

2012年8月3日

RITE世界エネルギー・温暖化 対策モデルDNE21+の概要

(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



DNE21+モデルの特長

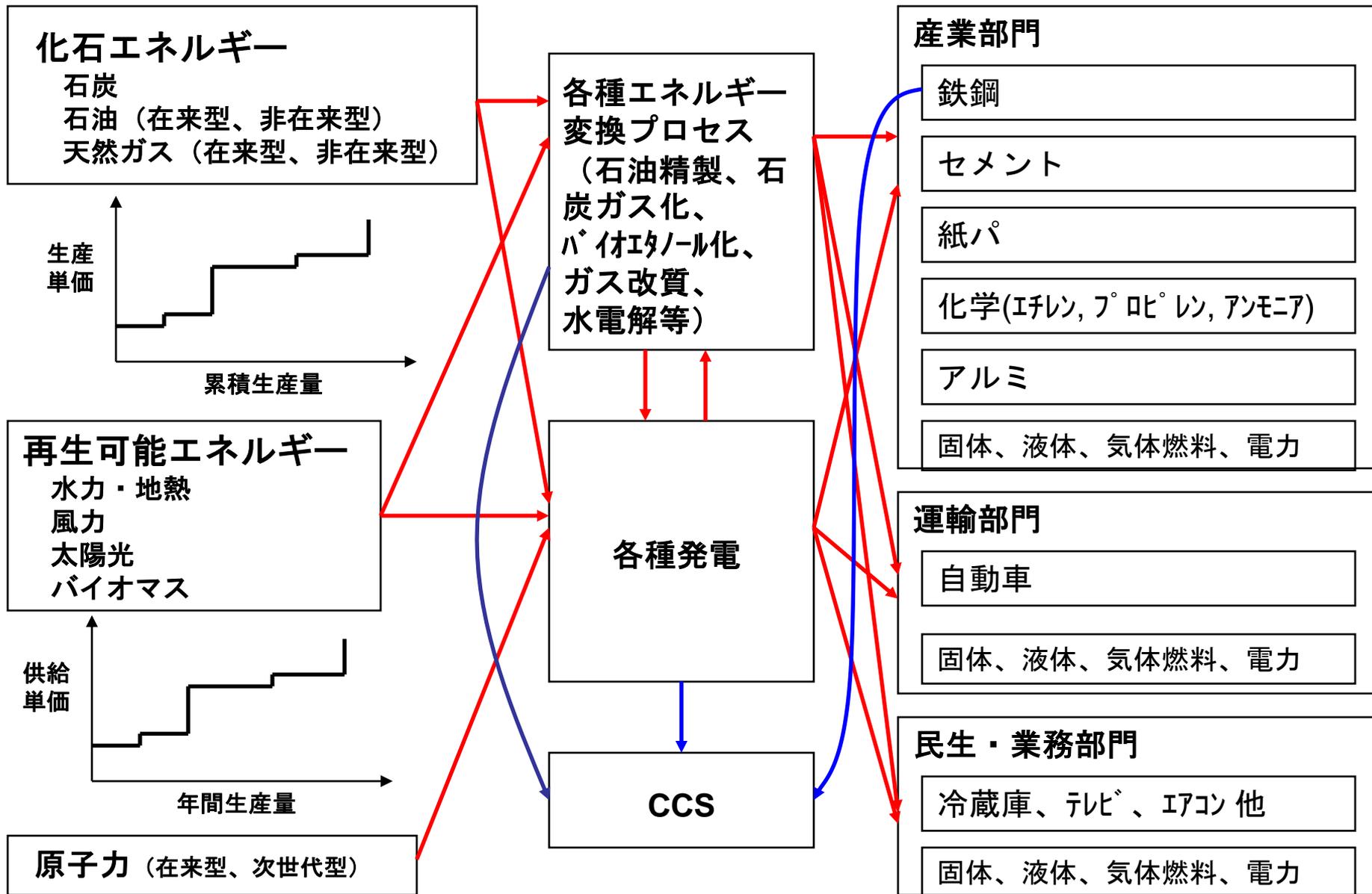
- ◆ エネルギー供給部門（発電部門など）に加えて、エネルギー消費部門のうち、エネルギー多消費産業、運輸部門（自動車）、民生の一部についても、技術を具体的に特定し、モデル化している。これによって、具体的な対策技術のあり方を提示することができ、また、具体的な対策を特定した形でコスト（限界削減費用等）の評価が可能である。
- ◆ 世界を54地域に詳細に分割しており、資源の偏在性、経済発展の違い、既存設備のエネルギー効率の差異など、地域・国による差異を詳細に考慮した分析・評価が可能である。

温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル（ただしDEARSモデルのように経済全体を評価対象とはしていない）
- ◆ 線形計画モデル（エネルギーシステム総コスト最小化）
- ◆ モデル評価対象期間：2000～2050年
- ◆ 世界地域分割：54地域分割（米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割）
- ◆ 地域間輸送：石炭、石油、天然ガス、電力、エタノール、水素、CO₂（ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている）、CO₂クレジット
- ◆ エネルギー供給（発電部門等）、CO₂回収貯留技術を、ボトムアップ的に（個別技術を積み上げて）モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 300程度の技術を具体的にモデル化
- ◆ それ以外についてはトップダウン的モデル化（長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定）

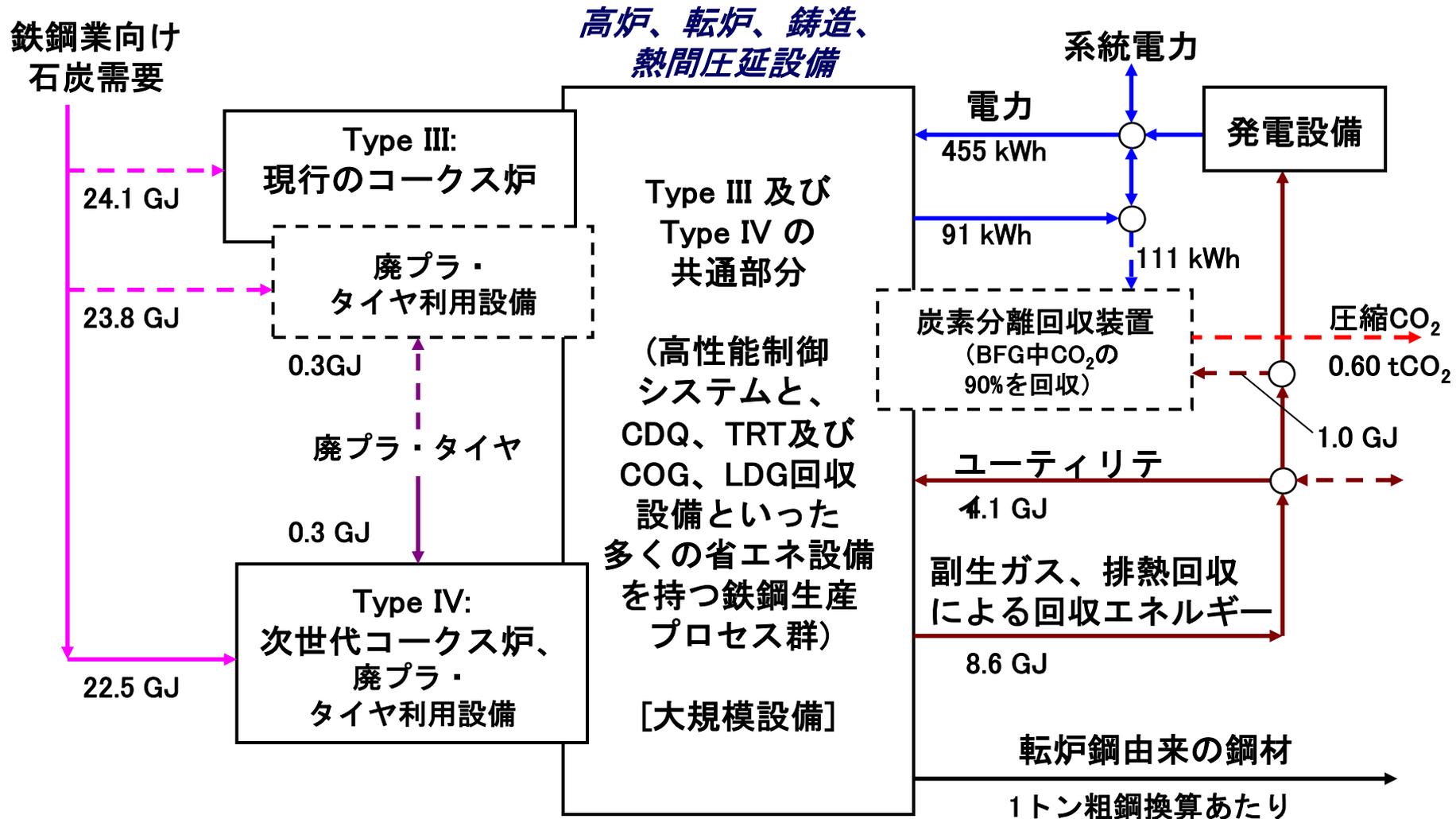
地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能
また、それらが統合的に評価可能

