

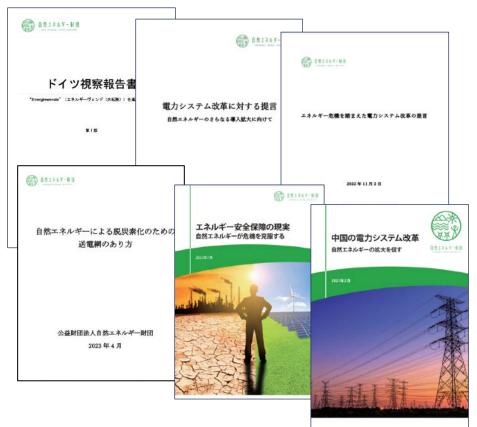
エネルギー転換を支える電力システム改革に向けて

2024年2月27日 公益財団法人 自然エネルギー財団

公益財団法人 自然エネルギー財団 電力システム改革への取組

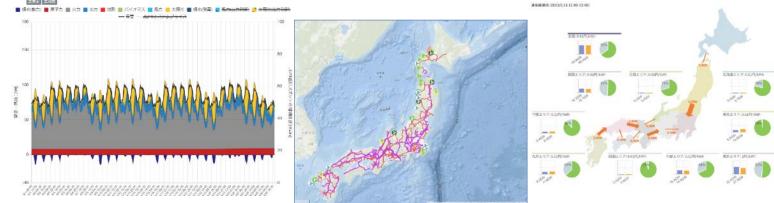


政策提言:電力システム調査研究・系統研究



- ・電力システム改革についての提言
- 2020年5月 2022年年11月
- ・海外の電力システム改革レポート
- 2012年10月 2021年2月
- ・エネルギー安全保障についての報告 2022年11月
- ・自然エネルギーによる脱炭素化のための送電網のあり方 2023年4月
- ・「アジア国際送電網研究」については 2017年4月、18年6月、19年7月 他、https://www.renewable-ei.org/activities/projects/grid.php

沖縄を除く9一般送配電事業者エリアの電力需給データと広域機関系統潮流実績データを用い、



コミュニケーション:国際会議やワークショップ







認論・発送電分離の貫徹

生立規制機関の機能強化 工商美書 自然エネルギー財団上級研究員





高橋 洋 都留文科大学 地域社会学科 教授/自然エネルギー財団 特任研究員

小売分野における競争促進と脱炭素を実現する小売市場





電力システム改革への意義と期待



競争と効率性:独占や寡占が解体され効率的な運営が目指される。政府の規制による義務ではなく、市場シグナルに基づいて資源が分配される。最も必要とされる場所や最も収益性の高い場所に投資が向けられる。

需要家の参加と選択の多様化:需要家や消費者の電力メニューの選択や、生産者や取引業者としてエネルギー市場への参加を可能にする。需要家や消費者は、より多くの情報を得た上で意思決定を行い、持続可能な実践を支援する。

送電網の近代化:こうした改革は、送電網近代化の取り組みと密接に関連し、スマートグリッド技術への投資、送電網の回復力の向上、自然エネルギーの統合強化などが行われる。送電網の近代化は、電力網の信頼性と回復力を高め、停電のリスクを低減し、システム全体の性能を向上させる。

リスク軽減: エネルギー源や市場参加者の多様化は、単一のエネルギー源や供給者への過度な依存に伴うリスクを軽減する。エネルギー安全保障を強化し、供給途絶や価格高騰に対する脆弱性を軽減する。

新しい技術やビジネスモデル:新しい技術が導入され、電力の信頼性と効率的な価格設定に貢献する。

環境の向上:競争と新しい技術導入を促進することで、よりクリーンなエネルギー源への移行を加速し、発電に伴う 温室効果ガスの排出やその他の汚染物質の削減に貢献する。

より競争力のある革新的な電力市場は、経済成長を刺激し、自然エネルギー開発、送電網インフラ、エネルギー効率、技術など、さまざまな分野で雇用機会を創出することができる。

電力システム改革により目指した姿:理念と方針



電力システム改革の基本理念(専門委員会報告書 P6)

これまで料金規制と地域独占によって実現しようとしてきた「安定的な電力供給」を、**国民に開かれた電力システムの下**で、事業者や需要家の「選択」や「競争」を通じた創意工夫によって実現する方策が電力システム改革である。

電力システムに関する改革方針(2013年4月2日閣議決定)

- 1. 電力システムの改革の目的
- 1. 安定供給を確保する: 東日本大震災以降、原子力発電への依存度が大きく低下し、大半の発電が既存火力に依存する中、分散型電源を始め、多様な電源の活用が不可避である。特に、<u>出力変動を伴う再生可能エネルギーの導入を進める中でも、安定供給を確保できる仕組みを実現</u>する。これまでの「同じ価格で需要に応じていくらでも電力を供給する」仕組みではなく、<u>需要家の選択により需要を抑制したり、地域間の電力融通等の指示を行うことができる仕組みを導入し、需給ひっ迫への備えを強化</u>する。
- 2. 電気料金を最大限抑制する:原子力比率の低下、燃料コストの増加等による電気料金の上昇圧力の中にあっても、<u>競</u> 争の促進や、全国大で安い電源から順に使うこと(メリットオーダー)の徹底、需要家の選択による需要抑制を通じた発 電投資の適正化により、電気料金を最大限抑制する。
- 3. 需要家の選択肢や事業者の事業機会を拡大する:

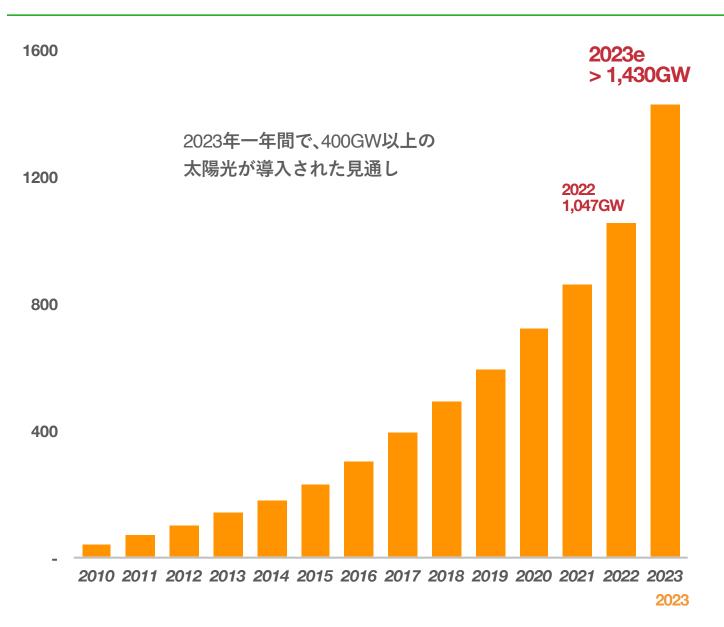
 電力会社、料金メニュー、電源等を選びたいという需要家の様々な

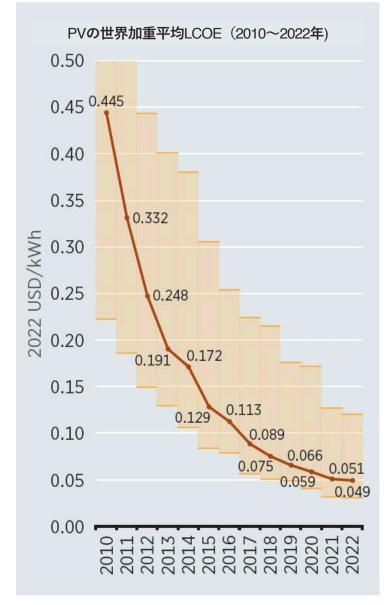
 ニーズに多様な選択肢で応えることができる制度に転換する。また、他業種・他地域からの参入、新技術を用いた発電や

