

# エネルギーの100年史と近未来

～エネルギーとテクノロジーの変遷～

野村證券株式会社

フロンティア・リサーチ部

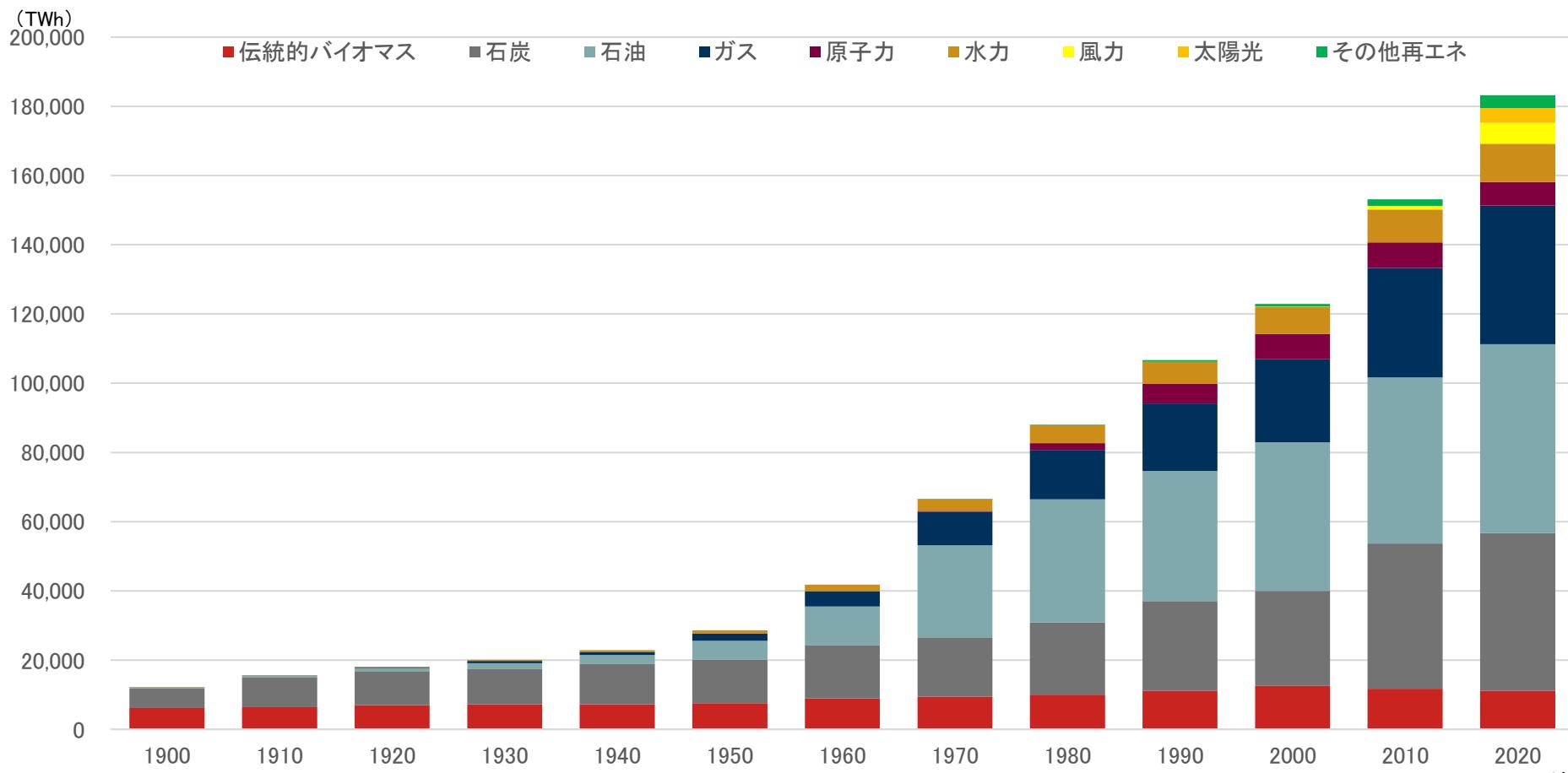
横山 恭一郎／高橋 浩明

2025年8月28日

## 過去100年間、エネルギーでは消費量の急増と多様化が顕著であった

- 過去100年間で、世界のエネルギー消費量は前例のない速度で急拡大すると同時に、エネルギーの多様化が進展してきた
- 本資料では、エネルギーの世界における大きなトレンドを振り返りながら、それらを踏まえた上で今後の見通しについて、議論していく

### エネルギー別での世界の最終エネルギー消費量の推移



出所 : Our world in data より野村證券作成

© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

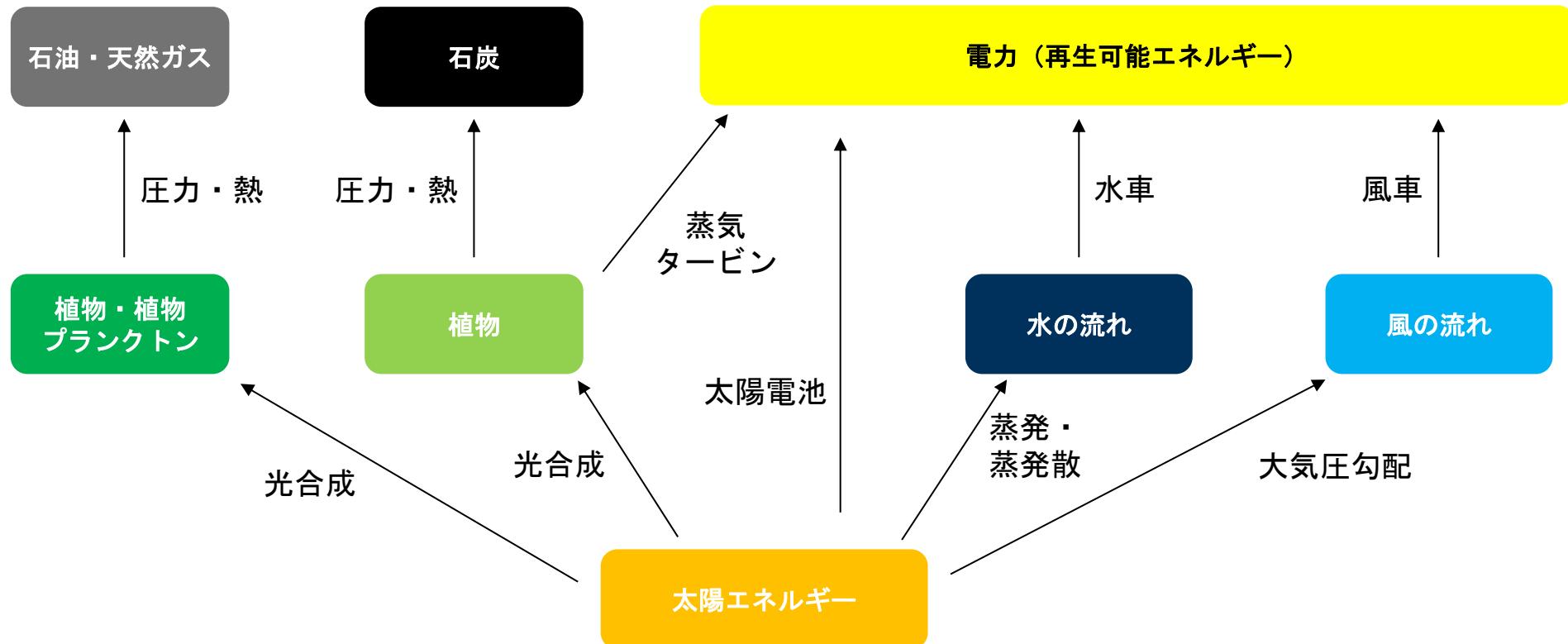
## 1. 過去100年におけるエネルギーとテクノロジーの関係



# エネルギー源の大半を遡ると、太陽エネルギーに行きつく

- 化石燃料(石油、天然ガス、石炭)は、太陽エネルギーを光合成で化学エネルギーに変換・貯蔵した植物が長時間かけて転換したモノである
- 再生可能エネルギーの大半も、水や風等を媒介に太陽エネルギーを電気エネルギーに転換している

## 各種エネルギーと太陽エネルギーの関係



# エネルギーの歴史＝テクノロジーの歴史である

- エネルギー源は昔から存在したが、それを取り出し、有効活用する術を人類は持ち合わせていなかった
- エネルギー源からエネルギーを抽出し、運び、利用するには、様々なテクノロジーが必要であり、その意味でエネルギーの歴史はテクノロジー変遷の歴史とも言える

エネルギーを活用する際に必要な3つの主なプロセス

## 抽出

エネルギーを取り出す技術：  
掘削機、精製機器、ボイラー、タービン、発電機等

## 輸送・流通

エネルギーを運ぶ技術：  
タンカー、パイプライン、トレーラー、液化、変圧器、電線等

## 利用

エネルギーを用いて何等かの仕事を行う技術：  
照明器具、家電製品、輸送機器（車、船舶、航空機）、電子機器等

# 石炭×蒸気機関：エネルギー・パワー不足を解決

- かつて、人類が利用可能なエネルギーは、木材を中心とするバイオマスと馬等の生物エネルギーのみで、エネルギー量と出力が限定的だった
- 石炭を用いる蒸気機関の登場により、利用可能なエネルギー量と出力が大幅に拡大すると同時に、様々な用途に活用することが可能になった

伝統的バイオマスと生物エネルギーが抱えていた課題

【1700～1900年時点における既存エネルギー・テクノロジーの課題】

## バイオマス（木材、熱）

- エネルギー密度が低い
- 資源量が限定的→森林破壊によるエネルギー不足が社会的な課題に

## 生物（筋肉、動力）

- 出力が小さい  
(馬1頭=1馬力 $\approx 0.75\text{kW}$ )



解決策

【新エネルギー・テクノロジーの登場】

## 石炭

- エネルギー密度が木材の約2～5倍もある
- 世界の石炭の可採年数は100年超と豊富である

## 蒸気機関

- 出力が大きい(蒸気機関車=約1,000～2,000馬力=0.8～1.5MW)
- 汎用技術であるため、様々な用途に活用することができる

# 石油×内燃機関：石炭の輸送と蒸気機関のサイズの課題を解決

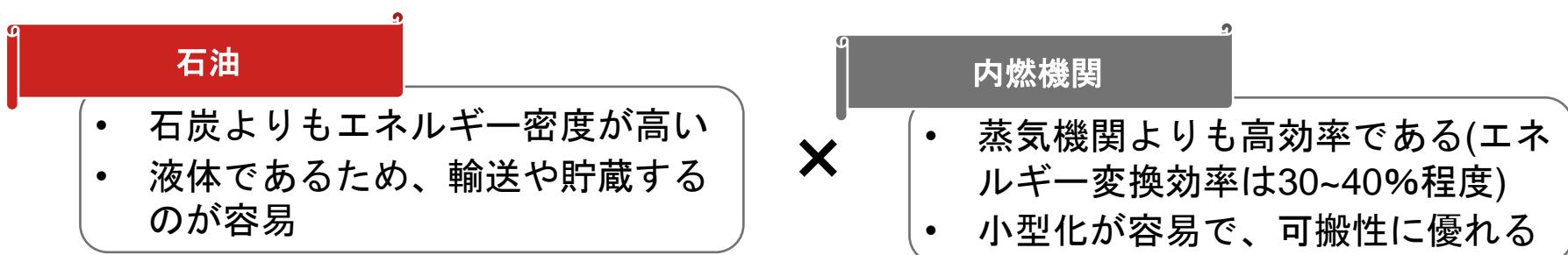
- 石炭と蒸気機関が抱えるそれぞれの欠点や技術的な制約によって、小型の輸送機器への展開が困難だった
- 石油と内燃機関の組み合わせの登場で、自動車や航空機といった新しい輸送機器が開発・普及していった

## 石炭×蒸気機関が抱えていた課題

【1880～1900年時点における既存エネルギー・テクノロジーの課題】



【新エネルギー・テクノロジーの登場】



# ガス火力/原子力発電: 大気汚染とエネルギーの安定供給を解決

- 1950～1970年代に欧米や日本では、石炭・石油火力発電が原因となり大気汚染が深刻化したが、クリーンなガス火力・原子力発電の導入で大気汚染の状況は大幅に改善した
- 2回のオイルショックでエネルギーの安定供給も課題になったが、ガス火力・原子力発電と加わることで、エネルギーの多様化が進展した

## 石炭火力発電が抱えていた課題

### 【1950～70年時点の既存エネルギー・テクノロジーの課題】

#### 石炭・石油火力発電

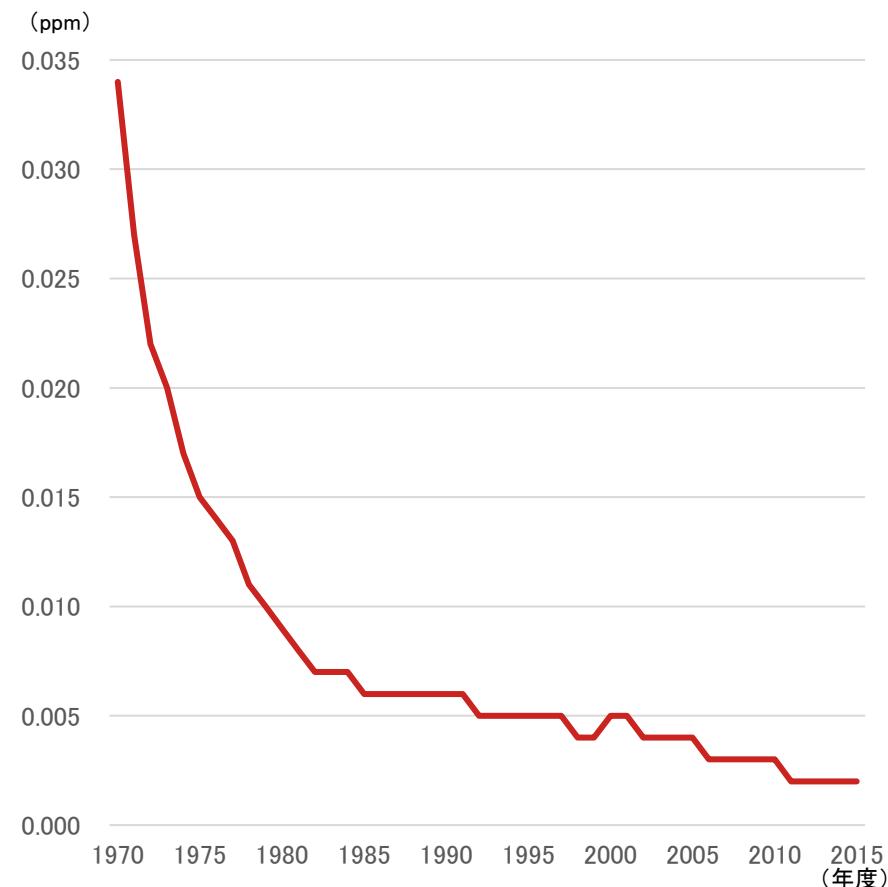
- 硫黄酸化物や微小粒子状物質を排出し、大気汚染の原因になった
- オイルショックを契機にエネルギーの安定供給が課題になった

#### 解決策

#### ガス火力・原子力発電

- 硫黄酸化物を排出しない、あるいは非常に少ない電源である
- 少量の燃料で長時間発電できる等に要因により、原子力発電は準国産エネルギーと見なされた

## 日本の二酸化硫黄濃度の年平均値の推移



# 再生可能エネルギー(再エネ)：化石燃料によるCO<sub>2</sub>排出を解決

- 化石燃料の消費量増に伴うCO<sub>2</sub>排出量の拡大により、地球温暖化(とその影響)が年々深刻化している
- それらに対する解決策として、CO<sub>2</sub>を排出せず、国産エネルギーになる太陽光発電と風力発電に対する期待が年々高まっている

## 石炭火力発電が抱えていた課題

### 【1990年～現在の既存エネルギー・テクノロジーの課題】

#### 火力発電

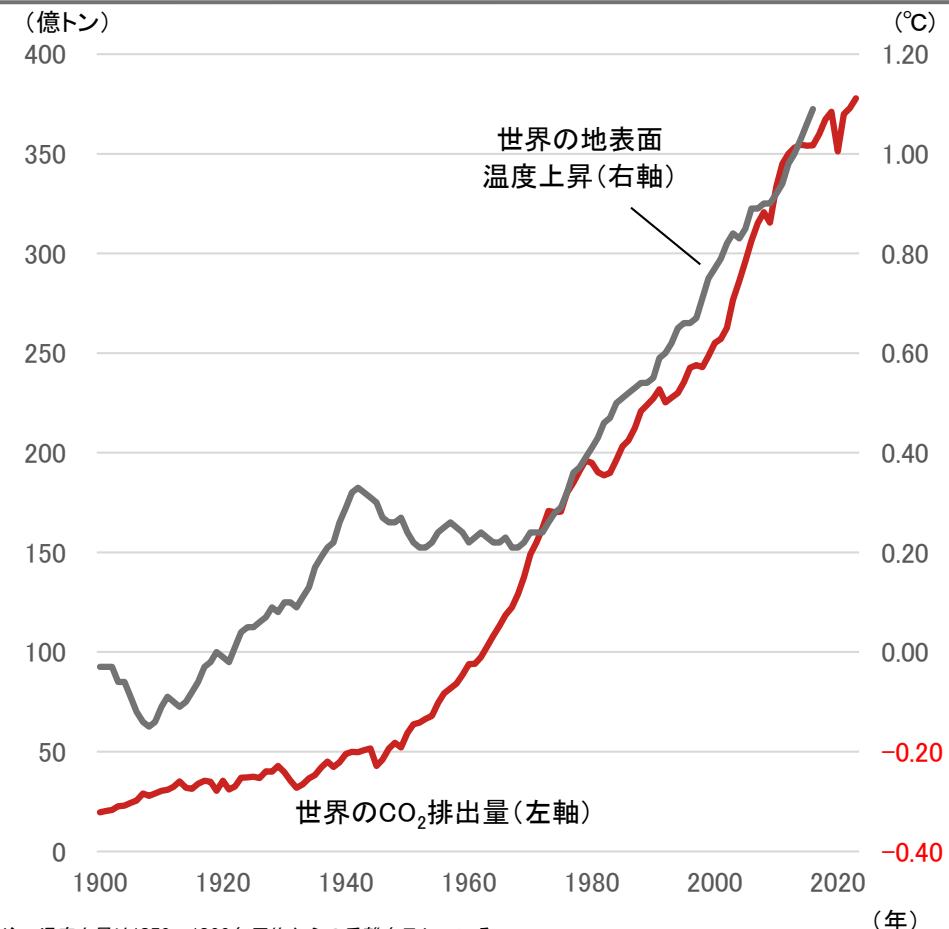
- 発電時に発生する大量のCO<sub>2</sub>が地球温暖化の原因となった
- 化石燃料資源に乏しい国では、十分な量の燃料調達が課題となる