DNE21+のエネルギーフロー概略



DNE21+のエネルギーフロー

— 鉄鋼部門における高効率設備に関する部分 —

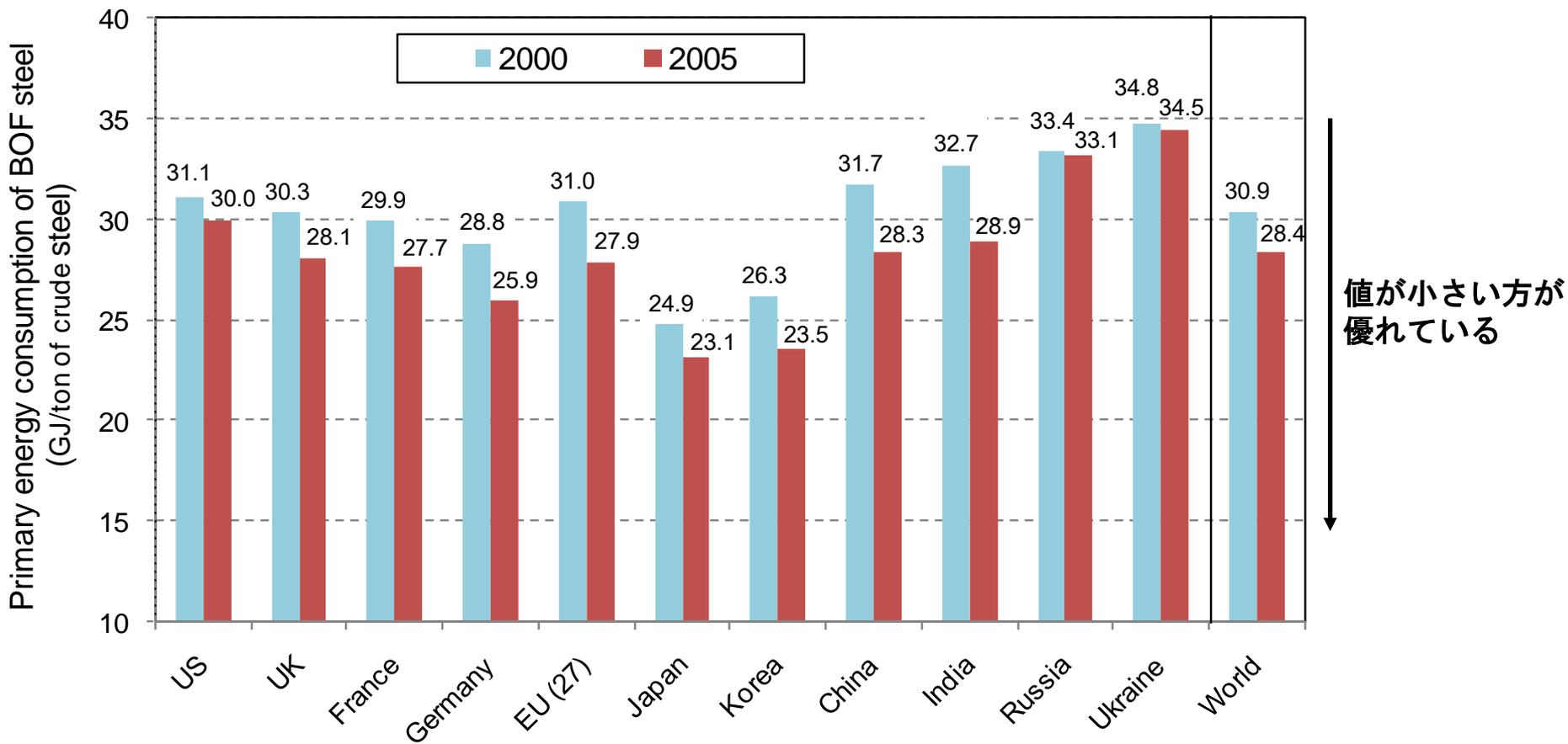


BF: blast furnace, BOF: basic oxygen furnace, CDQ: Coke dry quenching,
TRT: top-pressure recovery turbine, COG: coke oven gas, LDG: oxygen furnace gas

DNE21+モデルで考慮している具体的な技術

部門	技術
発電部門	石炭火力{低効率(亜臨界)、中効率(超臨界)、高効率(超超臨界～IGCC/IGFC)、燃焼前CCS付IGCC)、石油火力{低効率(ディーゼル発電等)、中効率(亜臨界)、高効率(超臨界)、CHP}、合成油火力{中効率、高効率}、天然ガス火力{低効率(蒸気タービン)、中効率(通常型NGCC)、高効率(高温型NGCC)、CHP、酸素燃焼発電}、バイオマス火力{低効率、高効率}、原子力発電{在来型、次世代(第IV世代等)}、水力・地熱発電、風力発電、太陽光発電、風力・太陽光発電用蓄電システム、水素発電、送電{在来型、超伝導高効率}、CCS{燃焼後回収。石炭火力、石油火力、合成油火力、天然ガス火力、バイオマス火力に適用可}
産業部門	
鉄鋼	高炉転炉法{低効率(小規模)、中効率(大規模)、高効率(大規模。CDQ、TRT、副生ガス効率回収設備を標準装備)、次世代(高効率設備に加え、SCOPE21等の次世代コークス炉を採用、廃プラ・廃タイヤ利用も考慮)、水素還元製鉄}、COG回収{低効率・中効率高炉転炉法に後付可}、LDG回収、CDQ、TRT{中効率高炉転炉法に後付可}、直接還元法{天然ガスベース(中効率、高効率)、ガス化水素ベース}、スクラップベース電炉法{低効率(小規模)、中効率(三相交流アーク炉)、高効率(直流式水冷炉壁アーク炉。原料予熱装置等も標準装備)}、CCS{高炉転炉法に適用可}
セメント	小規模設備：竖窯、湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン{原料予熱装置としてサスペンション・プレヒータ(SP)を装備。一部仮燃炉(NSP)を装備}、新型流動床シャフト炉{SP/NSP及び高効率クリンカクーラを装備} 大規模設備(小規模設備より高効率)：湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン(BAT){高効率クリンカクーラに加え、SPの5、6段化もしくは高効率廃熱回収装置等を装備}
紙パ	化学パルプ製造工程{低効率、中効率、高効率、次世代}、古紙再生工程{低効率、中効率、高効率}、抄紙工程{低効率、中効率、高効率、次世代}、黒液回収・利用{低効率、高効率}、製紙スラッジボイラ、蒸気タービン発電システム
アルミ	ゼーターベルグ式アルミ製錬、プリベーク式アルミ製錬
化学	エチレン・プロピレン：ナフサ分解{低効率、中効率、高効率、次世代}、その他生産{エタンクラッカー等。低効率、中効率、高効率} アンモニア：石炭ベース{低効率、中効率、高効率}、石油ベース{低効率、中効率、高効率}、天然ガスベース{低効率、中効率、高効率}
運輸	小型乗用車、大型乗用車、バス、小型トラック、大型トラックに区分。 内燃機関利用{従来型内燃機関自動車(低効率、高効率)、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車。内燃機関はガソリンエンジン及びディーゼルエンジンの二種を考慮}、電気自動車、燃料電池自動車、代替燃料{バイオエタノール、バイオディーゼル、CNG}。バイオエタノールはガソリン、バイオディーゼルはディーゼルへの混合利用を考慮
民生	冷蔵庫{低効率、中効率、高効率}、照明{小型白熱灯、小型蛍光灯、小型次世代(LED等)、中型中効率蛍光灯、中型高効率蛍光灯、中型次世代(LED、有機EL等)、大型中効率HID(高輝度放電灯)、大型高効率HID、大型次世代(LED等)}、テレビ{小型低効率、小型高効率、大型低効率、大型高効率、大型次世代(液晶、プラズマ、リアプロ、有機EL等で高効率なもの)}、エアコン{低効率、中効率、高効率}、ガス調理器{低効率、中効率、高効率}

