



第12回IEEJ/CNPC研究成果発表会「石油・ガスに関する日中共同シンポジウム」

IEEJ Outlook 2019

－エネルギー変革と3E達成への茨の道－

エネルギー、環境、経済

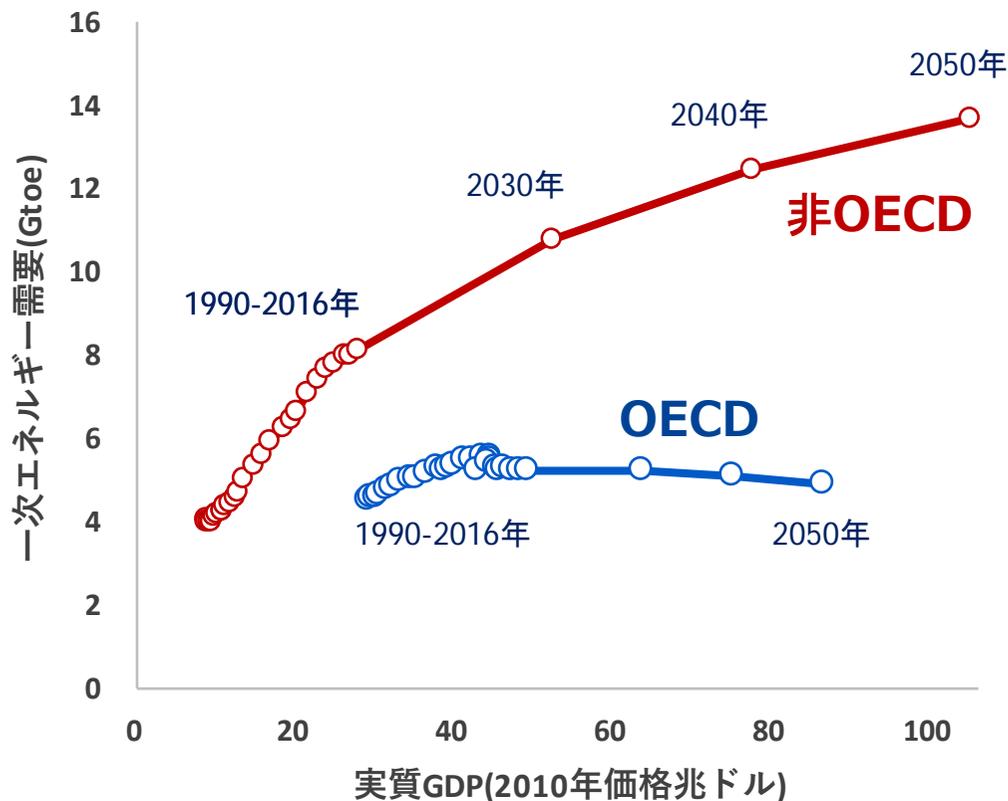
2018年11月13日 東京

(一財) 日本エネルギー経済研究所
理事 山下 ゆかり

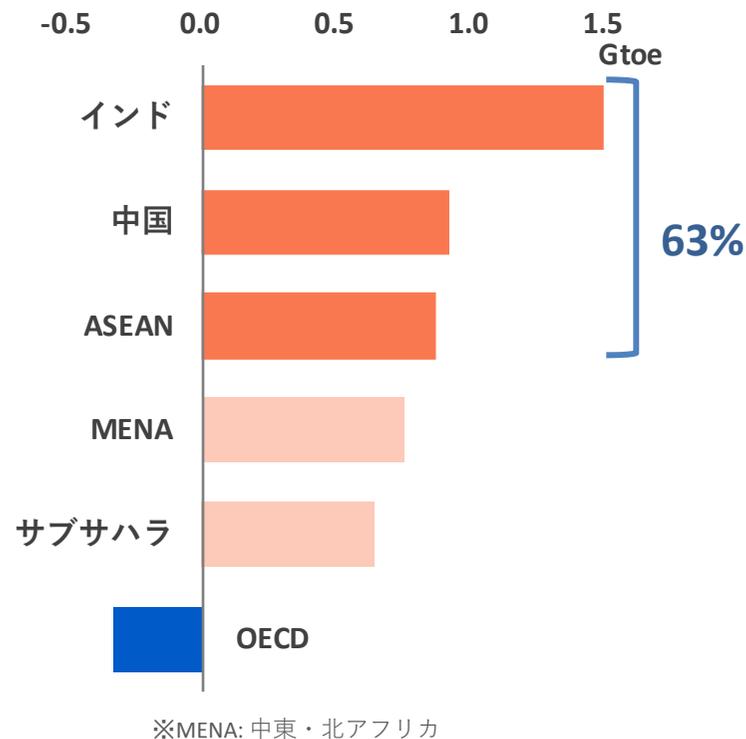
2050年までのエネルギー需給と気候変動

エネルギー需要はますますアジアに集中

◆ 一次エネルギー需要とGDP



◆ エネ需要の増減(2016-2050年)

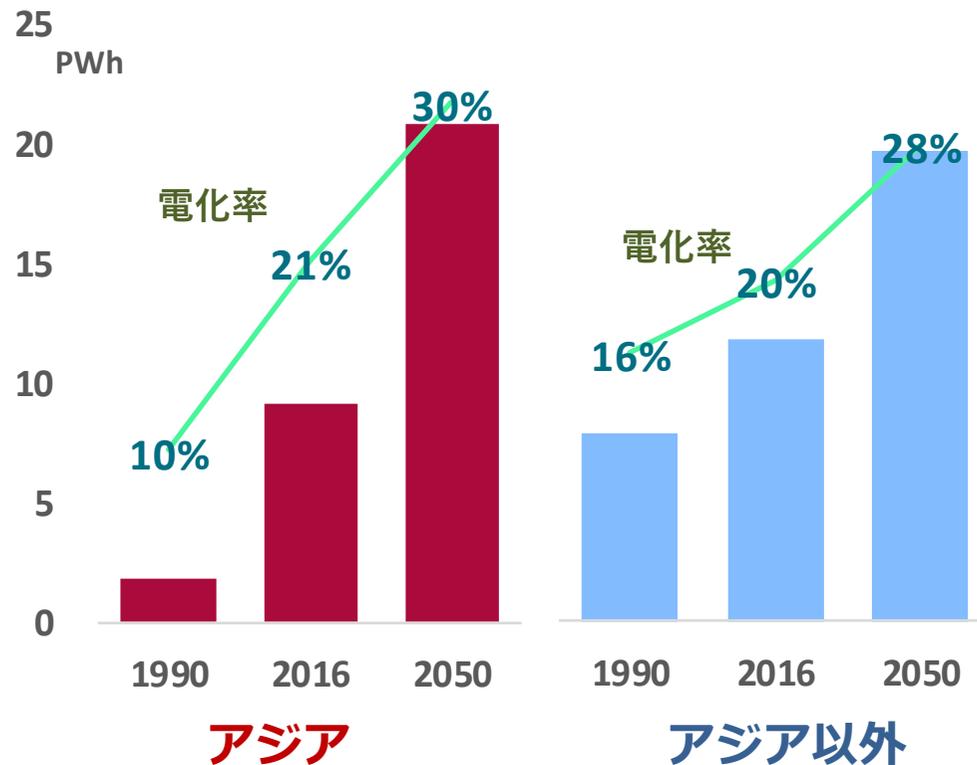


世界の一次エネルギー需要は2050年までに1.4倍に拡大、その増加分はすべて非OECD地域からである。一方、OECD地域ではエネルギー消費と経済成長のデカップリングが進む。

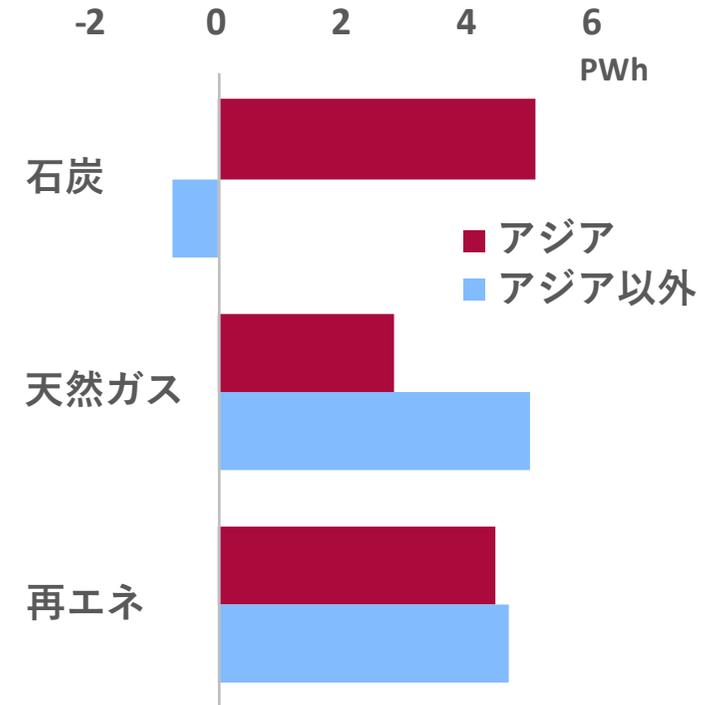
需要増加の63%が中印、ASEANに集中。世界に占めるアジアのシェアは41%から48%まで増加。

