



発電業界から見た カーボンニュートラルの期待と現実

2021年9月30日

和歌山大学 経済学部 経済学研究科 客員教授
NPO法人バリューチェーン協議会 理事
垣見 祐二



- ✓ 1952年 静岡県浜松市生まれ
- ✓ 1973年 沼津工業高専工業化学科卒業
- ✓ 1977年 和歌山大学経済学部経済学科卒業
- ✓ 1977～2015年 中部電力 (企画部、資材部、新規事業部長、燃料部長、専務等)
- ✓ 2015～2019年 JERA社長
- ✓ 2019～2021年 中部電力特任アドバイザー
- ✓ 2019年～現在 和歌山大学客員教授、NPO法人バリューチェーン協議会理事

大学講義テーマ	内容
エネルギービジネス	人口、エネルギー、地球環境問題と経済成長
エネルギー市場演習	資源燃料開発、輸送、貯蔵、発電、消費、エネルギー市場とエネルギー産業動向
エネルギーアナリティクス	石油、石炭、天然ガス・LNG市場の形成・発展と燃料トレーディング



- ✓ 日本の電力供給体制は変革の途中にあるが、電力会社等が所有する、稼働率の低い旧式火力発電所の維持が難しくなり、退出が進みつつある。
- ✓ CO2排出量の多い石炭火力の退出が検討される中、JERAはアンモニア活用を通じ、火力発電事業の転換を果たそうとしている。
- ✓ 将来の脱化石燃料としては水素が有力だが、液化や輸送・貯蔵コストからみて、アンモニアの活用が重要であり、開発にあたっては、上流投資等、サプライチェーンへの関与とともに、流動性があり、また、透明性の高い価格形成が可能となるような世界アンモニア市場形成をめざすべき。
- ✓ 日本の2050年のゼロエミッション達成は相当の困難が予想されるが、新興国や発展途上国等の海外諸国の達成はそれ以上に困難。そのため、世界全体のゼロエミ達成が出来ない場合に備えて、気候変動による悪影響に対処するための「適応策」を同時並行で実施すべき。



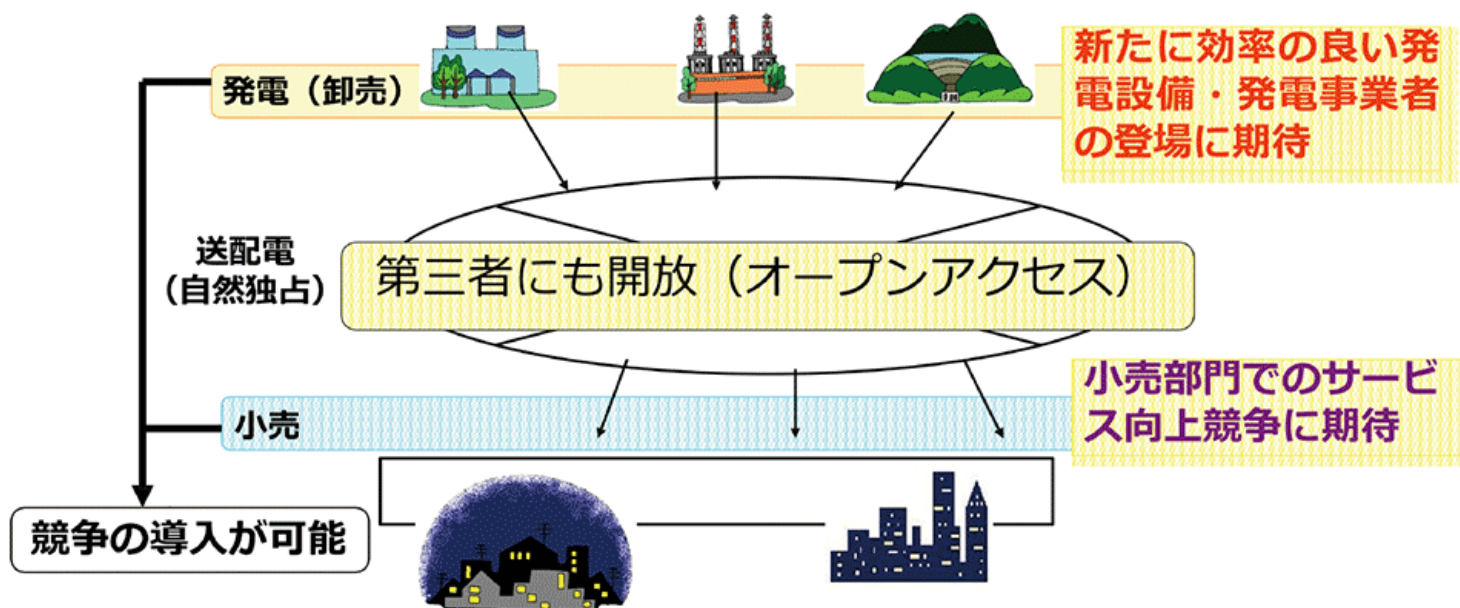
- ✓ 日本の電力供給システムは、長く続いた垂直統合体制から、現在、送電部門の法的分離、および発電部門と小売り部門の自由化による競争市場に移行。
- ✓ 地球環境問題の顕在化から、長く続いた化石燃料による大容量火力中心の発電も、再エネによる分散型および水素利用等による発電の時代へと急速に変わりつつある。

1882年～	2020年～	2050年～
Utility 1.0	Utility 2.0	Utility 3.0
地域独占・規制下にある 垂直統合体制のエネルギー事業	電力会社・ガス会社の 法的分離後のエネルギー事業	将来の社会インフラを担う 新エネルギー事業
〔主なイベント〕 ・エジソンの電気事業の誕生 ・垂直統合体制：旧10電力体制 ・電力／ガスの小売全面自由化開始	〔主なイベント〕 ・自由化の下で発電・小売の競争 ・電力：発送電部門の法的分離 ・ガス：導管部門の法的分離	〔主なイベント〕 ・自由化／人口減少／脱炭素化／ 分散化／デジタル化の進展 ・他事業（運輸）との連携あるいは融合
【火力発電等の大型集中型発電／ 送電網・配電網等の整備】	【各種再エネの主力電源化／蓄電池／ VPP等の整備／電化の普及】	【多彩なサービス／電気自動車（運輸 部門）／パリ協定／SDGs等の実現】
・高い経済成長を支えるためのエネ ルギーインフラ建設	・低い経済成長下でのエネルギーイ ンフラの効率化	・高い柔軟性、効率性を備え、強靱 なエネルギーインフラの構築
・集中型大容量火力発電技術の発展	・小規模分散型の再エネ発電の普及 とLNG火力発電の活用	・蓄電池・水素利用の拡大
・石油・石炭・LNG等の化石燃料の 安定確保	・LNGの安定確保と水素・アンモニ ア製造・輸送・貯蔵技術の発展	・水素・アンモニア等の安定確保

(出所)「日本の電力システム改革と今後の展望」東京PG岡本(2019年1月8日)をもとにThree Zed Consultingで作成

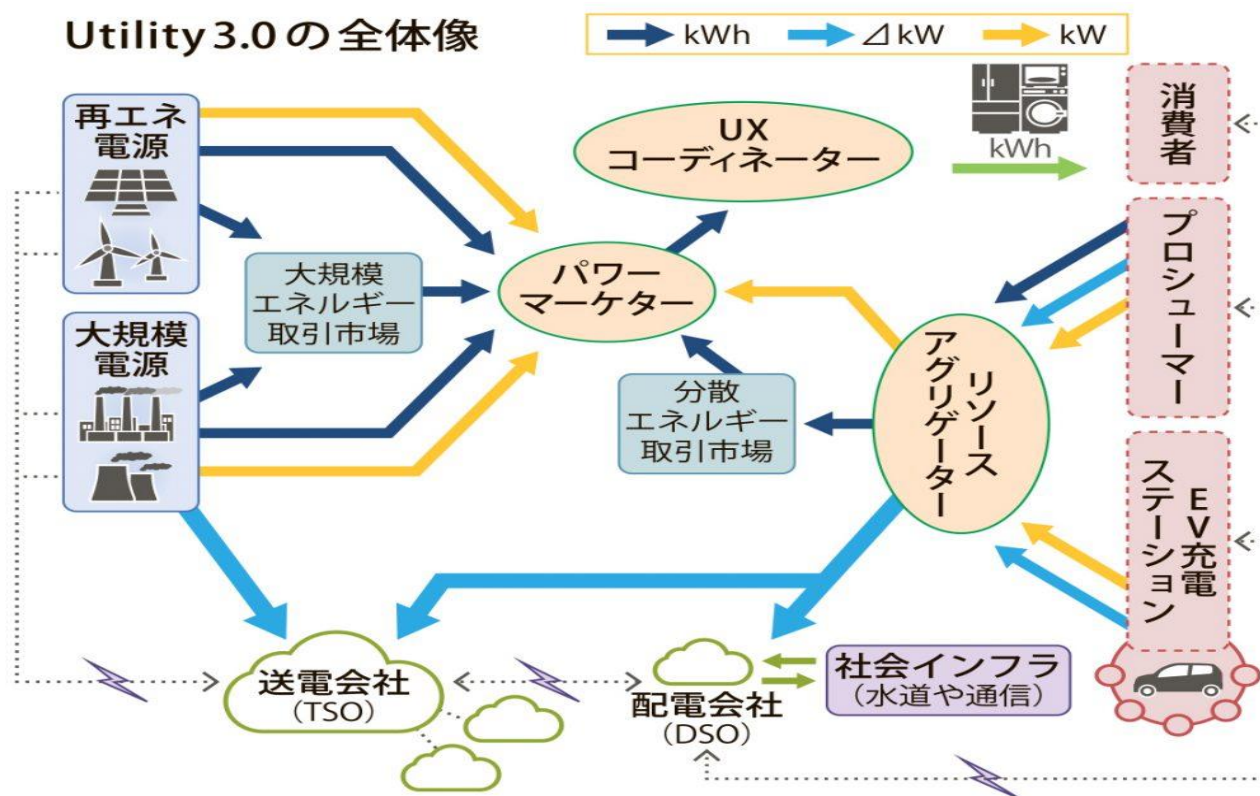


- ✓ 日本では欧米に遅れること20年を経て、2020年からの送電部門分離により、電力供給体制は大きく変貌しつつある。
- ✓ 既存大手電力会社は送配電部門を分離するとともに、自由化された発電市場と小売り市場には、多数の新規事業者が参入。
- ✓ 今後、公平な電力ビジネスの環境が整備されるとともに、再エネの主力電源化が進む。



