

2014年8月19日

主要国の石炭火力CO₂削減ポテンシャルの評価： 運用補修と新設の効果

(公財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
システム研究グループ

問い合わせ先：小田潤一郎、徳重功子、秋元圭吾
TEL: 0774-75-2304、E-mail: sysinfo@rite.or.jp



1.1 資料の構成、本評価の特徴

資料の構成

1. イントロダクション
2. 主な想定
3. CO₂削減ポテンシャルの評価結果
4. まとめ
付録

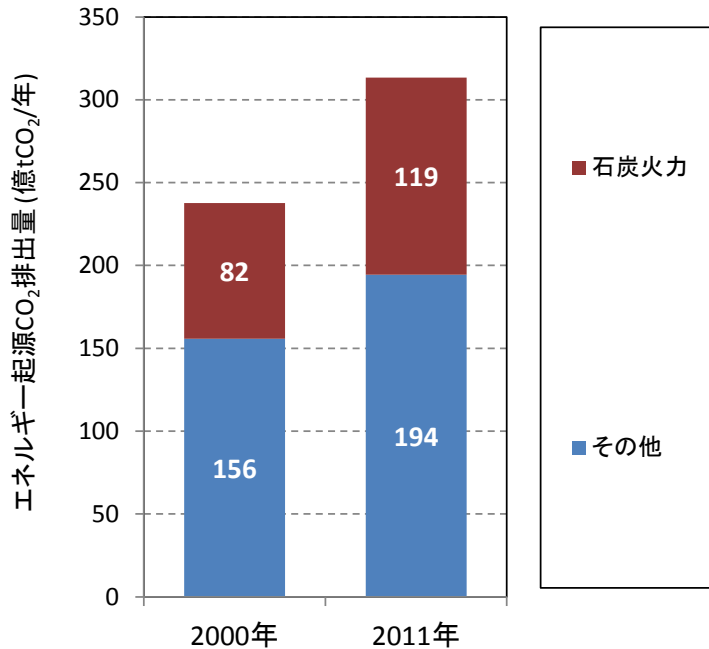
本評価の特徴

- ✓ 既往のCO₂削減ポテンシャル評価においては、既存設備含め全て新技術水準の発電効率となる(理想的な)場合を想定することが多い
- ✓ 本評価は「運用補修改善による効果」と「新設・リプレースによる効果」を切り分け、時系列的に示した点に特徴がある
- ✓ 2035年までを評価対象とする
- ✓ 評価対象地域はOECD諸国、及びアジア途上国(p.25参照)

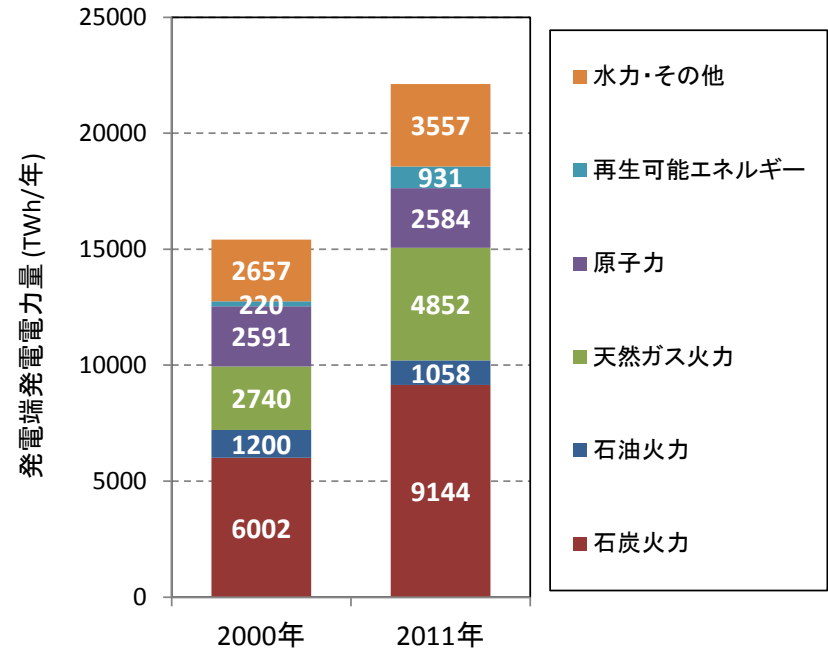
1.2 問題意識

- 世界のCO₂排出量は2000年以降も増加
- 経済成長に伴う電力需要増大、及び石炭火力新設の影響も

世界のエネルギー起源CO₂排出量



世界の発電量



出典) IEA (2013)を基にRITE整理

- このように既に多くの石炭火力を保有する中、石炭火力の発電効率向上によるCO₂削減ポテンシャルを把握することは、具体的なCO₂削減対策を進める上で重要な基礎情報となる
- 特に、既存設備に対応できる「運用補修の改善」によってどの程度のCO₂削減が期待できるか定量化することは短中期的方策の検討の際にも有効である

1.3 高効率石炭火力の概要

略称	概要 (発電効率は全てLHV基準)
USC	USCはUltra Super Criticalの略。超々臨界圧微粉炭火力と呼ばれる。2014年時点において商用運転中の石炭火力の中で最高の発電効率を誇る(ただし下のIGCCを除く)。70万kWクラスで発電端44.5%、送電端42% ^{*1} の発電効率。
A-USC	A-USCはAdvanced Ultra-Supercriticalの略。先進超々臨界圧微粉炭火力と呼ばれる。USCの次のフェーズの発電システム。600°C級のボイラー、蒸気タービンを用いるUSCに対し、A-USCは700°C級。目標は48%(送電端) ^{*1} 。
IGCC	IGCCは、Integrated coal Gasification Combined Cycleの略。石炭ガス化複合発電と呼ばれる。石炭をガス化し、そのガス燃焼によりガスタービンを回す。ガスタービンを回した後の排ガスで蒸気を発生させ蒸気タービンを回す。発電効率の目標は49.2%(発電端) ^{*2} 。
IGCC2	IGCC2は、1500°C級のガスタービンであったIGCCをさらに発展させ1700°C級としたもの。IGCCよりもさらに高い発電効率を目指す。発電効率の目標は51.3%(発電端) ^{*2} 。

*1 <http://www.env.go.jp/policy/assess//4-6tpg/attach/130426a-3.pdf>

*2 NEDO技術ロードマップ2009

補足) 発電端発電電力量とは発電所で発電した総電力量を指す。送電端発電電力量とは発電所から正味で送電した電力量を指す。発電所所内で自己消費する電力(所内ロス)を発電端発電電力量から差し引くと送電端発電電力量となる。LHV(低位発熱量、真発熱量)は、HHV(高位発熱量、総発熱量)と比較し、潜熱(水分の蒸発に使われる)の分だけ数値が小さい。LHV基準の発電効率はHHV基準の発電効率よりも見かけ上数値が大きくなる。

2. 主な想定

2.1 想定する3ケースの概要

ケース名称	運用補修と発電効率の推移 (詳細はp.7,8)	新設・リプレースの種類 (詳細はp.9)
基準ケース	<ul style="list-style-type: none"> 現状トレンドに沿った運用補修が行われる 運転経過に伴い、発電効率が低下すると想定 	<ul style="list-style-type: none"> 2015年から超々臨界圧微粉炭火力(USC)を導入 2035年からIGCC*相当を導入
対策ケース	<ul style="list-style-type: none"> 現状と比較し運用補修の積極的な改善が行われる 	<ul style="list-style-type: none"> 基準ケースに比べ、早い時期からIGCC*相当を導入
新技術ケース	<ul style="list-style-type: none"> 運転経過に伴う発電効率低下を回避できると想定 	<ul style="list-style-type: none"> 対策ケースよりさらに早い時期からIGCC*、IGCC2*相当を導入

* IGCC、IGCC2の概要についてはp.4を参照のこと。

2. 主な想定

2.2 運用補修改善ポテンシャル参考データ

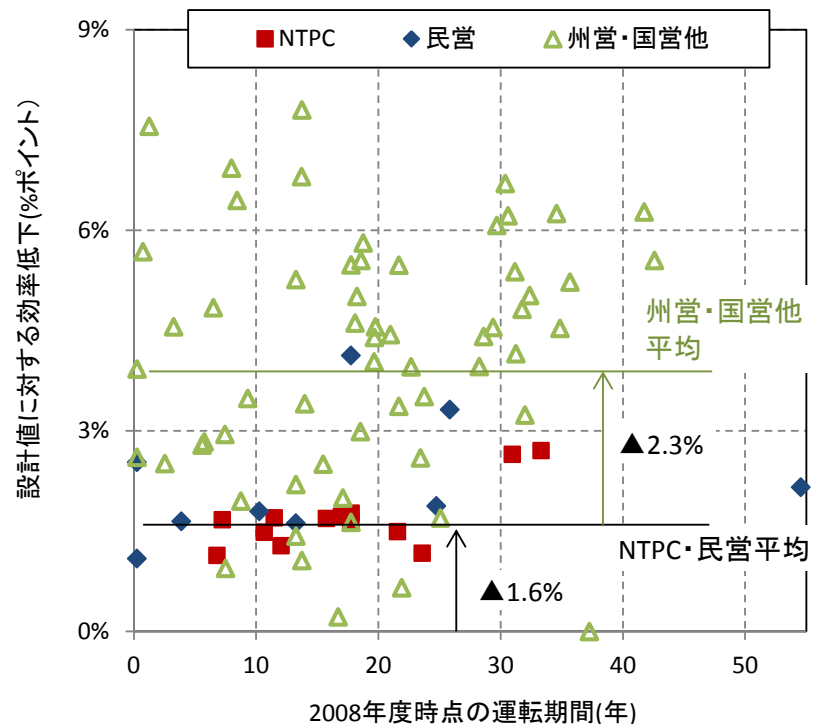
運用補修改善ポテンシャルの設定

- アジア途上国は、1) アンケート調査、2) GSEP調査、3) NEDO調査、などを参考とした
- インドは、「インド省エネルギー達成認証制度 Perform, Achieve and Trade (以下PATと記載)」を実施しており、この中で発電所ごとの発電効率などを公表しており、今回、参考とした

