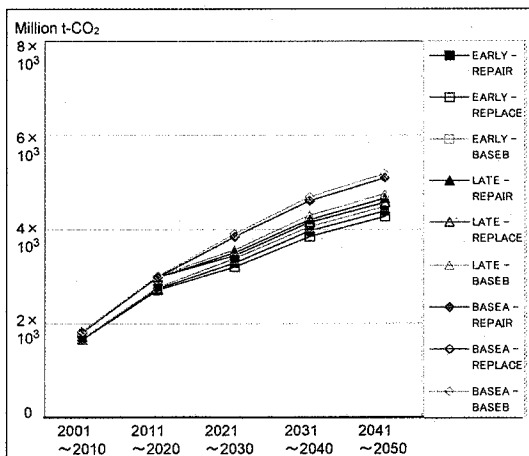


図-6 年間CO₂排出量の推移—シナリオ3

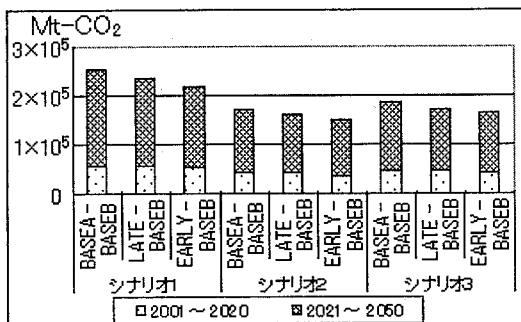


図-7 技術導入時期による既存設備への対応による CO₂排出量の差

ある2001年とIGCC技術導入の選択機会が生じる2021年にあるとし、各々発電設備の建設は2020年と2050年の発電量を賄うように行われる。また、この2回が日本からの技術導入を行うかまたは現地の技術での設備建設を進めるかの選択の機会であるものとする。以上から、評価の単位は2001～2020年と2021～2050年に分割されたものと、それらを統合した2001～2050年とする。

5. 評価結果

(1) CO₂排出量

まず、モデルにより算出された年間CO₂排出量の推移を図-4～6に示す。

シナリオ1によく表れているが、排出量変化はEARLY・LATE・BASEAケースを選んだときの3種に大きく分けられ、この新設発電設備に関する選択による差異と比較して、既設施設への対応に関する選択によるEPAIR・REPLACE・BASEBケース間での排出量の差異は比較的小さい。このことから、既設発電施設に関する選択と比較して、新設の発電施設に対する選択は各排出量に占める影響力が大きいことがわかる。

どのシナリオにおいても、最もCO₂排出量が多いのはBASEA-BASEBのケースで、最も排出量が少なかったのはEARLY-REPLACEのケースであった。この2ケースを比較すると、2041～2050年の間の平均年間CO₂排出量は、どのシナリオにおいても後者のケースでは前者のケースの18%程度のCO₂排出量削減が見込まれ、また50年間の総排出量では16%程度の削減が見込まれた。シナリオ1～3の中で最も総排出量の削減量が大きかったのはシナリオ1で、これは電力需要の増加量の大きさに由来するものと考えられる。しかし、削減量が大きければ当然シナリオ中のCO₂排出量も大きいため、削減量の大きさからシナリオの望ましさを判断するのは不適切

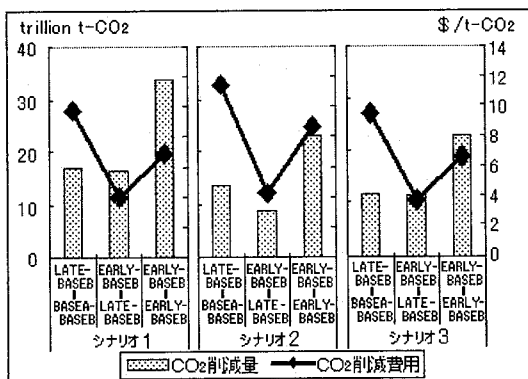


図-8 技術導入時期によるCO₂削減量と削減費用の違い

といえる。

(2) 技術移転の時期による差

新設される設備への技術の導入によるCO₂削減量を見るため、BASEBケースのもののみを比較する。図-7に各ケースでの2001～2020年と2021～2050年のCO₂排出量を示す。

BASEA-BASEB ケースを基準とすると、LATE-BASEB ケースでは8.3～10.4%程度の排出量削減が見込まれ、同様にEARLY-BASEB ケースではおよそ13.7～14.7%の排出量削減が見込まれた。したがって、技術の導入が20年遅れることによるCO₂排出削減量は30～40%程度減少することがわかった。

