

第424回 定例研究報告会

アジア/世界エネルギー・アウトロック 2016 —新たな国際エネルギー情勢下で世界の3E+Sを考える—

2016年10月21日

日本エネルギー経済研究所
末広 茂・村上 朋子・柳澤 明

世界エネルギー市場を俯瞰する

- ✓ エネルギー需給構造の将来をどう見通すか？
- ✓ 経済共同体を発足させたASEANは有望な市場か？

エネルギー安全保障・気候変動問題に対処する

- ✓ 供給途絶リスクをどう評価するか？
- ✓ 超長期の視点で気候変動問題を考えるには？
- ✓ 水素・CCS技術のインパクトは？

原子力エネルギーの意義を見定める

- ✓ 原子力の「3E+S」をどう評価するか？

世界エネルギー市場を俯瞰する

国際エネルギー情勢の変化の兆し

- ✓ 中国の産業構造の変化、環境政策強化の動き。石炭需要は2年連続減少。
- ✓ 1年半続いた油価下落局面は反転、需給調整が進む。上流投資は2年連続減少へ。
- ✓ エネルギー需要と経済成長の関係が弱まり、低炭素エネルギーによる供給が大きく増加。パリ協定が11月発効へ、ますます環境志向が強まる。

2017年に50周年を迎えるASEAN

- ✓ 目覚ましい経済発展を遂げているアジアのハブ。2015年末、経済共同体を発足、新たなASEANへ。エネルギー分野の統合は「3E」に貢献。
- ✓ 加盟国の政治体制、経済規模、生活水準、宗教、そしてエネルギー需給構造は多種多様。
- ✓ エネルギー生活水準は世界平均の半分（人口の2割が電気を使えず、半数が薪などで調理をしている）。エネルギー需要の増加余地は大きい。

レファレンスケース

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、過去の趨勢が継続するケース。
急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない。

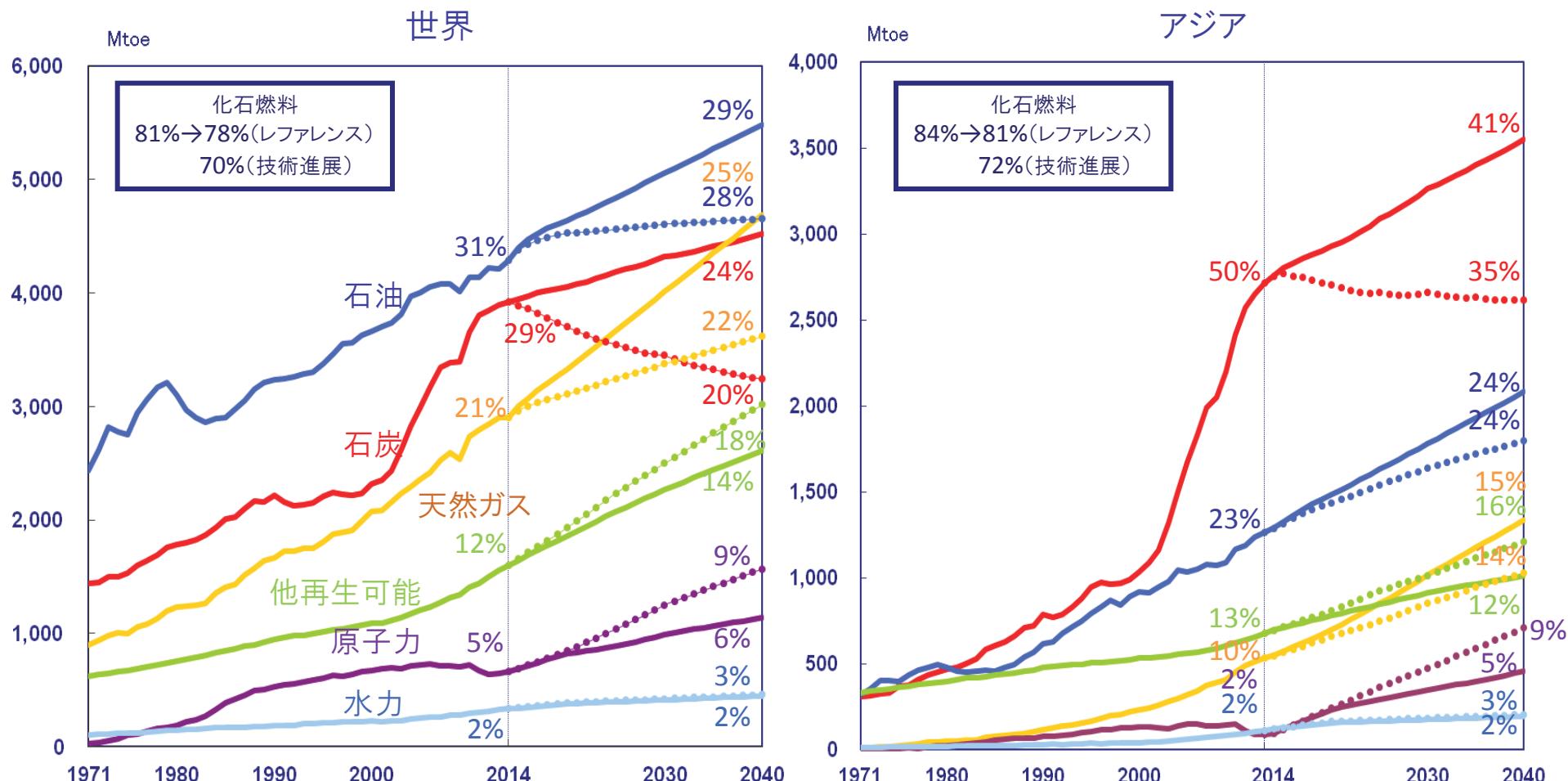
技術進展ケース

各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、強力なエネルギー・環境政策を打ち出し、それが最大限奏功するケース。

一次エネルギー消費(エネルギー源別)

実線…レファレンスケース
点線…技術進展ケース

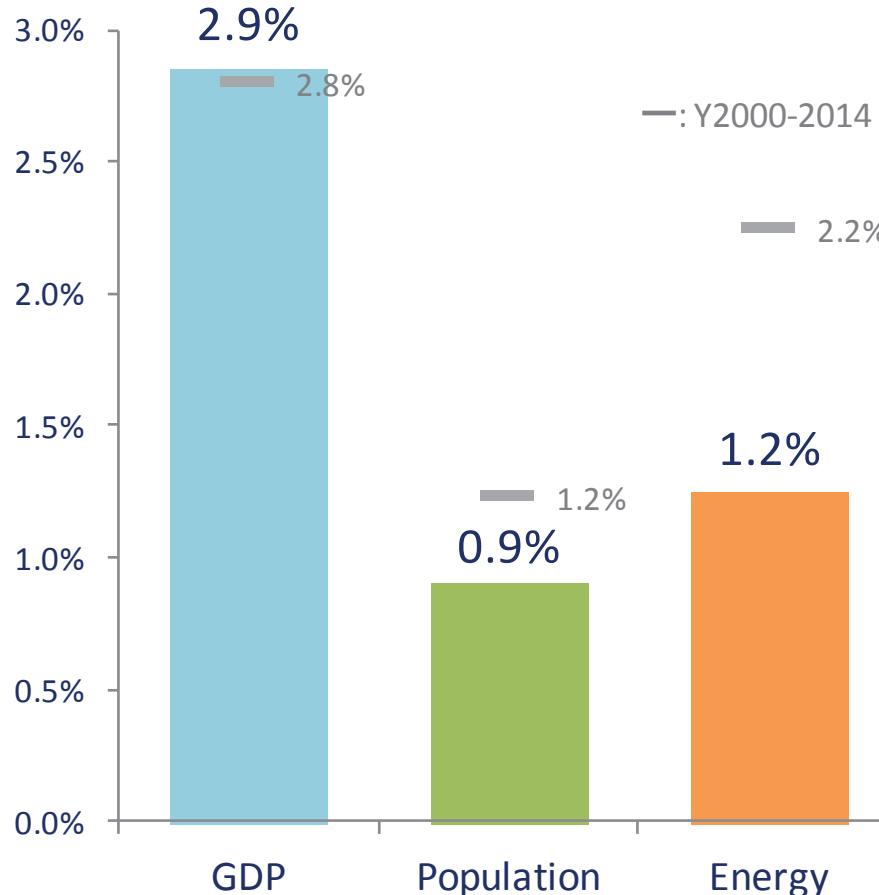
%は世界/アジア計に占めるシェア



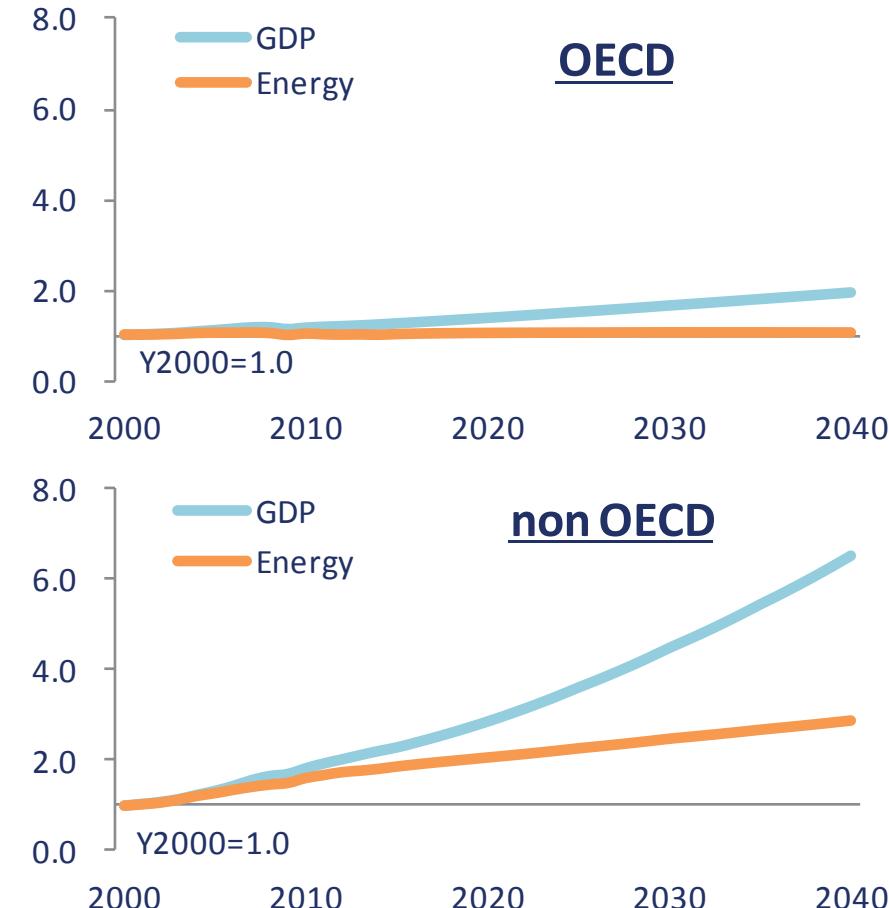
- ・レファレンスケース・技術進展ケースともに、世界の一次エネルギー消費の中では引き続き石油が2040年まで最大のシェアを占め、主要なエネルギー源であり続ける。技術進展ケースでは、2030年代に石油消費は頭打ちとなる。
- ・アジアでは、石炭が最大のエネルギー源。技術進展ケースでは大幅に削減されるものの、このケースでも2040年まで最大のエネルギー源であり続ける。
- ・化石燃料のシェアは2040年まで低下はするが、技術進展ケースでも依然としてアジア・世界ともに7割程度を維持する。

経済のエネルギー効率は大きく改善する

年平均成長率(世界:2014-2040年)



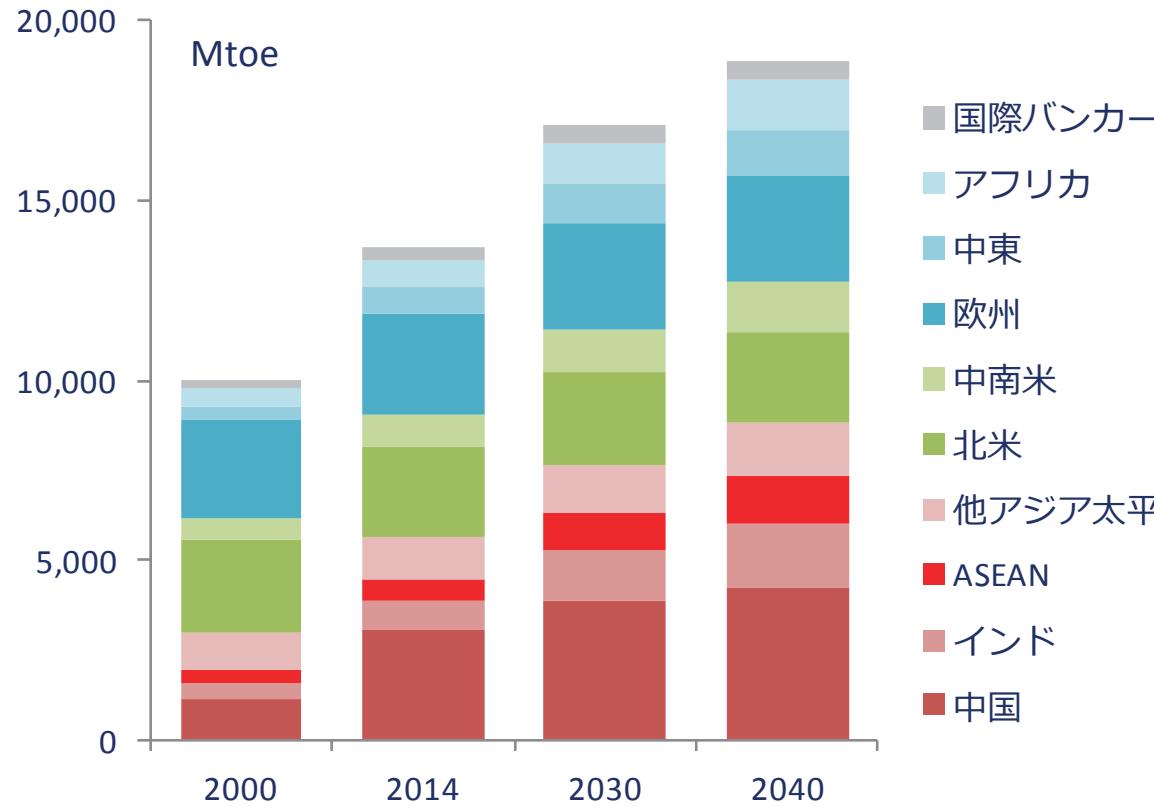
GDPと一次エネルギー需要



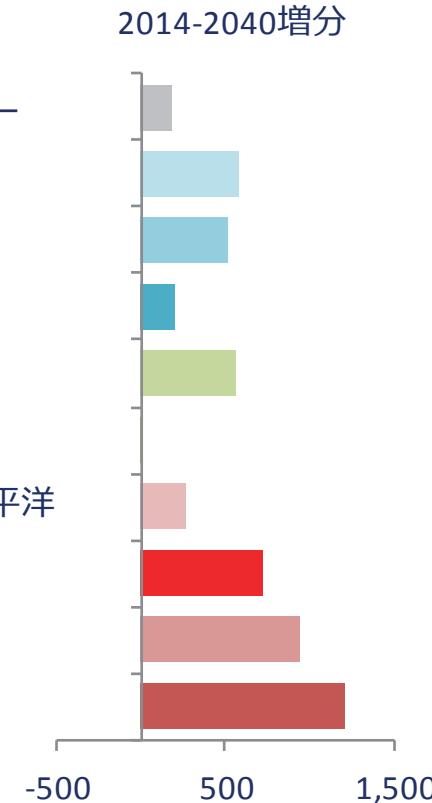
- ✓ 先進国では、経済成長する一方で、エネルギー需要の伸びは抑制、2030年ごろに需要はピークに。
- ✓ 途上国では、効率は大きく改善するが、エネルギー需要は増加し続ける。

エネルギー市場はアジアへシフトしていく

世界の一次エネルギー需要



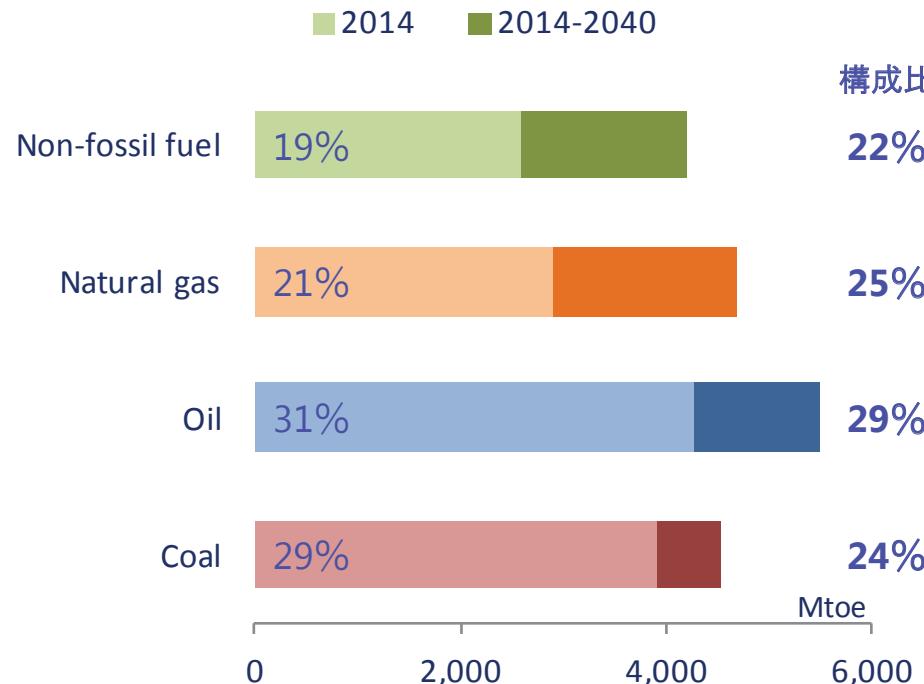
一次エネルギー需要の増加見通し



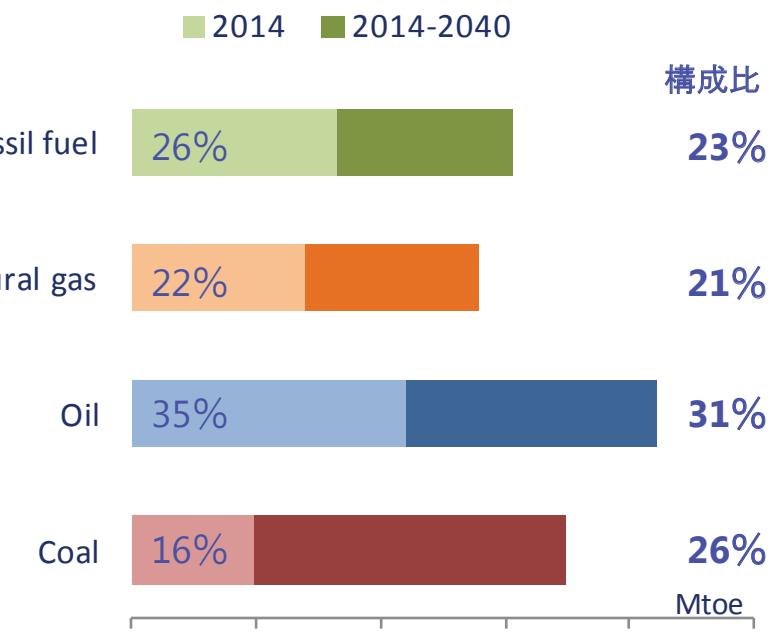
- 世界のエネルギー需要は2040年までに1.4倍に増加。増加の6割はアジア地域から生じる。原油、天然ガス及び石炭貿易量の7~8割はアジアに向かう。
- ASEANは、中国、印度に次いで3番目の規模でエネルギー需要が増加する。

ASEANでは石炭依存(主に発電構成で)が高まる

世界の一次エネルギー需要



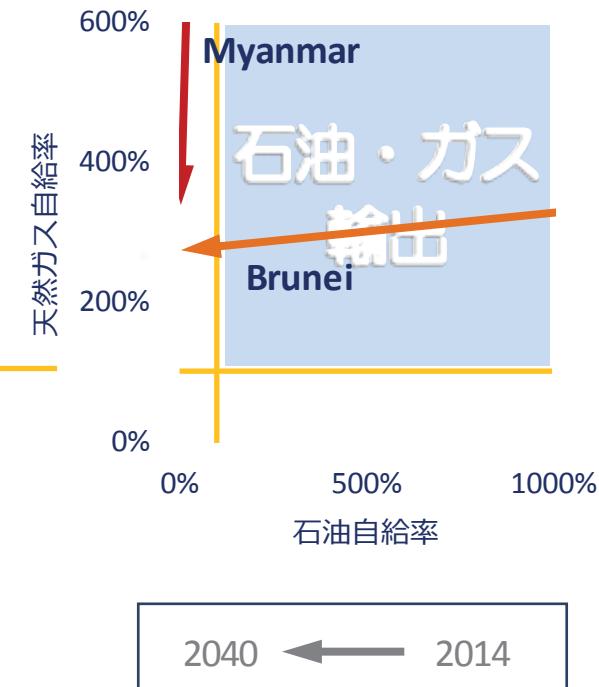
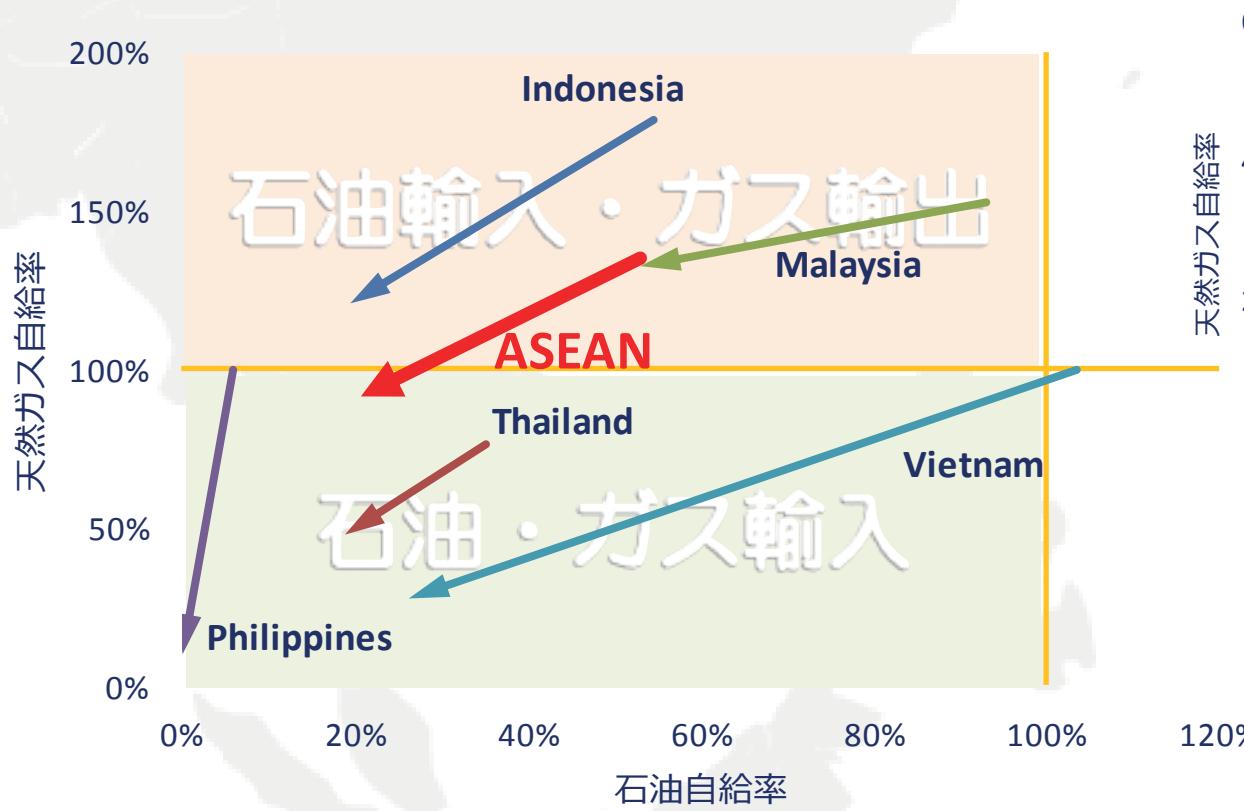
ASEANの一次エネルギー需要



- ✓ 世界全体ではガスシフトが進み、石炭を抜き第2位のエネルギーへ。再エネ・原子力の導入も進む。
- ✓ 石炭、石油、ガスと非化石燃料のシェアは、2040年には概ね4分の1ずつへ。
- ✓ 一方、ASEANでは石炭の伸びが大きく（増加量は世界全体の4割を占める）、第2位のエネルギーへ。 7

ASEANはガス輸入ポジションに転落

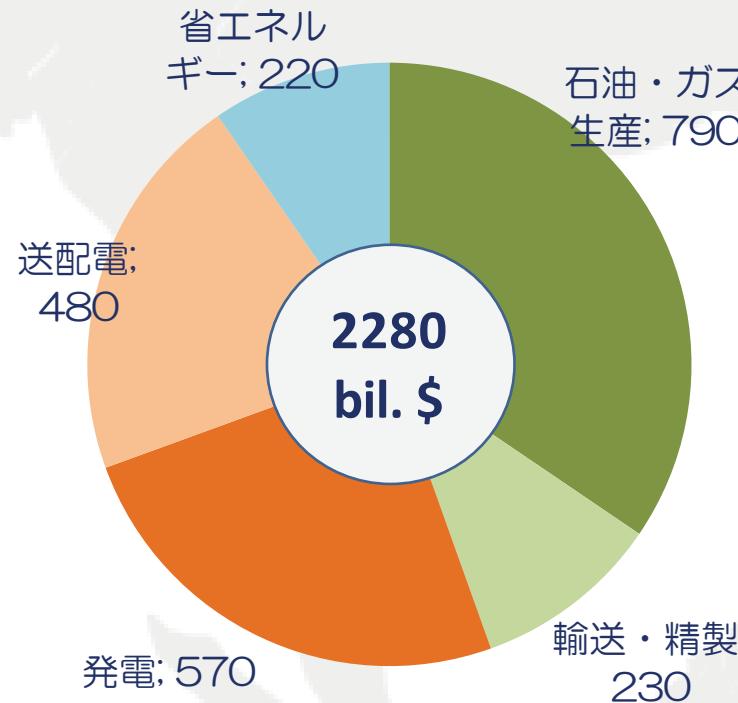
ASEANのエネルギー自給率の見通し



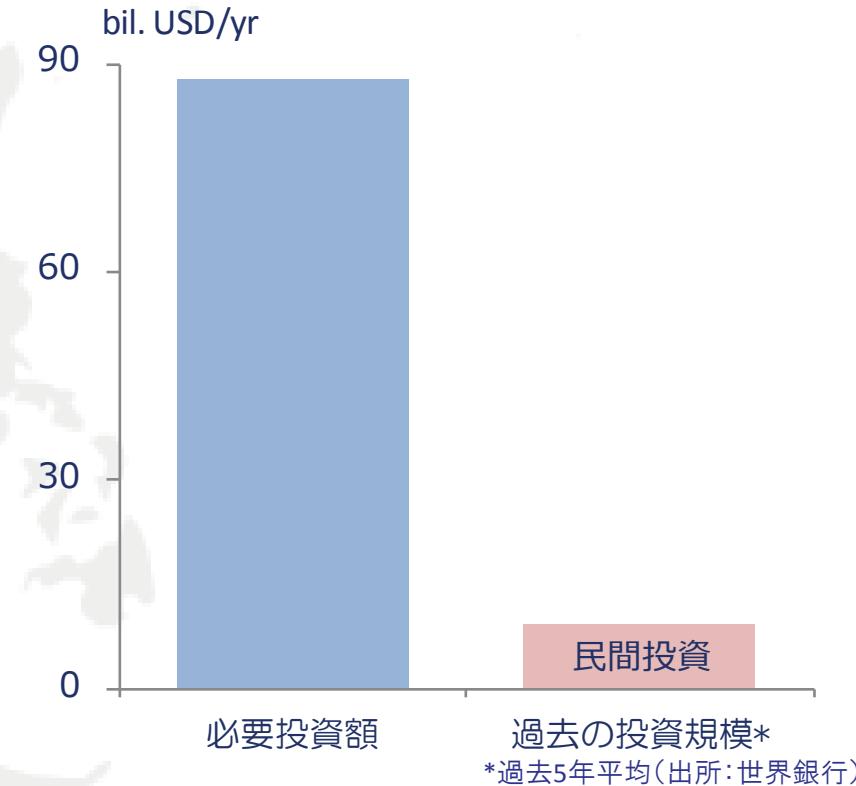
- ✓ 域内需要の伸びに生産が追い付かず、エネルギー輸入が拡大していく。
- ✓ 石油の域内自給率は53%から20%まで落ち込み、2030年には天然ガスも純輸入ポジションに転落。
- ✓ 化石燃料の純輸入金額は現在の100億ドル程度から2040年には3000億ドルを超える見込み。

エネルギー投資のための資金を必要としている

ASEANのエネルギー投資必要額
(2040年までの累積)



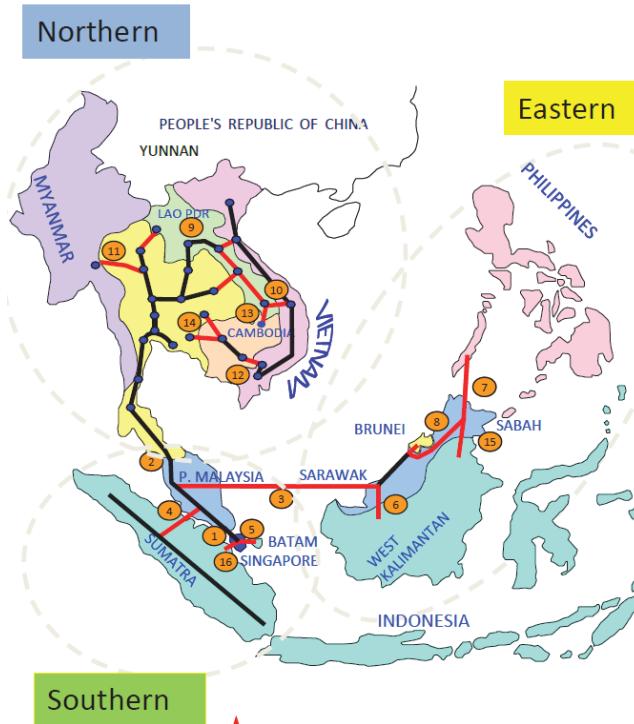
年平均投資額



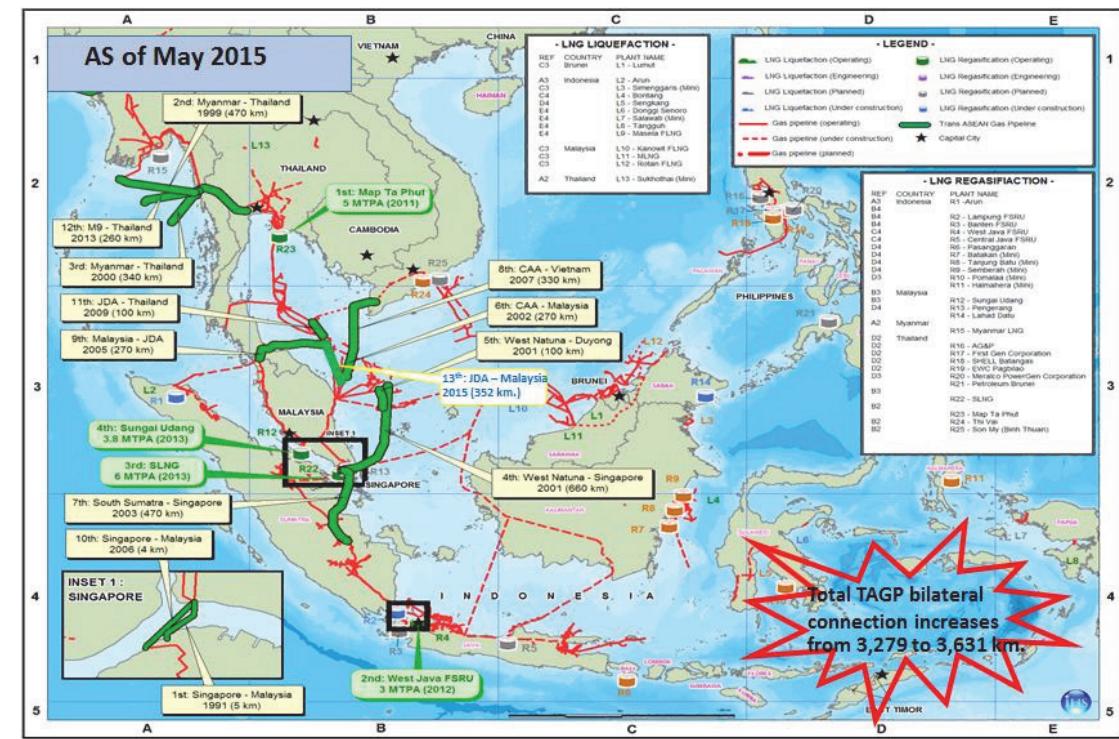
- ✓ ASEANのエネルギー関連投資総額は2040年までの累積で2.3兆ドルにのぼる。供給向け投資が大半を占め、燃料供給と電力供給で概ね半分ずつ。
- ✓ 年平均で900億ドルの投資資金をどのように調達するかが大きな課題。

域内エネルギー市場の統合計画は遅れ気味

ASEAN Power Grid



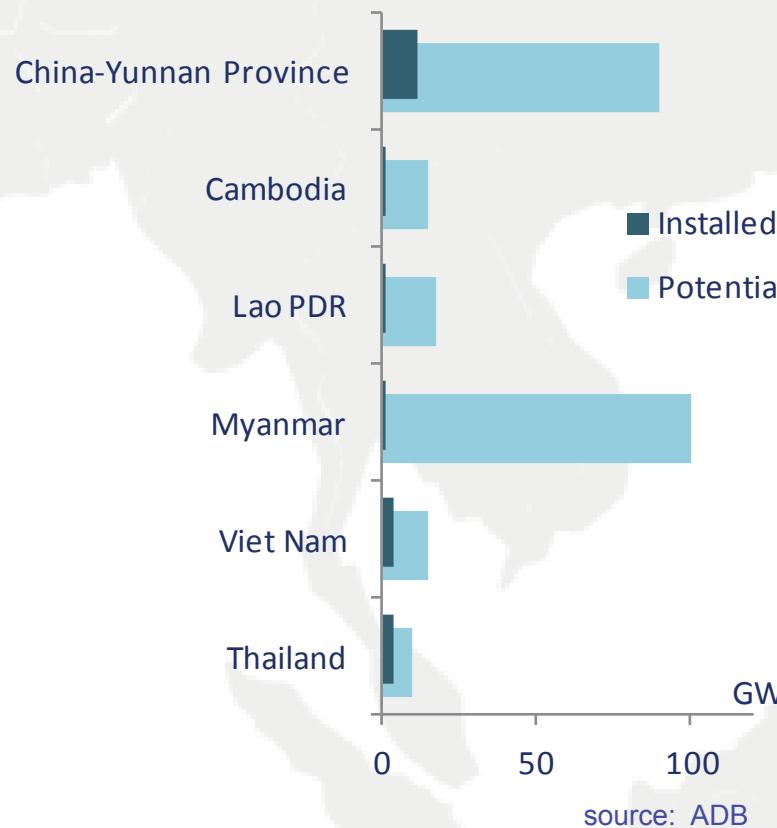
Trans ASEAN Gas Pipeline



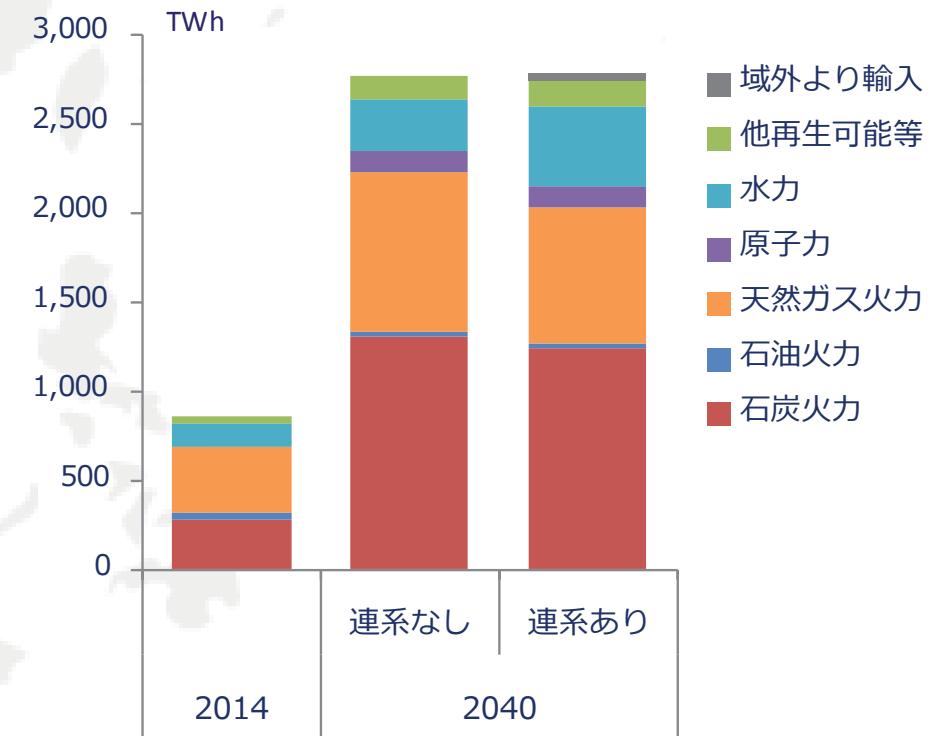
- ✓ 域内協力による地域発展を目指す“ASEAN Vision 2020”の一部として、1997年に提唱された。域内資源の有効活用と、域内経済協力とエネルギー安定供給の強化に寄与。
- ✓ ASEAN Power Grid (APG)：5.2GW相当が連系済みで、さらに3.3GW分を建設中。全体では30GWを超える国際グリッドを計画。しかし、資金調達、技術者不足や法制備などの課題が山積。
- ✓ Trans ASEAN Gas Pipeline (TAGP)：13の国際パイプラインが運用中。域内全体を網羅する計画は、生産国の輸出余力の低下などで遅延している。

メコン流域の水力ポテンシャルを活用する

メコン流域の水力ポтенシャル



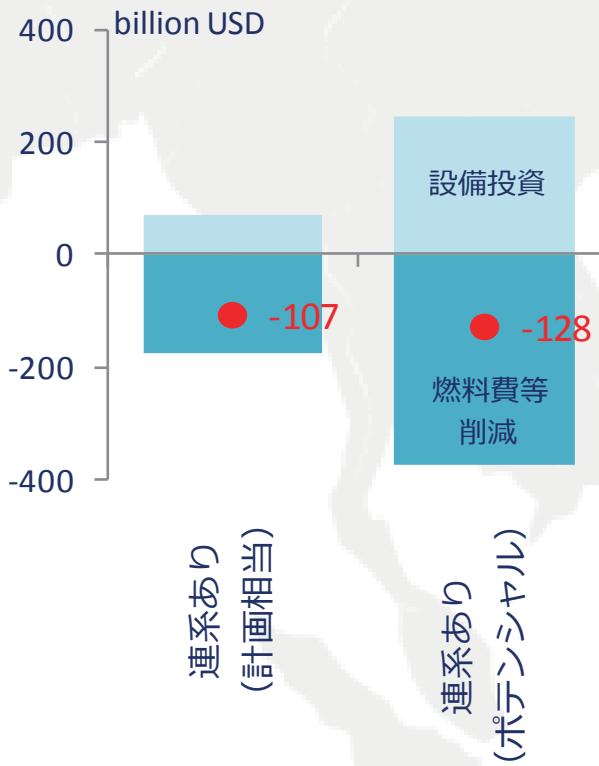
ASEANの電源構成



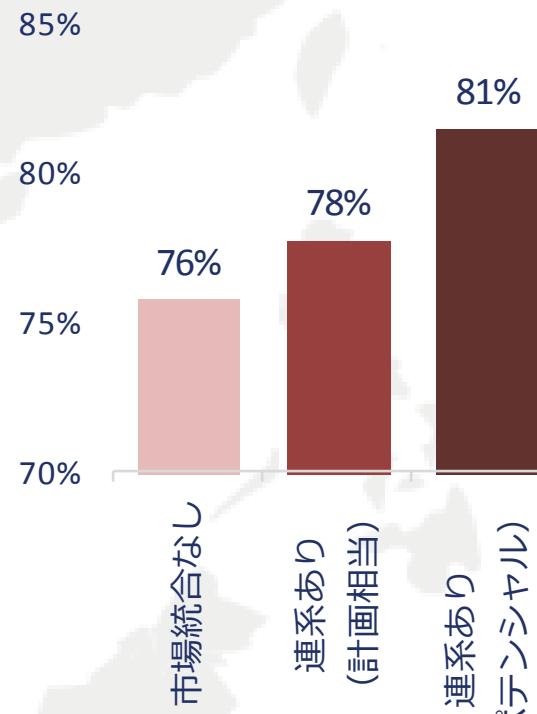
- ✓ メコン流域やボルネオ島には、未利用の豊富な水力資源が賦存する。
- ✓ 電力需要地と供給地を連系することで、域内の水力資源を活用し、化石燃料発電を減らすことができる。

域内資源の有効活用で3Eの改善に貢献

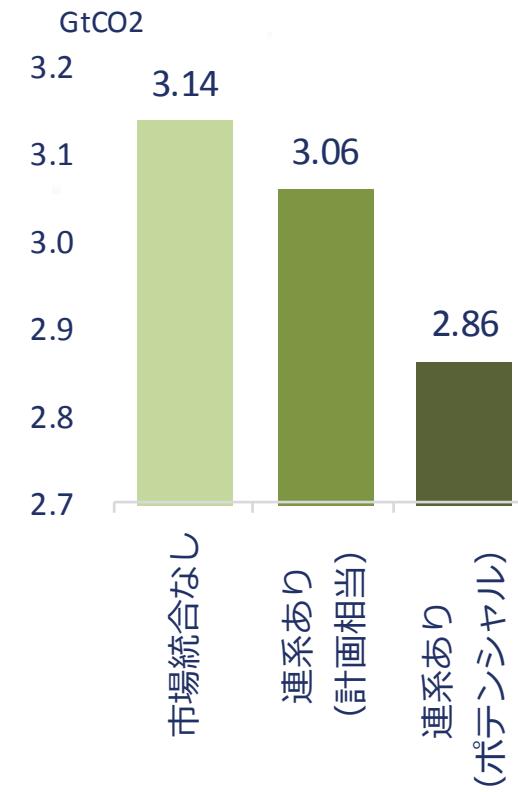
電力統合の経済効果
(2040年まで)



ASEANのエネルギー自給率
(2040年)



ASEANのCO₂排出量
(2040年)



- ✓ 巨額の投資を必要とするが、化石燃料費の削減により、累積1000億ドルの経済メリット。
- ✓ 域内の水力資源を活用することで、輸入する化石燃料を削減、自給率向上に寄与。
- ✓ 化石燃料消費の減少により、域内環境（大気汚染）・気候変動対策にも貢献する。

【まとめ】 ASEAN市場をどう見るか

ASEANの需給動向

- ✓ 成長ポテンシャルは大きい。工業化の進展や、生活水準・エネルギーアクセスの改善とともに、エネルギー需要は急増する。
- ✓ 世界の趨勢とは異なり、安価な石炭への依存が高まる。一方、石油・ガスの自給率は大きく低下する。
---> エネルギー安全保障、環境問題への対処が急務となる
- ✓ 需要増加に応えるために、多額の供給インフラ投資が必要。ファイナンスが大きな課題だが、外資にとってはビジネスチャンスに。
---> 民間資金の誘致には、規制緩和、政策の透明性・安定性が必要
- ✓ エネルギーの域内協力は、3E（安定供給、経済性、環境問題）に大きく貢献する。
---> 資金・技術力不足が課題となるなか、日本への期待が大きい

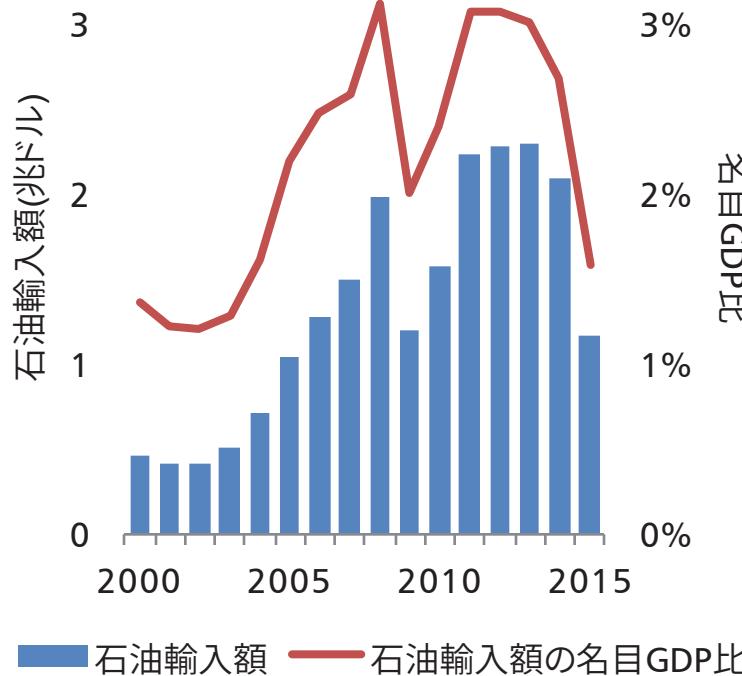
原油・天然ガスの供給障害

治に居て乱を忘れず

Energy Security | The uninterrupted availability of energy sources at an affordable price

経済的な問題 » 原油価格下落により緩和

❖ 世界の石油輸入額



出所: BP、IMFより推計

ただし、中長期的な懸念として、

✓価格乱高下・低価格による投資不足

✓座礁(不良)資産化懸念による投資不足、…

物理的な供給障害 » リスク解消せず

◆ カントリーリスク



出所: Coface "Country Risk Assessment Map" 2016Q2

目下、石油の供給過剰感はあるが、
地政学的なリスク要因は解消していない。
イラン核問題のように緩和したものもあるが、
むしろ複雑・深刻化している問題も少なくない

- ↗ サウジアラビア－イラン関係
- ↗ 「イスラム国」(IS)問題、シリア情勢
- ↗ ウクライナ問題：西側諸国－ロシア関係
- ↗ 中東・北アフリカ諸国の国内情勢、…

物理的な供給障害による経済影響を、仮想的なケース設定と一般均衡モデルで分析

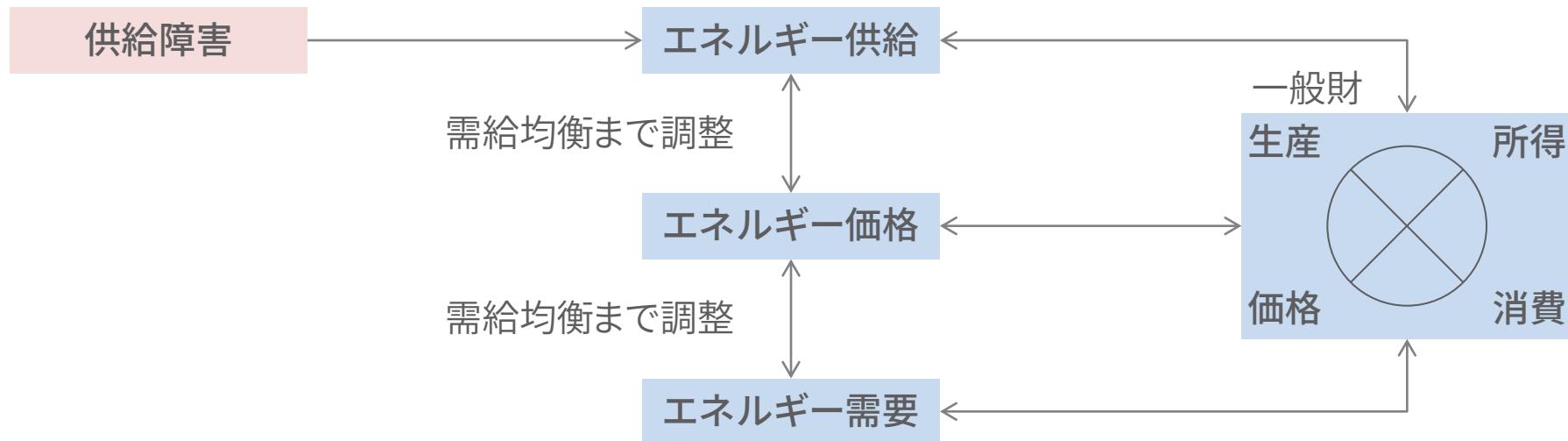
想定・描写している状況

供給障害発生直後のパニックは沈静化したものの、他の国・地域での増産やエネルギー節減のための投資はまだその効果を上げていない

比較静学であり、具体的な供給障害期間を想定しているわけではない—ただし、数日ではなく数十年でもない。投機的な要因による価格変動の影響は対象外。

簡単のため備蓄放出効果は捨象

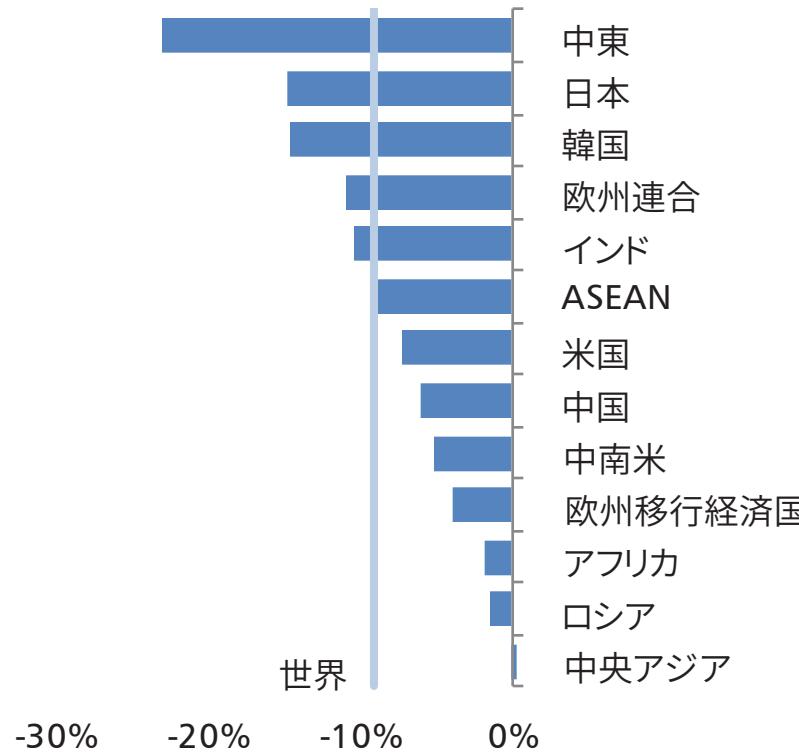
❖ モデルフロー



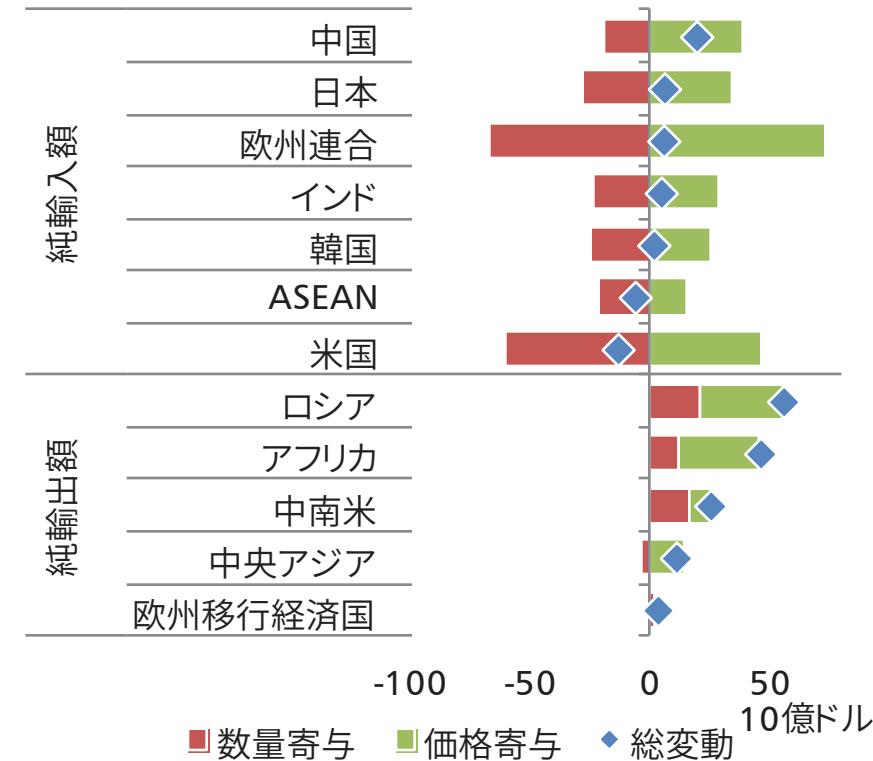
エネルギー価格による影響ではなく、供給障害(供給量減少)による経済への影響の分析は、類例を見ないものでIEEJとしても初めての試み