運用補修改善により期待される効果(参考値)

国	調査主体など	改善ポテンシャル (%ポイント)
インド	インド電力省 (2012) PAT に基づく整理*0	およそ2% (右下の補足参照)
	NEDO調査*1	1.9%から2.4%
	Hajime Murata (2013)*2	4.2%
中国	アンケート調査	2.6%
インドネシア	Hajime Murata (2011)*3	1.2%
	GSEP 電気事業連合会*4	2%以上
(参考) ポーランド	GSEP 電気事業連合会*5	約3%
	GSEP 日立製作所*6	4.8%

インドPATデータ(2007-09年度平均)*0



*0 インド電力省 "BEE PAT Booklet_Final.pdf" (2012)を基にRITE整理
補足) NTPC はインドの最大の電力会社。国営。NTPC・民営が設計効率まで、
州営・国営他がNTPC・民営水準まで、それぞれ効率改善が期待できると想定する
と、それぞれ1.6%、2.3%の改善となる

補足) 「アンケート調査」は、各国の石炭火力保有の事業者に対し行ったものである。GSEPはGlobal Superior Energy Performance Partnershipの略であり、エネルギー効率向上に関する国際パートナーシップと呼ばれる。

*1 インド国石炭火力発電所における効率改善事業の案件(組成)調査(2013) ※選炭の効果を除く

*2 Assessment of Aged Power Plants to Improve the Efficiency, WEC *ただし最新鋭の蒸気タービンへ更新した場合

*3 Efficient and Clean Use of Coal (ECUC) Assessment of Suralaya Unit 7, WEC, 2011

http://www.worldenergy.org/documents/44b_assessment_of_suralaya_unit_7_murata_japan_.pdf

*4 「エネルギー効率向上に関する国際パートナーシップ(GSEP)」によるインドネシアワークショップへの参加について

http://www.fepec.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/fieldfile/2013/01/28/20130128_GSEP.pdf

*5 GSEP Site Visit Activity in Poland

<http://www.pwc.com/jp/ja/japan-seminar/2013/assets/pdf/global-superior-energy131014-16-d5.pdf>

*6 Hitachi Coal Fired Power Plant Technology (2013)

2. 主な想定

2.2 運用補修と発電効率の推移 (既設)

補足)「アンケート結果」は、各国の石炭火力保有の事業者に対して行ったアンケート調査を整理・集約したものである。現状の発電効率や運用補修改善余地は、多くの場合、企業にとって秘匿すべきデータとされる。一方で、これらデータの観測評価を行っていない発電所もある。そのためアンケートの有効回答数・回答比率をいかに確保するかが鍵である。

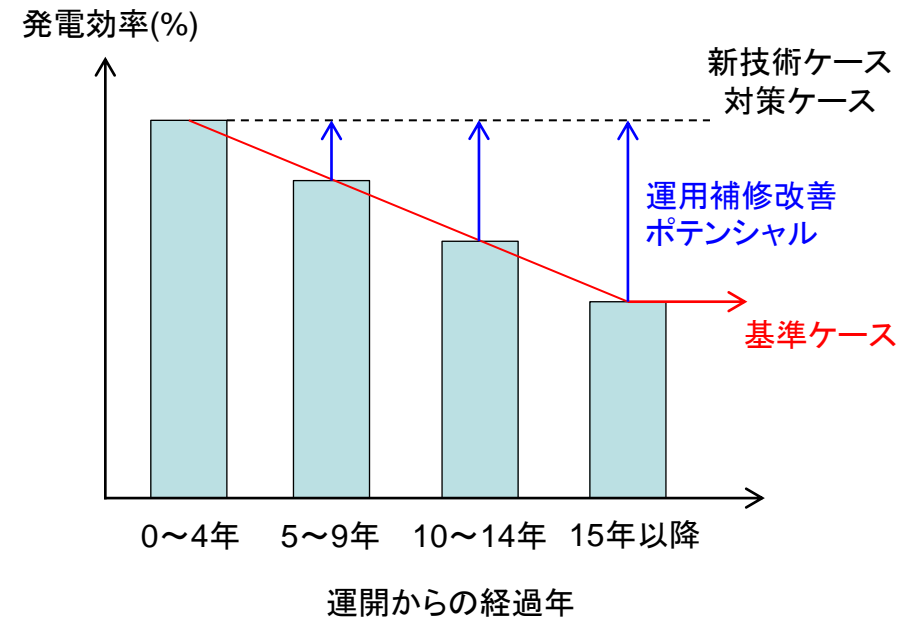
運用補修改善ポテンシャルの設定

- 「日本」「先進国(日本以外)」「途上国」の3地域別に設定
 - 日本 : 日本でのアンケート結果を適用
 - 先進国(日本以外): 米国でのアンケート結果を適用
 - アジア途上国 : 中国でのアンケート結果、インドPATデータなどを基に設定
- <詳細についてはp.6及び付録を参照のこと>
- 発電効率は運開後15年まで線形で低下し、その後は一定で推移すると想定

発電効率一定後の運用補修改善ポテンシャル (%ポイント値)

評価対象地域		蒸気条件	運用補修改善ポテンシャル (%ポイント)	
			既存設備	新規設備
先進国	日本	亜臨界圧 (PC)	0.48%	0.40%
		超臨界圧 (SC)	0.40%	
		その他	-	
	日本以外	亜臨界圧 (PC)	0.62%	0.40%
		超臨界圧 (SC)	0.59%	
		その他	-	
アジア途上国		分類せず	2.0%	2.0%

発電効率推移と運用補修改善ポテンシャル



2. 主な想定

2.2 運用補修と発電効率の推移（新設・リプレイス）

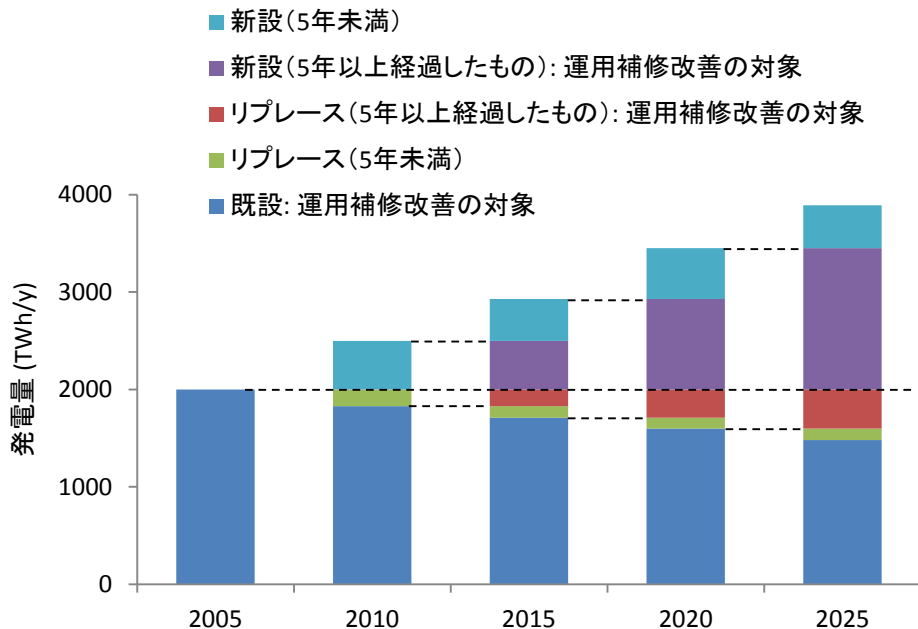
運用補修改善の対象となるのは、5年以上経過した新設・リプレイス設備

- 基準ケースでは、これら新設・リプレイス分も運転経過に伴い発電効率が低下すると想定（これらが運用補修改善の対象）

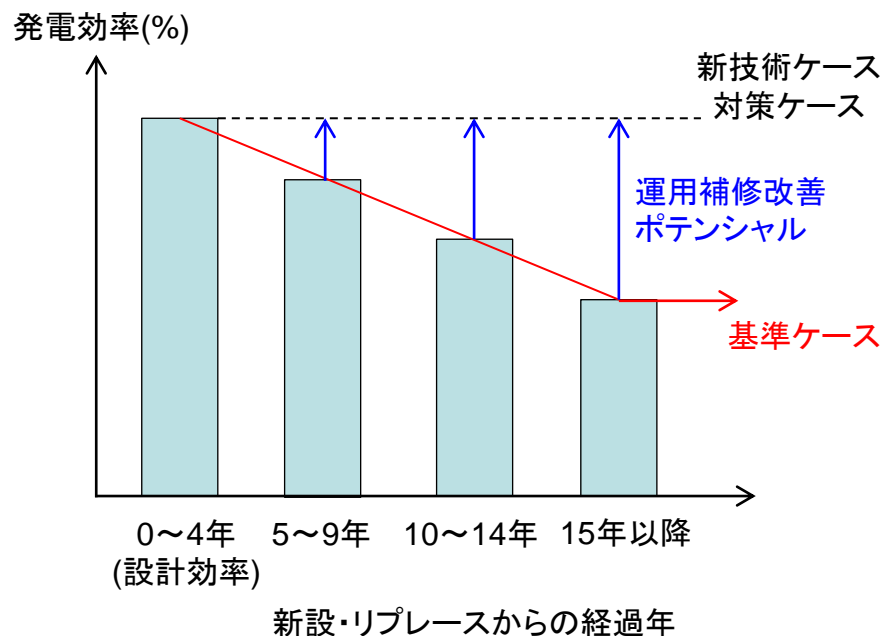
運用補修改善ポテンシャルの設定

- 既設のポテンシャルと同等と設定

既設・新設・リプレイス設備の推移イメージ



発電効率推移と運用補修改善ポテンシャル



注) リプレイスによる容量拡大、経年的な稼働率の変化はないものと仮定

2. 主な想定

2.3 新設・リプレースによる発電効率向上

- 石炭火力新設量はIEA “World Energy Outlook 2013”のCurrent Policiesシナリオに基づく
- リプレース設備容量は、50年(途上国は40年)経過した石炭火力の容量から算定(運開時点はPlattsデータに基づく)
- 新設・リプレース共に、下の表に示した設備(相当の発電効率を持つ設備群)が導入されると想定

