

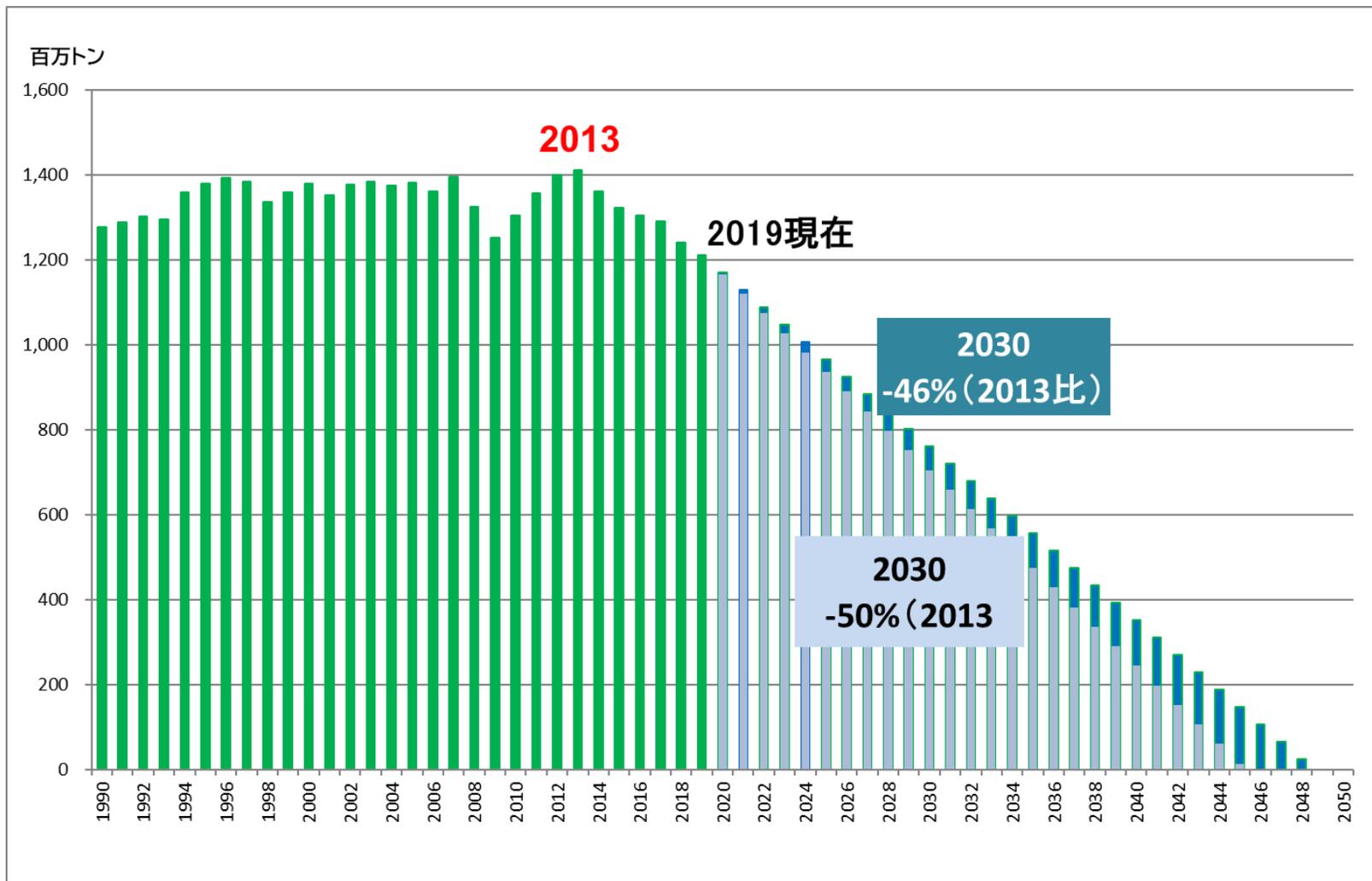
WWFジャパン「脱炭素社会に向けた2050年ゼロシナリオ」
コスト算定編発表会
最も重要な2030年エネミックス：WWFからの提言



COP25マドリード会議にて(2019年12月)

2021年5月28日(金)
WWFジャパン 専門ディレクター(環境・エネルギー)
小西雅子

パリ協定提出予定の日本政府GHG削減目標 2030年GHG46% (50%の高みを目指す)



✓ 2030年▲46%のためには、
年率3.38%の削減が必要
(2019年起点)
⇒ 2049年にゼロ)

✓ 2030年▲高み50%のためには、
年率3.8%の削減が必要
(2019年起点)
(⇒ 2046年にゼロ)

日本の温室効果ガス排出量の推移とゼロへの道筋
(2019年度(令和元年度)の温室効果ガス排出量(確報値)よりWWFジャパン作成)

2021年 日本は重要な転換のチャンスを迎えている！

本来は、気候対策を踏まえたエネミックスの見直しが必要だが？

2020 10/26 米気候サミット 4/22 G7?



2050年
カーボンニュートラル
パリ協定削減目標
46%に引き上げ
50%の高みを目指す

11月
COP26
イギリス・グラスゴー

環境省 温暖化対策推進法の改正
・ 2050年ゼロの法制化
削減目標
国連へ提出

削減目標=エネミックス

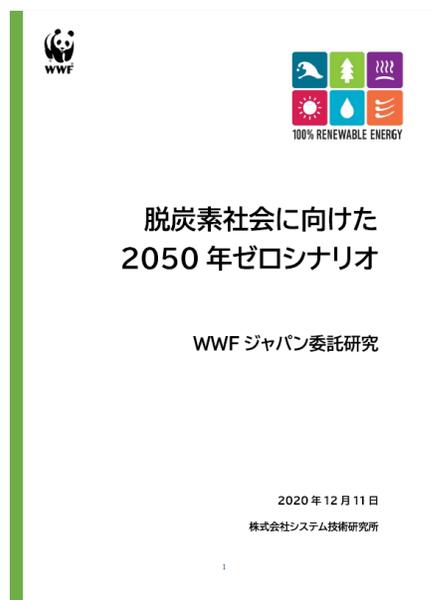
経産省 エネルギー基本計画の見直し
2030年のエネミックスの見直し
2030エネ
ミックス
決定

日本 温室効果ガスの
約85%がエネ起源CO2

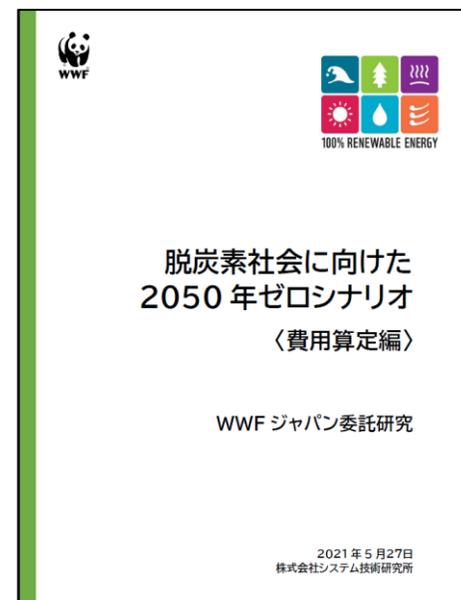
日本が「2030年温室効果ガス46%削減(50%の高み)」を 実現するために必要なことは？

日本産業の明日の競争力の源泉は？

WWF「脱炭素社会に向けた2050年ゼロシナリオ」



2020年12月11日発表



2021年5月27日発表

WWFシナリオの基本的な考え方



エネルギーの需要は、省エネを通じてどこまで削れるか

原子力発電と化石燃料の段階的なフェーズアウトを想定する

エネルギーの需要を、自然エネルギーで満たせるか
1年間の電力を、24時間365日、継続して過不足なく満たせるか

2010～2050年まで、費用はどれくらいかかるか

2050年までの絵姿

今、どのような対策をとるべきなのか

WWFエネルギーシナリオの考え方「2050年に100%自然エネルギー社会は可能」



① 使うエネルギーを減らす

- ・人口減とコロナ禍で加速した産業構造の転換で、重厚長大型からサービス産業型へ変化
- ・産業構造の変化と、現在想定できる省エネ技術・対策の普及により、一次エネルギー換算でエネルギー需要は2050年までに約3割まで減少する（2015年比）
- ・化石燃料による発電は投入したエネルギーの6割が損失になるが、自然エネルギーに変わっていくことで、最終エネルギー需要に占める損失は非常に小さくなる

