

【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) 本日はご報告する研究成果

報告内容

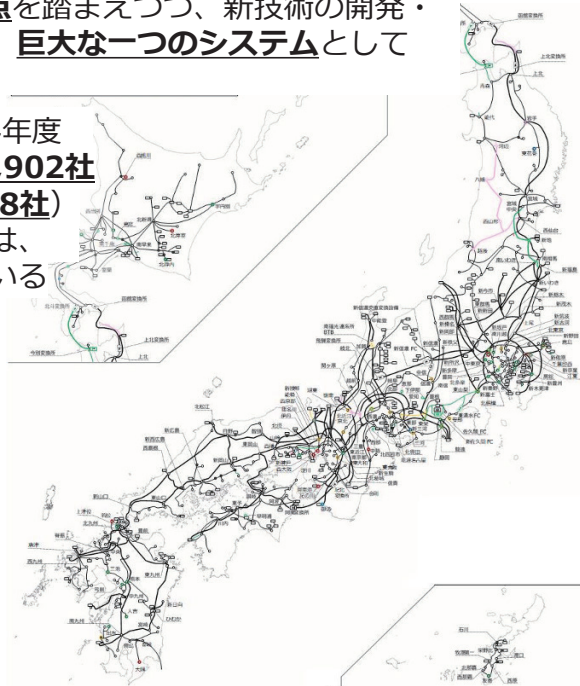
1. 電力システムのこれまで
2. 系統利用(需要と供給)の見通し
3. 電力システムの将来展望
4. まとめ
 - (1) 研究成果のご報告に当たっての視座
 - (2) 本日はご報告する研究成果

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

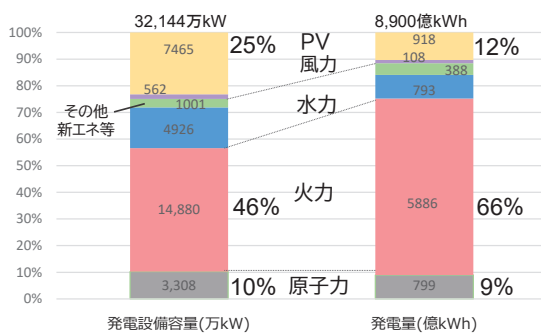
事業者区分	事業者数
発電事業者	1,108
小売電気事業者	680
特定卸供給事業者	60
登録特定送配電事業者	33
特定送配電事業者	8
送電事業者	3
一般送配電事業者	10
配電事業者	0
合計	1,902



現在の電力システム（需給の概況）

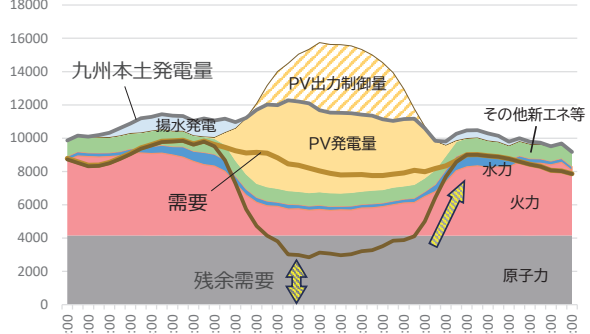
- 原子力の再稼働が進みつつあるが、なお**火力電源が全体需給のベースを支え、調整力や需給バッファとしての機能**も果たし、重要な役割を担う
- 再エネ電源の導入が進み、2024年には東京エリアを除く全エリアで調整力（下げ代）不足による再エネ抑制が発生
- 残余需要は、**昼間帯の更なる低下、点灯帯の立ち上がりの急峻化**が進み、タイトな需給運用となっている

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

九州本土の日間発電量カーブ



※ 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

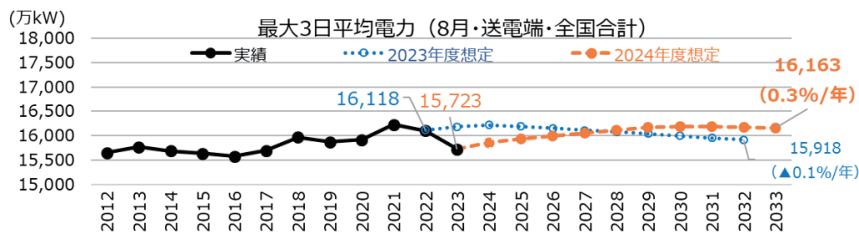
- ・ 下げ代含む調整力確保の困難化、再生出力抑制
- ・ 短中期の需給バッファ(kW,kWh)の縮小、需給ひっ迫対応の脆弱化 等