時点別の新設・リプレース設備の想定

シナリオ	地域	2010	2015	2020	2025	2030	2035
基準 ケース	先進国	PC相当	USC相当				IGCC相当
	アジア途上国						
対策 ケース	先進国	USC相当	USC相当			IGCC相当	
	アジア途上国	PC相当					
新技術 ケース	先進国	USC相当	USC相当	IGCC相当		IGCC2相当	
	アジア途上国						

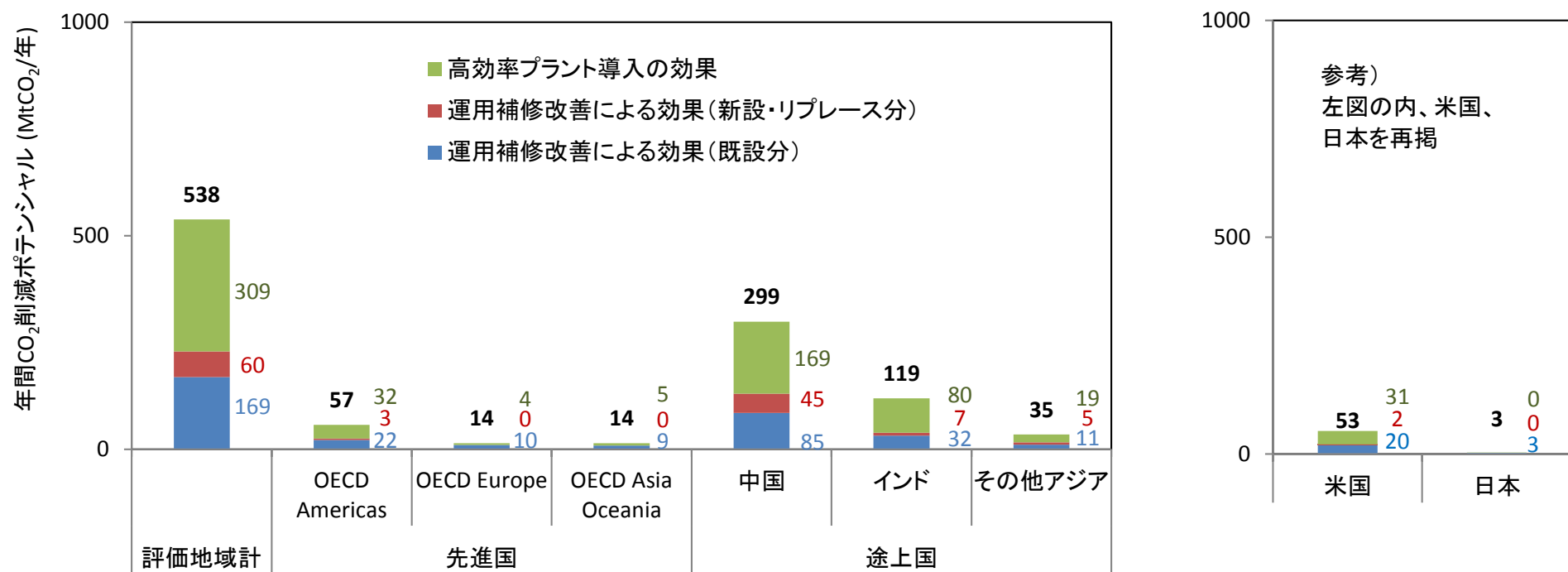
	石炭火力の種類	発電効率 (発電端・LHV)	備考・出典
新設・リプレース	亜臨界圧微粉炭火力(PC) [新規分]	-	地域別の既設発電効率 +運用補修改善ポテンシャル
	超々臨界圧微粉炭火力(USC)	43.1%	NEDO技術ロードマップ2009
	石炭ガス化複合発電(IGCC) [1500℃級]	49.2%	
	” (IGCC2) [1700℃級]	51.3%	

注) 超臨界圧微粉炭火力(SC)に加え、A-USCなどの導入は明示的に考慮していない。ただし、PC、USC、IGCCなどの組合せにより表現できているものとして扱う。発電システムの概要についてはp.4を参照のこと。

3.1 2020年の評価地域CO₂削減ポテンシャル : 対策ケース

- ✓ 「①運用補修(既設・新設・リプレース設備)改善によるCO₂削減量」、「②高効率プラント導入によるCO₂削減量」を別々に評価
- ✓ 対策ケースCO₂削減量(基準ケース比・2020年)の評価結果から、主に次のことが言える
 - 評価地域合計のCO₂削減量は538 (百万tCO₂/年)
 - その内、①は229 (百万tCO₂/年)と約43%を占め、運用補修による効果も大きい

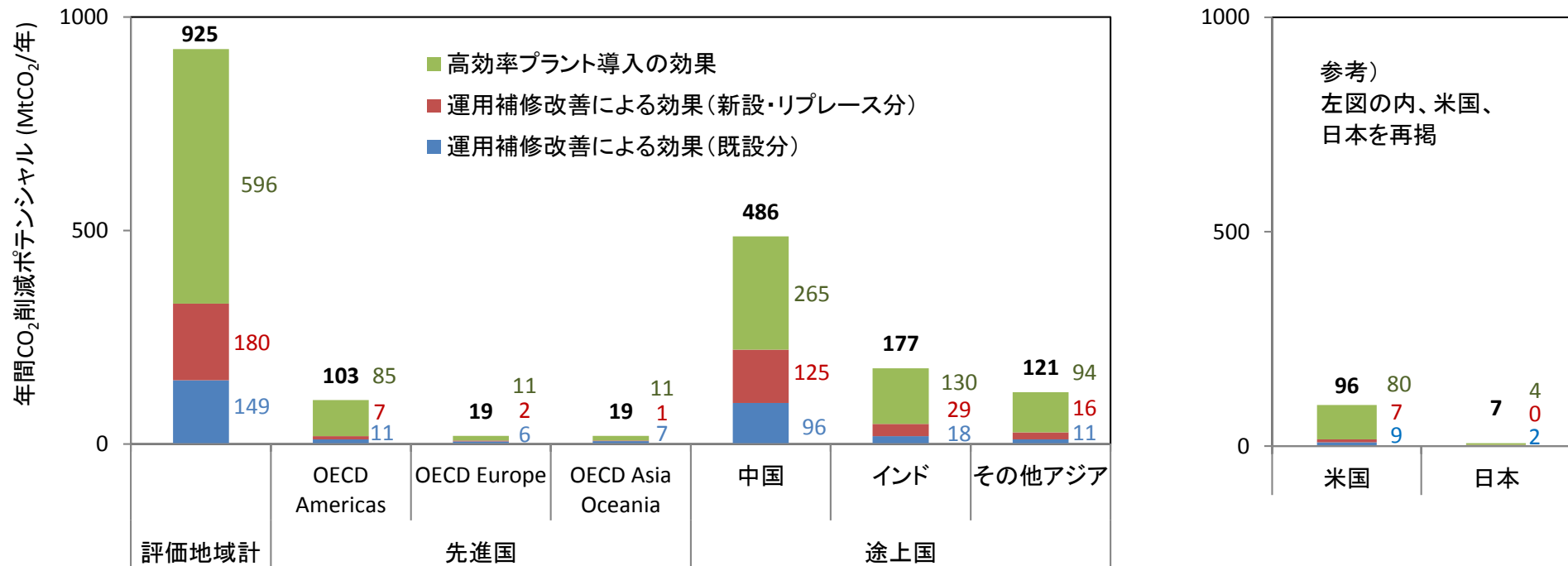
対策ケースCO₂削減量 (基準ケース比・2020年)



3.2 2030年の評価地域CO₂削減ポテンシャル : 対策ケース

- ✓ 対策ケースCO₂削減量(基準ケース比・2030年)の評価結果から、主に次のことが言える
 - 評価地域合計のCO₂削減量は925 (百万tCO₂/年)
 - 2020年の結果と比べ2030年は図の赤部、即ち運用補修改善による効果(新設・リプレース分)が大きく伸びる
 - 長期的には図の緑部、即ち日本の貢献により高効率プラント導入を加速させ、その後の運用補修についても日本が関わっていくことで図の赤部の削減が期待できる

