
エネルギー産業の2050年

— ネットゼロカーボンを真面目に考える —

竹内 純子

国際環境経済研究所 理事・主席研究員

21世紀政策研究所 研究副主幹

筑波大学客員教授 東北大学特任教授

U3Innovations, LLC 共同創業者・代表取締役

自己紹介：竹内 純子（たけうち すみこ）

NPO法人国際環境経済研究所理事・主席研究員

筑波大学客員教授 / 東北大学特任教授（客員）

U3イノベーションズLLC 共同創業者・代表取締役

＜主な公職＞

- ・規制改革推進会議委員
- ・産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会委員
- ・水素・燃料電池戦略協議会委員 / 自動車新時代戦略検討会委員
- ・国立研究開発法人審議会委員 / 資源燃料分科会委員 等

＜経歴＞

慶応義塾大学法学部法律学科卒業。1994年東京電力入社。

国立公園「尾瀬」の自然保護に10年以上携わり、その後、地球温暖化の国際交渉や環境・エネルギー政策への提言活動等に関与。福島原子力発電所事故を契機に、独立し研究職に。エネルギー・環境政策の学際と、それに係る産業の現場を含めた実態、一般の方という三者のコミュニケーションを可能にする「通訳」のような存在を目指している。

2018年10月、U3イノベーションズLLCを創業。

＜主な著書＞

「誤解だらけの電力問題」、「エネルギー産業の2050年 Utility3.0 へのゲームチェンジ」、「原発は安全か」など。

わが国のエネルギー変革ドライバー「5つのD」

Depopulation
人口減少・過疎化

- 2050年までに現在の居住区の6割以上で人口が半分以下に
- 送配電線の“赤字路線”化／SS過疎地・LPガス過疎地化
- 投資の費用対効果向上(エネルギーインフラ全体)

Decarbonization
脱炭素化

- わが国の2050年目標: 80%の温室効果ガス削減。
- あらゆる部門で「電源の低炭素化×需要の電化」

Decentralization
分散化

- 分散型技術の低コスト化
- 分散技術の活用に向けた制度改正・イノベーション。
(従来型システム維持コストの低減・高効率化と同時進展)

Digitalization
デジタル化

- AI/IoTの導入拡大／デジタル化の進展
- 成果提供型のビジネスモデルへの転換／規制緩和

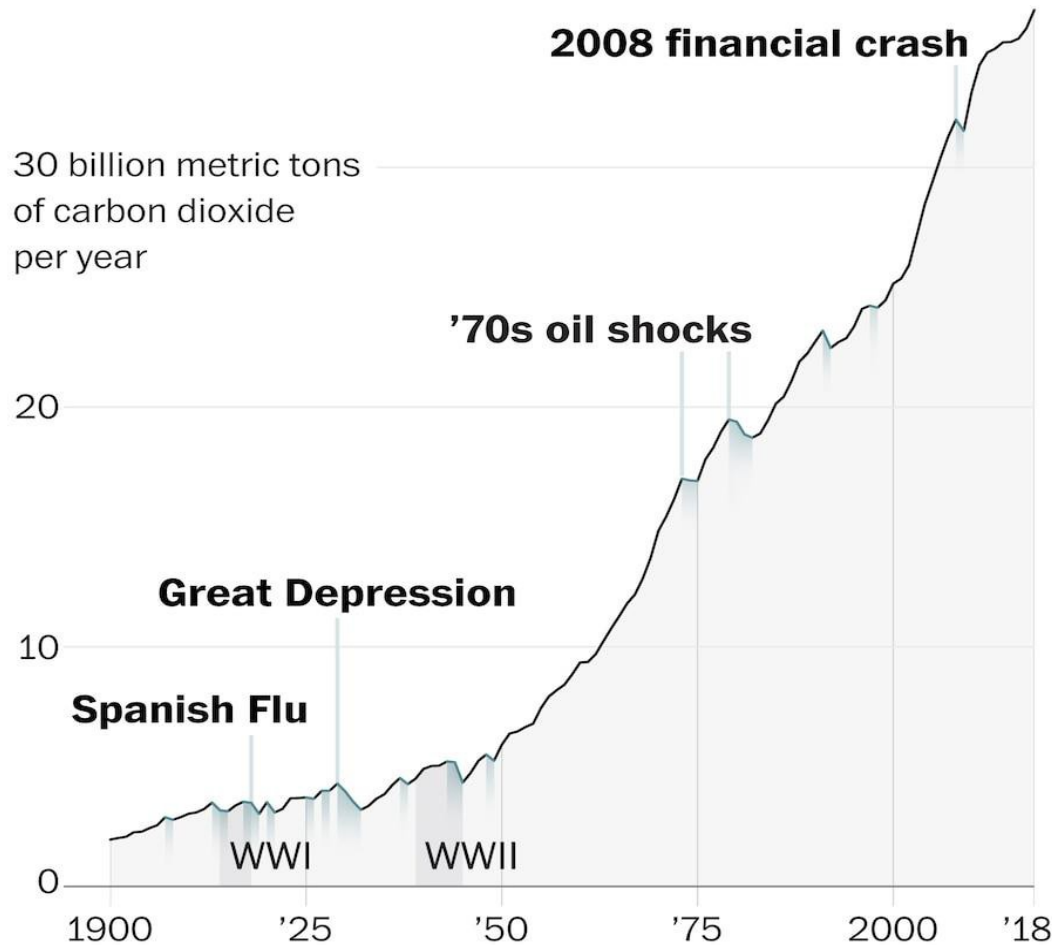
Deregulation
制度改革

- 発電と小売事業には、市場原理導入。
- 低炭素・安定供給確保に向け、“システム改革の修正”

エネルギー変革は社会変革。
産業間の融合／投資の選択と集中／適切な制度設計が必要。

気候変動問題はなぜ解決が難しいのか？

Global crises have spurred the largest emissions drops



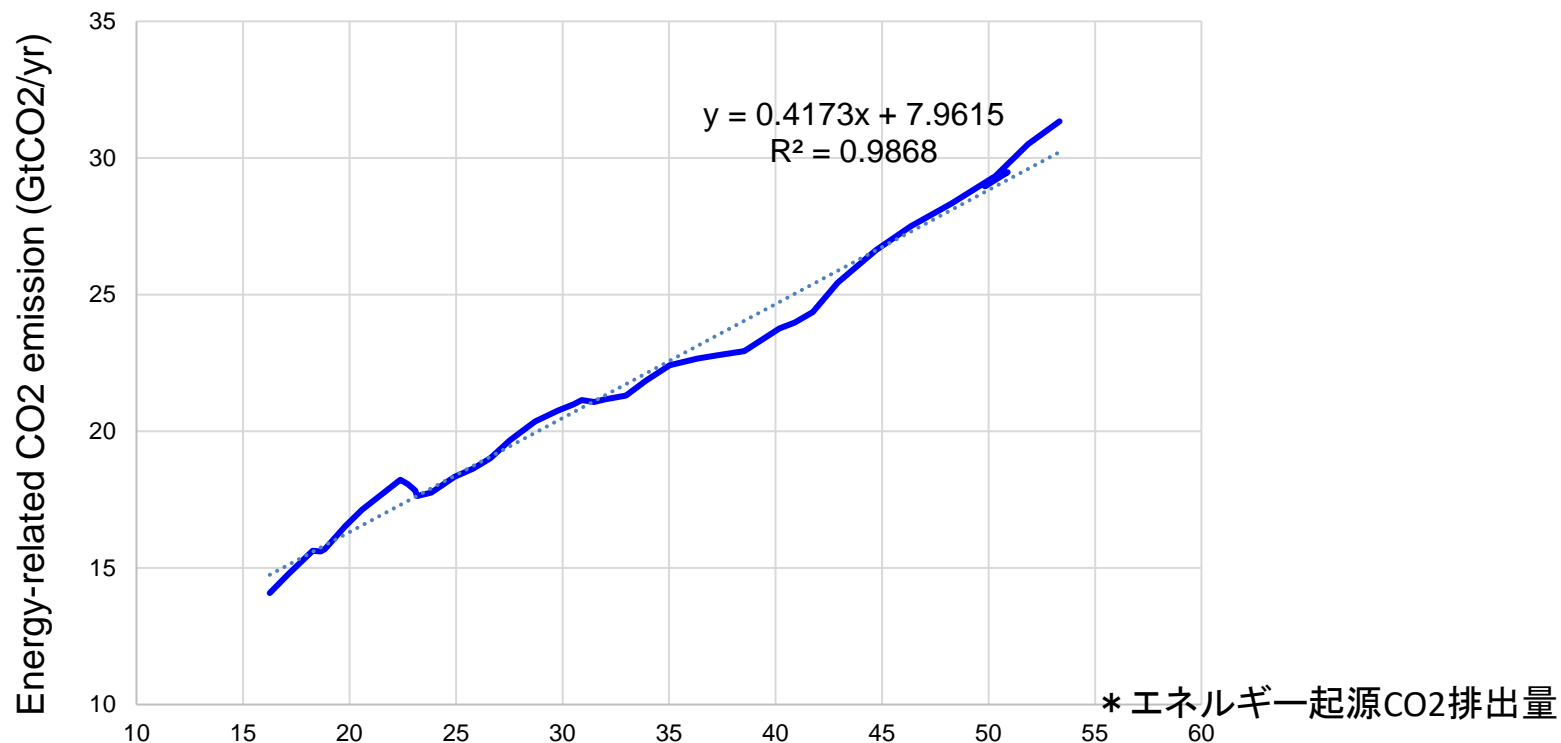
Source: Global Carbon Project

- 石油危機や、リーマンショックなどの経済危機において、一時的に排出が落ち込むことはあっても、基本的に人類の歴史は、エネルギーを消費し、CO2排出を増やしてきた。
- これを今世紀後半に（あと30～80年以内）実質ゼロにすることが目標。
- しかし、各国がパリ協定の下に提出した目標がすべて達成されたとしてもパリ協定が掲げる2°C目標のパスには不足。

