

電力中央研究所
研 究 報 告 会
2 0 2 4

「変容する電力システムへの期待と課題」

予 稿 集

2024年11月7日(木)

目次・プログラム

13:00	開 会	
	開会挨拶 理事長 平岩 芳朗	
13:10	【基調報告】 脱炭素化と電力安定供給を支える電力システムに向けて ー多様化する系統利用の将来像ー..... 1	1
	業務執行理事 グリッドイノベーション研究本部 副本部長 藤岡 直人	
13:40	【個別報告】 1. 電力システムの新たな役割と価値（1） ー再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴う 広域系統の課題と当所の取り組みー..... 17	17
	研究参事 グリッドイノベーション研究本部 ネットワーク技術研究部門長 永田 真幸	
14:05	2. 電力システムの新たな役割と価値（2） ー地域グリッド構築に向けた技術開発ー..... 35	35
	グリッドイノベーション研究本部 ENIC 研究部門 研究推進マネージャー（地域ネットワーク） 上席研究員 八太 啓行	
休 憩（14:30 - 14:50）		
14:50	3. 将来の電力システムに向けた制度設計 ーフレキシビリティ確保への期待と課題ー..... 51	51
	社会経済研究所 課題統括（電力システム・市場制度） 上席研究員 古澤 健 上席研究員 澤部 まどか	
15:20	4. 需要側資源の活用（1） ーDERの特性を踏まえたフレキシビリティ資源の拡大ー..... 69	69
	グリッドイノベーション研究本部 ENIC 研究部門 研究推進マネージャー（デマンドインテグレーション） 上席研究員 坂東 茂	
15:45	5. 需要側資源の活用（2） ーフレキシビリティ資源としてのDERの社会実装 に向けた新たな取り組みー..... 85	85
	グリッドイノベーション研究本部 ENIC 研究部門 研究推進マネージャー（ヒートポンプ・電化技術） 副研究参事 橋本 克巳	
16:10	閉会挨拶 専務理事 曾根田 直樹	
16:15 (予定)	閉 会	



【基調報告】 脱炭素化と電力安定供給を支える 電力システムに向けて —多様化する系統利用の将来像—

電力中央研究所 業務執行理事
グリッドイノベーション研究本部 副本部長

藤岡 直人

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 将来の電力システムにおいては、脱炭素社会への移行を含む社会経済の構造変化に沿って、電力系統とそれを利用する需要と電源が共に大きく変容していくことが展望される
- 本報告では、その姿や想定される課題を主に技術的な視点から見通し、今後も安定的で経済的な電力システムであり続けるために、当所が取り組んでいる研究開発について概観する

© CRIEPI 2024

1

報告内容

1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日も報告する研究成果

報告内容

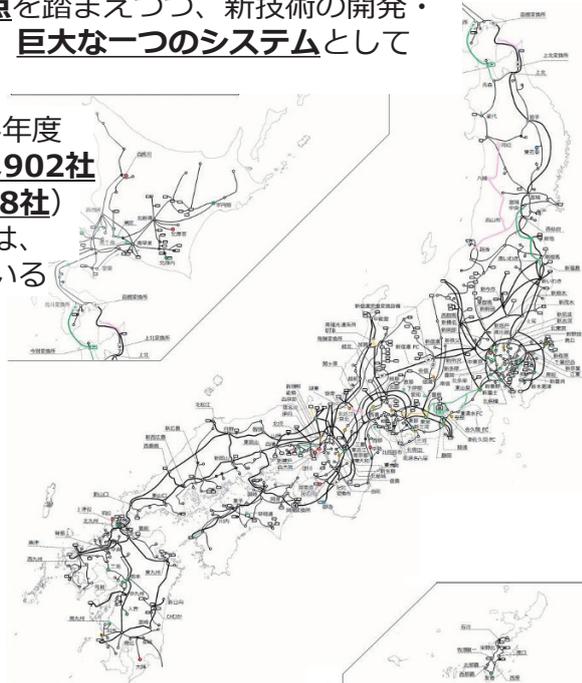
1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日も報告する研究成果

現在の電力システム

- 日本の電力システムは、**S+3Eの観点**を踏まえつつ、新技術の開発・導入や高難度の工事にも挑みながら、**巨大な一つのシステム**として構築し運用されてきた
- 電力広域的運営推進機関は、「2024年度供給計画の取りまとめ」において、**1,902社にも及ぶ事業者**（内**系統利用者1,848社**）の計画を取りまとめ。電力安定供給は、これらの事業者によって支えられている

2024年度供給計画取りまとめ対象事業者数

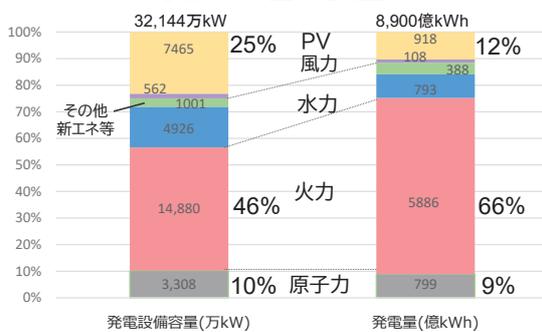
事業者区分	事業者数
発電事業者	1,108
小売電気事業者	680
特定卸供給事業者	60
登録特定送配電事業者	33
特定送配電事業者	8
送電事業者	3
一般送配電事業者	10
配電事業者	0
合計	1,902



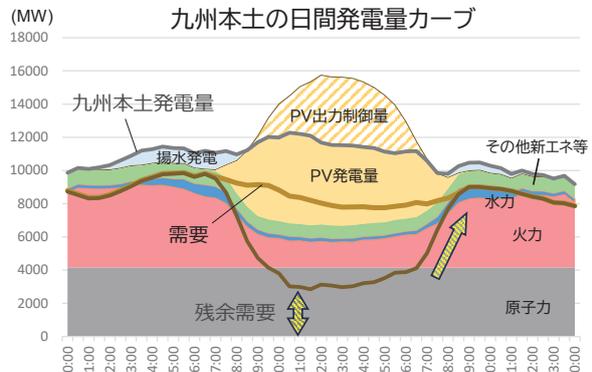
現在の電力システム（需給の概況）

- 原子力の再稼働が進みつつあるが、なお**火力電源が全体需給のベースを支え、調整力や需給バッファとしての機能**も果たし、重要な役割を担う
- 再エネ電源の導入が進み、2024年には東京エリアを除く全エリアで調整力（下げ代）不足による再エネ抑制が発生
- 残余需要は、**昼間帯の更なる低下、点灯帯の立ち上がりの急峻化**が進み、タイトな需給運用となっている

日本の発電設備容量と発電量(2023年度末)



※ データは、電力広域的運営推進機関「2024年度供給計画の取りまとめ」より



※ 九州電力送配電株式会社のウェブサイトより、2024.3.14のデータにて作成
 ※ 需要は、九州本土発電量からエリア外への送電量と揚水くみ上げ需要分を控除し算出
 ※ 残余需要は、上記需要からPV、風力の発電量を控除し算出

発現しつつある課題

- **変動性再生電源の導入拡大**と優先給電運用が急速に進み、**従来の系統設備と需給・系統運用では対応が困難な技術的課題**が面的に広がりつつある
- 中長期的な電源の開発/廃止計画、電源構成の不確実性は高く、これらの課題への**対策を、時間軸も含めて具体的にどのように組立て実現していくかは系統計画や電力市場の制度設計上の大きなテーマ**



系統設備・運用

- ・ 系統混雑（ローカル系、基幹系）
- ・ 電圧制御の困難化
- ・ 非同期電源（インバータ電源）の拡大による同期化力、慣性力の減少（送電能力の低下、周波数変動）



需給

- ・ 下げ代含む調整力確保の困難化、再生出力抑制
- ・ 短中期の需給バッファ(kW,kWh)の縮小、需給ひっ迫対応の脆弱化 等

報告内容

1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日はご報告する研究成果

供給計画における電力需要の見通し

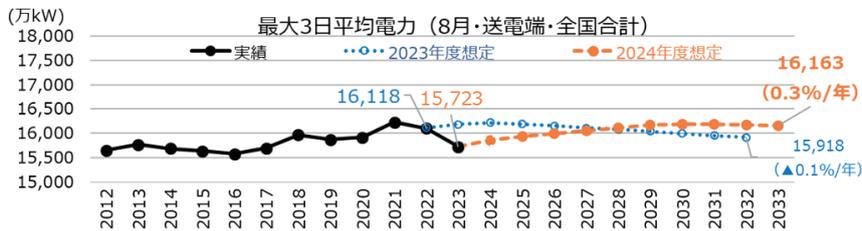
- 電力需要想定は、電源や流通設備の設備投資・運用計画の前提となり、将来の安定供給や設備効率に影響する重要なもの
- 少子高齢化、人口減少の進展など蓋然性の高いシナリオがベースとなる**高圧需要は減少もしくは横ばい傾向**
- 一方、**半導体工場やデータセンター**の新增設といった**産業構造の転換**等による需要増加が見込まれている。(その**規模や地域性等は不確実性が高い**)

需要減少要因 減

- ・人口減少・高齢化
- ・省エネ機器、高断熱建築の普及

需要増加要因 増

- ・経済状況
- ・半導体・データセンター産業の活性化
- ・電化の促進(EV普及等), エネルギー転換



長期的な電力需要のシナリオ想定

- 広域機関において、“**長期的な将来の電力需給シナリオに関する検討会**”が進められており、**当所社会経済研究所からも長期需要想定を実施し報告**
- 想定は使用目的に応じて、最終需要の大きさだけでなく、それに**影響を与える要素毎の特質をよく見極めること (不確実性の理解) が重要**

基礎的需要・省エネ・電化・データセンターに関わる需要想定

基礎的需要・省エネ・電化を考慮した電力需要は2050年度828~1,075TWh

下図では、本検討会の考え方に従い、2050年度までの自家消費を含まない電力需要の変動について、基礎的需要 (社会経済変動)、省エネ (エネルギー消費原単位の低下)、電化 (燃料から電力への転換)、DC等 (データセンターなどによる増分) に分けて示す。

Lowケース

Midケース

Highケース

(注) 上図は自家消費を含まない電力需要 (使用端)。DC等はデータセンターとネットワーク (基地局等) を含む。また、データセンターは2021年度からの電力需要の増分を計上。

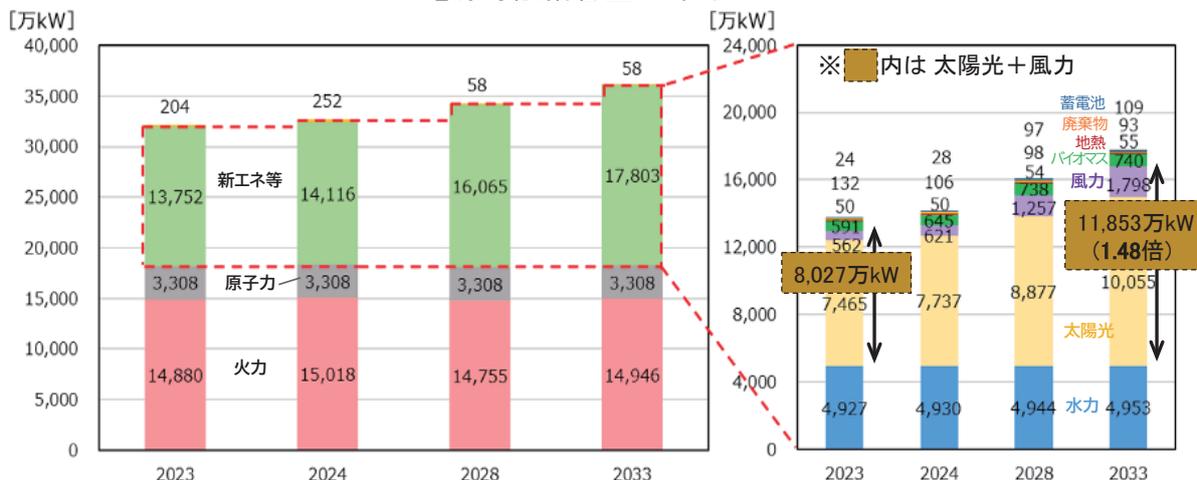
(出典) : 電力広域的運営推進機関「将来の電力需給シナリオに関する検討会第4回検討会」(2024年3月5日開催)」資料

電力中央研究所 社会経済研究所「2050年度までの全国の長期電力需要想定—追加的要素 (産業構造変化) の暫定試算結果—」より (一部変更)

供給計画における電源設備容量の見通し

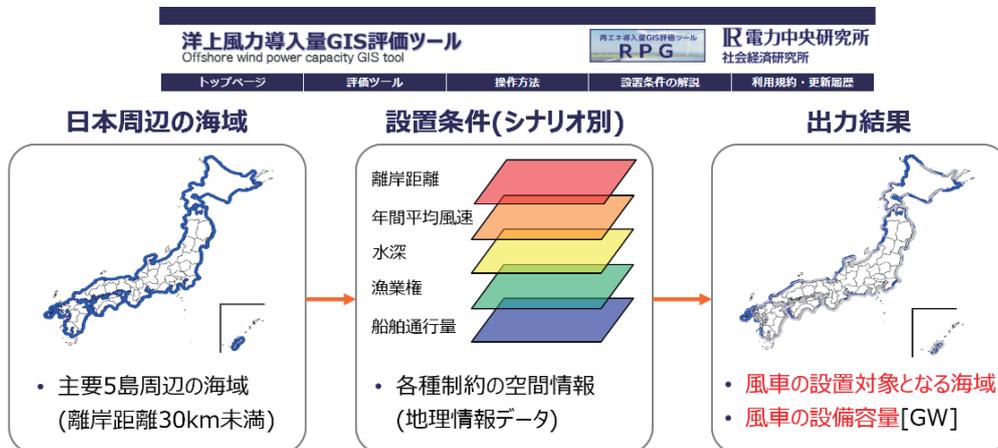
- **変動性再エネの導入が進展(10か年で48%増)**する一方、調整力としても必要となる**火力電源は横ばいもしくは減少**する。**需給調整は今後よりタイトになる**と想定される
- **需要動向や系統制約とのマッチングは必ずしも考慮されていない**ことにも留意が必要

電源等設備容量(全国計)



偏在する洋上風力発電の送電対策

- ◆ 洋上風力は、**技術開発の進展により、風況によるポテンシャルの活用可能性が高まっていく**ため、その地域的な分布を設置条件と共に丁寧に評価することが必要
- ◆ 地域偏在性や立地の不確実性を考慮し、**電力需要地までいかに効率的な送電対策を構成できるか**は課題
- ◆ 発電地近傍へのデータセンター等の需要誘致により送電対策の軽減が検討されている。**需要が求める供給信頼度や電気の使い方も考慮し、対策の全体像を俯瞰した評価**が重要



(出典) : 電力中央研究所 社会経済研究所 “洋上風力導入量GIS評価ツール” <https://www.denken-serc.jp/rpg/offshore/>

(参考) 需給安定面から見た将来の発電技術

- 将来の発電技術については、グローバルに研究開発投資が加速
- しかし、今後10~20年を見通して、火力の脱炭素化技術の他に、自然変動性を克服する脱炭素発電技術の普及シナリオは想定が難しいため、調整力も含めた需給安定のためには、相当程度蓄電/蓄エネルギー技術に頼る必要

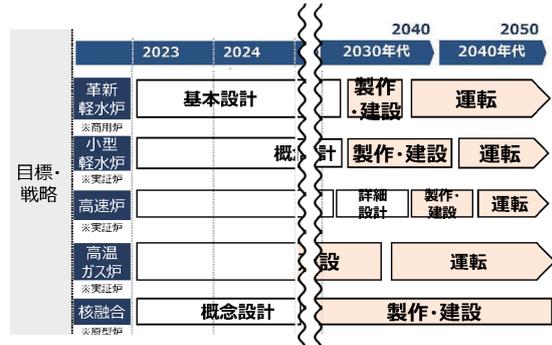


ペロブスカイト太陽電池



浮体式洋上風力

(出典) : NEDO 次世代浮体式洋上風力発電「ひびき」システム実証研究より



(表中抜粋) 技術熟度に合わせて開発の加速 ※事業者等からの個別のヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていくまでの目標時期」として策定したもの。(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

次世代革新炉

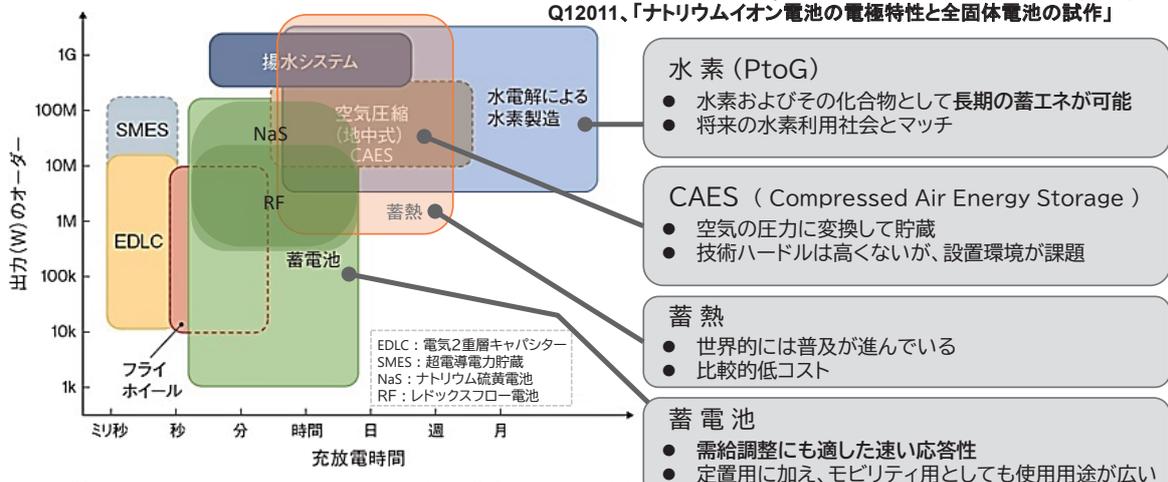
(出典) : 資源エネルギー庁 “GXにおける次世代革新炉の動向”より一部抜粋加工

(参考) 蓄電/エネルギー貯蔵技術の活用に向けて

- 蓄電池が、系統用や家庭用、車載用で普及加速。全固体LIB*1やNIB*2の開発進展により、安全性、充放電時間、出力等多くのスペック向上が期待される
- 蓄エネ技術は、多様な方式の開発が進められており、必要スペックやコスト、安全性、環境性などの総合的な観点から、最適技術が選択される

*1LIB : Lithium Ion Battery

*2NIB: Natrium Ion Battery, 小林ら、電力中央研究所報告、(2013) Q12011、「ナトリウムイオン電池の電極特性と全固体電池の試作」



(出典) : NEDO TSC Foresight Vol.20(2017)の表記に蓄熱、NaS、RFを加筆

需要サイドで起こる変化への期待 －プロシューマーの拡大－

- これまで電力の消費者であった需要家に、PV等発電設備・蓄電設備などのDERが普及し、またDRによるVPP機能も手に入れることで、**能動的に電力供給を行うプロシューマーとしてのポテンシャル**を併せ持つことになる

DER : Distributed Energy Resources (分散型エネルギー資源)

DR : Demand Response (デマンドレスポンス)

VPP : Virtual Power Plant (仮想発電所)

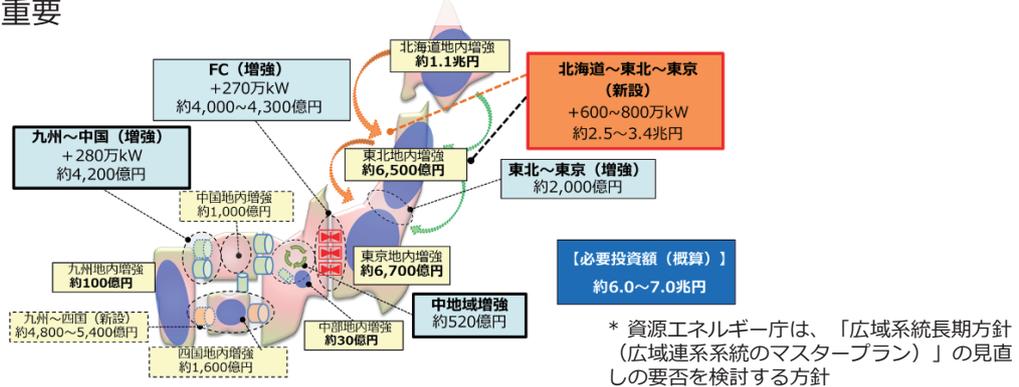


報告内容

1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日はご報告する研究成果

電力システムの展望【広域連系系統】

- 広域機関の**マスタープラン***には、再生エネルギー発電賦存量の活用や供給信頼度向上等に資する、**大規模直流送電等の連系強化策**が示されている
- この実現に向けては、それぞれの整備計画を軸に、**エリア内の電源接続・需要増加対応・高経年化対策等を総合的に勘案し、系統構成の合理化を進めつつ、対策工事をいかに確実に実施していくか**、送配電事業にとって大きなテーマ
- 系統機器・設備について、**高効率化や環境負荷低減等**に向けた技術開発が進む。将来の系統状況や環境変化等に応じた**機器・設備の更新、性能評価技術**は設備形成上重要



（出典）：第80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 資料4「電力ネットワークの次世代化について」より

© CRIEPI 2024

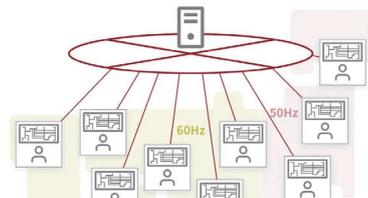
16

電力システムの展望【需給・系統運用】

- 次期中給システムの開発、同時市場の導入により、**広域メリットオーダーの運用が拡大**し、より効率的な需給運用の実現が展望される
- 今後の需給の不確実性増大に対応し、**再生エネルギー発電予測技術**や、**揚水や蓄電設備等（プロシューマーの資源含む）の運用最適化技術**の開発により、**調整力、運転予備力確保の合理化**が進む
- **非同期電源のインバータ接続拡大に伴い系統特性が変化**していくことを踏まえ、**系統現象の精度の高い解析**による発生事象とメカニズムの解明により、**インバータや系統の制御技術の向上**を図ることが安定送電のために重要

次期中央給電指令所システム

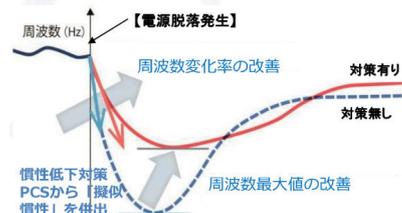
9エリアの中給システムを統合運用し、全国大で需給を最適化させる



個別報告1において紹介

擬似慣性PCS

太陽光発電等に搭載される、系統の周波数変化を緩和させるパワーコンディショナー



PCS: Power Conditioning System

（出典）送配電システムズ合同会社ウェブサイトより

（出典）NEDO「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発」より

© CRIEPI 2024

17

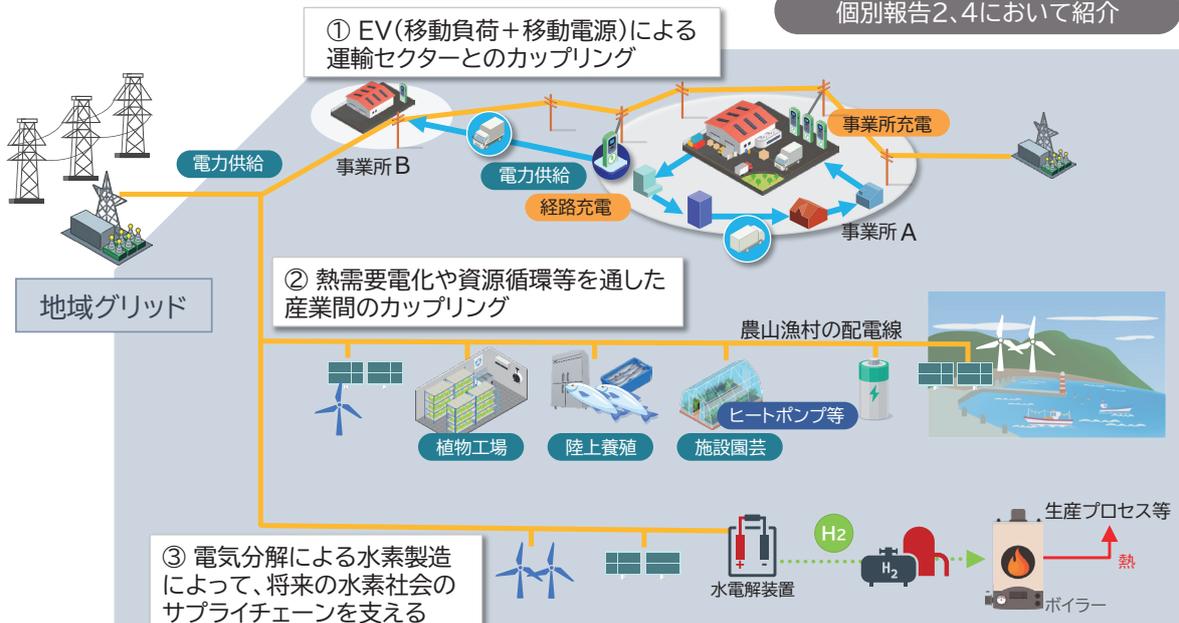
電力システムの展望【地域グリッド】

- 分散型電源の拡大により、**システムの容量不足や電圧変動、フリッカ等**、系統対策の必要箇所が今後さらに増加する見通し
- しかし、需要側の変化（**プロシューマー化**）を踏まえ、**DERの能力（フレキシビリティ）を積極的に活用することで、地域グリッド*の設備形成/運用の効率性を高められる**
- さらに、DER活用のスコープを広げることで、**グリッド・電力セクターを超えた広いセクター（水素利用等）で社会システムの最適化が実現できる**可能性がある



