IEEJ：2020年1月掲載 禁無断転載

九州大学講義

２０５０年に向けた国際エネルギー情勢の展望
- IEEJアウトルック各年版から -

2020年1月16日

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
理事　山下　ゆかり

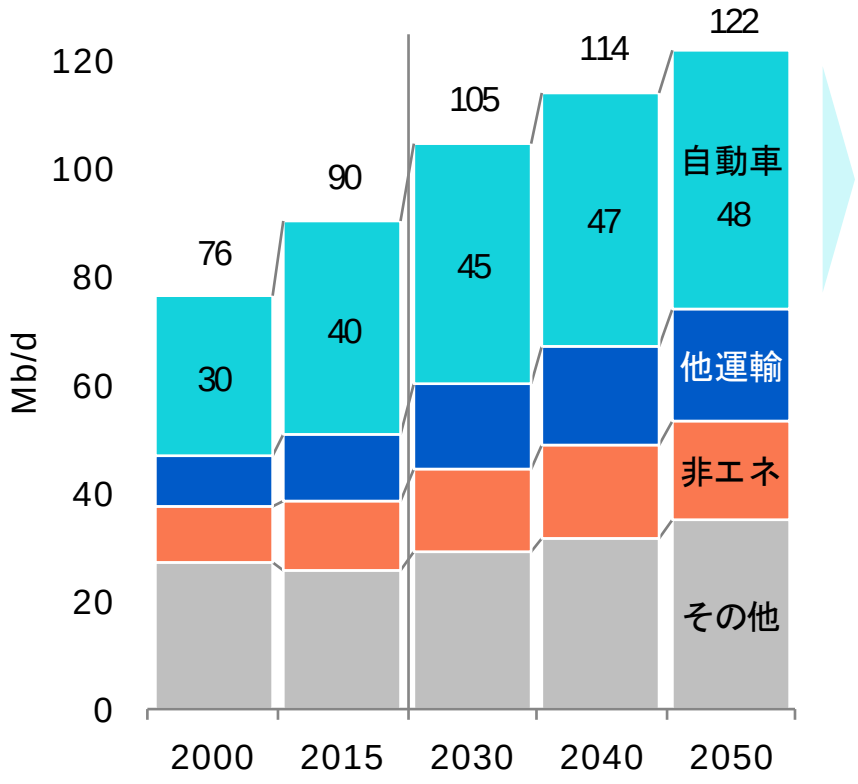
石油“需要”ピークケース

ーIEEJアウトルック2018からー

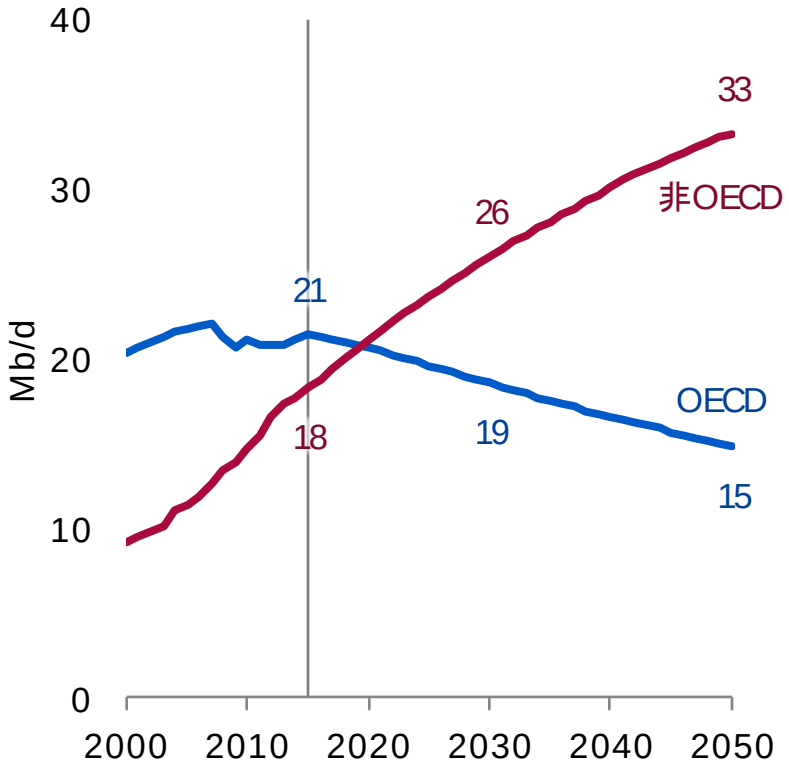
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

石油消費は運輸、とりわけ自動車がドライブ

❖ 石油消費[レファレンスシナリオ]



❖ 自動車用石油消費[レファレンスシナリオ]



石油消費の2050年までの増分の約7割は、運輸と石油化学用原料。特に、自動車用が行き先を決めうる

ただし、その自動車用もOECDでは減少の一途で、2020年ごろには非OECDを下回る。今後の増分はすべて非OECDで発生する勘定

自動車電動化への動きが、最近活発化

❖ 最近の政府・議会の主な動き

ドイツ

2030年までにEUでの従来型自動車販売を禁止する決議案を連邦参議院が可決(2016)

ノルウェー

2025年までに従来型自動車の廃止を与野党が提案(2016)

フランス

2040年までに従来型自動車販売を禁止と政府が発表(2017)

英国

2040年までに従来型自動車販売を禁止と政府が発表(2017)

インド

2030年以降の新車販売をすべてEVにと大臣が発言(2017) →後に撤回

中国

従来型自動車の販売禁止について研究検討中と副大臣が言及(2017)

❖ 最近の大手自動車メーカーの主な動き

トヨタ

2030年にEV・FCV合計100万台以上、電動車550万台以上の販売を目指す(2017)

フォルクスワーゲン

2025年までに80車種以上のZEV（50車種がEV）を投入、総販売台数の25%をEVとする(2017)

ルノー・日産

2022年までに12車種のEVを投入。販売の3割を電動化車両とする目標(2017)

ヒュンダイ

2020年までに全ラインアップで電動車両を用意する計画(2015)

2025年までにEV14車種投入(2017)

フォード

2022年までに新型EV13車種投入 投資額を倍増し同年までに110億ドル投入(2017)

ホンダ

2030年に4輪車販売台数の3分の2を電動化(EV比率15-20%)。2018年には中国でEVを発売予定(2017)

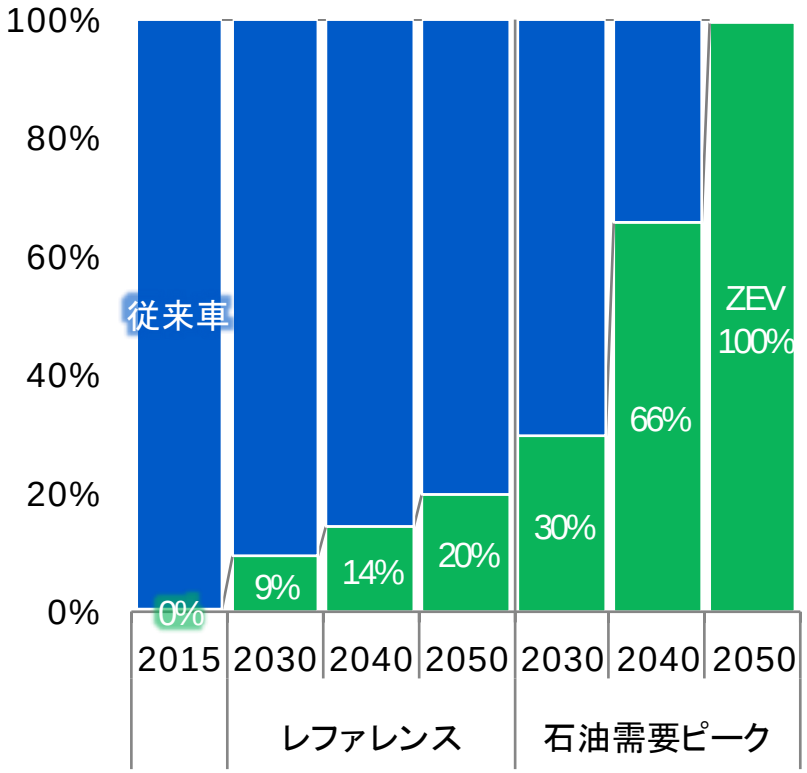
（出所）「IEEJ Outlook 2018」（日本エネルギー経済研究所、2017年10月）に小山堅加筆

