



エネルギー需給見通しとイノベーション —「アジア/世界エネルギーアウトルック」を踏まえて—

2016年11月18日

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
呂 正

世界の長期エネルギー需給見通し

レファレンスケース

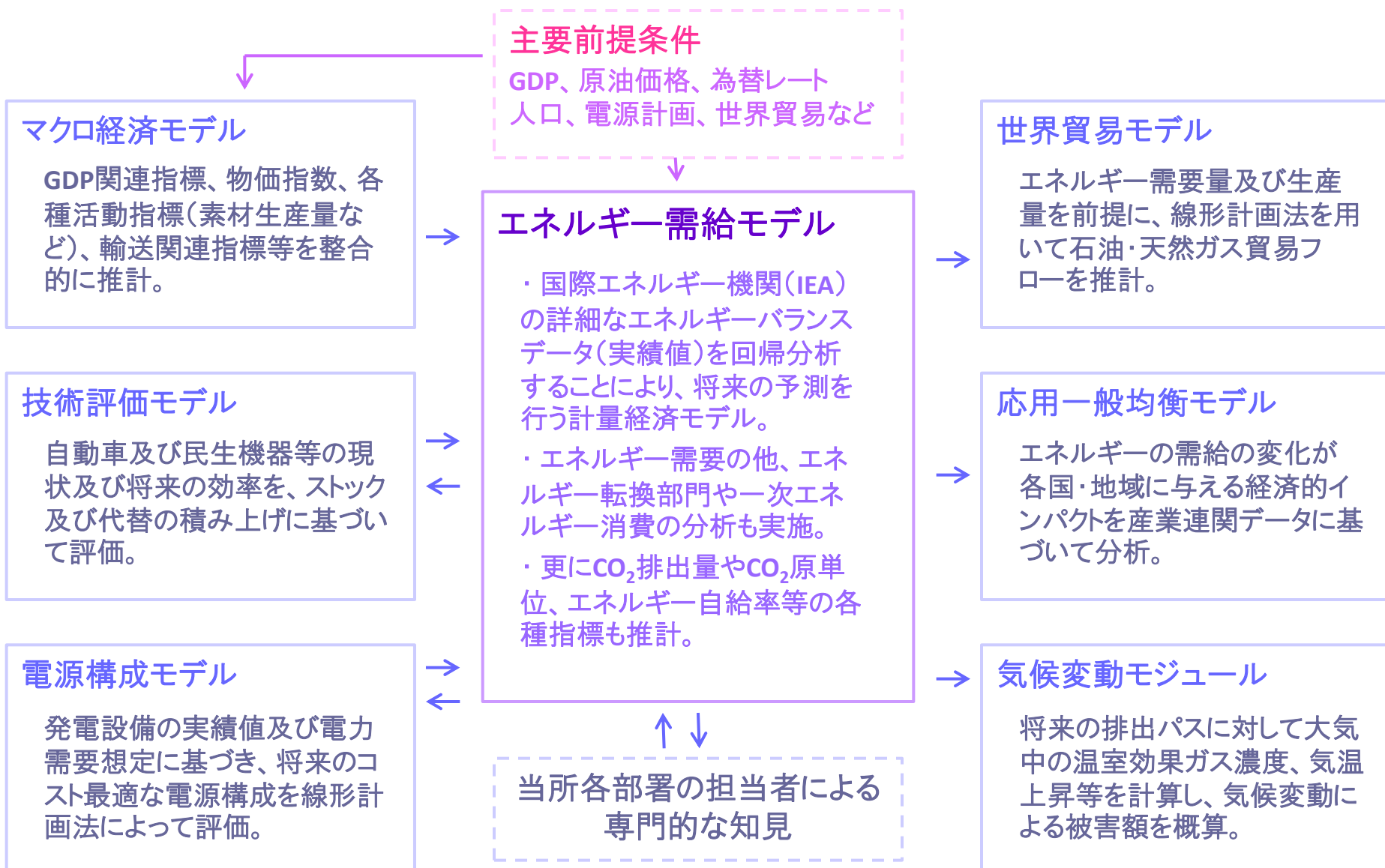
現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、過去の趨勢が継続するケース。
急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない。

イノベーションの影響

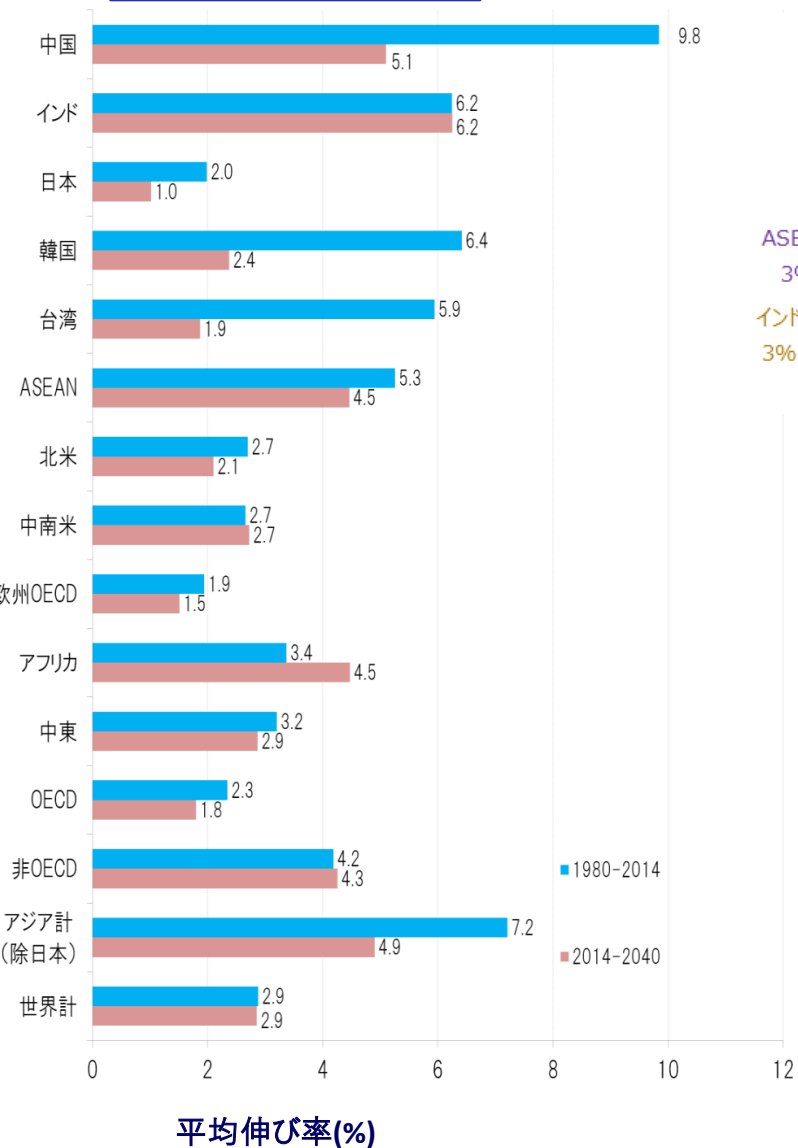
技術のイノベーション

制度・社会システムのイノベーション

考え方の変革

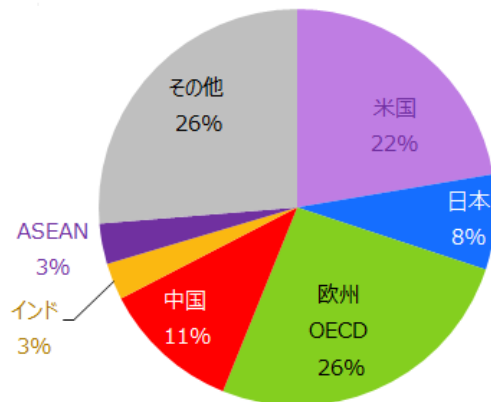


実質GDP成長率

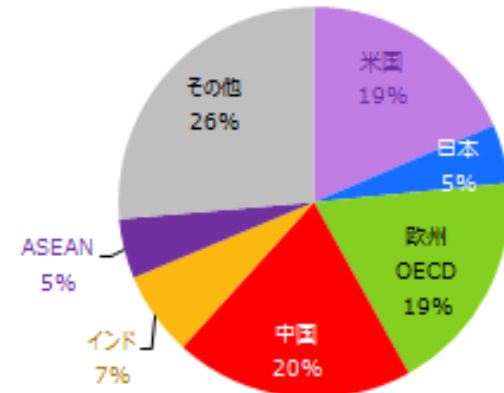


世界のGDPシェア

2014年(実質)



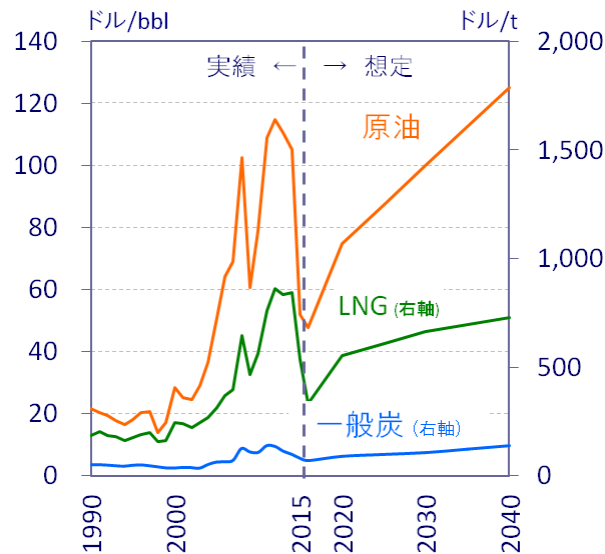
2040年(実質)



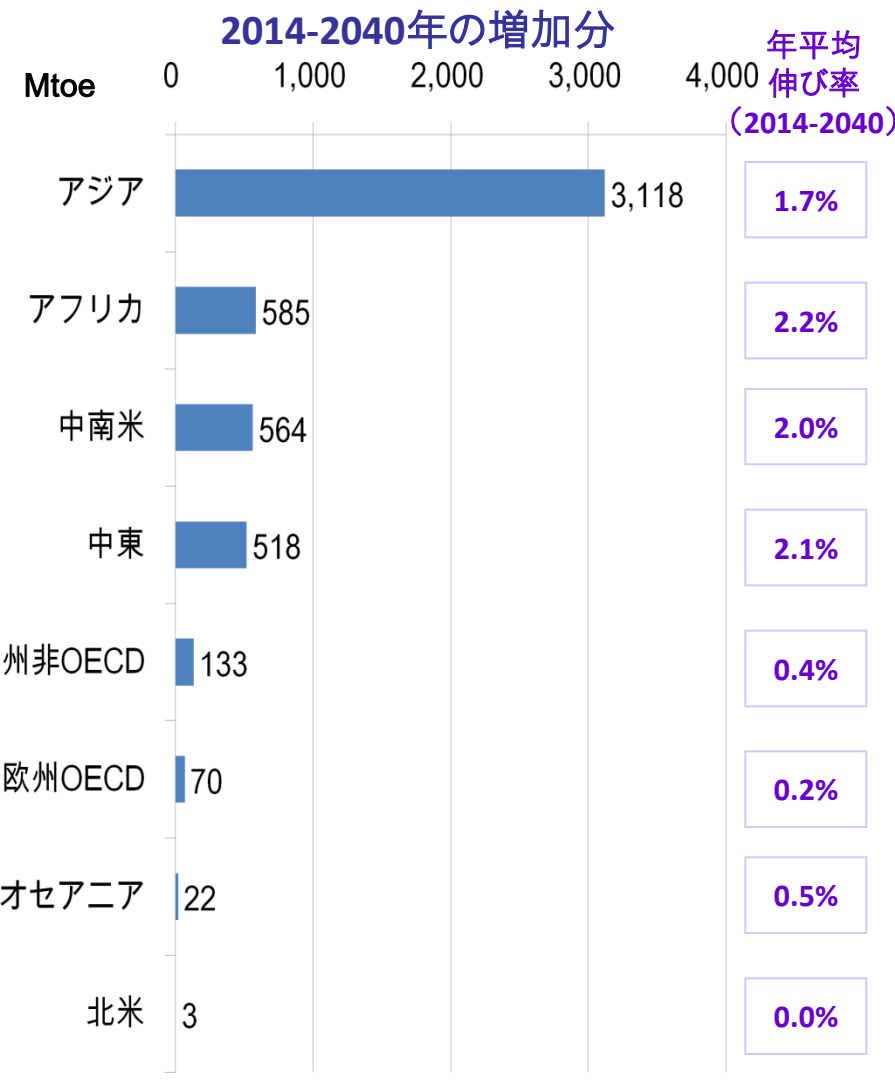
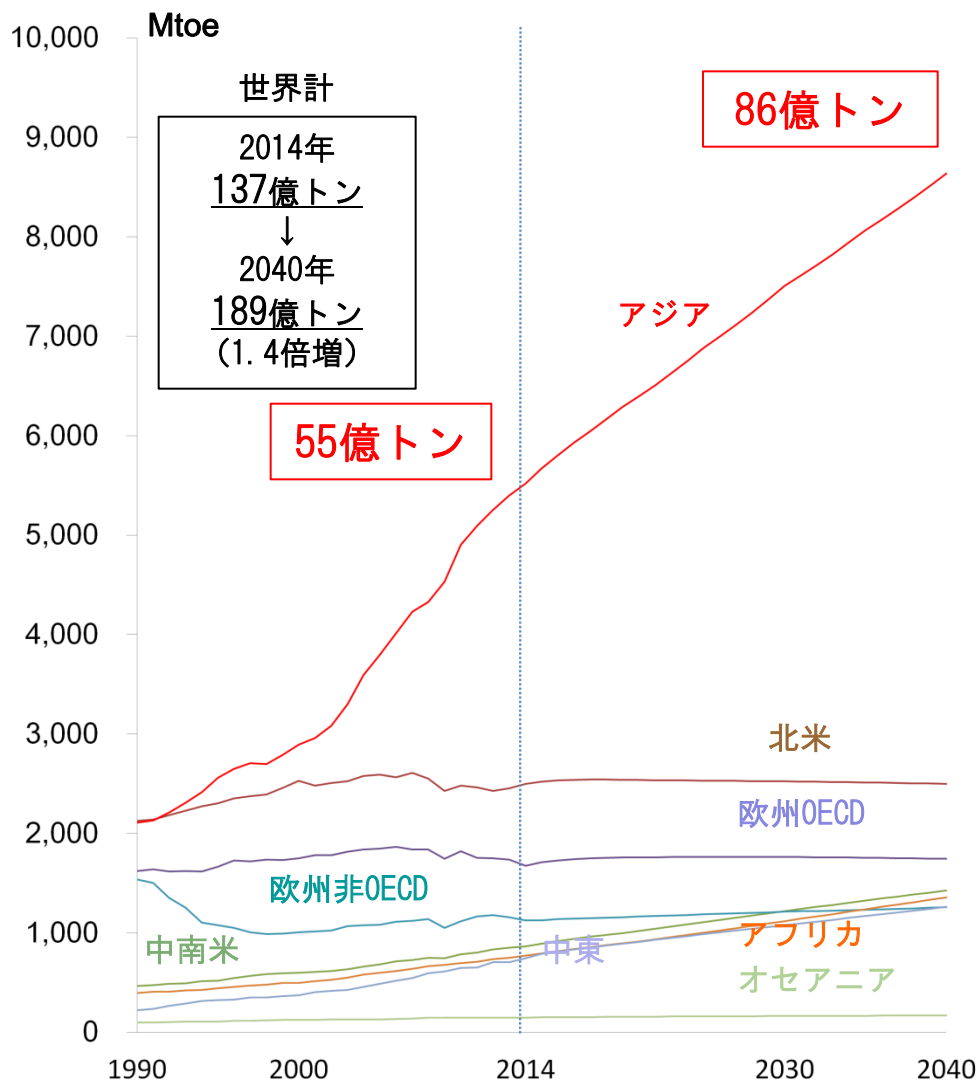
※ 実質額は2010年価格