気候変動問題は経済問題である

- GDPとCO2排出量には強い相関関係がある。
- 気候変動問題は環境問題ではなく、エネルギー問題。すなわち、経済問題である。
- 各国とも経済成長への制約を置くことは避けたい&できない。

World

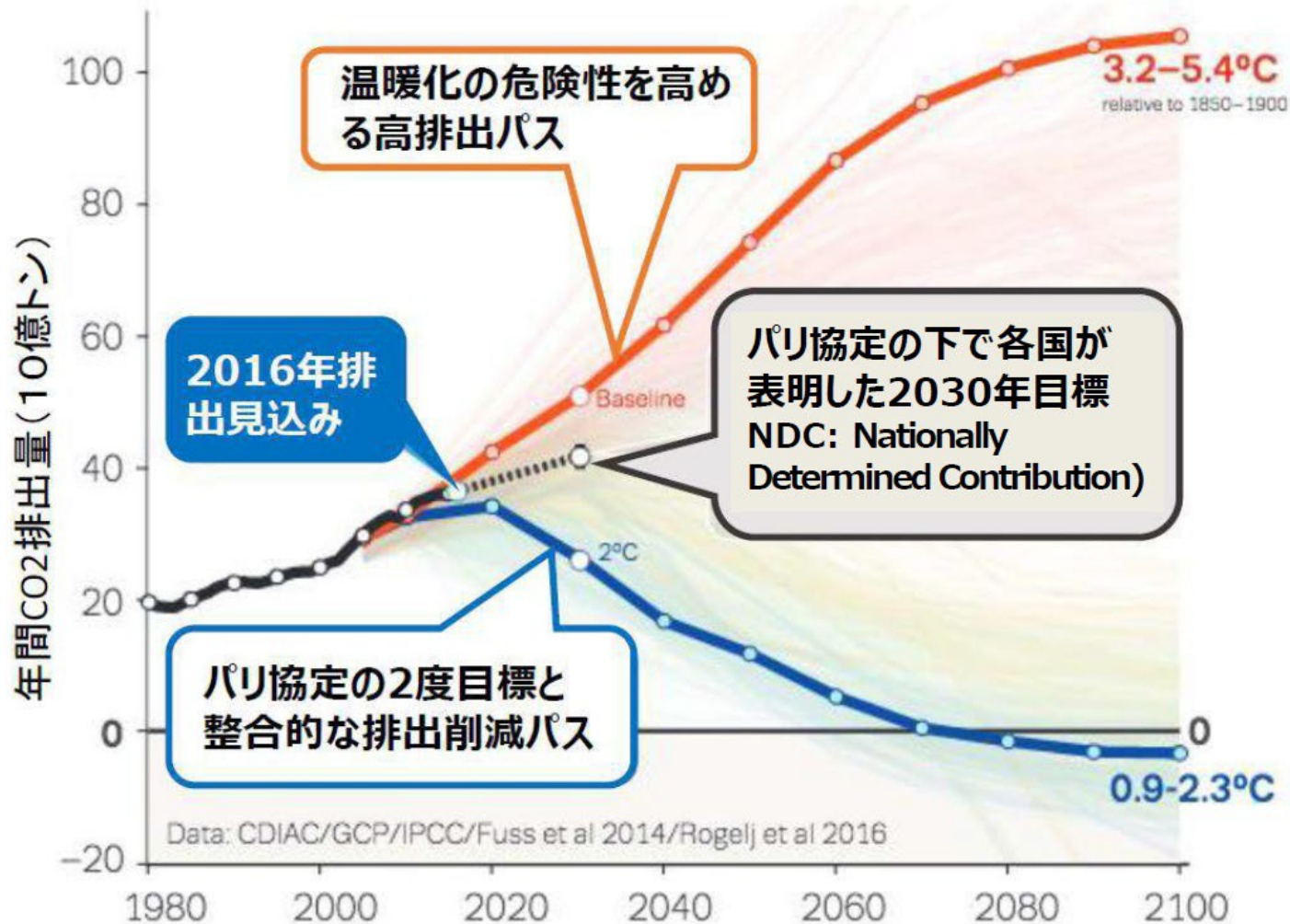


GDP (MER) (trillion US2005 \$)

IEA統計 GDP :Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries: 2014 Edition
CO2 :CO2 Emissions from Fuel Combustion: 2013 Edition

達成が危ぶまれる2°C目標

- パリ協定で各国が提出した目標が達成されたとしても、2°C目標達成には不十分とされる。



気候変動を巡る国際動向（欧州・中国）

- パリ協定の長期目標と現実の乖離が明らかになり、目標引き上げの圧力。

欧州

- 2019年12月「欧州グリーンディール計画」を発表（現体制の旗艦政策）。気候変動対策に今後10年で少なくとも1兆ユーロ（約120兆円）の資金投入を表明。加えて、コロナからの「グリーンリカバリー」を掲げた。
- 「復興基金」に関する欧州理事会の合意（2020年7月）
 - MFF2021-2027：総額1兆743億ユーロ（EU独自財源）
 - 復興基金（2021年から3か年）：総額7500億€（市場から資金を調達）。
 - * 復興基金の内訳は、補助金3900億€、融資3600億€
 - * ともに「少なくとも30%」を気候変動に配分。
- 2030年目標は1990年比55%に引き上げ（関連法案を2021年6月までに提案する見通し）

<フォン・デア・ライエン欧州委員長の政策方針>

- WTOルールと整合的な国境調整炭素税（Carbon Border Tax）の導入
- 公正な移行基金（Just Transition Fund）の創設
- グリーンファイナンス戦略と持続可能な欧州投資計画の策定
- 欧州投資銀行の改組による欧州気候銀行の創設
- 2030年までのGHG排出削減目標を50%から55%へ引き上げ
- 2050年カーボンニュートラル
- 資源の再利用を促進する新しい循環経済行動計画の実施

中国

- 中国は、2020年9月23日国連総会で習近平国家主席が、「2060年の炭素中立を目指す（2030年以前のピークアウトは継続）」と表明。
 - ← ● コロナやチベット・香港問題等で傷んだイメージ回復
 - EUが検討を進める国境調整措置に対する対抗カード（?）

