

エネルギーの分散化が創出する 地域の産業革命

2024.10.21



東京電力パワーグリッド株式会社
技術統括室 次世代NWイノベーション推進担当
兼 事業開発室
小林直樹

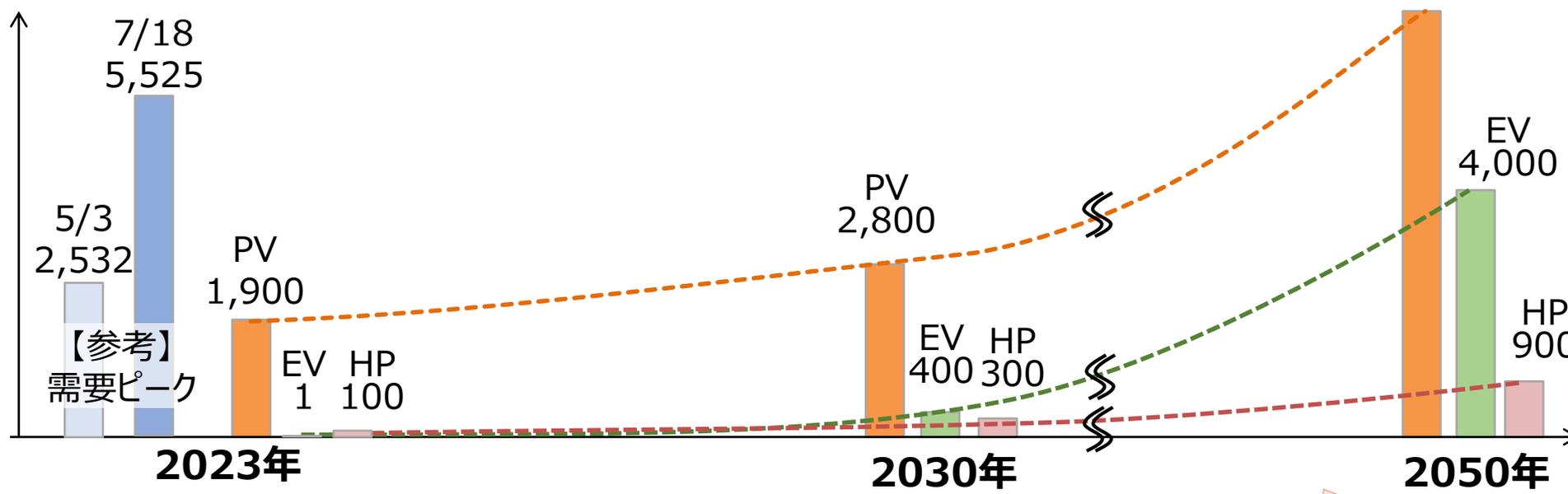
将来の送配電NWが直面する課題

■ CN実現に向けて、送配電NWが乗り越えるべきPV導入増加に伴う2つの課題

- 全体需給課題：出力変動増大 (ΔkW)、アワー切れ (kWh)
- ローカル系統課題：ローカル系統・配電系統の混雑

設備導入量
[万kW]

東京エリアのPVと需要の想定



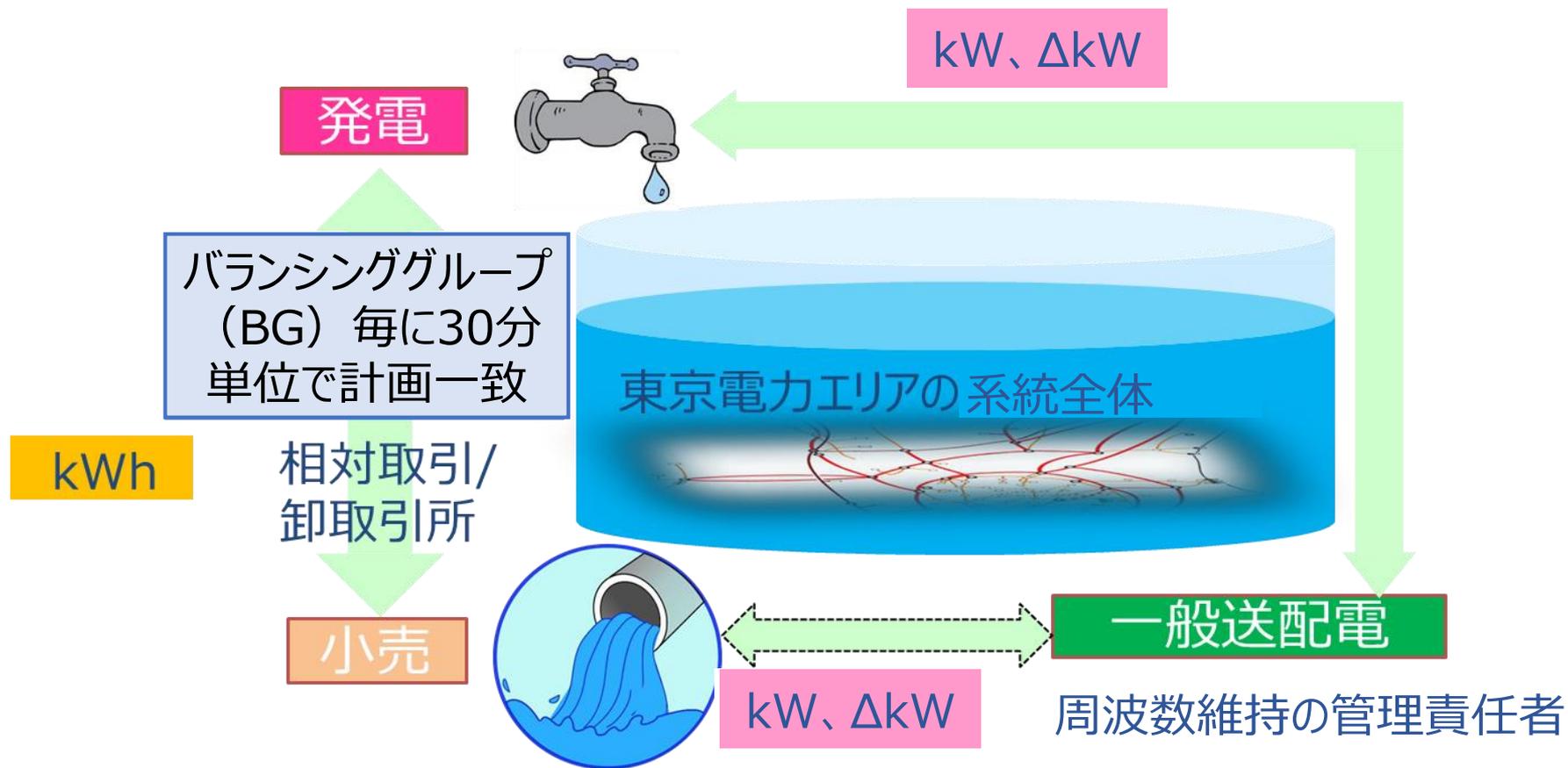
全体需給課題
ローカル系統課題

PV: 太陽光
EV: 電気自動車
HP: ヒートポンプ給湯器

※PVの2050年導入量は広域機関マスタープランベースシナリオを参照
2030年導入量はエネ基の野心的水準と供計値をもとに試算
※EVを60kWh/台(2kW/台)とし、2030年度に200万台、2050年度に2,000万台と仮定

再エネ大量導入時の系統課題（需給面）

- 従来は、総生産コスト最小化、需給バランス維持の観点から**大規模電源**を重視
- 大規模電源の減少、再エネ電源比率の増加に伴い、**需給バランス維持が困難化**



4

再エネ大量導入時の系統課題（需給面） 不足・余剰の状況（1/2）

■ 電力需要と再生可能エネルギー供給のミスマッチにより、需給不足と余剰、地域的な需給の偏りによる系統混雑が拡大

東京エリア 2022年1月6日（平日・雪）
最大需要5,374万kW、10.8億 kWh/日

東京エリア 2022年5月2日（日曜・晴）
最大需要2,673万kW、5.5億 kWh/日

（万kW）

太陽光 290万kW

揚水動力

揚水発電

火力発電 他

朝 揚水発電 上池貯水量 100% 満水

昼 75%

深夜 17%

（万kW）

太陽光 1343万kW

揚水動力

揚水発電

火力発電 他

朝 揚水発電 上池貯水量 46%

夕方 81%

深夜 50%

データ出所；でんき予報

https://www.tepco.co.jp/forecast/html/area_data-j.html

©TEPCO Power Grid, Inc. 2024 All Rights Reserved.

■ 冬季最大需要2022年1月6日(木)の需給状況が仮に2日継続の場合、揚水発電の上池貯水量の水切れ懸念

出典:2022.3.22 第71回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会資料3-3抜粋

1月7日に天候回復しなかった場合のシミュレーション

- 1月6日AM～7日AMの低気温が2日継続した場合のシミュレーション
- 1月6日～7日に実際に発動した6,443万kWhの供給力対策を反映しても、2日目に必要な揚発可能量を確保できず、需給バランスが破綻
(水の尽きた揚発から順次停止し、最終的に揚発供給力約900万kWが消失)

揚水発電可能量の推移（需給実績反映）			
需要	17時 最大需要5,374万kW	17時 最大需要5,374万kW	17時 最大需要5,374万kW
[単位: 万kWh]	1日目	2日目	3日目
発電可能量(朝)	9,400	4,630	▲140
▲: 揚発使用量	▲7,580	▲7,580	▲7,580
+: 揚水量	+2,810	+2,810	
発電可能量(夜)	1,820	▲2,950	▲7,720

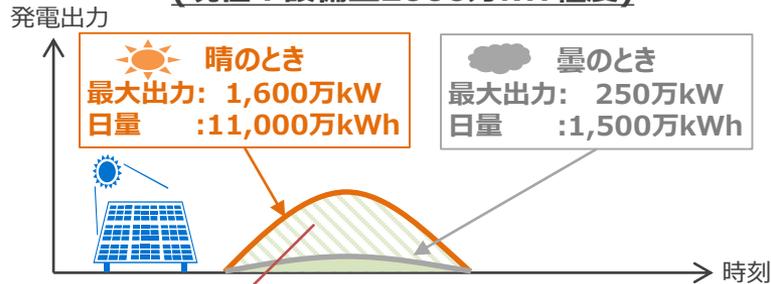
※最小予備率 概算値：（発電可能量(夜) / 揚発予定時間(16h)） / 最大需要 5,374万kW



揚水発電設備量の限界

- PV6000万kW導入時は、PVの発電出力変動幅が現状よりも大きくなり、揚水発電・ポンプ^o(待機コストゼロ)だけでは調整力が不足
- 不足分を火力発電のみに頼ると、待機出力^{*}が増加し、火力稼働に伴うPV出力制御量が増加
^{*}火力発電は、発電機を完全に停止してしまうと、再稼働に時間を要する為、一定程度稼働し続ける必要がある
- CNや社会コスト最適化のため、揚水発電と同様に待機出力ゼロのEV等のDER活用が不可欠

PVの発電出力イメージ
(現在：設備量2000万kW程度)

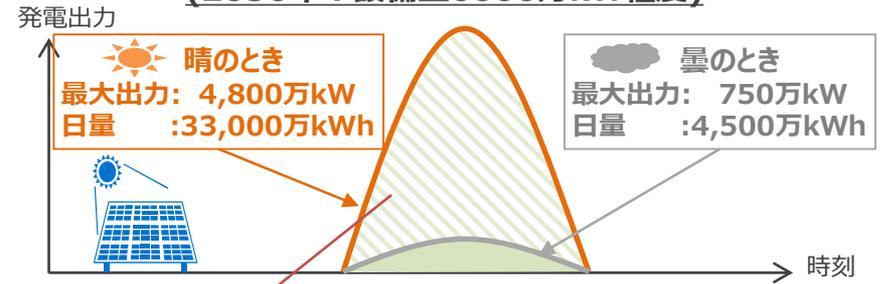


揚水発電・ポンプ^oの調整力で対応可



PV
導入量増加

PVの発電出力イメージ
(2050年：設備量6000万kW程度)