(出所) 「Utility3.0 脱炭素化に向けたエネルギー産業の将来像」 東京PG岡本浩、2018年5月

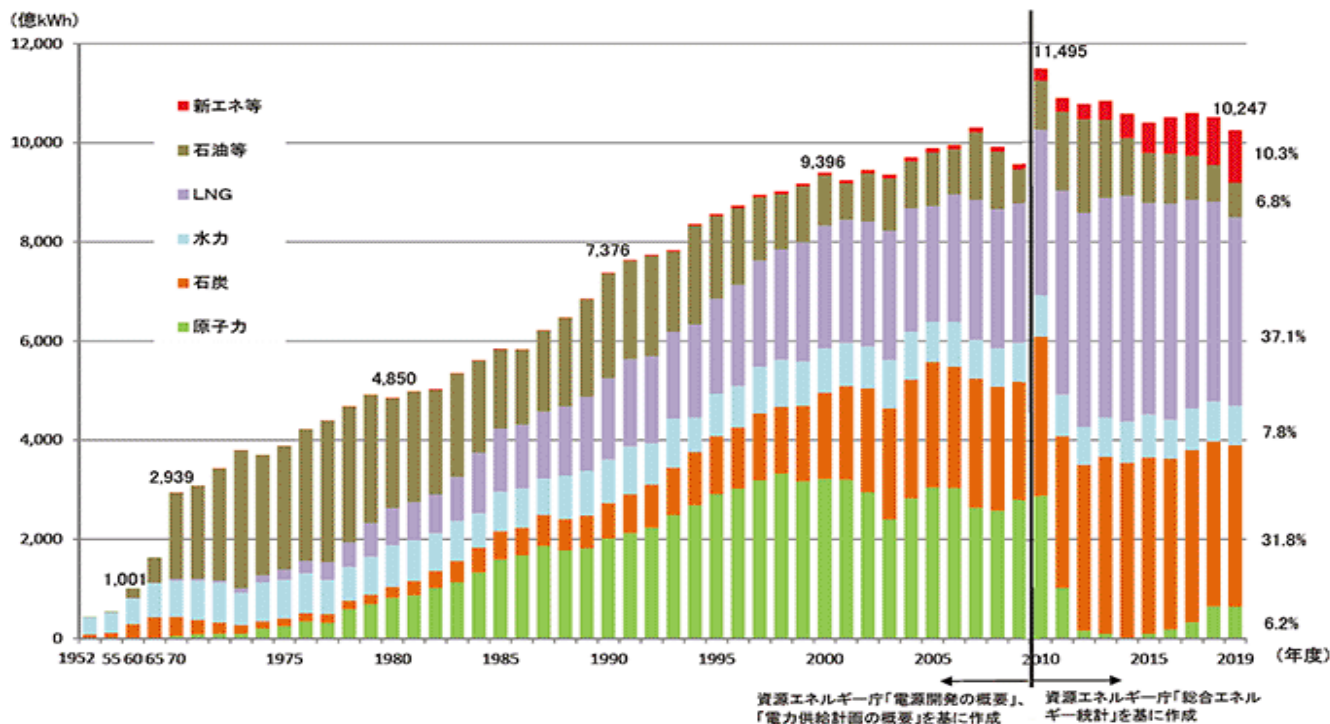
- ✓ 2050年以降の将来電力システムにおいては、発電側では、分散型の再生電源と火力発電などの大規模電源とが併存。
- ✓ 一方、消費側では、消費者、プロシューマー、EV充電ステーションが配置され、発電側と仲介するUXコーディネーター、リソースアグリゲーター等が出現し、連携や融合が進むと考えられている。



(出所)「Utility3.0 脱炭素化に向けたエネルギー産業の将来像」東京PG岡本浩、2018年5月

- ✓ 日本では石油危機以降、石油火力を減らし、原子力、石炭、天然ガス(LNG)による発電を増やしてきた。
- ✓ 東日本大震災以降、原子力が急減し、減少分を主に石炭、天然ガスによる発電でカバーしてきている。
- ✓ 至近の発電実績は、LNG37%、石炭31%であり新エネ(太陽光、風力等)による発電は10%である。

電源別の発電電力量の推移



(出所)「エネルギー白書2021」資源エネルギー庁



日本の発電設備(発電出力)

- ✓ 日本の電気事業者の発電設備は2億69百万kWあり、その内、63%にあたる1億69百万kWが火力発電設備である。
- ✓ 石炭火力は5千万kWで19%、LNG火力は8千2百万kWで30%。
- ✓ JERAの火力発電設備は6千6百万kWで、日本の火力発電設備の約4割を占める。

(2019年末設備、単位：万kW)

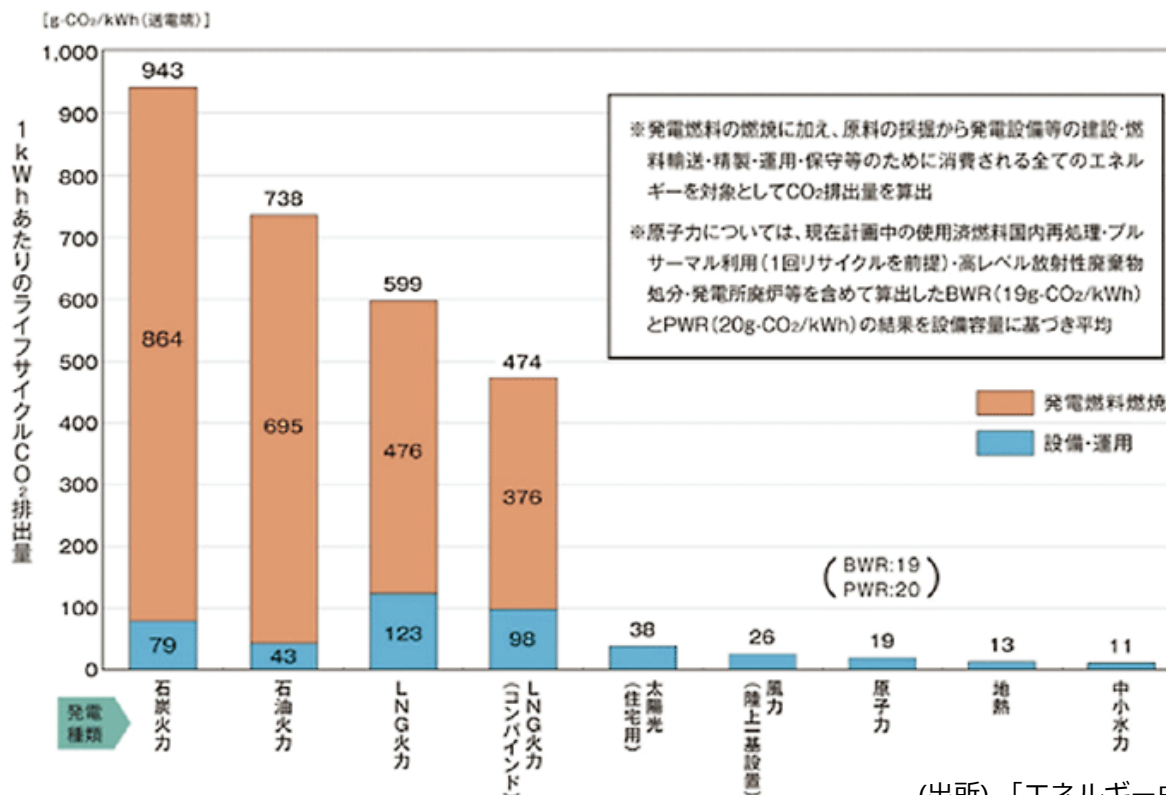
	水力	火力	(石炭)	(LNG)	(石油)	原子力	新工ネ	計
北海道電力	165	463	(225)	(57)	(182)	207	3	8381
東北電力	245	1,133	(380)	(685)	(68)	275	19	1,672
東京電力	987	6	(0)	(0)	(6)	821	5	1,819
中部電力	546	0	(0)	(0)	(0)	362	4	912
北陸電力	193	456	(290)	(92)	(74)	175	0	825
関西電力	823	1,577	(180)	(1,018)	(379)	658	1	3,059
中国電力	290	780	(259)	(238)	(284)	82	1	1,153
四国電力	115	339	(111)	(94)	(135)	89	0	544
九州電力	358	1,000	(346)	(463)	(192)	414	21	1,793
沖縄電力	0	216	(75)	(54)	(87)	0	0	216
電源開発	856	841	(841)	(0)	(0)	0	0	1,697
日本原電	0	0	(0)	(0)	(0)	226	0	226
JERA	0	6,613	(795)	(4,813)	(1,005)	0	0	6,613
その他	385	3,523	(1,523)	(657)	(92)	0	1,638	5,550
計	4,964	16,948	(5,025)	(8,169)	(2,503)	3,308	1,692	26,917

(注) 石炭、LNG、石油は火力の内数

(出所) 「2021年度統計一覧:電力調査統計」 資源エネルギー庁より作成

- ✓ 火力発電の電源別の1kWh当りのCO₂排出量を比較すると、石炭火力はコンバインド型のLNG火力発電の倍の排出量である。
- ✓ このため、地球温暖化への対応策として、石炭火力発電所の廃止等が検討されている。

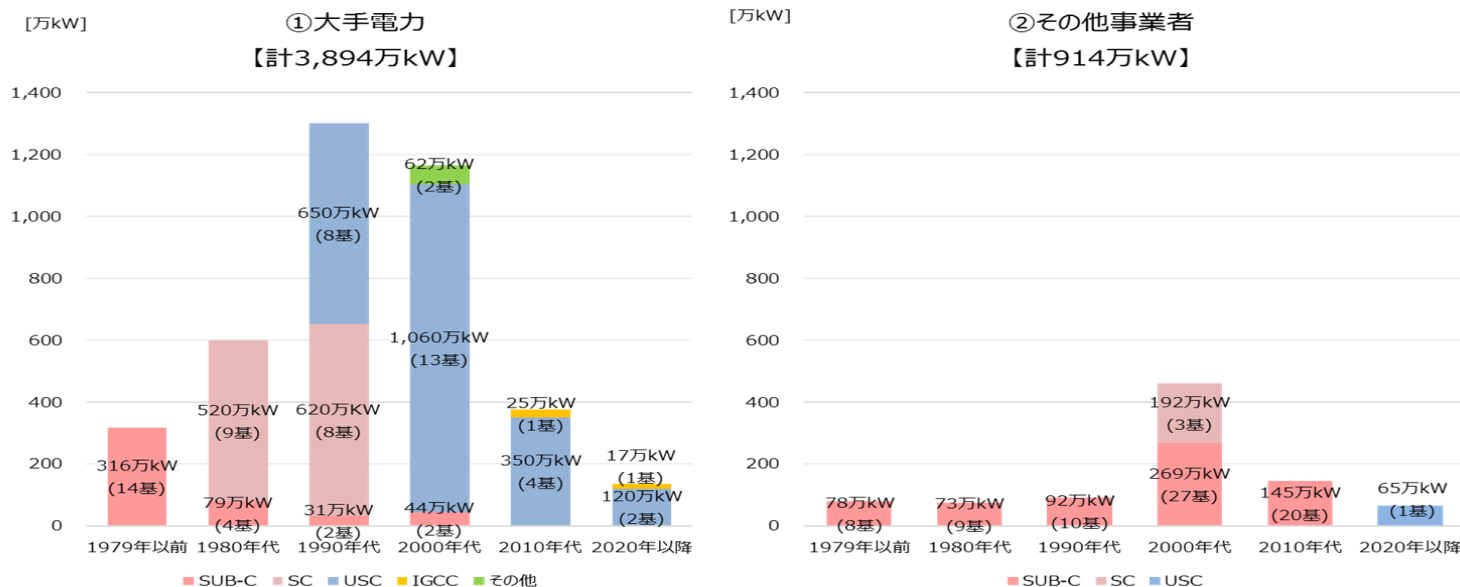
電源別のライフサイクルCO₂排出量の比較



(出所)「エネルギー白書2021」資源エネルギー庁

- ✓ 2030年までに、発電効率が40%以下の亜臨界圧(SUB-C)や超臨界圧(SC)の旧式の石炭火力を退出させ、その後、しばらくの間は、発電効率が41%以上の超々臨界圧(USC)や石炭ガス化複合発電(IGCC)の新鋭石炭火力を残していく方向にある。
- ✓ これが実現されると、2030年には石炭火力発電の設備容量は半減することになる。