#### 解決策

#### 太陽光・風力発電

- 発電時にCO<sub>2</sub>を排出しない
- 太陽光と風はどの国でも存在し、機材を導入さえすれば、その後は国産エネルギーになる

## 世界のCO<sub>2</sub>排出量と地表面温度上昇の推移



注：温度上昇は1850～1900年平均からの乖離を示している

出所：Our world in data、Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)より野村證券作成

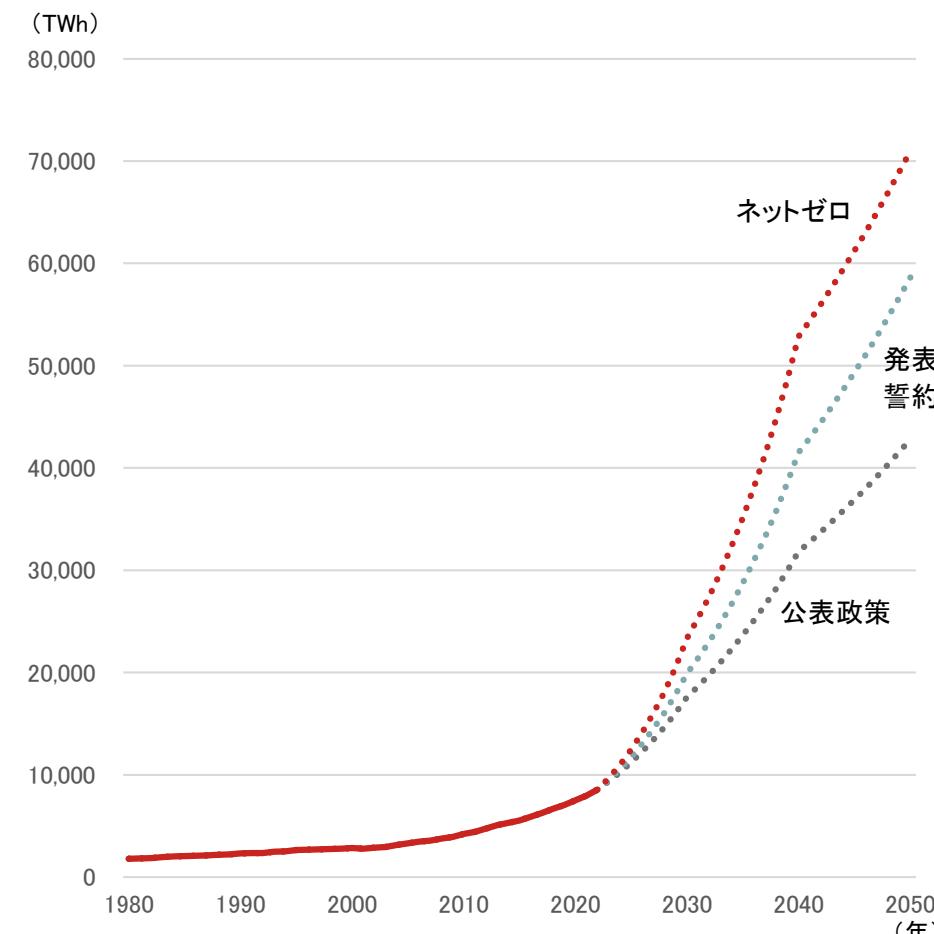
## 2. エネルギーのこれから



# 今後、再エネが世界の主力電源になることが想定されている

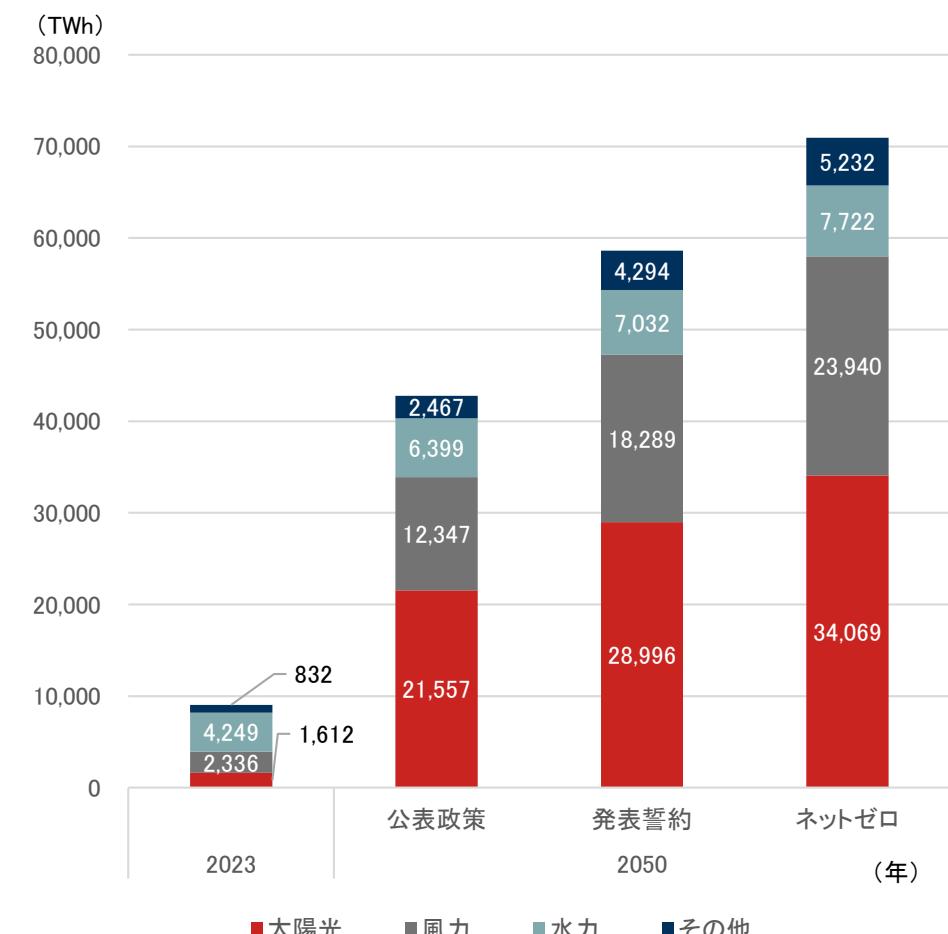
- 国際エネルギー機関(IEA)は、3つのシナリオを公表しているが、いずれのシナリオにおいても、再エネの大幅な拡大が見込まれている
- 再エネによる発電量拡大の大半が太陽光発電と風力発電によって占められると考えられている

IEAによる世界の再エネ発電量の見通し



注：公表政策は政策設定を反映させた予測、発表誓約は各国が発表済みのエネルギー・気候に関する公約を完全に履行すると想定した予測、ネットゼロは世界全体で2050年にカーボンニュートラルを達成すると想定した予測  
出所：International Energy Agency(IEA) "World Energy Outlook 2024"より野村證券作成

IEAによる2050年の世界の再エネ発電量の見通し(電源別)

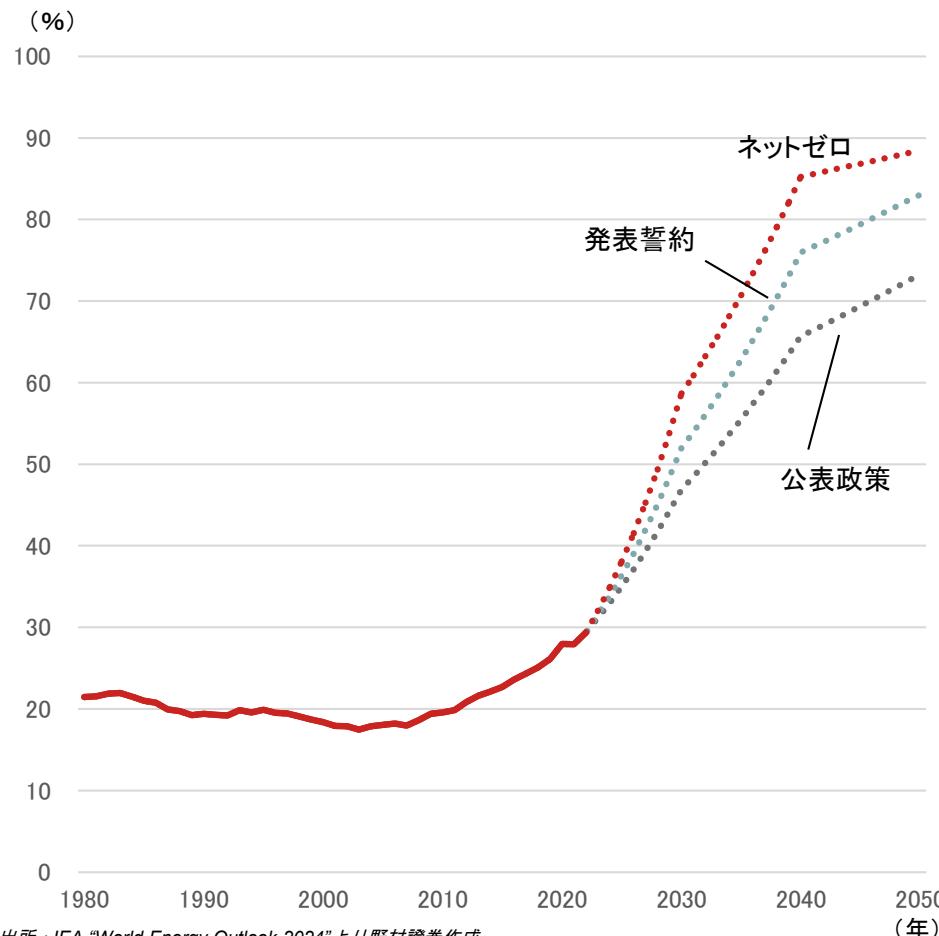


出所：IEA "World Energy Outlook 2024"より野村證券作成

# 再エネ比率と電化率がともに高くなっていく

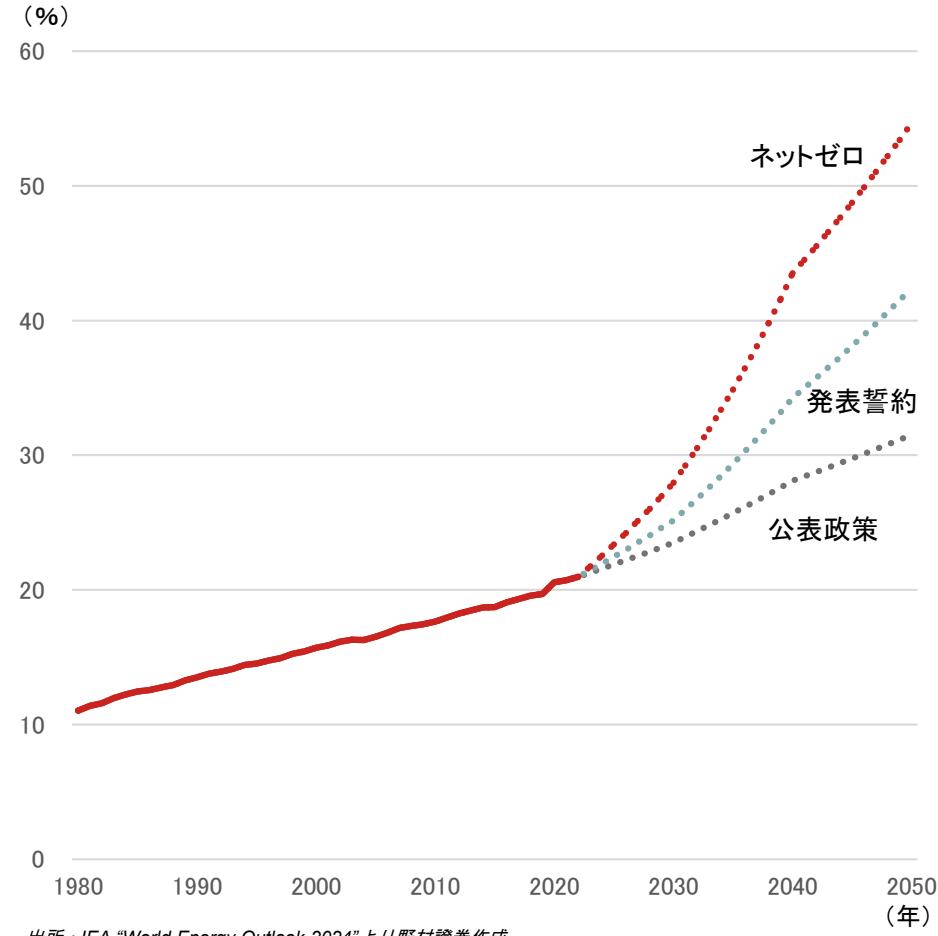
- 再エネの拡大と歩調を合わす形で、電化の更なる進展も見込まれている
- カーボンニュートラルに対するコミットメントが高いシナリオほど、再エネ比率と電化率が高くなっている点が注目される

IEAによる世界の発電に占める再エネ比率の見通し



出所 : IEA "World Energy Outlook 2024"より野村證券作成

IEAによる世界の電化率の見通し



出所 : IEA "World Energy Outlook 2024"より野村證券作成

© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

# エネルギーの脱炭素化には再エネ・電化の進展が必要である

- CO<sub>2</sub>排出量が少ないだけでなく、国産エネルギーになり、かつ最も経済的な電源であるため、再エネは世界中で導入拡大が見込まれている
- 再エネ由来の安価で豊富な電力が供給されるため、電化率を改善させることがエネルギーの脱炭素化を進める上で重要になる

## 再エネの拡大と電化の進展が見込まれる背景

### 再エネが拡大する背景

- CO<sub>2</sub>排出量が少ない
- 国産エネルギーである
  - エネルギー安全保障、エネルギー自給率の観点からも有用である
- 最も経済的な電源である

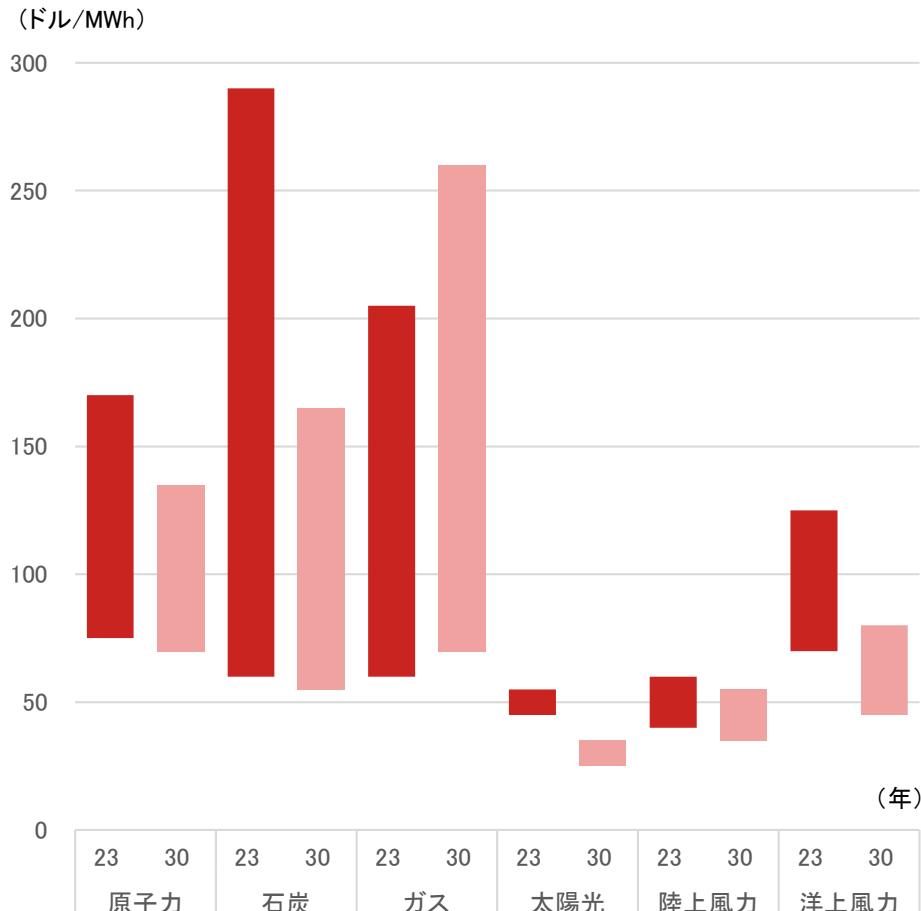
### 電化が進展する背景

- 再エネの拡大により、安価な電気が豊富に供給される
- 他の代替エネルギーと比べて、エネルギー効率に優れる

# 世界の大半の地域で再エネは最も安価な電源になっている

- 新規で電源開発を行った場合の発電コスト(LCOE)を見ると、太陽光と陸上風力発電は既に最も経済的な電源である
- 電源の柔軟性等を考慮した価値調整済みLCOE(VALCOE)でも、太陽光と陸上風力発電のコスト競争力は優れていると試算されている

