



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

# Renewable Pathways

自然エネルギー財団の  
2050・2030にむけた提言

公益財団法人 自然エネルギー財団  
シニアマネージャー（気候変動）  
西田 裕子



Renewable Pathways

脱炭素の日本への  
自然エネルギー100%戦略

2021年3月



# 2050年日本の脱炭素を実現するエネルギー源

日本の2050脱炭素化を実現するには、電力・熱供給双方の脱炭素化が必要

## 電力

- ・火力 + CCSは難しい：貯留場所 + コストの問題 + CO<sub>2</sub>全量を捕捉できない
- ・原子力には頼れない：コストの問題 + 安定供給の難しさ

>> **自然エネルギー100%電力へ**

## 熱需要

- ・できるだけ電化し、自然エネルギー電力を使用
- ・電化が難しいところでは、自然エネルギーから製造するグリーン水素・合成燃料を使用

## 財団の2050提言「Renewable Pathways 脱炭素の日本への自然エネルギー100%戦略」

世界では進んでいる「100%自然エネルギーによる、排出ネットゼロ」研究を、日本でも追求

豊富な研究成果を誇るラッペンランタ工科大、欧州で同様の研究を実施しているアゴラ・エネギーベンデとの共同研究で、コスト最適手法（5年ごとの総エネルギーコスト/年が最低となるように算定。全国9電力供給地域を対象に、地域ごとの需給バランスを最低コストで実現するよう、1時間毎に電源・貯蔵手法等を選択）によるシミュレーション解析を実施

(Link) [https://www.renewable-ei.org/activities/reports/20210309\\_1.php](https://www.renewable-ei.org/activities/reports/20210309_1.php)

なお、このスライドで出典の記されていない図、グラフの出典は、すべて上記の報告書による。



自然エネルギー財団  
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

# GHG排出 2050までの道のり



## 2030年1.5°C目標を達成し、2050年でカーボンニュートラルへ

### 1. 2030年までに2010年比GHG45%削減

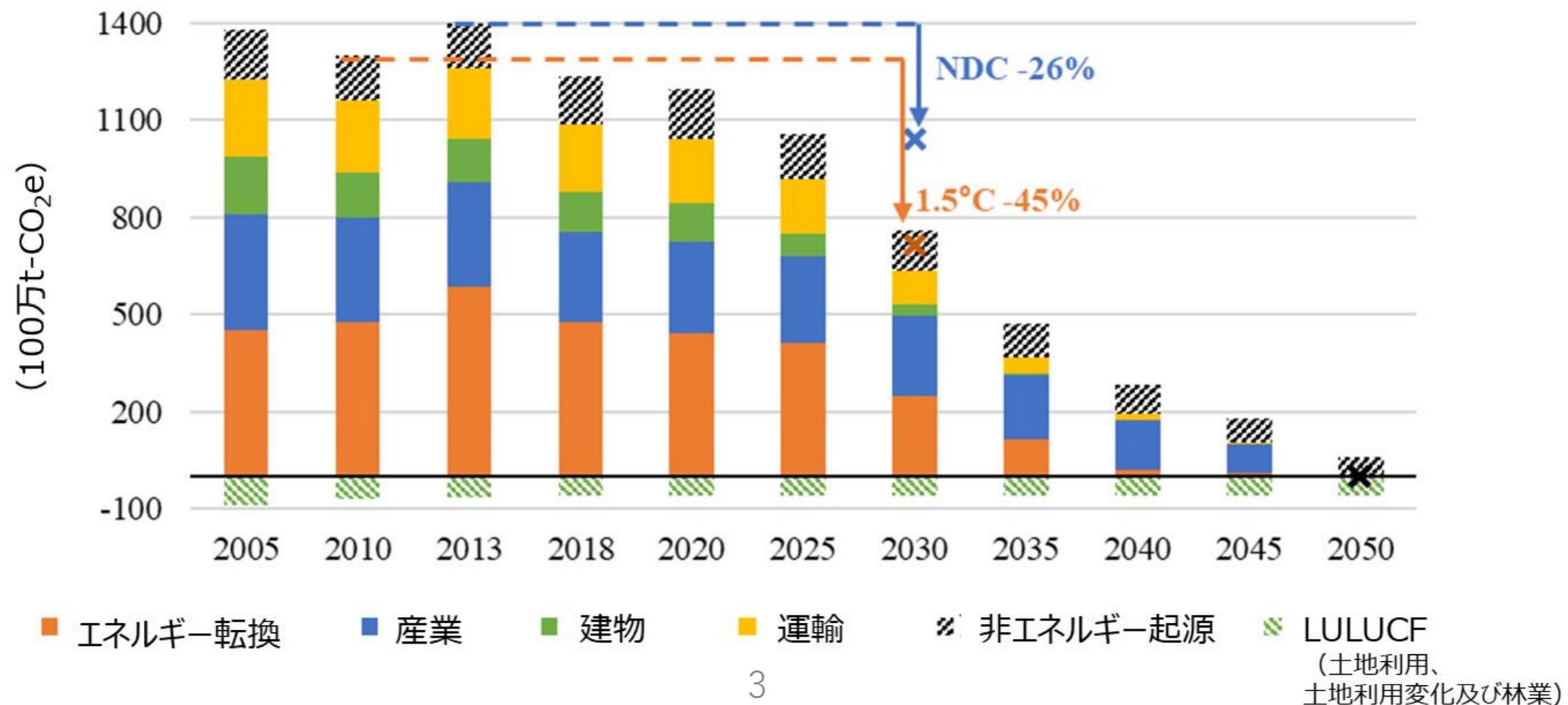
自然エネルギー増、石炭火力、原子力発電の廃止、電化の促進、プロシューマー増

### 2. 2045年までに90%削減

自然エネルギー増、電力需要増、産業・運輸部門でも電化進む、グリーン水素利用始まる

### 3. 2050年までにエネルギー起源排出ゼロ

グリーン水素・合成燃料で、電化できない最後の排出をゼロに、グリーン水素等の輸入 + 国内製造



# 2050年のエネルギーミックス-100%自然エネルギーへ

## 2050年の最終エネルギー需要

= 自然エネルギー電力の直接利用 + 間接利用（グリーン水素・グリーン合成燃料）

### 1 エネルギー需要の変化

人口予測約20%減\*を目安に、活動量の減少と省エネで2050年までに35%減を想定

電化の促進による効率化でさらにエネルギー消費が減少

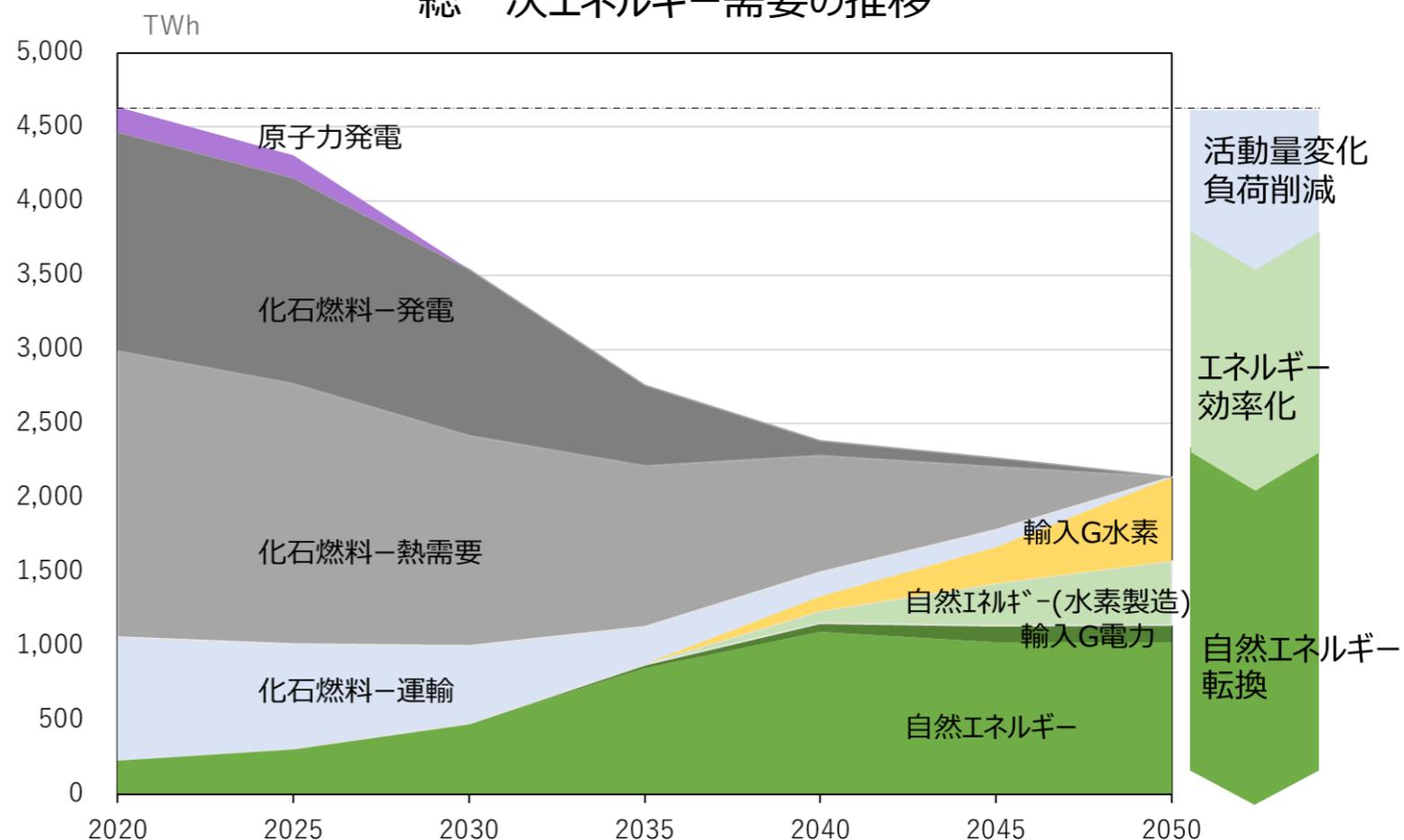
- 家庭・業務部門は2040年でほぼ全て電化、運輸部門では、重量車以外でのEV化が進行
- 産業部門では、高温熱需要以外で電化が進行

