

一般社団法人福島県再生可能エネルギー推進センター
蓄電池を活用した再エネ事業推進動向セミナー

2050年カーボンニュートラルに向けた 電力システムの課題と蓄電池ビジネスの展望

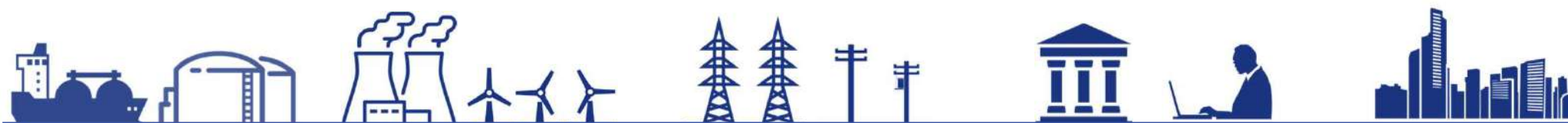
2022年12月

合同会社エネルギー経済社会研究所

電力システムが抱える足元の課題

- 足元では、電力システムの上流側において多くの課題を抱えている。特に、ロシア軍によるウクライナ軍事侵攻以後、化石燃料は「コモディティ」から「戦略物資」へ変化した。
- 特に「ウクライナ後」を前提とした、燃料・発電部門を中心に電力システムが抱える足元の課題を述べる。

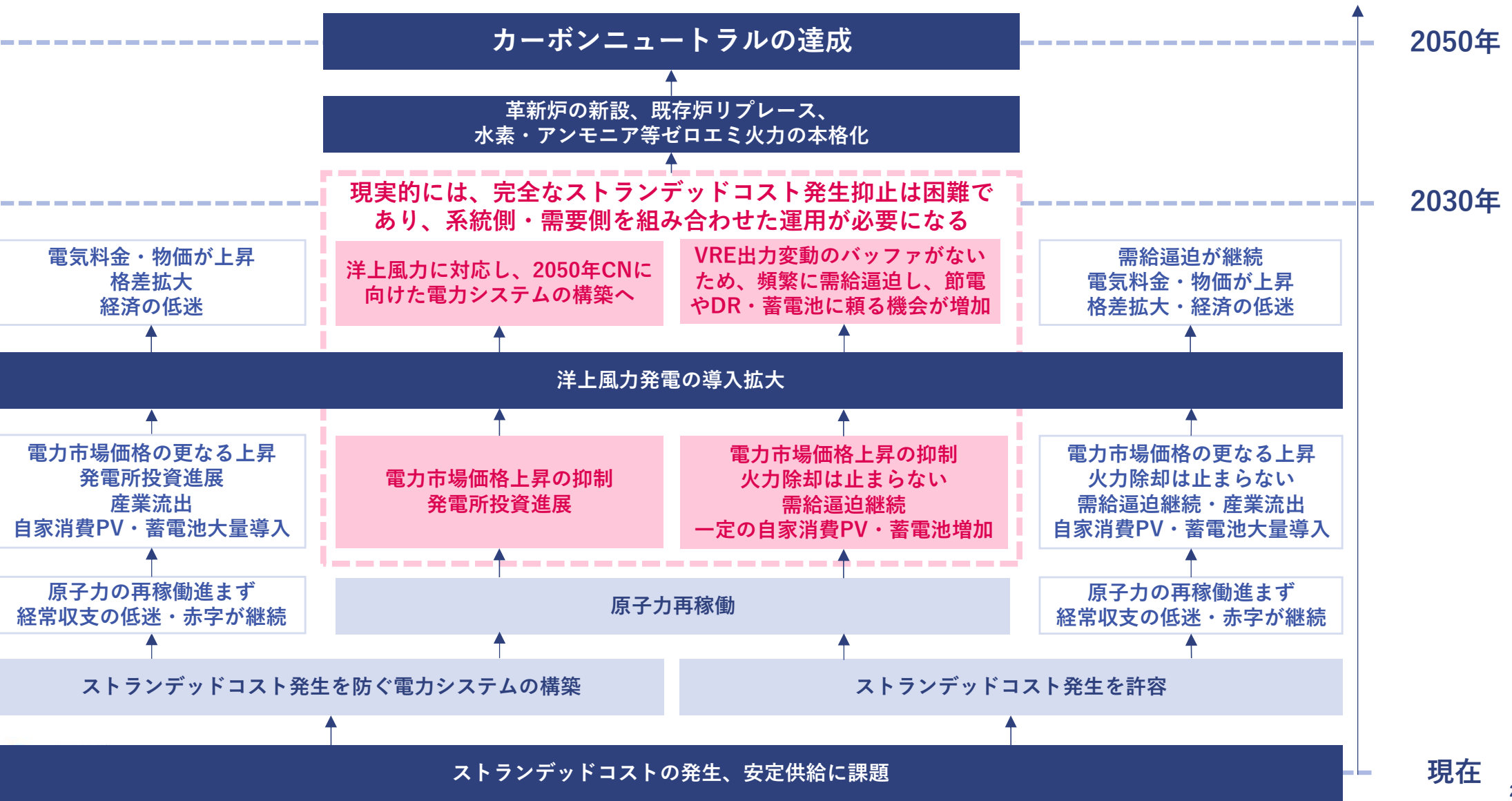
電力システムが抱える足元の課題



燃料	発電	送配電	市場・小売	需要
国際燃料価格の上昇と将来的な見通し	ストランデッドコストの発生 (若しくは、発生の懸念)	地域間連系線の更なる拡充検討	不透明な市場・小売電気事業者の役割	需要側柔軟性の拡大 (節電・DR)
増大する燃料需給の不確実性とLNG長期契約の減少	発電部門の脱炭素化	将来需要の不確実性 (EV・データセンター需要など、急激な需要増の可能性)		
ロシア軍のウクライナ軍事侵攻に端を発した国際情勢の変化	卒FITを迎えた再エネ電源の維持運用体制構築に向けた検討	柔軟性確保		
kWh確保の不確実性		系統費用の上昇		
火力発電所除却の加速		デススパイラルの懸念		

ストランデッドコスト発生とCNに向けたシナリオ

- 2050年カーボンニュートラルの実現にあたって、考えられる分岐点と考えられるシナリオを複線的に整理した。
- CN実現にあたっては、一定のストランデッドコスト発生を織り込んで、供給側・需要側を組み合わせた運用が必要になる。需要側を含めた2030年CN移行時代・2050年CN時代のエネルギーミックスについて議論が必要。



脱炭素は安定供給・安定した電気料金が維持されて達成できる

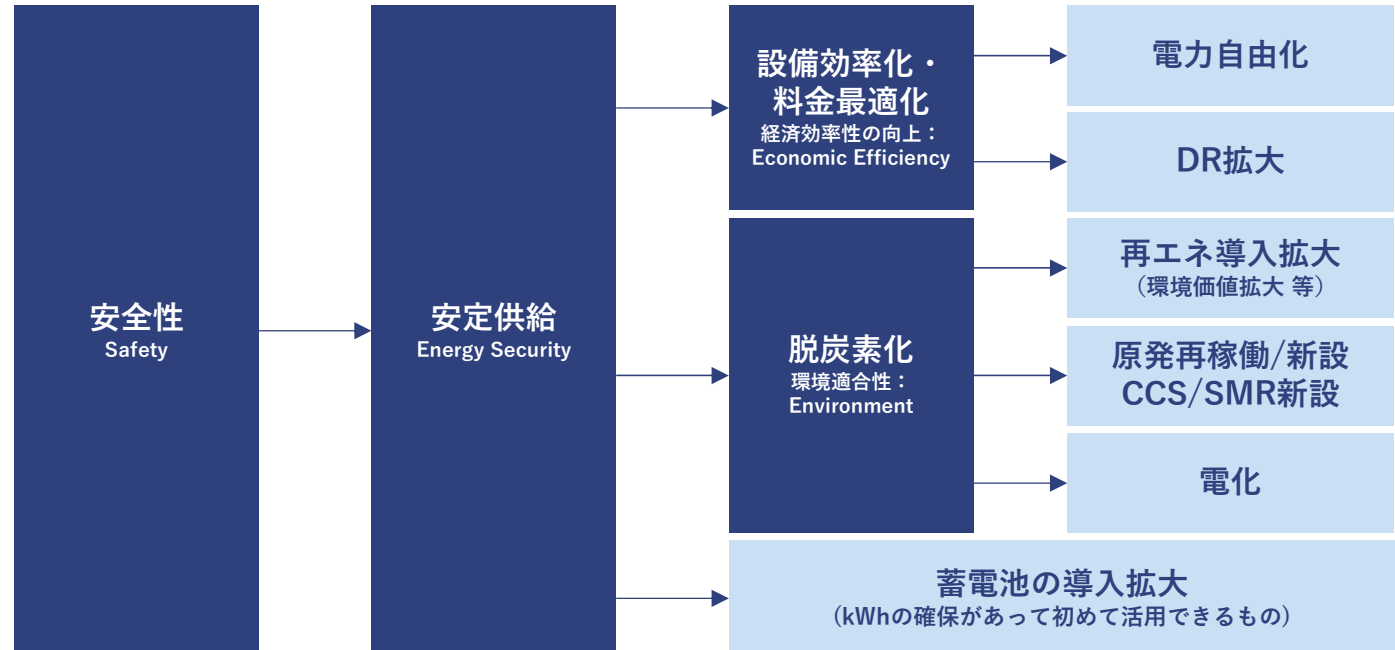
- これまで脱炭素を実現する手段として、供給側（発電/燃料）に制約をかける（フェードアウト方針策定、金融機関による石炭に対する融資しない方針等）手法が多用されてきたが、結果として上流投資を抑制してきた側面があり、安定供給やエネルギー安全保障に課題が生じる事態に直面している。
- また、政府はエネルギー政策の基本原則として「S+3E」を掲げており、安全性を大前提に安定供給・経済性・環境の両立を謳ってきた。
- 他方で、昨今の需給逼迫やエネルギー危機等により、国内外で安定供給なき経済性や環境追求は国民の支持を得られない状況が明白となりつつある。
- 現実には、「安全性を確保した安定供給」を大前提にした経済効率性・環境適合性の追求（SE+2E）」が求められているものと理解。

S+3Eの考え方



出所：資源エネルギー庁

現在求められているエネルギー政策



電力システムが抱える足元の課題 kW不足・kWh不足

- 日本の電力システムは、kW不足・kWh不足の双方が課題になっている。
- kWの確保については「容量市場」「長期脱炭素電源オークション（以下、「長期GXオークション」）」「予備電源」といった制度を用意しており、今後の焦点は関連制度の実効性確保である。
- 他方で、kWh不足は制度的枠組みが完全に用意されているわけではない。

電力システムに必要なkW・kWh確保の枠組み・課題の整理

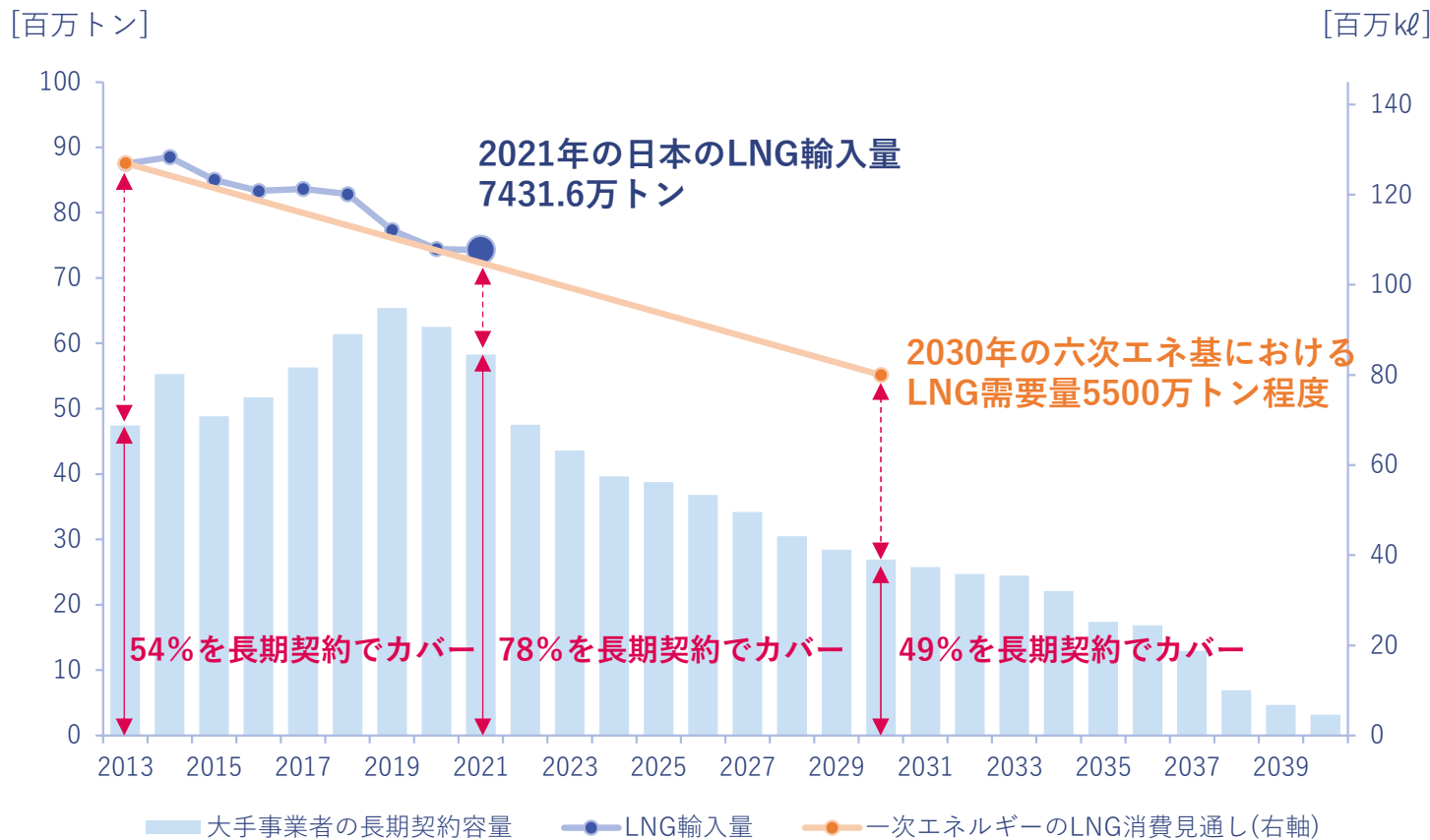
政策目的		創設された/創設が議論されている制度
kW確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存電源の維持 	容量市場
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源新設投資の促進 	長期GXオークション
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 需要の大幅な増加や稀頻度リスクとして見込んでいる容量以上の電源脱落が生じた場合の追加供給力対策 	予備電源
kWh確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小売事業者が事前に確保せず、国内でkWh必要量が確保できないおそれ ・ 需要の大幅な増加など、事前の想定を上回る需要が生じた場合の追加燃料確保 ・ VRE出力変動に対応した、保険の意味合いで事前に確保する燃料・kWh 	(現在はkWh公募)

電力システムが抱える足元の課題 ①kWhの課題

日本のLNG長期契約減少

- 他方で、日本のLNG長期契約容量は今後も減少傾向である。
- 第六次エネルギー基本計画における一次エネルギー消費量の天然ガス消費と比較しても、スポット依存率が高まる見込みで、2030年には2013年を上回るスポット比率となる可能性がある。

日本のLNG輸入量実績・見通しと、大手発電事業者¹におけるLNG長期契約量



¹ 旧一般電気事業者およびJERA

出所：GIIGNL Annual Report、Kpler

LNG長期契約減少の要因(仮説)