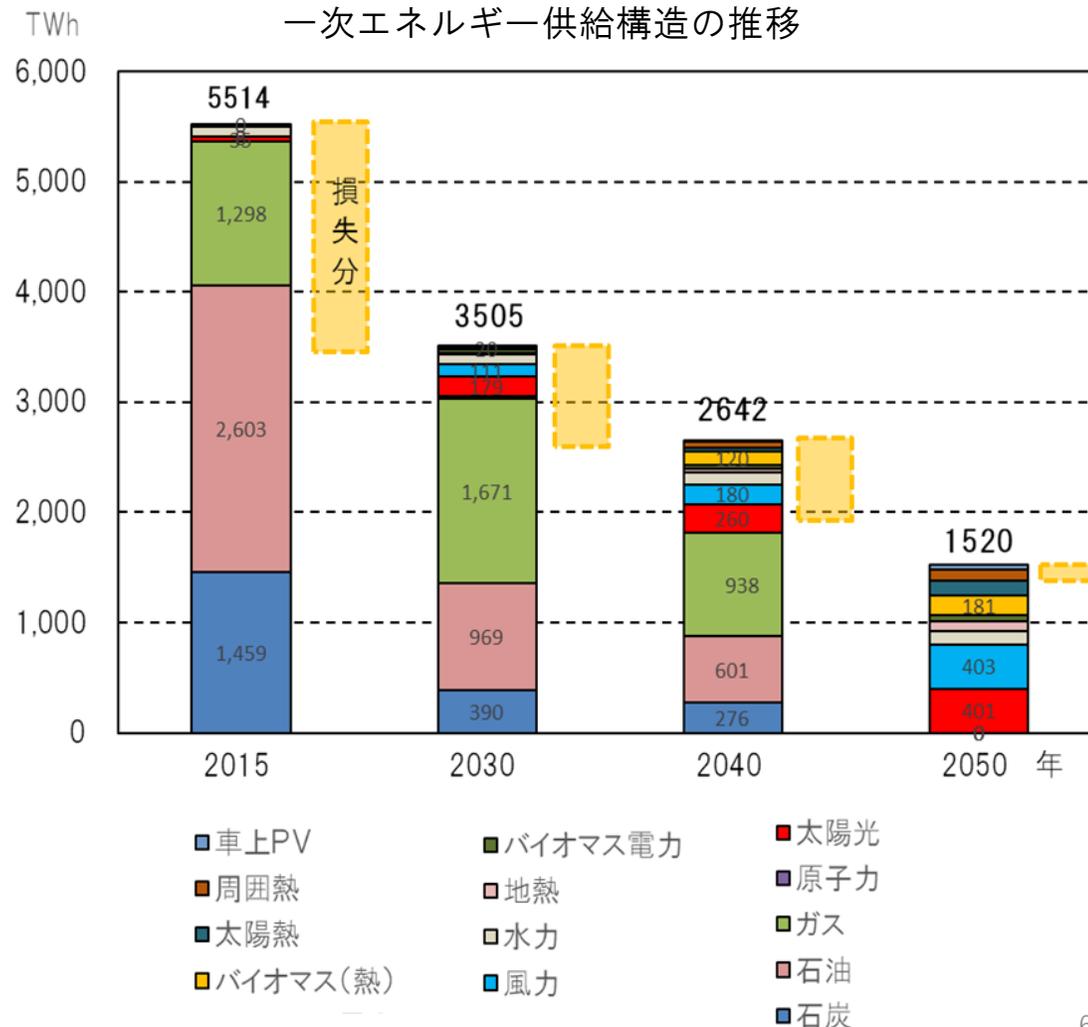
① 自然エネルギーに替えていく

- ・化石燃料（石炭は2030年全廃）と原発は段階的廃止
- ・全国 842 地点の AMEDAS2000 標準気象データを用いて1 時間ごとの太陽光と風力の発電量のダイナミックシミュレーションを実施して24時間365日電力需要を賅えることを確認
- ・可能な限りの燃料や熱のエネルギー需要を電化（電気自動車等）
- ・電力以外の燃料・熱需要は、グリーン水素（余剰電力を使った水の電気分解で作成）も活用して賅う
- ・鉄鋼産業における高炉は電炉への置き換えとグリーン水素活用

① CO2がゼロになる

- ・エネルギー起源CO2排出量はゼロ、温室効果ガス排出量もゼロ

一次エネルギー供給構造の推移



日本が「2030年温室効果ガス46%削減(50%の高み)」を
実現するために必要なことは？

日本産業の明日の競争力の源泉は？

WWFからの提言

2030年CO2排出量49% (GHG45%) 削減を実現するために



2030年

- 省エネルギーの最大限の推進：
最終エネルギー需要で21%削減が可能（2015年比）
- 石炭火力発電所の全廃止
- 自然エネルギー約50% (47.7%) に引き上げ

WWFの本シナリオが明らかにしたこと

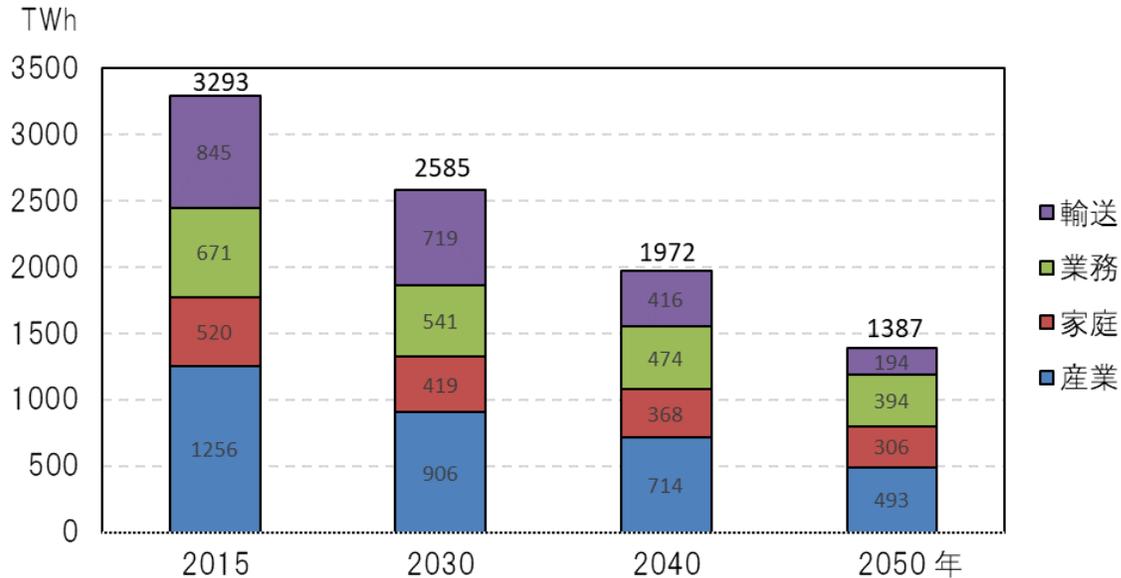
- ・ エネルギー効率の改善は、現状の技術とその延長線上で可能であること
- ・ 石炭火廃止、自然エネ約50%は、現状の電力インフラの範囲内で可能であること

2030年のエネルギーミックス 政府長期需給見通し（以下政府見通し）とWWF提案



最終エネルギー需要は、**21% 減少**が可能(2015年比)
⇔ 政府見通し：**10% 減少**(2013年比)

各部門の最終エネルギー需要



・ 省エネは最もコスト効率的な対策
(2030年までの10年間の設備投資は、省エネルギーに18兆円、運転費用は-21兆円、正味-3兆円(便益))

- ・ 産業構造の変化と経済的な省エネの進展
- ・ 2050年にかけて人口減少のため産業の活動度80%縮小
- ・ 機械・情報産業は150%へ拡大→経済成長維持GDP増大
- ・ 2050年最終エネルギー需要は58%減