石炭火力の発電方式別運転開始時期・容量。基数



※2020年7月時点の集計データ

※①大手電力：旧一般電気事業者、電源開発、旧一般電気事業者や電源開発が共同出資する共同火力

※②その他事業者：売電のみ行う大手電力以外の事業者、自社工場での使用など売電以外も行う大手電力以外の事業者（例：製造業（製鉄、化学、製紙、セメント））

※グラフ中の「その他」は、PFBC（加圧流動床複合発電方式）。

(出所)「石炭火力検討ワーキンググループ・中間とりまとめ」2021年4月23日経済産業省・総合資源エネルギー調査会



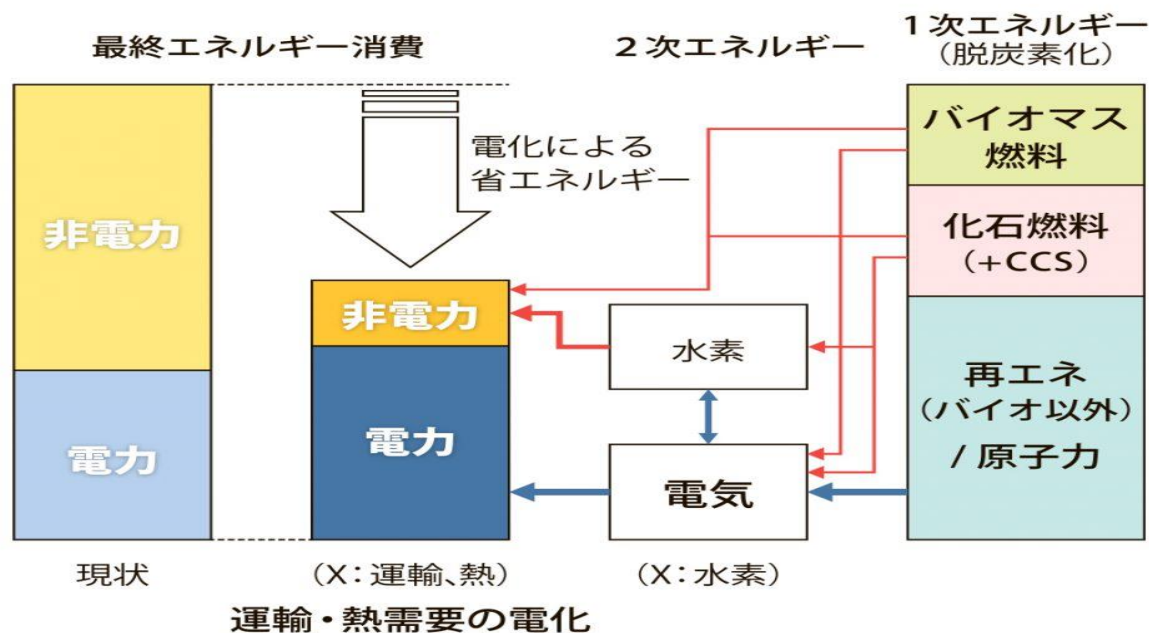
- ✓ 2020年までは、基本的に大手電力がkWh価値、kW価値、ΔkW価値を供給。
- ✓ 2020年以降は、制度的には規制部門として残る送配電会社がkW価値、ΔkW価値を供給するルールとなる。
- ✓ 稼働率の低い火力発電所等を発電会社が保持するためには、適切なkW価値を提供する容量市場等の仕組み構築が必要。

用語	説明
kWh価値	エネルギーとしての電気の価値(≒従量料金)
kW価値	必要な時に必ず発電できる設備の価値(≒基本料金)
ΔkW価値	電力の細かな変動を調整し電力の品質を維持する価値
UX(User Experience)コー ディネータ	電力を利用した顧客サービスを提供
リソースアグリゲーター	需要側の再エネ、EV、蓄電池等を束ねパワーマーケット等に提供
パワーマーケット	市場から再エネや大規模電源のkWやkWhを確保し調達する役割を持つ

(出所) 公表資料をもとにThree Zed Consulting作成

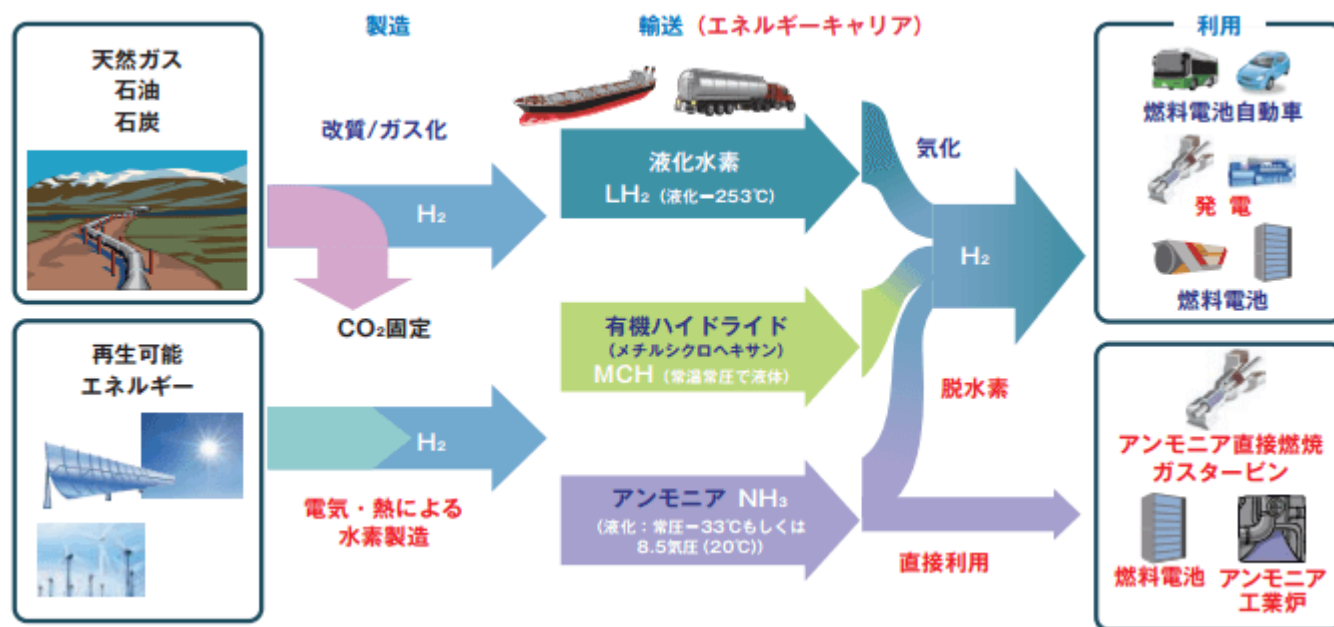
- ✓ 2050年にCO2排出量ネットゼロを実現するには、最終エネルギー消費を大幅に減らすとともに、電化を進める必要がある。
- ✓ エネルギーの供給側では、再エネ発電の大幅拡大や原子力、バイオマスの活用およびCCS付火力発電等による、発電部門のネットゼロ化が不可欠。
- ✓ また、水素等の製造・利用の拡大が重要。

脱炭素化達成のためのエネルギーフロー



(出所) 「Utility3.0 電気事業はどう変わるか」 東京PG岡本浩、2018年1月19日 (電気新聞)

- ✓ 日本の場合、全てのエネルギーを再エネでまかなうことは、気象条件や立地の適地等の問題があり難しい。
- ✓ このため、海外で化石燃料や再エネ由来の水素やアンモニア等を製造し、それを液化、日本国内に輸入・貯蔵し、それらを使って国内で直接発電、あるいは水素だけを取り出して燃料電池等で利用するなどの方策が考えられている。



(出所)「エネルギーキャリア」 SIP:戦略的イノベーション創造プログラム(2016年4月)



- ✓ 水素の長距離輸送や貯蔵には液化が必要となる。
- ✓ ただし、水素に関しては、液化の温度(沸点)が絶対零度に近い253℃と極低温であることから、液化コストと輸送コストが非常に高額になると考えられ、また、大型液化技術や運搬船の開発が必要。
- ✓ 水素を、液化温度が常温あるいはそれに近いMHC(メチルシクロヘキサン)やアンモニアに転換、液化、輸送することで、大幅なコスト低減が可能に。
- ✓ 日本国内での利用では、脱水素設備等の技術開発が必要となるが、アンモニアに関しては火力発電の燃料として直接利用できるというメリットがある。

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 無毒	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 無毒
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可(石炭火力混焼等)	可(都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要	必要(脱水素時)		
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在:-32%
既存インフラ活用可否	国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可	可(ケミカルタンカー等)	可(ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO2供給が不可欠

(出所)「水素・燃料電池戦略協議会中間とりまとめ(案)」経済産業省



水素・アンモニアによる発電価格比較

- ✓ 水素発電とアンモニア発電とのコストを専焼火力発電で比較すると、水素はアンモニアの約4倍程度の発電コストとなっている。
- ✓ この原因としては、液化温度の差異に基づく、液化コストと輸送コストの大きな違いにある。
- ✓ 発電以外の用途としての水素の活用する場合でも、液化アンモニアを輸入・貯蔵し、脱水素プロセスにより、水素を取り出し活用するのが現実的な方策と考えられる。

	水素発電（2020年時点試算）	アンモニア発電（2018年時点試算）
製造	海外水素製造 (天然ガス+CO ₂ 販売（EOR用途）) 11.5円/Nm³	海外水素製造 (天然ガス+CO ₂ 販売（EOR用途）) 11.5円/Nm³ (=201ドル/トン) 海外アンモニア製造 4.3円/Nm³ (=76ドル/トン)
輸送	水素輸入 (ローリー輸送+液化+積荷+海上輸送) 162円/Nm³*	アンモニア輸入 (積荷+海上輸送) 2.3円/Nm³ (=40ドル/トン)
発電	水素発電機 7万~9万円/kW**	アンモニア専焼設備 46万円/kW (参考) アンモニア混焼設備 29万円/kW
発電コスト	専焼 97.3円/kWh*** (参考) 10%混焼 20.9円/kWh***	専焼 23.5円/kWh (参考) 20%混焼 12.9円/kWh

(出典)

* 事業者ヒアリングに基づき試算

** 富士経済「2020年版水素利用市場の将来展望」水素ガスタービン発電

*** 発電コスト検証WGより試算

(出典)