流動化条項がついたこと、米シェールガス革命の影響でLNGスポット市場が活性化し、一時期市場価格が低下した

(2016-2020年) 電力スポット市場価格・LNGスポット価格が低下したことで長期契約が割高になり、新規契約締結意欲の低下

(2016-2020年) 電力スポット市場価格・LNGスポット価格が低下したことで長期契約が割高になり、長期契約を中途解約したプレイヤーが存在

電力自由化の進展に伴い、電力スポット市場に依存するプレイヤーのシェアが拡大したことで、大手電力会社が長期契約のリスクを負えなくなった

カーボンニュートラルや第六次エネルギー基本計画を背景に新規契約締結意欲の低下や交渉難航に直面

長期契約の契約期間終了に伴う減少

電力システムが抱える足元の課題 ①kWhの課題 増大する燃料需給の不確実性

- 今回の欧州エネルギー危機の根本的な原因として、上流投資不足等に起因した世界的な天然ガス需給逼迫を挙げることができる。
- 12月から欧州勢が大規模なLNG調達を開始したことで、資源国のLNG液化施設は稼働率が極めて高い水準を維持している。極東・欧州・南米・南アジアの需要が重なった場合は、需要を満たすことができない。
- ロシア軍によるウクライナ軍事侵攻により、EU加盟国は2027年までにロシア産天然ガス/LNGの脱却を目指すことになった。EU加盟国の天然ガス需要（2020年：175bcm）を全てLNGで賄う場合、世界的なLNG供給力不足は長期化する可能性が極めて高い。
- 一方、西側がロシア産天然ガス/LNGの締め出しに失敗し、中国のLNG需要が伸びなかった場合には、2027年から30年代前半にかけて世界は大変なLNG余剰に直面する可能性がある。

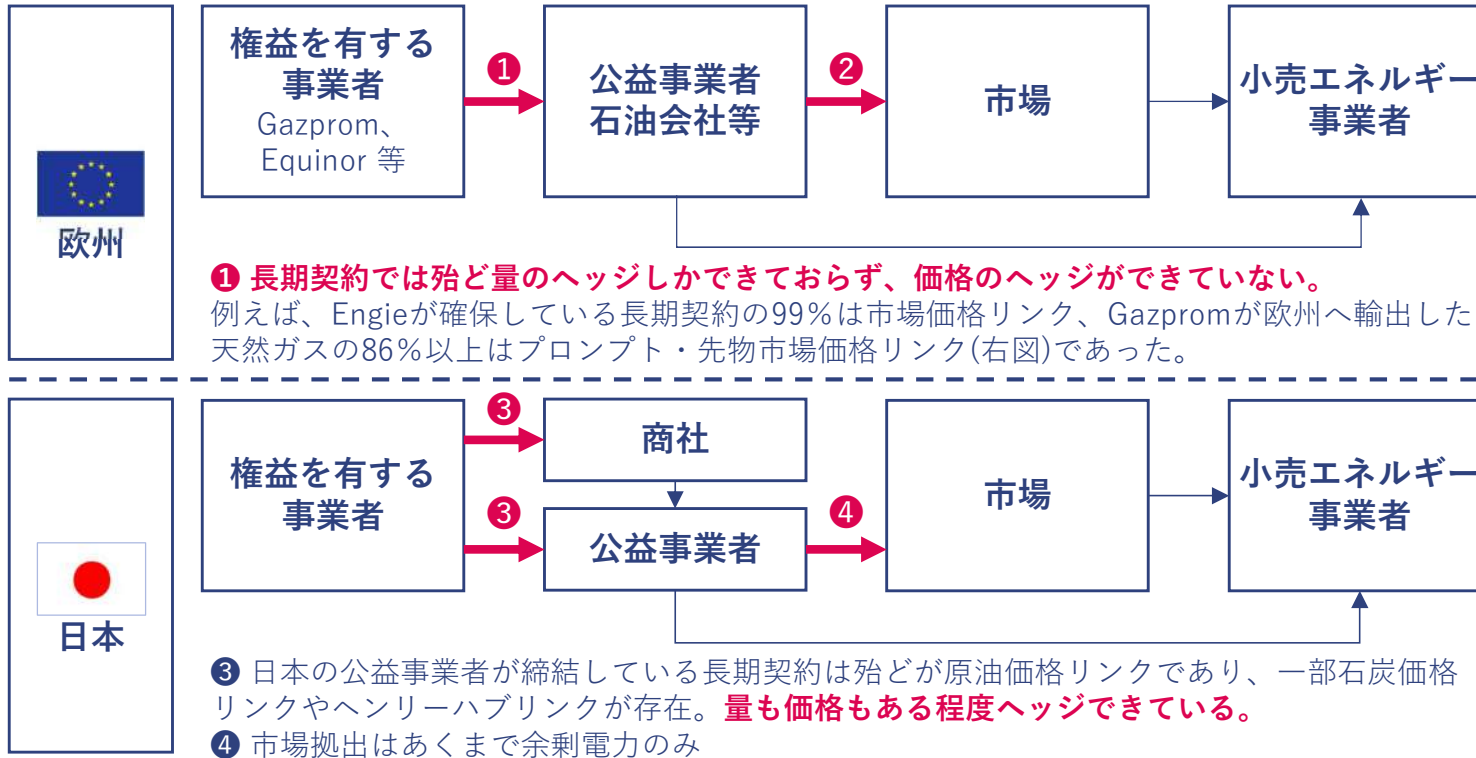
今後運開予定のLNG輸出施設

年	PJ名	立地	設備容量 (MTPA)
2023	Arctic LNG2 Train1	ロシア	6.6
	Arctic LNG2 Train2	ロシア	6.6
2024	Energia Costa Azul LNG	米国	3.25
	Golden Pass LNG	米国	15.6
	Mozambique Area 1	モザンビーク	12.9
	Plaquemines LNG	米国	20.0
2025	Amigo LNG	メキシコ	7.0
	Arctic LNG2 Train3	ロシア	6.6
	LNG Canada	カナダ	13.2
	Sonora Pacific LNG	メキシコ	9.4
2026	CP2 LNG	米国	未FID
	Driftwood LNG	米国	26.0
	Magnolia LNG	米国	8.0
	Qatar North Field 1	カタール	33.0
2027	Cedar LNG	カナダ	3.0
	De Katri LNG	ロシア	6.2
	Woodfibre LNG	カナダ	2.10
	Qatar North Field 2	カタール	16.0
2028	Grassy Point FLNG	カナダ	未FID
2030	Masela Project	インドネシア	9.50

参考：エネルギー長期契約におけるリスクマネジメント

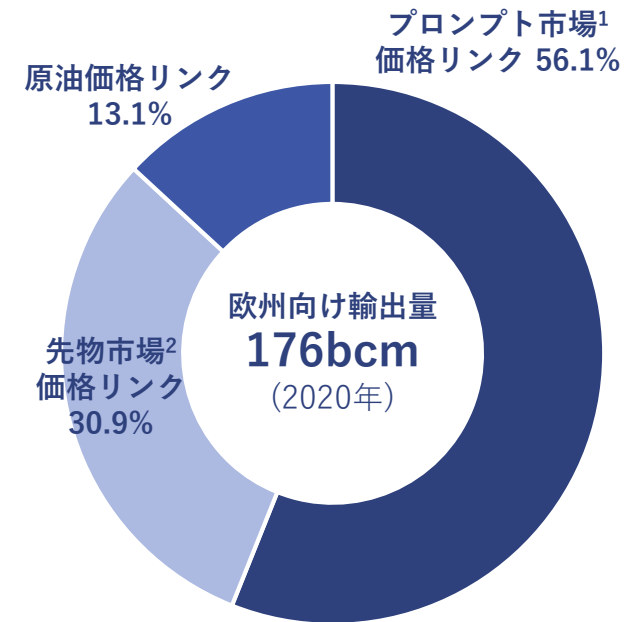
- 欧州エネルギー規制機関（ACER）は市場流動性の確保を志向し、天然ガス・LNGを調達した事業者に対して市場玉出しを求めていた（下図②）。
- また、欧州ではリーマンショック以後、自由化やシェールガス革命の影響によりLNGスポット市場の流動性が増し市場価格が低下した。欧州公益事業者は、原油価格リンクの長期契約をリスクとして認識するようになった。
- 結果として、欧州公益事業者は原油価格リンクの長期契約価格改定や契約再交渉を進め、市場価格リンクの長期契約やスポット依存を強める傾向となった（下図①）。

日欧両地域における天然ガス長期契約の構造



Gazpromが輸出した天然ガスの販売価格ポートフォリオ

※bcm …Billion Cubic Meters (十億m³)

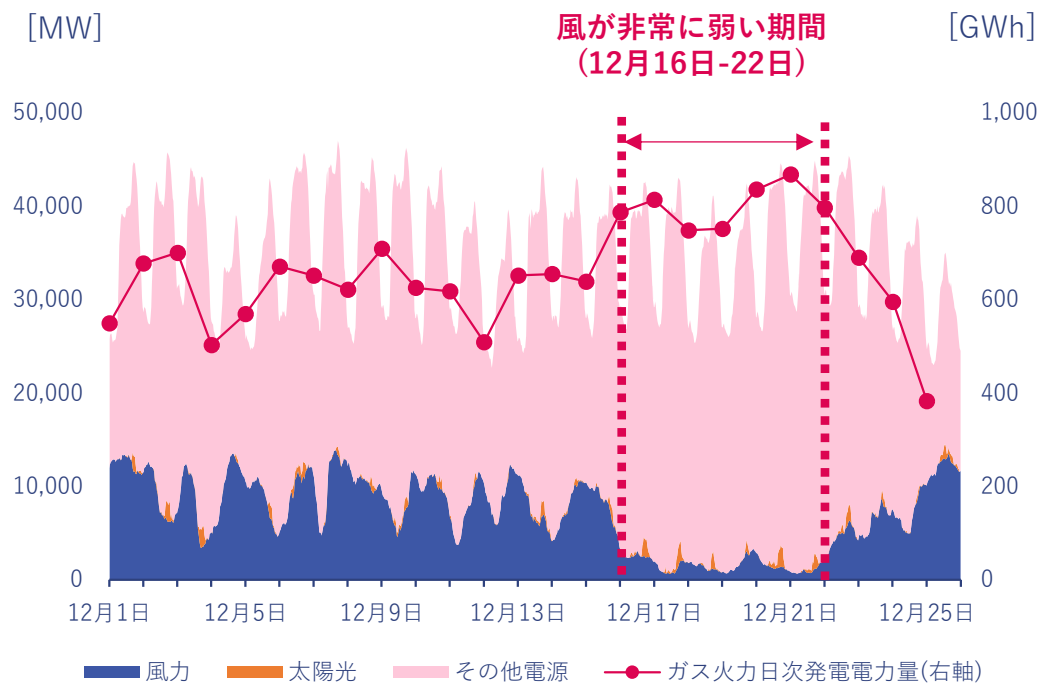


1 短期取引市場、即ち当日・前日・週間・月間取引を指すが、ガスプロムでは前日・月間市場と定義している。
 2 ここでは四半期・季節（夏季・冬季）・年間契約を指す。

kWh確保の不確実性① VREの出力間欠性を考慮した燃料調達

- 英国の発電事業者SSEは、昨年4月1日から9月22日までの間、風力発電・水力発電の発電電力量が計画値の1/3まで減少したと発表している。また、昨年12月にはクリスマス前に1週間ほど風が非常に弱い期間が発生し、この間の火力発電の発電電力量が増加した。
- 日本では、2020年代後半から洋上風力発電所の大量導入が見込まれる。風力発電は発電電力量が多くなるため、仮に出力予測の誤差が継続して発生した場合には、火力発電所の燃料確保に課題が生じる可能性がある。
- 洋上風力の出力変動・予測誤差発生の可能性を考慮した燃料調達が必要になり、この費用負担を電気の利用者全体で負担するように求めていく必要がある。

昨年12月の英国の電源構成



出所：Elxon Balancing Mechanism Reporting Service

洋上風力出力変動を考慮した燃料の調達必要量・費用

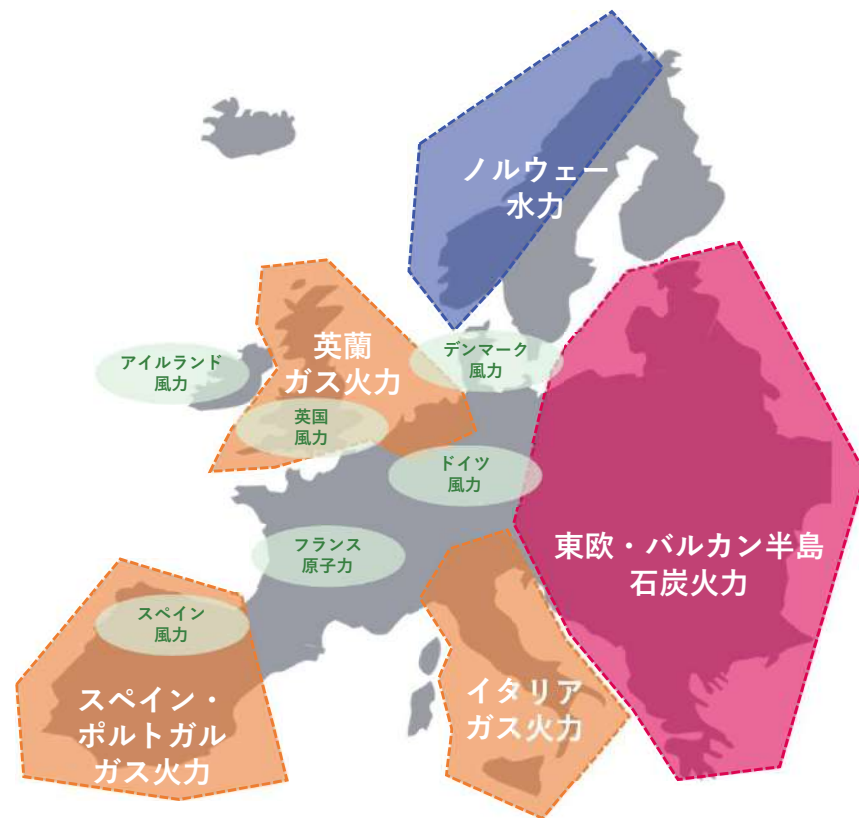
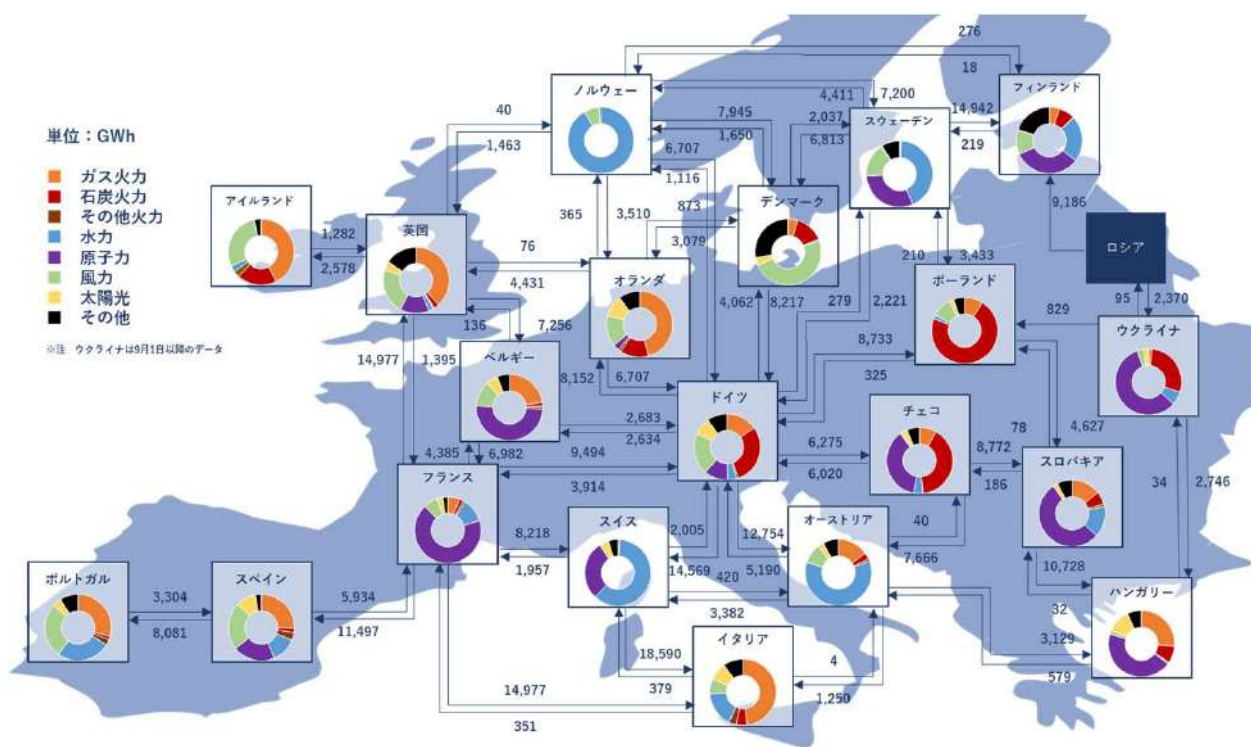
洋上風力産業ビジョンにおける導入目標		2030年：1000万kW 2040年：3000-4500万kW
前提	洋上風力導入量	3000万kW
	評価期間	12月～2月（90日間）
	洋上風力設備稼働率	予測：40% 実績：10%
	燃料価格 (限界費用ベース)	シビアケース：50円/kWh ベースケース：7円/kWh
試算	洋上風力出力誤差によって生じる代替調達が必要な電力量	194.4億kWh
	燃料代替調達費用	シビアケース：9720.0億円 ベースケース：1360.8億円