一次エネルギー価格

日本の輸入CIF価格の見通し(2015年実質価格)



世界各地域の一次エネルギー消費

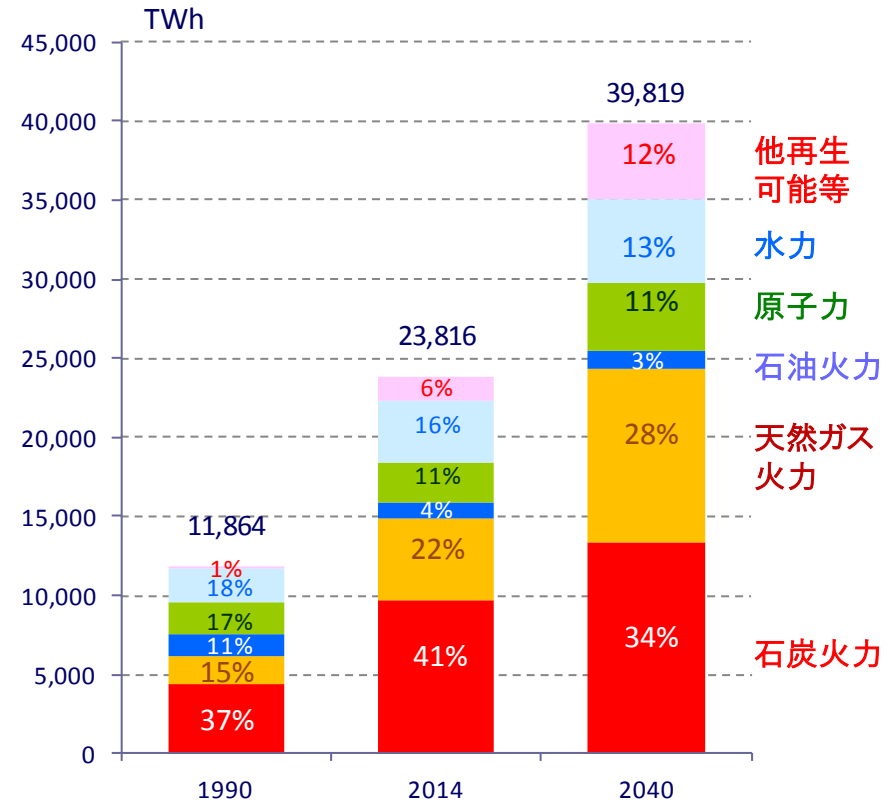
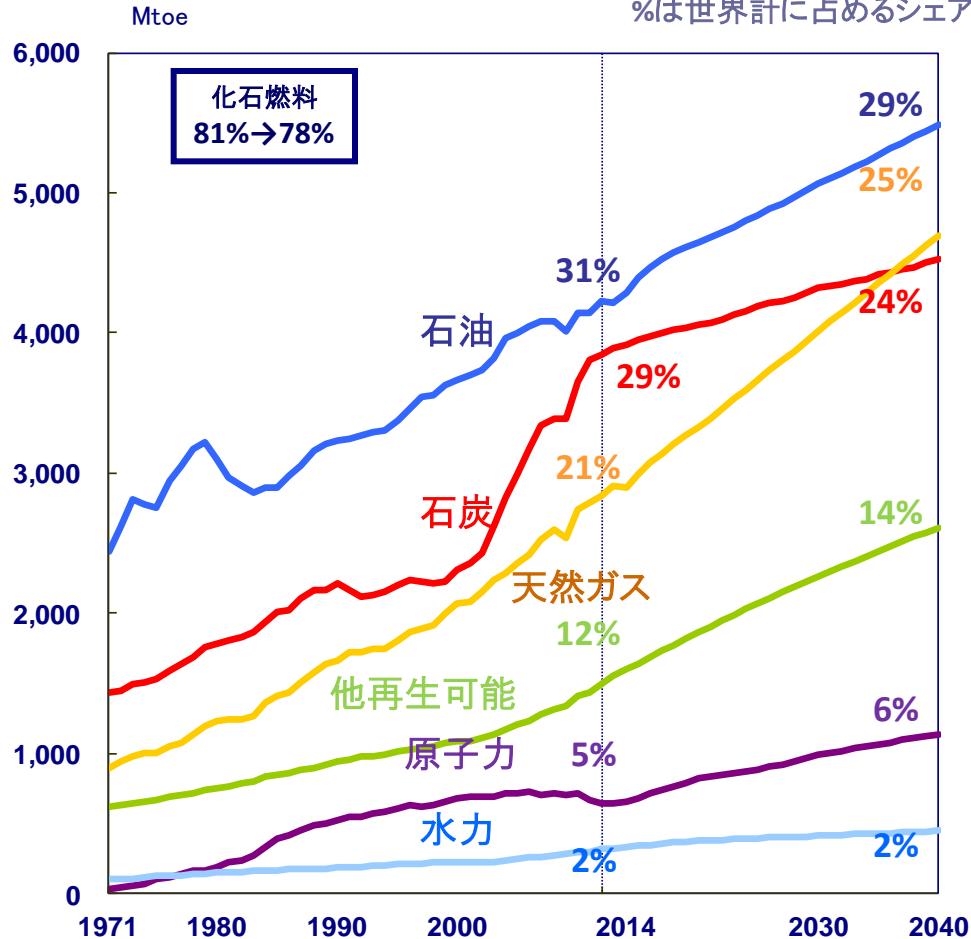


- ・ 着実な経済成長の下、2040年の世界のエネルギー消費量は現在の1.4倍(2014年137億トン→2040年189億トン)、アジアは1.6倍(2014年55億トン→2040年86億トン)へ拡大。
- ・ 2014年から2040年までの世界のエネルギー消費増加量の約9割を非OECD諸国が占める。

世界の一次エネルギー消費と発電構成

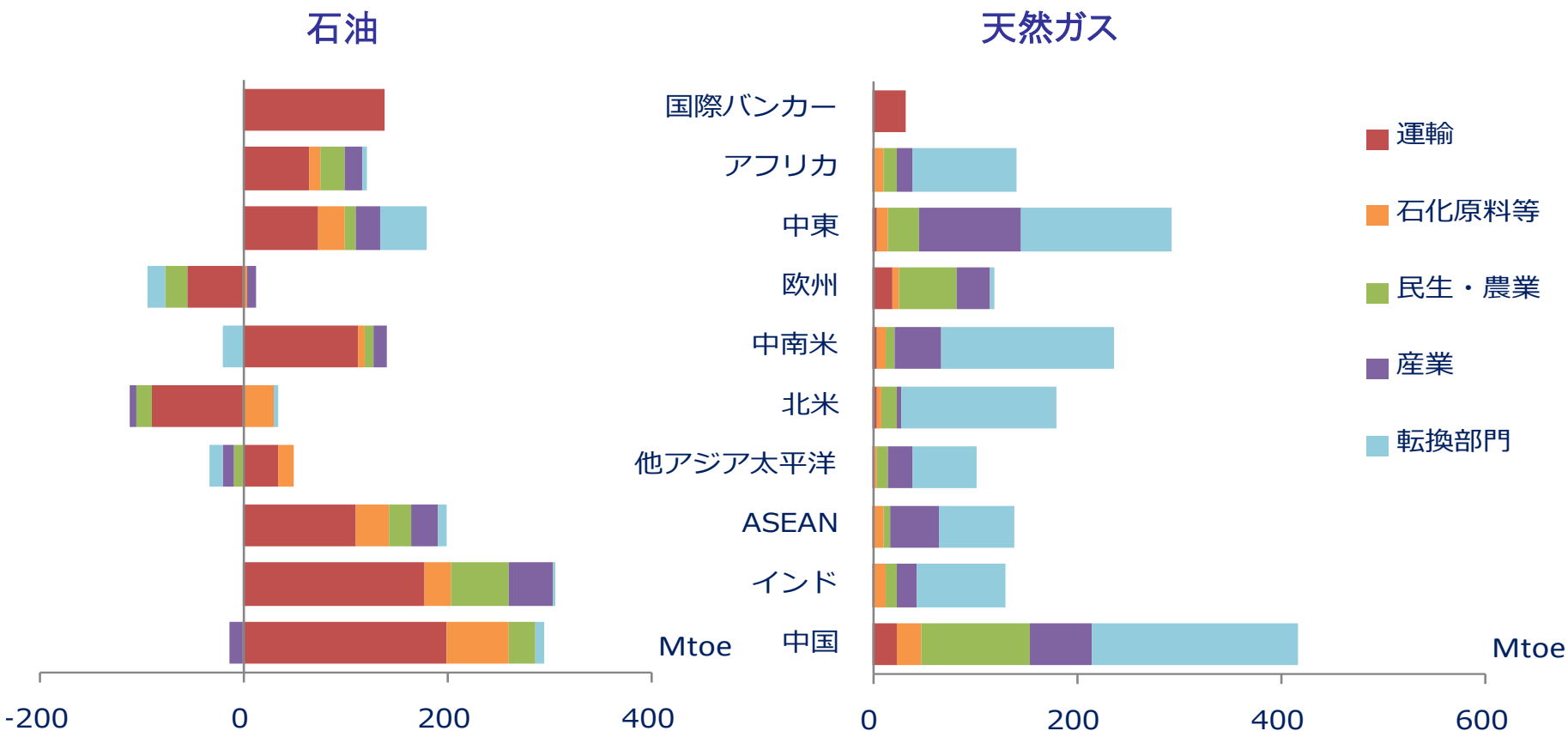
一次エネルギー消費

発電構成



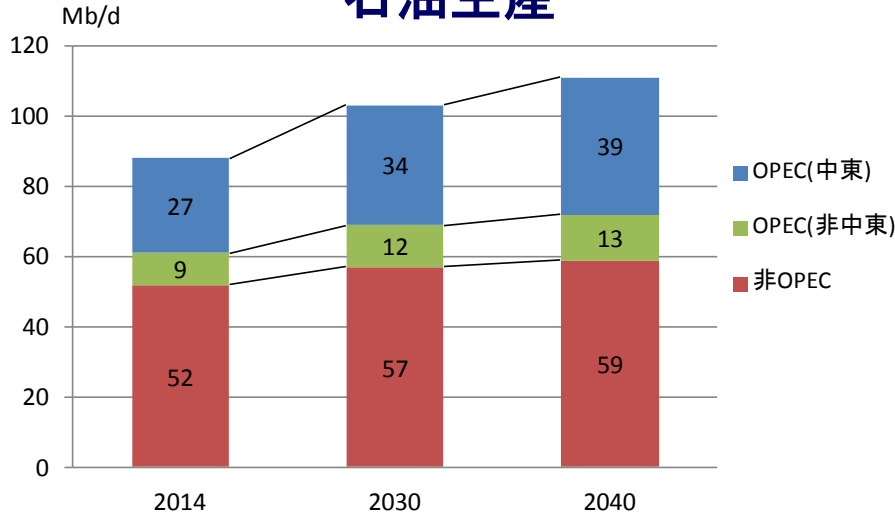
- ・世界の一次エネルギー消費の中では引き続き石油が2040年まで最大のシェアを占める。石炭火力が依然として電力供給の中核を担う。天然ガス複合発電等の導入により、世界的に天然ガス火力の導入が拡大。
- ・再生可能エネルギーも風力、太陽光を中心にシェアを拡大。原子力は世界全体でのシェアは現状水準を維持する。
- ・化石燃料のシェアは2040年まで低下はするが、依然として世界の8割程度を維持する。

世界の石油と天然ガス消費の増減(2014-2040)