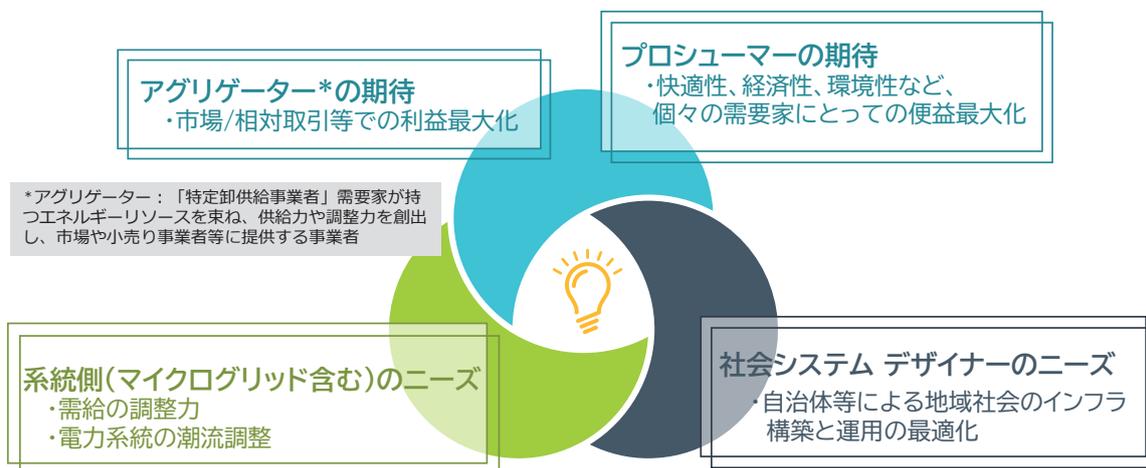
プロシューマーが可能にする 脱炭素社会システムの最適化

- プロシューマーの貢献が、セクターカップリングによって、**脱炭素でより効率性の高い社会システムの構築を可能にする**



フレキシビリティの活用に向けて

- 今後も大量導入が見込まれる**DERによるフレキシビリティ**の活用期待は大きい
- このポテンシャルを活かすためには、**プロシューマーの行動**（電気をいつ送り出し、いつ使うか）を、**それを期待するニーズ**といかに**マッチさせるか**が肝となる



フレキシビリティ資源の確保と拡大

- 需要家は、電力消費機器が提供する**サービス(便益)**を受けるために**電気を消費**
- このため、プロシューマーが、系統あるいは小売り・アグリゲーターのニーズに合わせて**電気の消費をコントロール (フレキシビリティを提供)**する動機付けのためには、この**サービス(便益)への影響をいかに小さくできるかが鍵**
- 更に、フレキシビリティのニーズと提供者を**どのような場 (プラットフォーム) を作ってマッチングさせるか**、またどのようなルールで参画を促し、行動の実効性を上げられるかも課題



- ・ 諸外国の制度や市場の状況 → 個別報告3において紹介
- ・ 農業サービスや空調・給湯サービスにおける“サービスレベルの維持限界の探求” → 個別報告4、5において紹介

報告内容

1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日も報告する研究成果

系統利用が多様化していく中での 電力システムの最適化

- 変動性再生エネルギーの大量導入に対応し、電力品質・信頼度を確実に担保するためには、**グリッドとDispatchableな安定電源を軸としたシステムパフォーマンスの最大化**は今後も重要である
- また、個々の**変動性再生エネルギーやプロシューマーにも系統の安定化に参加**してもらうことで、**電力システム全体の効率性を高められる**可能性がある
- こうした電力システムの最適化に向けては、多様な価値観を有する**系統利用者に効果的に行動を促す動機付け**、**制度・市場の設計**、利用者ニーズを満足する**技術開発**、の3つがうまく噛み合いながら展開していくことが期待される



報告内容

1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日まで報告する研究成果

4. まとめ (2) 本日まで報告する研究成果

本日報告させていただく個別報告

1

電力システムの新たな役割と価値(1)

ー再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴う広域系統の課題と当所の取り組みー

太陽光発電や風力発電、蓄電池等の非同期電源の比率を高めながら、将来の電力システムの安定性(系統安定性)を維持するための課題とその解決に向けた当所の取り組みについて紹介する

研究参事 GI研究本部 ネットワーク技術研究部門長 永田 真幸

2

電力システムの新たな役割と価値(2)ー地域グリッド構築に向けた技術開発ー

地域グリッドにおけるホスティングキャパシティ(連系可能量)の評価技術や、EV(電気自動車)利用を考慮した電力システムと交通のセクターカップリングをシミュレーションする技術などを紹介する

GI研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー(地域ネットワーク) 上席研究員 八太 啓行

3

将来の電力システムに向けた制度設計ーフレキシビリティ確保への期待と課題ー

欧米において、いち早く進められているDERの活用に向けた市場環境の整備ないし制度設計について事例を紹介するとともに、わが国でDERを本格的にフレキシビリティとして活用する場合の制度的課題について述べる

社会経済研究所 課題統括(電力システム・市場制度)上席研究員 古澤 健
社会経済研究所 上席研究員 澤部 まどか

4

需要側資源の活用(1)ーDERの特性を踏まえたフレキシビリティ資源の拡大ー

国外のVPP 事業者の事業拡大手法を解説するとともに、当所におけるVPP リソースの開発状況について報告する

GI研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー(デマンドインテグレーション)上席研究員 坂東 茂

5

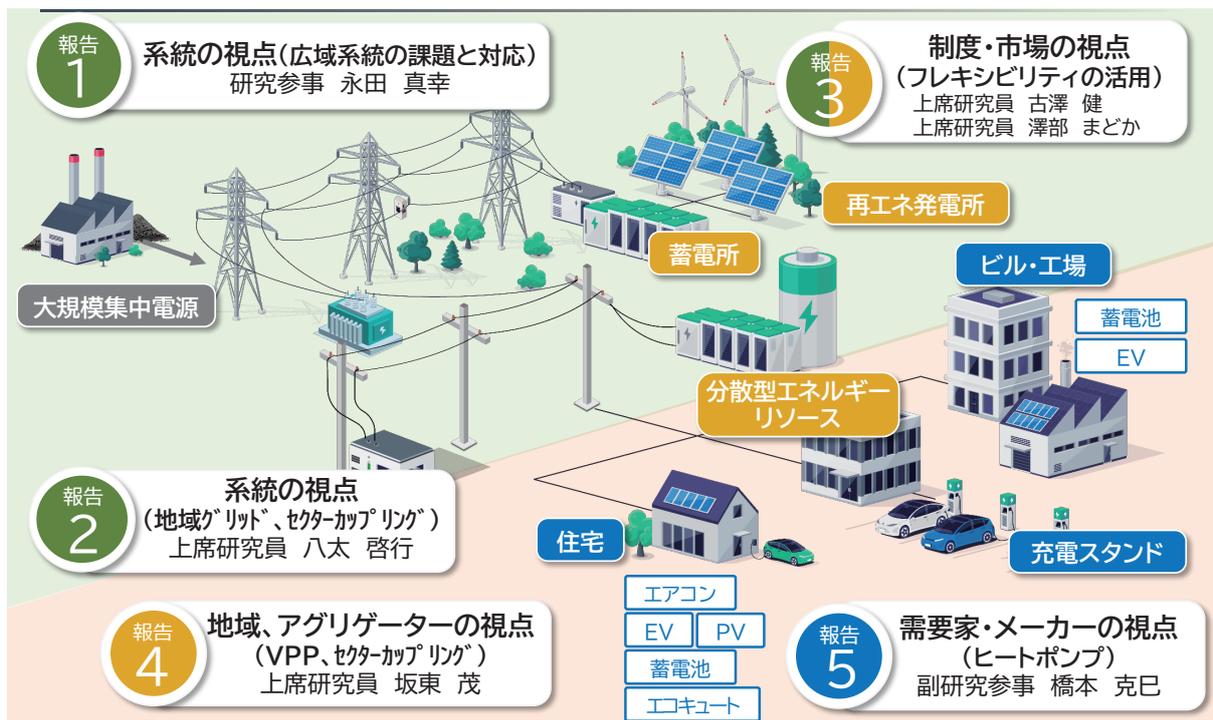
需要側資源の活用(2)

ーフレキシビリティ資源としてのDERの社会実装に向けた新たな取り組みー

将来、電力システムのフレキシビリティ向上に貢献する需要家機器としてのヒートポンプについて、当所における検討状況と技術開発を紹介し、将来のさらなる活用に向けた課題の要点を述べる

GI研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー(ヒートポンプ・電化技術) 副研究参事 橋本 克巳

今回の報告の視点



ご清聴ありがとうございました

RI 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献(1/2)

1. 電力広域的運営推進機関：2024年度計画の取りまとめ (2024).
2. 電力中央研究所社会経済研究所：2050年度までの全国の長期電力需要想定—追加的要素（産業構造変化）の暫定試算結果—、電力広域的運営推進機関 第4回将来の電力需給シナリオに関する検討会 資料2-1 (2024).
https://www.occto.or.jp/iinkai/shorai_jukyu/2023/files/shoraijukyu_04_02_01.pdf
3. 電力中央研究所 社会経済研究所：洋上風力導入量GIS評価ツール.
<https://www.denken-serc.jp/rpg/offshore/>
4. NEDO：次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究.
<https://www.nedo.go.jp/floating/>
5. 資源エネルギー庁：GXにおける次世代革新炉の動向、第7回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ 資料1 (2023).
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/007_01_00.pdf
6. 小林剛 他：ナトリウムイオン電池の電極特性と全固体電池の試作、電力中央研究所報告 Q12011 (2013).
<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=Q12011>
7. NEDO：TSC Foresight Vol.20(2017).
8. D. Kutsuzawa, T. Kobayashi, S. Komiya：Flux-Assisted Low-Temperature Fabrication of Highly Durable All-Oxide Solid-State Sodium-Ion Batteries, ACS Appl. Energy Mater. 5 (2022) 4025.

参考文献(2/2)

9. 資源エネルギー庁：電力ネットワークの次世代化について、第80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 資料4 (2024).
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/080_04_00.pdf
10. 送配電システムズ合同会社：事業内容.
<https://souhai-sys.co.jp/business/>
11. NEDO：再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発 (STREAMプロジェクト)
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100236.html



【個別報告】 電力システムの新たな役割と価値（1） —再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴う 広域システムの課題と当所の取り組み—

電力中央研究所 研究参事
グリッドイノベーション研究本部
ネットワーク技術研究部門長

永田 真幸

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 再生可能エネルギー電源（再エネ電源）の導入拡大に対して、広域システム（基幹システム）にはそれらの電力を広域で効率的・安定的に活用する役割が求められる。これを実現するために様々な検討・取り組みが進められており、当所も技術的課題の解決に貢献している
- 上記役割の実現には、電力システムの安定性（系統安定性）の維持が重要であるが、再エネ電源等の非同期電源*)の拡大に伴い、新しい系統安定性の課題も生じている。将来の系統安定性を維持する技術の開発の重要性が増している

報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

再エネ電源拡大時の電力系統の課題

- 再エネ電源の導入拡大に伴い、広域系統（基幹系統）と地域グリッドの両方で対応すべき課題がある

基幹系統

- ◆ 需給バランスの維持
 - ✓ 系統全体の発電と需要をバランスさせ、周波数を維持
- ◆ 系統安定性の確保
 - ✓ 再エネ（インバータ型電源）が主体となる系統における系統安定性の確保

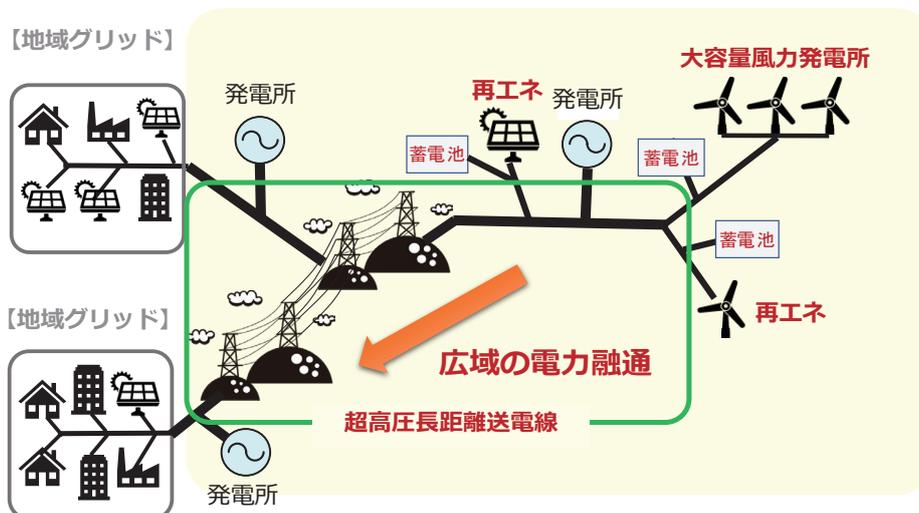
地域グリッド

- ◆ 電圧の適正化
 - ✓ 再エネ導入時の電圧適正化
- ◆ 電圧安定性の確保
 - ✓ 配電線末端付近への再エネ導入時の電圧安定性確保
- ◆ 過負荷の防止
 - ✓ 送配電線の混雑緩和と過負荷の防止
- ◆ 安定供給の確保
 - ✓ DERによる需給バランス等、小規模系統の安定供給確保

本報告では、過去の研究報告会以降の進展も含めて、広域系統について報告

再エネ電源拡大時の広域系統の役割

- 広域系統には、太陽光発電や風力発電の拡大に対し、その電力を**広域で効率的・安定的に活用**する役割が求められる



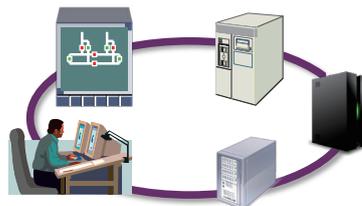
再生可能エネルギー電源拡大時の広域系統での課題

■ 大きくは3つの課題がある

①再生可能エネルギー電源の電力を
広域で活用するための
広域系統の整備



②自然変動電源の
拡大に対応した
広域系統の運用



③インバータで連系する非同期電源の
拡大の下での**系統安定性の維持**

広域系統での課題の解決への取り組み（例）

■ 3つの課題に関する様々な議論・検討に、当所も参加・貢献している。本報告ではその一部を紹介する

	取り組み・課題解決が期待される時期	
	2020年代（まで）	2030年代（以降）
①広域系統の整備	マスタープラン策定 広域系統整備計画の策定（マスタープランの具体化）	検討委員会に参画 検討に用いる解析技術の提供
②広域系統の運用	次期中給システムに関する検討、開発 同時市場に関わる検討	技術的課題の解決に貢献 技術的検証を実施
③系統安定性の維持	グリッドコードの策定（事故時の安定性については主に2030以降） 技術的な支援を実施	システム開発(NEDO事業)に参画 系統安定性維持方策の明確化 NEDO事業ほかを実施中 新たな安定性の課題への対応 海外で課題顕在化、取り組みを進めていく

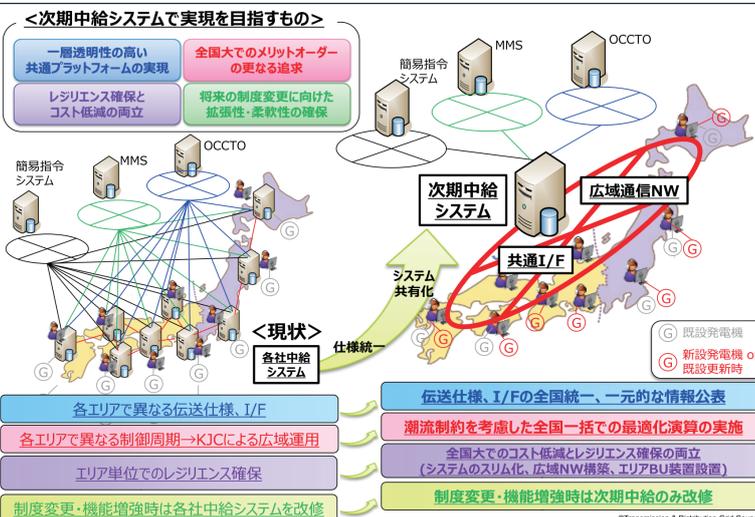
報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

2. 当所の取り組み例（1）：次期中給システムに関する技術開発

次期中央給電指令所（中給）システム

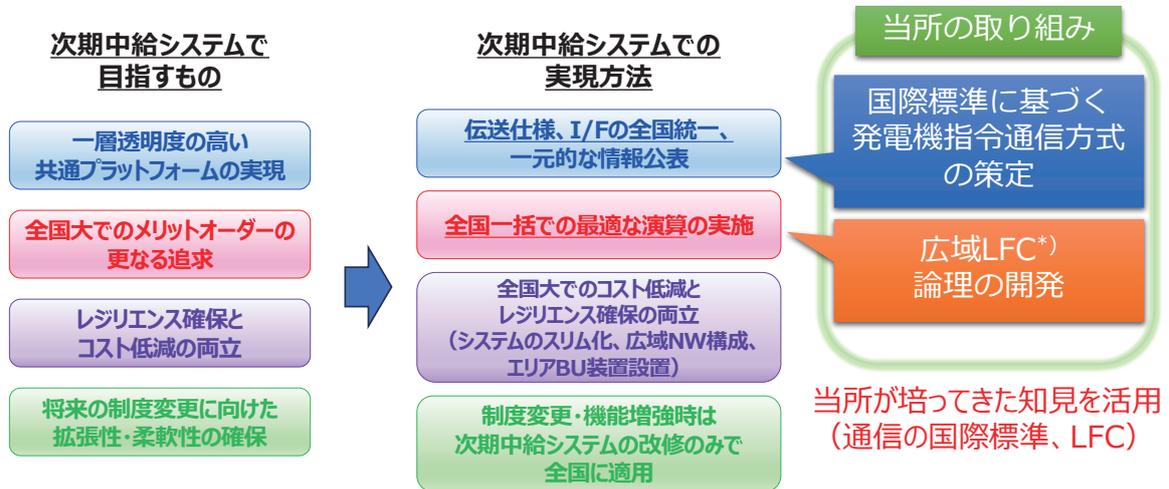
- 中給システムは、需給バランスや周波数の適正維持のための最重要システムである
- 全国9エリアでのシステムの仕様の統一、共有化など、機能の大幅な向上を目指して開発が進められている



(出典)：第33回需給調整市場
検討小委員会 資料4 (2022)

次期中給システムの狙いと当所の取り組み

■ 次期中給システムで目指すものを実現するために必要な、**技術的課題の解決に貢献した**



(出典) : 第33回需給調整市場検討小委員会 資料4 (2022) を基に作成

【参考】次期中給システムの開発と当所の取り組み

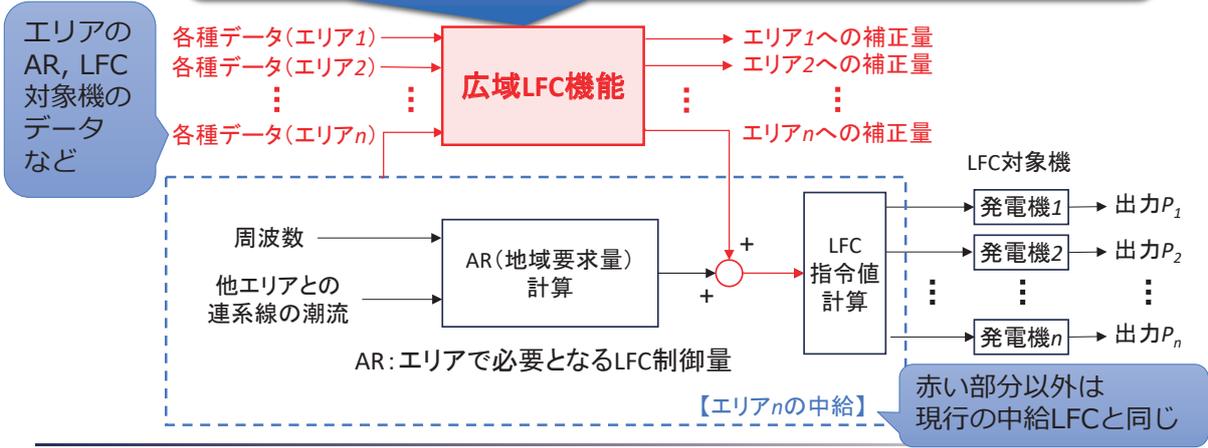
■ 次期中給システムの開発スケジュールに合わせて、**短期間での検討・開発を実施した**



広域LFC論理の開発(1/2)

- 周波数の品質を損なうことなく、広域的な運用による経済性の追求を可能とするLFC論理を開発した

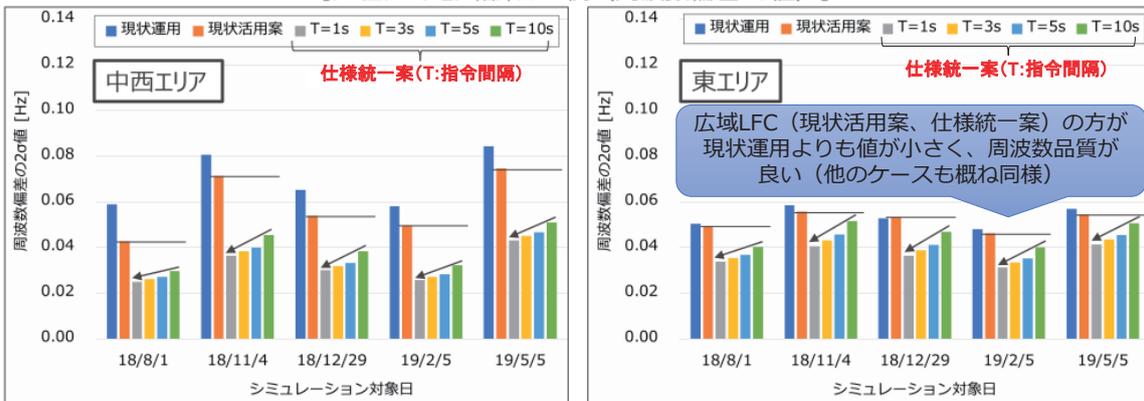
以下により周波数品質の向上と運用コスト低減を両立
 ①各エリアのAR (地域要求量) と既LFC動作量を広域大で合算し、
 ②LFC対象機の出力量変化速度とメリットオーダーを考慮して配分する



広域LFC論理の開発(2/2)

- 広域系統大のシミュレーションにより、開発論理の有効性を検証
- 周波数品質の向上、LFC動作量の低減効果およびkWhコスト低減効果が期待できることを確認

【シミュレーション結果の一例 (周波数偏差2σ値)】



※ある一定条件でのシミュレーション結果であり、条件の設定次第で異なる結果が出る可能性があります。

発電機指令通信方式(1/2)

■ 現在エリア毎に異なる中給システムと発電機等との通信の統一化で、効率的な広域的運用を実現



仕様統一の検討が必要となる項目 (例)

- 中給システム内
 - ・ 演算(ソフトウェア)周期
 - ・ 制御(配分)周期
 - ・ 配分方法
 - ・ 指令方法
 - ・ AR算出方法
 - ・ LFC、EDC出力方法 (一括/個別)
- 伝送部
 - ・ 伝送遅延時間
 - ・ 伝送方式
 - ・ 伝送装置(親)の接続最大数
- 発電機側
 - ・ 信号種別およびインターフェース
 - ・ 受信周期
 - ・ 制御(配分)周期
 - ・ 発電機制御盤の接続最大数

現状は演算・制御周期や指令方法、伝送方式等がエリアにより異なる

国内だけでなく海外の発電機・DR等の伝送装置にも対応できるように、国際標準の利用を指向

発電機指令通信方式(2/2)

■ 適用する国際標準としてIEC 61850を選定し、次期中給システムで扱う通信の要件を充足するよう、統一通信仕様案を作成した

①適用する国際標準の選定

通信方式	リアルタイム通信	IP通信の利用
IEC 60870-5-101	適合	不可
IEC 60870-5-104	適合	可能
TASE.2 (IEC 60870-6)	適合	可能
IEC 61850	適合	可能
Modbus	不向き	可能
OpenADR 2.0b	不向き	可能

②IEC 61850に基づく制御用・状態監視用・計測用の各通信の仕様作成

制御用通信で用いられる論理ノード・データオブジェクトの例

大項目	項目	データタイプ	論理ノード	データオブジェクト	伝送周期
LFC 指令	指令値	数値	AROP	WSpt	3秒周期
	達成目標時刻	時刻	AROP	TmTgt	
	指令時刻	時刻	n/a	n/a	
	拠点箇所名	識別子	n/a	n/a	
EDC 指令	指令値	数値	AROP	WSpt	5分周期及び必要時
	達成目標時刻	時刻	AROP	TmTgt	
	指令時刻	時刻	n/a	n/a	
	拠点箇所名	識別子	n/a	n/a	
発電機一般	商品種別設定	識別子	AROP	RsvTyp	必要時
	並列指令	二値	ACDG	ConnGn	
	解列指令	二値	ACDG	DsconGn	5分周期及び必要時
	並解列時刻	時刻	ACDG	DateTgt	