・ アンモニア製造・輸入コスト：日本エネルギー経済研究所 SIP「CCS・EOR技術を軸としたCO₂フリーアンモニアの事業性評価」をもとに資源エネルギー庁試算

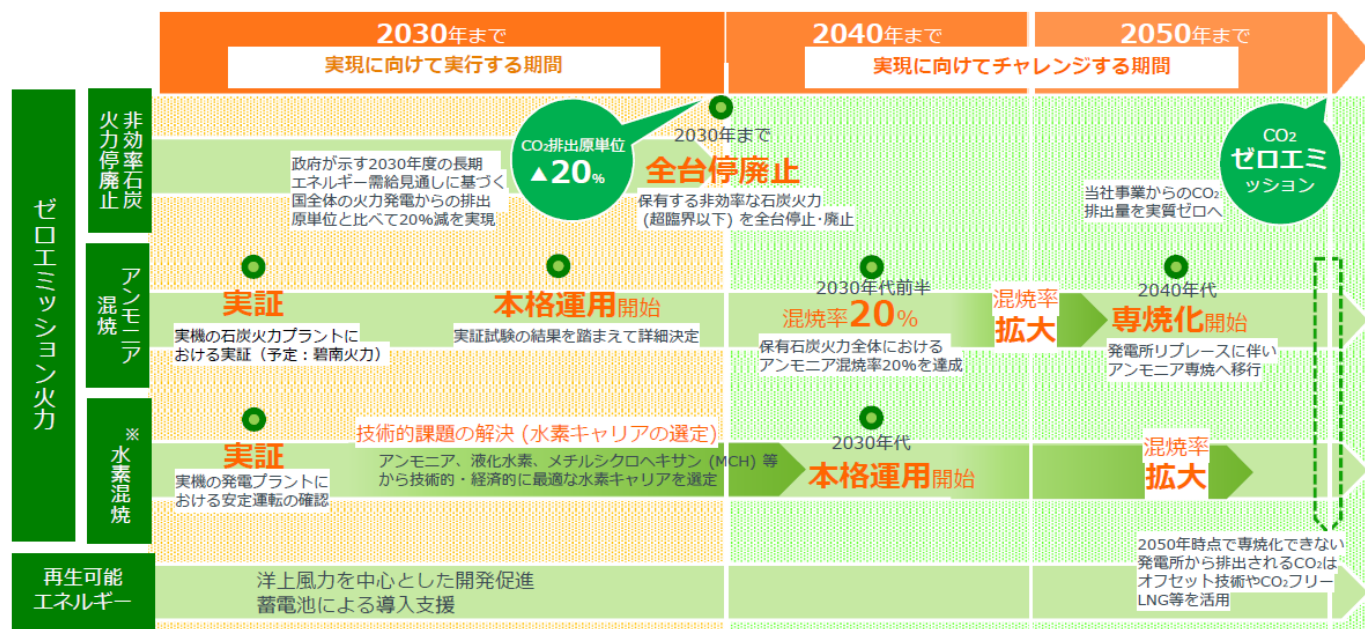
・ アンモニア混焼設備、発電コスト価格：電源開発SIP「火力発電燃料としてのCO₂フリーアンモニアサプライチェーンの技術検討」

・ アンモニア専焼設備、発電コスト：事業者へのヒアリング等をもとに資源エネルギー庁試算

(出所)「燃料アンモニア導入官民協議会」2021年2月



- ✓ 2020年10月、JERAは、CO₂のゼロエミッション火力への転換と再生可能エネルギーの開発等を内容とするロードマップを策定・公表。
- ✓ LNG等の化石燃料調達と国内外の火力発電事業で培った経験をベースに、燃料アンモニアの利用による、石炭火力のゼロエミッション化について言及。
- ✓ 公表されたロードマップの特徴は、アンモニア混焼から専焼化を、技術実証しつつ段階的に展開していく点、および、アジアの国・地域の石炭火力のゼロエミッション化を通じ、海外ビジネスの拡大や、アンモニアの製造、液化、輸送等に関する上流・中流分野のビジネス開発を視野に入れている点などがある。



本ロードマップは、政策等の前提条件を踏まえて段階的に詳細化していきます。前提が大幅に変更される場合はロードマップの見直しを行います。 ※ CO₂フリーLNGの利用も考慮しております。

(出所)「JERA、ホームページ・プレスリリース」



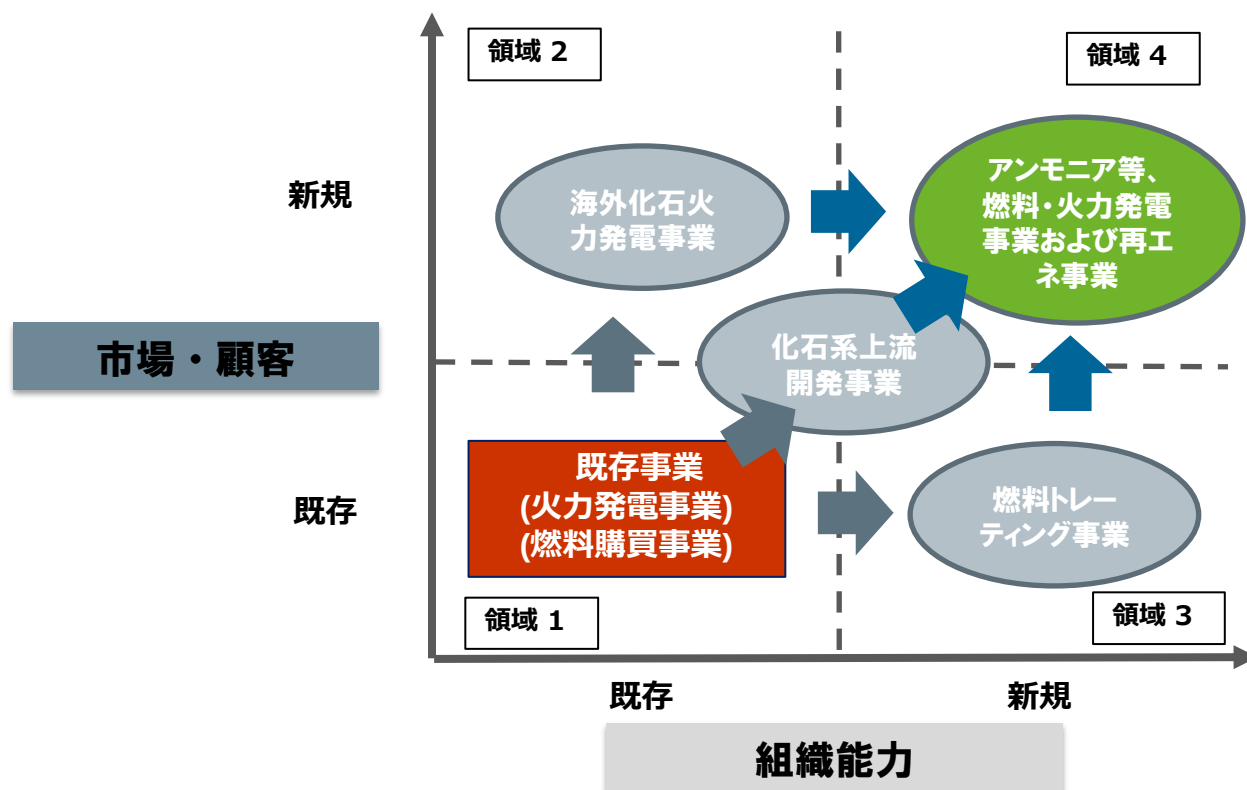
- ✓ 2020年10月ゼロエミッション戦略の発表以降、JERAでは矢継ぎ早に戦略に関係する内容の事業を発表。
- ✓ 海外の有力企業とともに、アンモニアの製造、液化等に関する協業について発表。
- ✓ 碧南石炭火力でのアンモニア混焼の実証や、米国ガス火力での水素混焼等に取り組みつつある。

発表年月	発表内容
2020年10月13日	2050年におけるゼロエミッションへの挑戦について
2021年2月10日	ペトロナス社との脱炭素分野等での協業に関する覚書の締結について
2021年5月11日	ブルーアンモニア製造プロジェクトの開発に関するヤラ・インターナショナル社との協業検討について
2021年5月24日	大型の商用石炭火力発電機におけるアンモニア混焼に関する実証事業の採択について
2021年7月8日	アラブ首長国連邦アブダビ首長国におけるクリーン・アンモニア生産事業の事業化可能性に関する共同調査契約の締結について
2021年7月28日	米国・リンデンガス火力発電所6号機における水素の利用について

(出所)「JERA、ホームページ・プレスリリース」よりThree Zed Consulting作成

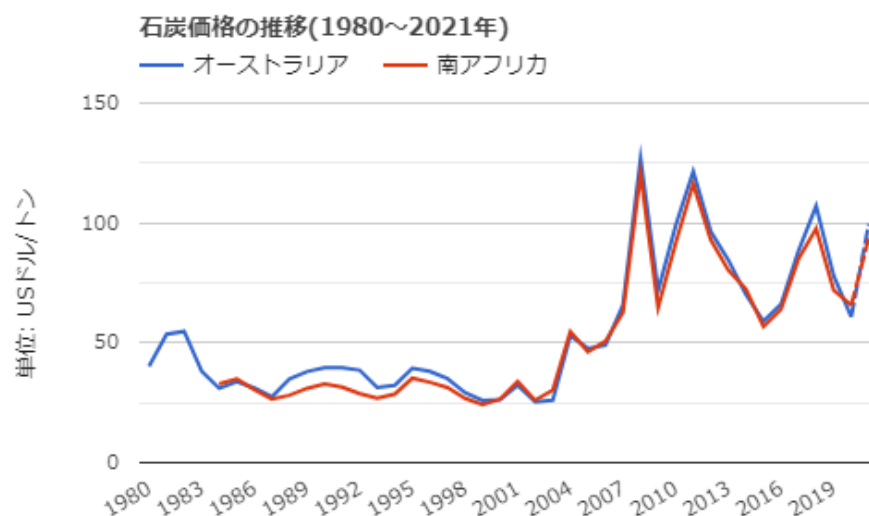
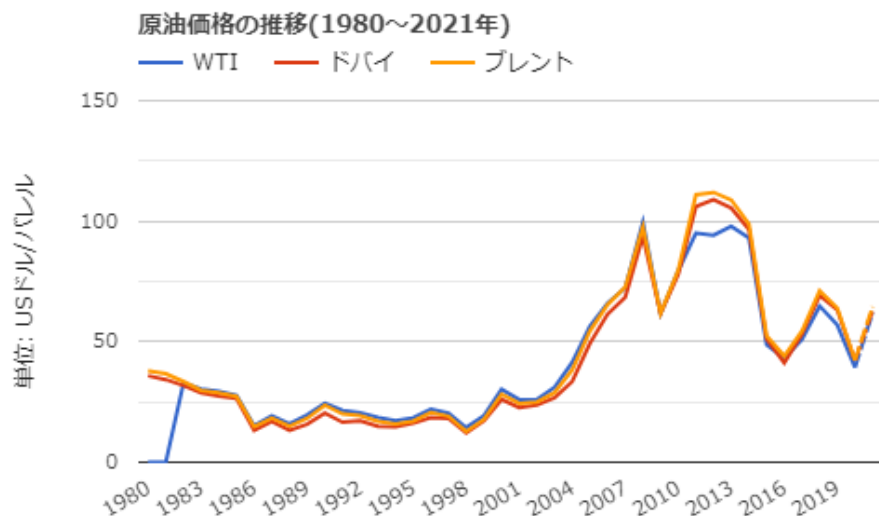


- ✓ 既存事業である火力発電事業・燃料事業ベースに、JERA統合を経て、新事業である化石系の海外発電事業、上流事業、燃料トレーディング事業を展開することで新市場拡大と新たな組織能力を強化。
- ✓ 今後は、ゼロエミッション戦略に基づき、国内外でアンモニア等の燃料・火力発電事業と再エネ事業の開発、拡大を指向。