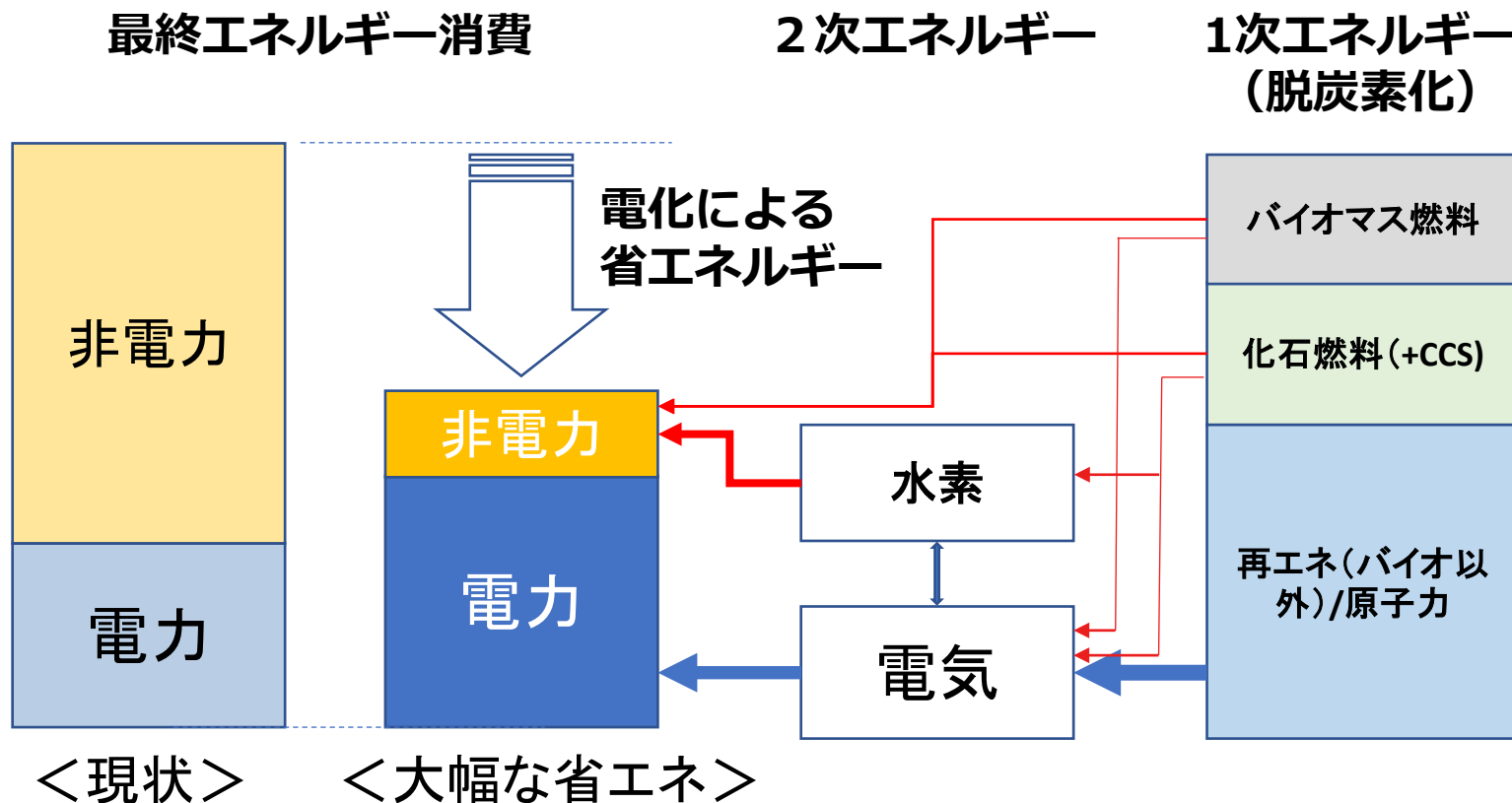
気候変動を巡る国際動向（米国）

- パリ協定への復帰、2050年のクリーンエネルギー100%とネットゼロを掲げる
- 2020年7月に公表した“インフラ・クリーンエネルギー計画”では、気候変動対策による①景気回復、②インフラ再建、③雇用改善、④温室効果ガスの排出削減を掲げ、政権1期目で2兆ドルの投資を表明。
- 最高裁判事の保守化や新規立法に必要な上院の票数など、実現には課題も。

自動車	<ul style="list-style-type: none">● EVステーションを50万か所整備● ゼロエミッション車（米国製）への買い替え支援● 関連産業で100万人の新規雇用創出
公共交通	<ul style="list-style-type: none">● 人口10万人以上の全都市にゼロ排出公共交通提供
電力	<ul style="list-style-type: none">● 2035年までに全発電をゼロ排出とする基準策定● 蓄電・送電インフラへの投資（米国製・米国労働者）● 太陽光・風力の大量導入と、労働者安全等を確保する形での原子力・水力活用
建物・住宅	<ul style="list-style-type: none">● 建物400万件、住宅200万件の改修で100万人の新規雇用● 2030年までに全ての新設商用ビルをゼロ排出化（新規立法）
技術革新	<ul style="list-style-type: none">● リチウムイオン電池／再エネ水素
農業・自然保護	<ul style="list-style-type: none">● スマート農業● 資源開発の悪影響を受けた地域の除染・再生で25万人の新規雇用。

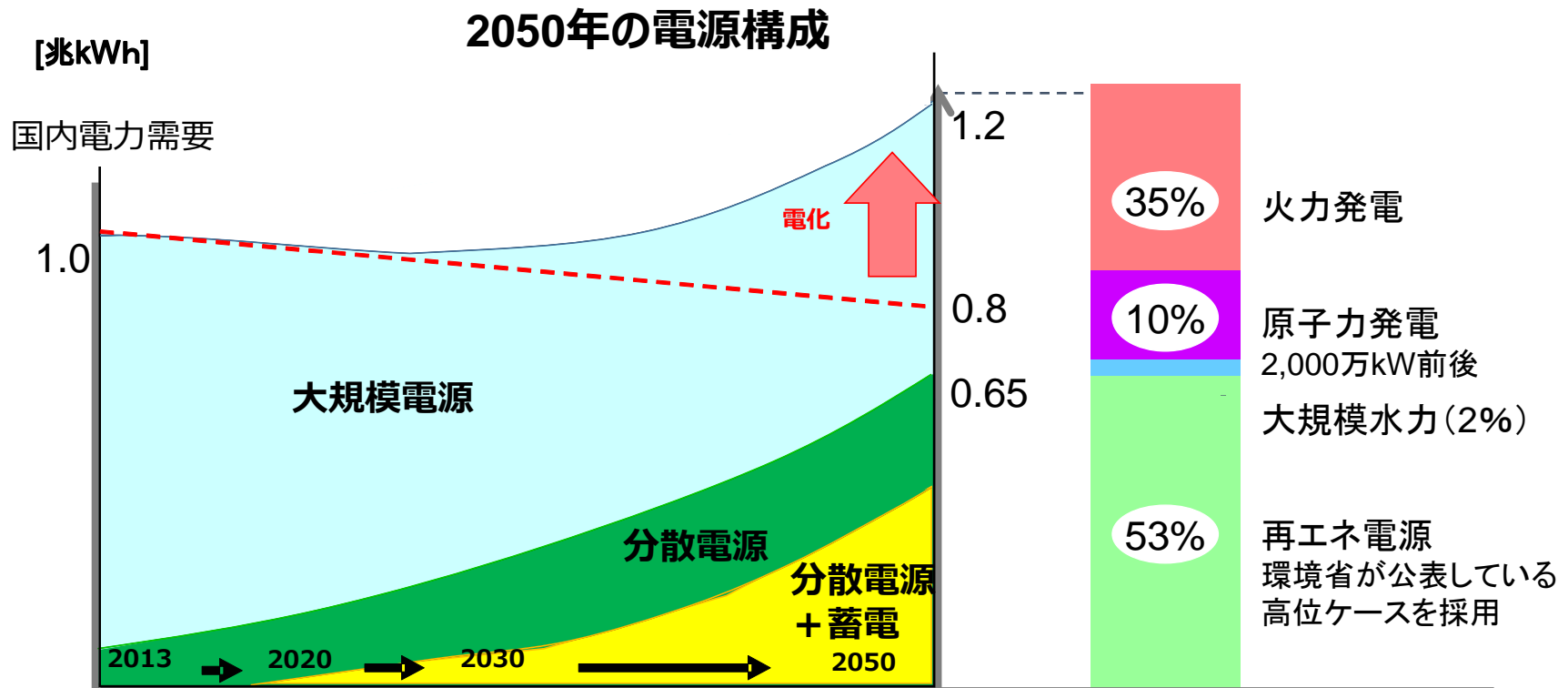
大幅な脱炭素化には「電化×電源の低炭素化」

- 大幅な脱炭素への技術的選択肢はそれほどない。
- 有効なのは「電源の低炭素化」×「需要の電化」の掛け算
- 現状、電力に様々な制約を課し、電化を阻害している。



2050年の電力需要と電源構成

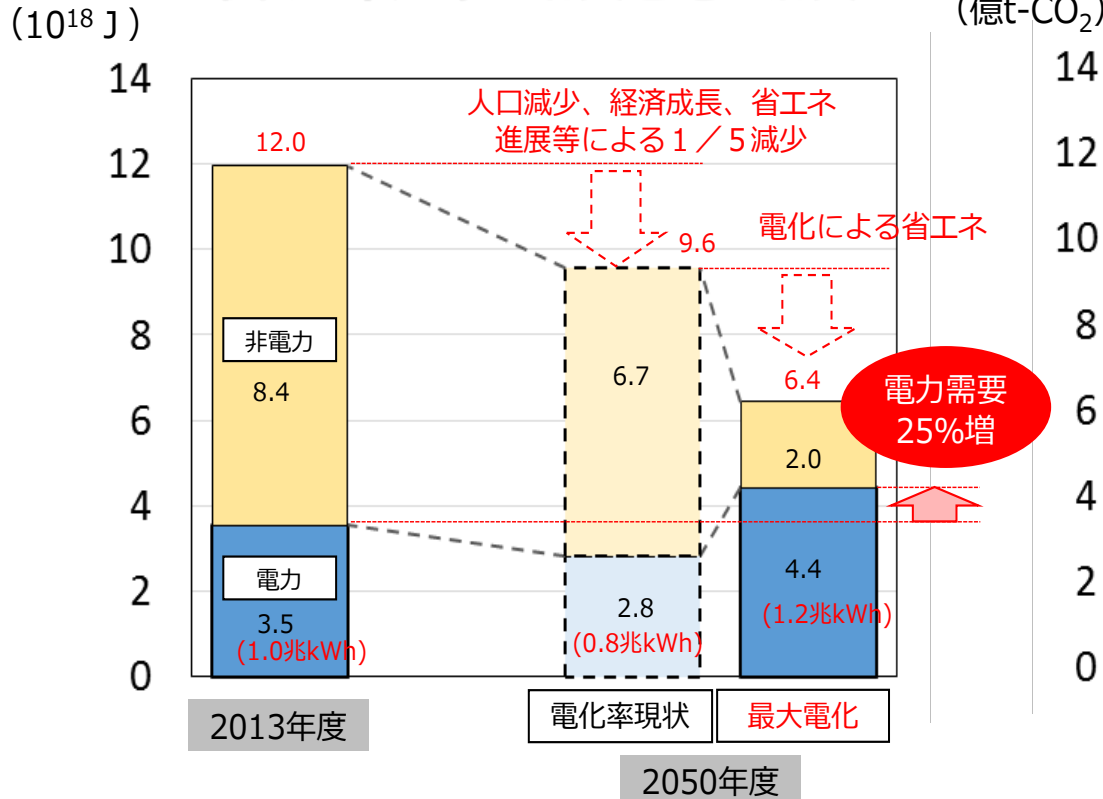
- 国内電力需要は減少要因（人口減少、経済停滞、省エネの進展等）に任せると、赤の点線のように減少する見通し。
- 一方、増加要因（低炭素化に向けた電化の進展、デジタル化等）を加味すると、2050年には13年比20%増と試算。（グリーン成長戦略では電力需要を30~50%増と想定）
- 下図右のような電源構成で賄うと、**CO2排出量は72%削減**（2013年比）となる。最大限の再エネ導入、原子力維持が必要。