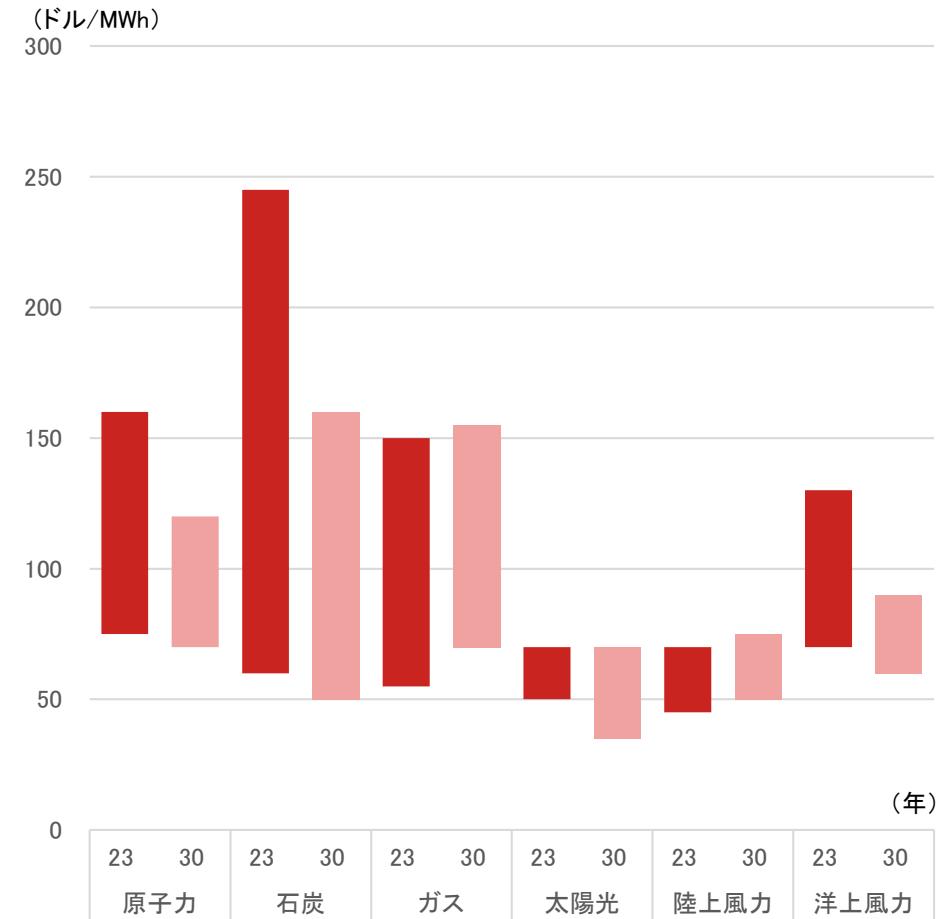
欧米中印における平準化発電コスト(LCOE)の比較



注 : LCOEはLevelised cost of electricityの略で、新しい発電設備を導入する際の基準となる費用を表す。電源毎に想定したモデルプランについて、総費用を発電電力量で除して算出する。

出所 : IEA "World Energy Outlook 2024" より野村證券作成

欧米中印における価値調整済みLCOE(VALCOE)の比較



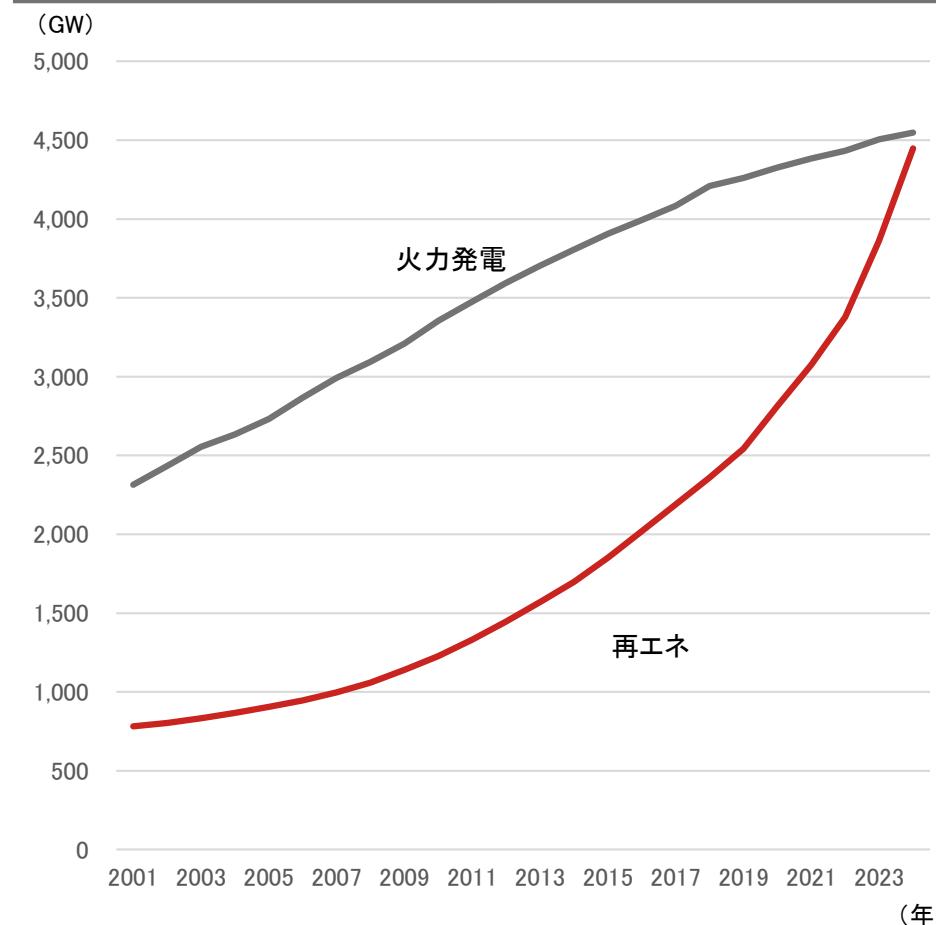
注 : VALCOEは、Value-adjusted LCOEを略したモノである。VALCOEはIEAが考案した指標で、各電源の電力量価値と容量価値、柔軟性価値を計測し、LCOEと組み合わせて算出する

出所 : IEA "World Energy Outlook 2024" より野村證券作成

## その結果、新設電源設備の主役は既に再エネに移行している

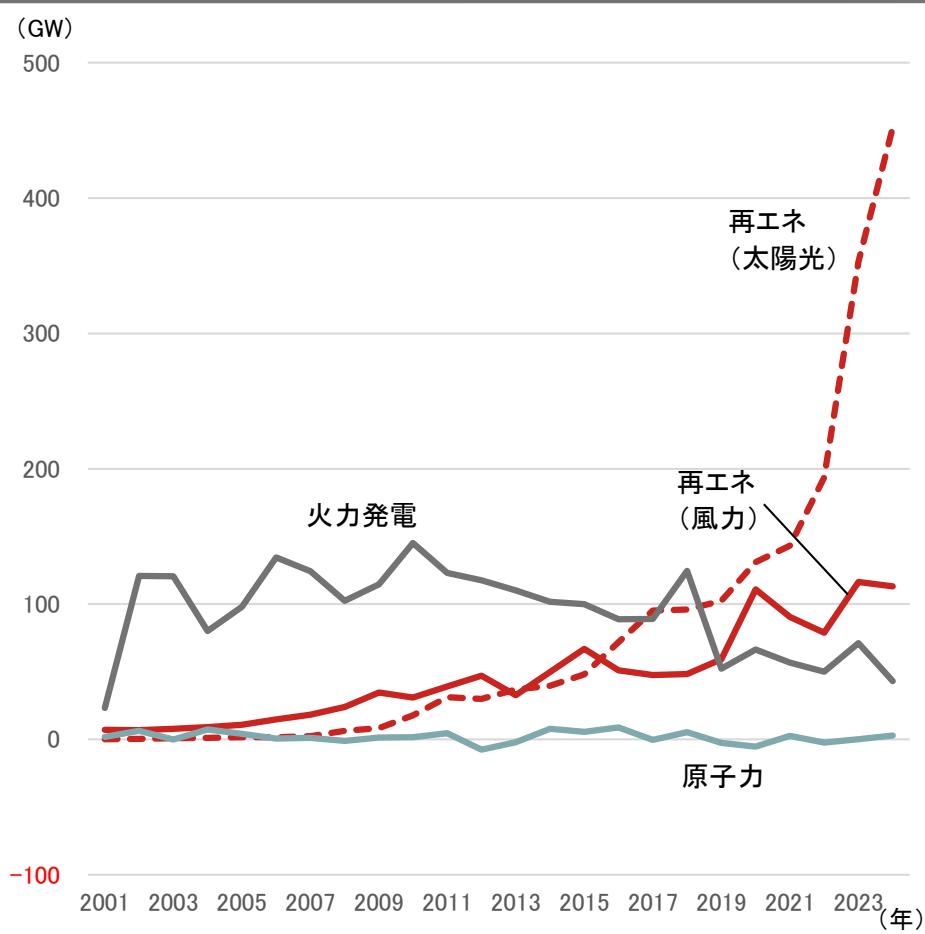
- 電源設備の設備容量を見ると、2024年時点で再エネ合計は火力発電とほぼ同水準となった
- 過去3年間で見ると、再エネの新規設備導入量は火力発電の8倍超の水準に拡大している

世界の火力発電と再エネの設備容量の推移



出所 : International Renewable Energy Agency (IRENA) より野村證券作成

世界の電源設備の新規設備容量の推移

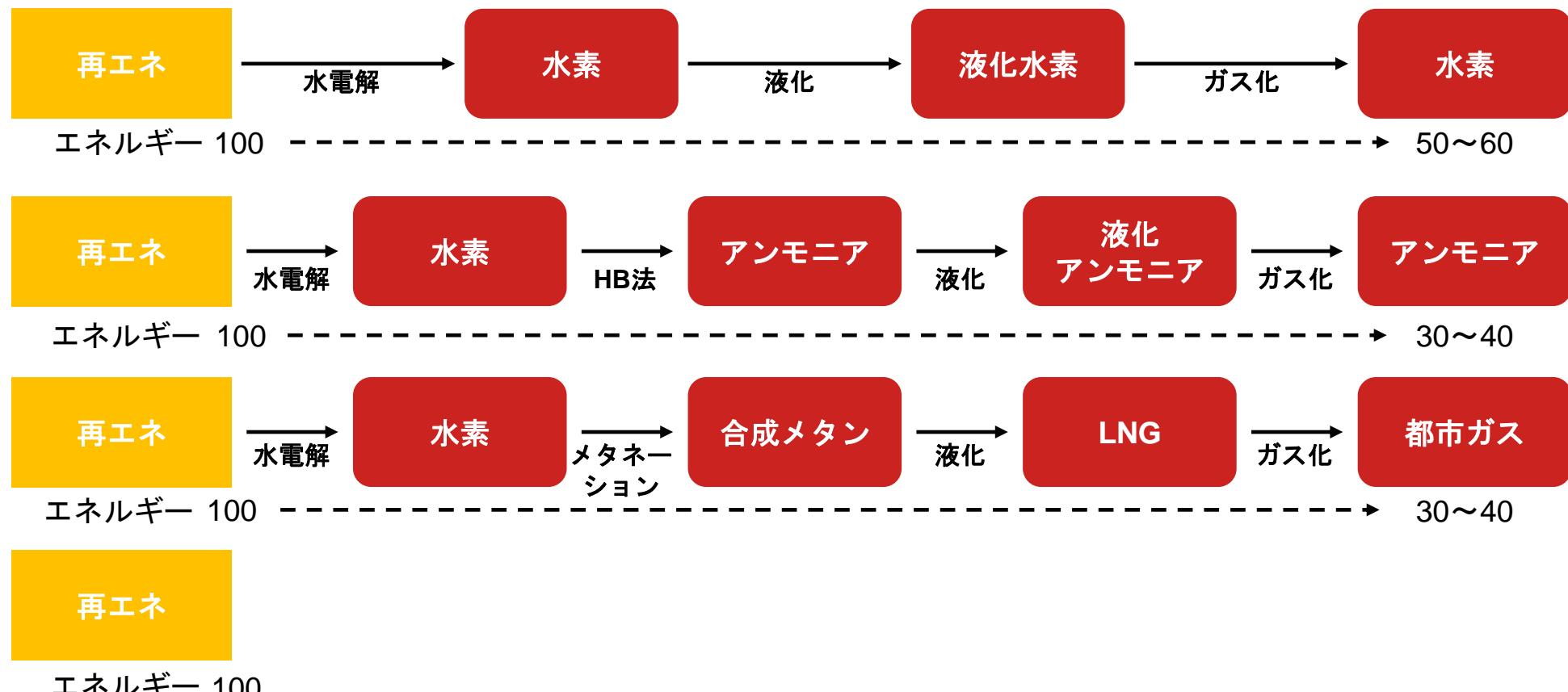


出所 : IRENA より野村證券作成

## 他の代替エネルギーではエネルギー変換ロスが大きい

- カーボンニュートラルなエネルギーには、水素やアンモニア、合成メタン等があるが、いずれも再エネを用いて水素を生成する必要がある
- いずれのエネルギーにおいても途中のエネルギー変換ロスが大きく、再エネ(つまり電化)と競合する用途では、コスト競争力の点で大きなハンディキャップを抱えることになる

海外で生産したグリーン水素とグリーンアンモニア、合成メタンを日本まで輸送する際に生じるエネルギーロスのイメージ図



注：HB法はハーバー・ボッシュ法の略。水素とアンモニア、合成メタンのエネルギー変換率は輸送中のロスも含む。合成メタンを都市ガス化する際には、一部LPガスを混ぜる必要がある

出所：各種資料より野村證券作成

© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

# 脱炭素化に向けた今後のエネルギーの主な課題は3つである

- 脱炭素化に向けた今後の課題は、①再エネの発電量の確保、②再エネの出力変動性の制御、③産業向け需要の電化、の3つである
- これらの課題を克服するテクノロジーの開発・導入が今後進むと考えられる

更なる再エネ拡大、電化促進を実現するまでの課題とそれに対する解決策

## 【抽出】再エネの発電量の確保

- 世界全体で2050年までに再エネ発電量を現在の5~8倍超に拡大する必要がある
  - (浮体式) 洋上風力発電、営農型PV、ペロブスカイトPV、次世代地熱発電

## 【輸送・流通】再エネの出力変動性の制御

- 変動性電源の太陽光・風力発電の大量導入は、系統を不安定化させ、大規模な停電発生のリスクを高める
  - 高度送電技術 (ATT)
  - 蓄電池、熱エネルギー貯蔵 (TES)

## 【利用】産業向け需要の電化

- 電化が難しい分野の1つとして、産業向け需要が挙げられる。同部門の対応策としてCCSやグリーン水素が有望視されるが、いずれもコスト高で先行き不透明である
  - 電気分解、マイクロ波

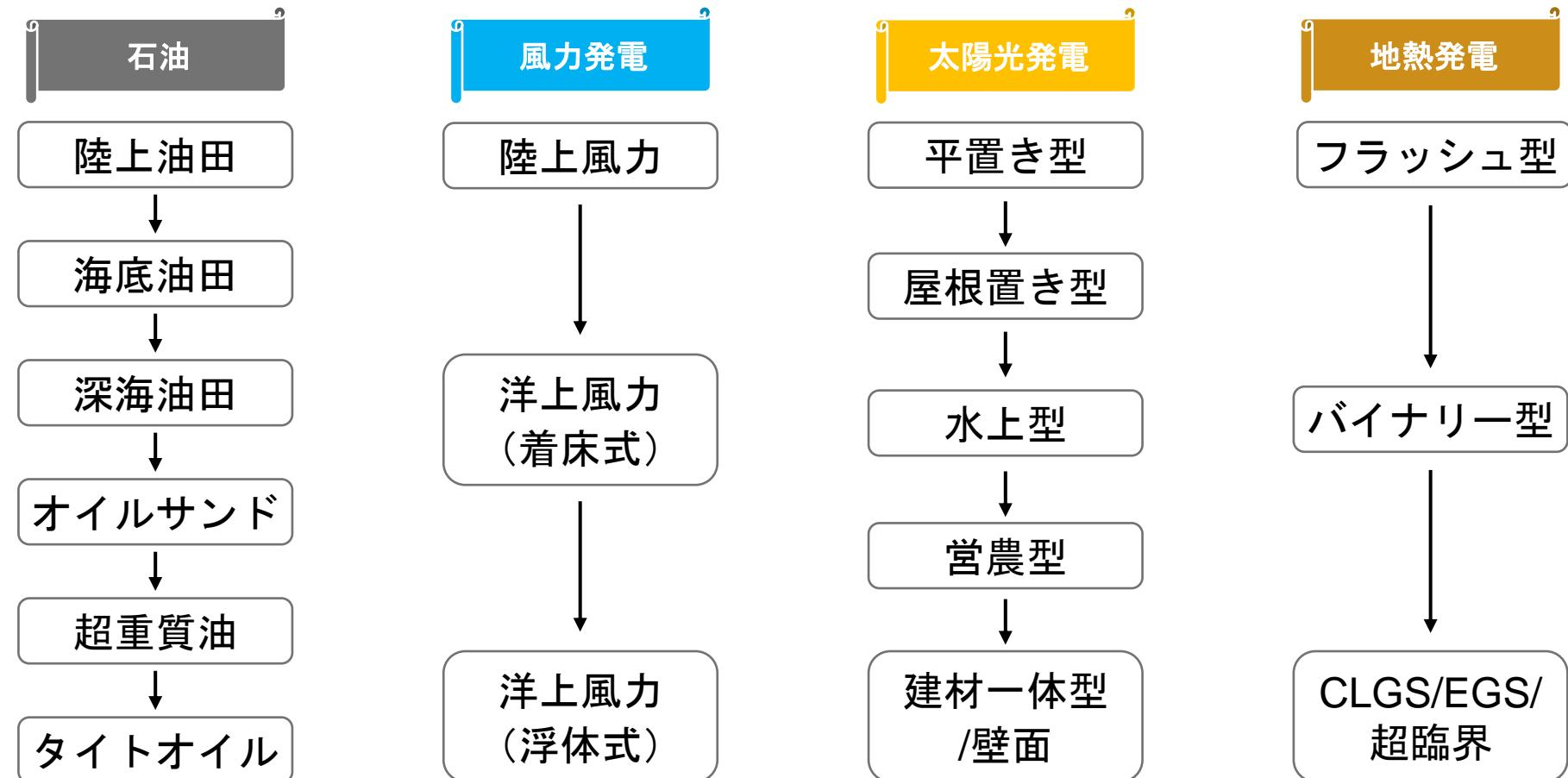
注: PVはPhotovoltaic、ATTはAdvanced transmission technology、TESはThermal energy storage、CCSはCarbon capture and storageの略  
出所: 野村證券作成

# 【抽出】

## 新しいテクノロジーで従来取れなかった場所から電力を抽出する

- 石油では、テクノロジーの進展に伴って、より採取が難しい立地や原料からエネルギーを抽出することができるようになった
- 再エネにおいても、風力発電や太陽光発電、地熱発電で同様の動きが見られる

石油と再エネにおける在来型エネルギーから非在来型エネルギーへのシフトのイメージ図



注 : CLGSは、クローズドループ地熱発電 (closed-loop Geothermal Systems)、EGSは高温岩体地熱発電(Enhanced Geothermal Systems)を指す

出所 : 各種資料より野村證券作成

## 【抽出】

# 営農型PV：農地で農作物とエネルギーを同時に生産する

- 営農型太陽光発電は、田畠や牧草地の上で太陽光発電を行う取り組みで、欧米では1ヶ所で100MW超の大規模な事例も登場している
- 日本でも営農型太陽光発電の導入ポテンシャルはGW単位の水準が推定されており、今後の動向が注目される