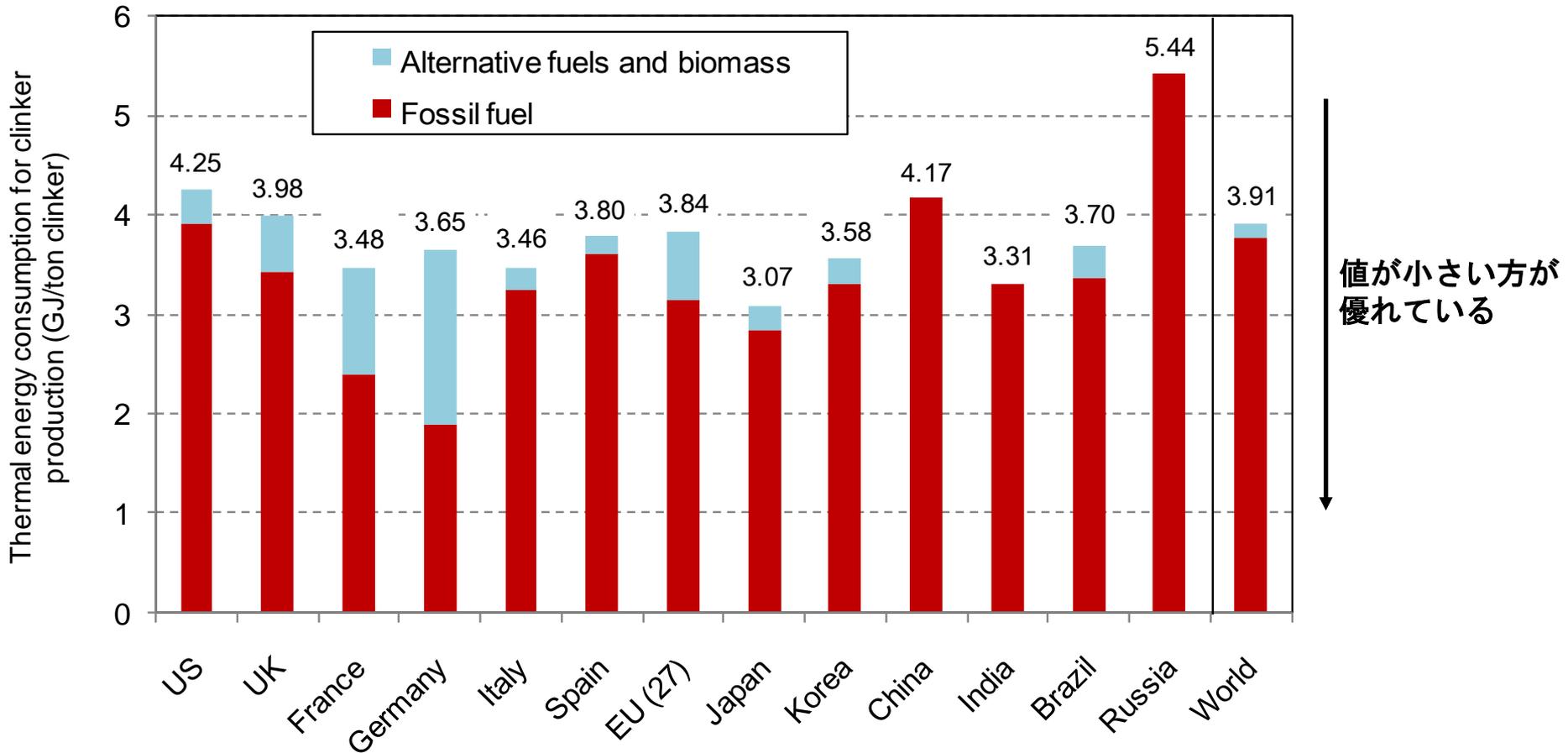
セクター別エネルギー効率の国際比較 —鉄鋼—



出典) IEA, IISI, worldSteel他、多くの文献からRITEで推定
Oda et al., Energy Policy, 2012

既設設備のエネルギー効率としてモデルの前提条件として利用