2030年のエネルギーミックス 政府見通しとWWF提案

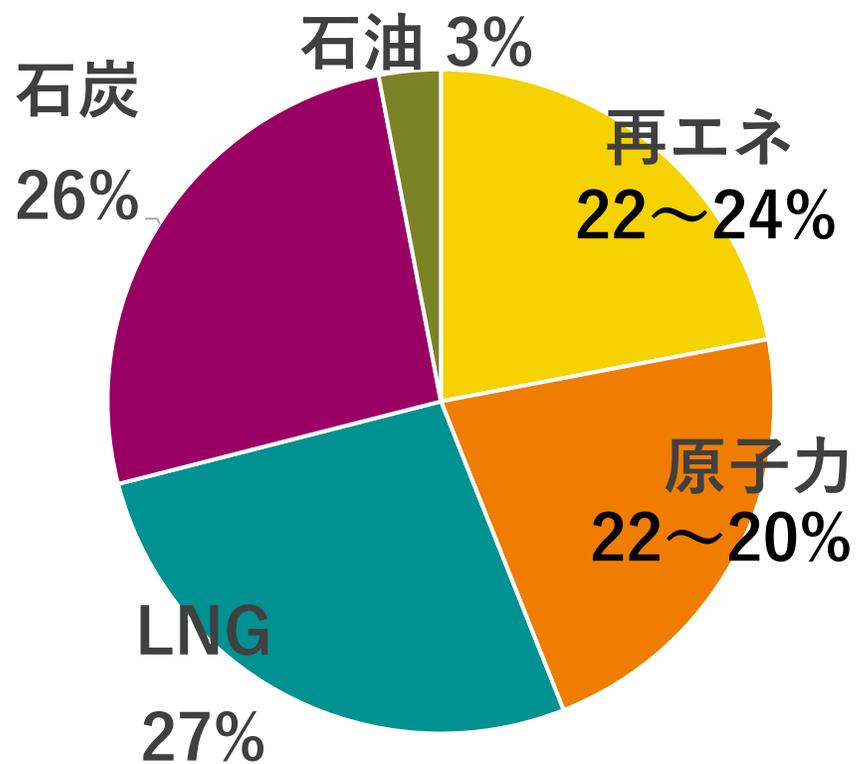


2030年のエネルギー供給構成（％）

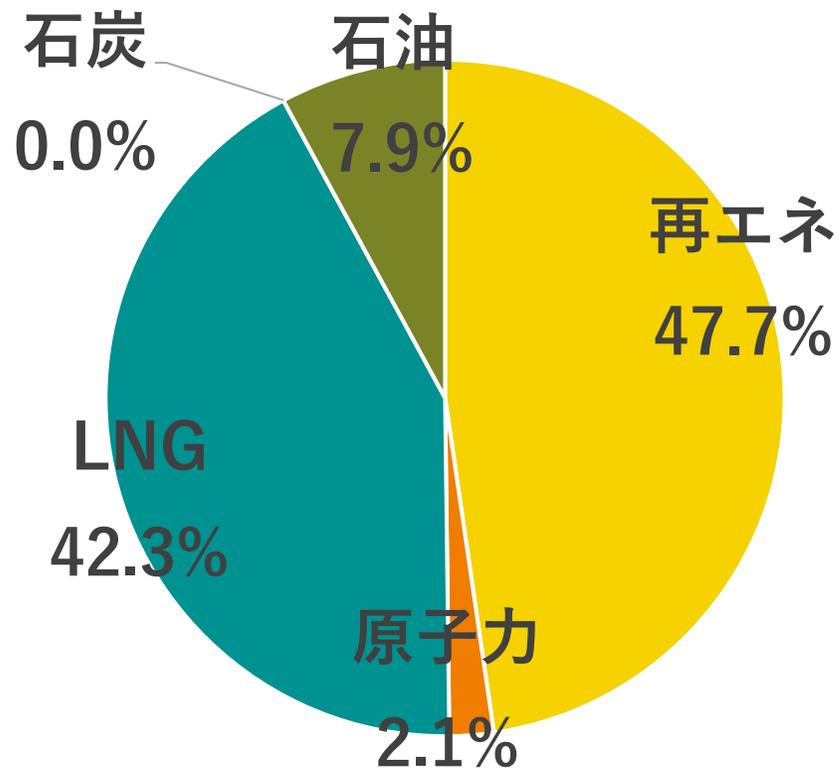
	政府長期見通し		WWF報告	
	一次エネルギー	電力	一次エネルギー	電力
自然エネルギー (再エネ)	13.5	22~24	13	47.7
原子力	10	20~22	0.5	2.1
天然ガス (LNG)	18	27	47.7	42.3
石炭	26	26	11.1	0
石油・LPG	33	3	27.6	7.9

2030年の電源構成

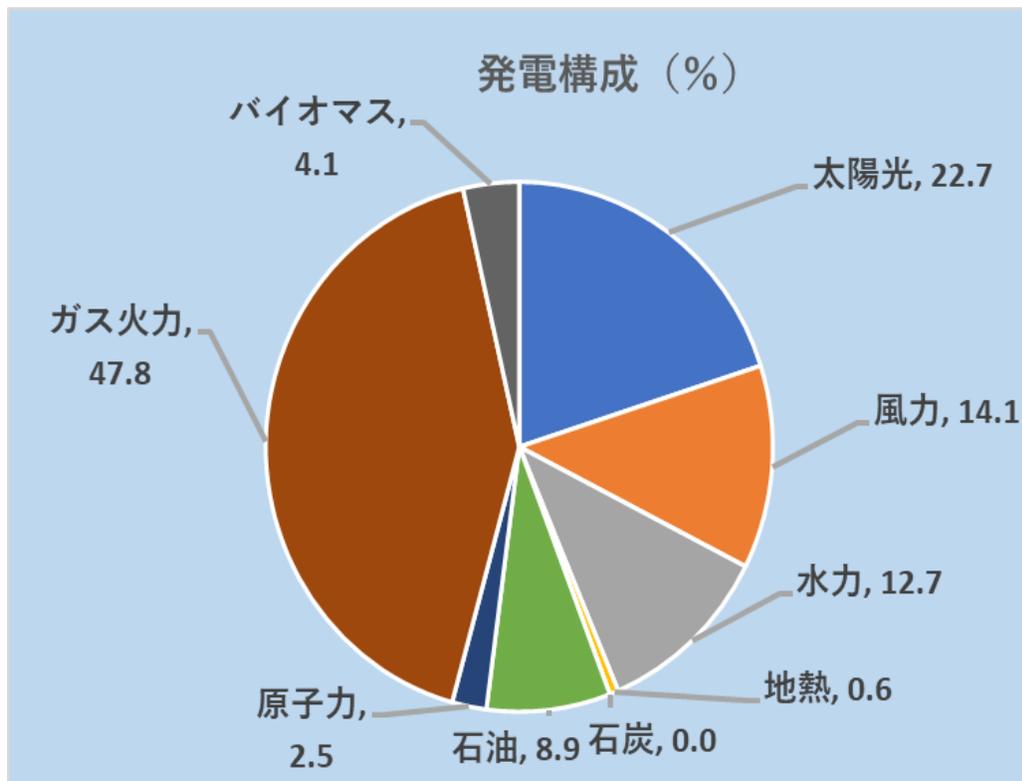
政府



WWFシナリオ



2030年のシミュレーション 電力供給構成



	TWh/年	規模	単位
太陽光	180	太陽光発電容量	161 GW
風力	111	風力発電容量	42 GW
水力	100	揚水発電/バッテリー容量	260/ 100 GWh
地熱	5		
石炭	0		
石油	71	年間電力需要	790 TWh/年
原子力	20	年間平均電力	90 GW
ガス火力	378	ピーク電力需要	137 GW
バイオマス	32		
合計	896	発電量合計	896 TWh/年