### 2 電力は100%自然エネルギーで供給

### 3 高温熱需要など、電化が難しい用途は

- グリーン水素 / 合成燃料を供給
- グリーン水素の約50%を輸入

総一次エネルギー需要の推移



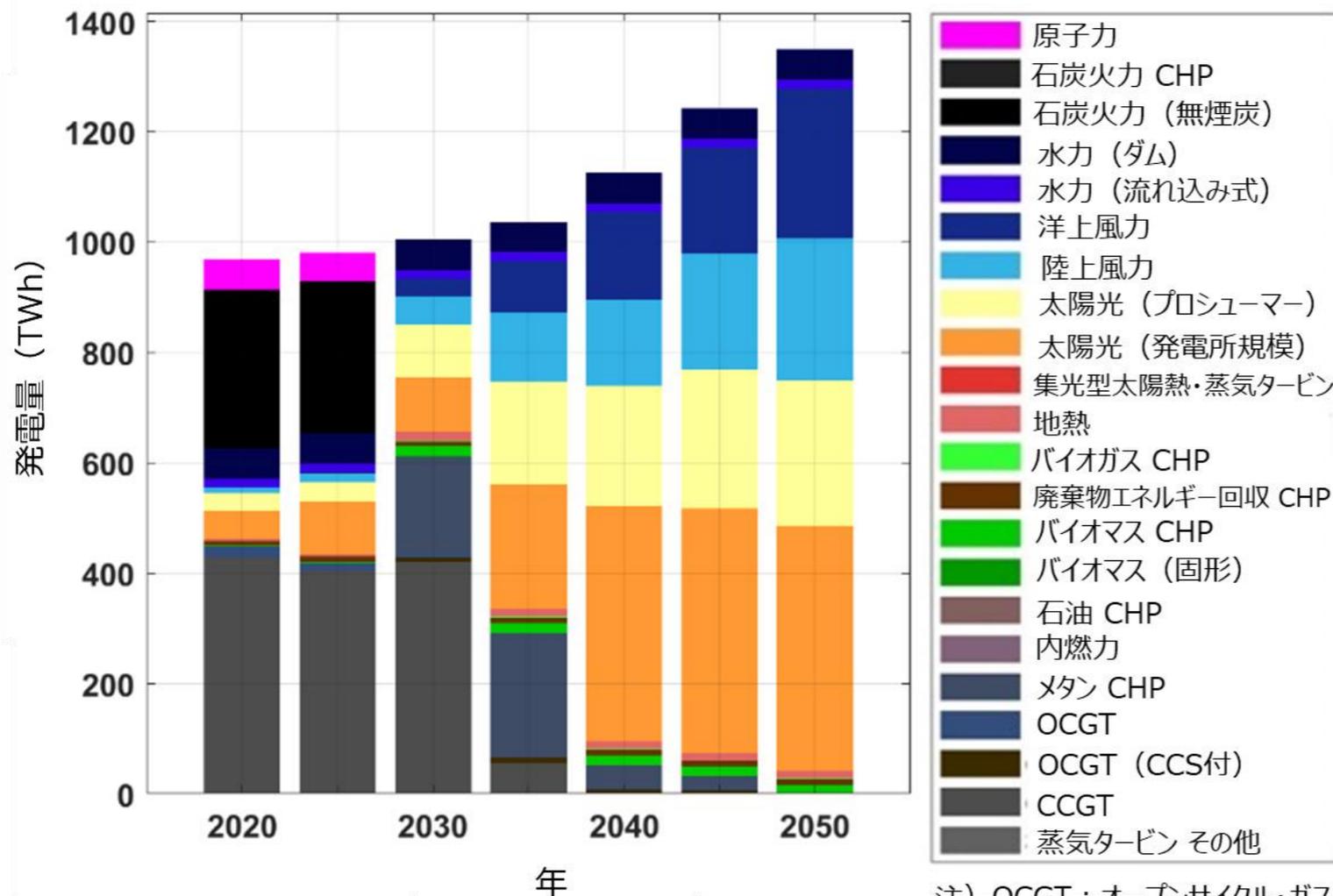
# 2050年の電力ミックス



## 2050年では電力は100%自然エネルギーに移行

- 必要電力量は48%増加（うち、30%は水素製造用）
- 太陽光発電と風力発電が84%を占める
- バイオエネルギーはサステイナブル・バイオマスのポテンシャルに限界があり、大きく伸びない

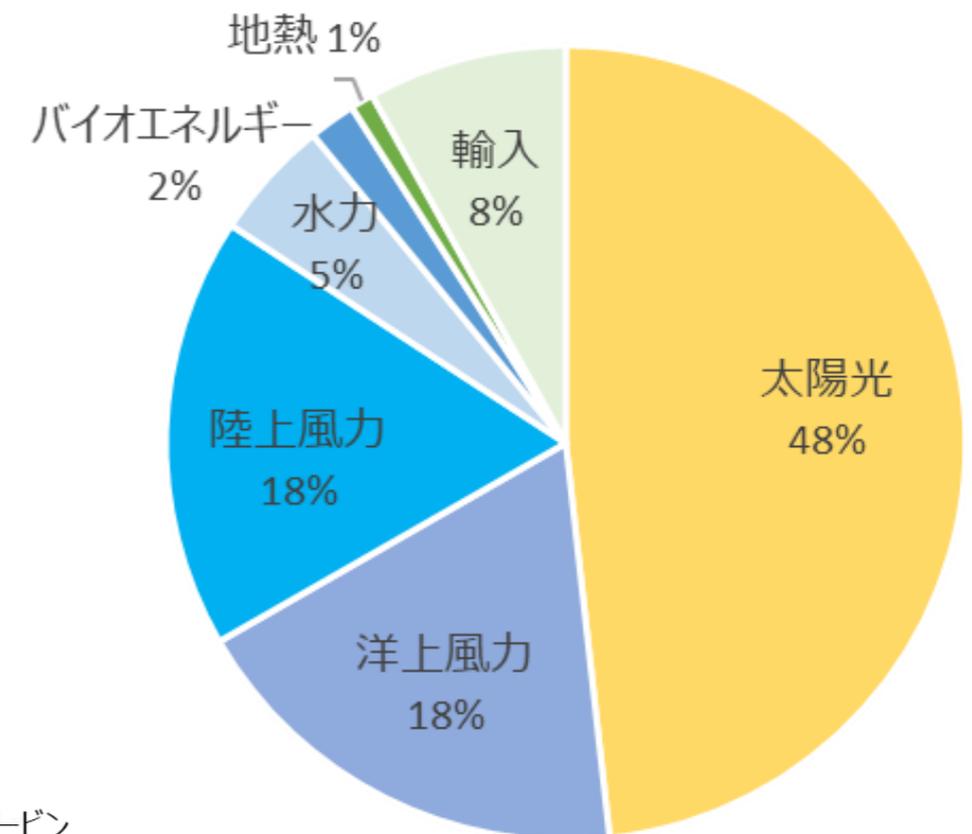
発電電力量の内訳—電力の自然エネルギー化



注) OCGT : オープンサイクル・ガスタービン  
CCGT : コンバインドサイクル・ガスタービン

2050年電力供給の内訳

総発電電力量 1,470 TWh



# 100%自然エネルギーを実現するために

## (1) 自然エネルギーのポテンシャル

シミュレーション結果では、太陽光発電で524GW、風力発電は陸上で88GW、洋上で63GW導入された  
これだけの容量を確保できる物理的なポテンシャルがあるかどうか

