

A light gray world map is centered in the background of the slide.

# カーボンニュートラル (CN) への挑戦と課題

# 高まるカーボンニュートラル(CN)への関心とその課題

- 日本を含む主要な国・地域が相次いで今世紀半ばまでのカーボンニュートラル(CN)目標を宣言。国内外にてCNへの関心が急速に高まっている。
- CNに向けた積極的な気候変動対策は、排出削減だけではなく、クリーンエネルギー産業の育成やクリーンエネルギー市場の創出など多様なプラスの効果をもたらす可能性がある。
- 一方、現在世界のエネルギー供給の8割強が化石燃料に依存していることを考えると、CNの実現は決して容易な道のりではない。CNの実現に向けて、あるいはCNの将来像そのものに多くの課題が存在することに留意する必要がある。
- 特に、気候変動対策には本質的に費用が付随すること、CNへの移行過程におけるプラス・マイナスのバランスは国や主体によって異なることを認識しておくべき。
- **CNに向かう道のり（プロセス）とその将来像における課題とは？**
  - ✓ 気候変動対策と経済効果をどう見るか
  - ✓ CNへの対応が生み出す格差の可能性
  - ✓ 重層性・複雑さを増すエネルギー安全保障問題
  - ✓ 上流投資抑制がもたらしうるエネルギー安定供給への問題
  - ✓ 地政学的要因への影響

# 気候変動対策による経済効果

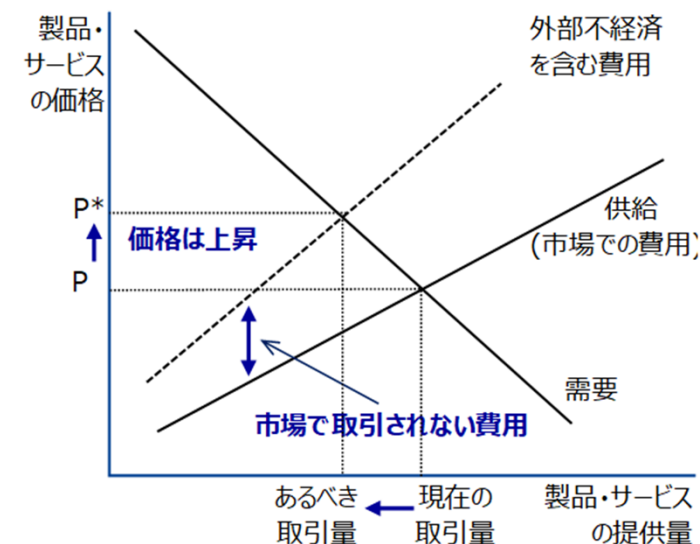
- 「グリーン成長」と「グリーン・ディール」
  - グリーン成長は、元々は、経済成長とCO<sub>2</sub>排出量のデカップリング（両者の相関関係をゼロにする、即ち経済が成長してもCO<sub>2</sub>の排出が増えないようにする）を達成するという概念（OECD 2011; UNEP 2011; World Bank 2012）
  - 「グリーン・ニューディール」または「グリーン・ディール」は、政府による積極的な気候変動対策に、景気刺激策や産業政策、雇用政策としての性格を持たせることで、排出削減と経済成長とを同時に達成することを指す(Friedman 2019; European Commission 2021)。
- グリーン・ディールの経済効果
  - EUは、気候変動対策による新たなクリーン技術や製品市場の創設で、2030年までに域内で16万人の雇用が創出されると試算(European Commission 2021)。
  - IEAは、世界が2050年までにネットゼロに向かうシナリオにおいて、クリーン技術への投資によって2030年時点での世界のGDPは基準となるシナリオに対し4%プラスになり、雇用は2019年～2030年でネットで2,500万人増加すると試算(IEA 2021)



# 気候変動対策に付随する費用

- 「外部不経済」に伴う費用
  - CO2排出に伴う負の影響は外部不経済の典型例の一つ
  - 外部不経済の問題を解決するには、現在は市場メカニズムで評価されていない費用を、既存の製品やサービスの取引価格に加える必要があり、結果として価格の上昇や取引量の低下をもたらす(Baumol and Oates 1988)。
  - さらに、国内市場における価格の上昇は、輸入の拡大によって、相応の気候変動対策を行っていない国に利得が流出する可能性もある。
- 「ロックイン効果」に伴う費用
  - ロックイン効果：既存の技術やインフラ、消費者の行動様式などが相乗的に作用することでエネルギー消費における「惰性(inertia)」をもたらし、排出削減策の導入を遅延させる効果(Seto *et al.* 2016)
  - 発電部門や産業部門のような大規模な設備投資を要する分野や自動車用燃料のような広範なエネルギー供給インフラのネットワークが必要な分野において顕著にみられる。
  - こうしたロックイン効果に抗して、CNな社会を実現するには、新たなインフラ投資や、需要家におけるエネルギー利用設備の変更、産業間での労働力の移動、人材育成などが必要であり、それには多くの費用が付随