世界：経済社会の電力依存が高まる

◆ 最終電力需要と電化率



◆ 発電量増減(2016-2050年)



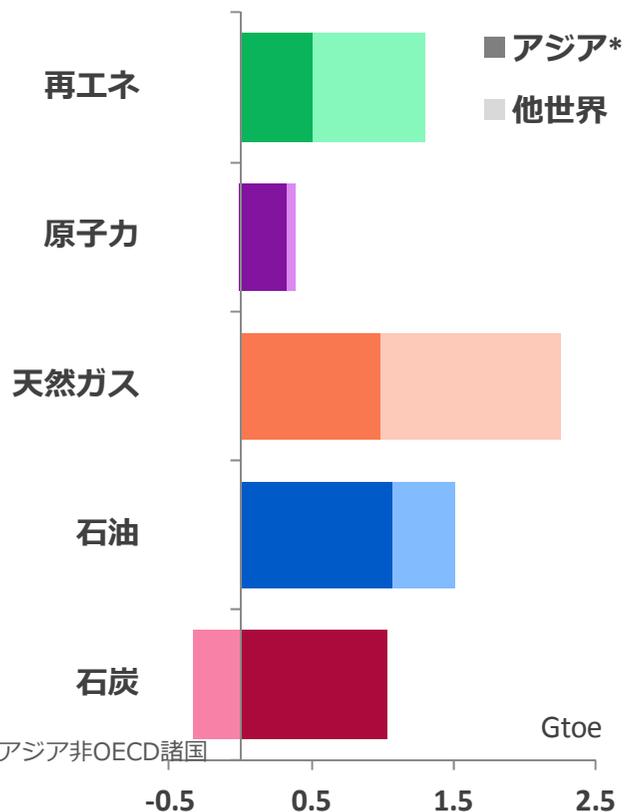
※電化率: 最終エネルギー需要に占める電力需要の割合

一次エネルギー需要増加のうち6割以上が発電のためのエネルギー投入である。世界の電力需要は倍増し、その増加の60%はアジアから生じる。アジアの最終需要における電化率は30%へ上昇。

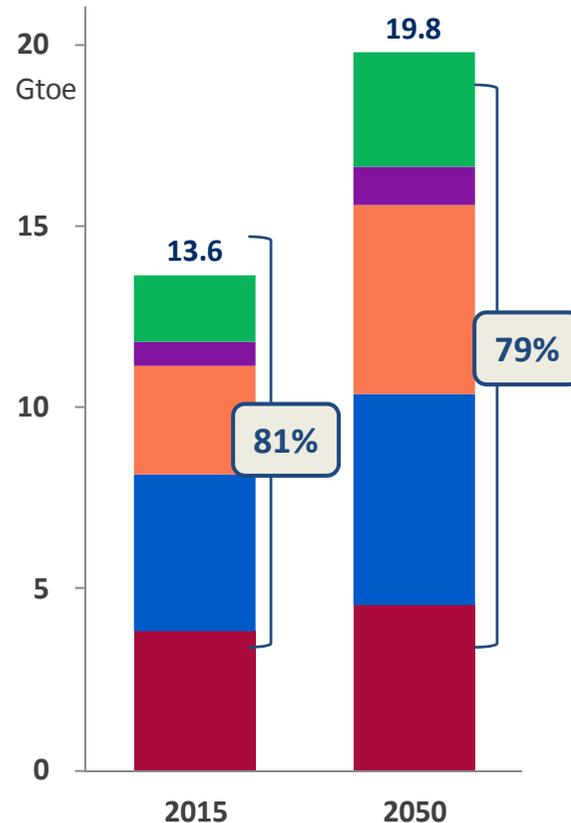
急増するアジアの電力需要の約4割は主に安価で豊富な石炭を利用して賄われる。一方、アジア以外では石炭火力より環境負荷の低い天然ガス火力が好まれる。

世界の化石燃料への依存体質は変わらない

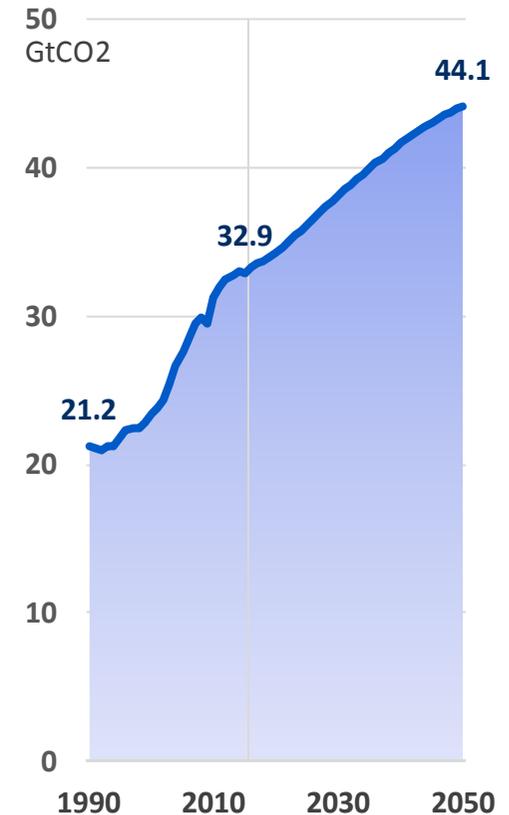
❖ 一次エネルギー需要増減



❖ エネルギー構成



❖ エネルギー起源CO₂排出量



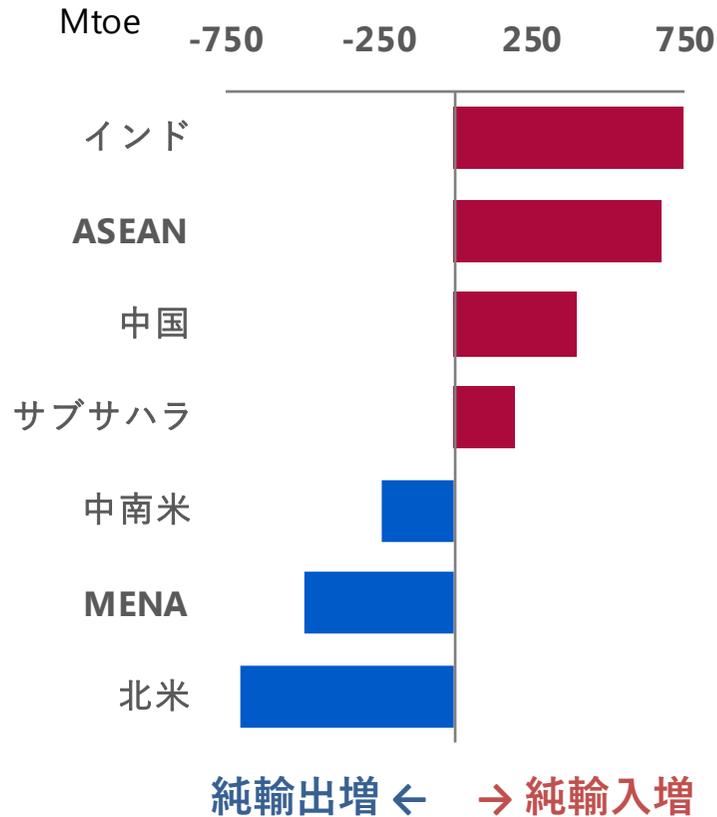
増大する電力需要は主に火力発電で賄われ（約6割）、特に天然ガスが大きく伸びる。輸送用燃料と合わせて、アジアが化石燃料消費の増加をけん引する。

化石燃料依存が変わらない中で、エネルギー起源CO₂排出量は2050年までに34%増加する。

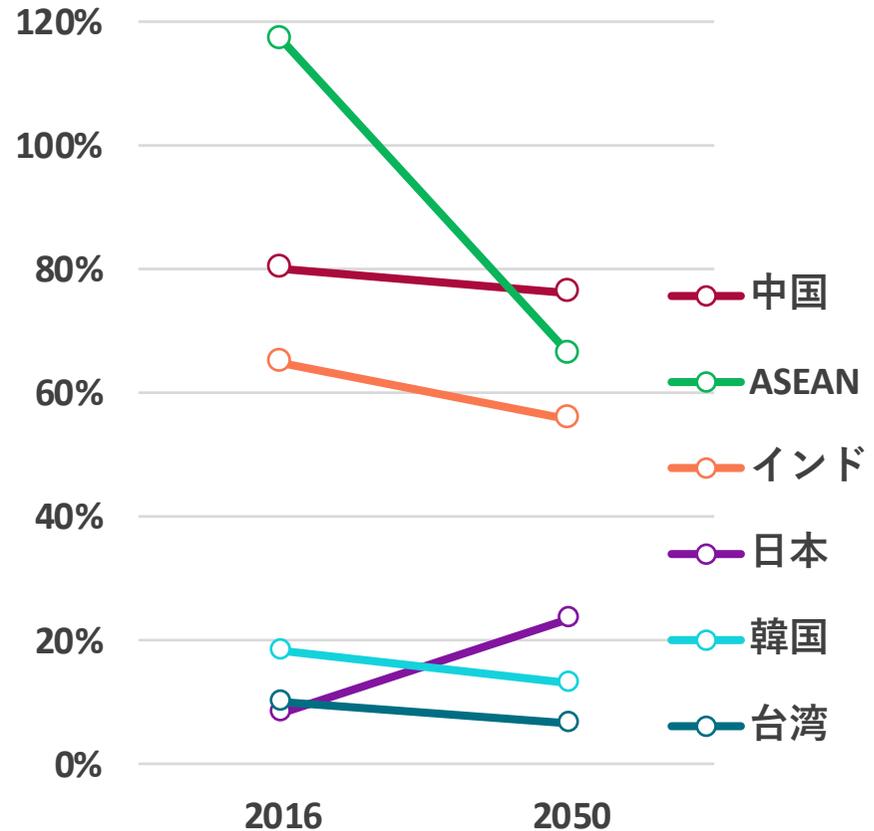
(出所)日本エネルギー経済研究所「IEEJアウトルック 2018」(2017年10月)