## 営農型太陽光発電の概要

営農型太陽光発電：農業に簡易な構造でかつ容易に撤去できる支柱を立てて、上部空間に太陽発電設備を設置し、営農を行いながら発電を行う取り組みを指す

【茨城県神栖市における水田での営農型太陽光発電】



出所：Wikimedia commonsより野村證券作成

## 営農型太陽光発電のメリットとポテンシャル

### 主なメリット

- ・ 農家は、自分たちで再エネを生成することでエネルギーコストを削減できる
- ・ 干ばつや直射日光、洪水、雹等の厳しい気象から農作物を保護する
- ・ 太陽光パネル設置による水管理の改善効果を通じて、持続可能な農業方法を支援できる
- ・ 農業とエネルギーのために土地の二重利用を可能にし、土地効率の最大化を図れる

### 日本での導入ポтенシャル

#### 環境省

- ・ 770.6GW（耕地：田298.6GW、畑472GW）、荒廃農地17.5GW）

#### 日本エネルギー経済研究所

- ・ 46.5GW

（参考）日本の2024年末時点の太陽光発電導入量は91.6GW

出所：環境省、日本エネルギー経済研究所、IRENA資料より野村證券作成

## 建材一体型や壁面での太陽光発電の導入が有望視されている

- 薄型でかつ軽量な太陽電池の開発で、壁面での太陽光発電が普及する可能性が高まりつつある。発電量でみると、壁面での太陽光発電は、屋根置きと同等、あるいはそれ以上のポテンシャルがあると見られている
- 薄型軽量な太陽電池では、ペロブスカイト太陽電池が最も有名だが、他にも様々な薄型軽量太陽電池が開発されている

### 壁面太陽光発電の事例(フィンランド)



### 主な薄型軽量太陽電池の比較

#### 結晶Si太陽電池

- ・ 変換効率が高く、コストは最も安価である
- ・ 他の薄型軽量太陽電池と比べると最も重い  
(ただし従来の結晶Si太陽電池の1/4~1/3)

#### 有機薄膜太陽電池

- ・ 有毒成分を使わず、デザイン性が高い
- ・ 変換効率が最も低い(ただし、急速に改善しており、セルベースで20%台に到達する事例もある)

#### ペロブスカイト太陽電池

- ・ セルベースでは最も高い変換効率を誇る
- ・ 耐久性が弱く、有毒な材料を使っている

#### カルコパイライト太陽電池

- ・ 最も軽く、最もフレキシブルである(曲がる)
- ・ 変換効率の改善に不安がある(ただし、現在は、他の電池と同程度である)

出所：日経エレクトロニクス（2025年7月）記事より野村證券作成

## 次世代地熱発電に対する期待も高まりつつある

- テクノロジーの進展によって、従来では発電できなかった場所においても地熱発電が可能になりつつある
- 日本でも経済産業省が次世代地熱発電を推進するロードマップの作成に乗り出している

### 主な次世代型地熱発電の仕組み

従来型地熱	次世代型地熱		
熱・水・割れ目から成る地熱貯留層から蒸気を生産し発電	超臨界地熱 Supercritical Geothermal	クローズドループ Closed-loop Geothermal System	EGS Enhanced Geothermal Systems
マグマ上部の高温高圧の流体（超臨界热水）から蒸気を生産し発電	亀裂のない高温の地熱層に坑井掘削し、流体を循環させ発電	地熱層貯留層を人工造成し、水を圧入・蒸気を生産し発電	

The diagram illustrates the four types of geothermal power generation:

- Conventional Geothermal:** Shows steam rising from a hot spring at the surface and entering a production well (red arrow) which connects to a reservoir layer (yellow oval) containing supercritical water. A return well (blue arrow) brings the heated water back to the surface.
- Supercritical Geothermal:** Shows steam rising from a reservoir layer containing supercritical water (yellow oval) and entering a production well (red arrow).
- Closed-loop Geothermal System:** Shows a looped system where fluid circulates between two wells (blue and red arrows) in a fractured rock layer (yellow grid) to extract heat from a magma source (red oval).
- EGS (Enhanced Geothermal Systems):** Shows a looped system where fluid circulates between two wells (blue and red arrows) in a fractured rock layer (yellow grid) that has been artificially fractured (indicated by a dashed line) to extract heat from a magma source (red oval).

The vertical profile of the earth's crust is shown on the left, with layers labeled: 地表 (Surface), 温泉 (Hot Spring) at ~1km, 1.5~2km depth, 200~350°C temperature, 地熱貯留層 (Geothermal Reservoir Layer), 3km depth, ~350°C temperature, and a magma layer (マグマ) at 3~6km depth, 400~600°C temperature. A 1km scale bar is also present.

出所：経済産業省次世代地熱発電推進官民協議会資料より野村證券作成

## 次世代地熱発電による資源量の大幅な拡大が見込まれている

- 次世代型地熱発電は、熱さえあれば開発可能なため、展開可能な地域が拡大し、日本では資源量が従来型の3倍超になると推計されている
- 欧米では、次世代型地熱発電の商用化に取り組むスタートアップがいくつも現れている

### 次世代型地熱発電のメリットと発電コストについて

#### メリット

- 热があれば開発可能→資源量が大きい
- 日本における地熱資源量の推定値  
従来型地熱: 23.5GW → 次世代型: 77GW超

#### 発電コスト (LCOE)

##### 現在

- 従来型 : 16.8円/kWh
- 次世代型 : 13.8~36.8円/kWh

##### 将来

- 従来型: 16.7円/kWh (2040年)
- 次世代型:  
日・目標12~19円/kWh (時期は未定)  
米・45ドル/MWh (6.8円/kWh、2035年)

### 次世代型地熱発電関連企業

#### Eavor Technologies (加)

- クローズドループ型の商用化に取り組んでいる
- 現在ドイツで設備容量8MWの商用プラントを建設中で、年内に商業運転を開始する予定である
- 中部電力や鹿島建設が同社に出資している

#### Quaise Energy (米)

- マサチューセッツ工科大学発のスタートアップで、EGSの開発を行っている
- 従来型のドリルビットではなく、ミリ波を放出するジャイロトロンでの掘削を計画している
- 2030年に商用プラントの運転開始を目指し、現在はフィールドでの掘削実証を行っている
- 発電コスト (LCOE) 6.6~8.4セント/kWh (9.9~12.6円/kWh) を目標として掲げている
- 三菱商事が同社に出資している

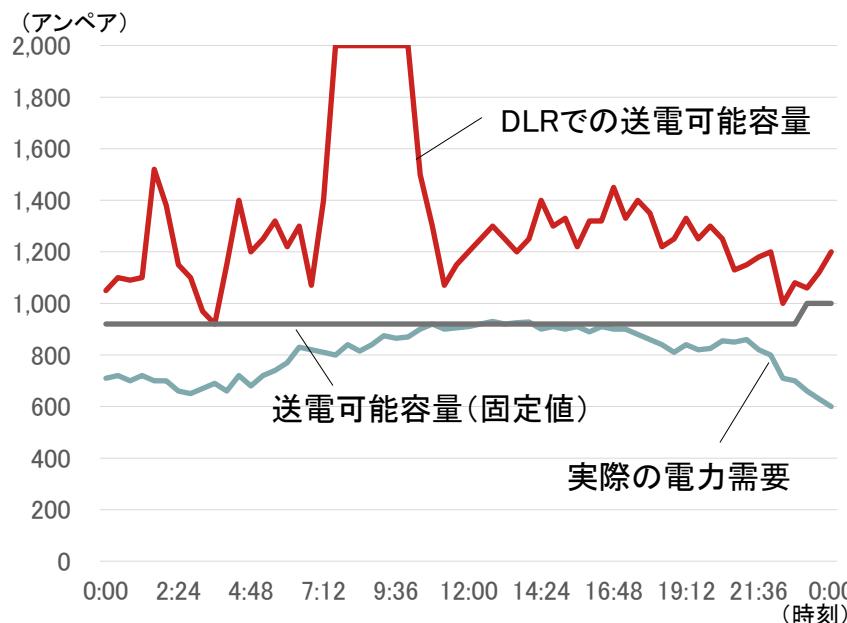
## 高度送電技術(ATT)では既設の送電線の送電可能量の拡大が可能となる

- ダイナミック・ライン・レーティング(DLR)では、センサーによるリアルタイムのデータに基づき、送電可能容量を動的に変更することができる
- 心材に新材料を用いる高温低弛度(HTLS)導体は、高温になっても弛みが少ないため、送電容量を拡大することができる

### ダイナミック・ライン・レーティング(DLR)の概要について

#### 【送電線における送電可能な容量の設定】

- ・ 従来：電線の仕様と予め定めた気象条件を基に送電可能容量が設定される
- ・ DLR：センサーで気象条件と送電線温度・電流を計測し、リアルタイムのデータに基づき、送電可能容量が設定される



注 : DLRはDynamic line ratingの略

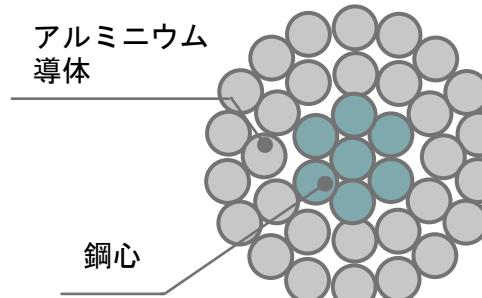
出所 : 米エネルギー省 "Dynamic line rating systems for transmission lines" より野村證券作成

### 高温低弛度(HTLS)導体の概要について

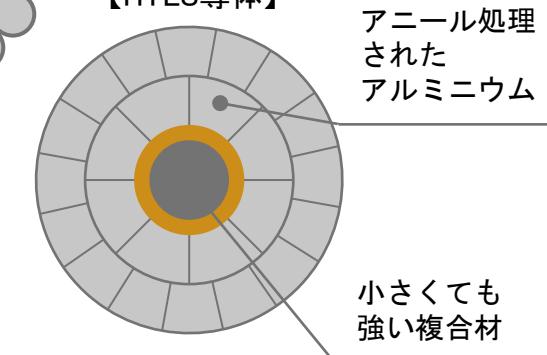
#### 【HTLS導体】

- ・ HTLSは高温になっても弛みが少ない導体を指す
- ・ 送電線の弛みを抑えるために用いられている従来の鋼心を、より小さく軽い材料に変更できる
- ・ その結果、同サイズの送電線に、より多くの導体を用いて、送電容量を拡大することが可能になる

#### 【従来の導体】



#### 【HTLS導体】



注 : HTLSはHigh temperature low sagの略

出所 : GridLab "2035 The Report" より野村證券作成

## 欧米では、DLRとHTLSを導入する国が増加している

- 送電線を新設するには、時間と費用がかかり、再エネの急増を支えるには力不足である。DLRとHTLS導体は、容量増に係る時間や費用における最もバランスに優れた技術と評価され、ベルギーやオランダ、米国等、導入する国が徐々に増加している
- DLRやHTLS導体の開発・販売を手掛ける米国のスタートアップには、多くの電力・送電会社や商社等が出資している

### 主なATTの比較

	導入期間	容量増	速度			費用
			許可	設計	建設	
DLR	3ヶ月超	10~30%	1	1	1	1
フレキシブル交流送電システム(FACTS)	8~18ヶ月	30~50%	1	3	2	2
HTLS導体	1.5~3年	50~110%	2	2	2	2
先進的な鉄塔設計	2~4年	30~100%	3	3	3	3
送電の高圧化	3~5年	100~300%	3	3	4	3
高圧直流送電(HVDC)への転換	5~7年	100~300%	3	4	4	4
送電線新設	5~15年	-	4	4	4	4

注：FACTSはFlexible Alternating Current Transmission System、HVDCはHigh Voltage Direct Currentの略。数値は1が最も良好で、4が最も劣後する

出所：GridLab "2035 The Report" より野村證券作成

### ATT関連企業

#### LineVision (米)

- DLRや送電線監視技術の開発・販売を行う
- 同社のDLRは、National GridやAES等、欧米の電力・送電会社で導入されている
- 丸紅が同社に出資し、日本における販売代理店を担っている

#### TS Conductor (米)

- 心材に鋼ではなく炭素繊維を用いた、第2世代のHTLS導体(AECC)の開発・販売を行う
- 第1世代のHTLSと比べて、容量増分が大きく、かつ導入が容易であることが特徴である
- 日本のVCである環境エネルギー投資が同社に出資している

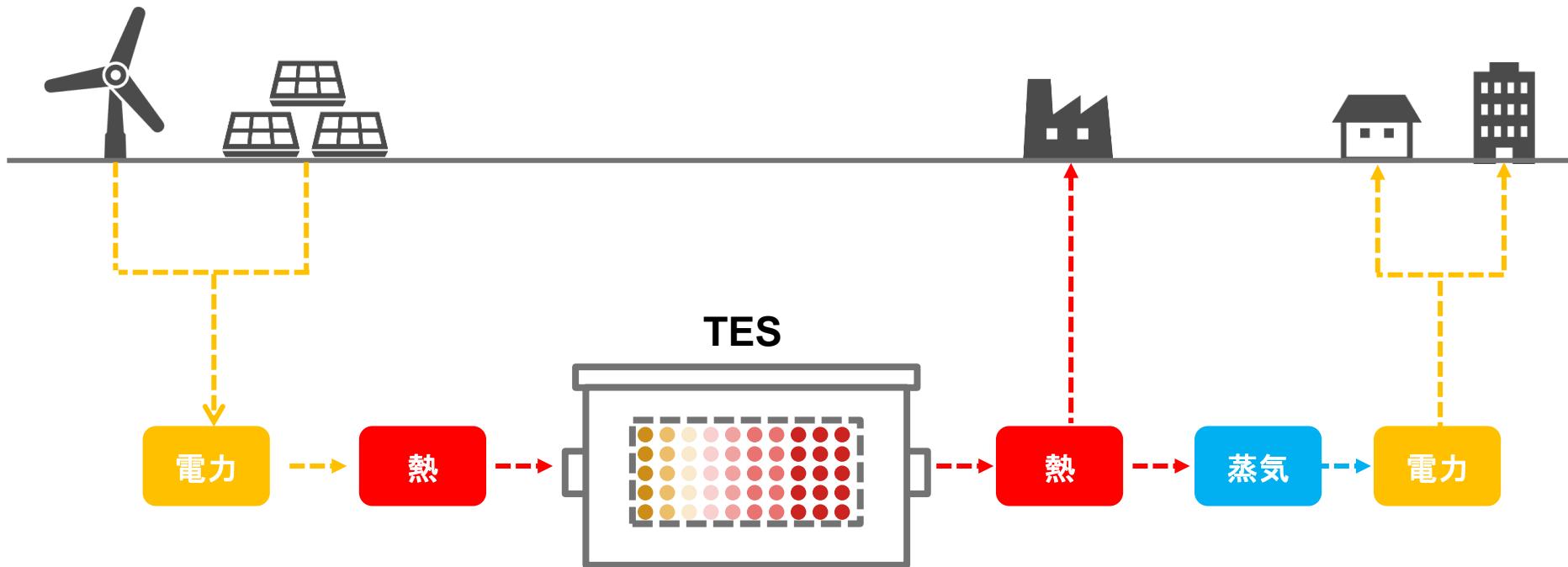
注：AECCはAluminum Encapsulated Carbon Coreの略

出所：各社HP等より野村證券作成

## 熱エネルギー貯蔵(TES)は、電力を熱に変換して貯蔵する技術である

- 热エネルギー貯蔵(TES)では、再エネの電力を熱に変換し、その熱を蓄熱材に貯めて、再度熱、あるいは電力として利用することができる

### TESの仕組み



注 : TESは、Thermal energy storageの略  
出所 : 各種資料より野村證券作成

# TESは、蓄電池と異なる特徴があり、今後の動向が注目される

- TESでは、蓄電池と比べて、エネルギー貯蔵コストが低いことに加え、多様な熱源や用途に活用可能というメリットがある
- 欧州を中心にいくつかのスタートアップが見られるが、他の分野と比べると、日本企業の存在感が乏しい

## TESのメリット

### 特徴

- 大半の要素技術は、太陽熱発電や化学プラントで、既に実用化済みである
- 蓄熱材には、コンクリートや碎石、溶融塩等が用いられる
- 蓄熱温度が100～1,000°C超と幅広い

### 蓄電池と比較した場合 のメリット

- 安価かつ長寿命な蓄熱材を用いるため、蓄電池と比べて、エネルギー貯蔵コストが低い
- 蓄熱材の効率が非常に高く、長期間にわたるエネルギー貯蔵が可能である
- 工場等で発生する廃熱も貯蔵することができ、かつ貯蔵したエネルギーを熱・電力として供給することもできる

出所：各種資料より野村證券作成

## TES関連プレーヤー

### Brenmiller（イスラエル）

- 米NASDAQに上場しているイスラエル企業で、碎石を用いたTESを開発している
- 装置だけでなく、熱をHeat-as-a-Serviceとして販売している
- 欧米やイスラエルを中心に事業を展開しており、2025年7月時点で累計103MWhの実績がある

### Kraftblock（独）

- 350～1,300°Cの蓄熱が可能なTESを開発・販売している
- 製鋼スラグ等をリサイクルして作る特殊な蓄熱材を開発しており、寿命も40年と長い
- 三菱重工業が同社の協業パートナーになっている