参考：欧州における電気事業の市場環境 (1/2)

- 欧州では、アイルランド・英・独・スペイン・デンマーク等で、風力の導入拡大が進んでいるが、欧州は国際連系線で電力系統がつながっており、柔軟性電源の立地と再エネ立地・需要地を相互に接続している。
- 欧州では日本と異なり、欧州全体で柔軟性電源を確保しており、相互融通によって安定供給を維持している。

欧州各国の電源構成・電力取引フロー
(2021年1月1日～12月31日)

欧州におけるVREと柔軟性を有する電源の立地

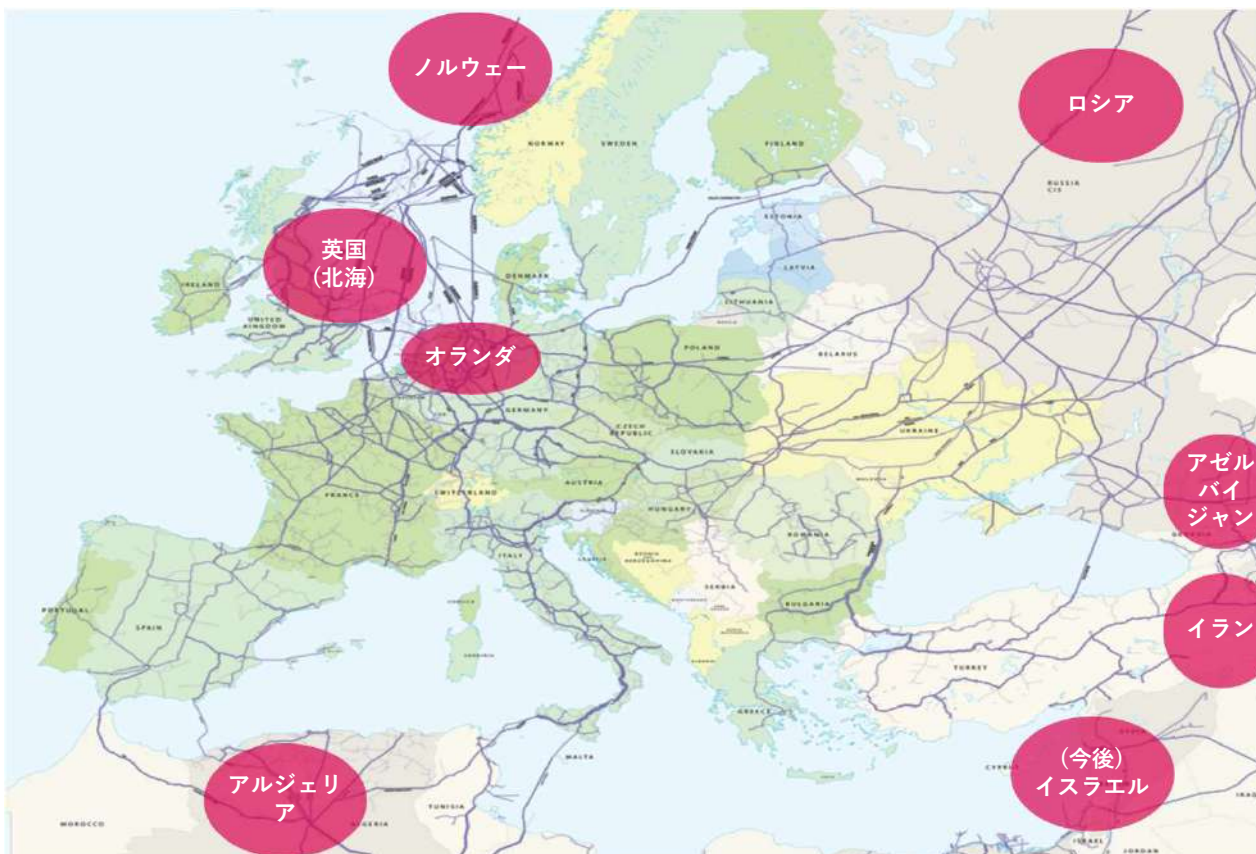


出所：IEA Monthly Electricity Statistics、ENTSO-E Transparency Platform

参考：欧州における電気事業の市場環境 (2/2)

- 欧州は柔軟性電源の確保・整備された国際連系線に加え、燃料面でも柔軟性に富む天然ガスパイプライン、天然ガス地下貯蔵施設を有している。
- 日本はLNG輸入に頼るため、日本の電力市場設計にあたって欧州と比較する場合、日本における燃料の運用柔軟性のなさをよく考慮する必要があると思料。

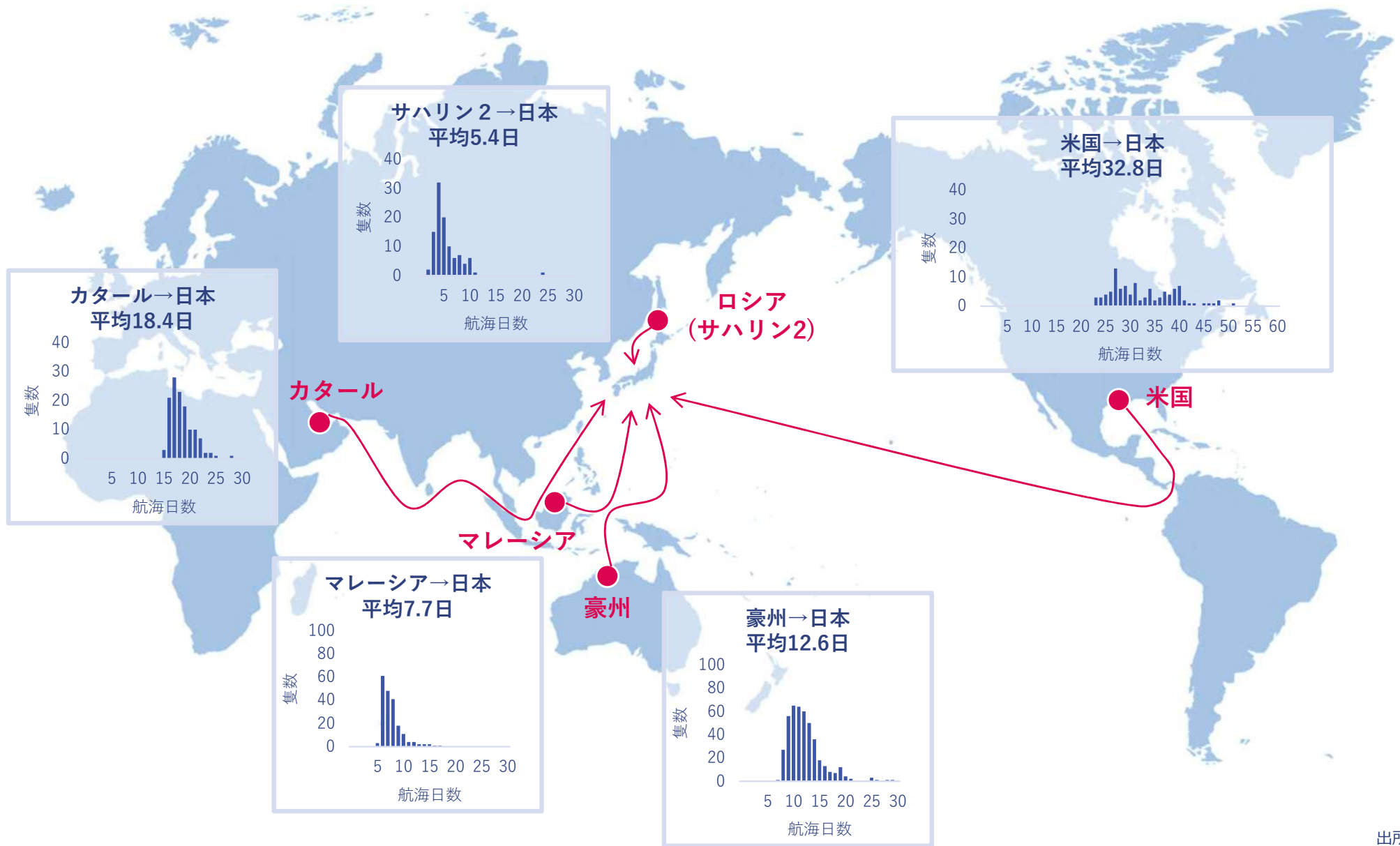
欧州各国の天然ガスパイプライン(青線)と生産地(赤)



天然ガス輸送形態の長所・短所

パイプラインによる天然ガス輸送	長所	・スポット購入した場合、当日・翌日には受け渡し可能 (これまで欧州の脱炭素戦略を支えてきた)
	短所	・売り手が限られるため、政治的に活用されるリスクがある(昨年～現在にかけて欧州で発生) ・売り手が限られるため、上流設備で事故が発生した場合に、供給支障の影響が甚大になる可能性がある
LNG輸送	長所	・調達先の多様化が図れる
	短所	・スポット調達したとしても、受け渡しまで2週間～3カ月程度のタイムラグが発生

参考：2021年1-12月に日本に到着したLNG船の航海日数



出所：Kpler

kWh確保の不確実性② kWh確保の課題は容量市場導入後も継続

- 現在、相対契約を締結していない小売電気事業者の燃料・電力量確保や電源容量確保に課題があり、kW公募・kWh公募で追加的に確保している。
- 2024年以降は、安定供給に必要な容量(kW)は容量市場を通じて確保されるが、相対契約を締結していない小売電気事業者は、需給ひっ迫時に電力量(kWh)確保の課題が生じる。

		燃料(kWh)確保	電源容量(kW)確保
容量市場導入前	発販一体事業者・相対契約を締結している小売事業者	社内取引・相対契約等によって燃料確保 	社内取引・相対契約等によって電源固定費を負担することで容量確保 
	相対契約を締結していない小売事業者	需給ひっ迫時は燃料・電力量が確保できない可能性 (現在はkWh公募で担保) 	市場調達の場合、電源固定費を負担せず、容量を確保しているとは言えない (現在はkW公募で担保) 
容量市場導入後	発販一体事業者・相対契約を締結している小売事業者	社内取引・相対契約等によって燃料確保 	容量市場で一括確保 
	相対契約を締結していない小売事業者	需給ひっ迫時は燃料・電力量が確保できない可能性 (一部容量市場ペナルティで担保できる可能性) 	容量市場で一括確保 

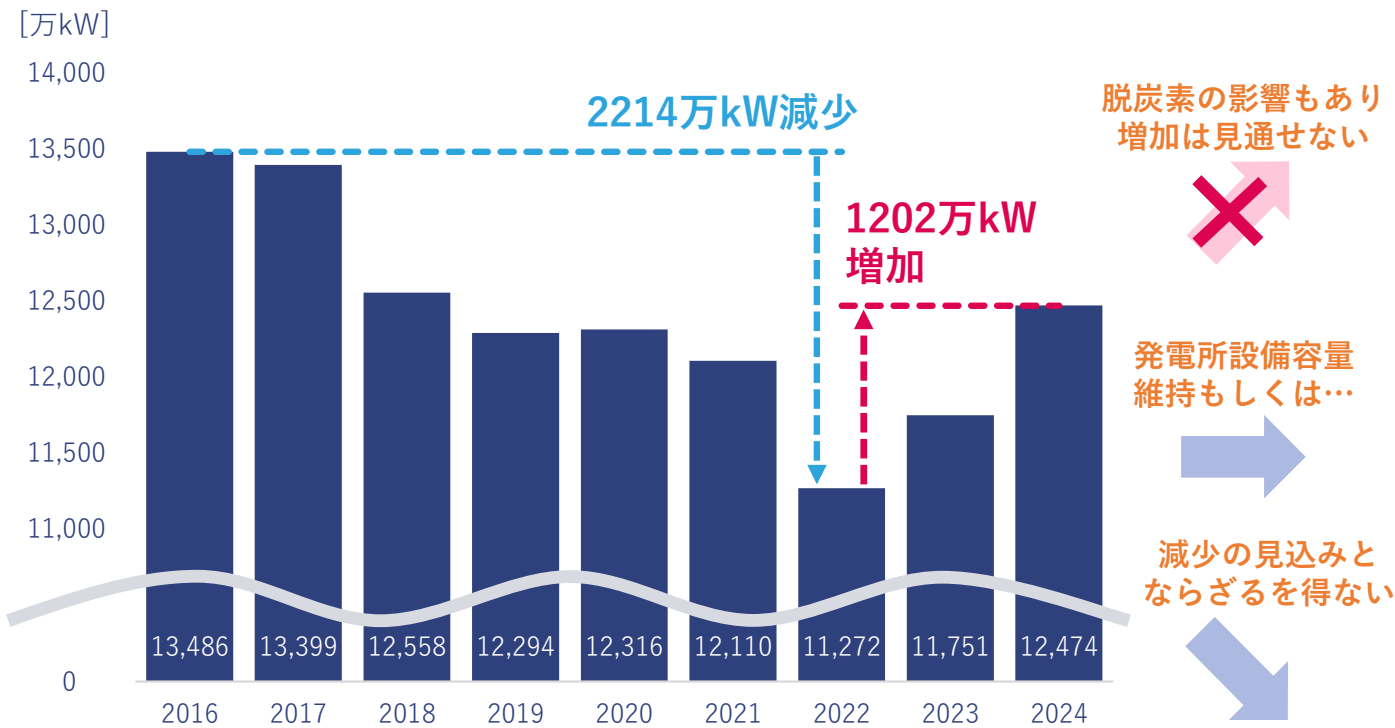
※容量市場導入後も電源投資には十分な制度とは言えないため火力の除却が進むといった声があるが、理論上は容量市場で調達容量を満たせていればkW確保はほぼ確実であることから、「○」とした。

電力システムが抱える足元の課題 ②kWの課題

火力発電所除却の加速

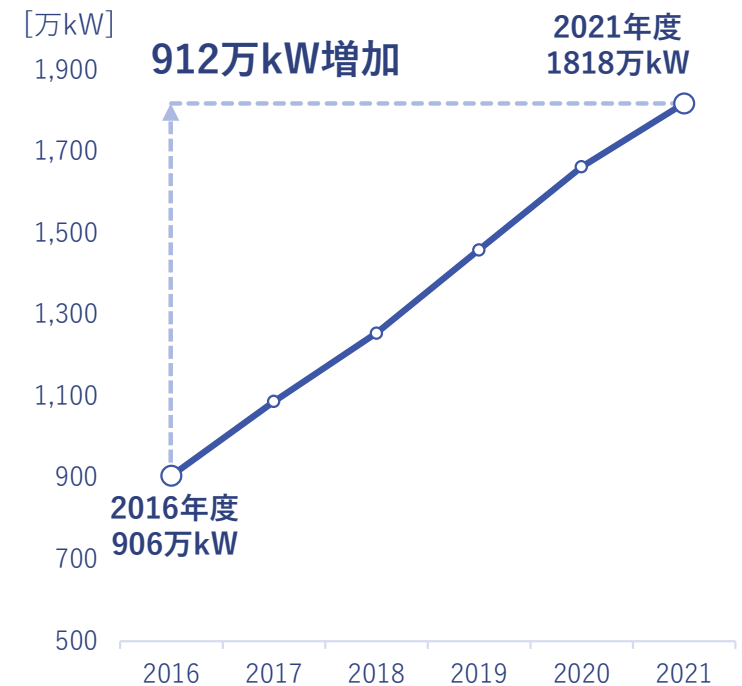
- 長期計画停止など、供給力として見込めない発電所を除いた火力発電所の供給力は、2016年から2022年までの間に2214万kW減少している。これまでの再生可能エネルギー導入量1818万kWを上回る減少となっている。他方で、2023年から24年にかけて建設中の火力発電所が順次運転開始する見込みであり、需給は改善傾向。
- 但し、脱炭素の影響もあり、火力発電所の新設投資は極めて難しい。火力発電所の維持に繋がる新制度は2024年に導入予定だが(容量市場)、脱炭素の影響もあり新規投資は極めて困難であり、発電所設備容量維持若しくは減少の見込みとならざるを得ない。