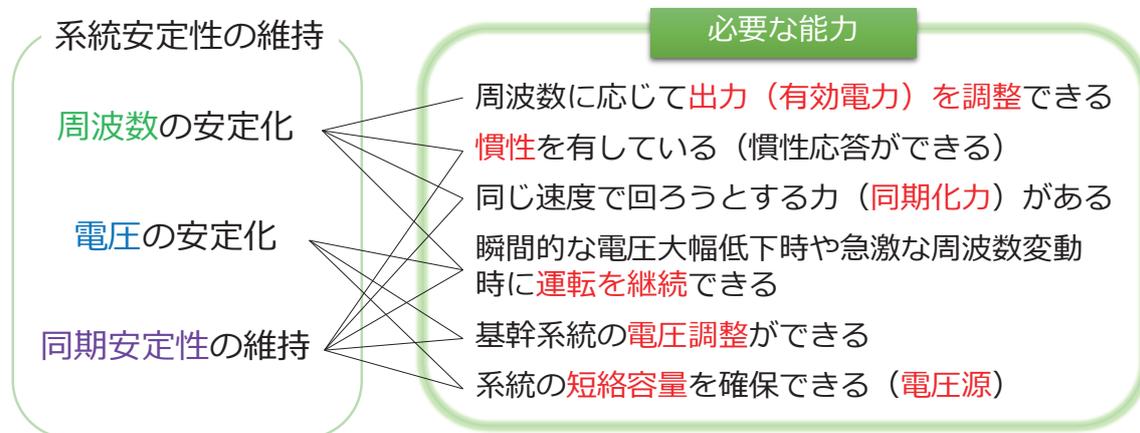
送配協が統一通信仕様案に関する意見募集を実施、次期中給システムで採用の方向に

報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

系統安定性維持に関する課題

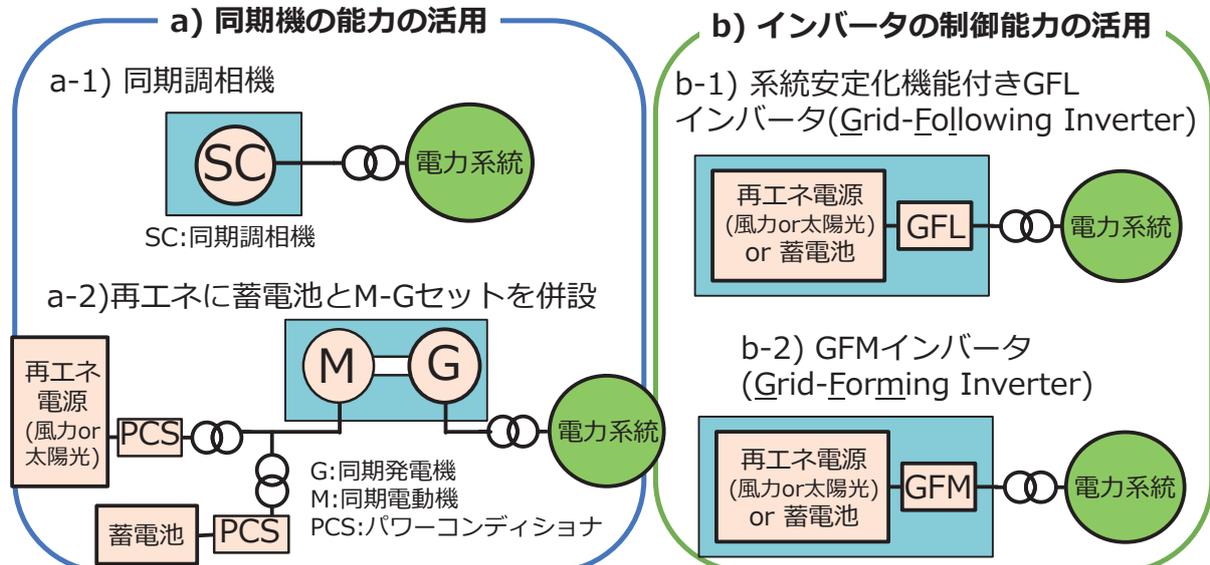
- 現状の系統安定性には、従来の同期発電機的能力が貢献
- 非同期電源が拡大していく中で、必要な能力をどのように確保・活用するかが課題



平常時のみならず、事故時も含めて必要

同期電源^{*})の代替が期待される系統安定性維持方策(1/2)

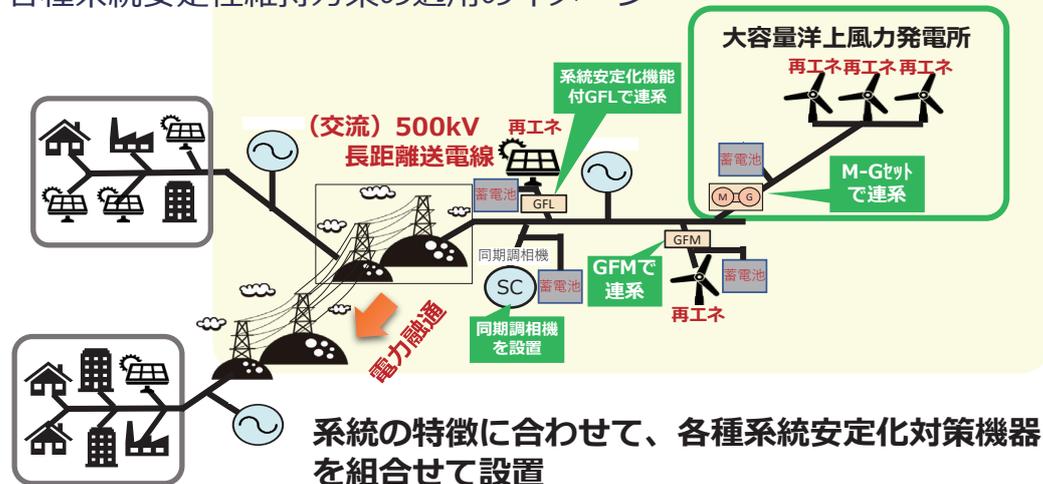
■ 同期機の能力やインバータの制御能力を活用する
 幾つかの方策が提案・開発されている



同期電源の代替が期待される系統安定性維持方策(2/2)

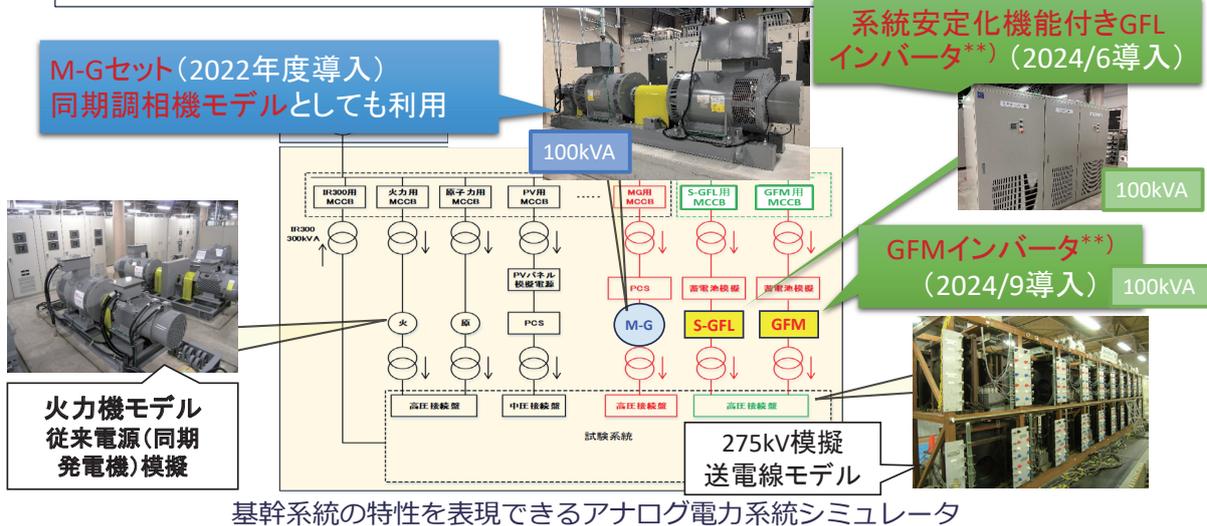
■ 種々の方策の特長を明らかにし、適用する系統の課題・
 特性に合わせて適材適所で用いることが重要

各種系統安定性維持方策の適用のイメージ



各種系統安定性維持方策の実験的検証

■ NEDO事業*)にて、当所のアナログ電力システムシミュレータを用いて、各種の系統安定性維持方策のハードウェアモデルに基づく検証を実施している



© CRIEPI 2024

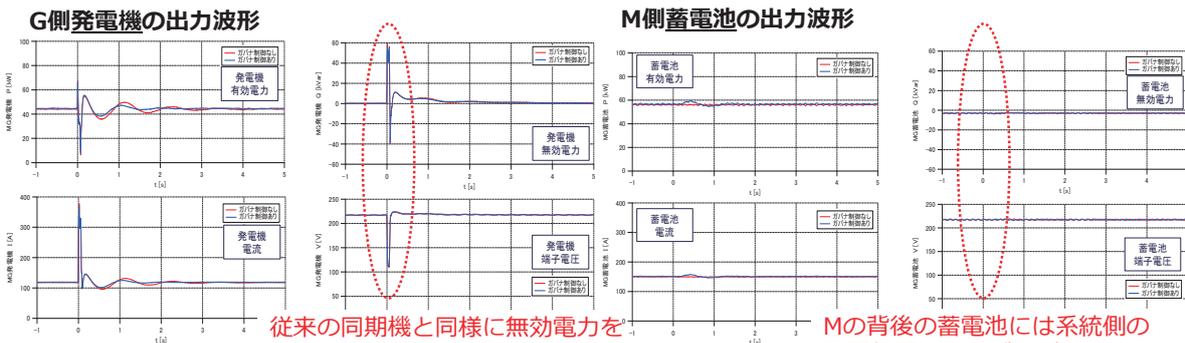
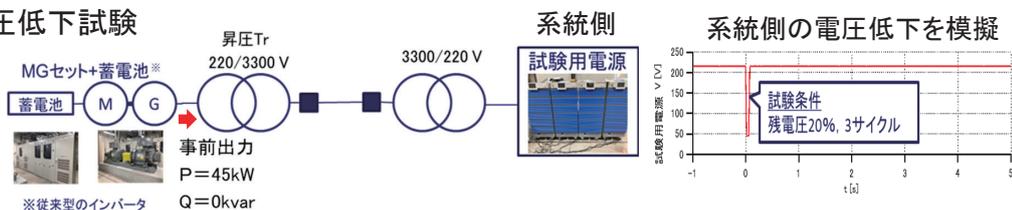
* 「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発」(2022-2026)
 ** NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の委託業務 (JPNP22003) で構築し、検証に用いている設備

20

実験的検証の結果の例

■ 「再エネに蓄電池とM-Gセットを併設」の方策について、電圧低下等の事象に対して適切な挙動を示すことを確認

● 電圧低下試験



© CRIEPI 2024

* 本成果は、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の委託業務 (JPNP22003) において得られたもの

21

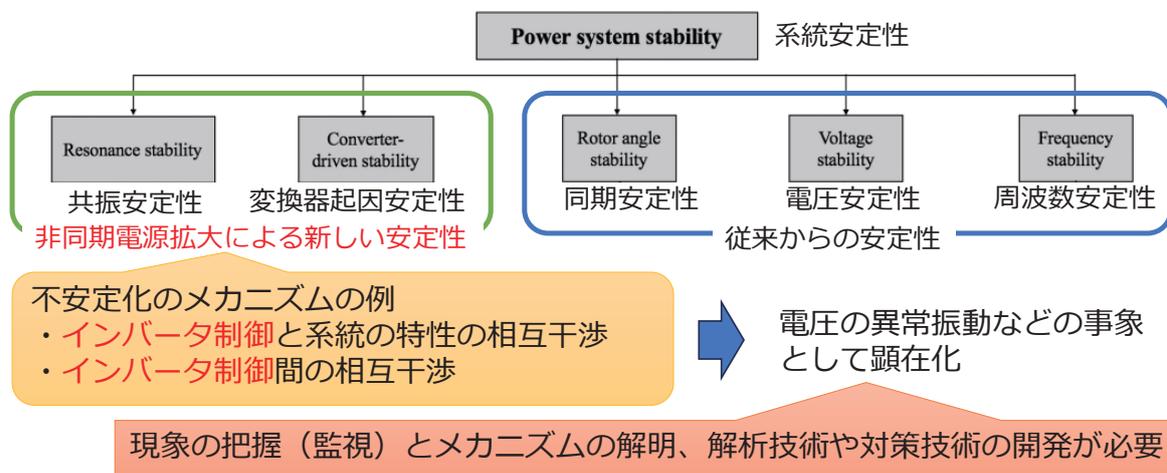
報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：
次期中給システムに関わる技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

4. 系統安定性に関する新たな課題

非同期電源拡大に伴う新しい系統安定性の課題

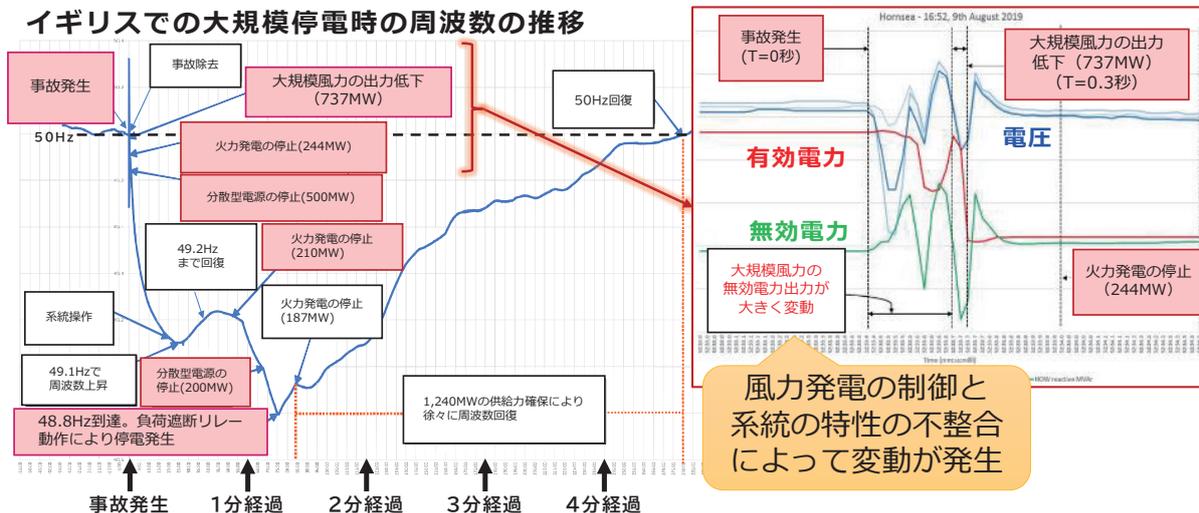
- 海外では再エネ電源等の非同期電源の拡大に伴い、電圧の異常振動等が生じ、再エネ電源の停止やこれを一因とする大規模停電が発生
- 新しい系統安定性の課題として認識されている



非同期電源の制御が関わる異常現象の例

- 北米、欧州、中国、オーストラリアなど非同期電源の導入が進む地域で、異常現象が顕在化
- イギリスでは、これを一因とする大規模停電も発生

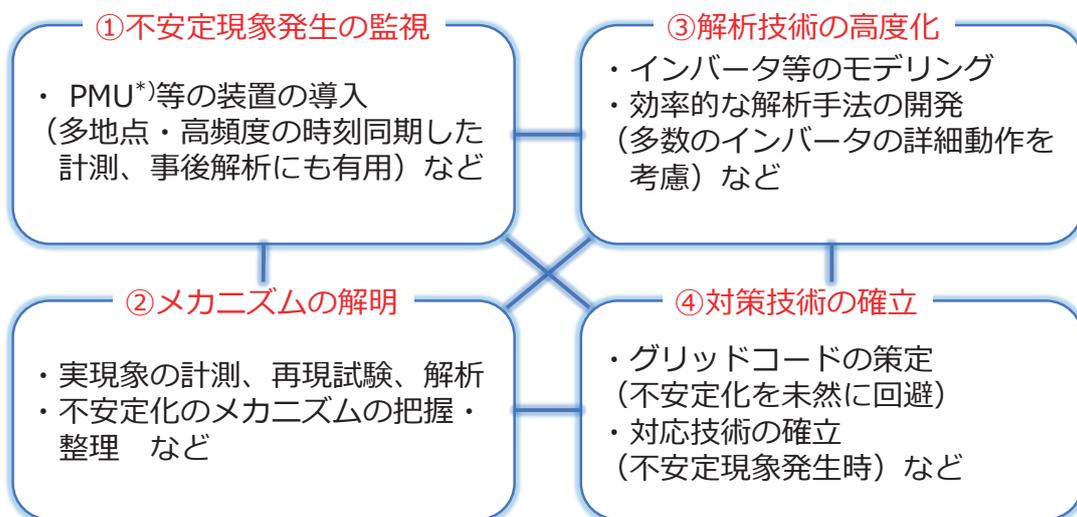
イギリスでの大規模停電時の周波数の推移



© CRIEPI 2024 (出典) : National Grid ESO "Appendices to the Technical Report on the events of 9 August 2019" (2019) を基に作成 24

新しい系統安定性の課題への対応

- 下記の4項目の全てで、取り組みが必要



© CRIEPI 2024 *) PMU (Phase Measurement Unit) : 位相情報計測装置

25

まとめ

- 再エネ電源拡大での広域系統の役割：
再エネの電力を広域で効率的・安定的に活用すること
- 役割実現の課題と取り組み：
①広域系統の整備、②広域系統の運用、③系統安定性の維持 の3つの課題の解決が必要であり、当所も貢献
- より一層の取り組みの必要性：
一方で、新たな系統安定性の課題が顕在化するなど、解決すべき課題はまだ多く、一層の取り組みが必要。当所でも引き続き、技術的課題の解決への取り組みを進めていく

ご清聴ありがとうございました

R 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献(1/2)

1. 八太啓行：分散型エネルギー資源を活用する需要地系統の実現に向けた取り組み、電力中央研究所 研究報告会2022 個別報告（3）（2022）.
2. 送配電網協議会：中給システムの仕様統一および次期中給システム開発に関する検討状況、第33回需給調整市場検討小委員会・第43回調整力の細分化及び広域調達の技術的検討に関する作業会 資料4（2022）.
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_33_04.pdf
3. 徳光啓太 他：LFCの仕様統一における二次調整力①の広域運用に関するシミュレーション検討、電力中央研究報告 R20003（2021）.
<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=R20003>
4. 送配電網協議会：中給システム仕様統一の検討状況について、第31回需給調整市場検討小委員会 資料3（2022）.
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_31_03.pdf
5. 北海道電力株式会社他：中給システムの抜本的な改修に関する検討状況について、第7回需給調整市場検討小委員会 資料4（2018）.
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2018/files/jukyu_shijyo_07_04.pdf
6. 大谷哲夫 他：次期中給システムと発電機側伝送装置間の統一通信仕様案、電気学会 令和6年電力・エネルギー部門大会（2024）.

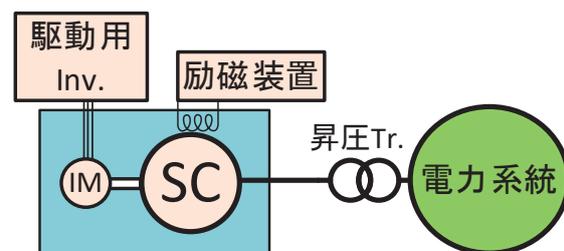
参考文献(2/2)

7. NEDO：再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発（STREAMプロジェクト）
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100236.html
8. IEEE Power & Energy Society: Stability definitions and characterization of dynamic behavior in systems with high penetration of power electronic interfaced technologies, Technical Report TR-77（2020）.
https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/technical-reports/pes_tp_tr77_psdp_stability_051320
9. National Grid ESO: Appendices to the Technical Report on the events of 9 August 2019（2019）.
<https://www.nationalgrideso.com/document/152351/download>

参考資料： 同期電源の代替が期待される 系統安定性維持方策

a-1) 同期調相機

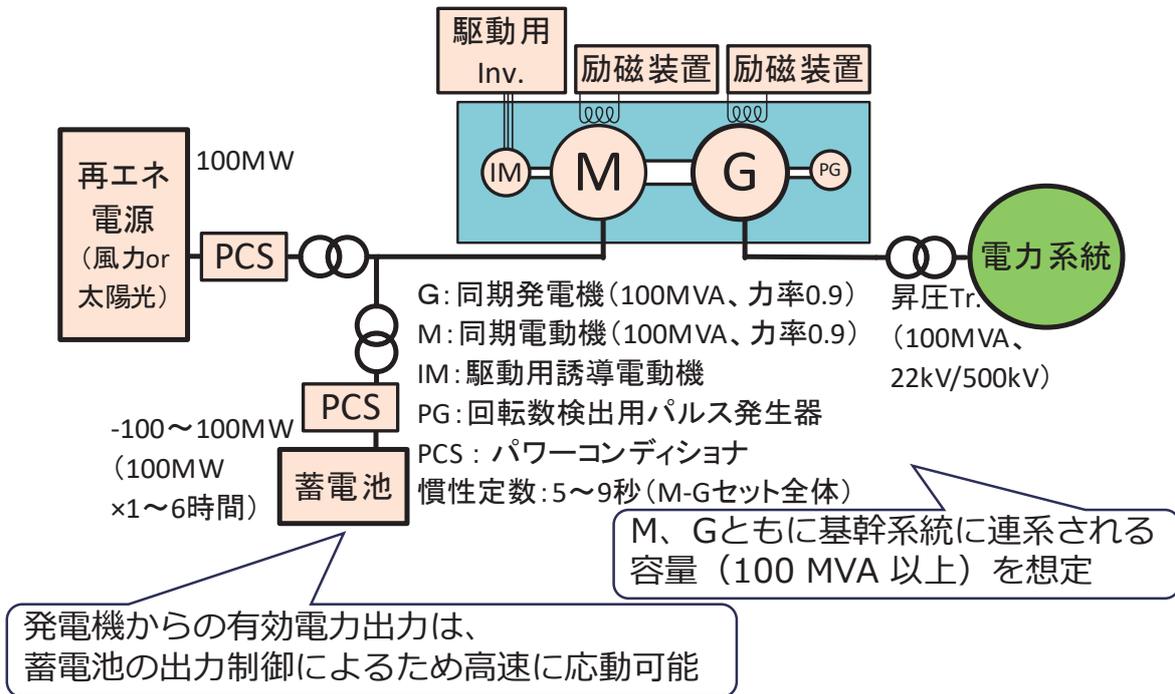
- 電力系統の電圧を維持・調整するための同期電動機（空回しするモーター）
- すでに古くから確立されている技術であり、大容量化も容易であるため、基幹系統の電圧維持に貢献できる
- **再エネのインバータの安定運転に不可欠な電力系統の短絡容量の維持に貢献。** 系統事故時に地絡・短絡電流を供給可能
- 周波数の調整はできないが、大電源脱落時に慣性エネルギーを供給し、電力系統の**周波数変化率（RoCoF）**の抑制は可能。ただし、フライホイールを装備しない場合、その慣性は発電機に比べて小さい
- 海外では廃止された発電所を転用して同期調相機とするケースもある



SC: 同期調相機

IM: 駆動用誘導電動機

a-2)再エネに蓄電池とM-Gセットを併設



再エネに蓄電池とM-Gセットを併設した場合の特長

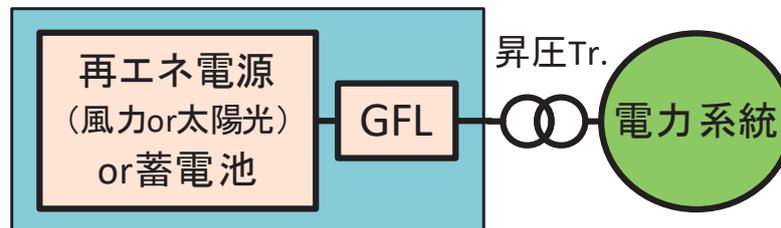
■ 電力系統側から見れば発電機のみが並列

- 系統事故時に電力系統側における特段の配慮が不要
 - 系統側の保護リレーなども変更不要
- 電圧
- 系統連系点の電圧を維持可能
 - 再エネの安定運転のために必要な短絡容量を確保
- 周波数
- 大規模電源脱落時に同期化力により慣性エネルギーを有効電力に変換して放出 (周波数変化率を抑制)
 - 有効電力出力 0 MWでガバナフリー運転が可能
- 系統安定度
- 系統事故時に高速に有効電力を制御し、系統安定度の向上に寄与
 - ブラックアウト後の試送電発電機として利用可能

再エネ大量導入時の諸課題を克服できる一つの方策

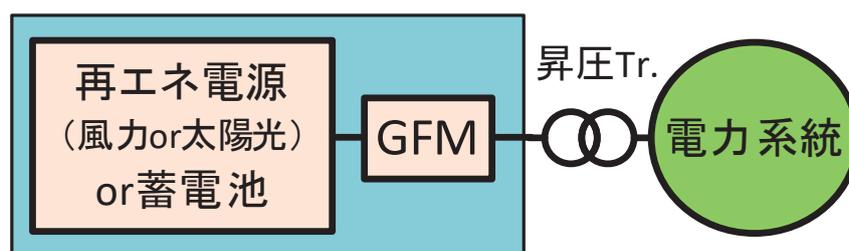
b-1) 系統安定化制御機能付きGFLインバータ

- 現在、導入されている再エネと蓄電池のPCSはGFLインバータであり、「電流源」として振る舞う**電流制御型**（系統の電圧を基に電流を制御し、出力を調整する）である
この電流制御型のPCSに**系統安定化制御機能を付加**したもの
- 既設の電力制御機器や他のインバータとの**制御協調が必要**である
- PCSの安定運転のために電力系統の短絡容量が必要な点など、適用には注意が必要な点がある
- 製作可能容量から、現状では、主に地域グリッドにおける活用が期待されている



b-2) GFMインバータ

- **電圧制御型**（自ら電圧を確立し、制御することができる）のインバータで、同期発電機と同様に「電圧源」として振る舞うことができる
- 系統事故時などに過電流が生じやすいため、その対策が必要となる。また、同期発電機に比べ、系統事故時に供給できる電流は小さい
- 製作可能容量等の制約から、現状では、主に地域グリッドにおける活用が期待されている
- 技術的には未確立で国内では未適用だが、海外では実系統に連系され、運用されている設備がある





【個別報告】 電力システムの新たな役割と価値（2） —地域グリッド構築に向けた技術開発—

電力中央研究所
グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門
研究推進マネージャー（地域ネットワーク）

上席研究員 八太 啓行

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 将来の地域グリッドにおいて、電力システムの混雑緩和や電力品質維持を効果的に実現するためには、DERと電力ネットワークの協調が必要である
- このためには、地域グリッドにおいてDERと電力ネットワークが相互に協調するための情報基盤（プラットフォーム）を構築することが鍵となる
- 当所では、将来の地域グリッド構築に向けた様々な技術開発を進めている。本報告では、プラットフォームに関連するホスティングキャパシティ（連系可能量）の評価技術や、電力システムと交通のセクターカップリングをシミュレーションする技術などを紹介する

© CRIEPI 2024

1

報告内容

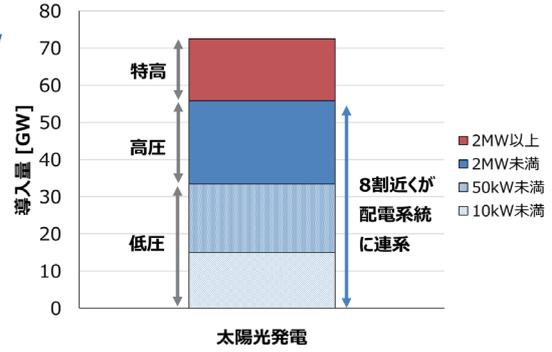
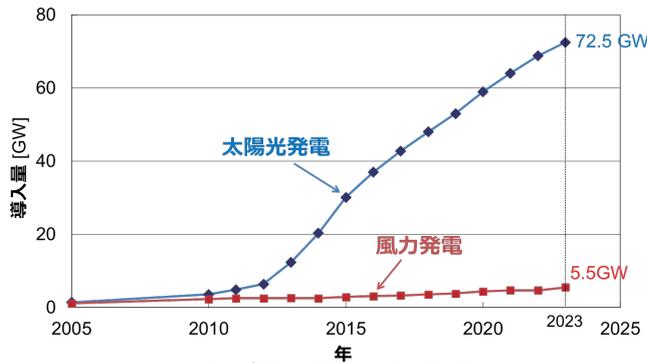
1. 将来の地域グリッドにおける技術課題
2. 電力ネットワークとDERを連携するプラットフォーム
3. 当所における取り組み事例の紹介