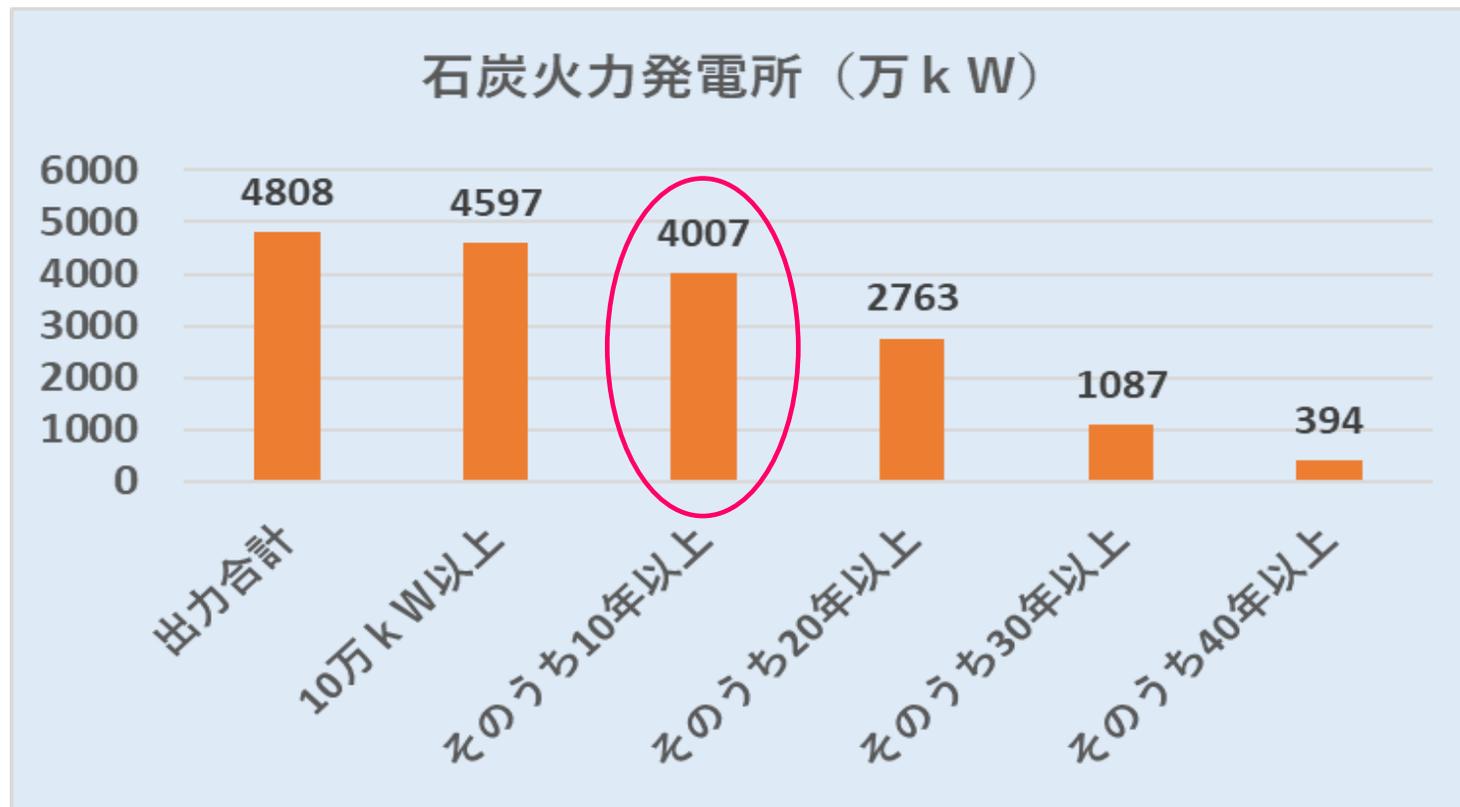
- 2030年の電力供給構成は、石炭はゼロであるが、ガス火力が大きく、石油と原子力も含む
- 太陽光22.7%、風力14.1%、水力12.7%、バイオマス4.1%、地熱が0.6%
- 発電量合計は896TWh (113%)、純粋電力需要 790TWh (100%)
- 太陽光161GW、風力42GW、蓄電用に揚水発電260GWh、バッテリー100GWhの利用を想定

石炭火力は2030年までに全廃止が必要



- 化石燃料中で最も排出の多い石炭火力は、すみやかに廃止するべき
→2030年全廃止が可能
- 日本の石炭偏重に国際社会から強い非難
→石炭火力の輸出原則廃止・非効率石炭火発の廃止、しかし高効率温存で約20%の予定？
- ダイナミックシミュレーションの結果、現状の石炭火力を日本の10電力地域全域で2030年までに廃止しても、電力供給に問題がない
- 原発稼働30年廃止、稼働中及び再稼働見込み原発のみ想定すると2030年に2.1%
- LNG火力、現状の稼働率35～50%を、60～70%に上げることで賄える（ガス火力新設不要）

石炭火力の設備寿命と廃止計画との関係



全国の10万kW以上の発電所の2019年現在の年齢別構成

出典：資源エネルギー庁「石炭火力発電所一覧2020/7/31」からシステム技術研究所作成

- 10年後の2030年には、**20歳以上の発電所が4007万kW(83%)** になり、30歳以上のプラントが2763万kW

※ 石炭火発の新增設は、**座礁資産化**する

自然エネルギーの電力に対する比率は、 ダイナミックシミュレーションの結果、47.7%可能



- 自然エネ主流化：2019年自然エネ割合は18%、産業界からも2050年40%～50%提案
- ダイナミックシミュレーション
10電力地域に存在する実際のガスと石油火力の設備容量を元に、石炭火力を使用せずに、想定した自然エネルギーと既設のガスと石油火力で、過不足がないか、全国 842 地点の AMEDAS2000 標準気象データを用いて1 時間ごとの太陽光と風力の発電量のダイナミックシミュレーションを行った結果、導き出された
- 沖縄を除く9地域において、現状の地域間連系線などのインフラを増強することなく、自然エネルギー47.7%が可能であることが示された（沖縄はバイオマス発電等の増強を想定）。
- すなわち**2030年自然エネルギー約50%を目標**とすることは、現状の電力システムのインフラ内で可能ということが示された。

表 12 2030 年のシミュレーション結果（発電量）

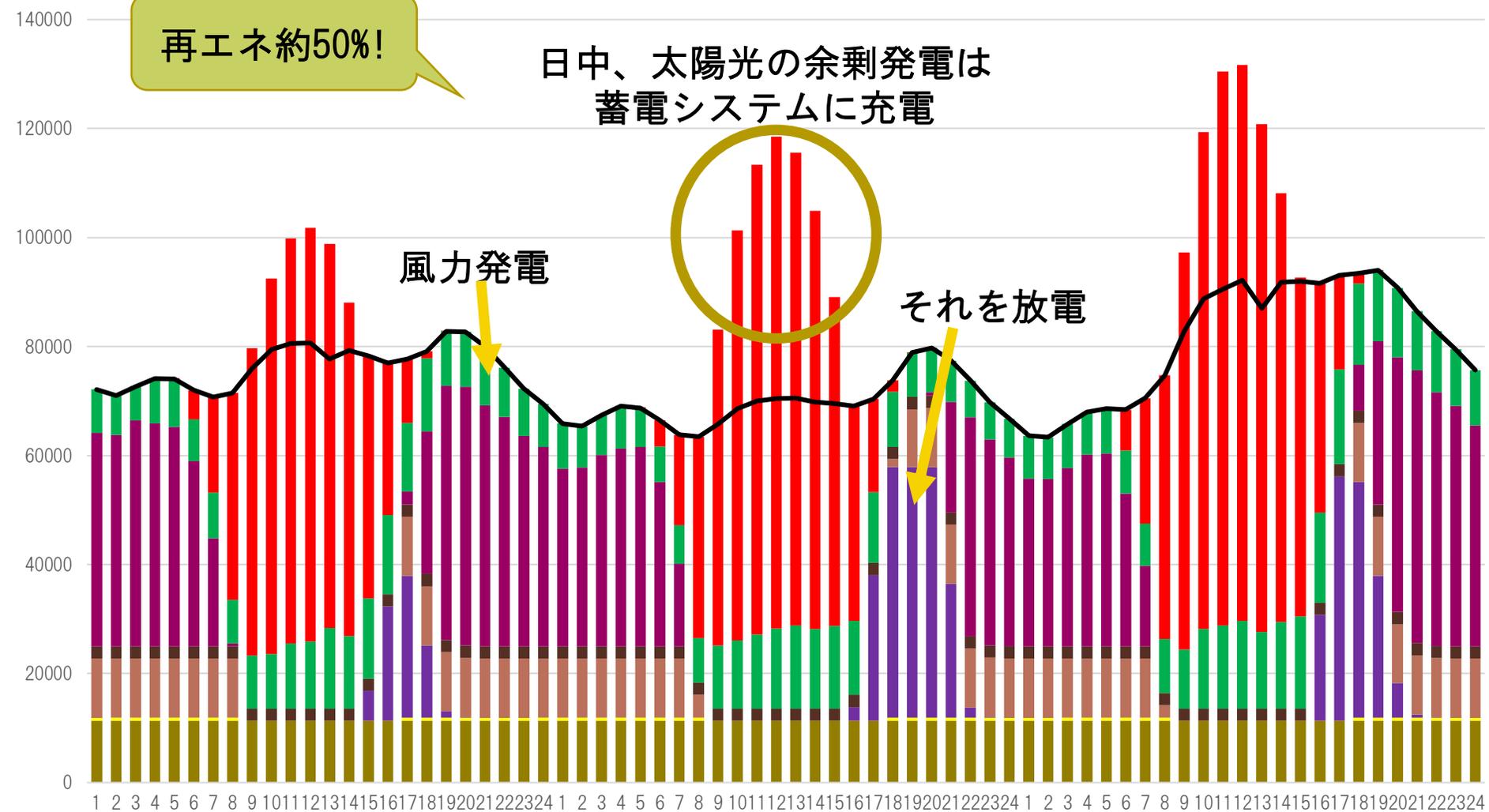
単位：GWh/年	太陽光	風力	水力	地熱	石炭	石油	原子力	ガス火力	バイオマス
①北海道	10,627	16,346	6,649	521	0	2,889	5,593	2,798	1,166
②東北	12,970	14,011	10,274	2,612	0	3,344	6,745	33,959	2678
③関東	43,341	17,458	24,576	547	0	19,374	0	150,152	9,931
④中部	29,056	10,453	15,428	344	0	8,917	0	83,616	2196
⑤北陸	2,881	2,669	5,524	1	0	2,949	7,358	5,132	1127
⑥関西	17,507	5,226	23,597	0	0	16,153	0	59,574	6,452
⑦中国	14,480	17,569	6,344	0	0	6,043	0	12,957	2,452
⑧四国	10,050	5,226	3,120	0	0	4,513	0	5,040	1,158
⑨九州	36,325	19,571	9,583	1,029	0	8,301	0	23,496	3,202
⑩沖縄	2,390	2,669	0	0	0	1,280	0	2,749	295
(全国計)	179,627	111,198	100,014	5,052	0	70,677	19,694	377,595	31,988