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

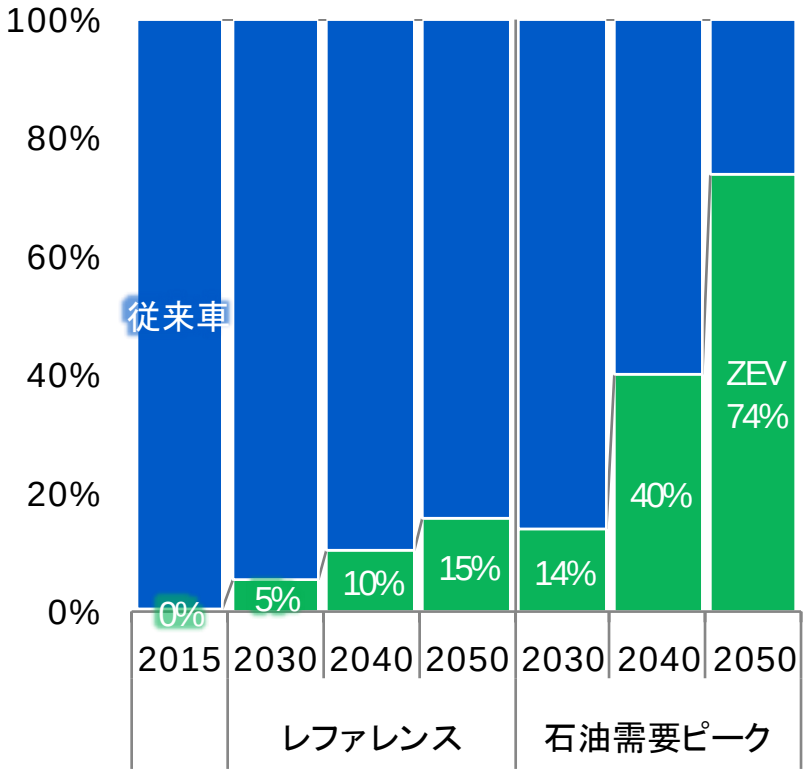
自動車販売・保有構成

石油需要ピークケース

❖ 新車販売の仮定



❖ 保有



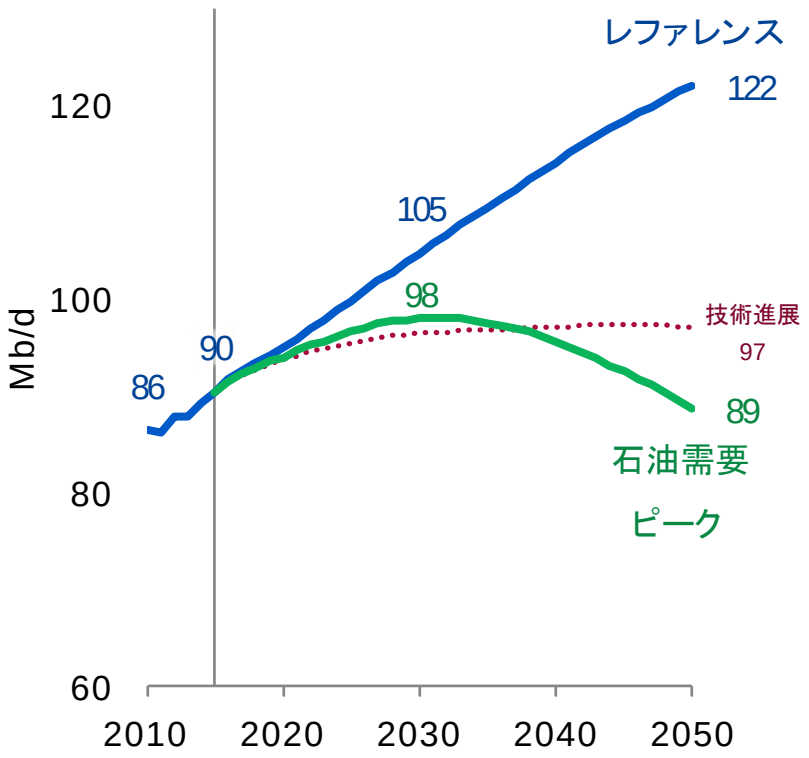
注: ZEVはプラグインハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車

ZEVの普及速度についてはさまざまな見方。「石油需要ピークケース」では、2030年に全世界の新車(乗用・貨物)販売の30%、2050年に100%がZEVになると仮想的に想定

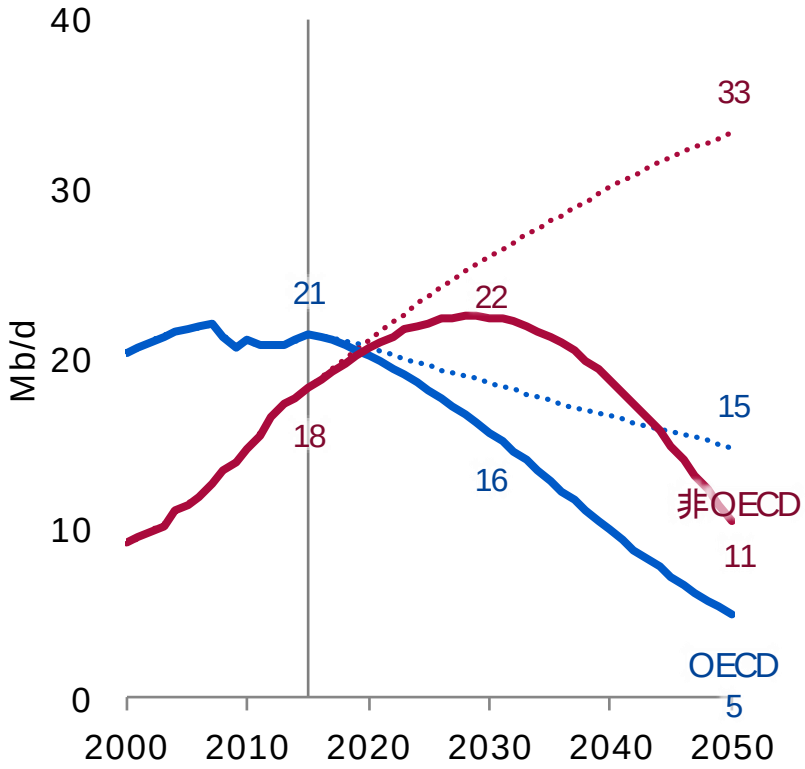
感度分析的にエネルギー需給関連への影響を評価。なお、ZEVにより増加する電力需要は火力発電によって賄うものとする

ZEVの急速普及で、石油は2030年ごろピーク

❖ 石油消費



❖ 自動車用石油消費[石油需要ピーク]



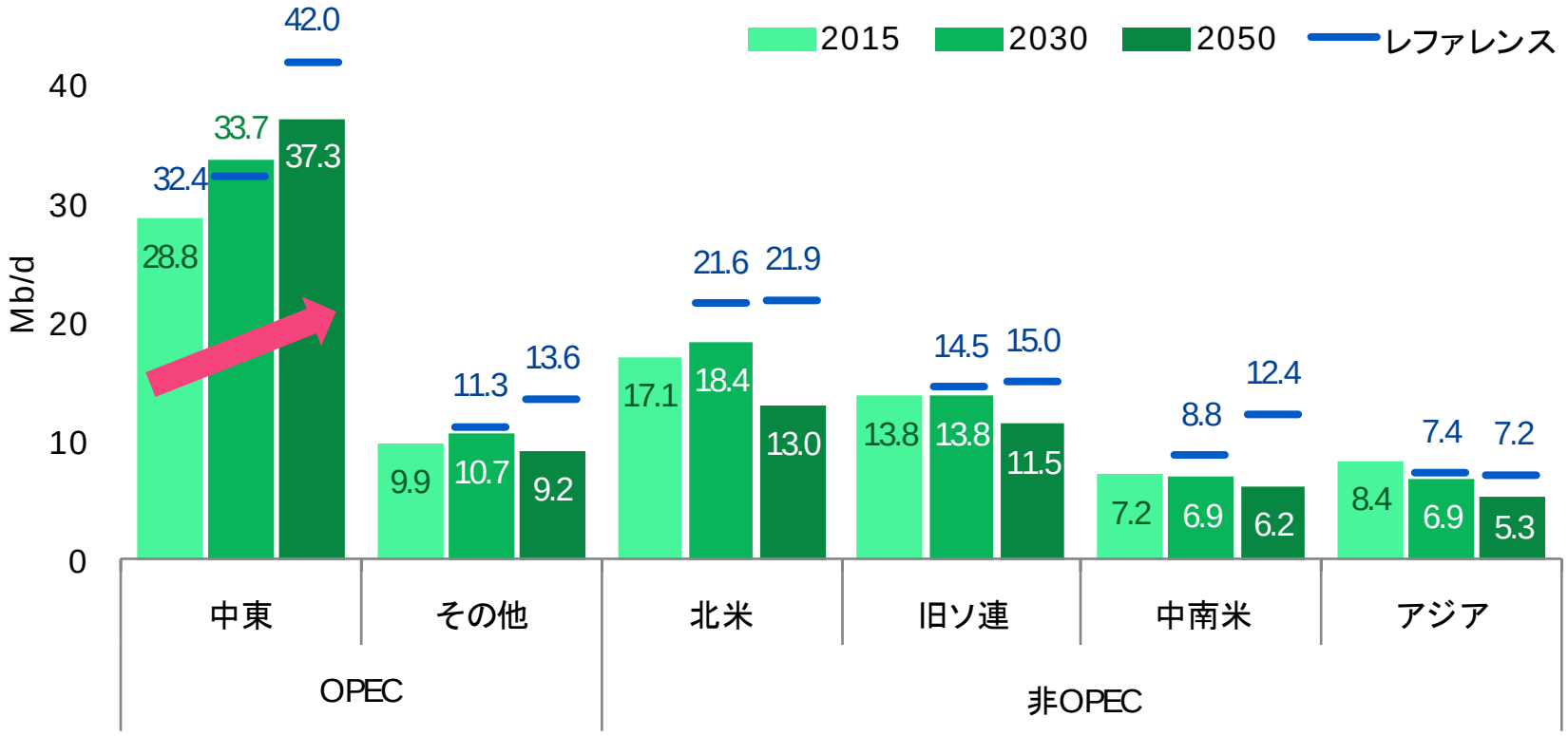
石油需要ピークケースでは、石油消費は2030年ごろの98 Mb/dを頂点に減少に転じる。レファレンスシナリオからの減少は、2030年に7 Mb/d、2050年には33 Mb/dに拡大

レファレンスシナリオでは急速な増加を続ける非OECDの自動車用石油消費も2030年ごろから減少に転じる。2050年にはレファレンスシナリオ比で約3分の1にまで減少

IEEJ © 2019 Outlook 2020 IEEJ © 2019

原油生産は低コスト地域へのシフトを強める...