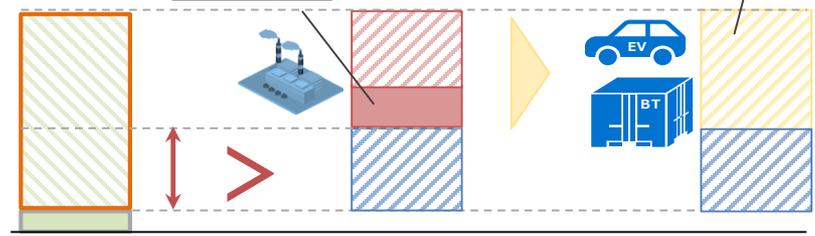


揚水発電・ポンプ^oの調整力だけでは対応不可



火力待機出力増
+PV抑制量増

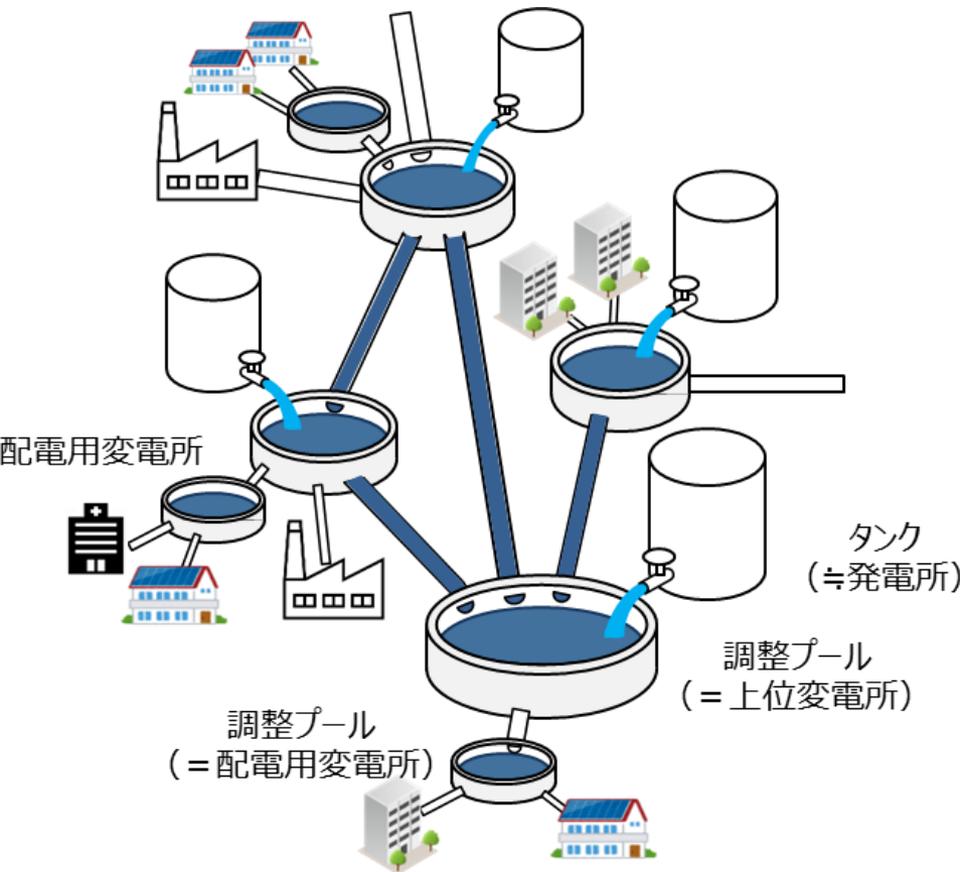
DER活用が不可欠



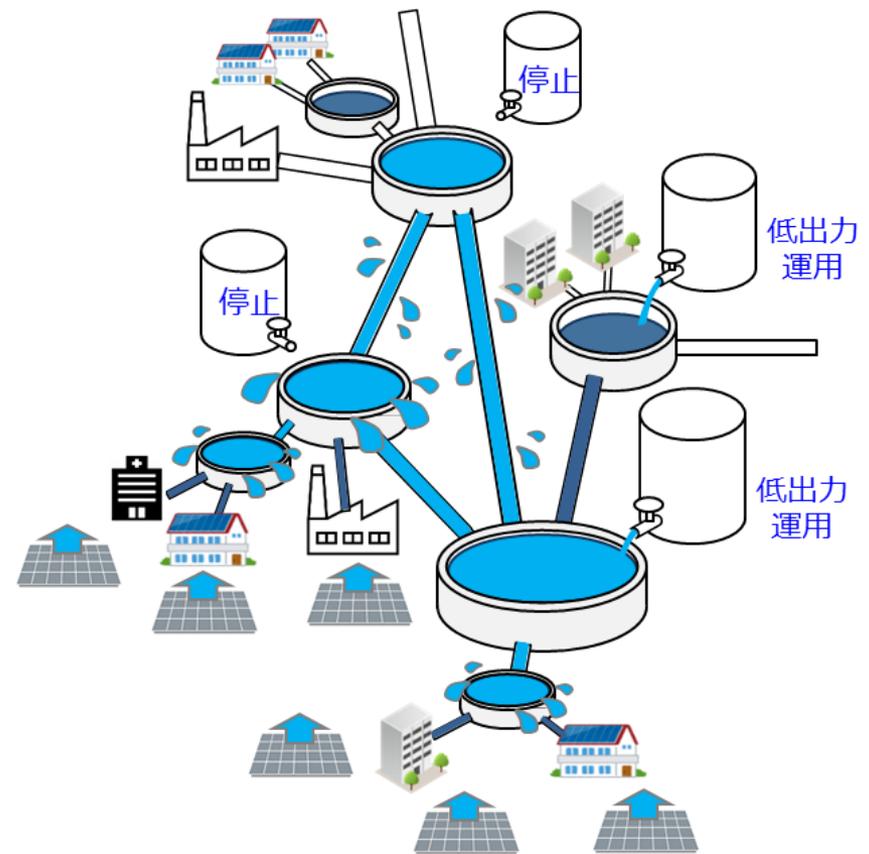
再エネ大量導入時の系統課題（潮流面）

- 従来、潮流（電流、電圧）が輸送設備の容量を超えないよう設備を形成・管理
- PVはローカル系統以下に接続されていく中、混雑させないためには**増強工事が必要**
（人口減少下における施工力不足、託送費用の増加懸念）

従来の設備形成



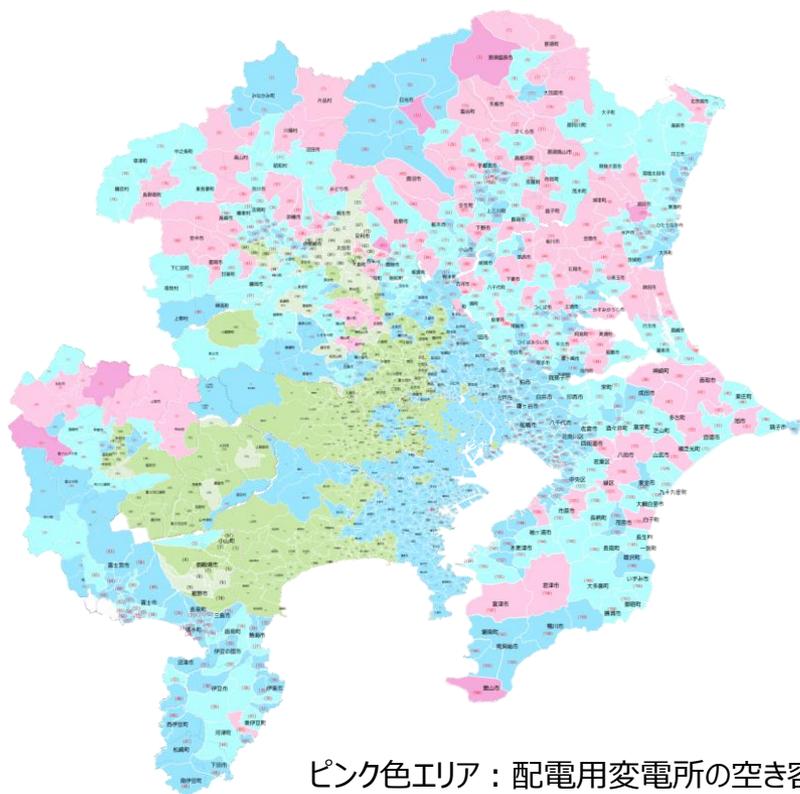
再エネ大量導入時の課題



再エネ大量導入時の系統課題（潮流面） 系統増強による対策

- 現状、PVの7～8割は配電系統に接続（とりわけ群馬、栃木、茨城、千葉の空き容量がひっ迫）
- PV出力ピークに合わせた設備増強は、利用率が低い設備を大量に作ることになりかねない

東京エリアにおける配電用変電所空容量マップ[※]