輸入頼みのアジアのエネルギー供給

❖ エネルギー純輸入増減(2016-2050年)



❖ エネルギー自給率



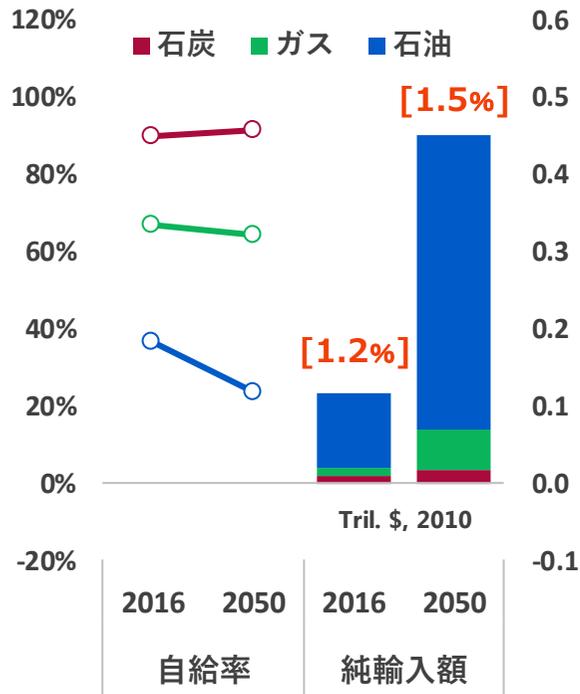
アジアのエネルギー輸入は大きく増加し、貿易取引量の8割がアジアに向かう。米国は2020年代半ばには純輸出国に転じる。

アジアの域内自給率は72%から63%に低下。とりわけ、2020年代前半には純輸入ポジションに転落するASEANで顕著。

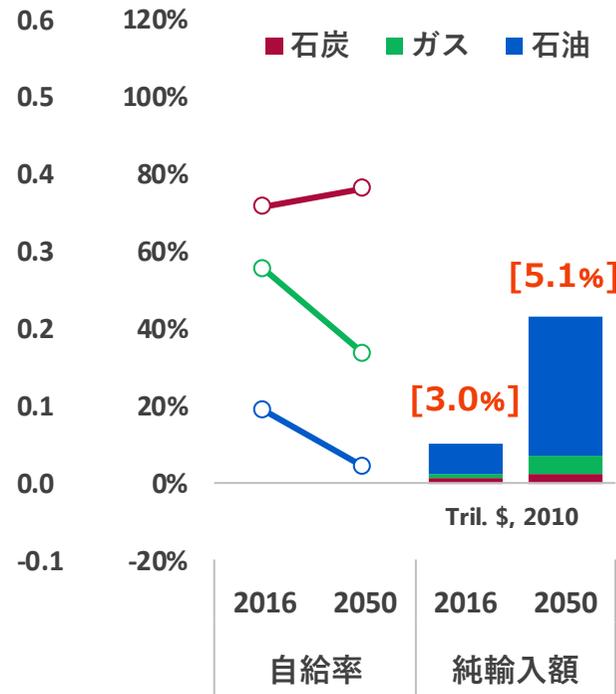
(出所)日本エネルギー経済研究所「IEEJアウトルック 2019」(2018年10月)

膨らむ石油輸入金額

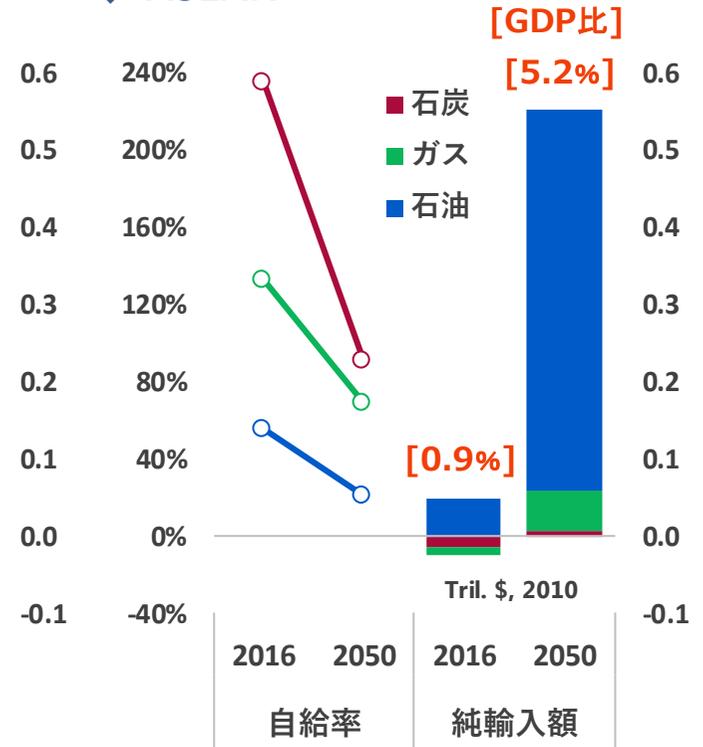
❖ 中国



❖ インド



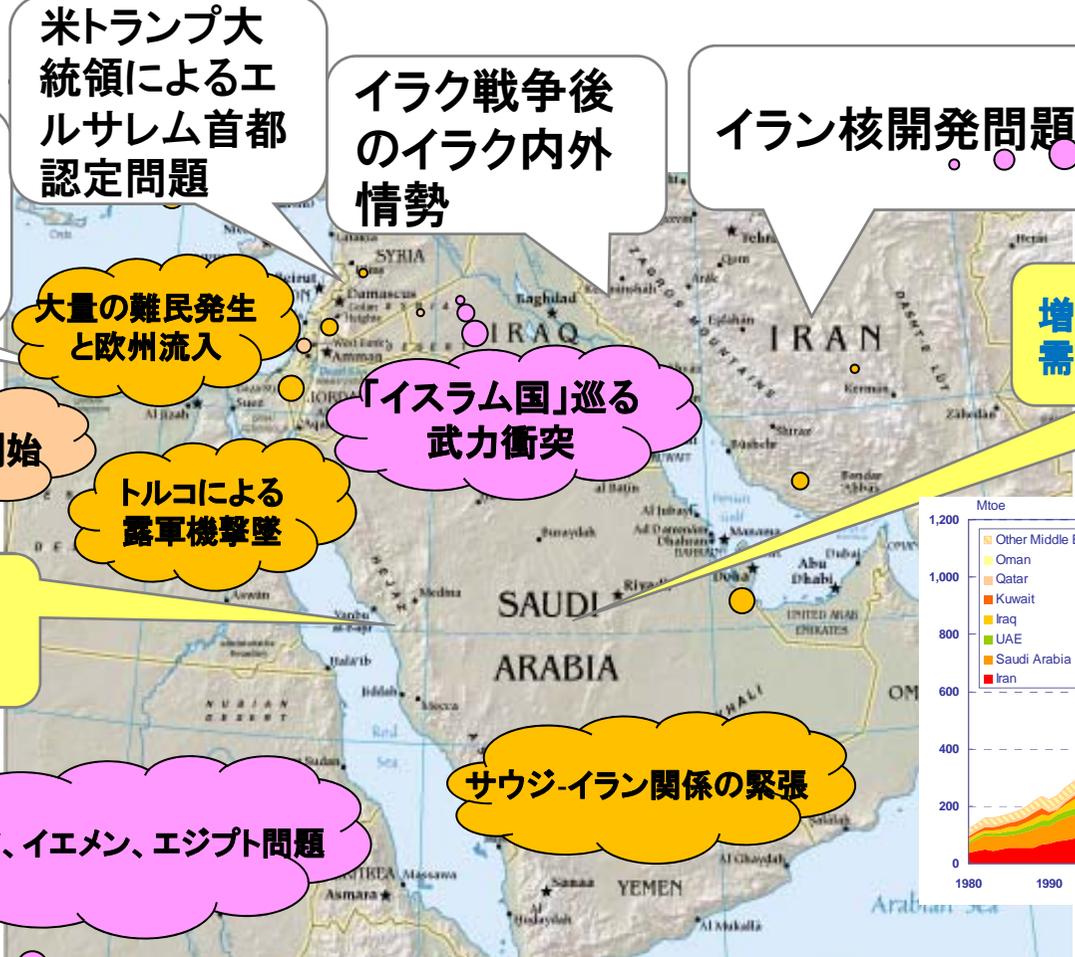
❖ ASEAN



輸送用燃料の増加に伴い、アジアの石油自給率は28%から14%へと半減。天然ガス自給率の低下も大きい。一方、石炭自給率は若干低下するものの8割以上を維持。

アジアの石油輸入金額は大幅に増加し、エネルギー輸入総額のGDP比は1.6%から3.0%に上昇。とりわけ、ASEANでは0.9%から5.2%に急上昇し、経済への影響が懸念される。

中東・北アフリカ地域の不安定な政情は続く



パリ同時テロ
ベルギーでも...