 需要抑制策等の活用を通じてイノベーションを誘発し得る電力システムを実現する。

エネルギー転換:世界の太陽光発電の拡大とコスト低減

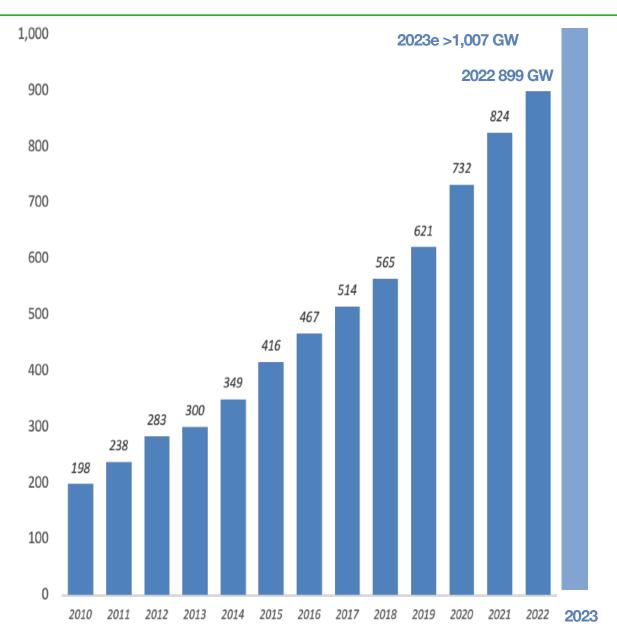


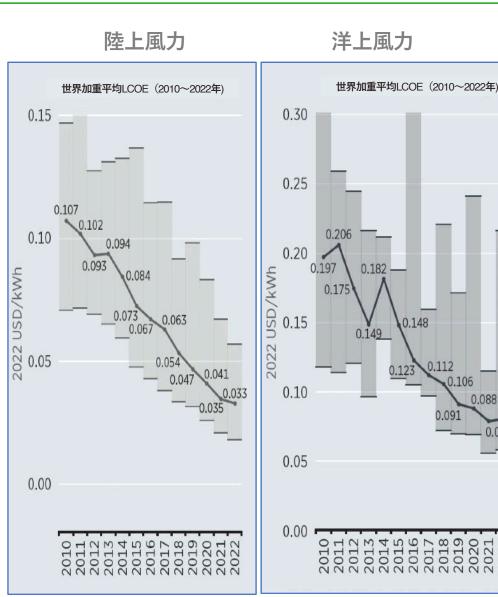




エネルギー転換:世界の風力発電の拡大とコスト低減



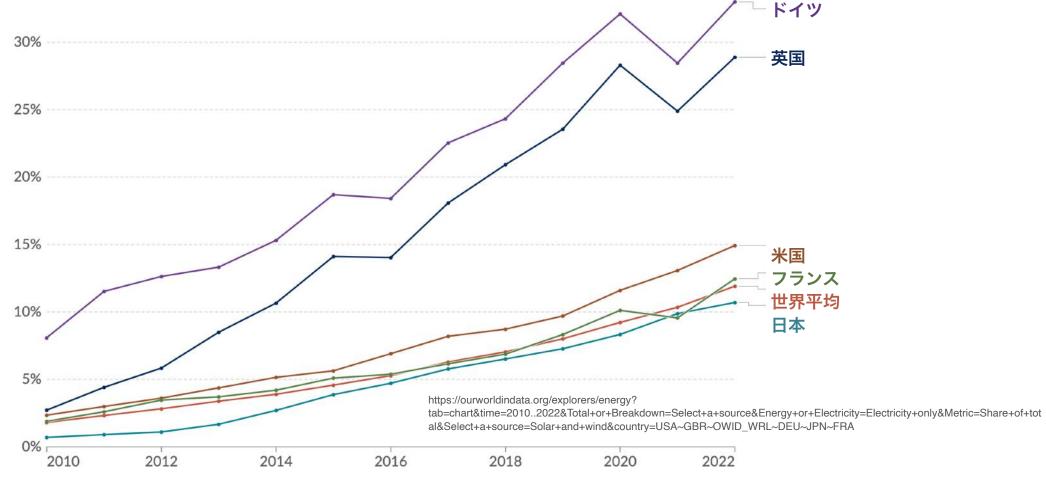




エネルギー転換:世界と日本の自然エネルギー導入推移



電力生産における風力と太陽光の占める割合(2010年から2022年の進展)



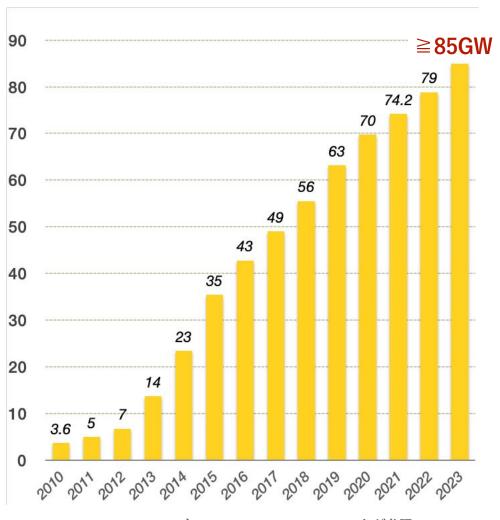
Data source: Ember - Yearly Electricity Data (2023); Ember - European Electricity Review (2022); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023)

OurWorldInData.org/energy | CC BY

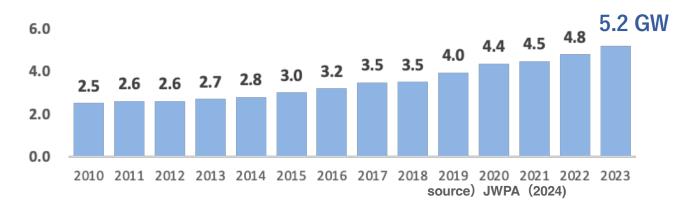
エネルギー転換:日本の変動型自然エネルギーの拡大



太陽光発電 2010 3.6GW → 2023 85 GW



風力発電 2010 2.5 GW →2022 4.8 GW →2023 45.2 GW



2012年の固定価格買取法導入以降、売電用太陽光が拡大

○ 一方で、風力発電は、系統接続の困難さ、助成制度や法制度の 改定など変わる政策に伴って、市場が影響を受けてきた。

2000年:電力会社による長期購入メニュー

2003年:RPS法施行

2007年:改正建築基準法施行

2009年:地域新エネルギー等導入促進事業、

新エネルギー等事業者支援対策事業終了

気候危機: IPCC 第6次評価報告書 統合版 2035年までの削減



第6次報告書の提起するもの

「気候変動は人間の幸福と地球の健康に対する脅威であり、全ての人々にとって住みやすく持続可能な将来を確保するための機会の窓が急速に閉ざされようとしている。

2035年までに、2019年比で温室効果ガス60%削減、二酸化炭素 65%削減が必要

*現行の日本の2030年に2013年比46%削減は、2019年比では37%削減に留まる。

GHG・CO₂排出量の削減率(2019年比)

		2019年比削減率(%) 中央値 [] 内は5-95パーセンタイル				
		2030 2035 2040 2050				
オーバーシュートしない又は限られたオーバーシュートを	GHG	43 [34-60]	60 [49-77]	69 [58-90]	84 [73-98]	
伴って温暖化を1.5℃(>50%) に抑える経路	CO_2	48 [36-69]	65 [50-96]	80 [61-109]	99 [79-119]	
温暖化を2℃(>67%) に抑える経路	GHG	21 [1-42]	35 [22-55]	46 [34-63]	64 [53-77]	
/画版16で2 C(207%) に抑える程度		22 [1-44]	37 [21-59]	51 [36-70]	73 [55-90]	

出典:IPCC 第6次報告書 第3作業部会(IPCC AR6 WG3)解説サイト「IPCC 第6次報告書 統合報告書 解説資料」

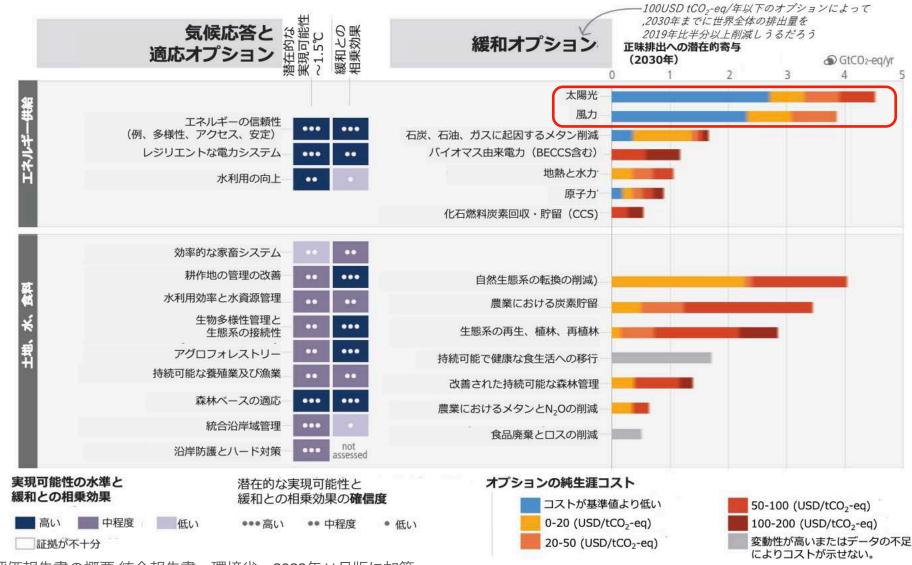
気候危機:IPCC 第6次評価報告書 統合版 緩和オプション



気候対策をスケール アップする機会は数 多く存在する

出典: AR6 SYR 図SPM 7 a)

a) 短期的な気候応答と適応の実現可能性と緩和オプションのポテンシャル



環境省

出典: IPCC第6次評価報告書の概要 統合報告書、環境省、2023年11月版に加筆

気候危機:COP28 化石燃料からの脱却ーtransition away



2023年11月30日~12月13日まで UAEドバイで開催

- ・エネルギーシステムにおける化石燃料から の脱却
- ・30年までに世界の再生可能エネルギー容量を3倍に、エネルギー効率改善率を2倍に
- ・35年までに世界全体の温室効果ガス排出量を2019年比で60%削減
- *現行の日本の2030年に2013年比46%削減は、2019年比では 37%削減に留まる。



電力システム改革:自然エネルギーと気候緩和に関わる成果と課題



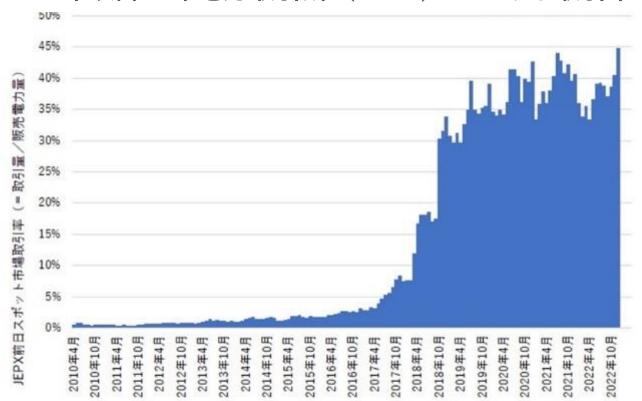
	主な取組	期待された主な効果	自然エネルギーと気候緩和に関わる 主な成果	自然エネルギー活用と気候緩和に向けた さらなる課題
	卸電力市場 の活性化	・広域メリットオーダーによる発電の最適化 ・経済合理的な電源保有実現 ・発電部門の競争促進	・限界費用の低い自然エネルギーによ る卸電力市場の価格低下	・優先給電ルールに伴う自然エネルギー出力抑制 ・石炭など化石燃料を温存する容量市場
競争部 門 発電・ 小売	小売全面自 由化	・新たなサービス・料金メニューの提供・低廉な小売価格・価格シグナルでの需要抑制	・自然エネルギー100%メニュー・コーポレートPPAの登場・電気の使い方で安価になる電力メニューの登場(例:昼間割引メニュー)・DRサービスの拡大	・わかりにくい非化石価値制度 ・規制料金/最終保障供給における燃料費調整スキーム ・実質的な化石燃料補助となる激変緩和措置 ・自然エネルギー発電に合わせ安価になる電力メ ニューのラインナップ増の必要性 ・需要家が自然エネルギーを調達しにくい市場 ・上げDRに対するインセンティブ不足
	広域系統運 用の拡大	・広域メリットオーダーによる発電の最適化 ・広域的な系統計画	・限界費用の低い自然エネルギーによる卸電力市場の価格低下 ・自然エネルギーの導入拡大を実現するための系統マスタープラン	・優先給電ルールに伴う出力抑制 ・野心的な自然エネルギー導入目標の設定
送配電部門	送配電部門 の 中立性確保	・様々な事業者による公平な 系統利用 ・小売競争の環境整備 ・需給調整における多様な電 源の活用	・自然エネルギーの系統アクセス機会の拡大(日本版コネクト&マネージ) ・送電線空き容量などを含めた系統情報の公開 ・電力需給データ(含:燃料種別)の 公開)	・送配電部門のさらなる中立化 ・必要な地内系統の増強と連系手続きの迅速化 ・自然エネルギーによる需給調整機能の提供の導入 (例:下げ調整力) ・さらなる系統情報の公開(例:一送の再エネ発電予 測のリアルタイム公開)