同期間中に発生するコストの差から、CO₂単位量当たりの削減費用を求めた(図-8)。図-8の各シナリオのグラフのうち、左から順に、

・ LATE-BASEB — BASEA-BASEB :

2021年に技術を導入した場合のCO₂削減量と削減費用

・ EARLY-BASEB — LATE-BASEB :

技術の導入を2021年から2001年に早めることによるCO₂削減効果と削減費用

・ EARLY-BASEB — BASEA-BASEB :

上記2つを合わせた、2001年から技術導入をした場合のCO₂削減量と削減費用

を示している。

この結果、2021年から技術の導入を行う場合、削減費用は9.4～11.5\$/t-CO₂であるのに対し、20年早くすることで6.6～8.6\$/t-CO₂と、およそ3\$/t-CO₂程度費用が低くなるとともに、CO₂削減量では1.7～2.0倍程度に増加することがわかった。これは、2020年に技術の導入を行った場合と比べ、2000年に導入した場合の削減費用が安価であることを示しており、早期に技術導入を行うことの有利性を示しているといえる。しかし、一

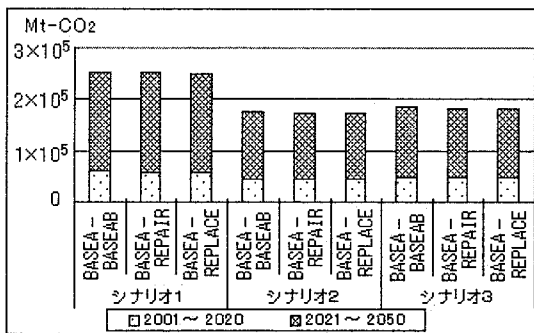


図-9 既存設備への対応によるCO₂排出量の差

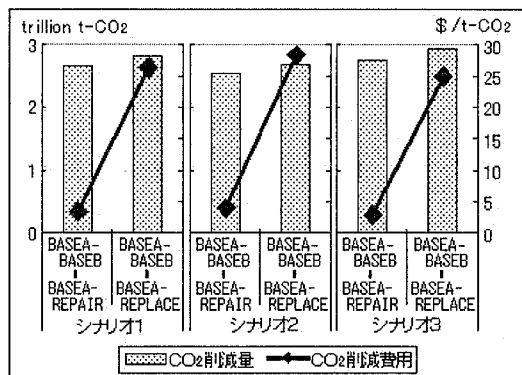


図-10 既存設備への対応によるCO₂削減量と削減費用の違い

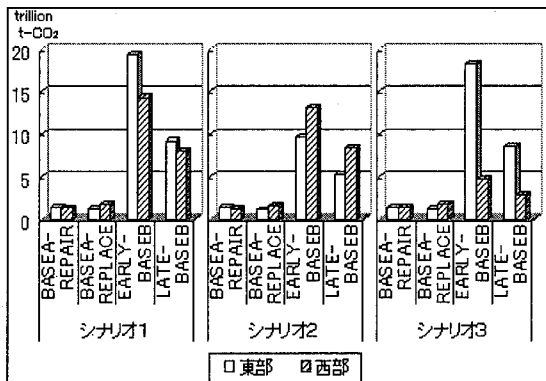


図-11 地域間の各施策によるCO₂削減量比較

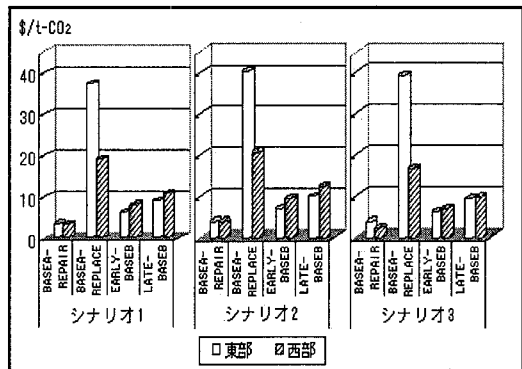


図-12 地域間の各施策によるCO₂削減費用比較

方で 2021 年に建設された設備は、その後も継続して使用される可能性もあり、この場合 2050 年以降も同様に中国技術を使用した場合と比較することで更なる CO₂削減が見込まれ、同時に削減費用の低下が期待される。

また、シナリオ2において、EARLY-BASEB — LATE-BASEBの値が低くなっていることが解るが、これはシナリオ2における電力需要の伸びの前半期間と後半期間の比が他のシナリオと比べて後半に偏っていることに起因すると考えられる。