報告内容

1. 将来の地域グリッドにおける技術課題
2. 電力ネットワークとDERを連携するプラットフォーム
3. 当所における取り組み事例の紹介

我が国の再エネ導入状況

■ 我が国で導入が進む再エネの大半を占める太陽光発電のうち、8割近くが配電系統に連系されている



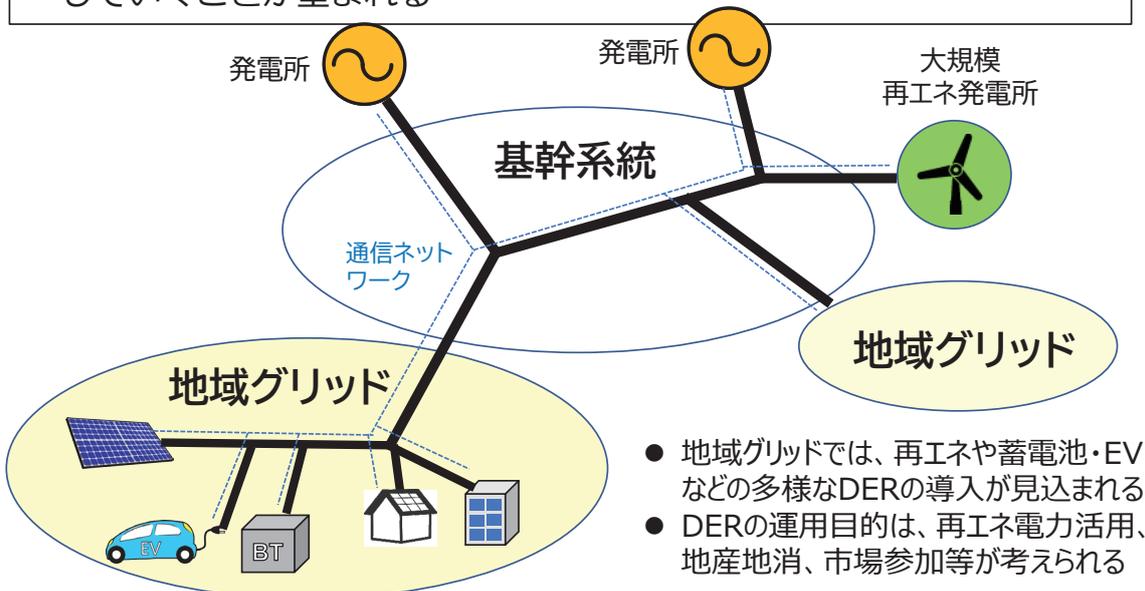
我が国の再エネ導入量

太陽光発電の連系箇所 (2023年)

(出典) : 資源エネルギー庁「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法 情報公表用ウェブサイト」
公表データに基づきグラフを作成

地域グリッドの役割

■ 再エネ導入拡大には、地域グリッド（配電系統+ローカル系統）での対応が必要であり、DERとの協調により再エネ導入時の課題に対応していくことが望まれる



再エネ導入拡大時の電力システムの課題

■ 再エネ電源の導入拡大に伴い、広域系統（基幹系統）と地域グリッドの両方に対応すべき課題がある

基幹系統

- ◆ 需給バランスの維持
 - ✓ 系統全体の発電と需要をバランスさせ、周波数を維持
- ◆ 系統安定性の確保
 - ✓ 再エネ（インバータ型電源）が主体となる系統における系統安定性の確保

地域グリッド

- ◆ 電圧の適正化
 - ✓ 再エネ導入時の電圧適正化
- ◆ 電圧安定性の確保
 - ✓ 配電線末端付近への再エネ導入時の電圧安定性確保
- ◆ 過負荷の防止
 - ✓ 送配電線の混雑緩和と過負荷の防止
- ◆ 安定供給の確保
 - ✓ DERによる需給バランス等、小規模系統の安定供給確保

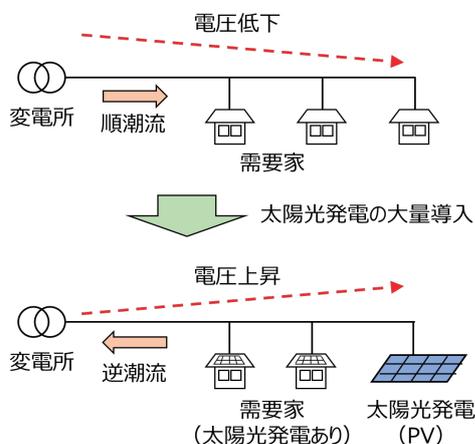
本報告では、地域グリッドについて報告

地域グリッドの課題（電圧の適正化）

■ 再エネ導入拡大により、地域グリッドの電圧変動は複雑化している

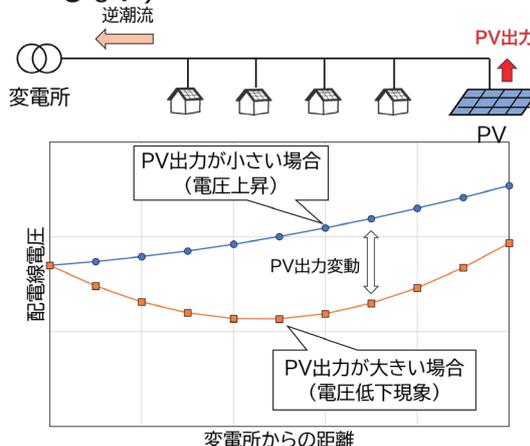
● 電圧上昇

- ✓ 再エネ導入による電圧上昇



● 電圧低下現象

- ✓ 逆潮流が大きい長距離配電線での電圧低下（距離に対して単調変化しない）



配電線の距離に応じた電圧上昇

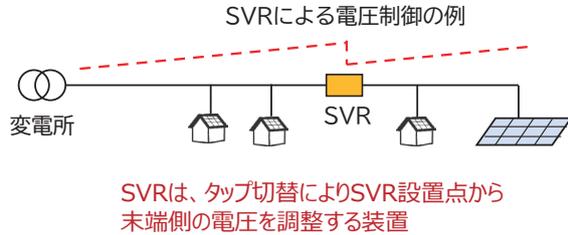
配電線の区間によっては電圧低下

電圧変動への対策技術

■ 当所では、電圧変動に対応する系統側の対策技術として、自端制御と集中制御による電圧制御技術を開発してきた

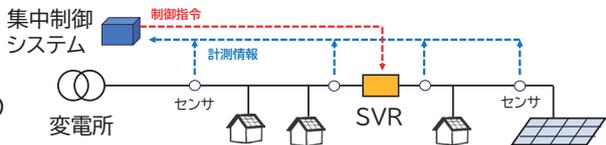
● 電圧制御（自端制御）

- ✓ 電圧制御機器（SVR）が電圧を自端制御する
- ✓ 従来方式では推定誤差が大きくなる電圧低下現象にも対応できる新型SVRを開発



● 電圧制御（集中制御）

- ✓ 集中制御システムが計測情報を遠隔で取得し、通信により集中制御する
- ✓ 高性能な制御が可能になるが、通信網の整備や集中制御システムの導入が必要。計画的な検討が必要



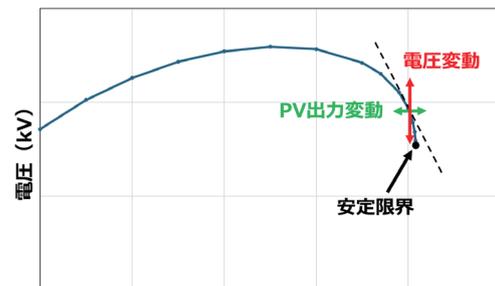
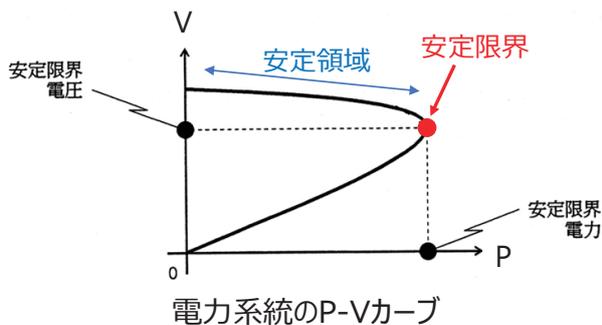
地域グリッドの課題（電圧安定性）

■ 近年では、再エネ出力が電圧安定性の安定限界に近づく場合があり、配電系統の電圧面での新たな課題が懸念される

- 電圧安定性の限界近傍での電圧変動
 - ✓ 安定限界の近傍では、PV出力変動により急激な電圧変動が起きる



PV出力変動時に、系統側の電圧補償が間に合わなくなるおそれ



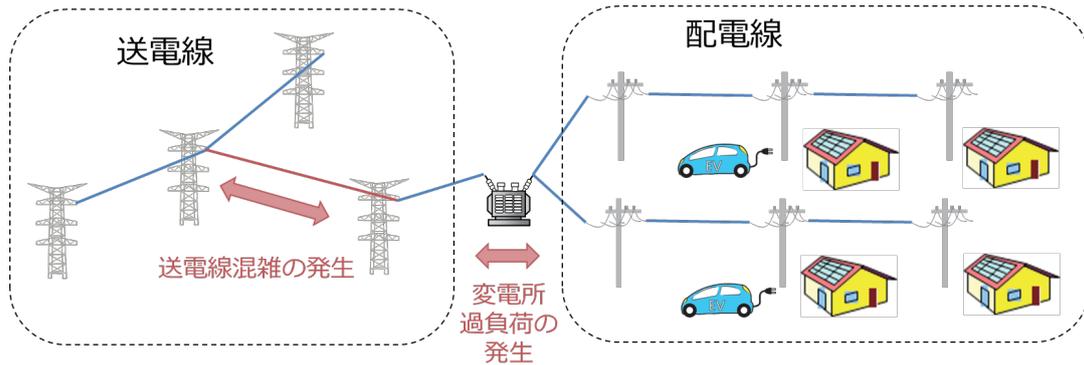
出典：電気学会「電力系統標準モデルの拡充システムモデル マニュアル」を一部改変

地域グリッドの課題（系統混雑・過負荷）

- 再エネやDERの導入拡大により、地域グリッドにおいて**系統混雑**や**過負荷**が発生するおそれがある



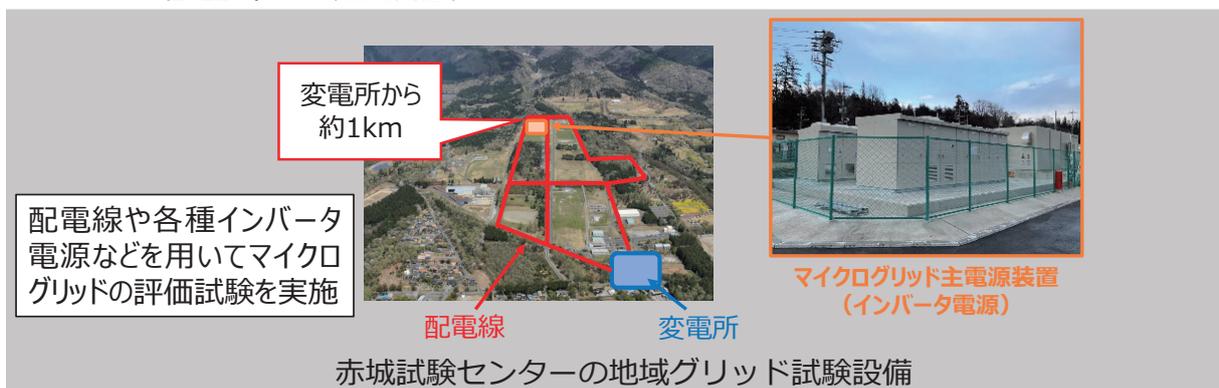
DERのフレキシビリティ活用による系統混雑緩和が検討されている



地域グリッドの課題（小規模系統の安定供給確保）

- 将来的には、再エネ電源を主体とした地域グリッドの一部を災害時等に独立型のマイクログリッドとして運用することも国プロ等で検討されている
 - ✓ 独立型のマイクログリッドでは、マイクログリッド内の需給調整が必要であり、DERの活用が重要
 - ✓ ブラックスタート・事故時の保護等に技術的な課題があるため、技術開発と実証※を進めている

※ NEDO事業「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発」（2022～）の一部として実証中

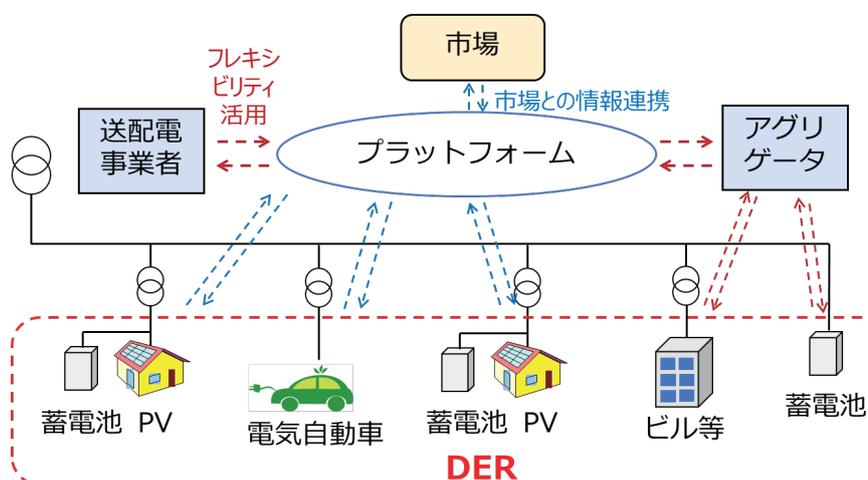


報告内容

1. 将来の地域グリッドにおける技術課題
2. 電力ネットワークとDERを連携するプラットフォーム
3. 当所における取り組み事例の紹介

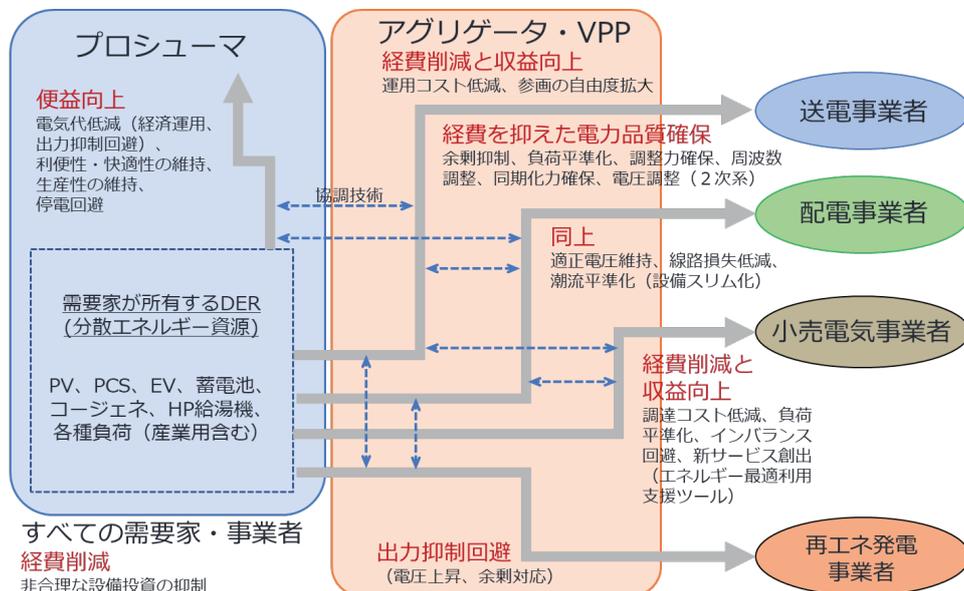
DERと連携するためのプラットフォーム

- 電力ネットワークとDERを連携するためには、送配電事業者とアグリゲーターやDERをつなげるプラットフォーム（情報共有と制御指令を行うための情報基盤）が重要になる



プラットフォーム形成による新たな価値

■ 様々なプレーヤがつながることにより、新たなサービスやビジネスを創出でき、Win-Winな関係の構築が期待される



プラットフォームへの期待

■ 地域グリッドの課題解決には、プラットフォームの活用が有効

- 電圧安定性を考慮したDER導入量の決定
 - ✓ 電力ネットワークの設備容量が足りていても、電圧安定限界によりDERを導入できない場合がある
 - ✓ 電圧安定性を考慮した**連系可能量（ホスティングキャパシティ）**を評価し、その範囲内でのDER運用が必要
- 系統状態に応じたDERの運用
 - ✓ **系統状態に応じたDERの制御**を行うことにより、電圧変動の緩和が期待できる
 - ✓ **DERのフレキシビリティを活用**することにより、系統混雑の緩和が期待できる



プラットフォームの活用例

- プラットフォームを有効活用し、情報共有や適切な制御を行うことで、電力ネットワークとDERの双方がメリットを得られる

プラットフォームの代表的な活用例

プラットフォームの活用目的	ネットワーク側の価値	DER側の価値
ホスティングキャパシティ（連系可能量）の情報提供	<ul style="list-style-type: none"> • 空き容量があるエリアの周知による混雑緩和 	<ul style="list-style-type: none"> • DERの立地検討に重要
DERの協調運転による電圧変動抑制	<ul style="list-style-type: none"> • 設備増強（電圧調整器含む）の回避や繰延 	<ul style="list-style-type: none"> • DERの連系可能量拡大
DERの協調運転による混雑緩和	<ul style="list-style-type: none"> • 設備増強の回避や繰延 • 設備利用率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> • DERの連系可能量拡大 • 出力制御の回避や削減

報告内容

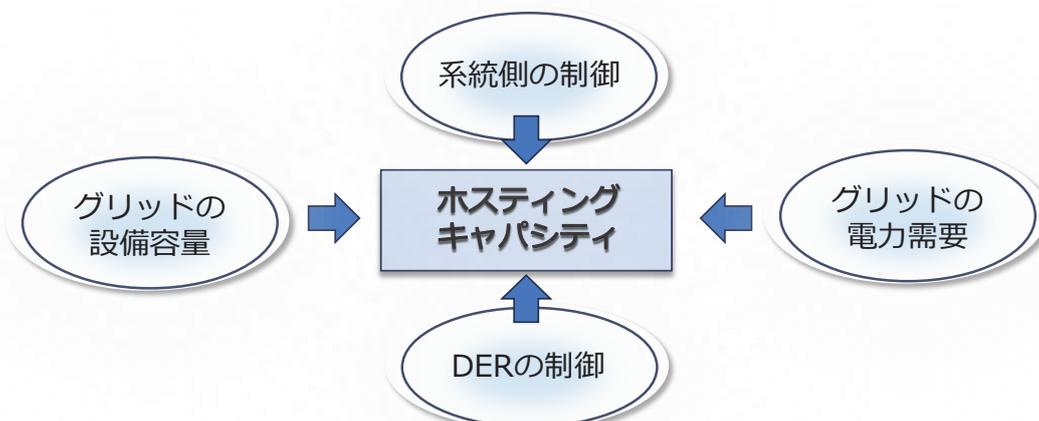
1. 将来の地域グリッドにおける技術課題
2. 電力ネットワークとDERを連携するプラットフォーム
3. 当所における取り組み事例の紹介

本報告で紹介する取り組み

- ホスティングキャパシティの評価技術
 - ✓ 新型SVR導入によるホスティングキャパシティの試算例
- 電力システムと交通のセクターカップリングをシミュレーションする技術
 - ✓ 商用EVの充電による配電系統電圧への影響評価

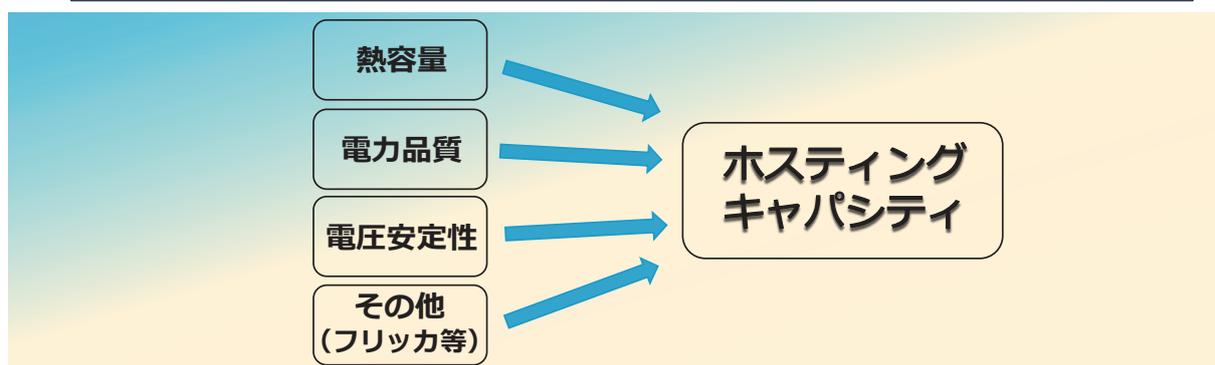
ホスティングキャパシティ

- ホスティングキャパシティとは、対象グリッドへの接続検討におけるDERの連系可能量
- ホスティングキャパシティは、エリアや地点に依存
- グリッドの設備容量だけでなく、対象グリッドの電力需要や系統側・DERの制御等の考慮が必要



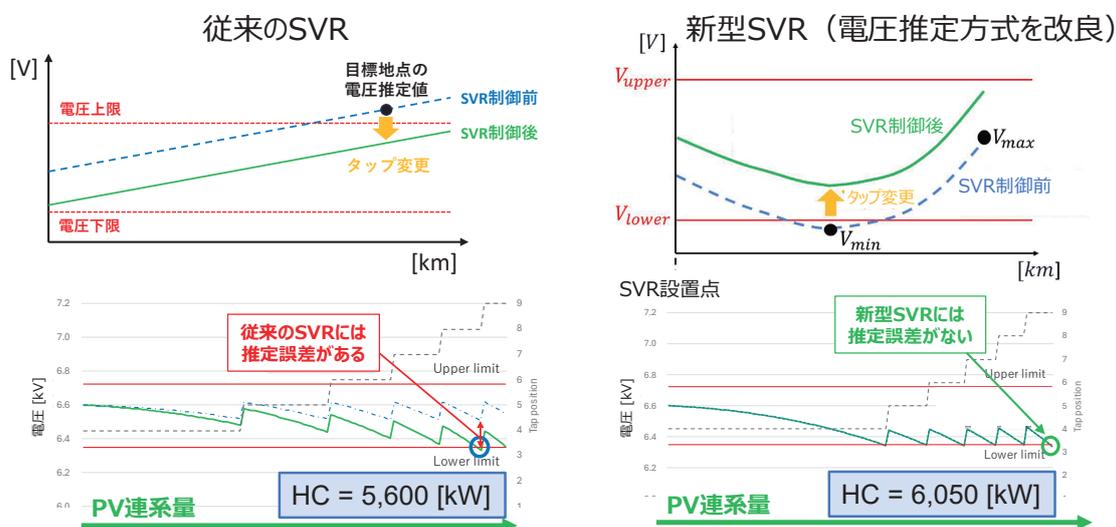
ホスティングキャパシティの評価技術

- ホスティングキャパシティを評価するには、熱容量（許容電流）、電力品質（電圧変動等）、電圧安定性などを多面的に評価する必要がある
- 当所の配電系統解析ツール（CALDG）により、様々な条件を考慮したホスティングキャパシティを評価できるよう、ツールの改良を進めている



新型SVR導入による ホスティングキャパシティの試算例

- 当所開発ツールにより、従来SVRと新型SVRのホスティングキャパシティ（HC）を比較した例を示す
- PV連系量を増加させ、電圧適正範囲の逸脱有無によりHCを試算

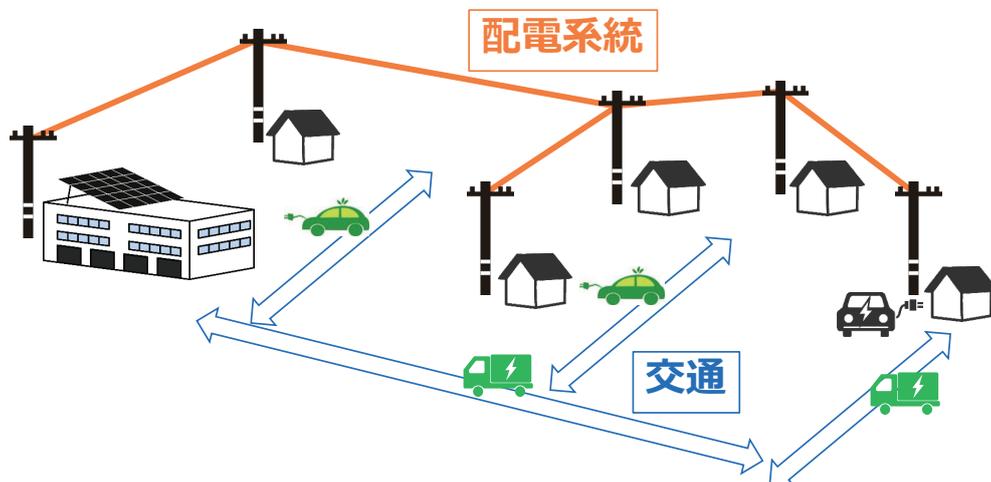


本報告で紹介する取り組み

- ホスティングキャパシティの評価技術
 - ✓ 新型SVR導入によるホスティングキャパシティの試算例
- 電力システムと交通のセクターカップリングをシミュレーションする技術
 - ✓ 商用EVの充電による配電系統電圧への影響評価