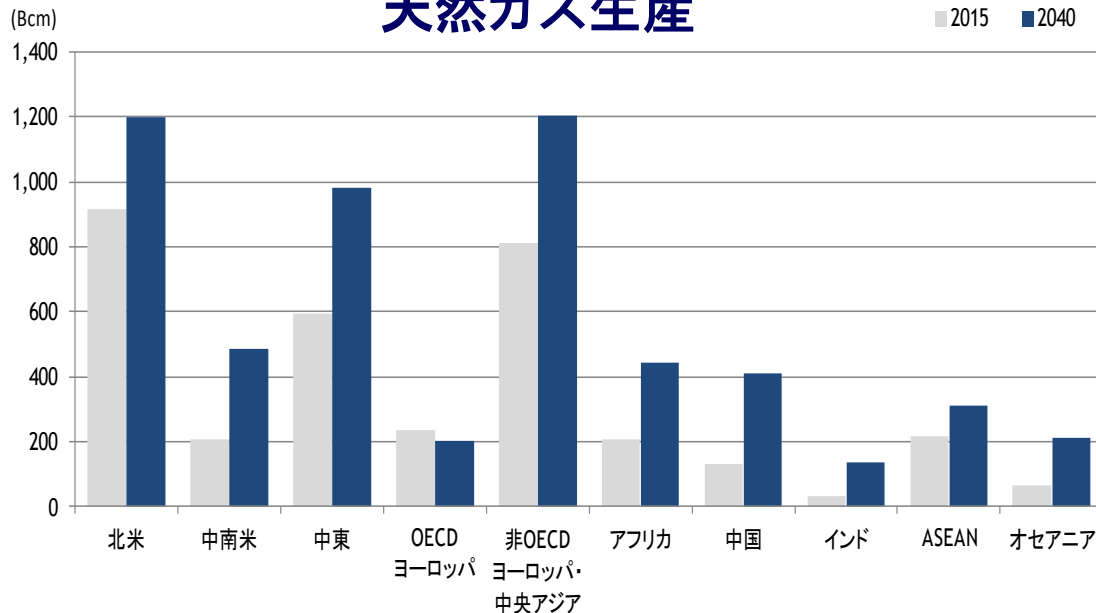
- ・ 石油需要は1,203 Mtoe増加。そのうち4割強が道路部門、1割強が国際バンカー、2割弱は石油化学原料。
- ・ インドの石油需要は世界増の4分の1、アジア・太平洋全体で3分の2を占める。
- ・ 一方、欧州、北米、日本では石油需要は減少していく。
- ・ 天然ガス需要は1,794 Mtoe増加。そのうち4割強が発電部門、2割が産業、1.5割が民生。
- ・ 天然ガスの需要増分のうち、OECDの割合は2割弱、非OECDが大半を占める。

石油生産



- 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。

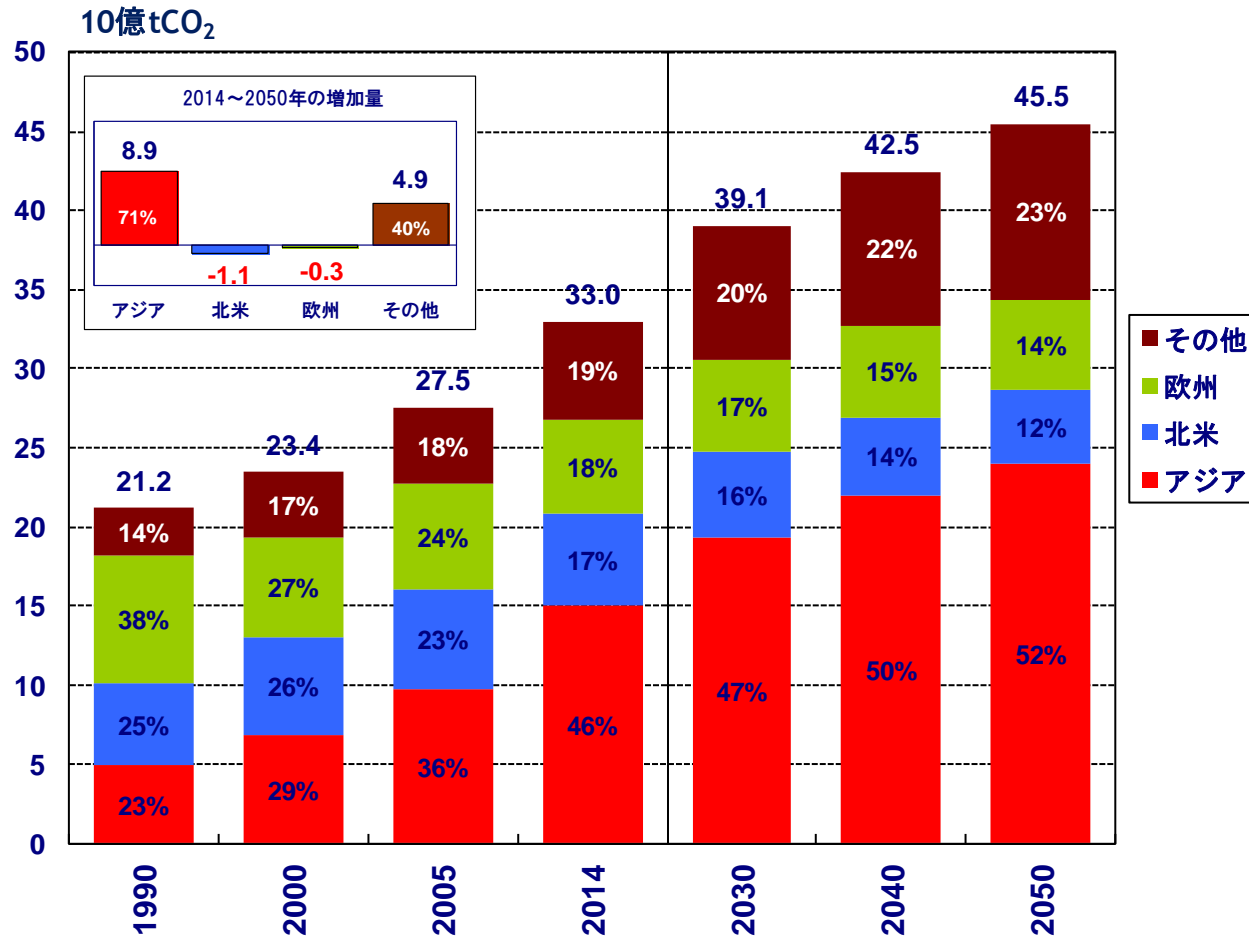
天然ガス生産



- 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。

エネルギー需給見通しへのイノベーションの影響

【イノベーション】(広辞苑(第6版)より抜粋)

①刷新。革新。新機軸。

②生産技術の革新・新機軸に限らず、新商品の導入、新市場・新資源の開拓、新しい経営組織の形成などを含む概念。

・ 技術のイノベーション

技術進展ケース: 省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力、高効率火力発電...

CCS、水素、未来技術

非在来型化石資源

...

・ 制度、社会システムのイノベーション

炭素市場、インフラの国際連結、途上国における原子力利用、エネルギーと貧困...

・ 考え方の変革

温暖化対策の総合コスト: 緩和、適応、被害

技術進展ケース

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

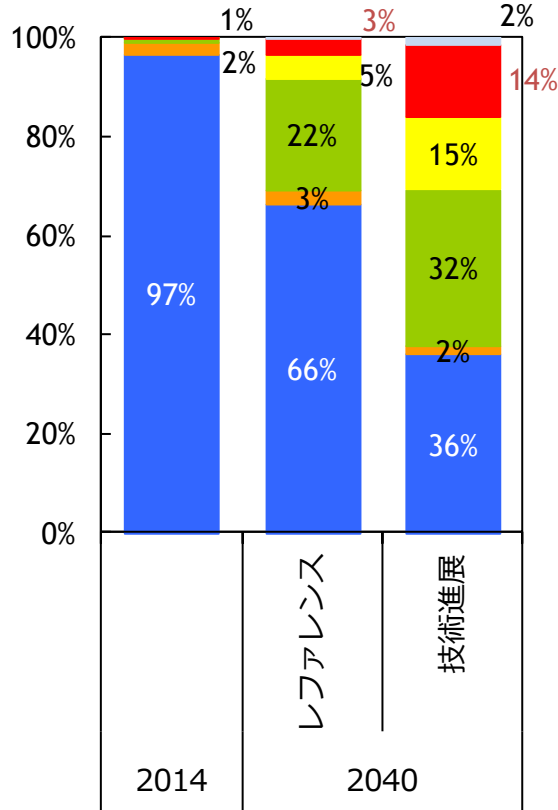
技術進展ケースで見込む技術・施策

各国の政策や計画等を参考に、将来想定し得る最大限の導入促進 2014年 → 2040年 (レファレンス2040年)

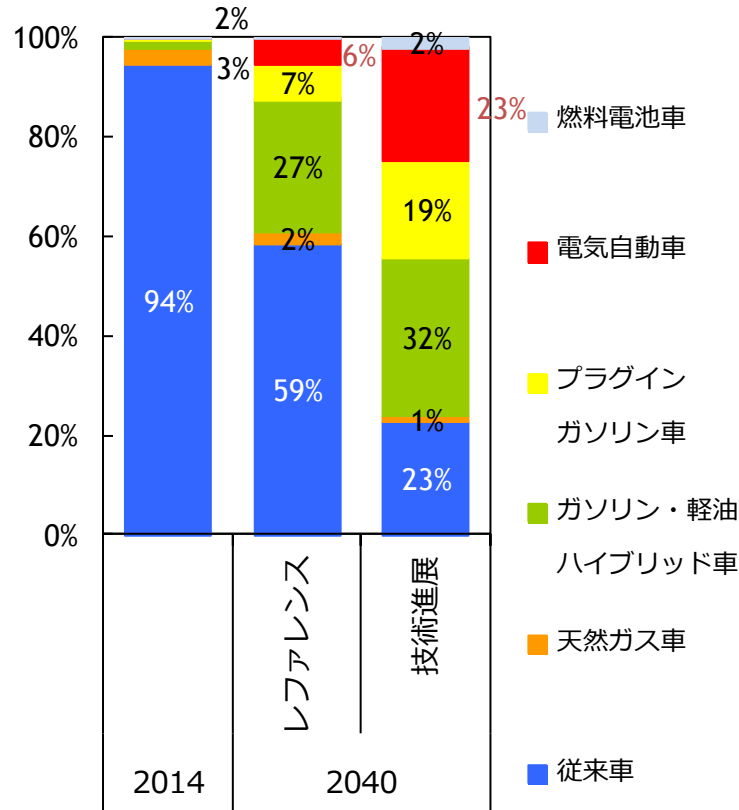
| | 先進国 | 発展途上国 |
|-----------------------|--|--|
| 産業 | 2040年にBATが100%普及 | |
| 運輸 | 低燃費自動車のコスト低下。電気自動車の航続距離が2倍に | |
| [乗用車新車燃費] | 16.2 km/L → 31.2 (23.7) | 14.1 km/L → 26.5 (19.3) |
| [乗用CEV販売比率] | 5% → 78% (52%) | 6% → 77% (35%) |
| 民生 | 2040年までに最良の機器のみ導入 | |
| 火力発電 | USC以上の最新鋭設備に加え、IGFC等さらなる技術開発を要する設備も | USC等を中心に導入。徐々にIGCC等も初期投資ファイナンススキーム整備 |
| [ストック効率] | 天然ガス: 48.1% → 54.1% (53.7%) 石炭: 37.5% → 42.7% (42.0%) | 天然ガス: 35.8% → 52.1% (50.3%) 石炭: 36.2% → 40.7% (40.4%) |
| 原子力発電 | 適切な卸電力市場価格の維持 | 初期投資の融資枠組み整備 |
| [設備容量] | 2015年: 309 GW → 358 (297) | 2015年: 90 GW → 489 (315) |
| 再生可能発電 | システムコスト低減 系統安定化技術のコスト低減 系統システムの効率的運用 | システムコスト低減 低コスト融資 電力システムの高度化 |
| [設備容量] | 風力: 215 GW → 709 (487) 太陽光: 136 GW → 702 (455) | 風力: 151 GW → 1,055 (388) 太陽光: 39 GW → 731 (266) |
| 自動車用 バイオ燃料 | 次世代バイオ燃料の開発 FFVの普及拡大 | バイオ燃料のコスト低減 農業政策としての位置づけ |
| [消費量] | 50 Mtoe → 106 (83) | 23 Mtoe → 69 (37) |

道路部門の分析例(1): 自動車の台数構成

【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%

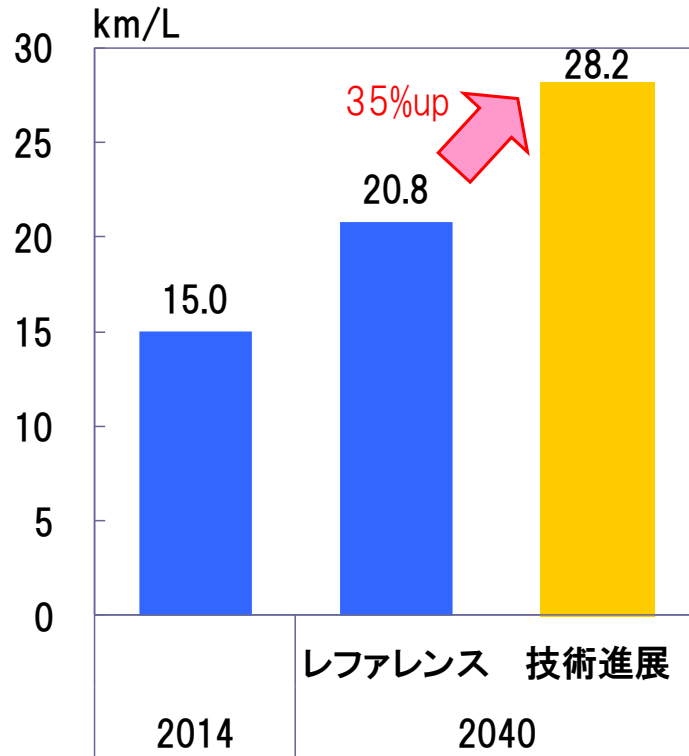
クリーンエネルギー
自動車の年間販売シェア
(2040年)

