

送配電の広域化・中立化

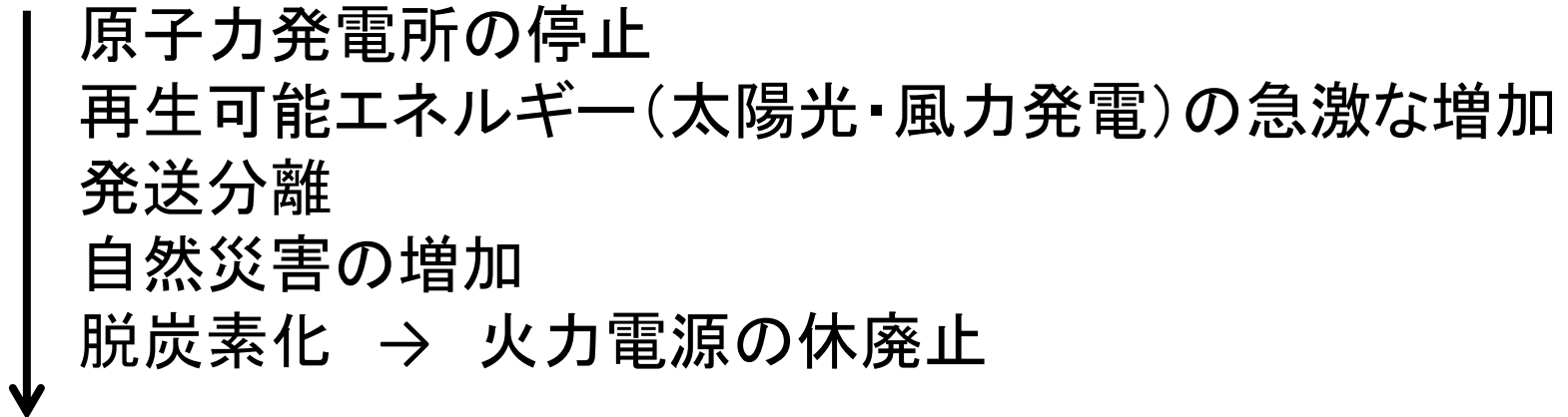
— 送配電ネットワークの計画・運用と安定供給の視点から —

東京大学

横山明彦

送配電ネットワークを取り巻く環境の変化

2011.3.11 東日本大震災



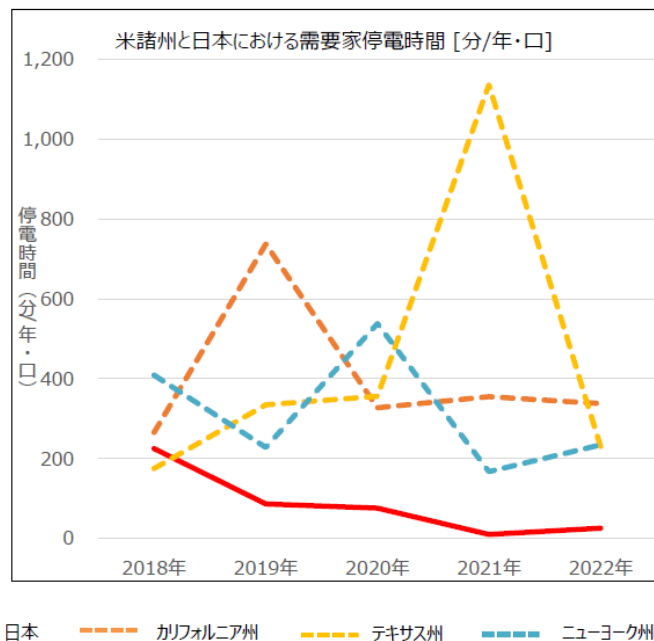
送配電ネットワークの全体最適化
＋
安定供給(供給信頼性の維持)



系統運用の一層の広域化 → 全国中給の設置
基幹系統の増強 → マスタープラン策定

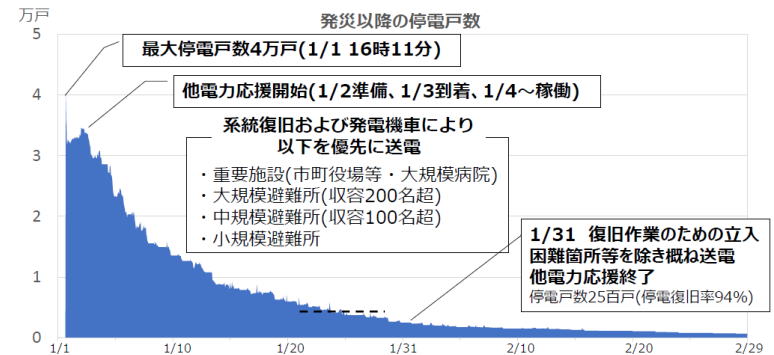
電力システムの信頼性、レジリエンスの維持

- ・供給信頼性については、昨今の需給逼迫にかかわらず、なんとか維持されている。
- ・災害復旧時間などレジリエンスについても、台風などの風水害、地震被害の拡大にもかかわらずよく維持されている。