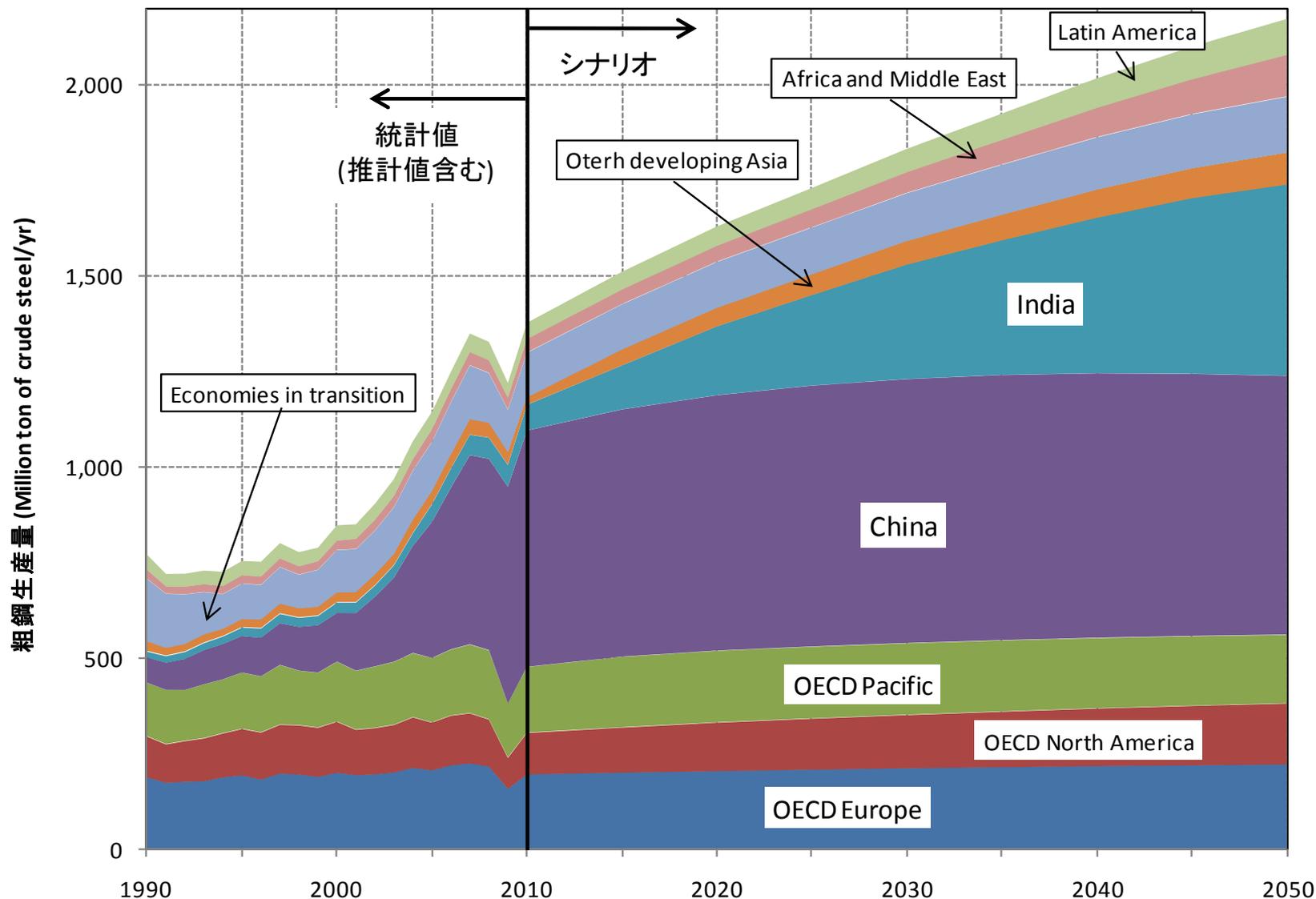
セクター別エネルギー効率の国際比較 ーセメントー



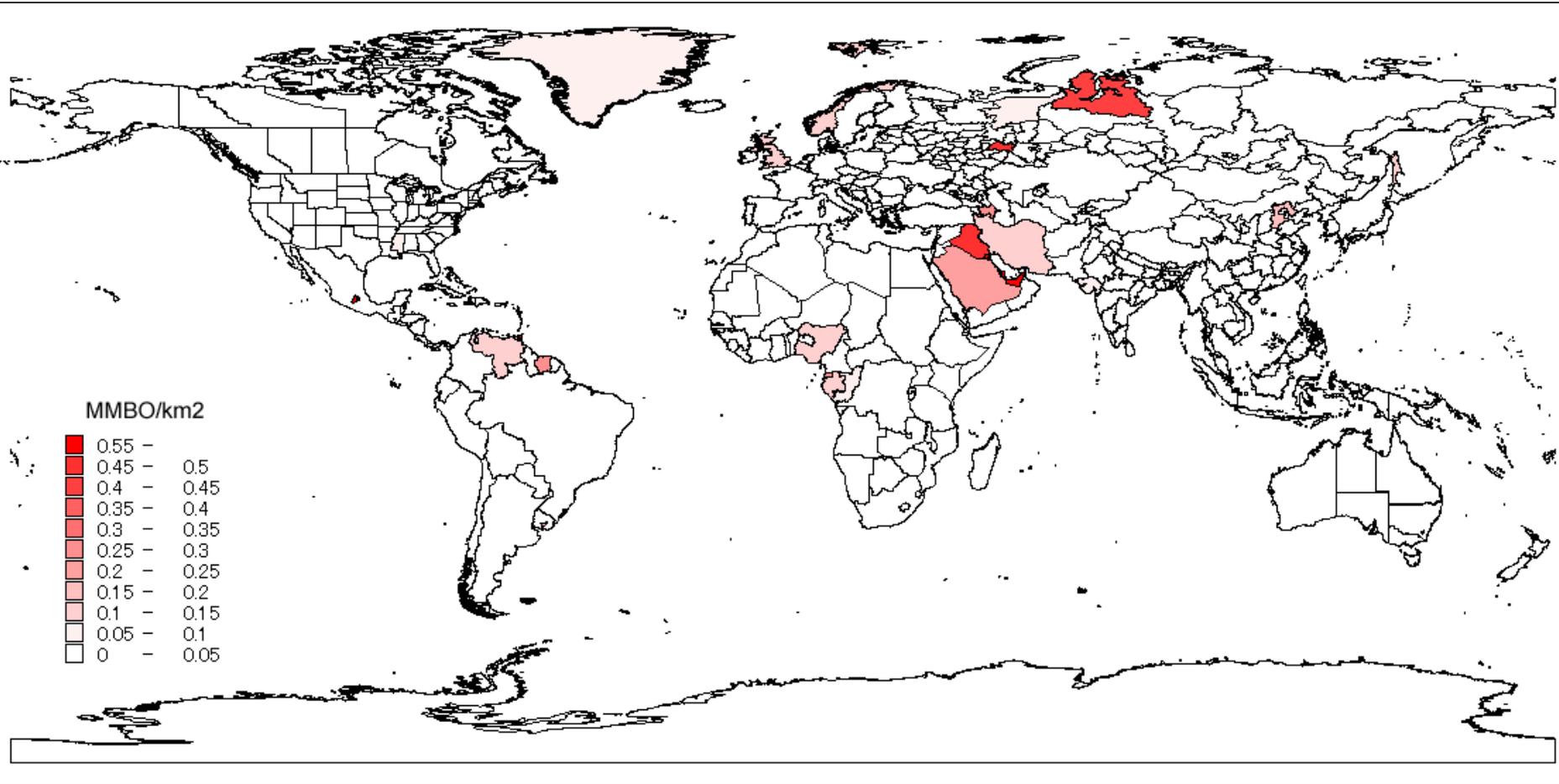
出典) IEA, WBCSD, CEMBUREAU 他、多くの文献からRITEで推定
Oda et al., Energy Policy, 2012