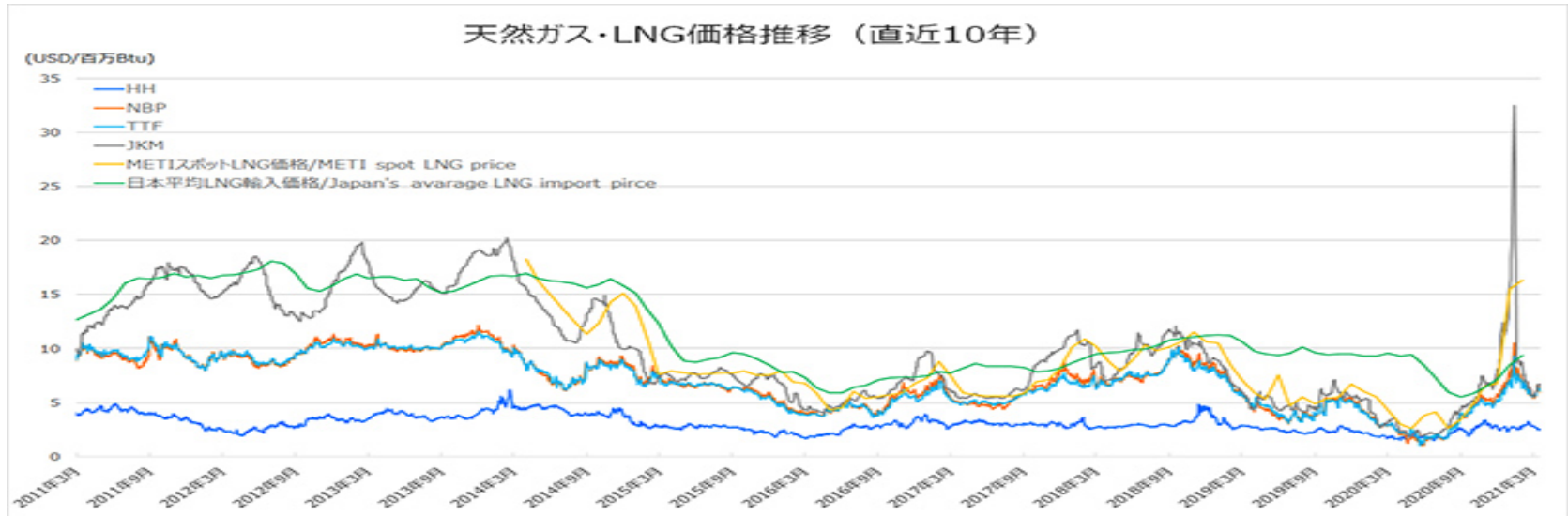
(出所) 「両利きの経営」の「イノベーションストリーム」をベースにThree Zed Consulting作成

- ✓ 国際的な原油価格は、大きな変動を繰り返してきているものの、欧州(Brent)、米国(WTI)、アジア(Dubai)の各市場の価格推移は同じように動いており、価格水準に大きな差はみられない。
- ✓ 石炭価格についても、大きな変動を繰り返してきているものの、欧州向けの南アフリカ(API4)とアジア向けのオーストラリア(API6)の価格推移・水準に、大きな差はみられない。
- ✓ 石油、石炭については、需要の増大とともに、比較的、活発な取引が行われ、流動性があり、透明性の高い価格形成機能を備えた世界市場が形成されている。



(出所) 「World Bank-Commodity Markets」 から「世界経済のネタ帳」

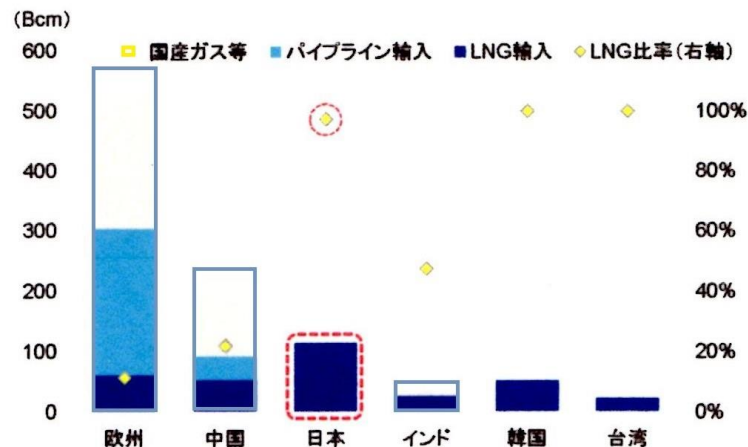
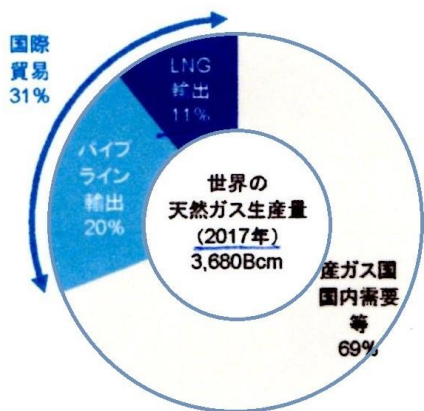
- ✓ 天然ガス・LNG価格推移については、米国(HH)、欧州(NBP、TTF)および日本・アジア(JLC、JKM)のそれぞれが、基本的には市場毎の需給により、独自の動きになっている。
- ✓ 天然ガス価格についてみると、HHは豊富な域内供給に支えられ、2～5ドルの範囲の低い水準で推移。TTF、NBPについては、5～10ドルの範囲で推移している。
- ✓ 一方、LNGの価格についてみると、アジアのLNGスポット価格(JKM)については需給状況によって、3ドル弱～30ドル超の範囲で大きく変動。
- ✓ またJLC(日本平均LNG輸入価格)も大きく変動しているが、これは多くが石油リンクによる中・長期契約が占めていることに原因している(原油価格の変動の影響)。



(出所)JOGMEC「天然ガス・LNG資源情報」(2021年5月)

- ✓ 天然ガスの9割は産ガス国内および国際パイプライン(PL)により、ガス体のまま取引・消費されている現状にあり、LNGとして取引されているのは一割強。
- ✓ 米国はほぼ域内産のガスで賄われており、また、欧州を始め中国でも国産ガス、国際PLによる供給が主流であり、そこにLNG供給が付加されるという供給構造。
- ✓ 一方、日本、韓国、台湾等では、天然ガスはほぼすべてLNG輸入により賄われている。
- ✓ 今後は、中国を始めとするアジア諸国に対するLNG供給が天然ガス需要を牽引していくと考えられている。

天然ガスの生産・国際貿易および主な輸入国・地域の供給内訳(2017年)



(出所) BP, Statistical Review of World Energy



- ✓ 世界天然ガス・LNG市場は、天然ガスパイプラインをベースとした北米市場、パイプラインとLNGが併存している欧州市場とLNGをベースに形成された日本・アジア市場の3つに分かれており、各市場では供給・調達形態の違いにより、異なる取引形態・価格が採用されてきた。
- ✓ 米国LNGの開発と輸出開始により、3つに分かれた市場が世界市場へと統合される可能性が出てきているが、LNGという財の固有の特徴から、液化・輸送コストが高く、また長期保存が難しいことから、輸送・貯蔵能力の拡充が容易ではないことが、世界市場統合のネックとして存在。

項目	北米	欧州	日本・アジア
主な調達形態	・域内生産 ・国際PL輸入	・域内生産 ・国際PL輸入 ・LNG輸入	・LNG輸入
主な取引形態	・市場取引	・長期契約(相対取引)から、近年は市場取引が主流に	・長期契約(相対取引)がほとんどだが、近年は、短期・スポット契約も増加傾向
価格決定の因子/指標	・取引時点における天然ガス需給を反映した価格指標(HH)	・契約交渉時における天然ガス需給情勢および石油価格動向 ・取引時点における天然ガス需給を反映した価格指標(NBP、TTF等)	・契約交渉時におけるLNG需給情勢および石油価格動向 ・取引時点におけるLNG需給(JKM等)
備考		・2016年以降、米国LNG（HH価格連動）の輸出開始	

(出所) 公表資料等よりThree Zed Consulting 作成

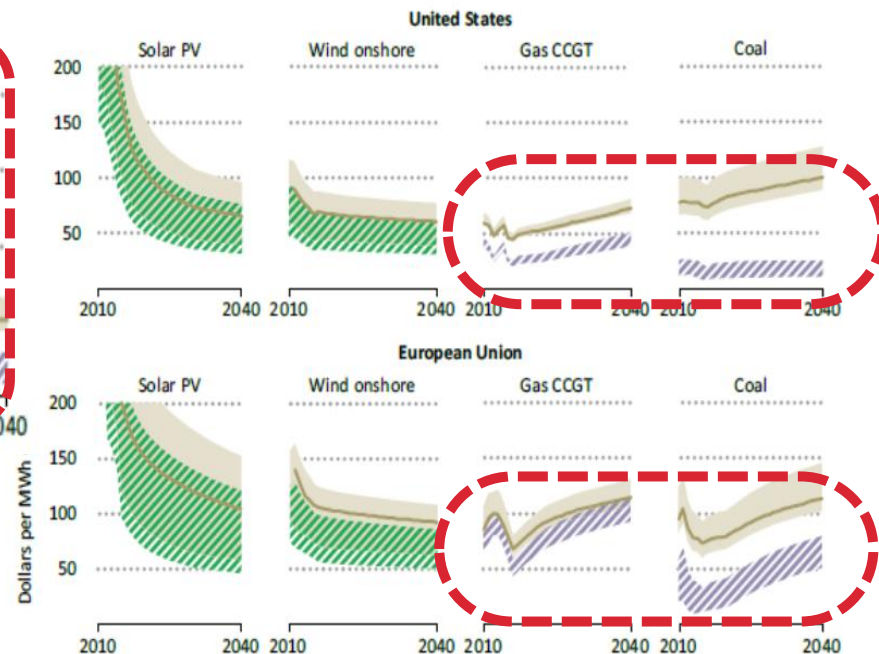
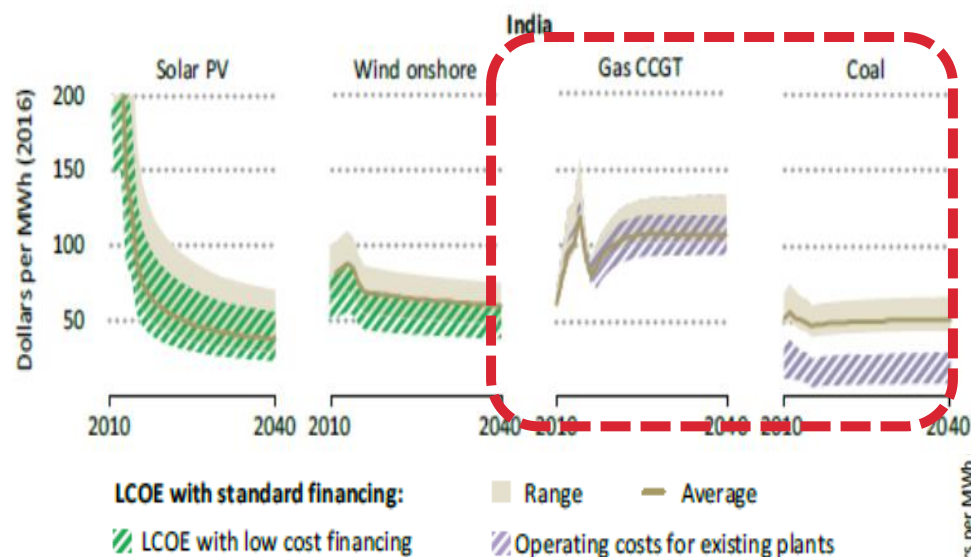


- ✓ 石油、石炭、天然ガス・LNGの資源・燃料市場は、資源の賦存状況や巨大な開発費が必要で、資金回収の課題、あるいは輸送・貯蔵能力の制限により、歴史的には流動性の低い硬直的なマーケットにとどまっていた。
- ✓ 1980年代以降、石油市場を皮切りに、石炭市場、そして欧米の天然ガス市場の順で、流動性が高く、オープンで透明性のある価格形成可能なマーケットへと変貌を遂げた。
- ✓ LNGについては、依然として流動性が低く、価格透明性も十分でない市場にとどまっている。