先行き不透明な
中東和平問題

ガザ紛争

ロシア空爆開始

米トランプ大
統領によるエ
ルサレム首都
認定問題

大量の難民発生
と欧州流入

トルコによる
露軍機撃墜

イラク戦争後
のイラク内外
情勢

「イスラム国」巡る
武力衝突

イラン核開発問題

経済制裁解除と
イラン市場復帰
⇒ 米国離脱

増大する国内エネルギー
需要への対応とその影響

「アラブの春」の
広範な影響

シリア、イエメン、エジプト問題

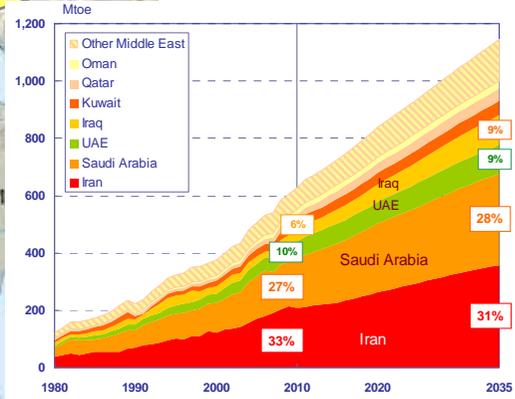
サウジ-イラン関係の緊張

アラブイスラム社
会に広がる米国
への不満・反発

中東の現政権・
体制を巡る不安
定要因

2017年11月 サウジア
ラビアの「腐敗防止最
高委員会」による王族・
閣僚等の逮捕・拘束

石油施設に対
するテロ活動
の危険性



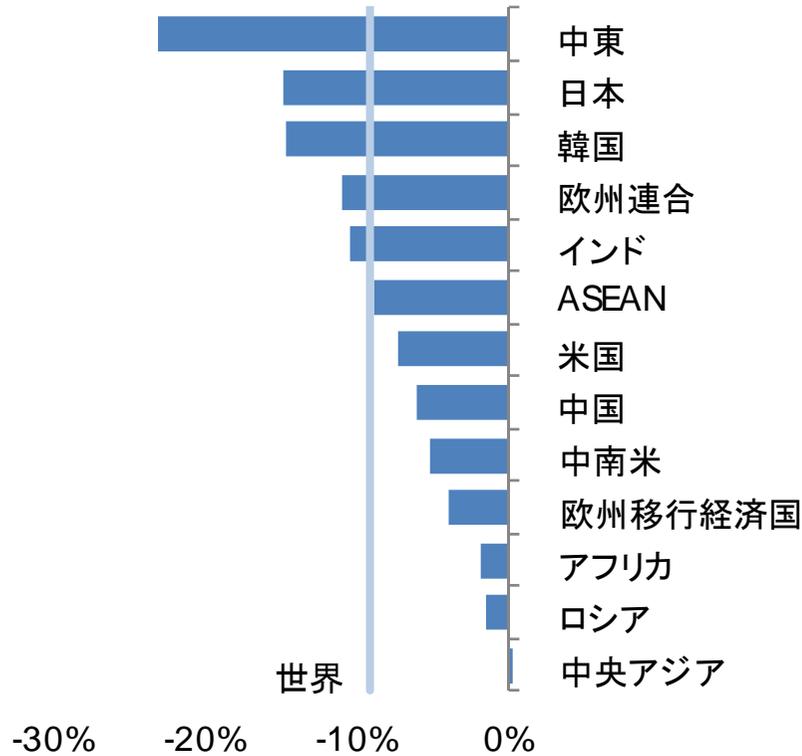
石油供給障害の要因

- 石油の供給障害は、伝統的なエネルギー安全保障の議論の中核をなしてきた。
- 生産-輸送-国内供給の各段階で、事故や故障、自然災害、あるいは社会や経済全体に及ぶ構造的な要因に起因して様々な供給障害が発生。
- 現在もそのリスクは存在。

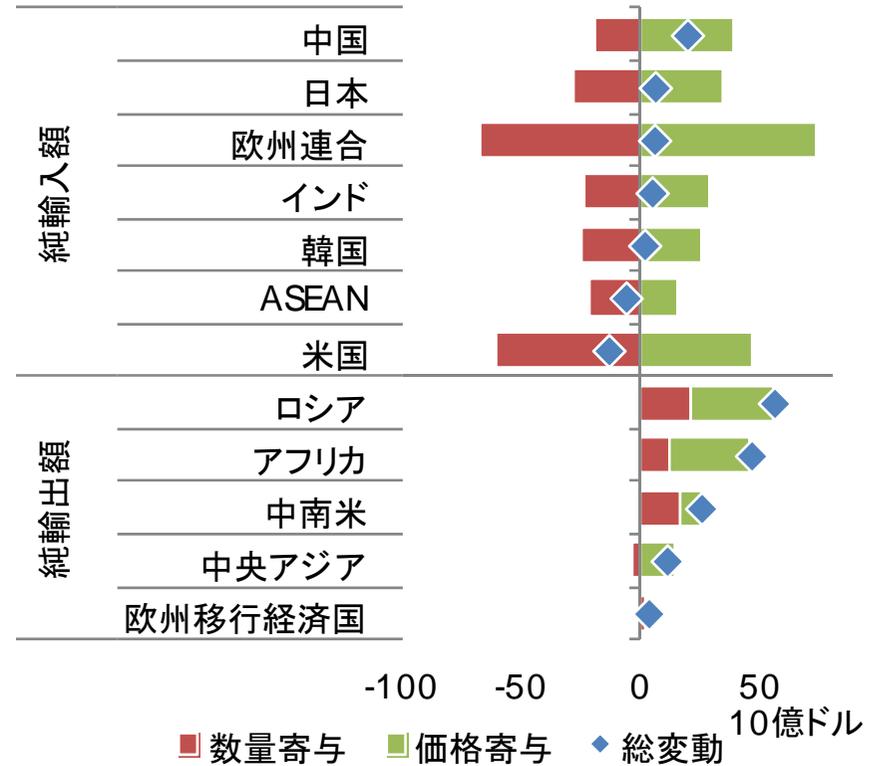
	リスク	事例
生産	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による生産設備の破壊や操業停止 ● 政変やテロによる生産設備の破壊や操業停止 ● 政治的な意思や戦略による輸出停止 	<p>1973年: OAPEC諸国による米国、オランダ向け禁輸措置</p> <p>2005年: ハリケーンによる米国メキシコ湾岸の原油生産設備停止</p> <p>2018年: 内紛による生産停止、港湾の封鎖などによってリビアからの原油輸出が一部停止</p>
輸送	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による設備の破壊や操業停止 ● テロや海賊行為による輸送手段(輸送船、パイプライン等)の破壊や運行停止 ● 政治的な意思や戦略、軍事行動による輸送路の遮断 	<p>1984-88年: イラン-イラクによる「タンカー戦争」</p> <p>2011年: テロによるエジプトからイスラエルに至るガスパイプラインの破壊</p> <p>2018年: イエメンの武装勢力による原油タンカー攻撃</p>
国内供給	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による供給設備の破壊や操業停止 ● テロによる供給設備の破壊や操業停止 	<p>2011年: 東日本大震災による製油所、油槽所の損傷、港湾や鉄道、道路の破壊による石油供給の停止</p>

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



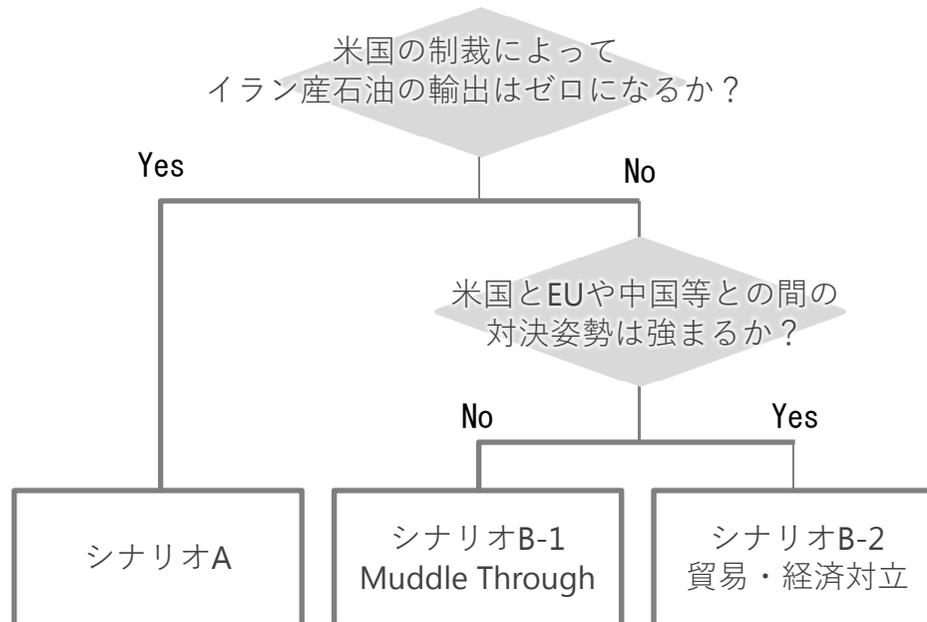
注: 中東の原油純輸出入額は1,390億ドル減

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入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