10 Mb/dの供給障害で世界経済に深刻な影響

❖ 実質GDP



❖ 原油純輸出入額



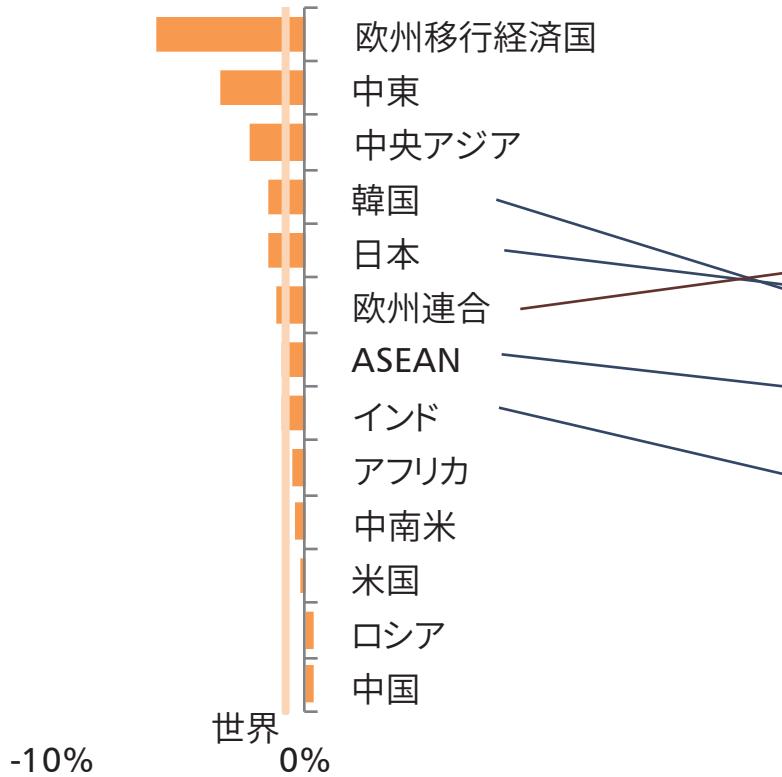
注: 中東の原油純輸出額は1,390億ドル減

中東の原油生産が意図せず大きく落ち込み、他の国・地域がこれを補う増産を行えない場合、世界経済は9%も縮小。とりわけ、輸入原油への依存が高い日本、韓国などで影響が甚大

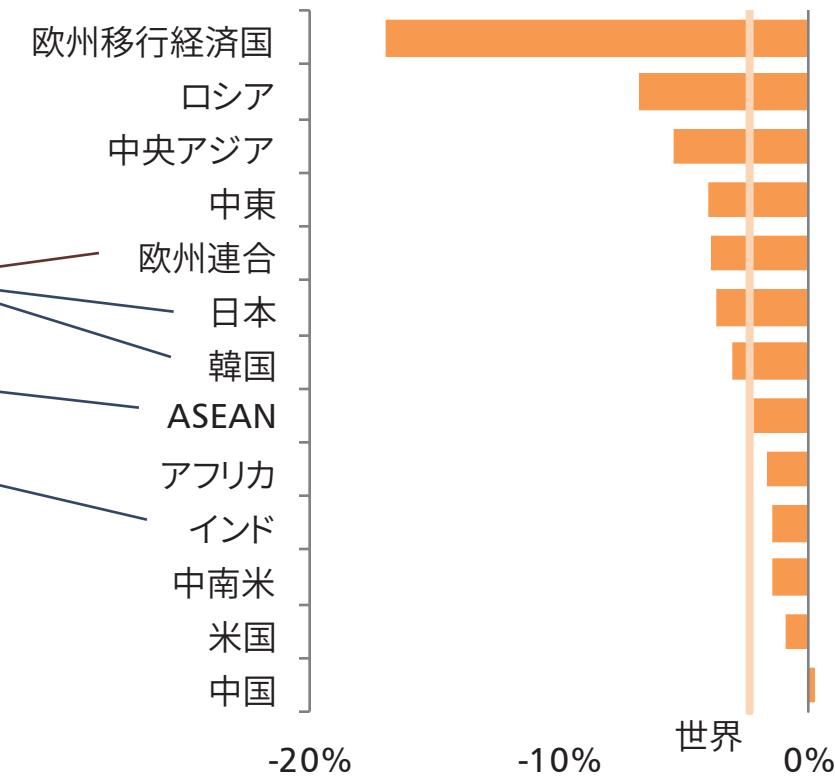
中東以外の輸出地域の原油純輸出額は増加するものの、これらの地域も景気後退圧力からは免れえない

天然ガスの供給障害はヨーロッパに打撃

❖ 中東輸出110 Bcm減での実質GDP



❖ ロシア輸出110 Bcm減での実質GDP



注: 天然ガス110 Bcm ≈ LNG 80 Mt

天然ガス輸出が減少する場合、エネルギー効率が悪く天然ガス依存度が高い欧州経済移行国で大打撃。ロシア輸出減の場合、EUでも深刻となる。日本、韓国などの影響が大きいのは原油と同じ。天然ガス供給障害の影響が原油より小さめなのは、第一義的には天然ガス110 Bcm/年が原油10 Mb/dの5分の1のエネルギー量に過ぎないため

気候変動対策 | パリ協定 技術進展ケース 超長期シナリオ CCS・水素シナリオ

パリ協定 | 世界規模の取り組みの一歩

❖ パリ協定の評価

好評価点

☺☺☺

中国、インドなどの途上国も含め、全ての国が削減義務を負い、180を超える国々が、今後の削減努力に合意。

京都合意のように削減率を先に決めて各国に当てはめようとしたトップダウン方式ではなく、削減目標を持ち寄り、積み上げていくボトムアップ方式。

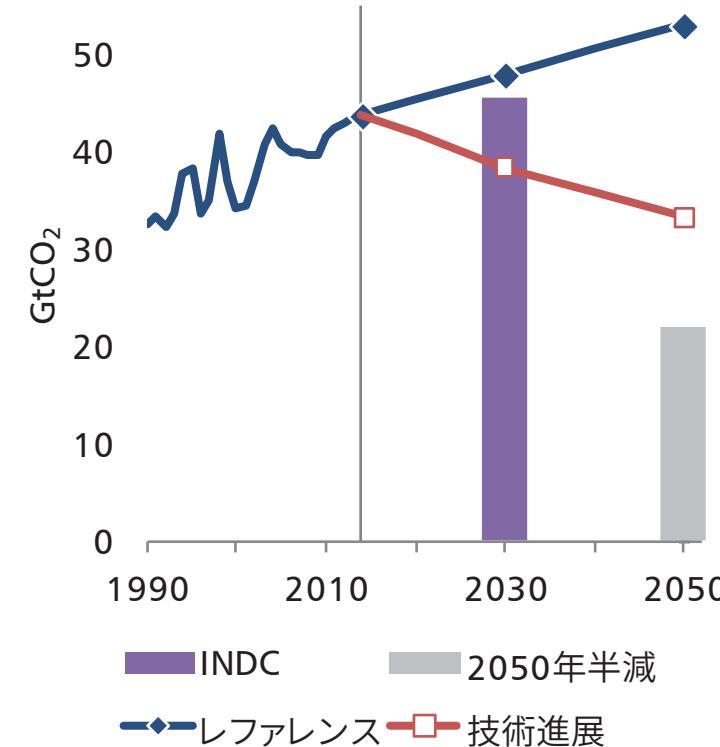
5年に1度、各国の目標の合計を評価し、さらなる削減努力を求めてゆく方式

課題

☹☹☹

世界のGHG排出量が足元より増加する

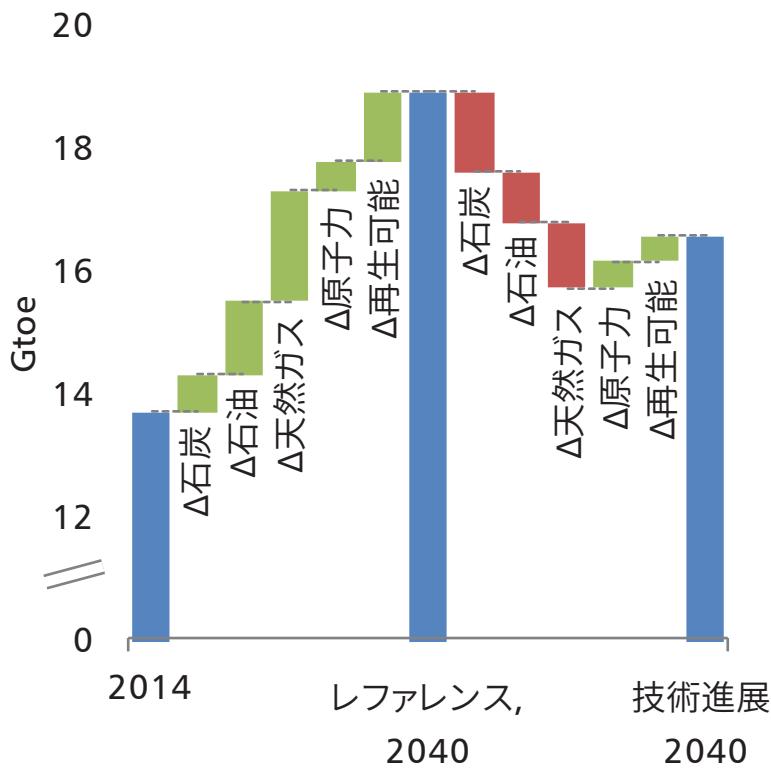
❖ 温室効果ガス排出



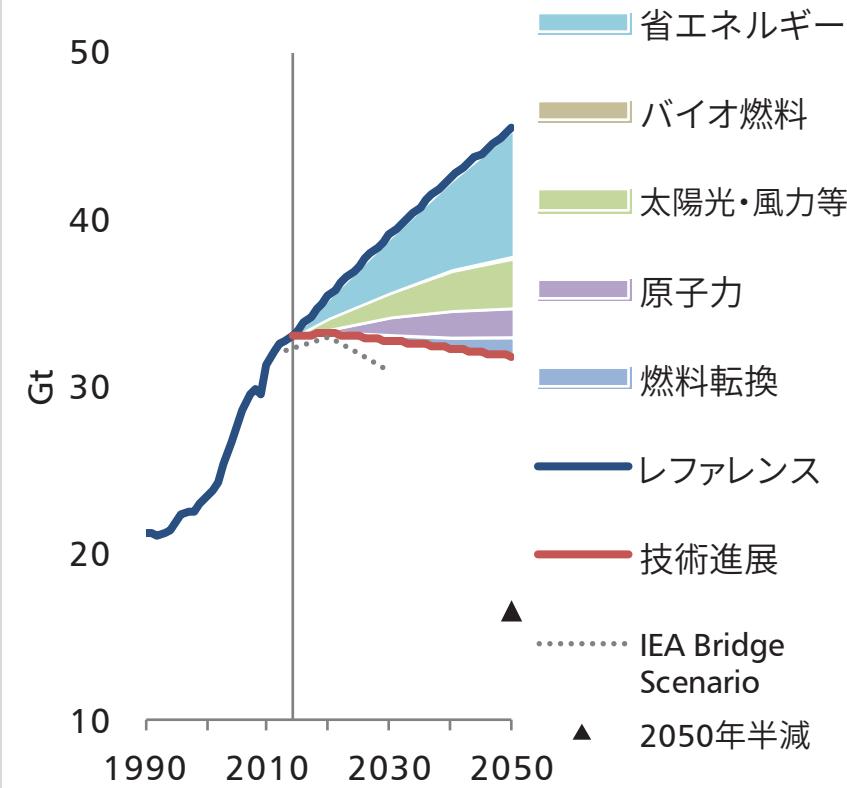
「自主的に決定する約束草案(INDC)」下での2030年のGHG排出量は、足元を上回る。トレンドよりは抑制されるが、2050年排出半減といった将来像には結びつき難い姿
パリ協定での目標を着実に現実のものとし、さらなる削減につなげることが必要。
技術革新と同時に、技術移転による世界全体での対策を後押しすることが欠かせない

世界大の取り組みでCO₂は現状比3.8%減

❖ 一次エネルギー消費増減



❖ CO₂排出と削減寄与



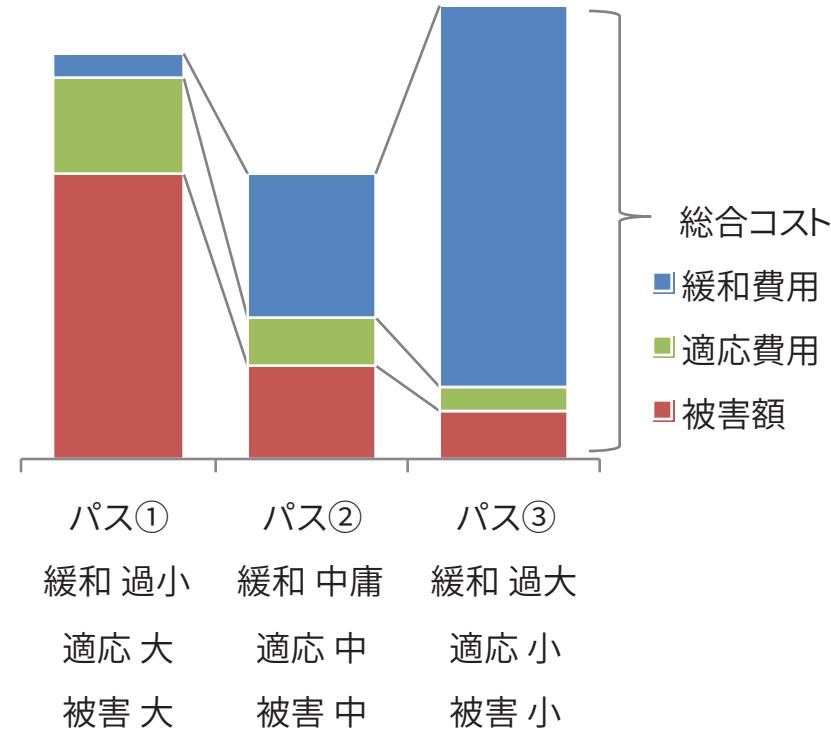
現実社会での適用機会・受容性を踏まえた最大限のCO₂排出削減対策を見込む
技術進展ケースでは、2040年のエネルギー消費がレファレンスケース比2,343 Mtoe、12%節減
技術進展ケースでのCO₂排出量は、2020年ごろをピークに緩やかな減少に転じ、2050年には
2014年比3.8%減。レファレンスケースからの削減量13.7 Gtは、世界の現排出量の42%に相当

超長期を踏まえた規範=総合コストの低減

❖ 緩和+適応+被害=総合コスト

緩和	省エネルギー、非化石エネルギーによるGHG排出削減が代表的。CCSによるGHGの大気中への放出削減なども含む。 これらで気候変動を 緩和 する
適応	気温上昇により、海面上昇、農作物の旱魃、疾病の蔓延などが発生しうる。これらに対する堤防・貯水池整備、農業研究、疾病の予防・処置などが 適応
被害	緩和、適応によっても気候変動の影響が十分に低減できない場合、海面上昇、農作物の旱魃、疾病的蔓延などの 被害 が実際に発生する

❖ パスごとの総合コストのイメージ



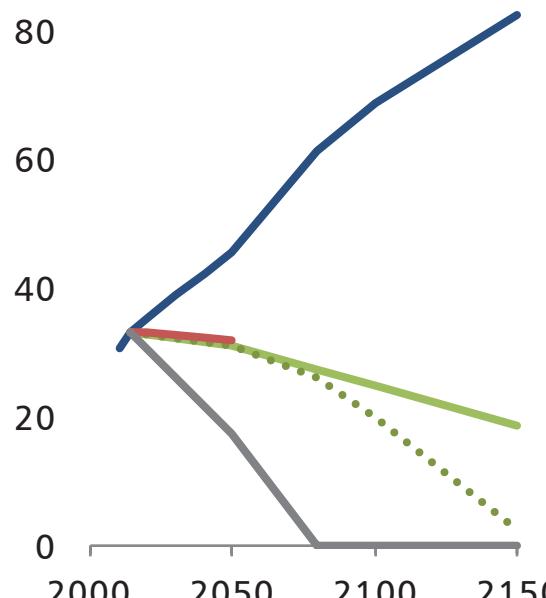
気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい。

気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題。持続可能性に基づき、緩和費用、適応費用、被害額の和=総合コスト が小さくなる組み合わせを評価する。なお、評価においては、気候感度、割引率などさまざまな不確実性があることに留意

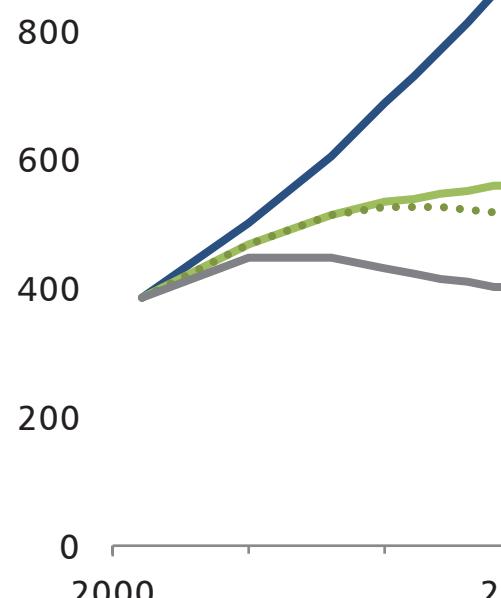
排出量多寡の単純比較を越えて

❖ 超長期パスの下での姿

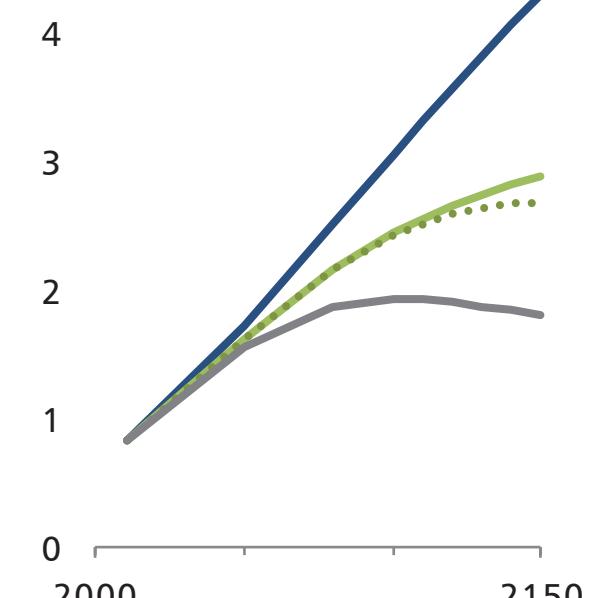
CO₂排出量
(Gt)



CO₂濃度
(ppm)



気温上昇
(°C)



費用最適化パスでのCO₂排出量は、レファレンスケース相当からは大幅減となるが、2050年半減ほどではない。2150年の排出量は現状比半減程度、気温上昇は約3°Cとなる。

技術革新で削減コストが低減すれば、気温上昇は2150年ごろの2.7°C程度をピークに低下。総合コストは年1,000億ドル程度と、レファレンスケース相当はもとより、2050年半減パスも大きく下回る。

注: 気候感度を3°Cとして計算。気候感度が2.5°Cの場合、2150年の気温上昇幅は、レファレンス相当で3.7°C、費用最適化[標準]で2.5°C、2050年半減で1.4°C

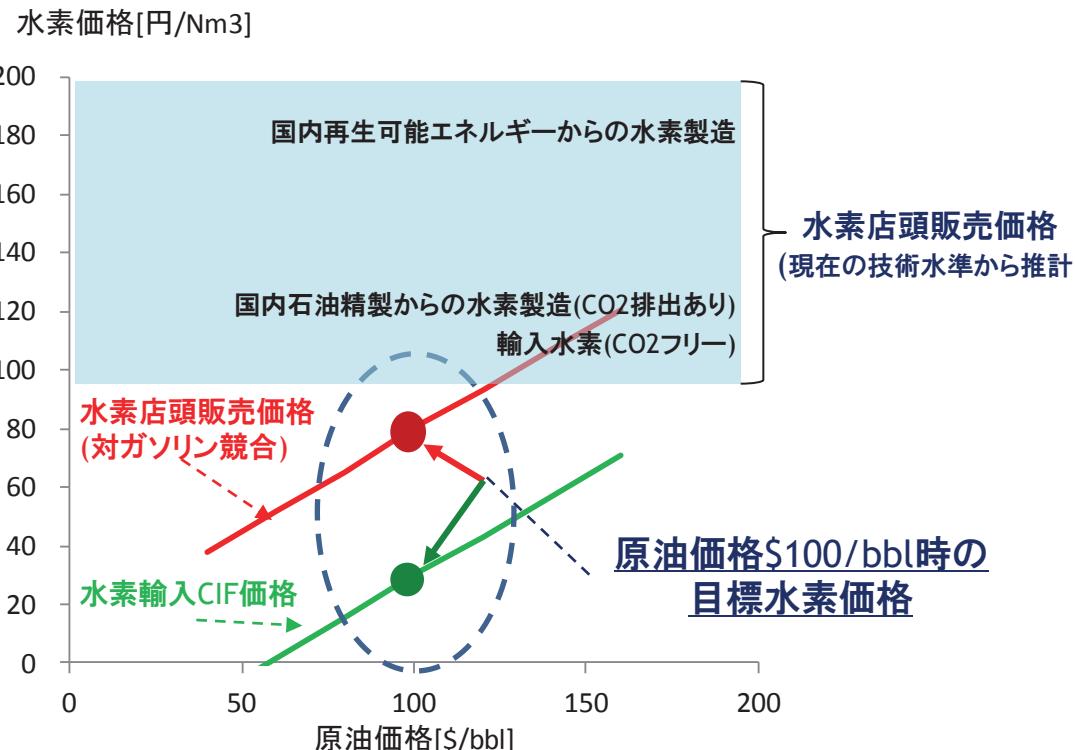
超長期の将来に向けた技術開発の例

技術	概要	課題
CO ₂ の発生を抑制するもの	次世代原子炉 超高温原子炉、高速炉などの第4世代原子炉や、中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている	次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等
核融合	質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。 燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない	連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等
宇宙太陽光 (SPS)	太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇宙空間にて太陽光発電を行い、発電した電気を、マイクロ波等を通じて無線で地球に伝送し地上で利用する技術	無線エネルギー転送技術の確立、宇宙に建設資材を運ぶコストの低減等
発生したCO ₂ を固定、または、大気中のCO ₂ を取り除くもの	水素製造・利用 水蒸気改質を通じた化石燃料転換による水素の製造、発生したCO ₂ のCCS実施によりカーボンフリーにできる	水素製造等のコスト削減、効率向上、必要なインフラの整備等
	CO ₂ 固定化・有効活用 (CCU) 電気化学的方法、光化学的方法、生物化学的方法、熱化学的方法により、CO ₂ を原料にして化学原料等となる炭素化合物を製造。 大気中からCO ₂ を除去できる	固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上等

水素の価格競争力の評価例

水素利用ケース

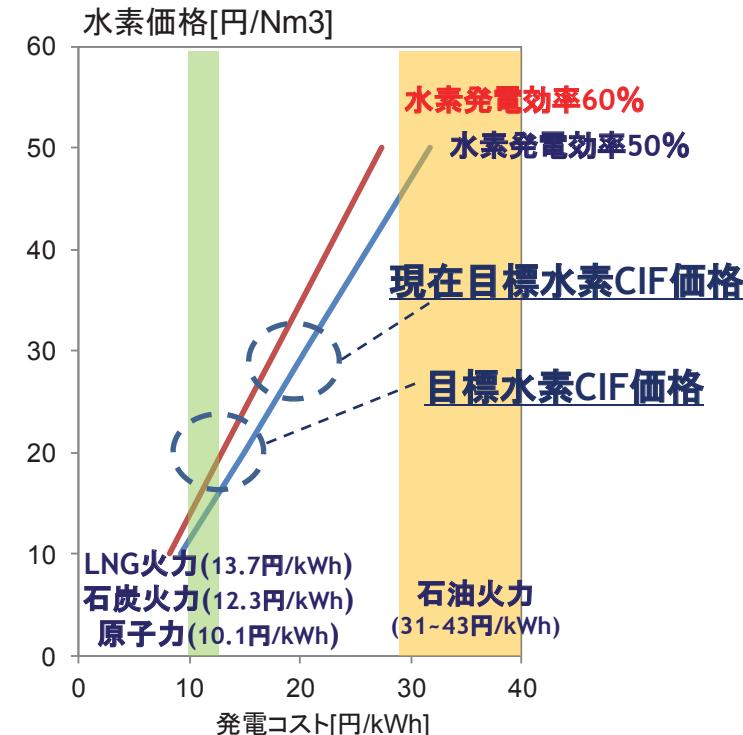
[FCVにおける水素価格(ガソリン競合価格)
(国内生産水素及び輸入水素を対象)]



注: 燃料費の比較のみ(FCVと内燃機関駆動車)。FCVの燃費はガソリン車の2.5倍優れていると仮定

注: 国内製油所の安定的利用はFCV 200~300万台(20~30億Nm³)が供給上限か。
国内LNG火力100万kW級1基を水素発電に切り替えた場合 25億Nm³が必要)

[水素発電コスト]
(輸入水素を対象)

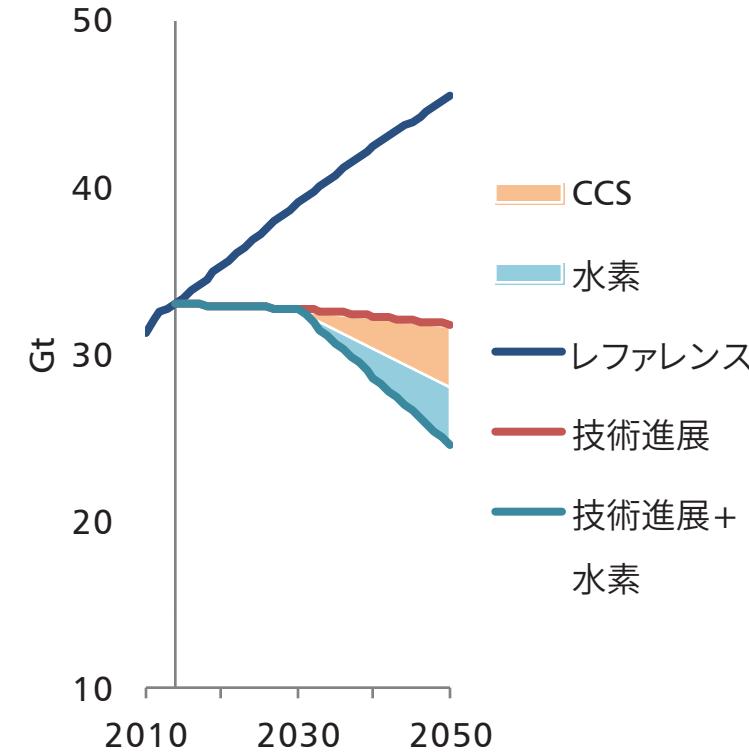
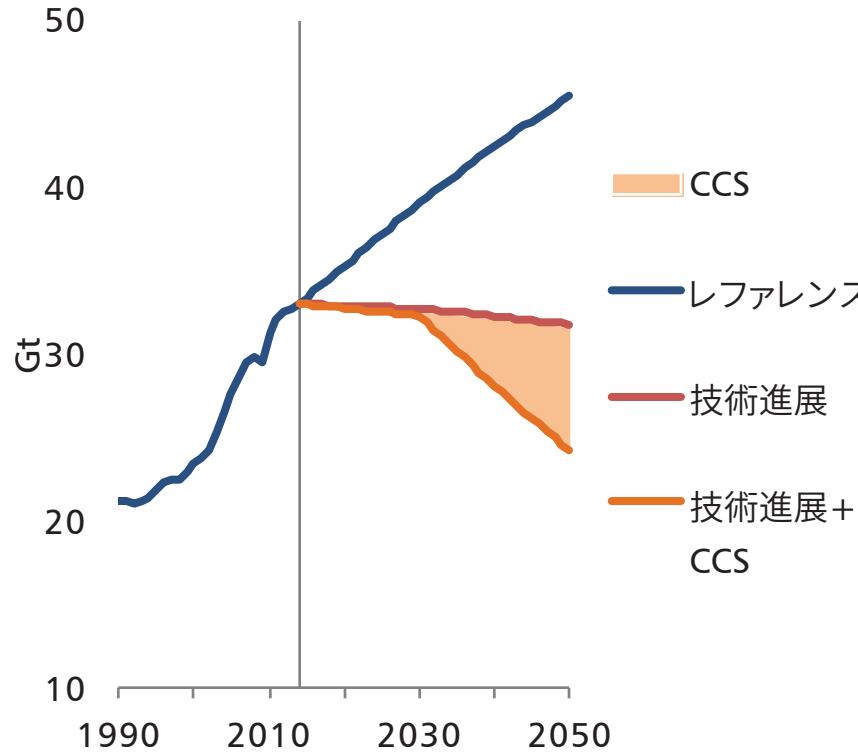


注: 設備利用率=50%、建設コスト=12万円/kW (LNG火力同等)

- 現時点では、FCV用水素価格も割高である。ただし、原油価格の上昇、水素製造・流通コストの削減等によって、ガソリン価格に対して競争力を確保する可能性もある。発電用水素は輸入水素の大規模流通によって更なるコストダウンが必要。

王道はないが、道は存在する

❖ CO₂排出と削減寄与



CCS、水素ともに技術・経済面などで克服すべき課題は少なくないが、2050年には7 Gt程度のCO₂削減に寄与する可能性

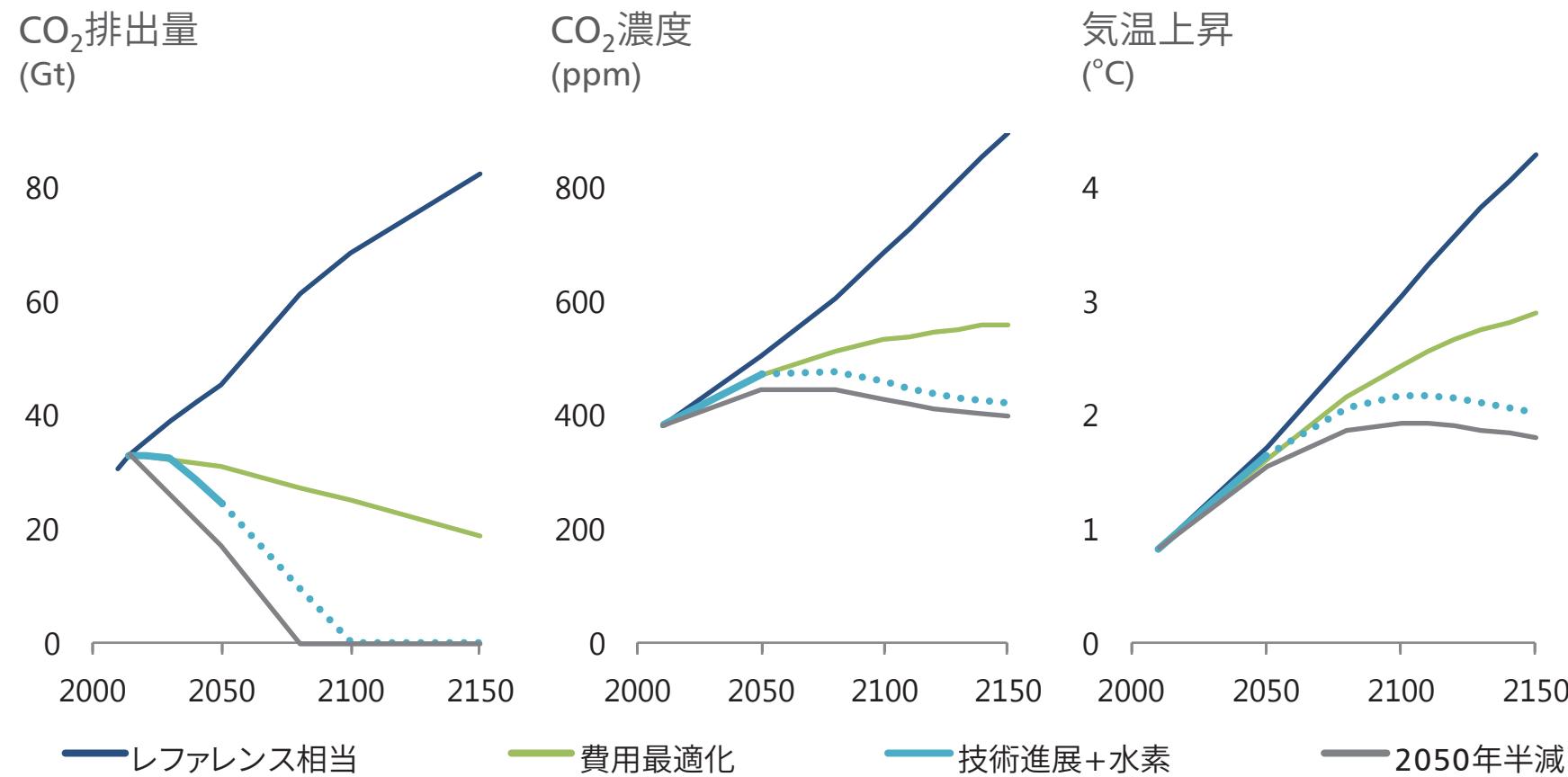
ただし、CCSはエネルギー安全保障には直接的には寄与しない。水素はその製造のために、天然ガス、石炭などの枯渇性資源の消費量を増やす。すべての問題を解決する完璧な技術はない

注:「技術進展ケース+CCS」、「技術進展ケース+水素」は、それぞれ本文中の「CCS最大利用シナリオ」、「水素高位シナリオ」を指す

低コスト化すれば水素も対策オプションの1つ

❖ 超長期パスの下での姿

CO₂排出量
(Gt)



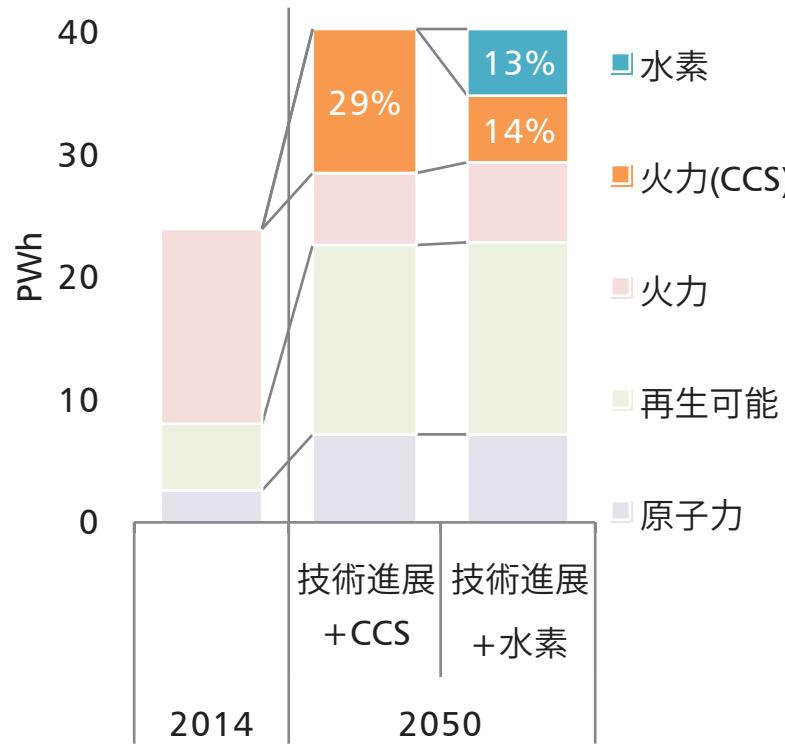
CCS、水素ともに技術・経済面などで克服すべき課題は少なくないが、2050年にはあわせて7 Gt程度のCO₂削減に寄与する可能性も

技術革新によってそのCO₂排出削減トレンドを維持できれば、気温上昇は2100年ごろの2.2°C程度をピークに低下。2150年には2.0°C程度まで戻す

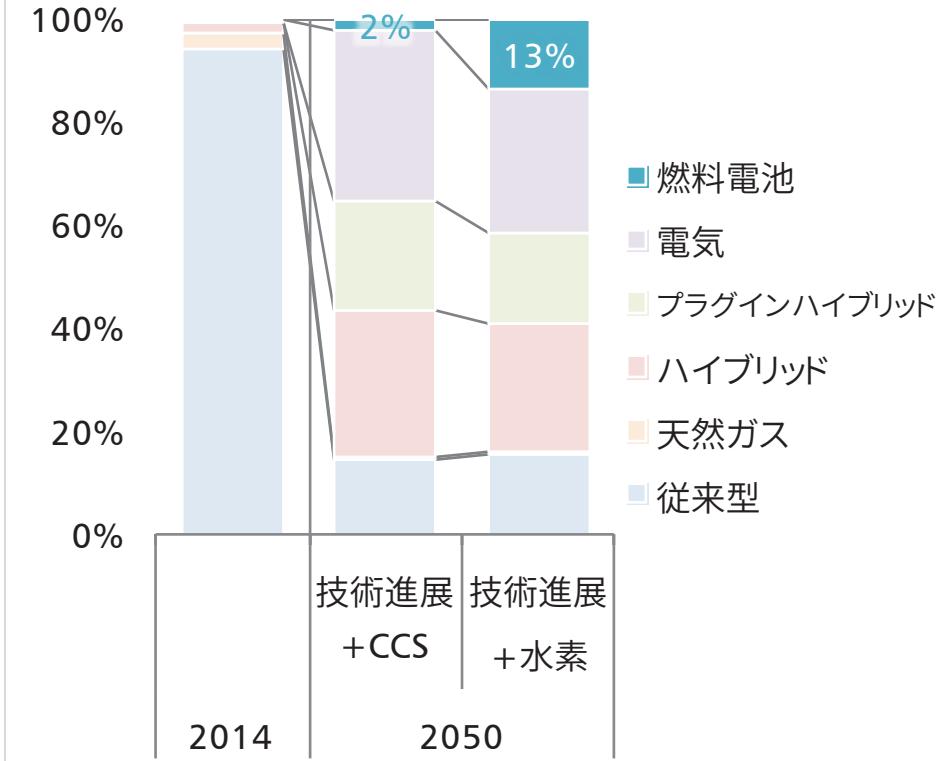
注:「技術進展ケース+水素」は、本文中の、「水素高位シナリオ」を指す

水素利用の主役は発電、そして自動車

❖ 発電構成



❖ 乗用車販売構成



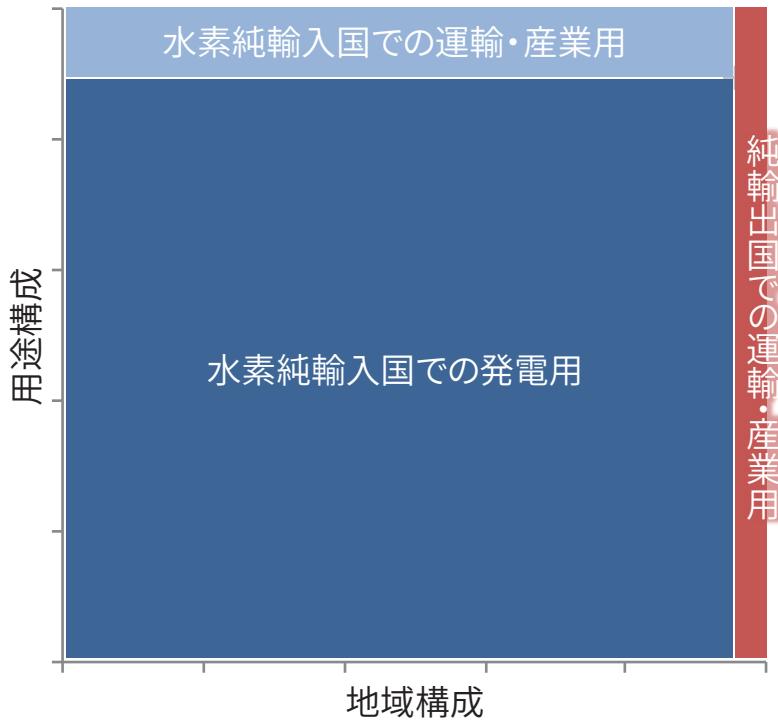
CCSと水素はCO₂削減においては補完的だが、CCSの場所という意味では、①エネルギー消費地でCCSを行う、②化石燃料生産地で水素を製造する際にCCSを行う、という代替的な関係がある

「技術進展ケース+水素」では、CCSが難しいあるいは限度がある地域で、2030年以降に建設する石炭火力・天然ガス火力が全て水素発電に代替されると想定。燃料電池自動車の普及も加速

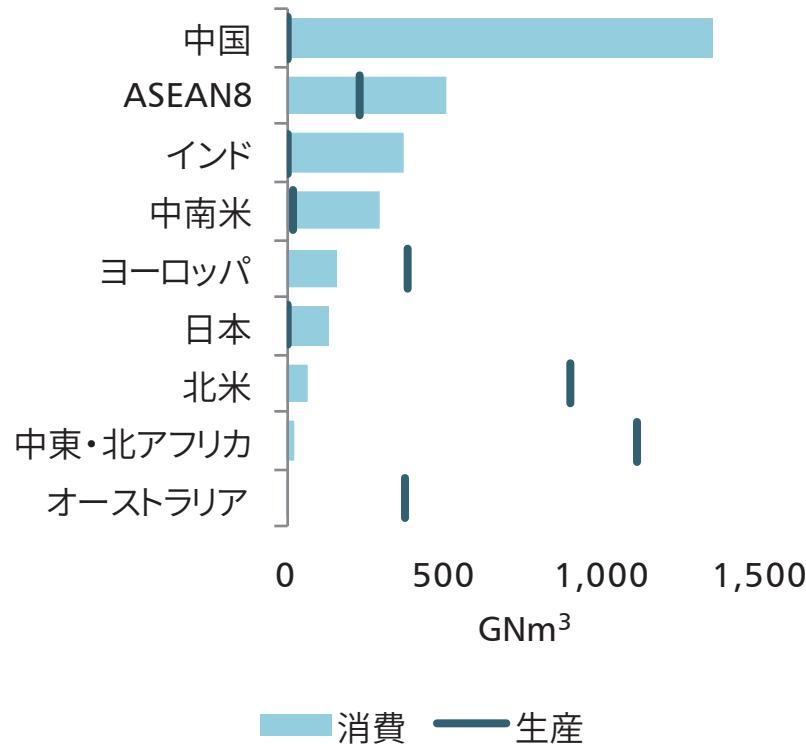
注:「技術進展ケース+CCS」、「技術進展ケース+水素」は、それぞれ本文中の「CCS最大利用シナリオ」、「水素高位シナリオ」を指す

水素はCCSが難しい国でのオプションの1つ

❖ 水素の消費[技術進展+水素、2050]

消費総量 3,240 GNm³

❖ 水素の需給[技術進展+水素、2050]



注: 消費と生産との差が純輸出入となる

「技術進展ケース+水素」においては、2050年に3.2兆Nm³超の水素が生産・消費される。その90%までもが、水素純輸入国(≈CCSが難しい国)における発電用

水素の主要生産・輸出国は、中東・北アフリカ、北米、オーストラリア、ロシアを主とするヨーロッパ。石油・天然ガスなど従来のエネルギー輸出国は、水素においても重要な供給者となりうる

注:「技術進展ケース+水素」は、本文中の「水素高位シナリオ」を指す

原子力エネルギーの意義を見定める —アジア/世界原子力シナリオ2016—

0. エネルギー基本計画に示された原子力の位置づけ

・「エネルギー基本計画」(2014年4月11日閣議決定)

- ・燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく
- ・数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる準国産エネルギー
- ・優れた安定供給性と効率性
- ・運転コストが低廉で変動も少なく
- ・運転時には温室効果ガスの排出もない

経済性

エネルギー安全保障

地球温暖化対策

3E

⇒安全性の確保を大前提に「重要なベースロード電源」とする

- ・一方、原子力の設備容量の展望はいつの時代も不確実性大

⇒複数シナリオを想定し、効用と課題を示すことが重要

1. 各シナリオの条件

2040年までの世界並びにアジアの原子力発電展望を以下の条件で描く。

- レファレンス
- 技術進展相当
- 原子力に頼らない世界(低原子力)
- 原子力が基幹電源として広く普及(高原子力)

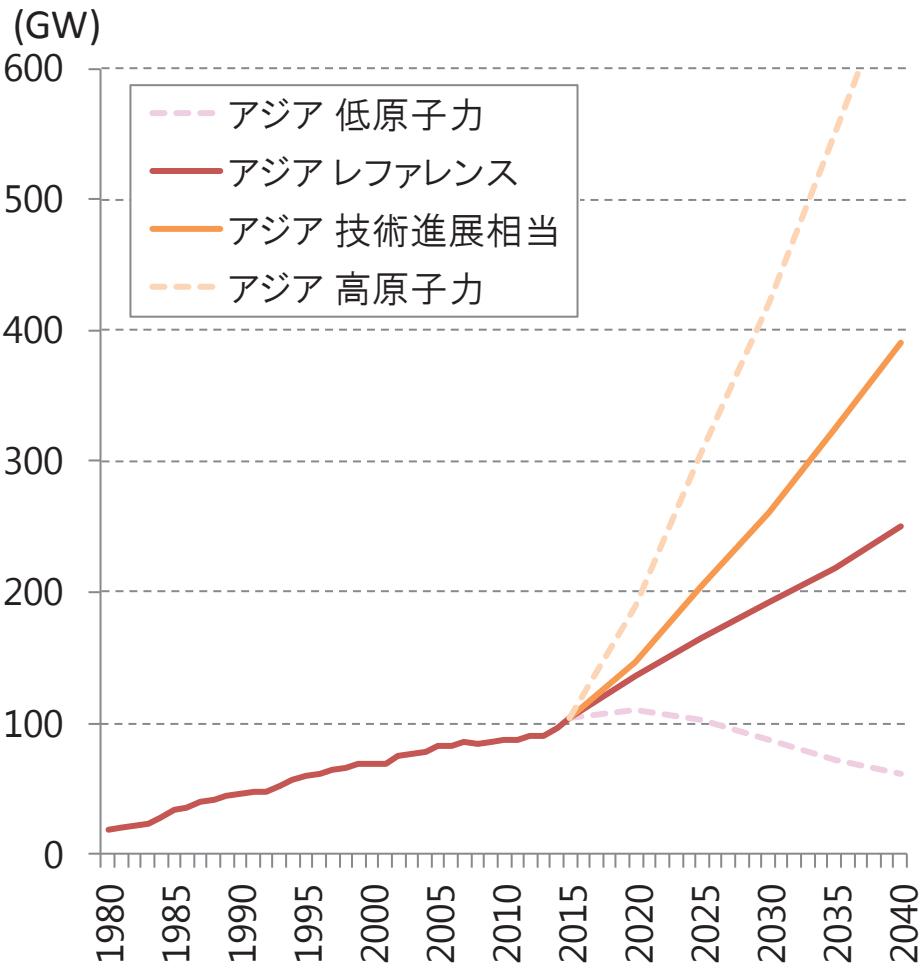
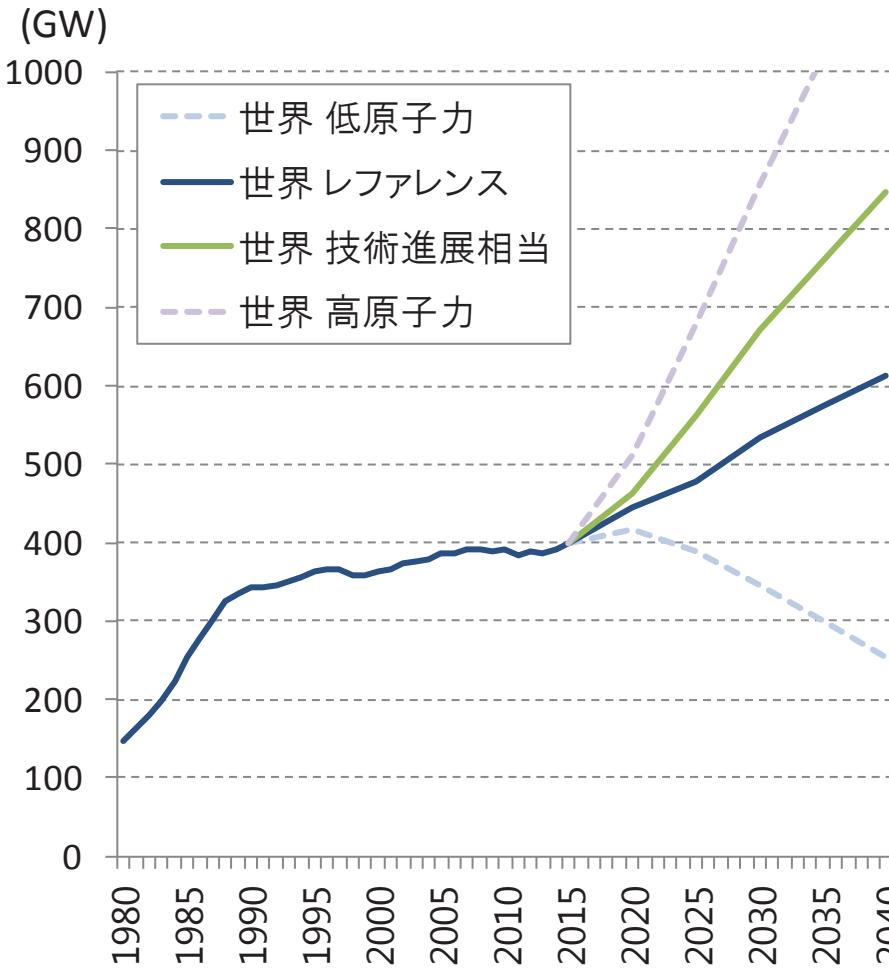
各シナリオの条件