電力システム改革:広域メリットオーダーによる発電の最適化



(成果)取引市場の流動性の高まり

2010年以降の卸電力取引所(JEPX)における取引率

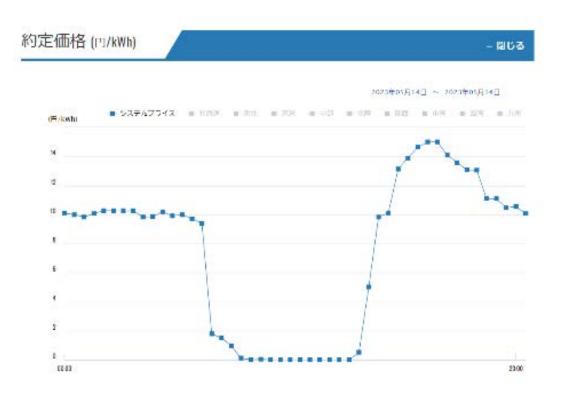


出典:経済産業省「電力調査統計」およびJEPX「スポット市場取引結果」より作成。

(出典) 自然エネルギー財団ウェブサイト「統計:電力市場」

(成果) 限界費用の低い自然エネルギー 電力による卸電力市場価格の低下

2023年5月14日 (日) のJEPX約定価格



(出典) 日本卸電力取引所「取引市場データ」



(課題)優先給電ルールに従う自然エネルギーの出力制御

2. 出力の抑制等を行う順番(1)

の抑制等を行う順番

2

電源 I (一般送配電事業者が調整力として予め確保した発電機及び揚水式発電機)の出力の抑制と揚水運転電源 II (一般送配電事業者からオンラインで調整ができる発電機及び揚水式発電機)の出力の抑制と揚水運転

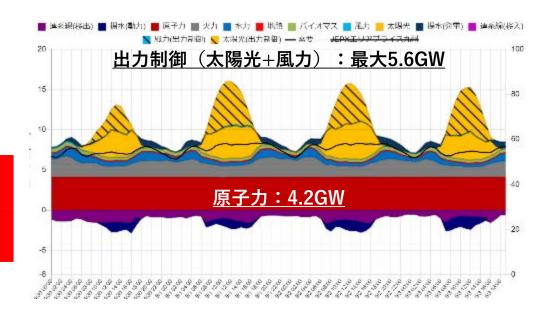
- 1 電源Ⅲ(一般送配電事業者からオンラインで調整できない火力電源等の発電機(バイオマス混焼等含む)及び一般送配電事業者からオンラインで調整できない揚水式発電機)の出力の抑制と揚水運転
- 2 長周期広域周波数調整 (連系線を活用した九州地区外への供給)
- 3 バイオマス専焼の抑制
- 4 地域資源バイオマスの抑制※1
- 5 自然変動電源の抑制
 - 太陽光、風力の出力制御
- 6 業務規程第111条 (電力広域的運営推進機関) に基づく措置※2
- 7 長期固定電源の抑制
 - ・原子力、水力、地熱が対象
- ※1: 燃料貯蔵の困難性、技術的制約等により出力の抑制が困難な場合 (緊急時は除く) は抑制対象外
- ※2: 電力広域的運営推進機関の指示による融通

電力広域的運営推進機関 送配電等業務指針

(下げ調整力の活用)第173条、(下げ調整力が不足する場合の措置)第174条、(出力抑制又は揚水運転の実施に係る事前協議)第175条

九州エリアにおける 2023年4月30日~5月3日の需給実績

大規模な長期固定電源による発電が優先され、 自然エネルギーが活用されない



電力システム改革:広域メリットオーダーによる発電の最適化



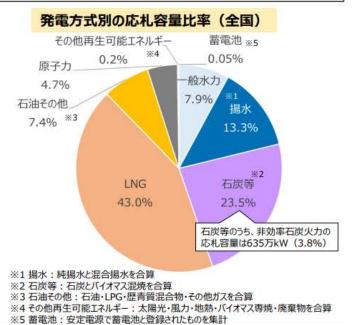
(課題)石炭など化石燃料を温存する容量市場

3. オークション結果の集計・公表 (4)発電方式別の応札容量

26

- 全国の発電方式別の応札容量※とその比率は、下記のとおり。 ※ 電源等の区分のうち、安定電源と変動電源(単独)のみの発電別方式の応札容量とその比率を示している。
- 一般水力は 1,306万kW (7.9%)、揚水は 2,196万kW (13.3%)、石炭等は 3,876万kW (23.5%)、LNGは 7,095万kW (43.0%)、石油その他は 1,217万kW (7.4%)、原子力は 776万kW (4.7%)、その他再生可能エネルギーは 30万kW (0.2%)、蓄電池は8万kW (0.05%) であった。



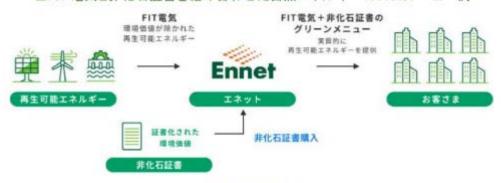


電力システム改革:新たなサービス・料金メニューの提供



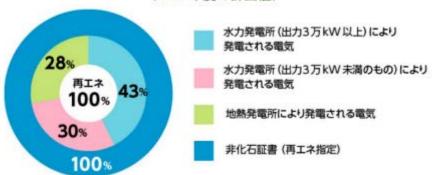
(成果) 電力システム改革以降に登場した 100%自然エネルギー電力メニューの一例

■FIT 電気と非化石証書を組み合わせた自然エネルギー100%のメニュー例



出典:エネット

■水力発電と地熱発電を組み合わせた「再エネ ECO 極」の電源構成 (2023 年度の計画値)



出典:九州電力

(課題)わかりにくい非化石価値制度

(例:電源構成・再エネ表示・ゼロエミ表示)



「再エネ」表示の整理

①再工ネ指定証書 十非 FIT 再工ネ電源	②再工ネ指定証書 +FIT 電気	③再エネ指定証書 +①②以外の電源の電気(JEPX 調 達・化石電源等)	④証書使用なし
再工ネ	再エネ (+FIT 電気の説明)※1	実質再エネ (+調達電源の説明)※2	訴求不可

電力システム改革:新たなサービス・料金メニューの提供



(成果) 自然エネルギーの有効活用を目指した電力メニューの登場

東京電力エナジーパートナー おひさまエコキュート専用プラン「くらし上手」

国内初!!おひさまエコキュート専用の 業界初!!太陽光自家消費促進型給湯機「おひさまエコキュート」 電気料金プラン「くらし上手」をリリース 主に戸建住宅で、太陽光発電設備とおひきまエコキュートを設置のお客さまを対象と > おひさまエコキュートとは、主に太陽光発電設備が発電する時間帯に空気の熟を利用 してお湯を沸かす貯湯式と一トポンプ給湯機です した「国内初」となるおひさまエコキュート専用の電気料金プランです > 太陽光で発電した電気でお湯を沸かすなど、自家消費を促進する環境にやさしいブラ 事生可能エネルギーである「空気の熱」と「太陽光発電の電気」をダブルで利用して お湯を沸き上げるため、省エネでカーボンニュートラル実現にも寄与する給湯機です 当社と一般財団法人電力中央研究所がエコキュートメーカーと連携して共同開発 ■「くらし上手」の料金イメージ サービス概要 した給湯機で、ダイキン工業株式会社から2022年2月1日に発売開始後、パナソニッ ク株式会社および三菱電機株式会社も順次発売を予定しています 関東エリア 197 太陽光等の昼間の電気で 2022年2月1日 お湯を添かす (夜間よりも効果的にお湯を添かせます) 120kWhを超過して 太陽光発電粉備とおいさまエコキュート 定額部分使用網 使用した分の従量料金 をお持ちのお客さま 昼辨上げ 住宅設備修理サービスが無料附帯 以前1個は1900年によべージを開

NORTH (1995) 人名西西斯尼亚斯特里里里里的阿尔特 (1995) 电力流性心电阻力电阻内电阻

ICTORODO NELS Partner Inc. All Plants Reserve

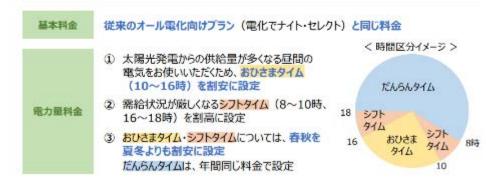
(出典)東京電力エナジーパートナー「カーボンニュートラル社会の実現に向けた新しい暮らし方のご提案について」(2022年1月25日)