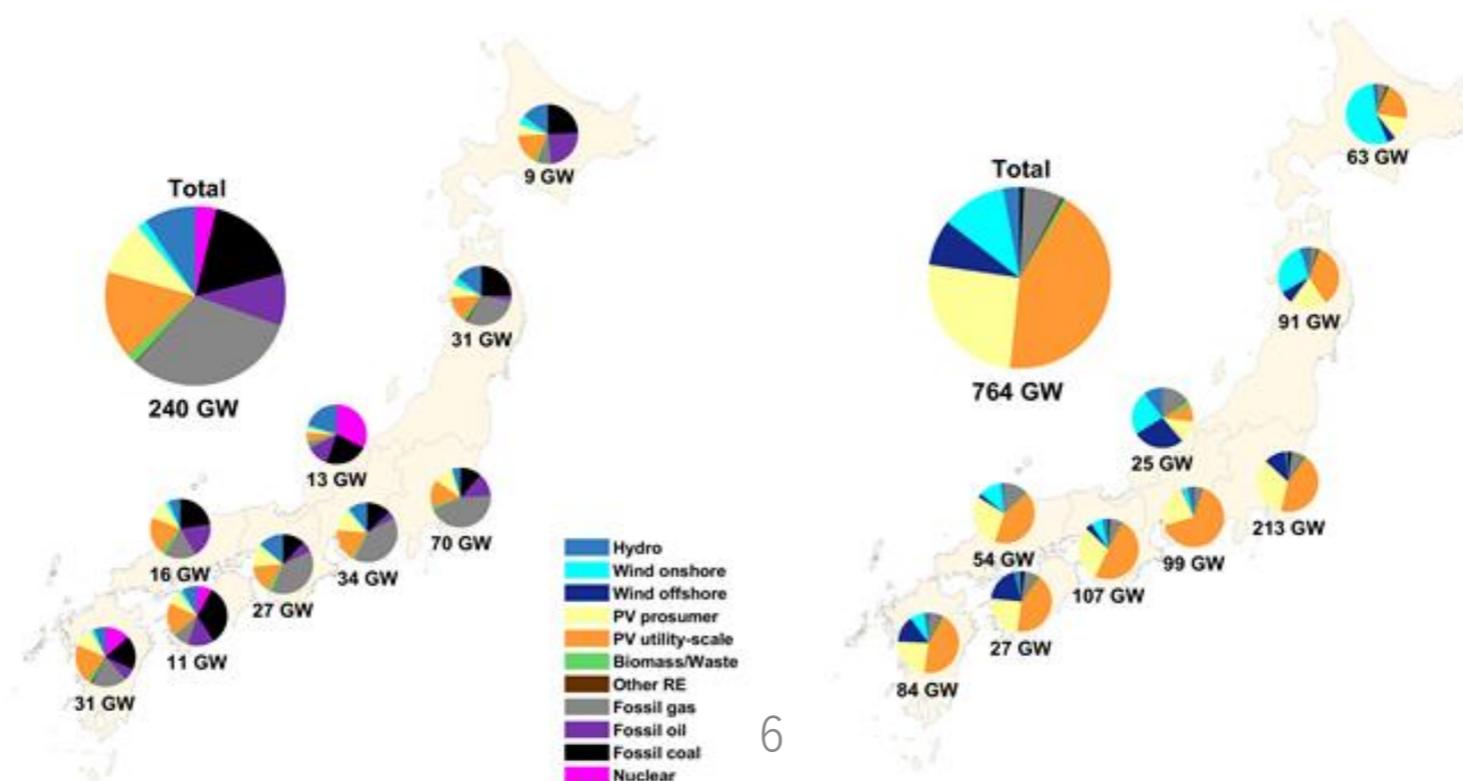
## (2) 自然エネルギーのコスト

自然エネルギーの導入をスムーズに進めるには、そのコスト低下が重要  
エネルギーシステムのコストは、社会全体のコストとしてできる限り低く維持されるべき

## (3) 電力需給の安定性

電力が安定して供給される条件として需給バランスが安定的に保たれることが必要  
特に変動型自然エネルギーである太陽光・風力発電の増大により、需給バランスは重要な意味を持つ

### 発電設備容量の推移 (2020年左、2050年右)



# (1) 日本の自然エネルギーポテンシャル

## 自然エネルギーのポテンシャル

### 1. 太陽光発電のポテンシャル

- 2050年では、事業用の大規模接地型より、建築物のルーフトップ、工場の敷地内立地等が増加
- 耕作放棄地等への立地
- プロシューマータイプの発電施設が増大

### 2. 風力発電のポテンシャル

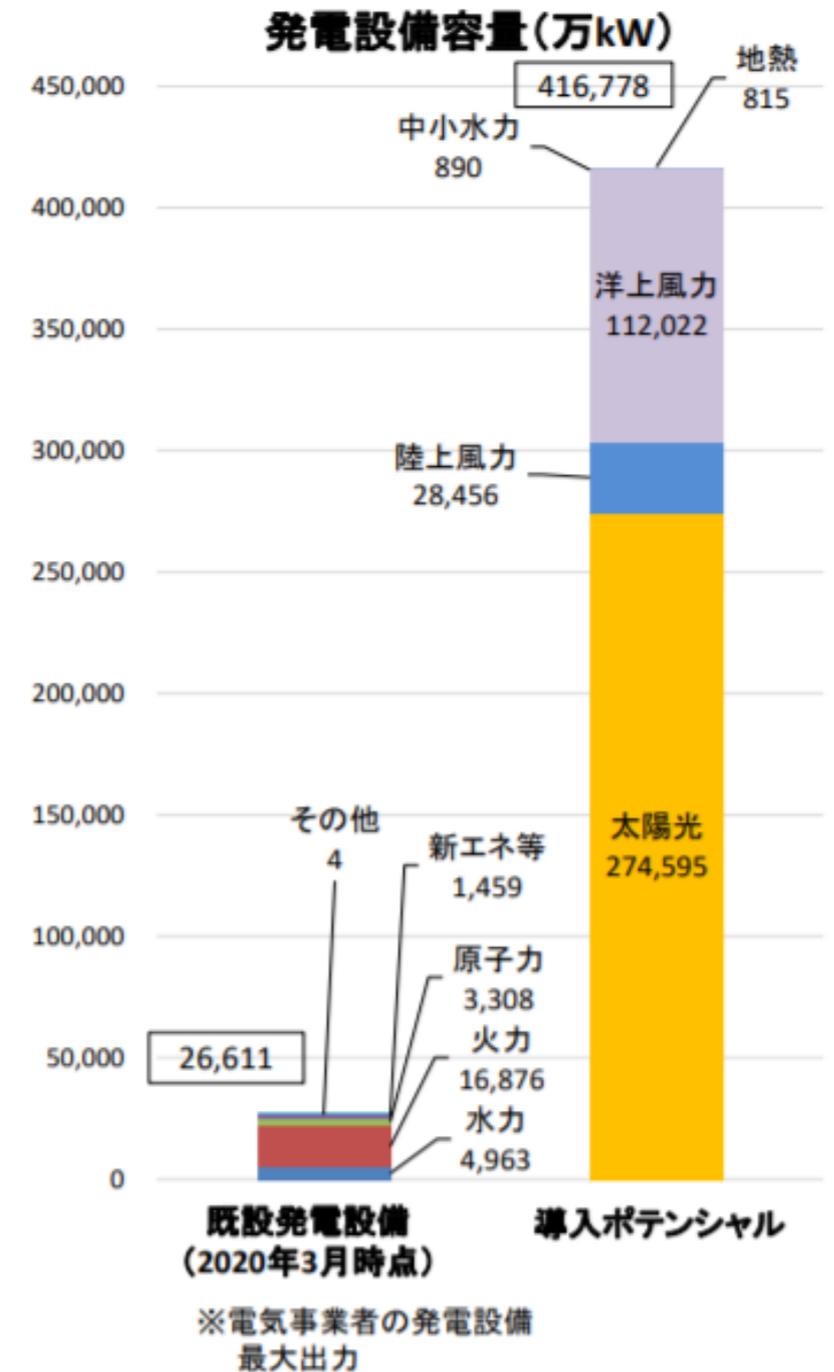
- 北海道、東北を中心にポテンシャル
- IEAの見通しでは、洋上風力のポテンシャルは現在の電力需要の9倍

### 風力発電のポテンシャル (GW)

風速 (m/s)	陸上風力	洋上風力			風力合計
		着床式	浮体式	小計	
5.5 - 6.0	62	0	0	0	62
6.0 - 6.5	64	0	0	0	64
6.5 - 7.0	55	96	94	190	245
7.0 - 7.5	42	86	215	301	343
7.5 - 8.0	29	81	237	319	348
8.0 - 7.5	17	47	131	177	194
8.5 -	17	28	105	133	150
計 (陸上: 5.5 以上、 洋上: 6.5 以上)	285	337	783	1,120	1,405
計 (陸上: 6.0 以上、 洋上: 着床 7.0 以上、浮体7.5 以上)	223	242	474	715	938

【条件】 陸上風力：ハブ高さ80m、10MW/m<sup>2</sup>、  
洋上風力：ハブ高さ140m、8MW/m<sup>2</sup>、  
離岸距離30km以下、水深60m未満（着床式）、60～200m（浮体式）  
出典）環境省「2019年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書」、2020 を基に財団作成を基に自然エネルギー財団作成

## 自然エネルギーポテンシャル



我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル (環境省)