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

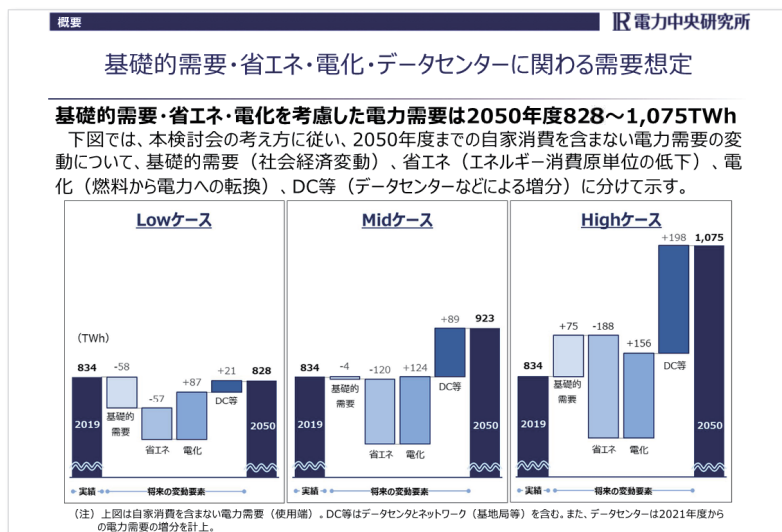
供給計画における電力需要の見通し

- 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**高低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**)



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



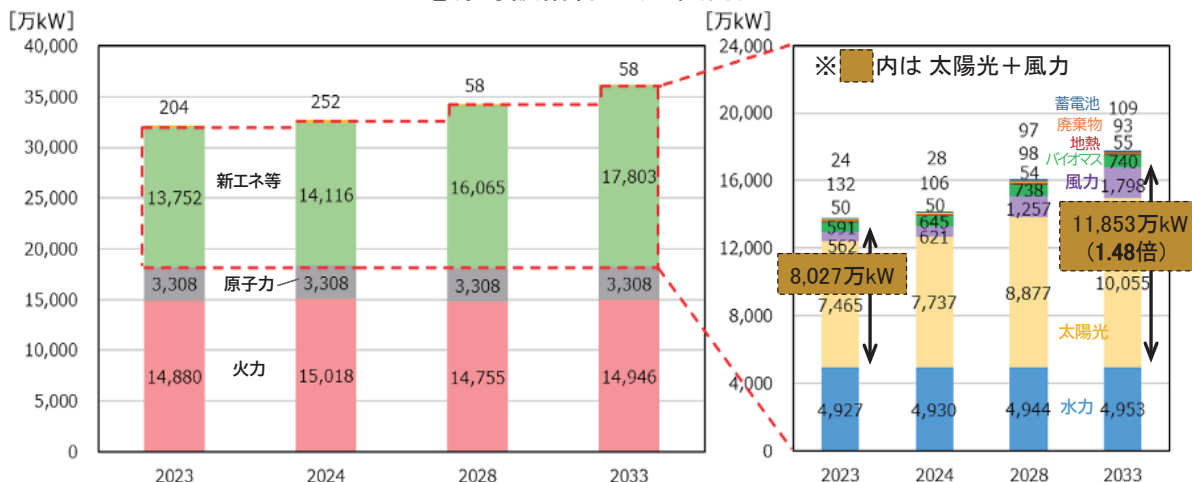
(出典) : 電力広域的運営推進機関「将来の電力需給シナリオに関する検討会第4回検討会」(2024年3月5日開催)」資料