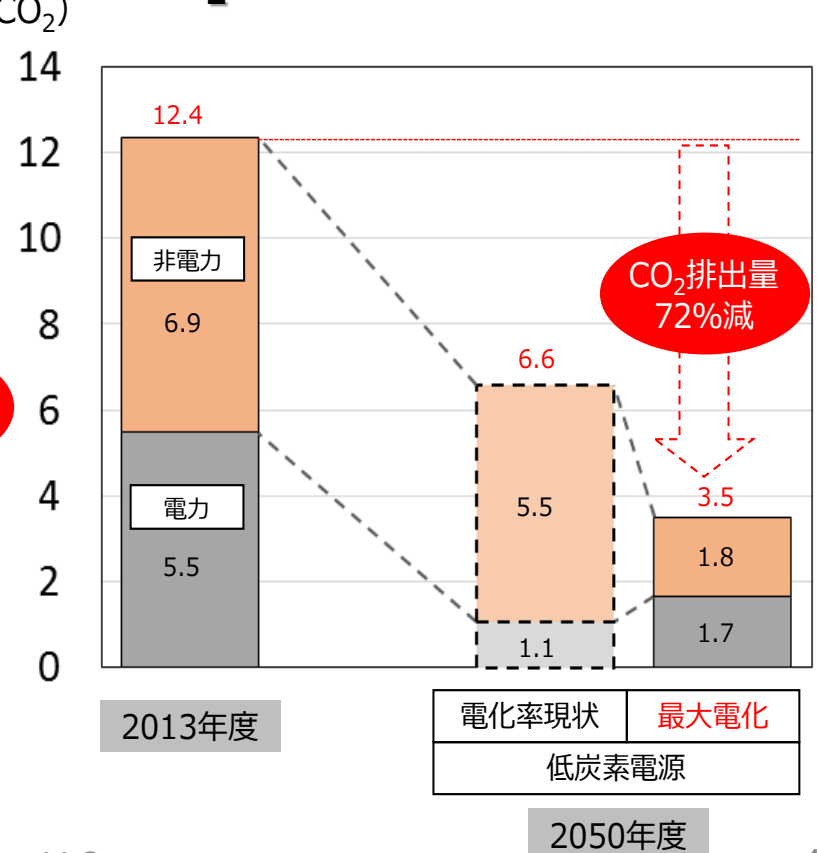
最終エネルギー消費と電力消費の将来見通し

- 人口減少、省エネ進展等で最終エネルギー消費は20%程度削減。
- 業務・家庭部門の100%電化、自動車の完全電動化等徹底した電化を見込むと、最終エネルギー消費約5割減、電力需要は約25%増。
- この電力需要(2050年時点で約1.3兆kWh)を前頁に記載の電源構成で賄うと、2013年度比CO2削減72%を達成することができる。

<最終エネルギー消費と電力消費>

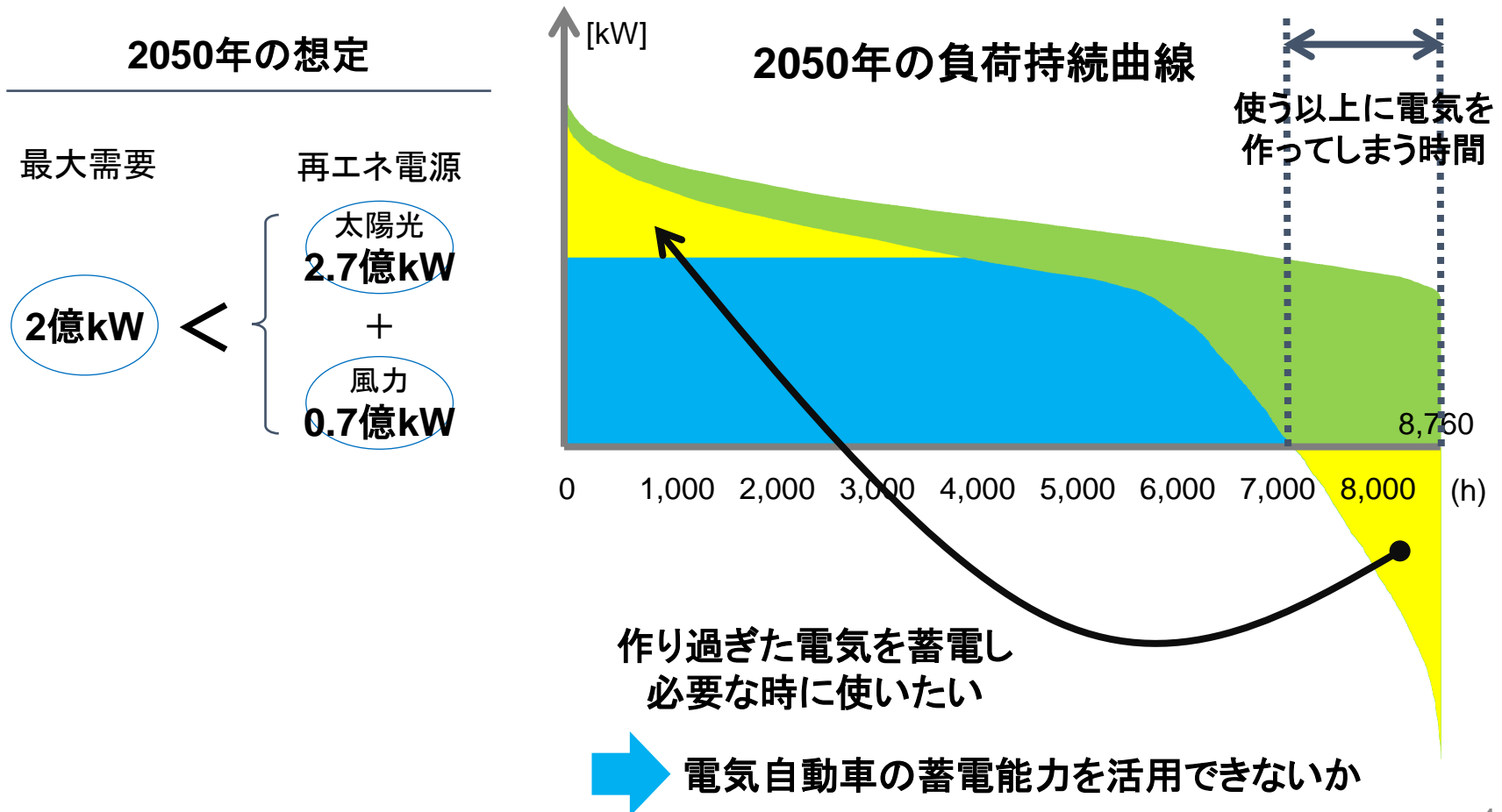


<CO₂排出量 (エネルギー起源)>



再エネの普及に向けては調整力確保も必要

太陽光・風力が「必要とされる以上に発電してしまう時間帯」が多くでる安定供給維持には①再エネの発電を抑制、②どこかに流す、③貯める蓄電技術が進歩し、安価で貯められることが必要。



2050年に向けたグリーンイノベーション戦略

- 2020年12月、政府はグリーンイノベーション推進戦略を策定。14の重要分野を上げ、それぞれの分野の課題や見通しを整理。



政府のイノベーション戦略の課題

<グリーンイノベーション戦略>

- 2020年12月に公表。2050年の社会実装に向けて検討を加速するため、14の重点分野を抽出。
- 各分野の実行計画(含む;導入量やコスト目標)を策定。

<CNに向けた革新的な技術開発に対する継続的支援基金事業>

- NEDOに2兆円の基金を創設。10年間継続した支援を実施。

イノベーション戦略の課題

1. インベンションに偏っている

- 2050年までの社会実装を考えれば、invention(発明)レベルではなく、コスト低減や利便性向上等によるビジネスモデルのinnovation(改善)が必要。
- 太陽光発電や軽水炉技術という成熟した技術のinnovationを議論すべき。