	資源賦存 (偏在度)	開発費	輸送能力	貯蔵能力	価格指標 (現物)	価格指標 (先物)
石油	高	巨大	大	大	有	有
石炭	中	大	大	大	有	有
天然ガス	高	大	中	中	有	有
LNG	(高)	巨大	小	小	有	無

(出所) 公表資料等よりThree Zed Consulting 作成

- ✓ 太陽光と風力の発電単価は、どの国・地域でも急速に低下すると見られている。
- ✓ 米国では、太陽光、風力、天然ガスの発電単価は将来拮抗、石炭だけは競争力が劣後。
- ✓ EUでは、各発電単価は拮抗。
- ✓ 一方、インドでは、太陽光、風力、石炭の発電単価は拮抗、天然ガスだけが高い。
- ✓ インドを始め多くのアジアの国々では、天然ガスはLNGとして輸入し、消費しているため、発電単価が高くなる原因となっている。
- ✓ 液化水素やアンモニア等の新燃料の導入に当たっては、液化コストや輸送・貯蔵の容易性を考慮すべき。



(注) LCOE: Levelized Cost of Electricity(均等化発電原価)

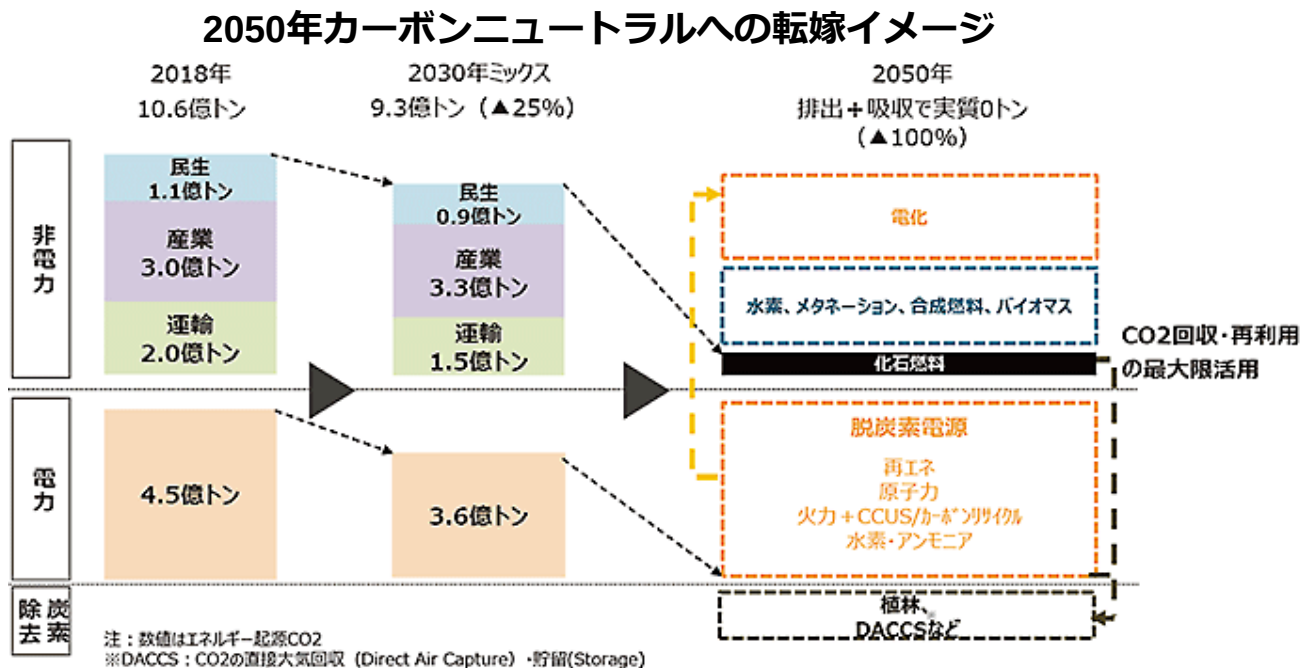
(出所) 「IEA World Energy Outlook 2017」より作成

- ✓ アンモニア市場形成に当たっては、LNG取引での経験と反省に基づき、流動性が高く透明な価格形成が可能となるような市場形成をめざすべき。
- ✓ 市場構造、契約内容、価格形成において、生産者と消費者が協調して事業を拡大し、また取引の利益・リスクを互いに分配できるような市場構造の構築が重要。
- ✓ そのためには、消費者側についても、生産・液化から輸送、貯蔵の各プロセスに大規模投資を行いサプライチェーンへの関与を強めるべき。
- ✓ また、当初から流動性が高くなるような契約内容の工夫やアンモニア需給をベースにした価格指標による取引可能な、グローバル市場の構築に取り組むべき。

	市場構造	契約内容	価格形成
LNG	・産ガス国・オイルメジャーによる供給者側と消費国の電力・ガス事業者等の消費者側の対立構造 ・供給者側への利益偏在	・10年超長期契約主流 ・石油リンク ・テイクオアペイ条項 ・仕向地制限	・相対交渉により量・価格を決定
液化アンモニア	・生産地を中東、東南アジア、豪州、ロシア、北米、南米等にできるだけ分散 ・生産・液化設備、船舶、貯蔵設備等への消費者側の関与による産消協調構造の構築 ・利益・リスクの公平な分配	・ターム契約とスポット契約の併存 ・指標価格取引 ・テイクオアペイ条項・仕向地制限無し	・アジア指標価格(シンガポール着、東京着等)の形成と活用 ・現物・先物取引

(出所) 公表資料等よりThree Zed Consulting 作成

- ✓ 2018年時点の日本では、電力部門で4.5億トンのCO₂を排出し、産業・民生・運輸の非電力部門では6.1億トン、合計10.6億トンのCO₂を排出。
- ✓ ネットゼロにするためには、まず、大幅な省エネルギーの実現が必要であるとともに、電力部門では、脱炭素電源に全て置き換えることが求められている。
- ✓ 産業・民生・運輸の非産業部門では、電気自動車を始めとする電化の推進、産業用燃料の水素化、メタネーション合成燃料の利用を通じた脱炭素化を急速に進める必要がある。
- ✓ さらに、植林の拡大や、DACCSとよばれる炭素直接空気回収・貯留技術の開発が必要。

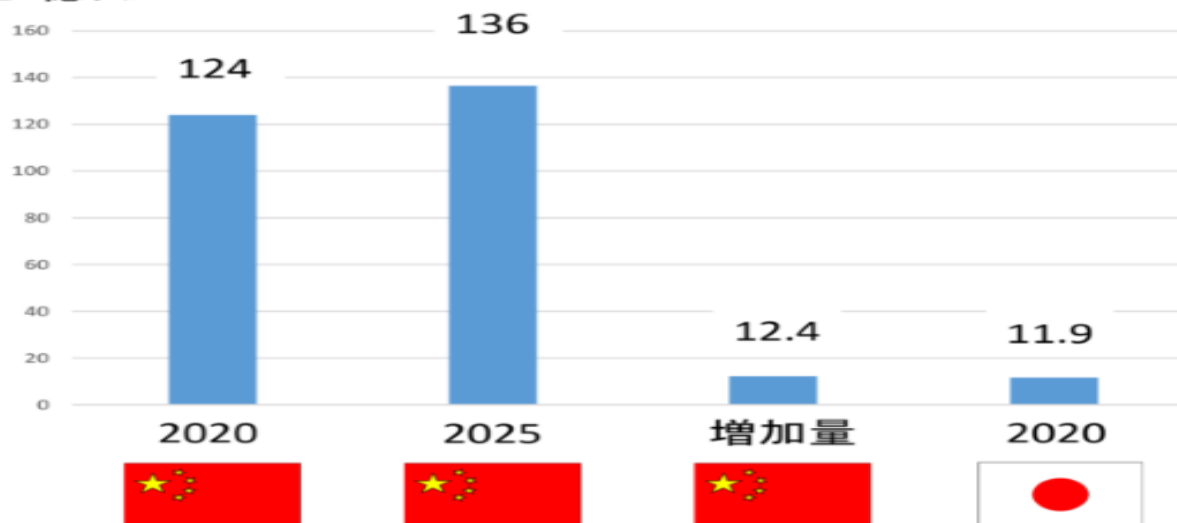


(出所) 「エネルギー白書2021」 資源エネルギー庁



- ✓ 中国は現在世界最大のCO2排出国であり、年間124億トンのCO2を排出。
- ✓ 中国は2025年までの5年間でGDP当りの排出量を18%削減するとしているが、経済成長を年率5%とすると、CO2排出量そのものは10%近く増大し年間136億トンに達する。
- ✓ 2020年時点の日本は、11.9億トンのCO2を排出しており、2050年までにネットゼロを目指しているが、今後の5年間の中国の増加量だけでも、日本の総削減分を上回る見込み。
- ✓ インド、インドネシアを始め、アフリカ諸国の人口増と経済発展が見込まれており、そうした国々を含めてネットゼロにするのは至難の業。

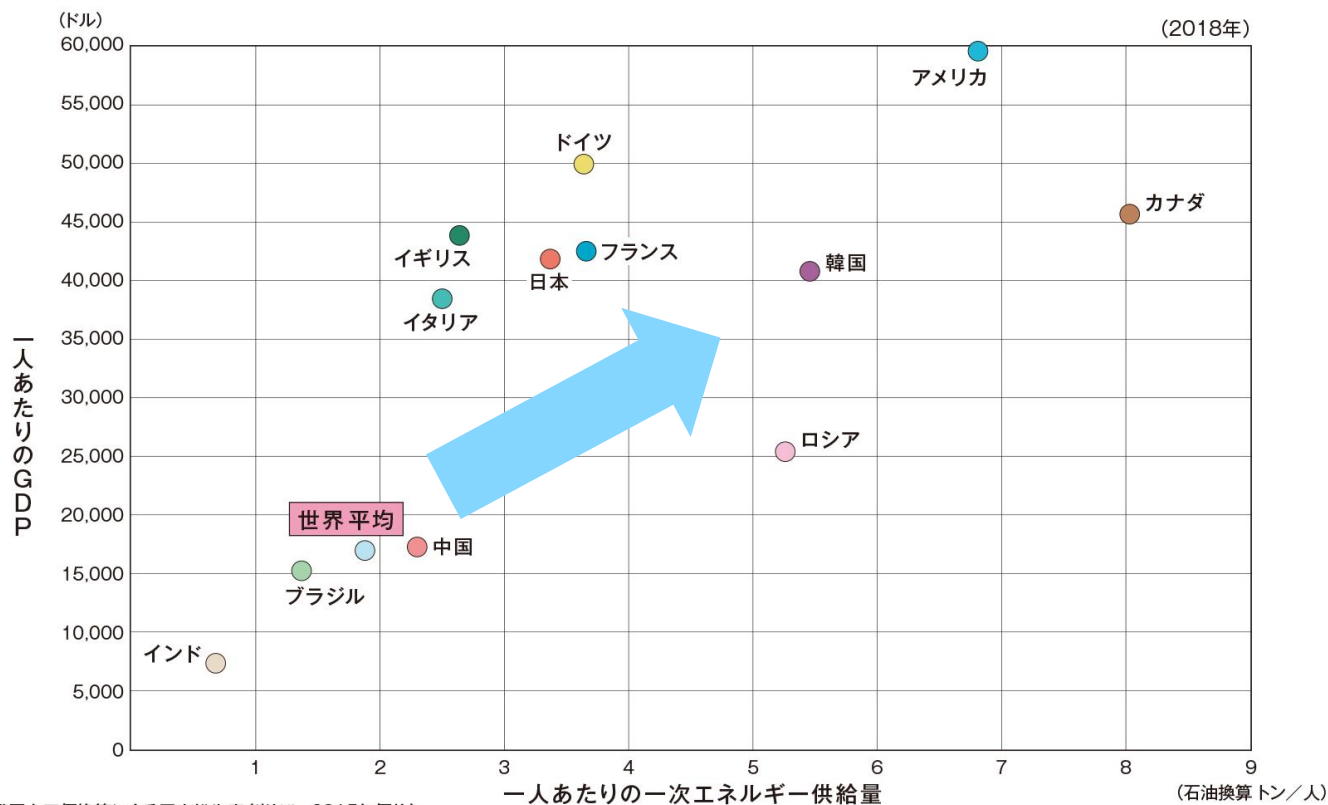
単位：億トン



(出所) 「中国CO2は増大する」 杉山大志(2021年3月22日)