九州電力 「おひさま昼とくプラン |

2 新料金プラン概要

5

- 今回、更なるカーボンニュートラルの実現を目指し、新たに料金ブランとして「おひさま昼トクブラン」を 創設します。
- 一定の負荷移行が可能な「エコキュート」、「蓄電池」または「電気自動車」をお使いのお客さまで、 当該機器による電気の使用を昼間へ移行可能なお客さまが、ご契約いただけます。 (申込時に機器のご使用状況について確認いたします)
- 昼間に電気をお使いただけるよう、「おひさまタイム」(昼間)の電力量料金単価を「だんらんタイム」 (夜間)よりも割安に設定することで、昼間に需要を創出し、再工ネ有効活用につなげていきます。



(出典)九州電力「低圧お客さま向け新料金プラン『おひさま昼トクプラン』を創設します」(2024年2月6日)

電力システム改革:新たなサービス・料金メニューの提供

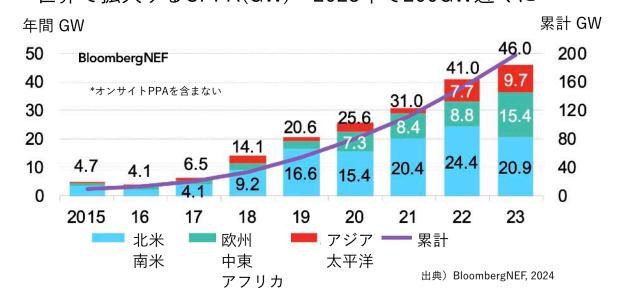


(成果)コーポレートPPAの登場

オンサイトPPAとオフサイトPPAを組み合わせた例



世界で拡大するCPPA(GW): 2023年で200GW近くに



(課題) 需要家が自然エネルギーを 購入しにくい市場

RE100加盟企業の自然エネルギー電力利用状況(2021)

国	加盟企業数 (本社所在)	加盟企業数 (事業実施)	電力消費量 TWh	自然エネルギー比率 %
米国	94	221	105	68
英国	46	183	12	99
ドイツ	15	165	12	85
中国	6	211	30	32
日本	66	173	28	15
全世界	227	334	376	49

ご参考)自然エネルギーを利用するサプライチェーン



Apple Watch シリーズ9:カーボンニュートラル製品



Product Environmental Report

Apple Watch Series 9 — Carbon Neutral

Date introduced September 12, 2023

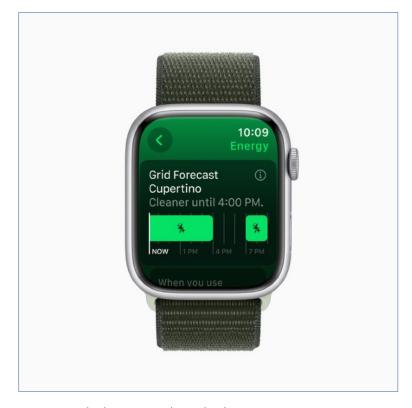
Carbon neutral Responsible packaging 30% recycled or renewable content? 100% of manufacturing electricity sourced 100% fiber-based, due to our work to elminate plastic in packaging⁶ from clean energy? 100% of Apple suppliers manufacturing 100% recycled or responsibly sourced parts and components for Apple Watch Series 9 and Sport Loop have committed to Apple's Supplier Clean Energy Program 50% or more non-air shipping? Smarter chemistry⁴ Recovery · Arsenic-free display glass Return your device through Apple Trade In. and we'll give it - Mercury-free a new life or recycle it for free. - Brominated flame retardant-free - PVC-free · Beryllium-free · Meets European REACH regulation on nickel Responsible manufacturing Longevity Apple Watch Series 9 is made with durable Apple Supplier Code of Conduct sets materials, has a water resistance rating of strict standards for the protection of people 50 meters under ISO 22810:2010, and is in our supply chain and the planet.

Any aluminum Apple Watch Series 9 paired with any new Sport Loop is carbon neutral

This report includes data current as of product is unch Product evaluations are based on U.S. configuration of aluminum Apple Watch Series 9 paired with Sport Loop.

Product carbon footbrint calculations include in-box accessories as well as peciaping.

グリッド予報:『「グリッド予報」は、Apple製デバイスの新しいツールで、一日を通じてユーザーの電力網に比較的クリーンなエネルギー源やよりクリーンではないエネルギー源がある時間帯を表示します。』



出典)https://www.apple.com/jp/newsroom/2023/09/apple-unveils-its-first-carbon-neutral-products/

電力システム改革:価格シグナルを通じた需要抑制



(成果) ディマンドレスポンスサービス (下げDR) の拡大

1-2.電源 I 'の調達結果③ (電源·DR構成比)

- 今回の電源 I '公募の調達においては、電源が34%と前回と比して3ポイント減少した。電源の構成比は、2021年度以降減少傾向となった。
- 今回の電源 I '公募の D R リソースの内訳については、自家発電源が約25%(前回比約+6ポイント)、需要抑制が約68%(前回比約−9ポイント)であった。
- 蓄電池については、0.43%と全体に占める割合はまだ多くはないものの、前回の0.02%と比べると大幅に増加した。

電源 I 'の調達量の内訳

	2021年度	2022年度	2023年度	
	容量 (万kW)	容量 (万kW)	容置 (万kW)	
落札容量	427.3	363.7	384.4	
電源	251.4	134.1	132.2	
DR	175.9	229.7	252.2	
電源の構成比	59%	37%	34%	
DRの構成比	41%	63%	66%	

電源 I 'のDRのリソースの内訳 ※供給電力(kW)で比較

	2022年度 向け	2023年度 向け
自家発電源	19.21%	24.99%
需要抑制	77.33%	68.33%
蓄電池	0.02%	0.43%
電源&需要抑制 需要抑制&蓄電池	3.44%	6.27%

注 2022年度九州エリアの相対調達分を除く

(出典)電力・ガス取引監視等委員会 第84回制度設計専門会合・資料6「2023年度向け調整力電源」・の調達結果等について」(2023年4月25日)に赤枠追記



DR黎明期から参画する製紙業界の雄 自家発電設備を活用して社会貢献を目指す

製紙製はかつてエネルギー多指資金素の代名割ともなっていました。 それだけに考算書・者エネルギーへの意識は高く、国常費高性語に 向けた取り組みを辿ってきていた。今日では、低の製造工程で挟出 される資産を利用したパイナマス発電など、自原発電土率の高い差 業として知られるに至っています。

なかでも、富土山麓 (静岡県富士市) で60年以上にわたって地域と の共生に努めてきた大鳥鬼屋様の取り関わけ、つなに集所をリード してきました。ディコンドリスポンス (DR) についても、日本で最 も早い総数で帯面された企業のひとつです。同社にとって、「DR は参画することは単数の流れだった」といいます。工場の現場を指 様する工格包含表面の時末克典都をと、原製部動力級の奈良却 利難課長にお話を何いました。



開発を表現します。 (100年7月 第3 日本 7月 7

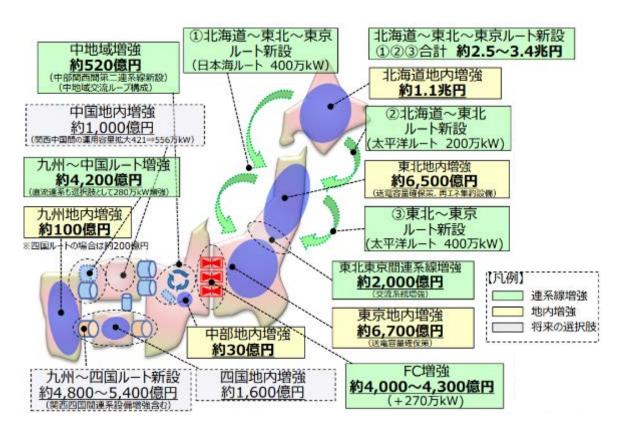
(出典) エネルエックスジャパン「大興製紙様におけるディマンドリスポンスの事例」(https://www.enelx.com/jp/ja/case-studies/taiko-paper)

電力システム改革: 広域的な系統計画



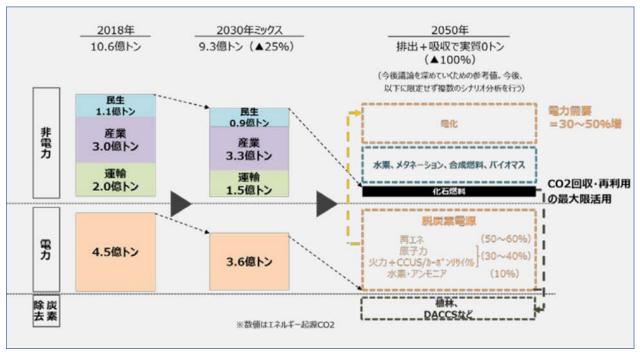
(成果) 系統マスタープランの策定

広域機関ベースシナリオにおける系統増強計画案



<u>(課題)さらなる自然エネルギ</u>ー導入目標の設定

現行の系統マスタープランは2050年の発電電力量のうち 5~6割を自然エネルギーで賄う前提



出典)電力広域的運営推進機関「広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン)別冊(資料編)」(2023年3月)

出典)経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」 (2020年12月25日)

電力システム改革:公平な系統利用と小売競争の環境整備



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

(現状認識)

- ・電力システム改革以降、想定潮流の合理化、N-1電制、 ノンファーム型接続などの取り組みにより、自然エネル ギーの系統利用は拡大。
- ・一方、法的分離は、発電・小売部門と送配電部門との会社のつながりがあり、グループ全体としての利益と送配電会社の利益との相克を原理的に抱える。
- ・地内送電線の増強計画が進められるのはこれから。
- ・2022年12月、一般送配電事業者が管理する情報の漏えいが発覚。その後の調査で個社の特殊事例ではないことが明らかに。規則やガイドラインが改正されたが、本格実施はこれから。

(課題)

早期の独立性・中立性確保に向けた、 将来を先取りした規制強化 規制機関の監視のあり方と体制の強化

出典 自然エネルギー財団「電力システム改革に対する提言ー自然エネルギーのさらなる導入拡大に向けて」(2020年3月現在の情報を基に作成、一部加筆)

https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/electricity_system_reform_2020.pdf