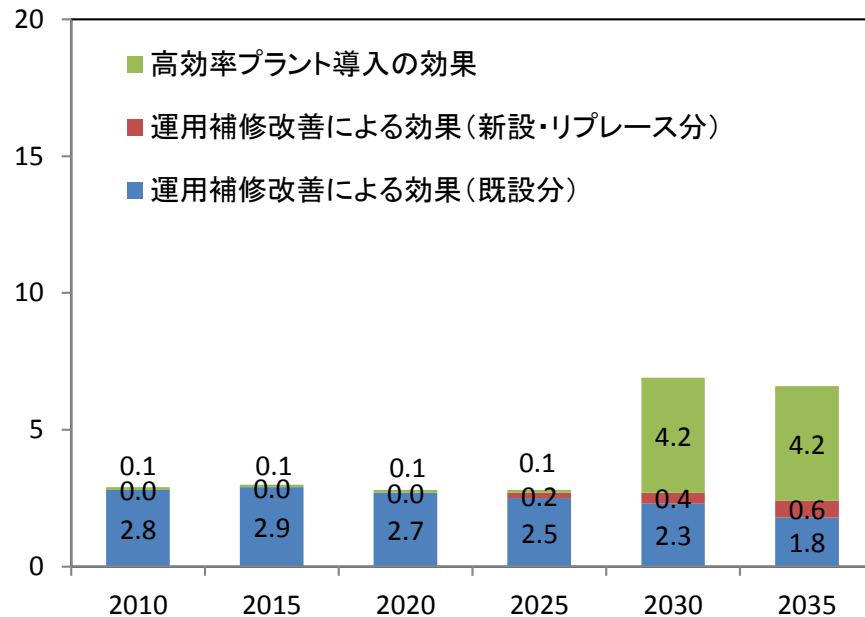
対策ケースCO₂削減量 (基準ケース比・2030年)



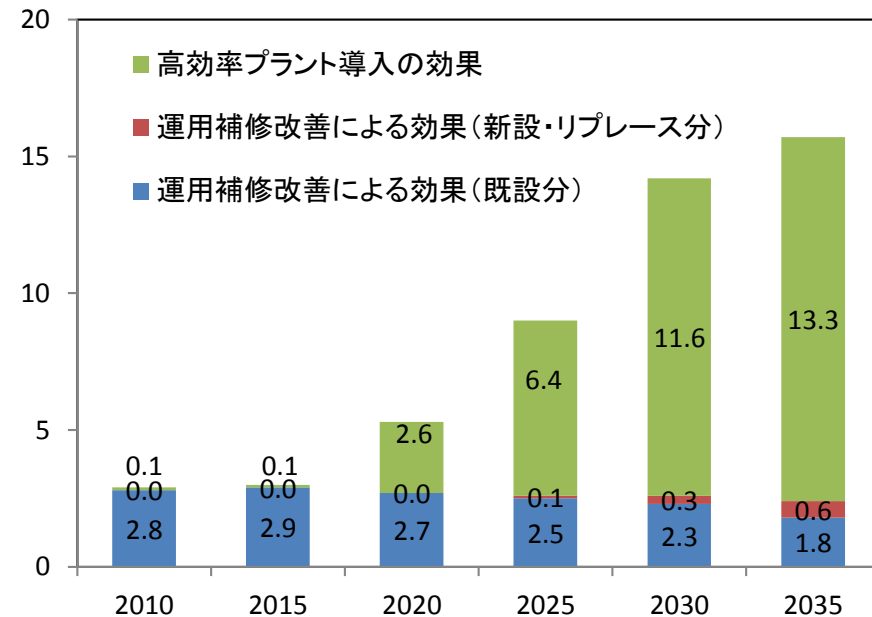
3.3 日本のCO₂削減ポテンシャル

- 運用補修改善によるCO₂削減ポテンシャルは2.7 (百万tCO₂/年)程度
 - ただし、日本は適正な運用補修を行っているため、この削減ポテンシャルは既に達成済み^{*1}
 - つまり「仮に適正な運用補修を実施できなかった場合、潜在的にこの程度の排出増となる」と解釈すべき
- *1 このように、運用補修を努力し既に図の青部を一部達成している地域としては、ドイツ、韓国などが考えられる
- より大きな削減量を確保するには、新技術ケースで想定したような高効率発電設備の導入が必要

対策ケース (基準ケース比)



新技術ケース (基準ケース比)



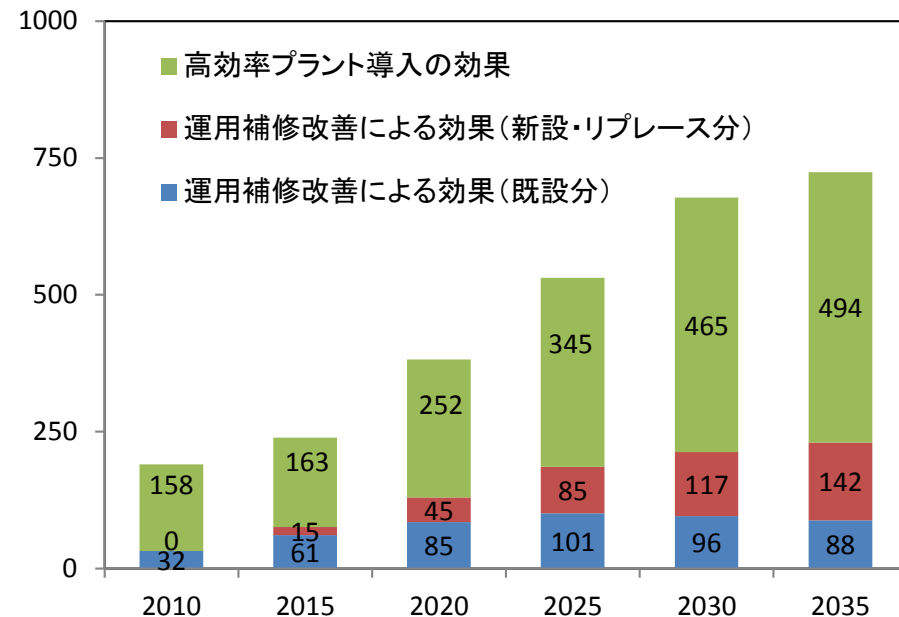
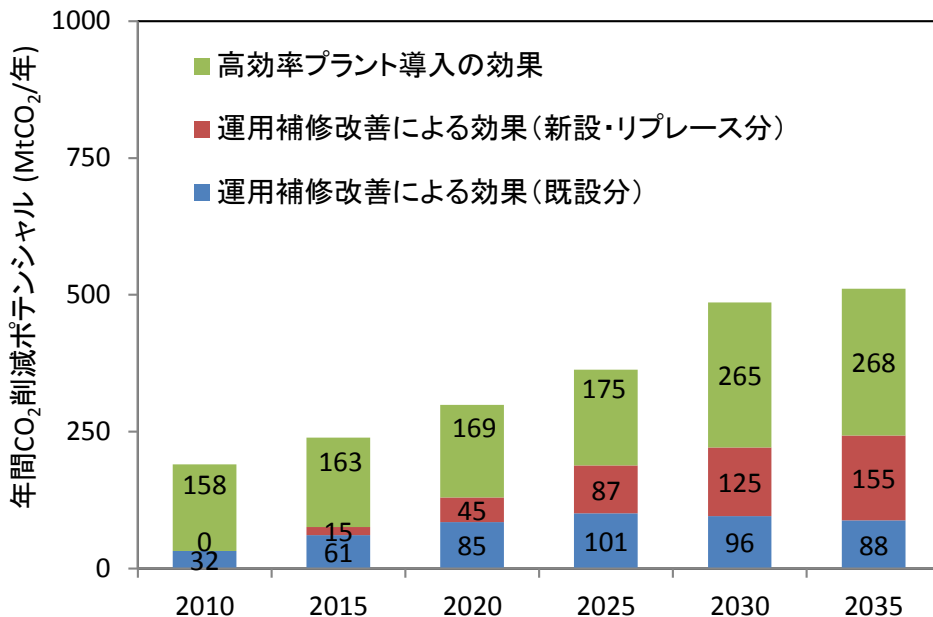
年間CO₂削減ポテンシャル (MtCO₂/年)

3.4 中国のCO₂削減ポテンシャル

- 中国は多くの石炭火力を保有していると同時に、今後の新設規模も大きいと見込まれる
- 2030年時点の「①運用補修改善によるCO₂削減量」は213ないし221 (百万tCO₂/年)、「②高効率プラント導入によるCO₂削減量」は265ないし465 (百万tCO₂/年)と共に大きい
- 中国の①だけで、日本の石炭火力からのCO₂排出総量と近い水準である(p.16参照)

対策ケース (基準ケース比)

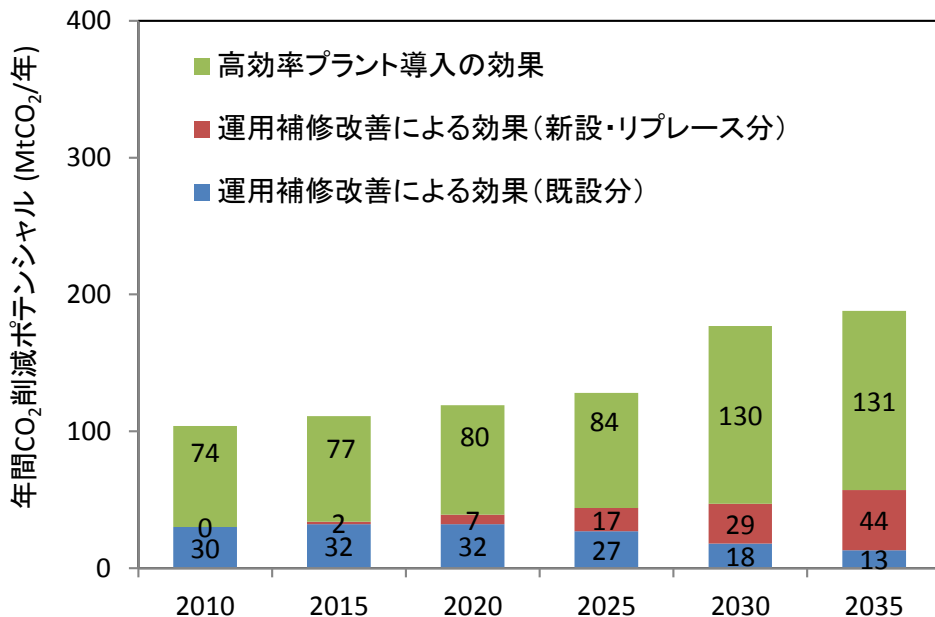
新技術ケース (基準ケース比)