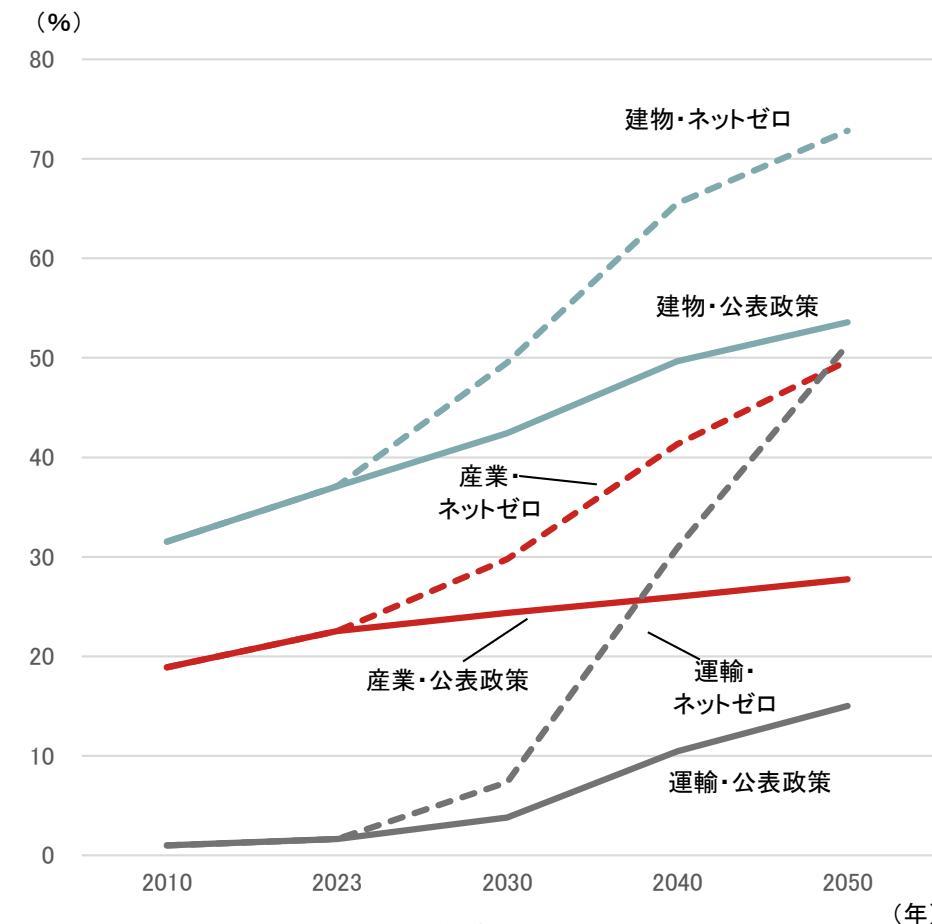
出所：各社HP等より野村證券作成

# 【利用】

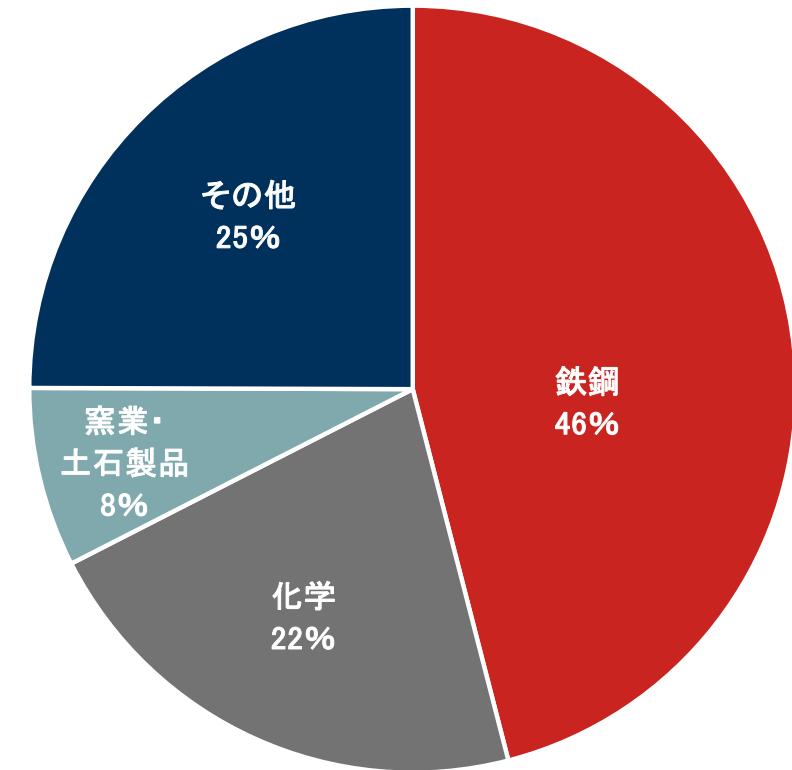
## エネルギー消費部門の中では、産業部門の電化が最も難しい

- IEAのネットゼロシナリオにおいて、3つあるエネルギー消費部門の中で、産業部門での電化率が最も低くなると見込まれている
- 産業部門では、鉄鋼、化学、窯業・土石製品(セメント)の3業種でCO<sub>2</sub>排出量が多く、日本の産業部門のCO<sub>2</sub>排出量の4分の3を占める

IEAの各シナリオ別での電化率の見通しの推移

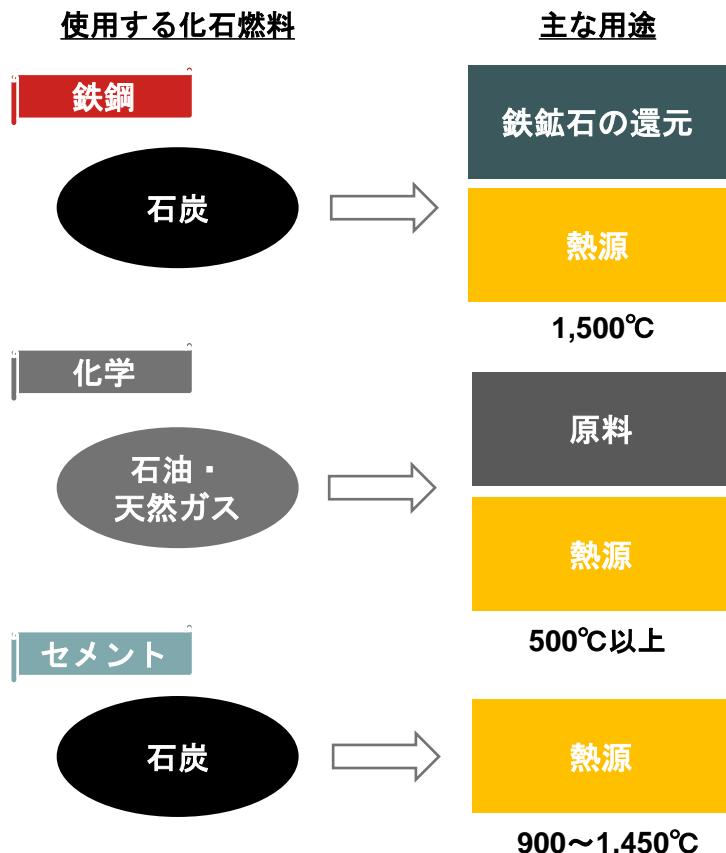


日本の産業部門における業種別CO<sub>2</sub>排出量の内訳(2023年度)



## 産業部門の電化に取り組む企業も現れている

- 前述した3業種では、電化が難しく、排ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収する設備(CCS、Carbon capture and storage)や水素での対応が必須と考えられていた
- 近年、これらの業種においても、化石燃料を電気で置き換えるテクノロジーの開発が進展しており、今後の動向が注目される  
CO<sub>2</sub>多排出産業で使用する化石燃料と主な用途



鉄鋼、化学、セメントにおける電化技術を開発する企業

### Boston Metal (米)

- 電力を用いた溶融酸化物電解 (MOE) と呼ぶプロセスで鉄鉱石から高純度の鉄を取り出す技術を開発している
- 年産1万トンの実証プラントを建設しており、2027年にフル稼働する予定である

### マイクロ波化学 (日)

- 化学業界向け等に、マイクロ波を活用した様々な合成プロセスを開発している
- 現時点で、2件の商用機向けのマイクロ波反応器を開発中である

### Sublime Systems (米)

- 電解層を用いて電気化学的に従来のセメントで形成されるモノと同じ化合物を合成する
- 同プロセスを採用した実証プラントを建設しており、2026年に稼働する予定である

注：MOEは、Molten Oxide Electrolysisの略

出所：各社HP等より野村證券作成

出所：各種資料より野村證券作成

### 3. 日本の今後のエネルギー政策について



# 日本政府は1.5°C目標と整合的な温室効果ガス対策を打ち出した

- 2025年2月に地球温暖化対策計画と第7次エネルギー基本計画（以下、エネ基）が閣議決定された
- 2035/40年度の温室効果ガス（GHG）排出量削減目標と、それを実現するために必要な電源構成等の見通しが発表された

## 地球温暖化対策計画と第7次エネルギー基本計画の概要

### 地球温暖化対策計画

- 日本のNDC（国が決定する貢献）として、世界の1.5°C目標と整合的で野心的な目標を掲げる
- 2035/40年度のGHGを、2013年度比でそれぞれ60%、73%削減することを目指す

### 第7次エネルギー基本計画

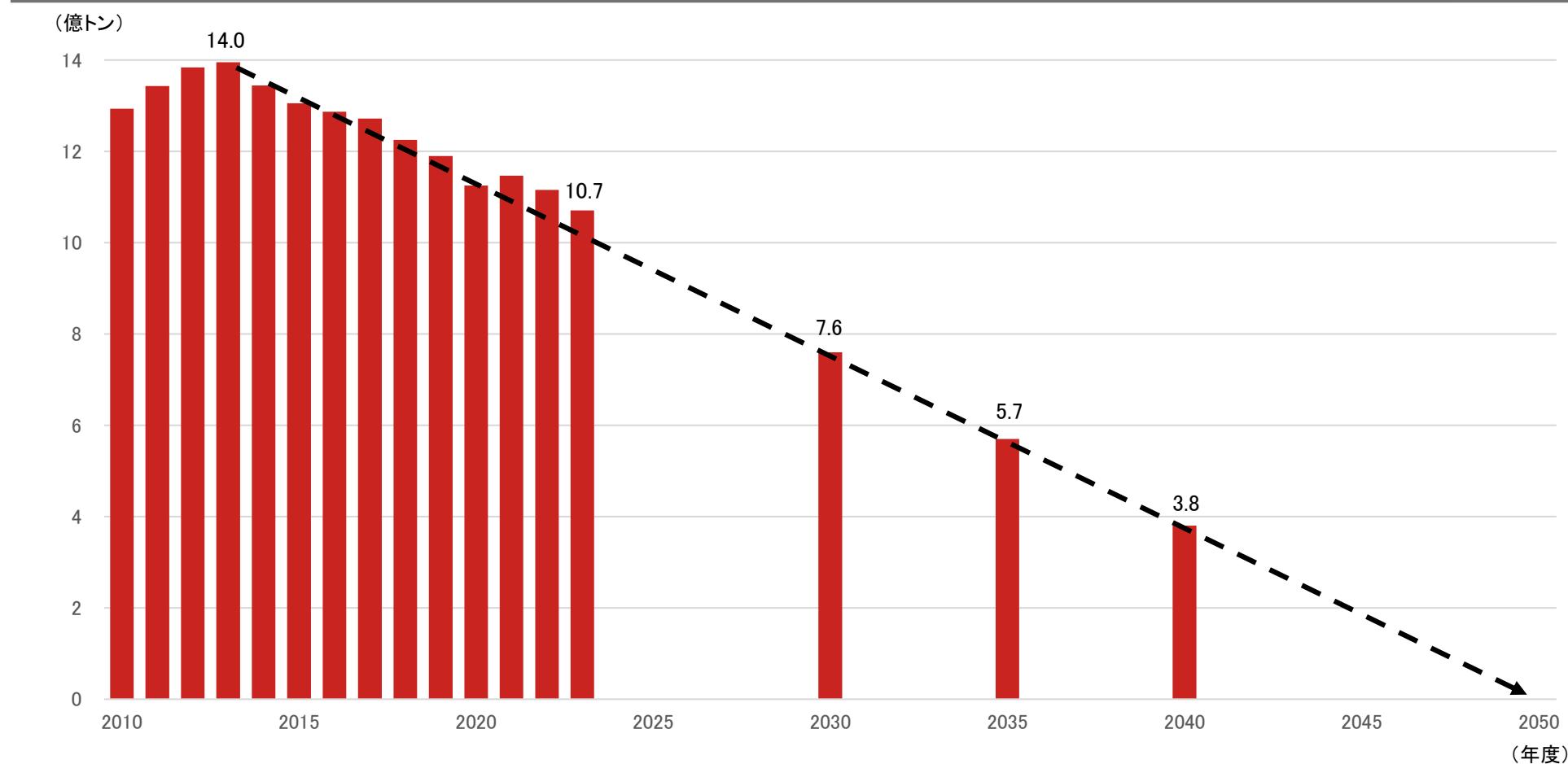
- 地球温暖化対策で掲げた目標を達成するために必要な電源構成等の見通しを発表した
  - 2040年度の電源構成
    - 再エネ4~5割：地域共生と国民負担の抑制を図りながら最大限の導入を促す
    - 原子力2割：既設炉を最大限活用する、次世代革新炉の開発・設置に取り組む
    - 火力発電3~4割：水素・アンモニア、CCUS（CO<sub>2</sub>回収・活用・貯蔵）等を活用した火力の脱炭素化を進めていく

注:CCUSはCarbon capture, utilization and storageの略  
出所:経済産業省資料より野村證券作成

## GHGを2050年まで直線的に削減することが想定されている

- 2035/40年度のNDCは、従来のNDCである2030年度と2050年ネットゼロを結ぶ直線的な経路上に設定された
- 2021年以降、想定をやや上回った水準になっているが、おおむね計画通りにGHG削減が進んでいると日本政府はコメントしている

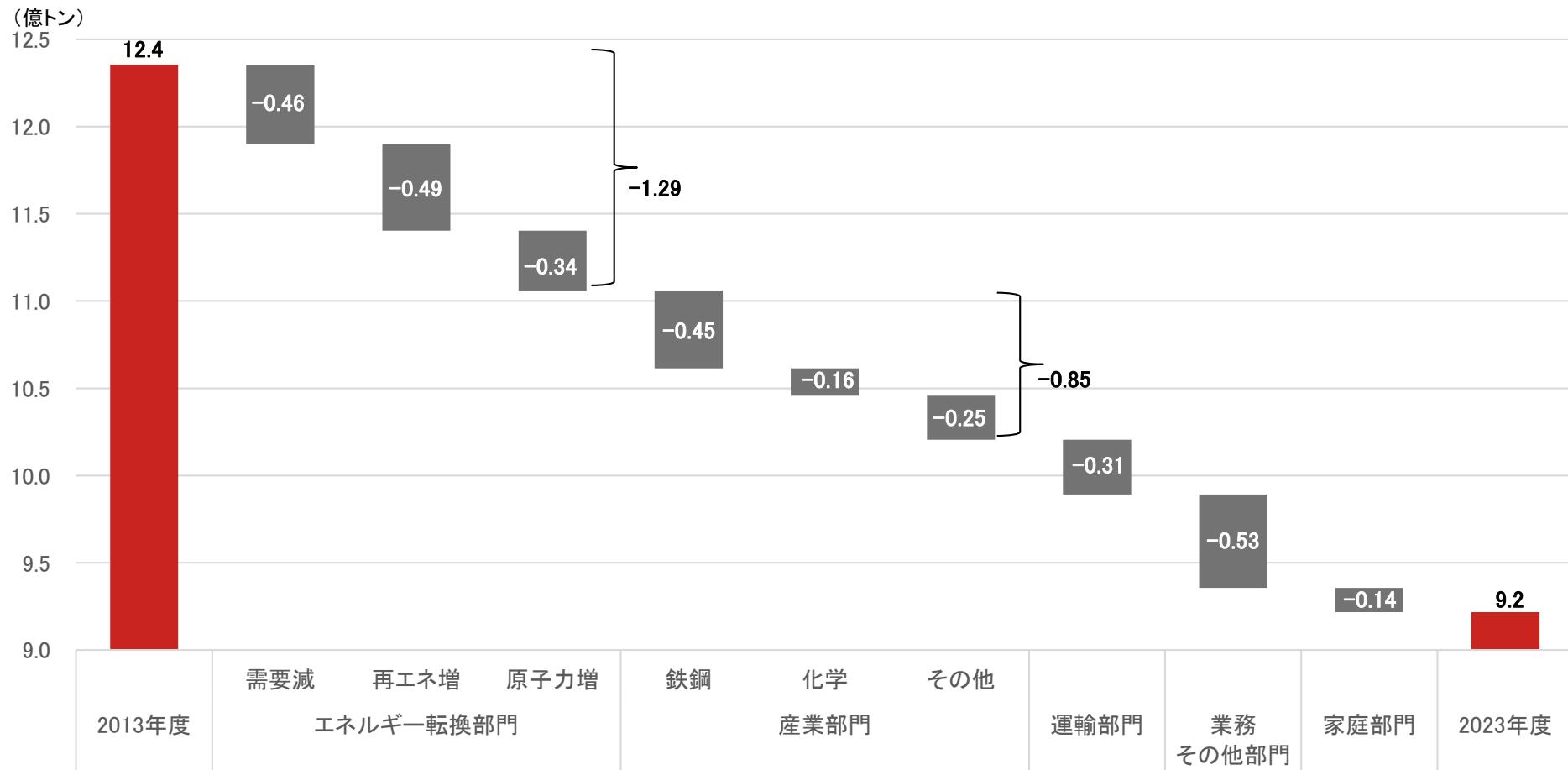
日本の温室効果ガス排出量の推移と今後の目標



# 一見すると、排出量削減は順調に進捗しているように見えるが、 国内における需要減や生産設備の縮小を反映している

- 日本のGHGの9割超を占めるエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量は、2013年度から2023年度にかけて、3.1億トン減少した(25%減)
- 再エネ増加や原子力発電の再稼働に加えて、国内における需要減や生産設備の縮小が排出量削減に影響していることが伺える