	フランス	ドイツ	日本
会社の方針決定に関する法令上の	行為規制の例		1
投資決定の独立性	送電会社による決定の独立	∑性が保証されなければならない	特別の定めなし
人事に関する法令上の行為規制の)例		
就任前のポストによる資格制限 (括弧内は考慮される期間)	対行役全自(尚主教 往		なし(自主的取組)
兼業禁止	取締役の一部 執行役全員 従業員全員	経営陣全員 従業員全員	取締役及び一部従業員(例外あり)
退任後4年間の就職制限	取締役等の一部 執行役全員	経営陣全員	なし(自主的取組)
取締役等の任命・解任等への規 制機関の関与	規制機関への報告が必要 (規制機関の異議がなけれ	れば発効)	兼業禁止違反にたいしては 経済産業大臣の是 正措置命令
取締役等の報酬への規制	垂直統合企業の事業や業績	責に影響されない基準で決定	なし
人材の独立性	法務・会計・IT人材、会計	†監査人の独立性必要(共用禁止)	なし
情報管理・取引等に関する法令上	の行為規制の例		
差別的取り扱いの禁止	行為規範を策定(規制機関	目が承認)	規程を策定(経済産業大臣へ報告)
垂直統合企業との商業上・財務 上の取引の取扱い	規制機関に報告し、承認を	を得る	記録の上、概要を経済産業大臣に報告。通常条 件と異なる取引は経済産業大臣の承認を得る
情報システムの共用	禁止	禁止(ごく一部の例外あり)	目的や情報ごとのアクセス制限の下で許容
社名の利用	垂直統合企業との混同を生	Eじる恐れのあるものは禁止	同一であると誤認のおそれのある商号は禁止
法令遵守体制に関する法令上の行	⁻ 為規制の例		
責任者	コンプライアンス・オフィ	rサー (国により呼称は異なる)	法令遵守責任者、監視部門
責任者の任免等	・資格制限、兼職、退職役・規制機関による承認が必		・取締役等と同様の兼職禁止規定(法令遵守責任者)・発電・小売部門から独立(監視部門)
責任者の職務	・行動規範実施状況の監視 ・行動規範実施のためのが ・施策に関する社内機関へ ・アニュアルレポートの代 ・規制機関への実施違反逐	地策策定 への提言 F成・規制機関への提出	・法令遵守体制を監視 (法令遵守責任者、監視部門) ・法令遵守体制の作成 (法令遵守責任者) ・取締役会に報告(監視部門) ※ 監視結果を経済産業大臣に年次報告(事業者として) ※ 規制機関への通報義務規定なし
責任者の情報アクセス等	すべての会議への出席、情	青報アクセス、場所への立入り権限	22 特段の定めなし

電力システム改革:需給調整における多様な電源の活用

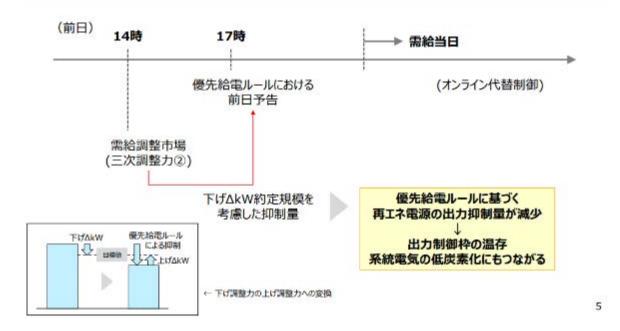


(現状認識)本来確保すべき下げ調整力を 「出力制御+上げ調整力」で確保

参考) 上げDR(下げΔkW)の市場取引化について



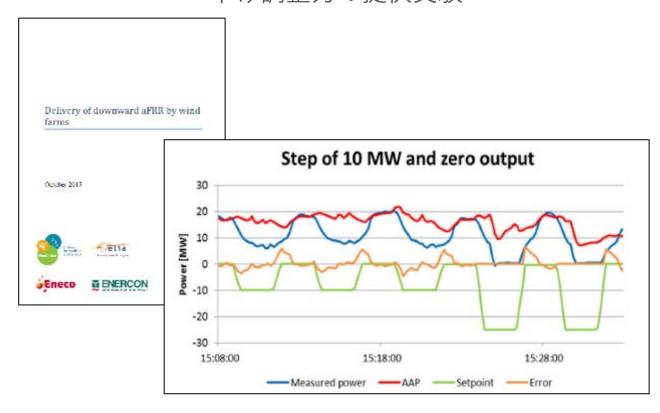
下げ調整力の確保にあたり、TSOは優先給電ルールに基づき電源出力を抑制、上げ調整力に変換しているが、例えば三次調整力②で下げ∆kW商品を創設した場合、結果として再エネ電源の抑制量が減少され、「系統電気の低炭素化」にも資する可能性もあるのではないか



(出典)経済産業省 第4回あるべき卸電力市場、需給調整市場及び需給運用の実現 に向けた実務検討作業部会電力広域的運営推進機関「参考資料3」(2023年1月31日)

(課題) 自然エネルギーによる需給調整機能の 提供(下げ調整力)

ベルギーで実施された風力発電所(81MW)による 下げ調整力の提供実験



(出典) Elia "Delivery of downward aFRR by wind farms" (2015年10月)

電力システム改革:需給調整における多様な電源の活用



Offshore-Windpark von Ørsted stellt als erster deutscher Offshore-Windpark Regelreserve für deutsches Stromnetz zur Verfügung

19.05.2022 19:15







Der Windpark Borkum Riffgrund 1 von Ørsted ist der erste deutsche Offshore-Windpark, dessen produzierter Strom systemstabilisierend ins deutsche Stromnetz eingespeist wird. Borkum Riffgrund 1 zeigt nach erfolgreichem Abschluss einer Präqualifikation, dass Regelleistung in Form von Minutenreserve und Sekundärreserve angeboten werden und in das Stromnetz eingespeist werden kann.



Offshore-Windpark Borkum Riffgrund 1 | Ørsted

https://orsted.de/presse-media/news/2022/05/borkum-riffgrund-1-regelenergie







<プレスリリースより抜粋翻訳>

Ørsted社洋上風力発電所、独送電網に制御予備力を提供する独初の洋上 風力発電所となる

19.05.2022 19:15 Ørsted社のBorkum Riffgrund 1風力発電所は、系統を安定させるドイツ初の洋上風力発電所である。ボルクム・リフグランド1風力発電所は、事前審査に合格した後、バランシング電源が分リザーブおよび二次リザーブの形で提供され、電力グリッドに供給されることを実証した。

ライプチヒ/ハンブルク/バイロイト Ørsted社のBorkum Riffgrund 1洋上風力発電所は、ドイツの電力網に系統安定化バランシング電力を供給開始した。Energy2market社とØrsted社は、Borkum Riffgrund 1からの電力をドイツの電力網のバランシング電力として提供することに協力している。送電系統運用者TenneTが指定した事前資格認定がおりたが、TenneTに加え、このプロジェクトのベースとなっているEnergy2marketの事前認定コンセプトは、ドイツの他の3つの送電システムオペレーターをも納得させ、4つの制御エリアすべてで承認された。

TenneTのCOOであるTim Meyerjürgensは「他の送電系統運用者とともに、TenneTは、バランシング電源として 風力発電所を獲得することを目的として、事前資格審査条件の改定に集中的に取り組んできた。最初の洋上風力 発電所の事前認定が、他の市場参加者にもこのステップを踏み出す動機付けとなり、今後ますます多くの風力 タービンによるバランシング電源がドイツのバランシング電源市場で取引されるようになると確信している

制御エネルギーが電力網の変動を相殺

ドイツではエネルギー転換が進み、原子力発電や石炭火力発電が段階的に廃止されている。バランシング電源の供給ギャップを防ぐため、ドイツの送電系統運用者は、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの事前認定に力を入れている。バランシング・エナジーという用語は、制御電力とも呼ばれる。これは、送電網の変動、すなわち送電網の周波数を補償するための予備として機能する。送電網の変動は、例えば、電力需要の急激な低下や天候の変化により、風力発電や太陽光発電の発電量が増加することで発生する。バランシング・エナジーを使用することで、こうした変動を補い、発電と消費のバランスを保つことができる。電力は送電網に供給することも、送電網から取り出すこともできる。

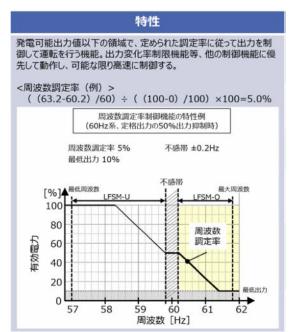
風力タービンの事前審査がこれまで稀だったのはなぜか?