❖ 原油生産[石油需要ピークケース]



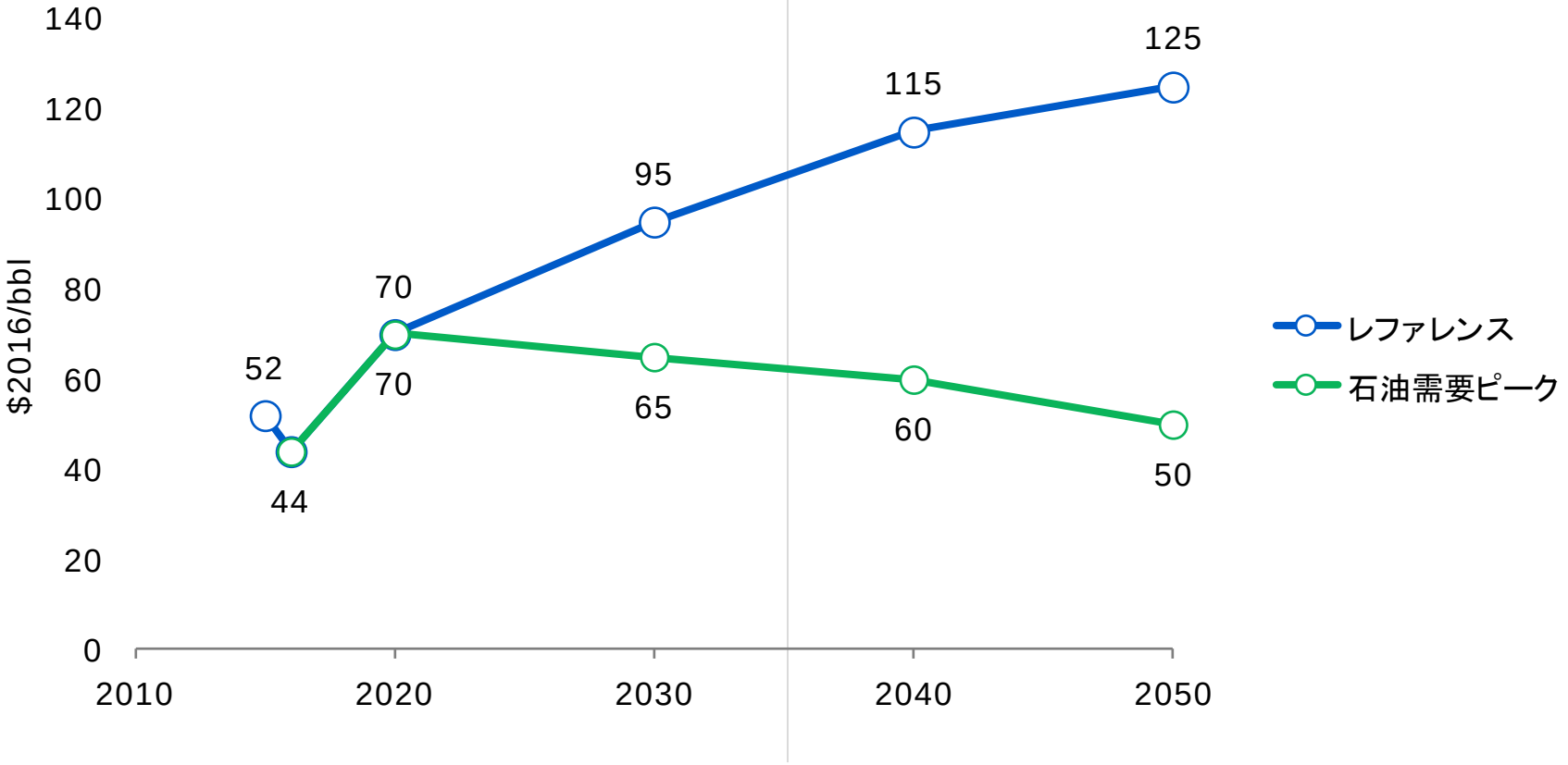
需給の緩和圧力と市場の認識変化を背景として、原油価格は下落する―レファレンスシナリオでの2030年$95/bbl、2050年$125/bblに対し、2030年$65/bbl、2050年$50/bbl（2016年実質価格）

この大幅な価格低下を想定すると、生産コストが低廉な地域の優位性が高まり、2050年の生産が現状を上回るのは中東のみ。対して、北米の生産は、レファレンスシナリオ比4割減の13 Mb/dに

原油価格

石油需要ピークケース

❖ 実質原油価格の想定



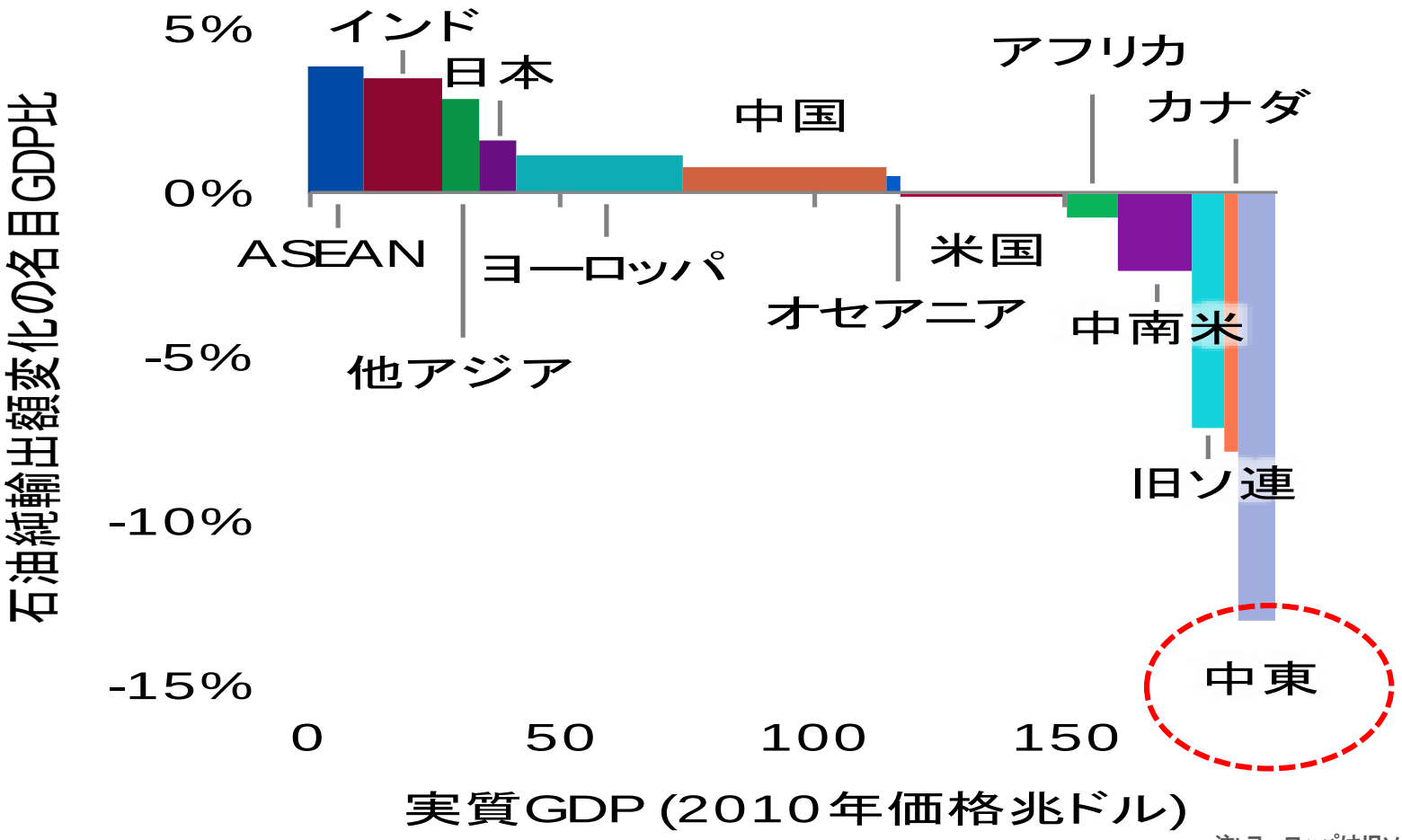
需給緩和を通じて国際原油価格の下落をもたらすことになると想定

石油需要ピークケースでは、2020年代以降下落に転じ、2050年には$50/bblまで低下

IEEJ © 2019

価格下落で中東経済に最大の下落圧力

❖ 石油純輸出額変化の名目GDP比[2050]



注: ヨーロッパは旧ソ連を除く

相対的利得を得る中東だが、1兆6,000億ドル、名目GDP比13%の石油純輸出減少は大きな影響。

逆に、石油純輸入削減額において最も裨益する国は、第2の石油消費国となるが国内資源に恵まれないインド、次いで世界最大の自動車保有国となる中国。米国はほぼ石油自給となるため、消費規模の割には影響が小さめ