火力発電所の供給力の推移



出所：第51回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会

日本の風力・太陽光・地熱発電所設備容量の推移¹



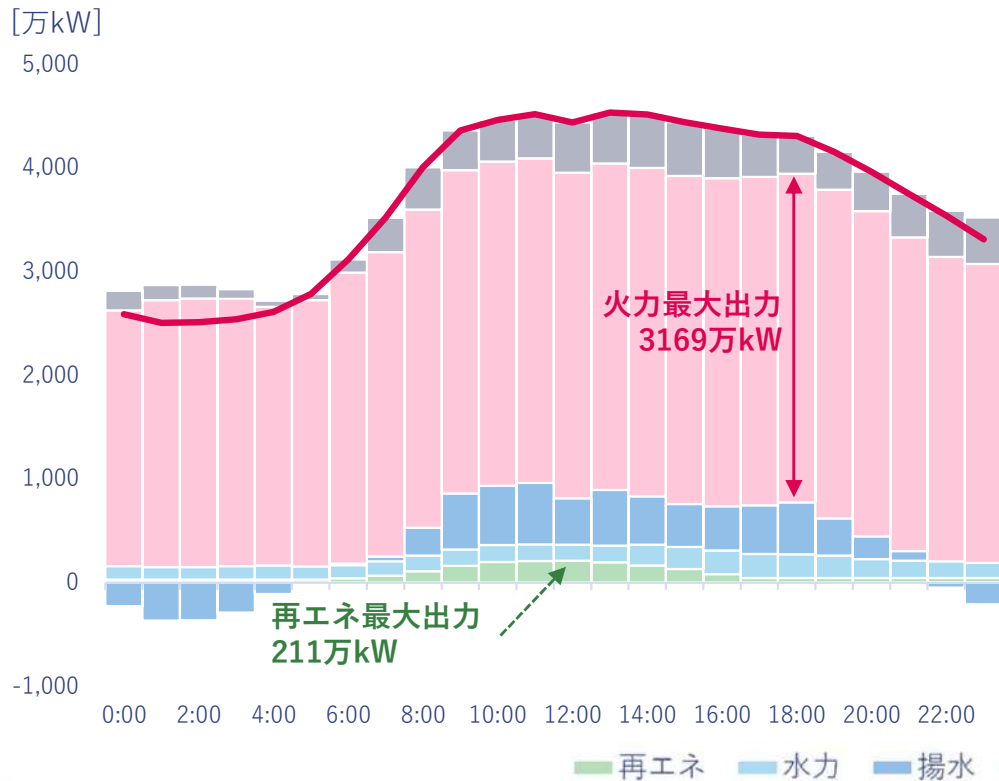
1 毎年度末の数値 (2021年度は最新の1月の数値)

出所：資源エネルギー庁 電力調査統計

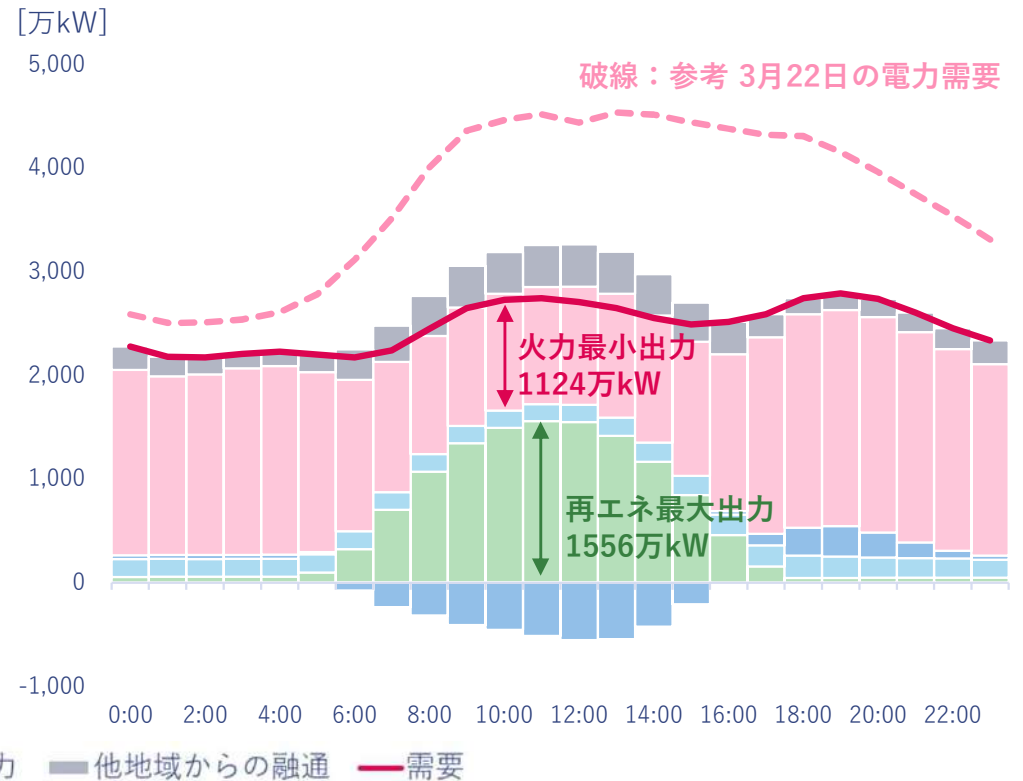
残余需要に対応した”制御可能な供給力”の確保が肝要

- 需給ひっ迫に直面した3月22日の再エネ(地熱・太陽光・風力・バイオマス)の発電出力は最大でも211万kWであり、火力発電が供給力の大半を担った。他方で、ゴールデンウィークに入った4月30日には、再エネ発電出力は1556万kWに上り、火力の発電出力を上回っている。
- 需要からVRE(風力・太陽光といった変動性再エネ)の出力を除いた需要を残余需要と呼ぶ。VREは需要の多寡と関係なく、自然現象(日照量・風況)によって発電電力量が大きく変化し、間欠性の課題を認識する必要がある。
- 再エネ大量導入時代には、残余需要に対応した”制御可能な供給力”(米国では” Dispatchable generation”などと呼称) が重要になる。

東京電力パワーグリッド管内の3月22日の電源構成



東京電力パワーグリッド管内の4月30日の電源構成



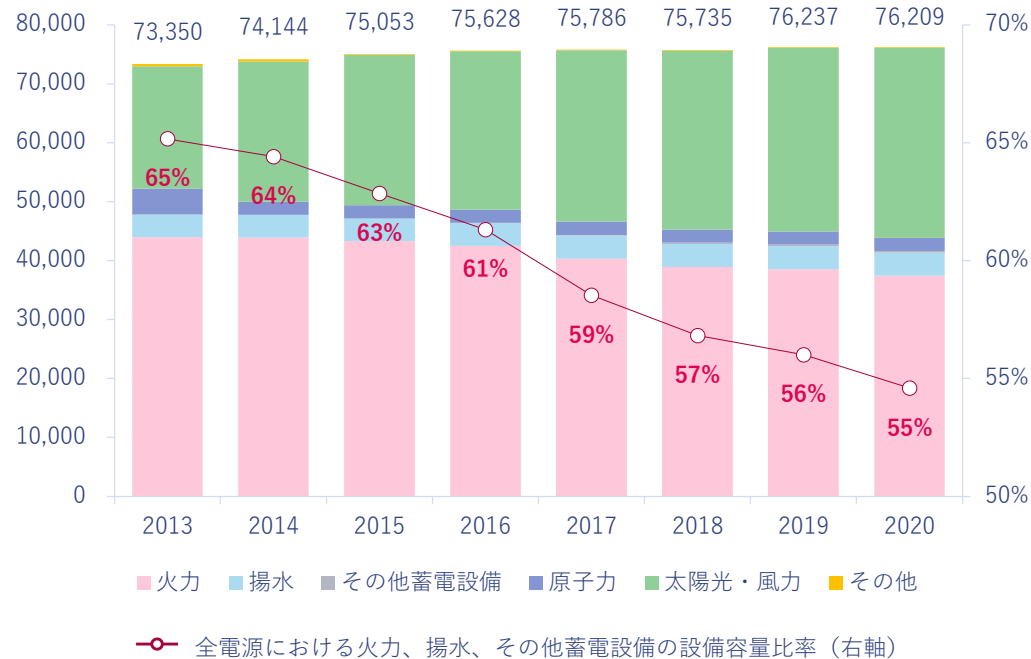
参考：2020年8月に発生したカリフォルニア計画停電（1/2）

- VREの導入拡大が続くカリフォルニア州では火力電源の廃止が続いている。残余需要に対応した供給力である Dispatchable Generation（制御可能な電源）の設備容量減少が課題になっている。
- CA州の系統運用者であるCAISOは、2020年8月14日(金)・15日(土)の2日間計画停電を実施した。計画停電はいずれも需要ピーク時間帯ではなく、残余需要が最大の時間帯に発生している。

カリフォルニア州における発電設備容量の推移（毎年5月）

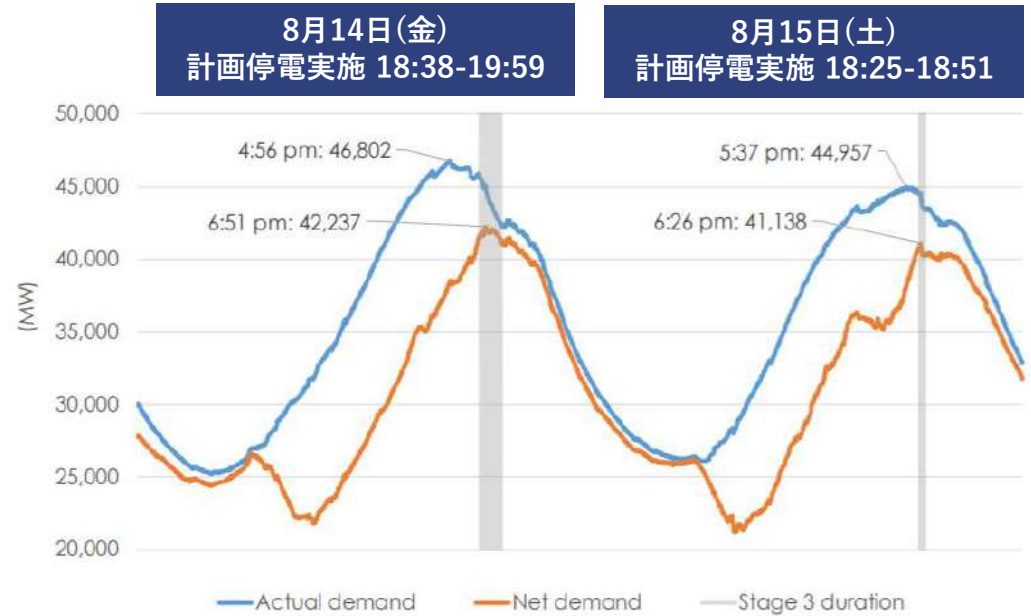
2013年から2020年までに約6500MWの火力設備容量が減少

単位：MW



出所：EIA Annual Electric Generator Report

カリフォルニア計画停電時の需要(青線)、残余需要(橙線) および停電時間(灰着色)

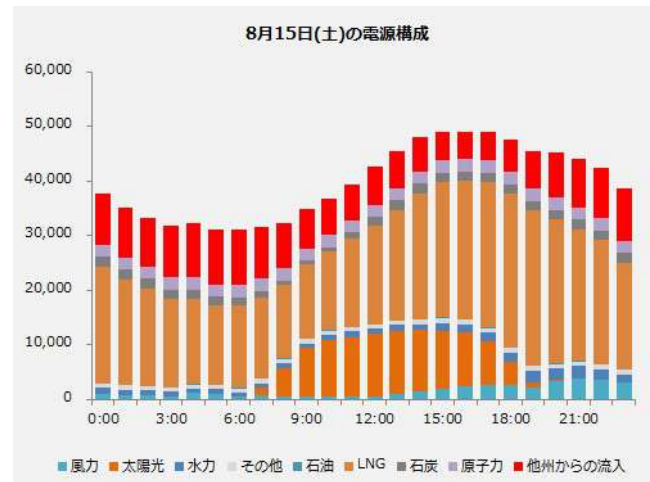
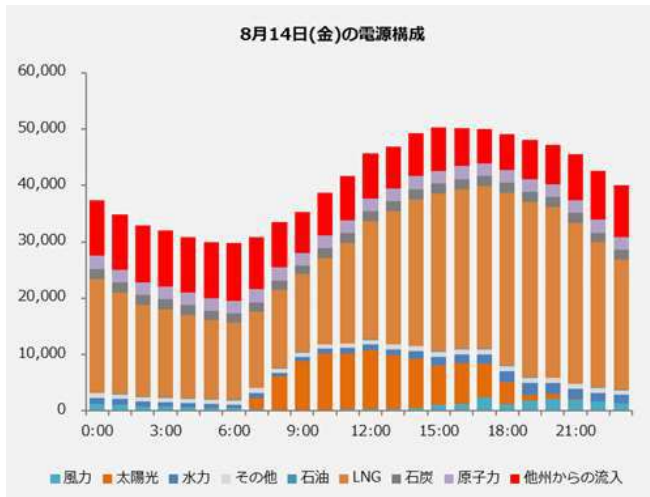


出所：CAISO・CPUC "Preliminary-Root-Cause-Analysis"

参考：2020年8月に発生したカリフォルニア計画停電（2/2）

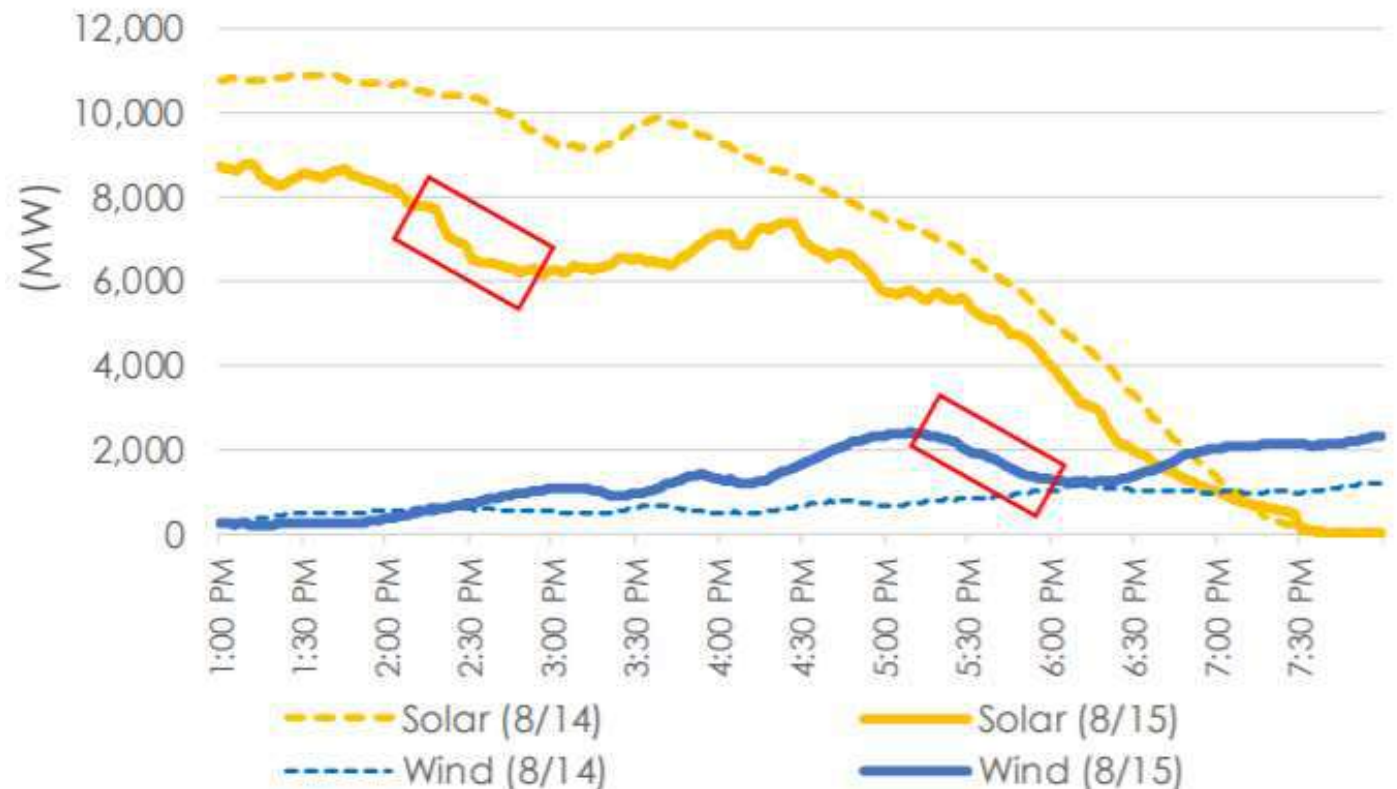
- CAISOとCPUC(カリフォルニア州公益事業委員会)が発効した停電報告書では、8月14日は残余需要に対応した供給力の確保に課題があり、8月15日は残余需要に対応した供給力の不足に加え、VRE出力減少による供給力減少も一因と記載されている。