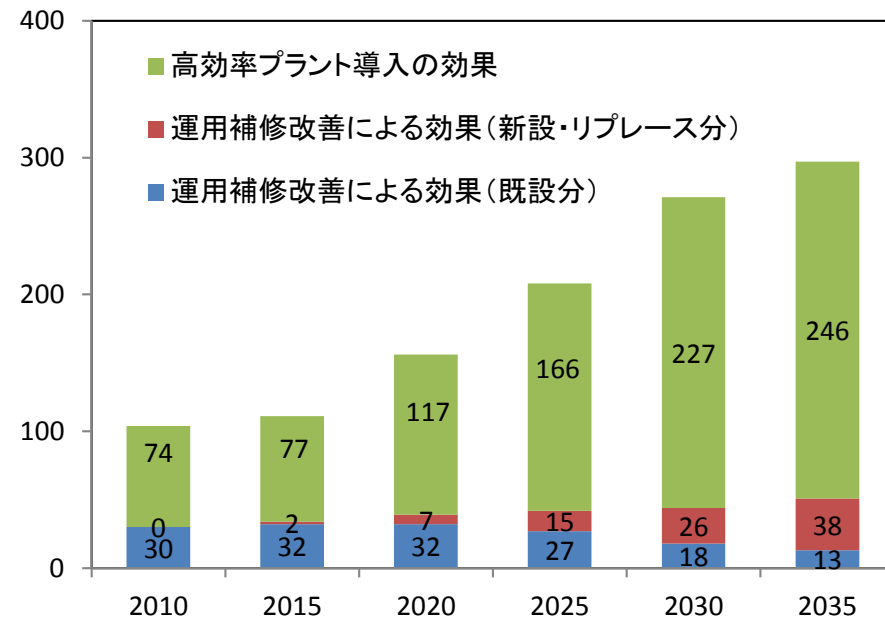
3.5 インドのCO₂削減ポテンシャル

- 今後、インドでも新設が大きく見込まれており、比率で見れば新設時に高効率プラントを導入することの効果大きい
- 「②高効率プラント導入によるCO₂削減量」は、2030年時点で130ないし227 (百万tCO₂/年)である
- また新設・及びリプレース設備の運用補修も大きなポイントであり、これら新プラントの運用補修の改善によるCO₂削減ポテンシャルは、2030年時点で26ないし29 (百万tCO₂/年)となる

対策ケース (基準ケース比)



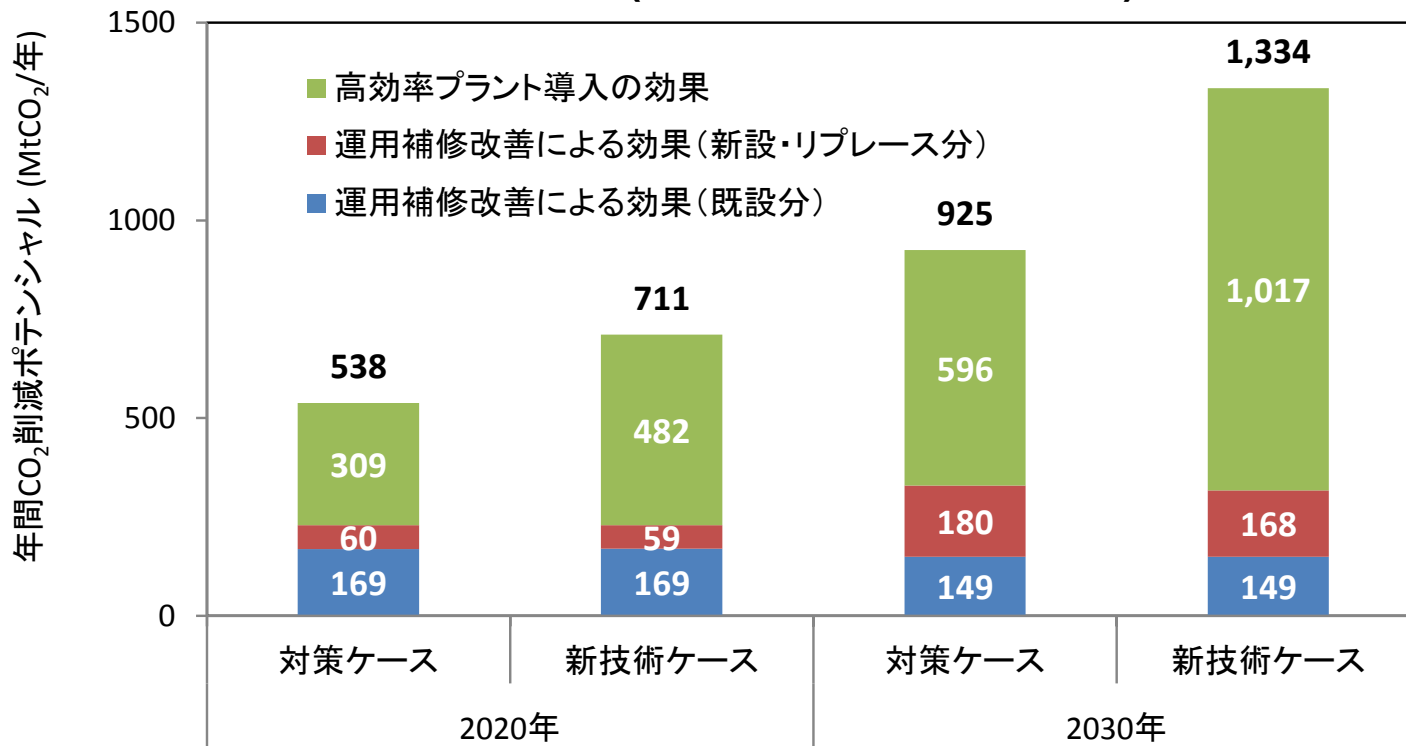
新技術ケース (基準ケース比)



3.6 対策ケースと新技術ケースの比較

- ✓ 今回の評価対象地域におけるCO₂削減ポテンシャルの結果から、主に次のことが言える
 - 2020年といった時間軸で考えると、プラント建設に比べ相対的に障害となる要素が少ないと考えられる運用補修の改善は重要であり、今後とも注目すべき手段だと考えられる(図の青部のCO₂削減を目指す方向性)。
 - 長期的には、高効率プラントの開発・普及の重要性が増す。日本の貢献により高効率プラントを世界的に普及させ(図の緑部)、その後の運用補修についても日本が関わっていくことが重要である(図の赤部のCO₂削減もさらに目指す方向性)。

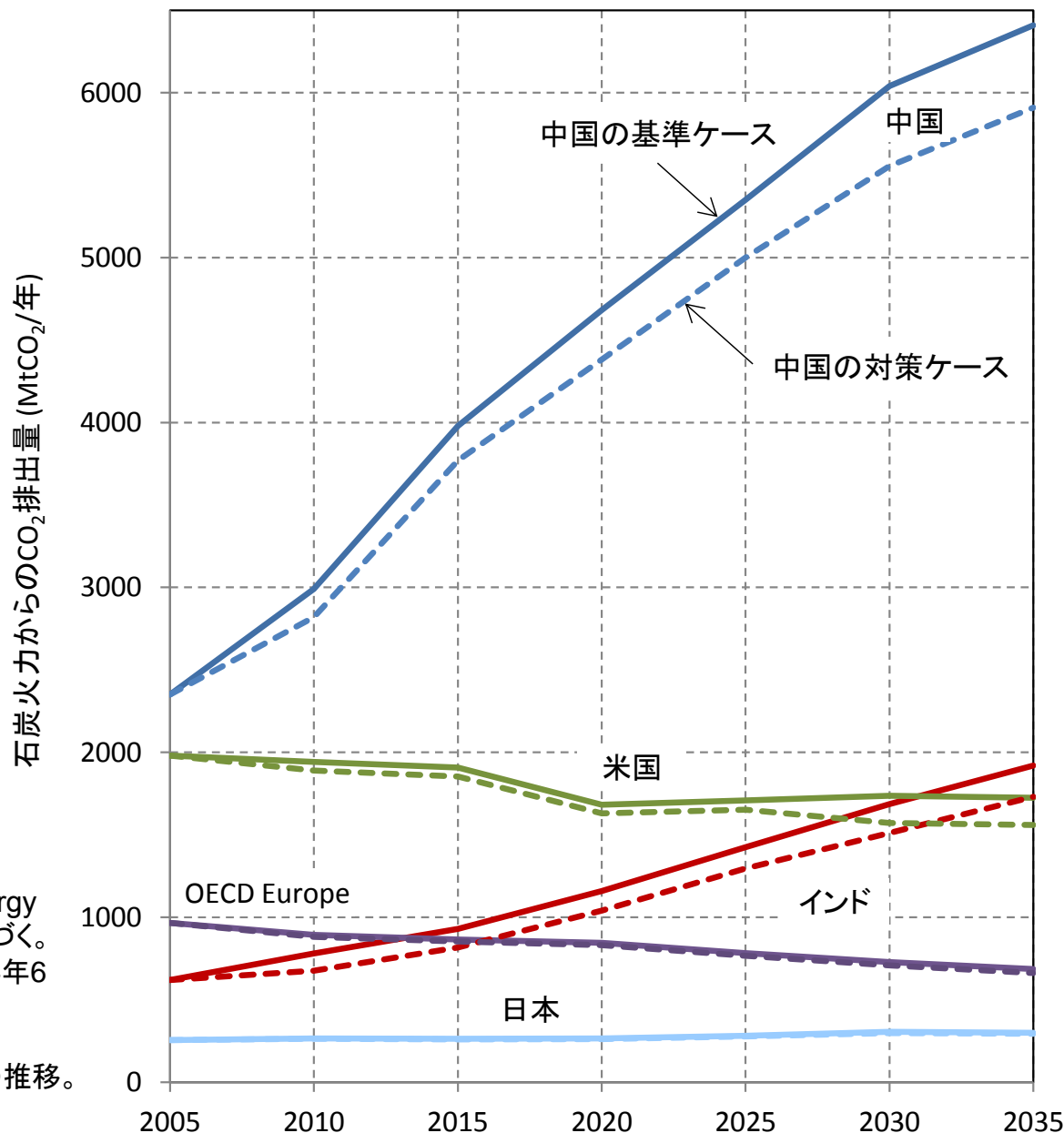
評価地域計(OECD諸国、アジア途上国)