レファレンス
41%
技術進展
77%

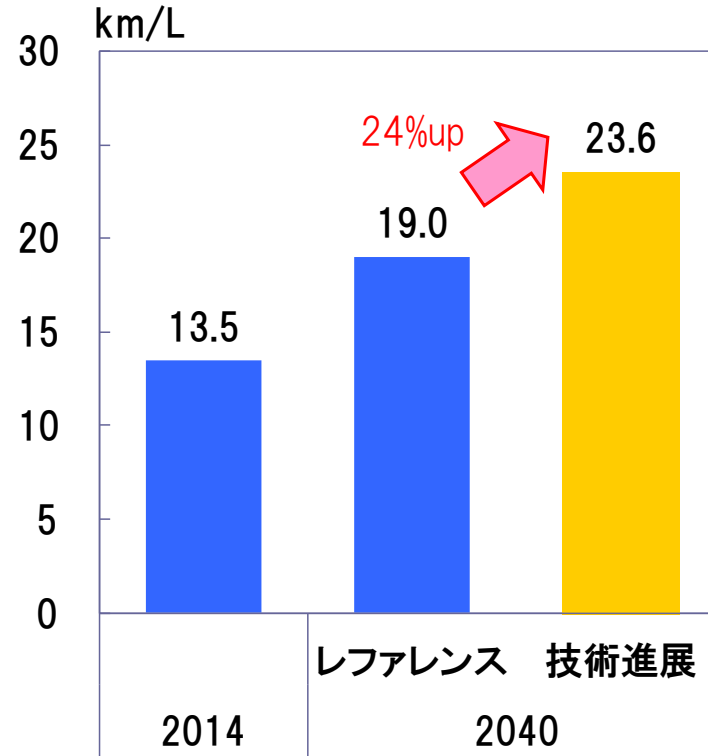
- レファレンスケースでは、従来車(内燃機関車)が2040年に保有台数の66%、販売台数の59%を占める。クリーンエネルギー自動車は、ハイブリッド車を中心に保有・販売共に増加する。
- 技術進展ケースでは、従来車が2040年に保有台数の36%、販売台数の23%まで減少する。クリーンエネルギー自動車は、保有台数では、ハイブリッド車(32%)、プラグインハイブリッド車(15%)、電気自動車(14%)が主流となる。販売台数でも同様に、ハイブリッド車(32%)、プラグインハイブリッド車(19%)、電気自動車(23%)が主流となり、燃料電池自動車の導入も進む(2%)。

道路部門の分析例(2):自動車燃費

新車燃費



保有燃費



新車燃費



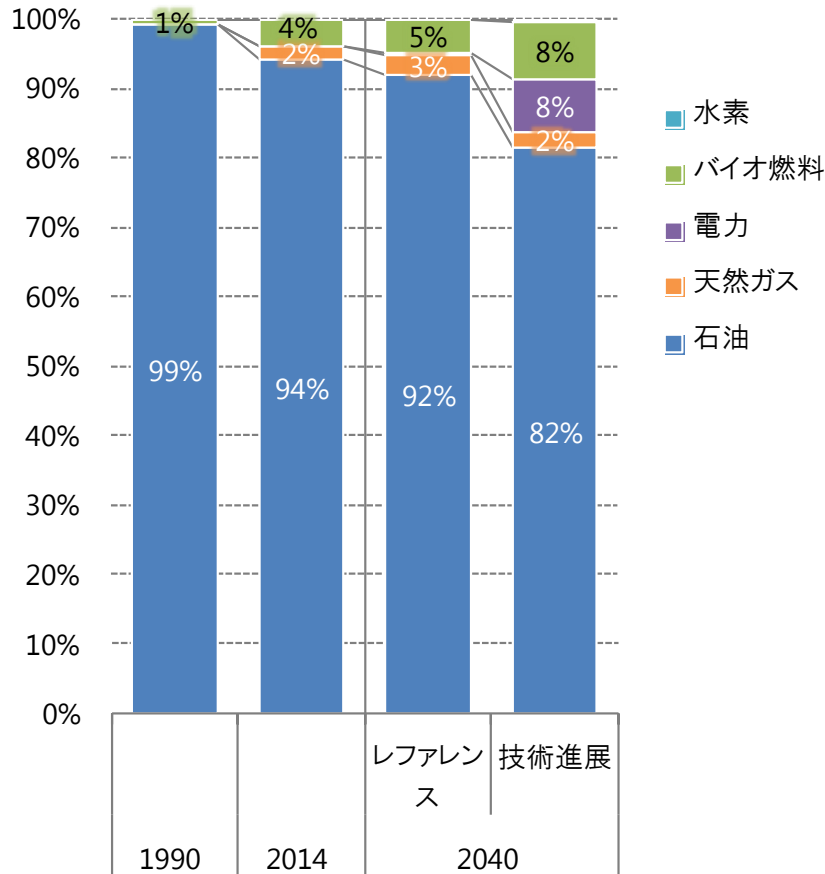
保有燃費



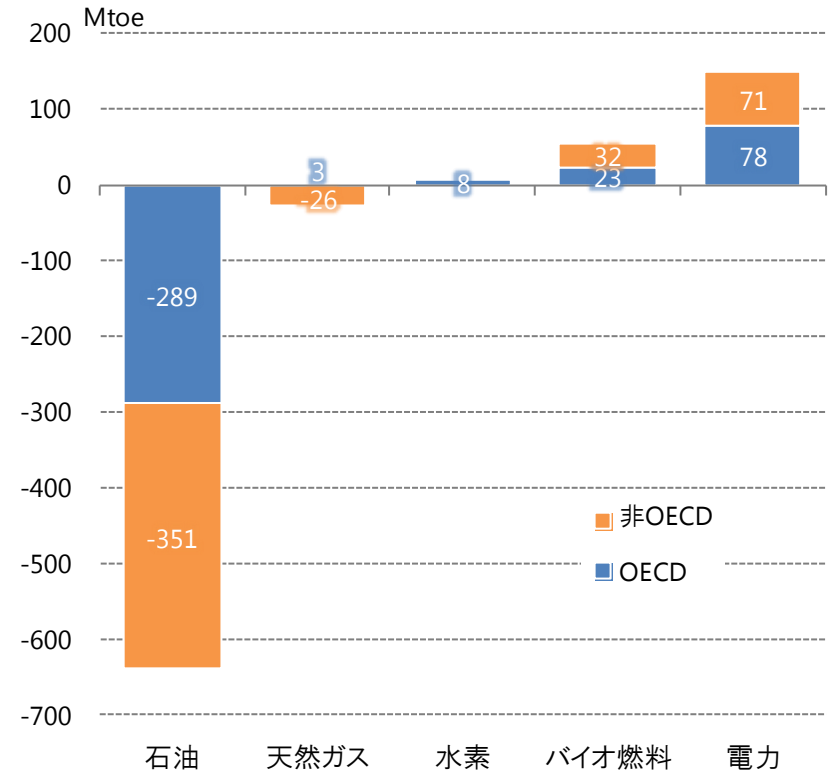
- 技術進展ケースにおける2040年の新車の燃費は、プラグインハイブリッド車、電気自動車等の次世代自動車の普及拡大により、レファレンスケースに比べて35%改善する。
- 同様に、保有自動車の燃費は24%改善する。

道路部門の分析例(3):道路部門のエネルギー消費

エネルギー消費構成



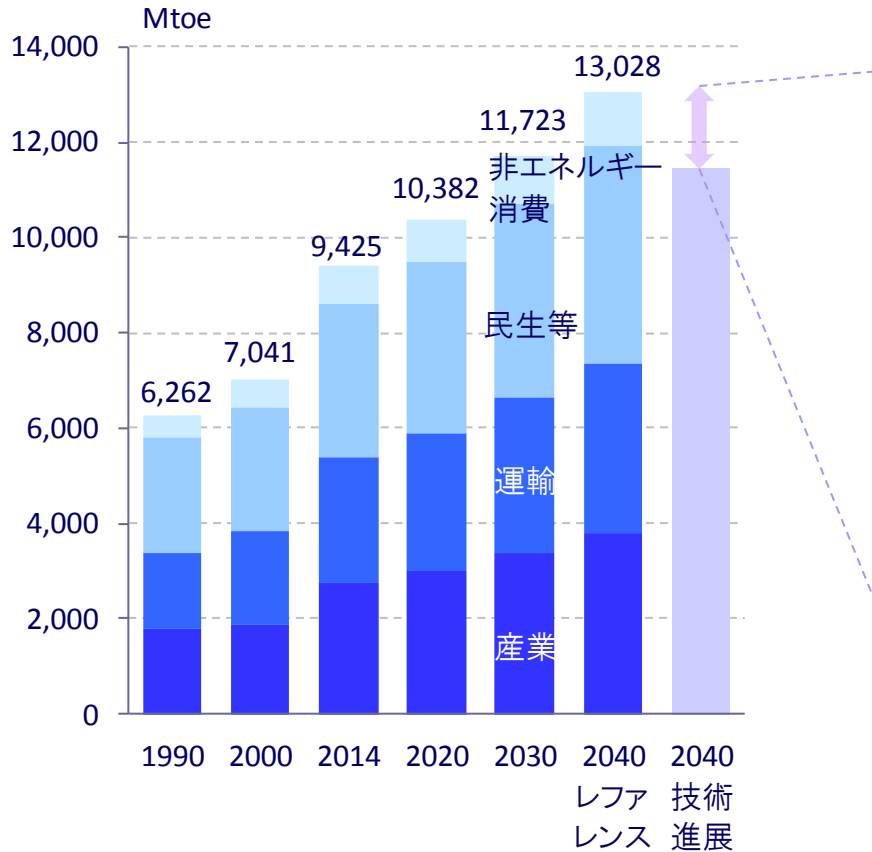
エネルギー消費の変化 (レファレンスケース比、2040年)



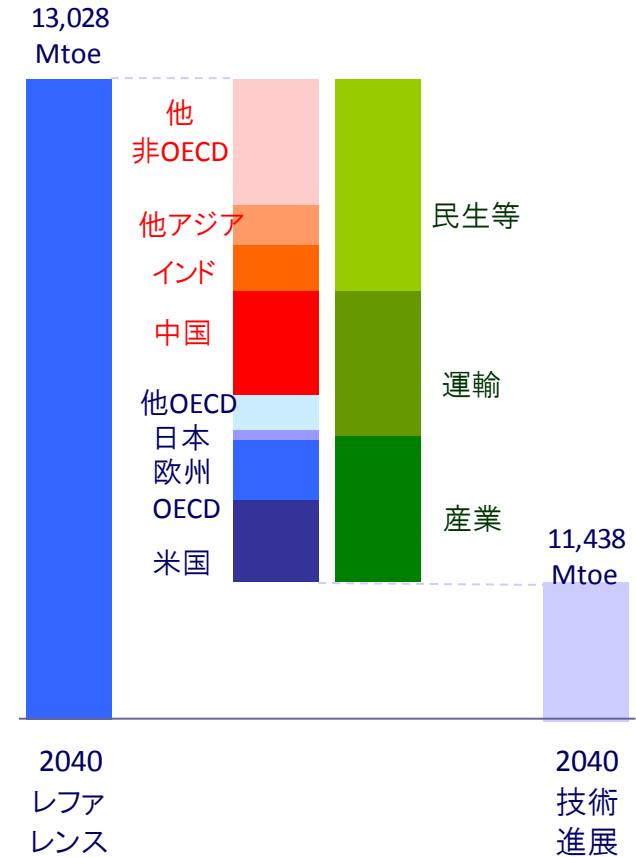
- 技術進展ケースでは、道路部門の石油の割合は、2040年に82%まで低下する。電気自動車、燃料電池車などの普及が進むことにより、石油以外のエネルギー源の割合は、2040年に18%に達する。
- 道路部門のエネルギー消費をレファレンスケースと比べると、電力の増加が最も多い。