## (2) 安価な自然エネルギー発電の実現

### 自然エネルギー100%を支える自然エネルギーコストの低下

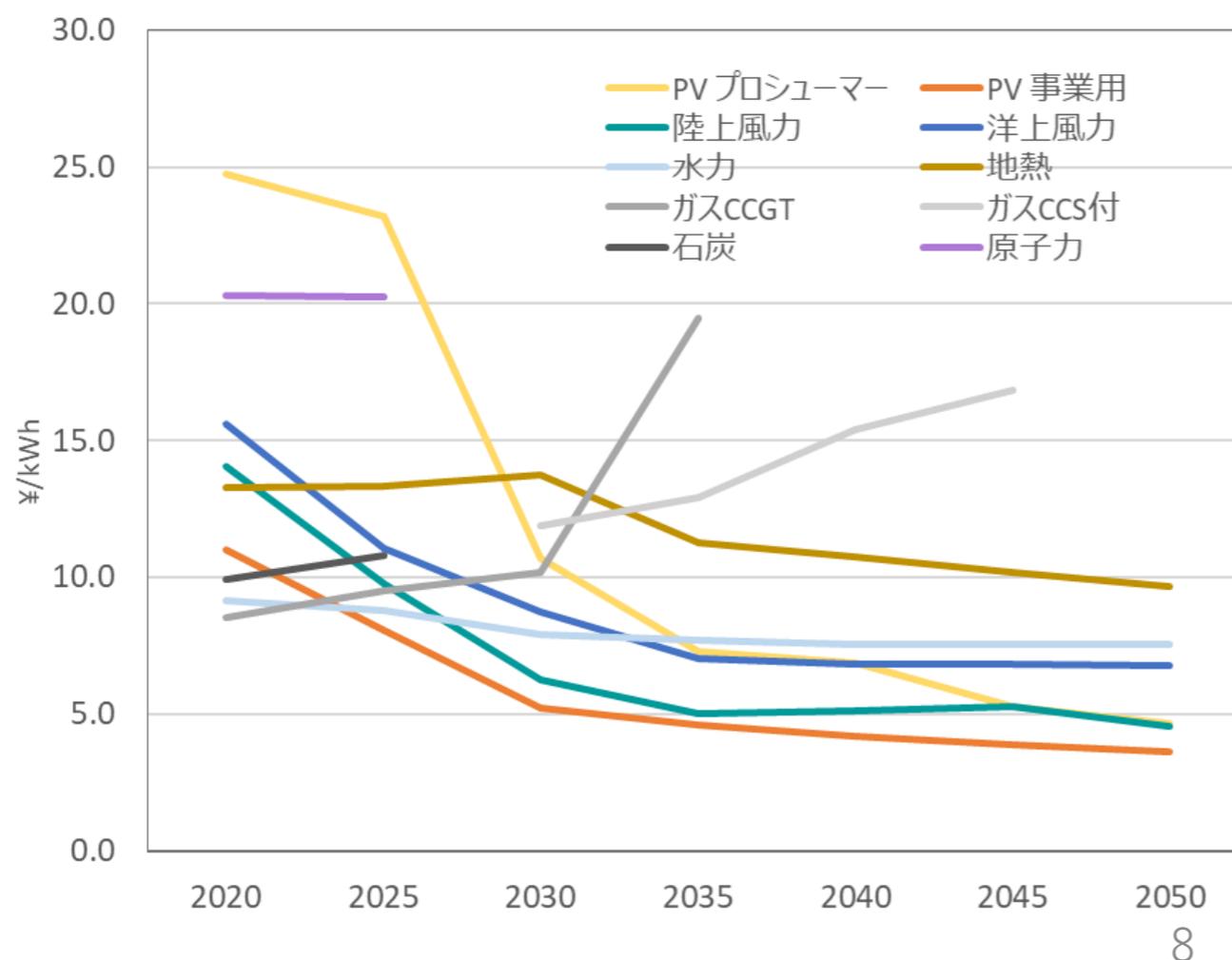
1. 自然エネルギー電力価格は低下し、グローバル価格に近づく想定

PVについては、モジュール等機器コストは国際価格収れんするも、割高な「日本コスト」残ると想定

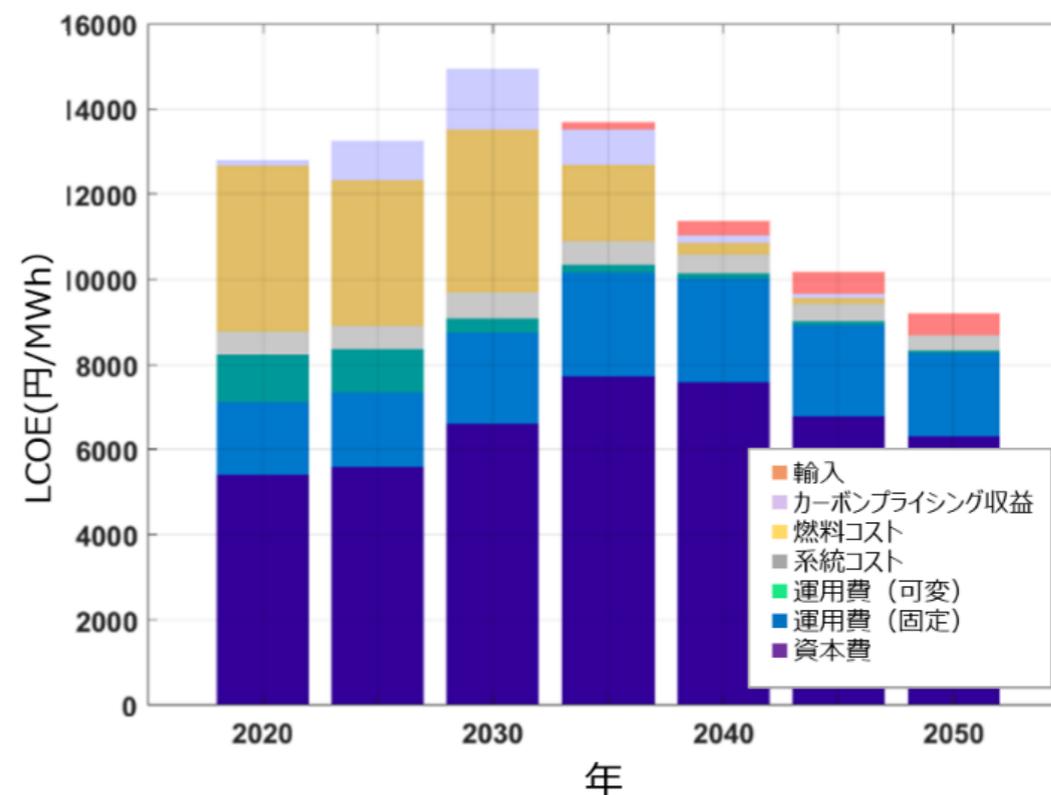
2. 低コスト化した自然エネルギー電力を背景に電化が促進

3. グリーン水素・燃料製造（需要の約50%）には、自然エネルギー電力を使用

#### 主要なエネルギーの発電コスト推移 (LCOE)



#### 電力全体の均等化コスト



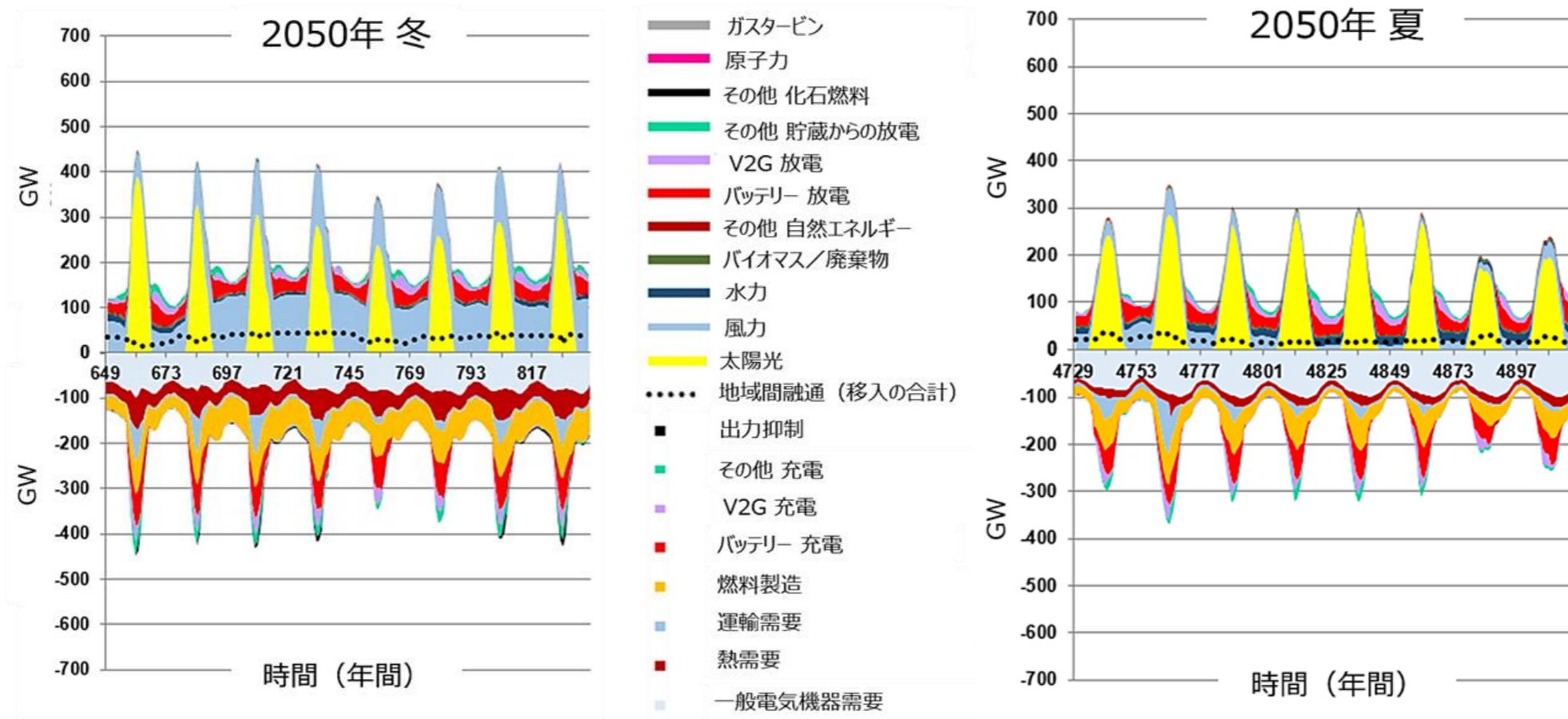
# (3) 電力需給の安定性

## 需給バランスの確保 = 電力システムの柔軟性

電力システムの柔軟性を確保するための多様な手段・技術が導入され、変動型電源が多くても、気象条件、需要の変動、地域ごとのバランスが確保される

- 冬は風力の出力増 + 太陽光発電で、電力供給が大きくなる  
通常的需求、従来型の需給調整手法（揚水発電、バッテリー等）に加え、柔軟な需要が増大（水素製造、EVのスマートチャージ等）、地域間電力取引が貢献
- 夏の夜間などの自然エネルギー発電量が少ない時間帯では、柔軟な需要は顕在化せず、限られた「柔軟性のない需要」に対して、水力、揚水発電、バイオガス等の発電、バッテリー等に対応、加えて地域間電力取引が貢献