イラン情勢が国際石油市場に与える影響

- 米国による対イラン制裁復活の影響を、2020年頃までを視野にシナリオで分析。
- イラン産原油の輸出（約2.5Mb/d）が完全に無くなるシナリオでは、OPEC余剰生産能力の逼迫から価格が高騰。
- 米国発の貿易摩擦が激化するシナリオでは、世界経済の減速から石油需給が緩和し、価格が低下。



◆ シナリオ分析のポイント

	シナリオA	シナリオB-1	シナリオB-2
原油市場	需給がタイト化し、余剰生産能力も逼迫。	サウジアラビアなどの増産寄与によって、比較的平穏。	景気の減速によって供給過剰に。
原油価格	80-100\$/bblの水準。場合によってはそれ以上を目指す。	70-80\$/bblの水準。	50\$/bblを目指す。
他のエネルギー	LNG価格が上昇することで需要が減速。石炭が優位に。	-	LNG価格の低下が潜在的な需要を発掘。新規液化計画のFIDは遅延。

電力供給の新しい脅威

構造的なリスク

●特定のエネルギー源依存の高まり

- ✓ 米国ではガス火力発電への依存が高まった地域が増えたが、パイプラインを通じて供給を受けることから、極端な気象条件で発電所計画外停止だけでなくガス供給障害による供給力減少リスクが顕在化しつつある。

●太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化

- ✓ 太陽光発電の導入拡大が進んでいるカリフォルニア州と日本では一日の間に二度ピークを迎えるダックカーブ化が進展している。特に昼間から夕方に向かって急峻な需要増が生じるため、急激な出力増に対応可能な供給力確保が必要。

●経済原理に基づく発電所停止

- ✓ 特定の電源種の経済性が悪化し、短期間で大量の発電所閉鎖が発生するリスク。米国では2012～2017年に石炭火力発電：5,531万kW、ガス火力発電：3,555万kW、原子力発電：477万kWが閉鎖された。発送電分離が行われているため、送電系統運用者や信頼度機関にとって把握が難しく、情報の把握が課題である。

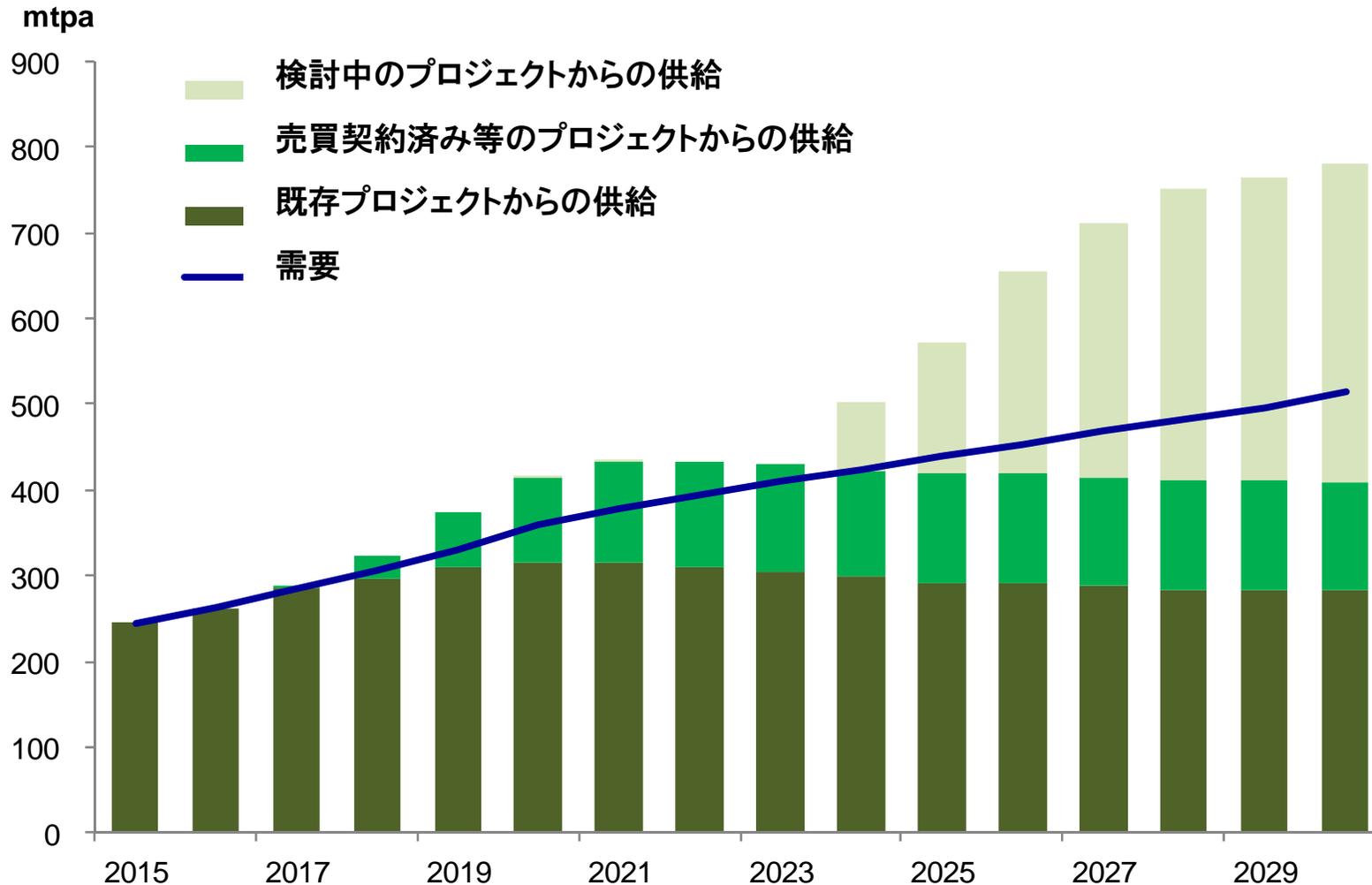
突発性のリスク

●サイバー攻撃

- ✓ ウクライナでは2015年12月と2016年12月にサイバー攻撃に起因する停電が発生した。系統制御システムに侵入されて直接制御を受け停電に至ったもの。将来的に供給力の分散化に伴いそれらをアグリゲートしてバーチャルパワープラント（VPP）型の供給力が高まった場合、VPP需給運用システムへの攻撃等のリスクが考えられる。

参考：2023年以降のLNG需給バランスは？

世界の長期LNG需給見通し



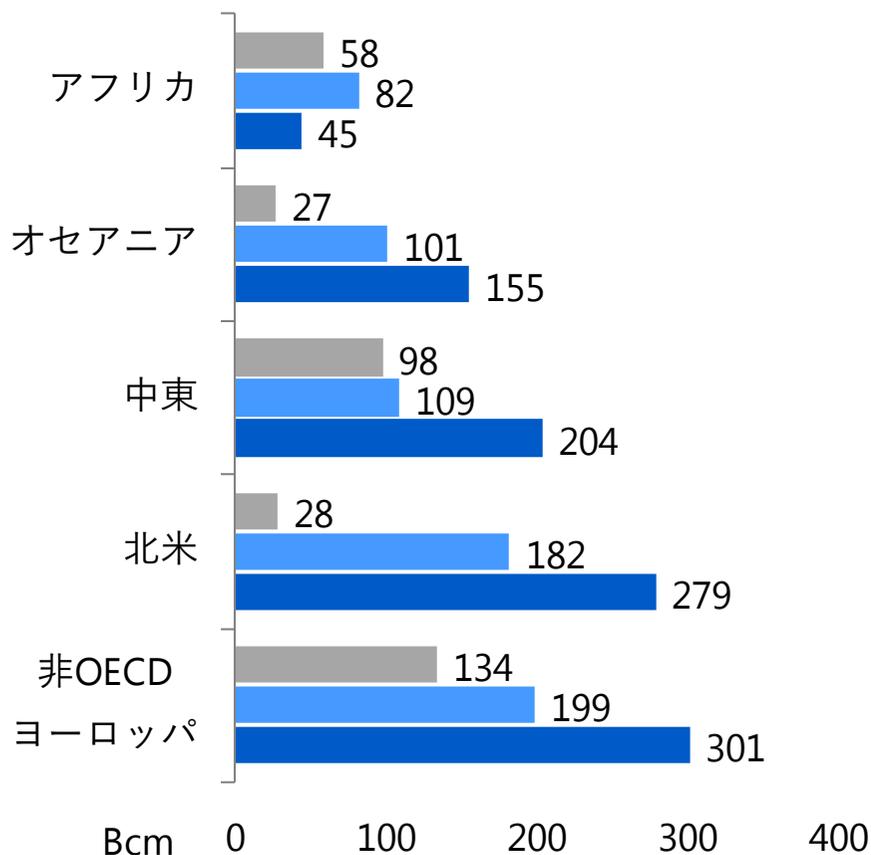
出所: 小林良和, "日本とアジアにおける天然ガスの役割" (2017年9月)