当日の電源構成



8月14日・15日の太陽光・風力の発電出力

8月14日は、猛暑による供給力不足が残余需要が最大の時間帯に深刻化し、計画停電に踏み切った。
8月15日は、太陽光・風力の出力減により供給力不足となり、残余需要が最大の時間帯に供給力不足が深刻化し、計画停電に踏み切った。



出所：CAISO・CPUC "Preliminary-Root-Cause-Analysis"

参考：北米における”Dispatchable Generation”の不足

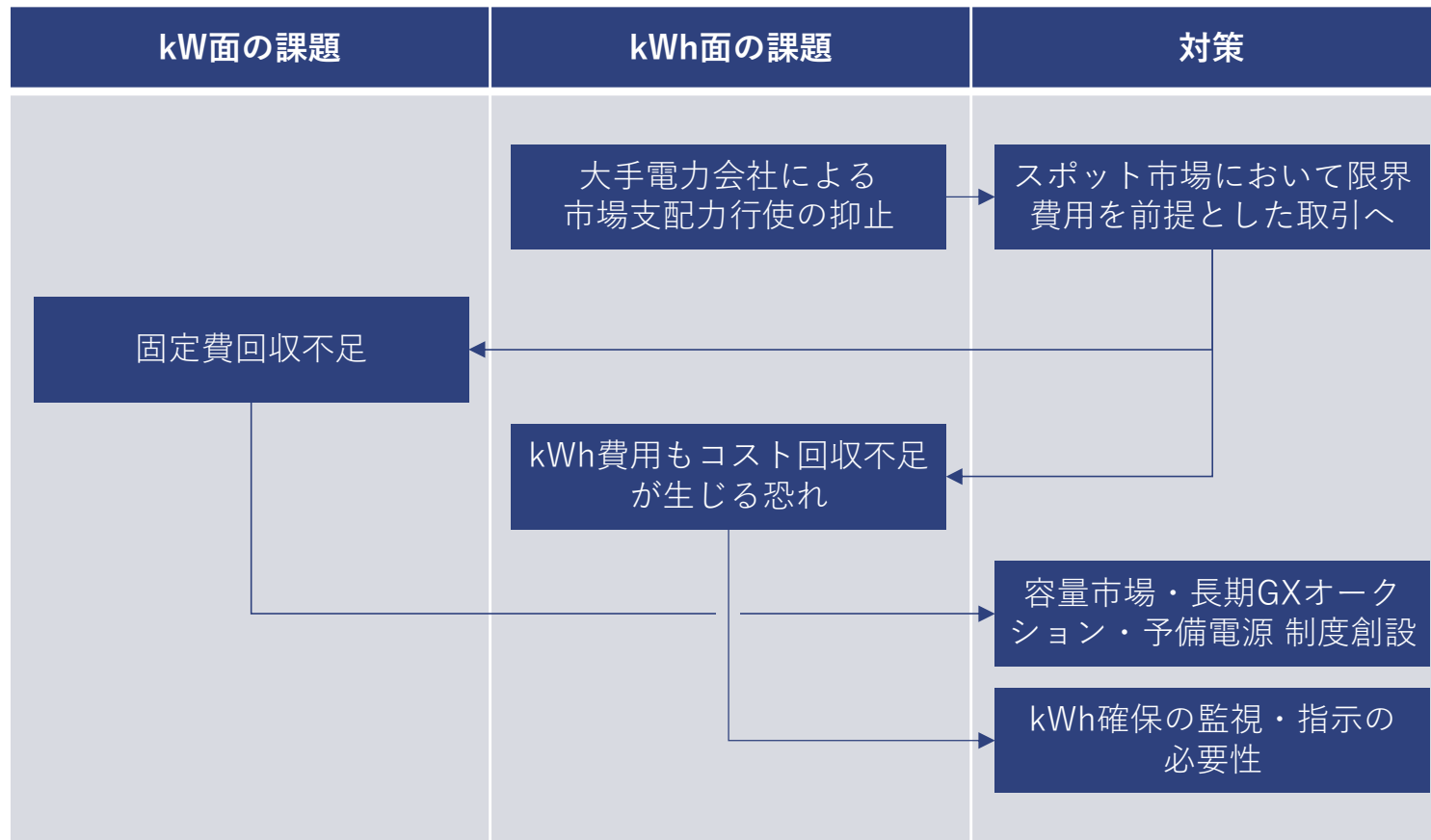
- 2021年12月に北米電力信頼性協議会(NERC)より公開された「Long-Term Reliability Assessment」では、カリフォルニアは2026年に3,264MWの供給力不足に直面することが示されているほか、オンタリオ州やMISO(イリノイ州など)でも供給力不足に直面する可能性が高い。
- いずれも、Dispatchable Generation（制御可能な電源）の減少に伴うもの。また、別途カリフォルニアPUC(公益事業委員会)が取りまとめた長期予測でも2025年に1.8GWの供給力不足に直面する見込み。

NERC 2021 Long-Term Reliability Assessment
における2026年供給予備率見通し

Assessment Area	2026 Peak Anticipated Reserve Margin	2026 Reference Margin Level	Expected Capacity Surplus or Shortfall (MW)	Assessment Results Through 2026
MISO	15.8%	18.3%	-2,965	Marginal
MRO-Manitoba	14.0%	12.0%	94	Adequate
MRO-SaskPower	32.3%	11.0%	782	Adequate
NPCC-Maritimes	22.0%	20.0%	107	Marginal
NPCC-New England	25.1%	13.5%	2765	Adequate
NPCC-New York	18.3%	15.0%	992	Adequate
NPCC-Ontario	4.9%	18.9%	-1,161	Inadequate (2026)
NPCC-Québec	13.7%	10.8%	1,070	Adequate
PJM	38.0%	14.4%	33,772	Adequate
SERC-Central	23.1%	15.0%	3,216	Adequate
SERC-East	21.3%	15.0%	2,708	Adequate
SERC-Florida Peninsula	21.4%	15.0%	3,213	Adequate
SERC-Southeast	42.5%	15.0%	12,598	Adequate
SPP	29.5%	16.0%	7,179	Adequate
Texas RE-ERCOT	34.1%	13.75%	16343	Adequate
WECC-NWPP-AB	25.4%	13.2%	1,475	Adequate
WECC-NWPP-BC	25.7%	13.2%	1,163	Adequate
WECC-CA/MX	12.9%	18.6%	-3,264	Inadequate (2026)
WECC-NWPP-US & RMRG	16.9%	13.5%	2,452	Adequate
WECC-SRSG	27.0%	12.2%	3,907	Adequate

発電設備の資金回収不足

- 発電設備の資金回収不足への対策としては、コスト積み上げ式で総括原価に近い仕組みが必要と思料。
- 前述の通り、kW費用の回収については容量市場・長期GXオークション、予備電源によりコスト積み上げ型に近い枠組みは用意されている。
- 他方で、容量市場等を創設後もkWhの費用回収不足が生じる可能性があり、kW費用回収の枠組みを補完する制度が必要と思料。

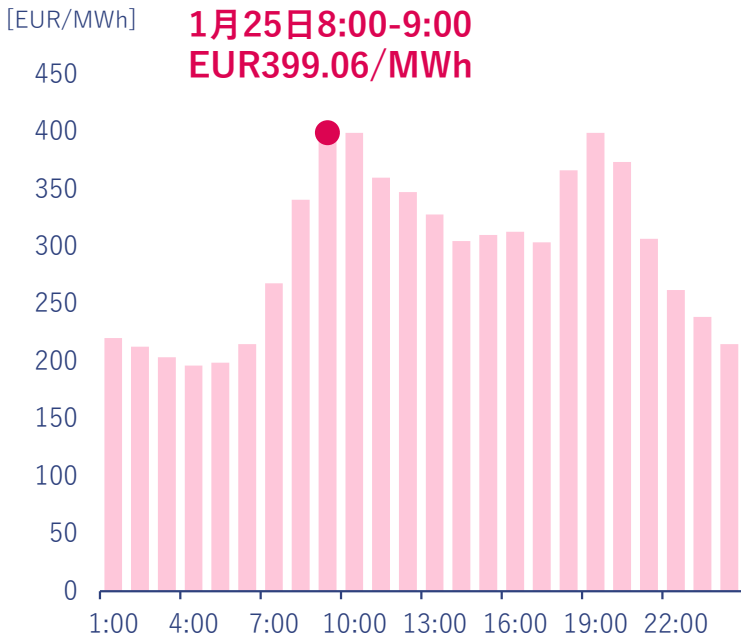


電力システムが抱える足元の課題 ③市場の課題

短期限界費用に基づいた市場の限界

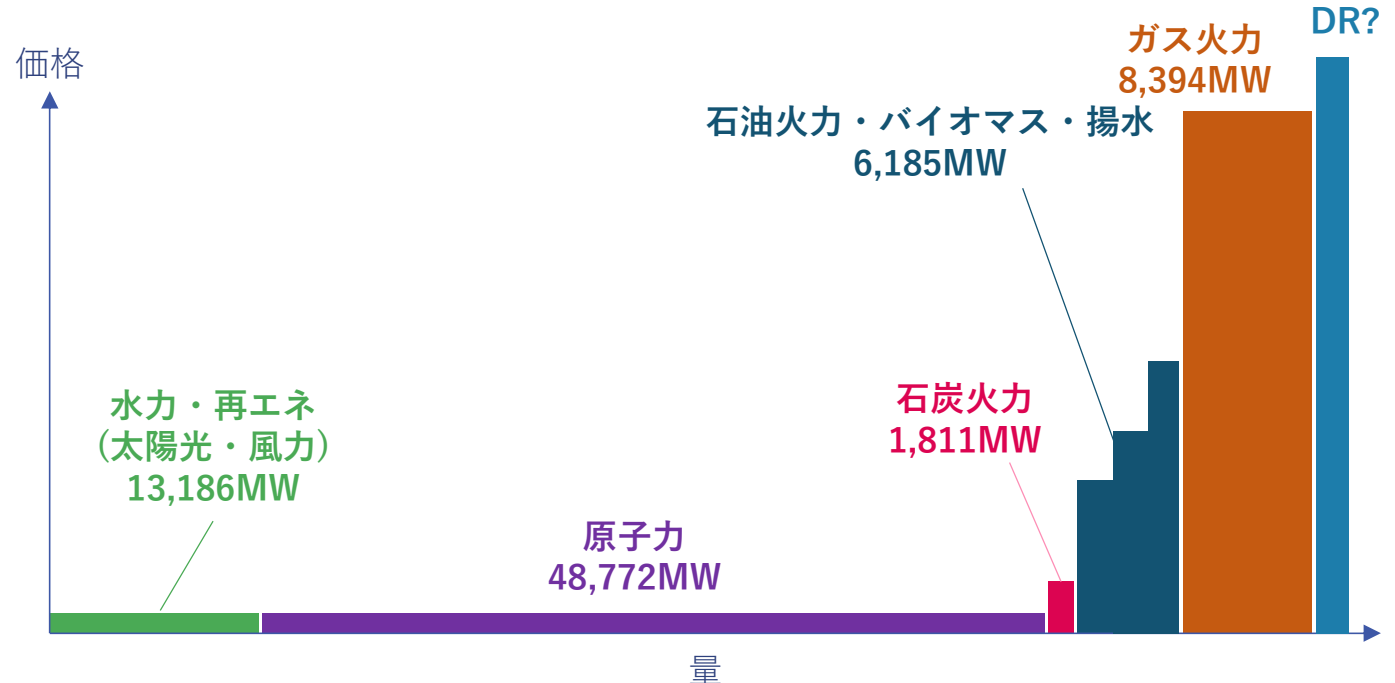
- フランスでは、電源構成の大宗を占める原子力に対し、メリットオーダー上で約定点にある高値のガス火力やDRが市場価格で高値を付ける現象が続出している。フランスをはじめ、スペイン・チェコ・ギリシャの財務相は連名で、欧州委員会に対し限界費用約定の価格約定メカニズムを修正するように求めており、事実上の平均費用約定を主張している。
- 市場改革に最後まで反対していたのはドイツであったが、8月29日にロベルト・ハーベック経済相は「約定電源の最高価格が市場価格を反映する方式を変更すべく、新たな市場モデルを検討する」と表明した。
- これを受け、欧州委員会のフォン・デア・ライエン委員長は、電力市場に介入する方針を明らかにした。価格上限などの緊急介入を行うと見られるが、抜本的な電力市場改革を行うとの観測も浮上している。

1月25日の電力市場価格



出所：EPEX SPOT

1月25日8:00-9:00のメリットオーダー（イメージ）



出所：ENTSO-E Transparency Platform

電力システムが抱える足元の課題 ③市場の課題

スポット市場の機能不全

- 電力は他の財と異なり、どの電気事業者から電気を卸購入・小売購入しても財が同一であり、市場参加者は「目利き」が不要である（他方、TSOは需要・供給のバランスを常に把握しており、一種相当な目利きであることは確か）。他の財は商品によって価値が異なり（例えば魚・野菜であれば鮮度や大きさ・糖分密度・品質など）、目利きが必要である。
- また、電力は同時同量の制約があることから、現行のBG制度においては小売電気事業者にインバランスリスクを課さないと同時同量が担保できない。しかしながら、小売電気事業者は電力市場においてインバランス対策を念頭に市場取引を行ってしまう傾向がある。
- 係る観点から、現行のBG制度による電力市場では、その財の特性から小売電気事業者が合理的な札で入札せず、市場価格が合理的な価格にならず、需給バランスを反映しない課題が生じていると指摘できる。

市場形態ごとの特徴		
	分散型市場・シングルプライス (Pay as clear) 現在の日本・欧州	集中型市場・マルチプライス ¹ (Pay as bid ¹ 、プール市場) 現在の米国・英国市場見直し案
約定メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> 量と価格の一致点が約定価格となる 	<ul style="list-style-type: none"> 量に加えて、ユニット起動費、最低出力コスト、限界費用カーブを元に約定電源を決定
小売の価格決定権	<ul style="list-style-type: none"> 小売が価格決定権を相当程度に有する（需給ひっ迫時、インバランス回避の心理からスパイラル的な高騰が生じる恐れ） 	<ul style="list-style-type: none"> 小売が価格決定権を有さない
売り切れの可能性	<ul style="list-style-type: none"> 需給調整市場とスポット市場で取り合いになり、スポット市場で売り切れとなる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 売り切れは原則発生しない（発生時＝停電）
その他	<ul style="list-style-type: none"> 同時同量達成の動機付けとしてリスクのあるインバランス料金を設定する必要 市場価格の変動が激しく、ミッシングマネー増大/巨額のウィンドフォールが生じるおそれ 	<ul style="list-style-type: none"> かつての一貫体制における中央給電指令所最経済運用のイメージ