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



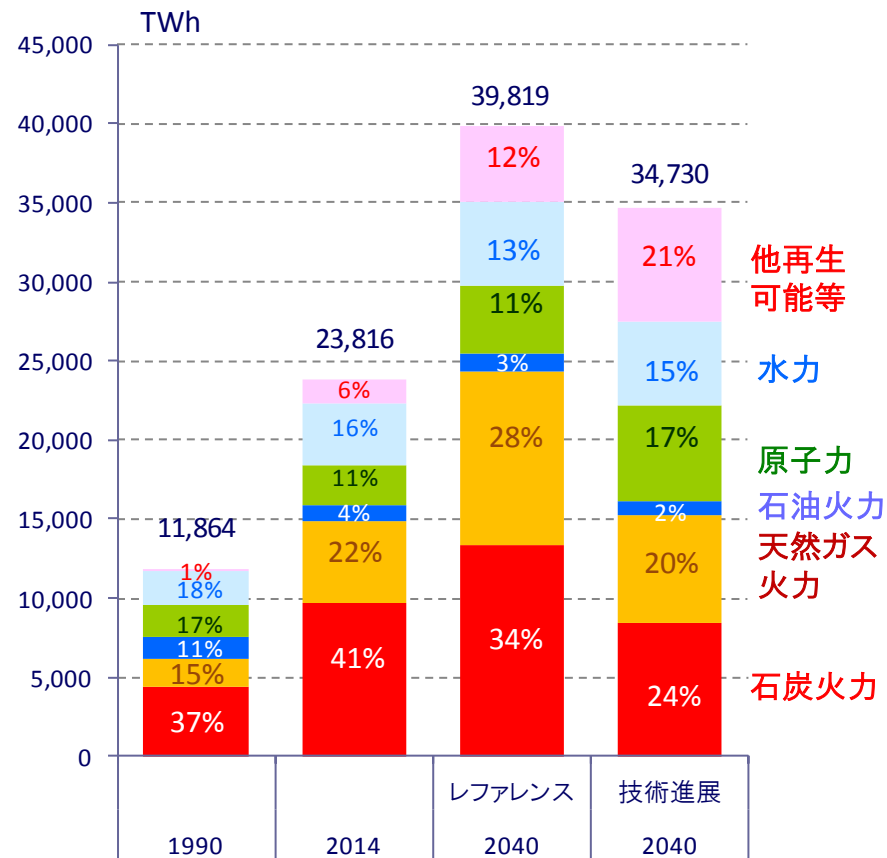
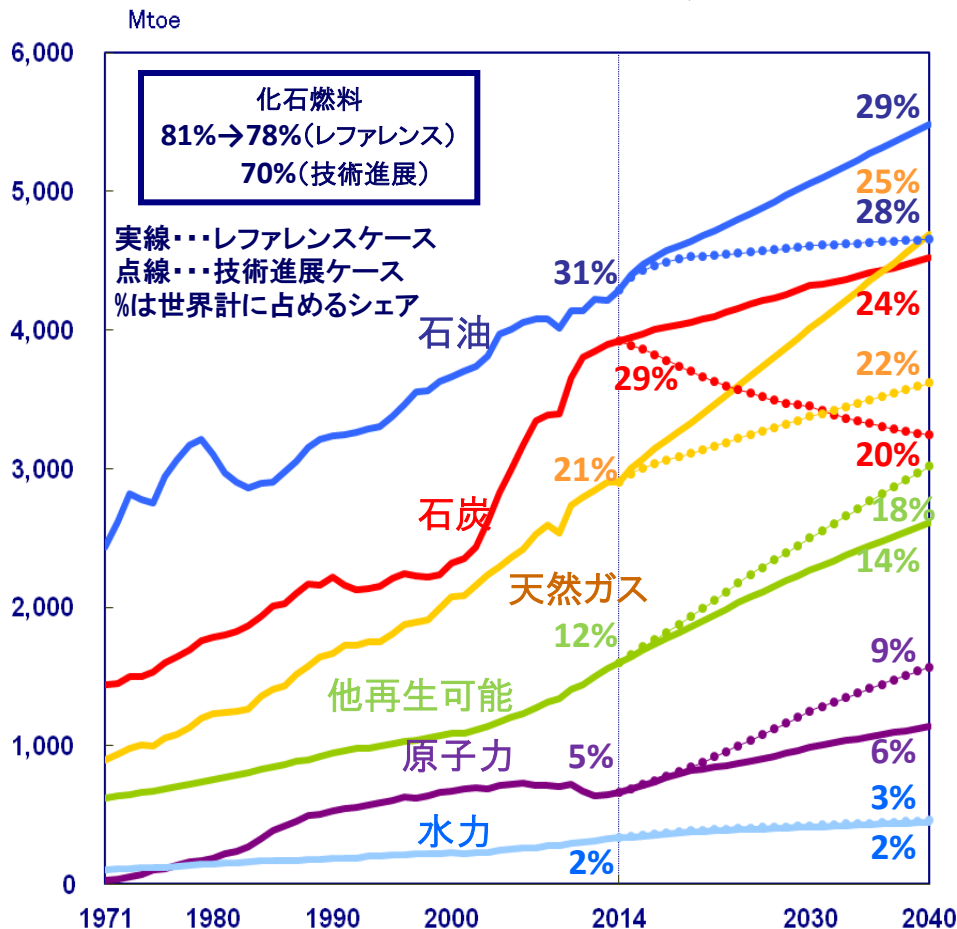
・世界の最終エネルギー消費は2014年の9,425 Mtoeから、レファレンスケースでは2040年に 1.4倍の13,028 Mtoeまで拡大。

・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11,438 Mtoe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。

世界の一次エネルギー消費と発電構成

一次エネルギー消費

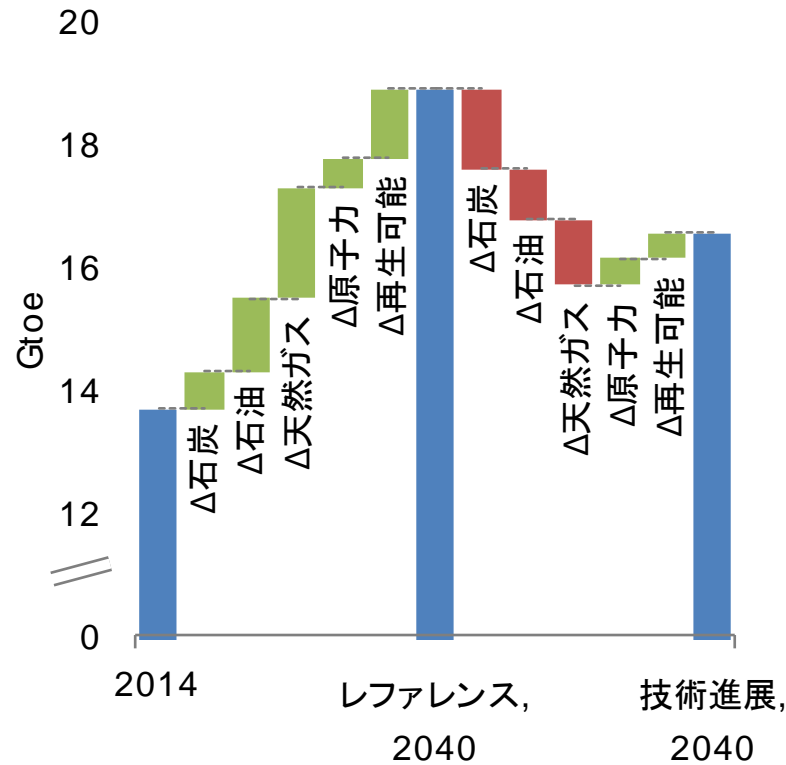
発電構成



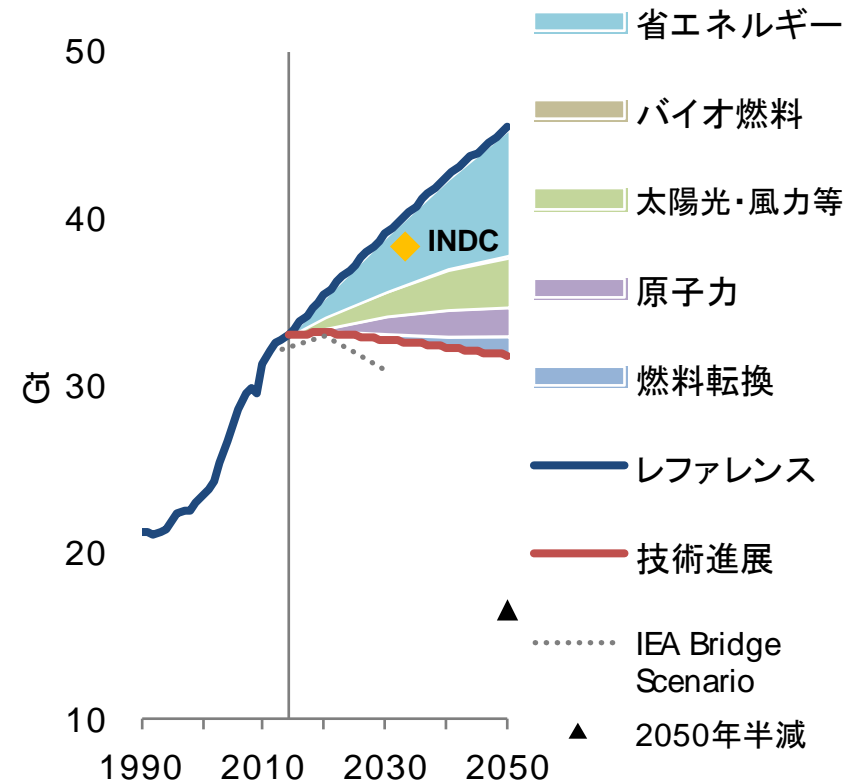
- ・技術進展ケースでは、引き続き石油が2040年まで最大のシェアを占めるが、2030年代に石油消費は頭打ちとなる。
- ・発電構成において、世界で石炭火力のシェアが24%まで縮小する一方、再生可能エネルギーのシェアがさらに拡大する。原子力もアジアを中心に拡大。
- ・化石燃料のシェアはさらに低下するが、技術進展ケースでも依然として7割程度を維持する。

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、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13.7Gtは、世界の現排出量の42%に相当

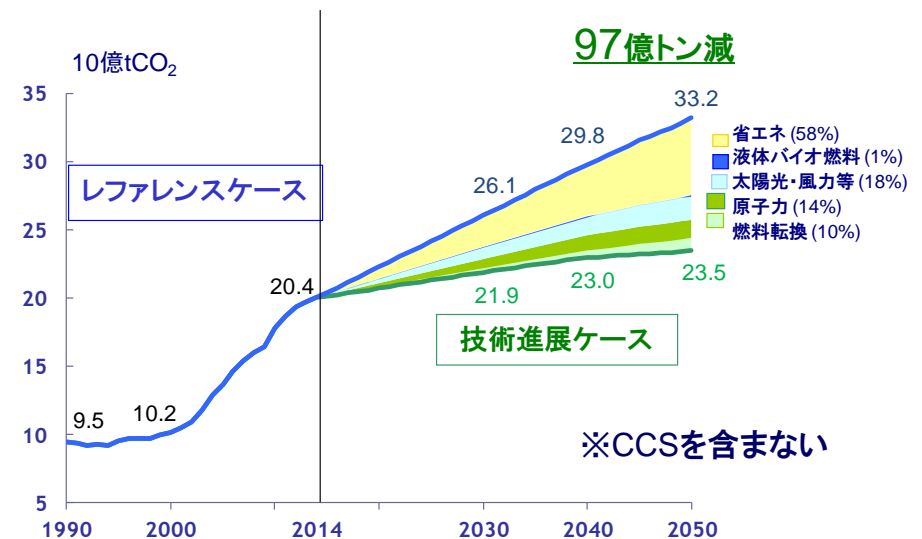
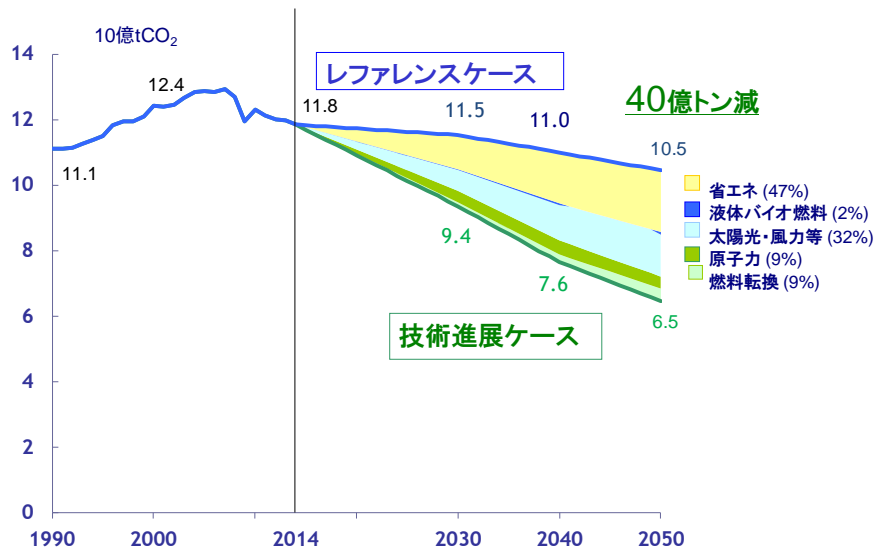
OECD、非OECD別のCO₂排出削減