## ❖ 外部不経済の内部化

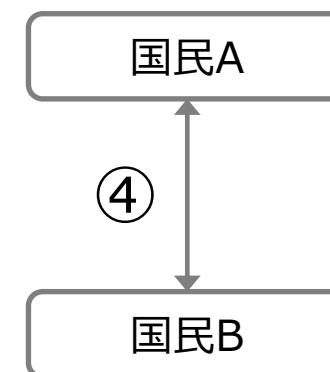
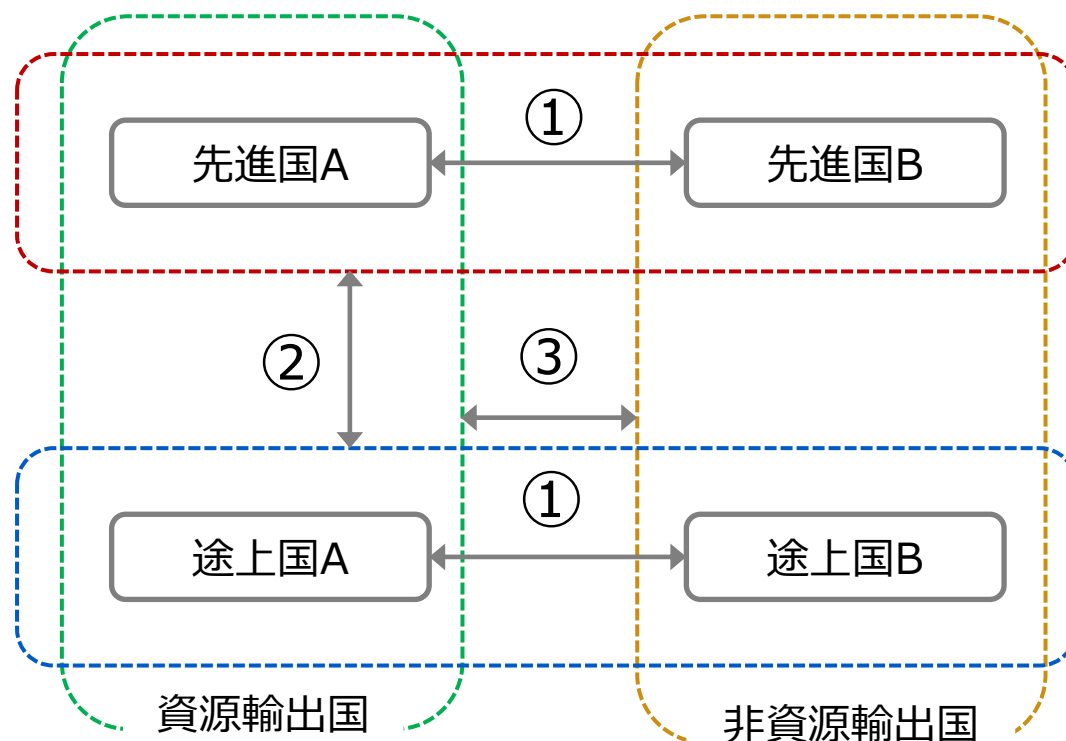


# 気候変動対策と経済効果をどう見るか

- 気候変動対策によって、経済成長や雇用にネットでプラスの影響が出るのか、マイナスの影響が出るのか、様々な考えがありうる。
  - グリーン成長やグリーンディールの考えに基づけば、世界は気候変動対策実施によってより高い成長や雇用の純増を期待できる。
  - 一方、気候変動問題という外部不経済への対応とそれに伴うコスト、既存の経済・社会システムからの大規模な転換に伴うコスト等を考えると、ネットでプラスの効果を期待するのは難しい、という考えもある。
  - 気候変動という外部不経済上の「地球益」を守るため、一定のコスト負担は仕方がない、という考えもありうる。
- 実際の気候変動対策においても、そのプラス・マイナスのバランスは下記の諸要因によって、国や主体によって異なる。
  - 外的な要因： 地理的条件、国内の天然資源、再生可能エネルギー資源等
  - 内的な要因： 行政能力・リーダーシップ、技術力、資金力、起業家精神、産業構造、労働市場の流動性、新型コロナウイルスの収束状況など

# CNへの対応が生み出す格差の可能性

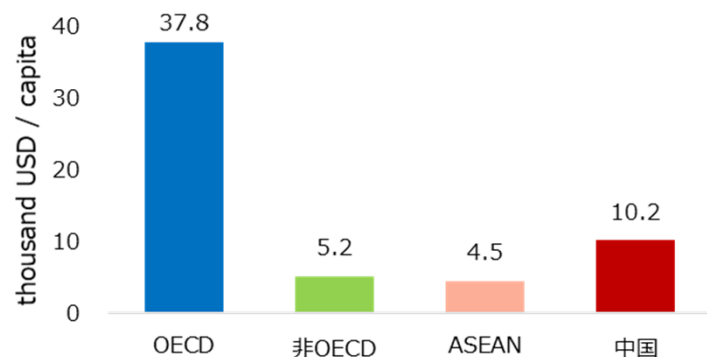
- CNへの移行過程では経済条件、資源賦存、技術力等の差異に基づき、多様な格差が生じ、拡大していく可能性がある。
  - ① 先進国間での格差と途上国間（新興国と非新興途上国）での格差
  - ② 先進国と途上国の間の格差
  - ③ 化石燃料資源の輸出依存度が高い国とそうではない国との格差
  - ④ 同じ国の国民の間での格差



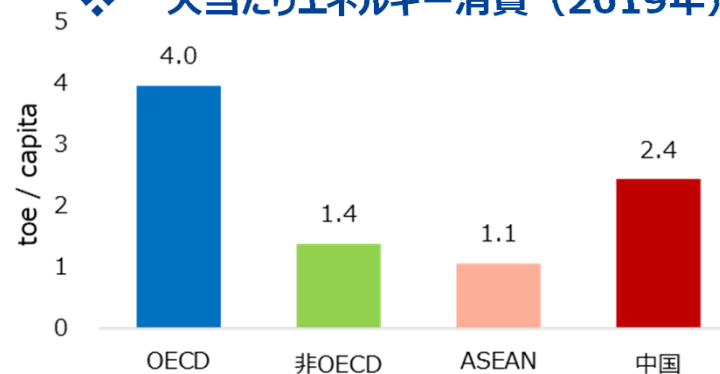
# 先進国と途上国の現実の格差

- 先進国と途上国との間には依然として大きな格差が存在

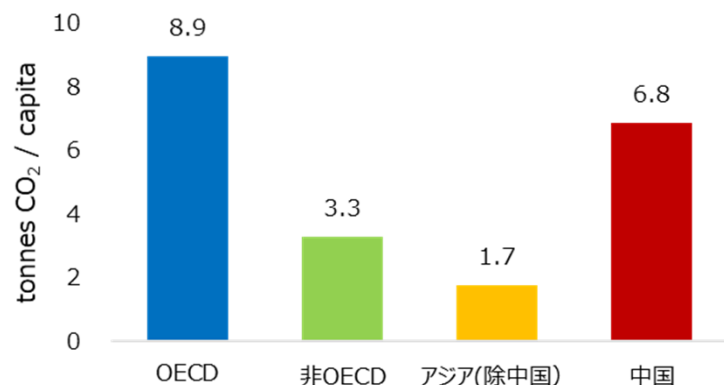
❖ 一人当たりGDP (2019年)