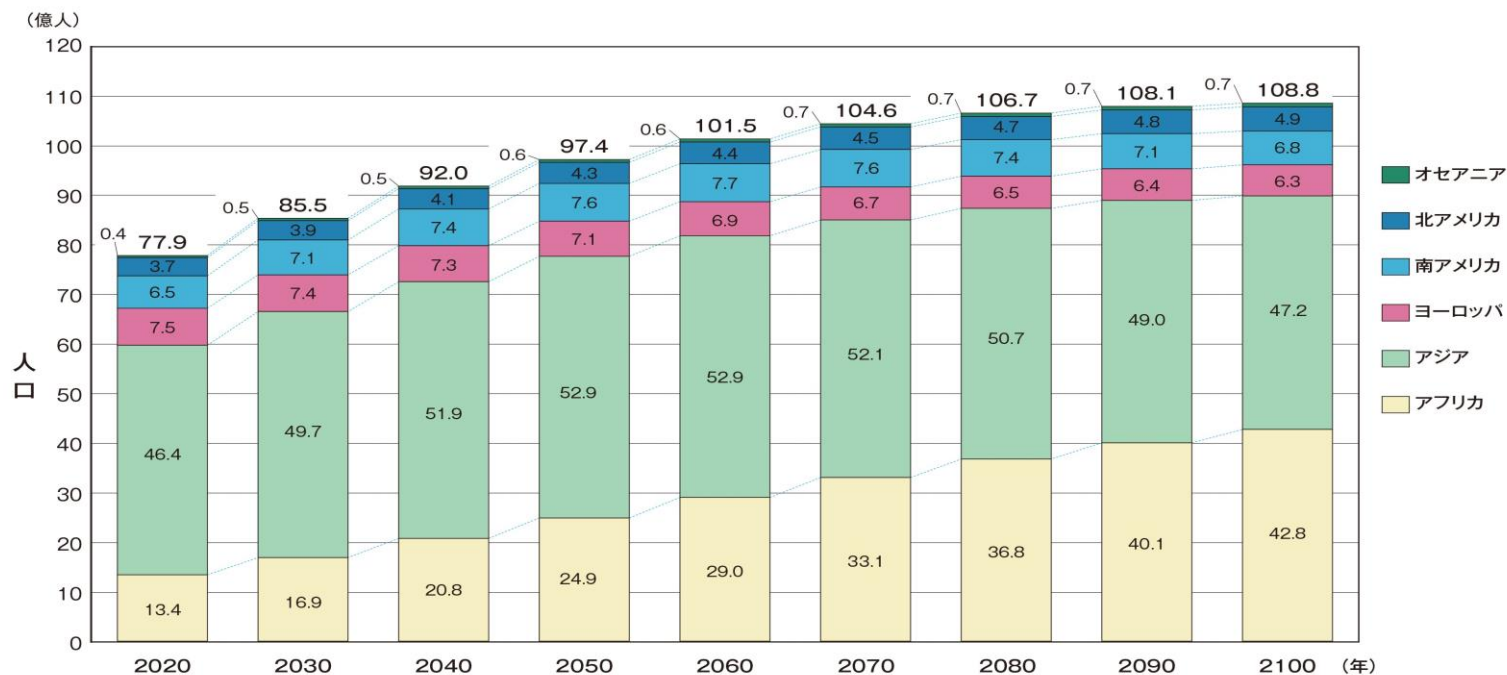
- ✓ 1人当たりGDPが高まると1人当たり一次エネルギーの供給量(同様に消費量)も増加する傾向にある。
- ✓ 今後、人口増加の著しい新興国や発展途上国の高い経済成長によって一次エネルギー供給の大幅な増加が予想される。



(出所) IEA「Key world energy statistics 2020」よりThree Zed Consulting修正



- ✓ 今後の世界人口推移は、2100年頃のピークにむけて増加傾向となるが、地域別にみると異なった傾向になる。
- ✓ 欧州は減少、南アメリカ、アジアは2050～60年頃をピークに減少傾向に入る。
- ✓ 一方、アフリカは増大傾向が続く。
- ✓ 北米は緩やかな増大が続く。

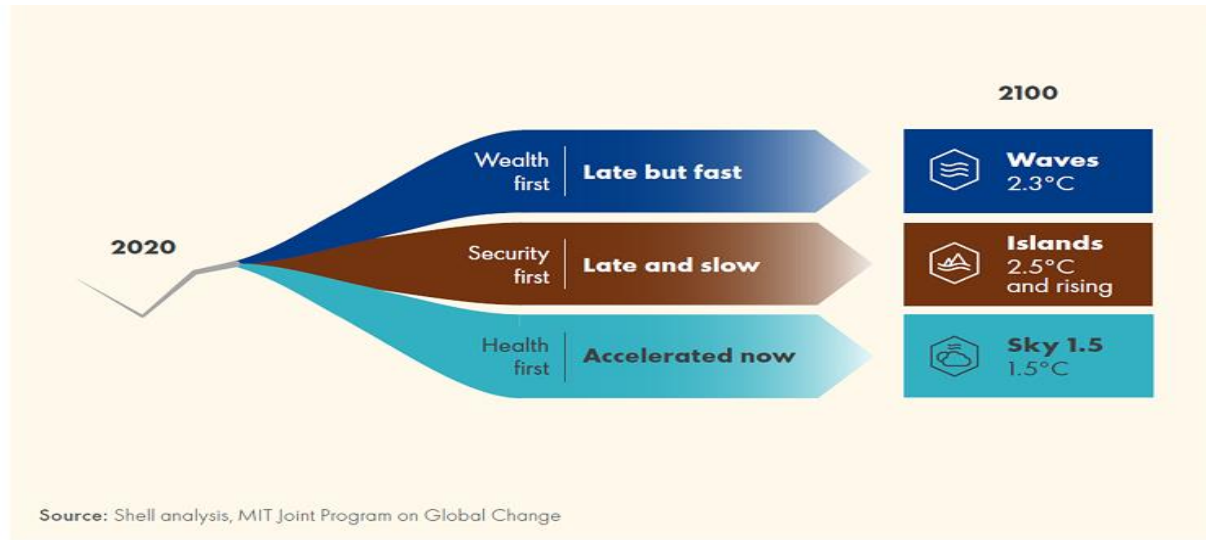


(出所)国連社会経済局「World Population Prospects; The 2019Revision」他



- ✓ シェル社の最新シナリオでは、コロナ禍ショックの成り行き、およびショック後の世界を構想する際の社会政治的選択の2つをキードライバーとし、3つのシナリオを提示。
- ✓ Waveシナリオでは、各国は経済の回復を最優先課題とするため、気候変動問題への対応は、遅れ気味となり、21世紀末の地表温度は2.3°C上昇。
- ✓ Islandシナリオでは、国内治安と対外安全保障が優先されていくため、気候変動問題への対応は後回しになり、地表温度は2.5°C上昇。
- ✓ Sky1.5シナリオで、世界中の協力関係が進展することで、気候変動問題も素早く対応し、地表温度上昇も1.5°Cに収まる。

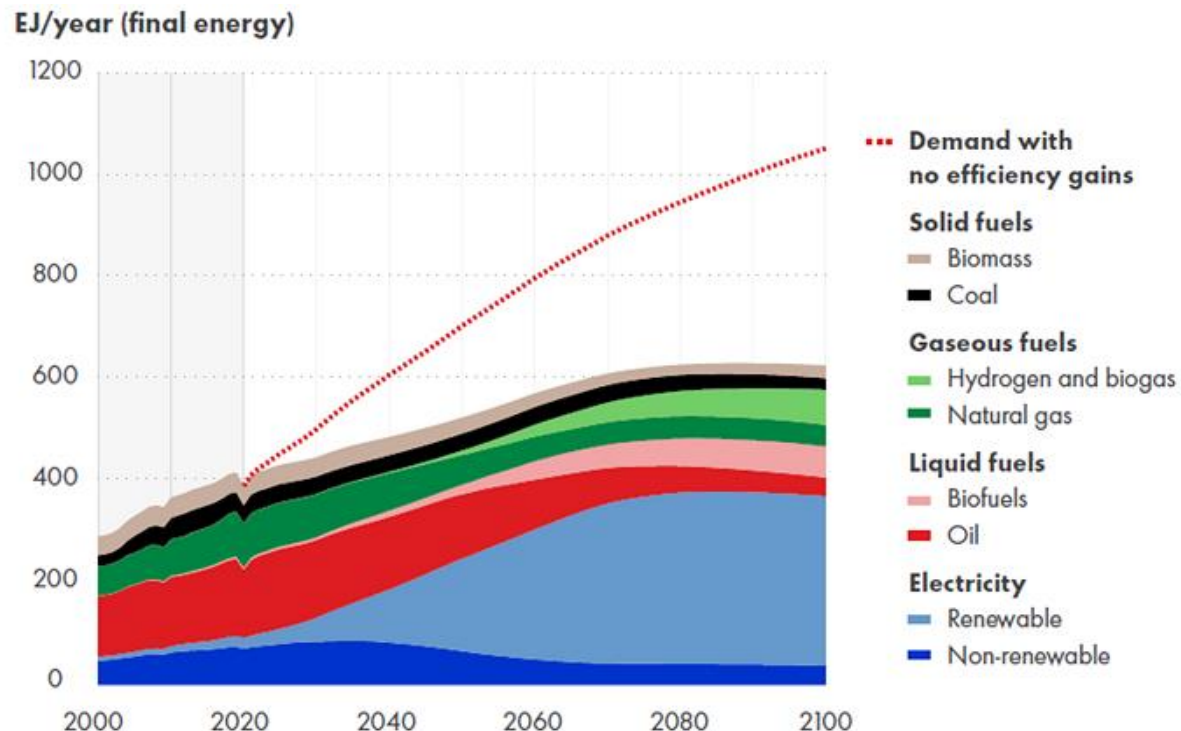
脱炭素化のペース 3つのシナリオ



(出所) 「The Energy Transformation Scenarios Overview」 J Shell (2021年)



- ✓ シェル社のSky1.5シナリオで描かれた世界最終エネルギー需要。
- ✓ 本来のエネルギー需要から大きく下方にシフトし、エネルギーの多くが再生可能エネルギーや水素、バイオ系の活用に代替されていく。



(出所) 「The Energy Transformation Scenarios Overview」 J Shell (2021年)