(3) 既設発電設備への対応による差

先と同様、既設発電設備への対応によるCO₂削減量を測るため、技術の導入に関する選択肢BASEAのケースのみを比較する。

2001～2020年と2021～2050年のCO₂排出量を比較すると、ケース間の排出量の差は新設発電設備への対応と比較しても、非常に小さいことが明らかとなった(図-9)。これは、技術の導入による効率の改善と比較して、改修による効率の改善度が小さい点と、現存の発電設備容量と比較して将来需要を満たすため新たに建設される設備容量が非常に大きい点の、二点によるものだと考えられる。また、このことから、今後建設される設備への対

応の重要性がうかがえる。

一方、図-10に図-8同様、BASEA-BASEBを基準とし同期間中に発生するコスト・CO₂排出量の変化量から、CO₂単位量当たりの削減費用を求めた。BASEA-REPAIRケースとBASEA-REPLACEケースでは、削減量の大きさはそれほど大きくは変わらないのに対し、削減費用の面でBASEA-REPAIRケースが非常に優れていることがわかる(図-10)。BASEA-REPAIRケースでの削減費用は2.9～3.9\$/t-CO₂であり、これは新設設備への技術の導入による削減費用と比較しても、低い値である。従って、削減の絶対量は小さいけれど、そのコスト効率の面では、改修は非常に有効な施策といえる。

(4) 地域による差

東部・西部の地域別の施策によるCO₂削減量と単位CO₂排出量削減費用の比較を図-11、図-12に示す。図-12は、BASEA-BASEBケースを基準として、BASEA-REPAIR、BASEA-REPLACE、EARLY-BASEB、LATE-BASEBの4つのケースに関してCO₂削減量の大きさを示しており、地域差としての明確な傾向は表れなかった。これは、削減量の大きさが大きく電力需要の成長幅によって左右されるためであり、実際電力需要増加の大きい

シナリオ1の東部・西部、シナリオ2の西部、シナリオ3の東部は削減量も大きくなっている。

図-11はBASEA-BASEBケースを基準として、同様に4つのケースの単位CO₂排出量削減の費用を示している。各グラフ中左の2組である、BASEA-REPAIRケース、BASEA-REPLACEケースでは、西部の方が削減費用が低いことがわかる。これは既存の設備の発電効率が西部の方が東部よりも低いことによるものであると考えられる。一方のEARLY-BASEBケース、LATE-BASEBケースでは東部の方が削減費用が低いことが読み取れるが、これはモデル計算上の問題であると考えられる。

これらのことから、既存設備の改修による削減施策は西部を中心に進め、新設設備への技術導入は電力需要の増加が大きい地域に集中的に資本を集めていくことがコスト効率的にみて望ましいといえる。

6. 結論

本研究では、中国の石炭火力発電部門を対象として、現在または将来において日本から高効率の技術を移転することによるCO₂排出量の削減効果と削減にかかる費用を評価するためのモデルを構築し、それを用いたシミュレーション分析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ・2000年を基準年とし、今後新設される発電設備に対し直ちに技術の導入を行い、さらに現状の施設も寿命とともに最新設備と置き換えていった場合、2041年以降の年間CO₂排出量は対策を施さなかった場合と比較し、約18%削減され、また2001年から2050年の50年間の総排出量では約16%の削減が可能であることが示された。
 - ・上記削減量のうち、新設設備への技術の導入による効果はおおよそ13.7~14.7%であり、また、技術導入の時期が20年遅れることにより、その削減効果は30~40%近く減少するとともに、単位量当たりのCO₂削減費用も3\$/t-CO₂程度上昇する。
 - ・既設発電設備への改修・置き換えによる削減効果は、技術の導入による削減と比較し非常に小さいことがわかった。一方で、改修によるCO₂削減にかかる費用はCO₂単位削減量当たりで2.9~3.9\$/t-CO₂であり、費用効率の面では非常に優れた結果を示した。
 - ・地域別に施策の効果を比較した結果、既存設備への改修による対策は西部においてより有効であり、新規建設設備への技術の導入による対策は電力需要の将来の増加量の大きい地域に投資を集中させることでより効率的に働くことがわかった。
- これらをふまえ、今後京都議定書の枠組みの拡大等に

よる途上国に対するCO₂排出規制やCO₂削減へのCDM等の活用を考慮した上で、長期的視野に立って施策を実施していく必要がある。

本研究では、導入対象の技術として、加圧流動床複合発電 (PFBC) ・石炭ガス化複合発電 (IGCC) の2種類のみを対象として扱ったが、今後それ以外の新たな技術が登場する可能性は十分にあり、それらを用いることでさらに削減を効果的に行うことが可能となる可能性がある。また、中国における技術開発の速度も大きな不確実性要因であり、技術開発の速度が速ければ、それだけ先進技術との差が縮まるので、当然削減効果も小さくなる。