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

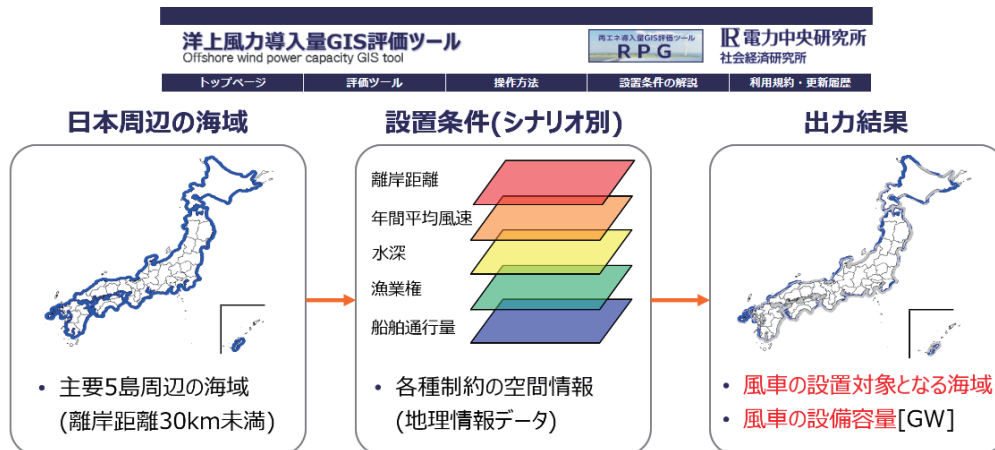
- **変動性再エネの導入が進展(10か年で48%増)**する一方、調整力としても必要となる**火力電源は横ばいもしくは減少**する。**需給調整は今後よりタイトになる**と想定される
- **需要動向や系統制約とのマッチングは必ずしも考慮されていない**ことにも留意が必要

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

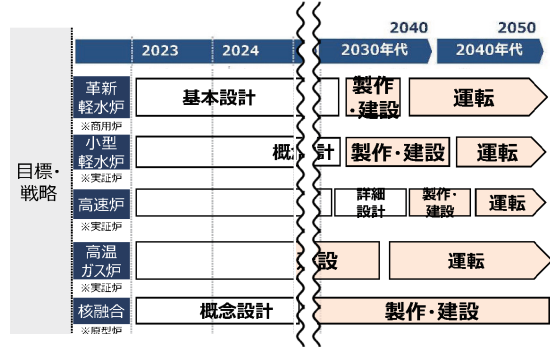


ペロブスカイト太陽電池



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

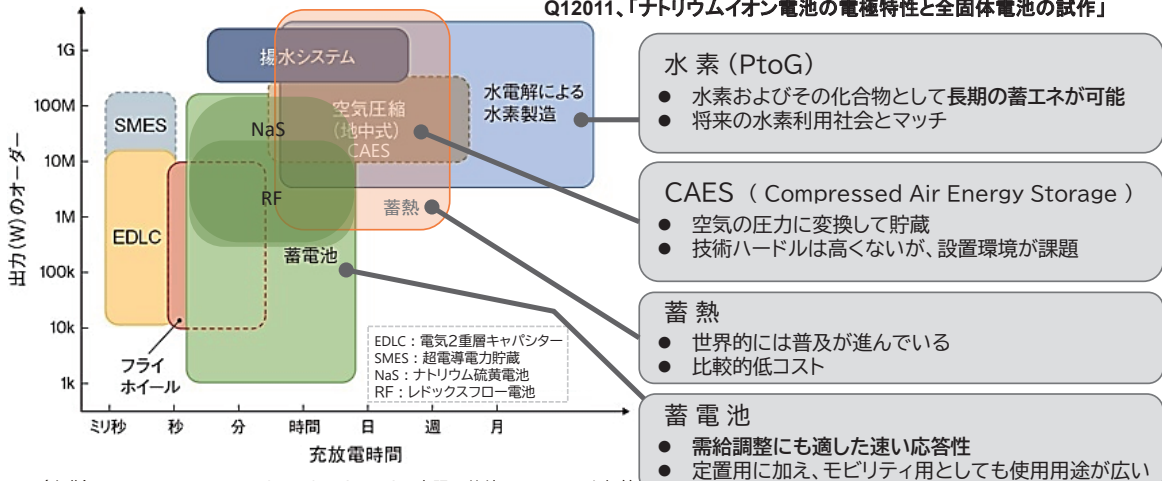
(出典) : 資源エネルギー庁 “GXにおける次世代革新炉の動向”より一部抜粋加工