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。

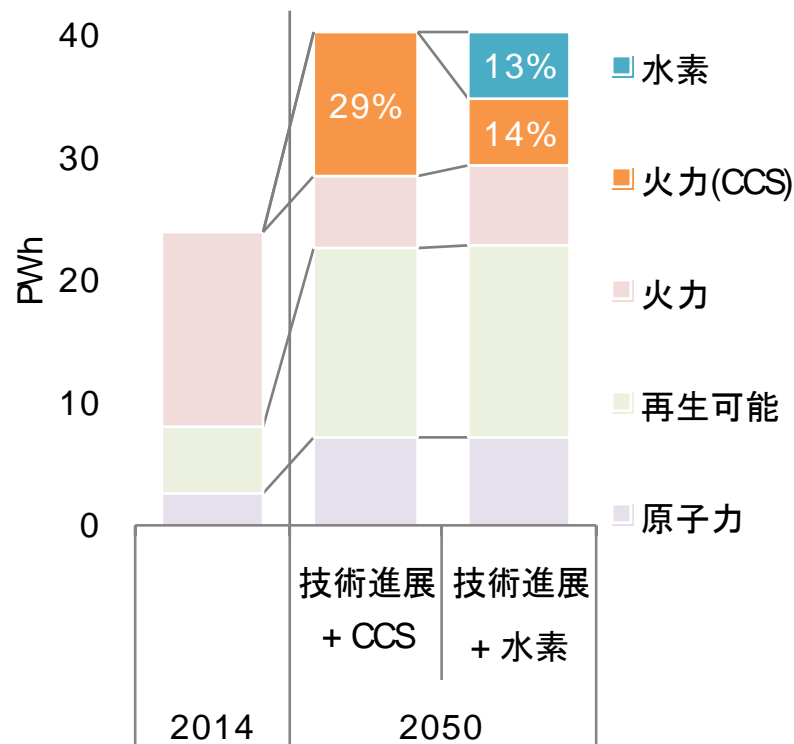
超長期の将来に向けた技術開発の例

| 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 |

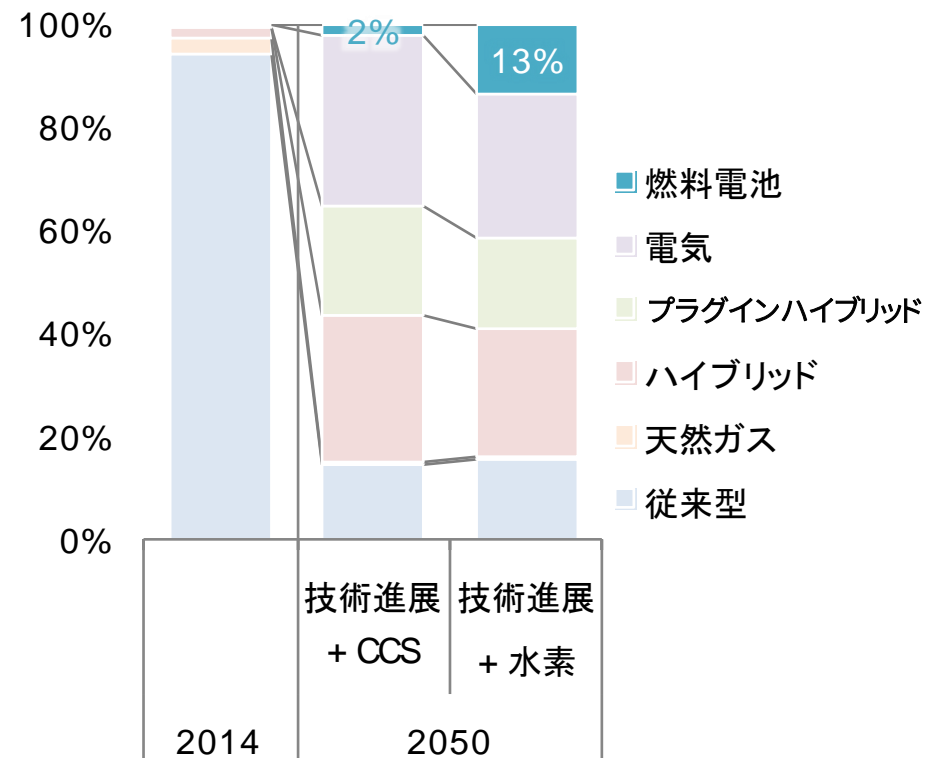
水素利用の拡大

水素利用の主役は発電、そして自動車

❖ 発電構成



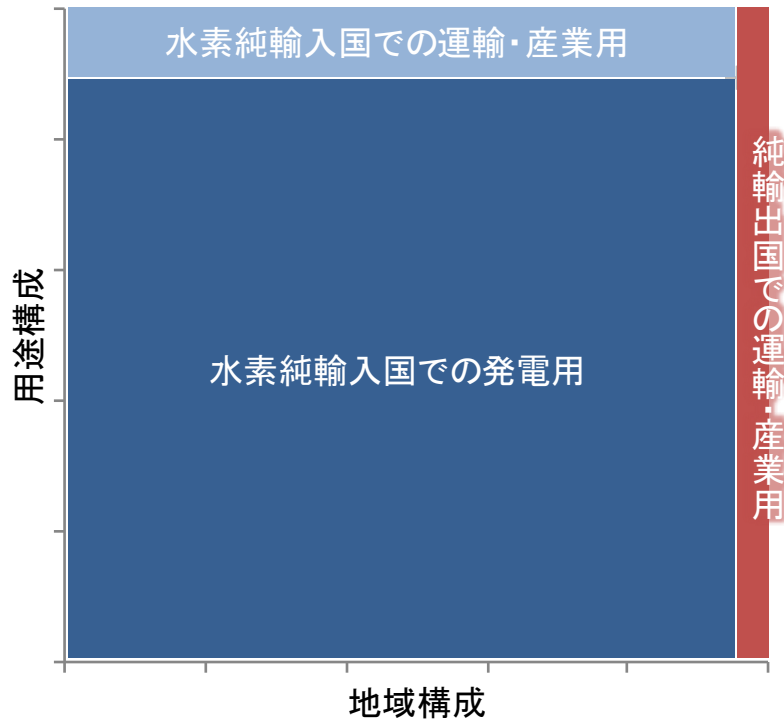
❖ 乗用車販売構成



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

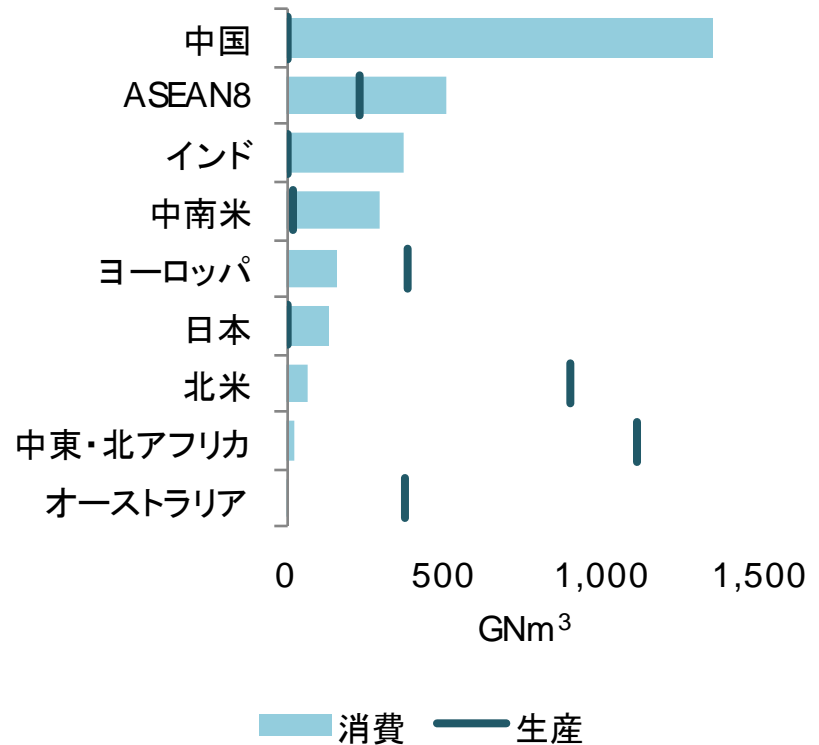
水素はCCSが難しい国でのオプションの1つ

❖ 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

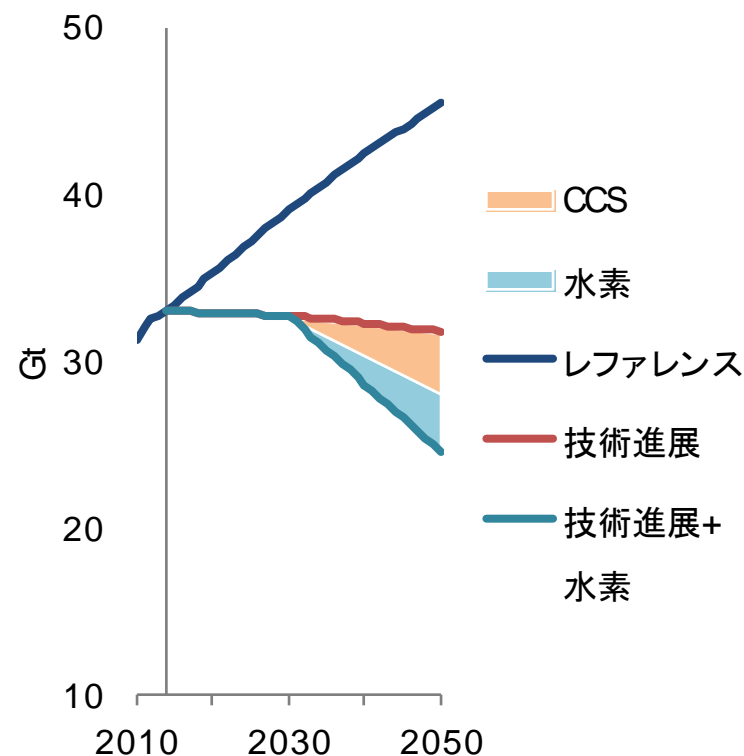
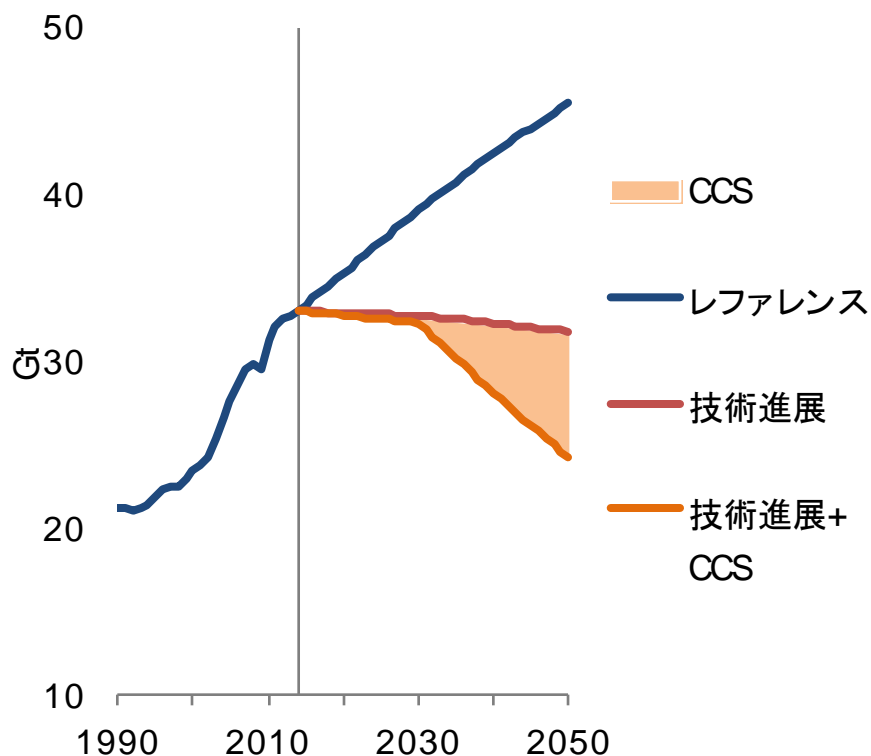
「技術進展ケース+水素」においては、2050年に3.2兆Nm³超の水素が生産・消費される。