既設設備のエネルギー効率としてモデルの前提条件として利用

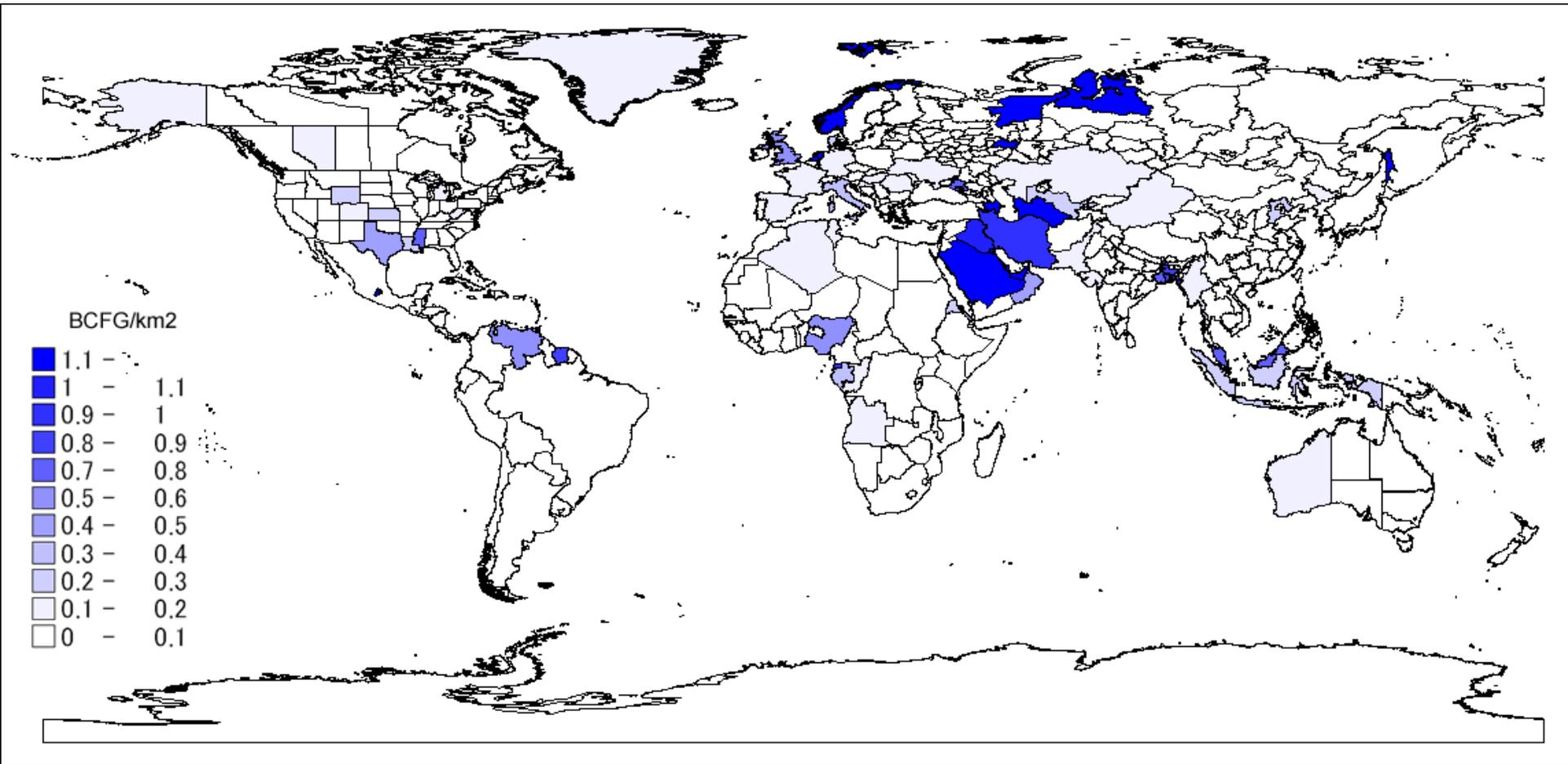
生産量シナリオの例ー粗鋼生産量



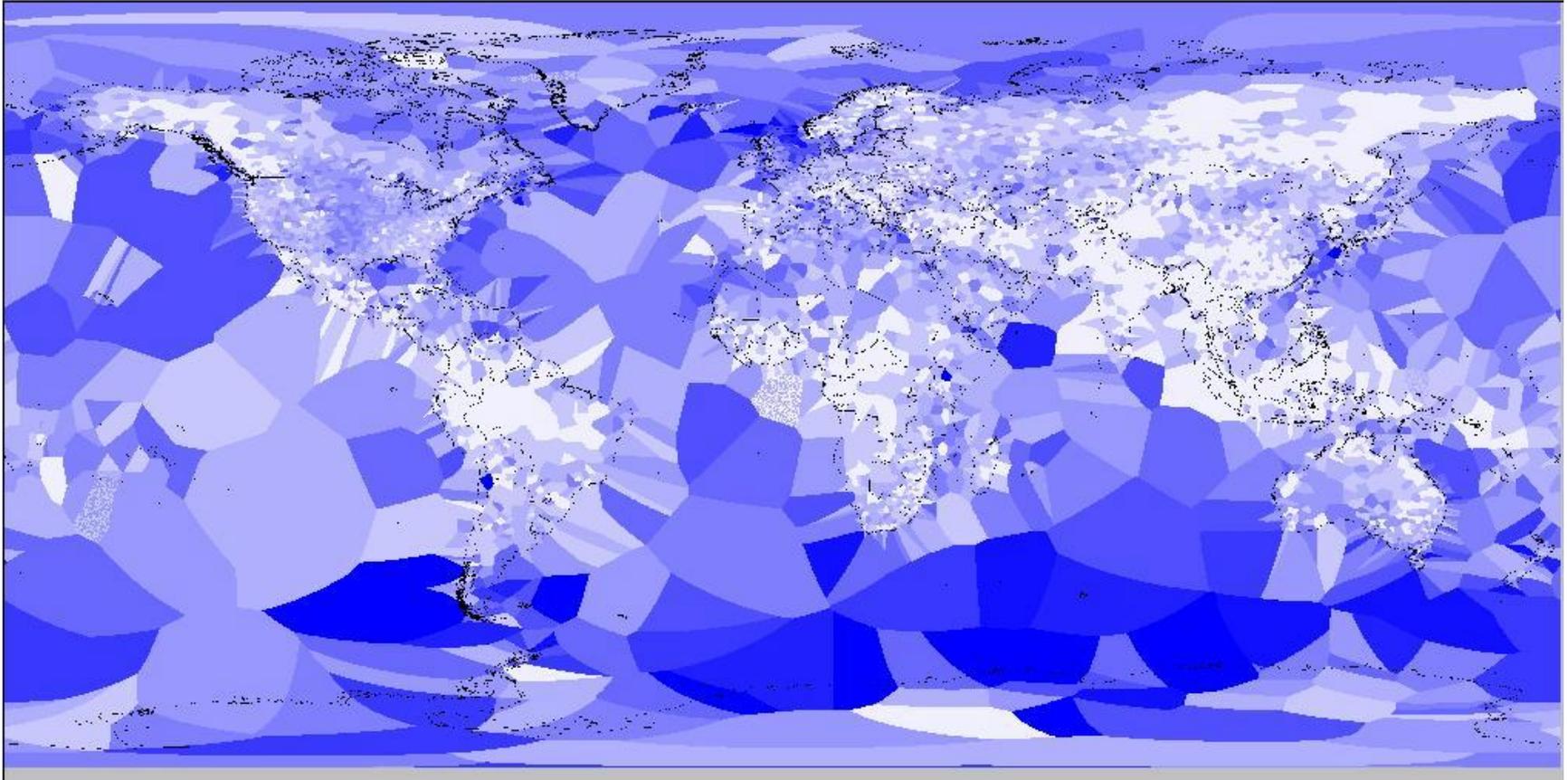
在来型石油資源量の想定



在来型天然ガス資源量の想定



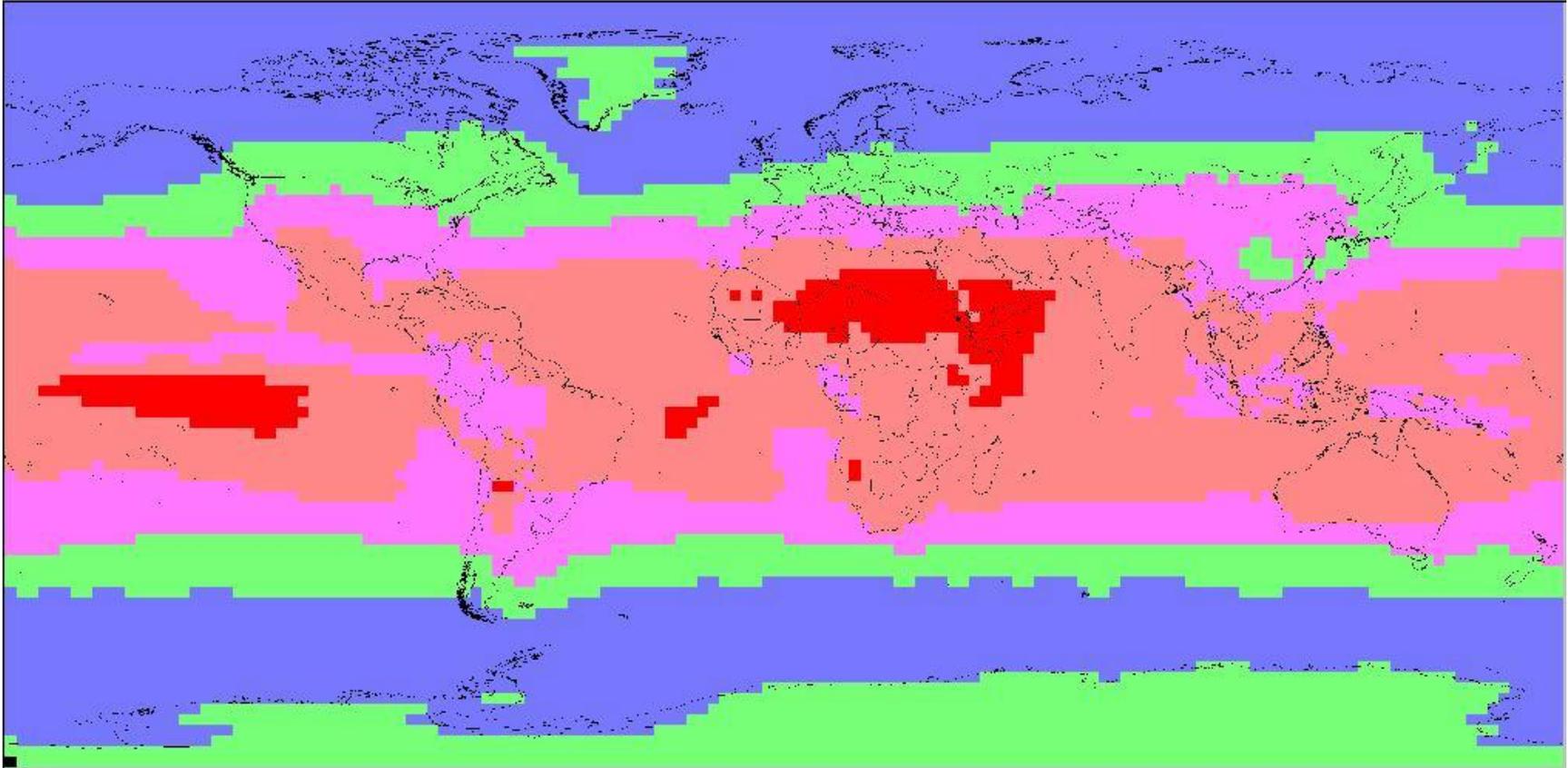
風力資源量（風速分布）



Source: NCDC観測データ <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/global sod/>

風速分布データと土地利用データより、グリッド別の風力発電資源量を推定

太陽光資源量（日射強度）



Source: SeaWIFs日射データ <http://www.giss.nasa.gov/data/seawifs/data/>

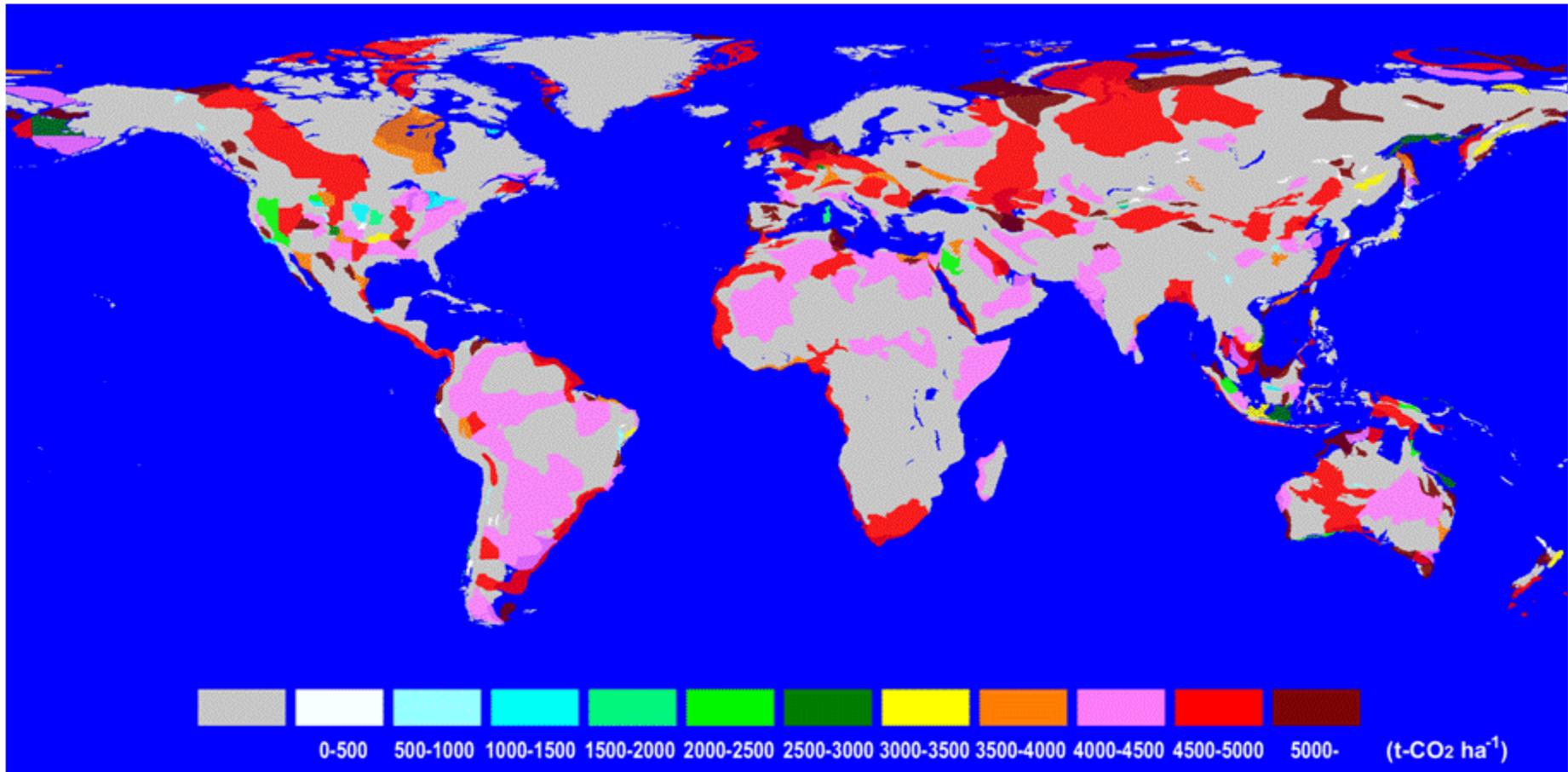
日射強度データと土地利用データより、グリッド別の太陽光発電資源量を推定

水力、風力、太陽光の世界全体の供給 ポテンシャルと供給コストの想定

		水力	風力	太陽光
供給可能量(TWh/yr)		14,400	12,000	1,271,000
供給コスト (\$/MWh)	Y2000	20–180	56–118	209–720
			↓ 1.0%/yrで低減	↓ 3.4%/yrで低減
	Y2050	20–180	↓ 34–71	↓ 37–128

風力については、瞬時ピーク需要に対する期待供給力を全設備容量の30%としている。

帯水層へのCO₂貯留ポテンシャルの推定



究極的なCO₂貯留可能容量： 陸域 5,600 GtC、沿岸海域 1,500 GtC

そのうち10%のみが利用できるとしても、CO₂排出量100年分程度の貯留が可能

注) RITEにて推定 (Akimoto et al., Proc. of GHGT7, 2004)