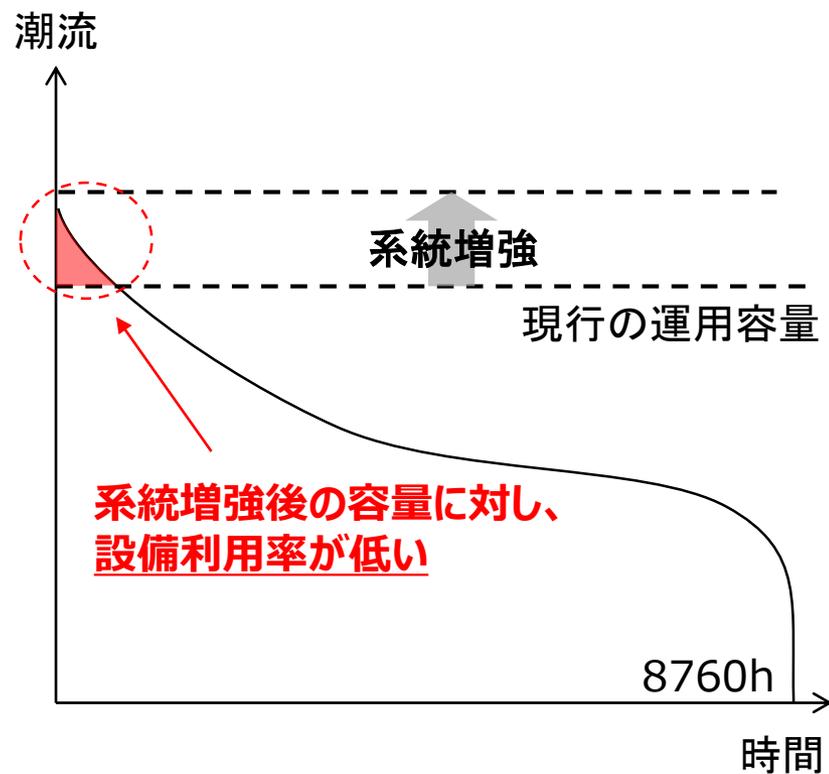


ピンク色エリア：配電用変電所の空き容量が不足

水色エリア：上位系統混雑による出力制御の可能性が高いエリア

黄緑色エリア：上位系統混雑による出力制御の可能性が低いエリア

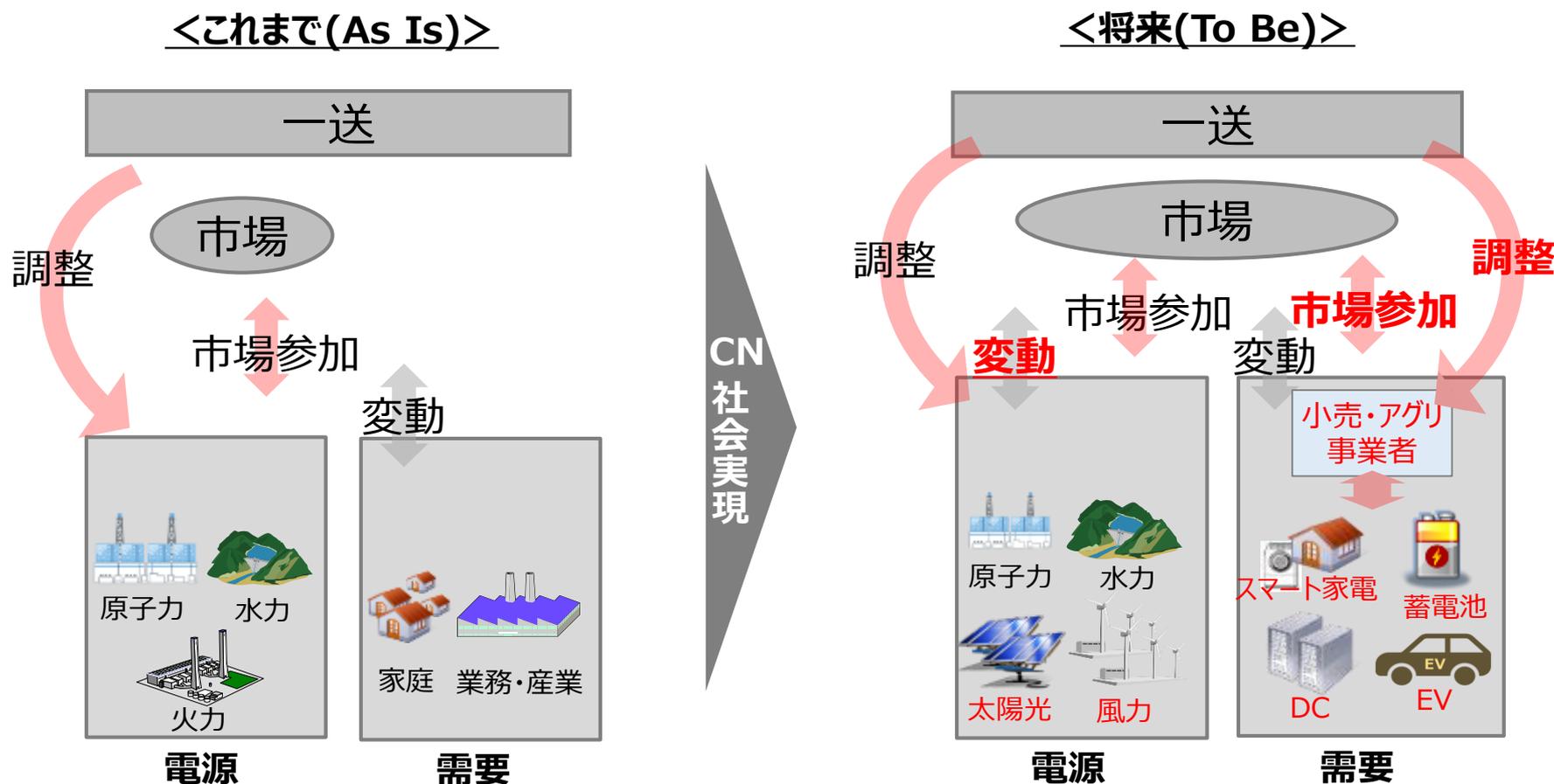
設備利用率の低下



※引用元：東京電力PGホームページ「系統の空容量等に関する情報」を元に編集（URL：<https://www.tepco.co.jp/pg/consignment/system/>）

将来における需給運用の変化の必要性

- 需要変動に対する電源の調整から、電源変動に対する電源・需要の調整が必要
 - 将来の電源(変動)：PV・風力などの変動電源が主力、原子力・水力・地熱・その他はベース
 - 将来の需要(調整)：DC・EV・蓄電池(蓄電機能として揚水含む)・HPや家電、その他需要



低圧DER

- 既存の低圧家電でDRを行うには、協力・忍耐が必要
- 電源の脱炭素化に合わせて電化が進むことで、需要の価格弾力性が高まる可能性

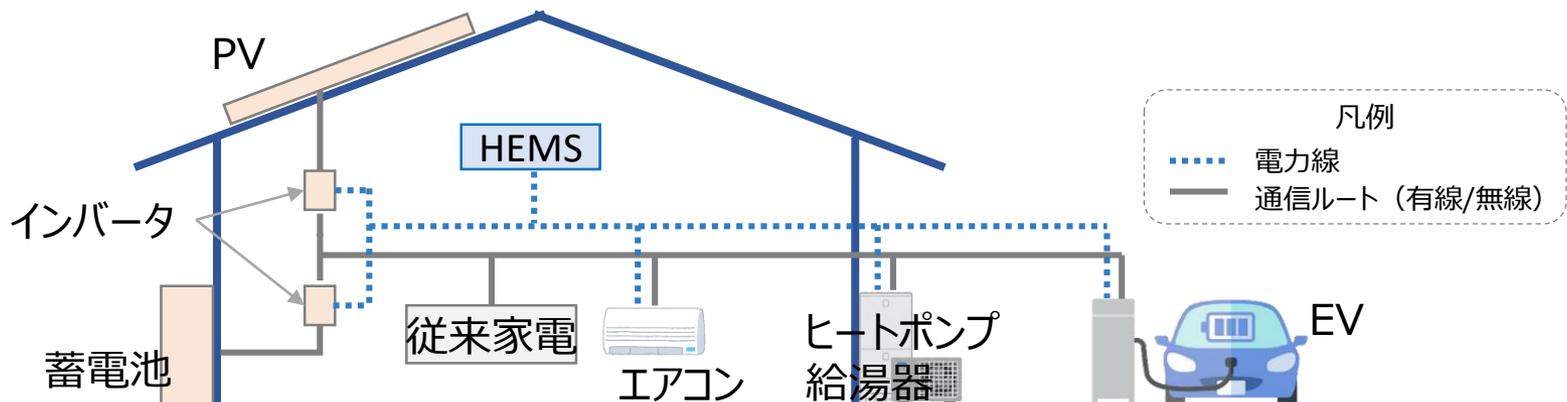
DER	普及率		DR種別		戸建	集合住宅
	戸建	集合住宅	上げ	下げ		
照明	100%	100%	負荷	－	－	－
エアコン	100%	100%	負荷	－	△	△
従来家電	100%	100%	負荷	－	－	－
ヒートポンプ給湯器	23.7%	3.4%	負荷	－	○	○
PV	10.4%	－	－	発電	○	－
蓄電池	2.8%	－	充電	放電	○	－
EV充電器	0.1%	－	充電	－	○	－
V2X	0.6%	－	充電	放電	○	－

DR (行動変容)

- 電力消費者のご理解、ご協力、忍耐が必要

DR (自動化)