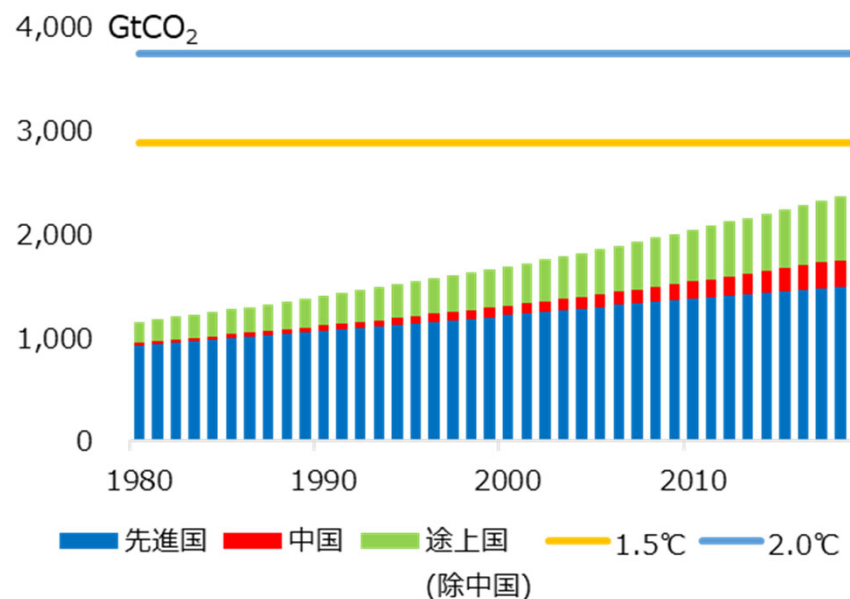
❖ 一人当たりエネルギー消費 (2019年)



❖ 一人当たりCO<sub>2</sub>排出量 (2019年)



❖ カーボンバジェットと累積排出量



注：カーボンバジェットは50%確率値

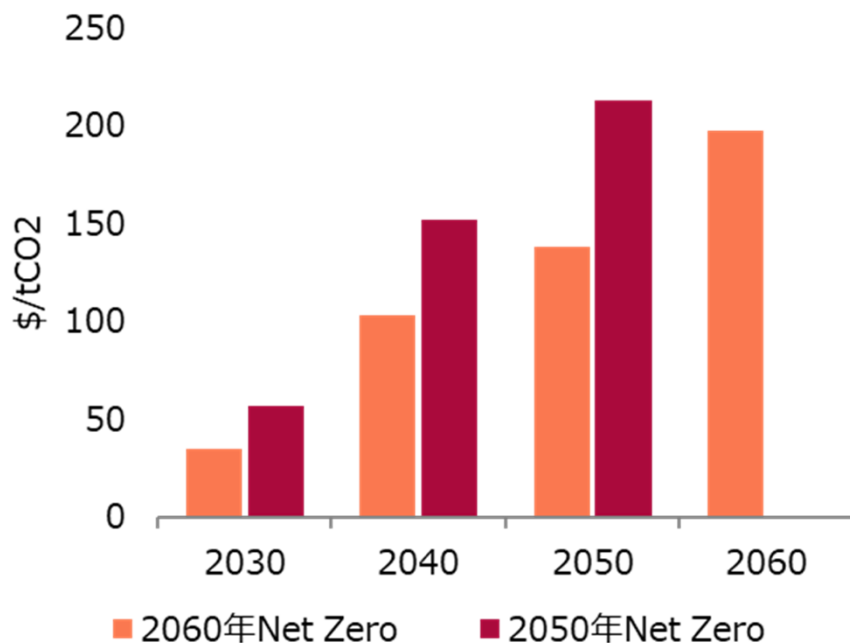
出所：IEA, Energy Balances of the World(2021年); IEA, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion(2020年); IPCC、第6次評価報告書第1作業部会報告書(2021年); Global Carbon Budget 2020; 日本エネルギー経済研究所



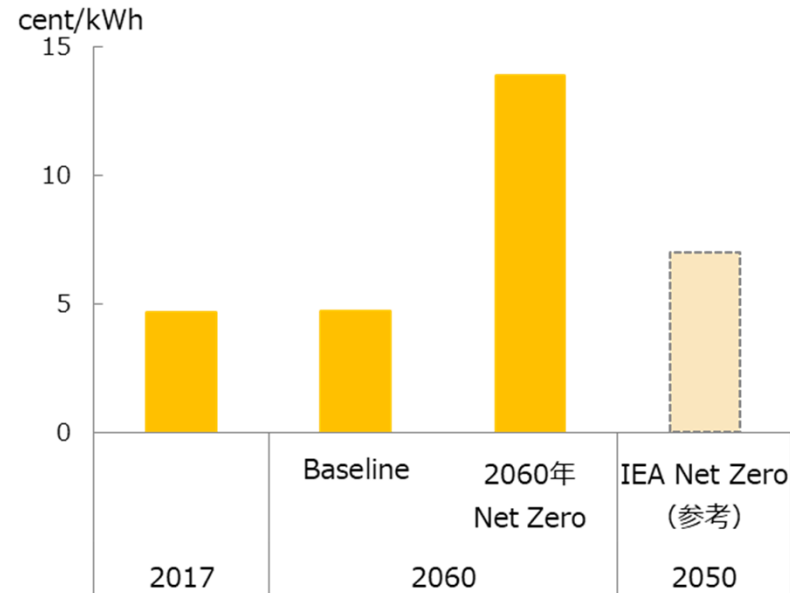
## 途上国に対する大きな負担の可能性(ASEANの例)

- 短期間でのCNを追求することはASEANに対し巨額の経済的負担をもたらす恐れ
  - 2050年または2060年にCNを実現する場合の平均削減コストは約\$200/t-CO<sub>2</sub>
  - 2060年にCNを実現する場合の電力コストは現在の約3倍に
  - 2050年、2060年にCNを実現する場合の追加対策費用はGDP比年率2.9%、2.5%
    - + IEA Net Zeroシナリオでは世界平均で2021年～2050年でGDP比同1%の投資が必要と推定
- 現実的なCN実現に向けた計画作り・脱炭素化技術への支援が必要