今回の分析では、2020年までについてはCCS利用を想定しなかった（石油増進回収を除く）。

DNE21+における発電設備費、発電効率の想定

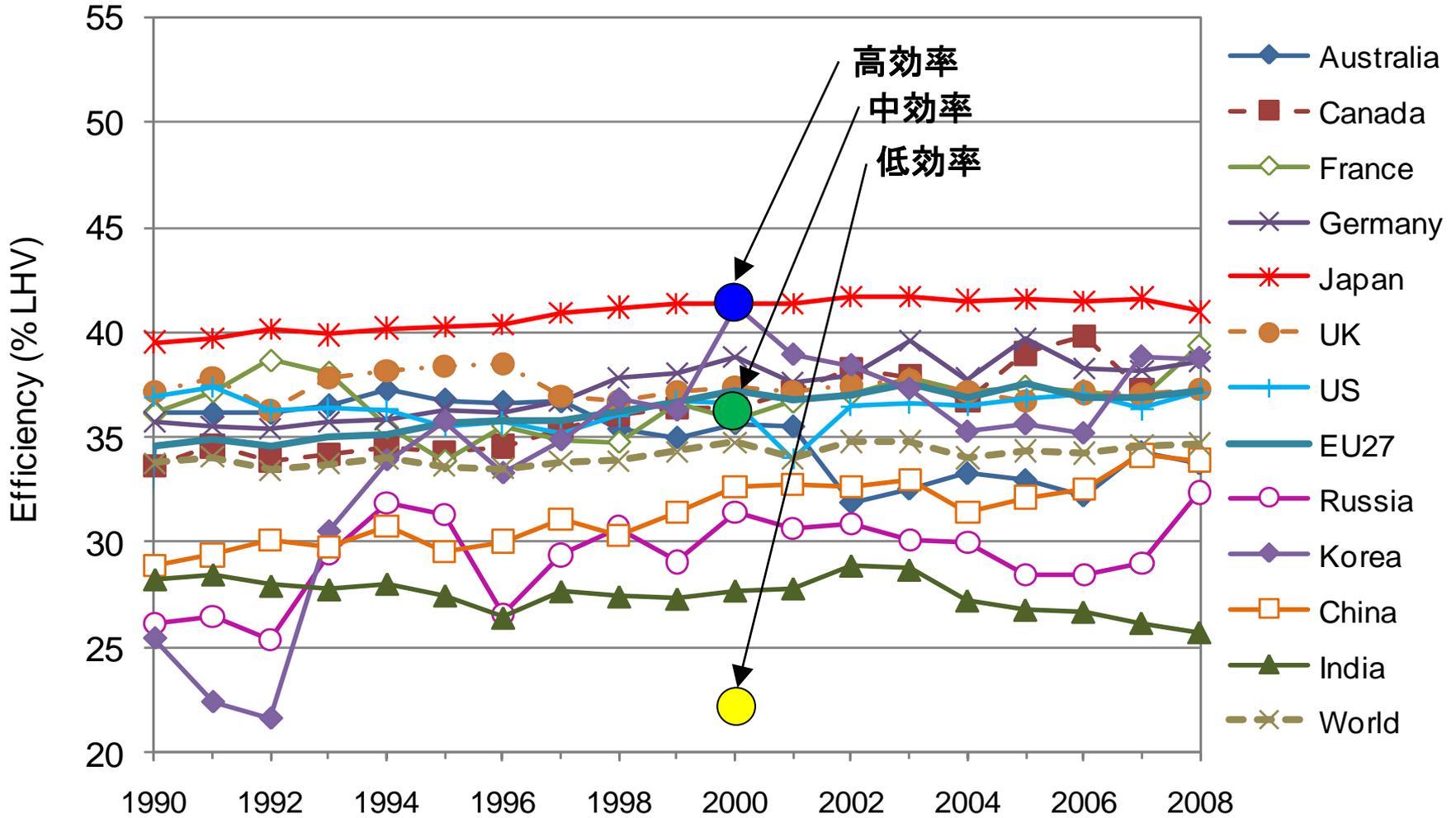
		2000年価格 設備費(\$/kW)	2007年価格 設備費(\$/kW)	発電効率 (LHV%)
石炭発電	低効率 (在来型 (亜臨界)、現在の途上国での利用)	1000	1250	22.0-27.0
	中効率 (主に現在の先進国での利用 (超臨界) ~将来、複合発電化 (IGCC) を含む)	1500	1875	36.0-45.0
	高効率 (現在先進国で利用~将来、複合発電化 (IGCC、IGFC))	1700	2125	42.0-55.0
石油発電	低効率 (ディーゼル発電等)	250	313	22.0-27.0
	中効率 (亜臨界)	650	813	37.0-45.0
	高効率 (超臨界)	1100	1375	50.0-60.0
	CHP	700	875	37.0-47.0*
天然ガス発電	低効率 (蒸気タービン)	300	375	26.0-32.0
	中効率 (複合発電)	650	813	38.0-47.0
	高効率 (高温型複合発電)	1100	1375	52.0-62.0
	CHP	700	875	38.0-48.0*
バイオマス発電	低効率 (蒸気タービン)	1200-900	1500-1125	18.0-28.0
	高効率 (複合発電)	2200-1600	2750-2000	36.0-46.0
原子力発電	在来型	2500	3125	
	先進型	2300	2875	
CO ₂ 回収付IGCC/IGFC		2800-2050	3500-2563	33.0-51.0
天然ガス酸素燃焼発電		1900-1400	2375-1750	40.7-50.7
水素発電 (FC/GT)		1100	1375	52.0-64.5
電力貯蔵 (揚水発電等)		1000	1250	

注1) 発電効率は表中に示す範囲において時点の経過と共に向上するように想定している。

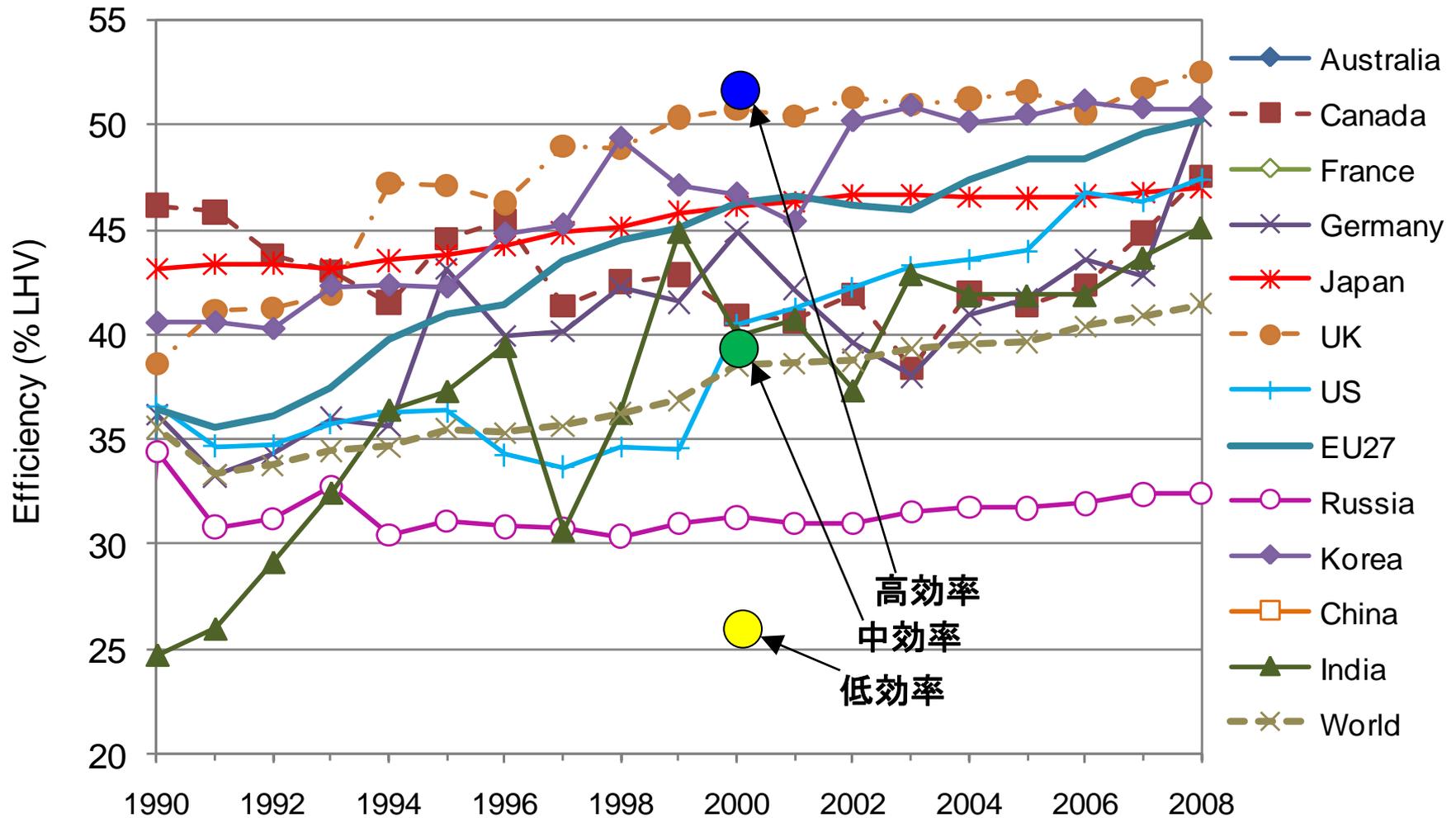
注2) 国による設備費の差異を、これとは別にロケーションファクターを用いて補正している。