- ◎レファレンス、技術進展相当は、アウトロック2016と同様の原子力設備容量を想定
- ◎低原子力は、2016年1月1日時点で計画中の原子炉は建設されず、建設中のもので営業運転年が明らかなものはその年に運転開始、明らかでないものは運転せずとする
- ◎低原子力の原子炉運転年数は、北米・欧州OECDが60年、中南米・アジア・中東・アフリカは40年。ただし、ドイツ、スイス(50年廃炉)、ベルギー(40年廃炉・Tihange-1は2025年まで運転)、イギリスは各炉の閉鎖予定年を参照。
- ◎高原子力シナリオは、アウトロック2016技術進展ケースのうち、中東・アジア(日本と台湾除く)・アフリカの設備容量増加量が2020年以降2倍になると想定。

以上の条件に基づき、4つのシナリオについて、設備容量の推移、CO₂排出量の変化、自給率の変化、発電コストの変化を示す。

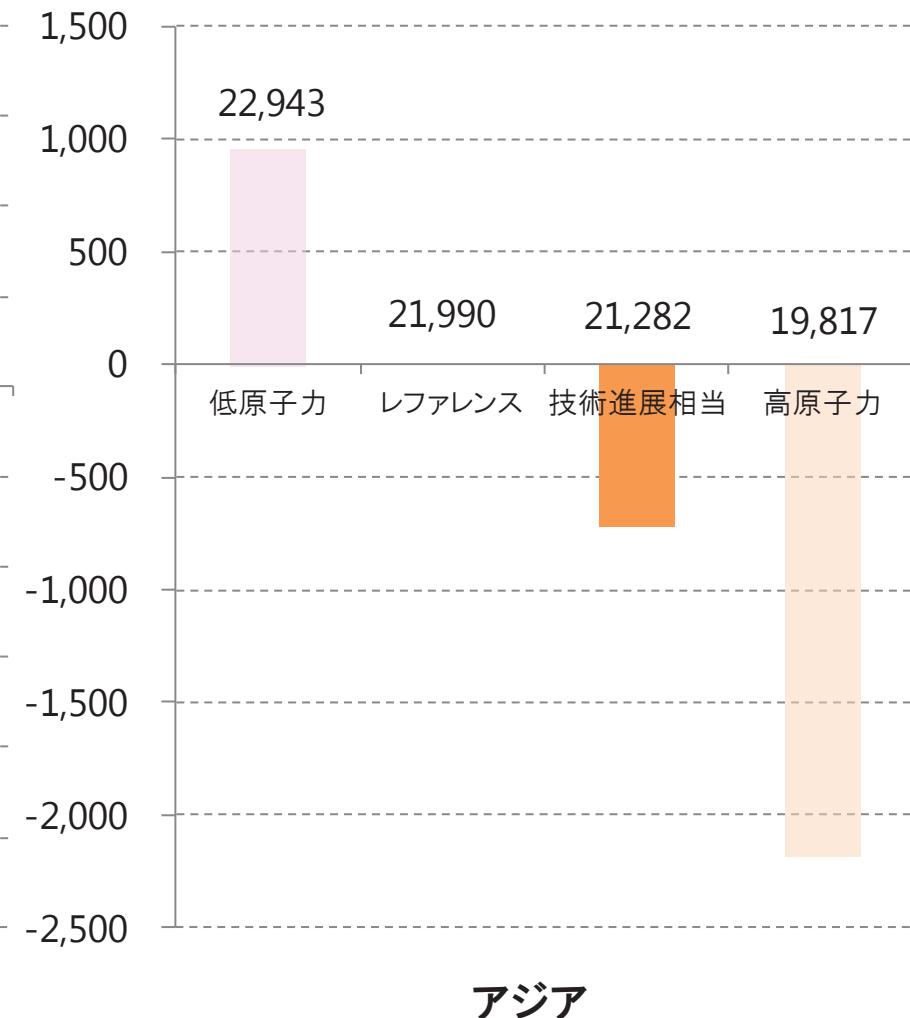
2. 結果 (1) 設備容量の推移

- 高原子力では2040年に世界で2014年比3倍、アジアで同7倍
- 低原子力では2040年にアジア・世界ともにほぼ半減



2. 結果 (2) CO₂排出量の推移

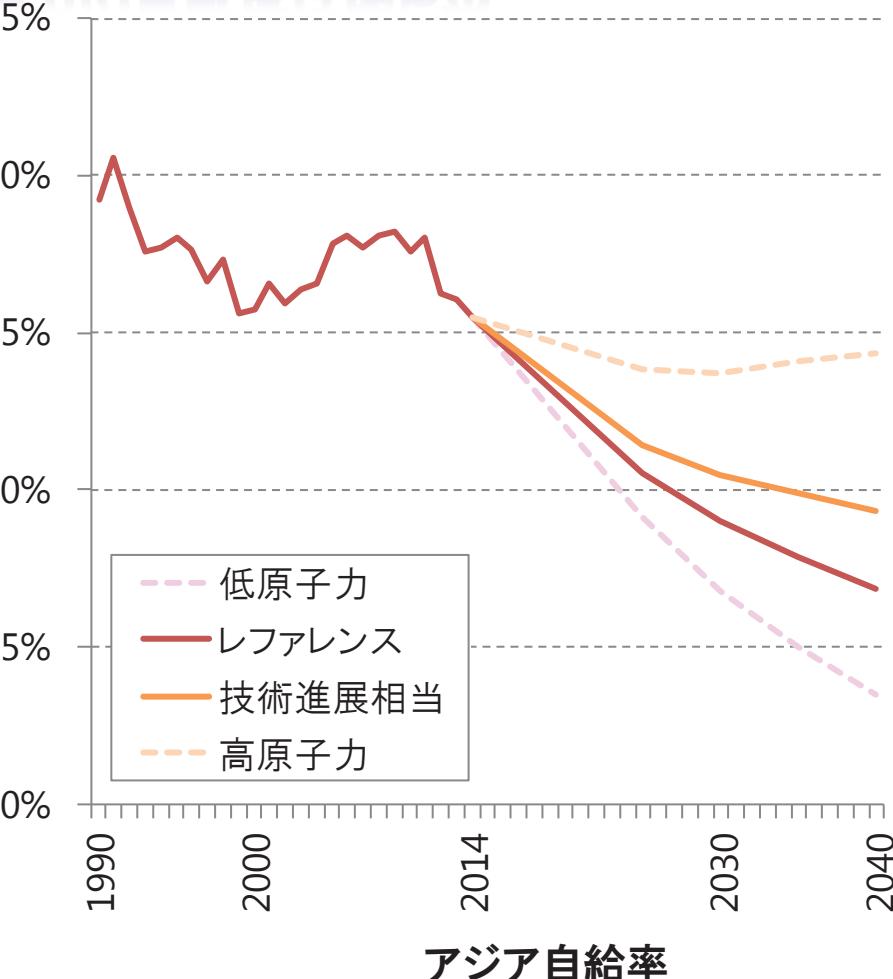
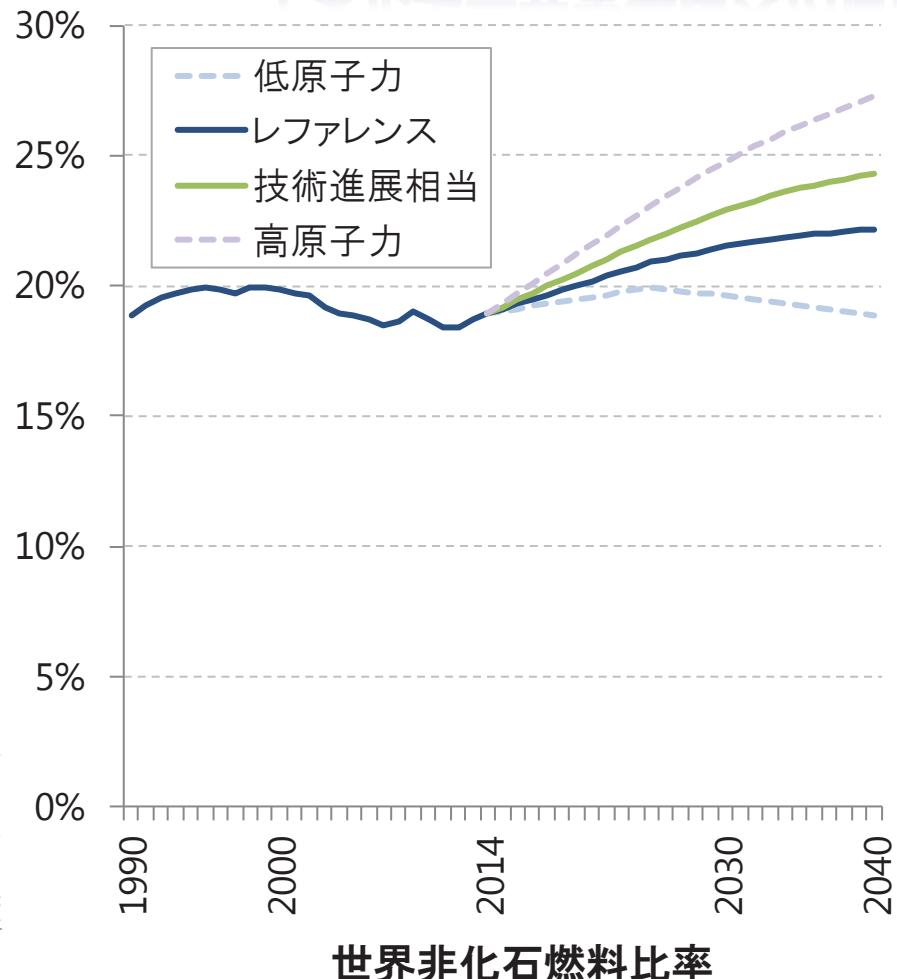
- 高原子力のアジアではレファレンス比で約10%（約20億tCO₂）低原子力比で約14%（約30億tCO₂）抑制

(MtCO₂)(MtCO₂)

2. 結果 (3) 世界非化石燃料比率とアジア自給率の推移

- 高原子力では世界の非化石燃料比率は有意に高い
- 低原子力におけるアジアの自給率は60%台前半まで低下

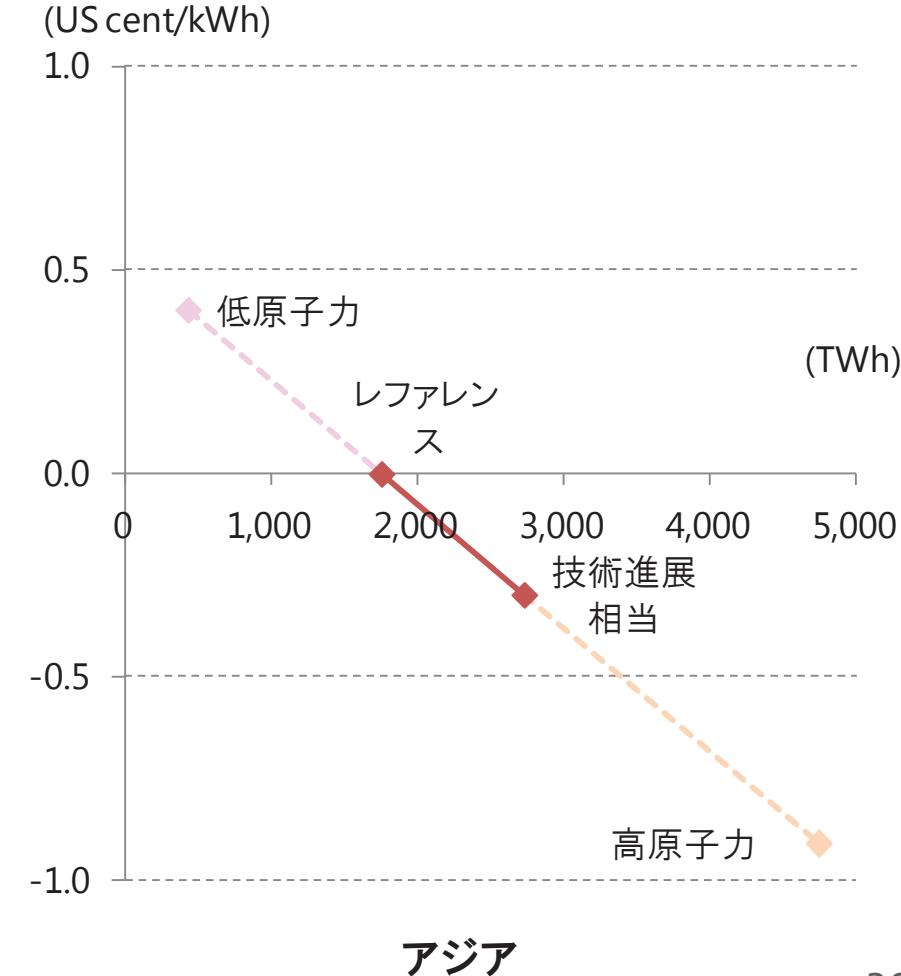
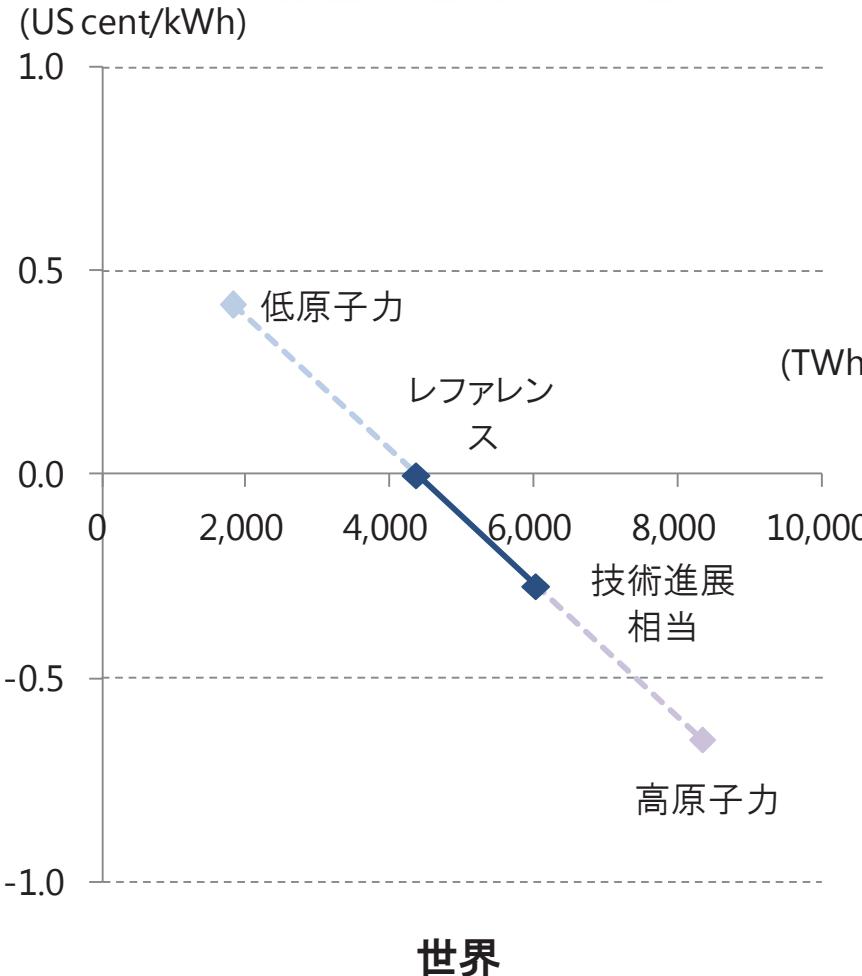
エネルギー安全保障への原子力の貢献度は明らか



2. 結果 (4) 発電コスト

- アジアの高原子力ではレファレンスから約0.9 ¢ / kWh、低原子力から約1.3 ¢ / kWh 低減

低廉な電力の安定供給への原子力の貢献度は明らか



3. シナリオに見るインプリケーション

- 各シナリオ成立条件、シナリオが成立した場合の課題は以下の通り。

	成立に必要な条件	課題
技術進展	自由化・規制下に関わらず <ul style="list-style-type: none"> 原子力のコスト競争力 低炭素技術への信頼と開発普及支援策 温暖化防止の有効枠組み 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力安全基準の南北問題 (先進国－新興国間の差異拡大) 使用済燃料処分問題の早期解決 燃料供給途絶リスク 核拡散・核セキュリティ脅威
高 原 子 力	上記に加え、更に <ul style="list-style-type: none"> 社会インフラ(送電線 他) 燃料安定供給網 新興国への原子力・インフラ技術移転 	上記に加え、更に <ul style="list-style-type: none"> ベスト・プラクティスを標準化する継続的な取り組み
低 原 子 力	自由化・規制下に関わらず <ul style="list-style-type: none"> 原子力のコスト競争力低下 原子力への信頼失墜、開発普及支援策なし 温暖化防止の枠組みが原子力に及ばない 	原子力産業基盤が衰退する中で以下の重要作業が困難化 <ul style="list-style-type: none"> 円滑な廃止措置・廃棄物処分 原子力施設の十分な安全確保 緊急時の国際協力

安全は、原子力施設が存在する限り大前提

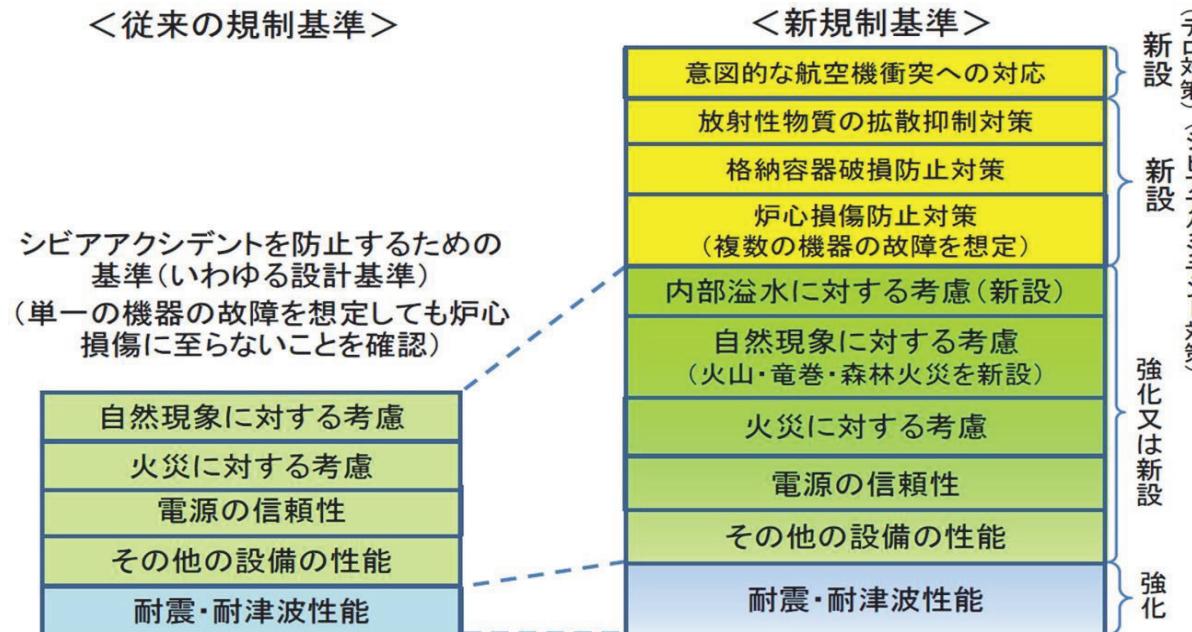
4. 原子力の安全確保の取り組み

(1) 日本の新規制基準: 深層防護の強化

- 炉心損傷、格納容器破損、放射性物質拡散対策等を強化
→2011年以前に比べて特に事故時の耐性や緩和性は向上
- 「それでも」放射性物質が拡散してしまった際の対策も充足

“炉心損傷しないから対策不要”=安全神話 は誤り

新旧規制基準の比較



出所:NRA HP

4. 原子力の安全確保の取り組み

(2) 米国等における自主的安全性向上の取り組みと示唆

米国やスイス等では1980年代以降、産業界の生存をかけた自主的な安全性向上の取り組みが行われ、現在まで継続している。

- 原子力の重要性に対する関係者の共通理解
- リスクそのものに対する理解
- 相互の信頼関係
- 電力自由化による競争環境の下、事業者にとって発電所の良好なパフォーマンスが必須であったこと
- 規制機関の合理的な規制(規制の利益>規制のコスト)・透明性への理解と監視機能、産業界と対話できる環境

日本やアジアへの示唆



- リスクに対する考え方を議論し、原子力の重要性に関する関係者の共通理解を醸成することが必要
- 産業界がベスト・プラクティスの標準化に取り組んだ上で、相互尊重をベースに規制機関にも働きかけ
- 前提は、規制機関の独立性と規制の透明性・合理性

4. 原子力の安全確保の取り組み

(3) 規制組織の在り方:独立性と透明性

欧米	アジア
<ul style="list-style-type: none"> ・欧米主要国の規制機関は、2011年より前から高い独立性と十分な人材水準を維持。 ・IAEAの総合的規制評価サービス(IRRS)による評価結果等を踏まえながら、組織・規制活動の改善を続け、安全確保に寄与。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2011年以降、日本・韓国は規制体系を見直し、法的に独立性を担保。 ・中国・インド等は直近のIRRSにおいて独立性担保に関する勧告がなされている。 ・引き続き、独立性や透明性の向上が望まれる。



IRRSミッション(2011年、韓国)報告書
出所:IAEA

付属資料

地域区分

- 世界を42地域に区分、特にアジア地域を15地域に区分
- アジアのエネルギー需給構造を特に詳細に考慮

OECDヨーロッパ

- ・イギリス
- ・ドイツ
- ・フランス
- ・イタリア
- ・他OECDヨーロッパ

中東

- ・サウジアラビア
- ・イラン
- ・イラク
- ・UAE
- ・クウェート
- ・カタール
- ・オマーン
- ・他中東

アフリカ

- ・南アフリカ
- ・北アフリカ
- ・他アフリカ

非OECDヨーロッパ・旧ソ連

- ・ロシア
- ・他旧ソ連
- ・非OECDヨーロッパ

アジア(15地域)

- ・日本・中国・インド
- ・台湾・韓国・香港
- ・インドネシア・マレーシア
- ・フィリピン・タイ・ベトナム
- ・シンガポール・ブルネイ
- ・ミャンマー・他アジア

オセアニア

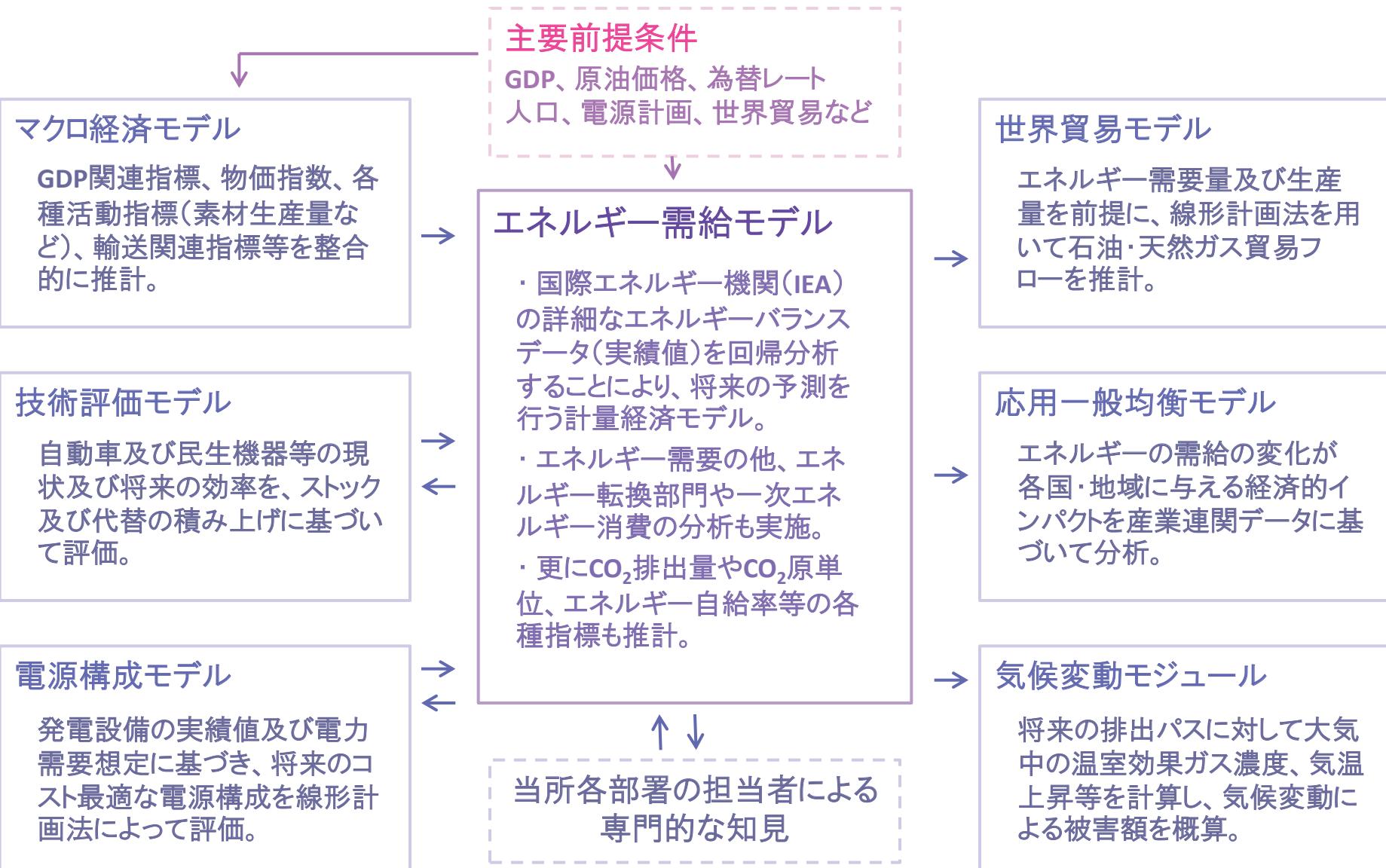
- ・オーストラリア
- ・ニュージーランド

北米

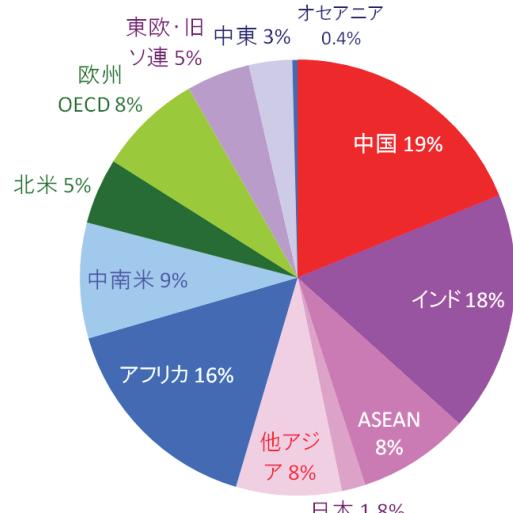
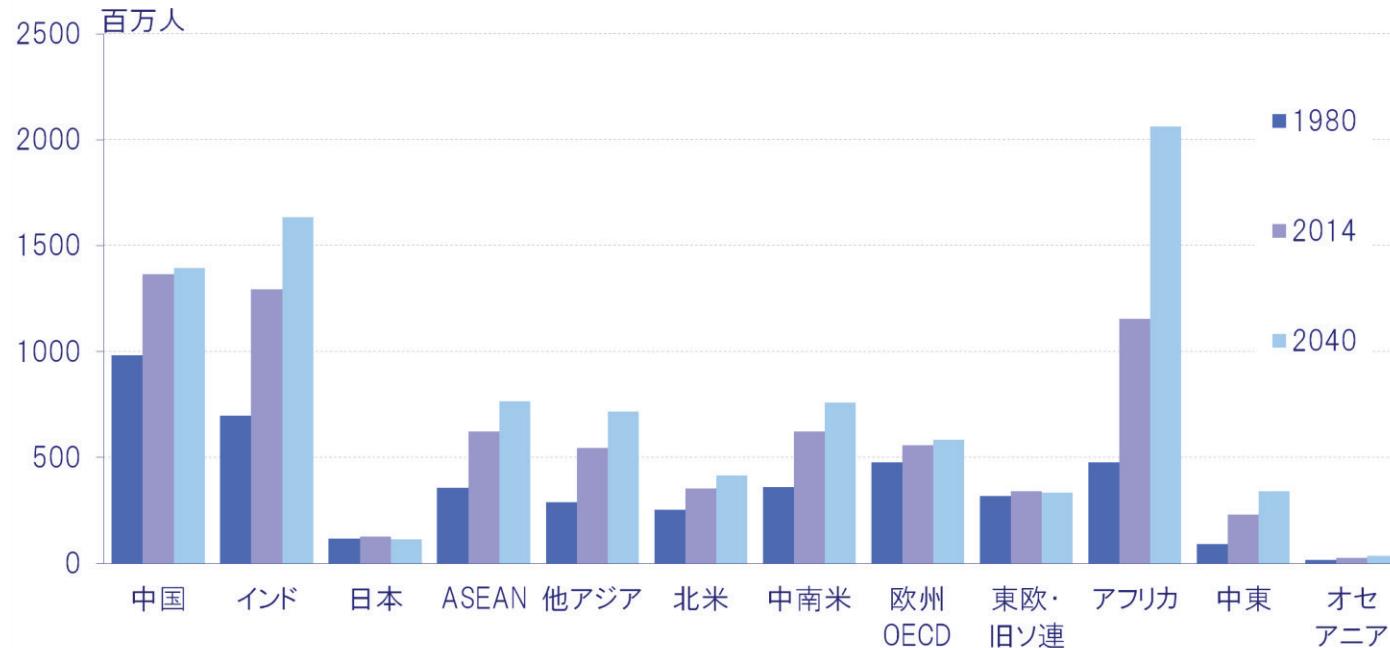
- ・米国
- ・カナダ

中南米

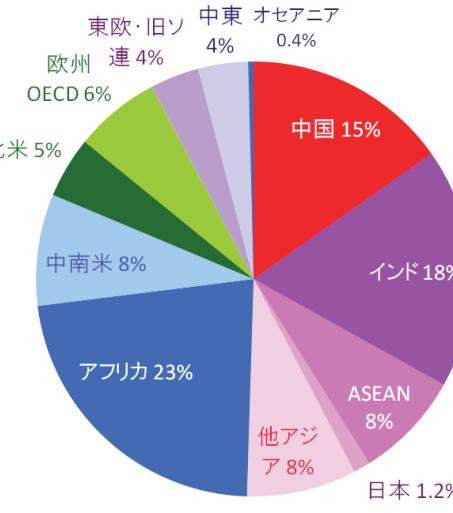
- ・メキシコ
- ・ブラジル
- ・チリ
- ・他中南米



主な前提条件: 人口の見通し



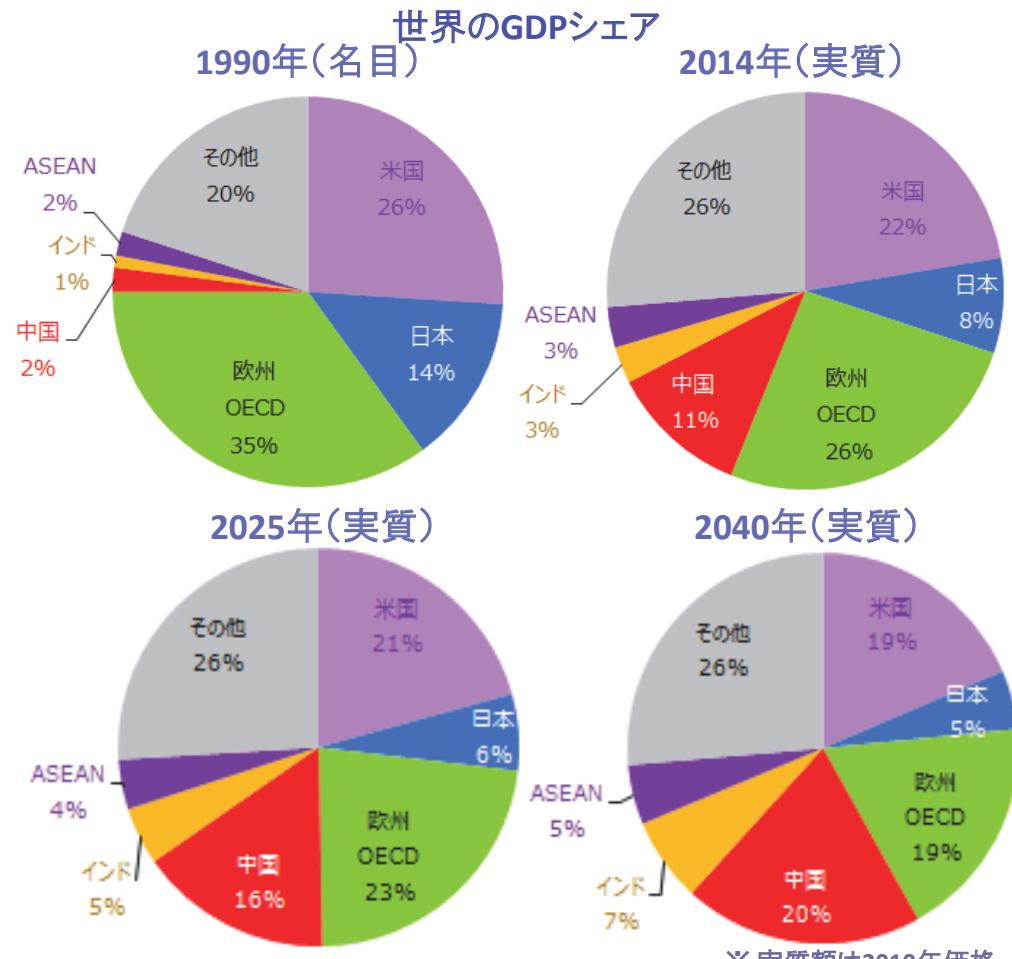
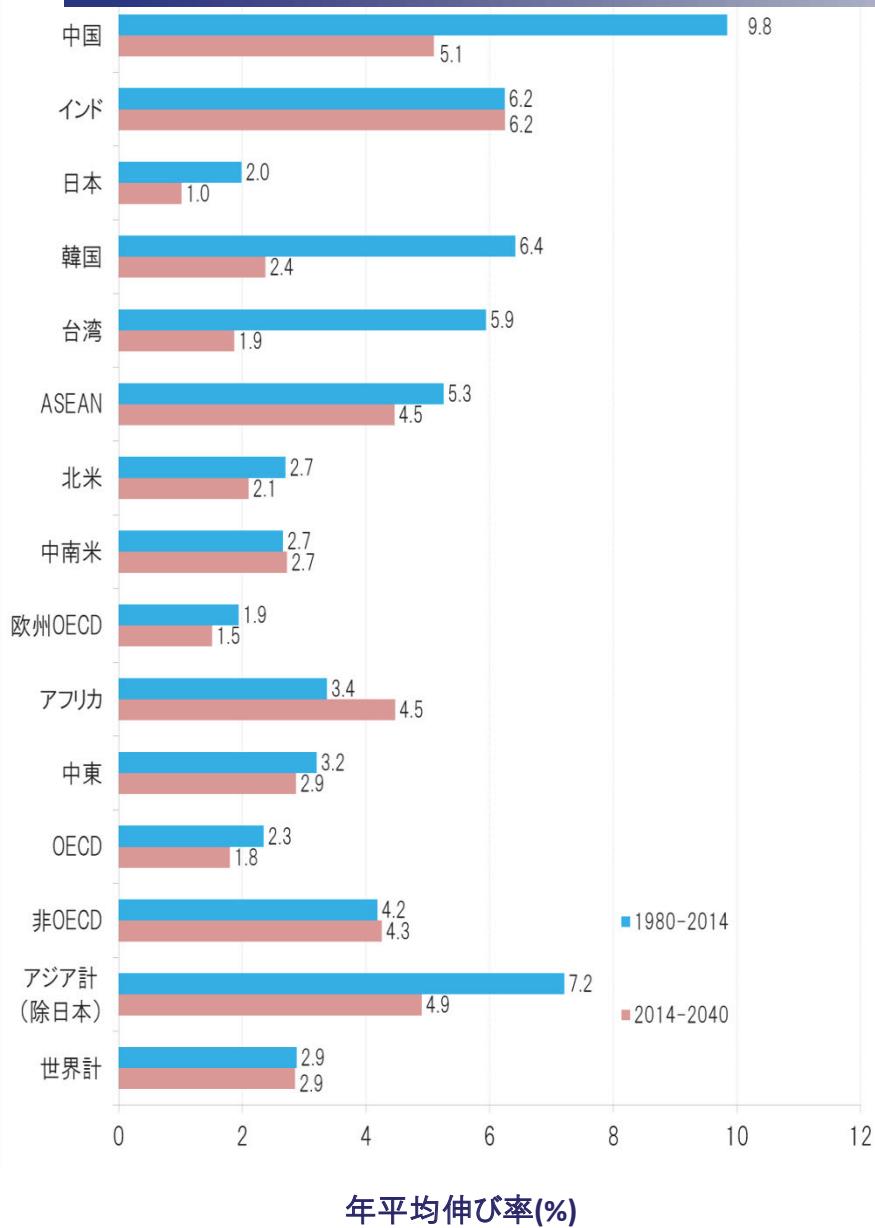
2014年: 72億人



2040年: 92億人

- 人口については、国連見通しを元に設定。世界の人口は2014年の72億人から、2040年には92億人に増加する。
- 中国では少子高齢化の影響が徐々に進み、2030年頃に人口がピークアウトする。一方、医療技術の発展や食料衛生状況の改善により、インド、アフリカで急速な人口の増加が見込まれる。
- インドは2025年頃に中国を抜いて世界第1位となり、その人口は2040年に16億人となる。

主な前提条件: 実質GDP成長率の見通し



- ・世界経済は様々な課題を抱えるものの、今後中長期的には堅調な成長を達成するものと想定。
- ・2040年の中国の実質GDPは米国を抜き、日本の4.1倍の水準となる。インドも2030年代に日本を抜き、2040年には日本の1.4倍となる。

主な前提条件:一次エネルギー価格の展望

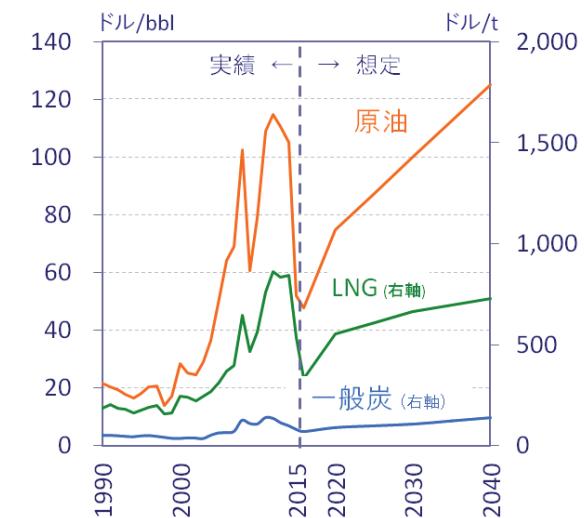
			2015	2020	2030	2040
原油	ドル/bbl	実質	52	75	100	125
		名目	52	83	135	205
天然ガス	日本 ドル/t	実質	536	554	663	730
		名目	536	611	892	1,197
天然ガス	日本 ドル/百万Btu	実質	10.4	10.7	12.8	14.1
		名目	10.4	11.8	17.2	23.1
天然ガス	欧州(英国) ドル/百万Btu	実質	6.5	8.5	9.8	11.7
		名目	6.5	9.4	13.2	19.2
一般炭	米国 ドル/百万Btu	実質	2.6	4.5	5.6	6.3
		名目	2.6	5.0	7.5	10.3
一般炭	ドル/t	実質	80	89	106	132
		名目	80	98	142	217

(注1)暦年での価格、実質値は2015年価格

(注2)日本のエネルギー価格は輸入CIF価格

・レファレンスケースでは非OECD諸国を中心とする需要の拡大とともに、既存油田の減退や高コスト原油へのシフト、更には中東・ウクライナ等のリスク要因や金融要因の顕在化により、原油価格は再び上昇する。それとともに天然ガス価格も上昇に向かうが、地域間取引の拡大等により既存の格差は縮小に向う。

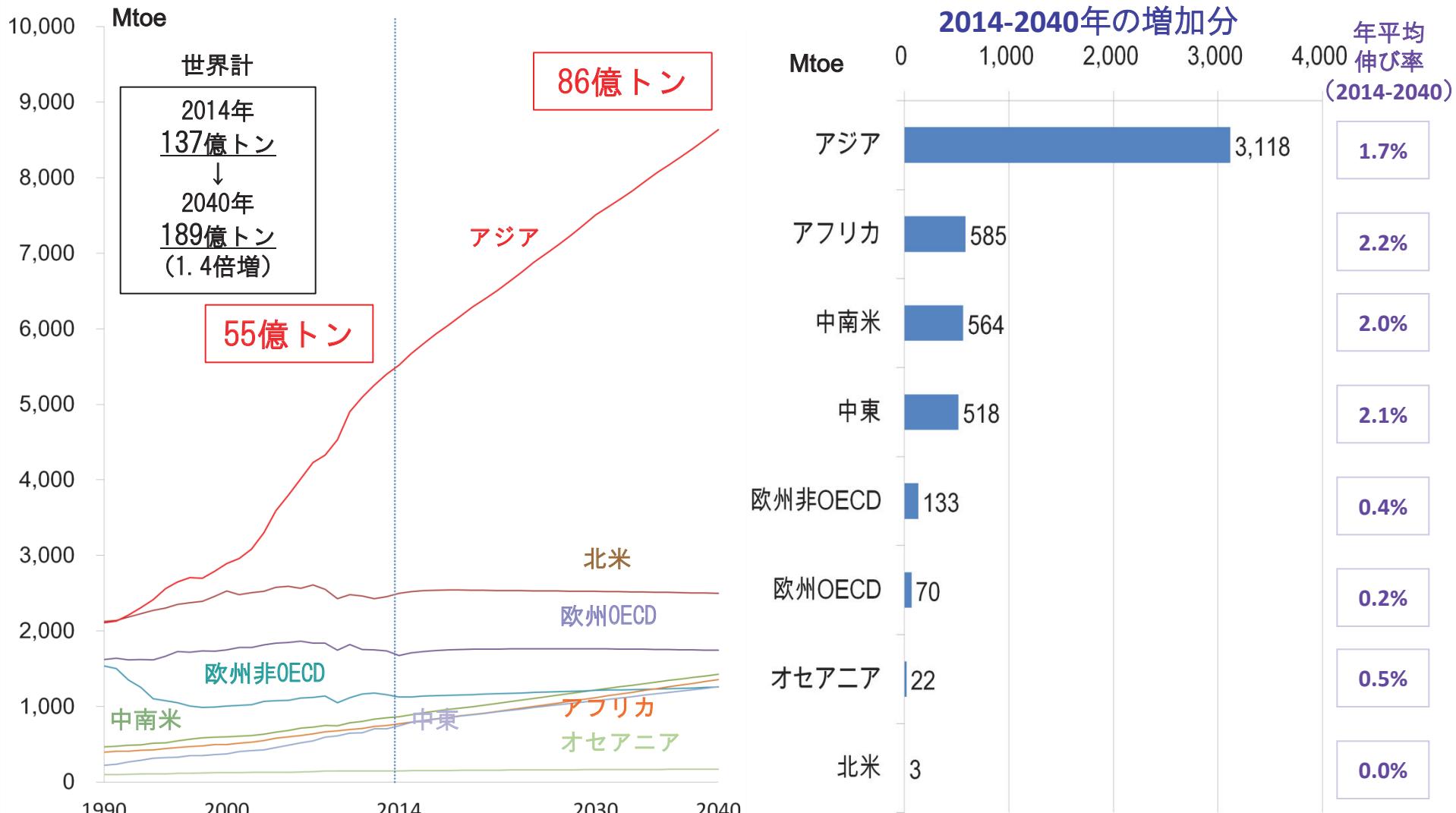
日本の輸入CIF価格の見通し



2040年までの 世界・アジアのエネルギー需給展望

世界各国の一次エネルギー消費

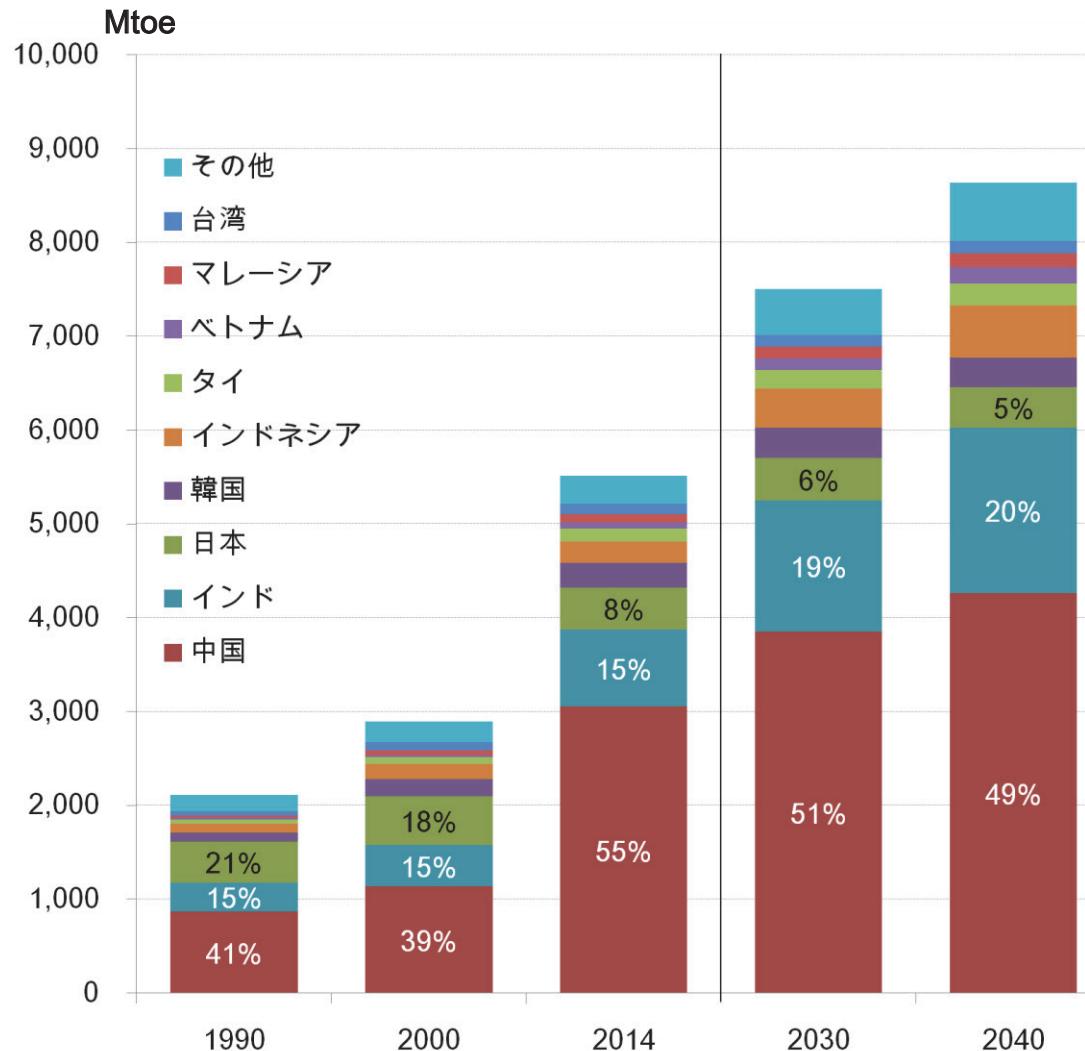
レファレンスケース



- ・着実な経済成長の下、2040年の世界のエネルギー消費量は現在の1.4倍(2014年137億トン→2040年189億トン)、アジアは1.6倍(2014年55億トン→2040年86億トン)へ拡大。
- ・2014年から2040年までの世界のエネルギー消費増加量の約9割を非OECD諸国が占める。

アジアの国別一次エネルギー消費

レファレンスケース



アジア

2014年

55億トン

2040年

86億トン

(1.6倍増)

中国、インド

2014年

31億トン 8.2億トン

2040年

43億トン 18億トン

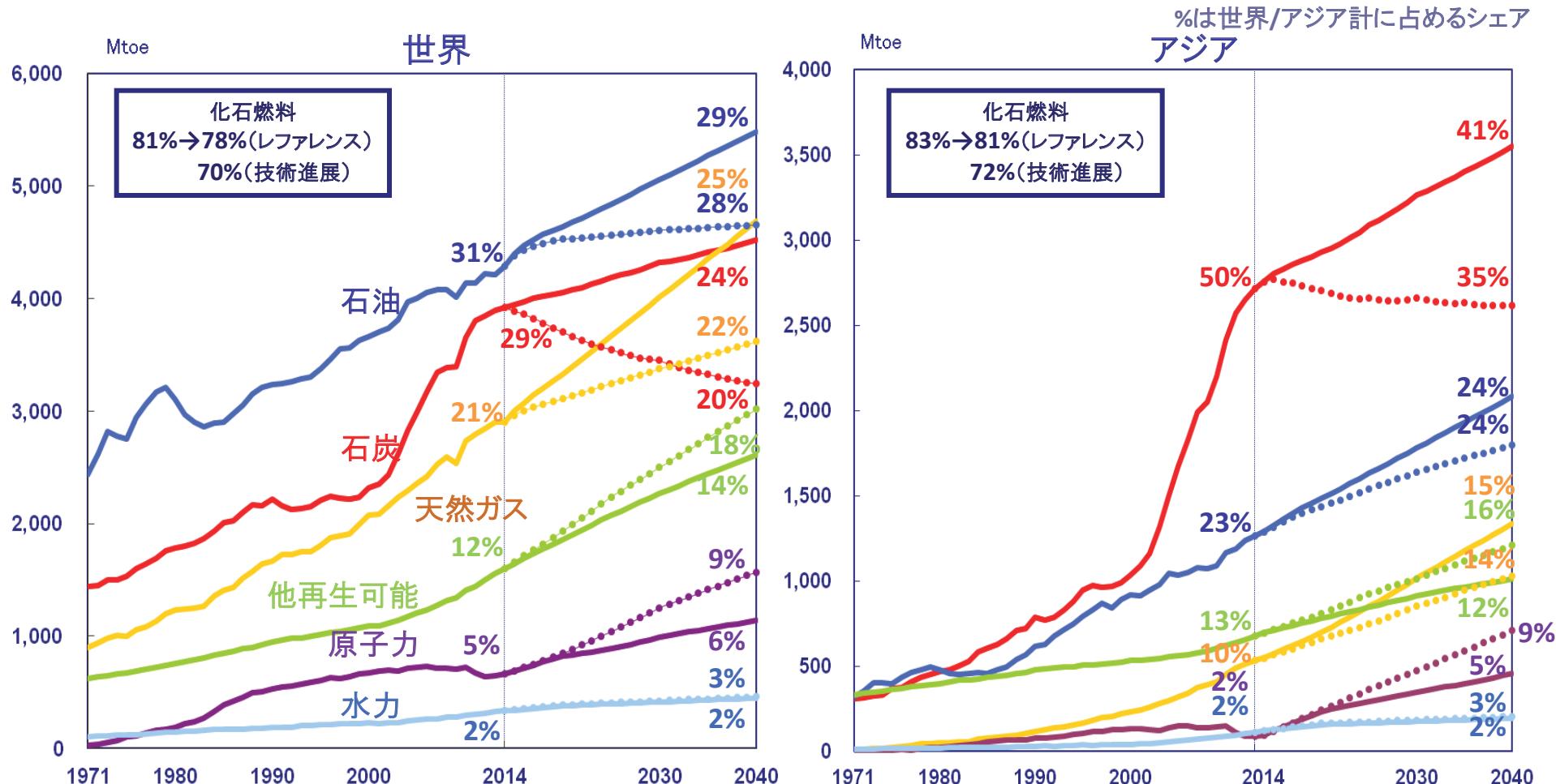
(1.4倍増) (2.1倍増)