### ❖ ASEAN地域におけるCO<sub>2</sub>の平均削減コスト



### ❖ ASEAN地域における電力価格



注：IEA Net zeroの値は世界平均の2050年時点での電力価格上昇率（50%）をASEANの2017年の実績に適用した値

出所：日本エネルギー経済研究所；IEA, Net zero by 2050

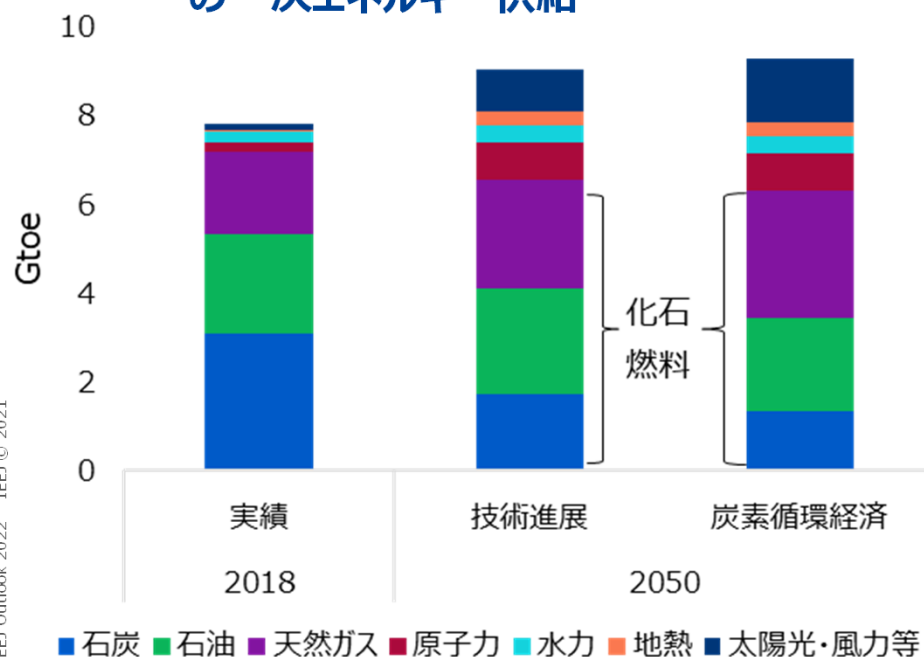
出所：日本エネルギー経済研究所；IEA, Net zero by 2050



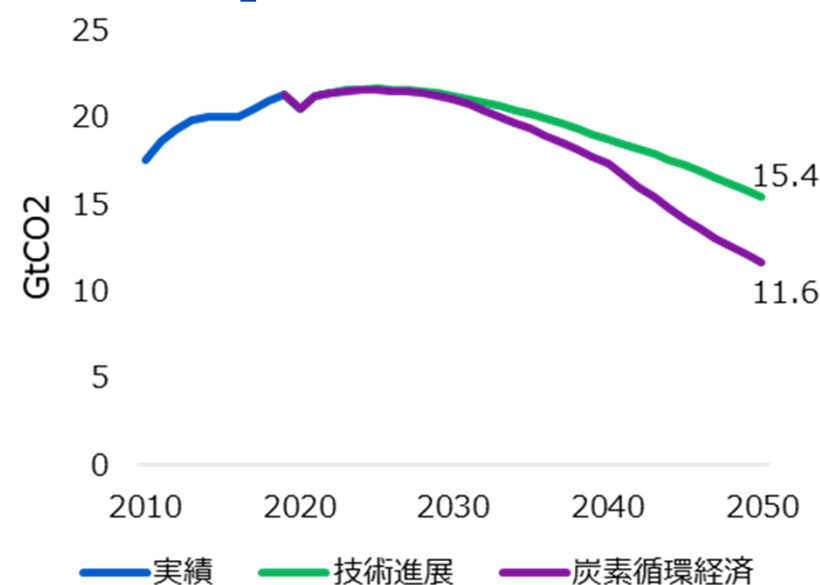
# 途上国における化石燃料の脱炭素化

- 途上国の脱炭素化を進める上では、省エネルギー、再生可能エネルギーの利活用と共に、化石燃料の脱炭素化利用も有効な排出削減策となりうる。
  - 本アウトルックにおける炭素循環経済シナリオでは、途上国においては、化石燃料のシェアはほぼ変わらず、3.8GtのCO<sub>2</sub>排出の追加削減が可能となる。

## ❖ 新興・途上国における本アウトルックの一次エネルギー供給



## ❖ 新興・途上国における本アウトルックのCO<sub>2</sub>排出量



# CNにむけた世界における異なる2つの将来像(シナリオ)

- CNへの移行に要するコストの低減とその広範な波及が明るい将来像の実現に向けた鍵となる。

## 明るい将来像

- 先進国が推進役になって、技術開発と進展が進み、コスト削減のブレークスルーが実現 ⇒ CNに向けた移行コストそのものが大きく低下 ⇒ 低下したコスト・ブレークスルー技術が先進国から途上国へ、世界へ波及
- 多額の資金の移転を伴う国際協力やビジネス機会を追求した起業家精神の役割が大きい。
- 資源国での輸出資源の脱炭素化（水素、アンモニアなど）も、コストの大幅低減と共に進む。
- CNの世界にうまく適応する国・主体が大きく増えていけば、世界全体として、経済への悪影響などは最小化され、かつ新しい産業とビジネス機会が世界に広がり、経済構造がCNに適応した新たなものに転換していく。