2030年 電源ごとの発電状況を示すダイナミックシミュレーション図



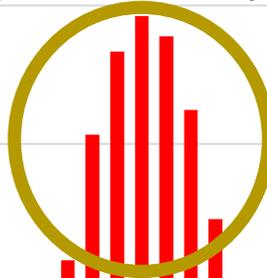
Dynamic Simulation (15-17, April)

MWh



再エネ約50%!

日中、太陽光の余剰発電は蓄電システムに充電



風力発電

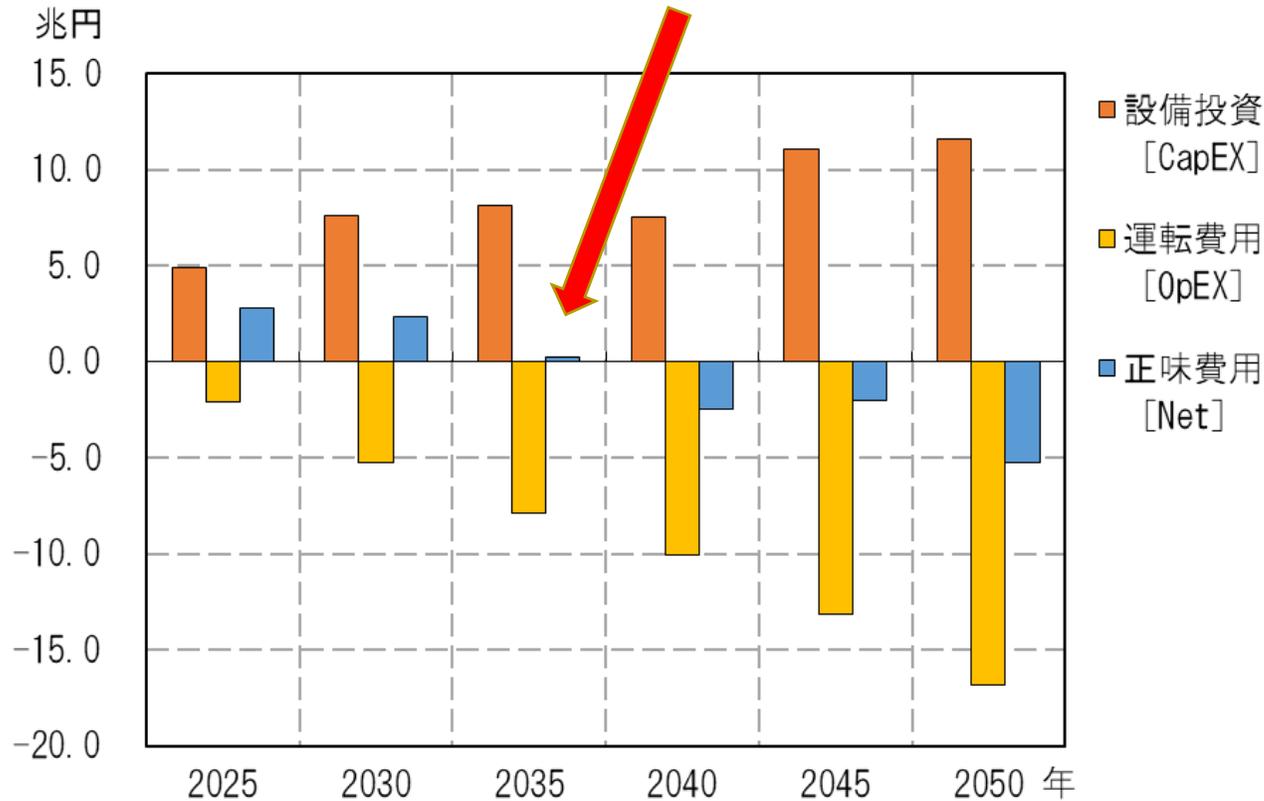
それを放電

既存のガス火力が穴埋め

石炭火力はゼロ!