2. 需要サイドの技術が薄い

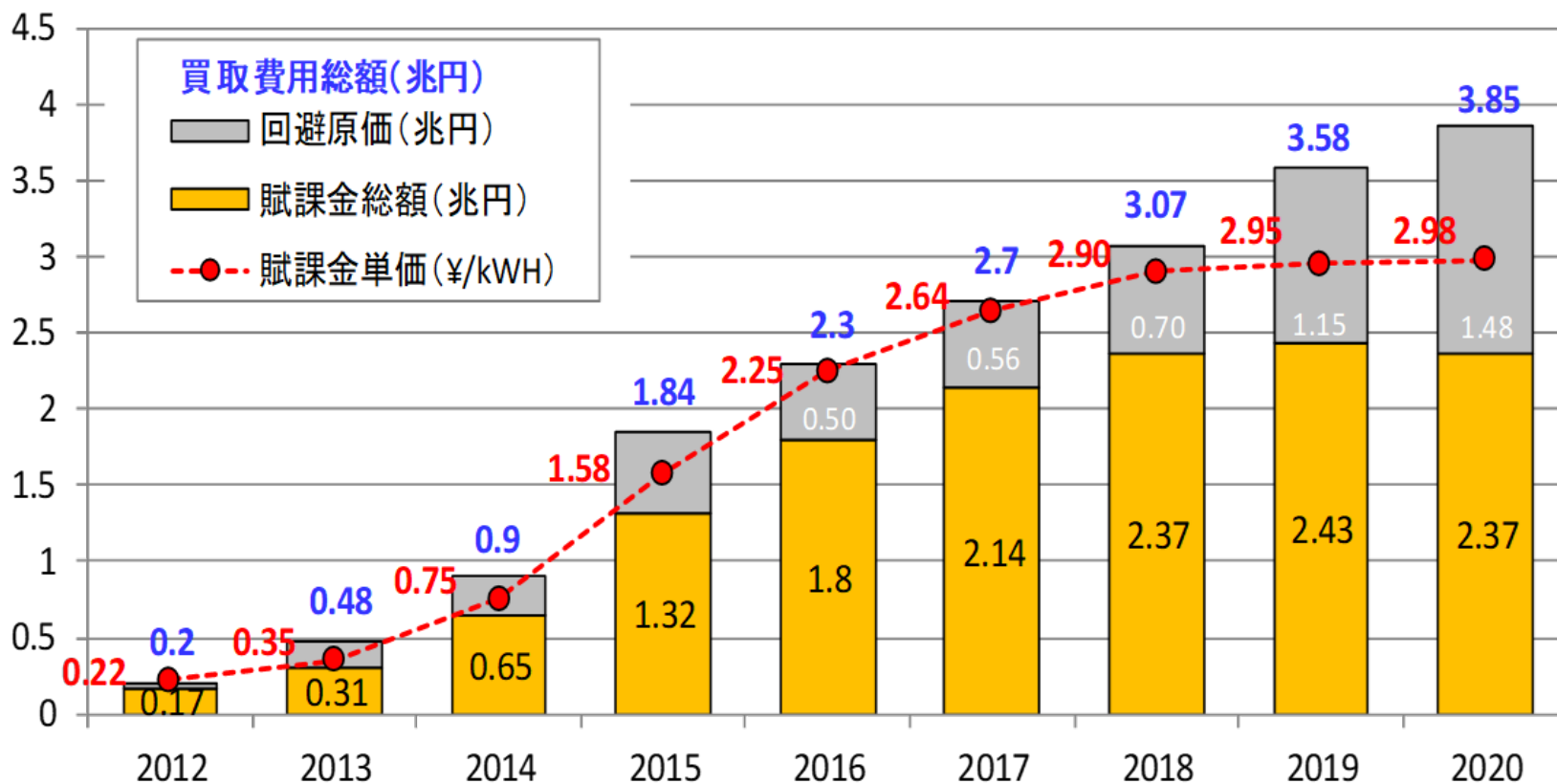
- 需要側の電化と供給側の低炭素化が車の両輪。産業用のヒートポンプ技術開発・普及/水素による化石燃料代替などの技術開発を進める必要。

3. 新たなR&Dプロセスの構築

- エネルギー特別会計を起点とした中央集権的R&Dプロセスに代わる、分散型・多様なR&Dプロセスの構築。2兆円基金の有効活用。

再エネ普及に向けた課題－賦課金の増大

- 制度の開始後、買取費用は既に約3.6兆円（賦課金は約2.4兆円）。コスト効率的な導入が必須。累積総額では50兆円をはるかに超えるとの試算もあり。
- 当初想定では「制度開始後10年目で標準家庭の負担額は約150～200円/月程度」と説明。



2°C目標達成に向けた必要コスト

- 目標達成に向けたコスト負担(炭素価格)は莫大なものと想定。
- 1.5°C目標達成に必要な具体的コスト予想はIPCCの報告書にも無い。

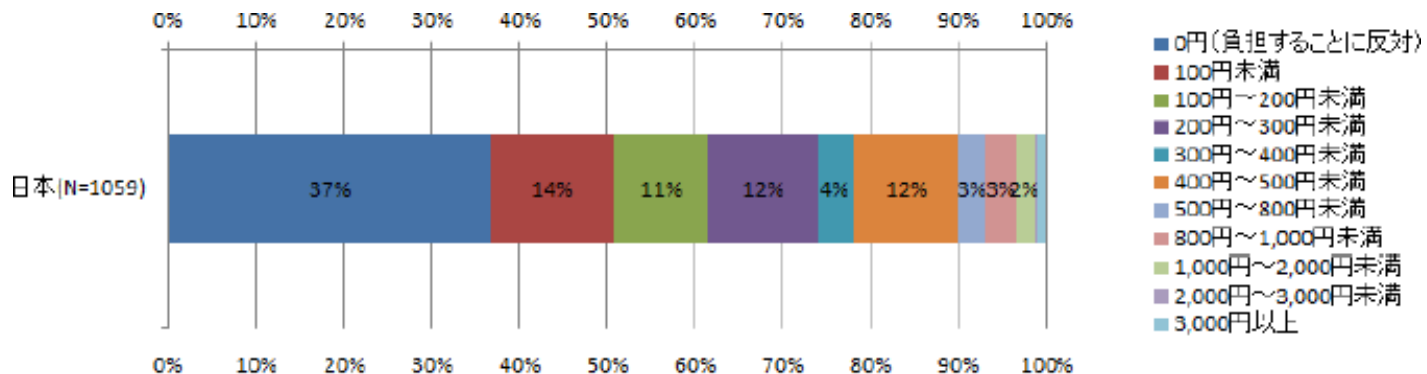
● IPCCの想定

2°C目標達成には、世界統一の炭素価格を2020年時点で50-80ドル/t-CO₂、2030年時点で80-100ドル/t-CO₂ (2050年:100~300ドル,2100年:1000~3000ドル)が必要。

● High Level Commission on Carbon Prices の想定

パリ協定と統合的な明示的炭素価格の水準として最低でも2020年までに40-80ドル/t-CO₂,2030年までに50-100ドル/t-CO₂を推奨。

しかし消費者のコスト負担意欲は高くない。(仮想の財布の口は緩いが・・・)
環境省が実施した日独英の消費者1000人調査では、各国とも、**再エネ賦課金負担の許容0円が最も多い(日:37%、英:48%、独:28%)**



日本・英国・ドイツの消費者の 再生可能エネルギーに対する意識やエネルギー消費実態等に関するアンケート 集計結果

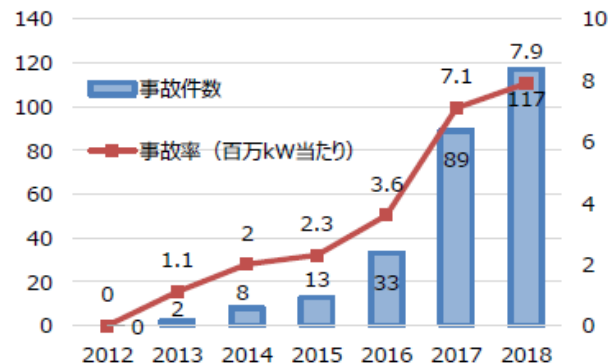
太陽光発電の普及に向けた課題

- 太陽光は急速に普及拡大したが、持続的な新設投資、老朽化した既設への再投資確保など、導入量拡大を維持するには課題が多い。
- 太陽光発電の運営に必要な人的資源を質的・量的に確保する必要。太陽光バブル後遺症に備えつつ、地域電源としての価値を高める制度・技術を実装する。
- 2030年代後半以降、年間80万トン発生するという廃棄パネル問題の解決も必要。

＜太陽電池発電設備の事故件数の推移＞

※小出力発電設備は除く

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
事故件数	0	2	8	13	33	89	117
事故率 (百万kW当たり)	0.0	1.1	2.0	2.3	3.6	7.1	7.9
設備量 (1,000kW)	202	1,892	4,005	5,536	9,180	12,514	14,810



(出典) 電気保安統計年報 (2018年度)

なお、2016年度以降、事故報告の対象範囲を広げている。

出典: 産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会



洋上風力発電普及に向けた課題

- 再エネのなかでも柱のひとつに位置づけられている(2030年10GW、2040年30~45GW@グリーンイノベーション戦略)
- しかし、日本は遠浅の海域がほとんどなく、着床式の設置エリアが非常に狭い。
- 平均風速の違いから、設備利用率が低い。特に夏場の電力需要が高い時期に発電量が低下(6~9月の月間設備利用率は約20%)
- 既に台湾でも約8円/kWhを実現しているが、日本は36円→29円/kWhで激震。