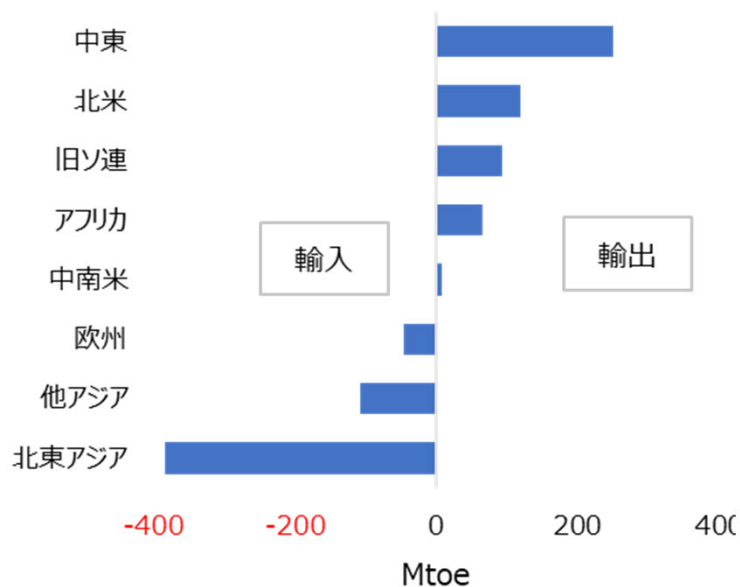
## 厳しい将来像

- CNへの適応に成功するものが一部に止まり、相対的に多くの国や主体が「取り残される」ことになれば、CNに向かう世界は厳しい世界となる。
- 国際協力の精神は機能せず、単独行動主義が全面に出ることで技術の囲い込みがなされ、CNへの適応の成功が波及することを阻害
- その結果、既述の各種格差の存在と拡大が世界の分断をもたらす
- 気候変動対策によって誕生する新産業・ビジネスによる経済牽引や雇用創出効果は、同じく気候変動対策によって生じる多種多様な費用を十分に相殺することができない。
- 格差・分断の発生と深刻化は、CN追求の地球益と国益最優先との相克と衝突を生み、地球益追求という規範の力が弱まってしまう。

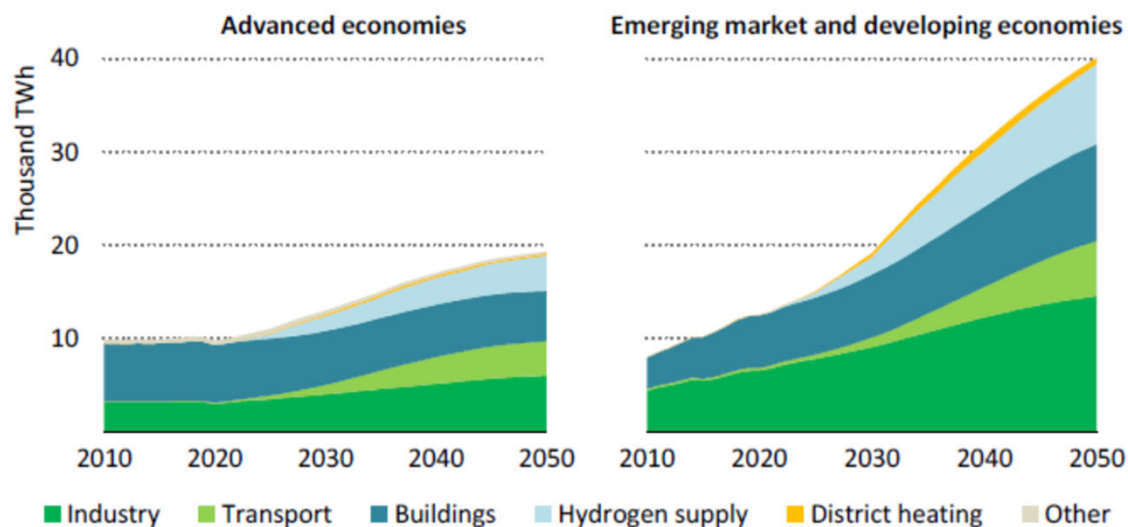
# より重層的かつ複雑になるエネルギー安全保障問題

- 伝統的な要素に加え、新たに重要性を増す脅威・リスクの構成要素が登場
  - 移行期には引き続き既存の化石燃料輸入に依存（別途後述）
  - 資源国が脱炭素化エネルギーの輸出国に転じれば、現状と同じ構図が残る。
  - CNの世界では、電力化が大幅に進展する中で、サイバー防御や再エネの間欠性、慣性力低下、システム改革などの重要課題に同時に取り組む必要
  - 再エネの利用拡大や電化と共にクリティカルミネラルの安定供給問題も浮上

## ❖ 2050年時点の水素貿易バランス (炭素循環経済シナリオ)



## ❖ IEA Net Zeroシナリオにおける電力需要の増加



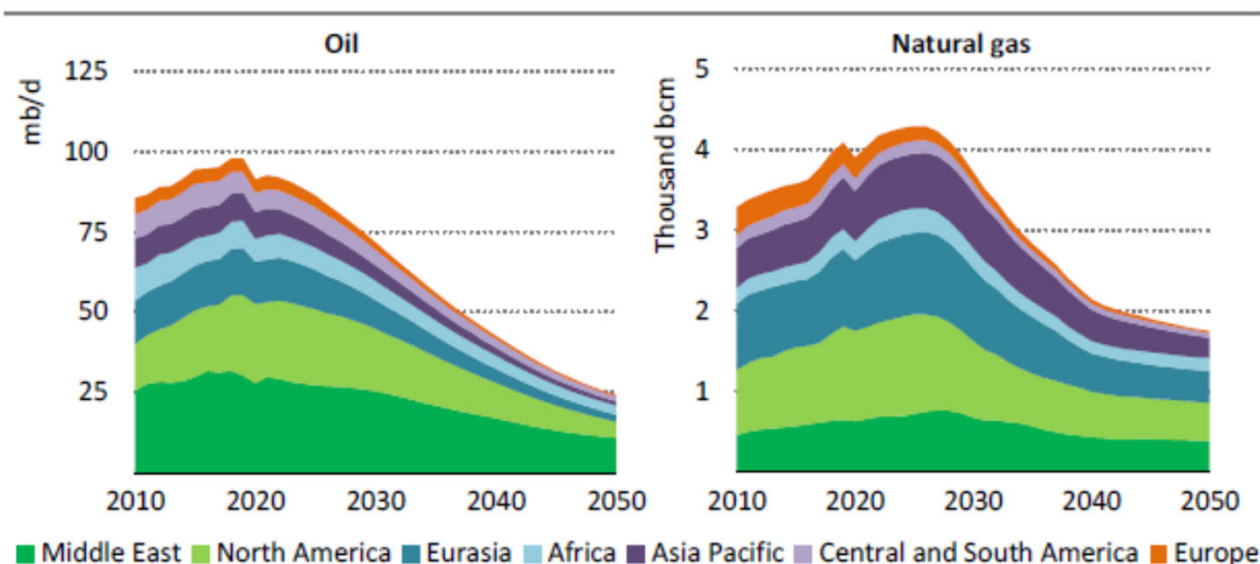
IEA. All rights reserved.