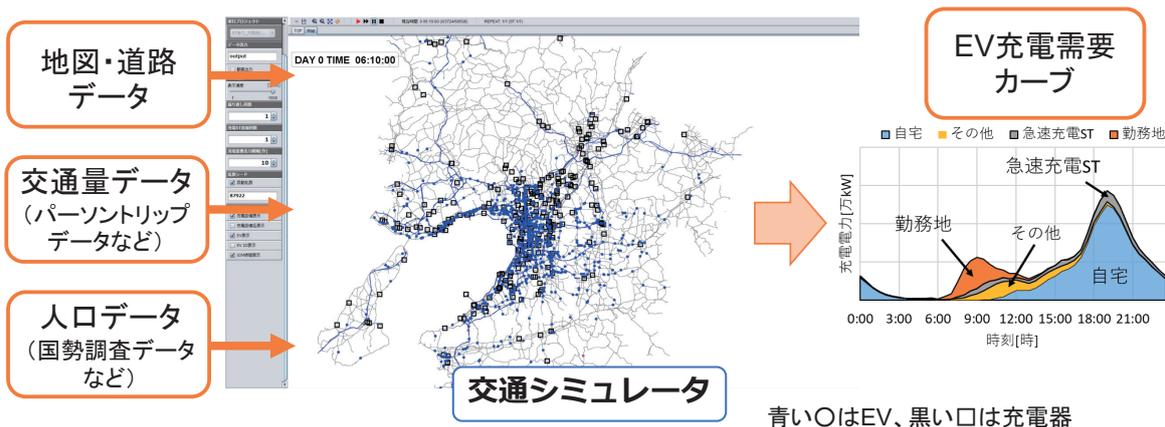
電力システムと交通のセクターカップリング

- 電気自動車（EV）の充放電をコントロールすることによりフレキシビリティとしての活用が期待されている
- 交通シミュレーションと配電システムのシミュレーションを連携することで、EVをDER活用する際の効果と課題を定量的に評価する



交通シミュレータ (EV-OLYENTOR)

- EVの走行や充電の行動ルールをモデル化してシミュレーション
- 地図・道路データ、交通量データ、人口データ等に基づくシミュレーションにより、地点ごとのEV充電負荷カーブを推定
- 自家用車を対象とした当所開発ツールを商用車にも機能拡張



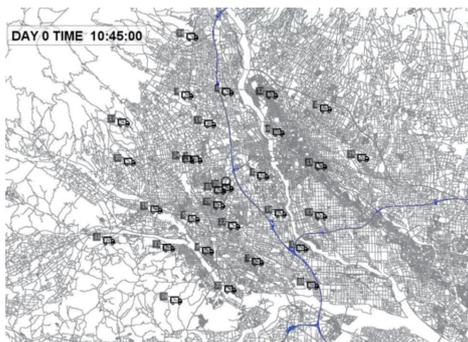
商用EV (EVトラック : 30台) の交通シミュレーション例



※配送車両のトリップ : 1日当たり3回 (8時-12時、13時半-18時、19時-21時)

商用EVの充電による配電系統への影響評価

- 商用EV（EVトラック）の交通シミュレーションと配電システムのシミュレーションを連携して、商用EVの充電による配電系統の系統混雑や電圧への影響をシミュレーション評価



商用EV（EVトラック：30台）の交通シミュレーション例

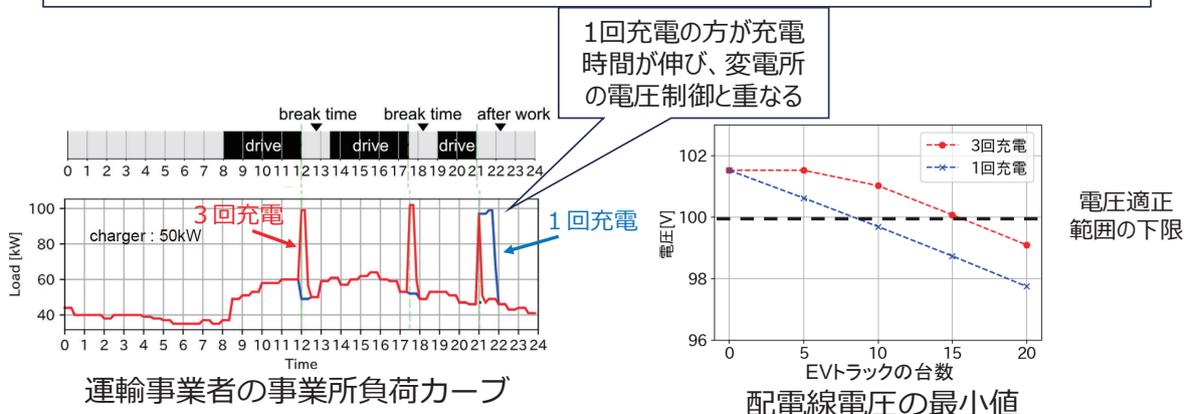


注：背景の地図は実際の位置と対応していない

配電系統のシミュレーション例

商用EVの充電による配電系統への影響評価結果

- 商用EV（EVトラック）を保有する運輸事業者を想定したシミュレーションを実施
- 充電のタイミングを変えると配電系統の電圧への影響を緩和できることを確認



出典：萬成遥子，八太啓行，「事業所内での小型電動トラックの充電による住宅地域の配電系統の電圧降下への影響評価」，令和6年 電気学会 全国大会，6-191，2024.3

まとめ

- 地域グリッドにおいて再エネの大量導入が進む一方で、対応すべき技術課題（電圧変動、電圧安定性、系統混雑・過負荷、小規模系統の安定供給確保）が顕在化
- これらの課題に効果的に対応するためには、地域グリッドに情報基盤であるプラットフォームを構築し、DERと電力ネットワークが協調することが有効
- 当所では将来の地域グリッド構築に向けた研究開発に引き続き取り組んでいく

ご清聴ありがとうございました

R 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献

1. 資源エネルギー庁：再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法 情報公表用ウェブサイト。
<https://www.fit-portal.go.jp/publicinfosummary>
2. 八太啓行：分散型エネルギー資源を活用する需要地系統の実現に向けた取り組み、電力中央研究所 研究報告会2022 個別報告（3）（2022）。
3. 電気学会：電力系統標準モデルの拡充システムモデル マニュアル。
https://www.iee.jp/pes/ele_systems/ex_model/
4. F. Kondo et al. : DEVELOPMENT OF A NEW SVR FOR IMPROVING PVHC UPON VOLTAGE DROP PHENOMENON、CIRED 2024 Vienna Workshop、0137 (2024).
5. 萬成遥子 他：事業所内での小型電動トラックの充電による住宅地域の配電系統の電圧降下への影響評価、令和6年 電気学会 全国大会、6-191 (2024).



【個別報告】 将来の電力システムに向けた制度設計 —フレキシビリティ確保への期待と課題—

電力中央研究所
社会経済研究所
課題統括（電力システム・市場制度）

上席研究員 古澤 健

上席研究員 澤部 まどか

研究報告会2024

2024年11月7日

Ⓜ 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



Ⓜ 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

近年、欧米をはじめ、わが国においても分散型エネルギー資源（DER）によるフレキシビリティの確保が期待されている

欧州および米国では、DERによるフレキシビリティの市場取引に関する制度設計が先行している

わが国の電気事業の市場設計は、**現在は欧州型**である
今後は同時市場を通じた全体最適を目指す中、
米国型の取引方法も、注視しておく必要がある

DERによるフレキシビリティの確保が期待されるが、その実現のためには、更なる**技術革新**と**制度設計**の相互の発展が重要である

© CRIEPI 2024

1

報告内容

1. はじめに：
DERのレジリエンスに期待される役割
2. 欧州のレジリエンス活用に向けた制度設計
3. 米国のレジリエンス活用に向けた制度設計
4. まとめ：海外動向を踏まえた示唆

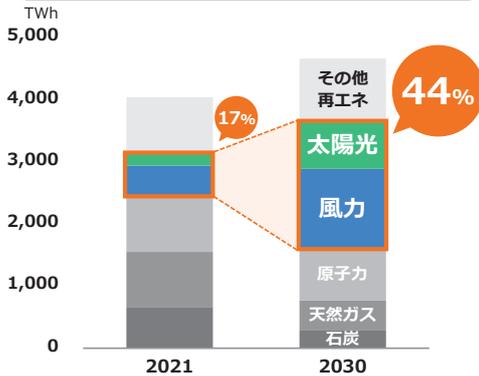
報告内容

1. はじめに：
DERのレジリエンスに期待される役割
2. 欧州のレジリエンス活用に向けた制度設計
3. 米国のレジリエンス活用に向けた制度設計
4. まとめ：海外動向を踏まえた示唆

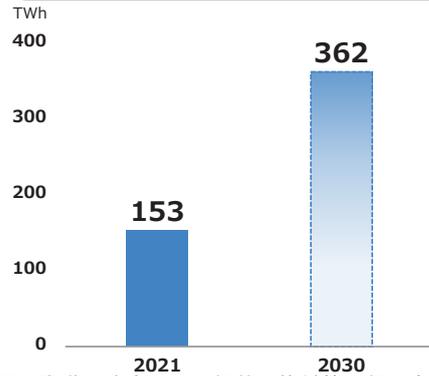
再生可能エネルギー普及に伴う 出力変動への対応の必要性（欧州）

■ 今後の変動性再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入に向けて、欧州では、現在の約2倍の出力変動が生じると想定されている

欧州（英国も含む）のエネルギーミックス



出力変動量の規模（日間変動）



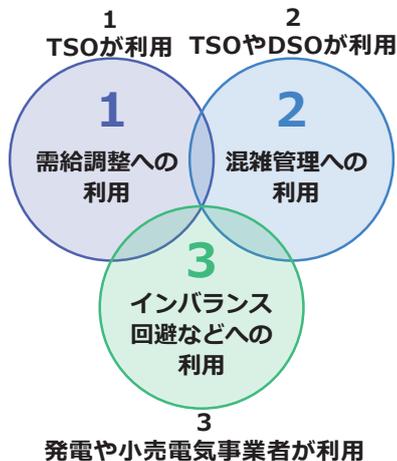
日間変動：残余需要の偏差の絶対値の年間合計量に1/2を乗じた値

※ 左図はIEAのデータベースの“Stated Policies Scenario”の値。
出典：左図 IEA（2023）“World Energy Outlook 2023”、右図ACER（2023）“Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system”、Ramboll（2023）“Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system”を参照して、電中研により作成

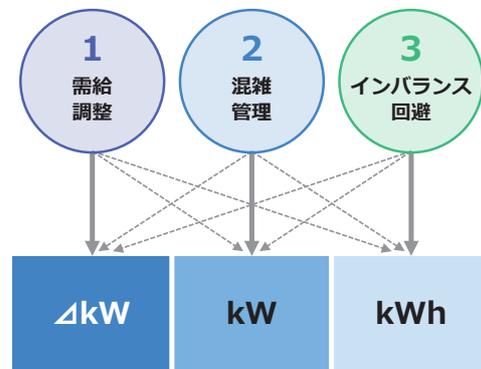
フレキシビリティの利用目的と提供価値

■ 「出力を柔軟に変化させることが可能な能力」であるフレキシビリティは、利用目的により提供する価値が異なる

フレキシビリティの利用目的



フレキシビリティが提供する価値

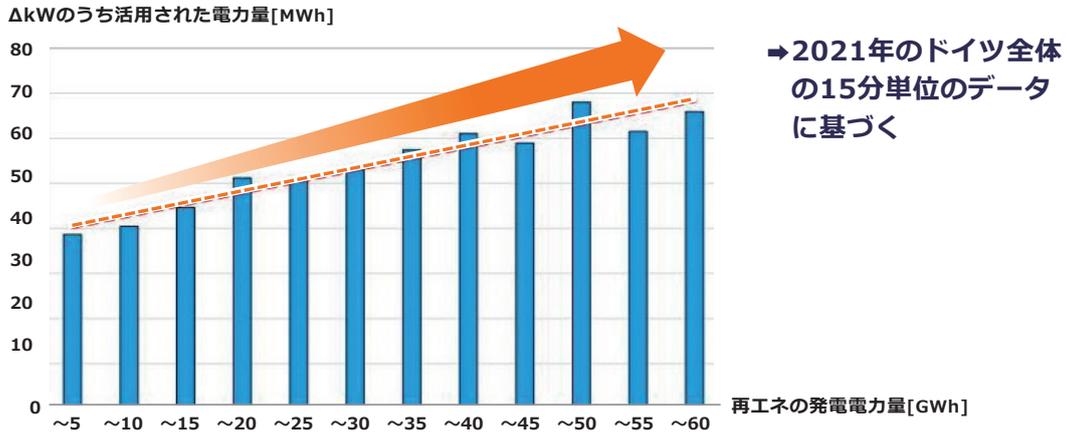


※ TSO（Transmission System Operator、送電系統運用者）DSO（Distribution System Operator、配電系統運用者）の略称を表す

再エネ普及に伴う 調整力確保の必要性（ドイツ）

① ΔkW
② kW
③ kWh

- 再エネの普及により、活用されたΔkWが増加しているとの指摘がある



※ LFC (Load Frequency Control、負荷周波数制御)、EDC (Economic load Dispatching Control、経済負荷配分) の略称を表す
出典：Ramboll (2023) . "Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system"

DERのフレキシビリティの活用への期待

① ΔkW
② kW
③ kWh

- DERのフレキシビリティを活用する枠組みがない場合、DERは所有者の便益を優先して運用され、DERが送配電事業にもたらす便益が限定される
- DERの確保と活用に関する制度設計で、活用されるフレキシビリティが増加し、DER所有者と送配電事業者の便益が調和することが期待される

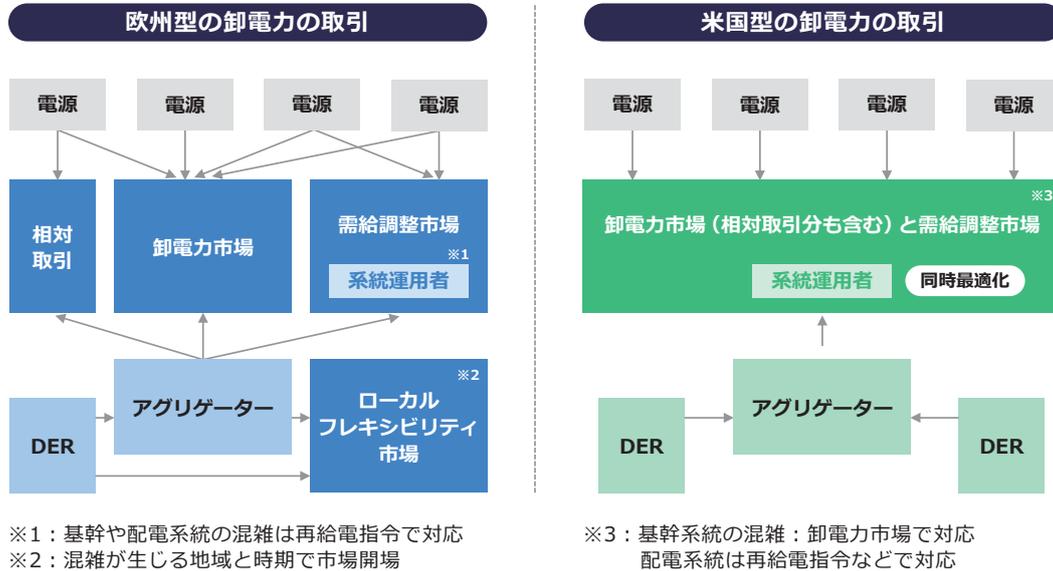


出典：IEA (2022) . "Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources"等を参照して、電力中央研究所にて作成

卸電力の取引の仕組み（欧州と米国）



■ DERによるフレキシビリティを取引する仕組みが、欧州と米国で異なる



報告内容

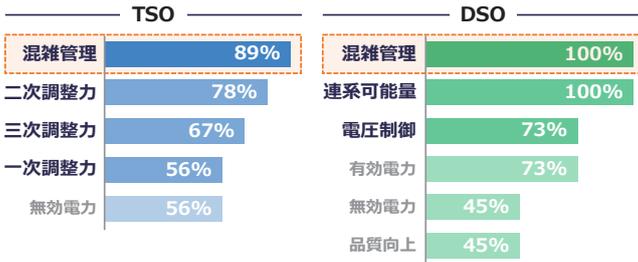
1. はじめに：
DERのフレキシビリティに期待される役割
2. 欧州のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
3. 米国のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
4. まとめ：海外動向を踏まえた示唆

フレキシビリティの活用への期待（欧州）



■ TSOやDSOが関与する実証プロジェクトで、混雑管理に関するサービスへの期待が最も大きい。DSOは確保手段として市場他複数の手段に期待している

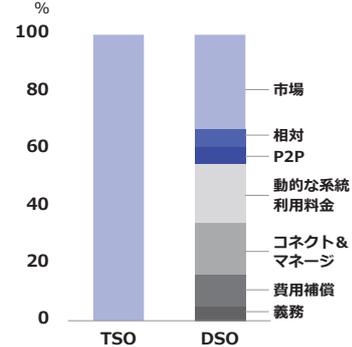
フレキシビリティへの期待 2019年アンケート



→ TSOは、需給調整に関するサービスも期待
→ DSOは、連系可能量や電圧制御に関するサービスも期待

※ TSOは主に220 kV以上、DSOは主に132kV以下を運用する。
出典：Bridge（2019），“TSO-DSO coordination,” Bridge regulation WG and Data management WGを参照して、電中研により作成

フレキシビリティの確保手段 2023年アンケート



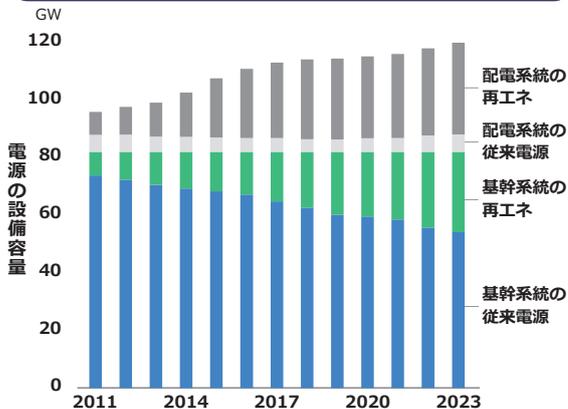
出典：Bridge（2023），“annual report 2022,” Bridge regulation WG

再エネの普及に伴う 電源構成の変化（英国）

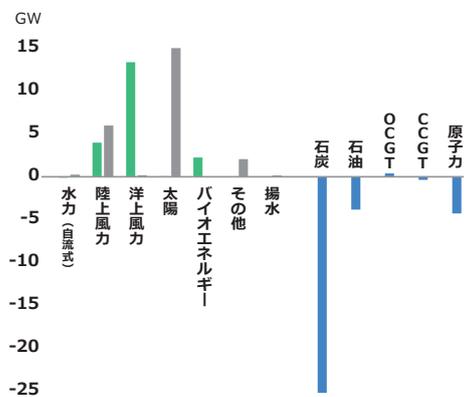


■ 英国でも再エネの普及が進む一方、火力等の出力調整可能な従来電源が減少し、システムの安定的な運用のためにフレキシビリティの確保が求められている

英国の電源構成の推移



「2023年の容量」-「2011年の容量」



出典：Digest of UK Energy Statistics（DUKES）（2024），“plant installed capacity, by connection, United Kingdom”を参照して、電力中央研究所にて作成

ローカルフレキシビリティの市場（英国）



- 英国のDSOは、主に混雑解消目的で、DERのフレキシビリティの市場取引を2019年に開始した。ただし、募集頻度は年2回程度である

英国のDSOにおけるローカルフレキシビリティ市場の取引例

取引される商品の種類		Sustain (計画的な混雑解消)	Secure (故障発生前の予防策としての混雑解消)	Dynamic (故障発生後の混雑解消)	Restore (故障発生後の供給支障からの回復)
価格例 (2023年の容量加重平均値)	契約単価	—	£ 75/MW/h	£ 16.9/MW/h	—
	活用単価	£ 194.7/MWh	£ 105/MWh	£ 1,014/MWh	£ 1,200/MWh

出典：NGED(2024). "Distribution Flexibility Services Procurement Reports", May 2024

→市場で取り扱うために、活用する目的に応じた商品の種類を選定

→市場に入札を促すような価格水準の設定

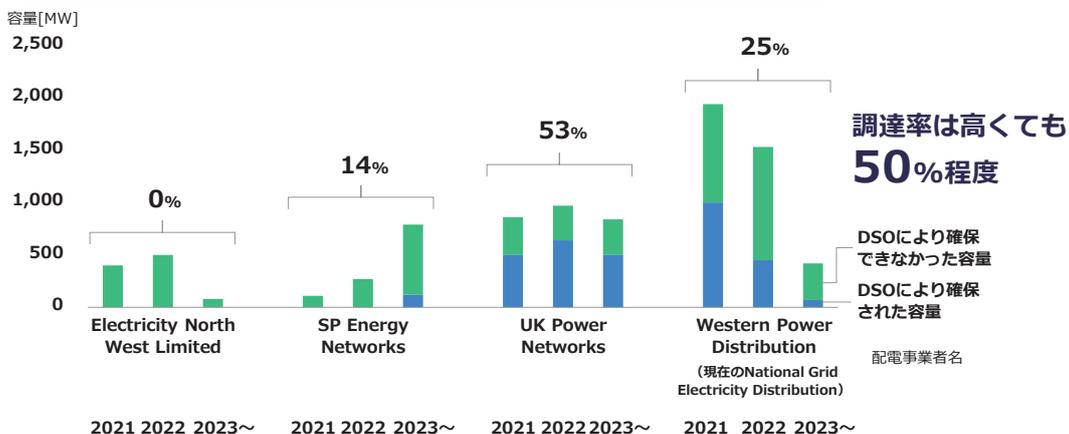
【参考価格】卸電力市場の単純年間平均単価：£ 126.82/MWh（2023年）

ローカルフレキシビリティ市場の調達の動向（英国）



- 英国のDSOが取引するローカルフレキシビリティ市場では、配電事業者により異なるが、募集量に対する調達率が高くて50%程度となっている

2021年度以降の調達率



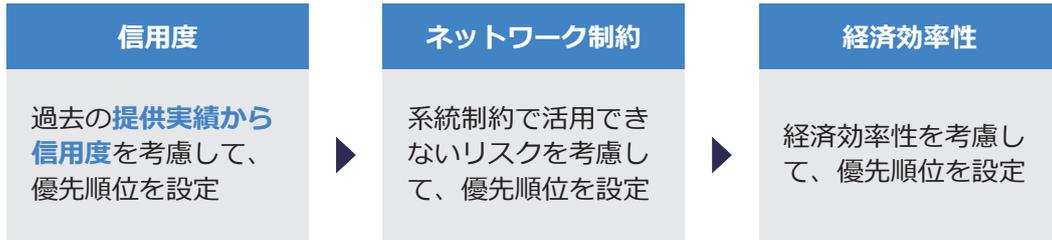
出典：OXEA（2023）. "Review of Scottish Power Energy Networks' uptake of flexibility services", April 2023

DERの活用に向けた優先順位の設定（英国）



■ DERのフレキシビリティの「提供信用度」、「系統制約での活用可能性」、「経済効率性」を英国のDSOは考慮し、活用の優先順位を設定している

英国のDSOにおけるフレキシビリティの活用に関する考え方



優先順位は、一か月前、前日、当日に更新している

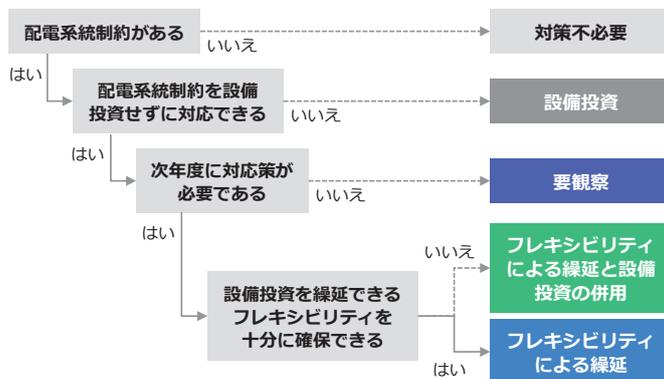
出典：SSEN distribution（2024）. “Operational decision-making”

設備投資の繰延策としてのDERのフレキシビリティの活用（英国）

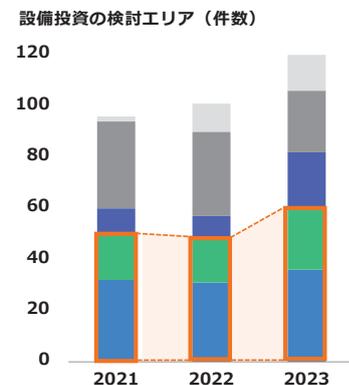


■ DSOは、再エネなどによる系統制約への対応策として、従来の設備投資に加え、DERのフレキシビリティによる繰延を、選択肢として検討しはじめた

フレキシビリティを活用した設備投資繰延策



National Grid Electricity Distributionの例



設備投資の検討エリアに対して、「フレキシビリティによる繰延」や「設備投資」の選択は毎年変化する

出典：WPD（2022）. “Distribution Network Options Assessment”, NGED（2023）. “Distribution Network Options Assessment”

(参考) 送配電投資の繰延価値

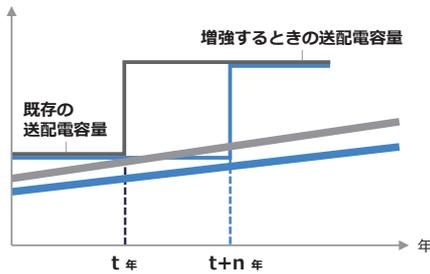


- 再エネの大量導入による送配電投資の増加は、欧米などでも指摘されており、DERのフレキシビリティを活用した設備投資の繰延価値も検討されている

地域の最大潮流・送配電設備容量

■ DA: DERのフレキシビリティを活用しないときの最大潮流

■ DB: DERのフレキシビリティを活用するときの最大潮流

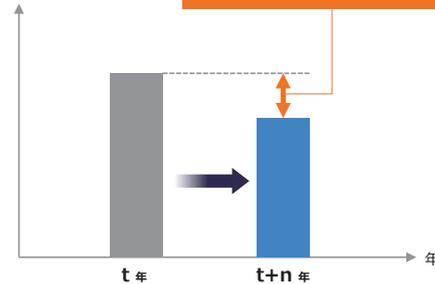


出典：澤部、服部（2021）。「米国における送配電事業の投資動向と投資抑制策に関する考察」, 電力中央研究所報告 SE21003.