欧州、日本、台湾の仮想立地点の月間平均設備利用率

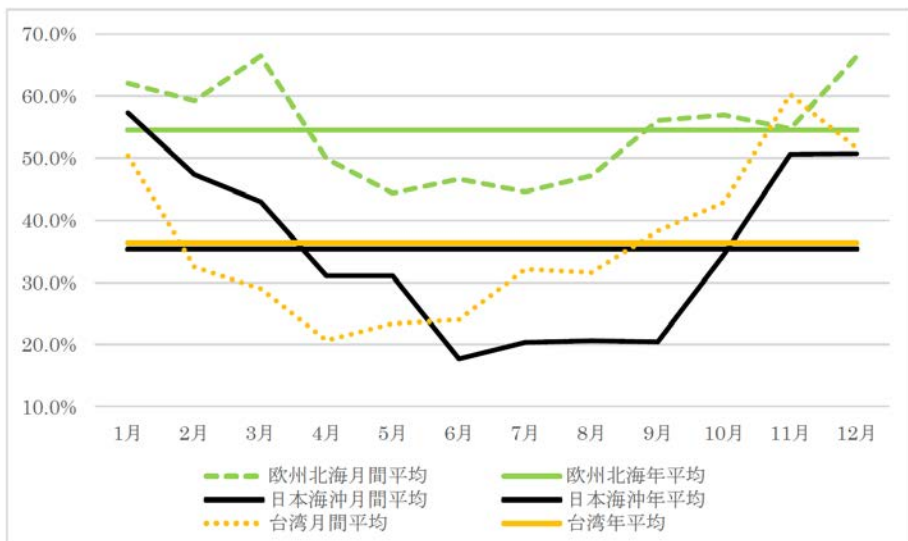
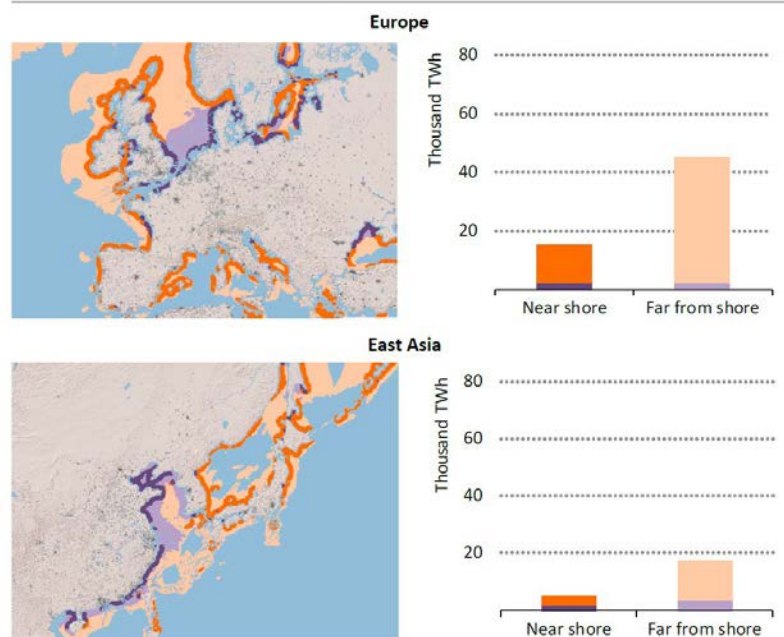


Figure 27 ▶ Regional technical potentials for offshore wind



もう一つの低炭素電源「原子力」とどう向き合うか

- 世界全体では、現在も原子力は水力に次いで第2位の低炭素電源。
- 最も安価な温暖化対策は、既存原子力の運転期間延長。
- 新規規制基準への審査対応に数年単位の時間を要し、「電力11社が見込む安全対策費の合計は少なくとも約5兆2376億円に」(朝日新聞2020年8月9日)

日本の原子力を取り巻く3つの不透明性

①政治的不透明性

- ・ オイルショックの記憶の風化／福島原発事故の鮮明な記憶
- ・ 地元合意の在り方（再稼働への合意が首長選挙の争点？）
- ・ 責任者不在の体制（原子力長期計画の廃止、原子力防災）

②政策的な不透明性

a) 電力システム改革政策

- ・ 原子力の投資回収確保策の廃止（総括原価/地域独占）

b) 核燃料サイクル政策（特にバックエンド）

- ・ 尤度の無い政策の行き詰まり（技術・政策両面）

③規制の不透明性・訴訟リスク

- ・ 予見性の乏しい規制活動／効率性無き安全行政
- ・ 運転差し止め訴訟の頻発

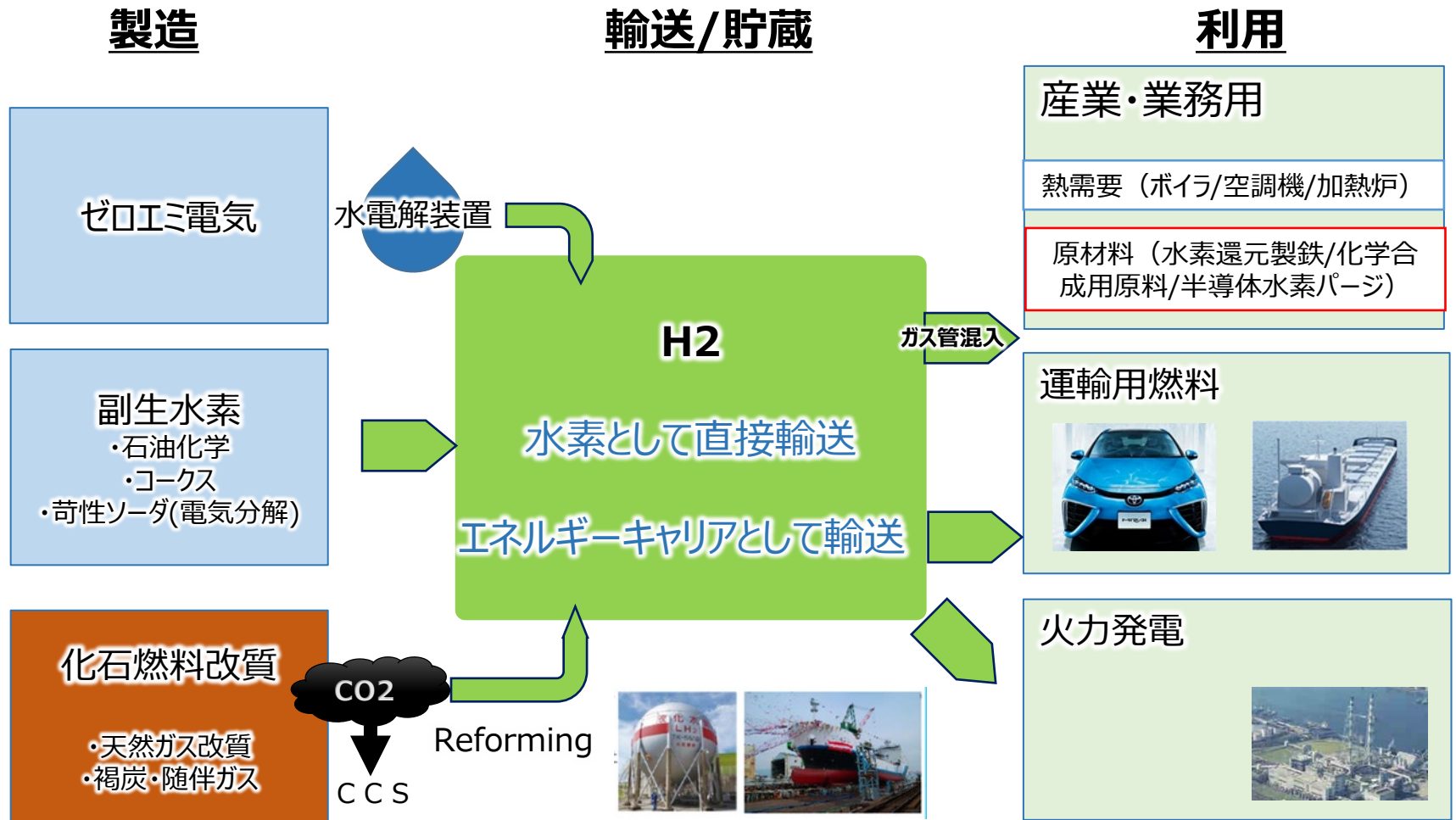
わが国の原子力発電を巡る課題

改めて、原子力が国民に提供する「価値」を問い直し、その価値を高めていく努力が求められている。

- 1) 原子力安全規制の合理化・実効化
- 2) 電力自由化によって困難になるファイナンス問題の解決策
- 3) 原子力技術に関する研究・技術開発体制の再構築
- 4) 核燃料サイクル政策 官民の役割分担と費用回収の仕組みの構築
- 5) 地元合意のあり方の見直し(含む最終処分地選定に関する手法)
- 6) 原子力訴訟制度のあり方
- 7) 原子力損害賠償法の改正
官民のリスク分担(無限責任の改正)や一般負担金制度の見直し
事故時のコミュニティ再建策の検討(福島復興の加速化・総括)
- 8) 原子力事業再編の検討(“東電問題”の解決)
- 9) 原子力関連インフラ輸出戦略の検討
- 10) 原子力人材の維持・育成策