- ・中国、インドでは経済成長に伴い、エネルギー需要が急増する。この二つの国で、アジアのエネルギー消費量の70%を占める。

- ・日本は省エネの進展とともに、経済の成熟化・人口減少に伴いエネルギー消費が減少。アジアに占めるシェアは8%から5%まで縮小する。

一次エネルギー消費(エネルギー源別)

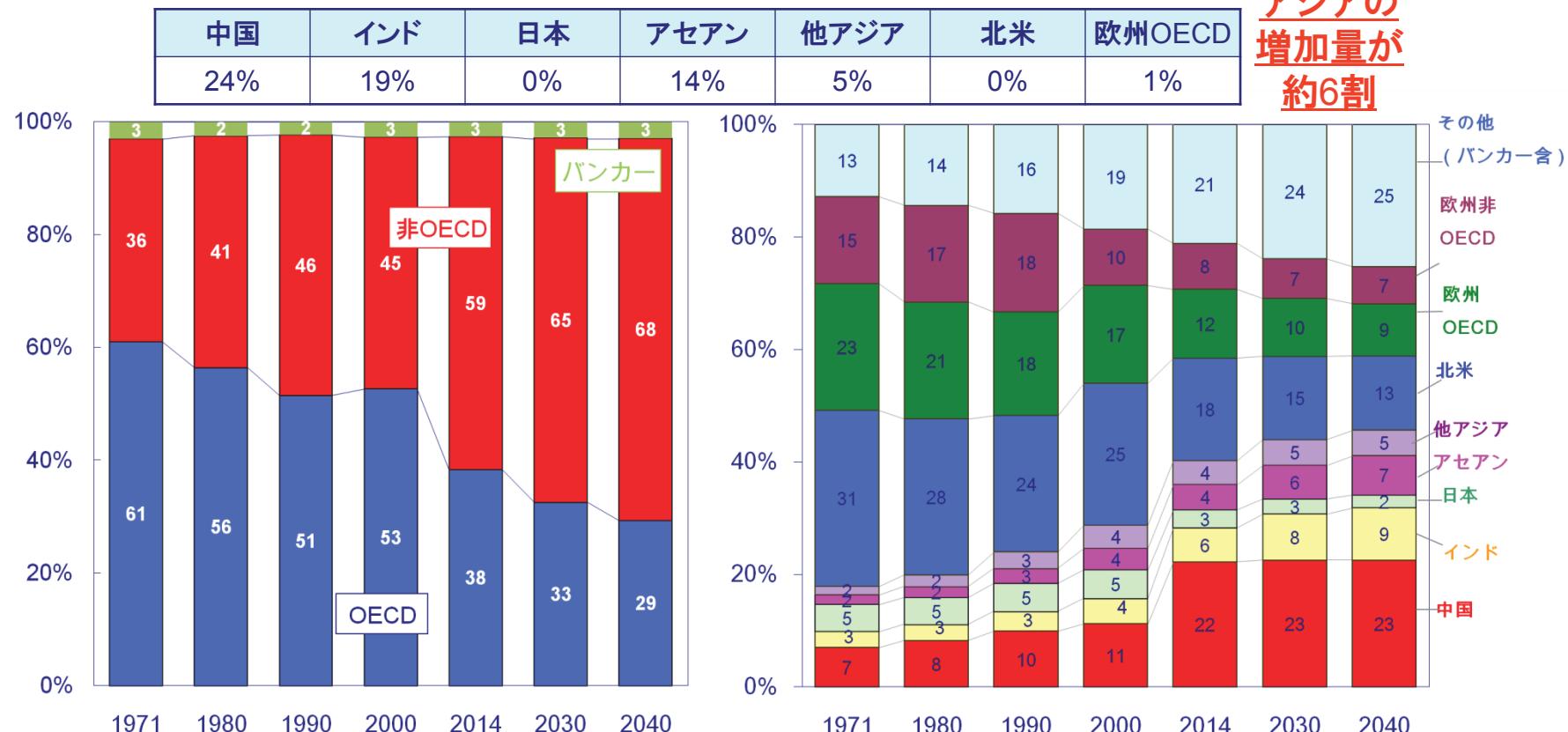
実線…レファレンスケース
点線…技術進展ケース



- ・レファレンスケース・技術進展ケースともに、世界の一次エネルギー消費の中では引き続き石油が2040年まで最大のシェアを占め、主要なエネルギー源であり続ける。技術進展ケースでは、2030年代に石油消費は頭打ちとなる。
- ・アジアでは、石炭が最大のエネルギー源。技術進展ケースでは大幅に削減されるものの、このケースでも2040年まで最大のエネルギー源であり続ける。
- ・化石燃料のシェアは2040年まで低下はするが、技術進展ケースでも依然としてアジア・世界ともに7割程度を維持する。

世界の一次エネルギー消費シェア(地域別) レファレンスケース

2014-2040年の一次エネルギー消費増加量シェア

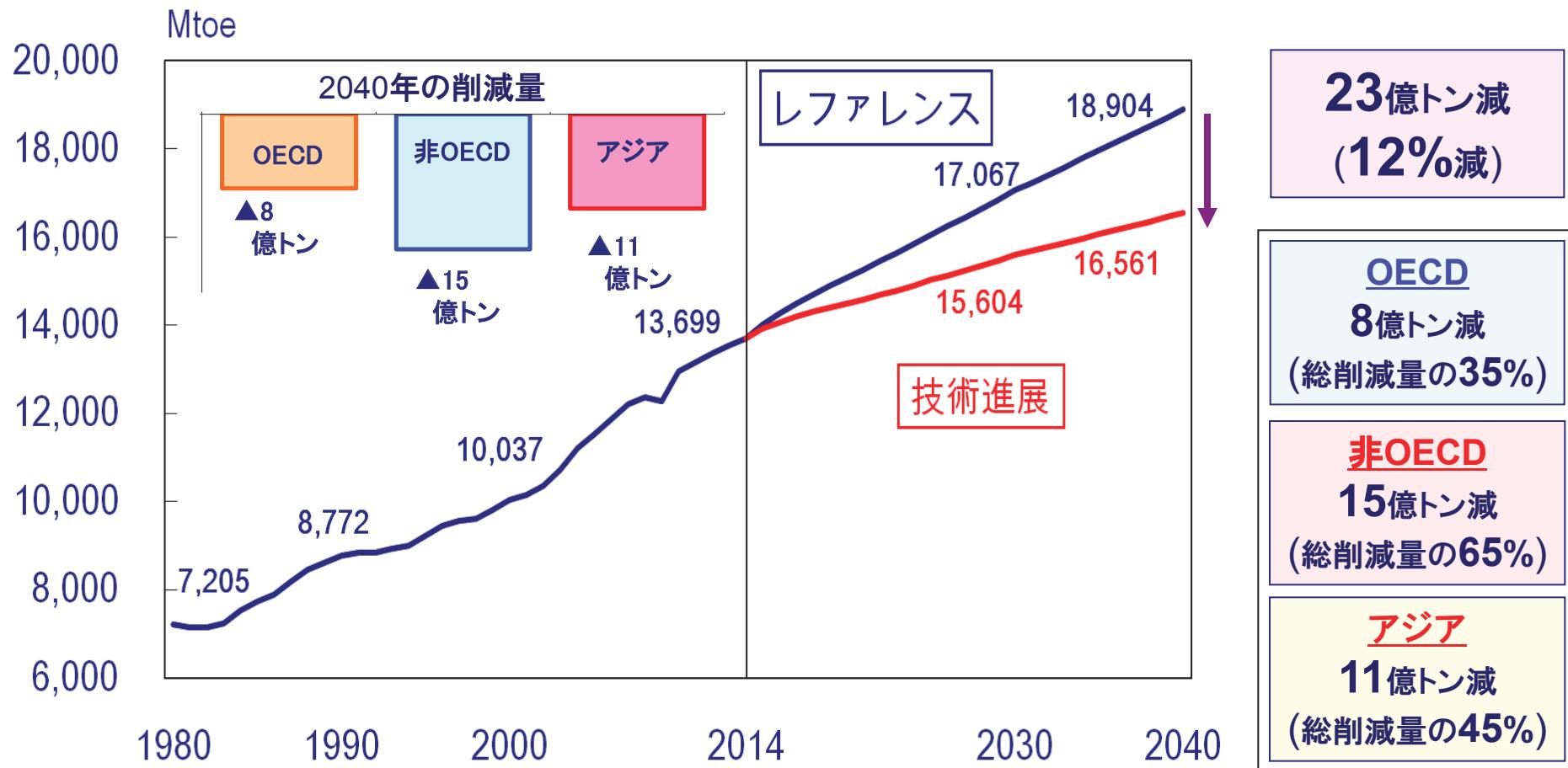


- 着実な経済成長により、非OECD地域のエネルギー消費のシェアが拡大。
- アジアにおいてエネルギー消費が急速に拡大、アジア全体のシェアは2040年に46%に達する。
- 2040年には中国のシェアは23%、インドのシェアは9%へ拡大し、中国及びインドで世界のエネルギー消費の約3分の1を占める。日本のシェアは2014年の3%から2040年には2%へ縮小。

世界の一次エネルギー消費削減

レファレンスケース
技術進展ケース

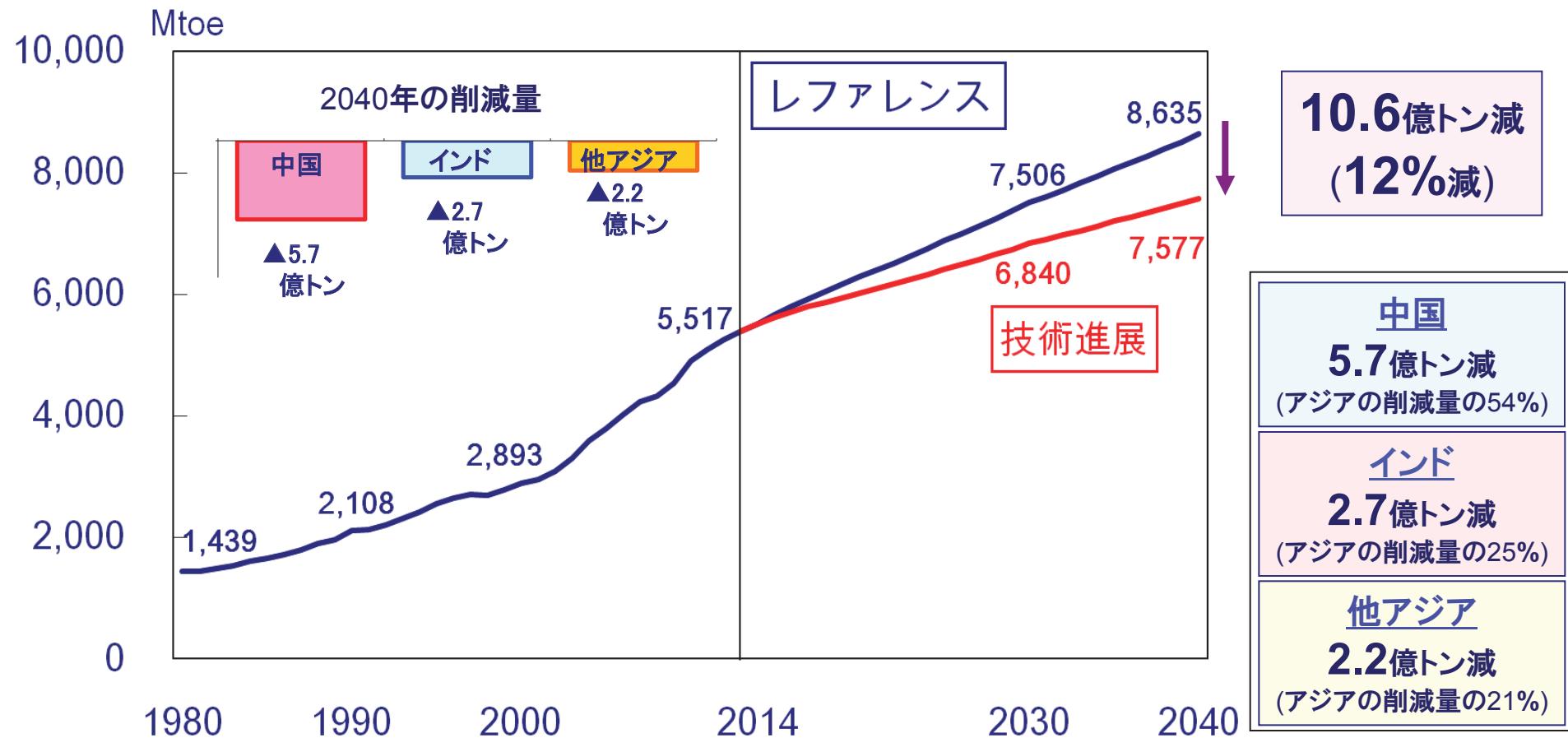
IEE
JAPAN



- 技術進展ケースでは、2040年においてレファレンスケース比で約12% (石油換算23億トン、日本の2014年的一次消費の約5.3倍)の削減となる。
- 特に非OECDにおける削減の割合が大きい(総削減量の65%、なかでもアジアにおける削減量が45%を占める)。非OECDの削減量はOECDの1.8倍にのぼる。

アジアの一次エネルギー消費削減

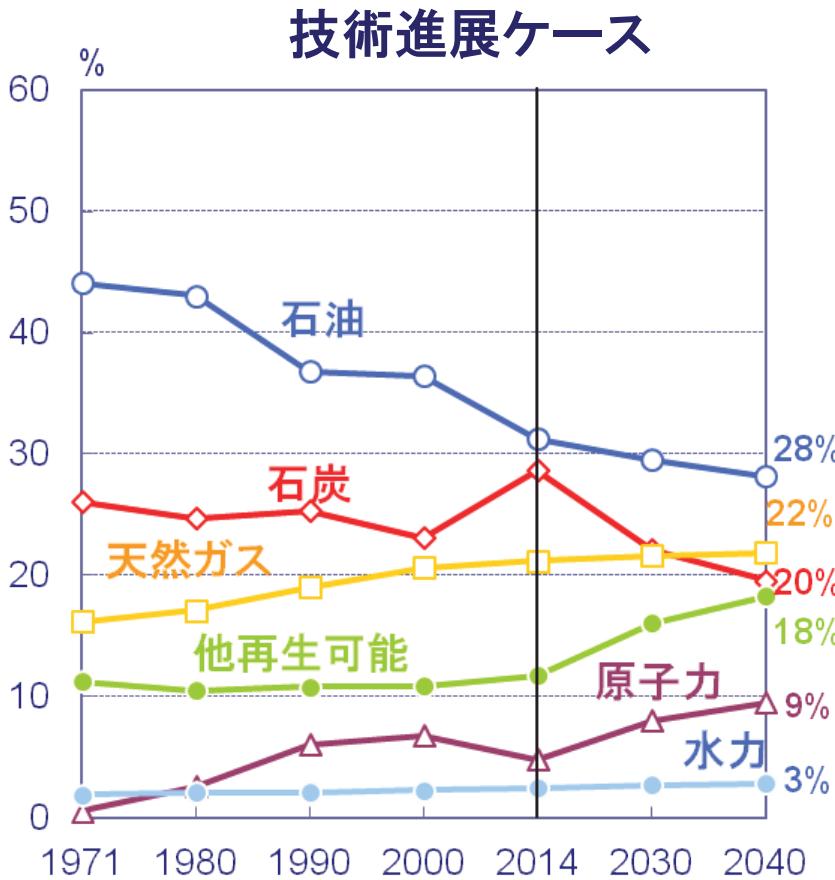
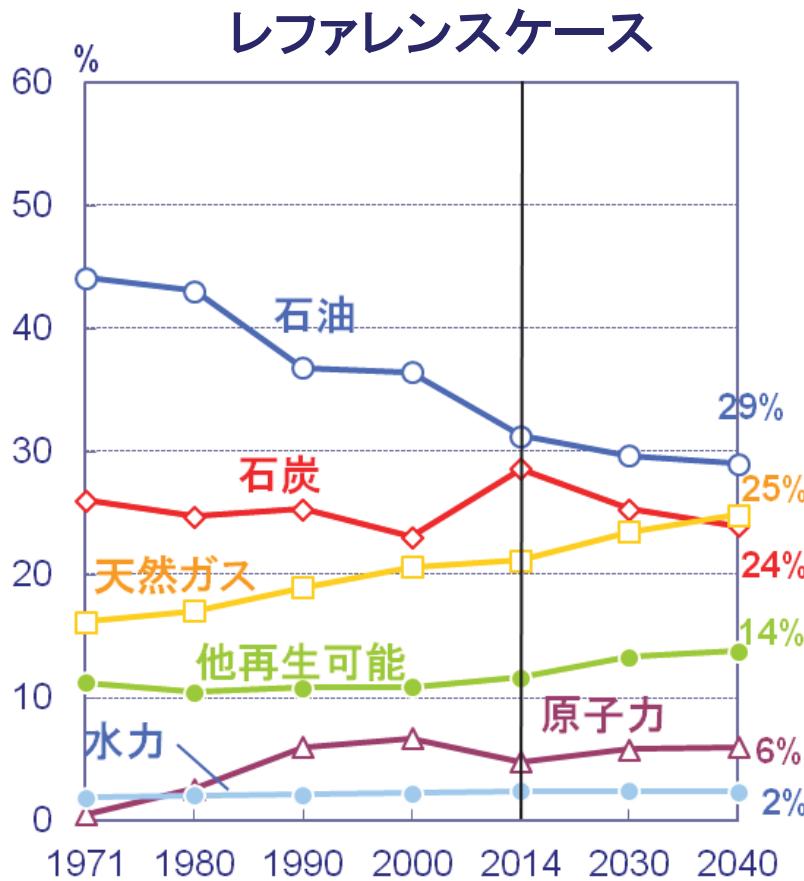
レファレンスケース
技術進展ケース



- アジアの2040年の技術進展ケースでは、レファレンスケース比で約12% (石油換算10.6億トン、日本の2014年の一次消費の約2.4倍)の削減となる。
- 特に中国やインドにおける削減量の割合が大きい(両国でアジア全体の削減量の約8割を占める)

世界の一次エネルギー消費構成比

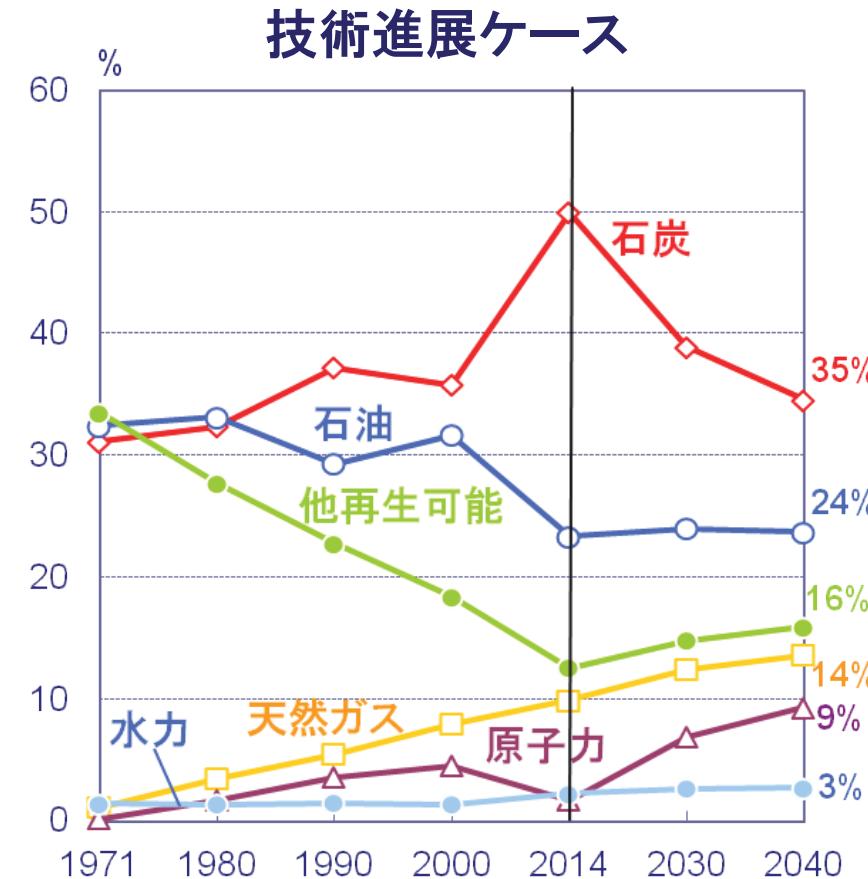
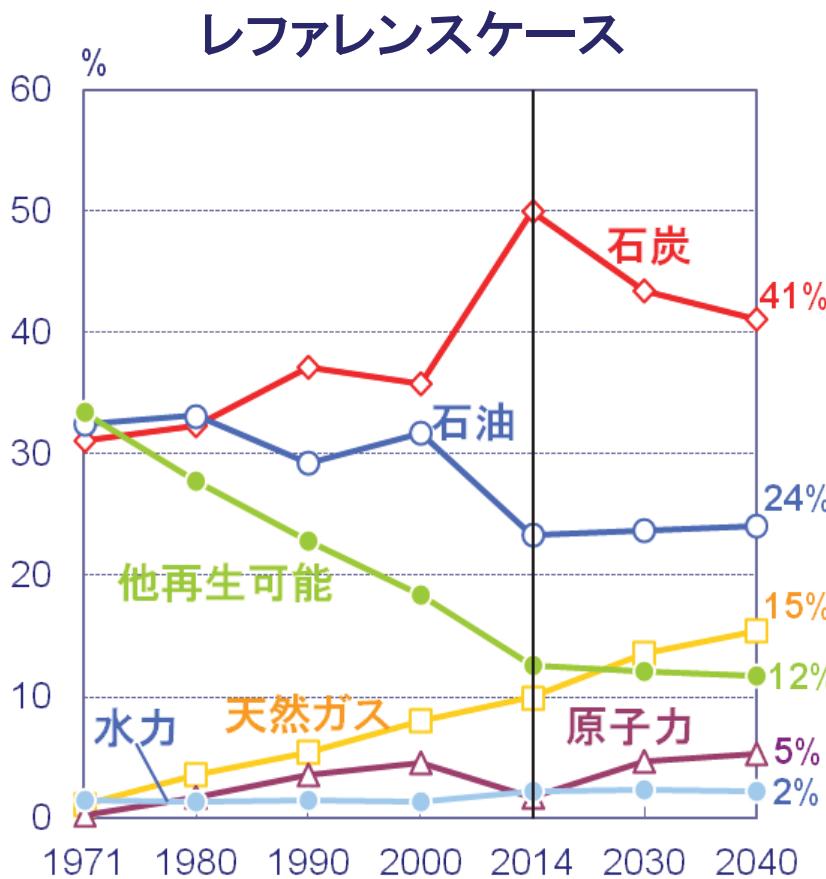
レファレンスケース
技術進展ケース



- レファレンスケースでは石油・石炭のシェアが低下し、原子力・再生可能エネルギーのシェアが拡大する。
- 技術進展ケースでは非OECD地域での発電用途を中心に石炭が大きく削減され、一方で再生可能エネルギー・原子力のシェアが拡大するが、化石燃料のシェアは2040年でも合計で約70%を占め、重要なエネルギー源であり続ける。

アジアの一次エネルギー消費構成比

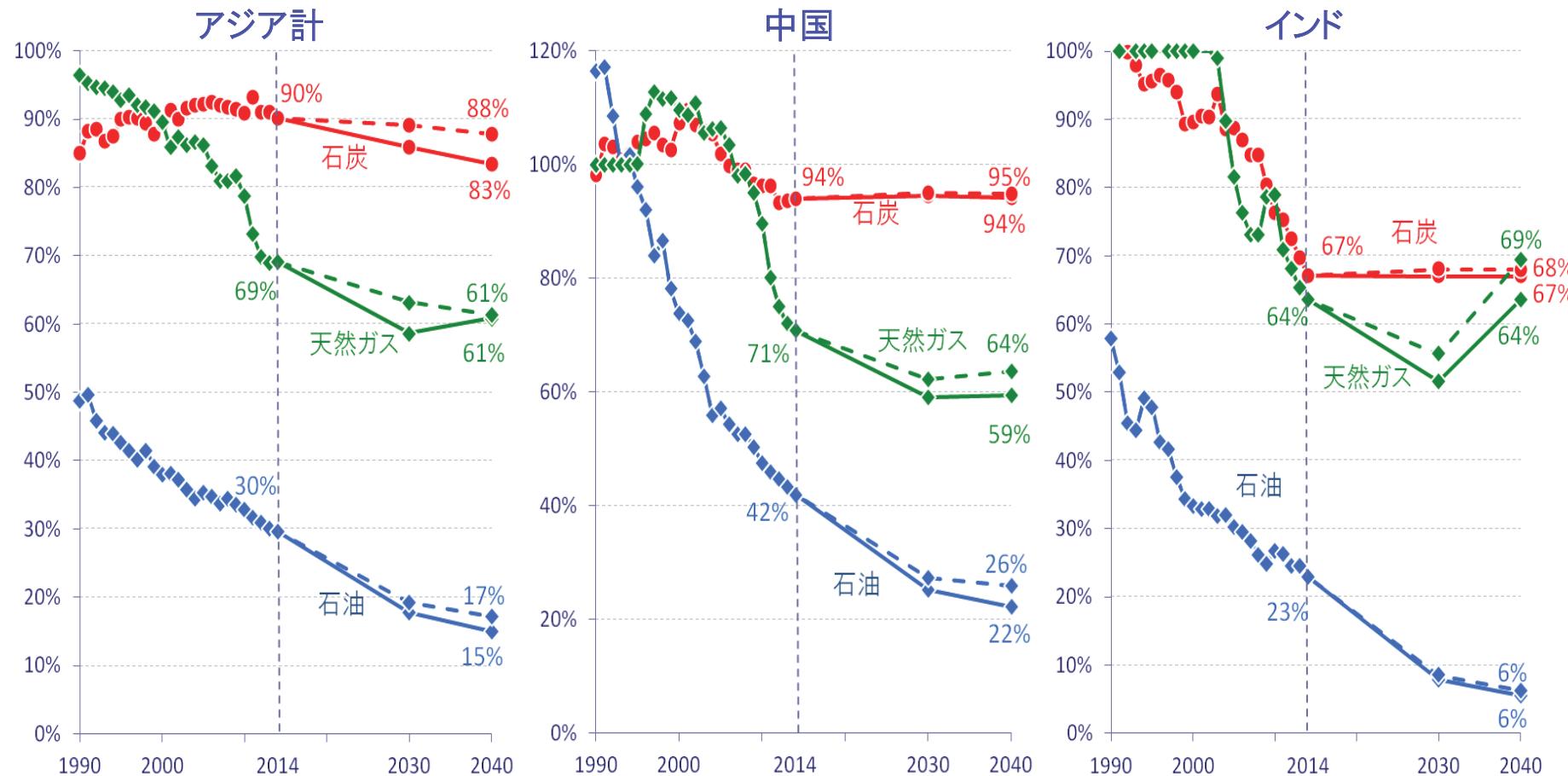
レファレンスケース
技術進展ケース



- アジアでは電力需要増加、発電部門での消費増加を背景に、石炭は高いシェアを維持する。技術進展ケースでは石炭の消費が大きく削減されるが、このケースでも2040年に依然として最大のシェアを保つ。
- 両ケースとも天然ガスのシェアが増加。技術進展ケースでは再生可能エネルギーの他、中国、インド、韓国などでの原子力発電所の新規建設に伴い、原子力のシェアが拡大する。

アジアのエネルギー自給率

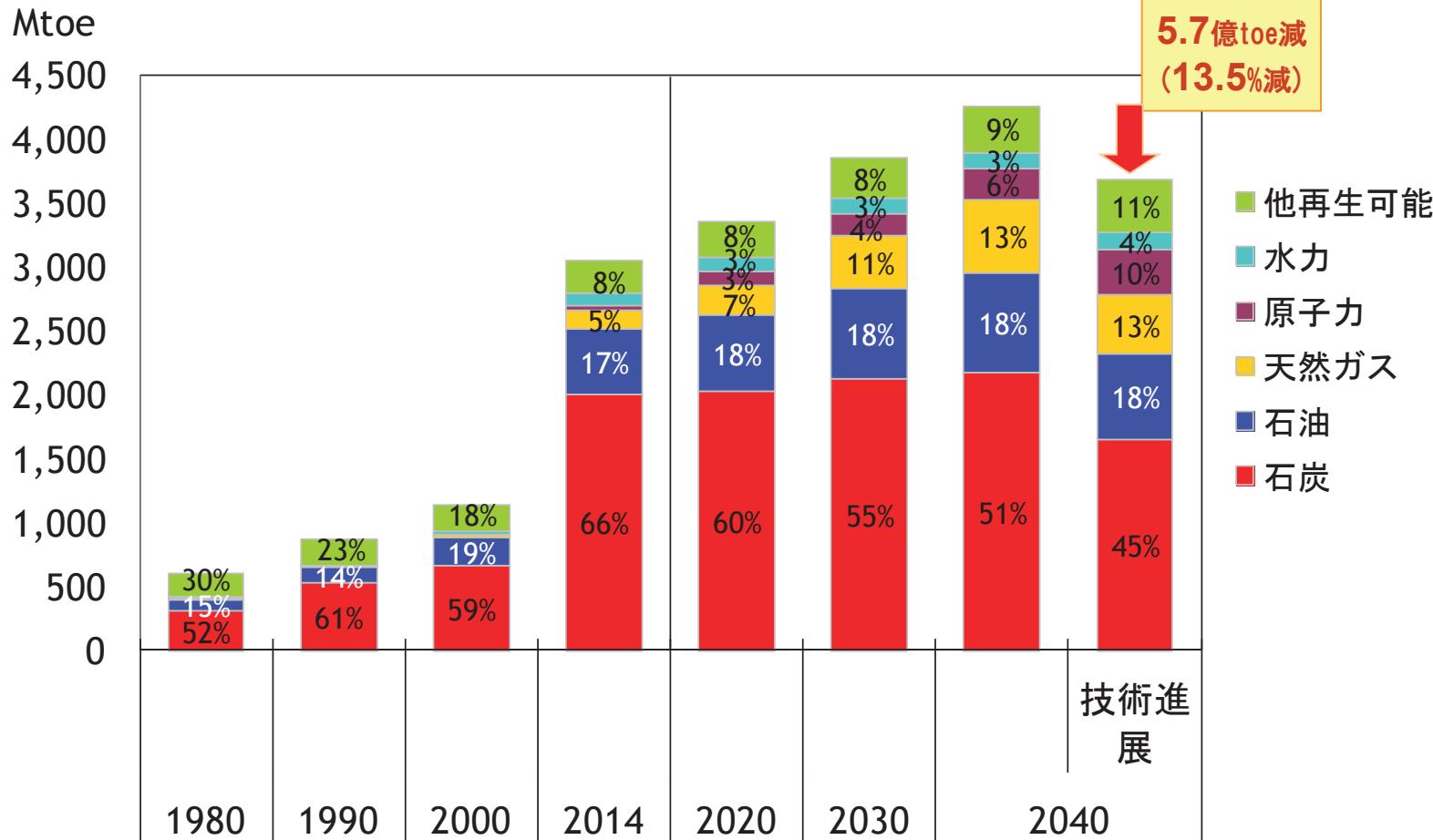
実線:レファレンスケース
点線:技術進展ケース



- ・中国・インドを含むアジア諸国では石油・天然ガス資源が乏しい一方で、石炭資源は比較的豊富に存在し、エネルギー自給率の安定に寄与している。
- ・但しアジアの化石燃料自給率は需要が急速に拡大するレファレンスケースのみならず、最大限の省エネルギーを見込んだ技術進展ケースにおいても今後低下に向かう。

中国の一次エネルギー消費

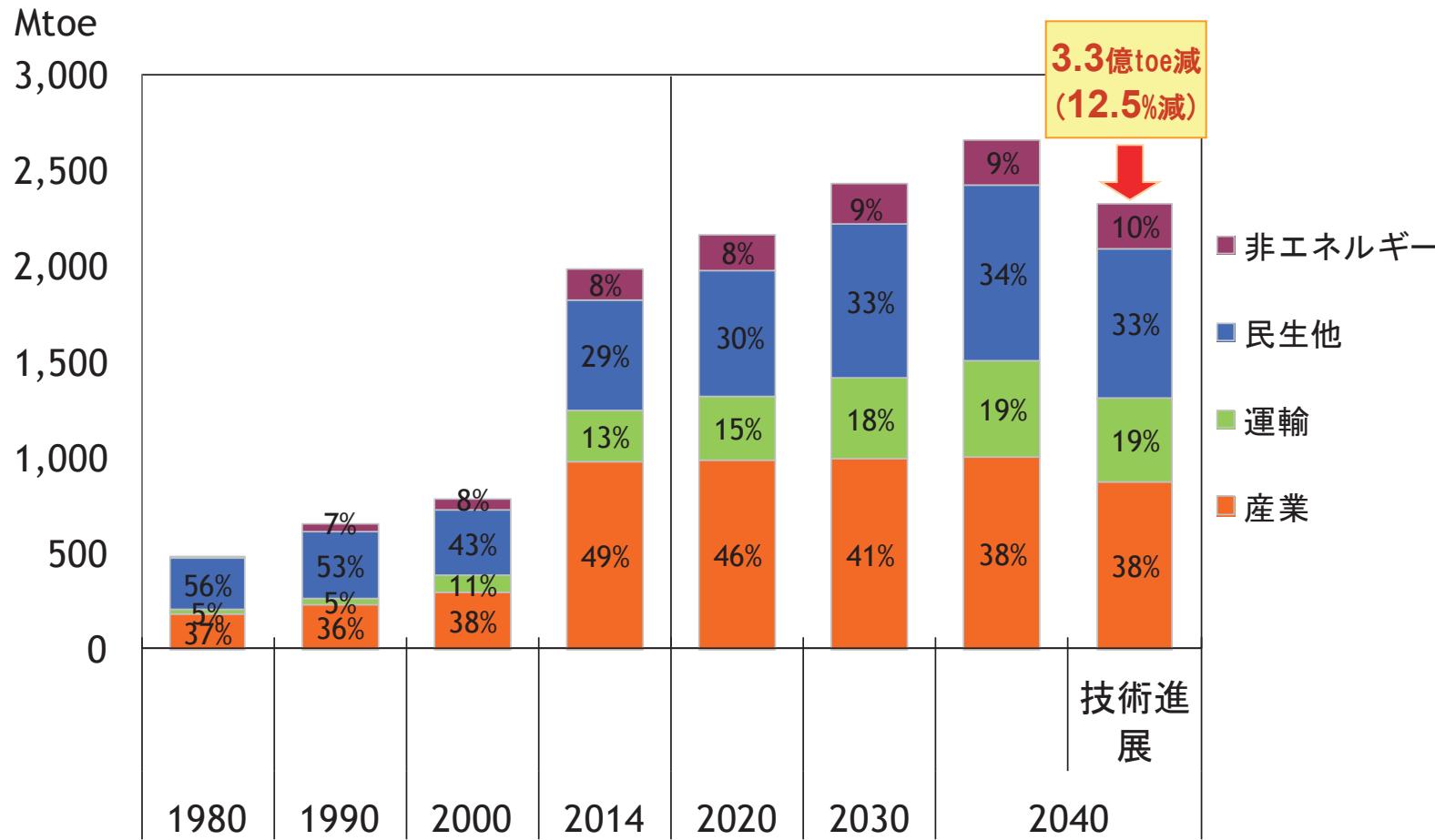
レファレンスケース
技術進展ケース



- 経済規模の拡大を背景に、レファレンスケースでは一次エネルギー消費は年率1.3%で増加。石油はモータリゼーションの進展により消費量が大きく伸びる。
- 天然ガスは家庭用と業務用、とりわけ都市部の需要を中心に、消費量とシェアがともに躍進。
- 技術進展ケースでは、発電部門の石炭消費を中心に大きく削減、2040年には5.7億toe(13.5%)の削減となる。

中国の最終エネルギー消費

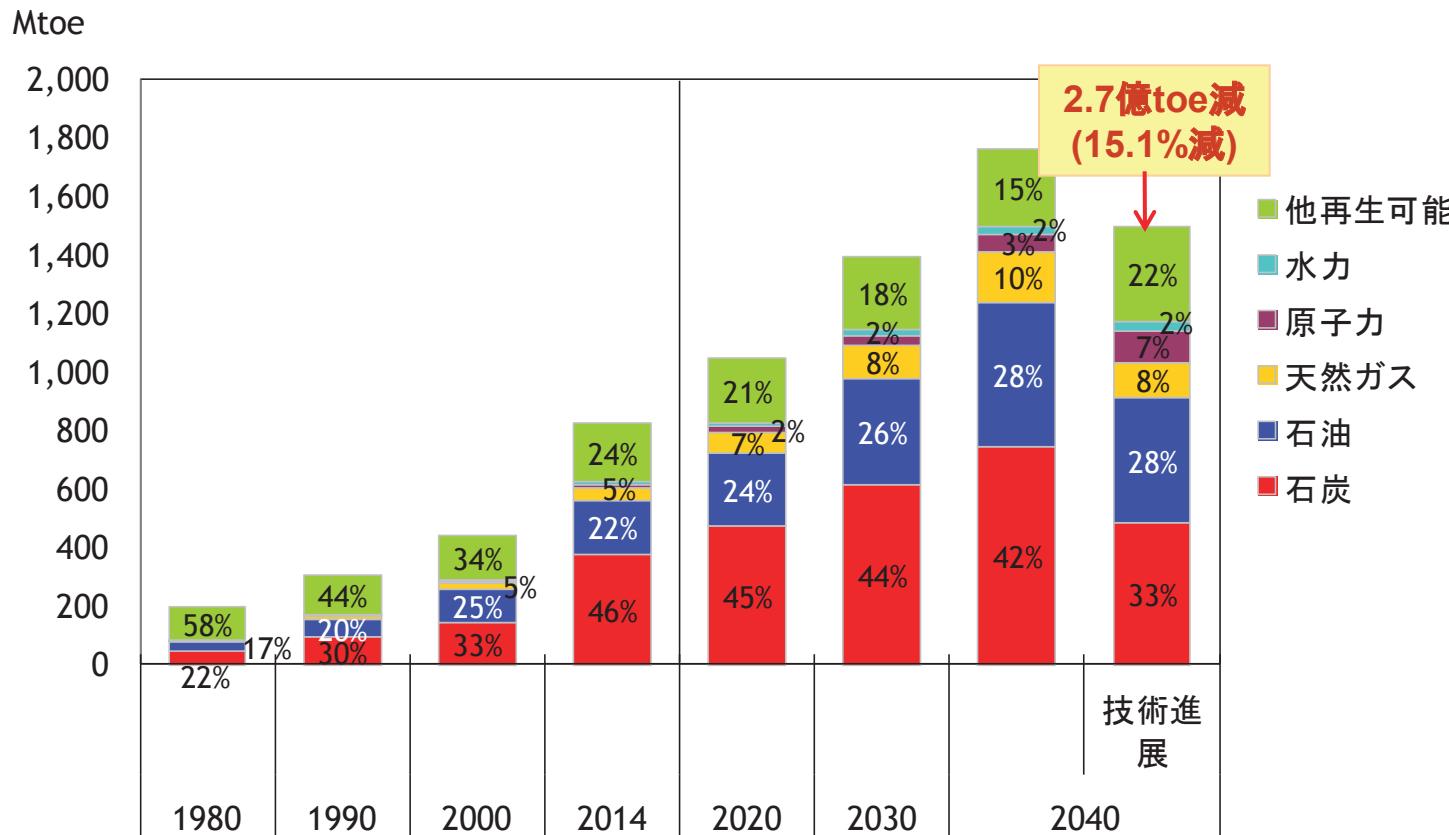
レファレンスケース
技術進展ケース



- 最終エネルギー消費は増加しつづけ、2040年に26.7億toe (2014年から6.8億toeの増加)となる。重工業化の進行が一服し、産業構造の転換などにより、産業の消費が横ばいする。
- 一方、民生・運輸部門の増加が堅調である。2040年には民生の消費シェア34%に達する。ただし、1人あたり民生用エネルギー消費は先進国に比べて依然として少ない。
- 技術進展ケースでは、2040年に産業・民生を中心に3.3億toeの削減(12.5%減)。

インドの一次エネルギー消費

レファレンスケース
技術進展ケース

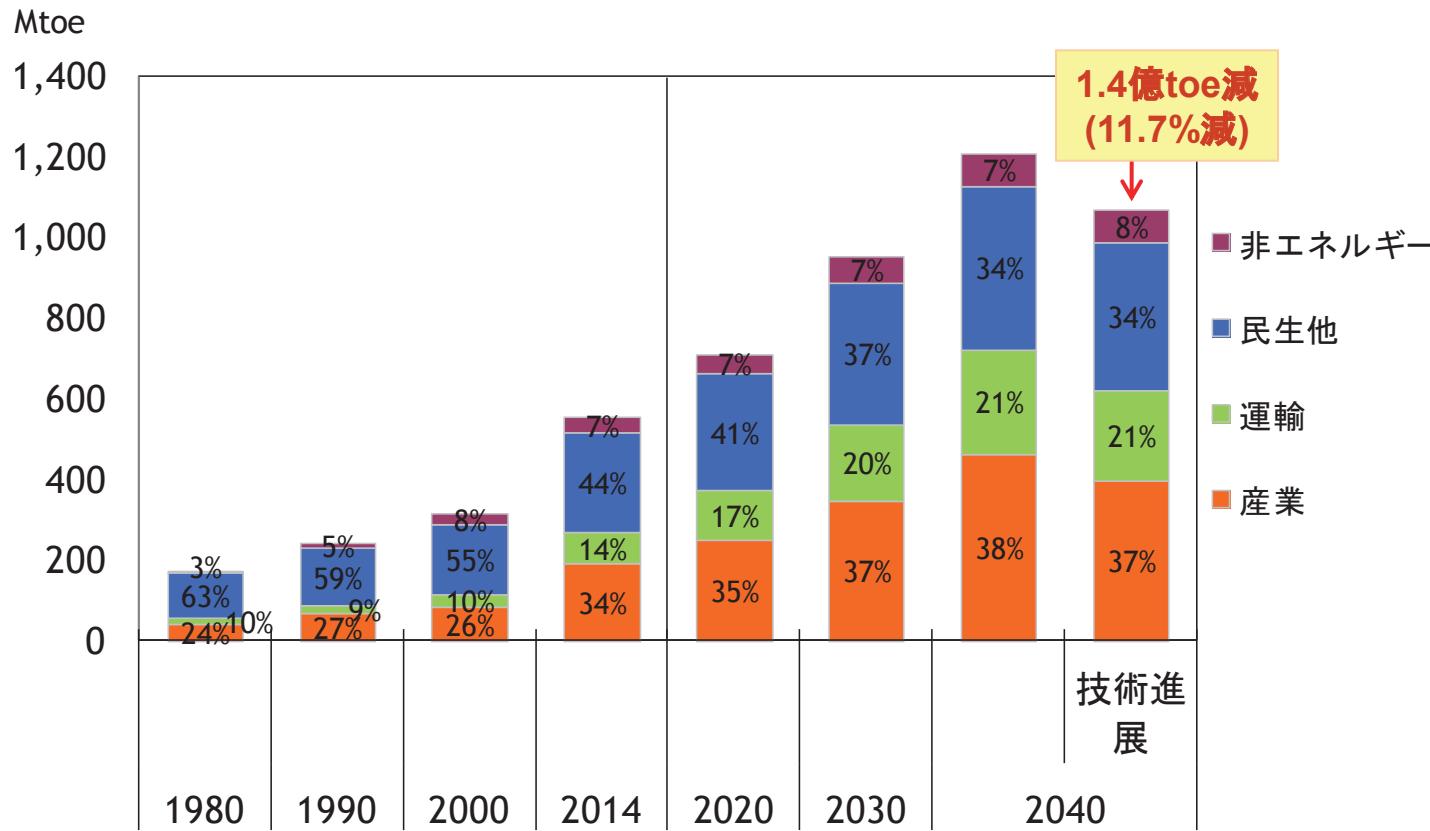


- レファレンスケースの一次エネルギー消費は、年率3.0%で増加。その增加分の8割強は化石燃料であり、主として石炭と石油が増加を牽引する。天然ガスは発電、産業用を中心に増加するが、2040年の全体に占める割合は1割程度である。
- 技術進展ケースではレファレンスケース比で2040年に2.7億toe (15.1%)減。一層の省エネルギーが図られる技術進展ケースでも、エネルギー消費は増加を続ける。

インドの最終エネルギー消費

レファレンスケース
技術進展ケース

IEE
JAPAN

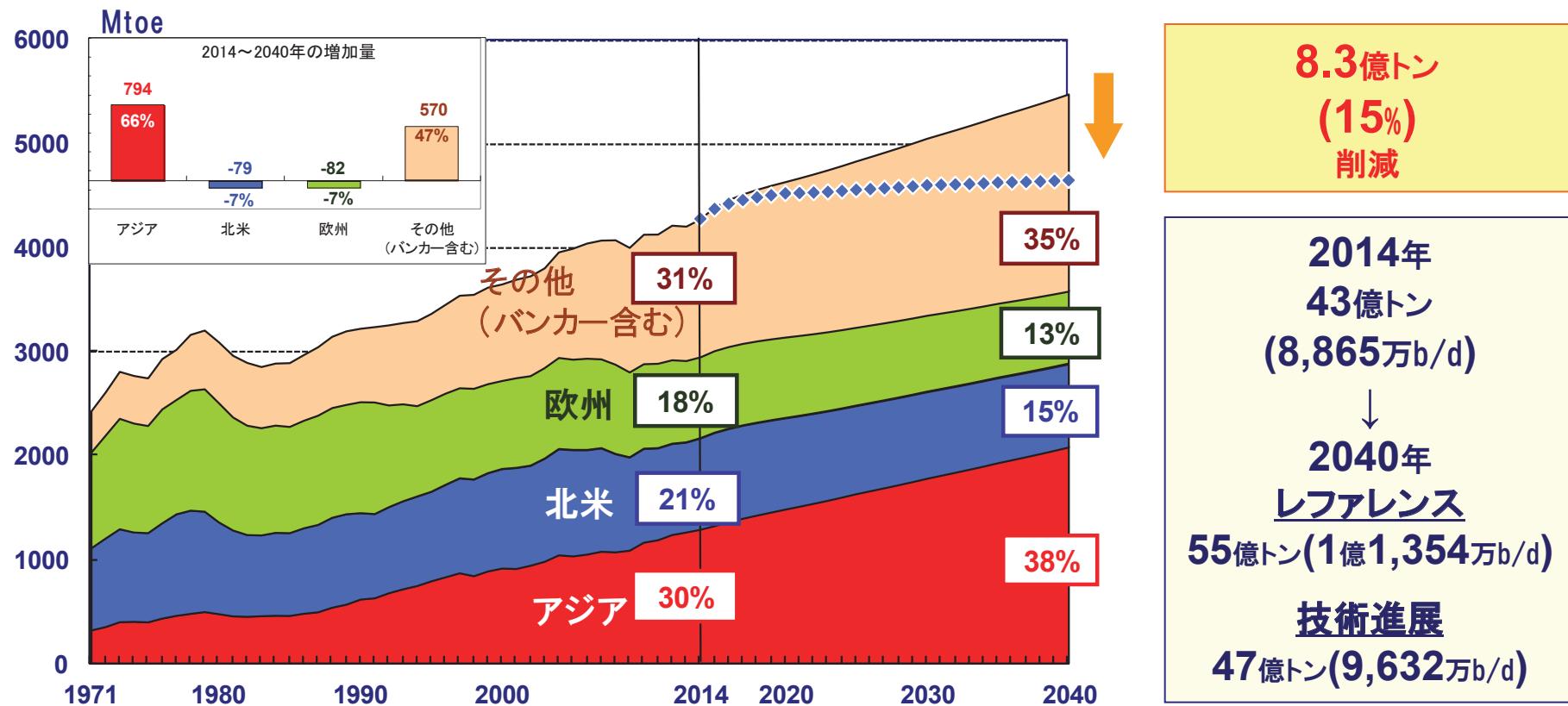


(産業部門には非エネルギー消費を含む)

- インドは、本格的な外国投資誘致により、工業化の進展、インフラ需要の増大へと発展してゆく。2040年の産業部門の需要は、2014年の2.4倍に、運輸部門では3.3倍に増大する。
- 民生、産業部門の需要増加を牽引する電力消費は、年率4.4%で増加。
- 技術進展ケースでは、インドが得意とするIT分野と製造業等との連携が図られることなどから、一層の効率化(省エネルギー)が進む。レファレンスケースから1.4億toe (11.7%)の削減となる。

世界の石油消費

レファレンスケース
技術進展ケース

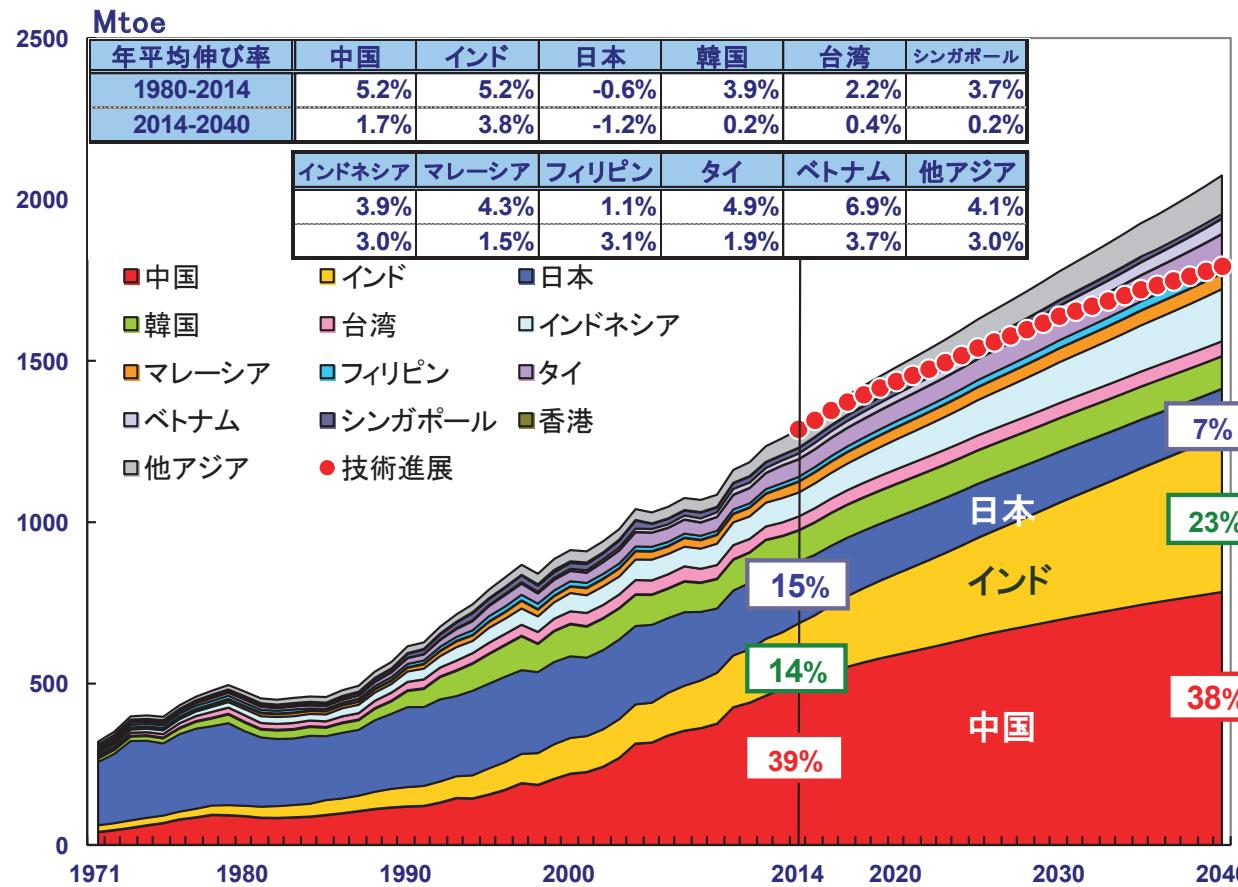


- 最大の石油消費地域であるアジアは2040年までの世界の石油消費増加量の66%を占める。
- 世界の石油消費に占めるアジアのシェアは30%から38%へ拡大する。
- 技術進展ケースでは、2040年での削減量は8.3億トン(レファレンスケース比15%減)に及ぶ。