(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

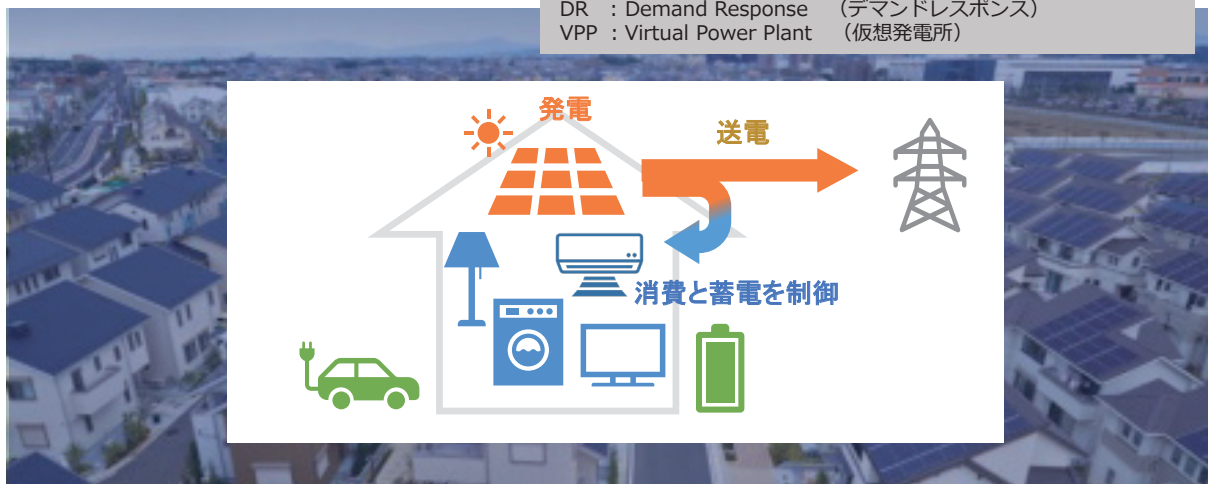
需要サイドで起こる変化への期待 －プロシューマーの拡大－

- 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)

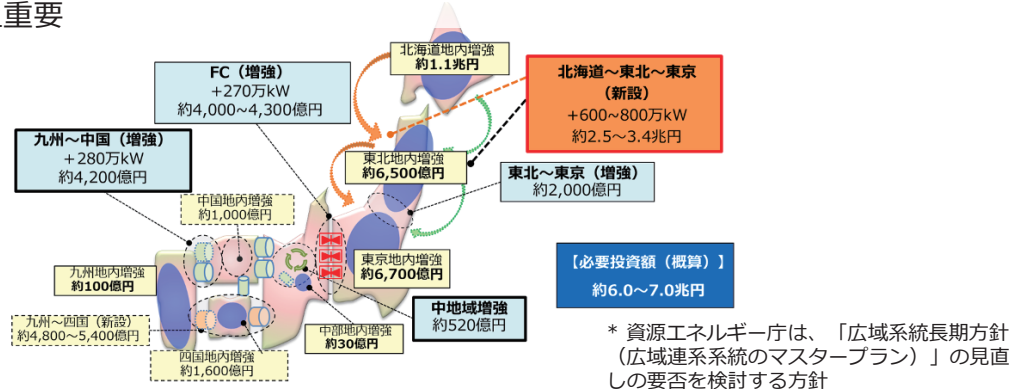


報告内容

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、再エネ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

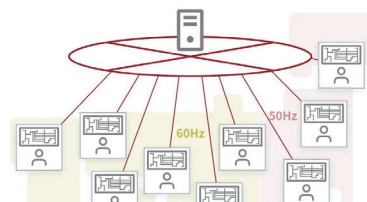
16

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、**再エネ発電量予測技術**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

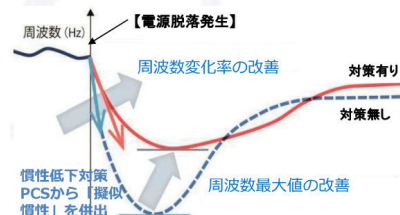


個別報告1において紹介

（出典）送配電システムズ合同会社ウェブサイトより

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）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