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

世界のCO₂排出量の変化

❖ 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

非在来型化石資源の開発促進

非在来型化石資源の開発促進による変化

エネルギー価格

- 原油・天然ガスは生産拡大に伴い、価格が低下。石炭や電力も、競合や燃料費低減を通じて低下。
- 価格低下に伴い、消費は増大。

化石燃料利用

- 石炭発電から天然ガスへ、天然ガス自動車の導入拡大、など

原子力・再生可能エネルギー

- 競争力の低下により、原子力や再生可能エネルギーの導入が鈍化する地域がある一方、エネルギー安全保障や気候変動対策の視点から、導入量を維持する地域も。

エネルギー貿易

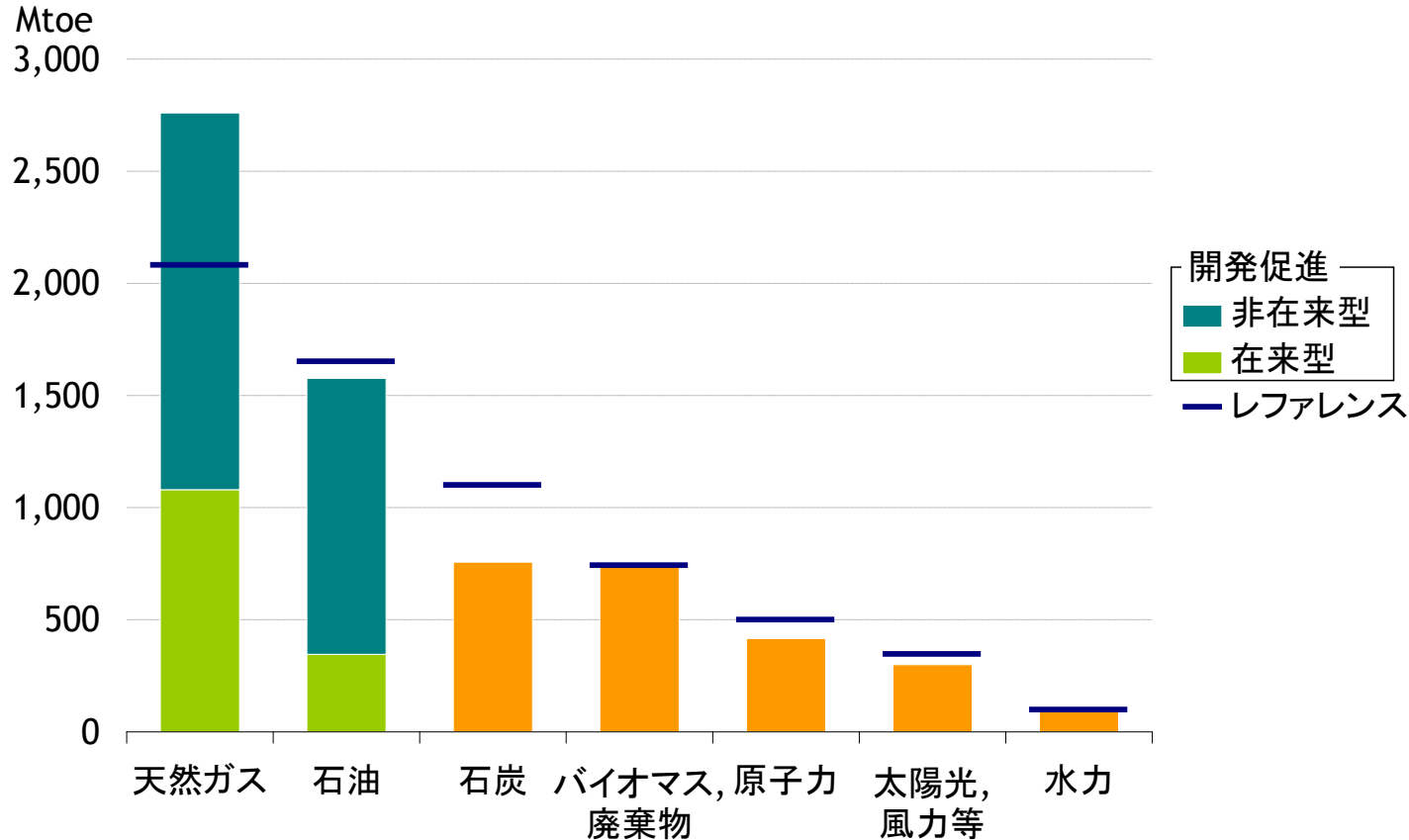
- 中東・旧ソ連などの石油・天然ガス純輸出の伸びが減退。

経済

- 石油・天然ガス業と関連産業の活動、エネルギー価格、エネルギー輸出入、海外需要などにおける変化で、非在来型資源開発国以外の各国の経済にも影響。

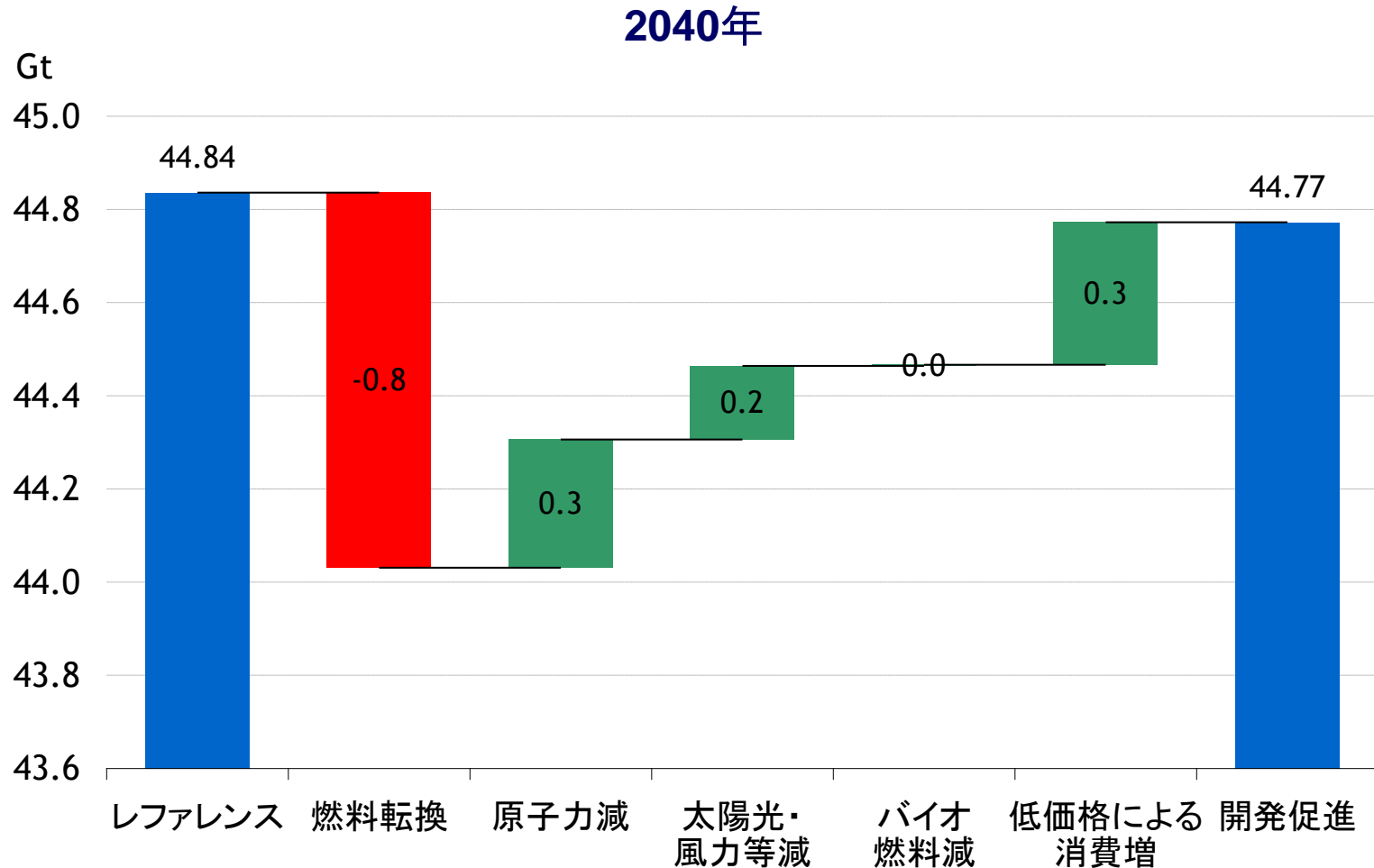
一次エネルギー消費の増分

2011-2040年の増分(開発促進)



- 天然ガスの消費は現在の倍の5,547 Mtoeまで大幅に上ぶれ。2030年代後半には石油に次ぐ第2のエネルギーに。変化の中心は発電で、天然ガスの追加的な消費増分の3分の2が発生し、石炭等を侵食。
- 石油も非在来型の増産が進むものの、中東など従来の生産地域での減産で、消費の拡大にはつながらない。天然ガスへの代替により、むしろ消費量は抑制される。

エネルギー起源CO₂排出量



- 2040年の排出はレファレンスケース比で世界0.1%減とほぼ変わらず。石炭代替効果が効くアジアは1.1%減と若干減少。
- 天然ガスへのシフト(燃料転換)が排出減に寄与する一方で、エネルギー価格の低下による省エネルギー、原子力、再生可能エネルギーの停滞が排出増に寄与。

インフラの国際連結： ASEANの電力系統連系の例

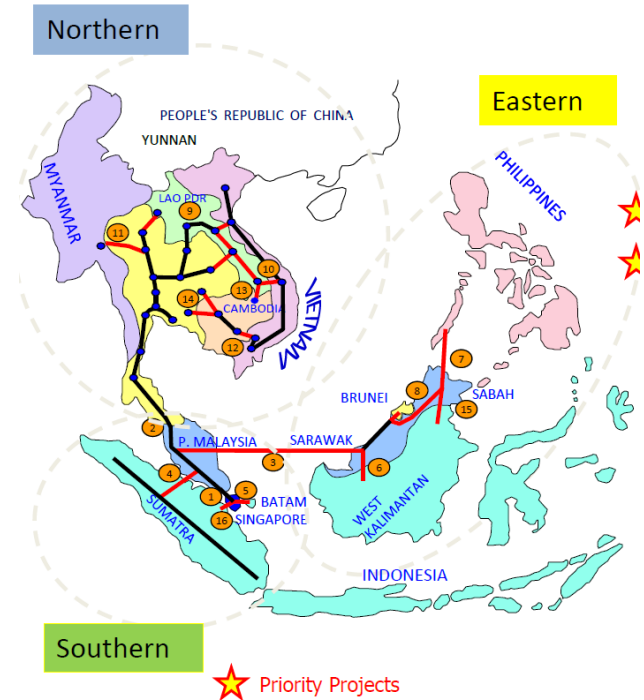
ASEAN地域の資源量と連系線拡張計画

ASEAN地域の資源量



(出所) EGAT

APG(ASEAN Power Grid)計画



(出所) HAPUA

・ASEAN地域では、電力需要の大きなタイ、マレーシア半島、ジャワ島などに対して、ラオス・ミャンマーやボルネオ島等に豊富な水力資源が存在。地域間(国際)連系線を拡張することにより、域内資源をより有効に利用し、エネルギーコストを低減させるとともに、化石燃料の輸入を減らし、CO₂排出量を削減することが目指されている。

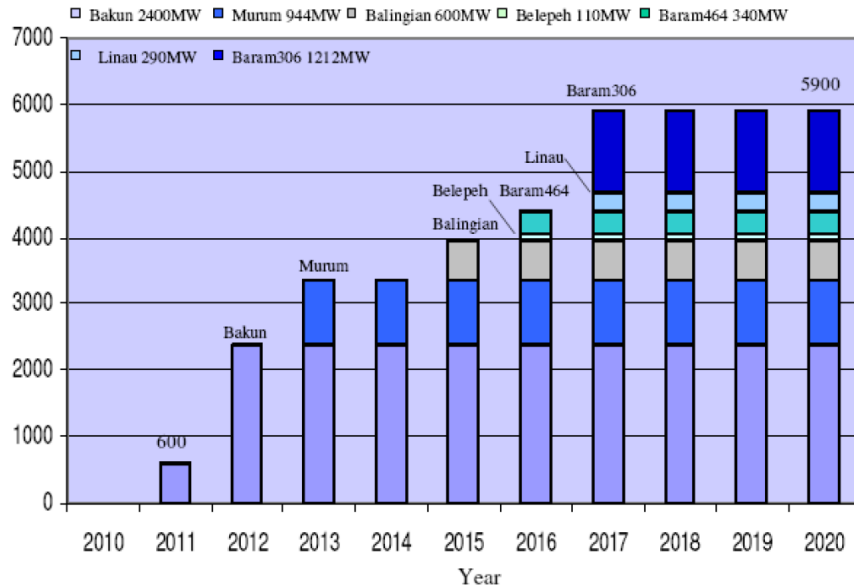
・国際連系線の具体的な効果として、以下のことが考えられる。

① 域内資源の有効利用・・・ラオス、ミャンマー、更には中国南部・インド東北部等に存在する再生可能エネルギー(特に水力)ポテンシャルを有効に活用する。

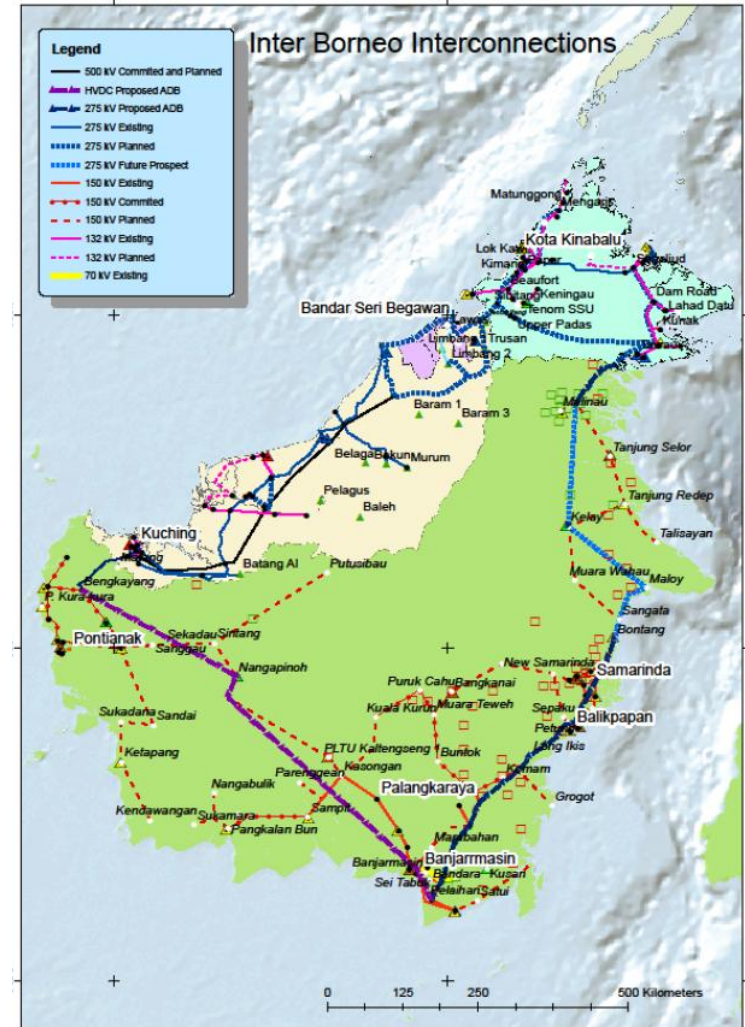
② セキュリティの向上・・・連系線による電力融通により、発電設備のトラブル発生の際のセキュリティ向上に資する。或いは、同一のセキュリティを達成するために必要な供給予備率を低減し、不要な設備コストを削減する。

ボルネオ島の水力資源開発と連系線拡張計画

サラワク州の連系線拡張計画



ボルネオ島内の連系線拡張計画



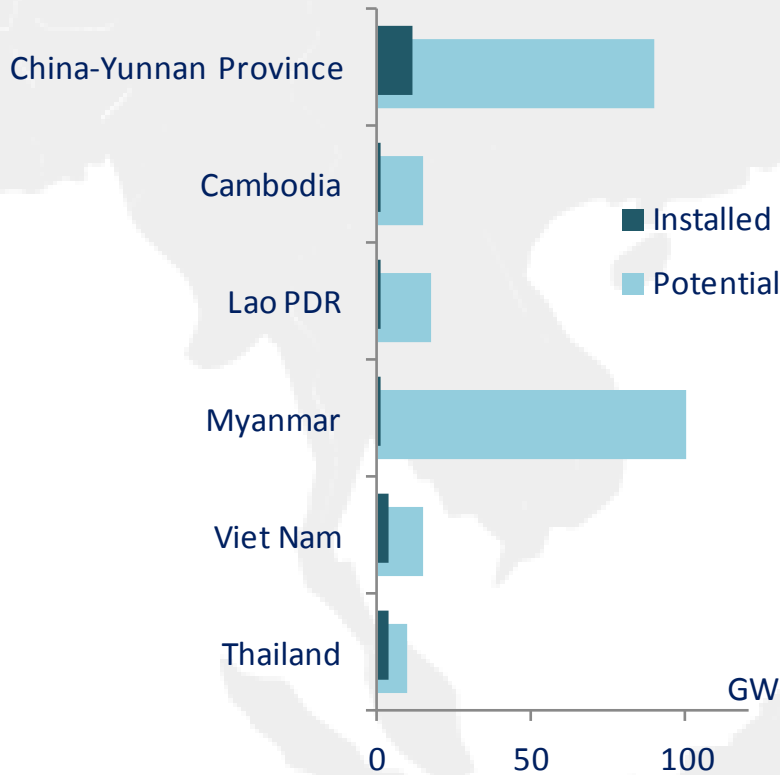
・ボルネオ島は面積74万km²(世界第3位、本州の3倍)の巨島であり、ブルネイ領、マレーシア領(サバ州・サラワク州)及びインドネシア領(カリマンタン)からなる。豊富な水力資源に恵まれており、近年開発が急速に進もうとしている。