アジアの石油消費

レファレンスケース
技術進展ケース

IEE
JAPAN



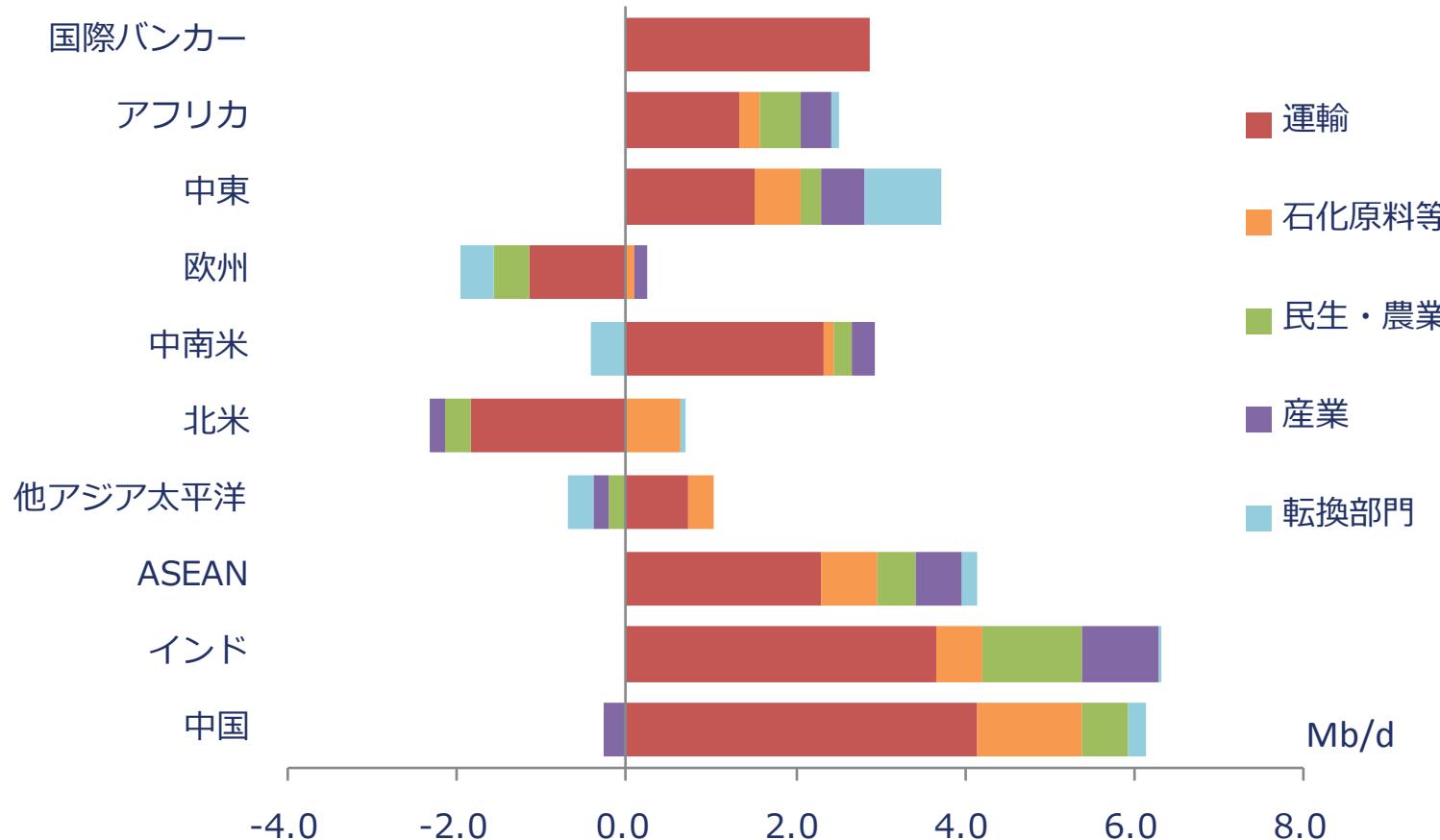
2.9億トン
(14%)
削減

2014年
12.9億トン
(2,671万b/d)
↓
2040年
レファレンス
20.8億トン
(4,313万b/d)
技術進展
18.0億トン
(3,719万b/d)

- アジアにおいても次世代自動車の普及や燃費の向上が進展するが、他部門での消費増もあり、アジアの石油消費は2014年の2,671万b/dから2040年には4,313万b/dまで急増。中国、インド両国シェア計は53%から61%へ拡大。
- 技術進展ケースでは、2040年でのレファレンスケース比削減量は2.9億トン(14%減)。

世界の石油消費の増減(2014-2040)

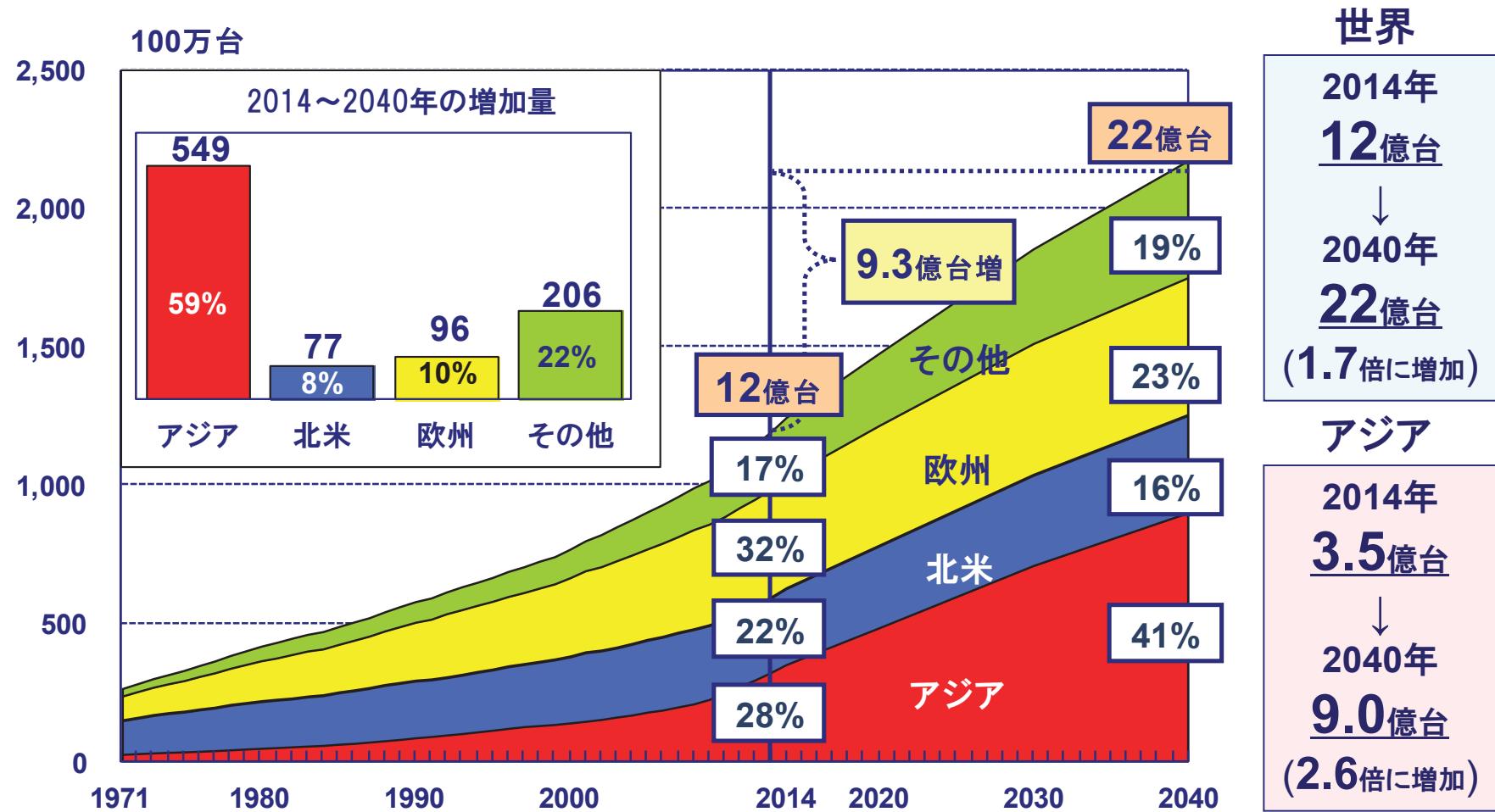
レファレンスケース



- ✓ 石油需要は25Mb/d増加。そのうち4割強が道路部門、1割強が国際バンカー、2割弱は石油化学原料。
- ✓ インドの石油需要は世界増の4分の1、アジア・太平洋全体で3分の2を占める。
- ✓ 一方、欧州、北米、日本では石油需要は減少していく。

世界の自動車保有台数

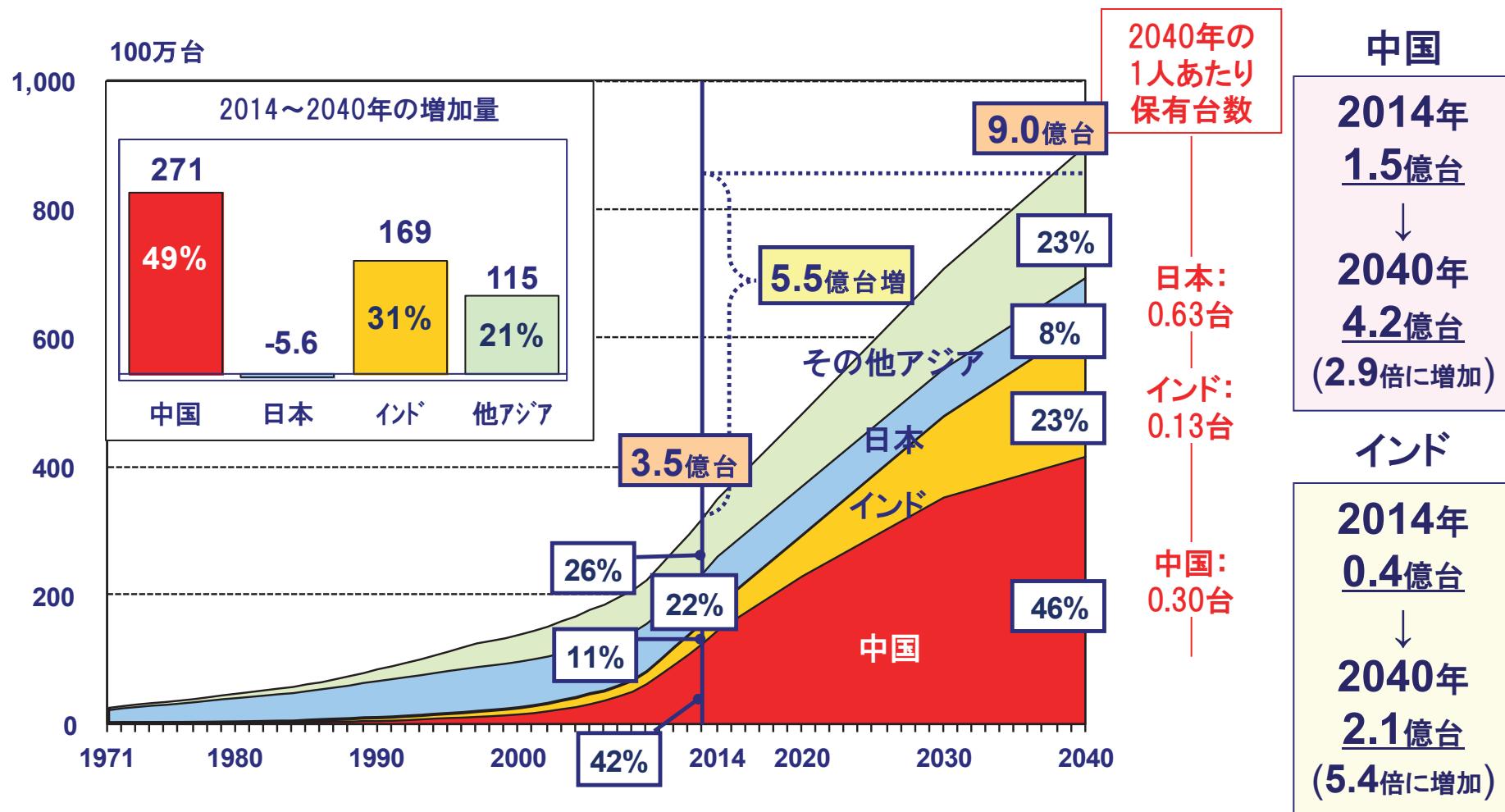
レファレンスケース
技術進展ケース(共通)



- 世界の自動車保有台数は12億台から22億台まで増加。OECD諸国では保有率が飽和に近づいており、保有台数の増加は緩やかである。一方、非OECDアジアでは、所得水準向上によりモータリゼーションが一層進展し、アジアの自動車保有台数は2014年の3.5億台から2040年には9.0億台へ増加。2040年までの世界の自動車保有台数増加量の6割弱がアジアに集中する。

アジアの自動車保有台数

レファレンスケース 技術進展ケース(共通)

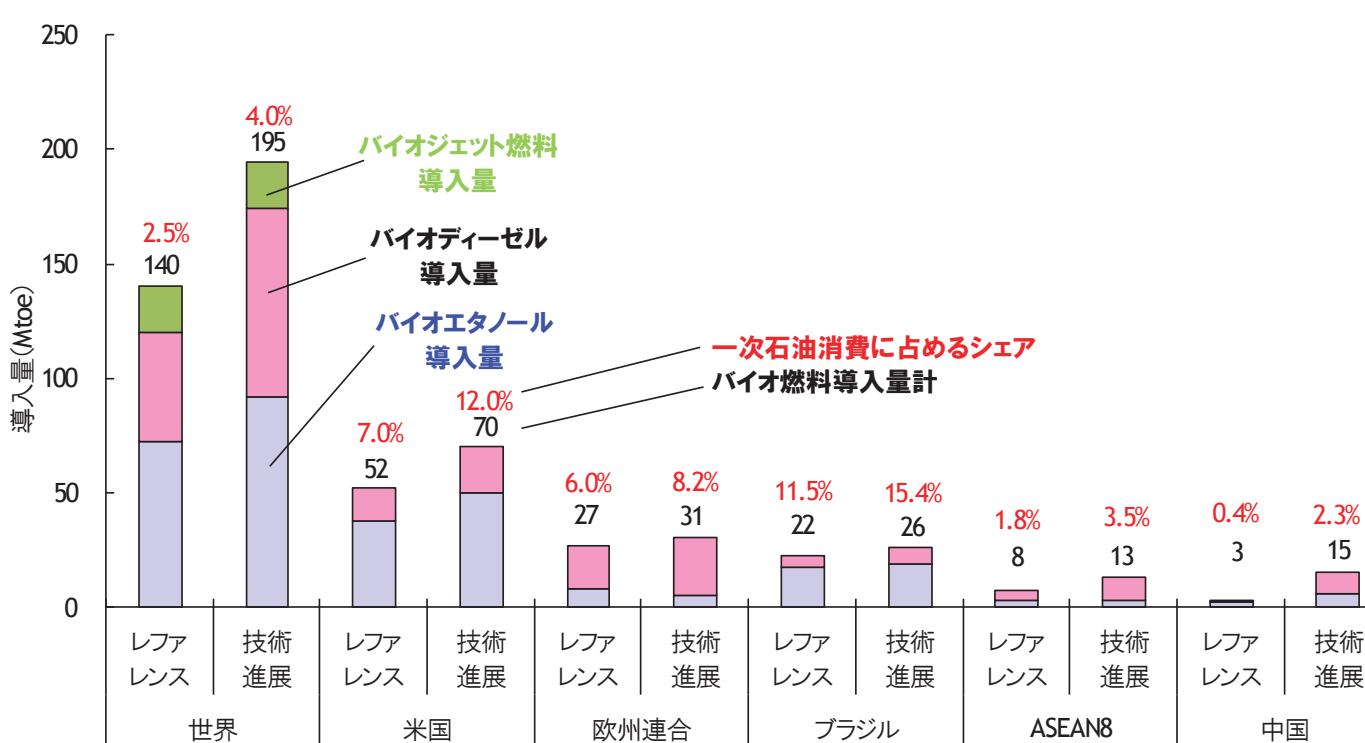


- 中国では経済成長が鈍化し人口の増加も緩やかとなるが、所得水準の向上により、モータリゼーションが急速に進展する。2040年の自動車保有台数は2014年の1.5億台から4.2億台へ急増する。インドの自動車保有台数は、日本をはるかに上回る勢いで増加する。
- インドの自動車保有台数は2014年の0.4億台から2040年には2.1億台へ増加する。

世界の輸送用バイオ燃料導入量(2040)

レファレンスケース
技術進展ケース

IEE
JAPAN



世界

2014年
7,730万トン

↓
2040年

レファレンス 1.4億トン
(1.8倍増) 技術進展
1.9億トン
(2.5倍増)

アジア

2014年
613万トン

↓
2040年

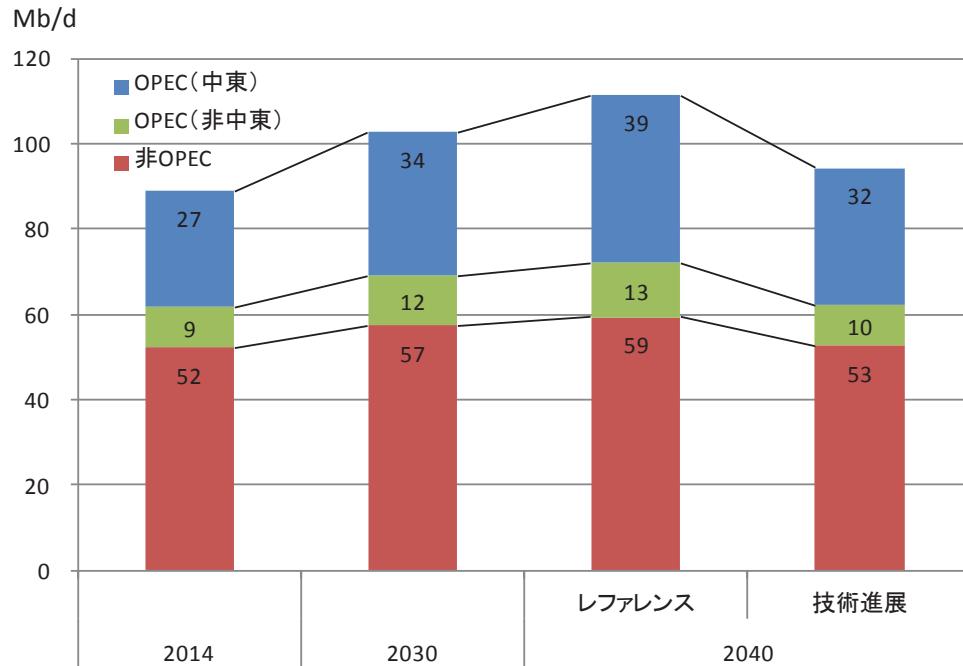
レファレンス 1,267万トン
(2.1倍増) 技術進展
3,623万トン
(5.9倍増)

- レファレンスケースでは、バイオ燃料導入量は北米、欧州、中南米を中心に2040年には世界で石油換算1.4億トン、アジアでは石油換算1,267万トンに達する。
- 技術進展ケースでは、2040年に世界計で石油換算1.9億トン、アジアでは石油換算3,623万トンのバイオ燃料が導入される。

石油生産

レファレンスケース
技術進展ケース

IEE
JAPAN



OPEC

2014年	<u>37Mb/d</u>
↓	
2040年	
レファレンス	<u>52Mb/d</u> (15Mb/d増)

技術進展

2014年	<u>42Mb/d</u> (5Mb/d増)
--------------	---------------------------

非OPEC

2014年	<u>52Mb/d</u>
↓	
2040年	
レファレンス	<u>59Mb/d</u> (7Mb/d増)

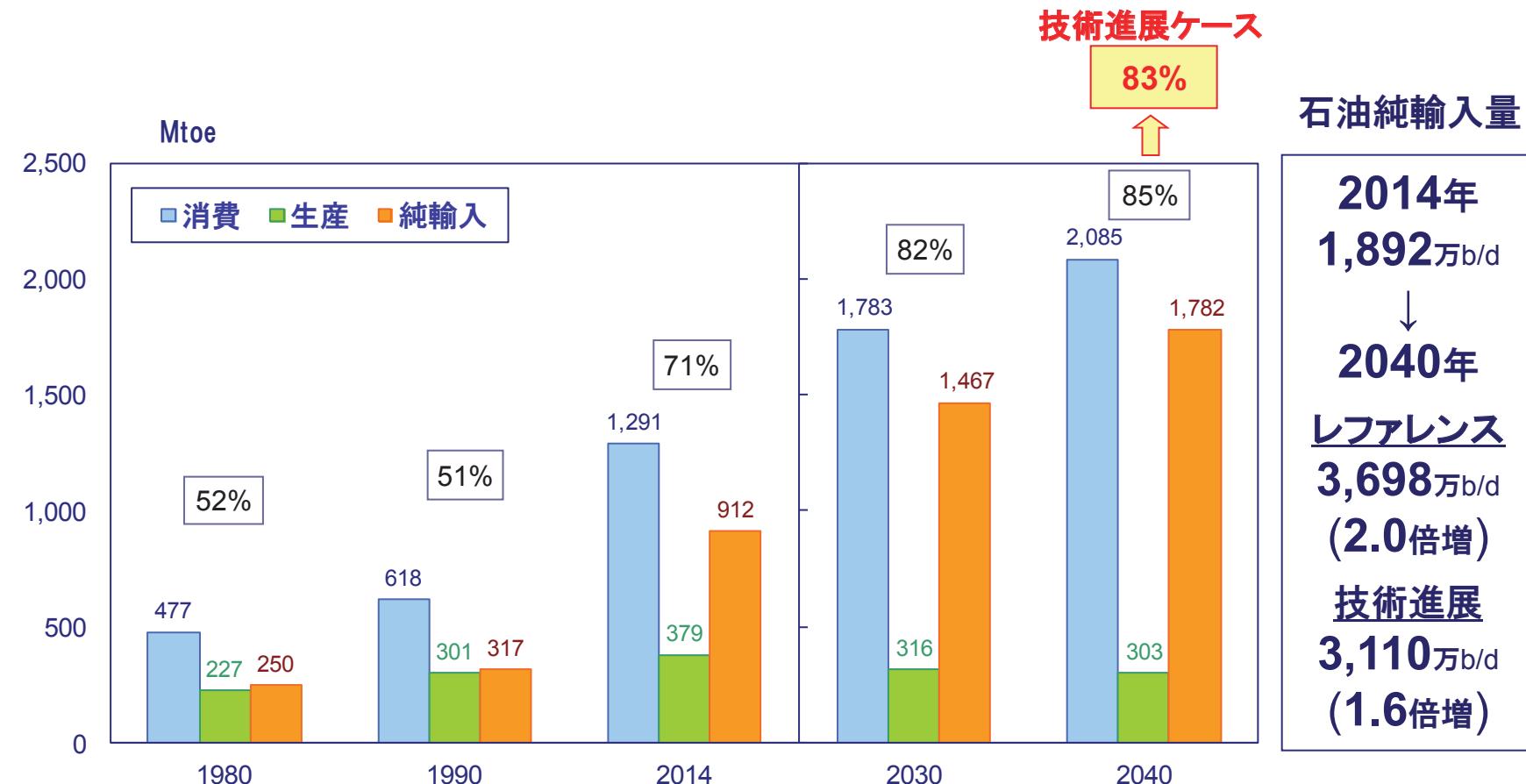
技術進展

2014年	<u>53Mb/d</u> (0.4Mb/d増)
--------------	-----------------------------

- 今後増加する世界の石油需要の7割弱がOPECによる石油生産により満たされ、世界の石油生産に占めるOPECのシェアは2040年には46%へ拡大する。
- 将来の増産が期待される中東OPECなどでは、国内需要の増加が顕著になっているため、エネルギー消費節減に向けた取組みや生産能力の増強投資が円滑に実行されなければ、国際石油需給がタイト化する可能性がある。

アジアの石油需給バランス

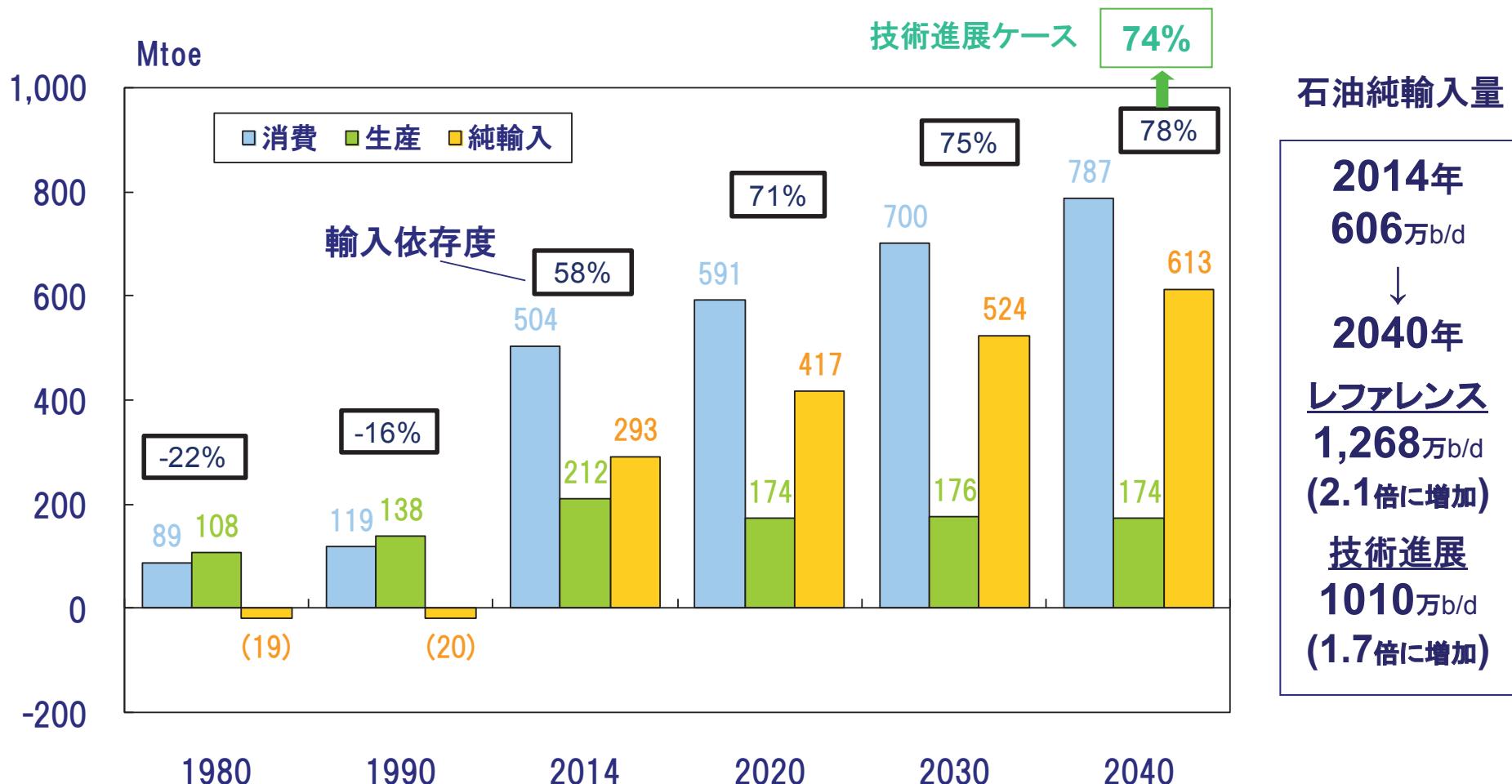
レファレンスケース
技術進展ケース



- レファレンスケースでは、純輸入量は2014年の9.1億トン(1,892万b/d)から18億トン(3,698万b/d)へ拡大。アジア域内における石油生産の停滞(中国、インド、インドネシア)に伴い、輸入依存度は2040年には85%へ上昇。
- 技術進展ケースでは需給は緩和されるものの、輸入依存度は83%まで上昇する。

中国の石油需給バランス

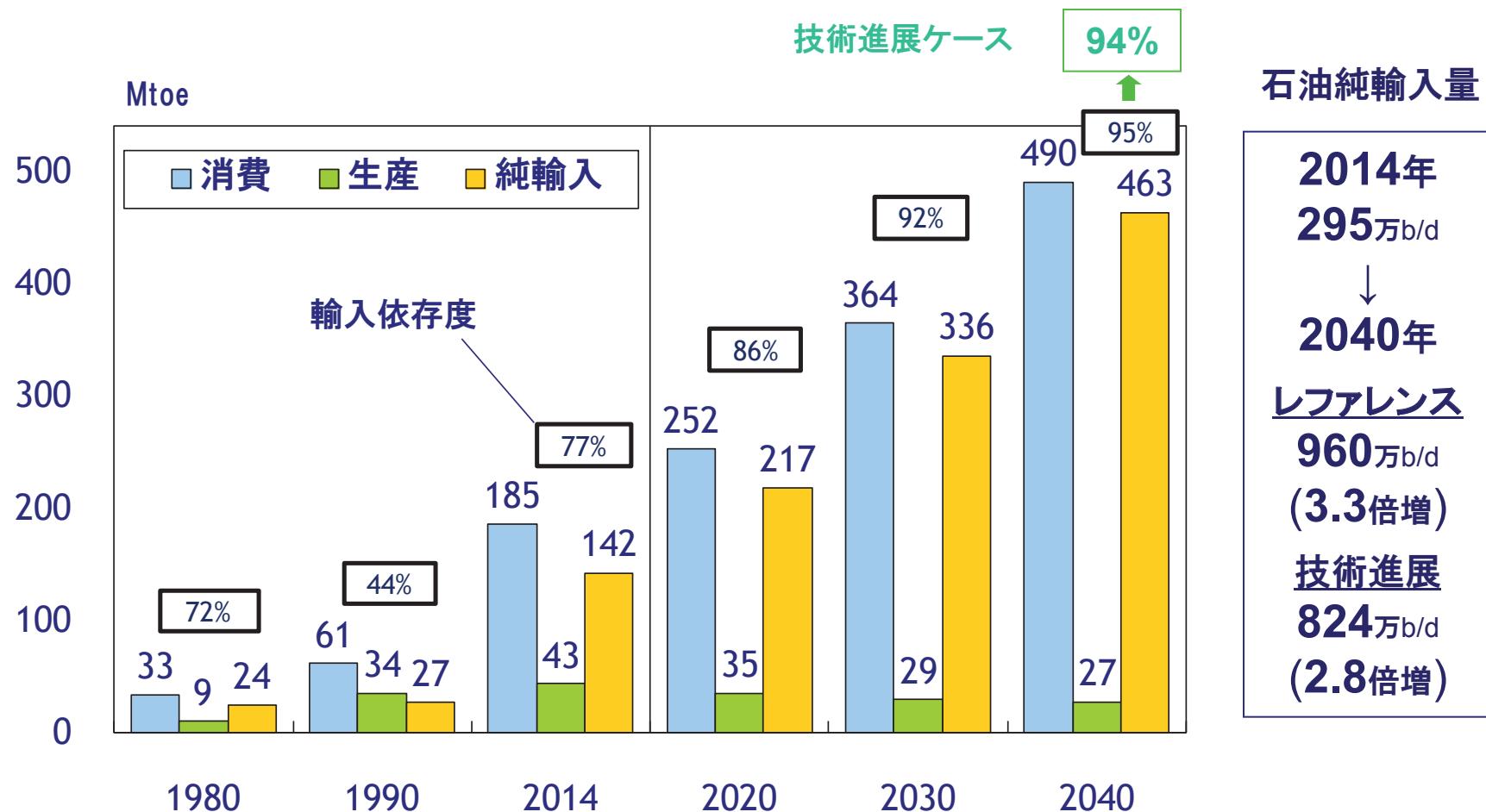
レファレンスケース
技術進展ケース



- レファレンスケースでは、石油の純輸入量は2040年に6.1億トン (1,268万b/d)まで増加する。これに伴い、輸入依存度は78%まで上昇する。
- 技術進展ケースでは、石油消費が抑制されることで、輸入依存度は2040年に74%となる。
- 今後、西部と海洋を中心とした石油資源探査の強化で石油生産減少の緩和が期待される。

インドの石油需給バランス

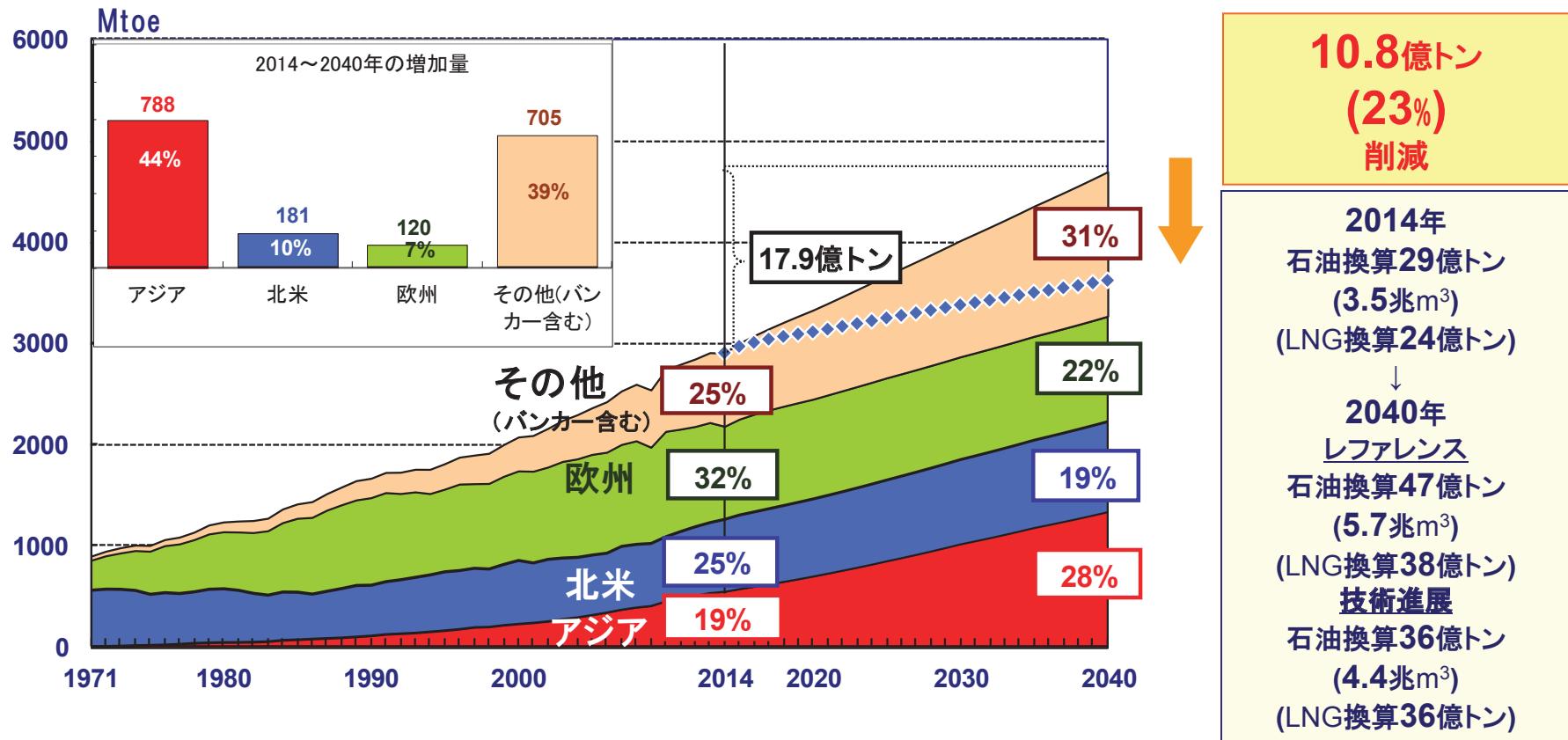
レファレンスケース
技術進展ケース



- 石油需要は増大する一方、国内石油生産の大幅増産は見込めないことから、輸入への依存を高めてゆく。
- 純輸入量は2014年の1.4億toe (295万b/d)から2040年には4.6億toe (960万b/d)に増加。輸入依存度は2040年には95%へ上昇。

世界の天然ガス消費

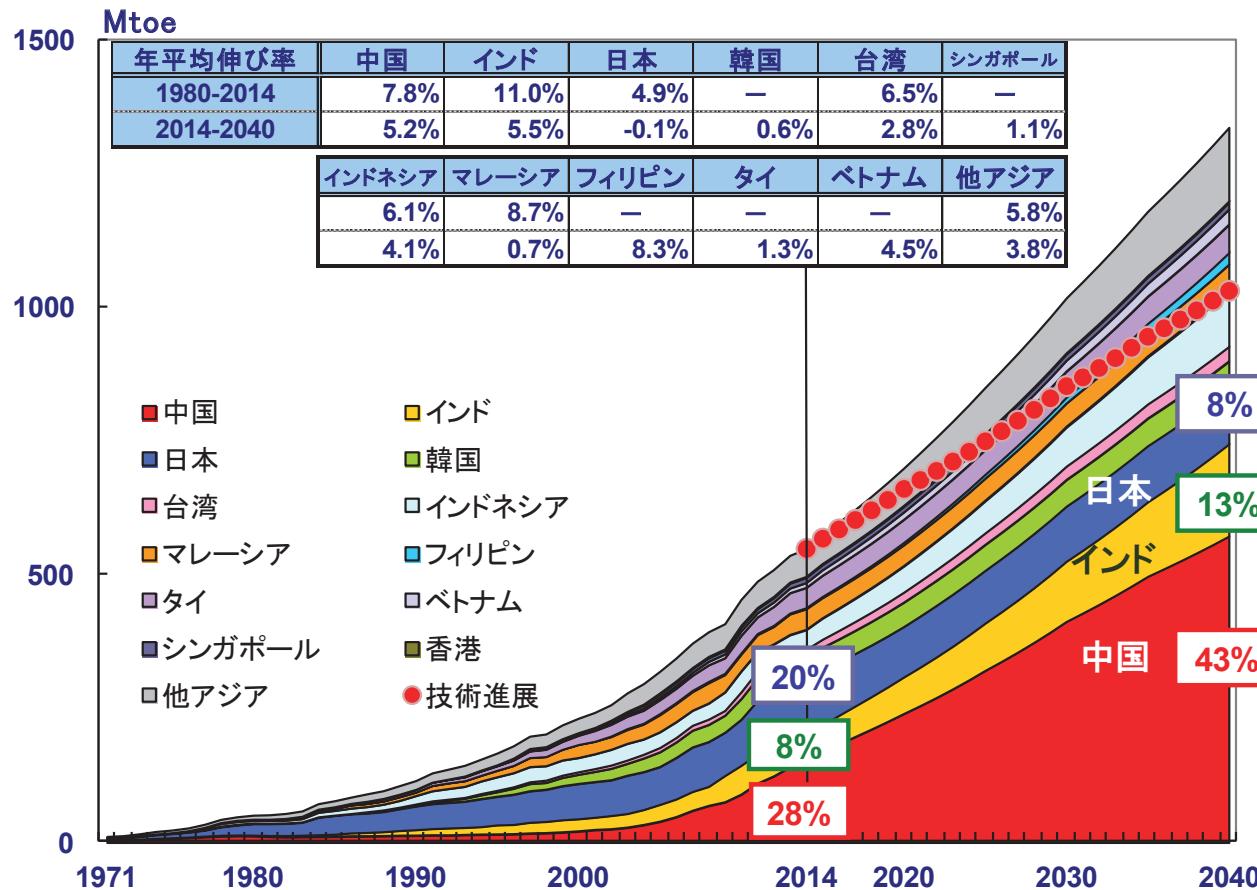
レファレンスケース
技術進展ケース



- 世界の天然ガス消費は2014年29億トン(3.5兆m³)から2040年には47億トン(5.7兆m³)に達し、1.6倍に増加。アジアを中心に増加する。
- 技術進展ケースでは、世界の天然ガス消費量は10.8億トン(レファレンスケース比23%)削減。このケースにおいても天然ガス消費量は急拡大を続けるため、今後も適切な資源開発の継続が必須となる。

アジアの天然ガス消費

レファレンスケース
技術進展ケース



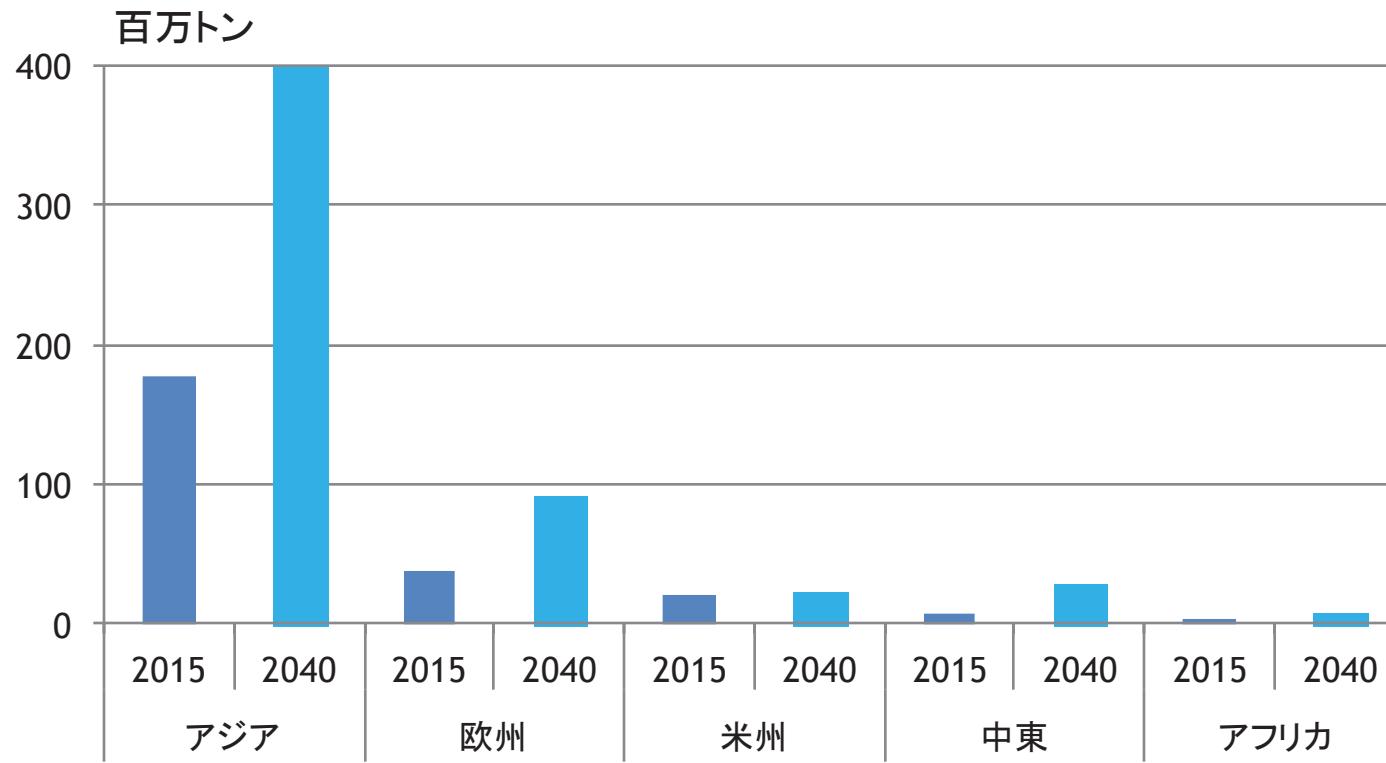
3.0億トン
(23%)
削減

2014年
石油換算5.5億トン
(6,665億m³)
(LNG換算4.5億トン)
↓
2040年
レファレンス
石油換算13.4億トン
(1兆6,228億m³)
(LNG換算10.9億トン)
技術進展
石油換算10.3億トン
(1兆2,529億m³)
(LNG換算8.4億トン)

- 発電用及び都市部での民生用需要の増加に伴い、中国での天然ガス消費が急速に増大する。中国、インド両国のシェアは36%から56%へ拡大。
- 技術進展ケースでは2040年に3.0億トン(23%)の削減がなされるが、このケースでもアジアの天然ガス消費量は年率2.5%で急速に拡大。

世界のLNG輸入量

レファレンスケース



- 世界のLNG需要は2015年の2億4,500万トンから2040年には5億4,700万トンへ2.2倍に拡大。
- アジアのLNG需要は2億2,200万トン増加し、世界のLNG需要増加量の7割を占める。欧州では5,300万トン増加し世界のLNG需要増加量の2割弱を占める。米州地域では、北米から南米へのLNG貿易が出現するなど、300万トン増加する。
- 新規プロジェクトが順調に立ち上がりれば、供給能力は需要量に見合うものとなる。

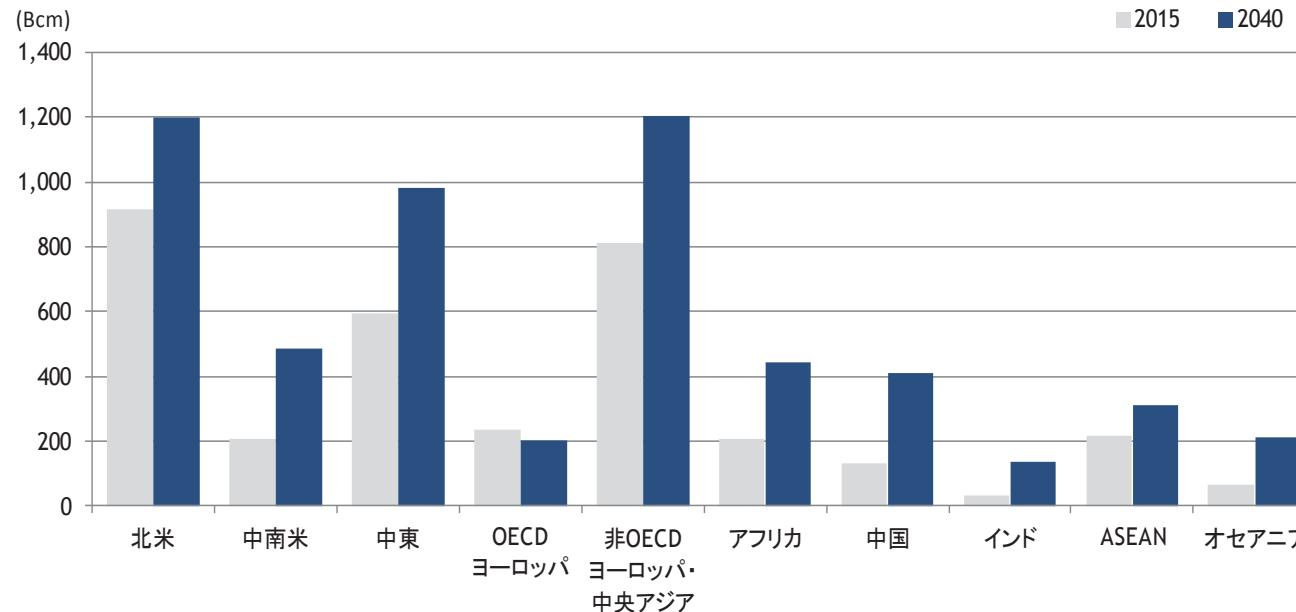
天然ガス生産

レファレンスケース

2040年ガス生産量
5,700Bcm
 2015年比
 2,202 Bcm増

生産増分に占める割合

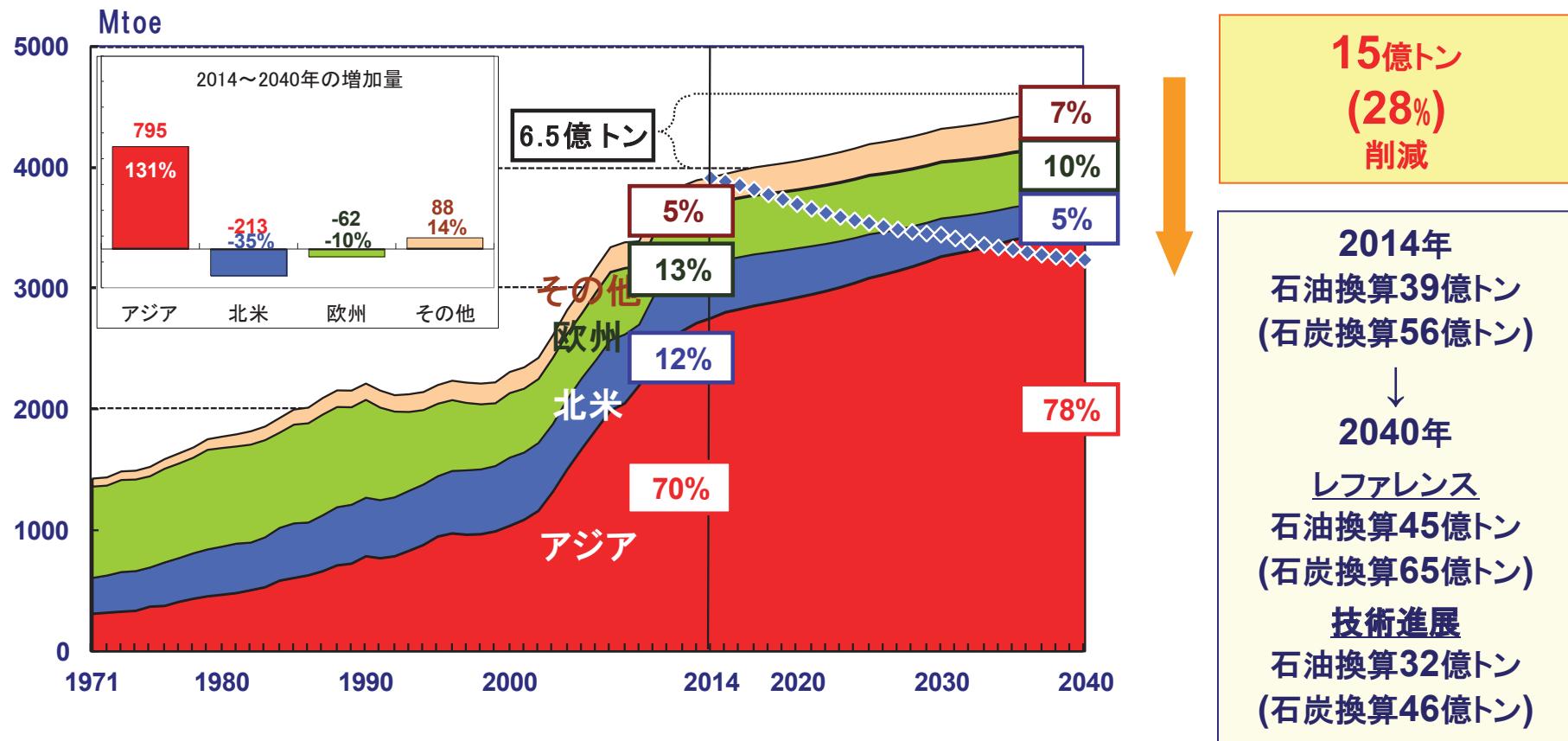
米州諸国	26%
中東諸国	18%
アフリカ諸国	11%



- 増大する天然ガス需要を満たすため、北米、中東、ロシア、アフリカ、中国、インド、オーストラリアなどを中心に生産が拡大する。
- 北米、中国に加え、南米、中東、アフリカ、非OECDヨーロッパ/中央アジア、OECDヨーロッパの各地域でも、シェールガスを中心に、非在来型天然ガスが少量ずつながら商業化生産が開始される。