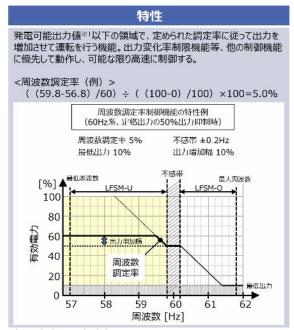
バランシング電源の供給スピードに加えて、供給される電力の安定性も極めて重要である。ボルクム・リフグルンド1発電所(OWP)は、この問題に対する解決策を提供、この発電所はいわゆる動作点を継続的に調整する。供給される制御電力はこれに基づいて決定される。そのため、TenneTのコントロールセンターにある電力周波数コントローラーにとって、OWPは通常の発電所のように見える。さらに、Energy2marketは、翌日の販売電力量を正確に計画する。天気予報が不正確な場合、供給電力は若干少なくなるが、それでも確実に供給することができる。

ご参考) 周波数制御機能-1:再エネを含む全ての発電設備共通



- 需給のアンバランスにより秒オーダーで変動する周波数に対して、全ての発電機が自律制御で周波数を 規定範囲内に制御する一次周波数制御機能:再エネが電力品質維持に貢献
 - 欧州1
 - Requirements for Generators (RfG) (2016): 具体的な制御定数設定値は、各国の発電設備構成・電圧クラスなどにより異なるが、全ての発電設備は一次周波数制御機能を具備し、各国のグリッドコード(ネットワークコード)に反映済み
 - 米国²
 - FERC Order No.842 (2018) :同期機・非同期機に関わらず、一時周波数応答(調定率5%、不感帯±0.036Hz)を供することを接続要件(接続義務)とする
 - 日本3
 - OCCTO グリッドコード検討会にて、 2020年9月から要件化の検討を開始
 - 第13回(2023年6月7日)にて具体的な 検討を行い、フェーズ2:中期(2025年前後) 要件化を目指している
 - ▶ 周波数上昇時に、再エネはゼロ出力まで低減可能 (事前の出力抑制指令に含めたマージンが不要となる)
 - ▶ 周波数低下時の出力上昇は、定格出力基準ではなく 出力可能値基準とすることにより機会損出の低減可能
- 1: https://www.entsoe.eu/network_codes/rfg/
- 2: https://www.ferc.gov/media/order-no-842
- 3: https://www.occto.or.jp/iinkai/gridcode/index.html





ご参考) 周波数制御機能-2:風力発電



- Requirements for Generators (RfG) (2016)により、各国の要求仕様が統一されたが、本機能はそれ以前から各国で適用されており、IECでは各制御機能とその評価方法を規定した。日本でもこれに準じた測定方法により、制御特性を確認している。
 - 風力発電 IEC規格
 - IEC 61400-21-1:2019 Measurement and assessment of electrical characteristics Wind turbines
 - IEC 61400-21-2:2023² Measurement and assessment of electrical characteristics Wind power plants
 - 日本風力発電協会
 - 電力品質維持にも貢献する風力発電ー有効電力・周波数制御機能の特性と効果ー³ 青森県で運転中の風力発電所において、各種制御機能特性実測し、その有効性を検証している

P_{ref}

Could be a reference point
for the P=f(f) depending on the
descripe control function

Example of one
active power gradient ΔP/Δf
from f_{supp} to f_{sup} to
f_{sup} f
freteese control

Istep a Istep b Istep max I [Hz]

/>/step : /under -0.05 /over +0.05 /</ri>

風力発電機出力 2017年10月28日(土) 50.30 2.000 50.25 1.800 50.20 50.15 50.10 1,200 50.05 1,000 49.95 49.90 49.85 49.80 49.75 6:12

周波数制御機能ON(不感帯0.05HZ)、出力変化率制限制御ON 2,000kW機8基の制御特性 時間幅:5分

1: https://webstore.iec.ch/publication/29528 左

2: https://webstore.iec.ch/publication/27873 中図

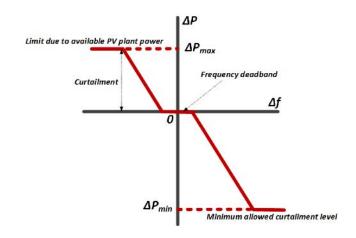
3:日本風力発電協会協会誌 14号(2018年10月) 右図

ご参考) 周波数制御機能-3:太陽光発電



- 300MWの太陽光発電所における試験結果(California ISO、NREL、First Solar)
 - 設定値通りの特性に従って、出力低減・出力増加制御を行うことを確認

試験時の周波数調定率特性



調定率=5%、3%(出力可能值基準方式)

不感带=±0.036Hz

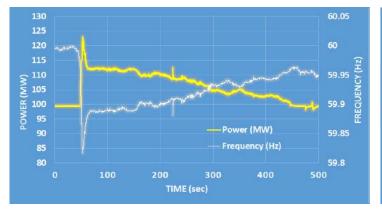
リザーブ量=10%

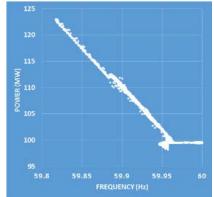
出力上限=出力可能値

出力下限=出力可能値の20%

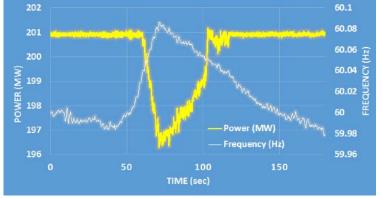
周波数低下時(調定率=3%の場合、時間幅:500秒)

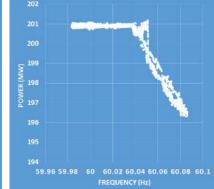
白:周波数 黄色:太陽光出力





周波数上昇時(調定率=5%の場合、時間幅:200秒)





電力システム改革:需給調整における多様な電源の活用



(成果) 電力需給燃料種別データ (含:燃料種別) やインバランス価格リアルタイム公開





(出典) インバランス料金情報公表ウェブサイト 2024 年2月23日https://www.imbalanceprices-cs.jp/

(課題) さらなる系統情報の公開 (例:一送の再 エネ発電予測のリアルタイム公開)



出典 Red Electrica de Espana (スペインTSO)

[&]quot;Al dia" 2024年2月22日 https://www.ree.es/es/datos/aldia

[&]quot;Península - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica" 2024年2月21日 https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demandagh/acumulada/2024-02-21



(現状認識) FiT向け調整力である3次調整力②交付額が年間1,000億円超となると共に 3次調整力①および②において調達不足が発生

【算定時の考え方】三次②調達費用の交付見込額

 2023年度の三次②調達費用の交付見込額は、それぞれのエリアにおいて、調達単価に、効率 化係数やインセンティブを考慮した取引実績量(全国合計:196億△kW・h)を乗じることで 算出。全国合計は、約1,200億円。

エリア	調達単価 (円/AkW - h)
比海道	14.6
東北	5.8
東京	3.2
中部	6.8
北陸	7.3
関西	10.2
中国	6.1
四国	3.4
九州	6.6
沖縄	2.1
平均	6.2

エリア	補正後の実績量 (原ΔkW・h)
北海道	3.6
東北	21.3
東京	43.6
中部	30.1
北陸	2.0
関西	29.6
中国	17.6
四国	15.2
九州	30.8
沖縄	2.2
合計	196.0

エリア	2023年度交付金見込額
北海道	53.4
東北	123.6
東京	141.1
中部	205.3
北陸	14.8
関西	300.1
中国	108.0
四国	51.7
九州	204.8
沖縄	4.6
合計	1,207.4

第50回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネット ワーク小委員会(2023年3月2日)資料2 一部修正

- ※1:各数値は四捨五入のうえ表示。
- ※2:実際の交付額単価は、FIT設備の見込量で算定した交付金線を、エリアごとに2023年度の買取電力量の見込値で割り戻し、決定されるものであることに留意が必要
- 3:沖縄については、需給調整市場が開場していないため、2021年度・2022年度交付金算定時と同じ考えのもと、交付金を算定する。
- ※4:三次②では調達不足が発生していることを踏まえ、2023年度の調整力確保費用算定には、取引実績量を使用したが、今後調達不足の解消が進んだ際には、取引実績量ではなく、必要量の実績値を使用することが考えられる。

(出典)経済産業省 第55回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 (資料3) 「再エネ予測誤差に対応するための調整力確保費用」(2023年9月27日)に赤枠追記

3次調整力における調達不足の割合

(例) 100% = 当該月当該ブロックすべてで未達が発生

3次① (未達となったブロック年合計:1314ブロック(約70%))

	プロック	2 プロック	3 ブロック	4 ブロック	5 ブロック	6 ブロック	ブロック	8 ブロック
4月	0%	93%	100%	100%	100%	100%	0%	_
5月	-	81%	100%	100%	100%	100%	-	_
6月	_	100%	100%	100%	100%	100%	100%	_
7月	_	100%	100%	100%	100%	_	70	_
8月	<u>65</u>	61%	81%	87%	87%		27.5	
9月	97%	_	90%	87%	90%		20	
10月	_	-	100%	100%	100%	100%	_	_
11月	_	0%	47%	93%	87%	10%	3%	20%
12月	0%	0%	16%	97%	77%	-	23	0%
1月	_	0%	45%	90%	90%	-	22	0%
2月	_	_	32%	100%	75%	_		-
3月	29%	_	94%	90%	81%	100%	0%	0%

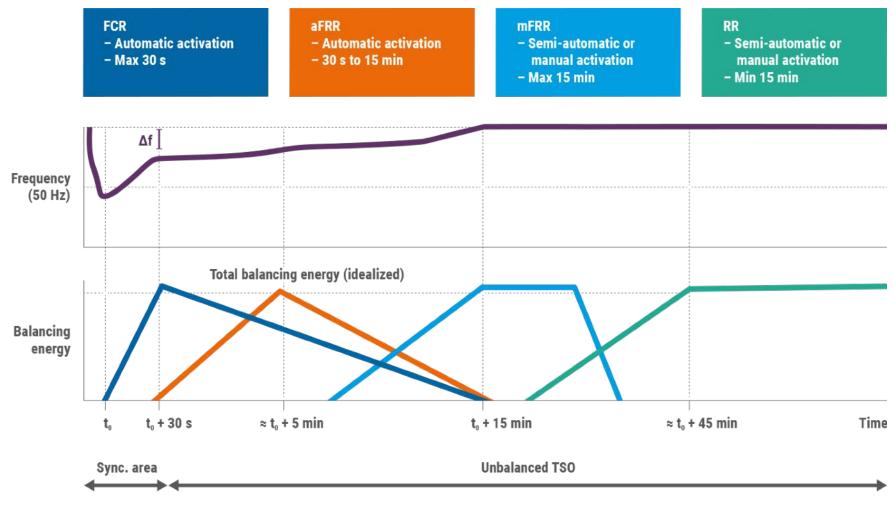
3次② (未達となったブロック年合計: 1260ブロック(約40%))