- 水力発電
- バイオ発電
- 地熱発電
- 放電
- 石油火力
- 石炭火力
- 原子力
- ガス発電
- 風力発電
- 太陽光発電
- 電力需要

2030年までに必要となる費用について



すべての設備投資、運転費用、正味費用の合計（各年値）
（省エネルギー＋自然エネルギー＋電力関連）

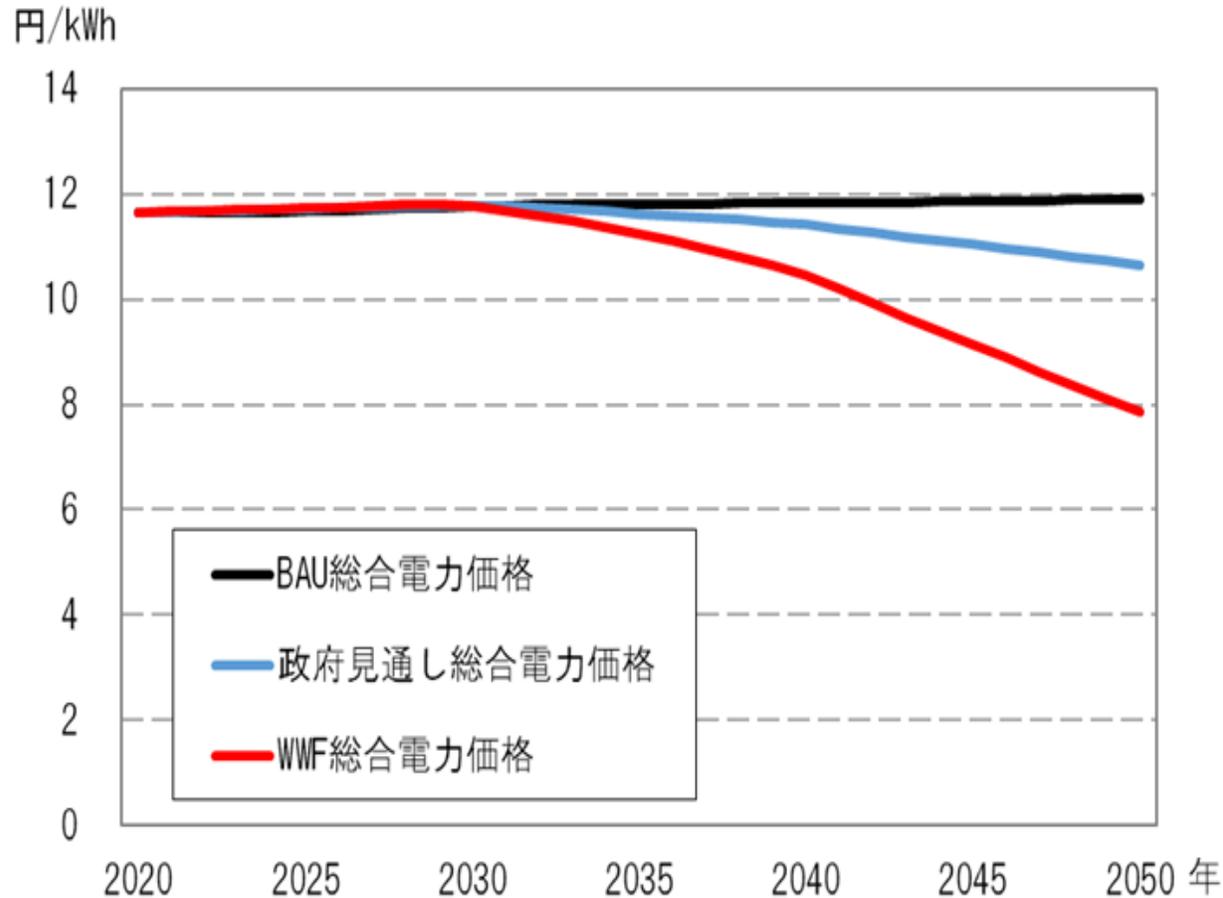
（※）5年間のまとめではなく、年平均値

・2020年から2030年までの10年間の設備投資は、省エネルギーに18兆円、自然エネルギーに41兆円、電力関連の設備投資は3.3兆円、合計で62兆円である。運転費用は省エネルギーが-21兆円、自然エネルギーが-16兆円、合計で-37兆円。

・すなわち、**省エネルギーの導入が有効**と示された。短期間であるので、自然エネルギーへの投資は回収されないが、それでも省エネと合わせて**全体では2035年過ぎから正味ではマイナス（便益）**となる。

・年間の総投資額は、2050年までの30年間の平均GDPに対し、1.1%程度。その他費用を入れると、**GDP比でおよそ1~2%**になるものと想定される。

WWFシナリオにおける電力価格



・ 自然エネルギーが増大していくと、燃料費用がいらなくなっていくので、**WWFシナリオでは、電力価格は微増後に一貫して減少していく**。2030年には約11.8円/kWh（2020年11.6円/kWhの想定）、2050年には7.9円/kWhまで下がっていく

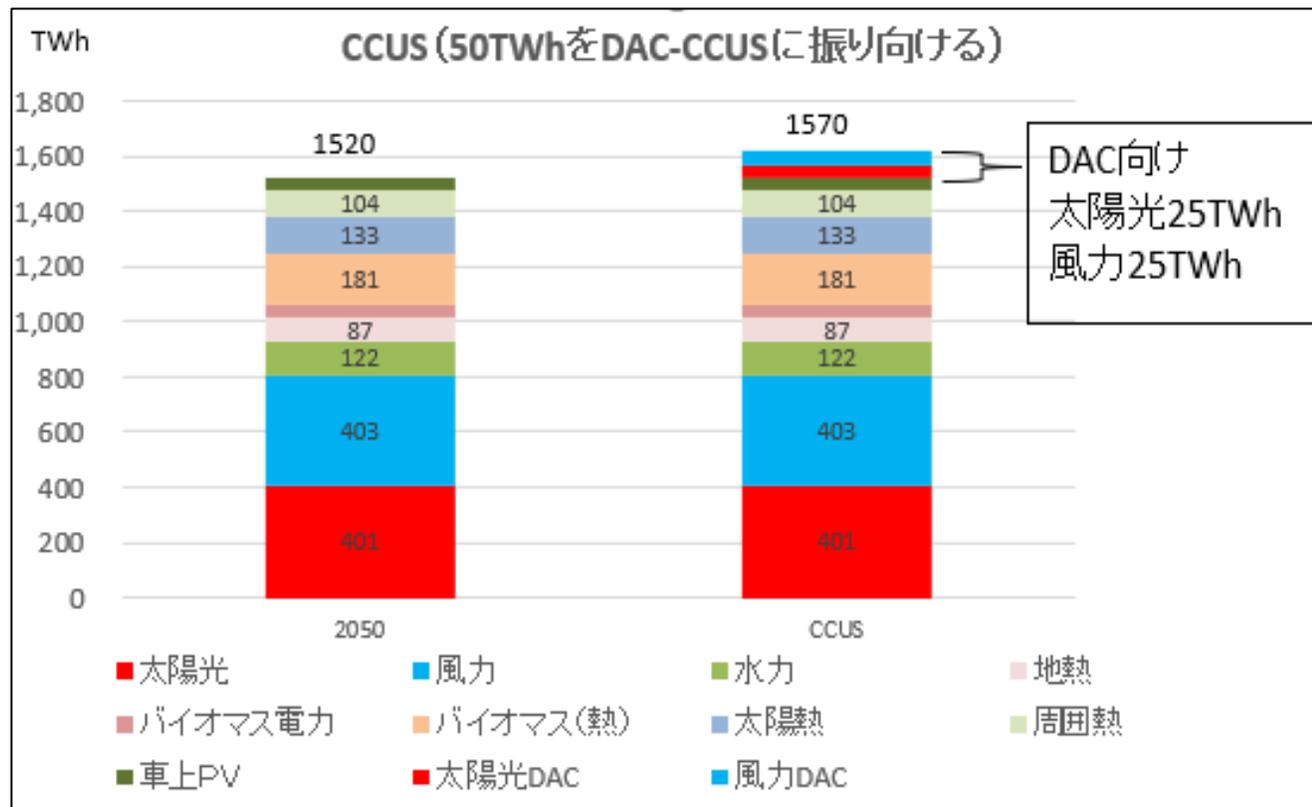
・ 政府の長期見通しで示した「2030年自然エネ26%、2050年50%」に沿った電力価格は、2030年にはWWF価格と同じ（11.8円/kWh）だが、2050年には10.7円/kWhと差が開いていく

・ 自然エネが増大するWWFシナリオの方が将来にわたって電力価格が低減していくことが明示された。自然エネルギーを中心とする社会には将来的な価格優位性もある

- 脱炭素社会を進めるには、脱炭素化が難しい燃料用途と産業用の高熱用途の化石燃料需要を、可能な限り**電力に置き換えていく**ことが有効（電力は自然エネ等で脱炭素化が容易）そのためには電気自動車の普及や鉄鋼の電炉化推進などが必要である。
- その上で現状化石燃料を利用している運輸部門や産業用の高熱用途を、水素で代替していく。その水素を化石燃料から作るのではなく、自然エネ由来の電力を使っての水の電気分解による**グリーン水素**が化石燃料脱却への道筋となる。
- 太陽光と風力発電など変動電源による発電量と電力需要を合わせるために、電力需要を超える発電が必要となる。したがって余剰電力の発生は必然となる。本シナリオでは、2030年段階で余剰電力が電力需要の約1割、2050年に向けては2倍近く発生する。その**余剰電力でグリーン水素を作り、脱炭素化が難しい燃料と熱需要に使う**ことで、エネルギー全体を脱炭素化していくことが可能となる。
- グリーン水素は現状すでに普及段階にある技術であり、電力料金さえ低くなれば採算性があう。すなわち余剰電力を使って作るグリーン水素は理に適うエネルギーで、脱炭素社会の切り札。

- 近年化石燃料を使いながらも、排出された炭素を回収し、地中深くに貯蔵するCCS（炭素回収貯留）や、回収した炭素を水素と反応させてプラスチックや産業用材料などをつくらせてリサイクル利用を行う（CCUS）の議論が盛んになっている。
- しかし風力や太陽光などの自然エネルギーの価格が急速に低下する中、輸入される化石燃料のコストを負担しながら、まだ商業化されておらず高額なCCUSを実施することは、経済的に成り立たない。ましてや今後30年で脱炭素化を目指すには、必要とされるCO₂の吸収の量的にも時間ラグから見ても無理がある。
- 一方で、2050年ゼロを達成したのちには、気温上昇を1.5度に抑えるためには、過去に排出されて大気中に蓄積したCO₂を除去する技術がいずれ必要となってくる。そのための技術としてDAC（ダイレクト・エア・キャプチャー）の開発が世界で進められている。本シナリオではその検討も行い、2050年以後には回収した炭素の使い道としてCCUSも検討した。いずれもそのために投入するエネルギーは余剰電力でなければ意味がないことは言うまでもない。