20 IEEJ © 2019

急速な消費減退の見立てをどう認識するか

- 石油需要ピークケースは、状況によっては石油消費が遠からず減少に転じうることを示唆
- しかし、ZEVの普及想定が、ボトムアップ方式で先進技術の最大限の導入を見込む技術進展シナリオをはるかに上回ることから、極めてチャレンジングであるといえる。むしろ、石油消費は容易には減少しない可能性を暗示しているとも解釈できる

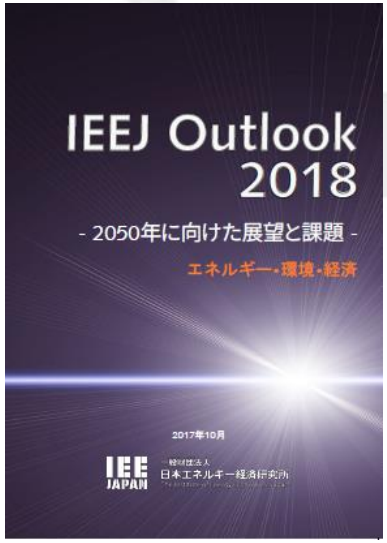
その上で…

- 石油需要ピークケースの2050年においても、石油が今日と大差ない規模で求められていることを見過ごしてはならない
- 将来を過度に悲観することで供給投資がおろそかになれば、それこそが石油離れを―エネルギー安全保障を脅かしながら―誘発することになりかねない
- 中東依存度の高まりは、安定供給に対する地政学リスクを上昇させることになる
- 低油価対応の中東産油国の公共投資抑制や補助金削減などの取り組みには、合理性がある。しかし、社会不安を増大させ、産油国のみならず中東の情勢をさらに悪化させる可能性も否定できない
- 産油国自らの取り組みのみならず、資源金融や出資等で消費国の役割は重要であり続ける。サウジアラビアの“Saudi Vision 2030”に代表される産油国の取り組みを支援することも必要

IEEJ © 2019 Outlook 2020 IEEJ © 2019

石炭火力新設禁止ケース

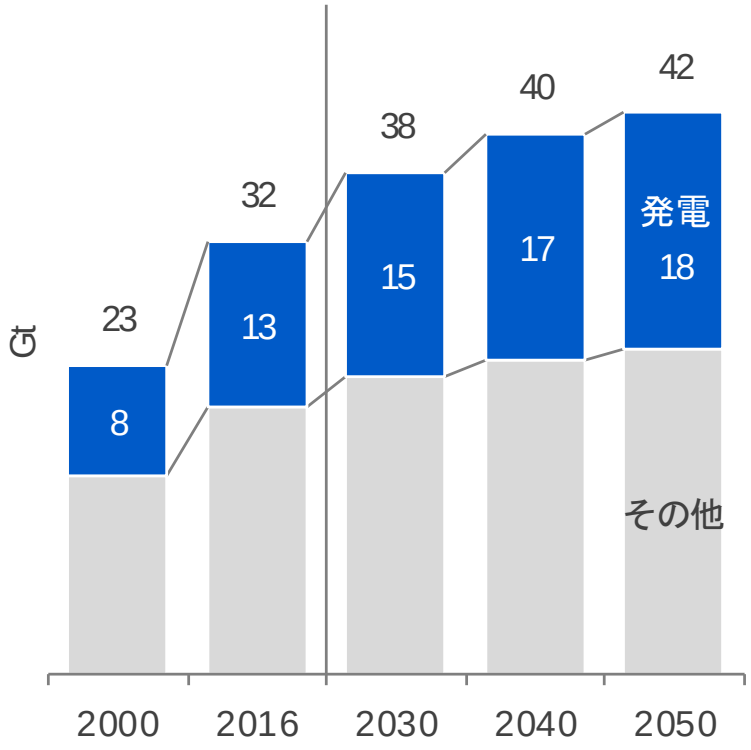
－IEEJアウトルック2019－



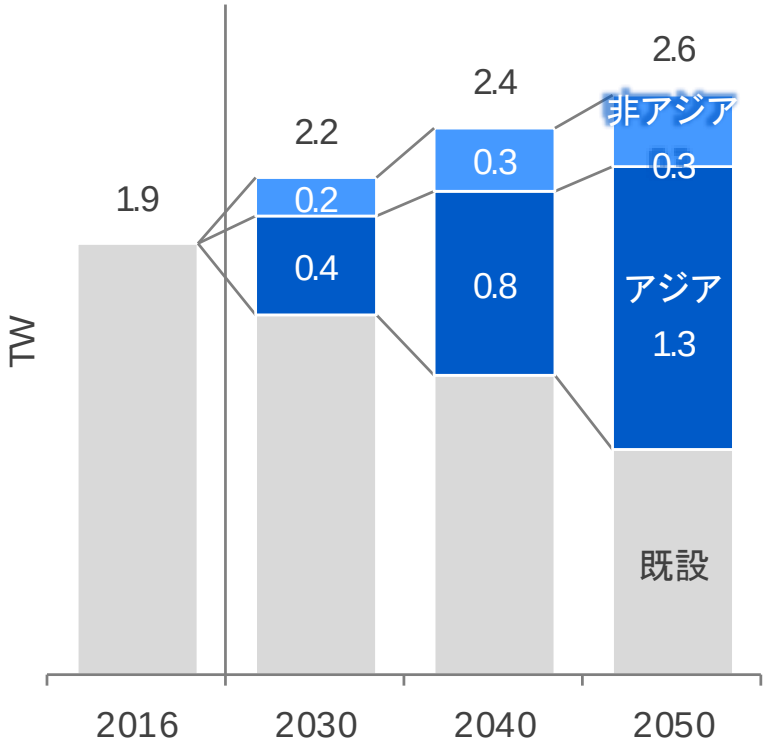
IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

求められる発電部門の低炭素化

❖ CO_2直接排出[レファレンスシナリオ]



❖ 新設石炭火力容量[レファレンスシナリオ]



CO_2の2050年までの増分9.6 Gtのうち過半の5.2 Gtは発電部門の直接排出

ESG投資、ダイベストメントの掛け声の下、
石炭火力への投融資手控え・撤退の動きも

レファレンスシナリオでは、石炭が最大の電源であり続け、発電所の新設が続く

2020年以降新設の石炭火力は2050年で1.6 TWに →これができなくなったら?

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

石炭火力新設禁止ケース――未来の仮想選択

現状から大幅なエネルギー変革を行うには、克服すべき課題が山積している。

しかし、ここでは、そうした現実社会における種々の問題を認識しつつも、ひとまず脇に置く。

石炭火力新設禁止ケース

石炭火力発電所の新設を2020年以降、全面的に禁止する状況を仮想的に設定してシミュレート。

新設石炭火力発電所によって賄われるはずであった電力の埋め合わせ方法に応じ、

天然ガス火力発電で代替――**石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース**

太陽光発電・風力発電で代替――**石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース**

という2パターンを設ける。

石炭火力の運転特性を考えれば、原子力による代替も想定しうる。しかし、石炭火力発電所の代わりにあまねく原子力発電所を建設するには、十分な技術移転、規制体系の整備、核拡散防止などの課題にも取り組む必要があるが、その短期達成は難度が高い。

また、目下の反・石炭火力の主張は、原子力での代替をセットとすることは少ない。そのため、ここでは天然ガス火力、太陽光・風力による代替の2パターン設定とした。

石炭火力発電所新設の全面禁止という厳格な措置が、どういった規模でメリット・デメリットをもたらしうるか、エネルギー需給バランス、経済性などの視点から考える

⚠

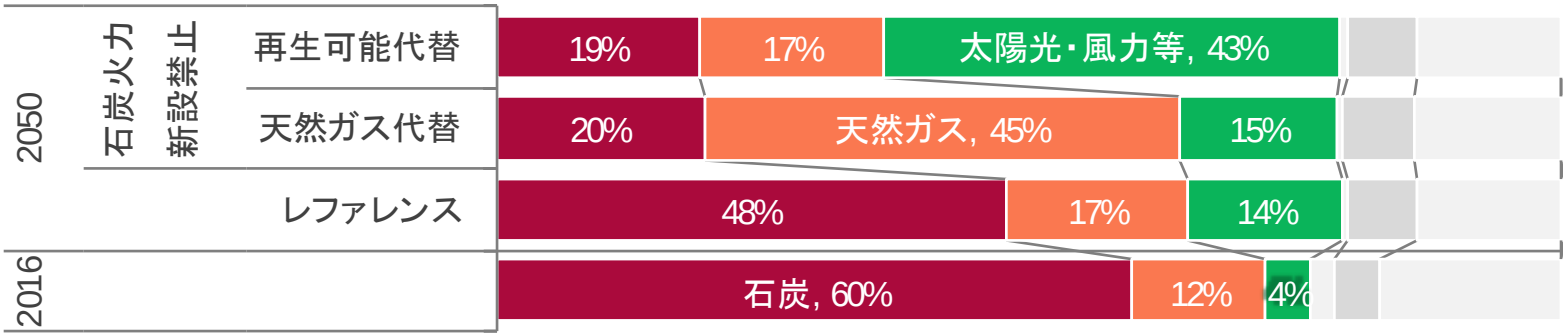
石炭火力新設禁止ケースは、「そうなるであろう」「そうすることができる」といったことを
示すものではありません