送配電投資額

投資の繰延価値

(t年とt+n年の投資の現在価値の差)



小括：欧州のフレキシビリティ活用に向けた制度設計

混雑管理における利用

欧州では、DERのフレキシビリティを混雑管理に利用することが期待されている

ローカルフレキシビリティ市場における商品と価格

英国でDERのフレキシビリティを取引するローカルフレキシビリティ市場では、取引を活性化させるために以下の制度設計を実施

- DERのフレキシビリティを入札する目的に応じた商品を設定
- 取引開始時には入札を促すために、高価格でDERのフレキシビリティを確保する仕組みを設定

DERのフレキシビリティによる配電投資の繰延

DSOは再エネなどによる系統制約への対応策として、従来からの設備投資に加え、DERのフレキシビリティによる繰延を選択肢として検討しはじめた

報告内容

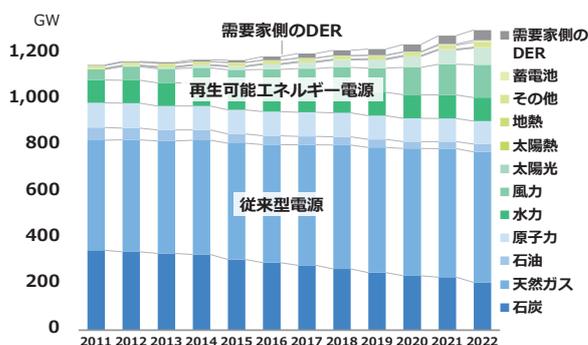
1. はじめに：
DERのフレキシビリティに期待される役割
2. 欧州のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
3. 米国のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
4. まとめ：海外動向を踏まえた示唆

3. 米国のフレキシビリティ活用に向けた制度設計

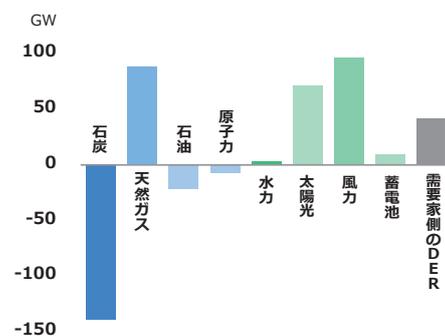
再エネの普及に伴う電源構成の変化（米国）

- 米国でも、フレキシビリティとして活用してきた大型の火力発電所の廃止が進む一方で、需要家所有の小規模なDERの導入が、年々増加する傾向にある
- 卸電力市場および系統の運用において、DERを活用する必要性が高まっている

米国の電源構成の推移



「2023年の容量」-「2011年の容量」



出典：EIA 860（各年）、EIA861（各年）を参照して、電力中央研究所にて作成

ISO/RTOにおいてDERを市場取引する背景（米国）



- 米国では、計算速度や通信機器の発展も背景に、DERをISO/RTOが運営する市場で取引する可能性が検討されている
- ISO/RTOにとって、DERの可視性が向上すれば、DERを活用しやすくなると期待されている

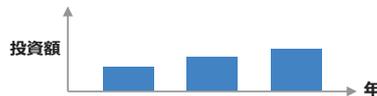
DERの可視性と制御性が課題



- ・ 地域の最大潮流を制御するために、DERを活用せず、送配電投資が増加する

※1 ISOはIndependent System Operator、独立系統運用者、RTOはRegional Transmission Organization、地域送電機関の略称を表す。
 ※2 「可視性」はDERの場所と出力を把握する状態を表す。

DERの可視性と制御性が向上



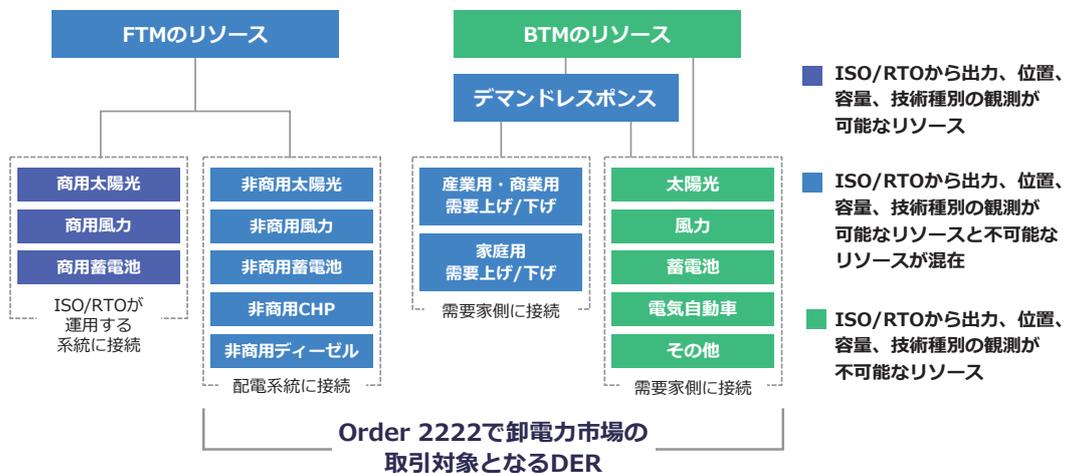
- ・ 地域の最大潮流をDERで制御し、送配電投資を抑制する

ISO/RTOにおけるDERの市場取引

市場取引の対象になるDER（米国）



- 米国では、エネルギー規制当局が2020年にOrder2222をISO/RTOに発令し、2026年以降を目途に、小規模なDERを取引する方針を示している

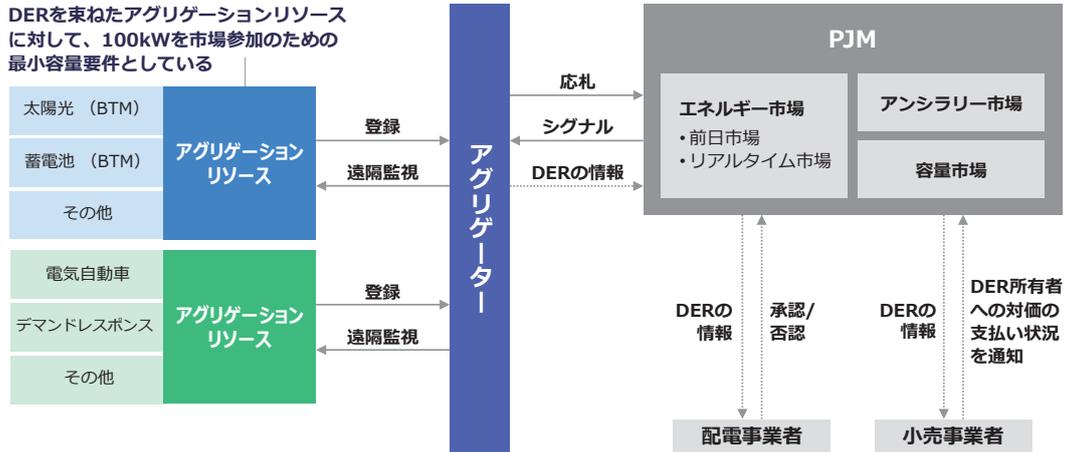


※:BTMはBehind The Meter、FTMはFront of The Meterの略称を表す。
 出典：澤部、古澤：「米国におけるDERの活用拡大に向けた卸電力市場の制度設計の課題」, 電力中央研究所報告 SE22004 (2023) .

DERの卸電力市場における取引（米国）



- 米国のISO/RTOは、DERも卸電力市場にて取引対象とするルールの方策を進めているが、アグリゲーターや配電事業者などの利害関係者との調整が求められている



出典：澤部、古澤：「米国におけるDERの活用拡大に向けた卸電力市場の制度設計の課題」, 電力中央研究所報告 SE22004 (2023)

アグリゲーションの地理的参加要件と送配電網の混雑管理（米国）



- 米国では、混雑管理の計算量を増加させないため、アグリゲーションリソースの集約範囲（地理的参加要件）を予め設けている
 - PJMは、各ノードに集約範囲を設定した
- リソースの作りやすさに影響を与えることにも配慮しながら、地理的参加要件の詳細設計を進める必要がある



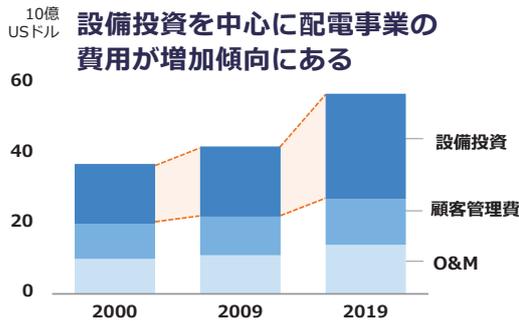
出典：澤部、古澤：「米国におけるDERの活用拡大に向けた卸電力市場の制度設計の課題」, 電力中央研究所報告 SE22004 (2023)

DERのフレキシビリティの 活用による配電投資の繰延（米国）



- 配電投資の増加が予想される中、米国でも、DERのフレキシビリティの活用による投資の繰延を検討している
- 実際に繰延策としてDERの活用可能なエリアについて、配電事業者は、技術等の信用度の観点から精査している

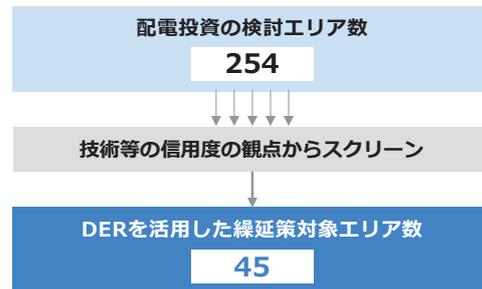
米国の配電事業の費用構造



出典：左図 IEA（2021），“Today in Energy” 2021年5月27日時点、右図 PG&E（2021），“PG&E'S 2021 Distribution Deferral Opportunity Report”。

DERの精査プロセス

カリフォルニアPG&Eの例



小括：米国のフレキシビリティの活用に向けた制度設計

DERを市場取引する背景：

米国では、需要家所有のDERの導入が、年々増加する傾向にあり、かつ計算力や通信技術の発展もあり、全体最適を目指す卸電力市場にDERを統合する必要性や意義があると考えられた

混雑管理とアグリゲーション活用の関係：

米国では、2026年以降を目途にDERを取引する方針が示されている

- PJMでは、混雑管理の計算量を増加させないため、アグリゲーションリソースの地理的参加要件を設けたが、リソースの作りやすさに影響を与えることにも配慮する必要がある

DERの信用度等の精査プロセスの構築：

米国でも配電投資の繰延を検討しており、DERのフレキシビリティの活用に向け、技術等の信用度の観点から精査プロセスを構築している

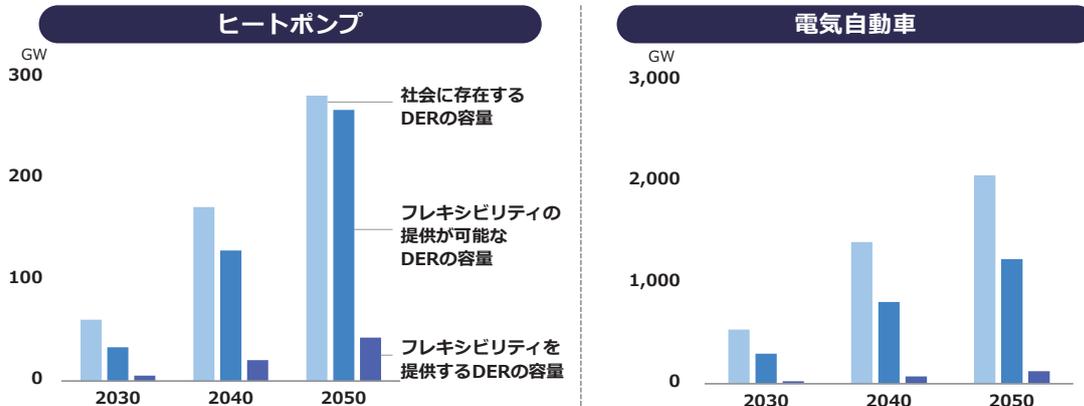
報告内容

1. はじめに：
DERのフレキシビリティに期待される役割
2. 欧州のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
3. 米国のフレキシビリティ活用に向けた制度設計
4. まとめ：海外動向を踏まえた示唆

DERによるフレキシビリティの提供に関する見込み（欧州）



■ 欧州では、今後もヒートポンプや電気自動車等のDERの普及が期待されるが、フレキシビリティを提供する容量は、現在のところ、限定的と見込まれている



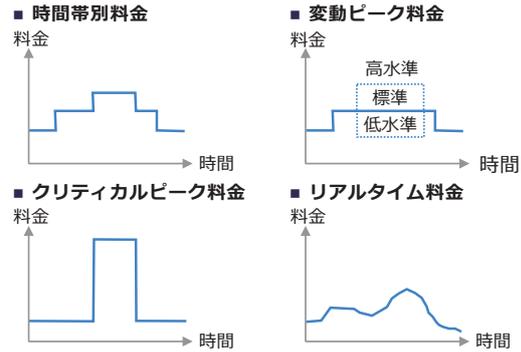
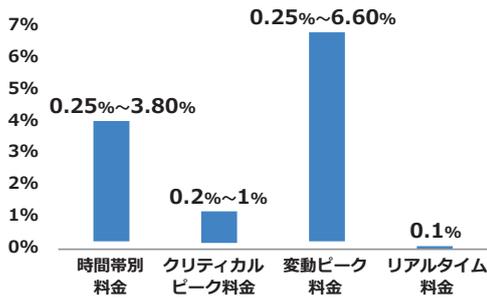
※1：図は2022年に示されたREPower EUによる変動性再生可能エネルギーおよび分散型エネルギー資源の導入促進を仮定している。
 ※2：「フレキシビリティの提供が可能なDERの容量」は通信器や自動制御機能などを備えたDERの容量、「フレキシビリティを提供するDERの容量」は市場の価格シグナル等に反応してフレキシビリティを提供するDERの容量を表す。
 出典：Eurelectric（2023）、「Decarbonisation Speedways」等を参照して、電力中央研究所にて作成

DERによるフレキシビリティの提供に関する見込み（米国）



- 米国では、料金によるデマンドレスポンスの活用可能性について実証試験を行っている
- フレキシビリティを提供した割合は、負荷全体に対して、高くても6%程度と限定的である

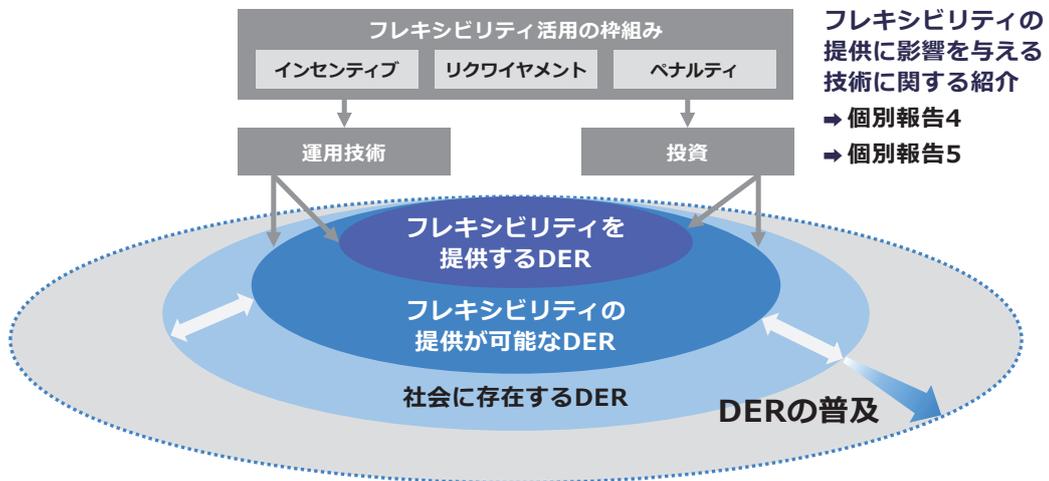
DRの料金体系別のポテンシャル（例）



※左図の縦軸は実証試験において、負荷全体に対して、実際にフレキシビリティを提供した割合を示している
 出典：Lawrence Berkeley National Laboratory（2023）. “The use of price-based demand response as a resource in electricity system planning” を参照して、電力中央研究所にて作成

フレキシビリティを提供するDERの拡大に向けて

- 今後も、適切なインセンティブ(報酬)、リクワイヤメント、およびペナルティを通じて、フレキシビリティの増加に向けた技術開発や投資が促されることが期待される



フレキシビリティ活用に向けた施策の論点

欧州および米国では、DERをフレキシビリティとして活用するための市場の制度設計が進展

- 欧州：ローカルフレキシビリティ市場の創設
- 米国：卸電力市場への統合

DERのフレキシビリティを送配電投資の繰延策として活用する場合、**システムの混雑管理の計算量の観点からアグリゲーションリソースの地理的な集約範囲を検討することが重要**

- DERの信用度等の精査プロセスの検討も必要

欧米では、フレキシビリティとして活用する制度設計が先行しているが、現時点では、**社会に存在するDERのうち、フレキシビリティを提供する規模は限定的な状況**

DERの活用に向けて、制度設計と技術革新の相互の発展が重要

ご清聴ありがとうございました

RI 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献 (1/2)

1. IEA : World Energy Outlook 2023 (2023).
2. ACER : Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system (2023).
3. Ramboll : Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system (2023).
4. IEA : Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources (2022).
5. Bridge : TSO-DSO coordination, Bridge regulation WG and Data management WG (2019).
6. Bridge : Annual report 2022, Bridge regulation WG (2023).
7. Digest of UK Energy Statistics (DUKES) : Plant installed capacity, by connection, United Kingdom (2024).
8. NGED : Distribution Flexibility Services Procurement Reports, May (2024).
9. OXEA : Review of Scottish Power Energy Networks' uptake of flexibility services, April (2023).
10. SSEN distribution : Operational decision-making (2024).
11. WPD : Distribution Network Options Assessment (2022).
12. NGED : Distribution Network Options Assessment (2023).
13. 澤部・服部 : 米国における送配電事業の投資動向と投資抑制策に関する考察, 電力中央研究所報告 SE21003 (2021).

参考文献 (2/2)

14. U. S. Energy Information Administration : EIA-860 (各年).
15. U. S. Energy Information Administration : EIA-861 (各年).
16. 澤部・古澤 : 米国におけるDERの活用拡大に向けた卸電力市場の制度設計の課題, 電力中央研究所報告 SE22004 (2023).
17. IEA : Today in Energy 2021年5月27日時点 (2021).
18. PG&E : PG&E'S 2021 Distribution Deferral Opportunity Report (2021).
19. Eurelectric : Decarbonisation Speedways (2023).
20. Lawrence Berkeley National Laboratory : The use of price-based demand response as a resource in electricity system planning (2023).



【個別報告】 需要側資源の活用（１） ーDERの特性を踏まえた フレキシビリティ資源の拡大ー

電力中央研究所
グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門
研究推進マネージャー（デマンドインテグレーション）

上席研究員 坂東 茂

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 再エネの増大により、調整力を含むフレキシビリティがさらに必要となり、火力の稼働率が低下する中で、必要量を不足なく確保し続けることは大きな課題（【個別報告3】で報告）
- フレキシビリティ供給源として活用可能なDERを拡大する必要がある。本報告では下記を紹介する
 - ▶ フレキシビリティ供給源として活用可能なDERを増やす
国外事業者の取り組み
 - ▶ DERによるフレキシビリティ供給のポテンシャルを増やす
取り組み
 - ▶ 多様な事業者を交えてDER活用を議論する「場」をつくり、
課題を抽出する取り組み

© CRIEPI 2024

1

報告内容



1. フレキシビリティ供給源としてDERを活用する国外事業者の事例紹介
2. DERのフレキシビリティ供給リソースとしてのポテンシャルを増やす取り組み
3. DER活用を語り合う「場」をつくり、課題を抽出する取り組み

報告内容



1. フレキシビリティ供給源としてDERを活用する国外事業者の事例紹介
2. DERのフレキシビリティ供給リソースとしてのポテンシャルを増やす取り組み
3. DER活用を語り合う「場」をつくり、課題を抽出する取り組み

フレキシビリティを供給するDERを増やすためには

- DERを束ね（アグリゲーション）、フレキシビリティを供給する事業は、わが国ではビジネスフェーズにあるが、現状では活用が進んでいる、とは言いきれない
- 国外では低圧リソースをアグリゲーションした事例が見られる
 - ▶ 高圧リソースに比較して 低圧リソースの事業はコストがかさみやすく、経済性確保のための工夫が必要。その工夫は高圧/低圧問わず、今後の事業展開の参考になる可能性がある
 - ▶ DERは系統側から信頼されるリソースになりうるか
- 米国における電気温水器VPPの事例※を通して、上記の課題を考察する

米国Mosaic Power（MP）社の事業概要

- 米国PJM管内の計14千台超の電気温水器（電熱線式）の電力使用を遠隔制御してVPPリソースとする
- PJMで最も高値の「わが国の二次調整力①（周波数調整）相当」のカテゴリにて調整力を提供するスタートアップのアグリゲーター
- 携帯電話の通信技術に強みを持つ

州別の電気温水器 対象台数

・ ウェストバージニア州	1,690 台
・ バージニア州	1,000 台
・ ペンシルベニア州	1,288 台
・ オハイオ州	6,982 台
・ メリーランド州	3,334 台
・ イリノイ州	276 台
・ ワシントンDC	32 台
(2019年11月時点)	

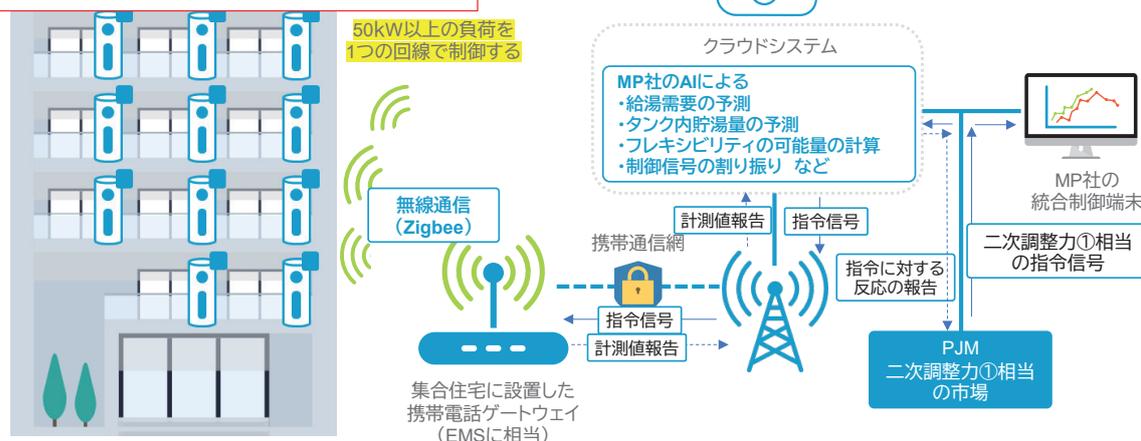
PJMの二次調整力①相当の市場への 通信・計測設備の参加要件

- 二次調整力①相当のカテゴリでは、リアルタイムかつ秒単位での計測・通信が必要であり、専用のエネルギーマネジメントシステム（EMS）が必要
- 電気温水器1台毎に秒単位で計測・通信ができる専用EMSをつけるのはコスト高

市場カテゴリ		計測点	計測頻度	正確性
エネルギー市場&容量市場		配電連系点	1時間毎	±2%
需給調整市場	二次調整力②相当	配電連系点	1分毎	±2%
	二次調整力①相当	配電連系点 または 承認済デバイス端末単位	2秒（高速） または 10秒（低速）	±2%

MP社：新築賃貸用集合住宅の電気温水器群を 無線により通信・制御

通信回線数<<電気温水器



- 専用EMSから10~15台の電気温水器を無線通信で結び、**通信コスト低減を図る**
 - **建物の設計段階から関わり**、できるだけ多くの電気温水器との**無線通信の空間経路を確保**している
- 携帯通信網を使用しながらも、指令への反応遅れを1秒以内に抑える技術を持ち、**PJMで最も価格が高いカテゴリで取引可能に**

MP社のリソースの信頼度は？

- 「二次調整力①相当」のサービス提供者は、Performance Scoreと呼ばれる指標にて、その実績をPJMから評価される結果は、PJMから得るインセンティブに直結する

Performance Scoreは

- ・指令に対する反応の遅れが小さいほど
 - ・指令に対して出力値が近いほど
 - ・上げ・下げの指令に対する反応の相関係数が大きいほど
- 評価[%]が高くなる(満点:100%)

- Performance scoreの実績
 - MP社のリソースの総合評価（2018年）は 80%
 - 他電源の平均値（参考）
 - ✓ 大型蓄電池90%、ガス火力85%、石油・石炭75%、水力78%
 - ✓ **MP社の事業は、大規模発電に劣らない実績を出している**

フレキシビリティ供給源としてDERを活用する 事業者の事例紹介 まとめ

- DER活用は今後拡大する方向
 - 再エネ導入が進むにつれ、調整力市場への参加、バランシンググループや卸電力市場の状況に応じた経済DRなど、フレキシビリティの供給事業の機会が拡大
 - 調整力の指令に対し、火力発電と同等の応答を示すDERは低圧にも存在
- MP社の事例にみる事業性の高いDERを集めるための工夫
 - 高圧/低圧問わず、専用EMSの設置が必要な場合は、建物・工場の新築時等、リソースを密集させる機会を捉える
 - ✓ CO₂ヒートポンプ給湯機等の低圧リソースは、わが国ではDR-Ready機能の標準装備の議論が進行中。専用EMSを使わない方法になると考えられる
 - B2Cではなく、B2Bを指向するなど、機会創出と営業費用の低減を図る
- MP社の技術を適用する際の課題
 - わが国では新築時に電熱線式の温水器が導入されることはほぼないため、別のリソースをそれぞれの特徴に合わせてアグリゲートする必要がある
 - ✓ 電気自動車の蓄電池や高圧リソースなど

報告内容



1. フレキシビリティ供給源としてDERを活用する国外事業者の事例紹介
2. DERのフレキシビリティ供給リソースとしてのポテンシャルを増やす取り組み
3. DER活用を語り合う「場」をつくり、課題を抽出する取り組み

DERのフレキシビリティポテンシャルを増やす取り組み



- 現状フレキシビリティ供給が検討されていないDERを対象として、制御・通信・計測の役割を持つエネルギー管理システム（EMS）を開発・装備する取り組みが必要
 - **制御・通信・計測のインフラ基盤の整備**：電気自動車、CO₂ヒートポンプ給湯機などのDR-Ready化について国大で検討が進行中
 - **EMSの開発**：農山漁村に設置する植物工場をフレキシビリティの供給源として開発した当所の取り組み（一例として紹介）