- 忍耐を伴わないDR
- 日々の電気料金節約

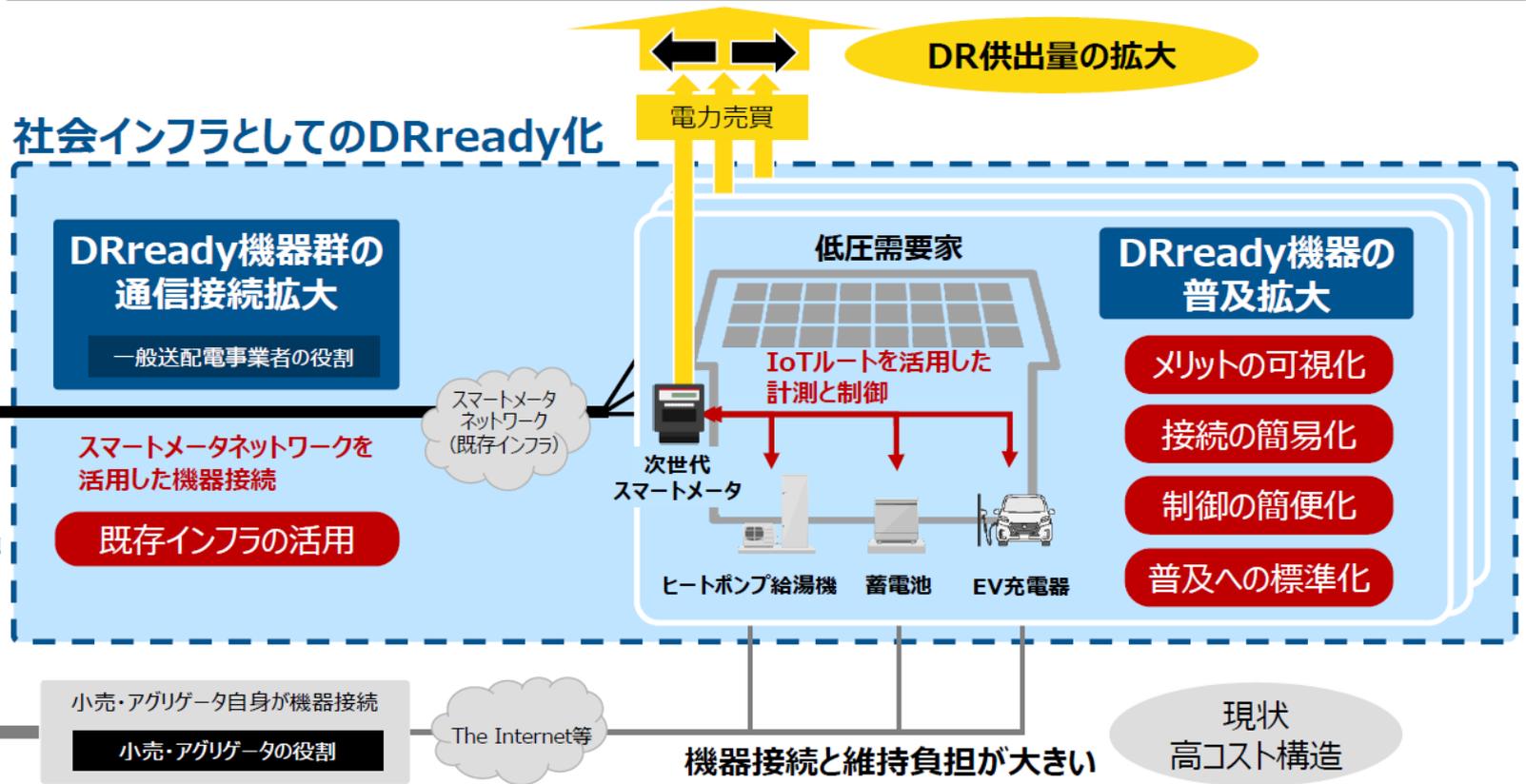


DRreadyに向けた可能性

- DERを低コスト・簡便に市場に供出する手段として次世代スマートメーターの通信ネットワーク（既存インフラ）を活用することが提案されており、今後検討を進める予定

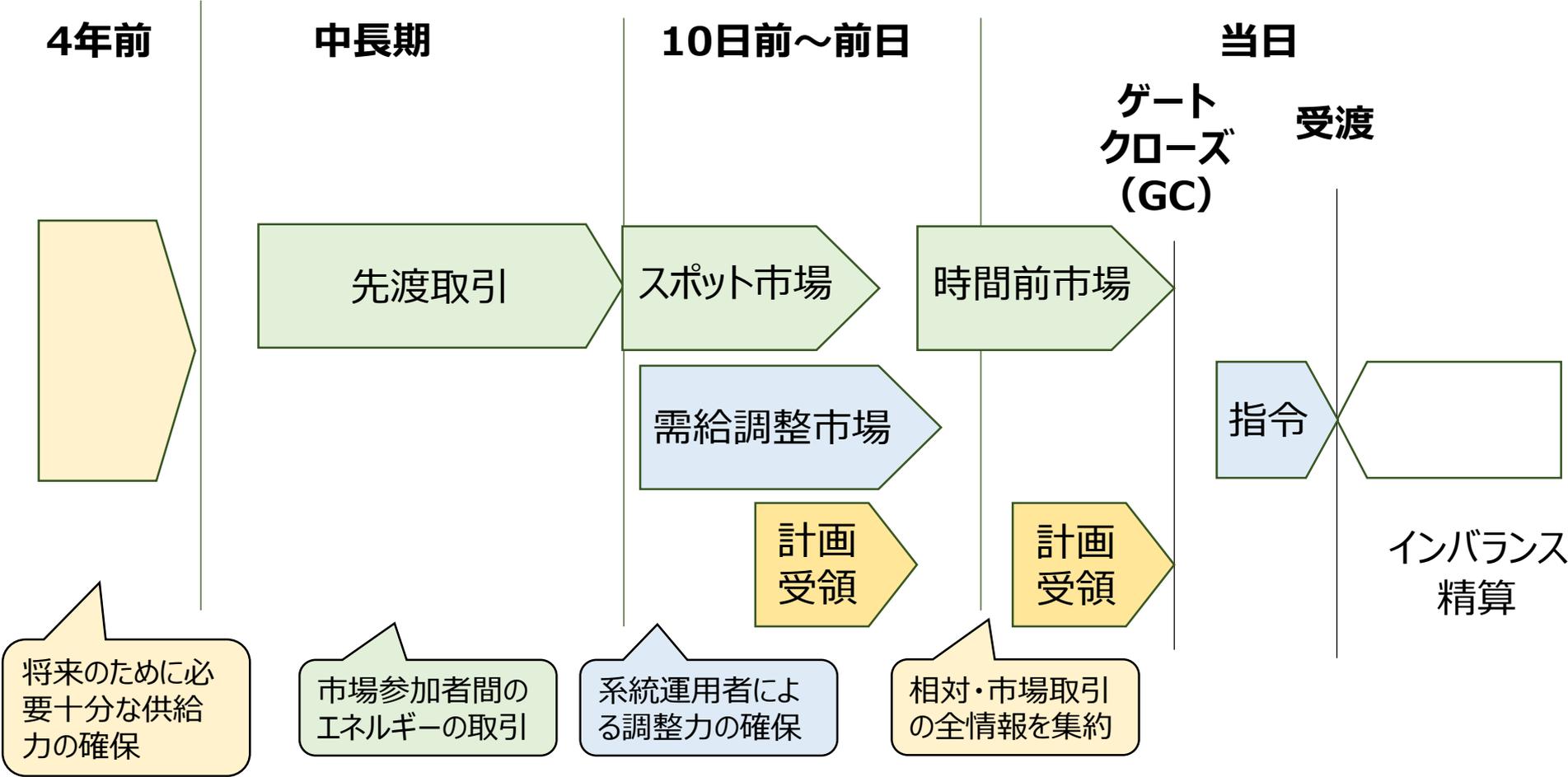
どのようにしてDR供出量を拡大すべきか

海外と同等のDER最小入札容量 容量市場・スポット市場・需給調整市場・時間前市場・安定供給対応 など



3つの電力取引市場

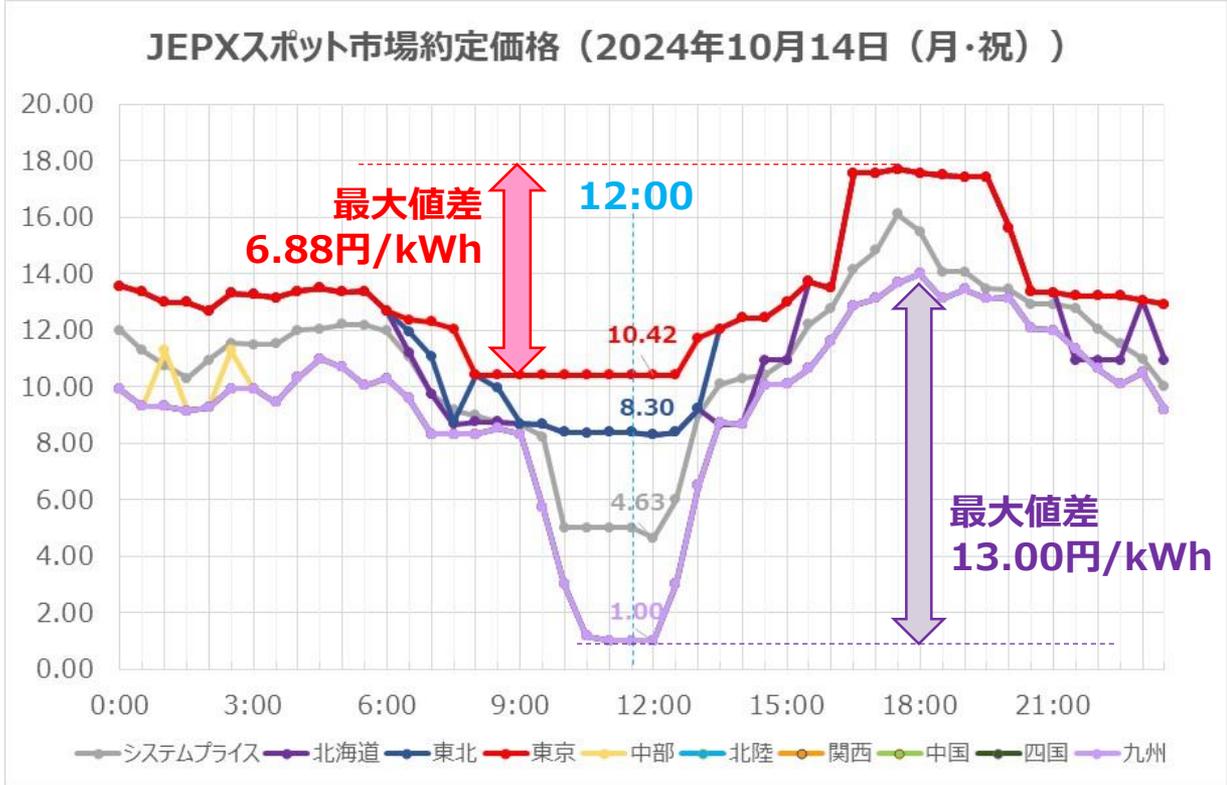
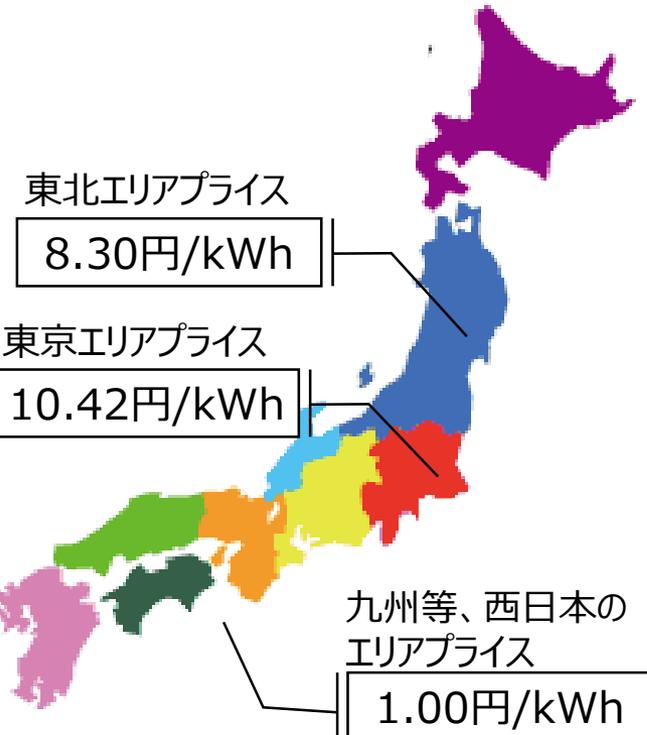
- 電力広域的運用推進機関 (OCCTO)  : 容量市場、計画受領
- 日本卸電力取引所 (JEPX)  : 発電・小売・アグリ事業者がエネルギー取引
- 電力需給調整力取引所 (EPRX)  : 一般送配電事業者が周波数維持義務



卸電力取引所のエリアプライス（＝ゾーン制）

- 日本全国の入札を合成して需要・供給曲線を描き、その交点が約定価格（＝システムプライス）
- エリア間連系線に流れる電力が設備容量を超える場合、**市場分断処理**を行い、それぞれのエリアで入札を合成して需要・供給曲線を描き、各交点がそれぞれの約定価格（＝エリアプライス）
- **需要、発電を適地・適時に誘導する効果あり**（エリア別・時間別価格シグナル）

システムプライス
4.63円/kWh @12:00

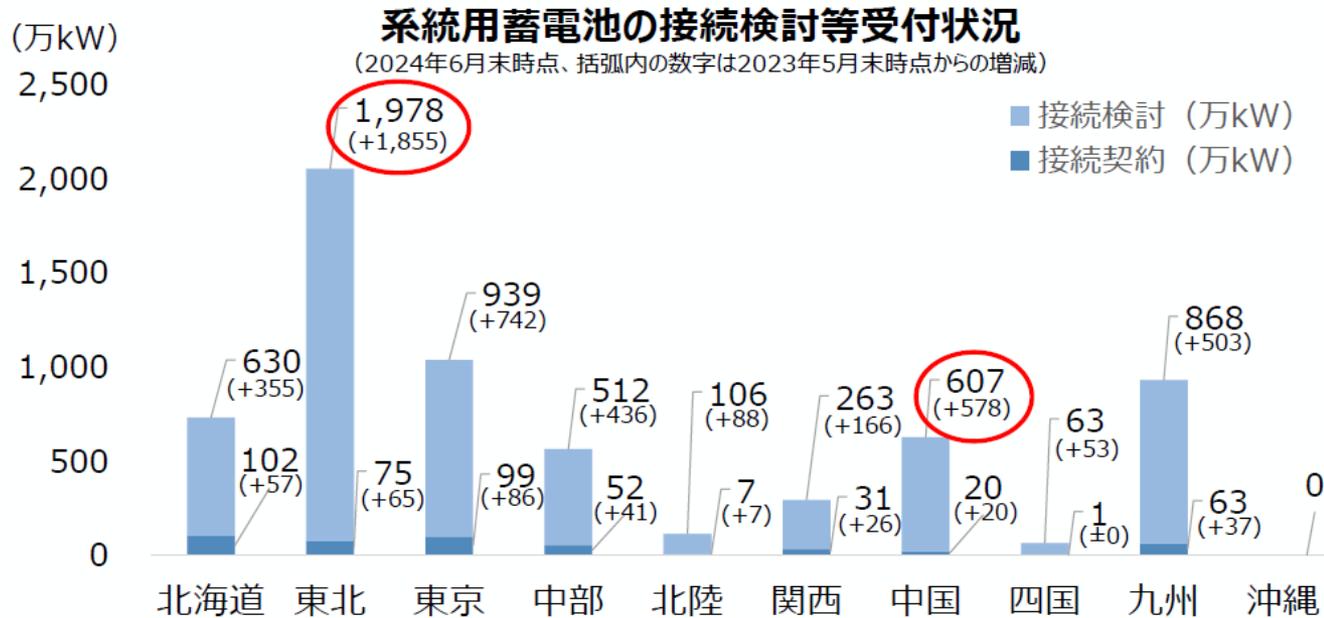


系統用蓄電池

■ 国の補助もあり、系統用蓄電池の導入が進展

【報告】 系統用蓄電池の接続検討等の受付状況

- 系統用蓄電池の接続検討等の受付状況として、接続検討受付が約6,000万kW（2023年5月末比で約5倍）、接続契約受付が約450万kW（2023年5月末比で約4倍）となっている。
- 特に、東北、中国では接続検討が急増している。



(※) 一般送配電事業者において集計したデータを元に、資源エネルギー庁において作成。
 (※) 接続検討のすべてが系統接続に至るものではない。
 (※) 数値は小数点第1位を四捨五入した値。