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

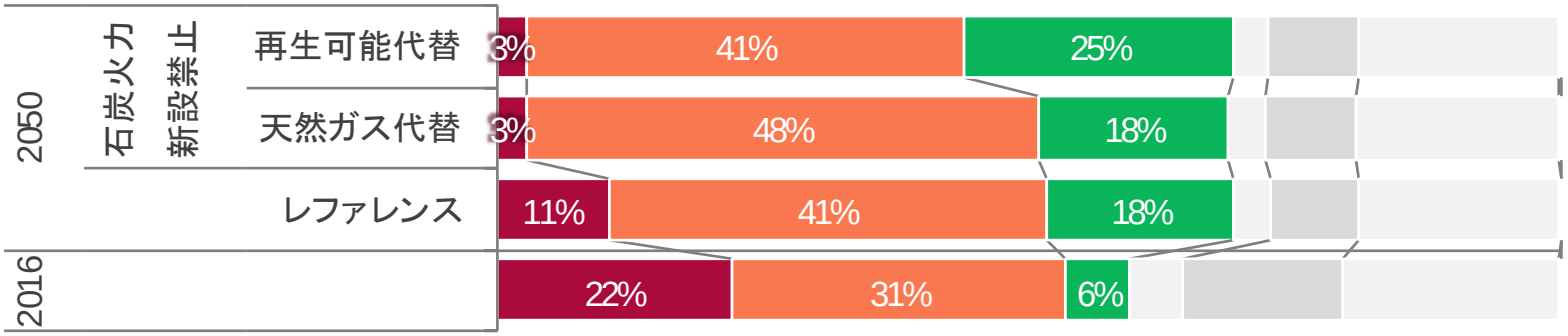
大きく変容する電源構成! 特にアジア!!

❖ 発電量構成

アジア



非アジア



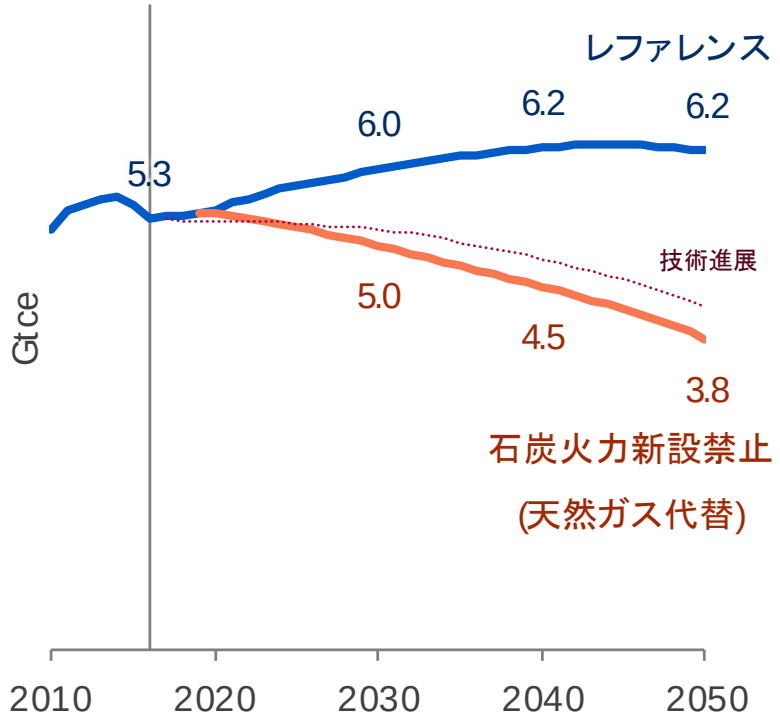
さまざまな事情で石炭依存が高いアジアでの
石炭火力新設禁止は、激甚とも言える
大転換を意味する

一方、アジアの外では変化の程度が限定的。
新設石炭火力を太陽光・風力で代替しても、
最大電源は天然ガスのまま

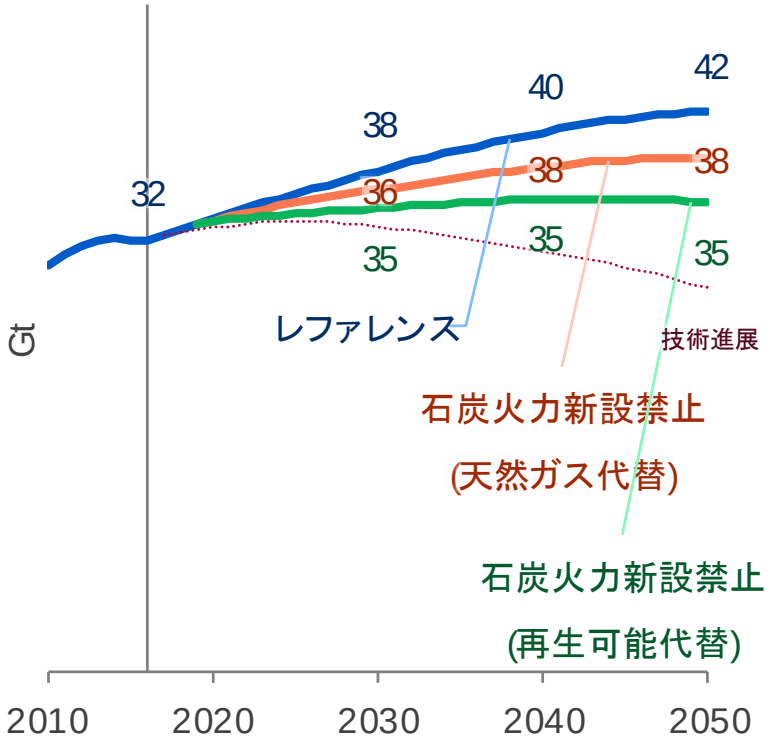
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

石炭火力新設禁止で得られるメリット

❖ 石炭一次消費



❖ CO_2排出



2050年の石炭消費の削減量は、中国の現生産量なみの2.3 Gtce

大気汚染物質の排出抑制にも寄与しうる

2050年のCO_2抑制量は、天然ガスで代替なら3 Gt、太陽光・風力で代替なら7 Gt

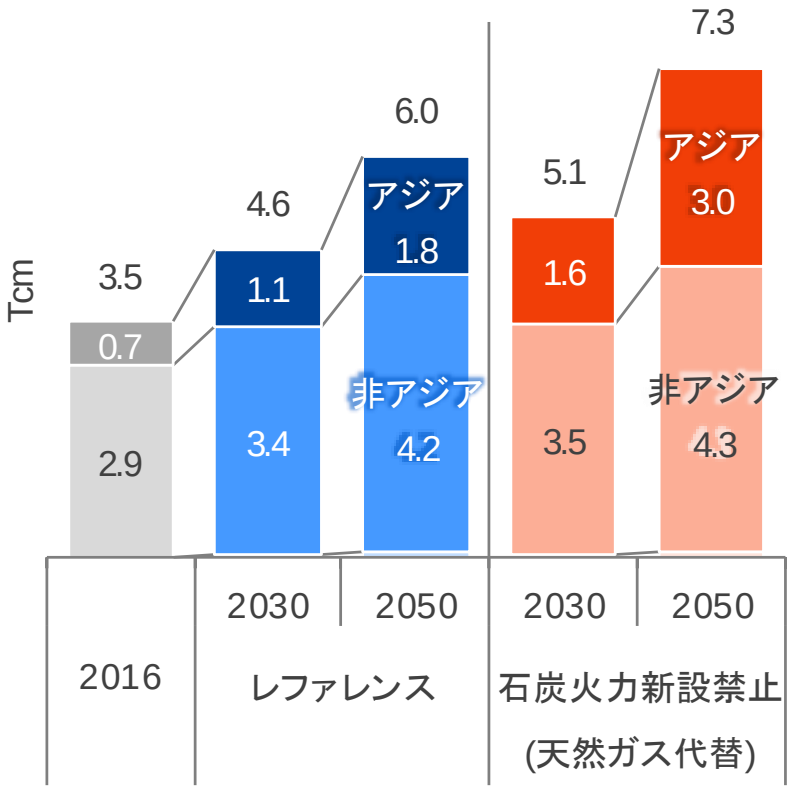
ただし、後者であっても排出量は足元から減少しない

注: 石炭火力新設禁止(再生可能代替)は、同(天然ガス代替)とほぼ同じ

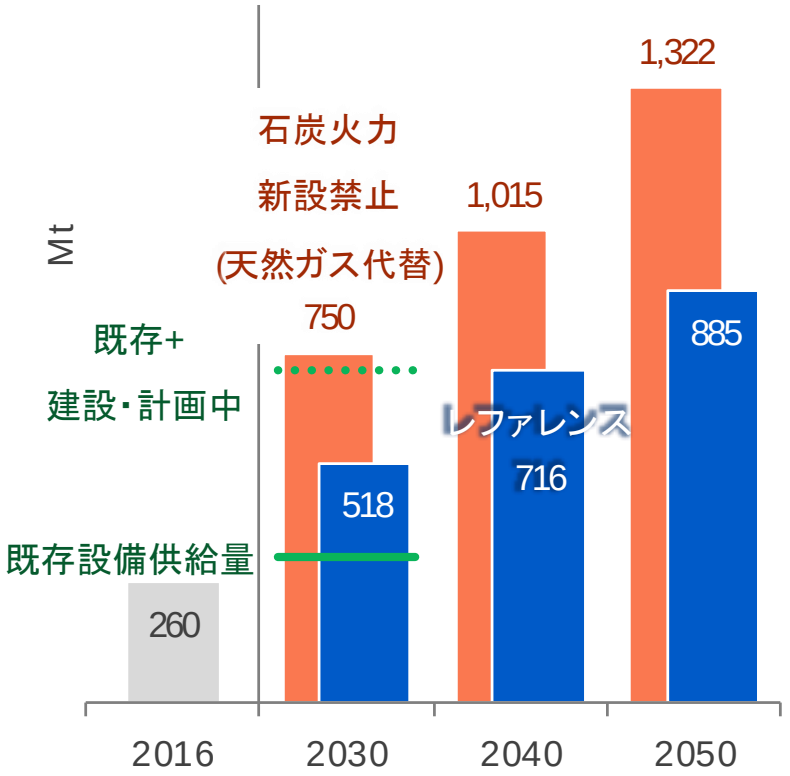
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