・島内の連系線を強化することにより資源を有効に利用し、更には島外(マレーシア半島部、インドネシア・ジャワ島及びスラウェシ島、フィリピン・ルソン島など)への海底ケーブルを通じて電力輸出を行うことを目指している。

(出所)
Asian Development Bank, "An Evaluation of the Prospects for Interconnections among the Borneo and Mindanao Power systems", (2014)

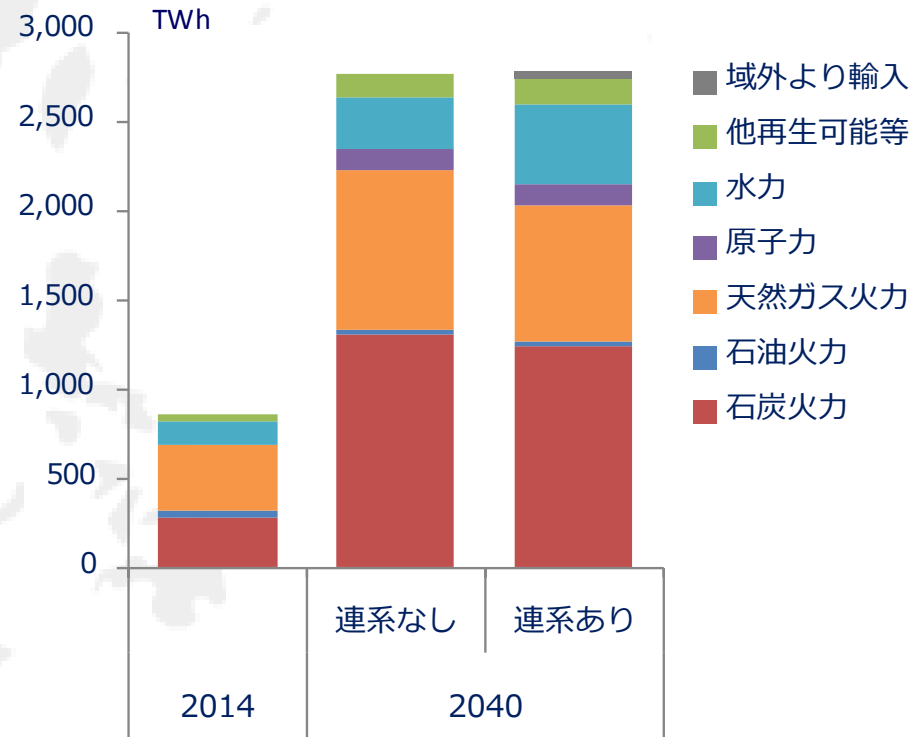
メコン流域の水力ポテンシャルを活用する

メコン流域の水力ポテンシャル



source: ADB

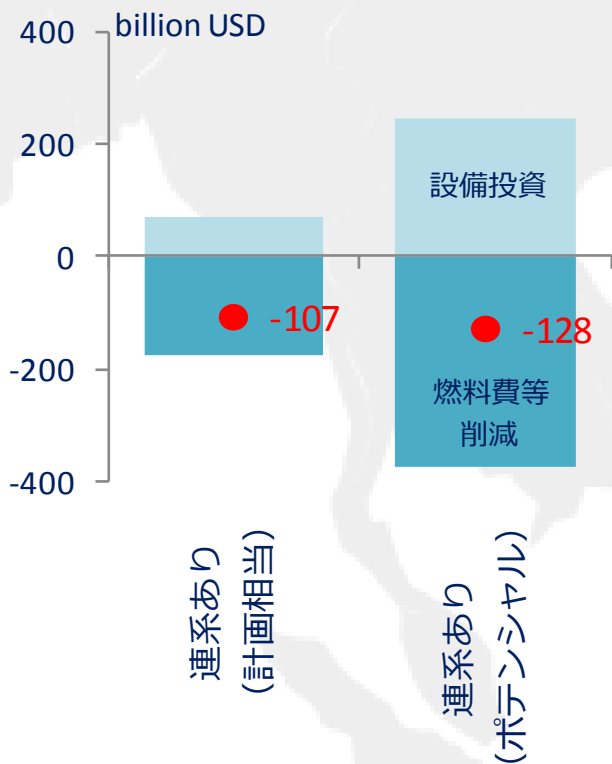
ASEANの電源構成



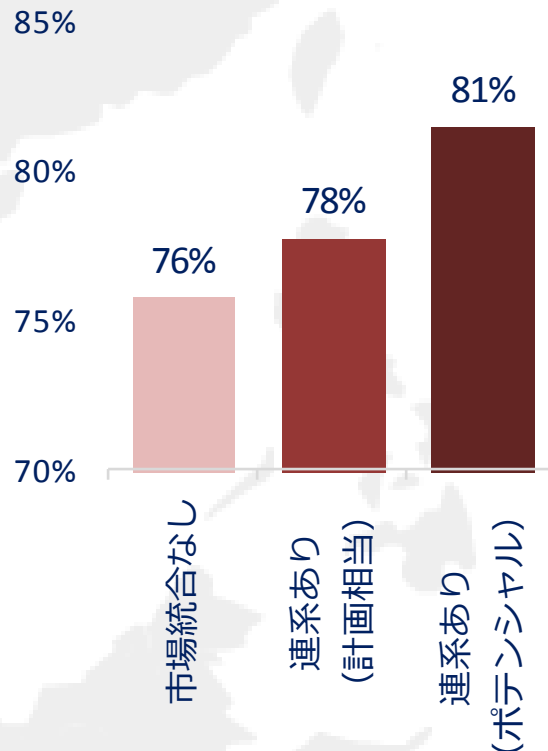
- ・ メコン流域やボルネオ島には、未利用の豊富な水力資源が賦存する。
- ・ 電力需要地と供給地を連系することで、域内の水力資源を活用し、化石燃料発電を減らすことができる。

域内資源の有効活用で3Eの改善に貢献

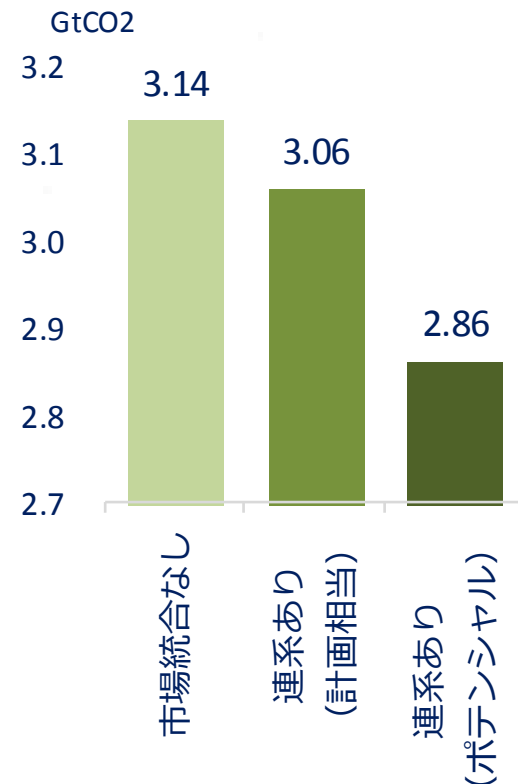
電力統合の経済効果 (2040年まで)



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。

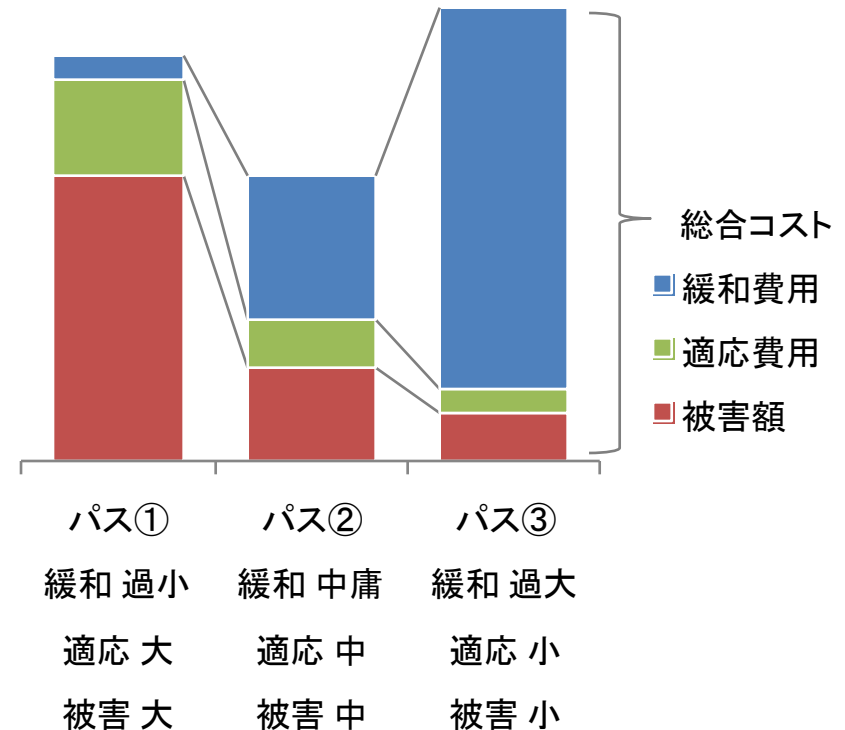
考え方の変革： 温暖化対策における総合コスト

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。 CCSI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、農作物の早魃、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、農作物の早魃、疾病の蔓延などの 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

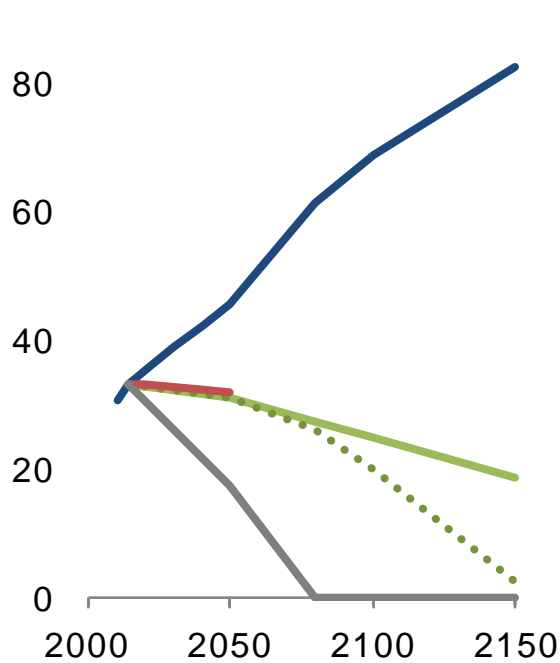


気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい。気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題。持続可能性に基づき、緩和費用、適応費用、被害額の和=総合コストが小さくなる組み合わせを評価する。なお、評価においては、気候感度、割引率などさまざまな不確実性があることに留意

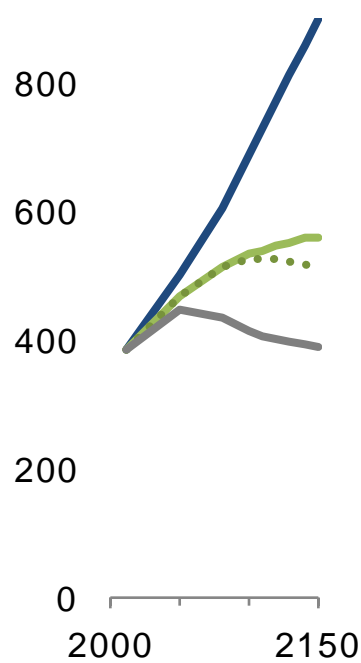
排出量多寡の単純比較を越えて

❖ 超長期パスの下での姿

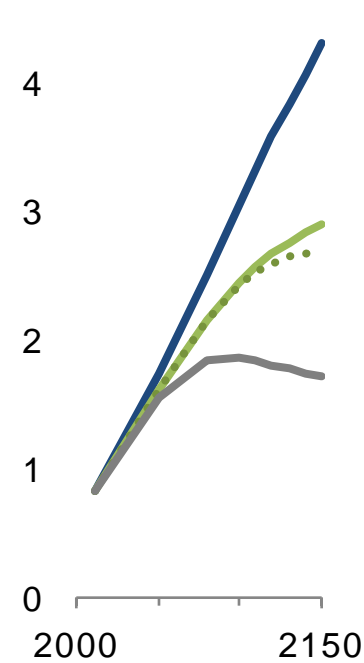
CO₂排出量 (Gt)



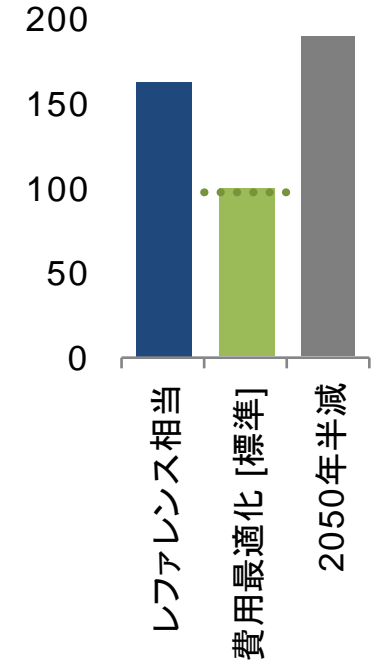
CO₂濃度 (ppm)



気温上昇 (°C)



総合コスト (2015年10億ドル/年)



— レファレンス相当
 — 技術進展
 — 費用最適化[標準]
 ⋯ 同[技術革新]
 — 2050年半減

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

ご清聴ありがとうございました

アジア/世界アウトルック2016の関連資料はWeb公開中！

http://eneken.ieej.or.jp/whatsnew_op/161021teireiken.html