CCUS (Carbon Capture Use, Storage)



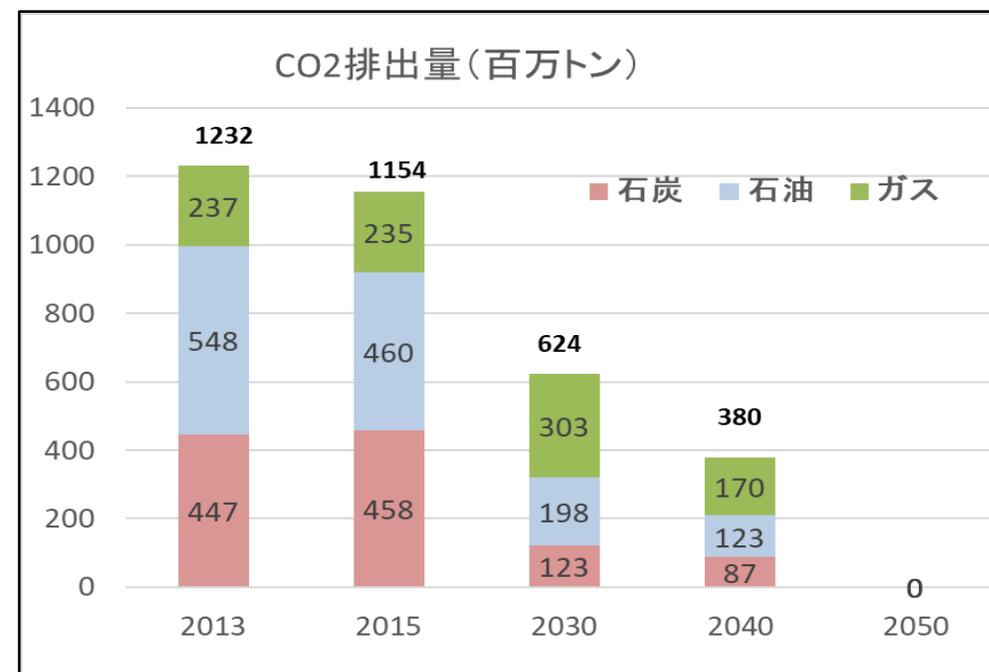
2050年以降には太陽光と風力の余剰5%を25 TWhずつ、合計50TWhを利用して、DAC(空気中から直接CO₂を回収)と水素の製造に向け、合成して年間に数百万トンほどの建築材料が製造できる、これを長い期間続ければ大気中のCO₂濃度を下げてゆき、最終的には温暖化の影響をゼロにできる。

CO2排出量2030年49%削減、2040年70%、2050年ゼロ GHG排出量2030年45%削減、2040年68%、2050年ゼロ



- 2030年エネルギー起源CO2の49%の削減が可能となった背景には、全産業にわたってエネルギー効率改善を最大限に推進すること、2030年に石炭火力を全廃し、自然エネを約50%に引き上げたこと、これらは、2050年ゼロを目指すには不可避なシフトである。
- 日本の人口減と成熟社会への産業構造の転換に伴って重厚長大産業を中心とする国内の活動度は低下していくが、IoTなどの高度な機械産業が増大し、日本全体のGDPの成長は維持される。
- さらに2030年後半からは、余剰電力を使ってのグリーン水素が軌道に乗り、FCV用や産業用の高熱利用が徐々に可能となってきて、ガスからの脱却も進んでいく。その途上である2040年には、CO2排出量は70%の削減が可能となり、さらに2050年に向かってはグリーン水素による船舶や航空機などの運輸部門も脱炭素化が可能となってきて、2050年ゼロを達成する。

エネ起源CO2排出量の推移



今後10年が重要、長期に向けたイノベーション頼みだけにならないこと

(あと9年) 2030

1. 現状の技術と社会インフラの範囲で**可能なことを最大限実施**
 - ・ エネ効率改善(インバータやヒートポンプ、ZEB・ZEHなど)
 - ・ 高効率も含めた石炭火力のフェーズアウト、再エネ導入加速による電力の脱炭素化推進
 - ・ 鉄鋼産業における電炉化推進等
2. **ロックインを防ぐ(座礁資産化してしまう)**
 - ・ 石炭・ガス火発等は新設しない⇒2050年まで高排出が続く⇒投資回収する前に座礁資産化
 - ・ 素材系設備更新・新設時の脱炭素仕様化

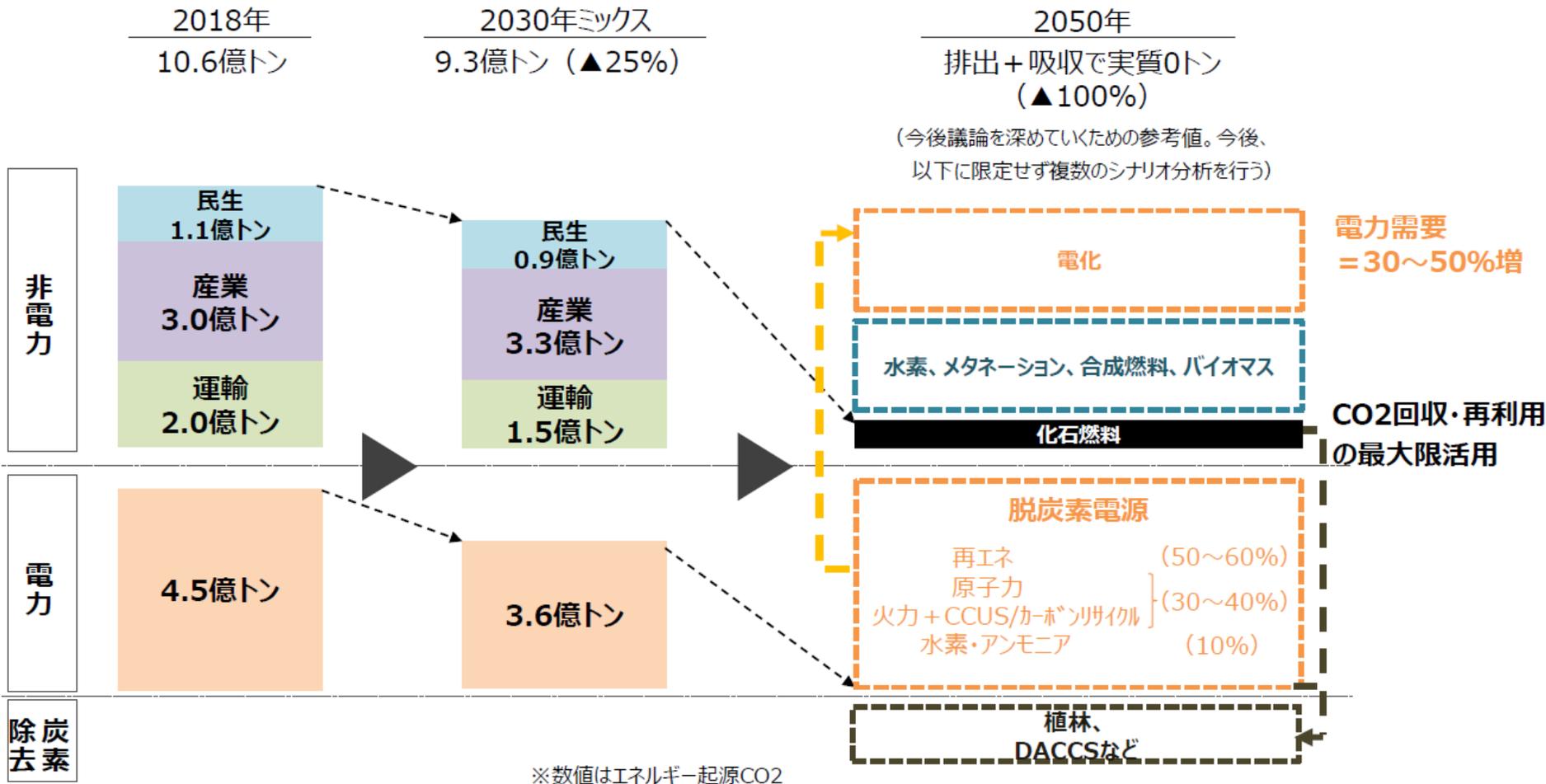
2040

2050

2050年に向けて**脱炭素化が現状の技術で難しい分野の技術開発(イノベーション)**

- ・ 燃料・産業用の高熱需要のための水素開発(余剰電力からのグリーン水素)とインフラ整備
- ・ 洋上風力発電: 港湾整備、系統整備等
- ・ EV, FCV開発・ステーション整備等
- ・ 水素還元製鉄等
- ・ DAC (CCUS)等