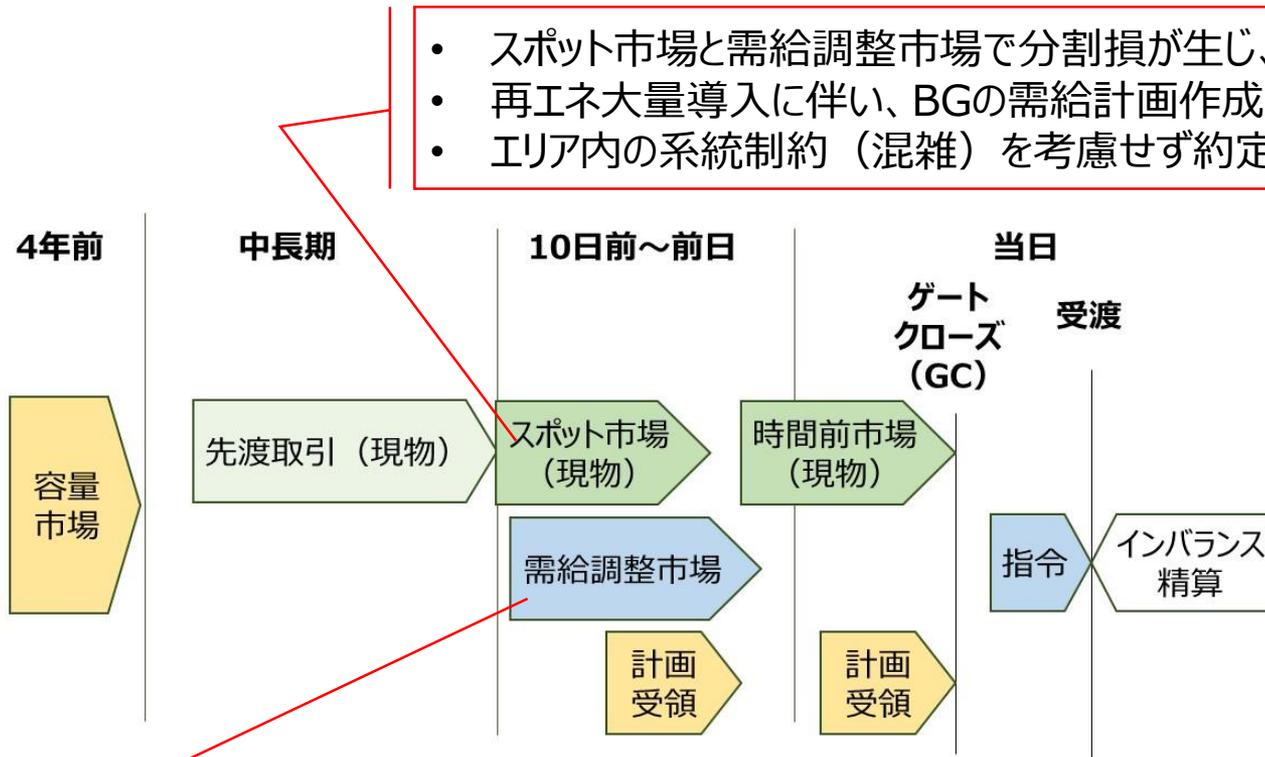
3

引用元：第52回系統WG資料3「系統用蓄電池の迅速な系統連系に向けて」（経済産業省、2024年9月18日）

(URL： https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/052_03_00.pdf)

将来を見据えた各市場の主な課題

- 市場整備と再エネ普及が進む一方、調整力電源の退出、寒波・猛暑による需給ひっ迫、燃料価格高騰等、**エネルギー安定供給に係る課題**に改めて直面
- **将来の需給・混雑課題**に対し、電源・DERを効率良く活用できる仕組みと使いがたい



- スポット市場と需給調整市場で分割損が生じ、後者の入札量が低調
- 再エネ大量導入に伴い、BGの需給計画作成は徐々に困難化
- エリア内の系統制約（混雑）を考慮せず約定

- 発電、小売事業者による需給想定が不十分で、かつ供給力・予備力を各事業者が確保したまま一般送配電事業者に渡らない場合、系統全体が崩壊するおそれ
- 小規模DERにとって、各市場の最低入札量が大きいために参入障壁

同時市場

- 2050年のカーボンニュートラル達成、これに伴う需給運用の課題解決に向け、エネ庁に「**同時市場の在り方等に関する検討会**」が設立
- 同時市場とは・・・（米国PJM、NYISO、CAISO等がモデル）
 - 供給側はThree-Part Offerで入札（「①起動費、②最低出力費用、③限界費用カーブ」を登録）し、kWhとΔkWを同時に約定させる仕組み
 - 米国では系統運用者が市場を担い、**系統制約を違反しないように電源の起動停止計画、運用配分を決定**



スケジュールのイメージ（議論中）

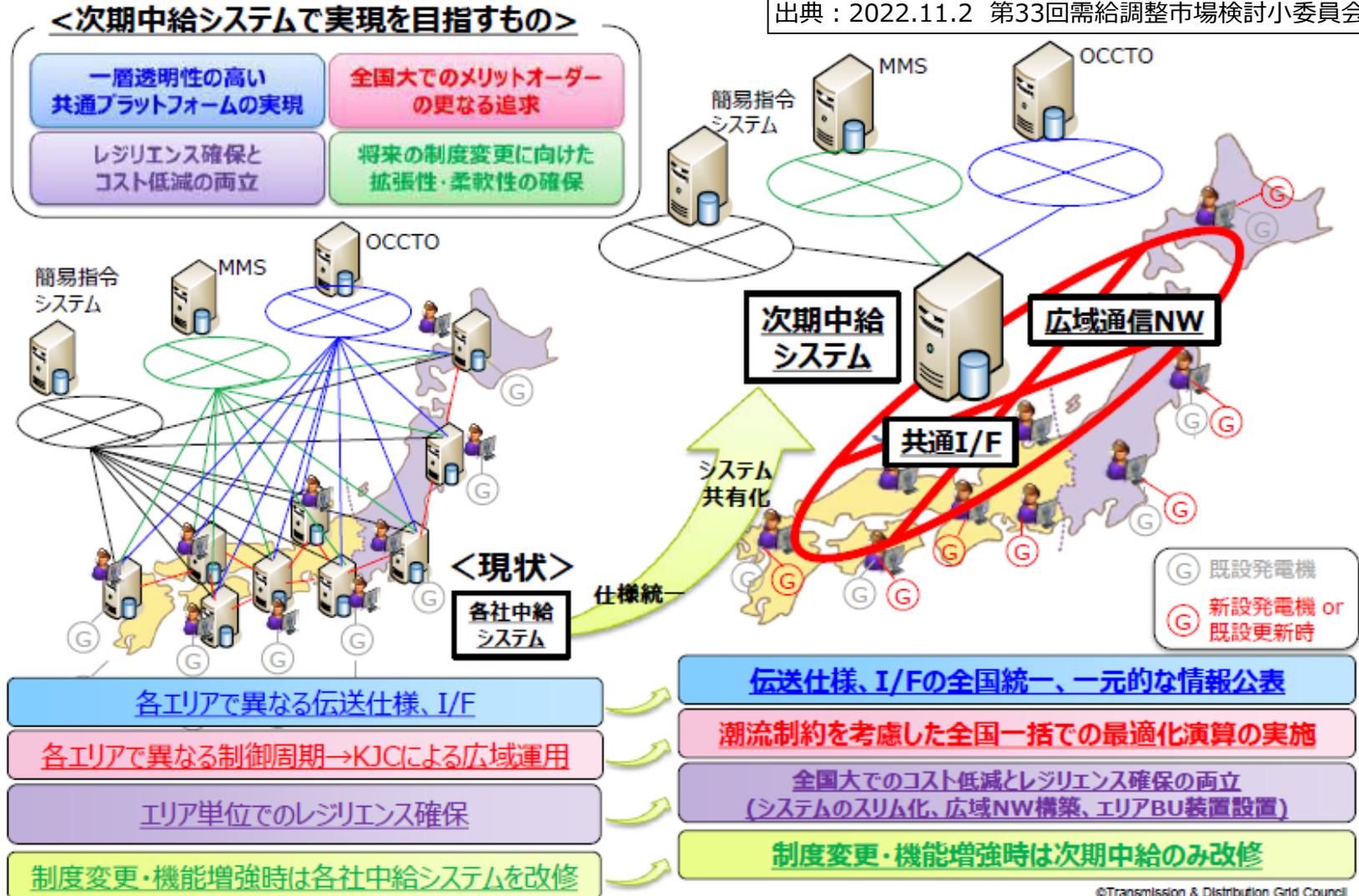


※議論次第ではザラバの可能性あり

次期中給システムの開発

- 一般送配電事業者の中給システムの共有化(次期中給システムの開発)を推進中
- 安定供給維持を前提とし、透明性、メリットオーダー、コスト低減等を志向

出典：2022.11.2 第33回需給調整市場検討小委員会資料4抜粋

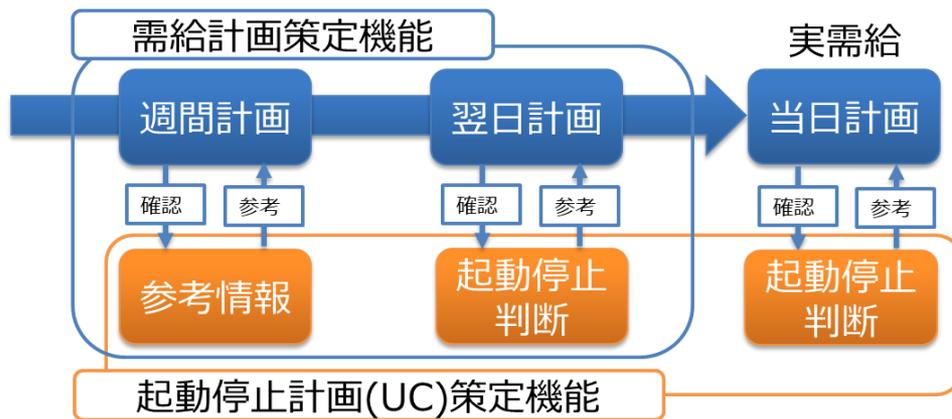


次期中給システムの主要機能

- 地域間連系線および各エリアの系統混雑を同時に考慮した、全国メリットオーダー型の発電機起動停止計画(UC)を策定する最適化演算機能(SCUC機能)
- 同様に系統制約を考慮したメリットオーダーによる経済的給電指令(ED)を行うための最適化演算機能(SCED機能)

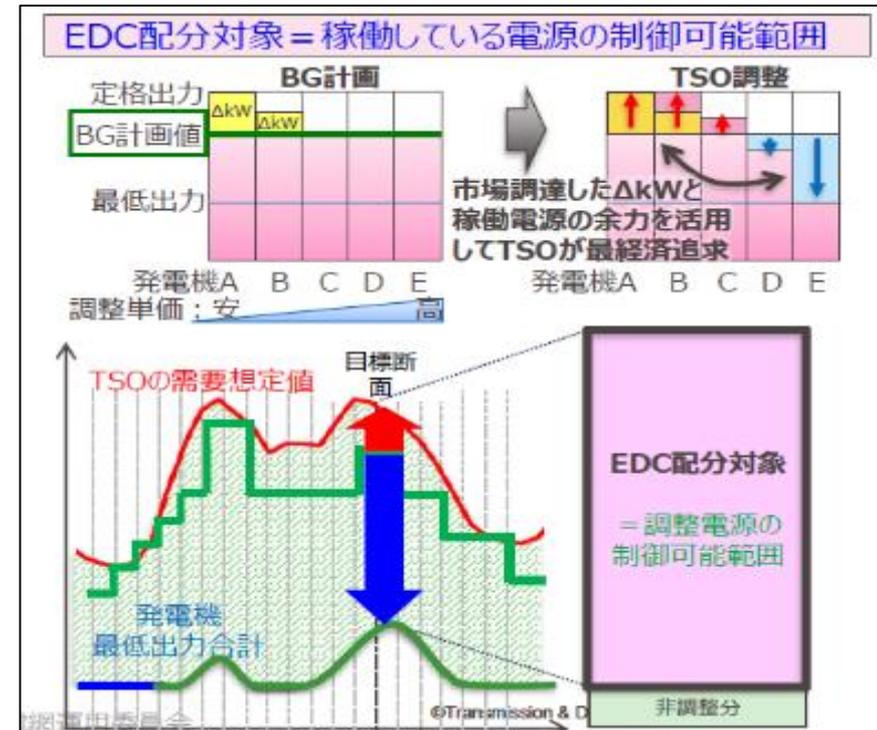
SCUC機能

(潮流制約を考慮した全国大の発電機起動停止の最適化演算機能)