スパイラル的な高騰が生じた事例
<p>①2021年1月 日本</p> <ul style="list-style-type: none"> 極東に襲来した寒波の影響で燃料不足が生じ、需給ひっ迫 電力市場では高騰したインバランスの回避を模索する動きが高まり、一時500円/kWhを超える価格を付けた 天候回復や資源エネルギー庁によるインバランス価格上限設定のアナウンスなどにより、市場価格高騰は沈静化
<p>②2022年8月 欧州</p> <ul style="list-style-type: none"> GazpromによるNord Stream定期検査入りのプレスが出た後に、NS定検後に再開しないのではないかとした恐怖感が市場で高まった バルト三国で8月17日17:00-18:00コマで売り切れが発生したほか、Nord Stream定検入り直前には仏・独の23年受け渡しベースロード先物価格がEUR1000/MWhを超える事態が発生した 欧州委員会フォン・デア・ライエン委員長による電力市場への緊急介入の声明により、市場は落ち着きを取り戻した

¹ 英国REMAの表現に従った。これはセントラルディスパッチかつ、ザラ場ではなくPJM型の価格メカニズムを前提としている。

蓄電池のユースケース

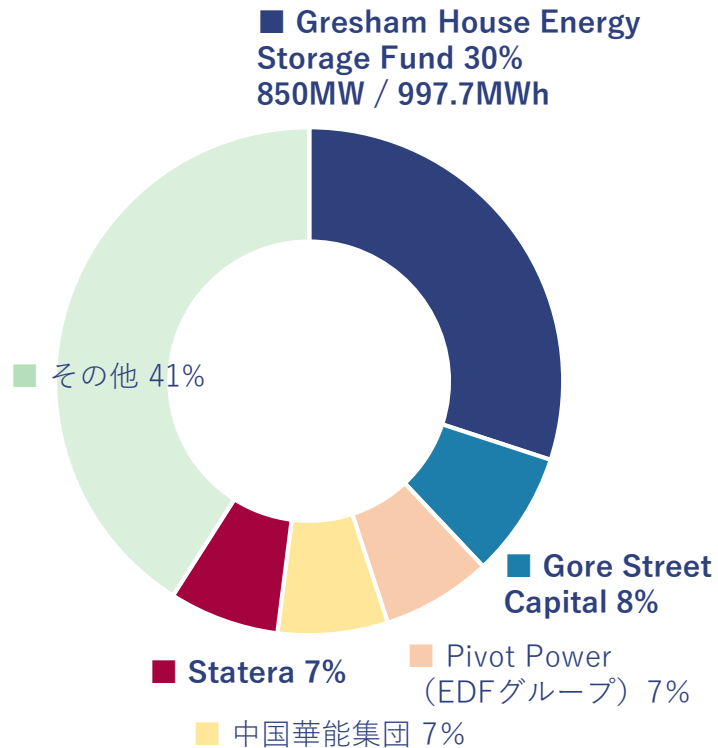
- 蓄電池のユースケースは以下14パターンに分けることができる。
- 地域ごとに抱える課題は異なる。地域に合った蓄電池ユースケースを発掘し、適した蓄電池に投資・運用することが肝要と思料。

蓄電池のユースケースと日本における可能性			
設置場所	ユースケース		世界の活用状況
需要家数地内	家庭	BCP	世界各地で活用
		盗電対策としての分散電源	ブラジル 等
		配電線整備に代わる自律電源としての運用	アフリカ
		需給調整市場への応札	英国で試行中
		前日市場取引	ドイツ
		配電事業者への調整力活用	英国、米国(NYISO)
	法人	BCP	世界各地で活用
		需給調整市場への応札	英国 等
前日市場取引		欧州大陸、英国 等	
系統用	揚水発電に準じた電力貯蔵用電源として運用		カリフォルニア
	周波数調整	瞬動予備力	英国
		常時周波数調整(一次・二次)	欧州・豪州
	疑似慣性		英国・豪州
	BG需給調整		特になし

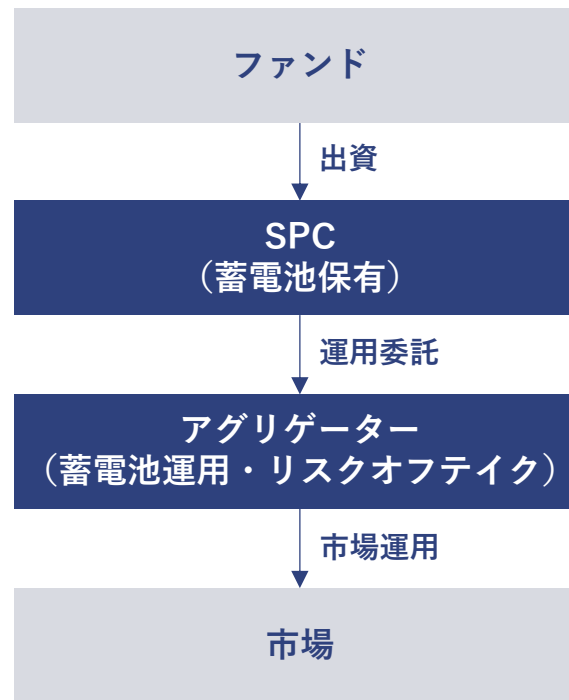
蓄電池ビジネスの展望 英国における一般的な運用

- 英国では蓄電池ファンドがビジネス展開しており、蓄電池投資の最大のプレイヤーとなっている。
- その背景には、周波数調整市場の高い収益率に裏付けられたリスクオフテイカーの存在がある。
- ファンドはアグリゲーターに運用委託・リスクオフテイクすることでマーチャントリスクから分離する。

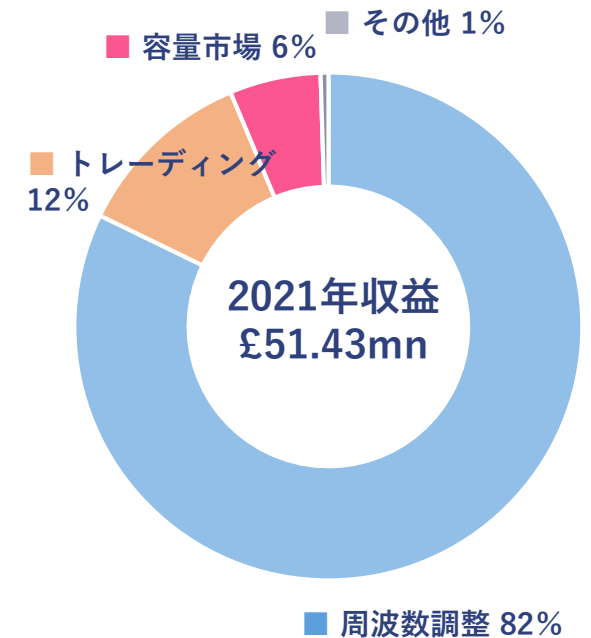
英国の蓄電池所有者
(kWベース)



英国における一般的な蓄電池運用



2021年のGresham House Energy Storage Fundの収益

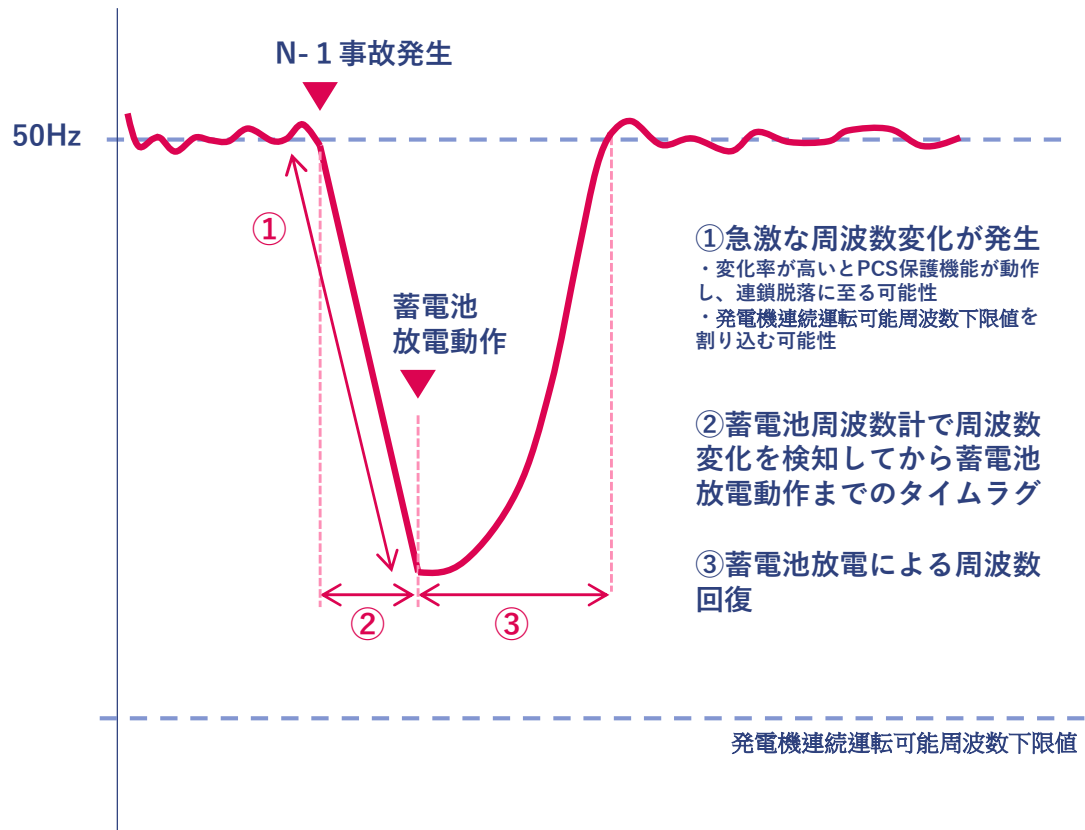


出所：Gresham House Energy Storage Fund Annual Report 2021、英国アグリゲーターヒアリング結果

蓄電池ビジネスの展望 英国における周波数調整ニーズ

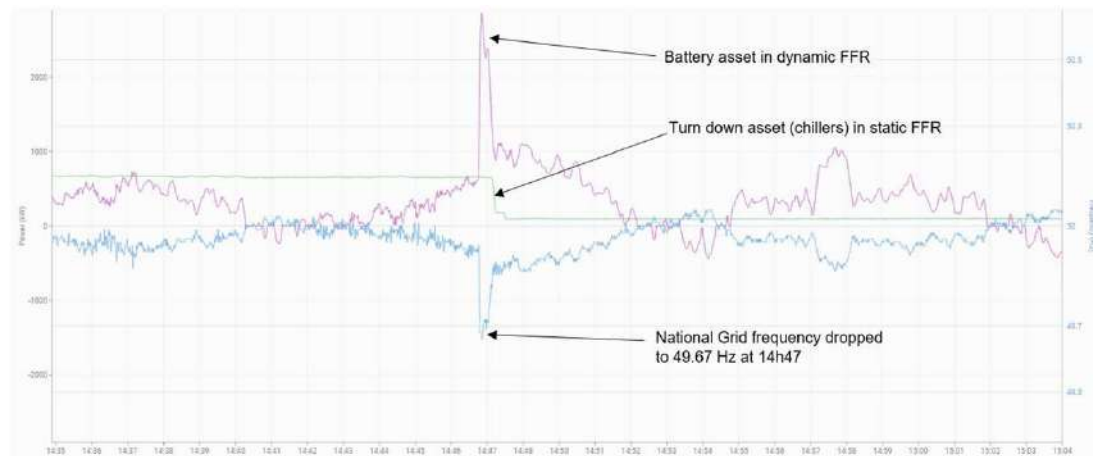
- National Grid ESOは特にRoCoFを警戒し、PCS電源の連鎖脱落を防ぐ観点から系統用蓄電池の導入拡大を進めている。

RoCoF(周波数変化率)イメージ



実際の蓄電池放電イメージ

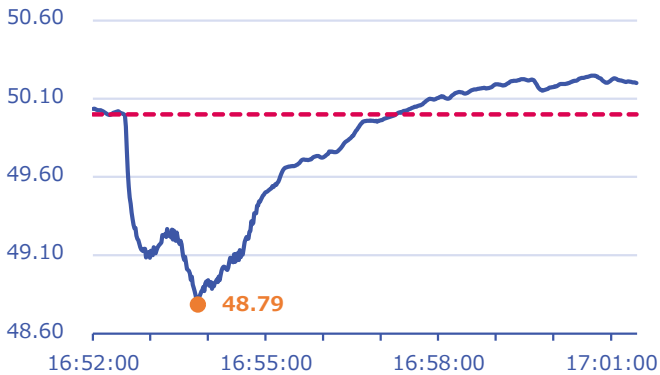
上：2018年7月12日、下：2019年8月30日



参考：英国で発生した周波数変動イベント（単位：Hz）

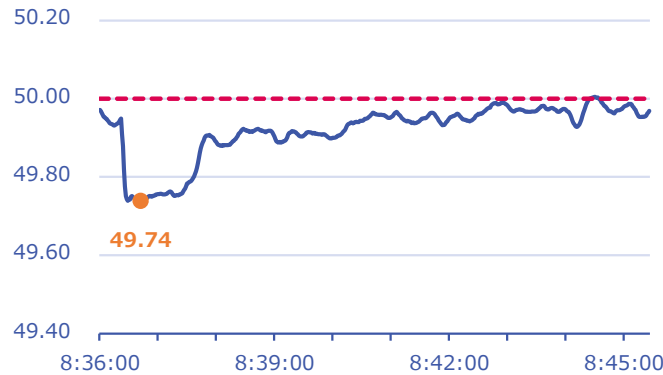
2019年8月9日

- Hornsea One洋上風力発電所およびRWE Little Barfordガス火力発電所のトリップに伴う供給力不足、また負荷遮断を実施



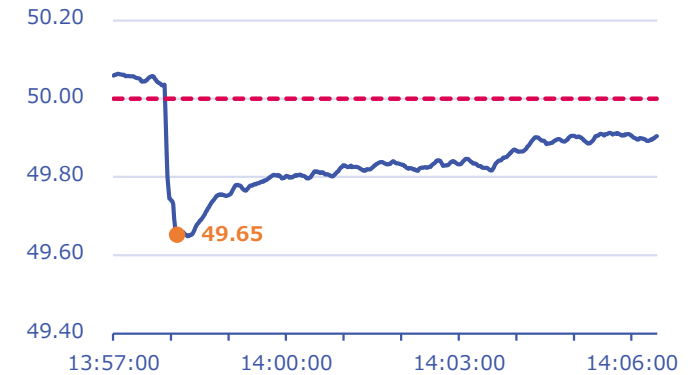
2021年7月7日

- 英仏国際連系線IFA2のトリップに伴う供給力不足



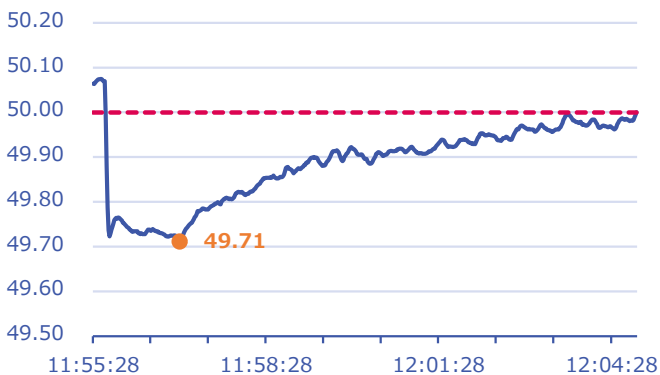
2021年7月23日

- ヘイシャム原子力発電所トリップに伴う供給力不足



2021年5月29日

- 英仏国際連系線IFA2のトリップに伴う供給力不足



2021年7月7日(英仏連系線トリップと同日)