天然ガスで代替するなら供給の飛躍的拡充を

❖ 天然ガス消費



❖ LNG需要



2050年の天然ガス消費量は現在の2倍超に。2050年までの累積消費量は、状況次第で
確認埋蔵量を超過

可能な資源は、条件によらずすべて開発を

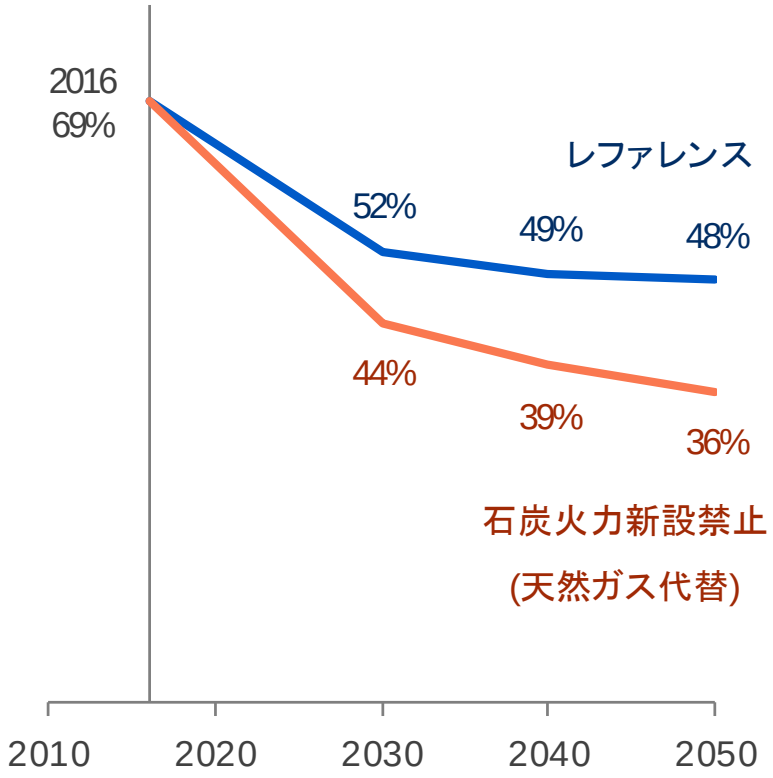
2030年のLNG需要は、現在の約3倍に

厖大な需要を充足するために、明確な開発計画が立てられていないLNG案件も早急に運開までこぎつけを

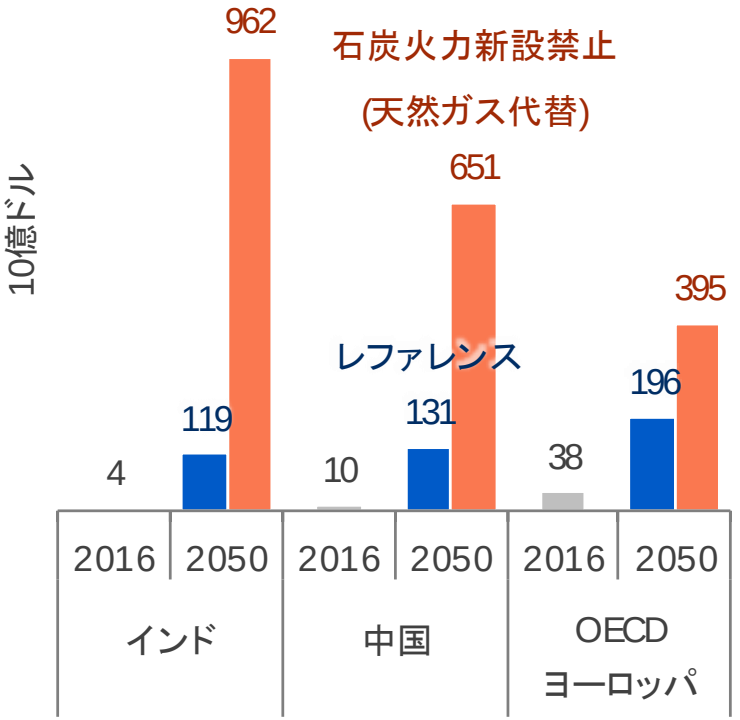
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

克服すべきは供給体制確立だけでなく……

❖ アジアの天然ガス自給率



❖ 天然ガス純輸入額



天然ガス生産、LNG供給チェーンが確立できても、アジアには安全保障の新たな課題

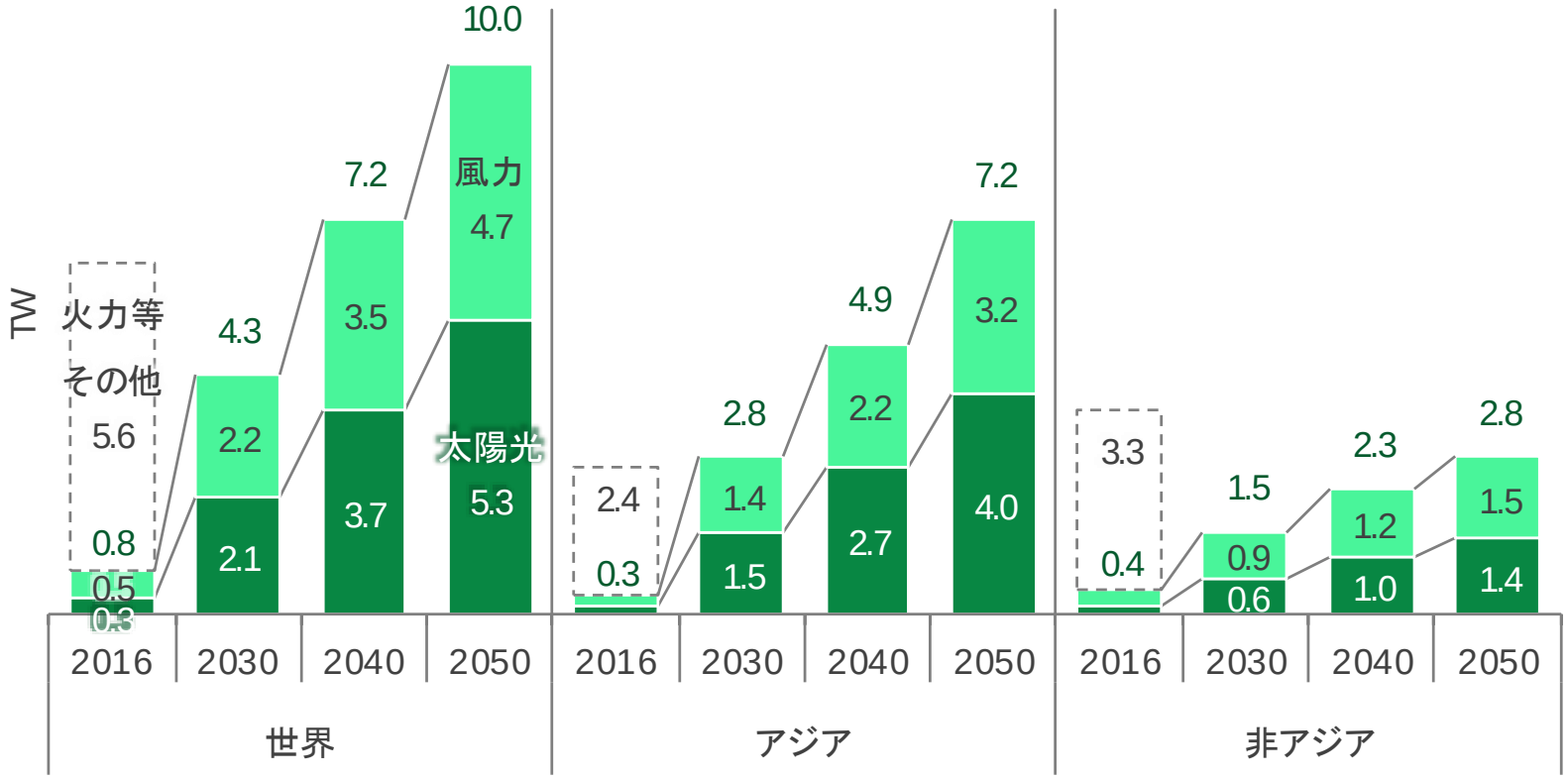
その天然ガス自給率は、現在の半分程度に低下

爆発的な消費上振れで価格が上昇すれば、アジアのみならず、消費増分が少ないOECDヨーロッパなどアジアの外でも歓迎せざる影響が

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

太陽光・風力で代替なら未曾有の設備導入を

❖ 太陽光・風力発電設備容量[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]



ロスを無視しうる高効率な蓄電・送電技術を全世界で制約なく利用できるようになったとしても、2050年に10 TWの太陽光・風力発電設備が必要

アジアの太陽光・風力発電設備は7.2 TW、現総発電容量(火力・再生可能・原子力)の2.7倍。大量導入実現に向けた持続可能な促進策を

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

Victoria concordia crescit (勝利は調和から生まれる)

石炭火力発電所の新設全面禁止

☺
CO_2を3 Gt～7 Gt抑制

☹
代替エネルギーの
爆発的な増加

天然ガス安定供給、
電力安定供給、
経済性など克服すべき
安全保障の大きな課題

!