SCED機能

(潮流制約を考慮した全国大の需給制御機能(EDC))

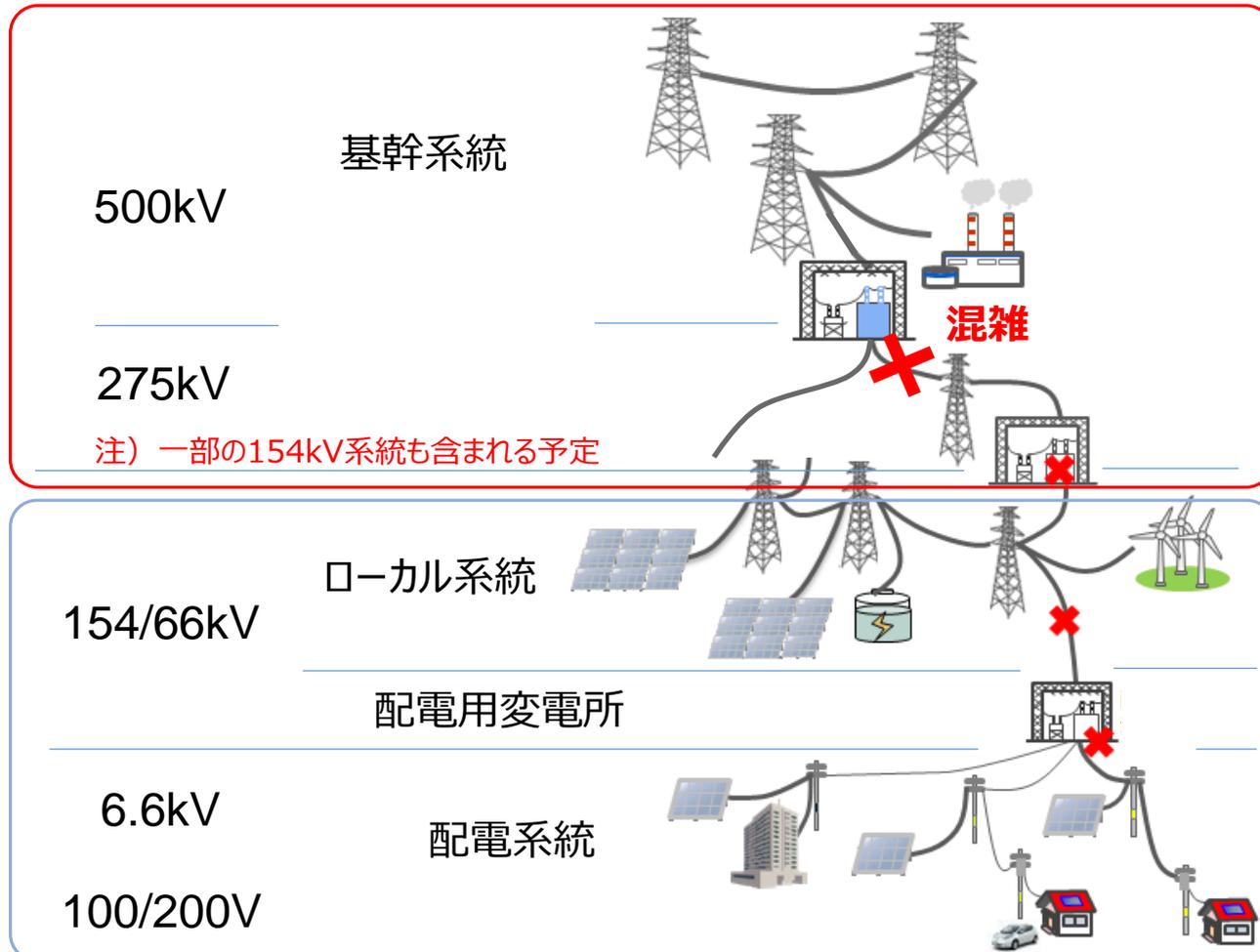


出典：2022.11.2 第33回需給調整市場検討小委員会資料4をもとに作成

エリア内混雑の扱い

- 次期中給・同時市場が行う混雑処理は、最適化演算のコンピューティング能力の限界から、**基幹系統（上位二電圧）**まで
- 今後、系統混雑の深刻化が懸念される**ローカル系統以下の管理**はどうあるべきか

同時市場（次期中給システム）の範囲



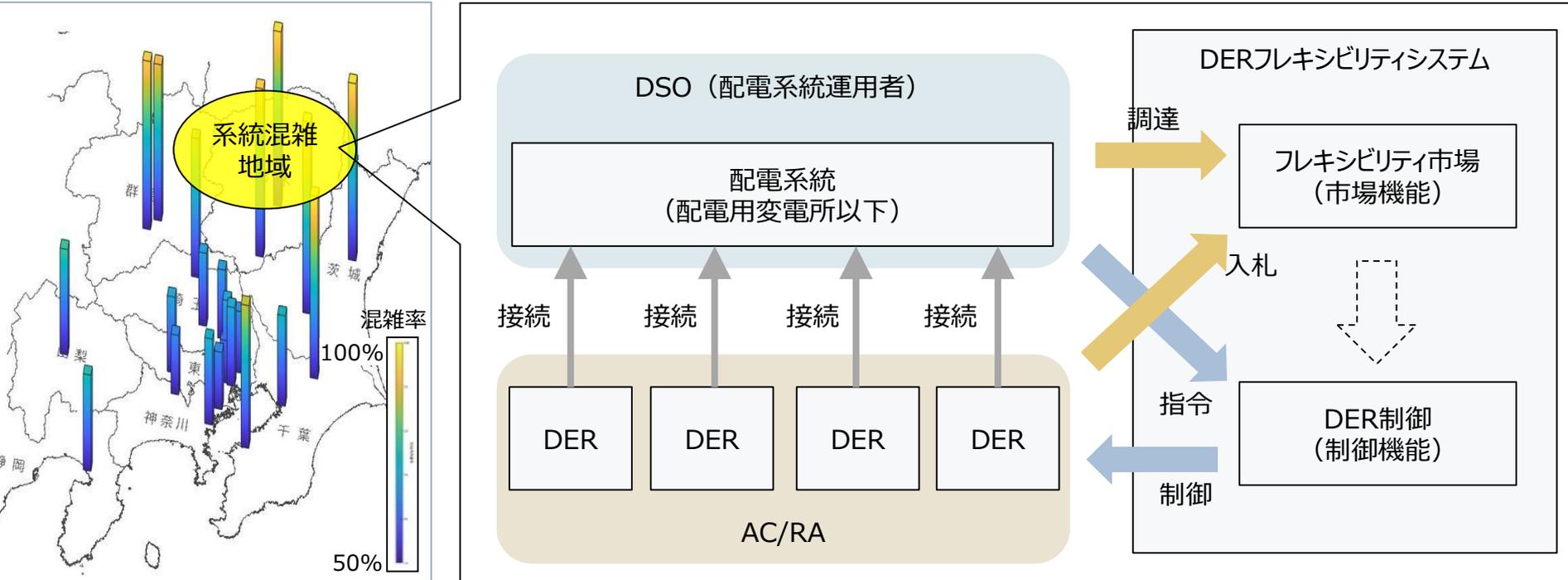
【対策1】ノンファーム型接続

- ノンファーム型接続の適用系統を配電用変電所に拡大することも一案
- 価格シグナルがないため、**需要誘致にはつながらない**
- **再給電にかかる業務・コストが増加するおそれ**

	基幹系統混雑			ローカル系統混雑			系統図
	①適用系統	②適用電源	③制御対象	①適用系統	②適用電源	③制御対象	
基幹系統 (上位2電圧)	2021.1 基幹系統	2022.4 全電源	(調整電源活用) 2022.12 (一定の順序) 2023.12				<p>基幹系統 ローカル系統 配電系統</p>
ローカル系統 ※上位2電圧以外かつ配電系統として扱われない系統		2023.4 全電源	2023.12以降 必要に応じて拡大	2023.4 ローカル系統	2023.4 全電源	全電源	
配電系統 (高圧以上)					全電源	全電源	
配電系統 (低圧)					10kW未満	10kW未満	
④制御方法	再給電方式			再給電方式(一定の順序)の出力制御順に基づく制御(一律制御の対象は計画値変更)			

出所; 資源エネルギー庁「第44回 電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会 系統ワーキンググループ 資料1-1」(系統ワーキング資料、2023年2月28日)、https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/044_01_01.pdf

- NEDO実証で、系統混雑状況とDER稼働状況を把握・制御し、DER（上げDR）を活用して混雑緩和を図る**DERフレキシビリティシステム**を構築中（令和4～6年度）
- 増強緩和に貢献するDERに対し、系統運用者が**インセンティブ**を付与
- 年間の混雑時間が少なく、**混雑のみのDER活用ではDER稼働率が低い**ことが課題
 - LFM構築が、JEPX、需給調整市場等との**さらなる分割損にならない**ことが重要
 - 当面、DER普及量が少ない／他市場参加等のマルチユースを円滑に行うことが難しく年間稼働率が低い間は、**通年運用する「市場」の設立より、暫定的な「公募」による運用が妥当か**

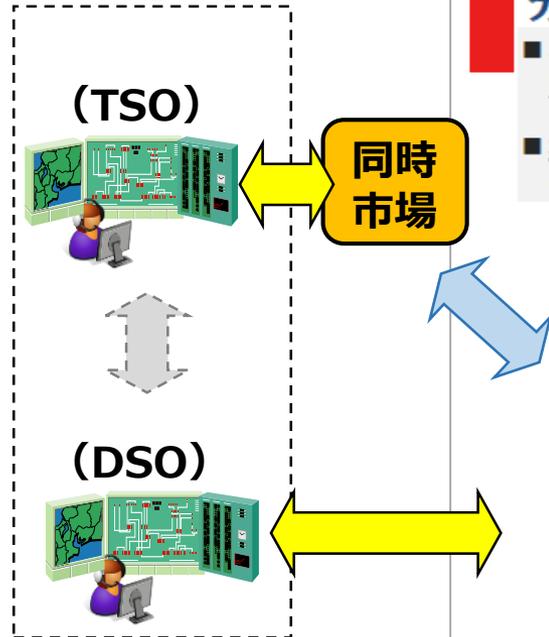


※東電PGホームページ (<https://www.tepco.co.jp/pg/consignment/system/>) のデータをグラフ化

【対策3】エリアプライスの細分化

- 前例はないが、**系統制約を考慮して約定する仕組み**（次期中給におけるSCUC/SCED機能）をローカル系統以下に導入し、次期中給/同時市場と連携する方法が考えられる
- **同時市場がローカル系統以下に拡張されるイメージ**（=仮称「分散エネルギー取引市場」）
- 上記に伴い仮に価格シグナルを細分化できれば、**需要、発電の適地・適時誘導効果が向上**