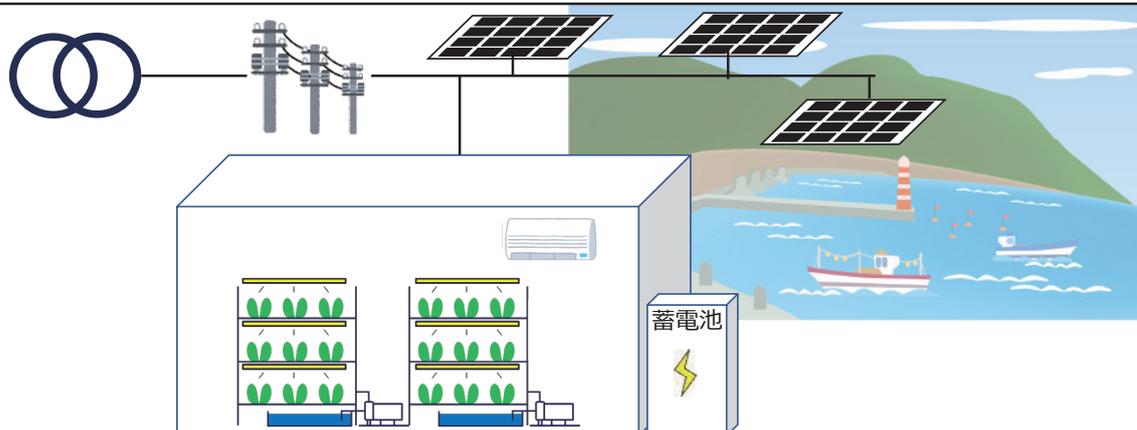
農山漁村におけるフレキシビリティの ポテンシャルを増やす意義

- 電力需要の小さい地域、特に農山漁村に再エネが大量に導入されることがある
- 電力需要の小さい地域では、送配電設備の容量も小さく、再エネ大量導入時には、過負荷や系統混雑などが発生しやすい
- このような地域で、需要創生とフレキシビリティ供給が可能になれば、系統設備の増強を抑制、もしくは繰り延べる可能性がある

農山漁村を想定した フレキシビリティ供給源としての植物工場の開発

(視点)

- 農業従事人口の減少の一方で、国産生鮮品のニーズは高い
⇒ 植物工場は解決策の一つ
- 小需要地域、かつ再エネが大量導入される農山漁村において
 - 蓄電池を用いて、すべて再エネによる電力で育てるレタス栽培を目指す
 - フレキシビリティの供給源を作る



宮古島におけるフレキシビリティ供給が可能な 植物工場の実証施設

(目的)

- 離島において「安定的に入手可能、再エネで運用、かつ鮮度が良いレタス」を栽培する
- PV+蓄電池のグリッドパリティ※の敷居が低い離島において、経済性の確保を狙う
- デマンドレスポンスの手段として、LED照度の増減、室温設定変更を実施するEMSを開発する

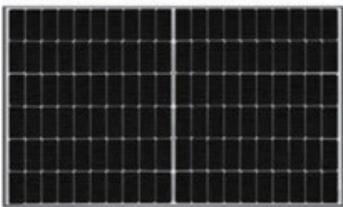


© CRIEPI 2024

2021年度～2022年度 NEDO先導研究「植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発」にて実証
※グリッドパリティとは、DERによる電力費用が、系統電力に比べて同等もしくは安い状態を表す

14

宮古島の植物工場 電力を供給する設備

太陽光発電 パネル	パワー コンディショナ (PCS)	リチウムイオン 蓄電池	ゲートウェイ
			
Q.PEAK DUO-G7 (Q CELLS)	KPV-A55-J4 (オムロン)	Powerwall (TESLA)	IoT-GateWay (日新システムズ)
335 W×24パネル ×3セット 計 24.12 kW	5.5 kW×3セット 計16.5 kW	5kW/13.5kWh 3セット 計15kW-40.5 kWh	3セット

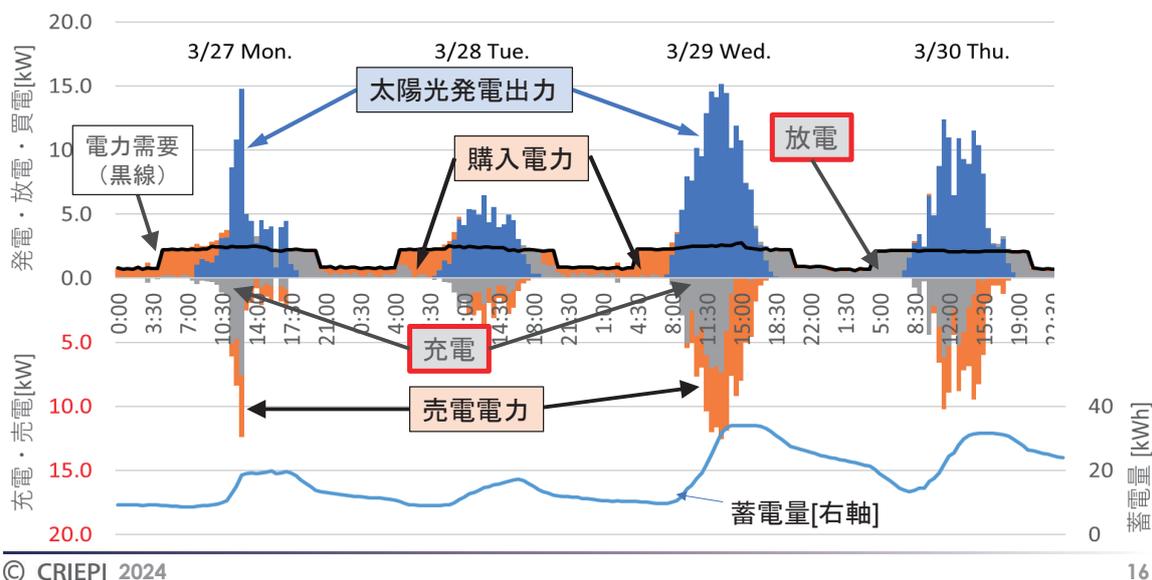
過積載率146 %

© CRIEPI 2024

15

宮古島の植物工場におけるエネルギー運用の例

- 昼間の余剰電力の充電量が十分あれば、夜間は購入電力はほぼ不要
- 4月～10月は日射が強く、日単位で再エネのみによる電力供給が可能な日が多い



植物の生長に影響の出ないDRの探求

- レタスは無光状態・高温状態が長時間続くと、成長障害を起こす
- 成長障害が出ない温度・照度・時間範囲を特定し、DRメニューとして組み込む

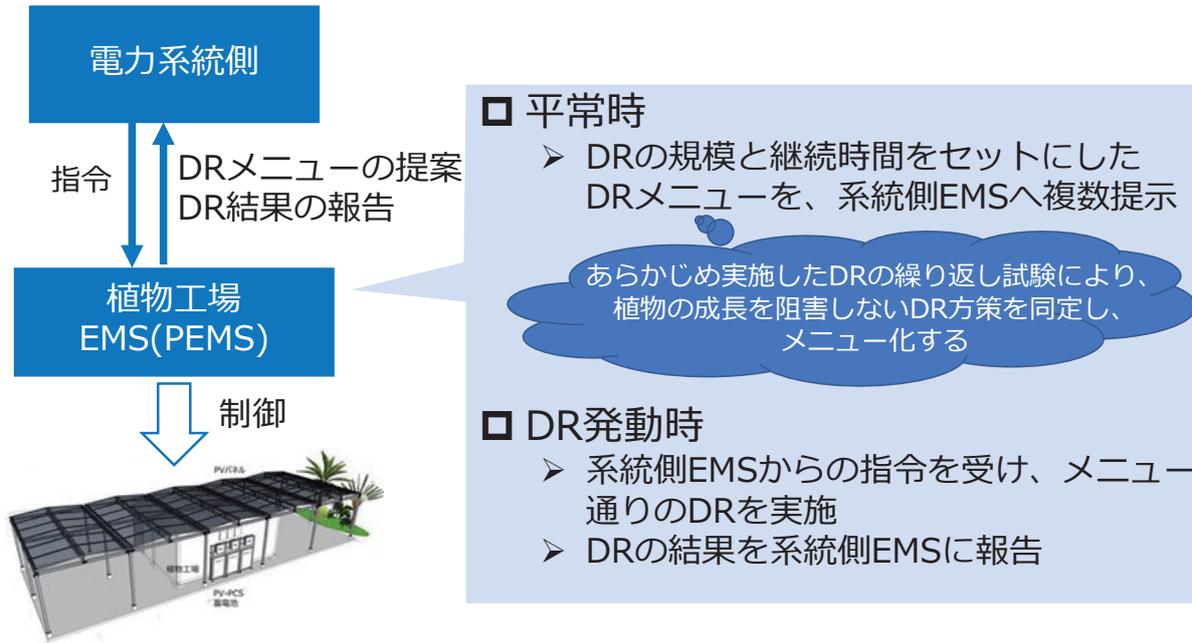


光量不足が続いたことによる
成長障害 (徒長)
とちょう

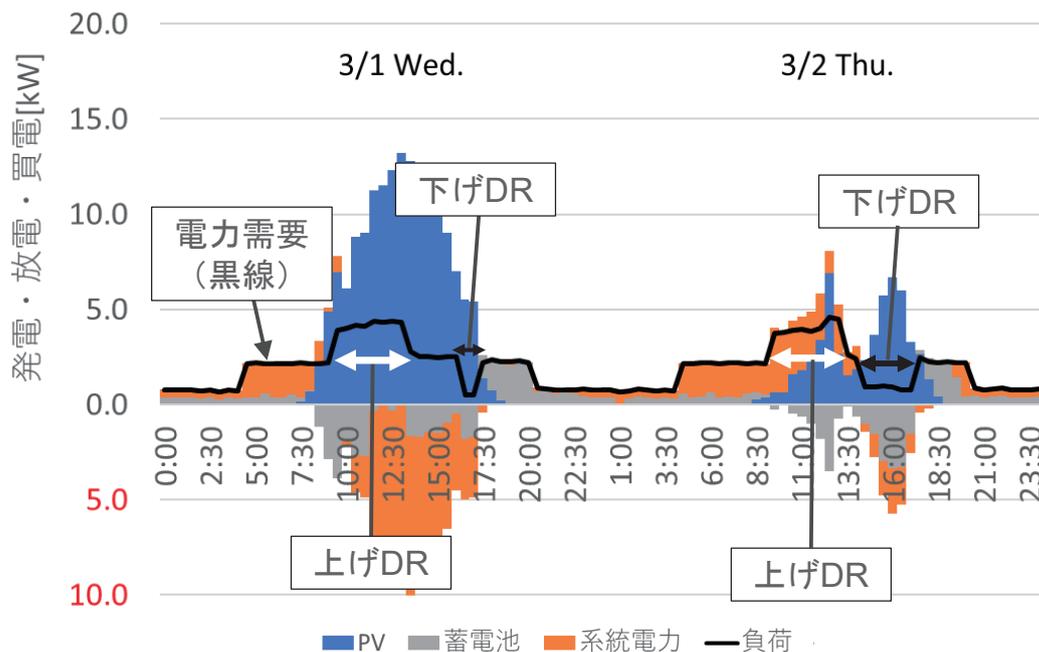


高温状態が続いたことによる
成長障害(Tip Burn)

植物工場用エネルギーマネジメントシステム (Plant Factory EMS) の設計と開発



DR試験（訓練指令）によるPEMSの動作を確認



フレキシビリティ供給源としての DERのポテンシャルを増やす取り組み まとめ

- 離島のフレキシビリティ供給源として、再エネ稼働型の植物工場のEMSを開発する取り組みについて紹介した
 - レタスの成長障害が出ない範囲でDRを検討し、電力需要を増減可能なEMSを開発した
 - DR信号に反応して、需要の上げ下げが設計通りにできていることを確認した
 - 植物工場において再エネのみの電力供給での運用については、年2回ある雨季（冬と梅雨）が課題である
- 新たな国の実証プロジェクト※により、植物工場以外の設備（陸上養殖など）にもEMSの対象を増やす取り組みを開始した

※2024年～2026年 NEDO「革新的VEMSの開発とモデル地域実証」を実施中

報告内容



1. フレキシビリティ供給源としてDERを活用する国外事業者の事例紹介
2. DERのフレキシビリティ供給リソースとしてのポテンシャルを増やす取り組み
3. DER活用を語り合う「場」をつくり、課題を抽出する取り組み

DER&グリッドセミナーの開催

□ セミナー開催の背景

- » アグリゲーター、系統運用者、制度設計者にとって、DERのフレキシビリティの積極的な活用を検討する段階
- » DERの無秩序な活用は、アグリゲーション事業、電力の安定供給、および国が目指す再エネの有効活用を阻害することになりかねない
- » 全てのプレーヤーが、ルールの必要性、ならびに系統運用者とアグリゲーター双方のニーズを理解した上で事業を進めることが重要

□ 多様な関係者が議論し課題を抽出する場として、セミナーを開催

- » 講演とパネルディスカッションを実施
- » 参加者（2回合計） 対面80人、リモート380人

開催概要（第1回 6月13日、第2回 9月18日）

第1回 テーマ 「DER活用の課題は何か？」

プログラム

- 13:30～13:35 (5分) 開会あいさつ
- 講演 1**  **セミナーの全体概要とDER活用の必要性**
13:35～13:55 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 副部門長 上村 敬
- 講演 2**  **基調講演「DER活用の状況と制度等の課題」**
13:55～14:25 (30分)
エネルギーリソースアグリゲーション事業協会会長 川口 公一 氏
- 講演 3**  **基調講演「EVとグリッドエッジEMSへの期待」**
14:25～14:55 (30分)
大阪大学大学院 工学研究科 特任教授 太田 豊 氏
- 14:55～15:10 (15分) 休憩
- 講演 4**  **「DER活用による電力系統への影響と課題」**
15:10～15:30 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー 八木 啓行
- 講演 5**   **「国内のVPPポテンシャル評価と市場の課題」**
15:30～15:50 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー 坂東 茂
社会経済研究所 研究推進マネージャー 西尾 健一郎
- 15:50～16:10 (20分) 休憩・パネルディスカッション準備
- 『市場や制度設計および系統接続に関する課題は何か？』**
パネルディスカッション 16:10～17:10 (60分)
テ マ : 「市場や制度設計および系統接続に関する課題は何か？」
パ ネ ラ ー : 川口公一氏 (ERA事業協会)、太田豊氏 (阪大工学研究科)、上村敬、坂東茂 (電中研)
モデレーター : 八木啓行 (電中研)
- 17:10～17:15 (5分) 閉会あいさつ
- 17:15～18:30 (75分) 懇親会・名刺交換 会費制 対面参加者のみ

第2回 テーマ 「DER活用の課題を乗り越えるには？」

プログラム

- 13:30～13:50 (20分) 開会あいさつ・第1回の振り返りとセミナーの全体概要
- 講演 1**  **基調講演「DER活用の課題、VPP・アグリゲーション運用時の課題」**
13:50～14:20 (30分)
株式会社ネクステムズ 代表取締役社長 比嘉直人氏
- 講演 2**  **基調講演「VPP・アグリゲーション運用時の課題」**
14:20～14:50 (30分)
エナジーブルージャパン株式会社 代表取締役社長 市村 健 氏
- 14:50～15:00 (10分) 休憩
- 講演 3**  **「需給調整力確保とレジリエンス向上に向けた系統用蓄電池の活用事例ー米国加州におけるNEDO国際実証事例の紹介ー」**
15:00～15:20 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 上席研究員 大嶋 英太郎
- 講演 4**  **「国外事業者のVPPリソース確保のための工夫・対策」**
15:20～15:40 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 研究推進マネージャー 坂東 茂
- 講演 5**  **「系統の慣性力不足への対応と地産地消型地域グリッド、無効電力の価値」**
15:40～16:00 (20分)
電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門 研究部門長 上村 敬
- 16:00～16:20 (20分) 休憩・パネルディスカッション準備
- 『DER活用は今後どうすべきか？』**
パネルディスカッション 16:20～17:20 (60分)
パ ネ ラ ー : 比嘉直人氏 (株式会社ネクステムズ)、市村健氏 (エナジーブルージャパン株式会社)、
太田豊氏 (株式会社eVooster)、上村敬、坂東茂 (電中研)
モデレーター : 堀富士雄 (電中研 グリッドイノベーション研究本部 研究統括室長)
- 17:20～17:25 (5分) 閉会あいさつ
- 17:25～18:30 (65分) 懇親会・名刺交換 会費制 対面参加者のみ

DER&グリッドセミナー パネルディスカッションの様子

発表時に写真掲示

- アグリゲーター、学識経験者、当所研究者が登壇

DER&グリッドセミナーで出た意見の例

課題

電力の安定供給を確保した上で、
DER活用を促進すべき

低圧のDER活用は、これから市場も
立ち上がりそうだが、課題山積

電力市場入札に対するペナルティと
インセンティブとのバランスが大事

DER側の事情を考慮した
リクワイアメントを設定してほしい

デジタル技術への期待

低圧のDER活用は 民間主導で
プラットフォームを構築するのが早道

DER活用の進展 = デジタル化の進展

DER活用への期待

EVの導入量が多くなると、
系統への影響も効果も共に大きい。
「団体交渉可能」なDER活用となる
ポテンシャルあり

連系しない家庭用バッテリーの
導入が進む可能性あり

PV+ストレージのグリッドパリティを
確保できている事例（離島）がある

水素製造は季節間貯蔵や
高温熱需要など将来の活用に期待

まとめ

- ◆ DERのフレキシビリティ供給を取扱う国外事業者の取り組みを紹介
 - 低圧DERは、通信コストを抑制できるシステムが重要
 - 適切なDERを選ぶことで、調整力の指令に対し火力発電と同等の応答は可能
 - 建築物の新築工事時などに、リソースを一括して取り込むことが有効
 - B2Bは、営業費用削減、営業機会の確保の点からも効果的
- ◆ 再エネ導入の多い農山漁村においてDERのフレキシビリティ供給を増やす取り組みとして、植物工場をDR供給源として開発したプロジェクトを紹介
- ◆ VPP事業者、エネルギー事業者、当所の研究者などが集まり、フレキシビリティ供給源としてのDERの活用に関して、お互いの理解を深めつつ、意見交換する場を設定。今後も継続的に課題を抽出していく

ご清聴ありがとうございました

R 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

DR/VPPによる系統サービス供給の海外事例

■ Mosaic Power社の他、下記の事例を文献[1][2][3]にて紹介

- バイオマスコージェネレーション中心のVPP（ドイツ）
 - ✓ 多数の自治体所有のバイオマスコージェネレーションシステムのアグリゲーションによりフレキシビリティを供給。電源の最適運用を含む管理・制御、電力の小売りを組み合わせて「エネルギーワンストップサービス」を提供する（顧客の手間の削減）。調整力市場は単体のコージェネでは市場に登録できないので、アグリゲーションにより収入を得る機会を増やしている（顧客の運用費用の削減）
- ガラスボトルメーカーのDRの例（英国）
 - ✓ ガラス材の溶融炉における電熱線負荷（4MW）を対象としたDR。ガラス溶融物の温度分布が基準範囲以内に収まるように、下げDRの容量（2MW）と継続時間（30分）を策定した事例
- 冷凍倉庫のDRの例（英国）
- アルミ精錬の例（ドイツ）
 - ✓ 氷晶石からアルミニウムへと還元反応プロセスにおける直流電源負荷を対象としたDR。ドイツの一次調整力市場への参加を自社で検討し、消費電力の上げ指令実施時のポッドの温度上昇がネックになると解析。熱交換器をつけて解決し、一次調整力に参加中
- EVフリートのDRの例（オランダ）

[1] 山田智之, 坂東茂; “欧米のアンシラリーサービス供給における需要側資源の活用動向調査 - 関連制度とリソース実例 -”, エネルギー・資源学会論文誌 Vol.41(5), p.219-225 (2020年9月)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jiser/41/5/41_219/article-char/ja/

[2] 山田智之, 坂東茂; “国外の調整力市場における需要側資源の活用動向—米独英の制度とビジネス事例の調査—”, 電気学会論文誌B, Vol.143(10), p.552-558, (2023年10月)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/143/10/143_552/article-char/ja/

[3] 坂東茂・山田智之: 「調整力市場の高速カテゴリにおけるリソースアグリゲーション活用のケース分析」, 第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2021年1月)

参考文献

1. 「2021年度～2022年度成果報告書 N E D O先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム/植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発」NEDO成果報告書データベース（報告書管理番号20230000001046）（2023）
2. 第1回DER&グリッドセミナー「DER活用の課題は何か？」(2024).
<https://egsweb.denken.or.jp/research/dergrid-seminar-1/>
3. 第2回DER&グリッドセミナー「DER活用の課題を乗り越えるには？」(2024).
<https://egsweb.denken.or.jp/research/dergrid-seminar-2/>
4. 山田智之, 坂東茂: 欧米のアンシラリーサービス供給における需要側資源の活用動向調査 - 関連制度とリソース実例 -, エネルギー・資源学会論文誌 Vol.41(5), p.219-225 (2020) .
5. 山田智之, 坂東茂: 国外の調整力市場における需要側資源の活用動向—米独英の制度とビジネス事例の調査—, 電気学会論文誌B, Vol.143(10), p.552-558 (2023) .
6. 坂東茂・山田智之: 「調整力市場の高速カテゴリにおけるリソースアグリゲーション活用のケース分析」, 第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2021).



【個別報告】 需要側資源の活用（２） —フレキシビリティ資源としてのDERの 社会実装に向けた新たな取り組み—

電力中央研究所
グリッドイノベーション研究本部 ENIC研究部門
研究推進マネージャー（ヒートポンプ・電化技術）

副研究参事 橋本 克巳

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024

本発表の位置づけ

RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 需要側機器によるフレキシビリティ向上への期待
- 需要側機器では、**お客様に受け入れて頂けることが重要**
 - フレキシビリティ向上のために、初期コスト・ランニングコストが増加すると、対応機器がお客様に選択されにくい
 - フレキシビリティ向上がお客様の商品選択理由となるような訴求力が必要
 - **便益提供とフレキシビリティ向上の両立が重要**
- 需要側機器の便益提供とフレキシビリティ向上の両立に関する当所での研究事例、及び、普及に向けた課題

© CRIEPI 2024

1

報告内容

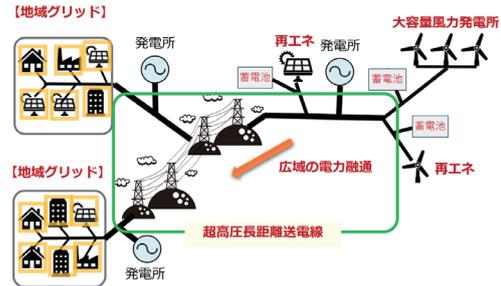
1. 需要側機器とフレキシビリティ
2. 便益提供とフレキシビリティ向上の両立
～当所の取り組み事例～
3. 更なるフレキシビリティ活用に向けた課題
～家庭用ヒートポンプ給湯機を例として～
4. まとめ

報告内容

1. 需要側機器とフレキシビリティ
2. 便益提供とフレキシビリティ向上の両立
～当所の取り組み事例～
3. 更なるフレキシビリティ活用に向けた課題
～家庭用ヒートポンプ給湯機を例として～
4. まとめ

フレキシビリティ供給可能な需要側DERとは

■ 本報告では、需要側DERとは、お客様側で電力を消費し、エネルギーとして蓄え、また、必要に応じて供給（消費の抑制を含む）する機器とする



社会に存在するDER

- | 家庭部門 | 業務部門 | 産業部門 | 運輸部門 |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> エアコン ヒートポンプ給湯機 蓄電池 PV | <ul style="list-style-type: none"> 空調機器 + 大規模蓄熱槽 業務用ヒートポンプ給湯機 厨房電化機器 | <ul style="list-style-type: none"> ヒートポンプ 電気炉（抵抗加熱、赤外線加熱、IH加熱） 蓄熱空調機器 植物工場 | <ul style="list-style-type: none"> 家用EV 商用EV 充電設備 V2X |

需要側機器のフレキシビリティ資源としての特徴

■ 需要側機器は、用途、エネルギーの使い方、蓄え方等に、それぞれの特徴を有する。フレキシビリティ向上へ活用する場合も、その特徴を活用し、主たる便益の提供と両立させる必要がある

	エアコン	ヒートポンプ給湯機	電気自動車(EV)	蓄電池
機能・用途	空調（冷房・暖房）	給湯	輸送	蓄電
日常生活	必要	必要	必要	非常時利用
入力	電力	電力	電力	電力
貯める		お湯（熱）	化学エネルギー	化学エネルギー
供給便益	空調（熱）	お湯（熱）	輸送	電力
フレキシビリティ向上	・（出力調整し）消費電力抑制（下げDR）	・ 運転時間変更（余剰再エネ電力活用（上げDR）、需給逼迫対応（下げDR）） ・ 沸き上げ能力制御	・ 充電時刻変更（余剰再エネ電力利用（上げDR）） ・ 放電時刻調整（下げDR）	・ 充電（上げDR） ・ 放電（下げDR） ・ 充放電電流制御
懸念	不快、熱中症等	湯切れ	電欠	充電不足
追加設備・機能	計測、制御高度化、通信機能、（蓄熱）	計測、制御高度化、通信機能、計測	計測、制御高度化、通信機能、インターフェース(V2G,V2H)	計測、通信機能、制御高度化

需要側機器をフレキシビリティ資源とする場合に 考慮すべきこと

- お客様は、空調や給湯など自らの便益のために需要側機器を購入するのであって、「社会システムの最適化」のために身銭を切るわけではない
- 需要家便益が、フレキシビリティ資源より優先される



- DERのフレキシビリティの活用には、以下が求められる
 - ① 本来の便益を確保した上で、フレキシビリティを提供しうる機器（両立）
 - ② 需要側機器によるフレキシビリティ提供に伴うお客様の明確なメリット

報告内容

1. 需要側機器とフレキシビリティ
2. 便益提供とフレキシビリティ向上の両立
～当所の取り組み事例～
3. 更なるフレキシビリティ活用に向けた課題
～家庭用ヒートポンプ給湯機を例として～
4. まとめ

需要側機器による便益提供と フレキシビリティ向上の両立

当所の実証事業を含め研究成果から、以下をご紹介します

- (1)住宅断熱性の違いによるエアコンの**デマンド調整（下げDR）**と快適さの関係
- (2)植物工場の**デマンド制御（上げ、下げDR）**と植物育成
- (3)**余剰再エネ電力を積極的に消費するヒートポンプ給湯機（需要シフト）**