# ネットゼロの実現には「新規上流投資は不要」?

- IEA報告書から生じた「上流投資不要論」
  - IEAは、2021年5月の報告書で、2050年時点で世界でネットゼロを実現するバックキャストシナリオを提示。そのシナリオでは、既に投資の意思決定を行った案件以外の新規の油ガス田開発や新規の炭鉱の開発その延伸は必要ではなくなる、と言及（IEAは今後の新規上流投資は不要になるとの「見通し」を示したわけではない）。
  - ネットゼロの世界では、需要の減少によって資源価格も下落するとして、原油価格は2030年時点で\$35/bbl、2050年で\$24/bbl、LNG価格は2030年時点で\$4.4/mmbtu、2050年時点で\$4.1/mmbtuと予測

## ❖ IEAネットゼロシナリオにおける石油・天然ガス生産量見通し

Figure 3.3 ▶ Oil and natural gas production in the NZE



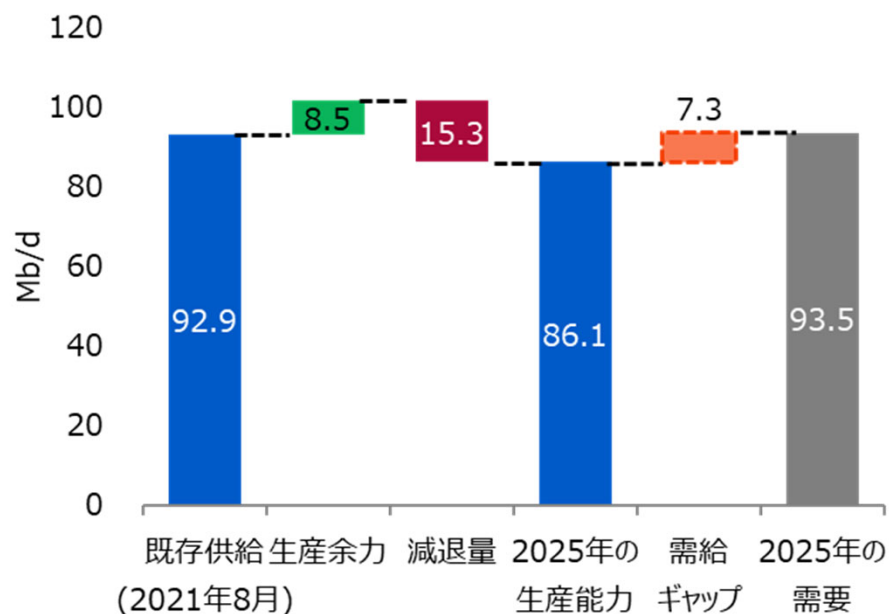
出所：IEA（2021）

出所：IEA, Net Zero by 2050 IEA. All rights reserved.

# 投資が停滞するとどうなるのか：原油の場合

- 仮に新規投資が止まれば、2024年には需要超過が発生する恐れ
  - 現状は余剰能力が豊富に存在し、短期的な需給ひっ迫の可能性は低い
  - 現実には、コロナ収束後は石油需要は再び増加を続ける可能性があり、過度な上流投資不要論が、正当な投資を萎縮させてしまうことが懸念される。

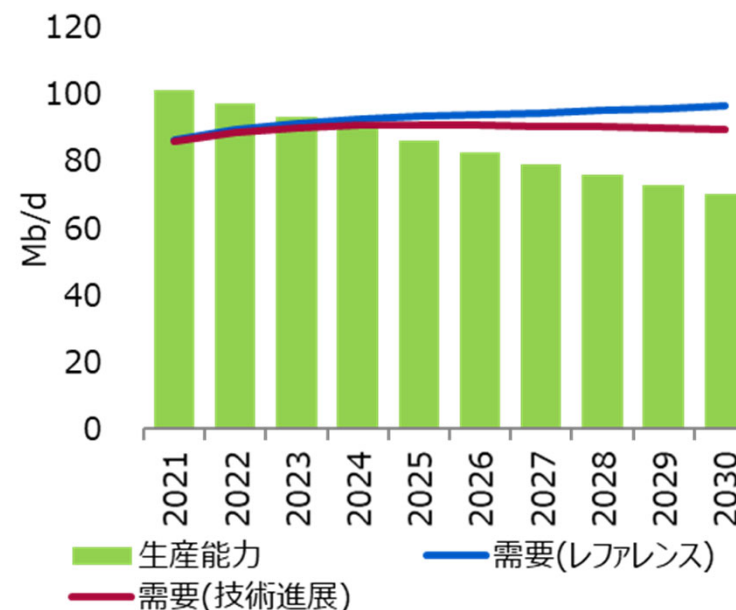
## ❖ 新規投資が止まった場合の2025年時点の世界の石油生産能力の変化と需給ギャップ



注： 需要供給共にバイオ燃料分は除く。2025年の需要の値はレファレンスシナリオ。生産能力の減退率は年率4%で想定（IEA Net Zero報告書における既に生産中の油田と投資決定済油田のみ投資を行うケースの減退率）