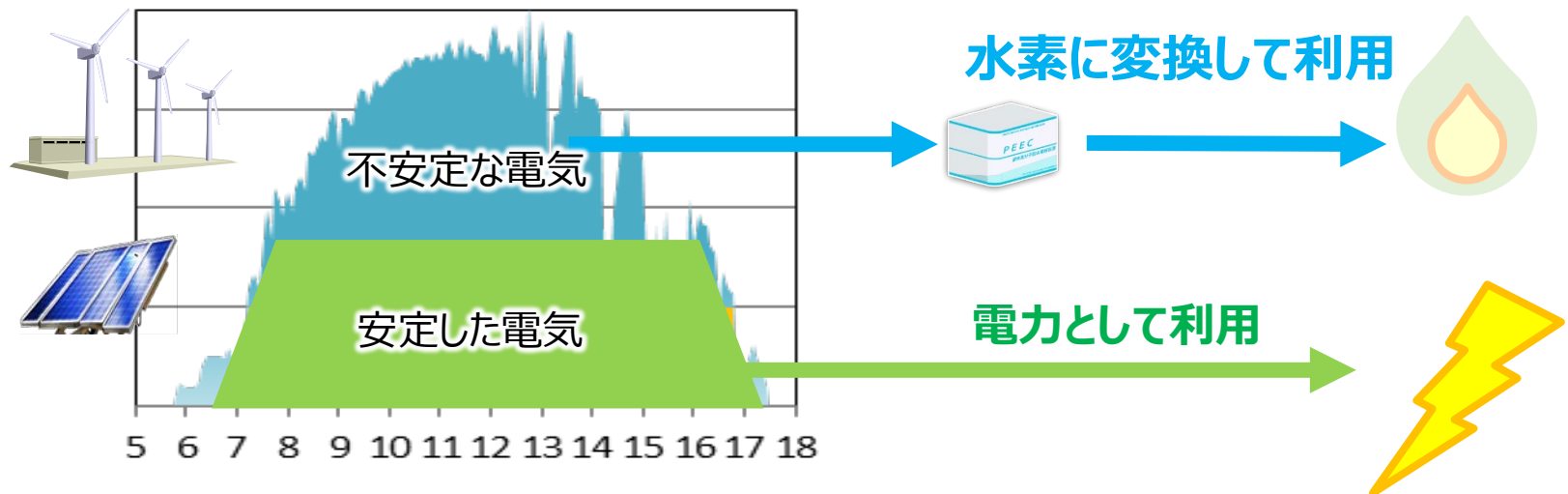
水素サプライチェーン

- 水素は作り方も使い方も多様。まずは大量に水素を消費し、水素のコストを下げることから考えるべき。
- 安価で大量のゼロエミ電気が利用できることが大前提。



余剰再生可能エネルギーによる水素製造

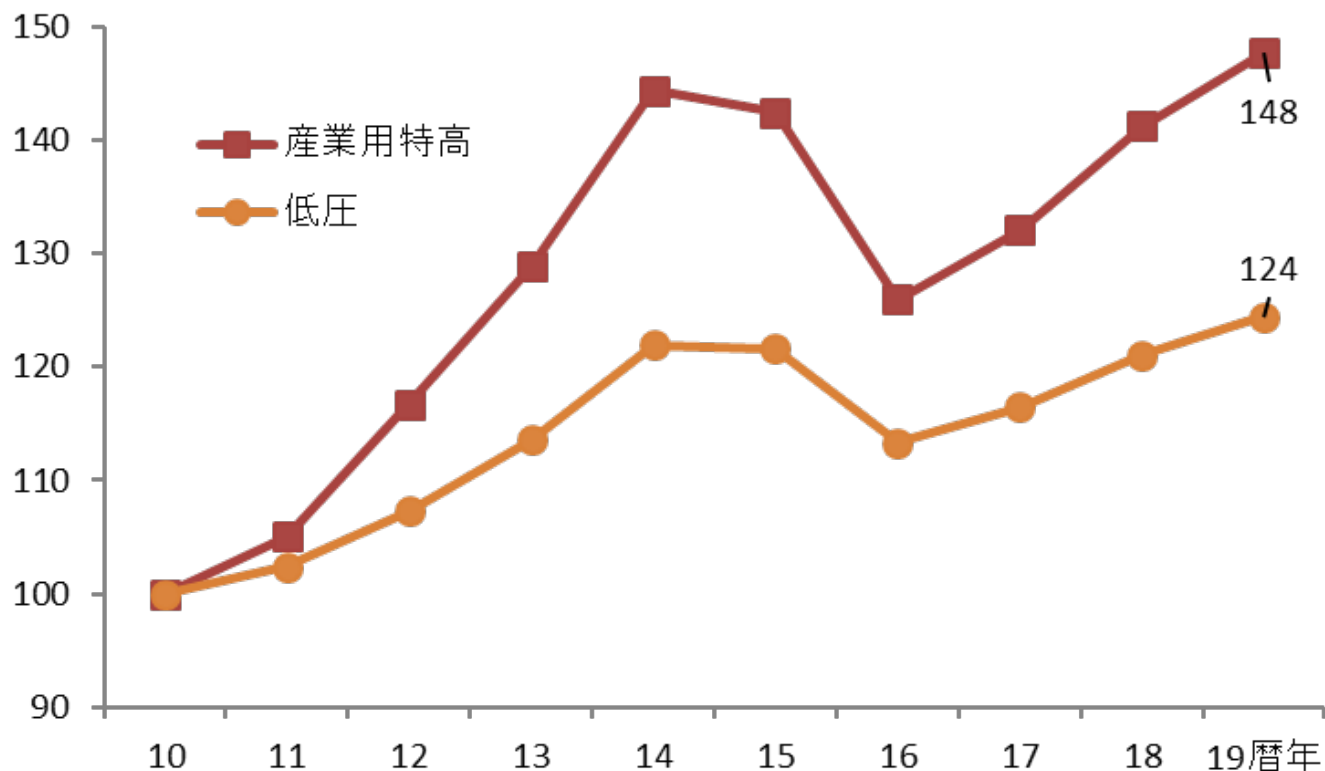
- 再生可能エネルギーの発電のピークの発生頻度は低くまた変動も大きいことから不安定な電力は系統の増強や設備利用率低下をもたらす(悪影響もあり)。
- このような変動を水素製造で吸収する実証も行われている。電気と水素の最適配分などが今後の課題。
- しかし、水素製造の稼働率低下により、水素製造コストが低下しないという課題は残る。



ネックとなるエネルギーコスト

- 「六重苦」(円高、法人税実効税率、労働規制、環境規制、自由貿易協定遅れ、電力問題)は改善してきたが、電力問題は未だ課題あり。
- 震災後、産業用電気料金は大幅に上昇。
値上げの主要因は原子力停止に伴う化石燃料焼き増しとFIT賦課金

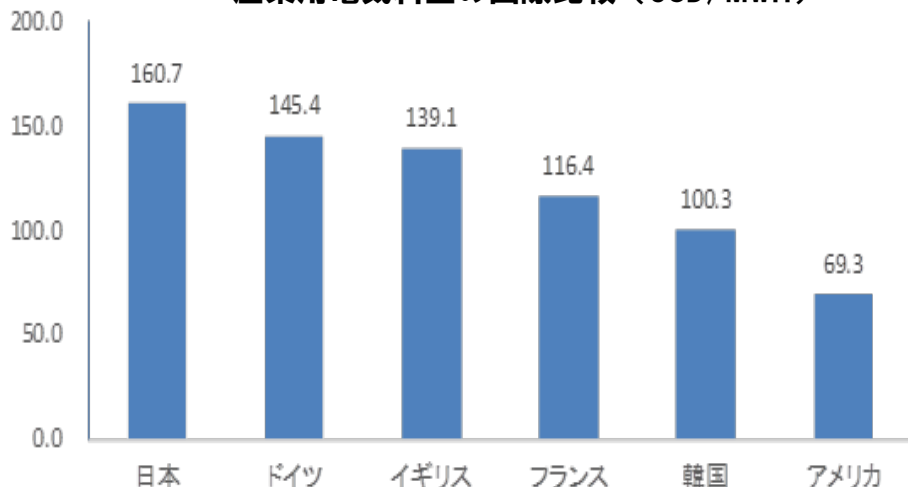
電気料金の推移 (企業物価指数2015年基準)



産業用電気料金と国際競争力

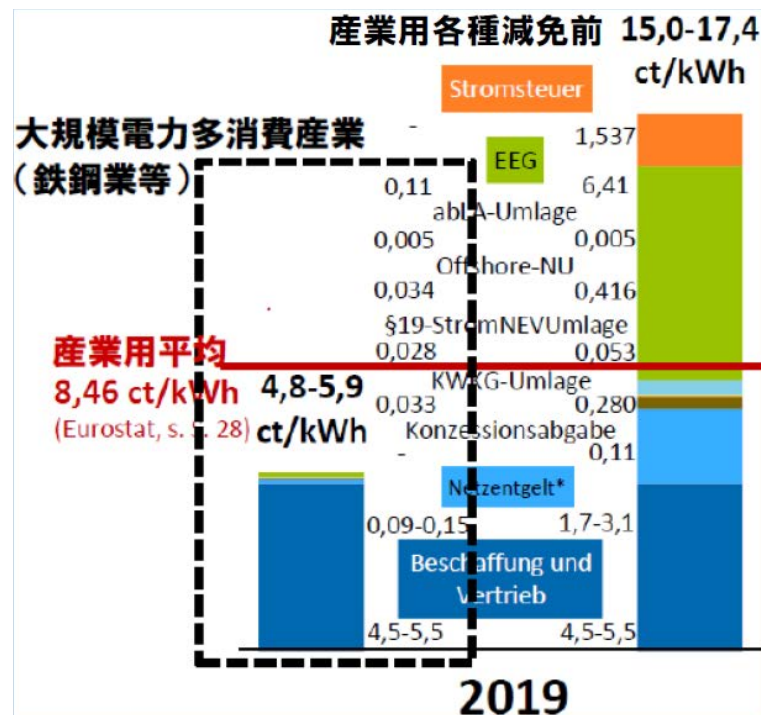
- エネルギーは基本的な生産財。産業競争力に直結する。
- 米国は安価な原油、天然ガス、石炭、電力を手にしており、原料価格・エネルギーコスト両面で優位。
- 独は家庭用電気料金は約40円/kWh、大規模産業は6~7円/kWh。
(公租公課、再エネ賦課金、託送料金などを免除)

産業用電気料金の国際比較 (USD/MWh)