* 排熱回収効率はエネルギー需給バランスを考慮して想定することとし、地域によって5~20%の範囲で想定している。

石炭発電効率の想定



天然ガス発電効率の想定



コストのモデル化

【各種積み上げ技術の費用】

〔設備費〕 / 〔投資回収判断年数〕 + 〔運転・メンテナンス費〕 + 〔年間燃料費〕

注1) 〔運転・メンテナンス費〕は設備費に対するある係数として、
 〔年経費率〕 ≡ 1 / 〔投資回収判断年数〕 + 〔対設備費の運転・メンテナンス費の比率〕
 とし〔年経費率〕を各技術において想定している。

なお、〔投資回収判断年数〕

$$= 1 / ([主観的割引率] / (1 - (1 + [主観的割引率]) ^ [機器寿命]))$$

注2) 燃料費はモデル内で内生的に計算される。

【トップダウンモデル化部分の費用（消費効用の損失）】

技術積み上げの対象外となっているその他諸々のエネルギー消費については、最終エネルギー価格と省エネルギー量の関係を長期価格弾性値で表現。積分値が消費効用の損失と定義でき、それをトップダウン部分の削減費用としている。

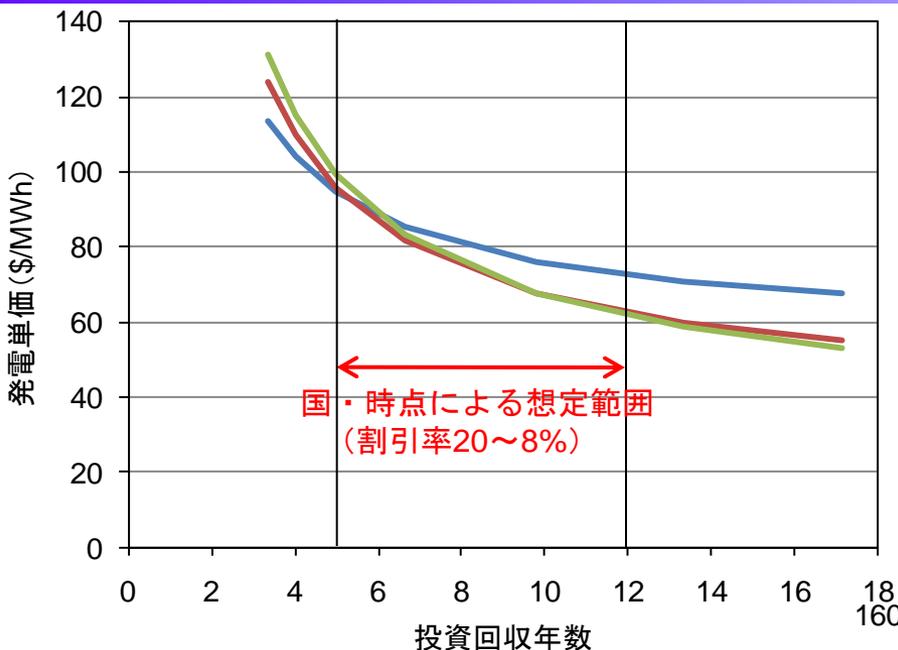
各部門における投資回収判断年数の想定

	投資回収判断年数		主観的割引率	
	上限	下限	上限	下限
発電部門	11.9年	5.0年	8%	20%
その他エネルギー転換部門	6.6年	4.0年	15%	25%
エネルギー多消費産業部門	6.6年	4.0年	15%	25%
運輸(自動車)部門	3.3年	2.2年	30%	45%
民生部門(業務・家庭)	3.3年	1.8年	30%	55%

注) 一人当たりGDPに応じ、地域別・時点別に表の上下限の範囲内で想定

発電部門では比較的長期の投資判断がなされているものの（特にこれまでの日本では）、運輸や民生部門での投資判断は短い年数が観測される（投資判断における主観的割引率大）。

投資回収判断年数と発電単価の関係（石炭火力の例）



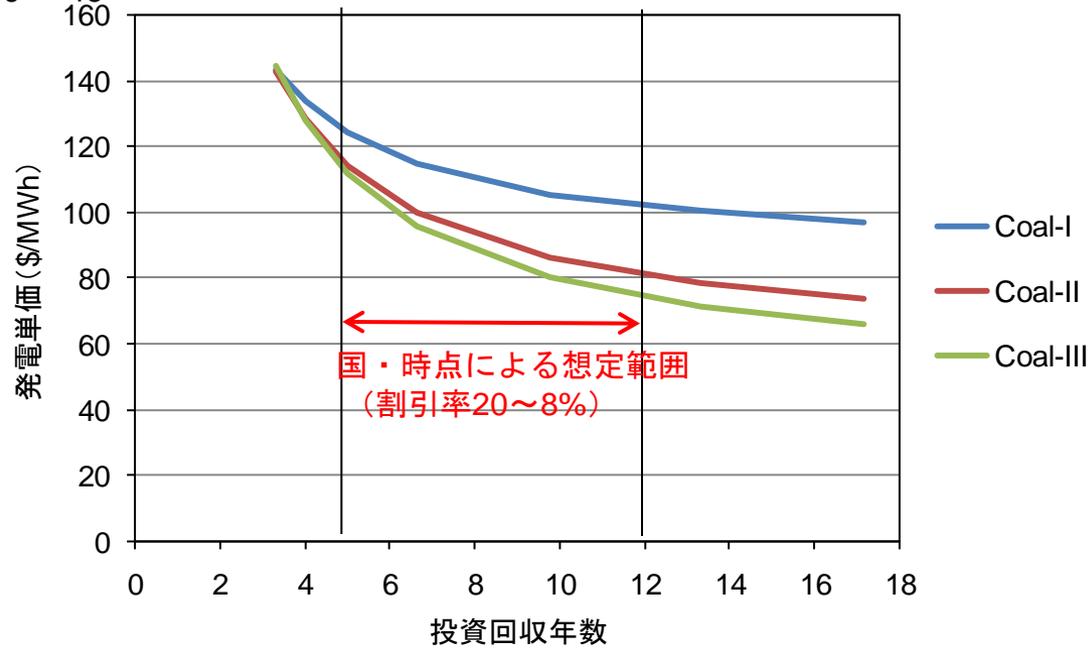
現状石炭価格

投資回収判断年数が長い場合（割引率が小さい場合）、発電効率の高い電源が選択されやすい。
日本の電力は、これまで安定的な経営の下で、長期の投資判断がなされ、効率の高い電源の選択がなされてきた。行き過ぎた自由化は、それを困難にする可能性があることも認識しておくべき。

- Coal-I
- Coal-II
- Coal-III

- ・ Coal-I, II, IIIはそれぞれ、低効率、中効率、高効率の設備費、発電効率を想定したもの
- ・ 設備費は2007年価格に換算
- ・ 稼働率は75%を想定（モデルでは内生的に決定される）

現状石炭価格 × 2 倍



国・時点による想定範囲
(割引率20~8%)

- Coal-I
- Coal-II
- Coal-III

DNE21+と他のモデル (主に海外のモデル) との比較

2020年の世界全体の限界削減費用曲線 —モデル間の比較—