3.7 石炭火力からのCO₂排出見通し

基準ケース 及び 対策ケース

- ✓ 今後とも中国、インドの石炭火力の増加が見込まれ、これに伴いCO₂排出の上昇が予想される
- ✓ 中国の削減ポテンシャルは、日本の石炭火力CO₂排出総量よりも大きい(p.13参照)
- ✓ 温暖化対策を進めるためには、このようなCO₂排出量やCO₂削減ポテンシャルの規模感を共有することが重要である



補足) 石炭火力発電量・設備容量はIEA “World Energy Outlook 2013”のCurrent Policiesシナリオに基づく。そのため、例えば米国の場合、米国EPAが2014年6月に示した規制案とは大きく異なる。

注) 図中の実線は基準ケース、点線は対策ケースの推移。本図では主要地域のみ抜粋。

4. まとめ

短中期(2020年)

1. 2020年の石炭火力CO₂削減ポテンシャル(評価地域計)は、対策ケースで538 (百万tCO₂/年)である [対基準ケース]
2. この内、運用補修改善による削減ポテンシャルは229 (百万tCO₂/年)と、削減ポテンシャルのおよそ4割を占める
3. 日本の役割を考えると、率先して海外石炭火力の運用補修改善に取り組むことが重要である

中長期(2030年)

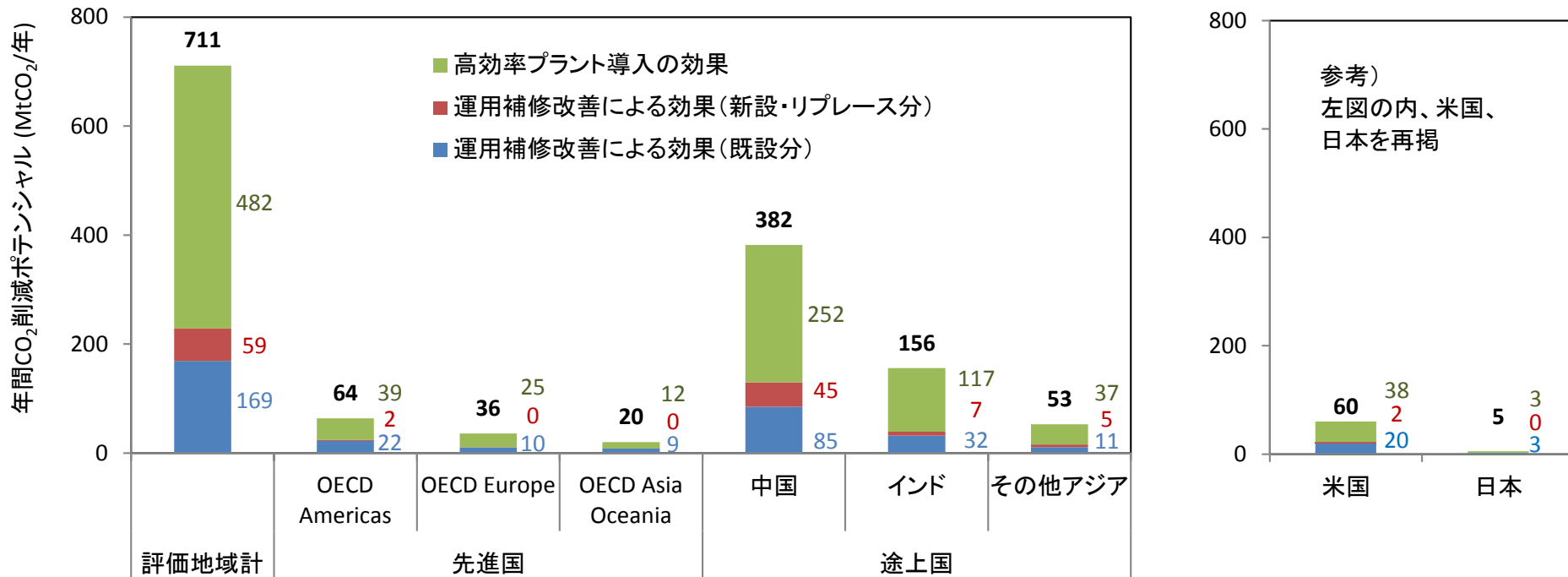
4. 2030年の石炭火力CO₂削減ポテンシャル(評価地域計)は、対策ケースで925 (百万tCO₂/年)、新技術ケースで1,334 (百万tCO₂/年)である[対基準ケース]
5. 中長期的にはやはり高効率プラント導入の直接効果が大きくなる
6. 中長期的に、発電効率に優れた石炭火力(例えばA-USC*やIGCC*)の開発・世界的普及を進めることが日本の役割として期待される

* A-USC、IGCCの概要については、[p.4](#)を参照のこと。

付録1. 2020年の評価地域CO₂削減ポテンシャル :新技術ケース

- ✓ 「①運用補修(既設・新設・リプレース設備)改善によるCO₂削減量」、「②高効率プラント導入によるCO₂削減量」を別々に評価
- ✓ 新技術ケースCO₂削減量(基準ケース比・2020年)の評価結果から、主に次のことが言える
 - 評価地域合計のCO₂削減量は711(百万tCO₂/年)
 - その内の①は229(百万tCO₂/年)と約32%を占め、運用補修による効果も十分大きい
 - 地域別に見ると、中国、インド、米国などのシェアが大きい一方、日本は評価地域計の1%未満

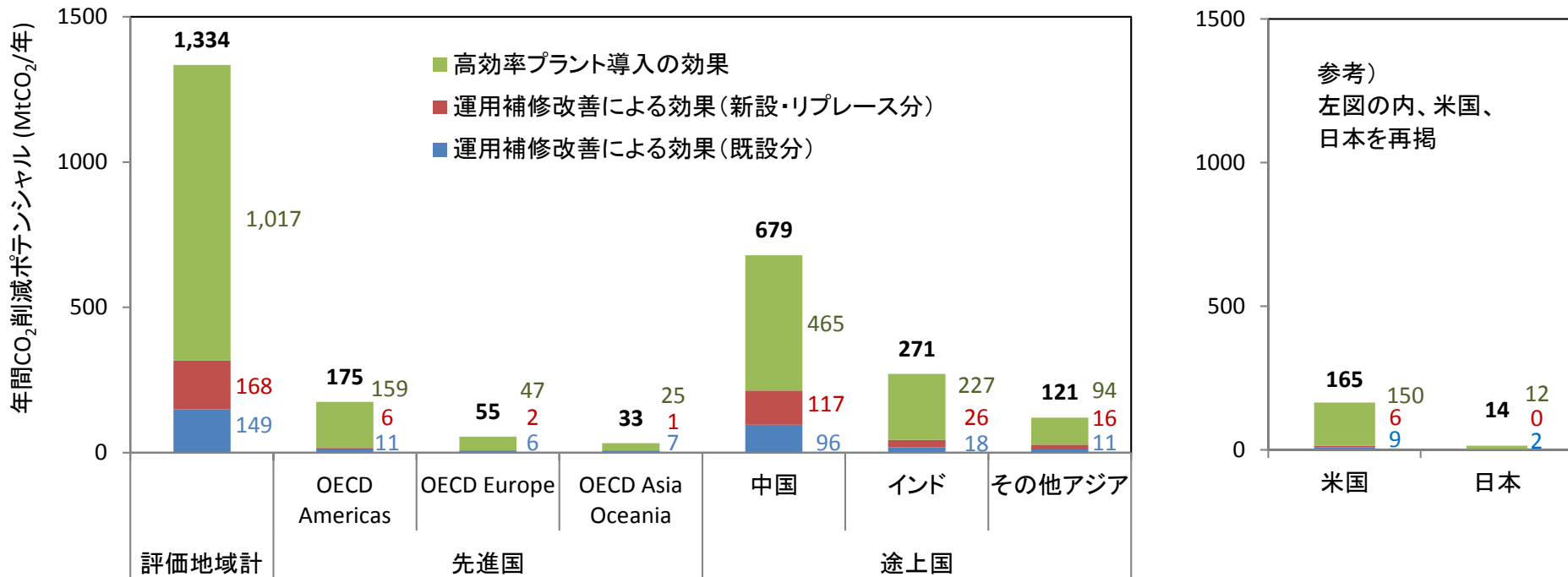
新技術ケースCO₂削減量(基準ケース比・2020年)