2050年の電力需給バランス（冬・夏の典型的な一週間）



# (3) 電力需給の安定性 その2

## 地域間電力移出入（地域間送受電）の重要性 >> 送配電網の運用強化+新設

地域での電力自給不足を賄うだけでなく、自然エネルギーの比率が高まるにつれ、システムの柔軟性を確保するためにも、地域間の電力移出入が重要

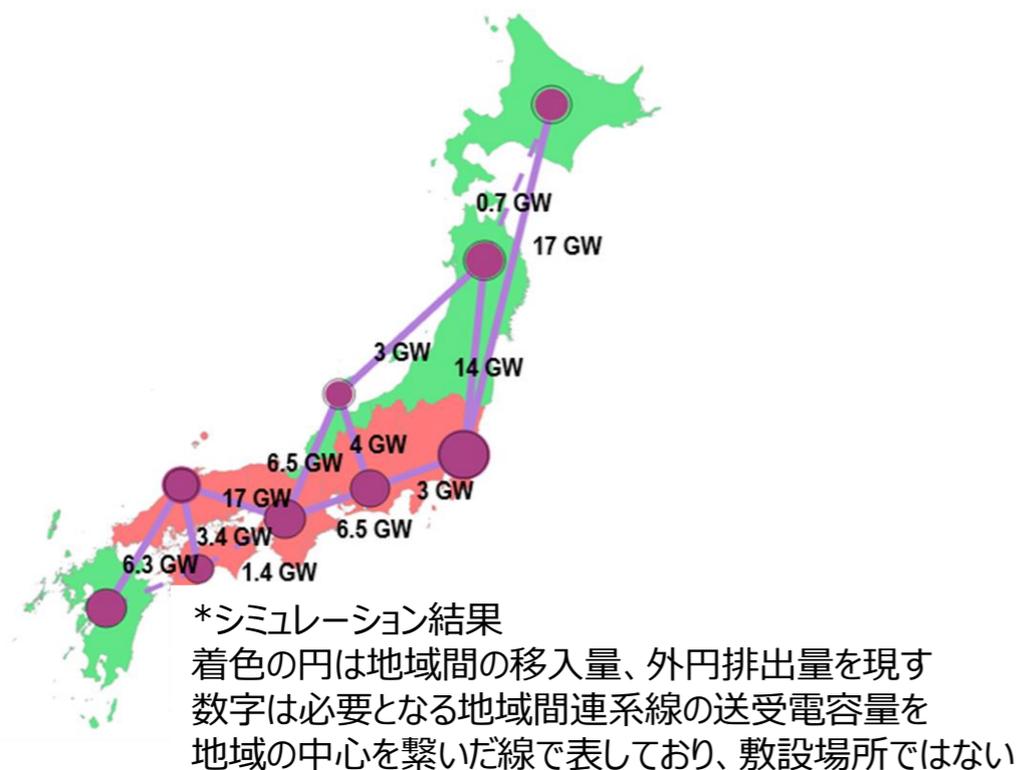
- 2050年では発電電力量の18%が地域間で取引、2020年に比べ倍増
- 北海道—東京の海底ケーブルによる連系線新設など、運用強化だけでなく新增設が必要となる

## 電力貯蔵施設の導入

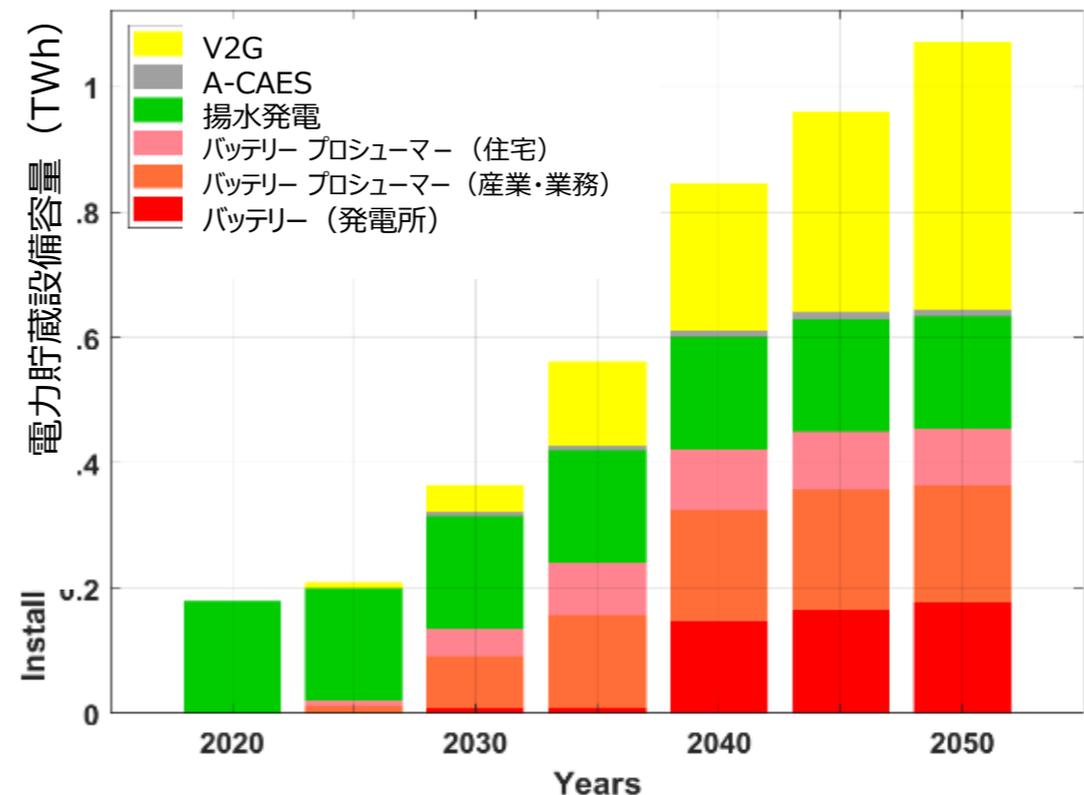
設備容量は、既存の揚水発電の容量の約4倍の設備が導入される

- バッテリーはコストの低下の効果で導入が増大。プロシューマー型が先に伸び、発電事業者による大規模は後発
- EVを活用したV2Gの伸びも大きい

地域間電力送受電と送電網 2050年



電力貯蔵施設容量の推移





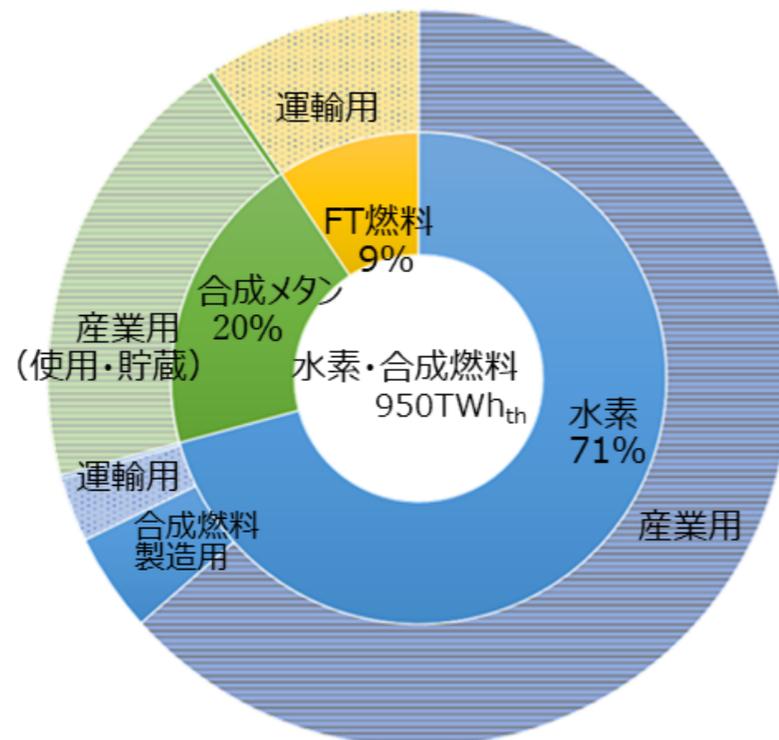
# 熱需要への対応

## 電化が難しい熱需要への対応ーグリーン水素とグリーン合成燃料

産業部門の高温熱を利用する部分、運輸部門での船舶・航空・重量車など、現在では電化が難しいとされる用途への対応は、自然エネルギーから製造されるグリーン水素と、それを基に造られる合成燃料を活用する