世界の石炭消費

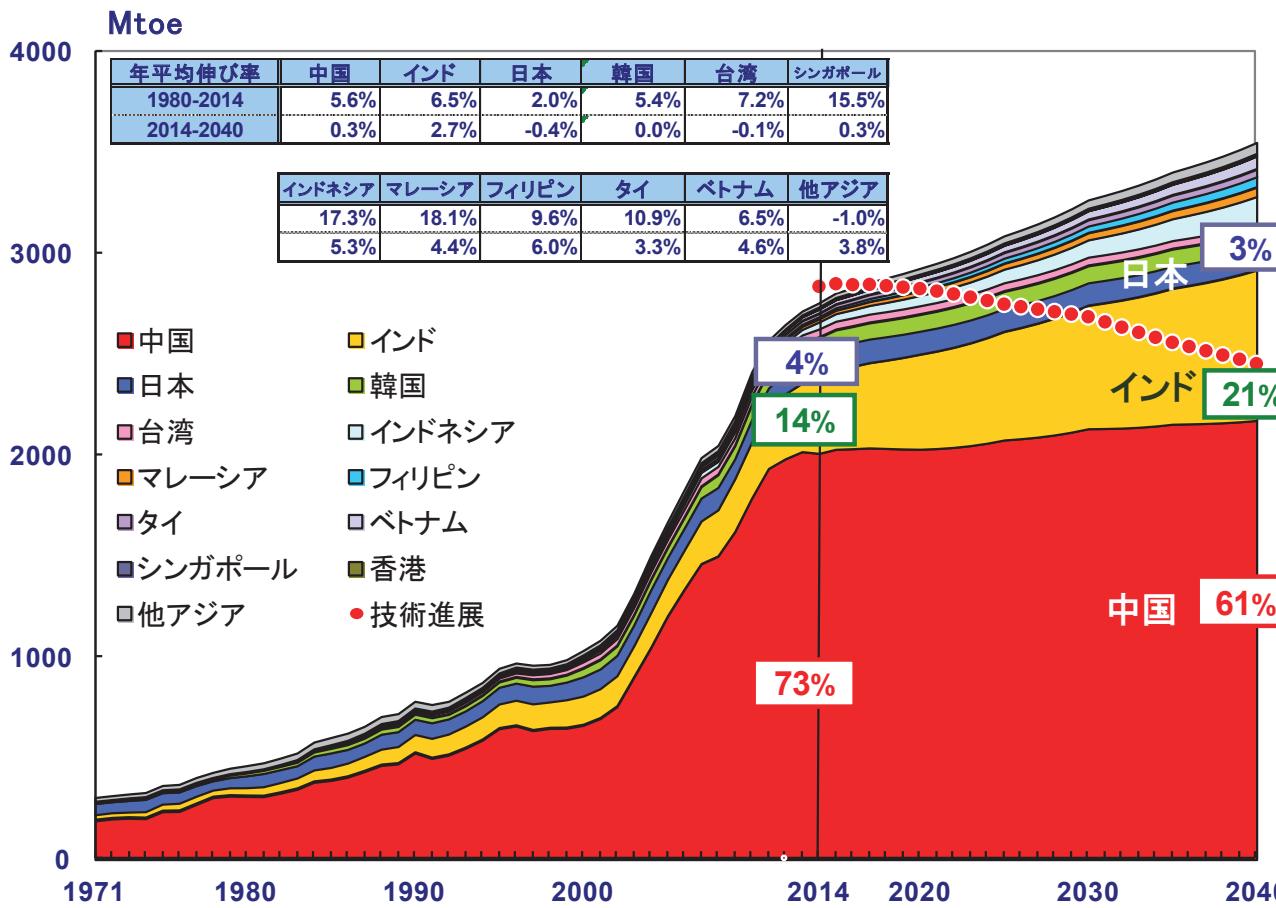
レファレンスケース
技術進展ケース



- 世界の石炭消費に占めるアジアのシェアは約8割まで拡大、アジアは世界の石炭消費の中心であり続ける。
- 技術進展ケースでは、アジア地域の発電用途を中心に大幅に消費が削減、2040年には12億トン(28%)の削減となる。

アジアの石炭消費

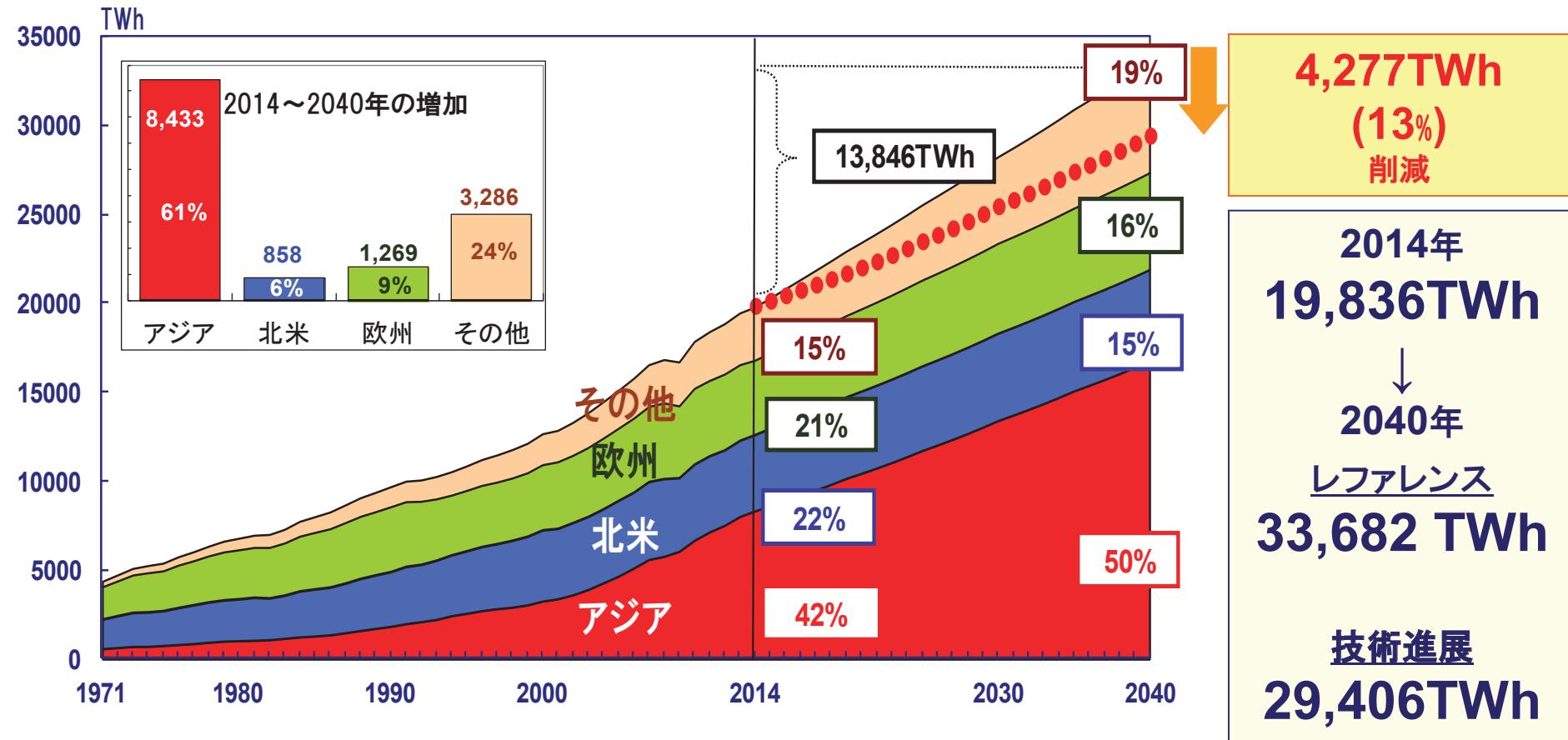
レファレンスケース
技術進展ケース



- 国内石炭資源が豊富な中国、インド等では、急増する電力需要に対し、主として石炭火力により電力供給を行うため消費が増加。
- 技術進展ケースでは、天然ガスへのシフトや発電効率の向上に伴い石炭消費は減少、2040年に11億トン(31%)の削減。

世界の電力需要

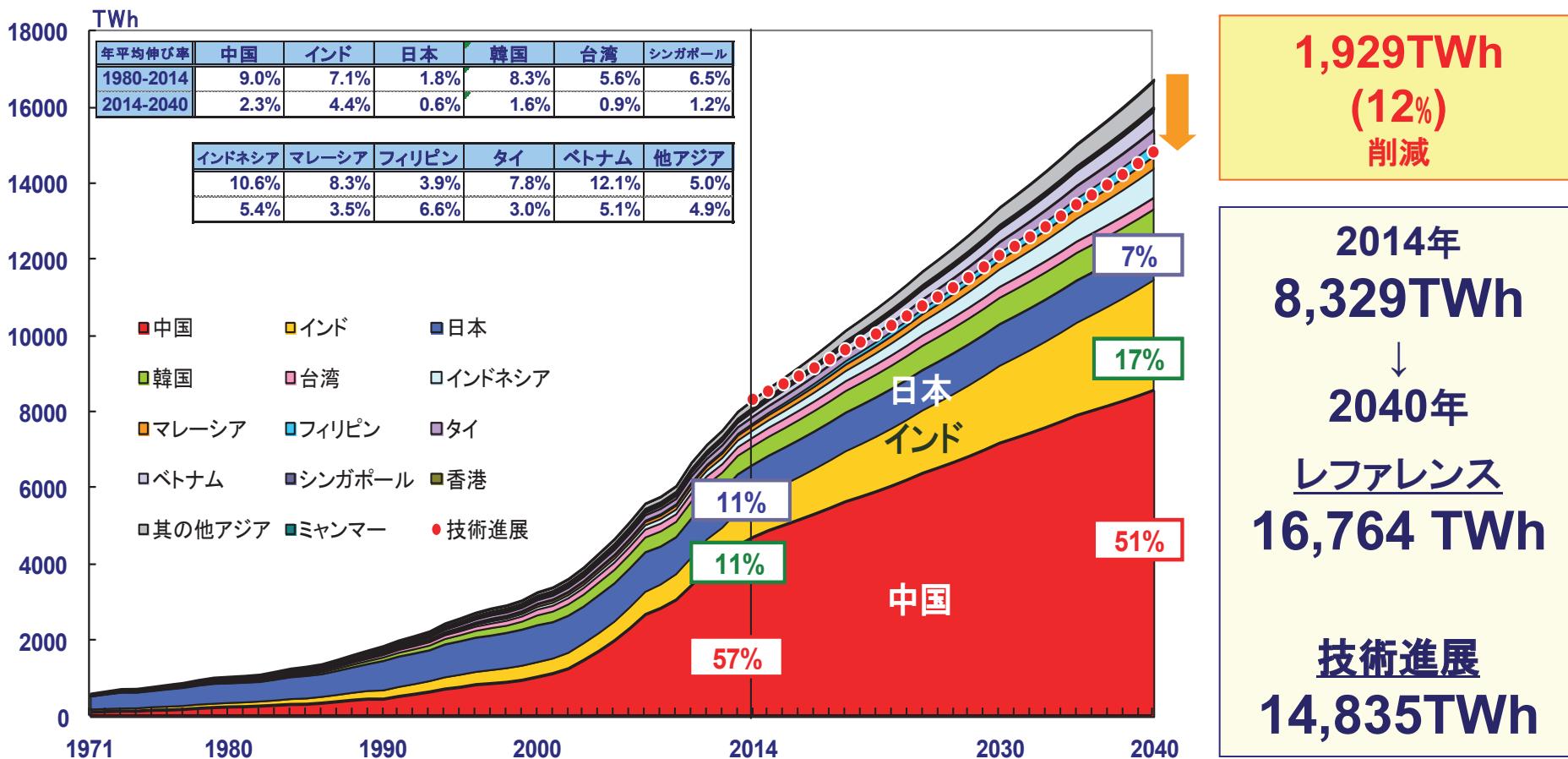
レファレンスケース
技術進展ケース



- 世界の電力需要増加量の約6割はアジアにおけるものとなる。世界の電力需要に占めるアジアのシェアは5割まで拡大、アジアは世界の電力需要の中心となる。
- 技術進展ケースでは、アジア地域の発電用途を中心に大幅に消費量が減少、2040年には4,277TWh(13%)の削減となる。

アジアの電力需要

レファレンスケース
技術進展ケース



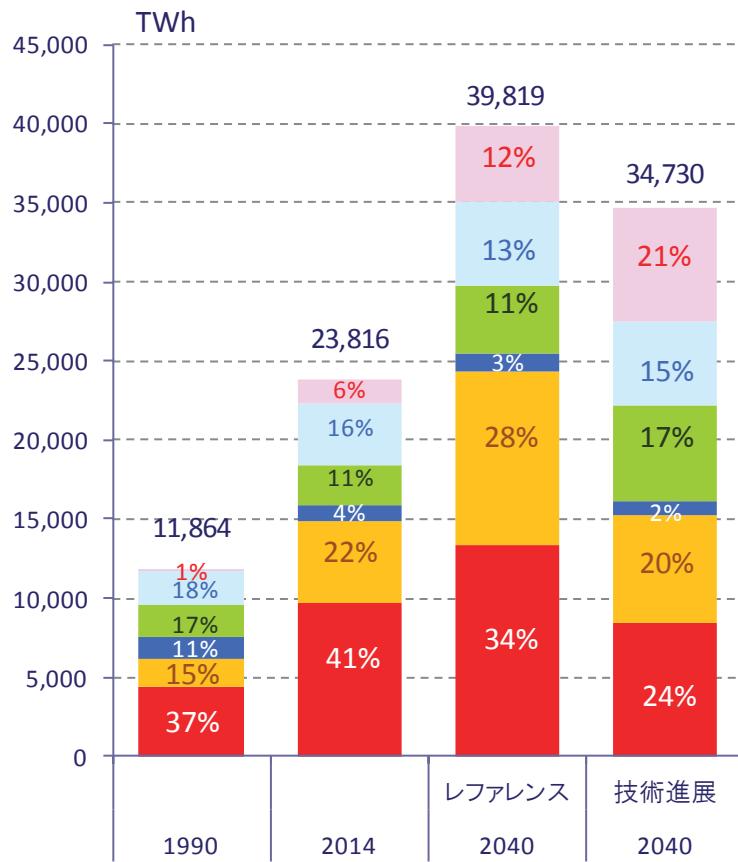
- アジアでは所得水準向上に伴うエネルギー消費の高度化に伴い、電力需要が急速に増加。中国では1.8倍、インドでは3.1倍へ拡大する。
- 電力需要の2014年からの伸びはレファレンスケースで2.7%、技術進展ケースで2.2%とそれぞれ最終エネルギー需要の伸びを大きく上回る。

発電構成(世界・アジア)

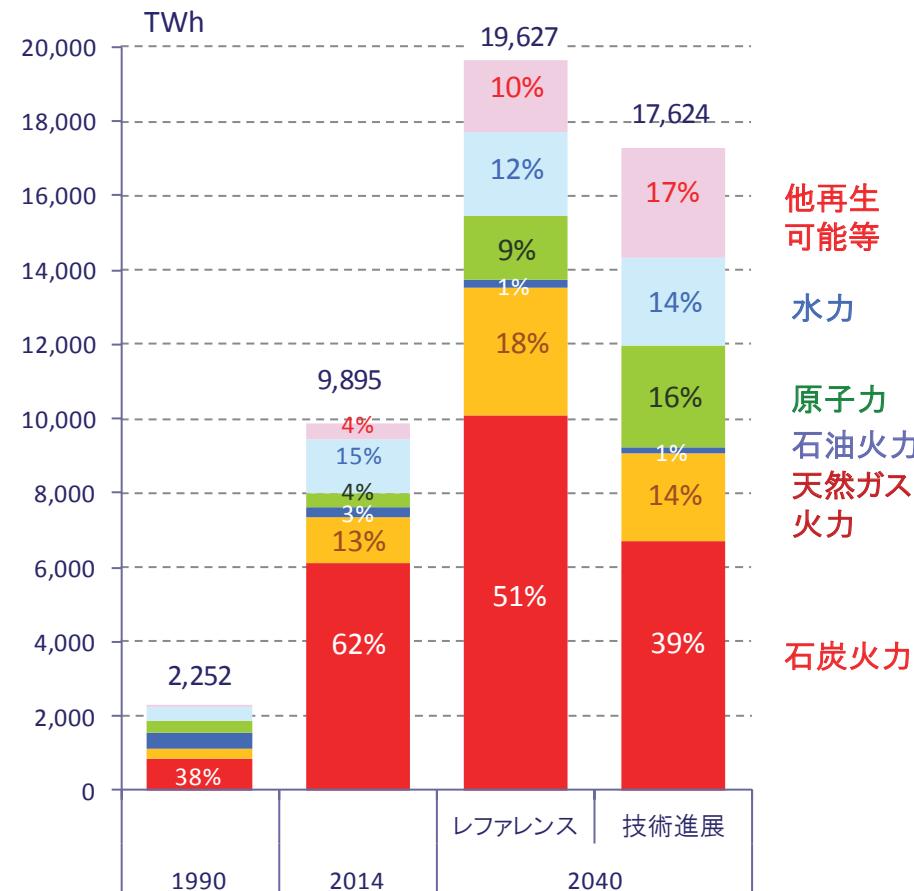
レファレンスケース
技術進展ケース

IEE
JAPAN

世界



アジア

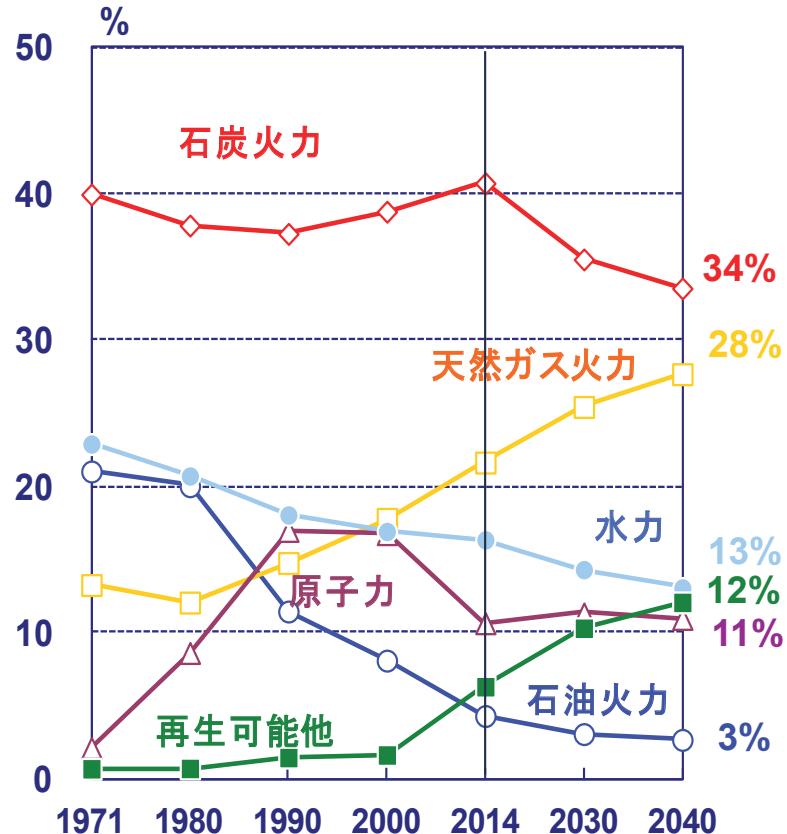


- 2040年においても石炭火力が依然として電力供給の中核を担う。天然ガス複合発電等の導入により、世界的に天然ガス火力の導入が拡大。再生可能エネルギーも風力、太陽光を中心にシェアを拡大。
- 技術進展ケースでは世界で石炭火力のシェアが24%まで縮小する一方、原子力や水力・再生可能エネルギーのシェアが拡大する。

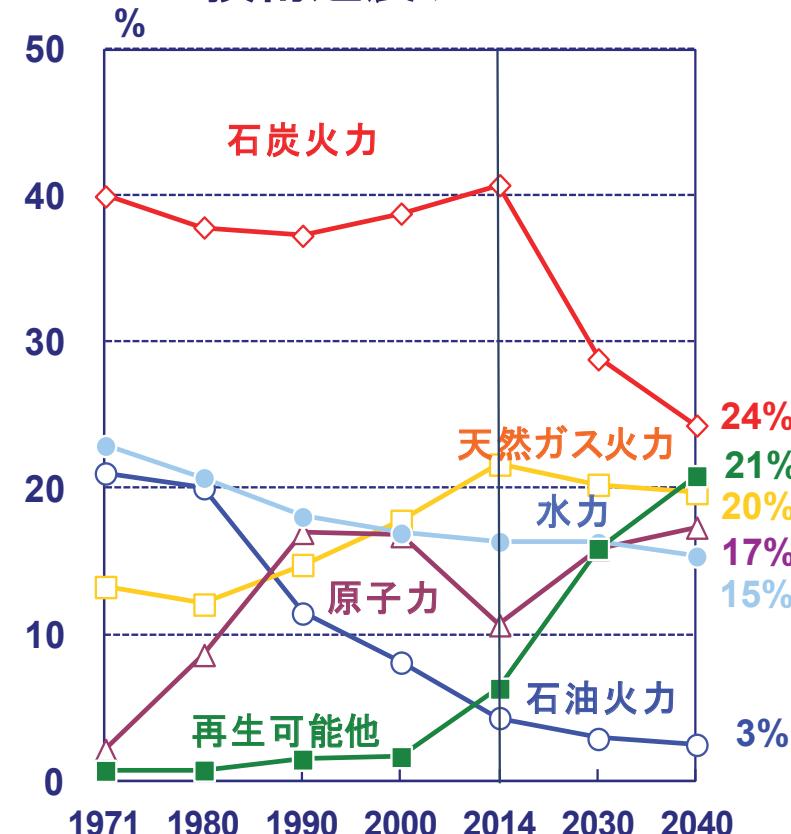
世界の発電構成シェア

レファレンスケース
技術進展ケース

レファレンスケース



技術進展ケース

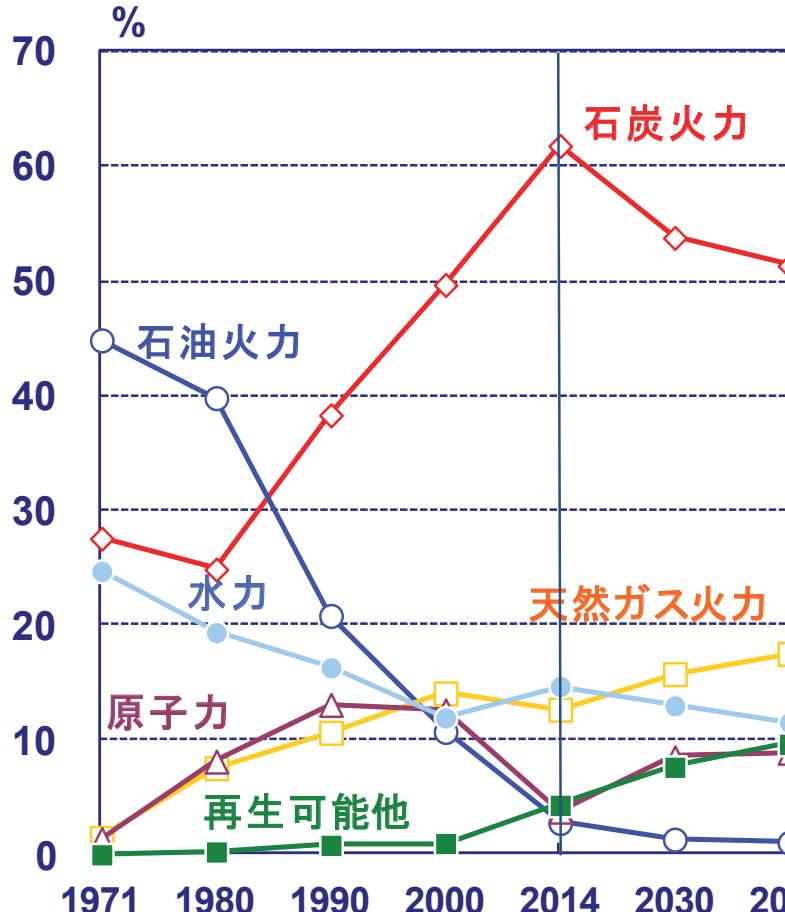


- レファレンスケースでは、2040年においても石炭火力が最も大きなシェアを占め続ける。
- 技術進展ケースでは石炭火力のシェアが大きく縮小し、再生可能エネルギーが原子力、天然ガスを上回り石炭に次ぐ2番目に高いシェアとなる。

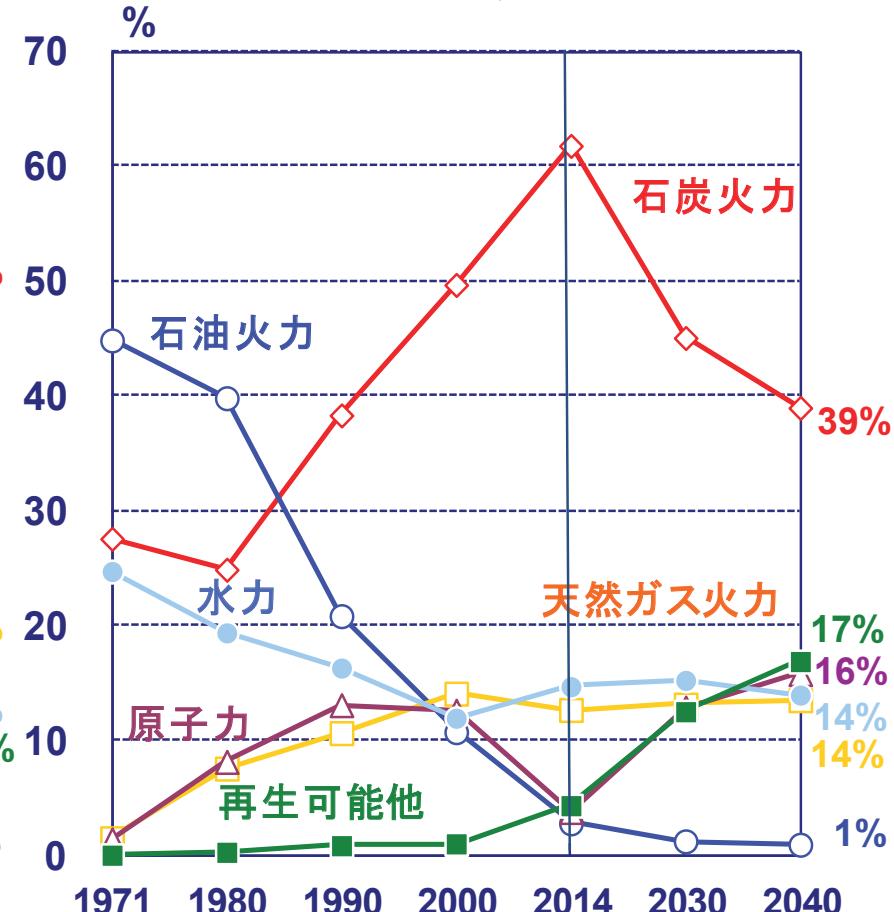
アジアの発電構成シェア

レファレンスケース
技術進展ケース

レファレンスケース



技術進展ケース

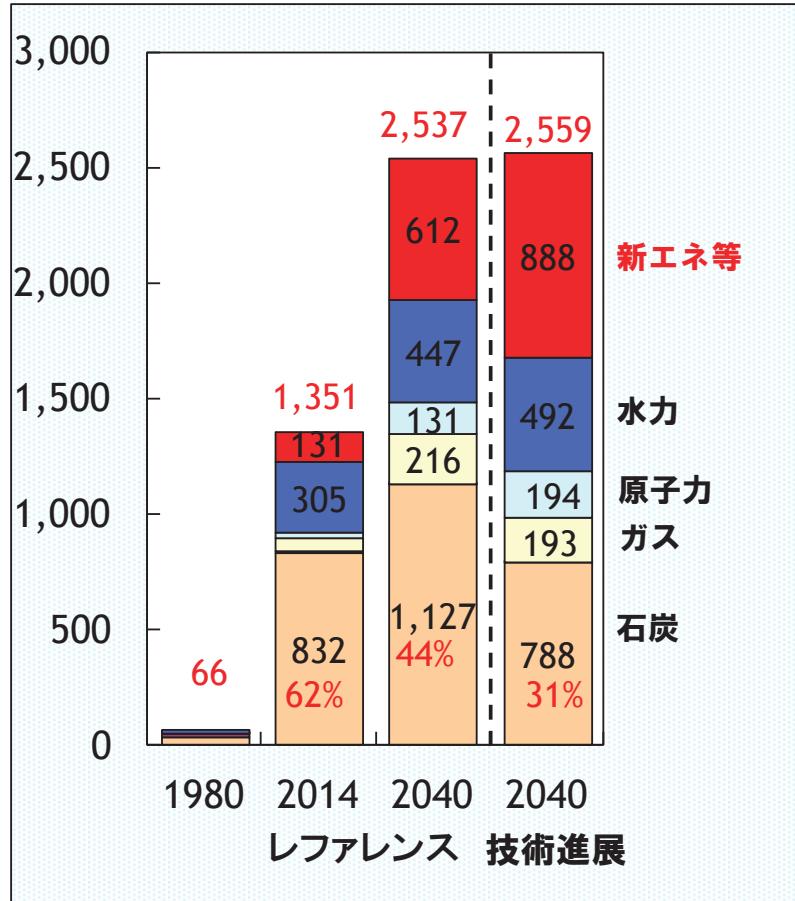


- レファレンスケースでは、急増する電力需要に対し、主に石炭火力で対応する。
- 技術進展ケースでは、石炭火力のシェアが大きく縮小し、再生可能エネルギー及び原子力のシェアが拡大する。

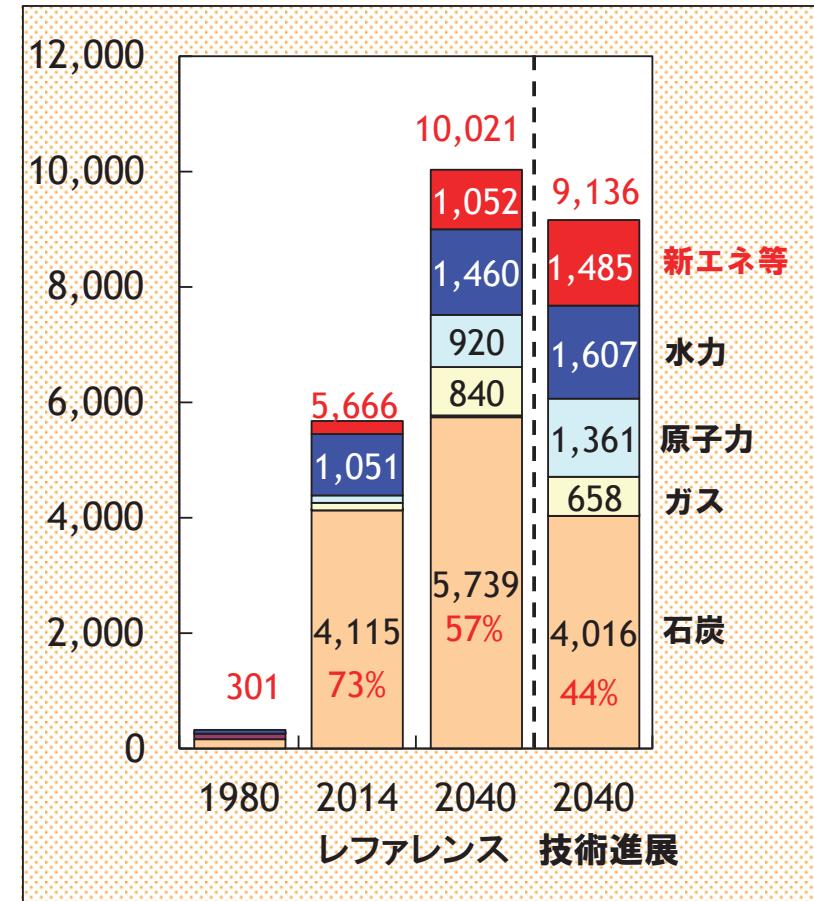
中国の発電容量と発電量

レファレンスケース
技術進展ケース

【発電設備容量(100万kW)】



【発電量(TWh)】

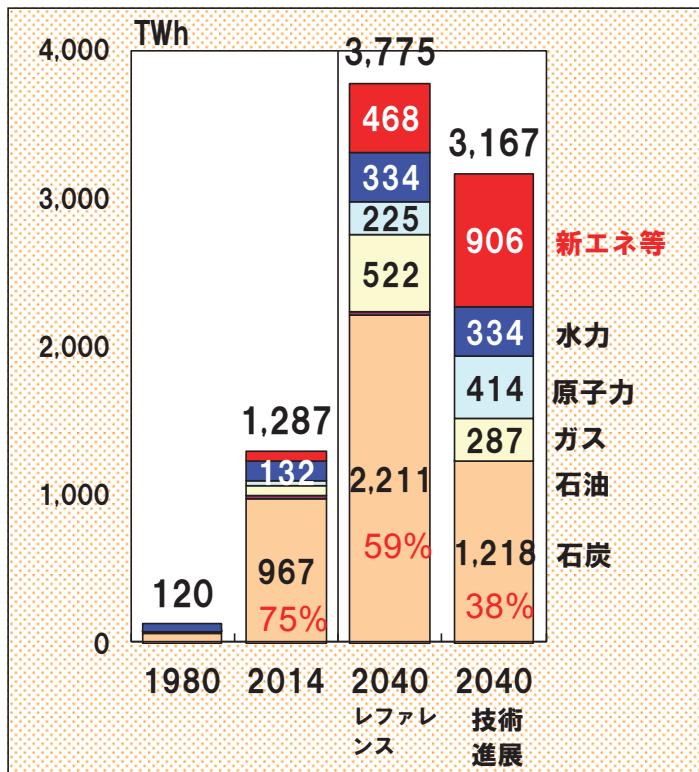


- 発電設備容量は2014年の約13.5億kWから2040年には25.4億kWに達し、年平均4,600万kW増加する。2014年に全発電設備容量の62%を占める石炭火力のシェアは、2040年には44%へ減少する。発電量は2014年の5.7兆kWhから2040年に10.0兆kWhに達する。石炭火力シェアは2014年の73%から2040年に57%へ低下。
- 天然ガス火力、原子力、新エネ発電はいずれも大きく増加する。
- 技術進展ケースでは、石炭火力発電量が大幅に減少。原子力・水力・新エネルギーの利用が急拡大する。

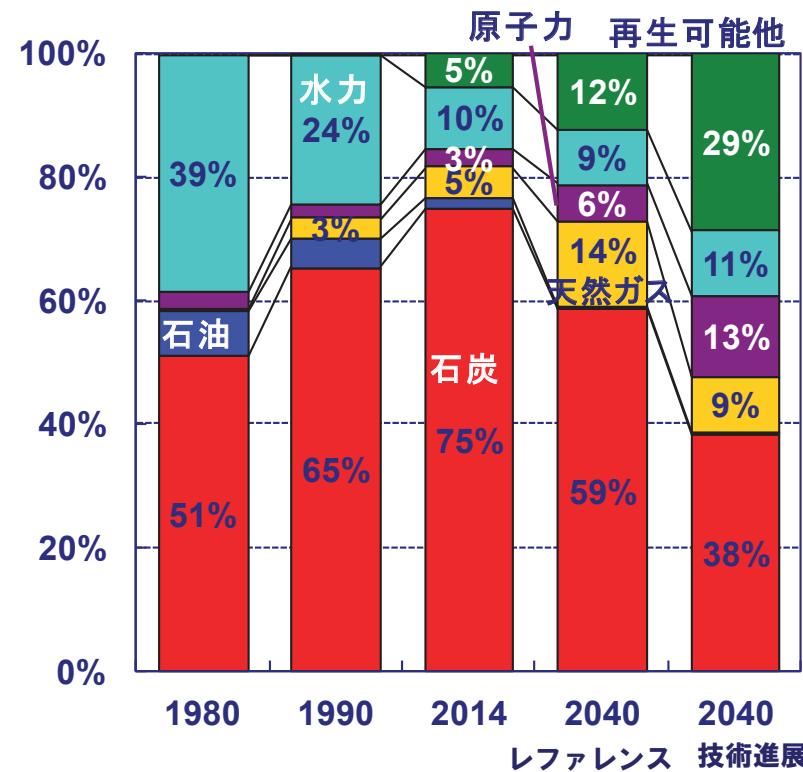
インドの発電量構成

レファレンスケース
技術進展ケース

【発電量】



【発電量構成】

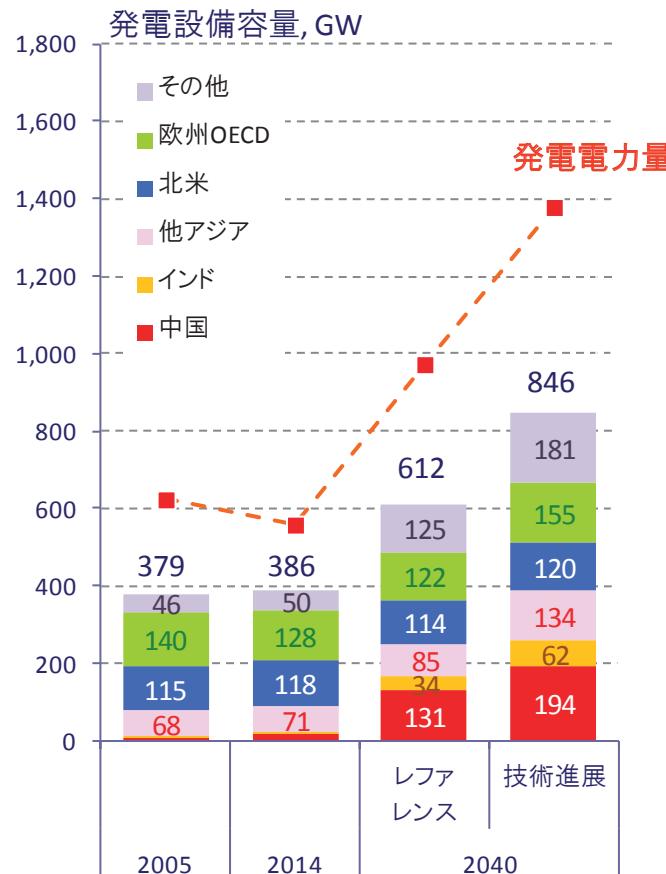


- レファレンスケースでは、天然ガス、原子力のシェアが徐々に拡大し、電源構成の多様化が進むものの、石炭のシェアは依然として6割弱と高い。一層の省エネルギーが図られる技術進展ケースの石炭シェアは4割を切る。
- 原子力設備容量は、2015年578万kW、2040年には、レファレンスケースで3,383万kW (2015年から5.9倍増)、技術進展ケースで6,225万kW(10.8倍)を見込む。

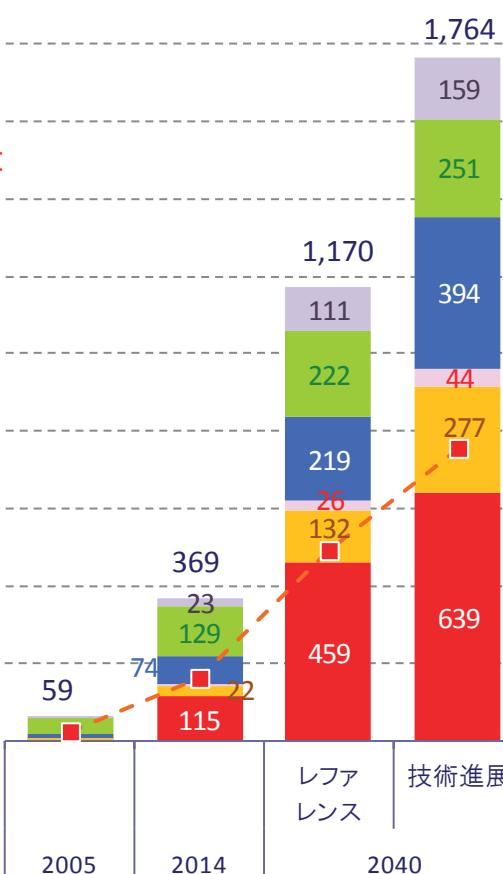
原子力・風力・太陽光発電設備容量の見通し

レファレンスケース
技術進展ケース

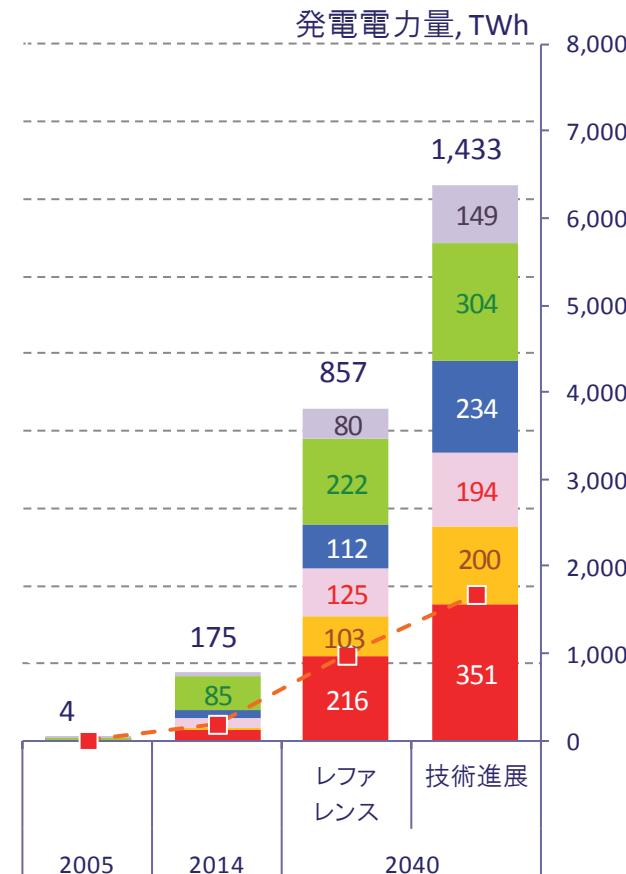
原子力発電



風力発電



太陽光発電



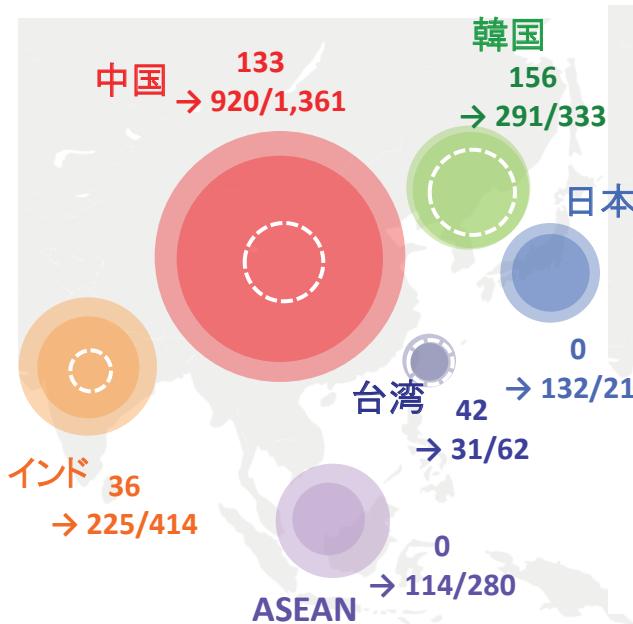
- 2014年から2040年にかけて、世界の原子力・風力・太陽光の設備容量はレファレンスケースでそれぞれ1.6倍・3.2倍及び4.9倍、技術進展ケースで2.2倍・4.8倍及び8.2倍に拡大。特にアジアでの拡大が著しく、技術進展ケースではいずれも世界のほぼ半分を、中国・インドを中心とするアジア諸国が占める。

アジアの原子力・風力・太陽光発電の見通し(発電電力量) レファレンスケース 技術進展ケース

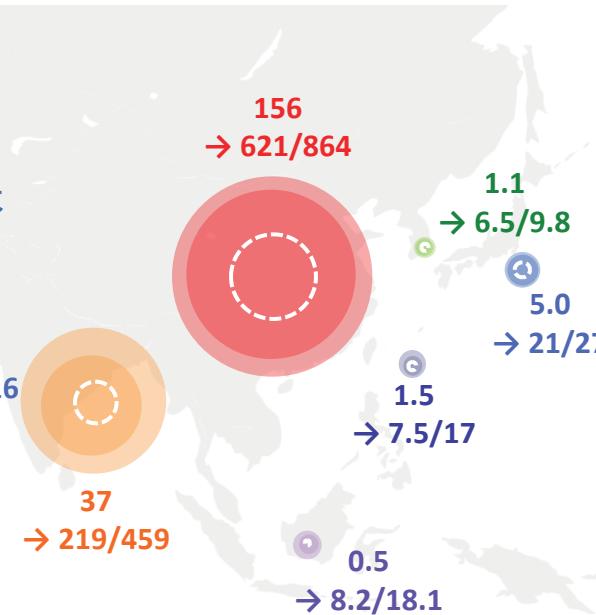
2014(点線)→
2040レファレンス(内円)
/2040技術進展(外円)

単位:TWh

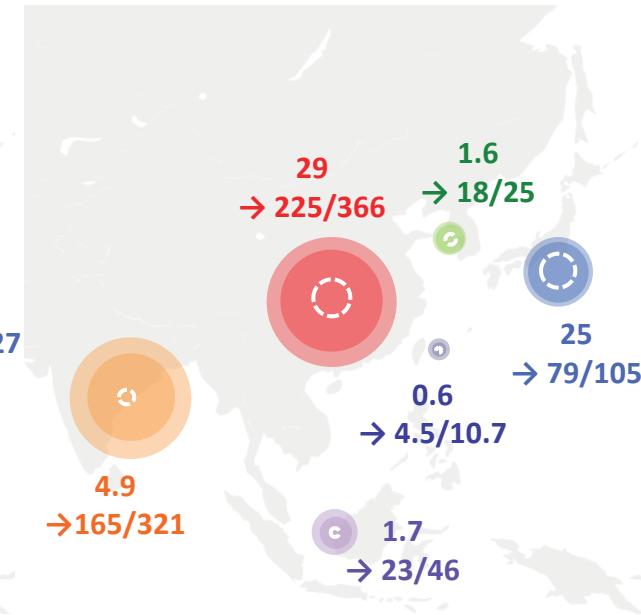
原子力発電



風力発電



太陽光発電

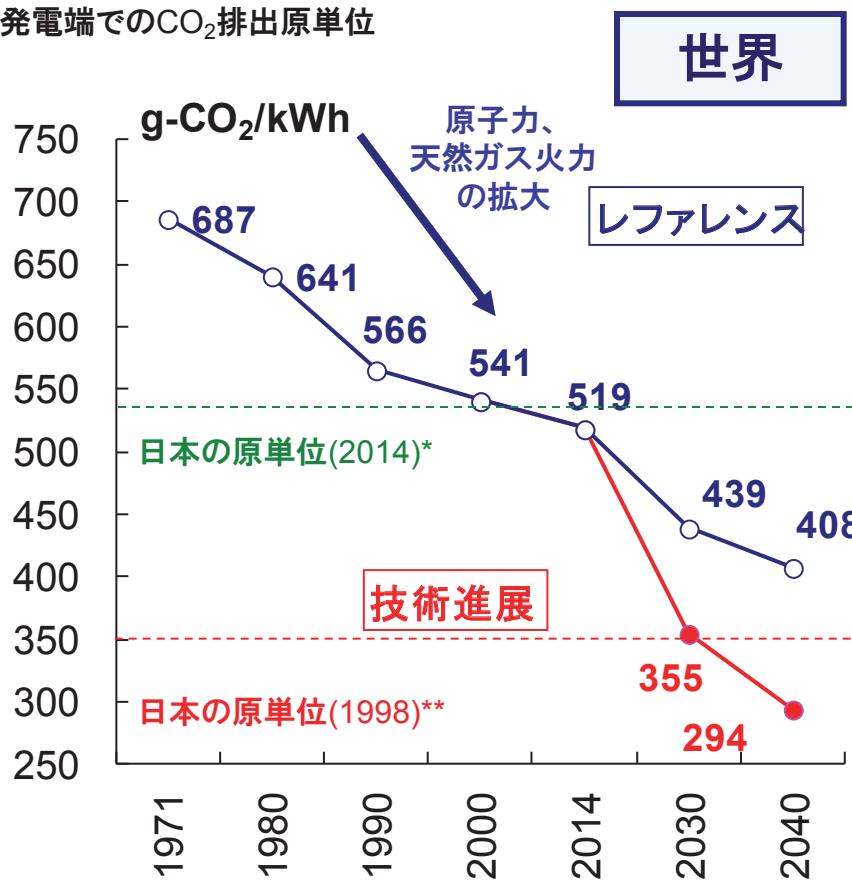


- ・原子力発電、風力発電、太陽光発電全てにおいて、中国を中心に拡大が続く。
- ・原子力は中国のほかインド、韓国などで拡大。現在原子力発電所の稼働がないASEAN地域においても、ベトナムにおける新規建設を嚆矢として導入が進む。
- ・風力発電はインドでは原子力とともに急速に進展するが、ASEAN地域では立地の問題から風力の伸びは小さいなど、状況は地域によって大きく異なる。
- ・太陽光発電は最も高い伸び率で拡大するものの、設備利用率の関係から、発電量では風力を下回る。日本では固定価格買取(FIT)制度の影響で、太陽光発電の拡大が特に大きい。