## 2013年度から2023年度にかけてのエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量減の要因分析

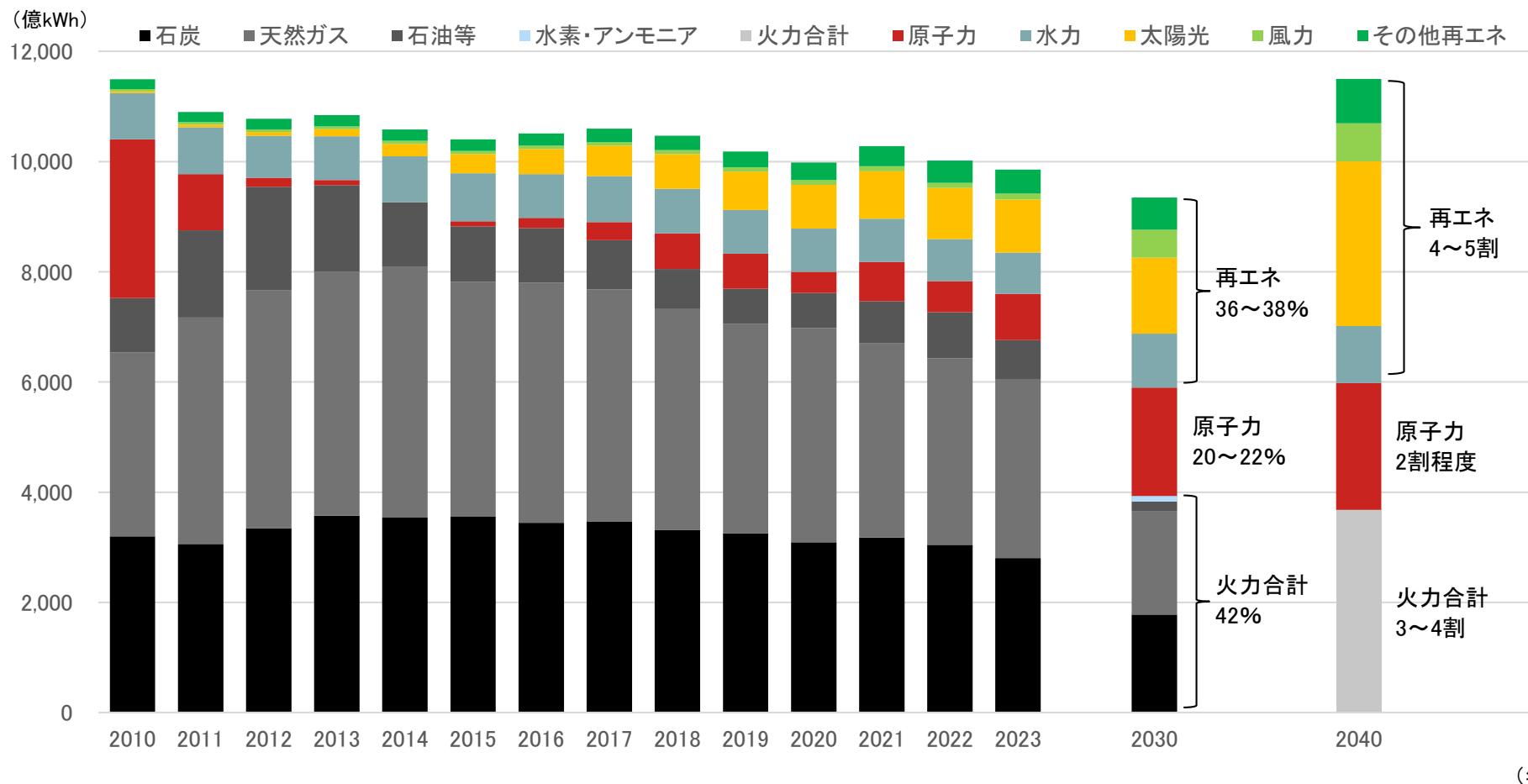


# 再エネ・原子力の発電量は

電源構成上での見た目よりも大幅に増加する見通しである

- 電力需要が減少するとの従来の見通しを変更し、2040年には発電量が2023年度比で12~22%増加するとエネ基では想定している
- そのため、2040年度の再エネと原子力の発電量は、2030年度比で6割程度増加する見通しになっている

## 日本の電源構成の推移と目標

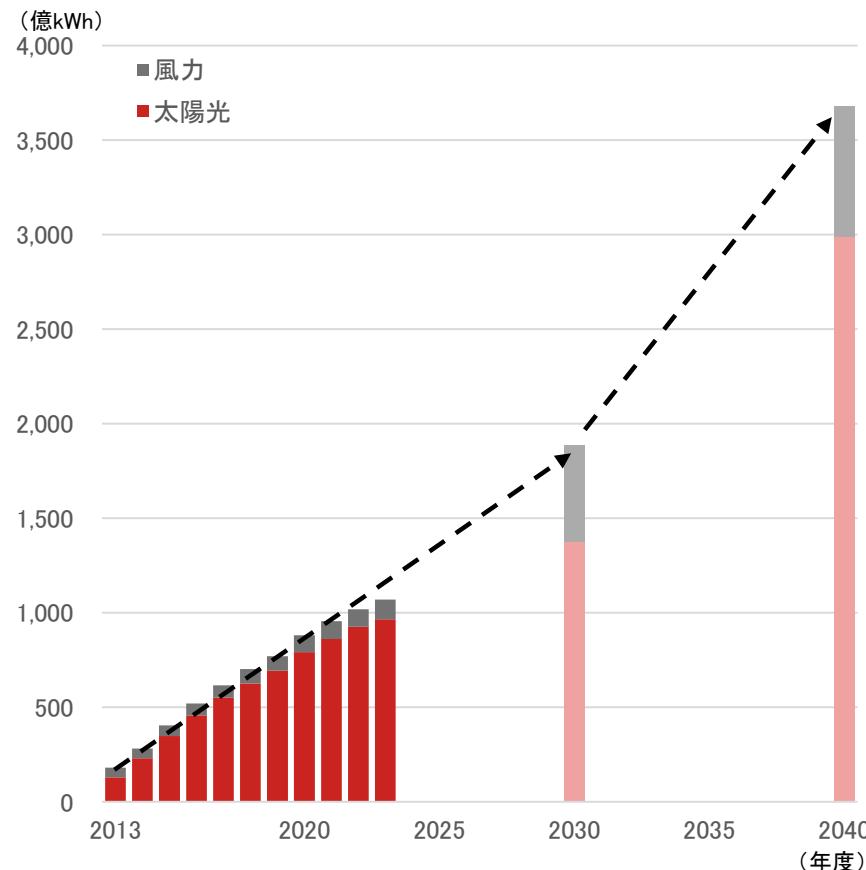


出所:経済産業省資料より野村證券作成

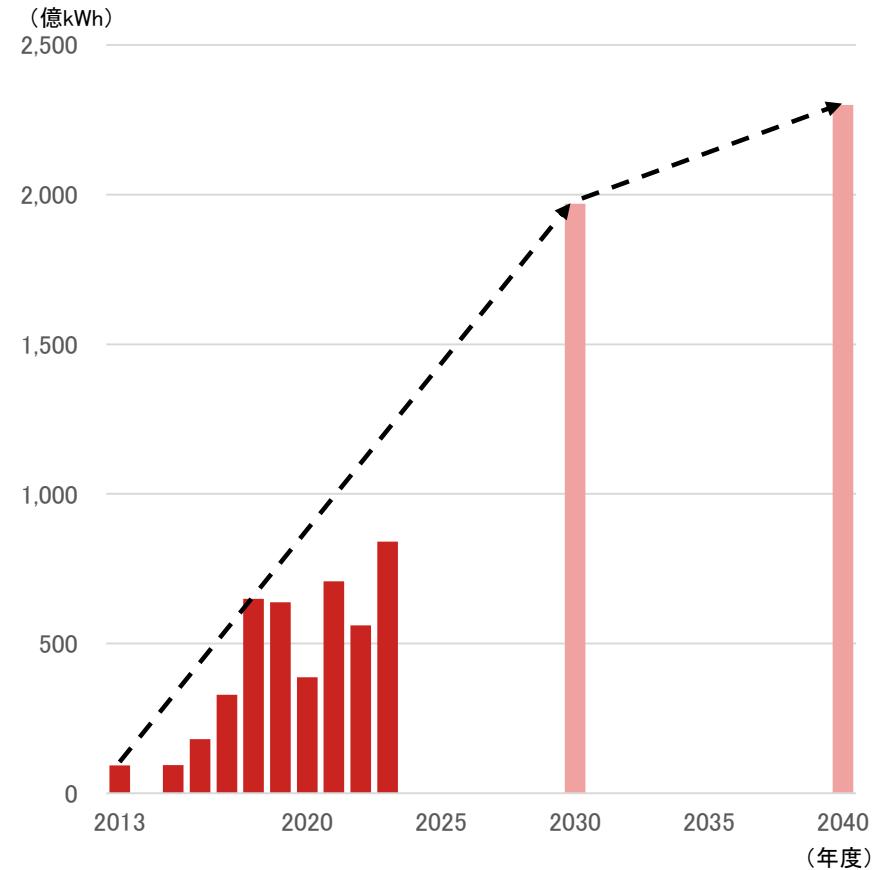
## 再エネは減速傾向、原子力は既存設備の再稼働が遅れている

- 再エネの主力である太陽光発電の増加ペースは減速傾向が顕著になる一方で、風力発電の新設は低水準が続いている
- 原子力発電も、既存設備の再稼働が遅れ気味に推移している。エネ基では、次世代炉の新設が謳われているが、建設までにかかる時間を考慮すると、2040年度の目標達成の難易度は高いと推察される

日本の太陽光・風力発電の発電量の推移と目標



日本の原子力発電の発電量の推移と目標



出所：経済産業省資料より野村證券作成

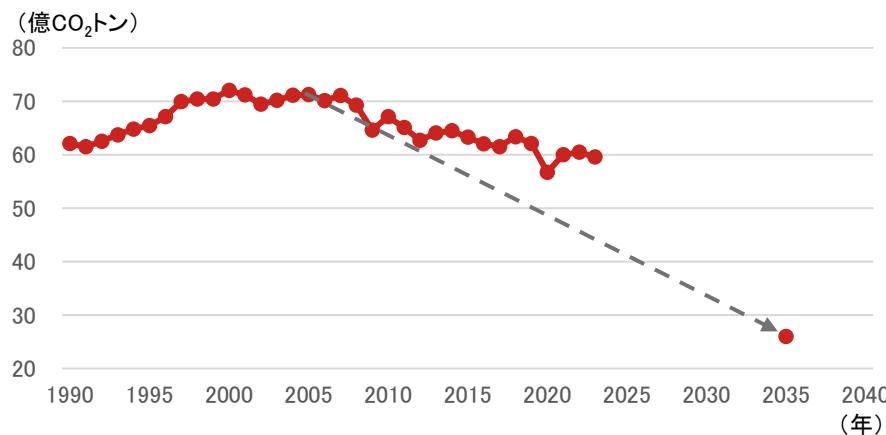
出所：経済産業省資料より野村證券作成

© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

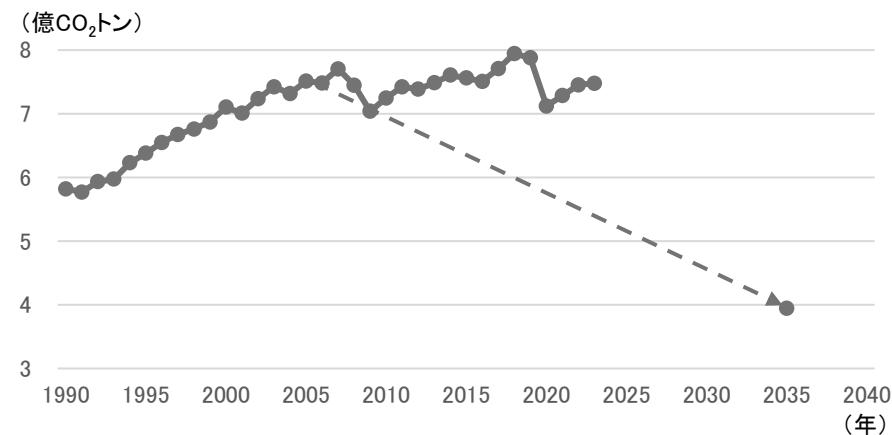
# 世界の多くの国でNDC達成が危ぶまれている①

- G7のうち、4ヶ国（米国、カナダ、フランス、イタリア）の直近のGHG排出量は、削減目標を大幅に上回る水準に留まっている

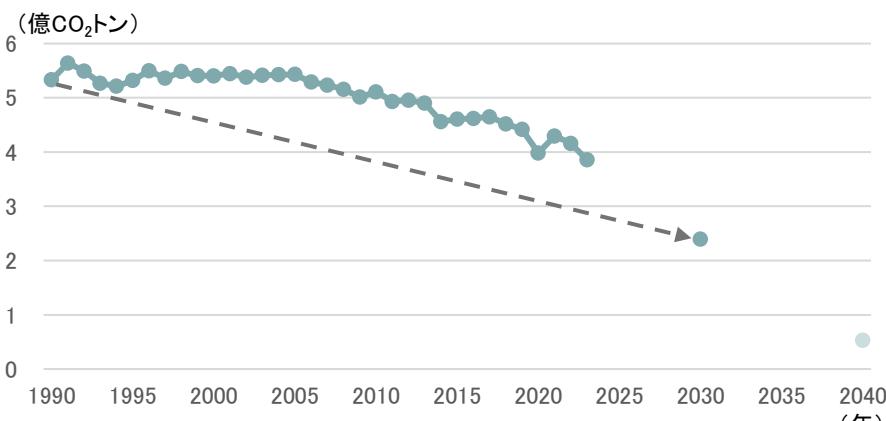
米国におけるGHG排出量の推移と目標



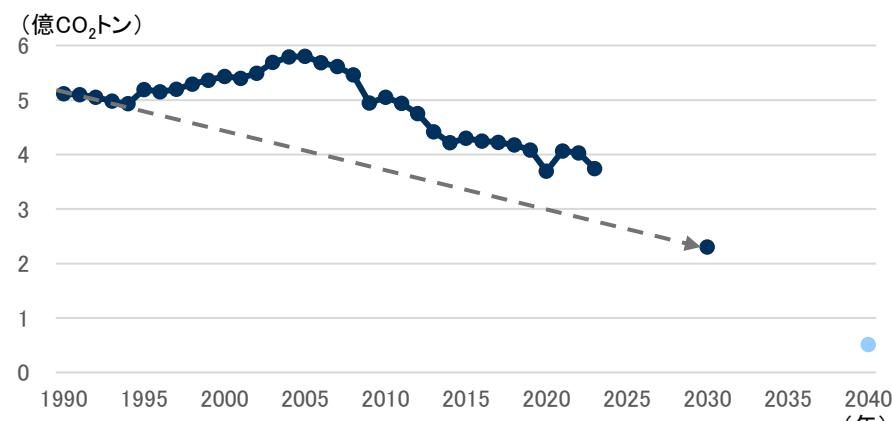
カナダにおけるGHG排出量の推移と目標



フランスにおけるGHG排出量の推移と目標



イタリアにおけるGHG排出量の推移と目標



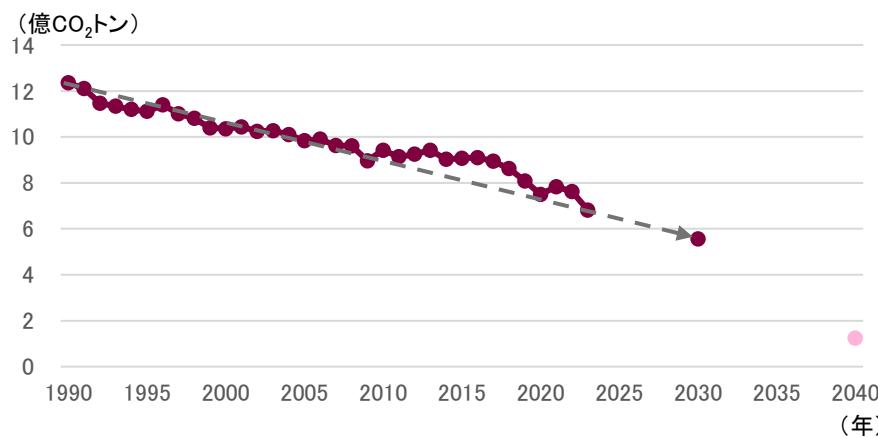
注：フランス、イタリアの2035/40年目標はまだ正式に発表されていないが、EUが加盟国に提案している2040年目標の1990年比90%減に相当する数値を薄色の点で示している

出所：いずれもJRC/IEA “GHG EMISSIONS OF ALL WORLD COUNTRIES”より野村證券作成

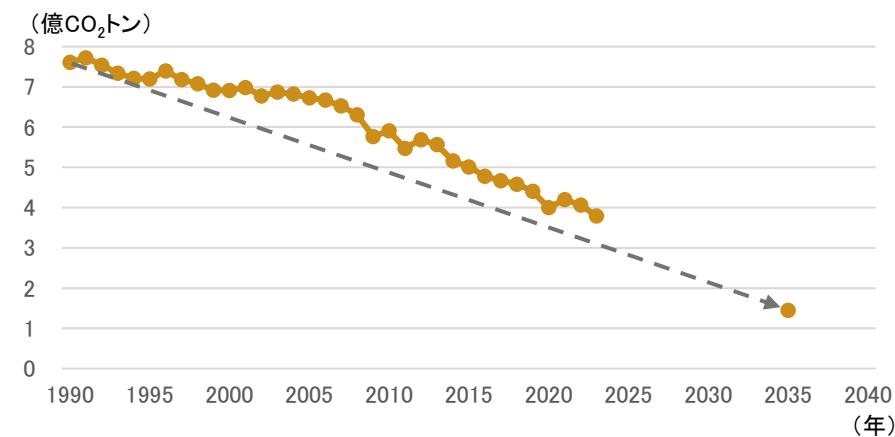
## 世界の多くの国でNDC達成が危ぶまれている②

- G7のうち、NDC達成に向けて、ある程度順調に進捗しているのは、ドイツ、イギリス、日本のみである
- ただし、EUが加盟国に提案している2040年目標(1990年比90%減)を考慮すると、ドイツでも更なる削減量の上積みが求められよう

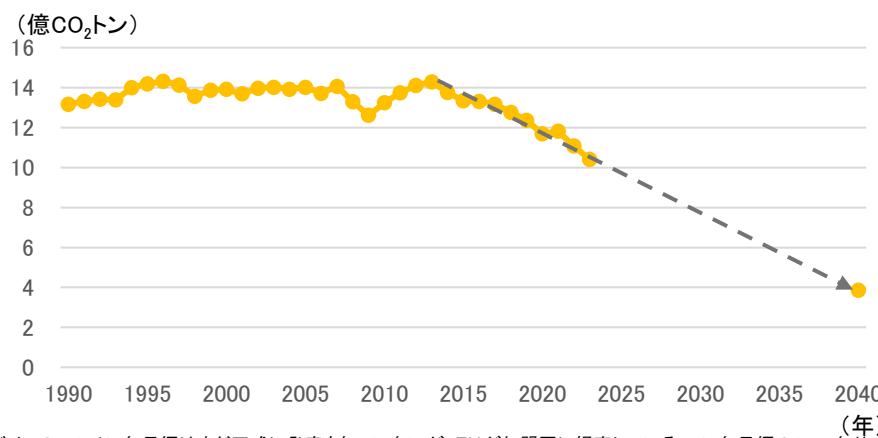
ドイツにおけるGHG排出量の推移と目標



英国におけるGHG排出量の推移と目標



日本におけるGHG排出量の推移と目標



注:ドイツの2035/40年目標はまだ正式に発表されていないが、EUが加盟国に提案している2040年目標の1990年比90%減に相当する数値を薄色の点で示している  
出所:いずれもJRC/IEA "GHG EMISSIONS OF ALL WORLD COUNTRIES"より野村證券作成