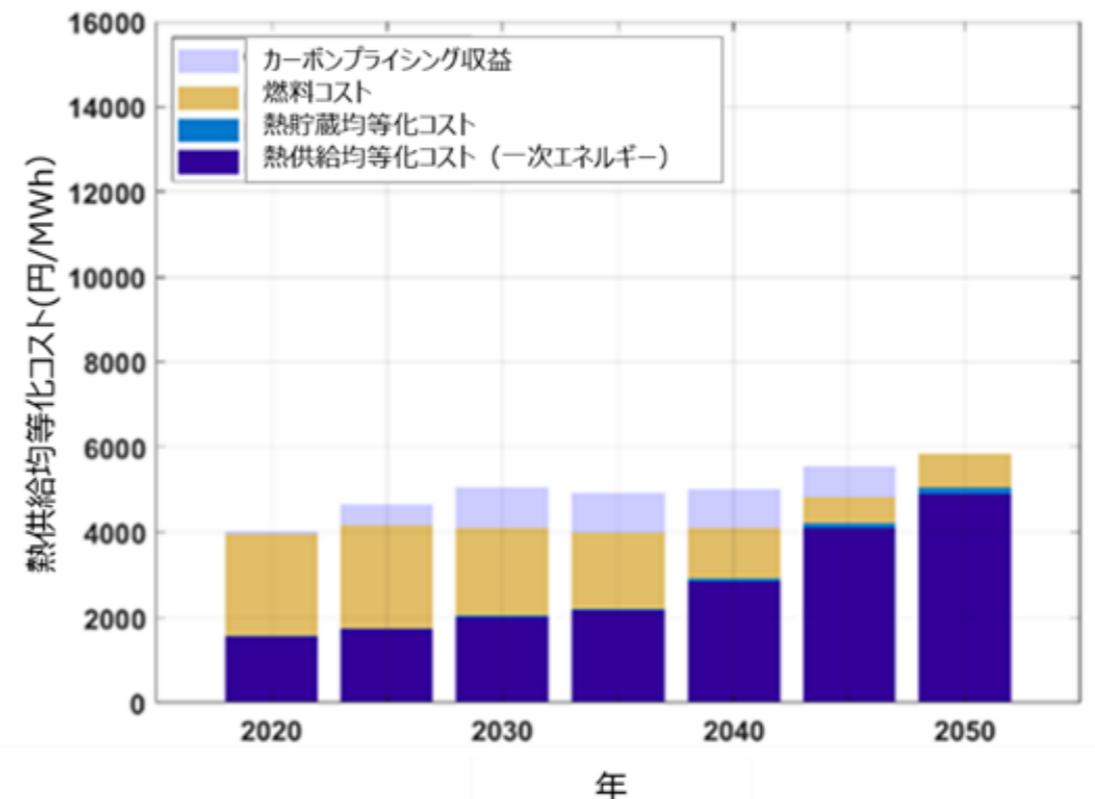
- 2050年では産業・運輸用に、グリーン水素17MT、合成メタン12MTが必要
- 運輸用の燃料として、フィッシュートロプシユ液体燃料を輸入
- グリーン水素等は、自然エネルギーを大量に消費して製造するもので、電力よりコストは高くなるを得ない  
いかに使用先・量を限定していくかが、将来のエネルギーシステム全体のコストを増大させないために必要  
ー直接電化を増やす、サーキュラーエコノミー等により水素を必要とする産業の構造を改革していく必要も