	1 ブロック	2 ブロック	3 ブロック	4 ブロック	5 ブロック	6 ブロック	フロック	8 ブロック
4月	0%	7%	90%	93%	87%	97%	7%	7%
5月	0%	0%	94%	84%	87%	97%	32%	6%
6月	0%	3%	77%	80%	90%	93%	43%	10%
7月	10%	10%	68%	84%	97%	94%	77%	29%
8月	0%	6%	61%	81%	90%	97%	35%	10%
9月	0%	20%	40%	77%	80%	83%	33%	10%
10月	0%	10%	61%	71%	71%	90%	16%	6%
11月	23%	43%	77%	93%	80%	93%	17%	40%
12月	10%	6%	39%	77%	61%	94%	3%	10%
1月	3%	29%	45%	74%	32%	71%	19%	13%
2月	0%	18%	21%	29%	21%	18%	0%	11%
3月	3%	3%	61%	68%	45%	65%	0%	10%

(出典)電力・ガス取引監視等委員会 第84回制度設計専門会合「需給調整市場(三次調整力①及び②)の運用状況等について」(2023年4月25日)



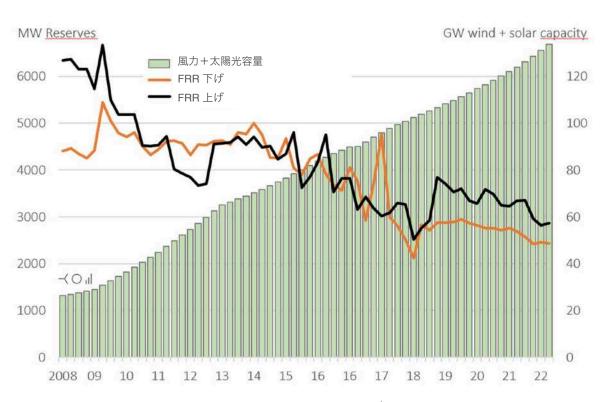
(参考)欧州の需給調整商品の区分け





(参考)RR(3次調整力相当)をTSOが調達しないドイツにおけるBalancing Powerの調達量

ドイツのバランシング・パラドックス



出典)Lion Hirth @LionHirth

04:28AM, 24FEB2024, https://twitter.com/LionHirth/status/1761110908208656713

2008年から2023年まで:

- ・風力+太陽光発電設備容量は5倍増加
- ・バランシング・リザーブ(aFRR+mFRR)は50%減

可能にしたのは:

- ・TSOの協力
- ・気象モデルの改善

分散型のバランシング:

- ・重要な役割を果たした
- ・多くの要因の原動力となった (予測、取引)

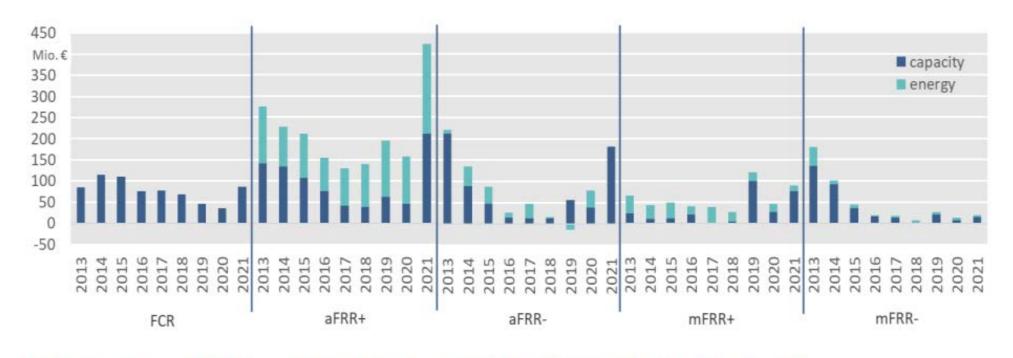
RRをTSOが調達しないドイツでは、BRP(Balancing Responsible Party*)がその機能を担い、FCRとFRRをTSOが担当。

変動型自然エネルギーが増加してもFRRについては上げ・下げの両方の調達量が低下



(参考)RR(3次調整力相当)をTSOが調達しないドイツにおけるBalancing Powerの調達コスト

ドイツにおけるバランシング容量とエネルギーコストの状況



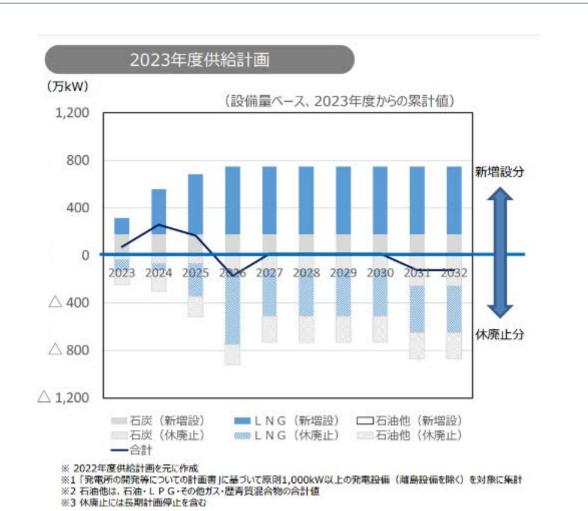
(出典) Consentec GmbH "Description of the balancing process and the balancing markets in Germany" (2022年8月)

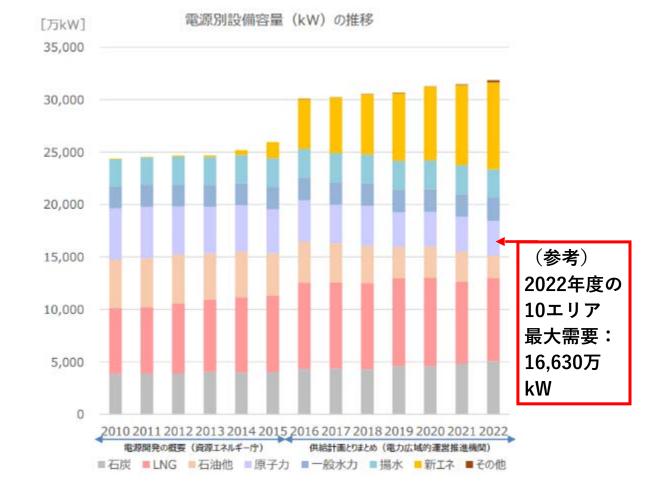
TSOが調達するFCR・FRRの調達総額は、ウクライナ危機以降、aFRR(上げ)において増加が見られるが、変動型自然エネルギーの拡大に伴う増加との相関は高くない

電力システム改革:供給力確保の議論について



(現状認識)電力システム改革以降、旧式の火力発電がリプレイスもしくは休廃止





電力システム改革:供給力確保の議論について



ネガティブプライスは蓄電池や水素製造等の導入を促すインセンティブとなる可能性がある。 自然エネルギーの運用主体を競争市場(発電・小売)に移すことで、小売事業者が自ら供給力を確保する仕組みが構築。

諸外国における負の価格の導入状況

○ 再エネ導入で我が国に先行する<u>欧州(ドイツ、フランス、英国、デンマーク等)</u> <u>や米国では、</u>基本的に強制的な出力抑制ではなく、<u>「負の価格」の導入</u>により、 市場原理に基づく、効率的な需給バランスの調整が行われている。

	日本	北欧 (デンマークなど)	ドイツ	フランス	英国	米国*
電力市場における負の価格	×	0	0	0	0	0

凡例 ○:認められている ×:認められていない

出典)ENTSO-E公表データ等から構成員作成 https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show

電力システム改革:供給力確保の議論について



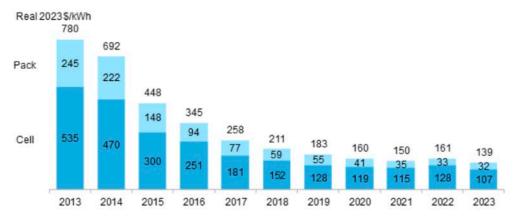
(ご参考)日独PJMの電力市場における自然エネルギーの運用主体

	日本 (現在)	日本 (2024年度以降)	ドイツ	PJM
設備容量確保	電源 I 公募 電源 I ダッシュ公募	容量市場	戦略的予備力 (公募)	容量市場
起動停止計画(UC)	分散型を基本 (kWh市場+電源 I・Ⅱ)	分散型 (kWh市場+ΔkW市場)	分散型 (kWh市場+ΔkW市場)	集中型 (kWh市場+ΔkW市場)
kWh確保の仕組み	計画値同時同量 (分散型)	計画値同時同量 (分散型)	実同時同量 (分散型)	プール (集中型)
系統運用者の持つ情報	BG調達計画+電源 I · Ⅱ	BG調達計画+調整電源	BG調達計画+ΔkW	全電源情報
エネルギー市場時間単位	GC:1時間前 コマ:30分	GC: 1時間前 コマ: 30分	GC:5分前 コマ:15分	コマ:5分
エネルギー市場入札単位	kWh価格(起動費込) ※電源 I・Ⅱ の起動費は別	kWh価格(起動費込)	kWh価格(起動費込)	起動費、最低出力コスト、限界費用カーブ
系統運用者の制御対象	電源Ⅰ・Ⅱ	ΔkW電源+余力活用電源	ΔkW電源	全電源
調整力kWh価格入札	上げ下げ別価格 UC後変更自由	上げ下げ別価格 UC後変更自由	上げ下げ別価格 落札後変更不可	1価格 UC後変更は値下げのみ可
調整力価格決済方式	調整力: Pay as bid インパランス: Pay as cleared	調整力: Pay as bid インパ・ランス: Pay as cleared	調整力: Pay as cleared インバランス: Pay as cleared	リアルタイム市場 : Pay as cleared
経済配分(5分限界費用)の 小売価格の反映	なし	インバランス料金	インバランス料金	リアルタイム市場
エネルギー市場の混雑考慮	エリア間のみ	エリア間のみ	エリア間のみ	ノード間
需給ひっ迫時の価格補正	あり 最大:200円/kWh 卸市場上限の0.2倍	あり 最大:600円/kWhの予定 卸市場上限の0.6倍	あり 最大:20,000ユーロ/MWh エネルギー市場上限の2倍	あり 最大: \$3,700/MWh+α エネルギー市場上限の1.8倍
再エネ運用主体	系統運用者	系統運用者 (卒FIT・FIPはBG)	BRP	系統運用者
揚水運用主体	系統運用者 (一部発電事業者)	発電事業者(BG)	BRP	系統運用者
ネガティブプライス	なし	なし	あり	あり