電力のCO₂排出原単位

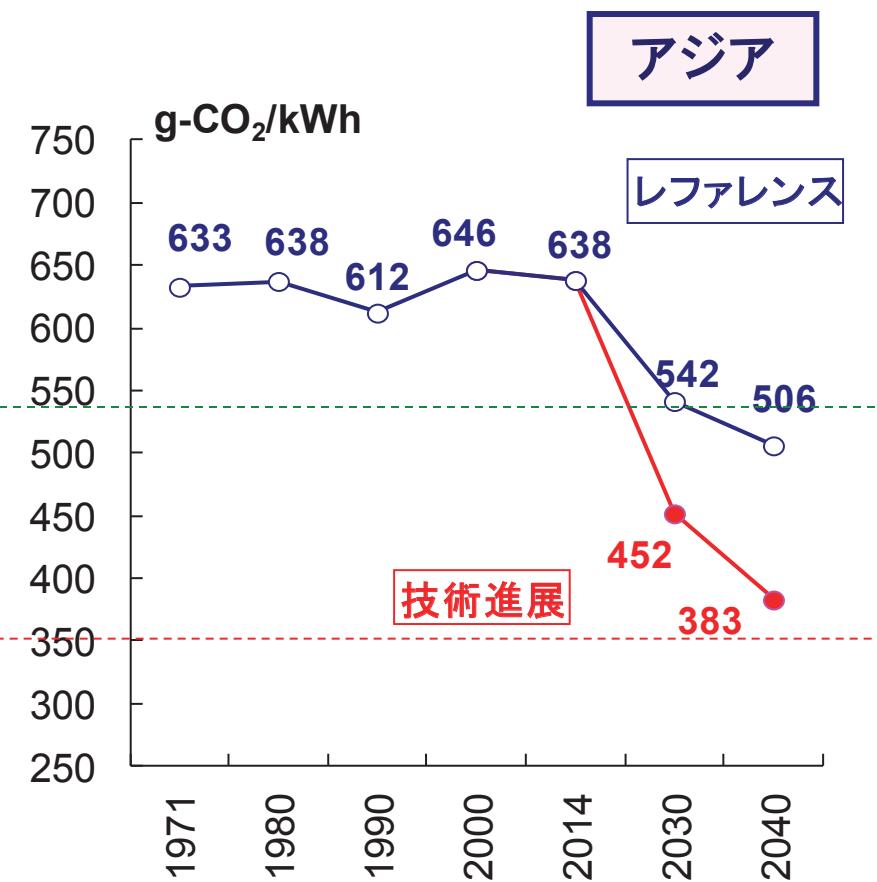
レファレンスケース
技術進展ケース

*発電端でのCO₂排出原単位



*約540g-CO₂/kWh **約350g-CO₂/kWh (IEA統計を元に推計)

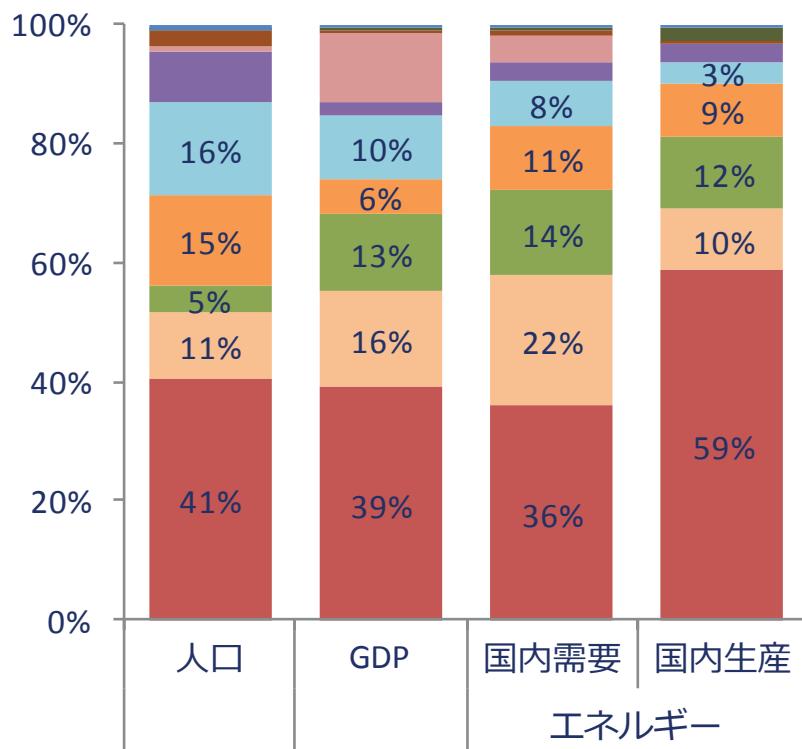
- 原子力、再生可能エネルギー、火力発電高効率化(クリーンコール技術、MACC)の進展により、CO₂排出原単位は低下し続ける。
- レファレンスケースでは、2040年の電力CO₂排出原単位は、世界で2014年比21%改善、アジアで21%改善。技術進展ケースでは、低炭素電源の導入拡大により、世界で2014年比43%改善、アジアで40%改善する見込み。



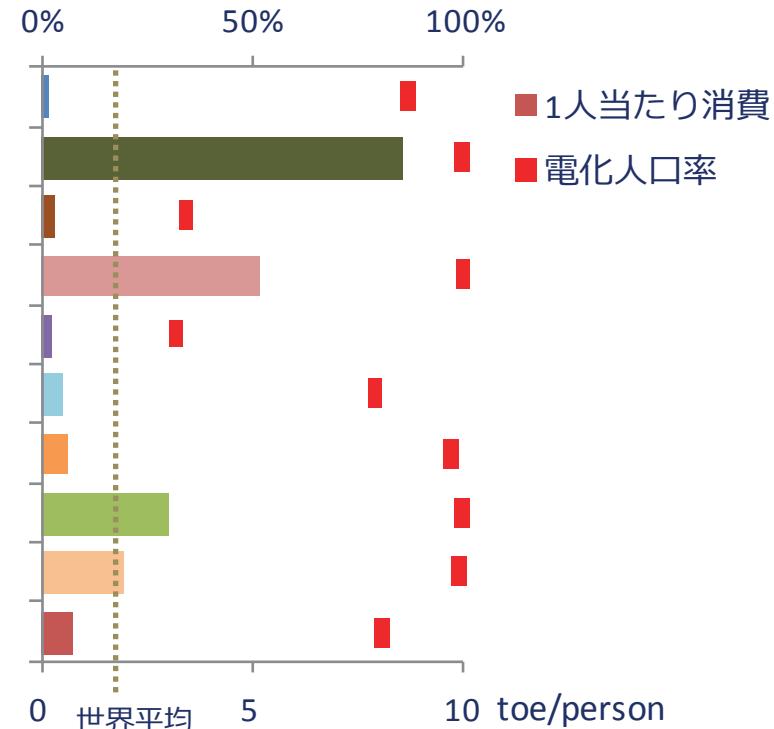
ASEAN地域のエネルギー展望

ASEAN：巨大市場だが、多種多様な経済社会

加盟国の域内シェア

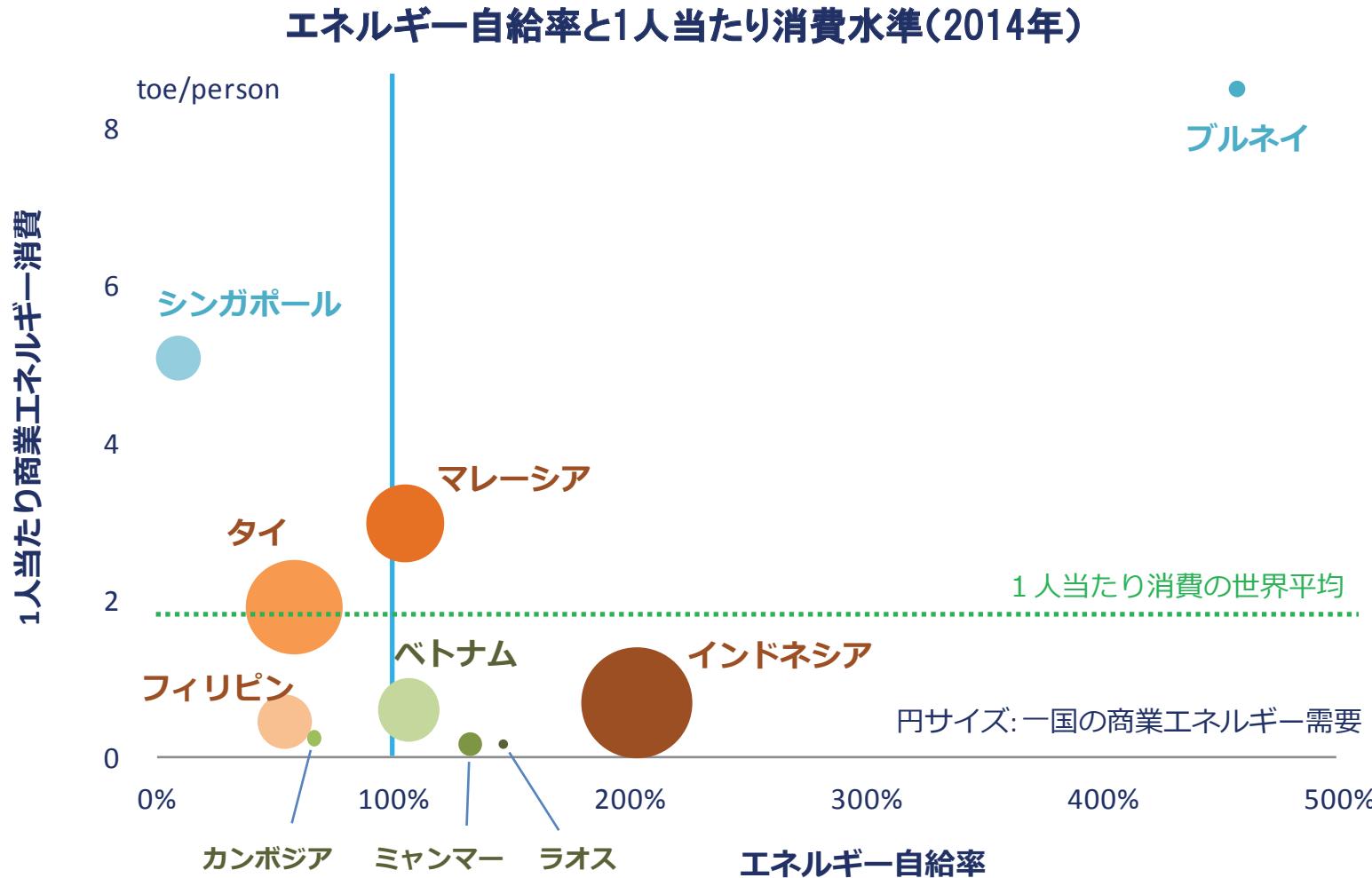


1人当たり商業エネルギー消費と
電力アクセス度



- ✓ 6億人を抱えるASEANは、中国・インドの巨大市場にも隣接し、経済的ポテンシャルが大きい。
- ✓ 加盟10カ国の経済規模、生活水準、エネルギー需給構造などは多種多様。

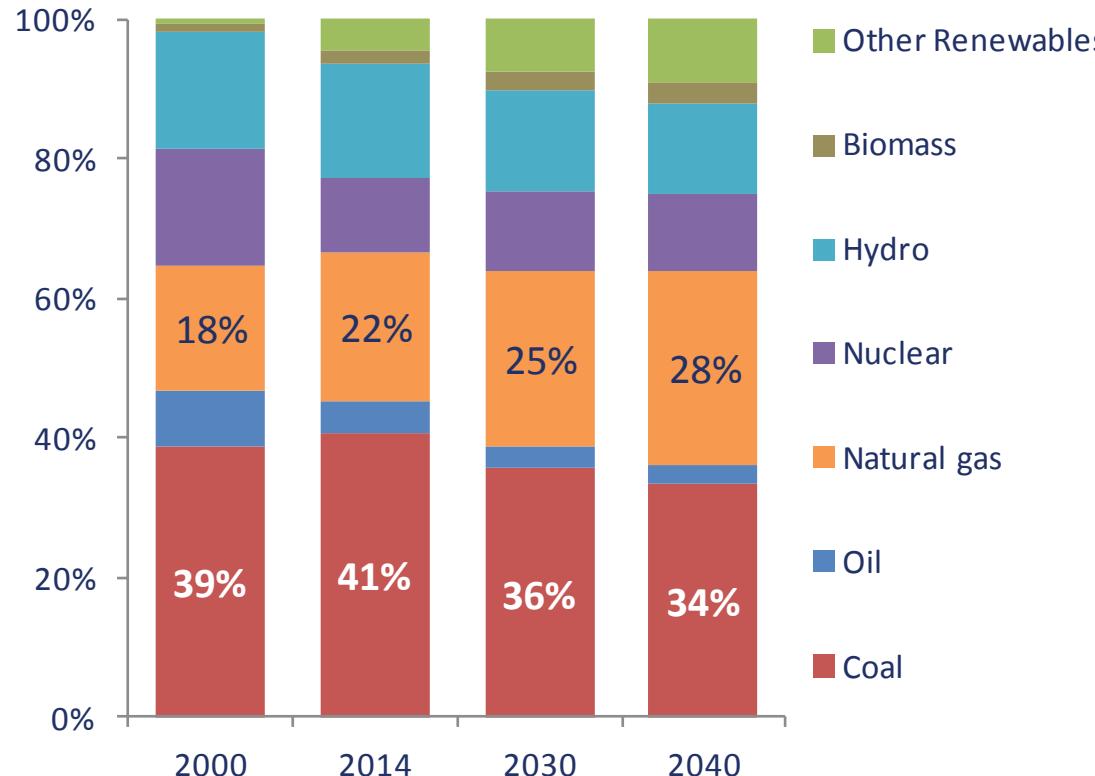
ASEAN：巨大市場だが、多種多様な経済社会



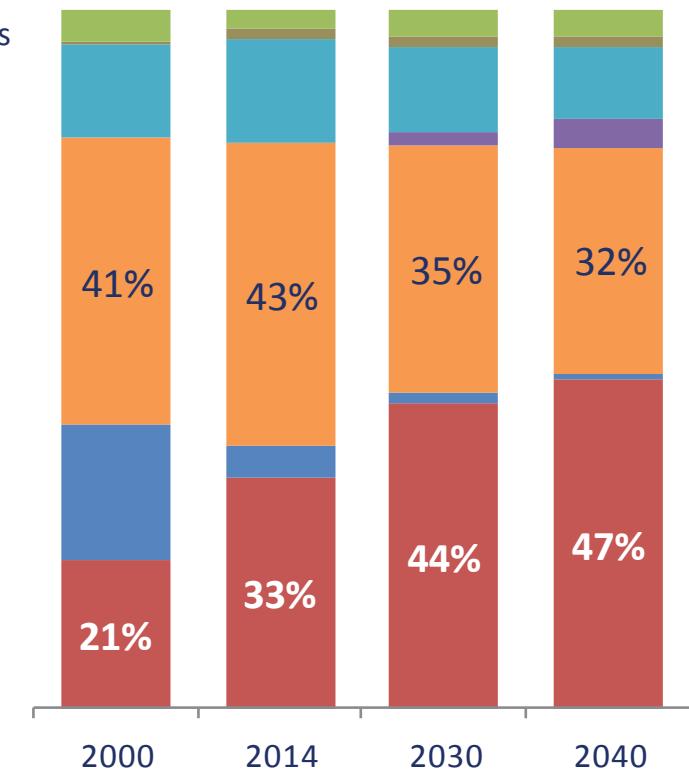
- ✓ 6億人を抱えるASEANは、中国・インドの巨大市場にも隣接し、経済的ポテンシャルが大きい。
- ✓ 加盟10カ国の経済規模、生活水準、エネルギー需給構造などは多種多様。

世界の潮流とは異なるASEANの電源構成

世界の発電構成



ASEANの発電構成



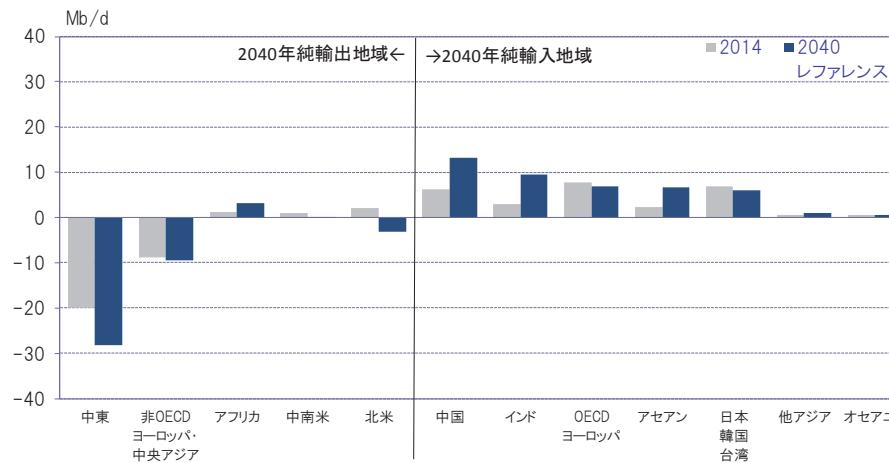
- ✓ ASEANでは、3倍以上に増加する電力需要を賄うために、安価で豊富な石炭を利用することになる。
- ✓ 発電のガス化が世界の潮流となっているなかで、ASEANでは石炭依存度が高まっていく。

化石燃料貿易

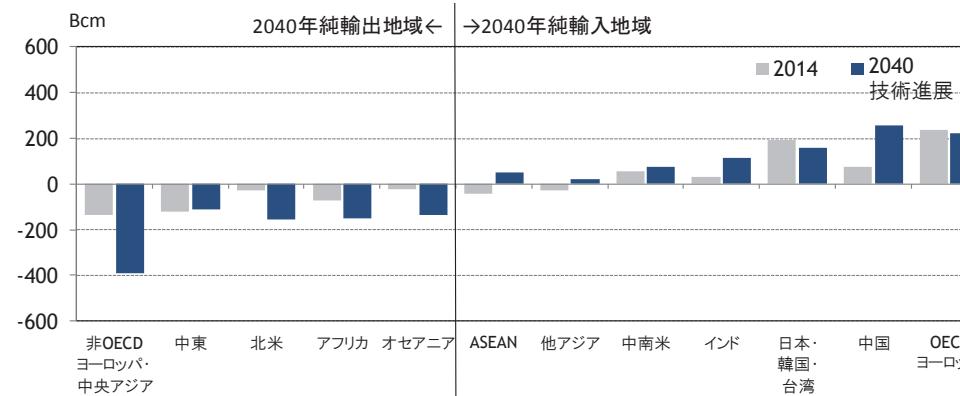
- レファレンスケース

石油・天然ガスの純輸入量

石油

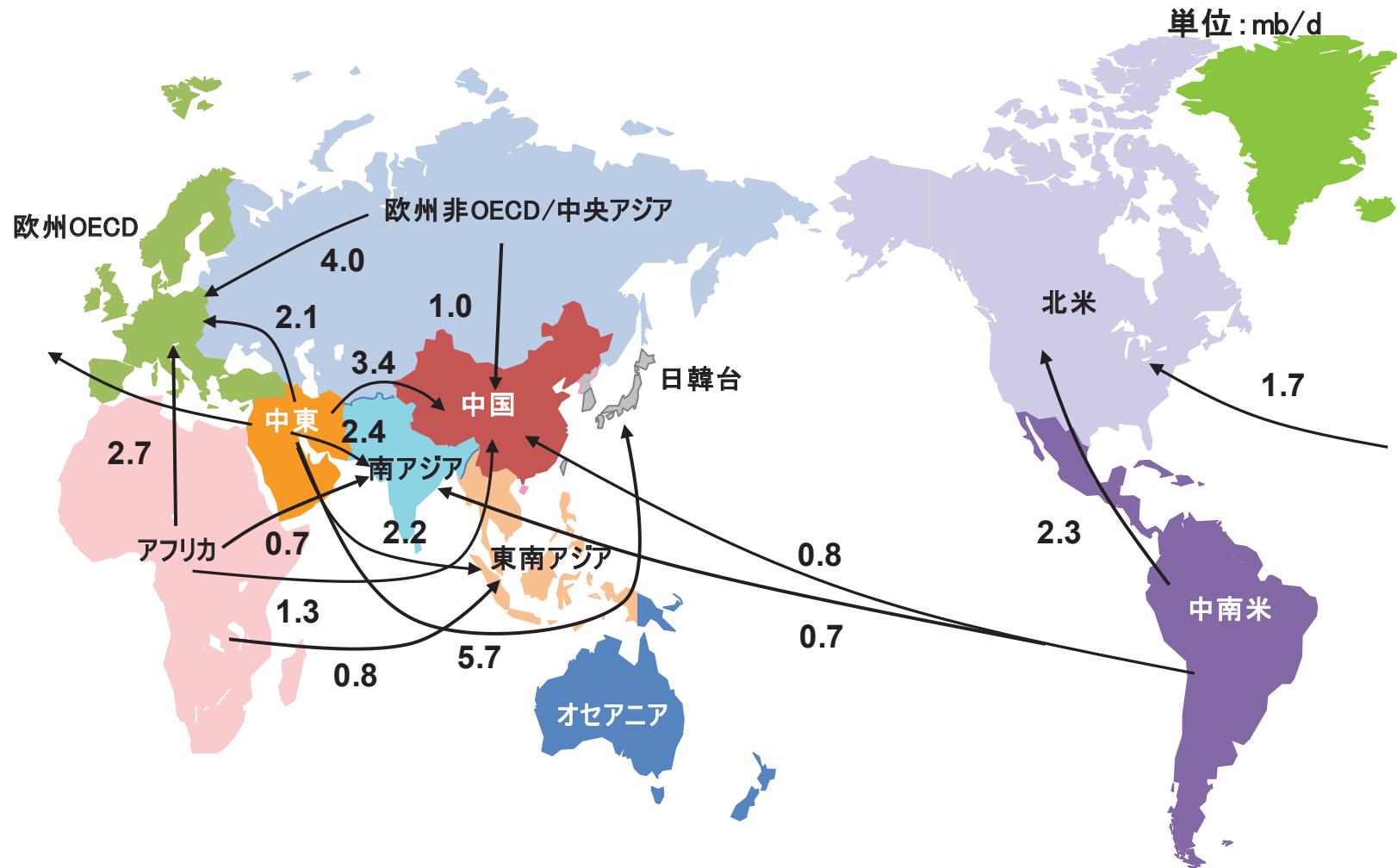


天然ガス



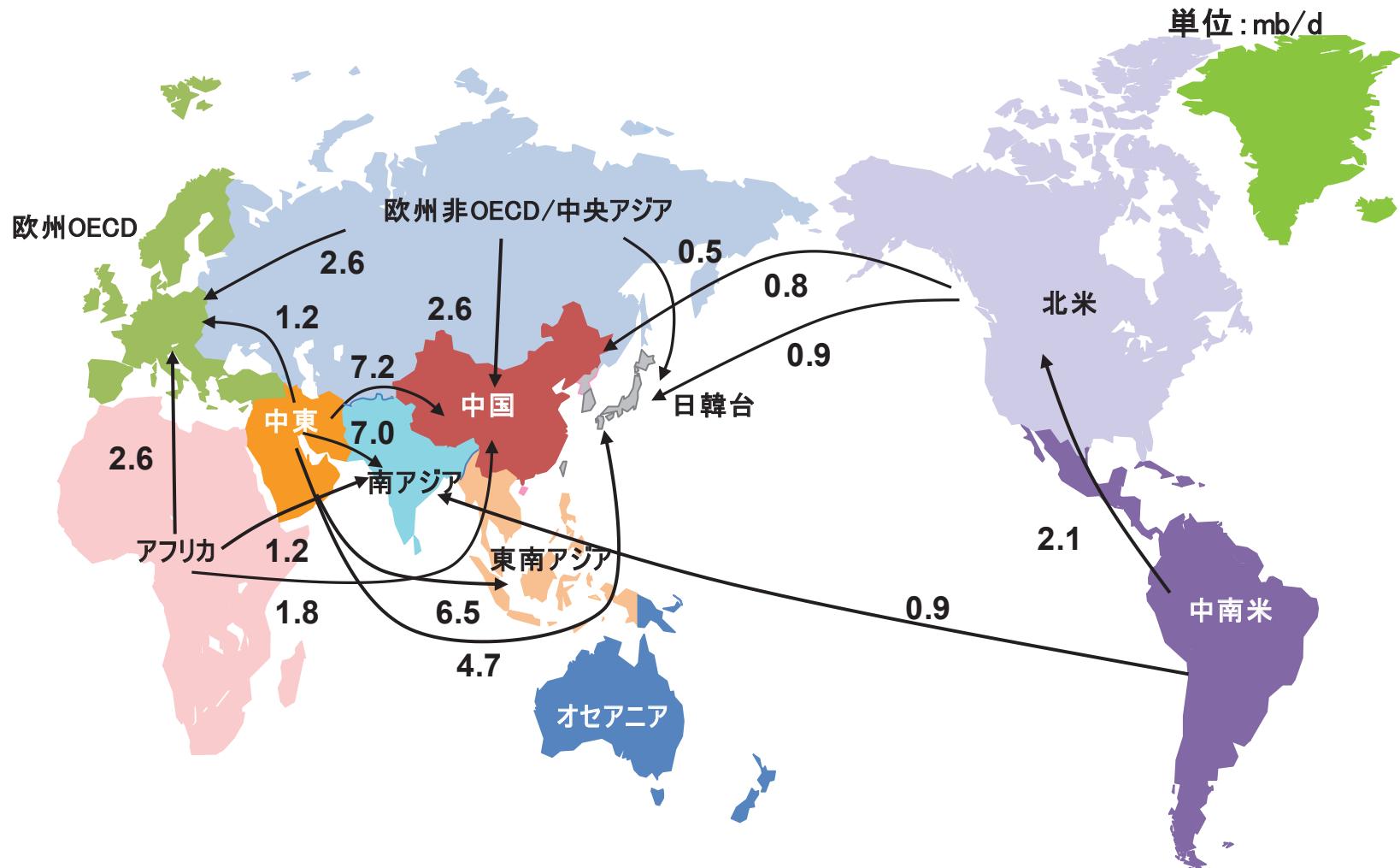
- 2040年にかけて石油需要はアジアで拡大する一方、北米は自給に向かう。
- アジアの需要増加に対応するため、中東で石油の純輸出量が増加。
- 天然ガス輸入も主にアジアで拡大。また、北米からの輸出が増加。

主要な原油貿易フロー(2015年)



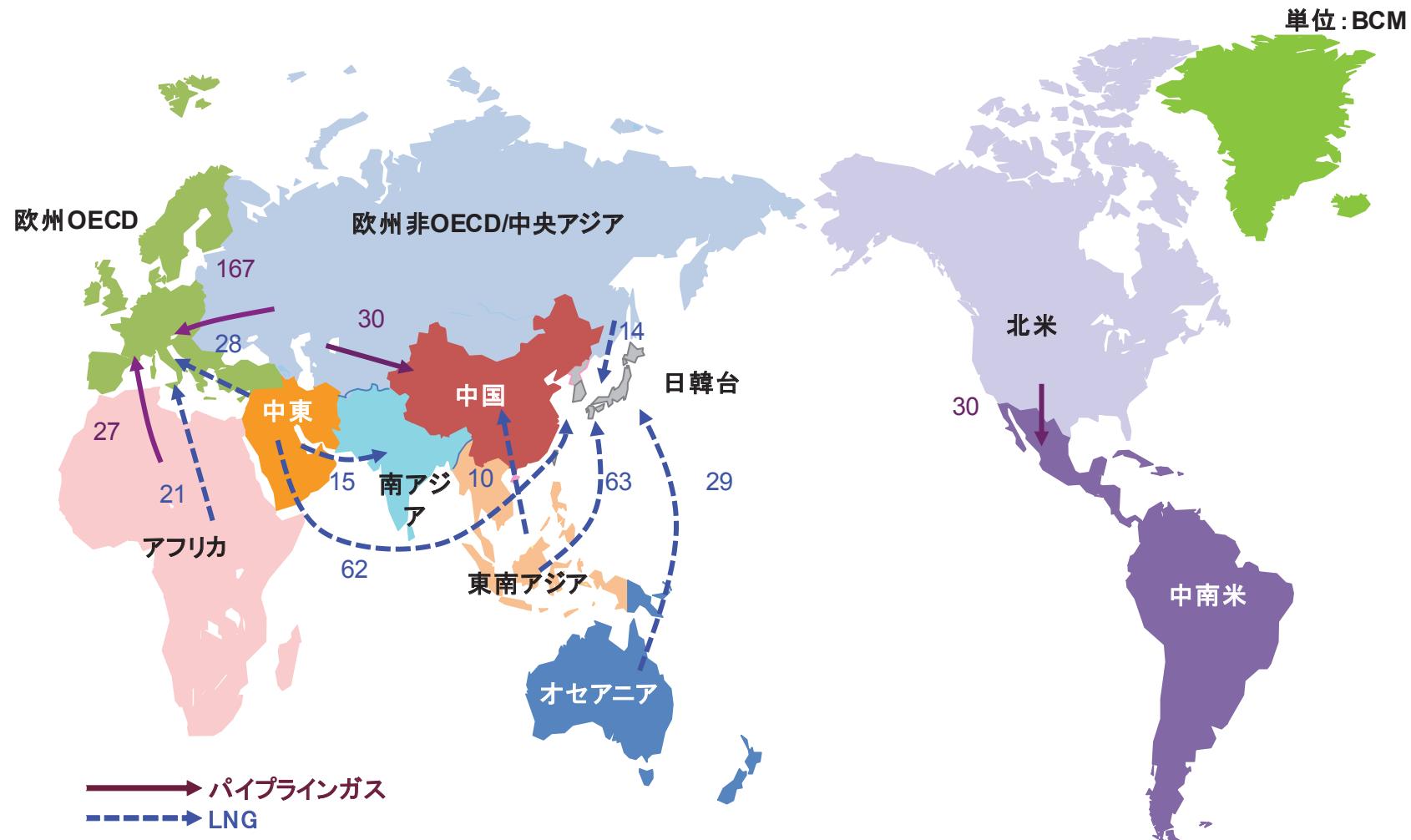
- 2015年現在、世界の原油貿易は中東、アフリカ、旧ソ連、中南米等の生産地域から、北米・アジア・欧州等の需要地域へと向かっている。

主要な原油貿易フロー(レファレンスケース2040年)



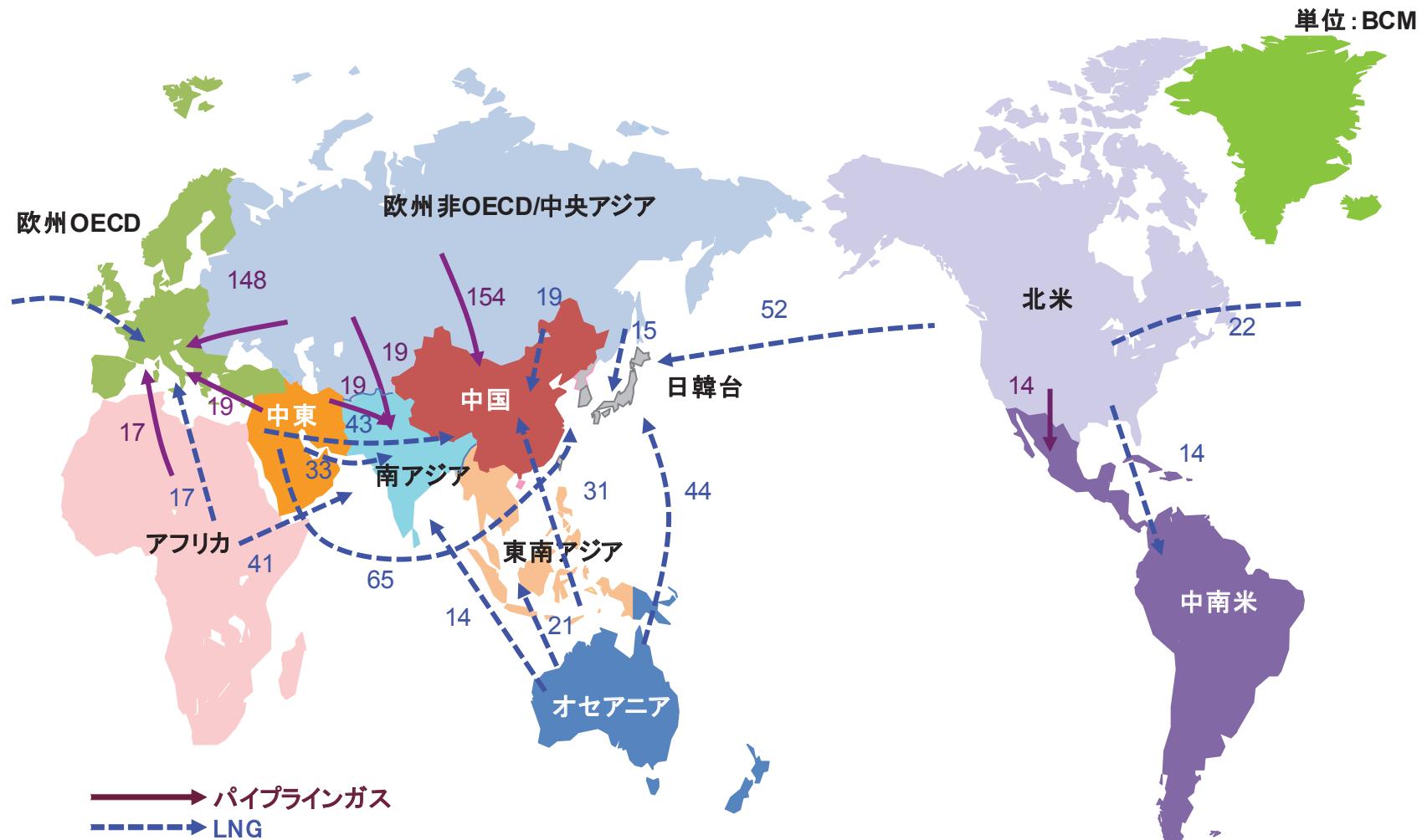
- 中国の原油輸入は12.4mb/dとなり、中東・アフリカ・旧ソ連・北米等、多様な地域からの輸入が拡大する。
- 中東から北米への原油輸出は計算上ゼロとなり、輸出はアジアに集中。

主要な天然ガス貿易フロー(2015年)



- 2015年現在、パイプラインガスの場合、ロシアを中心とするヨーロッパ非OECD/中央アジアからヨーロッパ、LNGの場合、東南アジア、オセアニア、中東から日韓台である。

主要な天然ガス貿易フロー(レファレンスケース2040年)



- 北米はアジア及び欧州向けの主要なLNG供給源として台頭する。
- 中国や南アジアはさらに欧州非OECD/中央アジアや中東からの輸入量を増加させる。

エネルギーセキュリティ

これまでのエネルギーセキュリティの危機の例

第一次石油危機	第二次石油危機	ウクライナへのロシア産天然ガス供給停止
1973-1974年 第四次中東戦争を受け、OPEC湾岸産油国が原油価格引き上げ。 OAPECが原油生産の段階的削減とアメリカ、オランダなどイスラエル支持国への原油禁輸決定	1978-1982年 イラン革命を機に一時的にイランの原油輸出が停止。 OPECが原油価格の引き上げを決定。 第一次石油危機時のような原油が量的に不足する事態は回避	2006年～ [2006年] ロシアがウクライナ向け天然ガス供給量の30%を削減。 ウクライナが天然ガスの利用を続行したため、EUで天然ガスの圧力が低下。 [2009年] ロシアがウクライナ向け天然ガス供給を停止。歐州向けの供給も停止
アラビアンライト 1973年: \$2.83/bbl 1974年: \$10.41/bbl	アラビアンライト 1978年: \$13.03/bbl 1980年: \$35.69/bbl	EUでは天然ガス価格の顕著な上昇なし
世界の石油依存度 1973年: 46%	世界の石油依存度 1979年: 44%	EUの天然ガス依存度 2006年: 24% 2009年: 25%

中東情勢にかかる懸念材料

サウジアラビア
—イラン関係

産油国政治体制の
不安定化
支配層の高齢化・
健康問題
政治改革要求

財政悪化により國
民負担増加
→ 不満の蓄積、
インフラ整備遅延

パレスチナ
問題

「イスラム国」
(IS)問題

など

油田など
石油施設へ
のテロ攻撃?

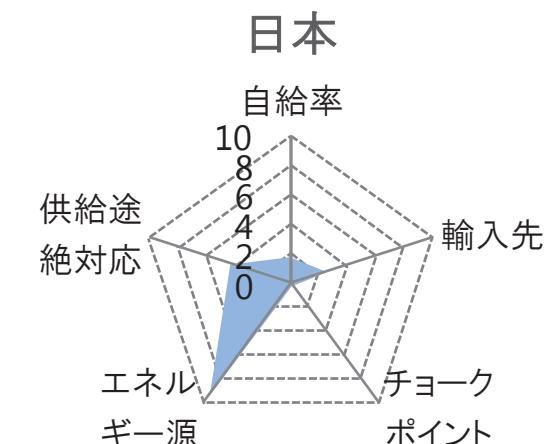
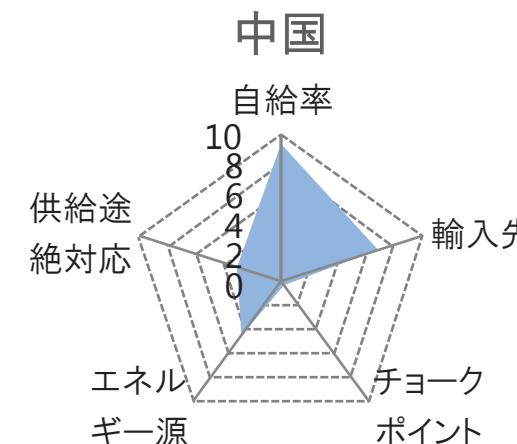
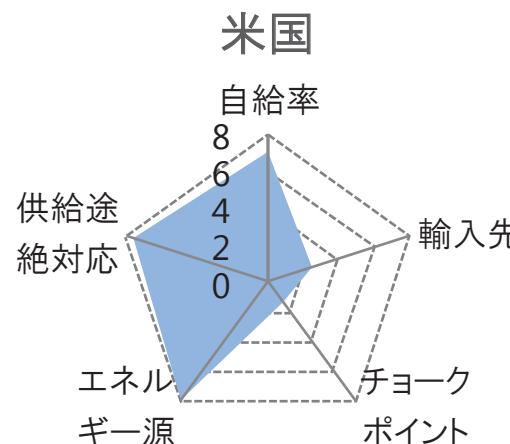
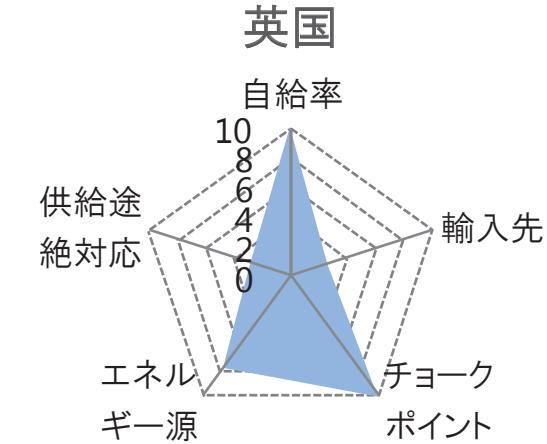
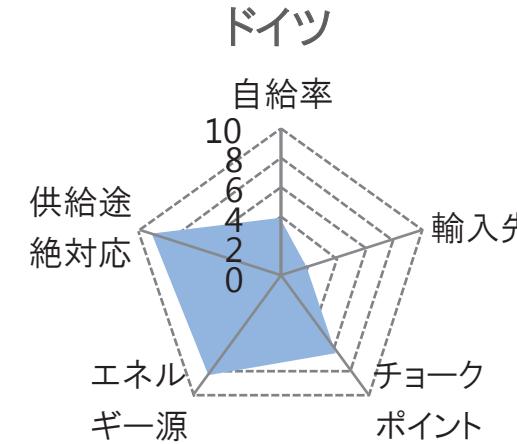
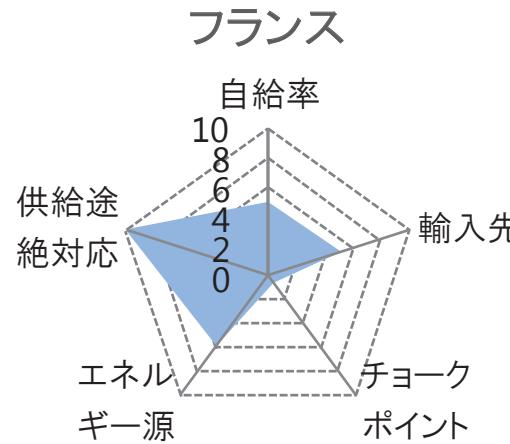
国家間の武力
衝突 ... シリア情
勢、イエメン情
勢混迷化?

石油武器
戦略再発動?

国内の混乱
による石油生
産停止?

など

エネルギーセキュリティインデックス



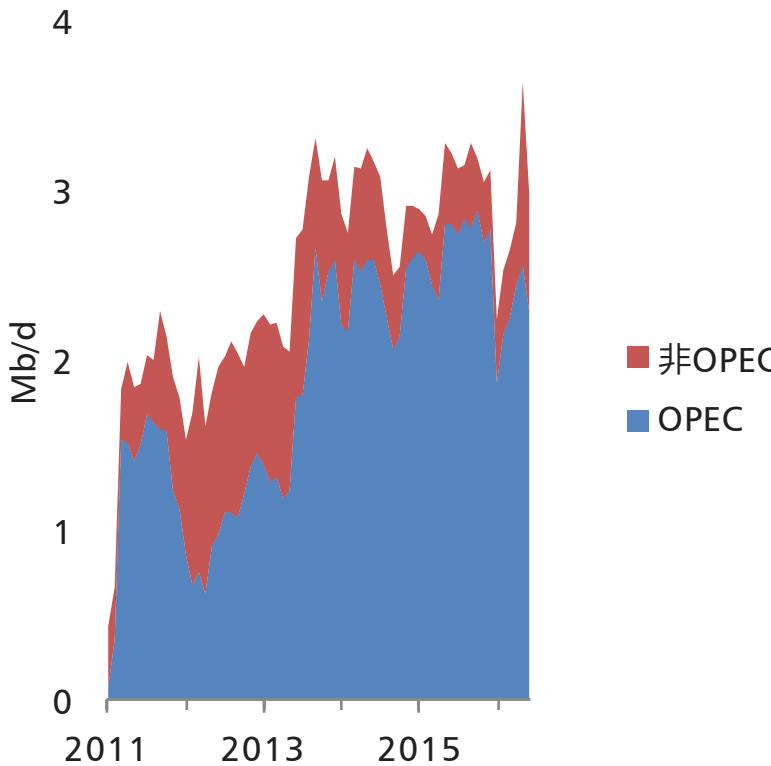
- (1)国産・準国産エネルギー資源の開発・利用
 - …一次エネルギー自給率(原子力含む)
- (2)エネルギー輸入先多様化
 - …各資源輸入相手国の寡占度

- (3)資源の輸送リスク管理
 - …チョークポイントリスクへの依存度
- (4)エネルギー供給源構造多様化
 - …一次エネルギー供給源の分散度
 - …発電電力量構成の分散度

- (5)供給途絶への対応
 - …石油備蓄日数
- 出所:「エネルギー白書2010」を加工

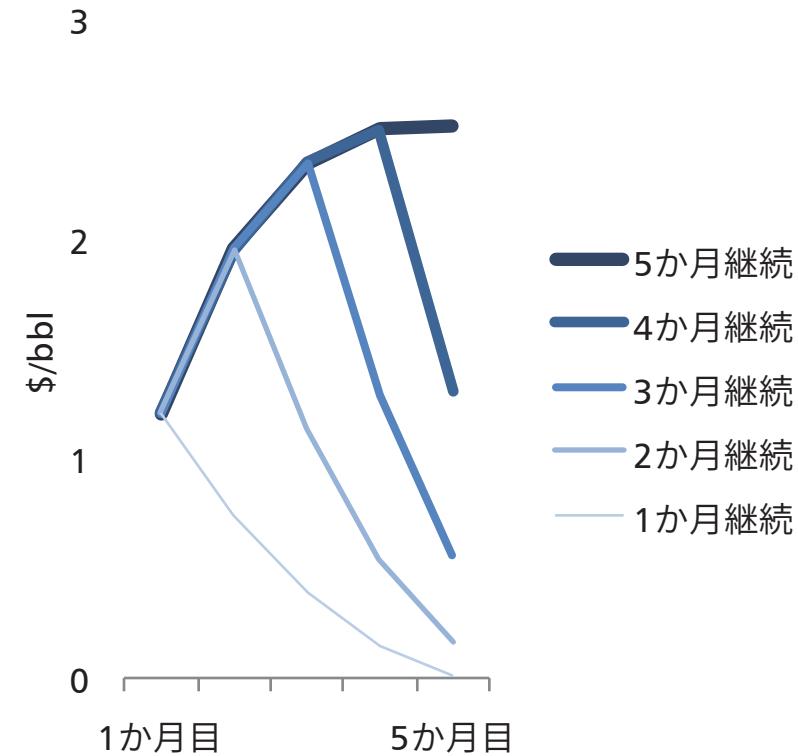
化石燃料の安定供給は当たり前か?