石炭火力を廃止できる国は、着実に推進すべき

廃止が難しい国、よりよい他のCO_2削減手段がある国は、優先順位を熟考せざるを得ない。ただし、低効率な石炭火力の高効率なものへの転換、さらに並行して石炭火力低減への環境整備に尽力を

いつも思い起こしてほしい……

アジア発展途上国の
エネルギー大変革を
支援する覚悟は
決まりましたか?

でも、ちょっと待って

脱・石炭火力は
手段の1つに過ぎません。
真に目指すべきは
気候変動への対応です

さらに

その気候変動問題は、
人類が抱える課題の
1つですが、唯一の
ものではありません

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

変動性再生可能エネルギーの大量導入

– 統合費用の評価と幾つかの課題 –

IEEJアウトルック2020

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

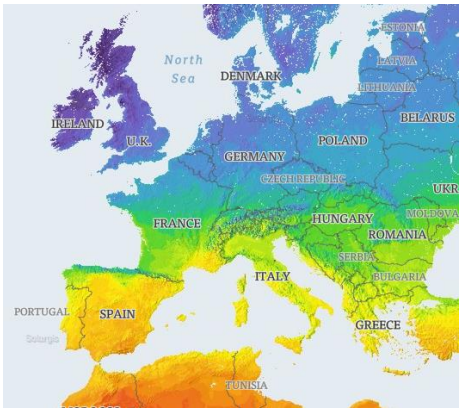
変動性再生可能エネルギーの地域的偏在性

※1: Obtained from the “Global Solar Atlas 2.0, a free, web-based application is developed and operated by the company Solargis s.r.o. on behalf of the World Bank Group, utilizing Solargis data, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: https://globalsolaratlas.info

※2: Obtained from the “Global Wind Atlas 2.0, a free, web-based application developed, owned and operated by the Technical University of Denmark (DTU) in partnership with the World Bank Group, utilizing data provided by Vortex, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: https://globalwindatlas.info”

太陽光

欧州

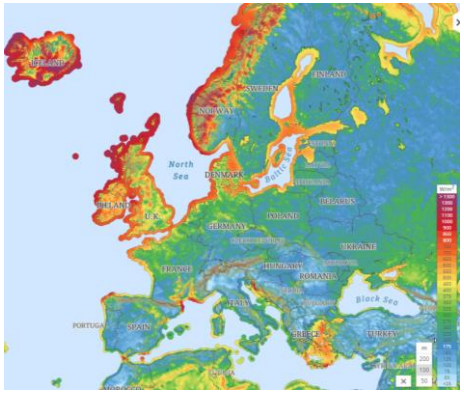


ASEAN

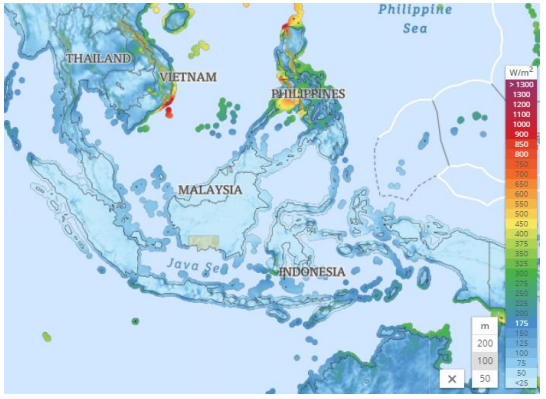
（出所）
Global Solar Atlas※1

風力

欧州



ASEAN

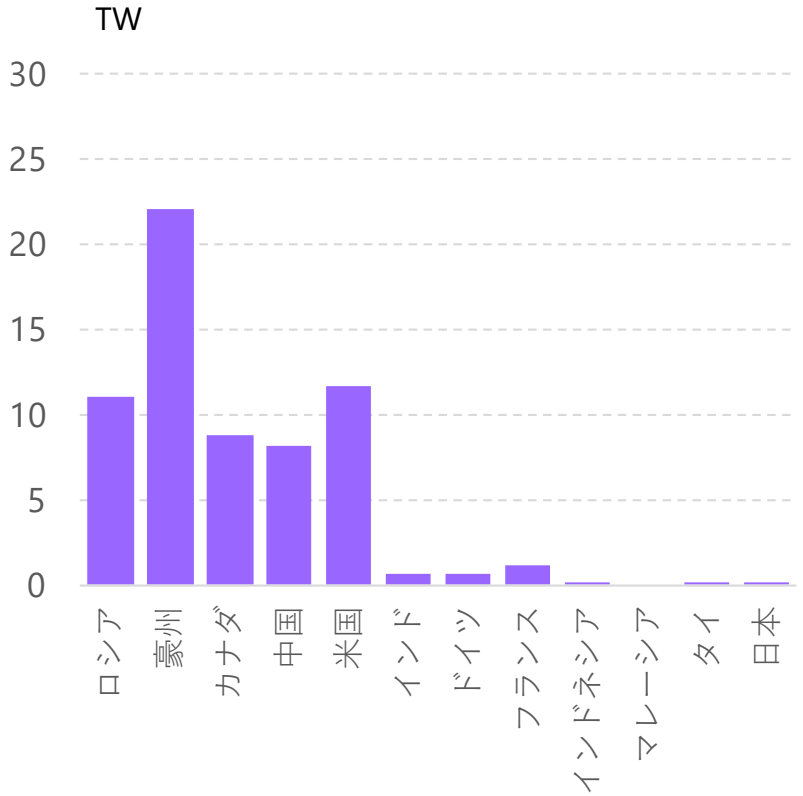


（出所）
Global Wind Atlas※2

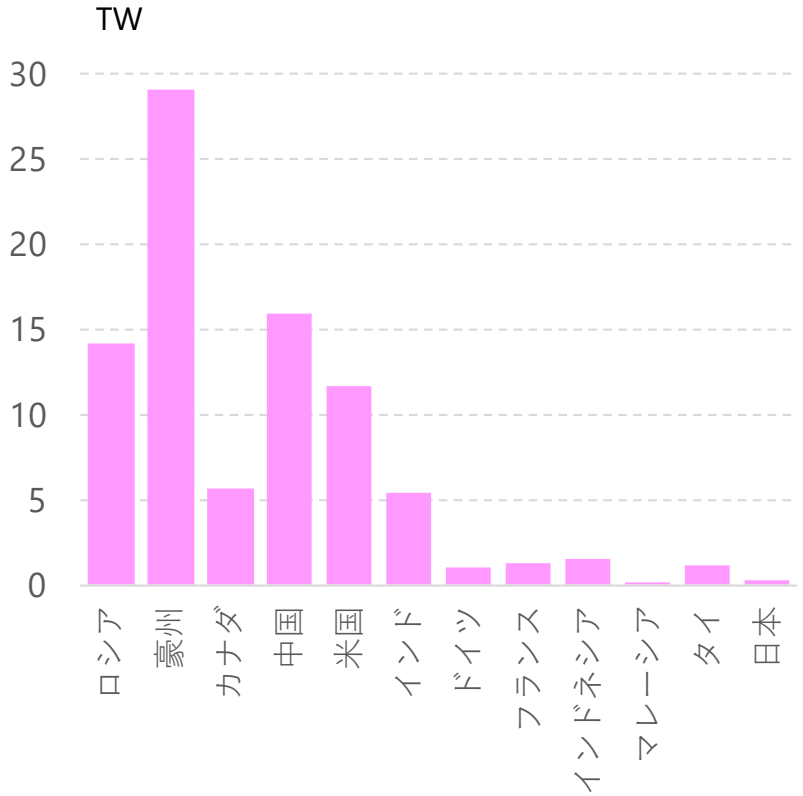
・**VRE資源の賦存量は地域によって大きく異なる**。特に風力発電資源の賦存量は風況によって大きく偏在し、例えば欧州では豊富に存在する一方で、ASEAN地域ではベトナム・フィリピンを除き、大きくない。