- サッカー欧州選手権準決勝トーナメント、デンマーク対イングランド戦のハーフタイム時間中の需要変動



2021年9月11日

- 英白国際連系線Nemo Linkのトリップに伴う供給力不足

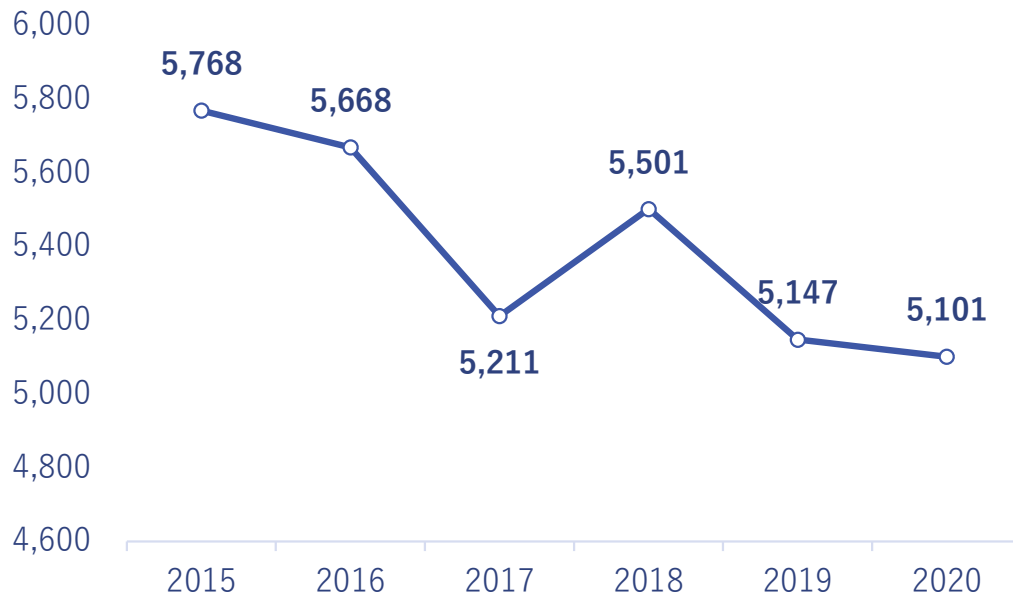


出所：National Grid ESO Data Portal

参考：英国の電力需要

- 英国の系統規模は東京電力管内並みの規模であり、需要に対して単機最大出力が大きく、電源計画外停止時の周波数変動が課題となっている。

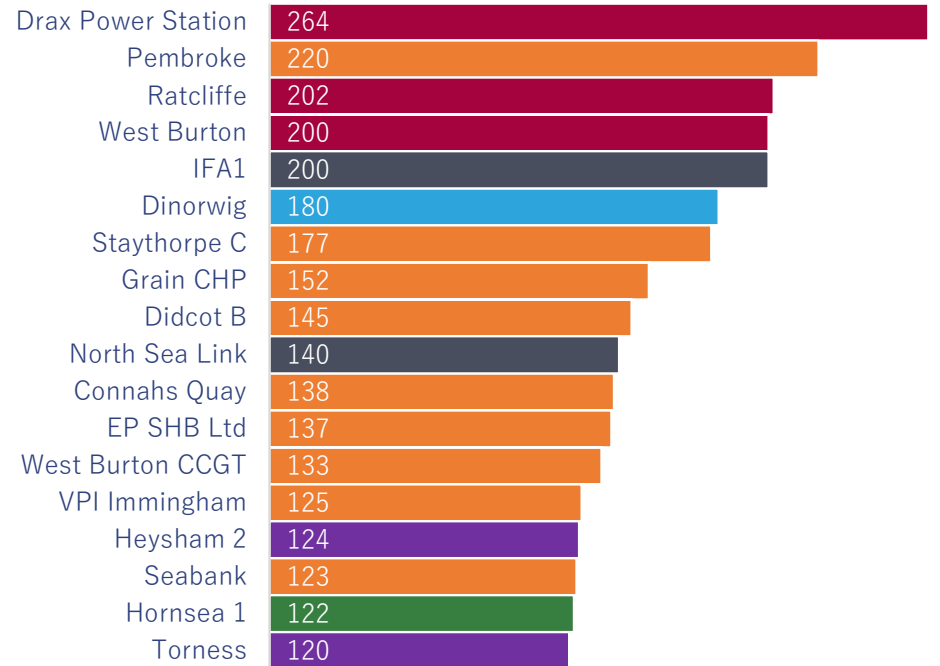
英国(グレートブリテン島)のエリア最大需要電力 (単位：万kW)



※2021年の東電PG最大需要電力は5,665万kW

出所：ENTSO-E Transparency Platform、Elexon Balancing Mechanism Reporting Service

英国の大規模集中電源・国際連系線 (単位：万kW)



■ 石炭火力 ■ ガス火力 ■ 原子力 ■ 洋上風力 ■ 揚水 ■ 国際連系線

出所：ビジネス・エネルギー・産業戦略省 Digest of UK Energy Statistics (DUKES): electricity

参考：日本でも生じる周波数変動

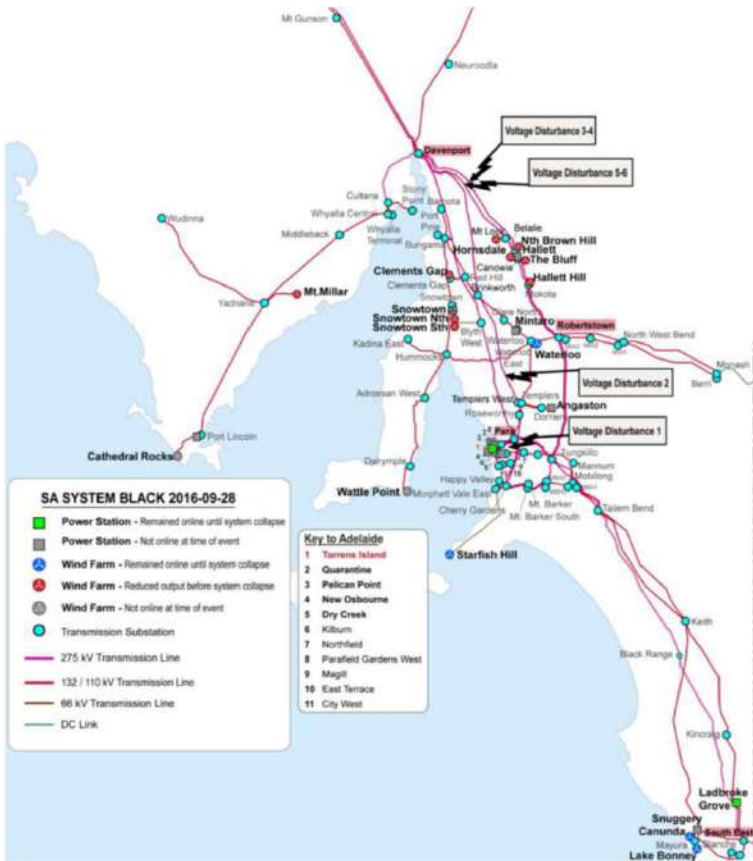
2022年11月27日 ワールドカップ 日本対コスタリカ戦のハーフタイム明け周波数



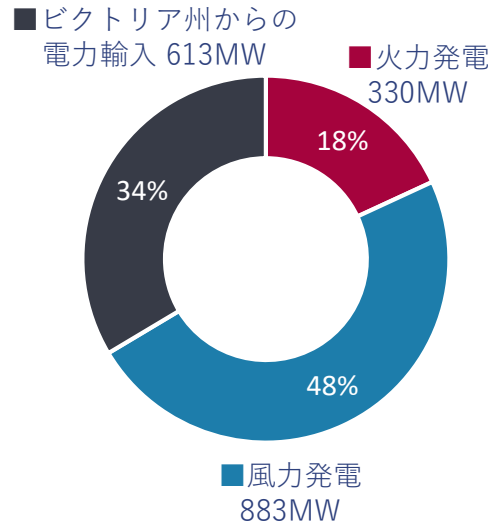
豪州における慣性不足対策としての蓄電池

- 2016年9月28日に発生したアデレード大停電では、ビクトリア州と接続される送電線4回線中3回線が破壊された。
- 停電復旧後、破壊された3回線の送電線が復旧するまでの間、アデレードの供給力は相当に太陽光・風力に頼ることになることから、慣性不足による再停電の可能性が課題とされた。
- アデレード・周辺地域の慣性維持の観点から、系統用蓄電池が導入された。

系統用蓄電池導入拡大の契機となったアデレード大停電



大停電直前のSA州の電源構成



アデレード大停電の経緯

SA州近郊で竜巻が発生し、275kV送電線3回線を破壊(鉄塔崩壊)

送電線破壊に伴い、6回の電圧降下が発生

風車の保護機能が作動し、456MWの供給力が脱落

他州と接続する残りの1回線の送電線負荷が急増、トリップ

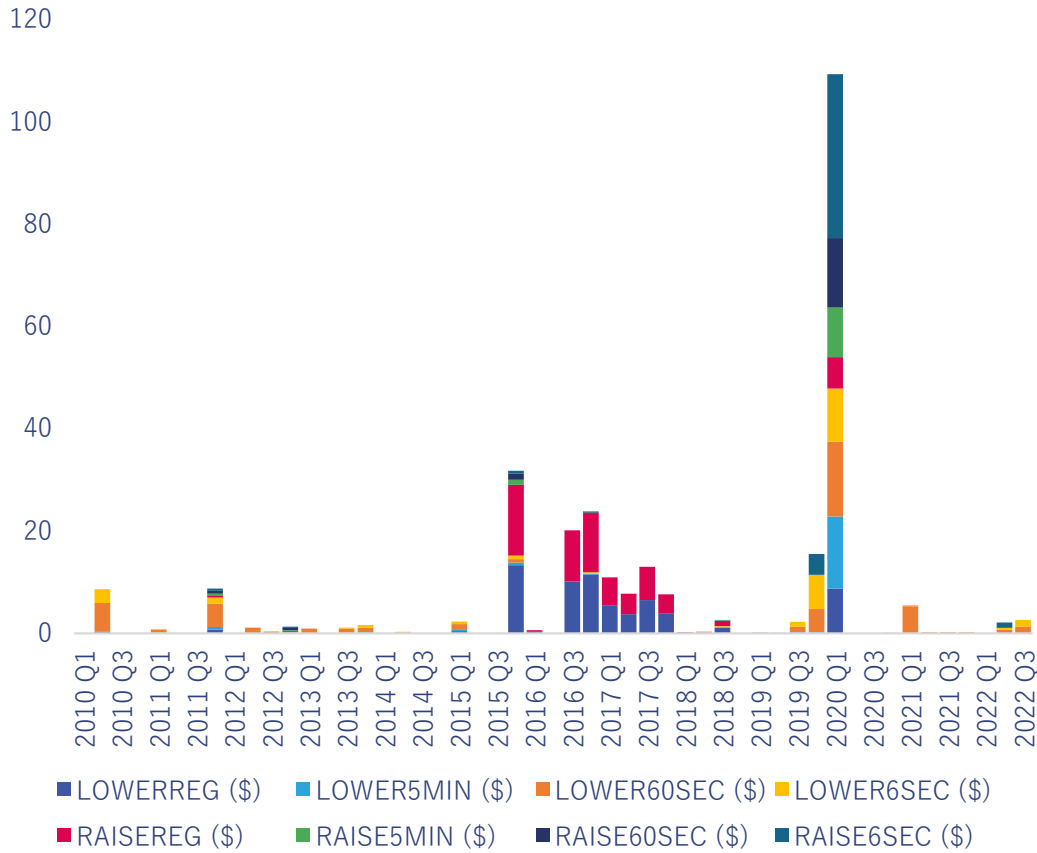
供給力不足により周波数が低下、火力のUFRが作動し、停電

出所： Australian Energy Market Operator “BLACK SYSTEM SOUTH AUSTRALIA 28 SEPTEMBER 2016”

参考：豪州の周波数調整力費用総額

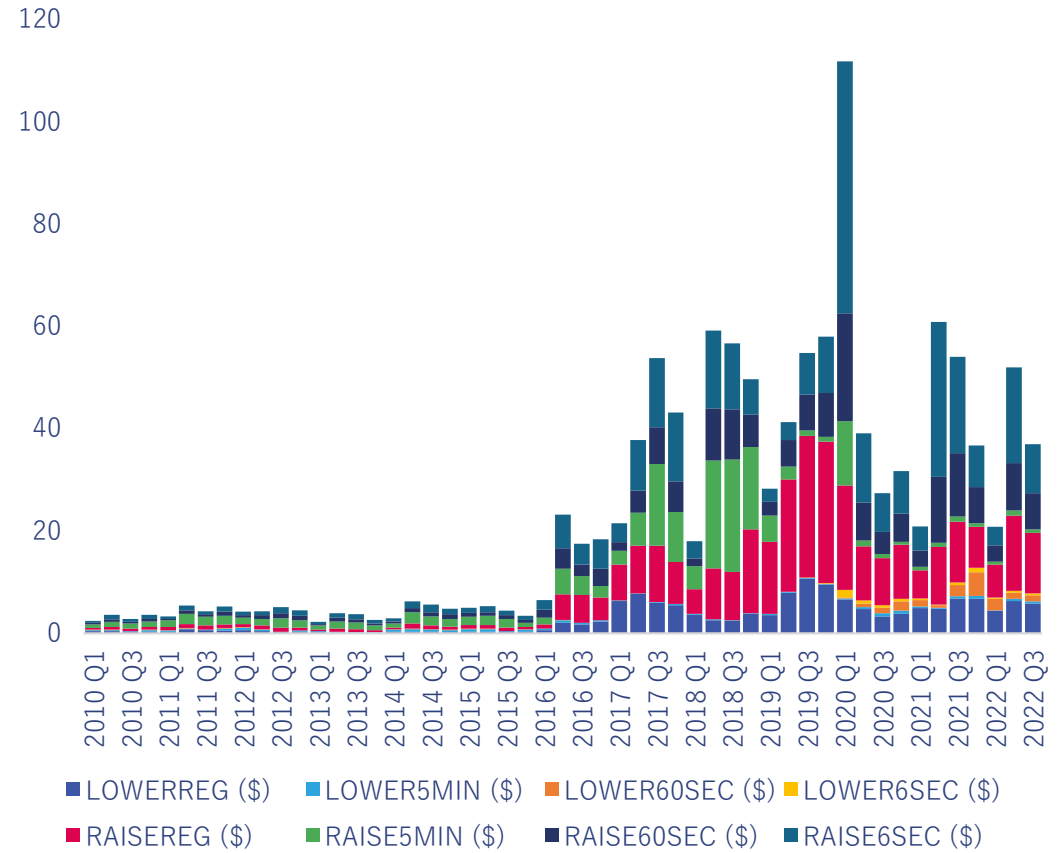
南オーストラリア州における周波数調整力費用総額

[\$Million]



豪州全国における周波数調整力費用総額

[\$Million]



出所： Australian Energy Regulator “Wholesale statistics”

日本市場における蓄電池のニーズ

- 日本市場は、ガスパイプラインが繋がっておらず、燃料を海上輸送する必要があることから、kWh不足に対するソリューションとしての蓄電池運用は困難。
- 他方で、系統用・需要家内蓄電池にはkW不足や周波数維持・BCP・料金抑制といった課題に対するソリューションとなり得るが、複数のユースケースを組み合わせる運用することが肝要と思料。

日本の電力システムの課題		日本市場における蓄電池のニーズ	
系統用	kWh不足	再エネ予測誤差（長期間に渡っての誤差分の燃料確保）	× 対応は困難
		新電力供給分の燃料確保	× 対応は困難
	kW不足	火力発電所の除却加速	○ 尖頭負荷に対応した供給力としての運用
		残余需要に対応した”制御可能な供給力”の確保	○ 夕方の供給力として運用
		再エネ予測誤差（電源起動不足）	○ 太陽光予測誤差に対応した供給力として運用（三次調整力②）
	その他	基幹系統・電源脱落事故発生時の周波数維持	△ 瞬動予備力としての活用
需要家内 (法人)	BCP	災害の激甚化・供給信頼度の低下・料金上昇	○ 停電時の電力供給や自家消費のメリット上昇（PV併設も検討要）
	BG需給調整	小売電気事業者のインバランス対策	△ 小売電気事業者との連携により実現可能
	料金抑制	契約電力減設	△ 一部エリアで契約電力減設メリットが上昇
	kW不足	kW不足時の放電による系統への貢献	△ 容量市場導入後、小売電気事業者との連携により実現可能