データ出所: IEA, 2019

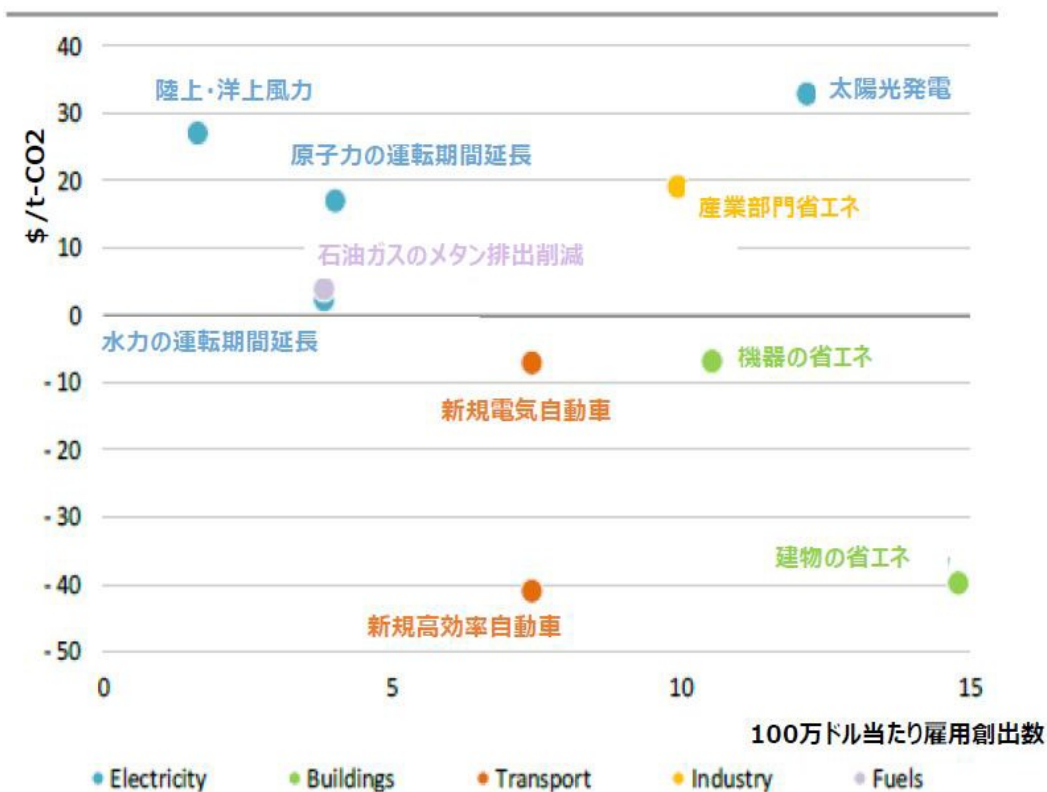
ドイツの産業用電気料金



出所: 日鉄総研

低炭素化に向けた施策と雇用創出効果

- 「環境と経済の両立」には、低炭素化に向けた施策が雇用を創出することが重要。しかし、創出する雇用の想定はあるが、喪失する雇用の想定は困難。
- 雇用創出効果が大きく、かつCO2削減コストがネットマイナスになるのは機器や建物の省エネ施策。



カーボンプライシングの効果と負担

＜カーボンプライシングとは＞

- CO2の排出にコスト負担を求めること。主には税(炭素税・環境税など)と排出枠取引の2つの手法がある。
- 排出枠取引は、適切な排出総量の設定が困難、価格の乱高下(投資シグナルになりづらい)、行政コストの肥大化、ロビーイングの激化といった弊害が指摘される。いずれの手段を採るにしても既存政策との整理や各セクターの国際競争の程度などに配慮が必要。
- 産業空洞化を防ぐためには、国境調整措置など国際的レベルプレイングフィールドの確保が重要。

カーボンプライシング(CP)をめぐる発言

政府

菅義偉首相



CP導入を経産省と環境省が一緒に検討してほしい

梶山弘志経産相



検討しなくてはならず、両省でしっかり対応する

小泉進次郎環境相



政府としての動きとなり、歴史的な一歩だ

経済界

経団連の中西宏明会長



CPを拒否するところから出発すべきではない

日本商工会議所の三村明夫会頭



国際的にみて割高なエネルギーコストで、反対

経済同友会の桜田謙悟代表幹事



CPを社会が受容するか、大きなハードルがある

＜国境調整措置を巡る課題＞

- 「環境の皮をかぶった保護主義」との批判を中国などは強めている。

参照: 気候変動枠組み条約第3条5項

「気候変動に対処するためにとられる措置は、国際貿易における恣意的若しくは不当な差別の手段または偽装した制限となるべきではない」

- 製品製造時のCO2排出を公平に算出・比較するプロセスの複雑さ(暗示的炭素価格負担も含めて)。
- 域内・国内のコスト上昇の経済影響。

大型炭素税に関する一考察

- 税率は、価格効果が期待できる程度の高率(例:1万円/t-CO₂)
- また、消費者の行動変容を促すには、税負担の見える化が必要。
- 税込中立措置により、経済への影響を緩和。例えば、1万円/t-CO₂の炭素税導入に合わせて消費税を5%減税
- 税収は一般会計財源とし、併せて、乱立する温暖化対策補助事業を棚卸・整理。

- 一般論として、カーボンプライスが、すべてのエネルギーについて公平・中立であり、エネルギーを利用するすべての者にとって透明かつ予見性が高いものであれば、市場の選択として、脱炭素化が効率的に進む。
- 税込中立措置を伴い、一般会計財源である炭素税は、海外でも一般的。
- 税込中立措置により、既存の税をピギー税(大型炭素税)に置き換えるので、社会的厚生が改善する。これだけでも実施の価値がある。
- 但し、課題も多い。
 - ① 安定財源たり得るか(脱炭素化が進むと税収減)
 - ② 他の施策との重複
 - * 再エネ政策とETSの重複
 - * Waterbed Effect (全体のキャップが決まっている中で、電力部門の排出量が他の施策によって減っていくと、その分、他の部門の排出が増えることが指摘されている)
 - ③ 国境調整 等の課題。

わが国のエネルギー政策の方向性と課題

- エネルギーの変化のトレンドは“5つのD”。
- 2050年カーボンニュートラルは、成長戦略につなげることを前提に、長期的な視点で取り組むべき。
- 技術“開発”で競争優位を目指す方針だが、雇用や経済成長につながるのは技術“普及”での優位性。
- 2030年のCO2削減目標引き上げの圧力と、本年策定するエネルギー基本計画（長期エネルギー需給見通し）の「理想と現実」をどう埋めるか。
- 肝は2次エネルギー（電気・水素）の活用。再生可能エネルギーと原子力はそれぞれ最大限活用。
- 分散電源の価格破壊と普及・エネルギー間競争に中立な炭素価格・デジタル化は、自立的な電化促進につながる。

それぞれの事業で必要な議論

全体

- エネルギーの全体ビジョン策定(例:電化を阻む制度の撤廃)
- システム改革の検証・修正
- **産業連携と規制緩和**(目指す姿にどう移行するか)／データ活用

発電

- 再生可能エネルギー:コスト低減
 - ・産業としての成熟(“迷惑施設”のイメージ払しょく、地域との調和)
 - ・再投資を活性化する投資環境整備
 - ・プレイヤー(再エネ、アグリゲータ、旧一電)の連携と市場の作りこみ
- 原子力:事業環境整備／規制の合理化・実効化／バックエンド
- 火力:事業不透明性による過少投資／低炭素化対応／技術維持

送配電

- **人口減少・過疎化に対応した効率的な投資**(選択と集中)
- **自然災害に対する強靱化**
- 新技術活用を可能にする規制緩和と託送料金制度再構築

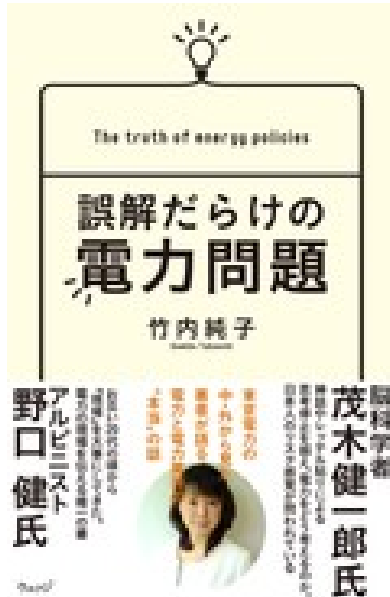
小売り

- 非対称規制の解除／政策料金の既得権化回避(例:農事用)
- 顧客サイドにある価値(分散電源、VPP等)の可視化と活用

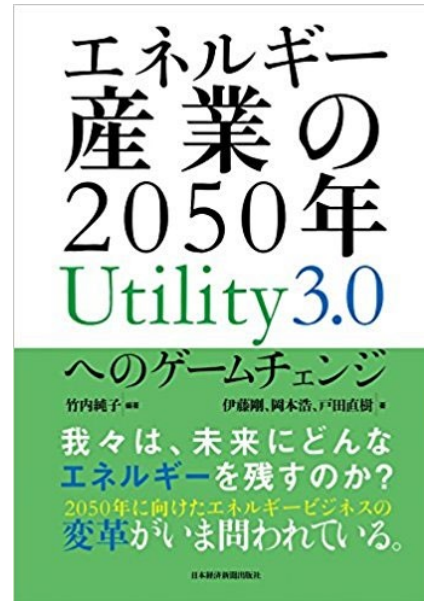
ご清聴ありがとうございました

エネルギーはライフライン(生命線) ビジョンと時間軸を意識した議論を。

「電気の基本」
が知りたい



「エネルギーの未来」
が知りたい



「原子力のリスク」
を考えたい