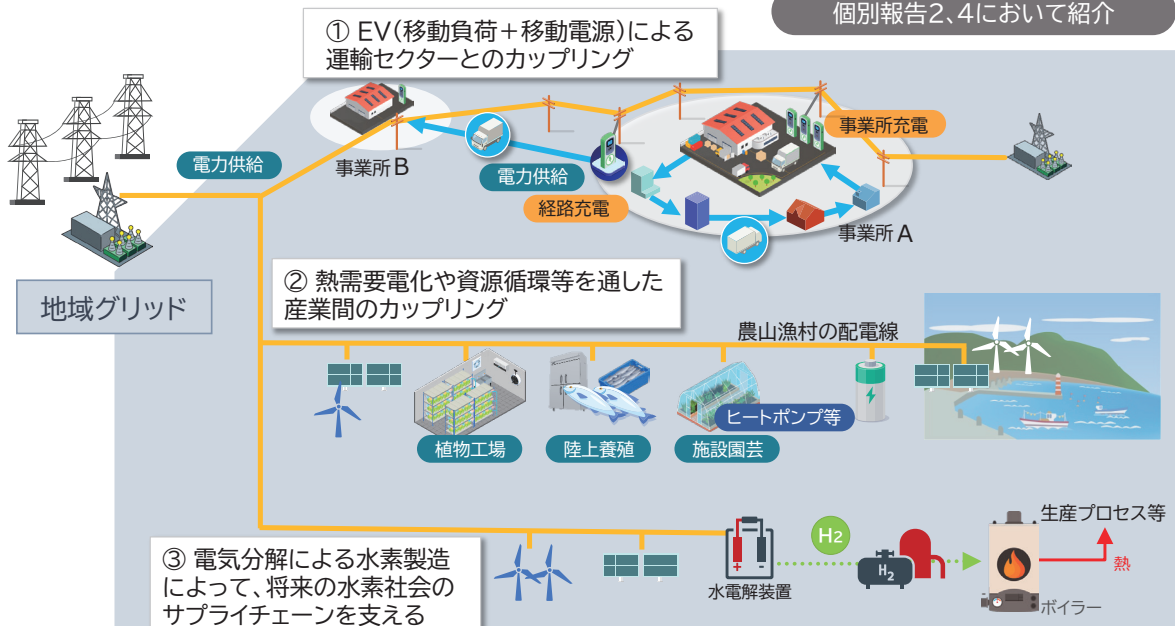
電力システムの展望【地域グリッド】

- 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



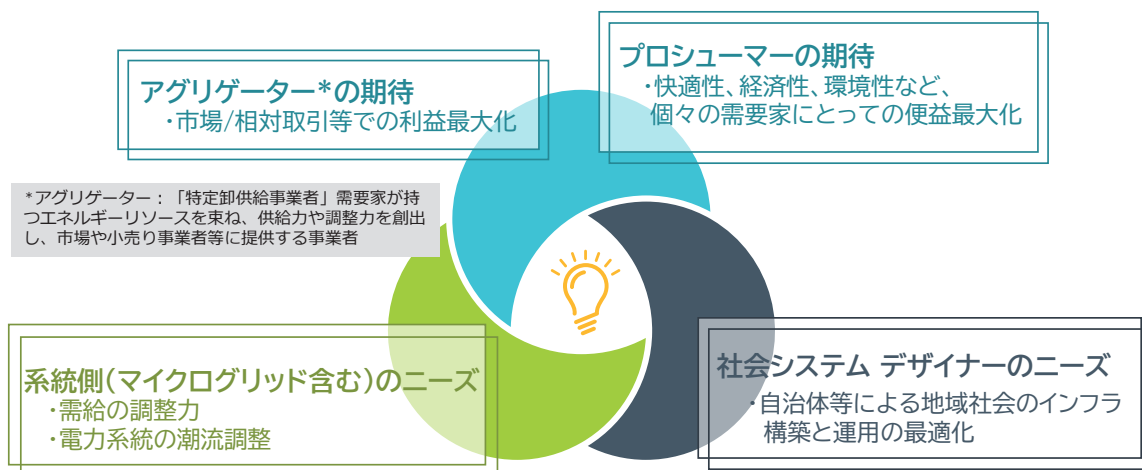
プロシューマーが可能にする 脱炭素社会システムの最適化

- 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**