出所： IEA Net Zero by 2050; IEA, Oil market Report を元に日本エネルギー経済研究所作成

## ❖ 新規投資が止まった場合の世界の原油生産能力と需要のバランス



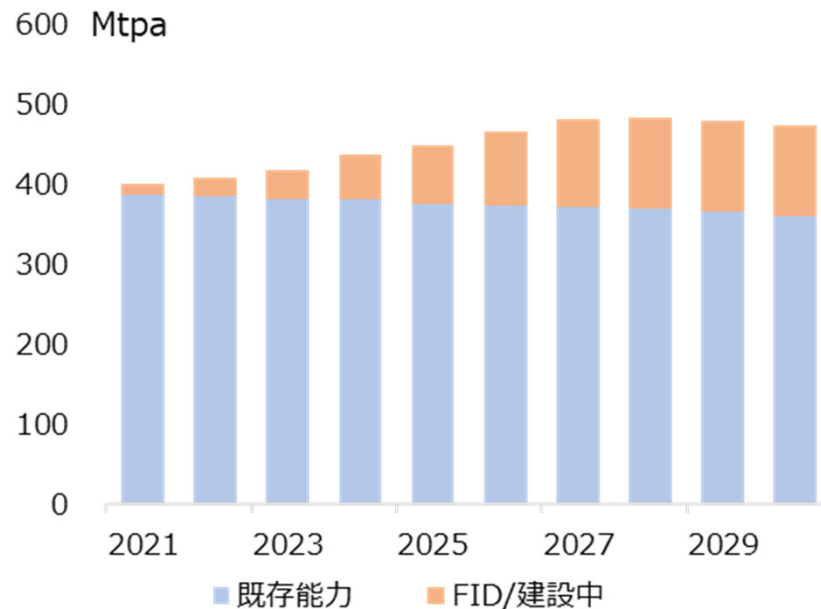
注： 需要はバイオ燃料分を除く。

出所： IEA Net Zero by 2050; IEA, Oil market Report を元に日本エネルギー経済研究所作成

# 投資が停滞するとどうなるのか：LNGの場合

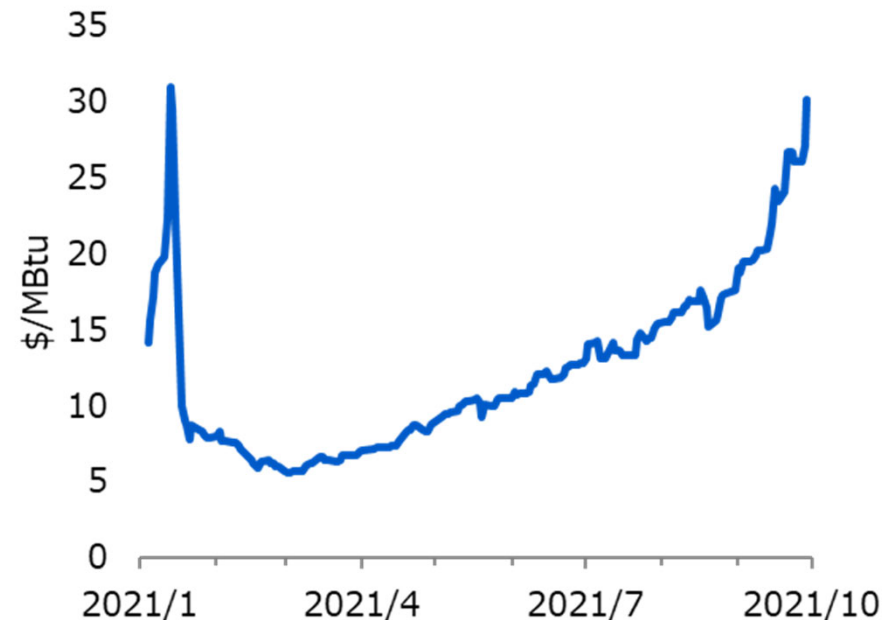
- LNGに関しては、投資決定された案件が多く、供給能力自体は当面拡大
- 一方、LNG市場においては、既に足元でスポット価格が上昇
  - コロナ禍からの景気回復、低炭素化対応、中国等での急速な需要拡大、欧州での風力稼働低下などによる需要増、ロシアのPLガス供給上の課題などが複合的に影響
  - 新規投資の停滞は、需給バランスの不透明感を高め、国際天然ガス市場をさらに不安定化させる可能性あり

## ❖ 既存液化能力と建設中及び投資決定がなされた案件の能力の見通し



出所：日本エネルギー経済研究所

## ❖ LNGのスポット価格の推移（2021年）



出所：ICIS 29



## 供給源のさらなる偏在化

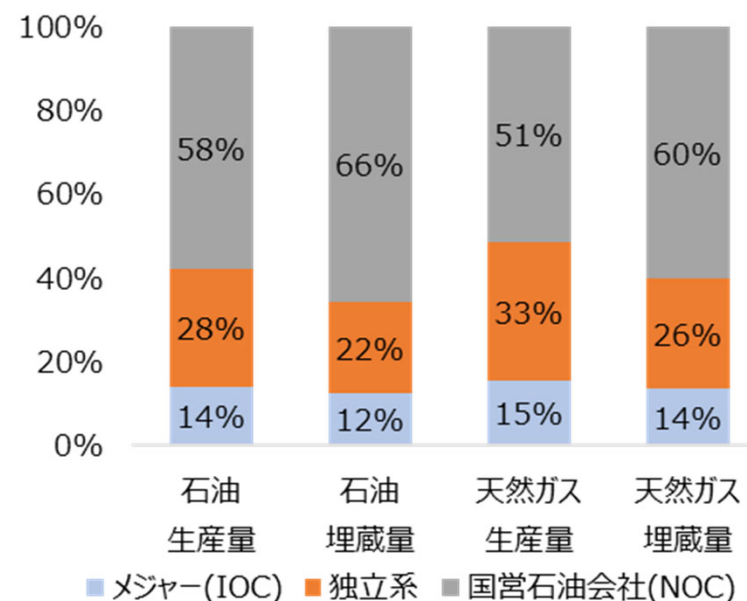
- 先進国において化石燃料への投資が「問題視」されることで、今後は化石燃料への投資が、一部の資源国や新興国によって集中的に行われる可能性がある。
  - 先進国の国際石油会社(IOC)は、脱炭素化に向けた関心が高まる中で、これまでのような配分での上流投資を行っていくくなっている。
  - 一方、脱炭素化に向けた要請を比較的受けにくい産油国や新興国の国営石油会社(NOC)が、国際市場においてさらに影響力を増していく。