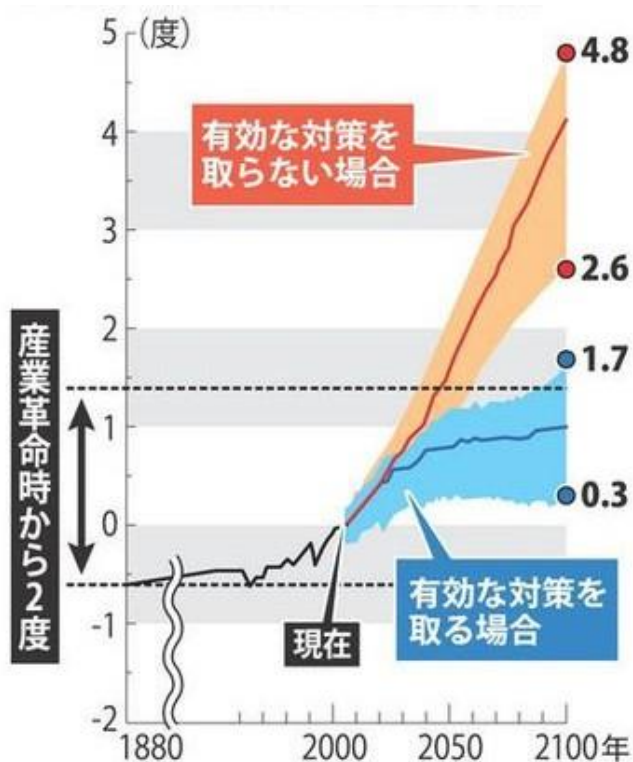
- ✓ シェル社による「エネルギー変革シナリオ2021」の3つのシナリオの要点を、項目毎に整理。
- ✓ シェル社では、各シナリオに対する可能性については、どのシナリオも同程度の確率でおこると考えている。
- ✓ 皆様は、シナリオの実現可能性について、どのシナリオが有力だと思うか。

脱炭素化のペース 3つのシナリオの要点

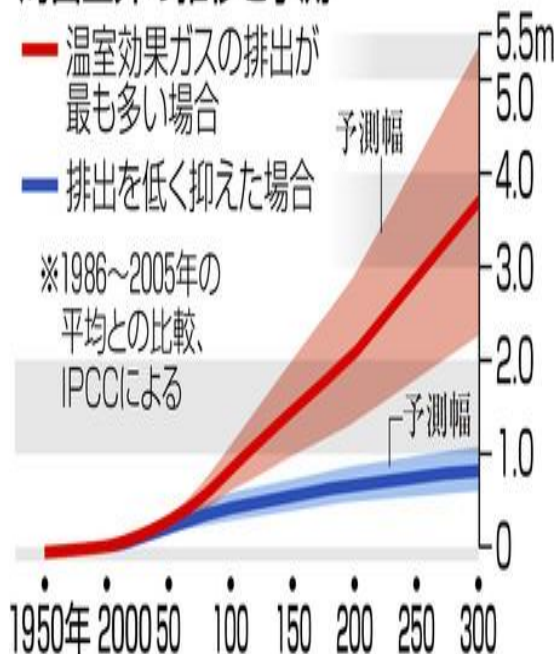
シナリオ	最優先課題	コロナ	経済・エネルギー	国際関係	温暖化対応
Wave	・経済活動の復旧	・ワクチン普及 ・コロナ禍から素早く回復	・経済・エネ需要回復 ・寡占化、リストラ・効率化	・弱い国際的枠組み ・中国の影響力大	・対応が遅れ気候変動災害の後、急速対応 ・2100年頃ゼロエミ達成(2.3℃上昇)
Island	・国内治安・対外安全保障	・多くの国が対応に手こずり苦戦 ・ロックダウンを繰り返す	・貿易・経済成長減速 ・自給自足 ・途上国の化石燃料依存	・自国利益優先 ・先進国と途上国の緊張昂進	・優先順位が低い ・2100年でもゼロエミ達成できず(2.5℃上昇)
Sky1.5	・市民生活と環境	・容易に収束しない ・国を超えた実務協力進展	・グリーン投資、低炭素技術開発が経済を	・国際的な協力関係が進展	・最優先で対応 ・2050年ゼロエミ達成(1.5℃上昇)

(出所) 「シェルの「エネルギー変革シナリオ2021」」よりThree Zed Consulting作成

- ✓ 2100年頃の世界平均気温変化は、CO₂排出量抑制等の有効な対策が実現される場合は、0.3～1.7℃の上昇に収まるが、有効な対策を取らない場合は、2.6～4.8℃上昇すると予想されている。
- ✓ 平均海面水位の上昇は、対策実現ケースでは、2100年頃において0.26～0.82mの範囲となるが、実現できない場合、数世紀後には数メートルも上昇する可能性がある。



海面上昇の推移と予測



(出所)環境省「IPCC第5次評価報告書の概要」

- ✓ 6000年前、日本の縄文時代は平均気温が現在より2℃程度高く、そのため海面は数メートル上昇していた。
- ✓ 地球温暖化が進み、海面上昇が進んでいくと、海に囲まれた日本は大きな影響を受け、関東、関西地区のかなりの部分が海に沈む可能性が大きい。



6,000年前、縄文前期の関東（海面5m上昇）

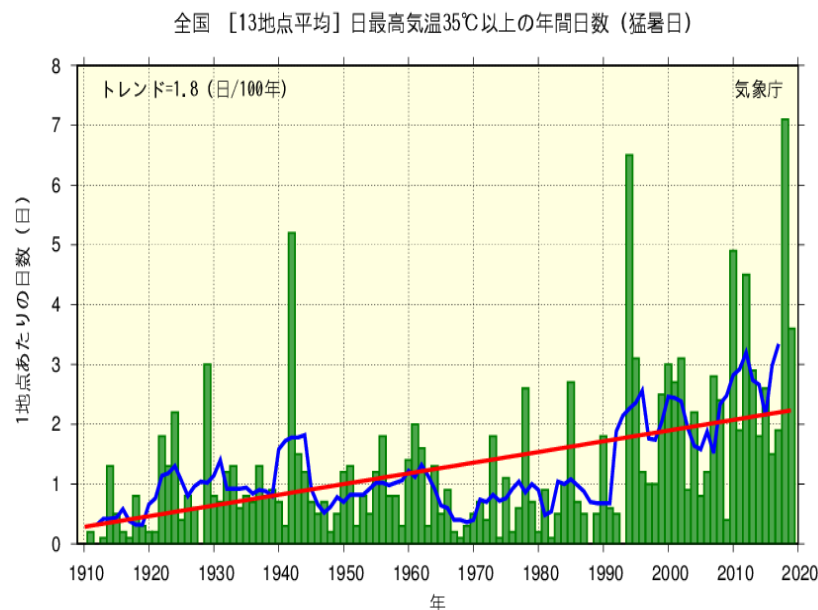
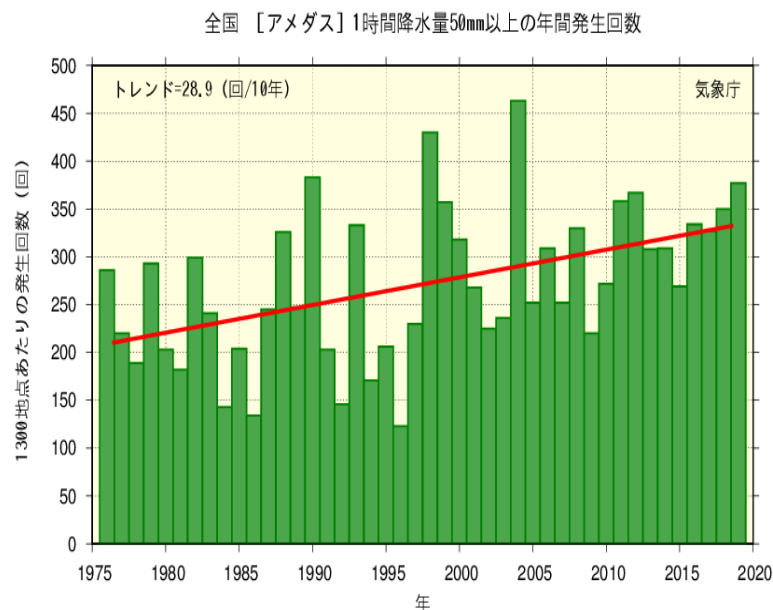
提供：(財)日本地図センター



河内平野地形推定復原図（弥生時代中期ごろ）**

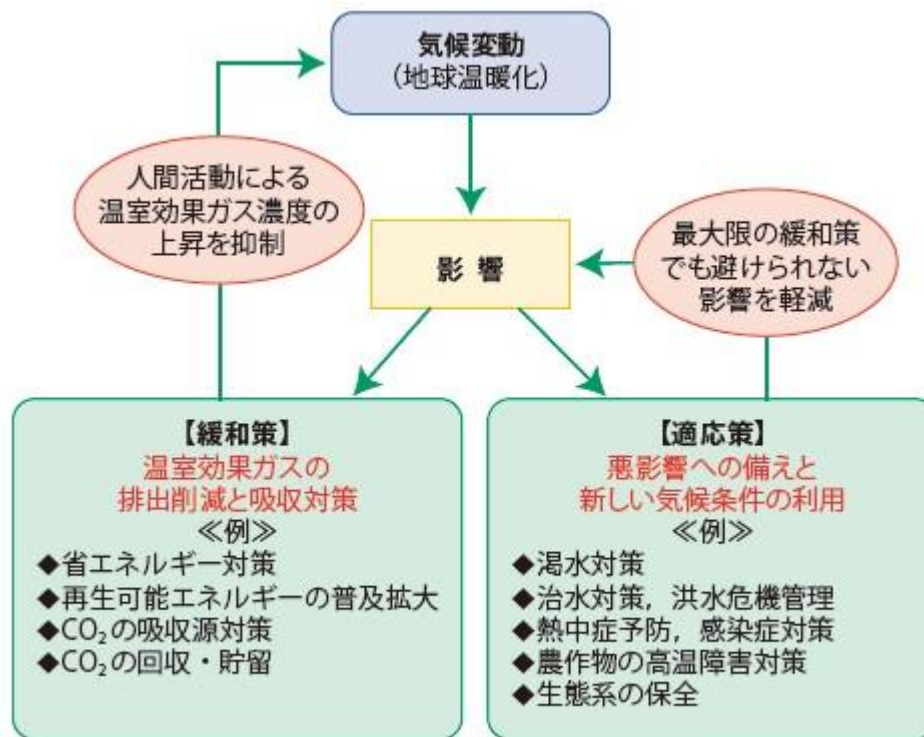
出典：「発掘速報展大阪 大河内展」財団法人大阪府文化財調査研究センター

- ✓ 気象庁によると、日本の1975～2019年までの間の大雨の年間発生件数は、10年当り2.7回増加、統計期間の最近の10年間(平均年間回数24回)を最初の10年間(平均年間回数14回)と比べると約1.7倍に増加している。
- ✓ 猛暑日についても年間日数は、統計期間1910～2019年の100年あたり1.8日増加しており、統計期間の最近の30年間(平均年間日数2.3日)を最初の30年間(平均年間日数0.8日)と比べると約2.9倍に増加している。



(出所)気象庁ホームページ

- ✓ 地球の気候変動の対策としては、大きく分けて、影響緩和策と適応策が考えられる。
- ✓ 緩和とは、地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出抑制、吸収対策。
- ✓ 適応とは、すでに起こりつつある、あるいは起こりうる、気候変動の悪影響に対処し、被害を回避・軽減する対策で、渇水対策、治水対策、感染症対策、農産物の高温障害対策等で、今後は適応策にも力を注ぐべき。



(出所) 日本の気候変動とその影響 2013年3月 文部科学省・気象庁・環境省