太陽光・風力発電資源量の地域的分布

陸上風力



太陽光



（出所）当所推計※

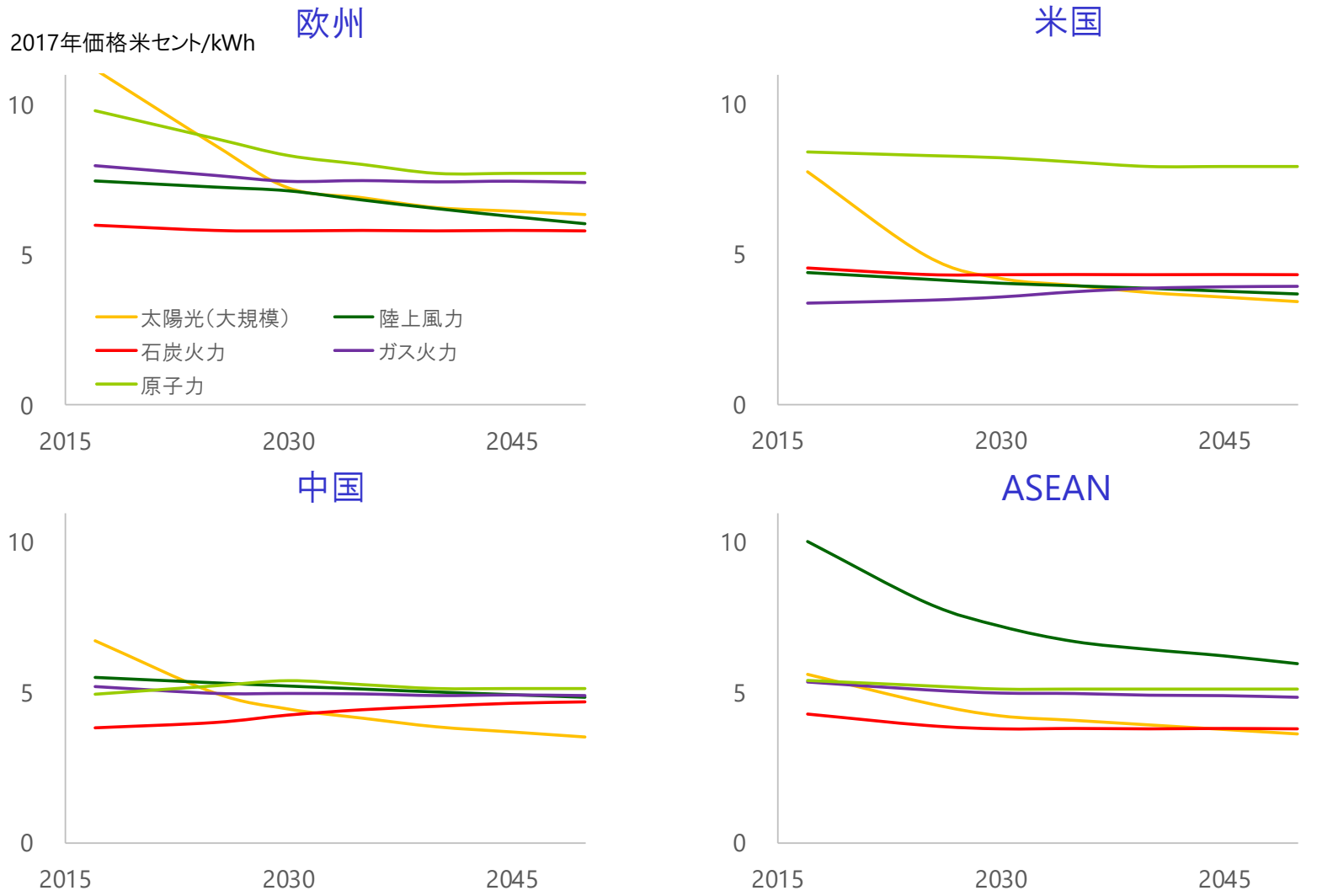
・ロシア・豪州・中国・米国など、**広大な土地を有する国に再生可能エネルギー資源は多量に存在**する。
全ての国の資源量を合計すると、世界全体の電力需要を供給するために必要な設備量を遥かに上回る。

・緯度の高い地域では太陽光発電の資源量が比較的少ないのに対し、アジア地域では総じて風力資源に乏しい国が多い。

※ GISデータをもとに、世界各国の日射・風速や土地の傾斜・利用状況等を勘案して推計。

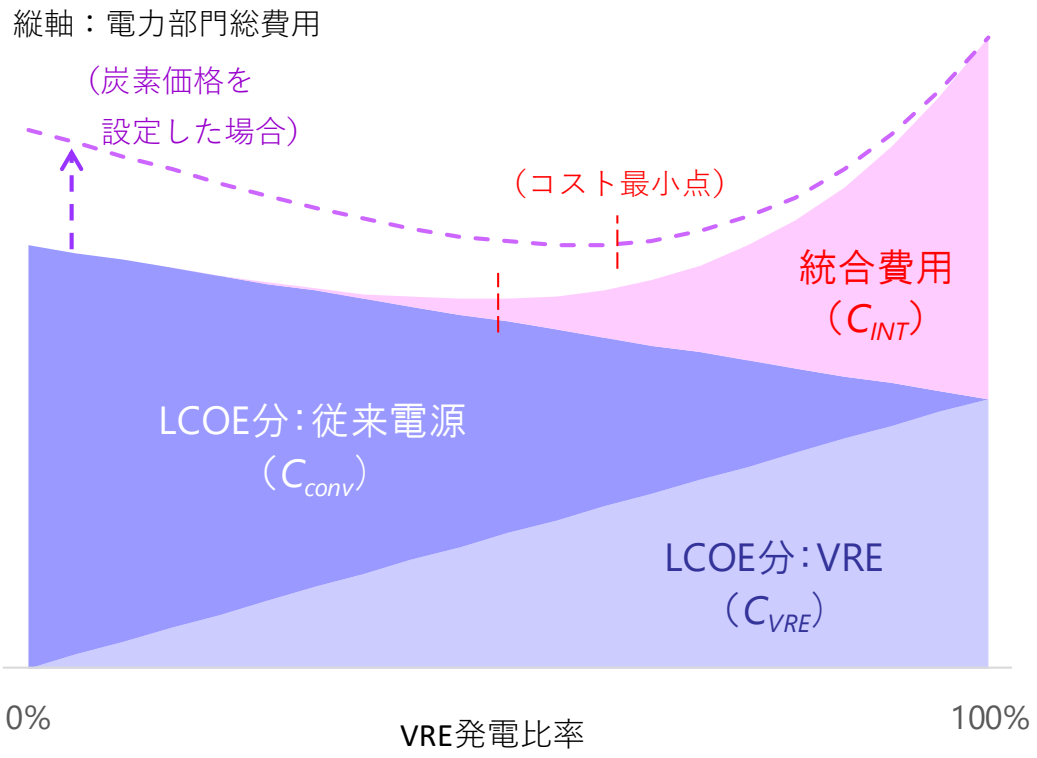
低下する再生可能エネルギーの発電単価（LCOE）

（出所）各種資料より推計



・VREの発電単価（Levelized Cost of Electricity: LCOE）は急速な低下を続けており、2050年までには**世界の多くの地域で石炭火力・ガス火力を下回る**見通し。

VRE大量導入時の統合費用の概念



- 従来電源のLCOEよりもVREのLCOEの方が安くなった場合、LCOEに比例する費用（従来の発電コスト：図中C_{conv}+C_{VRE}）のみで比較すると、VRE導入比率が高くなるほど総費用は小さくなる。

- 但し実際には、VREの大量導入に伴い出力抑制や蓄電システムの設置、グリッドの増強などに係る追加的な費用が発生する。LCOE分以外の追加費用（何に起因するものであれ、全て含めたもの：図中C_{INT}に相当）を、VRE大量導入に係る**統合費用（Integration cost）**と呼ぶ。

統合費用の区分

（出所）Ueckerdt F. et al., 2013. System LCOE: What are the costs of variable renewables?, *Energy*, 63, pp.61-75. などより作成

1. バランスコスト：Balancing cost

・主に短期の予測誤差に伴って追加的に生じるインバランスを調整するためのコスト。

2. グリッド増強コスト：Grid-related cost

・発電設備と電力需要の空間的な乖離に伴って生じるコスト。

・発電設備から系統までの接続線と、グリッド自体の増強の2種類が必要となる。
（前者は発電単価（LCOE）の中に含まれることもある）

3. プロファイルコスト：Profile cost

・発電設備と電力需要の時間的な乖離を解消するためのコスト。以下の項目に細分される。

3-1. 適合コスト（バックアップコスト）：Adequacy cost / Backup cost

3-2. 出力抑制コスト：Overproducion cost

3-3. 設備利用率低下に係るコスト増加分：Full-load hour reduction

3-4. 計画内の起動・停止回数増加に係るコスト増加分：Flexibility effect

まとめ

- ✓ 変動性再生可能エネルギー（VRE）のコストは低減してきた。
  - ➢ 今後、2050年にかけてその普及が急速に進むことが予想される。

- ✓ VRE資源の賦存量には差も大きく、地域ごとに大きく偏在する。
  - ➢ 例えば高緯度の国々では太陽光のポテンシャルが小さい一方で、ASEAN地域の多くでは風力のポテンシャルが大きくない。

- ✓ VREの大量導入には、出力の間歇性に伴う特有の費用（統合コスト）の増加が予想される。
  - ➢ システ統合コストは以下にかかる追加費用
    - ✓ 蓄電システムの設置
    - ✓ 出力抑制
    - ✓ グリッドの増強 など

- ✓ 特定のエネルギー源のみに依存することは、コスト上昇や供給途絶のリスクを高める。
  今後、長期的な低炭素化・脱炭素化に向けて、新たなエネルギーミックスを目指すことが求められる。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

ご清聴有難うございました

お問合せ先: otoiawase@tky.ieej.or.jp