エネルギー転換:世界・分散型電源が加速する

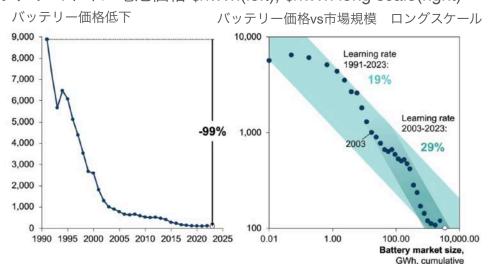


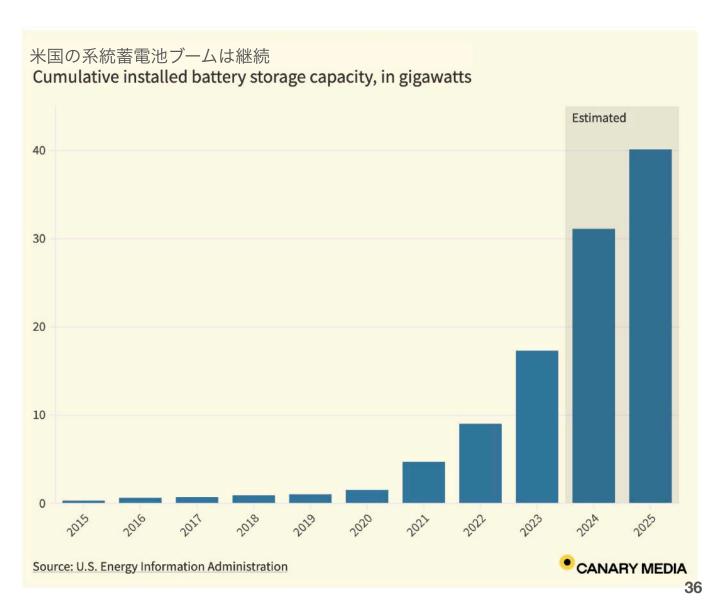
リチウムイオンバッテリーパックとセルの価格分割 2013-2023



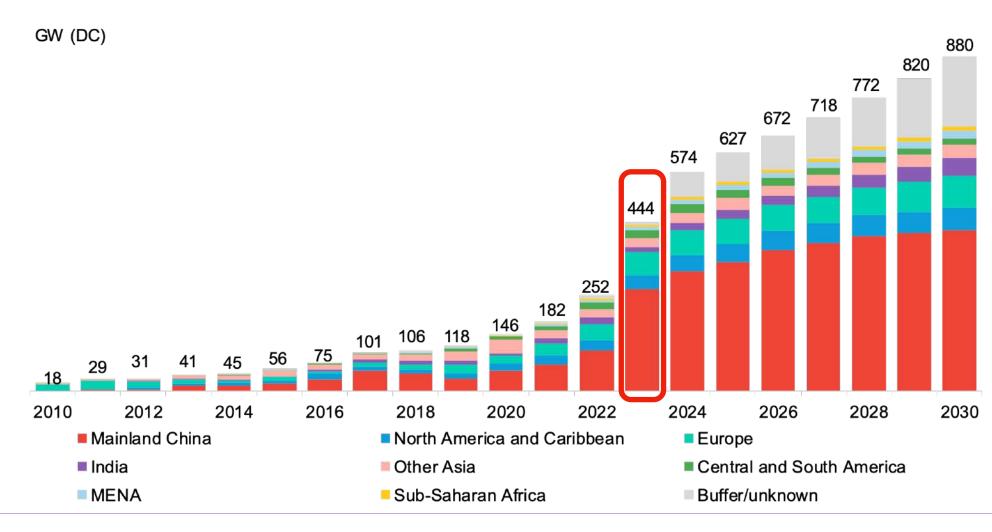
Source: BloombergNEF. Historical prices have been updated to reflect real 2023 dollars. Weighted average survey value includes 303 data points from passenger cars, buses, commercial vehicles, and stationary storage.

リチウムイオン電池価格 \$/kWh(left), \$/kWh long scale(right)





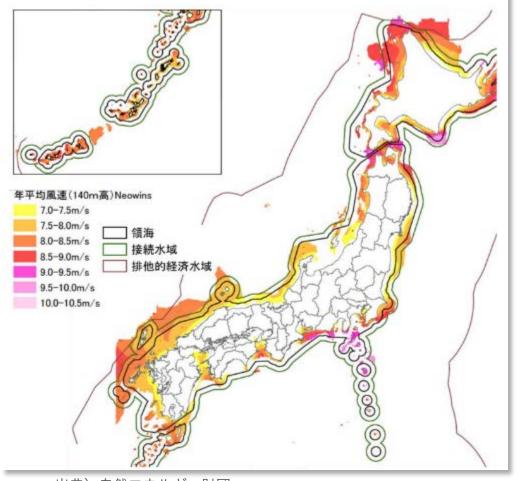
世界のPV年間導入量の過去および中期シナリオ予測



エネルギー転換:洋上風力発電、太陽光発電の導入ポテンシャル



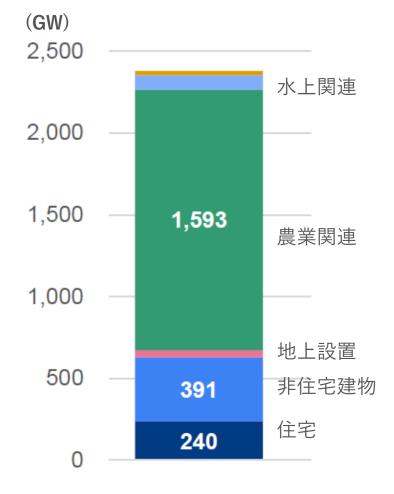
洋上風力ポテンシャル (領海 + EEZ) = 1,128GW



出典)自然エネルギー財団 「日本の洋上風力発電のポテンシャル」(2023年11月)

太陽光発電ポテンシャル: 2,380GW(DC)

*将来的な発電効率想定



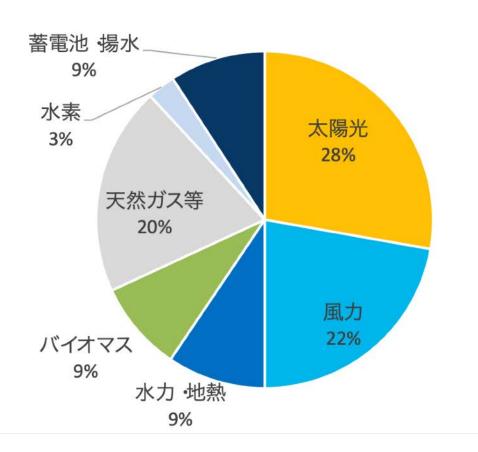
出典)太陽光発電協会「"PV OUTLOOK 2050"(2023年度暫定版)」 (2023年11月)に加筆・修正

エネルギー転換:2035年脱炭素化電力ミックスの試算結果(暫定)

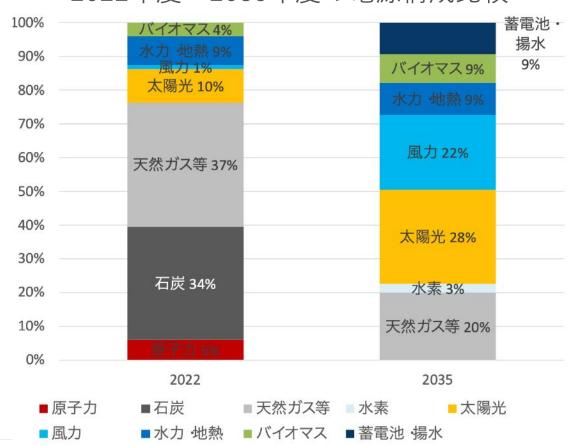


自然エネルギー財団

2035年度電源構成(発電電力量ベース)



2022年度・2035年度の電源構成比較



2035年度の1年間を1時間ごとの需給シミュレーションを行い、変動自然エネルギーの発電の季節・時間別の特徴を前提として、需要を賄うことができるか検証した。 本モデルは電力需給モデリングや電力市場評価のためのプラットフォームであるPROMOD(日立エナジー社製)を用いており、調整力・予備力・エリア間の連系線 容量・設備タイプごとの運転制約等の各種制約を満たした上で、コスト最小化計算を行う。沖縄を除いた9エリアについてのゾーナルモデルである。

エネルギー転換を支える電力システムに向けて



- 世界では、太陽光・風力を中心に変動型自然エネルギーが急速に拡大しており、気候危機に対する緩和策として、効果的かつ経済性の伴う手段であると認識されている。
- 日本でも過去10年間で太陽光・風力の発電容量は90GW超に至ったが、今後、さらなる導入が見込まれており、今後、それに対応する電力システムが求められている。
- 2013年より始まった電力システム改革は、自然エネルギーを拡大する観点から一定の評価ができるものの、 さらなる自然エネルギーの導入には課題がある。とりわけ、
 - ①需給運用において自然エネルギーを最大限活用するための措置(例:優先給電ルールの撤廃)、
 - ②地内系統の増強と送配電部門のさらなる中立化、
 - ③自然エネルギーによる需給調整機能の提供、

などは、さらなる自然エネルギーを中心としたエネルギー転換を進めるうえで、必要不可欠である。

• 今後、自然エネルギーによる脱炭素化を実現するために、蓄電池や水素製造などの新たな技術オプションを取り込む市場設計を行い、調整力を増加させず、かつ、自然エネルギーを供給力として活用する電力システムを指向していくべきである。

Paradigm Shift in Energy