需給ひっ迫は午前中・夕方に多発

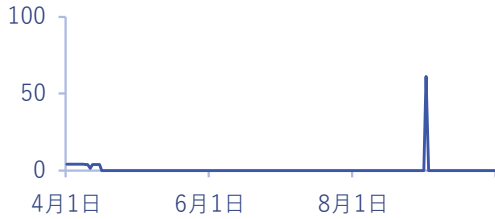
- 関西エリアの予備率において、8%を切った回数は午前中および夕方に多発している。
- これは再エネ予測誤差の発生による供給力不足は午前中に、残余需要に対応した供給力不足が夕方に発生することを指し示している。

関西エリアの予備率における8%を切った回数 (20年度まではエリア予備率、21年度は広域予備率)							
	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
07:00~08:00							
08:00~09:00		1			3		
09:00~10:00	5	3	4	1	13	1	
10:00~11:00	3	2	4	1	11	1	
11:00~12:00	4	4	5	3	10	1	
12:00~13:00					2		
13:00~14:00	5	4	7	6	12		
14:00~15:00	10	7	8	4	11		
15:00~16:00	9	7	5	2	7		
16:00~17:00	10	10	4	1	8		1
17:00~18:00	4	4	1		7		1
18:00~19:00	6	1	2	1	11		
19:00~20:00					6		
20:00~21:00					1		

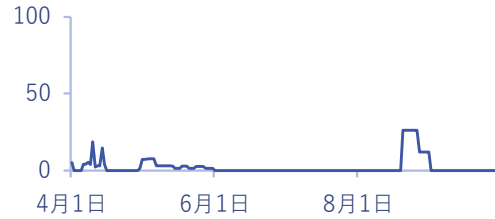
需給調整市場の平均落札価格 (2022年4月～9月末)

全国合計 三次調整力①の平均落札価格 (円/kW/30分)

ブロック 1 (0:00-3:00)



ブロック 2 (3:00-6:00)

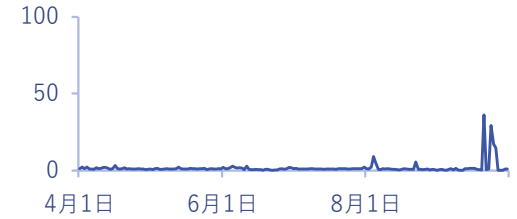


全国合計 三次調整力②の平均落札価格 (円/kW/30分)

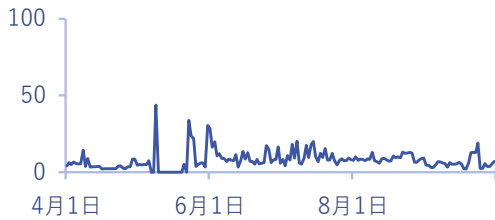
ブロック 1 (0:00-3:00)



ブロック 2 (3:00-6:00)



ブロック 3 (6:00-9:00)



ブロック 4 (9:00-12:00)



ブロック 3 (6:00-9:00)



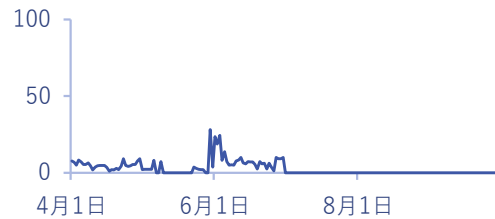
ブロック 4 (9:00-12:00)



ブロック 5 (12:00-15:00)



ブロック 6 (15:00-18:00)



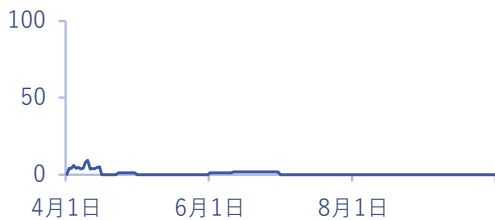
ブロック 5 (12:00-15:00)



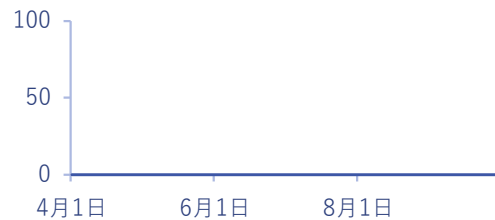
ブロック 6 (15:00-18:00)



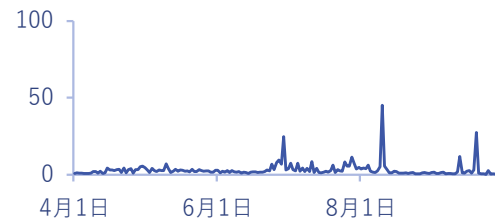
ブロック 7 (18:00-21:00)



ブロック 8 (21:00-24:00)



ブロック 7 (18:00-21:00)



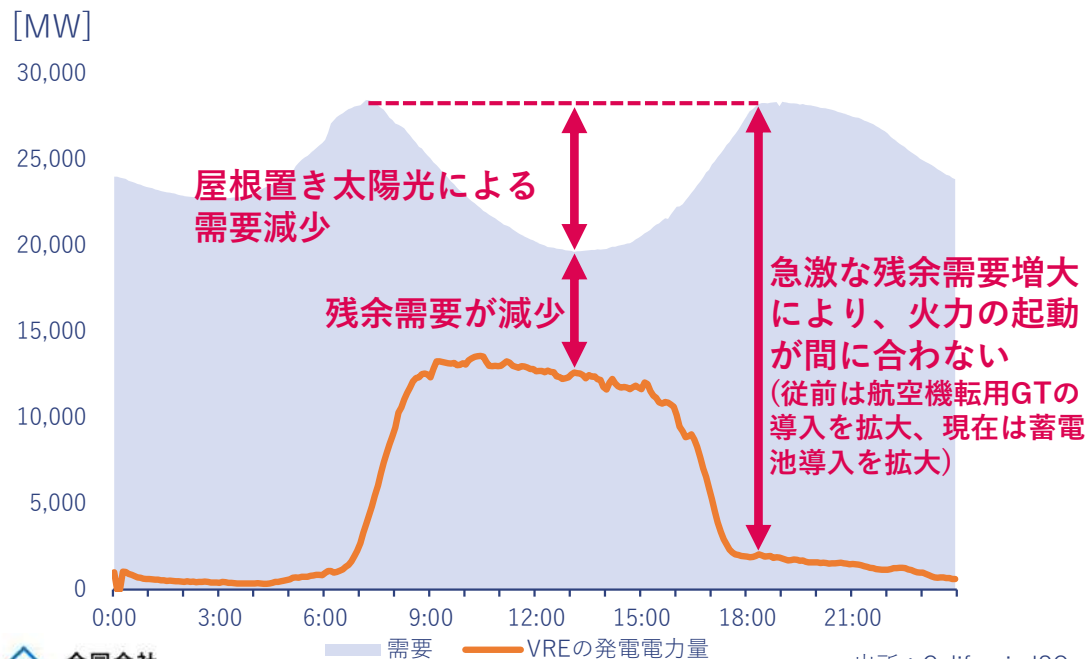
ブロック 8 (21:00-24:00)



自家消費太陽光の導入拡大に伴う需要家への影響

- カリフォルニアでは自家消費太陽光の導入拡大に伴い、昼間の需要が大きく減少する事態が生じている。また、自家消費太陽光の導入拡大が進む豪州では自家消費太陽光を含めた出力抑制が行われている。
- 自家消費太陽光の導入により昼間需要が減少することから、電力市場価格は低下する傾向にある。現在公表されている大手小売電気事業者の市場価格連動条項は、全日・昼間のスポット市場価格を当該小売電気事業者のBG全体の電力量で加重平均したもの。
- 他方、市場価格連動条項の動向次第では、**自家消費太陽光を導入した需要家は、スポット価格が安い時間帯の需要が減少することから、自家消費太陽光を導入しなかった需要家に比べて、系統からの買電料金が高くなる可能性があると考えられる。**
- 自家消費太陽光の導入有無に関わらず、電気料金は上昇傾向であり、自家消費太陽光と蓄電池の組合せが早期にグリッドパリティを達成できる可能性は高いと理解。

カリフォルニア州における需要と再エネのバランス（2月24日）



自家消費太陽光導入拡大に伴うシナリオ（仮説）

現在

- 自家消費太陽光の導入拡大が進む
- FIP併用オフサイトPPAの導入検討

2023-2025
年頃

- ピーク時間帯の市場価格低下
- 自家消費太陽光導入の需要家に対する小売供給料金上昇

2023-2026
年頃

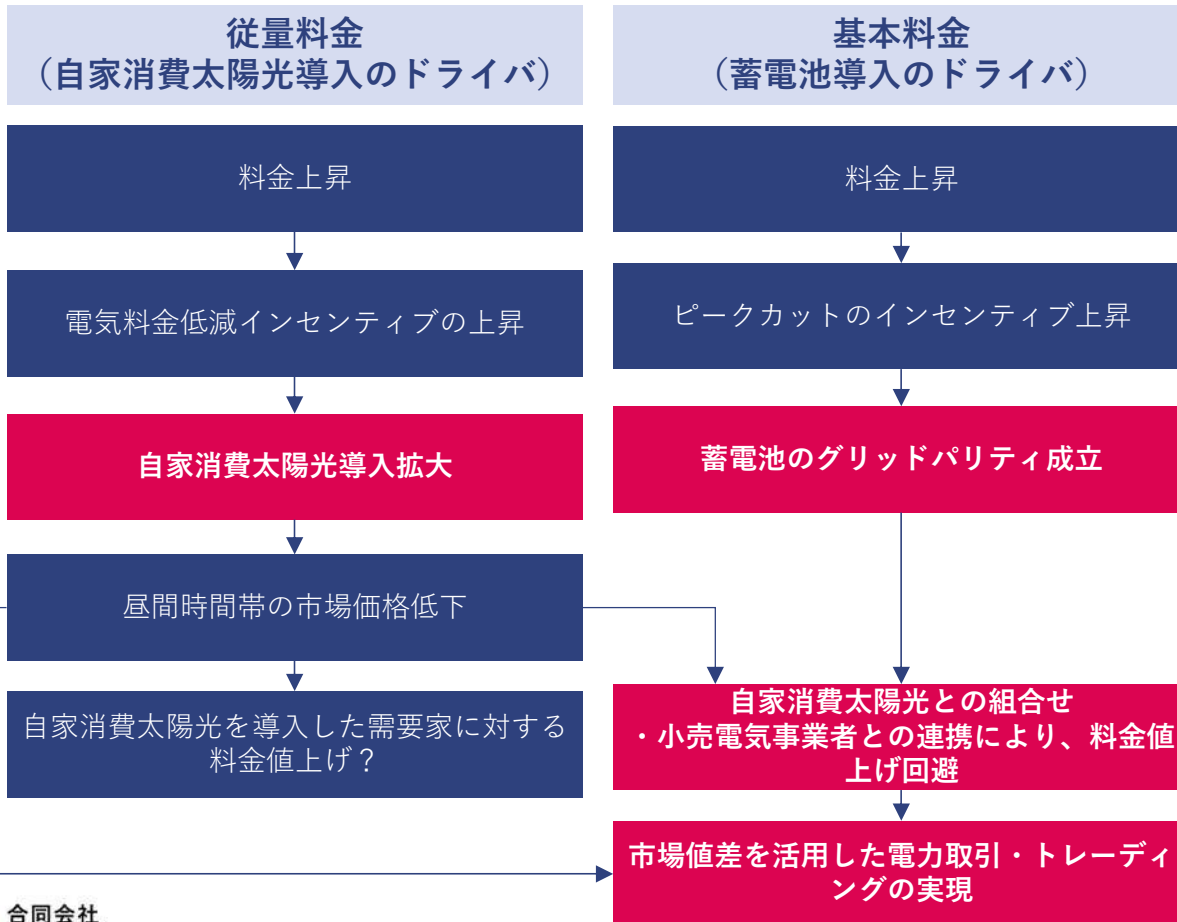
- 自家消費太陽光発電設備と蓄電池のグリッドパリティ達成

2020年代
後半以降

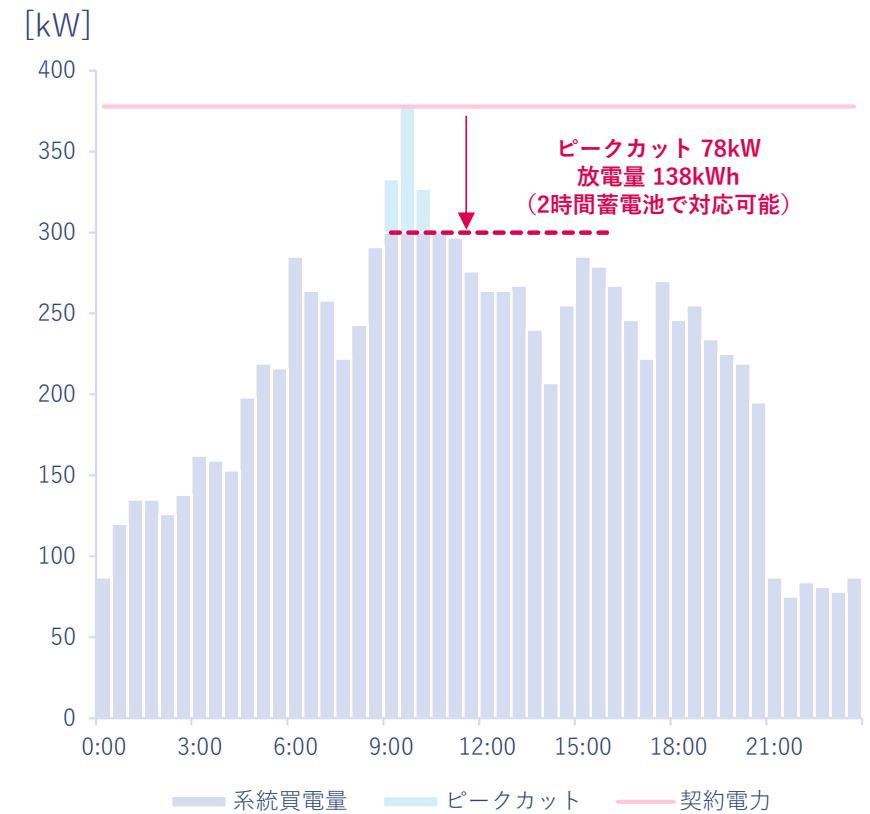
- 自家消費太陽光に対する出力抑制発生の可能性（豪州では実施済み）

法人需要家における施設内蓄電池の運用

- 一部電力会社における約款メニュー値上げは基本料金単価・従量料金単価双方で実施される。
- 基本料金値上げの水準次第では、ピークカットによる契約電力減設のインセンティブが増え、蓄電池のパリティが実現する可能性がある。
- 自家消費太陽光と蓄電池を組み合わせ、小売電気事業者が望む時間帯に放電することで、小売電気事業者は経済DRおよび容量市場拠出金の負担を免れることができる。小売電気事業者との連携が肝要。



蓄電池ピークカットのイメージ
※ピークカット失敗時も小売事業者のコストは託送基本料金のみ



まとめ

- 日本の電力システムは、カーボンニュートラルに向けて多くの課題を抱えている。他方でその課題を解決する手段として蓄電池の役割が高まると考えられる。
- 今回のエネルギー危機により、これまでカーボンニュートラルに向けた議論で後回しにされがちであったエネルギーセキュリティの課題が再認識された。カーボンニュートラルに当たって、化石資源の開発を継続しながら、環境面だけでなく社会・経済の視点からも持続可能な形で、移行を目指していく必要がある。
- また、今回の危機ではS+3Eの重要性が再認識された。また、化石燃料の上流投資不足は継続的に発生すると考えられ、欧米を中心に「再エネ導入拡大による安全保障」といった主張が高まっている。
- 他方、日本は地政学上の事由等により、他国と送電線・パイプラインが繋がっておらず、自国でアデカシーを確保する必要がある。
- 電力系統側で一定のベースロード電源を抱えた上で、系統連系・需要家内自家消費再エネと蓄電池の導入拡大により、S+3Eを確保したカーボンニュートラルの実現に近づける可能性があり、これまで以上に蓄電池の重要性が高まっていると理解。

本資料のお問合せ先

合同会社エネルギー経済社会研究所
Energy Economics and Society Research Institute LLC.

代表取締役 松尾 豪 / Go Matsuo

Tel: 03-3507-5951 / 080-4388-9458

Mail : go.matsuo@eesi.co.jp

〒100-0011 東京都千代田区内幸町1-11-1 帝国ホテルタワー15階