# 新しいエネ基では、排出量上振れシナリオも策定されている

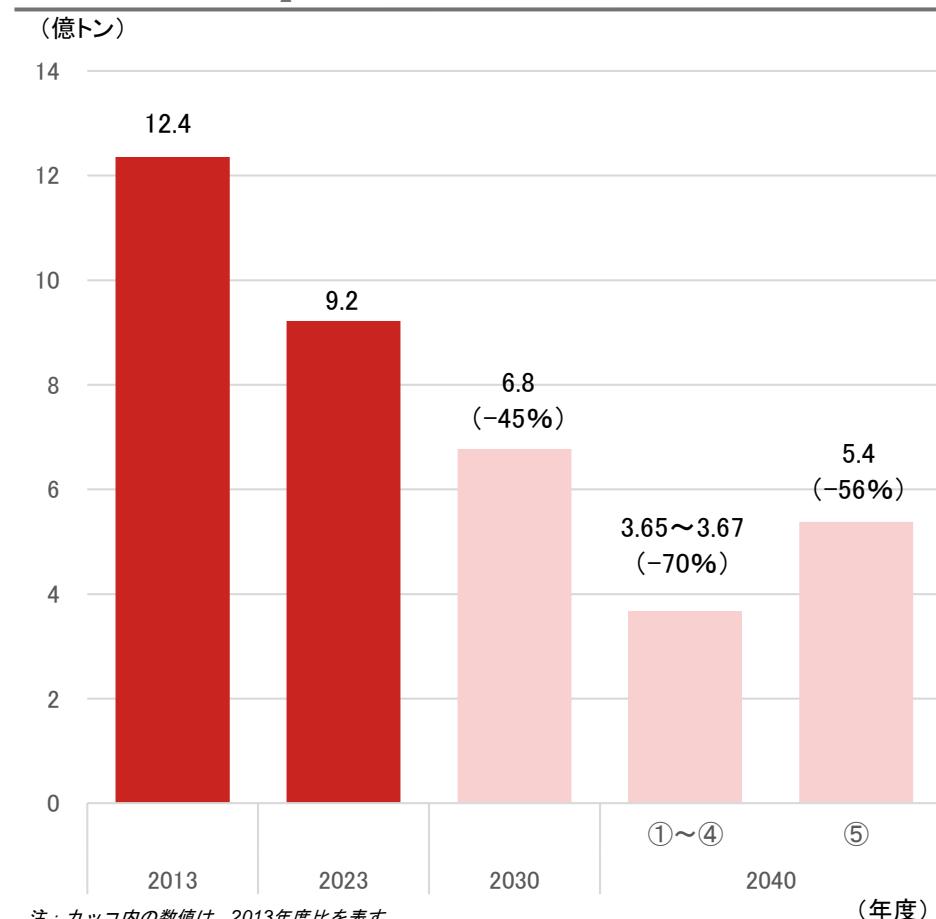
- 第7次エネルギー基本計画では、2040年度の排出量目標が未達成となるリスクシナリオも設定している
- リスクシナリオ（「技術進展シナリオ」）では2040年のCO<sub>2</sub>排出量が5.4億トンとなり、目標（3.7億トン）より1.7億トン多い

第7次エネルギー基本計画における5シナリオの概要

	シナリオ名	概要
①	革新技術拡大	再エネ、水素、CCS全てでコスト低減が進み、それらをバランスよく活用する
②	再エネ拡大	ペロブスカイト太陽電池や浮体式洋上風力等のコスト低減によって再エネ導入量が拡大する
③	水素・新燃料活用	水素の製造コストの低減によって水素・アンモニアや合成燃料等の活用が拡大する
④	CCS活用	発電や産業におけるCCSの活用が拡大する
⑤	技術進展	革新技術の大幅なコスト低減が進まず、2040年度の排出量目標が未達成となる

出所：経済産業省資料より野村證券作成

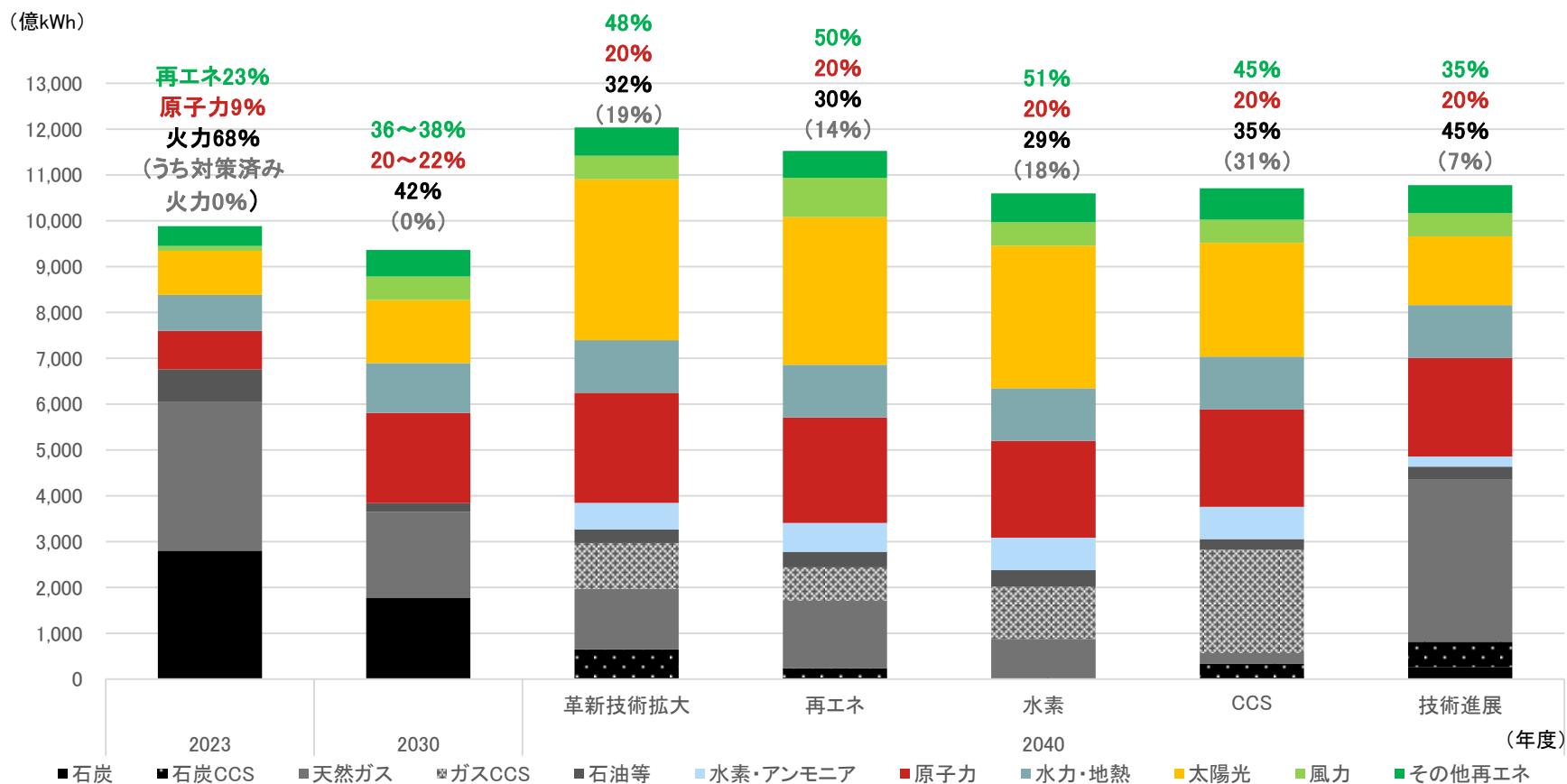
エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量の推移と目標



# リスクシナリオでは、ガス火力発電の増加が見込まれているが…

- リスクシナリオによる排出量上振れ(約1.7億トン)のうち、約1億トンが電力部門で発生すると試算されている
- リスクシナリオ下での電力部門における排出増の要因として、太陽光発電の伸び悩みとCCSの導入遅延が想定されている。太陽光発電の不足を補うため、より多くのガス火力発電が必要になると考えられている

## 日本の電源構成比の実績と目標



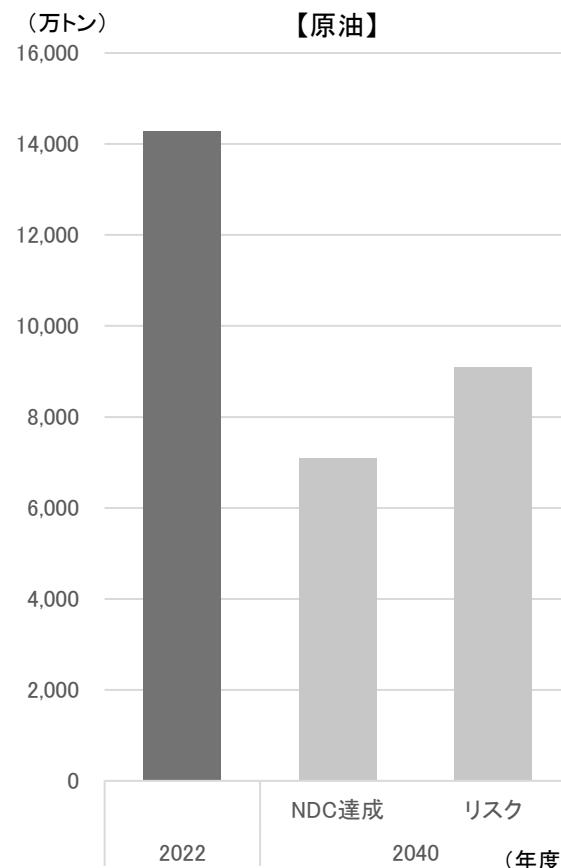
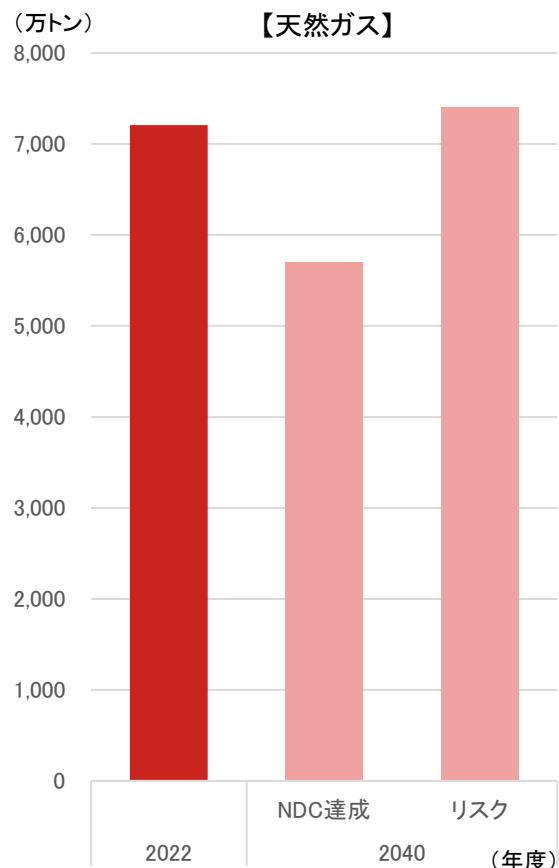
注: 対策済み火力は、水素・アンモニア発電かCCS付の火力発電を意味する

出所: 経済産業省資料より野村證券作成

## ...その結果、リスクシナリオでは、化石燃料輸入の負担が大きくなる

- エネ基では、リスクシナリオに備えて、「官民一体で必要なLNGの長期契約を確保する必要」があると言及し、LNG調達の重要性を説いている
- 一方で、NDC達成シナリオに比べて、リスクシナリオではガス・原油の消費量増に伴う輸入金額の負担が大きくなり、価格と為替の動向次第ではさらに増大する可能性について、ほとんど言及されていない

### 日本における天然ガス・原油の供給量の見通し



#### 2040年のLNG輸入量と金額

- NDC達成シナリオ : 5,300～6,100万トン
- リスクシナリオ : 7,400万トン
  - LNG輸入量→+1,300～2,100万トン
  - LNG輸入額→+1.0～1.7兆円

#### 2040年の原油輸入量と金額

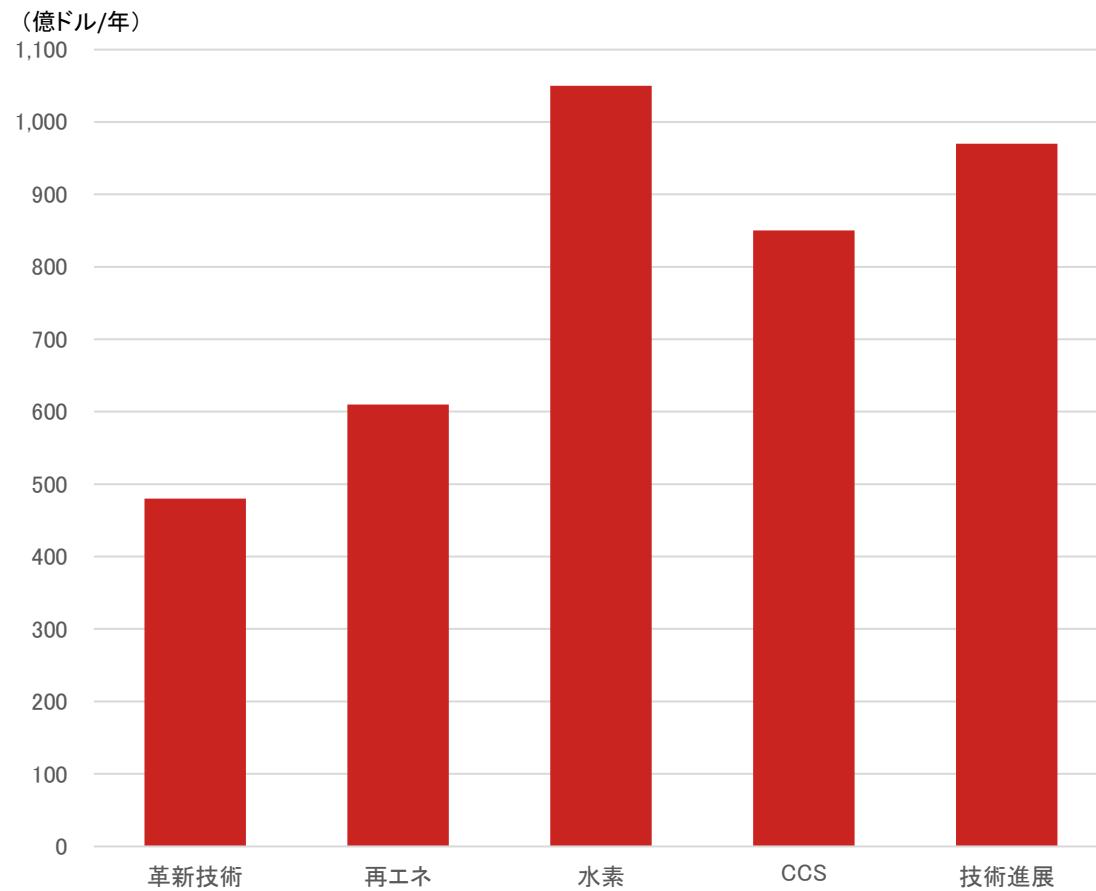
- NDC達成シナリオ : 6,400～8,300万トン
- リスクシナリオ : 9,100万トン
  - 原油輸入量→+800～2,700万トン
  - 原油輸入額→+0.5～1.8兆円

注:輸入額は、1ドル=150円換算、LNG価格は12ドル/百万Btu、原油価格は60ドル/バレル、という前提で試算  
出所:各種資料より野村證券作成

# 再エネ拡大シナリオの削減コストが最も低く、相対的なリスクも小さい

- シナリオ別の排出削減コストを見ると、革新技術シナリオが最も好ましいが、ここ数年、水素・新燃料やCCSプロジェクトの進捗が遅れていることを考慮すると、その実現性には疑問符が付く
- その他3つのシナリオでは、出力変動性等の課題があるものの、再エネ拡大シナリオの削減コストが最も低く、相対的なリスクも小さいだろう

## 2040年度のシナリオ別排出削減コストとそれぞれのリスクについて



出所：経済産業省資料等より野村證券作成

### 再エネ拡大

- 水素・新燃料活用、CCS活用シナリオと比べると、最も技術的に成熟しており、相対的なリスクが低い
- ただし、出力変動性等の課題がある

### 水素・新燃料活用

- 水素製造コストの高止まりが続いている、直近では、水素関連プロジェクトの多くで撤退・計画見直しが相次いでいる

### CCS活用

- 多くのプロジェクトの進捗が滞っている
- CCSプロジェクトでは米国のプレゼンスが大きいが、トランプ大統領の反脱炭素政策の影響が顕著になる可能性がある

# 再エネ導入の再加速を促す政策が今後打ち出されることになる

- 新しい地球温暖化対策計画とエネルギー基本計画が発表されたことを受けて、ここ数年、やや停滞気味であった太陽光発電と風力発電の導入を促す政策が打ち出されることが期待される