参考：政府の長期戦略の課題 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」



・ 2050年に再エネ50~60%が限界か？

・ 2030年以降の革新的技術偏重

・ 技術の選択などが世界トレンドと合っているか？

・ 出遅れた産業のトランジションファイナンス重視？

・ 雇用のシフト支援策は？

あくまでも“議論を深めるための参考値”ではあるが・・・

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

※来春のグリーン成長戦略の改定に向けて
目標や対策の更なる深掘りを検討。
(自動車・蓄電池産業など)

足下から2030年、
そして2050年にかけて成長分野は拡大

エネルギー関連産業

①洋上風力産業
風車本体・部品・浮体式風力

②燃料アンモニア産業
発電用バーナー
(水素社会に向けた移行期の燃料)

③水素産業
発電タービン・水素還元製鉄・
運搬船・水電解装置

④原子力産業
SMR・水素製造原子力

輸送・製造関連産業

⑤自動車・蓄電池産業
EV・FCV・次世代電池

⑥半導体・情報通信産業
データセンター・省エネ半導体
(需要サイドの効率化)

⑦船舶産業
燃料電池船・EV船・ガス燃料船等
(水素・アンモニア等)

⑧物流・人流・
土木インフラ産業
スマート交通・物流用ドローン・FC建機

⑨食料・農林水産業
スマート農業・高層建築物木造化・
ブルーカーボン

⑩航空機産業
ハイブリット化・水素航空機

⑪カーボンリサイクル産業
コンクリート・バイオ燃料・
プラスチック原料

家庭・オフィス関連産業

⑫住宅・建築物産業/
次世代型太陽光産業
(ペロブスカイト)

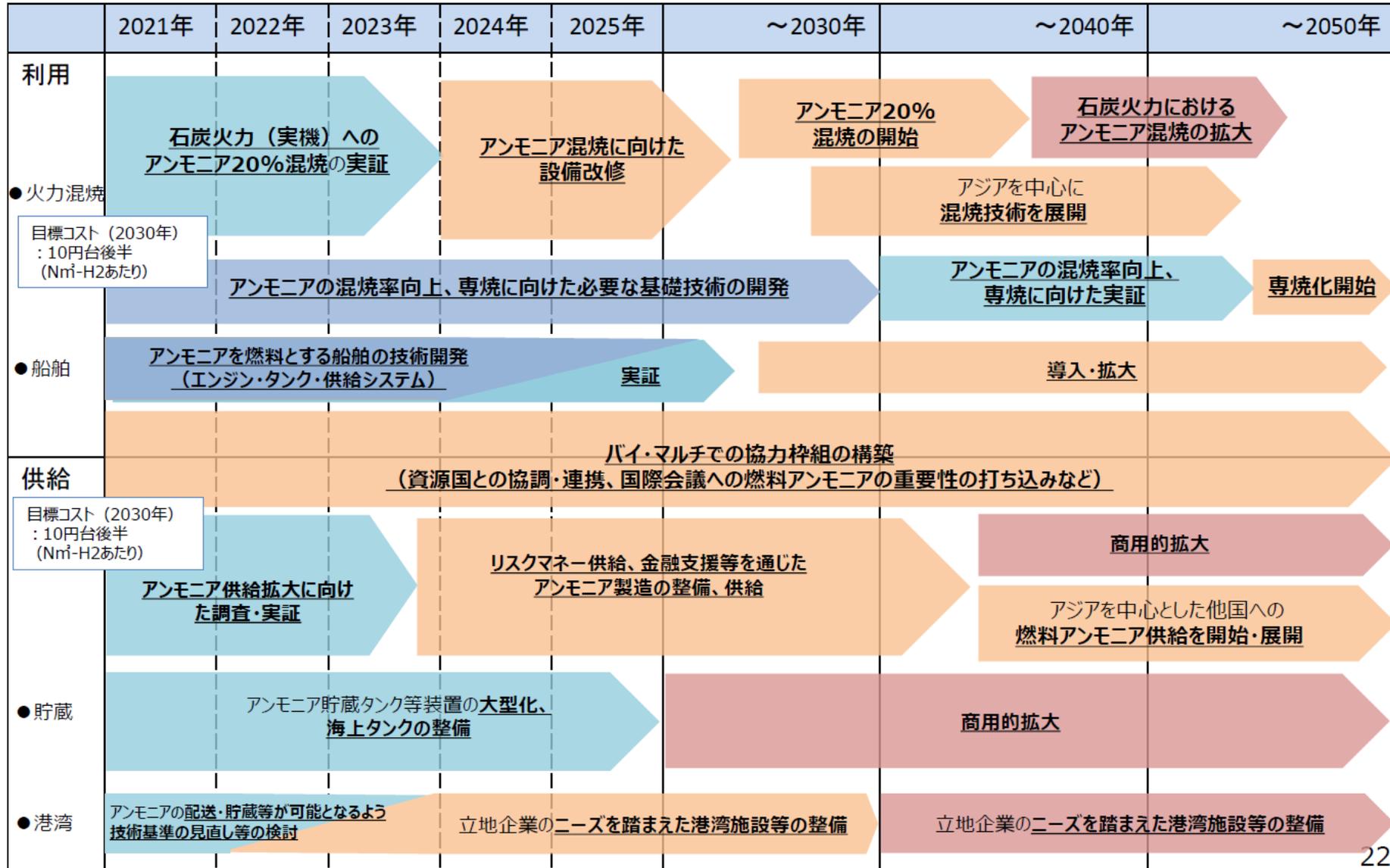
⑬資源循環関連産業
バイオ素材・再生材・廃棄物発電

⑭ライフスタイル関連産業
地域の脱炭素化ビジネス

世界のメガトレンド
から見ると

②燃料アンモニア産業の成長戦略「工程表」

- 導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



（例）アンモニア燃料は、日本の既存石炭火力発電の延命にはなるが、中長期的にはエネルギー効率から見て普及するか？

「トランジション」戦略の世界の評価に留意

- 政府が示した2030年46%削減（50%の高みを目指す）は不可能ではないが、日本のこれまでの削減努力の延長線上では決して達成できる目標ではない。
- 企業にとっては経営そのものを脱炭素社会に照準を合わせていく必要がある。政府の示す「グリーン成長戦略」等の”参考値“は、あくまで参考に留め、グローバルスタンダードで客観的なイニシアティブ（SBTiなど）に参加するなど、自ら情報収集して自社の方向性を検討することが重要

参考値の一つとして

- WWFの本シナリオが示すことは、下記が技術的には現状のインフラで可能であること

2030年

- 省エネルギー21%（最終エネルギー需要）
- 石炭全廃止
- 自然エネルギー約50%（47.7%）
- エネ起源CO2排出量約50%（49%）削減、温室効果ガス排出量45%削減
- そのために必要な年間投資額は、2050年までの30年間の平均GDPに対し、1.1%程度。その他費用を入れると、GDP比でおよそ1~2%。省エネ投資が極めて有効、自然エネ投資回収には時間がかかるが、燃料費用がいらなくなっていく分、総合電力価格は2050年に向けて下がっていく
- 今後10年が重要：2030年以降に向けたイノベーション頼みがメインではない

岩波ジュニアスタートブックス 3/26創刊

小西雅子

「地球温暖化を解決したい ～エネルギーをどう選ぶ？」

<https://www.iwanami.co.jp/news/n38663.html>



温暖化対策＝エネルギー選択
あなたもエネルギーを選んで、将来社会を選ぼう！

お問い合わせ先



シナリオ本体や提言などは、以下リンク先よりダウンロード可能です。

➤ 報告書「脱炭素社会に向けた2050年ゼロシナリオ」費用算定編

<https://www.wwf.or.jp/activities/data/20210527climate01.pdf>

➤ 報告書「脱炭素社会に向けた2050年ゼロシナリオ」

<https://www.wwf.or.jp/activities/data/20201215climate01.pdf>

➤ 2050年排出ゼロを実現する！日本の「エネルギーシナリオ」

<https://www.wwf.or.jp/activities/lib/4534.html>

WWFジャパン 気候・エネルギーグループ
climatechange@wwf.or.jp