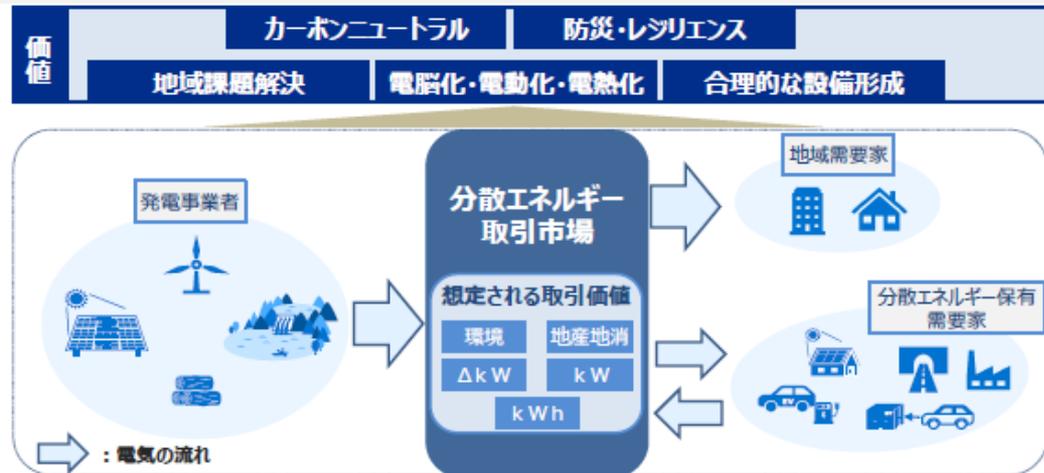
一般送配電事業者



分散エネルギー取引市場

4

- 再エネ大量導入等に資する次世代NW実現に向け、**全国市場※とお客さま設備**（地域分散エネルギー）を**結ぶローカル階層に、需給と混雑を管理し、地域分散エネルギー活用を促すための分散エネルギー取引市場**が必要。
※：日本卸電力取引所・電力需給調整力取引所
- **地産地消**を誘引する取引マッチングを行い、**混雑状況を加味した価格シグナル**等の情報を発信し、**市場参加者**（発電事業者・小売電気事業者・アグリゲーター等）が**自律的に行動する仕組み**によって、**地域課題**や**系統課題**の解決に貢献。



©TEPCO Power Grid Inc. All Rights Reserved.

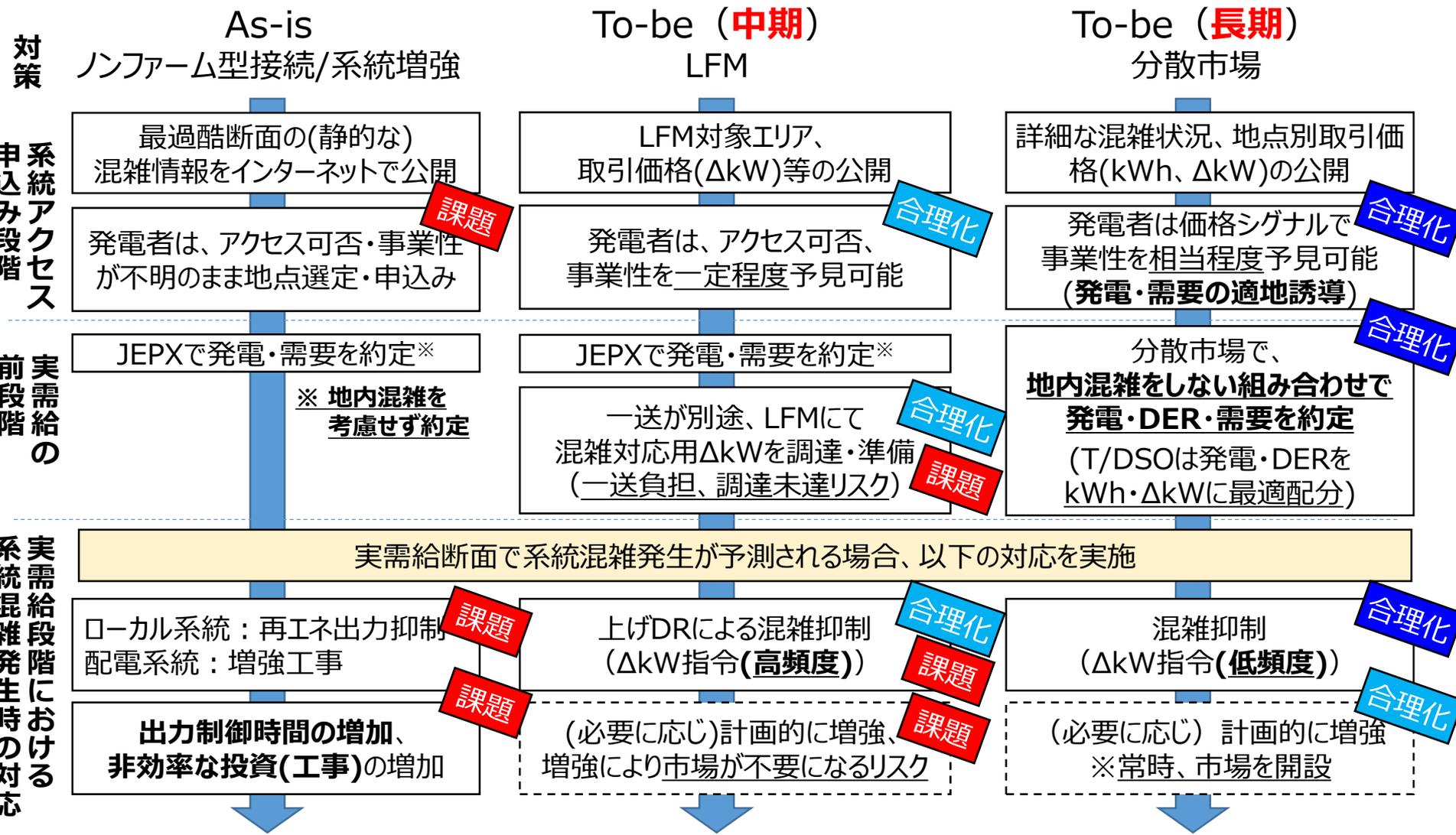
無断複製・転載はご遠慮ください 東京電力パワーグリッド株式会社



引用元：次世代の分散型電力システムに関する検討会「カーボンニュートラルかつレジリエントな豊かな地域の実現に向けて ～地域の分散エネルギーの有効活用策～」
（東京電力パワーグリッド、2022年11月7日）（URL：https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/jisedai_bunsan/001.html）

対策のまとめ

- ノンファーム型接続(対策1)よりLFM(対策2)が、LFMより分散市場(対策3)の方が合理的
- 対策3に関し、技術開発とは別にエリアプライス細分化の制度化要否について丁寧な議論が必要



エネルギーに関する地域の希望

■ 再エネを起点とする地域経済の活性化を望む自治体は多い

全国1,741自治体アンケート結果 (2017)

3位 地域の活性化(34.4%)

4位 遊休地・地域資源の有効活用(30.0%)

2位 エネルギーの地産地消(45.7%)

5位 災害などのリスク対応の強化(28.9%)

1位 温室効果ガスの排出削減(65.6%)