付録1. 2030年の評価地域CO₂削減ポテンシャル :新技術ケース

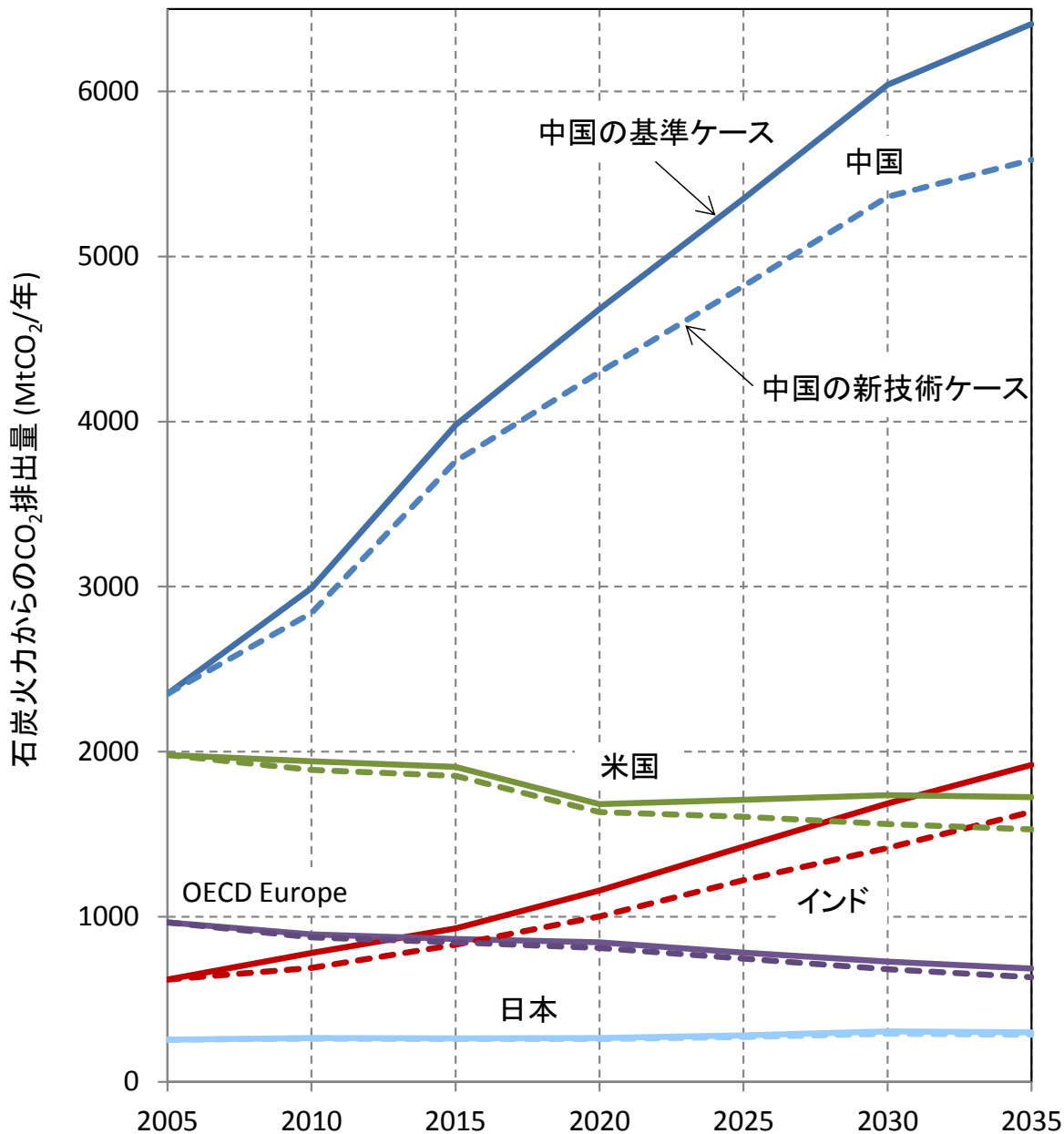
- ✓ 新技術ケースCO₂削減量(基準ケース比・2030年)の評価結果から、主に次のことが言える
 - 評価地域合計のCO₂削減量は1,334 (百万tCO₂/年)
 - その内の「①運用補修の改善による効果」は317 (百万tCO₂/年)と約24%を占める
 - 2020年と比較し2030年は新設量の増大に伴い「②高効率プラント導入によるCO₂削減量」の比率が上昇
 - 長期的には、高効率プラント導入の効果がより大きくなる

新技術ケースCO₂削減量 (基準ケース比・2030年)



付録2. 石炭火力からのCO₂排出見通し

基準ケース 及び 新技術ケース

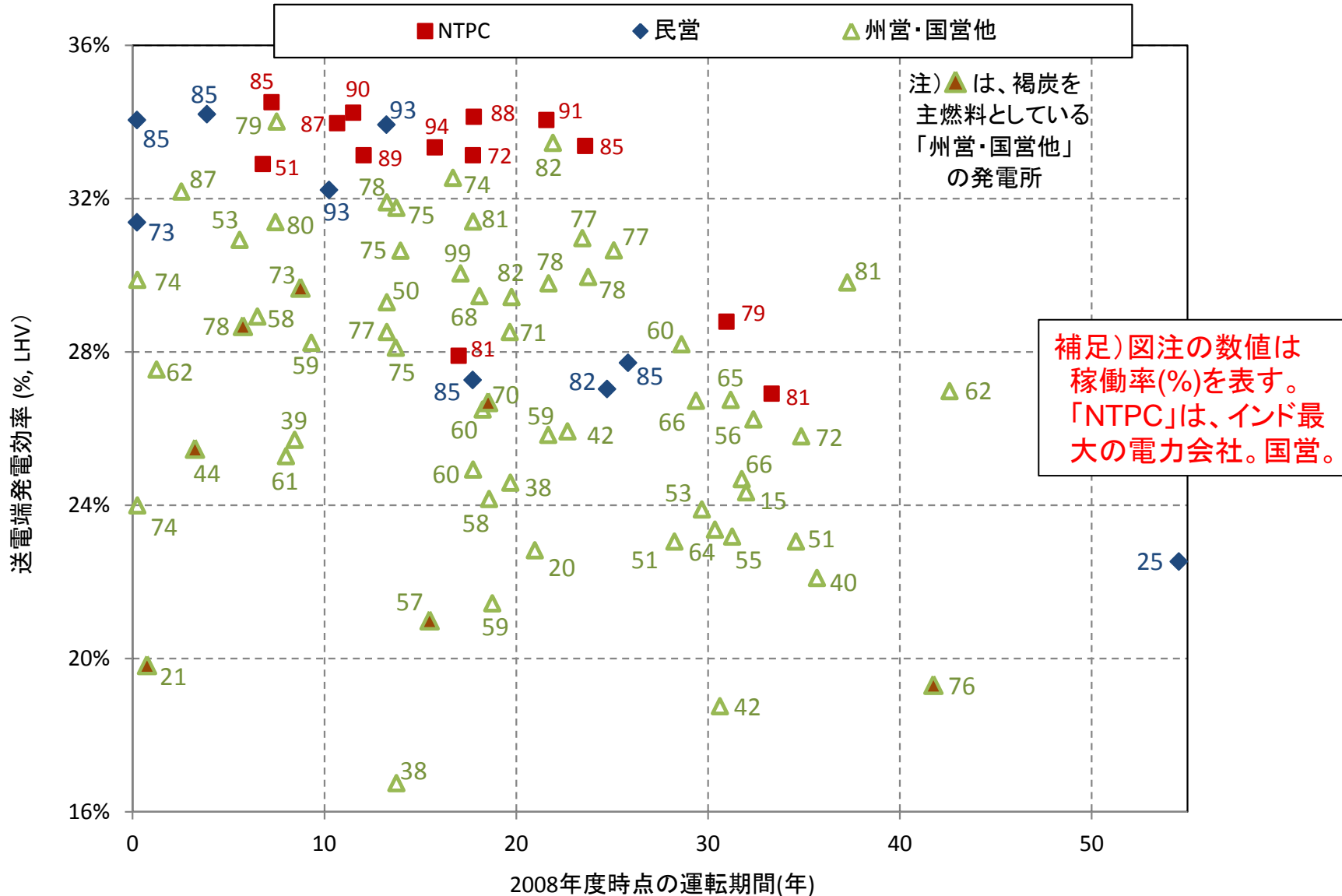


補足) 石炭火力発電量・設備容量はIEA “World Energy Outlook 2013”の Current Policiesシナリオに基づく。そのため、例えば米国の場合、米国EPAが2014年6月に示した規制案と大きく異なる。

注) 図中の実線は基準ケース、点線は新技術ケースの推移。
本図では主要地域のみ抜粋。

付録3. インドPAT発電効率 (実績値実数)

インド石炭火力 発電効率実績値 (2007-09年度平均PATデータ、発電所別)



出典) インド電力省 “BEE_PAT_Booklet_Final.pdf” (2012)を基にRITE整理 (N = 82発電所)

付録3. インドPAT発電効率（実績値実数）

✓ 送電端 発電効率 実績値 (2007-09年度平均)

- 発電効率実績値が、どのような要素と連関があるかを重回帰により評価 (N = 82発電所)
- 統計的有意性及び論理的説明力の観点から有力と見られる回帰式が多数特定されたが、ここでその中から2つの式を示す

回帰式1

送電端発電効率実績値 (%)

$$= 20.2\% + 1.9\% * \text{全容量(GW)} - 0.09\% * \text{運転期間(年)} + 0.12 * \text{稼働率(\%)} - 2.5\% * \text{褐炭ダミー} + 0.041 * \text{海外炭比率\%}$$

(4.4) (-3.7) (7.3) (-2.6) (1.9)