本モデルでは固定値とした、設備の利用率も将来における重要なファクターである。ピークシフト等の重要側対策を平行して行い設備の利用率を高めていくことで必要な初期費用をより小さいものに収めることが可能となるだろう。

また、地域差に関しては、データ不足によりマクロな推計のみで詳細な解析ができなかったが、石炭の供給力の差や、石炭品質の差により効果に差が現れることが予想され、それらの諸条件を組み込んだ地域分析も今後の課題である。

参考文献

- 1) IEA : CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION 1971-2003, pp.161, OECD, 2005
- 2) 慶應義塾大学 : 国際エネルギー使用合理化基盤整備事業 (省エネルギー技術普及のための調査・研究等), pp.26-28, 130-135, 238-268, 325, NEDO, 2003
- 3) NEDO : 海外レポート, No.934, www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/934/934-08.pdf, 2006.4.2, 閲覧
- 4) 経済産業省 : 第13回研究開発小委員会資料 4-1 技術戦略マップ (エネルギー分野), pp. 転-4-転-7, 2005
- 5) DRI・WEFA : Global Energy Scenarios, pp.40, International Gas Union, 2003
- 6) EPRI : Electricity Technology Roadmap, pp.C-1-C-8, 2003
- 7) Takahashi, M. : THE WORLD BANK GROUP'S PERSPECTIVES AND CASES OF CLEANER COAL TECHNOLOGY PROJECTS, *Energy & Environment*, Vol.14, No.1, pp.51-57, 2003
- 8) Whying, C. : The cost of mitigating carbon emissions in China, *Energy Policy*, vol.33, pp.885-896, 2005
- 9) Ma, C., Fujii, Y. and Yamaji, K. : China's Electric Power Sector's Option Considering Environmental Impact, エネルギー・資源学会第20回研究発表会講演論文集, pp.479-484, 2001
- 10) Xin, Z. and Chunxiu, T. : Life Cycle Assessment (LCA) of Chinese energy Chances for Shandong electricity scenarios, *Int. J. Global Energy Issues*, Vol.22, Nos.2/3/4, pp.199-224, 2004
- 11) 原田道昭 : 石炭利用技術開発の課題と今後の戦略, *Journal of*

- the Japan Institute of Energy*, Vol82, pp.812-821, 2003
- 12) 石炭エネルギーセンターホームページ
<http://www.jcoal.or.jp/cshandbook/cshandbook.html>, 2006.3.30,
 閲覧
- 13) 電源開発：中国季節石炭火力発電所効率向上調査, pp.205-303,
 NEDO, 1999
- 14) ERI, CHINA'S SUSTAINABLE ENERGY FUTURE, pp.5-15, 2003
- 15) Boudri, J.C., Hordijk, L., Kroeze, C., Amann, M., Cofala, J., Bertok, I., Li,
 J., Dai, L., Zhen, S., Hu, R., Panwar, T.S., Gupta, S., Singh, D., Kumar, A.,
 Vipradas, M.C., Dadhich, P., Prasad, N.S. and Srivastava, L. : The potential
 contribution of renewable energy in air pollution abatement in China and
 India, *Energy Policy*, vol.30, pp.409-424, 2002
- 16) IEA : Coal in the Energy Supply of China, pp9-12, 40-41, OECD
- 17) 大阪大学理工学研究科: 地球温暖化に関する研究 平成17年度報告書, 2006

ESTIMATING THE GREENHOUSE GAS REDUCTION AND COST DETERMINED BY TECHNOLOGY CHOICE FOR NEW COAL THERMAL POWER PLANTS AND THEIR RENOVATION IN CHINA

Naoki WADA, Osamu SAITO, Yugo YAMAMOTO and Tohru MORIOKA

This paper estimates the CO₂ emission and the cost of introducing Japanese advanced technology to the coal thermal-power-generation sector in China, using a newly developed technology choice model. The model calculates costs and CO₂ emission by the development of coal power plants as well as replacement and repair of existing power plants, taking into account socio-economic future scenarios in China. Timing of the introduction and regional differences in China are also considered in the model. As a result, we found that introducing the technology would reduce CO₂ emission by 16 % in total by the year of 2050 and the delay of the introduction may cause decrease in the CO₂ reduction amount and increase in cost.