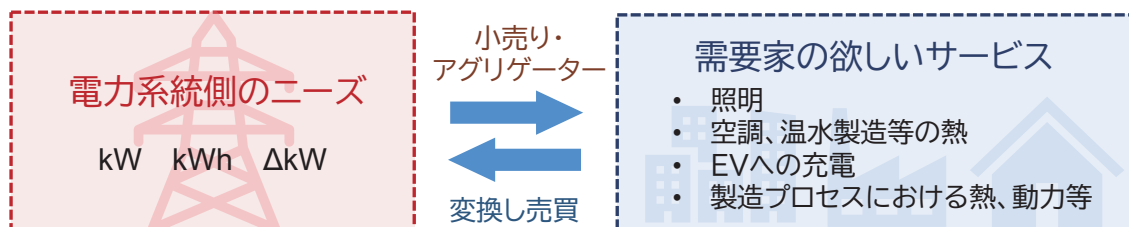
フレキシビリティの活用に向けて

- 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

本日まで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

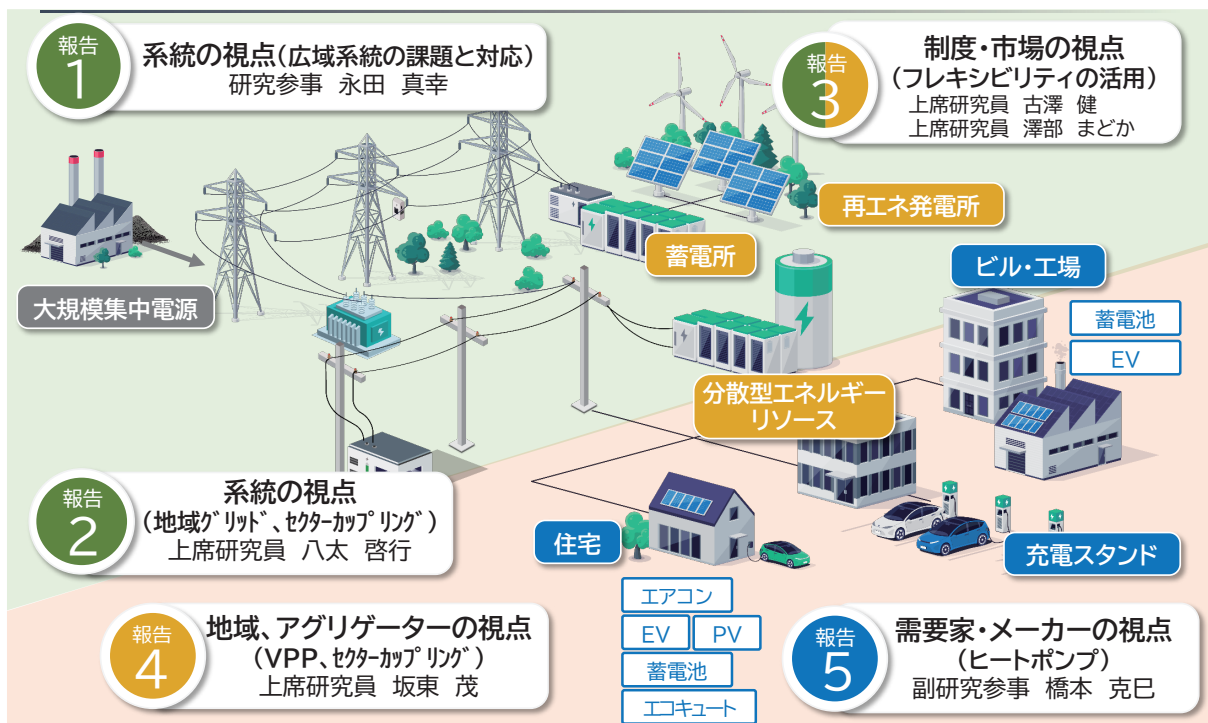
需要側資源の活用(2)

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