家庭部門

- ・ **エアコン** ←(1)
- ・ **ヒートポンプ給湯機** ←(3)
- ・ PV
- ・ 蓄電池



業務部門

- ・ 空調機器 + 大規模蓄熱槽
- ・ 業務用ヒートポンプ給湯機
- ・ 厨房電化機器



産業部門

- ・ 蓄熱槽を持つヒートポンプ
- ・ 電気炉（抵抗加熱、赤外線加熱、IH加熱）
- ・ 蓄熱空調機器
- ・ **植物工場** ←(2)



運輸部門

- ・ 自家用EV
- ・ 商用BEV
- ・ 充電装置
- ・ V2X

(1) エアコンのデマンド制御時の快適性の検討

背景

- 需給ひっ迫時の発動を想定し、**次世代スマートメータには電流制限機能が付与される**
- DR活用の視点から、電流制限時のエアコンの特性評価が必要



懸念事項

- エアコンの消費電力をある値以下に制限することで、室内の快適性が維持できなくなる恐れがある
- 長時間に及ぶと、熱中症や低体温症の発症も懸念される

当所の研究

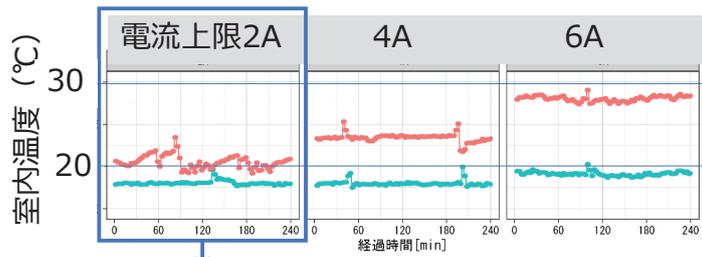
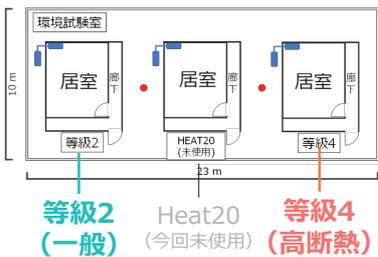
断熱等級が異なる住宅において、エアコンに電流制限^(注)を設けた場合の、室内温度の変化を**実験住宅で検証**

(注) 電流センサ・温度センサと学習リモコンを用いて、エアコンの消費電流およびエアコン吸込口近傍の空気温度の測定値に応じてエアコンの設定温度・風量を変更し、エアコンの電流を目標値以下に抑えるための制御装置（自作）を設置

(出典)：上野・安田・宮永“住宅のレジリエンス向上に資する技術の開発—電力ひっ迫時等にエアコンを利用可能にする外部制御装置の試作—”電力中央研究所報告, GD22011 (2023)

(1) 高断熱高気密住宅では エアコンをデマンド調整しても快適さが維持

- 環境試験室に**等級2**と**等級4**の居室。同一のエアコンを設置
- 温度と電流を計測し、設定された電流上限値以下になるようリモコン設定温度と風量を制御する装置を外付け（電流上限値：2A, 4A, 6A）
- 居室内温度を計測（下図：環境試験室2℃（冬期）、エアコン暖房）
- **高断熱居室（等級4）**であれば、エアコンのデマンド制御下でも快適さを維持できることを**実際に確認**（立上時や急激な負荷変動時を除く）
- フレキシビリティ向上への寄与が期待できる



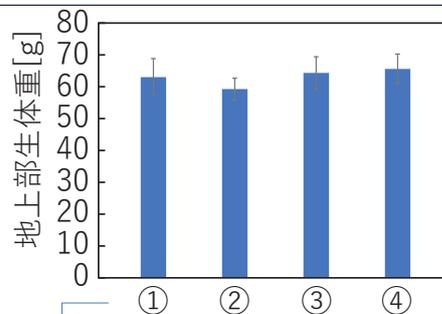
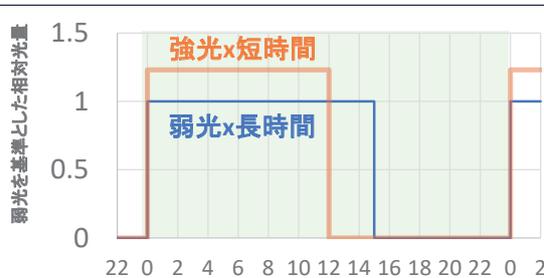
冬季（暖房）において、エアコンの電流を2Aに制限した場合でも、室内温度は**一般住宅（等級2：水色）の18℃**に対し、**高断熱住宅（等級4：オレンジ色）では20℃**に維持できた

- ・ 環境試験室内には断熱等級が異なる三つの居室があるが、そのうち二つを使用
- ・ 在室/不在も模擬可能

（出典）：上野・安田・宮永“住宅のレジリエンス向上に資する技術の開発—電力ひび迫時等にエアコンを利用可能にする外部制御装置の試作—”電力中央研究所報告, GD22011 (2023)

(2) 離島電化植物工場を用いたデマンド制御～光～

- NEDOプロ（宮古島）にて植物工場のデマンド制御（個別報告4で紹介）
- LED調光で上げ・下げDRを行う場合、**積算照射光量（消費電力量）が同等であれば同等の育成**になることを確認
→ **消費電力量(kWh)が同等であれば、消費電力(kW)は変更可能**
→ この知見をDR活用することを検討
- **フレキシビリティ向上への寄与が期待できる**（作物毎の試験は必要）



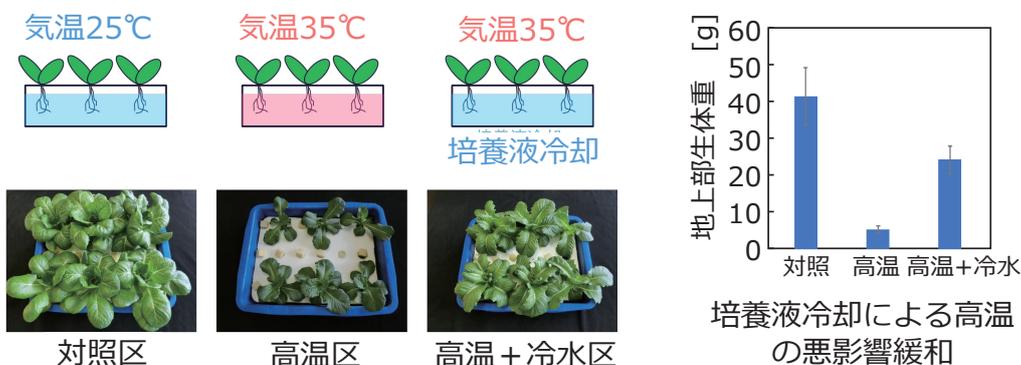
強光x短時間と弱光x長時間の1日照射パターン

- ① 弱光x長時間（2週間）の後、強光x短時間（2週間）
- ② 弱光x長時間（2週間）の後、弱光x長時間（2週間）
- ③ 強光x短時間（2週間）の後、弱光x長時間（2週間）
- ④ 強光x短時間（2週間）の後、強光x短時間（2週間）

積算光量が等しい各種DR条件での栽培結果

(2) 離島電化植物工場を用いたデマンド制御～温度～

- 空調と培養液の調温を停止：生育に悪影響を与える（下図：対照と高温）
- 培養液の調温（24℃）のみを継続：生育が**改善する**（下図：高温+冷水）
- フレキシビリティ向上と植物生育の両立に向けて課題が明確になった



実用化に向けた課題

- 地上部生体重改善のための調温についての検討、作物毎の実証
- 高温では植物からの蒸散量が増加し湿度が上昇する
これは長期的な影響（カビ・雑菌繁殖）を及ぼす可能性があるため、湿度管理についての検討が必要

(3) ヒートポンプ給湯機

需要側機器による脱炭素化の切り札

- 需要側機器による脱炭素化には**省エネ×電化×脱炭素電源の活用**が有効
- ヒートポンプ給湯機は**省エネ×電化**に有効であり、**脱炭素電源（PVの余剰電力）の活用**に対応した機種が発売済

- (1) **省エネ×電化**：一次エネ消費の削減が可能
 - (2) **脱炭素電源の活用**：再エネ余剰電力の積極的な消費
- さらに、
- (3) 実用技術、かつ、累積出荷台数が約1000万台
 - (4) 再エネである**大気熱を活用**できる
 - (5) フレキシビリティへの貢献が期待できる機器として注目

（参考）家庭用ヒートポンプ給湯機～開発経緯と特徴

- 当所は1985年よりヒートポンプを用いた給湯に注目、1995年から自然冷媒CO₂に着目し基礎研究に着手、1998年から共同で開発した家庭用CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機が2001年に商品化

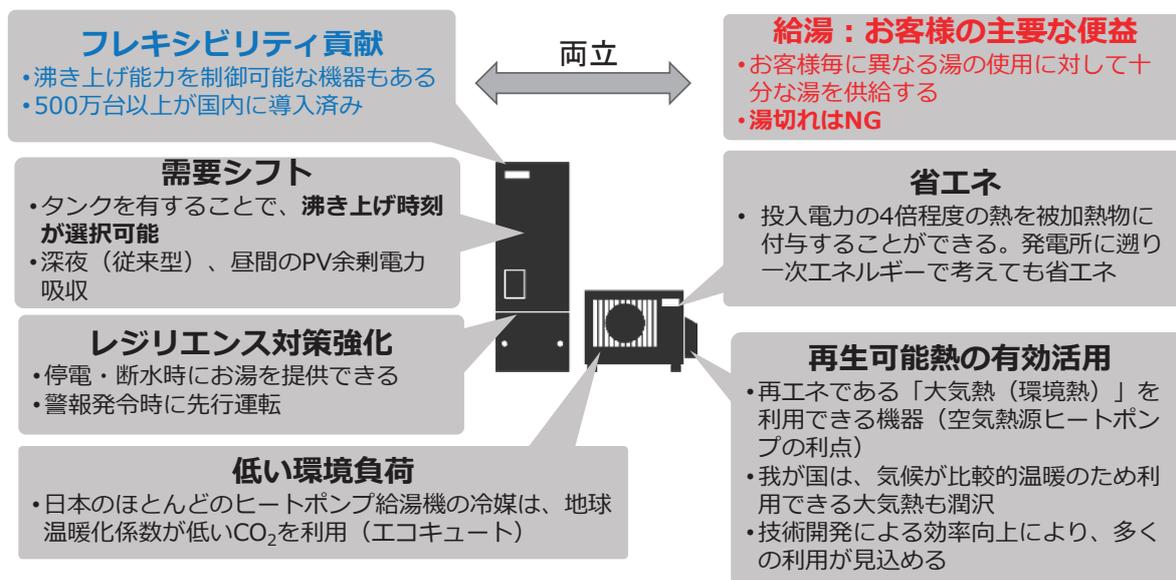
当所の寄与

- 1995～
 - ・ オゾン層を破壊せず、地球温暖化効果も低く、毒性なく、非可燃のCO₂冷媒研究にいち早く着手
 - ・ CO₂が、給湯に最適な冷媒であることを理論的に解明
 - ・ 実験で超臨界CO₂による給湯を検証
- 1998-2001
 - ・ 東京電力、デンソーと共同開発
- 2001
 - ・ 商品化、「エコキュート」の誕生



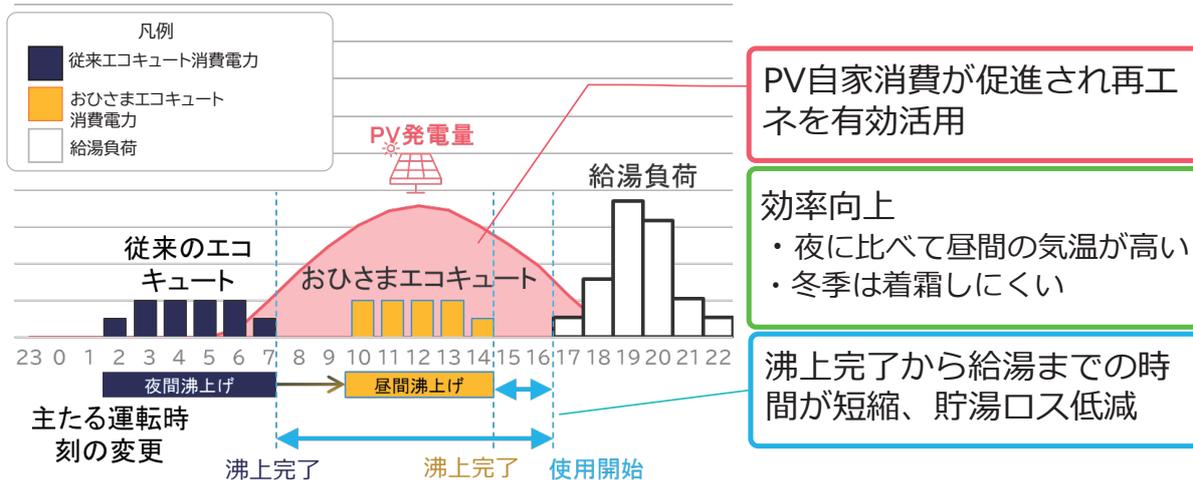
（3）家庭用ヒートポンプ給湯機を例とした 需要家便益との両立に関する取り組み

- ヒートポンプ給湯機には、様々な便益があるが、お客様の主要な便益である給湯が最優先される



(3) 家庭用ヒートポンプ給湯機 ～おひさまエコキュート～

- PVの余剰電力活用に向け、昼間焚き上げ方式の「おひさまエコキュート」を開発（電中研も参画）
- お客様便益は、従来機と同等を確保
- 昼間運転による効率向上による、新たな需要家メリットを創出
- PV出力が少ない（曇天・雨天）場合も考慮した電気料金メニューを提供



© CRIEPI 2024

16

(3) 家庭用ヒートポンプ給湯機 ～おひさまエコキュートの実績～

- メーカー、東京電力、当所が開発したおひさまエコキュートを、PVが設置された実際の住宅で試運用した結果

- 期間平均の昼間消費電力量比率は**85%**となった
- 期間平均のPV自家消費率は**89%**（従来型に比べ32ポイント改善と推算）
- 期間平均のヒートポンプ効率が**11.6%向上**（運転時平均外気温度が4.4℃高い）

期間平均値	
昼間消費電力量比率	85%
自家消費率の押し上げ効果	
①PV自家消費率（実績）	89%
②PV自家消費率（従来）	57%
差分（①－②）	32
省エネ性能の向上	
外気温度（℃）③HP運転時	16.1
ヒートポンプ本体の成績係数（おひさまエコキュート）	3.77
外気温度（℃）④夜間平均	11.7
ヒートポンプ本体の成績係数（夜間平均温度での推定値）	3.38
差分（③－④）	4.4

（出典）：八木橋ら，住まいとでんき，Vol.35，2023，November，pp17-20表4より作成

© CRIEPI 2024

17

報告内容

1. 需要側機器とフレキシビリティ
2. 便益提供とフレキシビリティ向上の両立
～当所の取り組み事例～
3. 更なるフレキシビリティ活用に向けた課題
～家庭用ヒートポンプ給湯機を例として～
4. まとめ

3. 更なるフレキシビリティ活用に向けた課題～家庭用ヒートポンプ給湯機を例として～

家庭用ヒートポンプ給湯機のDRポテンシャル

- 一台当たり消費電力は1kW程度だが、少なめに見積もって500万台（下表）が稼働中（累積出荷台数は約940万台）
→ フレキシビリティへの貢献ポテンシャルは大
- ただし、DR（デマンドレスポンス）対応機種への切替が必要
- 需要家側DER機器の普及には、お客さまが「DR対応機種」を欲しがるような仕組みが必要

年度毎の出荷台数から試算した家庭用ヒートポンプ給湯機のストック台数（電中研）

ストック台数試算（10年買い換え）	520万台
ストック台数試算（15年買い換え）	770万台
【参考】2023年度末の累計出荷台数	940万台
【参考】戸建て住宅世帯数 ^[1]	2745万户
【参考】総世帯数 ^[1]	5622万世帯

ヒートポンプ給湯機のフレキシビリティ活用に向けて

- おひさまエコキュートは、通信機能と高度な制御なしでも、需要シフトによるPV余剰電力の活用と、お客様便益（湯切れ防止、経済的負担抑制）の両立が可能



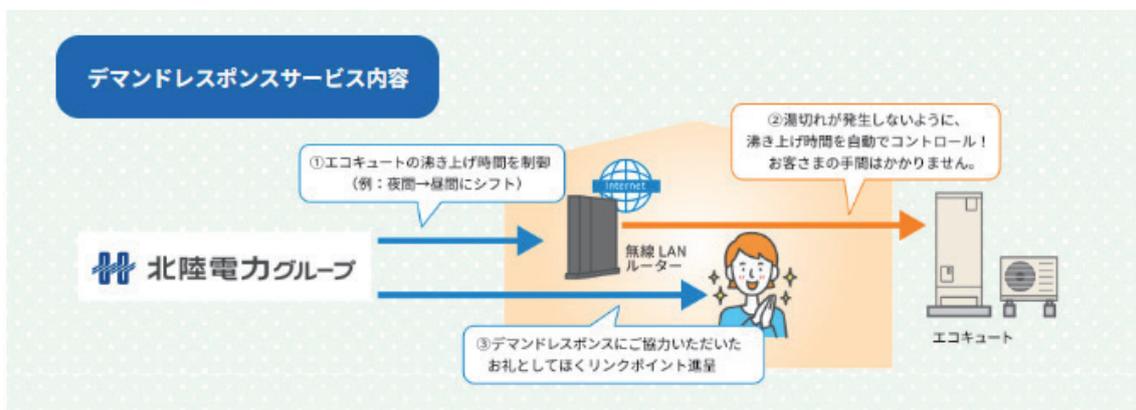
- ヒートポンプ給湯機を本格的なフレキシビリティ資源とするには、外部との連携機能（計測・通信・制御）が必要
(常時ではなくてもよい)



- DR対応機器（計測・通信・制御装置を標準装備）がお客様から強く求められるような、多様なインセンティブや環境性評価などが必要

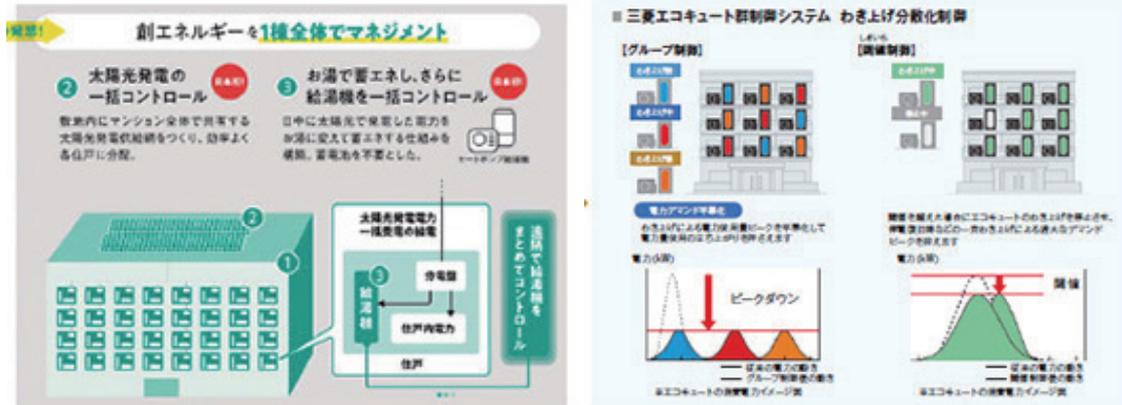
(参考) 機器リース+DR : Easyキュート 北陸電力様

- エコキュートリース（6050円/月）に対し、エコキュートリース+DR（5500円/月）をご提案
- DR協力でポイント還元
- 湯切れが無い制御



(参考) マンションの全住戸に備えたエコキュートを群制御
 ～ ZEHモデル「Solei-Yu」(三菱地所レジデンス様、三菱電機様、NextPower様) ～

- 一括受電マンション、全室(528戸)エコキュート設置
- 屋上に400kWのPV設備を設置
- 蓄電池によらないPV自家消費
- エコキュートの沸き上げ時間帯のスケジューリングを、アグリゲーターが遠隔制御する群制御システム(数十～数百台)を開発し、再エネ活用しつつ、デマンド抑制



© CRIEPI 2024

(出典) : https://www.nef.or.jp/award/kako/r05/b_14.html

22

家庭用ヒートポンプ給湯機対応機器の開発・普及 に向けた業界団体の動き

日本冷凍空調工業会

- DR対応機器として求められる機器として「自律制御型DR」と「外部指令応答型DR」に分類^[1]
- 給湯機器メーカーと電力会社、双方に求められる仕様と契約要件を検討^[1]

日本電機工業会(JEMA)

- 料金メニューを網羅し、随時更新するデータベースの構築を提案^[2](機器側から参照する)

(出典) : [1] 日本冷凍空調工業会、第44回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会

(出典) : [2] JEMA機関誌「電機」、JEMA75周年記念特集、この5年間(2018～2022年)における電機業界およびそれを取り巻く動向とJEMAの取組み

© CRIEPI 2024

23

まとめ

- 需要側機器によるフレキシビリティ向上への期待
- 需要側機器では**お客様に受け入れて頂けるため**には、
 - ▶ 便益提供とフレキシビリティ向上の両立が必要
- 当所の取り組み事例として、エアコン、植物工場、家庭用ヒートポンプ給湯機について、本来便益の毀損が少ないフレキシビリティ提供に関する研究成果を紹介
 - ▶ 特に、おひさまエコキュートでは、昼間の再エネ余剰電力の効果的な消費と共に、効率向上を実現することで、お客様への有効な訴求力となっている

ご清聴ありがとうございました

R 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献

1. 上野・安田・宮永：住宅のレジリエンス向上に資する技術の開発—電力ひっ迫時等にエアコンを利用可能にする外部制御装置の試作—, 電力中央研究所報告, GD22011 (2023).
2. 「2021年度～2022年度成果報告書 N E D O先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム/植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発」NEDO成果報告書データベース (報告書管理番号20230000001046) (2023)
3. 八木橋 他：おひさまエコキュートの実フィールド計測, 住まいとでんき, Vol.35, November, pp17-20 (2023).
4. 総務省：令和5年住宅・土地統計調査 (2024).
5. 北陸電力株式会社：Easyキュート.
https://www.rikuden.co.jp/home/easy_cute.html
6. 一般財団法人新エネルギー財団：令和5年度新エネ大賞 新エネルギー財団会長賞.
https://www.nef.or.jp/award/kako/r05/b_14.html
7. 日本冷凍空調工業会：第44回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会 資料1 (2024).
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/044_01_00.pdf
8. JEMA：JEMA75周年 記念特集 この5年間 (2018～2022年) における電機業界およびそれを取り巻く動向とJEMAの取組み, 機関誌「電機」, 2023年6月号から2024年2月号 (2023,2024).

付録:用語解説

電力中央研究所

© CRIEPI 2024

電力中央研究所

用語解説(1/4)

No	用語	解説
1	AR	Area Requirement (地域要求量) 地域の需給を均衡状態に戻すために必要な電力量
2	BTM	Behind The Meter (受電点より需要家側)
3	DER	Distributed Energy Resources (分散型エネルギーリソース) 需要家エネルギーリソース (DSR) に加えて、系統に直接接続される発電設備、蓄電設備を総称するもの
4	DR	Demand Response (デマンドレスポンス) DSRの保有者もしくは第三者が、DSRを制御することで、電力需要パターンを変化させること
5	DSR	Demand Side Resources (需要家エネルギーリソース) 需要家のBTMに接続されているエネルギーリソース (発電設備、蓄電設備、需要設備)を総称するもの
6	EDC	Economic load Dispatching Control (経済負荷配分制御)
7	EMS	Energy Management System (エネルギーマネジメントシステム)

© CRIEPI 2024

1

用語解説(2/4)

No	用語	解説
8	FTM	Front of The Meter (受電点より系統側)
9	HP	Heat Pump (ヒートポンプ)
10	LFC	Load Frequency Control (負荷周波数制御)
11	PCS	Power Conditioning System (パワーコンディショナ/直流交流変換装置)
12	PJM	米国北東部地域における地域送電機関
13	PMU	Phasor Measurement Unit
14	SVR	Step Voltage Regulator (電圧制御機器)
15	VPP	Virtual Power Plant (仮想発電所) DERの保有者もしくは第三者が、DERを制御 (DSRからの逆潮も含む) することで 発電所と同等の機能を提供すること
16	フレキシ ビリティ	出力を柔軟に変化させることが可能な能力

用語解説(3/4)

No	用語	解説
17	プロシューマー	生産消費者。発電設備・貯蔵設備を保有する需要家
18	ホスティング キャパシティ	連系可能量。系統増強などの追加コストなしで電力系統に接続できる地点別のDER 上限量
19	レジリエンス	(電力ネットワーク全体を対象とした) 強靱性、回復力
20	逆潮流	分散型電源設置者の構内から、一般送配電事業者が運用する電力系統側へ向かう 有効電力の流れ
21	系統混雑	変電所や送配電線などの系統設備に流れる想定潮流がその運用容量を超過すること
22	広域メリット オーダー	複数のエリアからなる広域大で、発電による限界費用の低い順に電源を並べたもの
23	広域連系系統、 広域系統 (基幹系統)	地域間連系設備および地内基幹送電線等 (主に上位2電圧) の系統

用語解説(4/4)

No	用語	解説
24	地域グリッド	地域の電力需給に着目した、配電系統+ローカル系統の概念
25	調整力	供給区域における周波数制御、需給バランス調整、その他の系統安定化業務に必要な発電設備、電力貯蔵装置、デマンドレスポンスその他の電力需給を制御するシステムその他これに準ずるものの能力
26	電力系統	電力の発生から消費に至るまでの一貫した物理的な電力供給システムで、水力・火力および原子力等の発電所、送電線、変電所、配電線、負荷等から構成される
27	電力システム	電力系統の設備とその運用や電気事業制度も含めた全体を表す

出典：

- (1) No3、4、5、12、15、19、20、22、23、25：
「電力広域的運営推進機関（OCCTO）ウェブサイト」（<https://www.occto.or.jp/>）を基に作成（一部変更）
- (2) No21：「電気学会ウェブサイト」（https://www.iee.jp/pes/termb_159/）
- (3) No27：「電力システムのコモンセンス1」（電気新聞（2024年6月5日））を参考に作成

電力中央研究所

〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1 大手町ビル 7 F

TEL : 03-3201-6601 (代)

<https://criepi.denken.or.jp/>

[無断複写・複製を禁じます]