【原油の計画外生産停止量】



出所: US DOE/EIA

【100 kb/dの計画外生産停止による原油価格への影響】



注: 非OPECで生産停止が発生した場合。2011-2016年上期平均

- 化石燃料は、人々が日々需要するエネルギーの8割超を担っている。
近年は原油の大規模な途絶は発生していないが、計画外生産停止は常にいざこかで生じている
- 100 kb/dの計画外生産停止が、実際に減産に結びつきがちな非OPECで発生すると、その月の原油価格を\$1.2/bbl押し上げる効果があった。停止が5か月継続すれば、上昇幅は\$2.5/bblまで拡大

技術進展ケースにおける諸前提

技術進展ケースの前提

世界各国がエネルギー安定供給の確保、気候変動対策を一層強化すると共に、既存技術の効率改善や国際的な技術移転が促進し、新技術の普及が世界的により一層拡大するケース

環境規制や国家目標の導入、強化

国家的戦略・目標設定、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・環境ラベリング制度、再生可能エネルギー導入基準、固定価格買取制度、補助金・助成制度、環境税、排出量取引等

技術開発強化や国際的な技術協力の推進

研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネ基準制度の構築支援等

【需要サイドの技術】

■ 産業部門

セクトラルアプローチ等により最高効率水準(ベストプラクティス)の産業プロセス技術(鉄鋼、セメント、紙パルプ等)が世界的に普及

■ 運輸部門

クリーンエネルギー自動車(低燃費車、ハイブリッド車、プライグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車)の普及拡大

■ 民生部門

省エネ家電(冷蔵庫、テレビ等)、高効率給湯器(ヒートポンプ等)、高効率空調機器、高効率照明の普及拡大、断熱強化

【供給サイドの技術】

■ 再生可能エネルギー

風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、海洋発電、バイオ燃料の普及拡大

■ 原子力導入促進

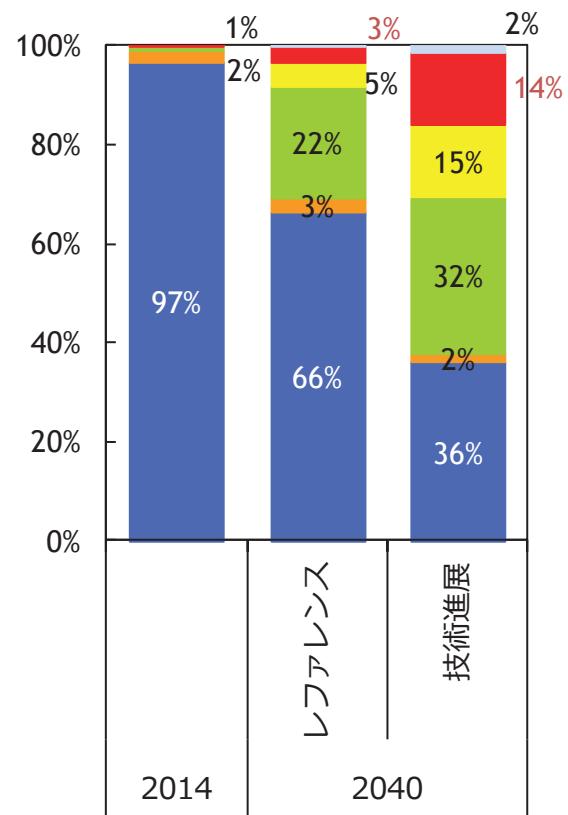
原子力発電建設加速化、設備利用率向上

■ 高効率火力発電技術

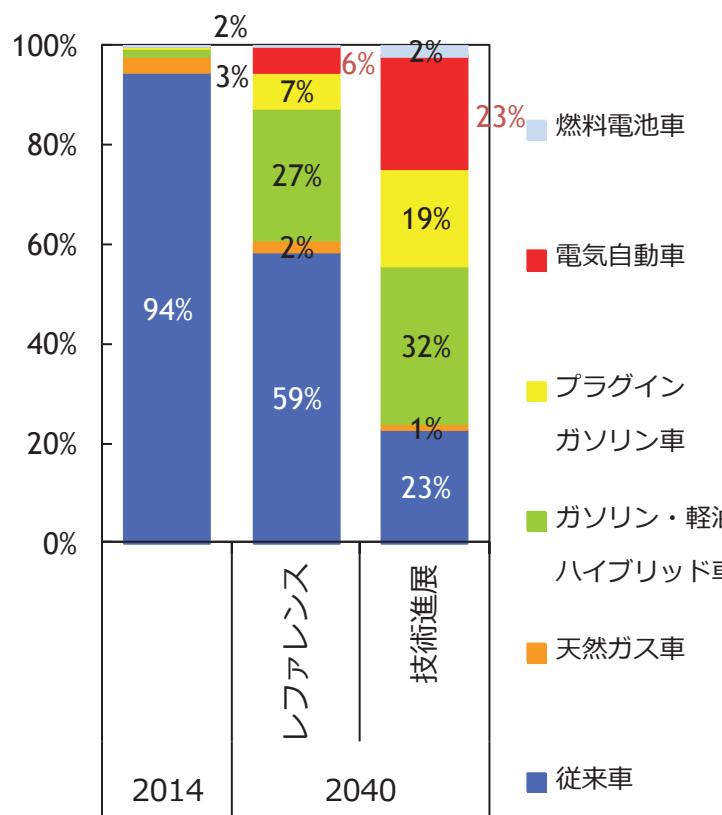
超々臨界圧石炭火力、石炭IGCC、石炭IGFC、天然ガスMACCの普及拡大

技術進展ケースの前提(自動車:世界)

【自動車保有台数の構成】



【年間販売台数の構成】



クリーンエネルギー自動車の導入シェア(2040年)

レファレンス
34 %
技術進展
64 %

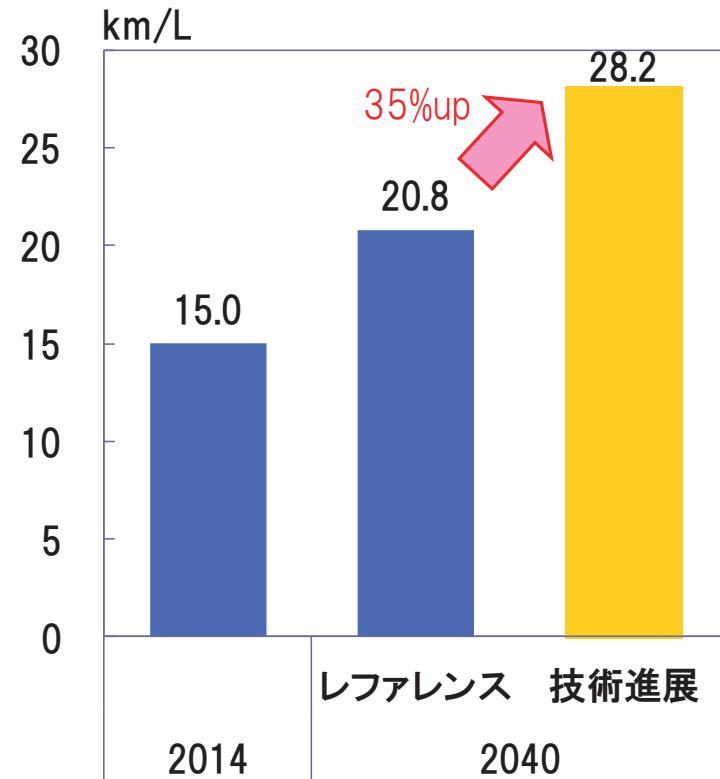
クリーンエネルギー自動車の年間販売シェア(2040年)

レファレンス
41 %
技術進展
77 %

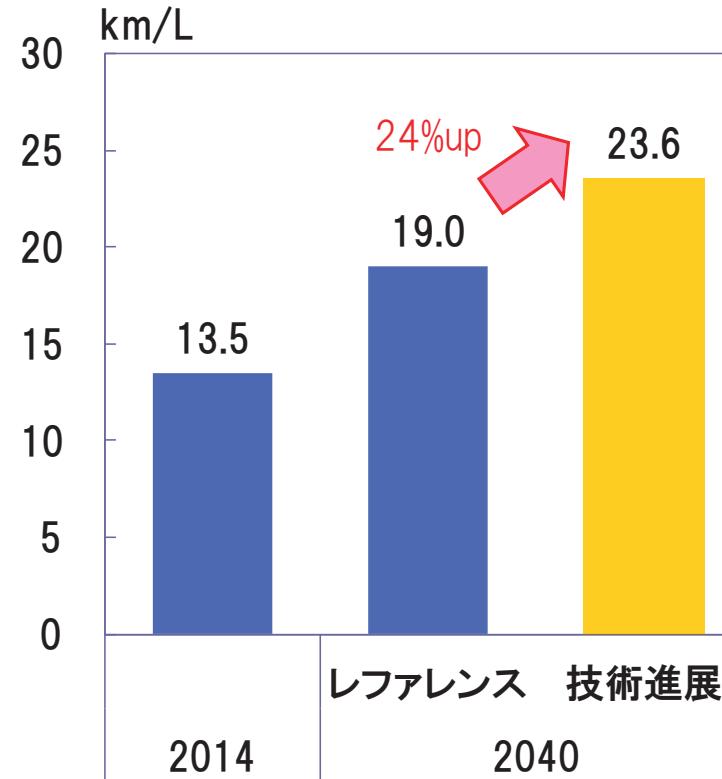
- レファレンスケースでは、従来車(内燃機関車)が2040年に保有台数の66%、販売台数の59%を占める。クリーンエネルギー自動車は、ハイブリッド車を中心に保有・販売共に増加する。
- 技術進展ケースでは、従来車が2040年に保有台数の36%、販売台数の23%まで減少する。クリーンエネルギー自動車は、保有台数では、ハイブリッド車(32%)、プラグインハイブリッド車(15%)、電気自動車(14%)が主流となる。販売台数でも同様に、ハイブリッド車(32%)、プラグインハイブリッド車(19%)、電気自動車(23%)が主流となり、燃料電池自動車の導入も進む(2%)。

技術進展ケースの前提(乗用車燃費:世界)

新車燃費



保有燃費



新車燃費

2014年	<u>15 km/L</u>
↓	↓
2040年	技術進展
レファレンス	<u>21 km/L</u> <u>28 km/L</u> (1.4倍に増加) (1.9倍に増加)

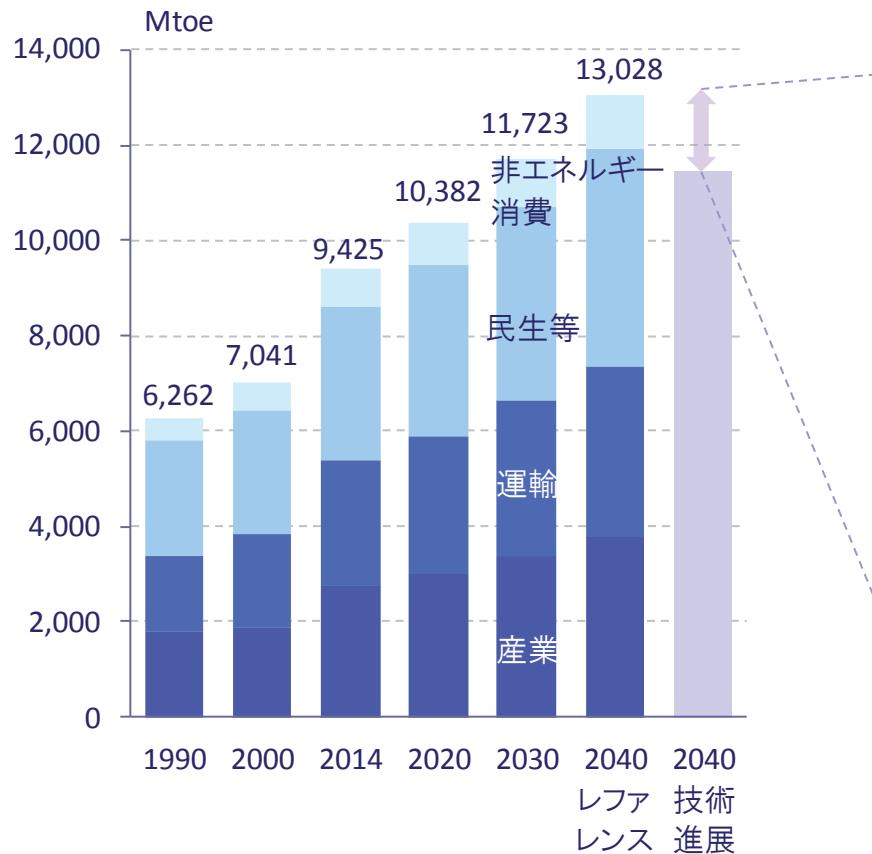
保有燃費

2014年	<u>13.5 km/L</u>
↓	↓
2040年	技術進展
レファレンス	<u>19 km/L</u> <u>24 km/L</u> (1.4倍に増加) (1.7倍に増加)

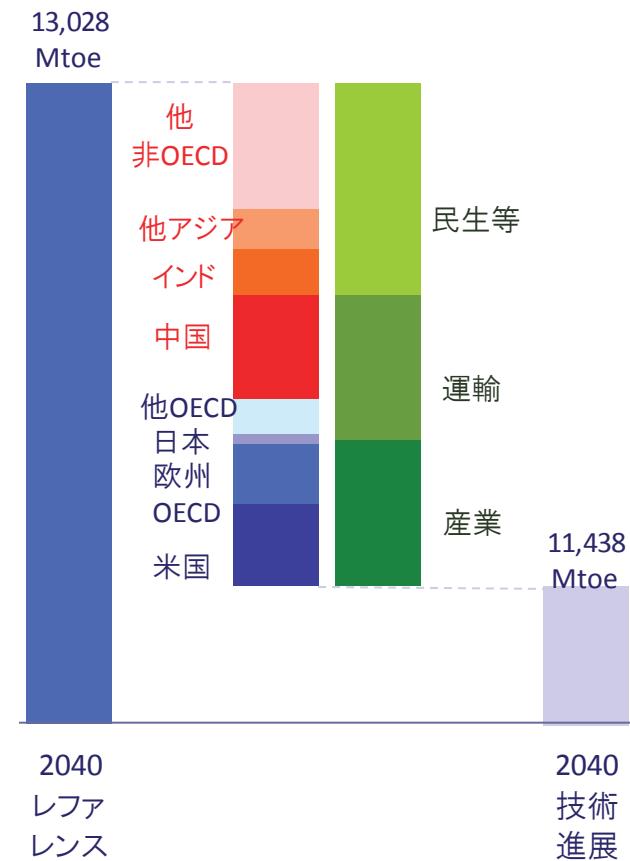
- 技術進展ケースにおける2040年の新車の燃費は、プラグインハイブリッド車、電気自動車等の次世代自動車の普及拡大により、レファレンスケースに比べて35%改善する。
- 同様に、保有自動車の燃費は24%改善する。

省エネルギー量の部門別・国別内訳

世界の最終エネルギー消費の見通し



省エネルギー量の地域別・部門別内訳



- 世界の最終エネルギー消費は2014年の9,425Mtoeから、レファレンスケースでは2040年に 1.4倍の13,028Mtoeまで拡大。
- 技術進展ケースでは2040年でレファレンスケース比12%減の11,438Mtoeとなる。省エネルギー量のうち約6割を非OECD諸国が占める。部門別では民生他部門(家庭、業務など)の占める比率が42%と大きい。

2050年までの世界のエネルギー需給展望と 気候変動問題への対応

主な前提条件：GDP、人口、エネルギー価格

	2014年	2040年	2050年
GDP (2010年実質価格)	73 兆ドル (1990-2014年成長率:2.8%)	152 兆ドル (2014-2040年成長率:2.9%)	192 兆ドル (2040-2050年成長率:2.4%) (2014-2050年成長率:2.7%)
人口	72 億人	92 億人 (2014年比 20億人増)	97 億人 (2014年比 25億人増)
一人当たり 実質GDP	1.0 万ドル	1.7 万ドル	2.0 万ドル
原油価格 (日本の輸入CIF価格、 2015年実質価格)	(2015年) 52 ドル/バレル	125 ドル/バレル (名目価格:205 ドル/バレル)	130 ドル/バレル (名目価格:260 ドル/バレル)

- 世界のGDPは、2014年から2050年にかけて年平均2.7%で成長。
- 世界の人口は、2014年の72億人から2050年には97億人へ増加。
- 原油価格(日本の輸入CIF価格、2015年実質価格)は
2015年の52ドル/バレルから 2050年に130ドル/バレルへ上昇。

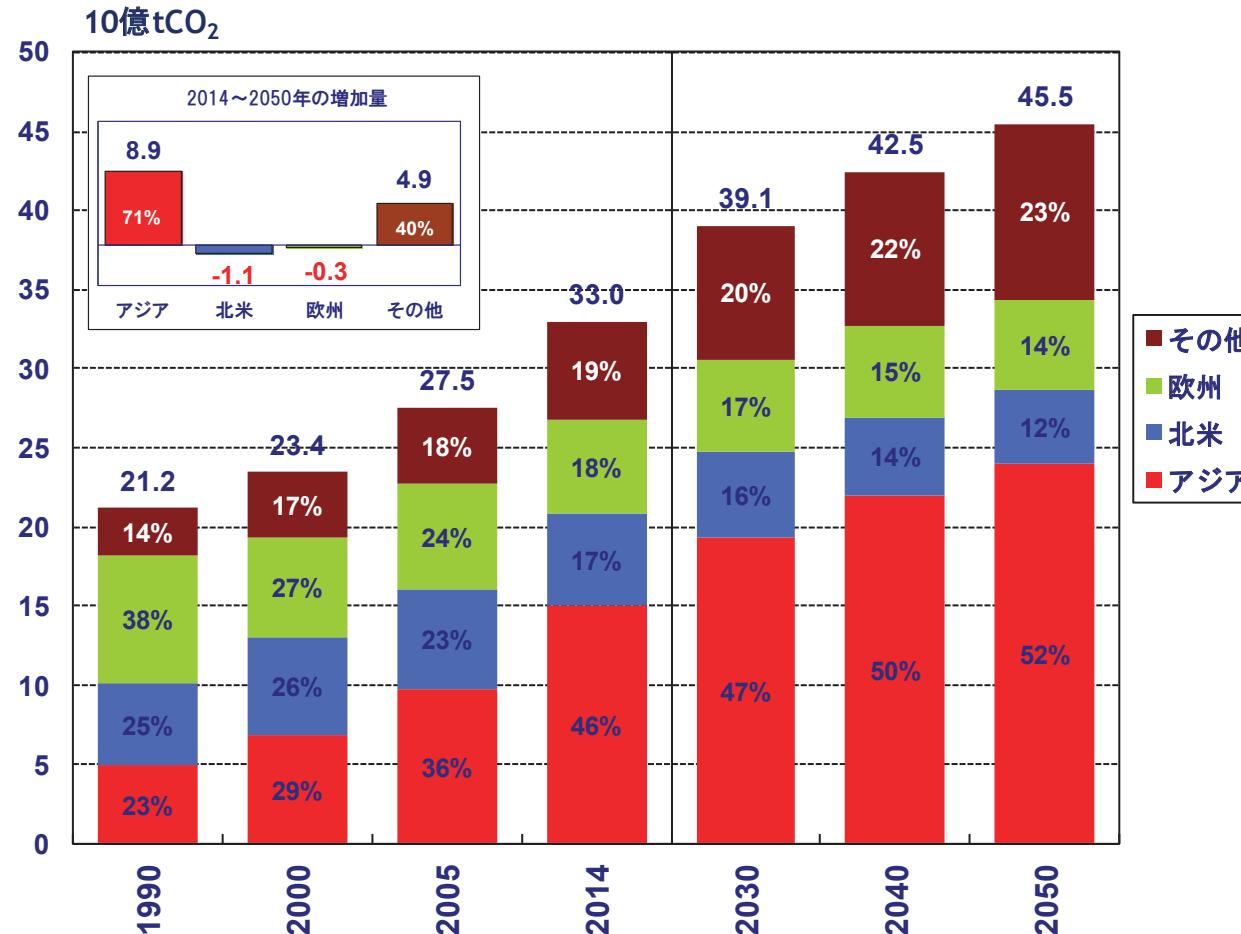
主な前提条件：エネルギー・環境技術

	2014年 実績	2040年		2050年	
		レファレンス	技術進展	レファレンス	技術進展
原子力	(2015年) 399 GW	612 GW	846 GW	694 GW	992 GW
発電効率	石炭火力: 37% ガス火力: 41%	石炭火力: 41% ガス火力: 52%	石炭火力: 41% ガス火力: 53%	石炭火力: 42% ガス火力: 54%	石炭火力: 45% ガス火力: 57%
太陽光発電	175 GW	857 GW	1,433 GW	1,216 GW	2,080 GW
太陽熱発電	4 GW	84 GW	220 GW	153 GW	407 GW
風力発電	366 GW	1,170 GW	1,764 GW	1,572 GW	2,417 GW
バイオマス発電	76 GW	201 GW	226 GW	244 GW	268 GW
バイオ燃料	73 Mtoe	120 Mtoe	174 Mtoe	122 Mtoe	203 Mtoe
次世代車販売比率 上:プラグインハイブリッド車 下:電気自動車/燃料電池車	0% 3%	7% 8%	19% 26%	8% 10%	21% 36%
乗用車新車平均燃費	15 km/L	21 km/L	28 km/L	23 km/L	33 km/L

- 2050年の技術進展ケースでの風力発電設備量は2014年比7倍、太陽光12倍、太陽熱94倍、バイオマス発電は4倍へ拡大する。
- 天然ガス自動車や電気自動車、プラグインハイブリッド自動車などのクリーンエネルギー自動車が2050年の新車販売台数に占める比率は、レファレンスケースで48%、技術進展ケースで85%へ拡大。

世界のCO₂排出量

レファレンスケース



世界

2014年
330億トン
↓
2050年
455億トン
(約1.4倍に増加)

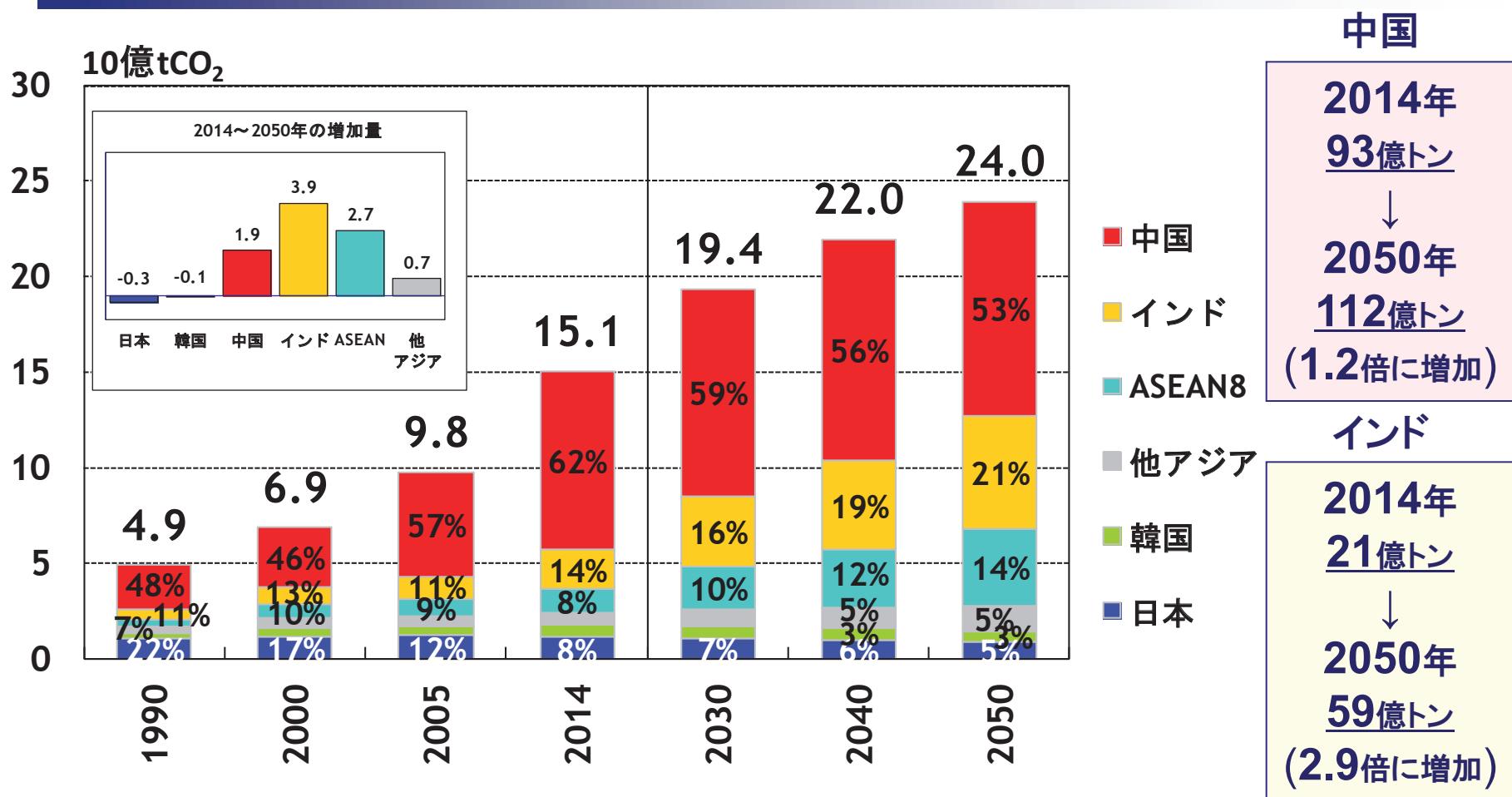
アジア

2014年
151億トン
↓
2050年
240億トン
(約1.6倍に増加)

- 世界のCO₂排出量は2014年の330億トンから、2050年に455億トンに増加する。
- アジアが2050年までの世界のCO₂排出量増分の約7割を占める。世界の排出量に占める欧米諸国のシェアは2014年の36%から2050年には23%へ減少する。

アジアのCO₂排出量

レファレンスケース



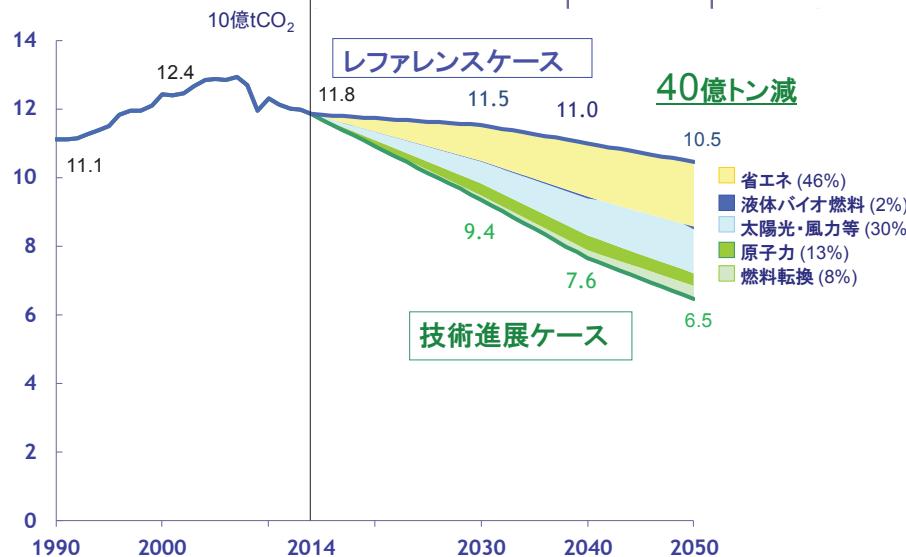
- 石炭消費の増加に伴い中国、インドのCO₂排出量は大きく増加し、2050年には中国、インドの排出量がアジア全体の7割以上を占める。
- 2014年から2050年の世界のCO₂排出增加量のうち、アジアが約7割を占めることから、同地域における化石燃料のクリーン利用等のCO₂排出削減策の実施が重要となる。

技術による世界のCO₂排出削減 (OECD・非OECD別)

レファレンスケース
技術進展ケース

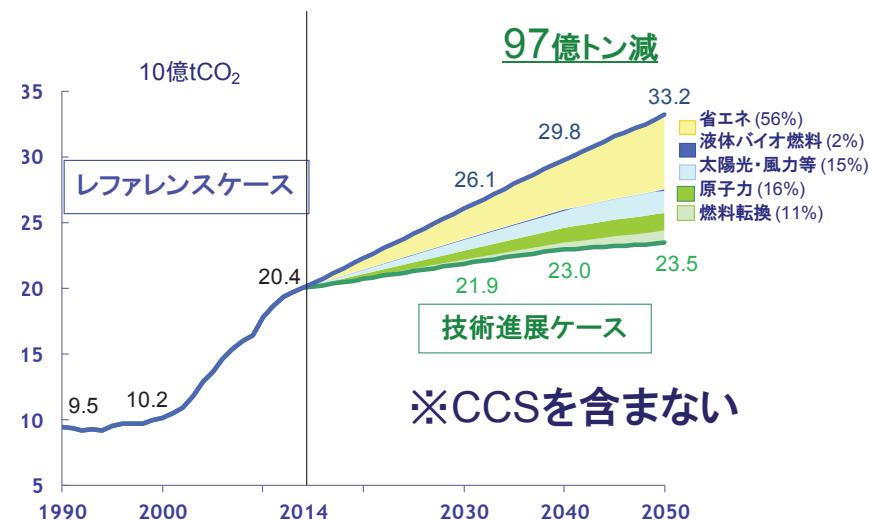
OECD

	10億tCO ₂	比率
省エネ	1.9	47%
バイオ燃料	0.1	2%
太陽光・風力等	1.3	32%
原子力	0.4	9%
燃料転換	0.4	9%
計	4.0	100%



非OECD

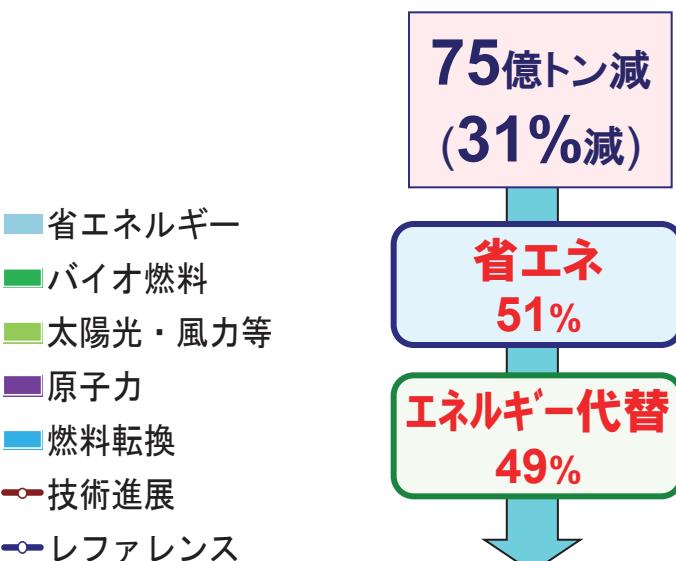
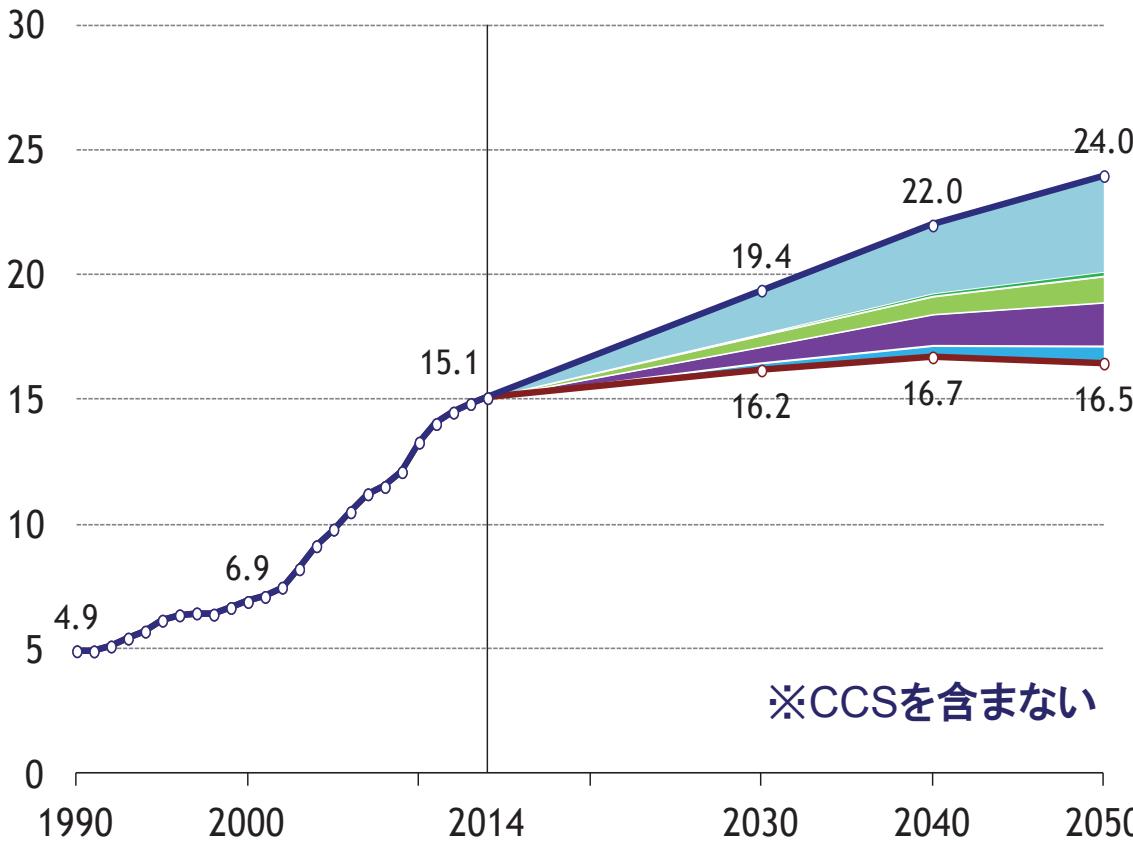
	10億tCO ₂	比率
省エネ	5.6	58%
バイオ燃料	0.1	1%
太陽光・風力等	1.7	18%
原子力	1.3	14%
燃料転換	0.9	10%
計	9.7	100%



- 2050年のOECDのCO₂削減量40億トンのうち、省エネ19億トン(総削減量に占める割合:47%)、再生可能エネルギー14億トン(同34%)、原子力4億トン(同9%)、燃料転換4億トン(同9%)の削減に貢献する。
- 2050年の非OECDの削減量97億トンのうち、省エネ56億トン(同58%)、再生可能エネルギー18億トン(同19%)、原子力13億トン(同14%)、燃料転換9億トン(同10%)の削減に貢献する。
- 特に非OECDでの省エネによるCO₂排出削減量が大きく、技術移転や制度構築支援等による非OECD諸国への省エネ支援の意義は極めて大きい。

技術によるアジアのCO₂排出削減

レファレンスケース
技術進展ケース

10億tCO₂

2050年	削減寄与(10億tCO ₂)	シェア
省エネ	3.9	51%
バイオ燃料	0.2	2%
太陽光・風力等	1.1	14%
原子力	1.7	23%
燃料転換	0.7	9%
計	7.5	100%

- 非OECDアジアを中心に、積極的なエネルギー技術協力や、先端技術の移転促進を通じて革新的技術の普及拡大を進めることで、CO₂排出量の中期的な伸びは大きく抑制される。

アジアのCO₂排出削減(地域別)

レファレンスケース
技術進展ケース

10億tCO₂

30

25

20

15

10

5

0

1990

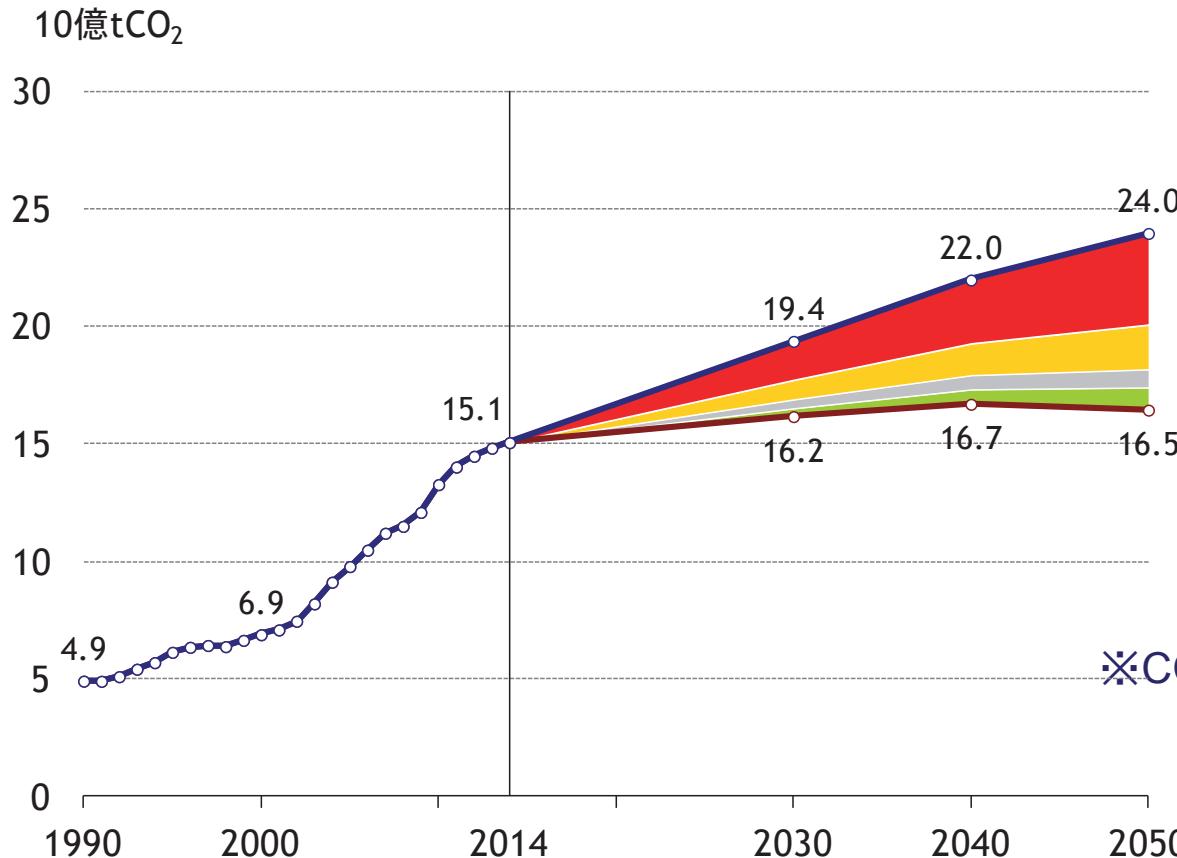
2000

2014

2030

2040

2050



総削減量75億トン
(31%減)

中国

39億トン減
(総削減量の52%)

インド

19億トン減
(総削減量の25%)

ASEAN8

8億トン減
(総削減量の11%)

※CCSを含まない

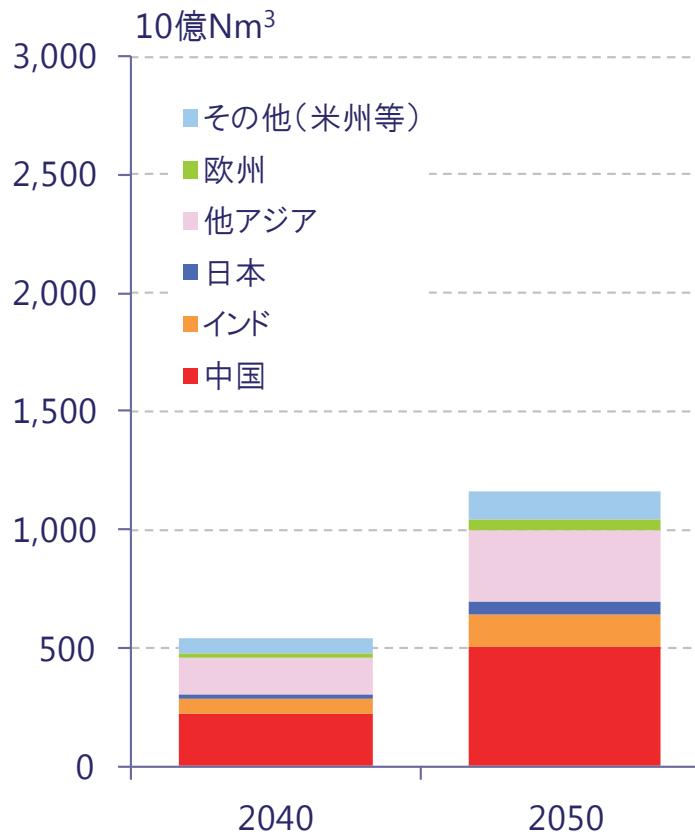
- 低炭素技術の普及拡大により、2050年においてアジアのCO₂排出量は75億トン削減される。
- 2050年のアジアのCO₂排出削減量(技術進展ケースとレファレンスケースとの差分)を地域別に見ると、中国における削減量は39億トンに達し、アジア域内の削減量の5割以上を占める。さらに、インドとASEAN諸国が合わせて削減量の約4割を占める。

水素

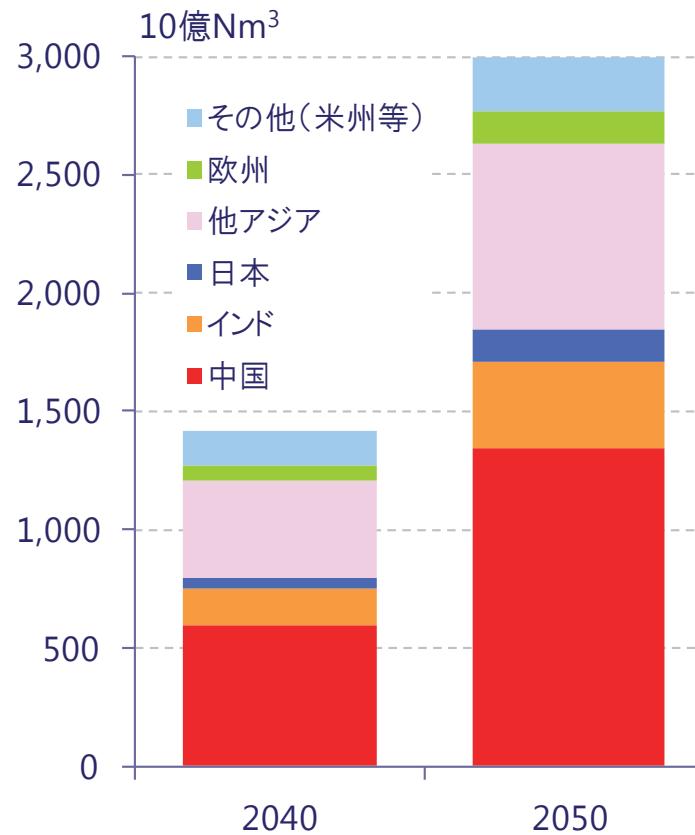
発電部門の水素需要

水素利用ケース

[水素低位ケース]



[水素高位ケース]

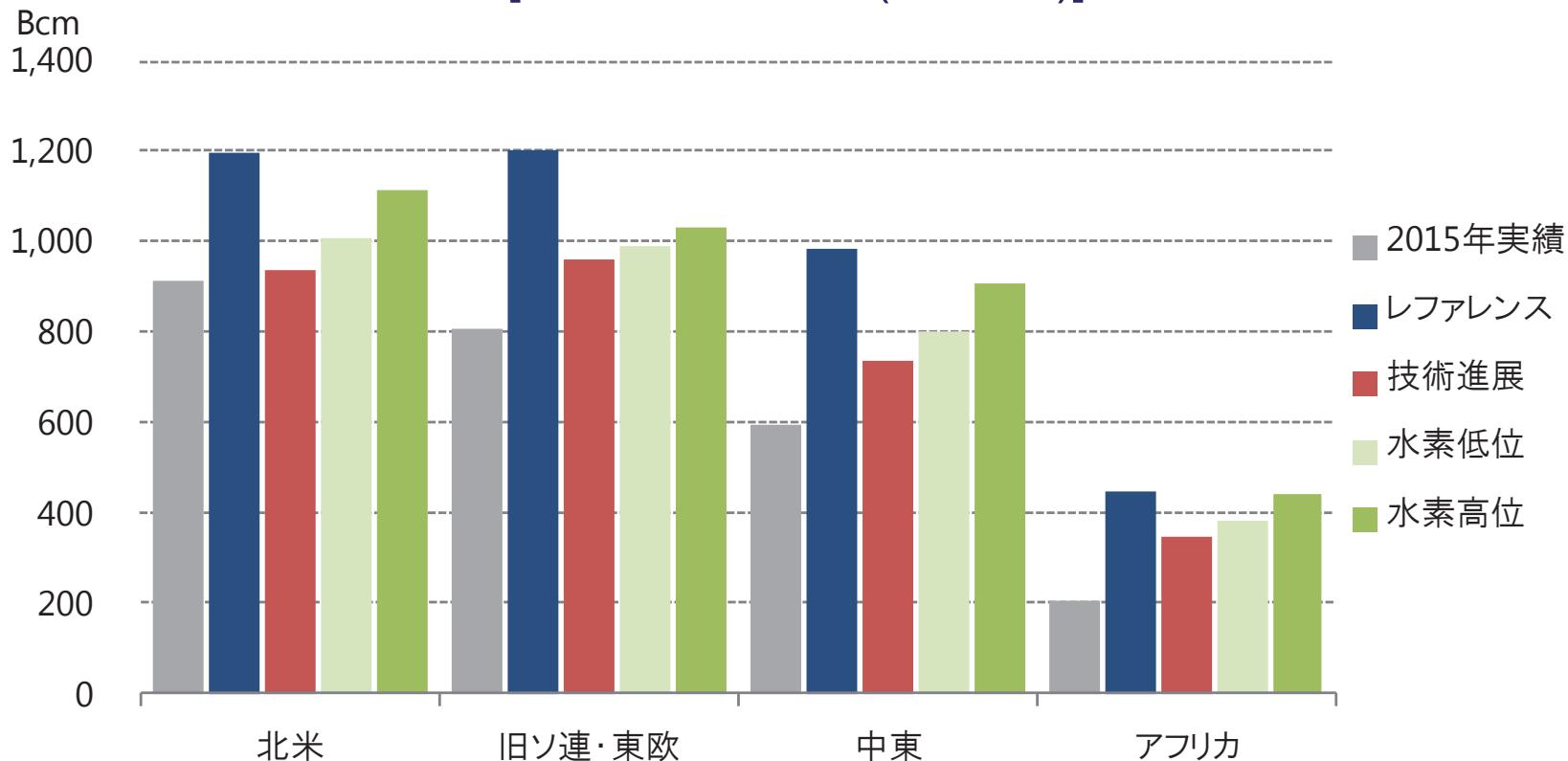


- 水素利用シナリオでは、発電部門の水素需要は2050年に低位ケースで約1兆1,500億Nm³、高位ケースで約3兆Nm³となる。いずれのケースでも、発電部門での水素需要は全体の9割以上を占めており、世界の発電量に占める水素発電の割合は、2050年に低位ケースで5%、高位ケースで13%となる。

天然ガス生産量の増加

水素利用ケース

[天然ガス生産量(2040年)]

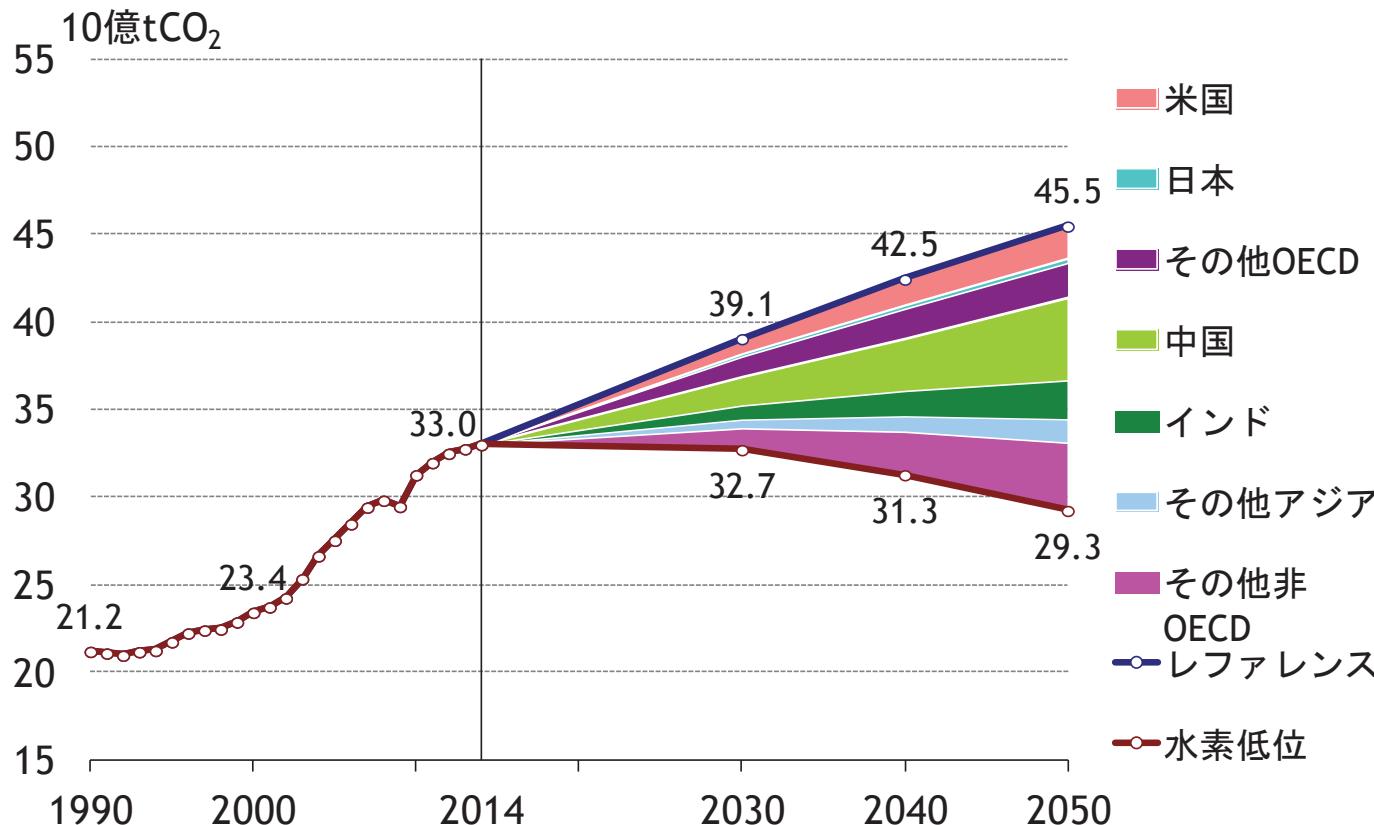


- 豪州等では褐炭から水素が生産される一方、大半の地域では天然ガスを原料とした水素製造が行われる。そのため、水素利用ケースでは天然ガス生産量が増加する。
- 北米の2040年の天然ガス生産量は、技術進展ケースの935Bcmに対して、水素低位ケースで1,006Bcm、高位ケースで1,115Bcmに増加するが、レファレンスケースを下回る水準である。

世界のCO₂排出量(地域別)

レファレンスケース
水素低位ケース+CCS

IEE
JAPAN



2050年のCO₂削減量内訳

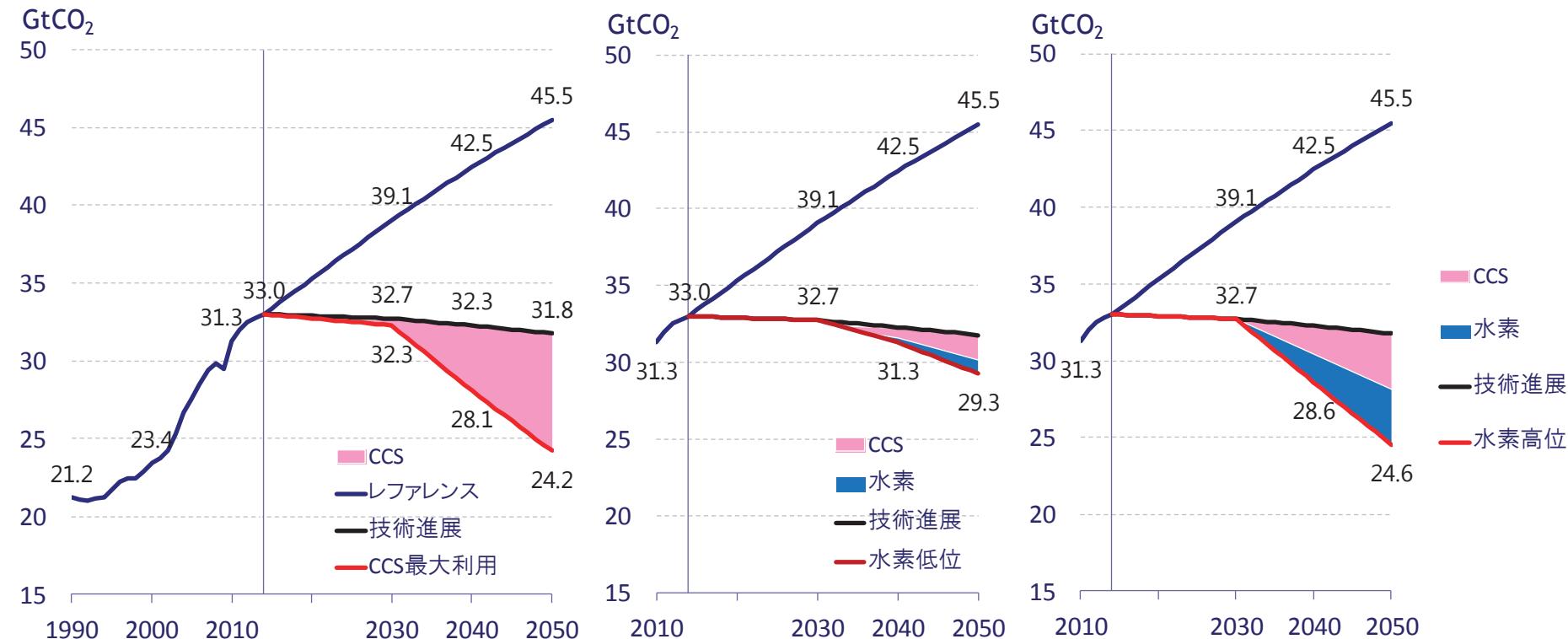
	億トン	比率
米国	18	11%
日本	3	2%
他OECD	20	12%
中国	47	29%
インド	23	14%
他アジア	13	8%
他非OECD	38	24%
OECD	41	25%
非OECD	122	75%
アジア非OECD	83	51%
世界計	162	100%

- アジア(非OECDアジアの削減量83億トン、同51%)や中国(削減量47億トン、同29%)における削減ポテンシャルが大きい。

世界のCO₂排出量(ケース別)

技術進展ケース+CCS
水素利用ケース IEE JAPAN

[世界のエネルギー起源CO₂排出量]
(左: CCS最大利用、中: 水素低位、右: 水素高位)



- CCS最大利用ケースでは、2050年のCO₂排出量はCCSにより7.6Gt削減され、24.2Gtまで減少する。他方、水素利用ケースでは、全ての国・地域でCCSが導入可能でないため、CCSによるCO₂削減量は相対的に小さい。
- 2050年のCO₂排出量は、水素低位ケースで 29.3Gt、高位ケースで24.6Gtまで削減される。

原子力

主要国の安全規制機関比較(1)欧米主要国

	アメリカ	フランス	イギリス	スウェーデン	フィンランド
規制機関	NRC	ASN	ONR	SSM	STUK
位置付け	連邦政府の独立機関	独立機関	公社	環境省下の独立機関	社会保険省下の独立機関
法的根拠	1974年 「エネルギー機構再組織法」	2006年 「原子力に関する透明性及び安全性に関する法律」	2013年※1 「エネルギー法」	2008年 「原子力活動法」	2015年※2 「原子力法」
マネジメント・意思決定	委員会 (5名の委員による票決)	委員会 (5名の委員による合議)	役員会※3	長官の下に「原子力施設安全部」等の各部局が存在	長官の下に「原子炉規制部」等の各部局が存在
(参考) スタッフ数	約4,000名	約470名	約500名	約300名	約320名

※1 2008年から自主的に規制組織の改編に着手。2013年「エネルギー法」に基づき、2014年にONRを創設

※2 2015年以前から独立規制機関として機能していたが、2012年のIRRSの勧告を踏まえ、2015年に法的根拠を明確化

※3 規制に関する決定は役員会が任命する主任検査官の指導のもと、十分な専門性と経験を有する職員が行い、役員会自身は責任を負わない

主要国の安全規制機関比較(2)アジア主要国

	日本	韓国	中国	インド	ベトナム
規制機関	NRA	NSSC	NNSA	AERB	VARANS
位置付け	環境省下の独立機関	首相直轄の独立機関	環境保護部下の機関	独立機関	科学技術省下の機関
法的根拠	2012年 「原子力規制委員会設置法」	2013年 「原子力安全委員会の設置及び運営に関する法律」	「原子力安全法」の制定準備中	1983年 「原子力法」	2008年 「原子力法」
マネジメント・意思決定	委員会 (5名の委員による合議)	委員会 (委員による票決)	長官の下に「原子力施設安全管理部」等の各部局が存在	委員会 (委員長及び5名の委員による合議)	長官の下に「検査部」等の各部局が存在
直近のIRRSにおける指摘事項(独立性関連)	-	-	「原子力安全法」の制定に際して、独立性・透明性を担保するよう勧告(2016)	独立性を法的に担保するよう勧告(2015)	商工省・天然資源環境省からの独立性を法的に担保するよう勧告(2014)