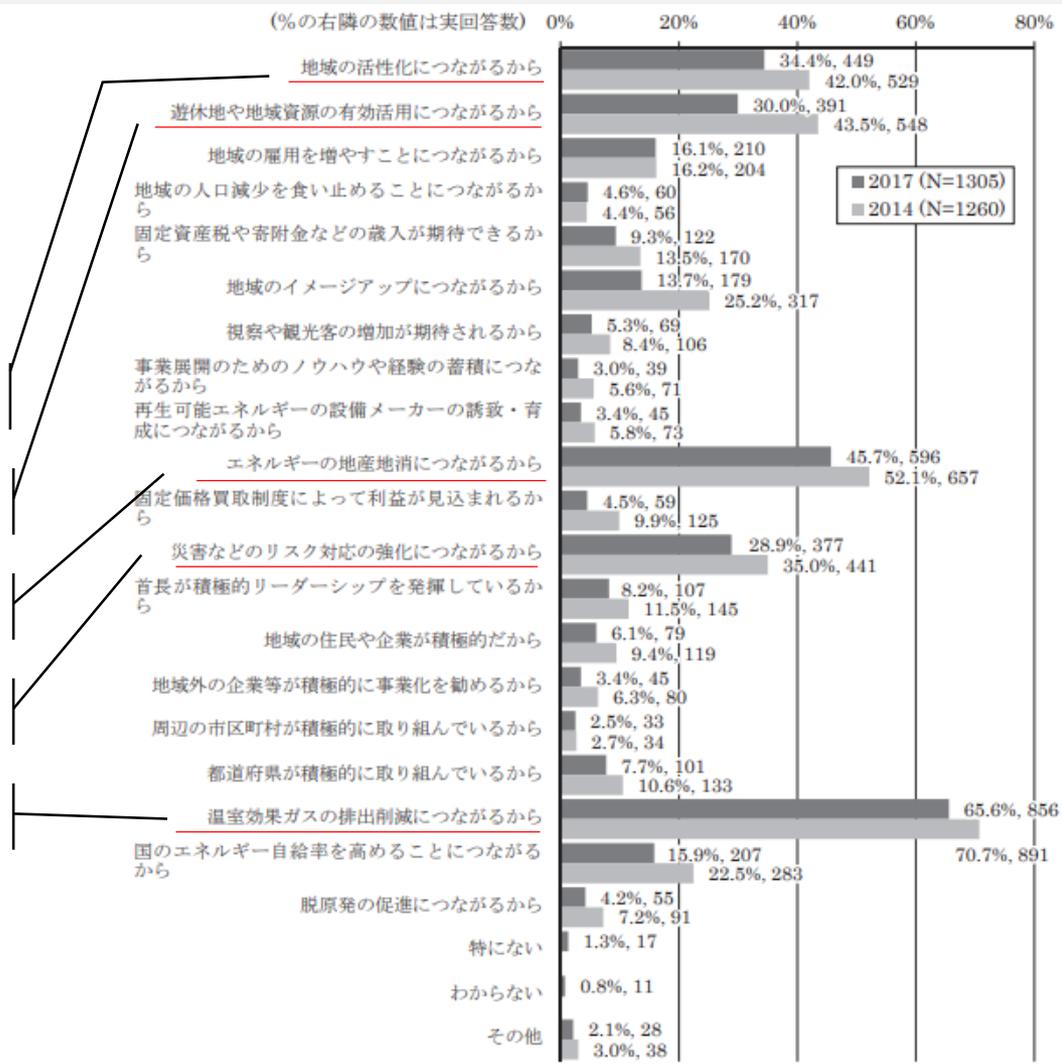


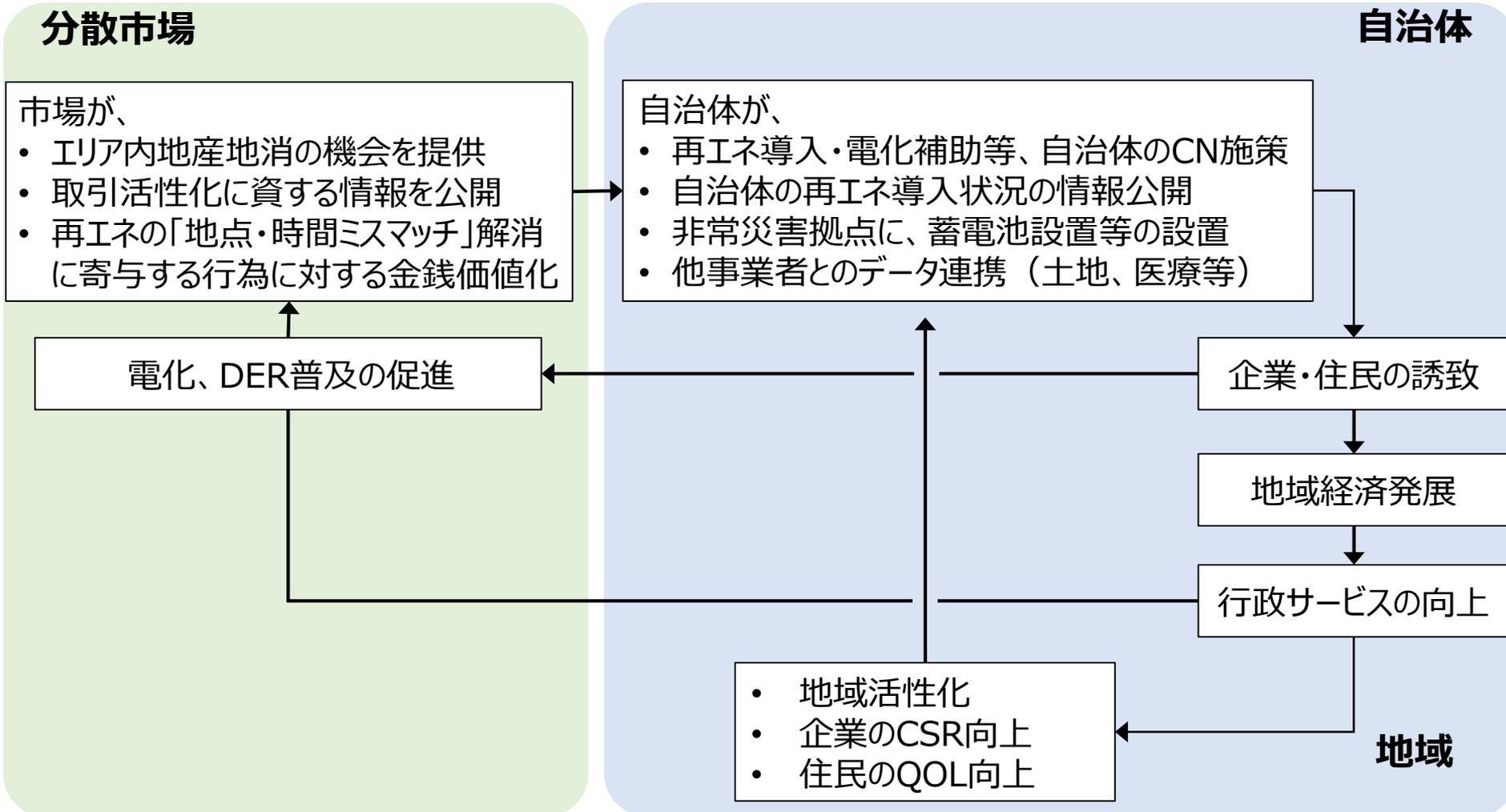
図2 自治体として再生可能エネルギーの利用を推進する理由 (問1-1)

引用元：地域における再生可能エネルギー利用の実態と課題 第2回全国都道府県アンケートの結果から (2021年、山下ほか)

<https://hermes-ir.lib.hit-u.ac.jp/hermes/ir/re/29067/keizai0110200490.pdf>

エネルギー分散化を起点とする価値創出の好循環

- CN実現に向けて、**電源の脱炭素化と需要の電化**に加え、**発電・需要の適地・適時誘導**が重要
- 地域が目指すベクトルと一致する中、「**好循環**」を構築することが重要



ワット・ビット連携 (MESH構想)

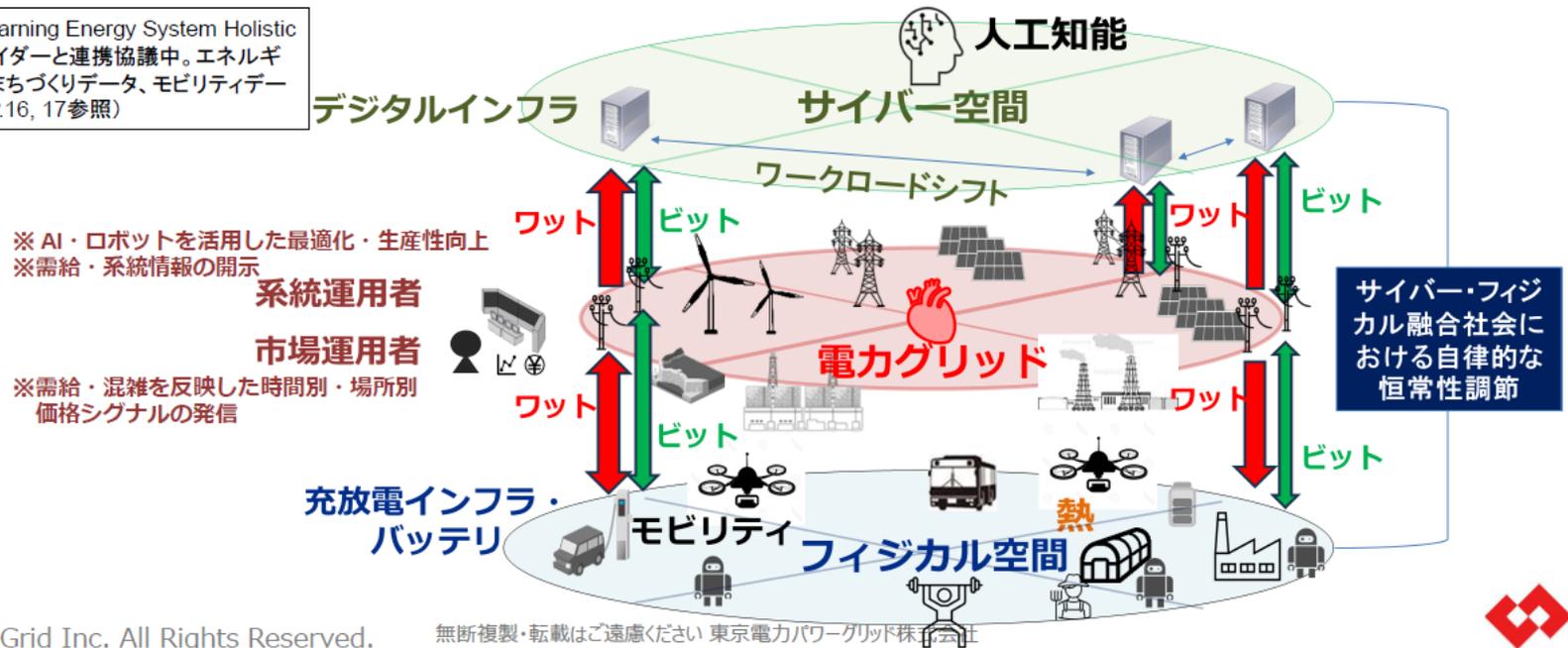
- 現在、データセンター設置、AI/MLの利活用、EV/PHEVへの移行が進行中
- GXとDXの掛け合わせによる地域課題・社会課題解決、成長シナリオが求められる

ワット・ビット連携からの電力システムのインターネット化 (MESH構想)

8

- 社会の心臓・血管としての基盤的役割を担う電力システムから、社会全体のエネルギー消費の行動変容を促すために必要となる需給・系統混雑など情報を発信
- 需給と系統混雑を反映した需給マッチング (市場メカニズム) による時間別・場所別の価格シグナルが、サイバー・フィジカル融合による次世代社会の自律的な行動変容を促す効果を期待

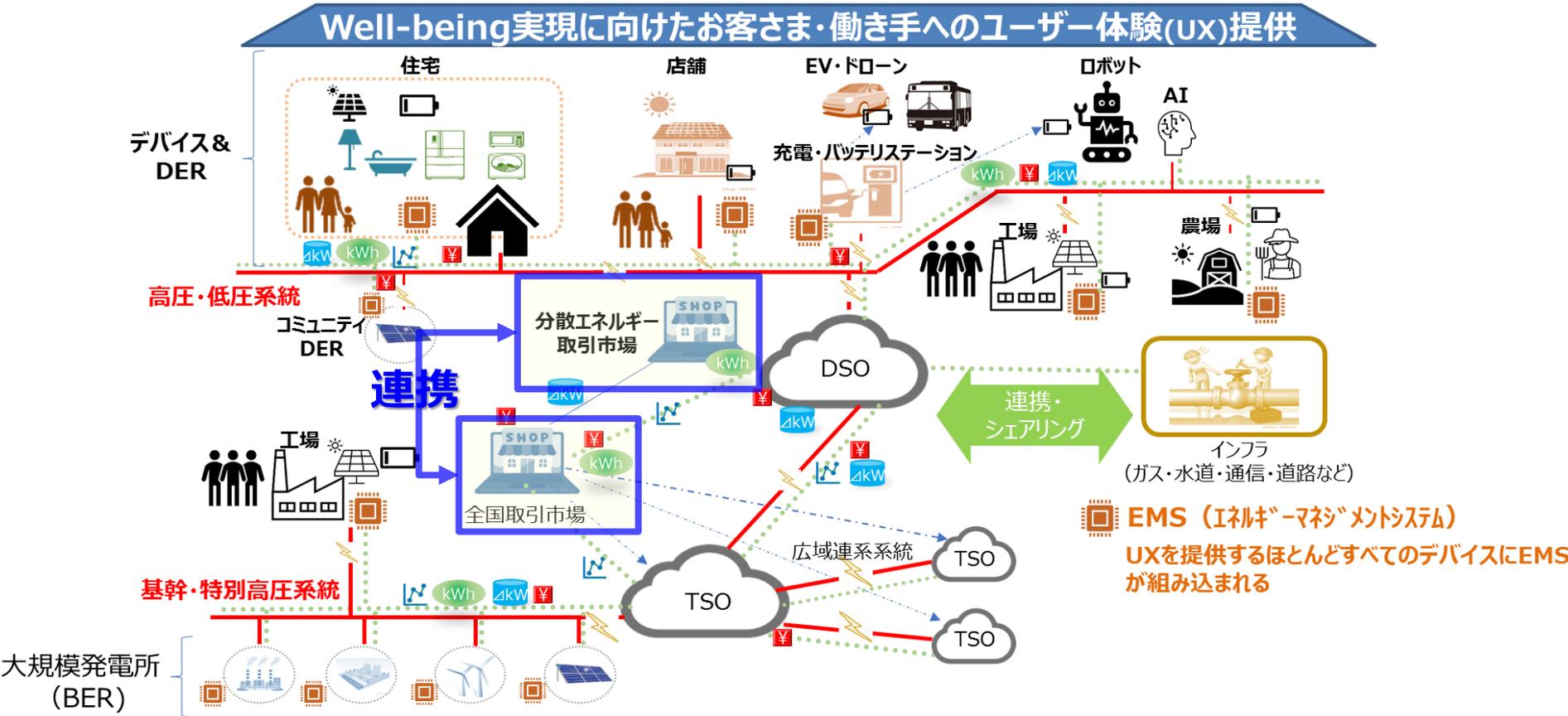
MESH : Machine-learning Energy System Holistic
4メガクラウドプロバイダーと連携協議中。エネルギーデータを起点に、まちづくりデータ、モビリティデータへ随時対象拡大(P.16, 17参照)



引用元 : GX・DXの同時達成に向けた電力システムの役割と課題 (GXリーダーズパネル資料) (2024年、東京電力PG岡本)
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/gx2040/r60723.html

まとめ ~Utility 3.0の実装<2030年頃>に向けて~

- 再エネ大量導入に伴い、**需給・混雑**の課題が顕在化
- 今後、需要側・ローカル系統側の**DER**を活用する「**市場主導型NW運用**」を志向
- 電力ネットワークと地域・需要サイドの取り組みがかみ合い、GX・DXの掛け合わせによって**新たな付加価値**が提供され、**Well-beingが実現される社会**を目指す



引用元：次世代の分散型電力システムに関する検討会「カーボンニュートラルかつレジリエントな豊かな地域の実現に向けて ~地域の分散エネルギーの有効活用策~」
 (東京電力パワーグリッド、2022年11月7日) (URL : https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/jisedai_bunsan/001.html)

ご清聴ありがとうございました