## 地球温暖化対策計画と第7次エネルギー基本計画のインプリケーション

脱炭素の道筋（2040年度目標の達成）に向けて、  
日本は総力戦（全方位）の取り組みが必要である

その中でも、実現確度が高く、排出削減コストが小さい  
再エネの強化継続が重要と思われる

ここ数年、太陽光発電と風力発電の導入量が減速しており、  
政策面での更なる支援強化が求められる

長期を睨んだ次世代の再エネ技術の開発に取り組む日本企業は少なく、  
研究開発の拡充やスタートアップの登場が課題と言える

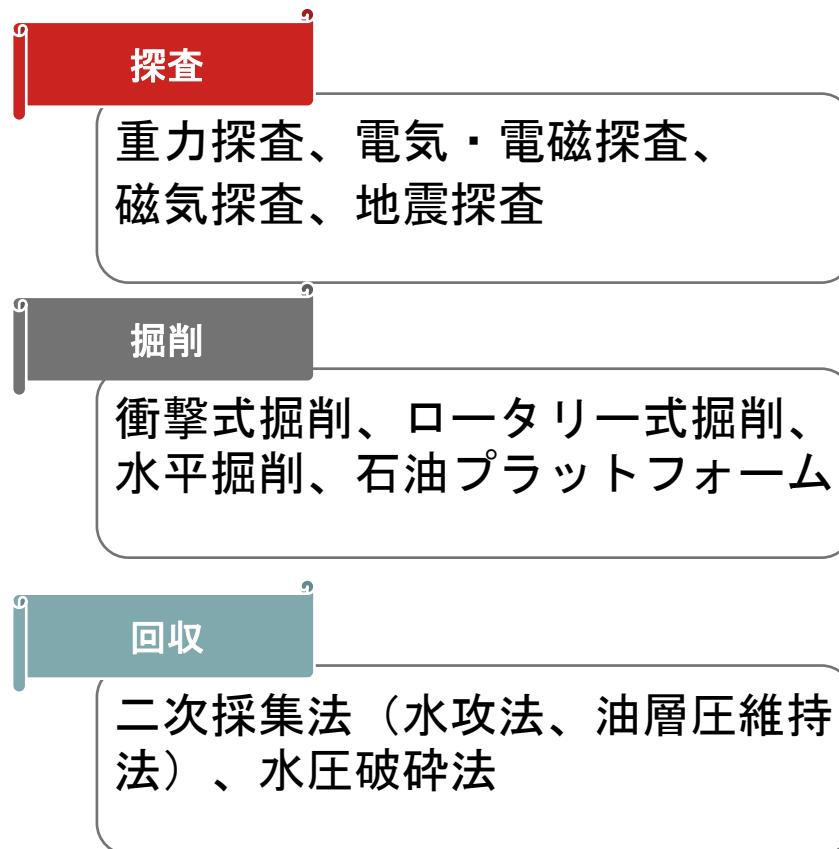
# Appendix



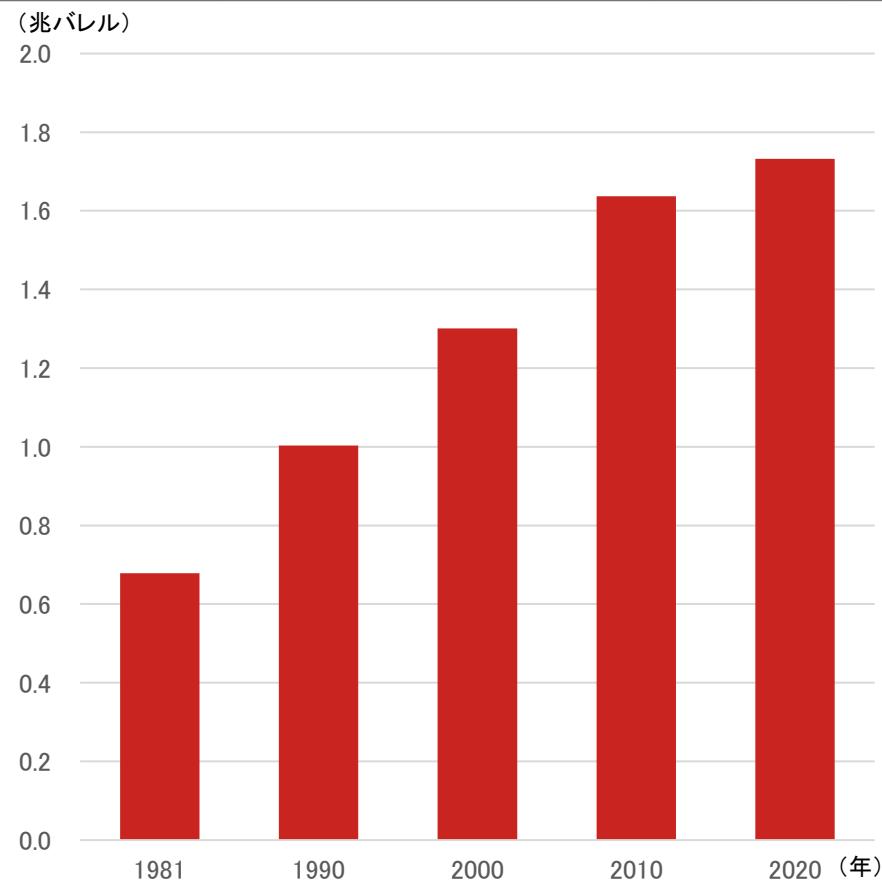
## 新しいテクノロジーが資源量の拡大をもたらした

- 石油生産は、探査と掘削、回収工程で構成されており、それぞれの工程で新しいテクノロジーが導入されている
- その結果、生産量が増大したにも関わらず、原油の確認埋蔵量は、過去およそ40年の間に2.6倍に拡大した

### 主な石油探査・掘削・回収技術



### 原油の経済的に回収可能な埋蔵量(確認埋蔵量)の推移



注：確認埋蔵量は、経済的に回収可能な埋蔵量を表す

出所：BP "Statistical review of World Energy"より野村證券作成

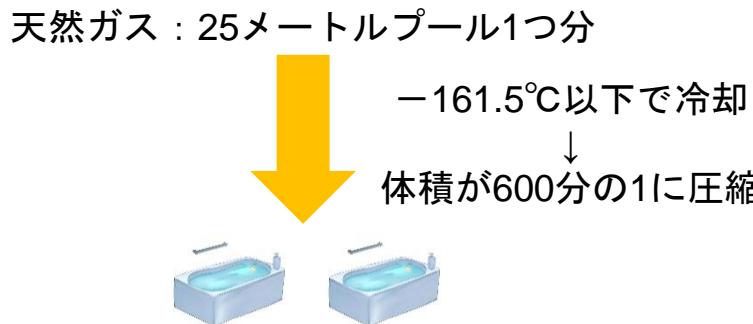
© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

## 新しいテクノロジーが天然ガスの利用可能な地域を押し広げた

- 天然ガスは気体で体積が大きく、輸送が難しいため、産出地域周辺の地域限定のエネルギーに留まっていた
- 天然ガスを液化する技術が実用化されたことによって、天然ガスはグローバルなエネルギーへと成長していった

### 天然ガスの液化の歴史

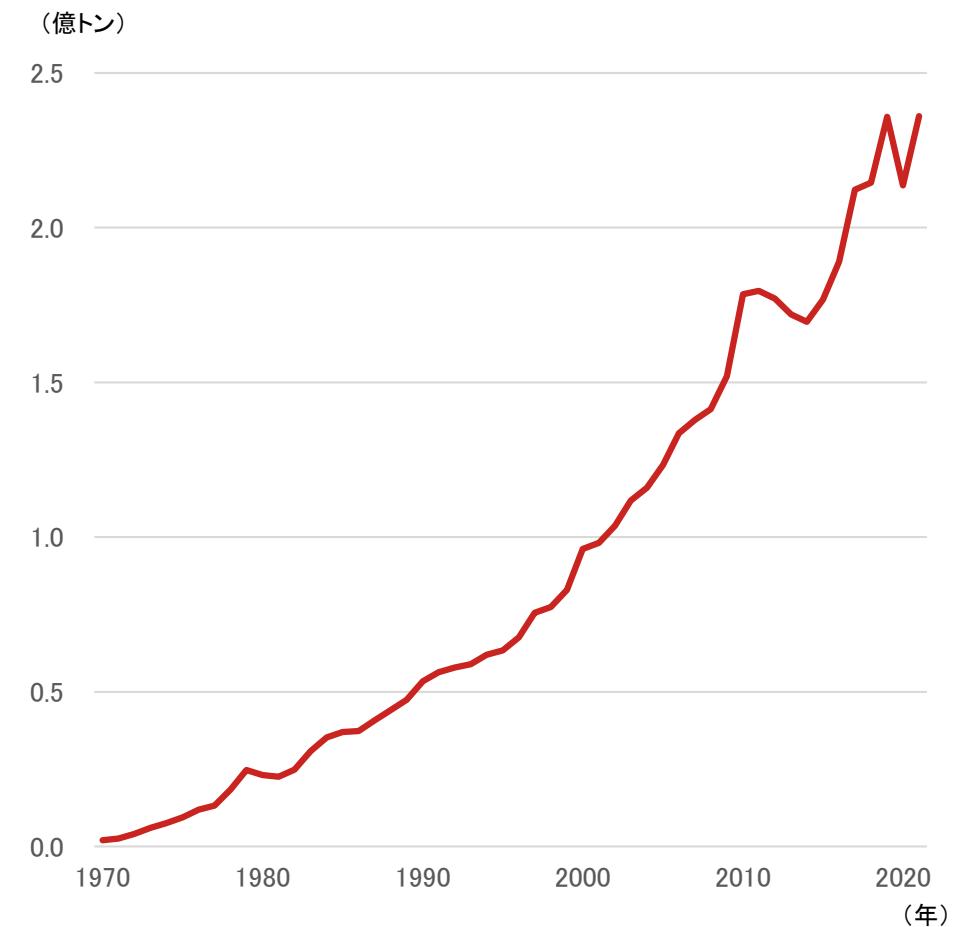
- 1823年にM・ファラデーが（塩素）ガスの液化に成功
- 1939年にT・カボットが貯蔵用として天然ガスの液化プラントの商用化に成功
- 1959年にLNGタンカーによるLNGの海上輸送が開始



LNG : 家庭用のお風呂2杯分

出所：各種資料より野村證券作成

### 世界のLNG取引量の推移



## 様々なテクノロジーが化石燃料の用途を拡大した

- 化石燃料の用途も、かつては一部の動力と照明向けに限定されていたが、テクノロジーの進展に伴い、様々な用途が開発され、それに伴って、エネルギー消費量も急拡大を続けている

### テクノロジーの用途拡大のイメージ

#### 【民生】

電子・通信機器（電話、PC等）

家電製品（ラジオ、テレビ、冷蔵庫、洗濯機等）

#### 【輸送】

自動車・船舶・航空機

蒸気船・蒸気鉄道

鉄道

#### 【冷暖房】

エアコン

セントラルヒーティング・石油ストーブ・ガスストーブ等

#### 【照明】

ガス灯・灯油ランプ

白熱電球・蛍光灯・LED等

1850年

1900年

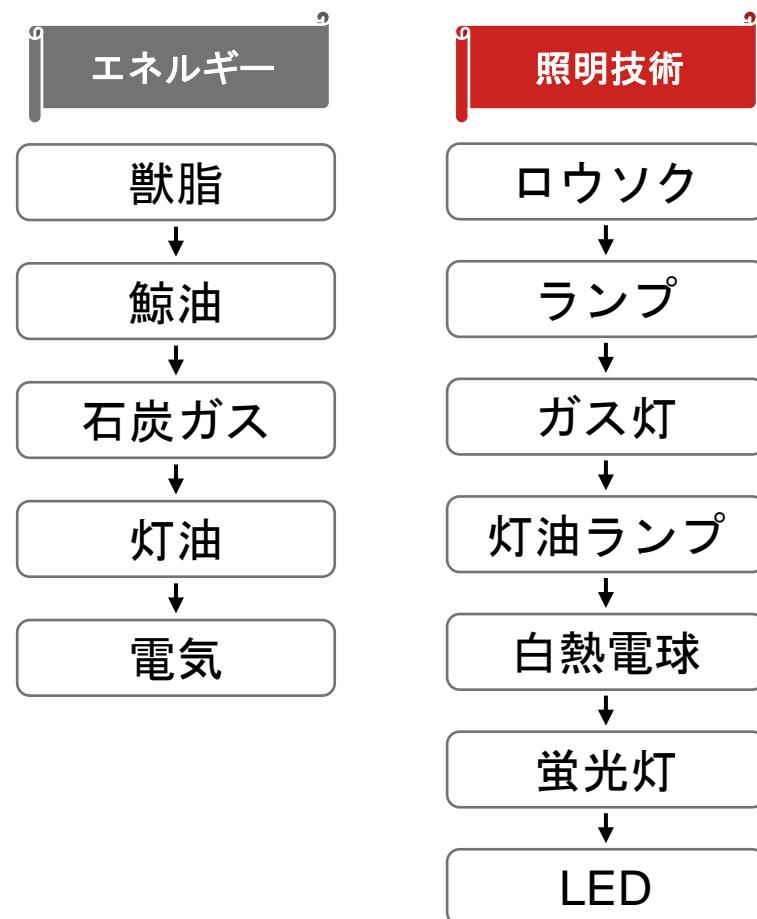
1950年

2000年

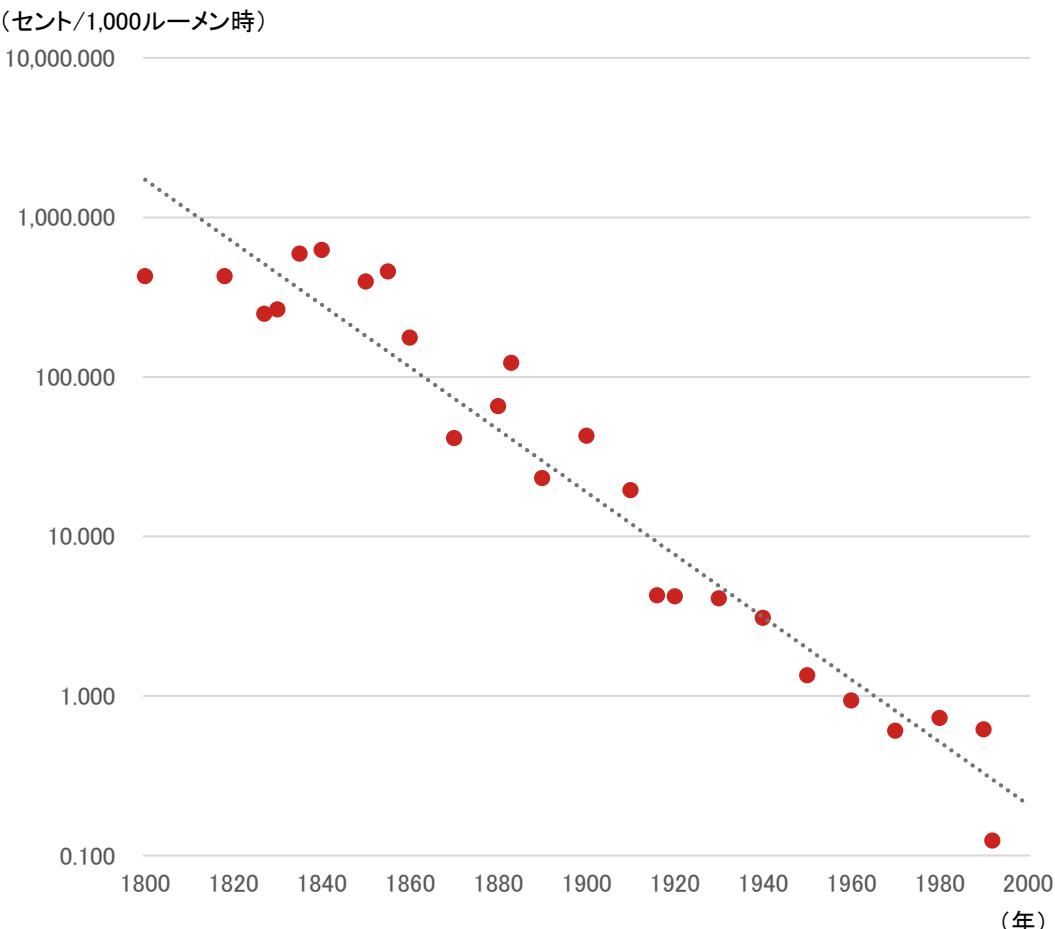
# テクノロジーの進展でエネルギーの実質コストが大幅に低下した

- テクノロジーの進展により、照明のエネルギー源と照明技術は、過去200年間で様変わりした
- その結果、人工光の単位当たり実質コストは、同期間に99.97%下落した。かつて、夜に読書するのは一部の富裕層に限られていたが、今では誰でも手軽に行うことができるようになった

照明のエネルギー源と照明技術の推移



人工光の実質コストの推移



出所 : William D. Nordhaus "Do real-output and real-wage measures capture reality? The history of lighting suggests not"より野村證券作成

出所 : William D. Nordhaus "Do real-output and real-wage measures capture reality? The history of lighting suggests not"より  
野村證券作成  
© Nomura | STRICTLY PRIVATE AND CONFIDENTIAL

# ディスクレーマー

本資料は、ご参考のために野村證券株式会社が独自に作成したものです。本資料に関する事項について貴社が意思決定を行う場合には、事前に貴社の弁護士、会計士、税理士等にご確認いただきますようお願い申し上げます。本資料は、新聞その他の情報メディアによる報道、民間調査機関等による各種刊行物、インターネットホームページ、有価証券報告書及びプレスリリース等の情報に基づいて作成しておりますが、野村證券株式会社はそれらの情報を、独自の検証を行うことなく、そのまま利用しており、その正確性及び完全性に関して責任を負うものではありません。また、本資料のいかなる部分も一切の権利は野村證券株式会社に属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行わないようお願い致します。

当社で取り扱う商品等へのご投資には、各商品等に所定の手数料等(国内株式取引の場合は約定代金に対して最大1.43%(税込み)(20万円以下の場合は、2,860円(税込み))の売買手数料、投資信託の場合は銘柄ごとに設定された購入時手数料(換金時手数料)および運用管理費用(信託報酬)等の諸経費、等)をご負担いただく場合があります。また、各商品等には価格の変動等による損失が生じるおそれがあります。商品ごとに手数料等およびリスクは異なりますので、当該商品等の契約締結前交付書面、上場有価証券等書面、目論見書、等をよくお読みください。

国内株式(国内REIT、国内ETF、国内ETN、国内インフラファンドを含む)の売買取引には、約定代金に対し最大1.43%(税込み)(20万円以下の場合は、2,860円(税込み))の売買手数料をいただきます。国内株式を相対取引(募集等を含む)によりご購入いただく場合は、購入対価のみお支払いいただきます。ただし、相対取引による売買においても、お客様との合意に基づき、別途手数料をいただくことがあります。国内株式は株価の変動により損失が生じるおそれがあります。

国内REITは運用する不動産の価格や収益力の変動により損失が生じるおそれがあります。国内ETF・ETNは連動する指数等の変動により損失が生じるおそれがあります。国内インフラファンドは運用するインフラ資産等の価格や収益力の変動により損失が生じるおそれがあります。

外国株式の売買取引には、売買金額(現地約定金額に現地手数料と税金等を買いの場合には加え、売りの場合には差し引いた額)に対し最大1.045%(税込み)(売買代金が75万円以下の場合は最大7,810円(税込み))の国内売買手数料をいただきます。外国の金融商品市場での現地手数料や税金等は国や地域により異なります。外国株式を相対取引(募集等を含む)によりご購入いただく場合は、購入対価のみお支払いいただきます。ただし、相対取引による売買においても、お客様との合意に基づき、別途手数料をいただくことがあります。外国株式は株価の変動および為替相場の変動等により損失が生じるおそれがあります。

**野村證券株式会社**

金融商品取引業者 関東財務局長(金商) 第142号

加入協会／日本証券業協会、一般社団法人 日本投資顧問業協会、一般社団法人 金融先物取引業協会、一般社団法人 第二種金融商品取引業協会