グリーン水素・合成燃料の構成と需要先



※発電を含むがごく少量なので省いている

熱供給の均等化コスト



# エネルギーコストは全体としては減少へ

## 2050年のエネルギーコスト

1. システム総エネルギーコストは減少：2020比29%減

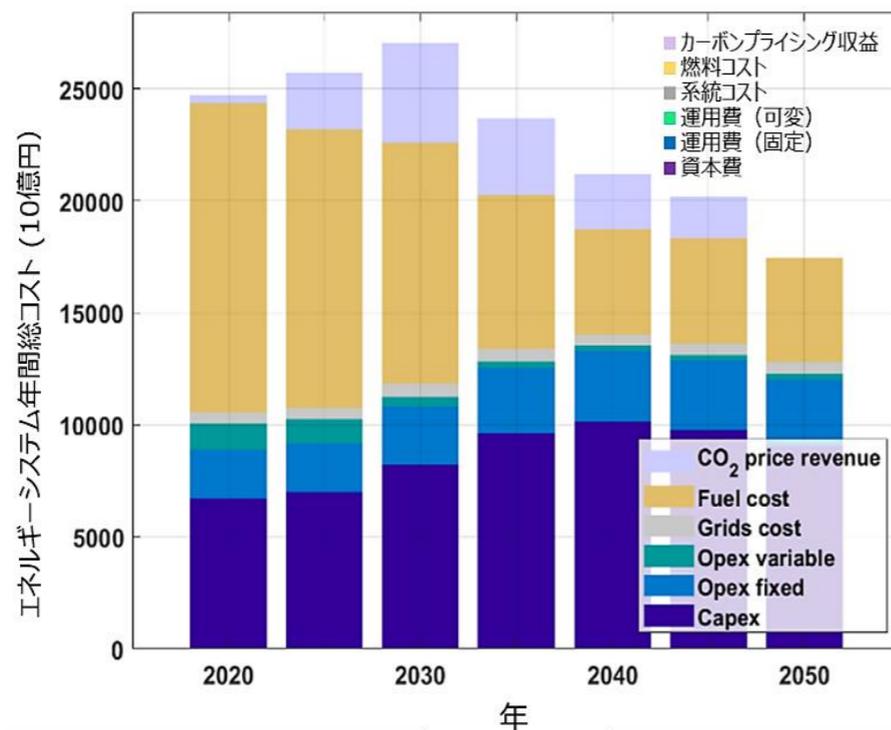
- ・ 電力コストの低減 + 電化
- ・ エネルギー需要の減少

2. エネルギーの単価（均等化コスト(/Wh)）は、2020比13%増にとどまる

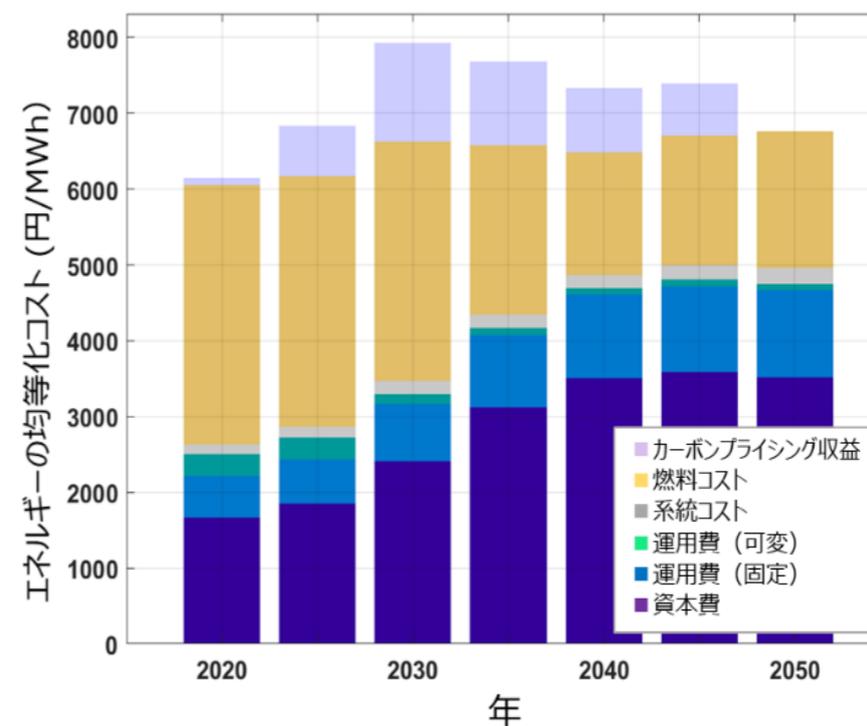
- ・ 電力コスト（LCOE）の低減 + 熱コスト（水素のコスト）の増大

※カーボンプライシング（下図;CO2 price revenue）もコストに付加されるが、歳入として対策に活用可能

エネルギーシステムの総コスト（年間）



エネルギーの均等化コスト（LCO Energy）



# 2050年のエネルギーのありかた



## 100%自然エネルギーのエネルギーシステムの意義

今回のスタディは、化石燃料また原子力に頼ることなく自然エネルギーを最大限活用することで日本の脱炭素化を実現することができるということを示している。

自然エネルギーをベースにしたエネルギーシステムは、いわゆる3E+Sに沿って評価するなら、

- **Environment (環境性)** : 石炭を早期にフェーズアウトさせ、自然エネルギーの導入を加速させることで、CO2排出を1.5℃シナリオに沿った形で促進できる。また石炭火力発電による大気汚染からも解放され、大気環境は大きく改善される。
- **Energy Security (安定性)** : グリーン水素等を需要の50%輸入しても、エネルギー自給率は68%で、現在の12%\*\*とは比較にならない。現在甘んじている化石燃料の不安定性から解放される。
- **Economy (経済性)** : 日本全体のエネルギーの総コストは、現在より減少。加えて、従来必要としていた燃料輸入19兆円が不要となる\*\*\*。また、電力コスト(単価)の減少により、民生部門はエネルギーコストを大きく削減できる。産業においても、電化の促進とさらなるコストを上昇させない取り組みが可能。さらには、新たなより地域に根差したエネルギー産業が生まれ、地元での雇用も含め、地域経済に貢献することが期待できる。
- **Safety (安全性)** : 原子力を使わないという大きな安全・安心が得られる

\* オーストラリア西部からの輸入を想定

\*\* 原子力を国産エネルギーとして計算；エネルギー白書2020（経産省）

\*\*\* グリーン燃料の輸入は3.8兆円、従来の1/5に過ぎない

# 2050年を見据えた2030年目標



自然エネルギー財団  
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

## 自然エネルギー財団提言 2030年目標

1. 2030年の自然エネルギー導入目標：総発電量の45%以上
2. 2030年のGHG排出削減目標：1.5℃シナリオに沿う、2010年比45%以上

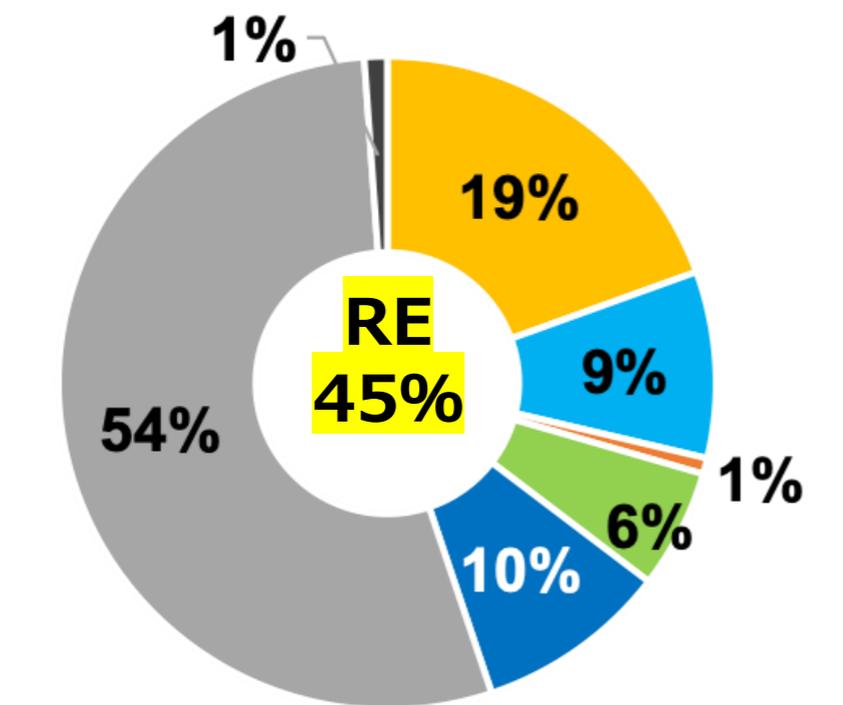
財団が提言する2030年の持続可能なエネルギーミックスは、

- 現行の地域連系線増強計画の範囲で維持可能、出力制御も全国平均では2%未満
- 再エネ特措法にもとづく買取費用額は、2030年代中頃から減少
- 電力コストの総額も2019年より減少

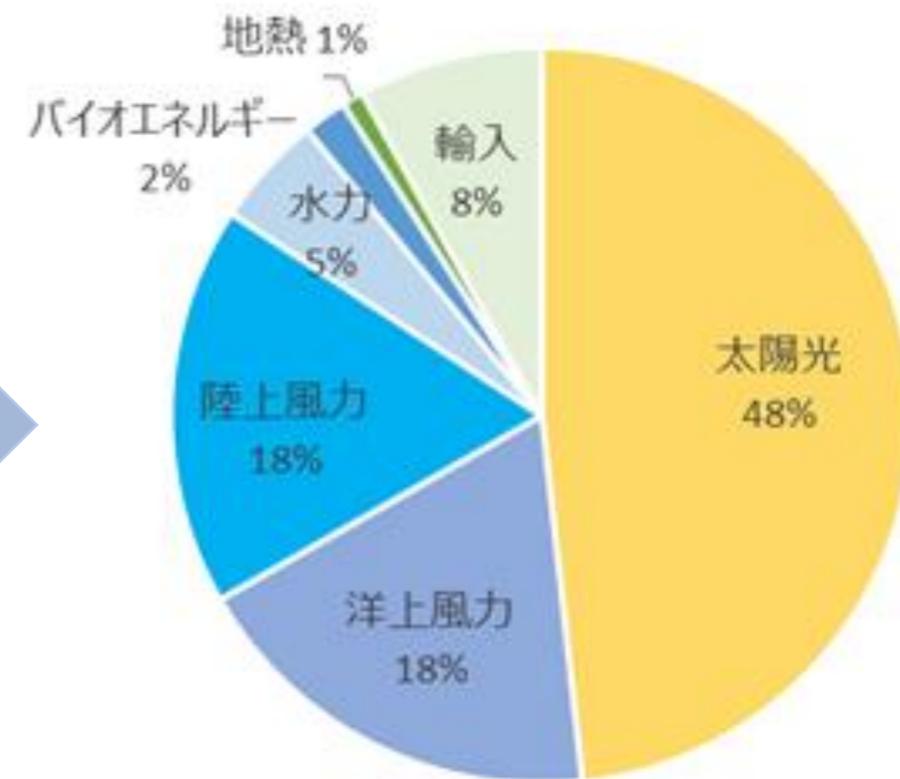
# 2030年に向けた自然エネルギー導入目標量の考え方

2030年は**通過点**である。2050年脱炭素を実現するためには、2030年時点で、自然エネルギーの飛躍的な拡大と持続可能な「エネルギーミックス」への転換がなされなくてはならない。