天然ガスの純輸出入量

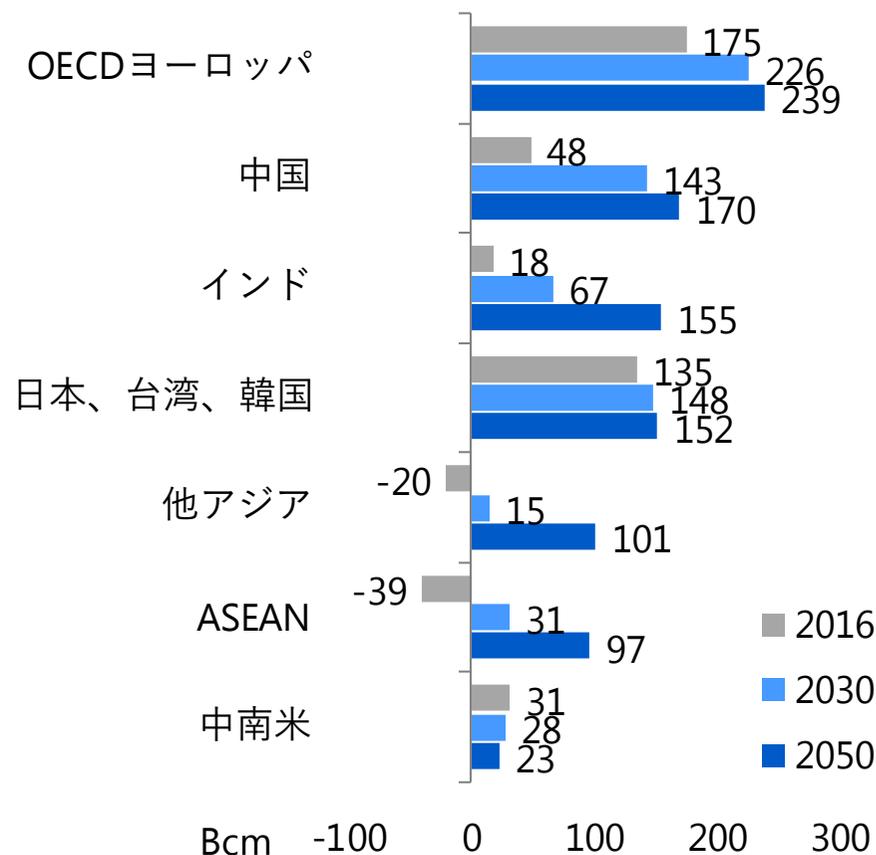
レファレンスシナリオ



2050年純輸出地域の純輸出量



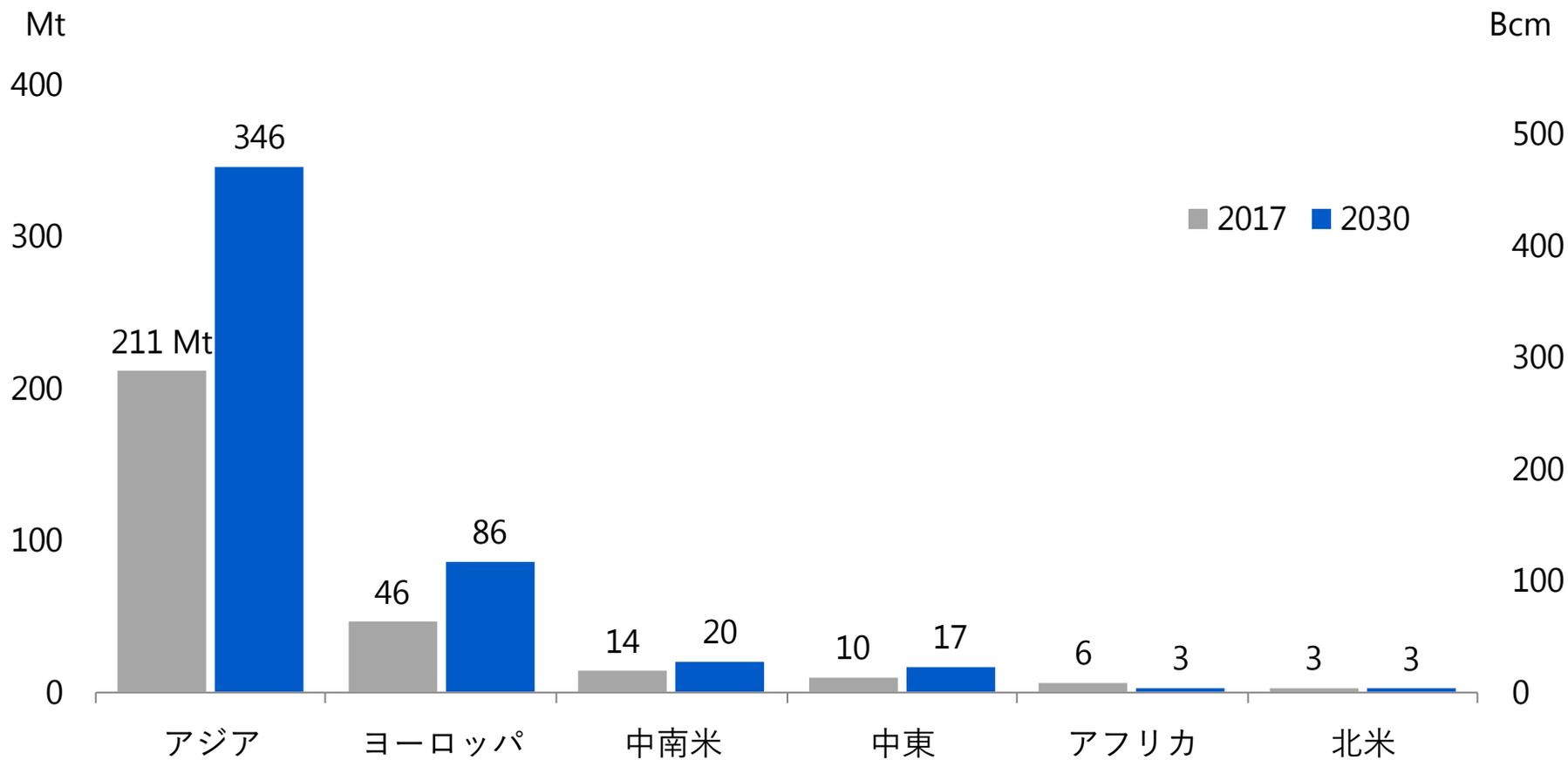
2050年純輸入地域の純輸入量





世界のLNG輸入量

レファレンスシナリオ





パリ協定 | 世界規模の取り組みの一步だが

❖ 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、180を超える国々が、ボトムアップ方式で今後の削減努力に合意。