### ❖ 主な国際石油会社の設備投資方針

会社	投資先の構成
Chevron	2021年は3億ドル以上をエネルギー転換に投資（会社全体の投資額は140億ドル）
Shell	2020年から2025年以降にかけて上流部門への配分を42%から25~30%に引き下げ、ガス・化学部門への配分も43%から30~40%に引き下げ、再エネ・販売部門への配分を16%から35~40%へ引き上げ
bp	低炭素電力・エネルギー部門（ガス含む）と消費者・モビリティ部門（潤滑油・水素含む）の2部門への投資比率を2019年の15%から2030年に40%へ引き上げ。
TotalEnergies	LNGに対する配分比率は2030年まで全体の投資額の15~20%を維持。再エネ・電力の比率は過去5年間平均の10%から2021~2025年は15%、2026~2030年は20%に引き上げ
ENI	2021~2024年平均で65%が上流部門。20%がグリーン・販売部門、15%がその他
Repsol	2021~2025年の平均で44%が上流部門、25%が下流部門（バイオ燃料含む）、22%が低炭素発電、8%がその他
Equinor	2030年までに再エネ・低炭素分野への投資比率を2020年の4%から50%以上に引き上げ

出所：各社公開情報を基に作成

### ❖ 世界の石油・天然ガス供給に占めるIOC、NOCのシェア（2018年時点）



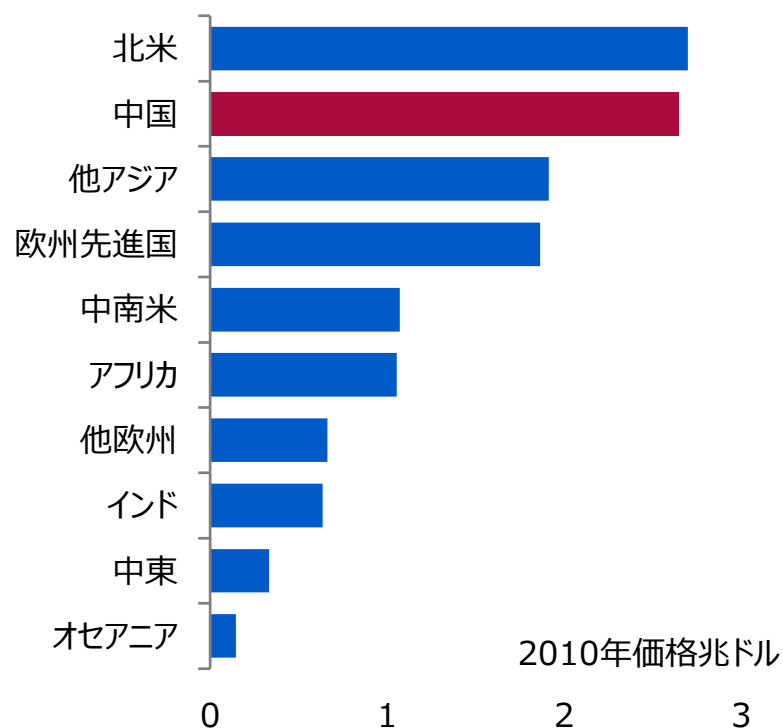
出所：IEA, Oil and Gas Industry in Energy Transitions<sup>30</sup>



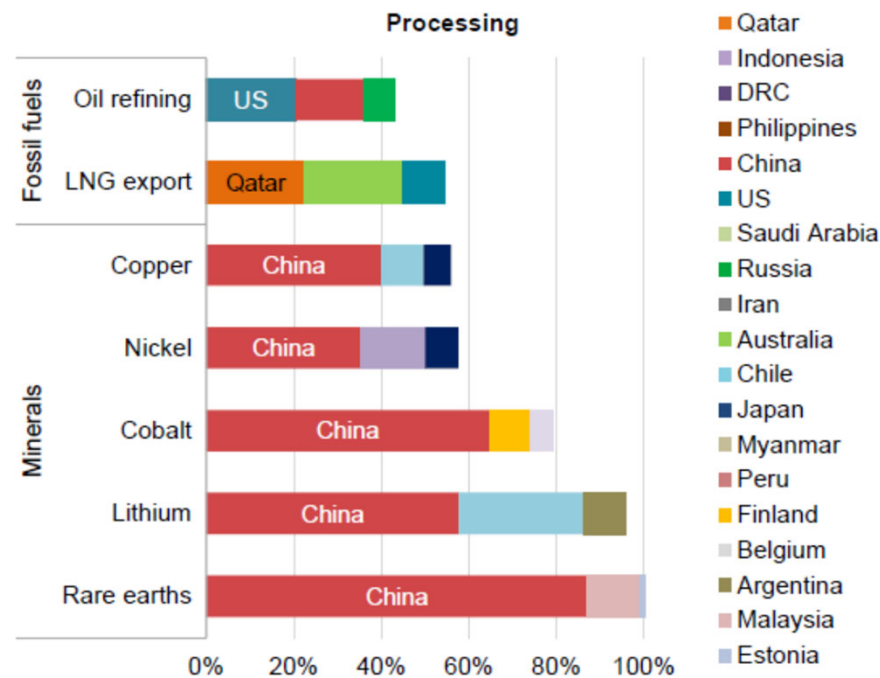
# CN環境下でも高まる中国の存在感

- CNに向かう世界でも中国の存在感が拡大していく可能性が高い。
  - 化石燃料だけでなく再エネやクリティカルミネラルの分野でも高まる中国の存在感
- 先進国との間での競合が高まれば、国際的な分断を招く恐れがある。

## ❖ レファレンスシナリオにおける再生可能発電への投資額(2021~2050年累積)



## ❖ 化石燃料とクリティカルミネラルの処理能力



IEA. All rights reserved.

注：石油は精製能力、ガスはLNG輸出能力  
 出所：IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

## まとめ

- CNへの移行にはプラスの経済効果だけではなく費用も発生する。
  - 国や主体によってそのプラス・マイナスのバランスが異なることに留意
- エネルギー安全保障問題はより重層的になり、複雑化する。
  - 伝統的な資源の輸入依存度の問題に加えて、電力供給セキュリティやクリティカルミネラル確保の問題が今まで以上により重要な課題として浮上
- 過度な「上流投資不要論」は安定供給のリスク要因となる。
  - 現実の需給や各消費国の現状を踏まえたプラグマティックなCNへの移行プロセスの提示が必要
- CNへの移行は包括的（inclusive）な形で進められるべき。
  - 多様性を尊重し、CNへの移行における様々な格差や分断を可能な限り抑制
  - 日本は、途上国に対し、CNに向けた現実的なロードマップを共に考え、その実現に向けて自らが強みを持つ化石燃料の脱炭素化技術の導入支援や、ファイナンス、人材育成などの協力を進めることが求められる。