2030年の持続可能なエネルギーミックス  
総電力供給量890TWh



2050年自然エネルギー100%  
総電力供給量：1,470TWh

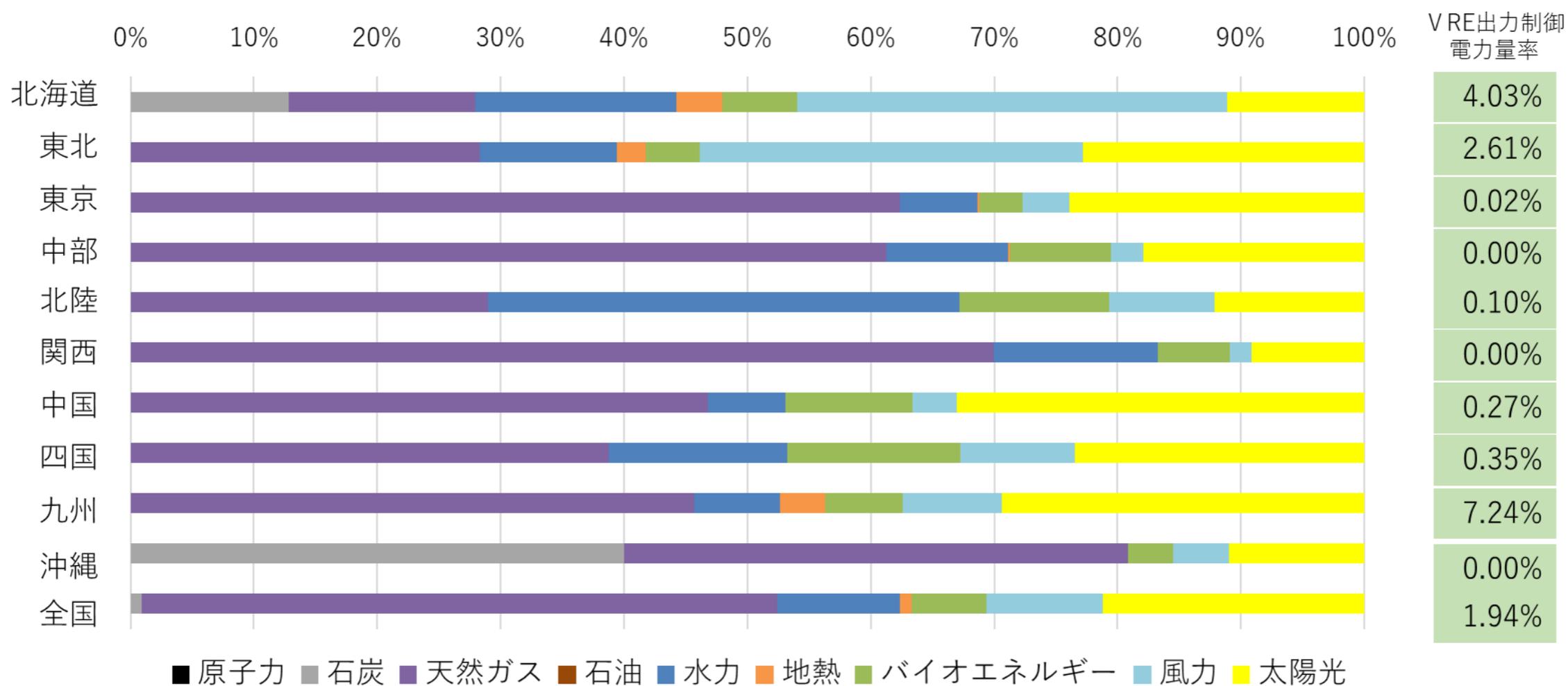


出典) 自然エネルギー財団 (2020) 2030年エネルギーミックスへの提案 (第1版) 自然エネルギーを基盤とする日本へ

# 系統制約・地理的分布

広域需給モデルを用いた分析：地理的分布は現状の接続容量(検討含)の分布比率を反映。現状の地域連系線の増強計画の範囲で需給バランスは維持可能であり、出力制御の電力量率は全国で1.94%にとどまる。

## 系統エリア別電源構成（送電端）と出力制御電力量率



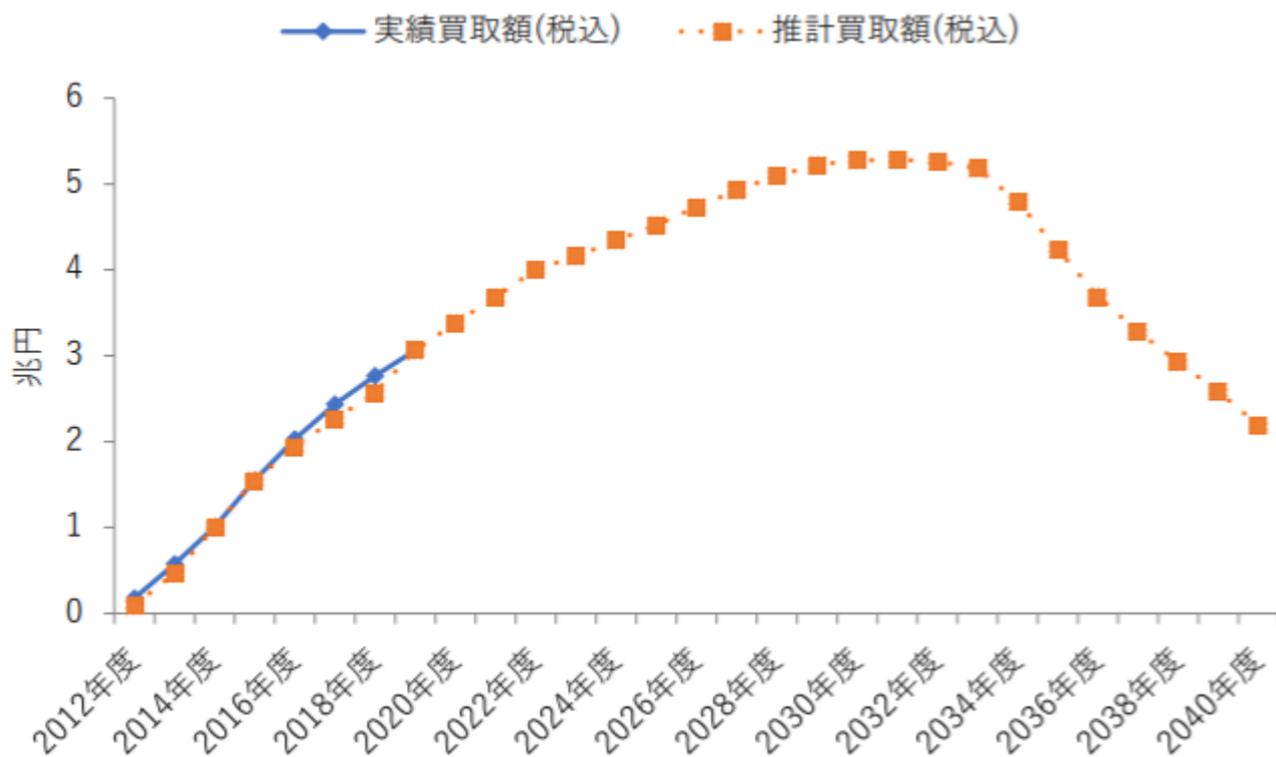
出典) 自然エネルギー財団 (2021) 「2030年における電力需給バランスとコストの検証」

# (参考) 転換促進ケースの電力コストに対するインパクト

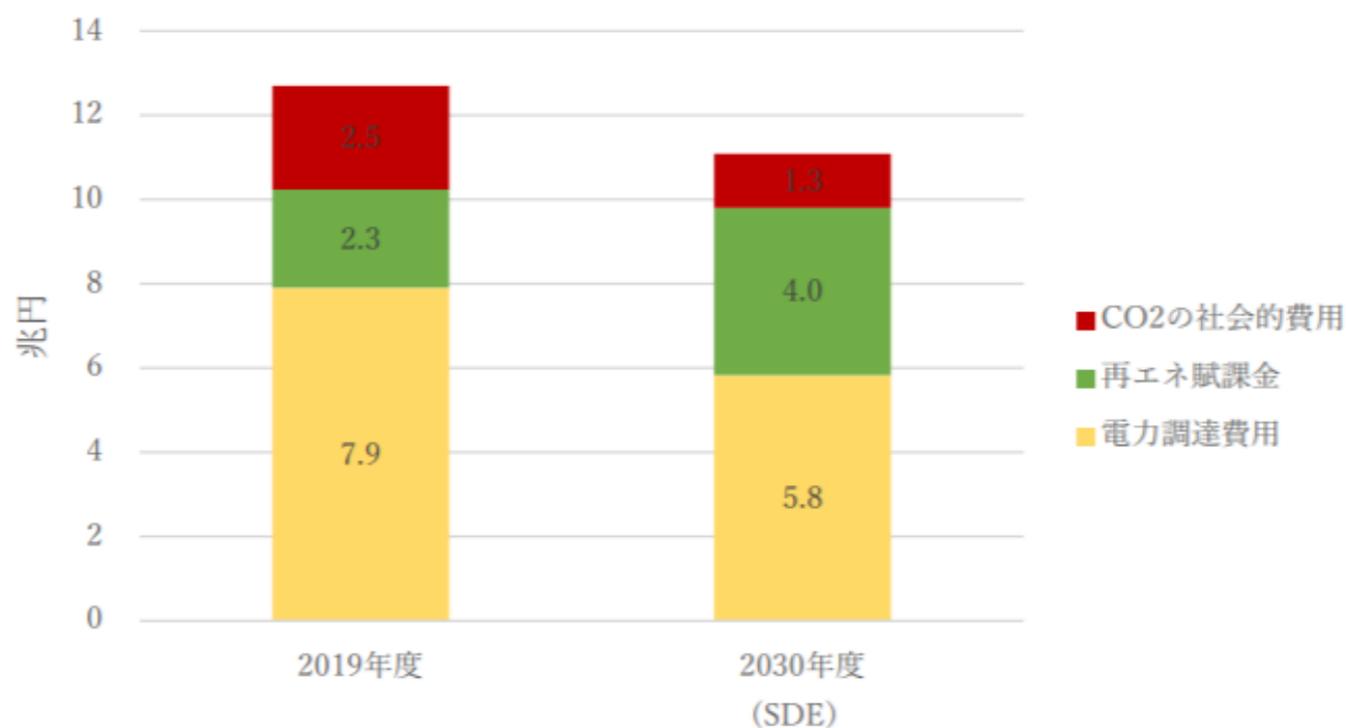
再エネ特措法にもとづく買取費用額は、2030年度に4.8兆円（税込：5.3兆円）。ただし、買取費用は2030年代中頃から急速に減少する。

2030年度の電力調達費用を推計：広域需給モデルを用い、エリア別卸電力価格を計算したところ、5.8兆円となり、2019年度より大幅に低下。再エネ賦課金と合わせても2019年度の費用よりも若干安い。さらにCO2の社会的費用を含めると大幅なコスト低減。

### 再エネ特措法：買取費用実績と推計



### 2019年度と30年度の電力コストの比較



出典) 自然エネルギー財団 (2021) 「2030年における電力需給バランスとコストの検証」