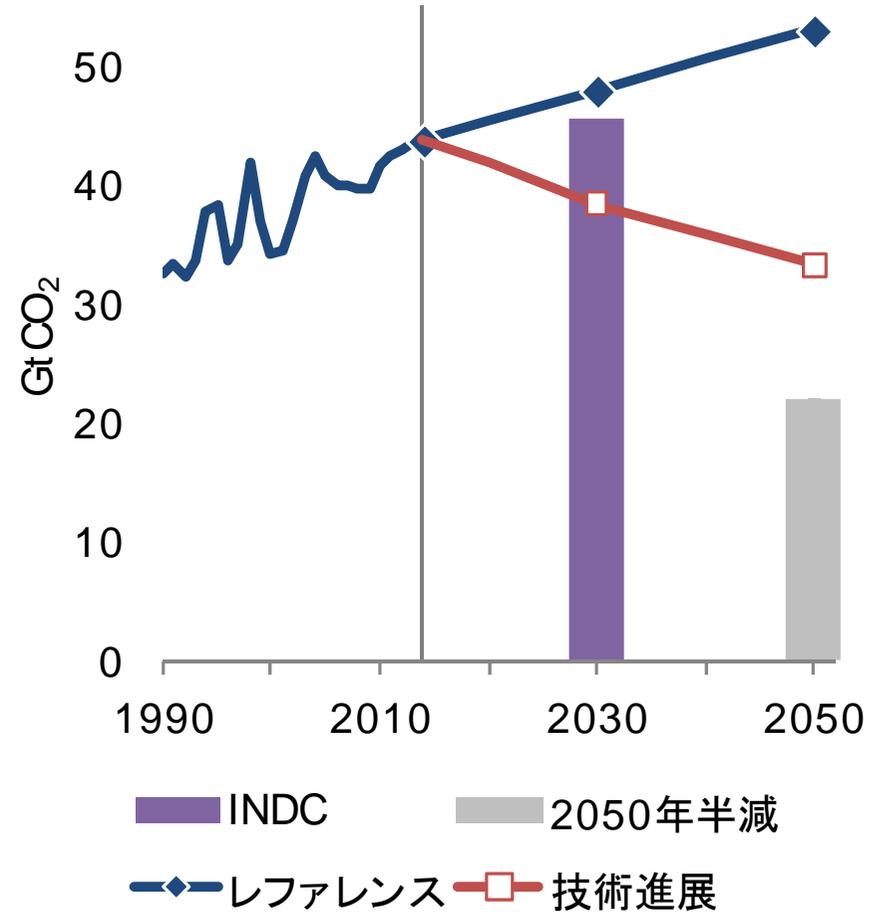
課題



世界のGHG排出量が足元より増加する



❖ 温室効果ガス排出



2050年に向けた主要国の戦略

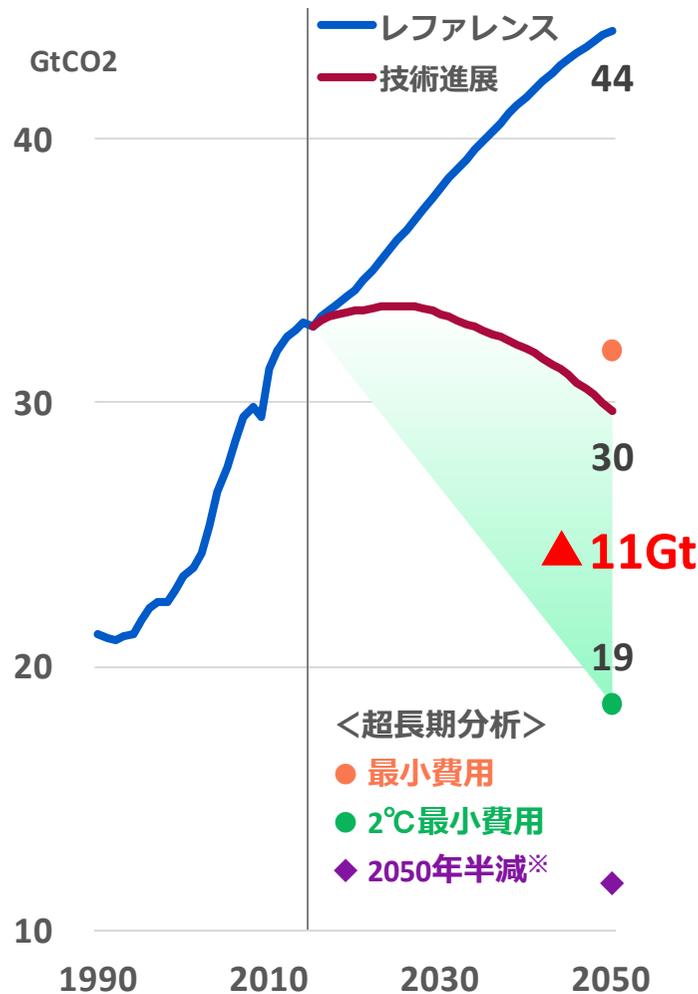
	削減目標	柔軟性の確保	主な戦略・スタンス		
			ゼロエミ化	省エネ・電化	海外
米国	▲80%以上 (2005年比)	削減目標に向けた 野心的ビジョン (足下での政策立案を意図するものではない) providing an ambitious vision to reduce net GHG emissions by 80 percent or more below 2005 levels by 2050.	ゼロエミ比率 引き上げ 変動再生エネ + 原子力	大幅な電化 (約20%→45~60%)	米国製品の市場拡大を通じた貢献
カナダ	▲80% (2005年比)	議論のための 情報提供 (政策の青写真ではない) not a blue print for action. Rather, the report is meant to inform the conversation about how Canada can achieve a low-carbon economy.	電化分の確保 水力・変動再生エネ + 原子力	大幅な電化 (約20%→40~70%)	国際貢献を視野 (0~15%)
フランス	▲75% (1990年比)	目標達成に向けた あり得る経路 (行動計画ではない) the scenario is not an action plan: it rather presents a possible path for achieving our objectives.	電化分の確保 再生エネ + 原子力	大幅な省エネ (1990年比半減)	仏企業の国際開発支援を通じて貢献
英国※	▲80%以上 (1990年比)	経路検討による 今後数年の打ち手の参考 (長期予測は困難) exploring the plausible potential pathways to 2050 helps us to identify low-regrets steps we can take in the next few years common to many versions of the future	ゼロエミ比率 引き上げ 変動再生エネ + 原子力	省エネ・電化を推進	環境投資で世界を先導
ドイツ	▲80~95% (1990年比)	排出削減に向けた 方向性を提示 (マスタープランを模索するものではない) not a rigid instrument; it points to the direction needed to achieve a greenhouse gas-neutral economy.	引き上げ 変動再生エネ	大幅な省エネ (1990年比半減)	途上国投資機運の維持・強化

※ 長期戦略としてはUNFCCCに未提出。The Clean Growth Strategy (2017年10月)を基に作成。

(出所) 経済産業省 資源エネルギー庁 エネルギー情勢懇談会 (第6回) 資料3、p.3 (2018年2月19日)

技術進展シナリオからのさらなる削減

❖ エネルギー起源CO₂排出量



❖ さらなる11Gtの削減に必要な技術導入量の例

① CO₂フリー水素技術の利用 (参考: アウトルック2016)

- ・ 水素発電 1GW x 3000基
- ・ 燃料電池車 10億台

(800Mt/年の水素需要は現在のLNG需要の約3倍)

② ネガティブエミッション技術の利用

- ・ BECCS: バイオマス発電 0.5GW x 2800基

(2000Mtoe/年の燃料供給に285万km²相当の土地)

③ ゼロエミッション電源の利用+製造業CCS

▲ 10GtCO₂ (CCS未設置火力発電の代替による削減上限値)

- ・ 宇宙太陽光 : 1.3GW x 2300基
- or 高温ガス炉 : 0.275GW x 8700基
- or 核融合炉 : 0.5GW x 4500基
- or CCS火力発電 : 2800GW

(CO₂貯留のポテンシャルは推定7000Gt以上)

+

▲ 1 GtCO₂

- ・ 製造業CCS: 製造施設・プラントの約2割に設置

(鉄鋼、セメント、化学、紙パ、石油精製、GTL/CTL)

※気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)で整理されている「RCP2.6」における排出パスを設定。

出所: IEEJアウトルック2018

水素: エネルギー転換の鍵となる技術

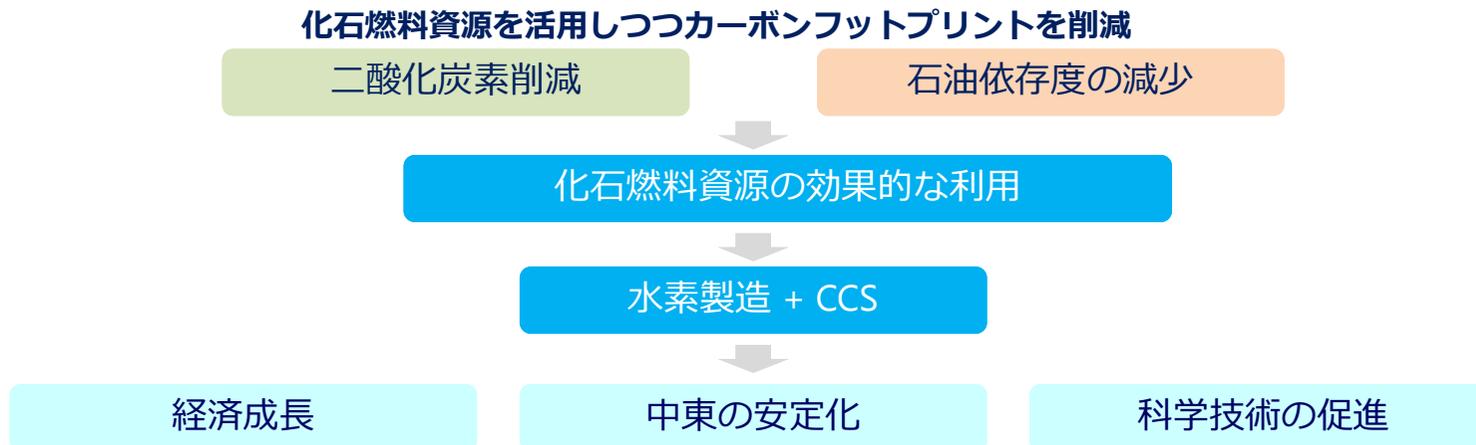
水素の可能性

エネルギー転換時代の水素

- 脱炭素化と化石燃料から電力への転換
- カーボンゼロエネルギーのキャリアとして、水素に大きな期待
- 水素はあらゆるエネルギーから生産が可能（再生可能エネルギー、化石燃料、原子力）

水素の役割

- 気候変動への対応が最優先
- 考えられる「便益」：
 - ポスト石油の時代における化石燃料資源国の安定化
 - ゼロエミッションの世界におけるアジアのエネルギー輸入国とエネルギー輸出国の架け橋
 - 余剰再生電力の蓄電



大規模な水素需要の創出が必須

産業用需要

- 大規模需要
15 billion Nm³/y for oil refining, petrochemicals, ammonia, etc. in Japan
- 小規模需要
300 million Nm³/y in Japan at present



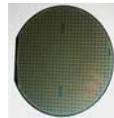
ステンレス鋼、
光輝焼鈍



ガラス



水素化油脂、
マーガリン



半導体

エネルギー利用

- 燃料電池自動車、
- 水素ステーション



800,000 units @2030
: 800 million Nm³

- 水素発電



1GW=2-3 billion Nm³

産業部門



将来的に
製鋼(水素還元反応)、
ボイラー、 燃焼装置

業務部門



未来の水素
都市?