()内はt値、R²=0.71

回帰式2

送電端発電効率実績値 (%)

$$= 20.7\% + 1.7\% * \text{全容量(GW)} - 0.10\% * \text{運転期間(年)} + 0.11 * \text{稼働率(\%)} - 2.6\% * \text{褐炭ダミー} + 1.2\% * \text{NTPC・民営ダミー}$$

(3.9) (-4.1) (6.8) (-2.7)

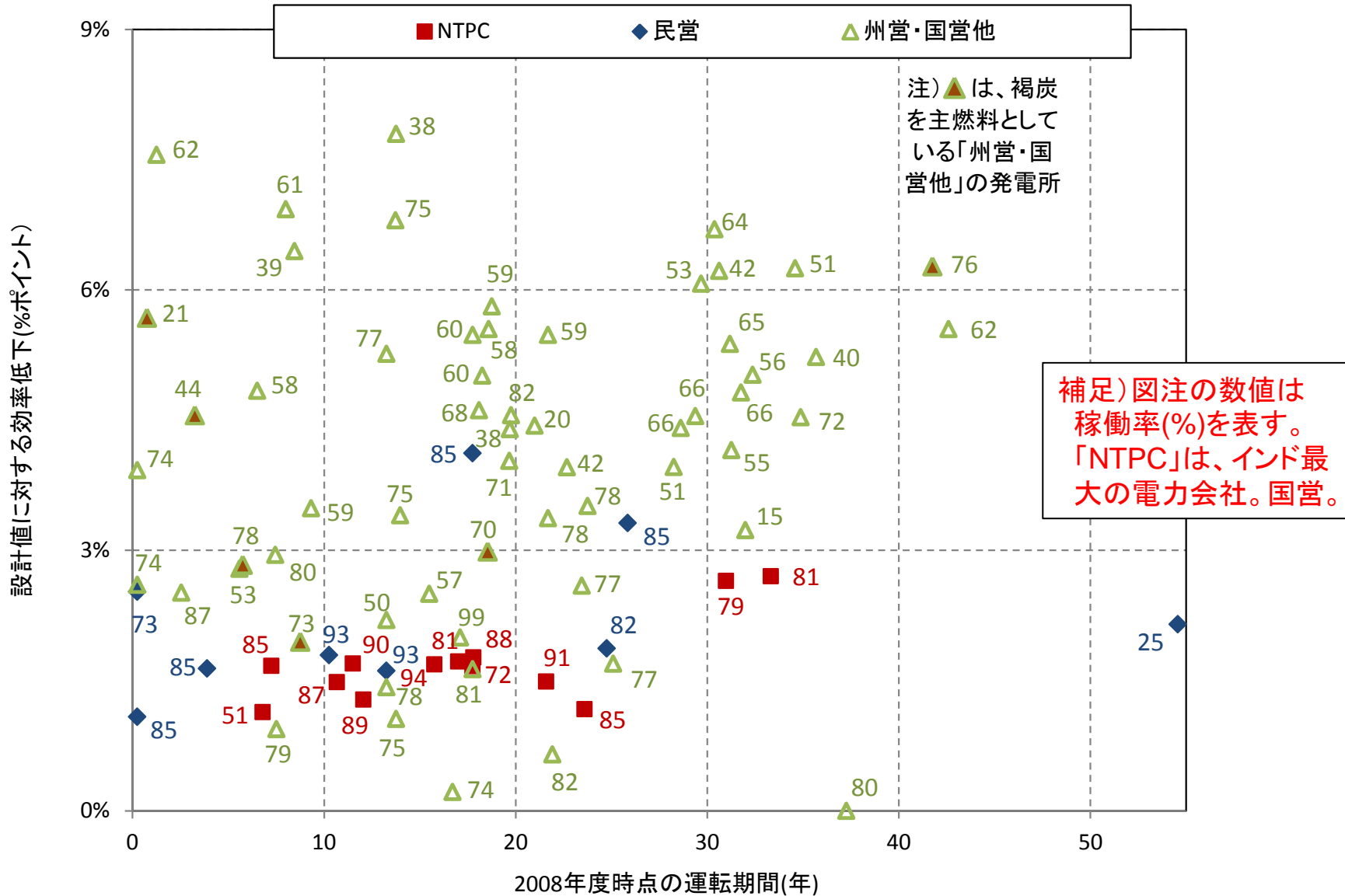
(1.9) ()内はt値、R²=0.71

✓ 重回帰分析の結果

- 全容量(発電所の設備容量合計)、運転期間、稼働率は発電効率と連関が強い
- 褐炭を利用する発電所は、相対的に2.5%ポイント程度、劣る発電効率と評価される
- 海外炭を利用する発電所、あるいは運営がNTPC・民営であれば、そうでない発電所よりも優れた発電効率となっている
- これはNTPC・民営の方が海外炭(灰分がインド国内の石炭よりも少ない)を活用する傾向にあるためと考察される [海外炭比率とNTPC・民営ダミーの相関係数は0.3]

付録4. インドPAT発電効率（対設計値）

インド石炭火力 設計値と実績値の差（2007-09年度平均PATデータ、発電所別）



付録4. インドPAT発電効率（対設計値）

- ✓ 設計値に対する発電効率実績(2007-09年度平均)の低下(乖離)%ポイント
 - 設計値と実績発電効率の差異が、どのような要素と連関があるかを重回帰により評価
 - サンプル数(N)= 82発電所
 - 統計的有意性、及び論理的説明力の観点にて選択された重回帰式は次の通り

設計値と実績値の差(%ポイント)

$$= 6.5\% - 0.039 * \text{稼働率}(\%) - 1.5\% * (\text{NTPC} \cdot \text{民営ダミー})$$

(-3.8) (-3.5) ()内はt値、R²=0.37

✓ 重回帰分析の結果

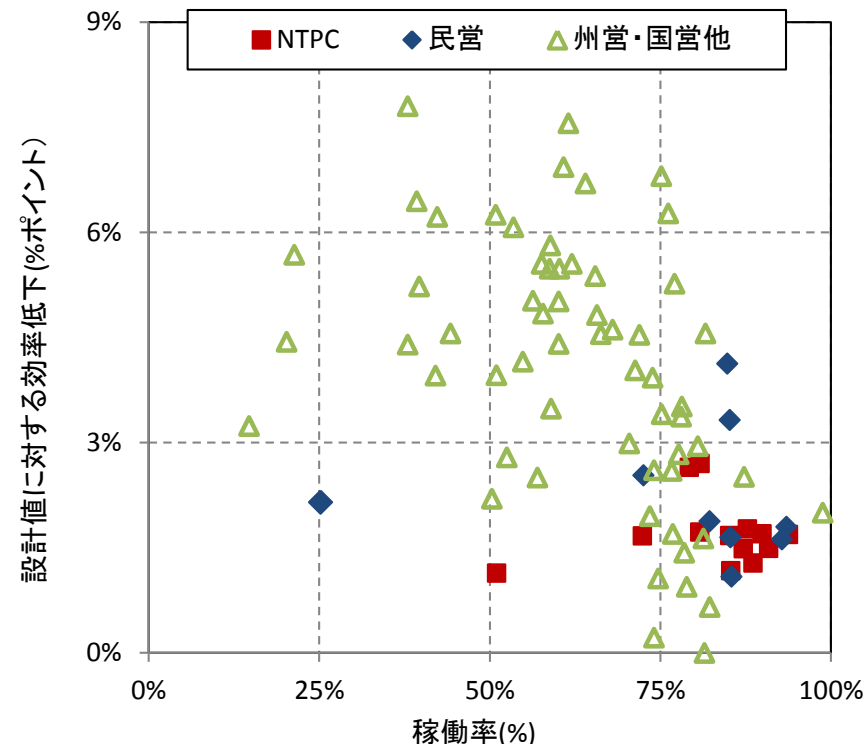
- 稼働率が高いほど設計値に近い優れた発電効率となる(あるいは、優れた発電効率の設備を優先的に稼働)^{※1}
- 国営かつインド最大の電力会社NTPC、及び民営の石炭火力は、州営・国営他に比べ稼働率差異を考慮しても1.5%ほど設計値との乖離が小さい(これはNTPC、民営が相対的に優れた運転補修を行っている影響もあると考えられる)^{※2}

出典) インド電力省 “BEE PAT Booklet Final.pdf” (2012)を基にRITE整理

※1 稼働率低下により発電効率が低下するという技術的影響もある。さらに、出力低下も深刻となるほど著しい発電効率低下となった場合、設計MW当たりの発電量で算定した今回の稼働率は(例えば稼働時間が長い場合でも)低下する。

※2 州営の石炭火力は、相対的により灰分の多い石炭を使用している可能性がある。インド国内炭の典型的灰分は36%から44%。CEA, Review of Performance of Thermal Power Stations, 2013 も参照のこと。

インド石炭火力 設計値と実績値の差
(2007-09年度平均PATデータ)



付録5. 評価対象地域と具体的な国名

分析対象地域	具体的な国名
OECD Americas	米国、カナダ、メキシコ、チリ
OECD Europe	EU15ヶ国、チェコ、エストニア、ハンガリー、アイスランド、ポーランド、スロバキア、トルコ、ノルウェー、スイス、スロベニア、イスラエル
OECD Asia Oceania	日本、オーストラリア、ニュージーランド、韓国
中国	中国
インド	インド
その他アジア	台湾、シンガポール、フィリピン、モンゴル、ベトナム、ラオス、カンボジア、ブルネイ、インドネシア、マレーシア、タイ、ミャンマー、バングラデシュ、スリランカ、ブータン、ネパール、パキスタン、アフガニスタン、北朝鮮、クック諸島、東ティモール、フィジー、仏領ポリネシア、キリバス、マカオ、モルディブ、ニューカレドニア、パラオ、パプアニューギニア、サモア、ソロモン諸島、トンガ、バヌアツ