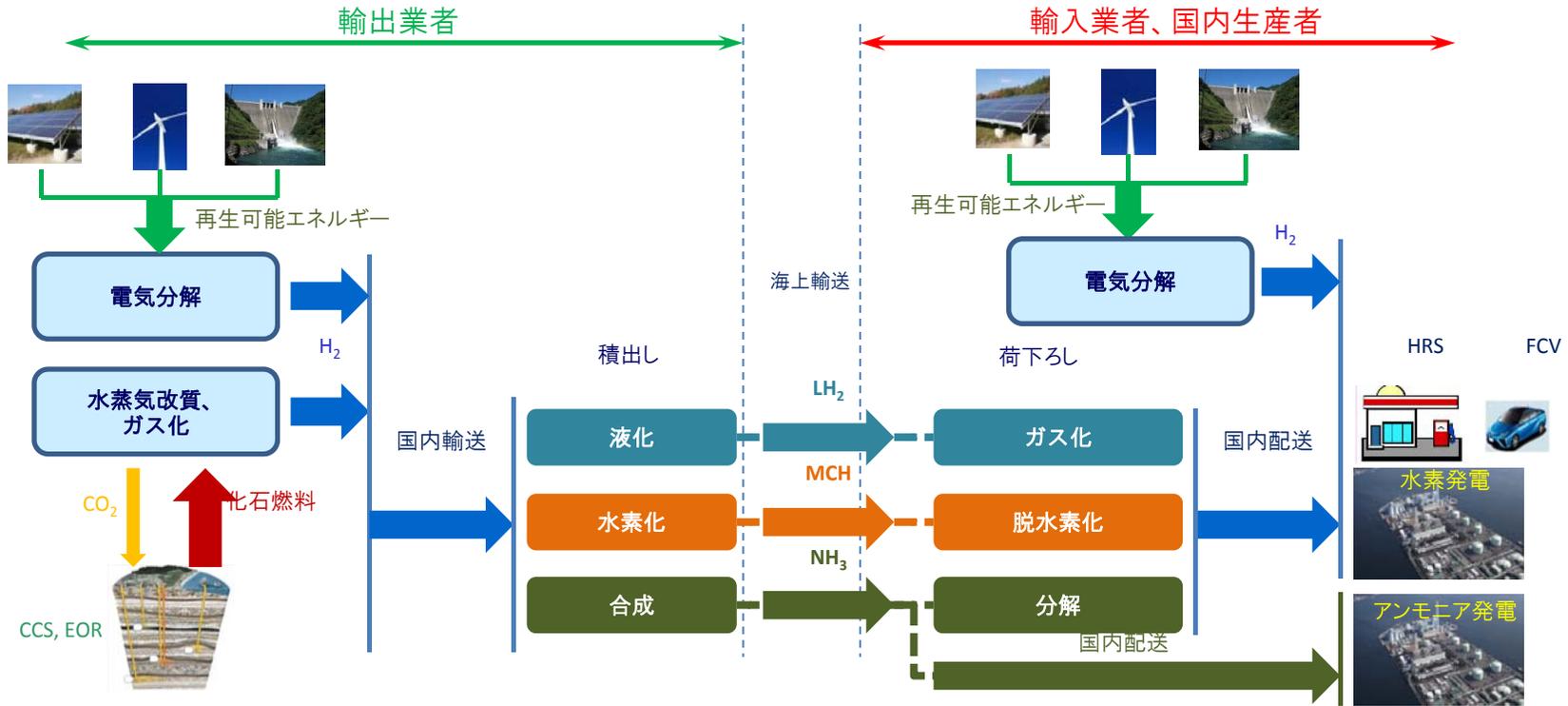
天然ガスパイプライン



合成メタンはハードル
低し

大規模導入で普及促進

- 経済性確保のためには大規模な供給が大前提となる
- 輸送には3つのオプション：
 液化水素 (LH₂), メチルシクロヘキサン (MCH)、アンモニア (NH₃)

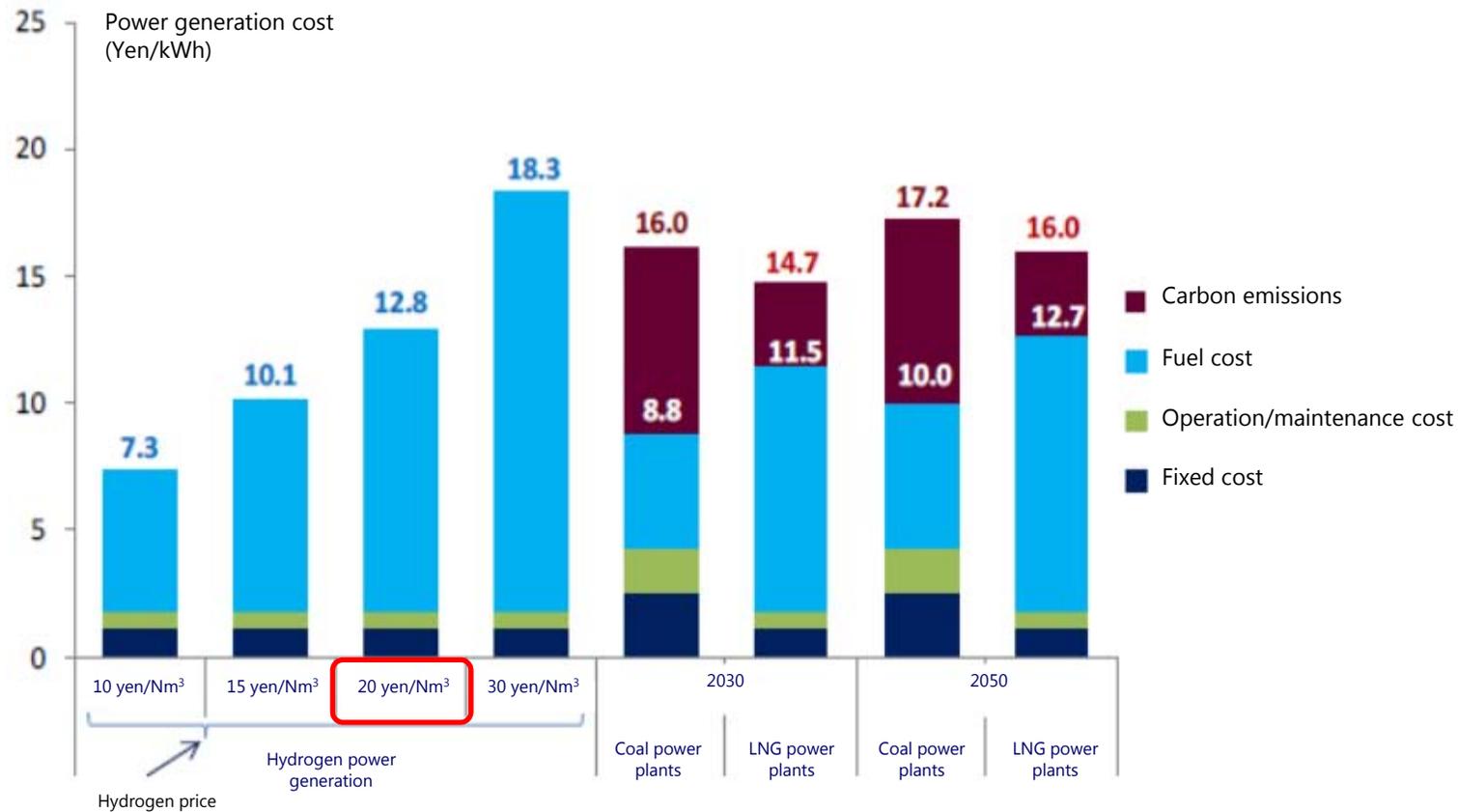


Note: LH₂ is liquefied hydrogen, MCH is methylcyclohexane, NH₃ is ammonia

< 参考資料 >

水素の輸入コスト目標

- 日本における水素発電での利用を前提にすると、望ましい水素の輸入CIF価格は 20 円 /Nm³ 以下。
- 日本政府の目標は 30 円 /Nm³。



Source: IEEJ

まとめ

- 1. 脱炭素化は道半ば**
- 2. アジアにおける 3 E + S の重要性は益々高まっている。**
- 3. 石油供給障害への対応は引き続き重要。電力供給障害への対応は新たな課題。**
- 4. 2度目標達成（今世紀後半の脱炭素化）に向けて
様々な革新的技術開発とコストの大幅な削減が必要。**
* 水素は国や部門、エネルギー源を超えて有望な技術

ご清聴ありがとうございました

IEEJ Website
<http://eneken.ieej.or.jp/>