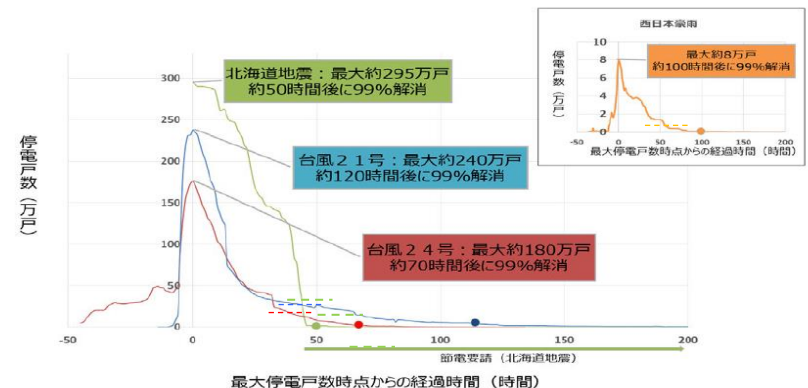


※1 日本は低圧のみを測定、米国主要州は全電圧のデータを測定。
 ※2 日本は4月1日から翌年3月31日、欧米各国は1月1日から当年12月31日のデータを集計。

(出典) 2024 年1月22日電力ガス基本政策小委資料3から抜粋



(出典) 2024 年3月21日電気設備自然災害等対策WG資料1-2より抜粋



※一部データはシステム障害などの影響により推定値を使用
 ※グラフにおいては、全て災害に起因する停電とし、停電戸数のピークの時点(0時)としている
 ※災害直後は、道路状況などの影響により立ち入り困難な地域があるため、ピーク時の停電戸数を100%とし、残っている停電戸数が1%を下回った時間を99%解消としている

(参考) 大阪府東大阪市 (左：台風 21 号) と静岡県湖西市 (右：台風 24 号) における被害の状況

(出典) 経済産業省HP「台風」と「電力」～長期停電から考える電力のレジリエンスから作成

自然エネルギー大量導入時の系統課題

2010年代半ば頃は、自然エネルギー大量導入時の系統課題は
余剰電力の発生、出力の急激な変動、配電系統の電圧上昇であった。

1. 余剰電力の発生

【課題】太陽光発電が増加すると、休日など需要の少ない時期に、ベース供給力(原子力+水力+火力最低出力)と太陽光の合計発電量が需要を上回り、余剰電力が発生(右上図)。

【対策】蓄電池の設置、年末年始やGWなど低負荷期における出力抑制等

2. 出力の急激な変動

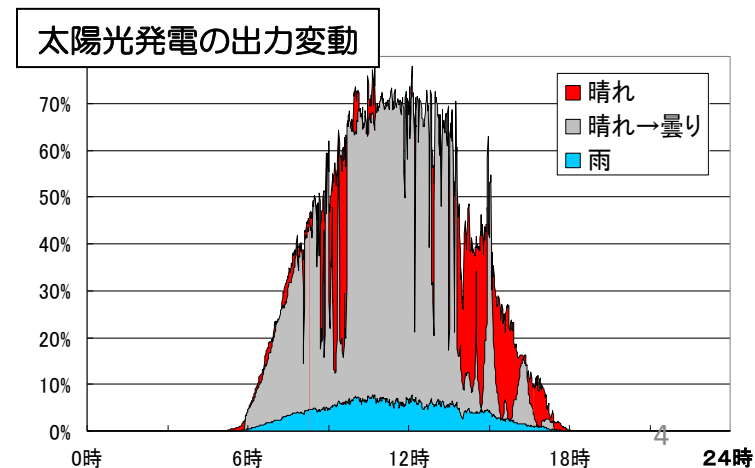
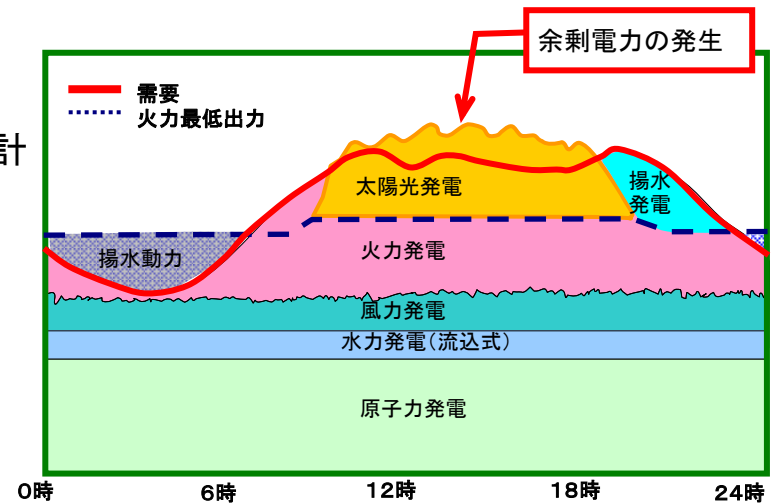
【課題】太陽光発電の出力は、天候などの影響で大きく変動(右下図)。短期的な需給バランスが崩れると周波数が適正値を超えて、電気の安定供給(質の確保)に問題が生ずるおそれ。

【対策】出力調整機能の増強、等

3. 電圧上昇の制御

【課題】局地的に太陽光パネルの設置数が増加しても、配電網の電圧が適正値(101±6V)を超えないよう太陽光発電の出力が抑制されてしまうため、配電網の強化が必要。

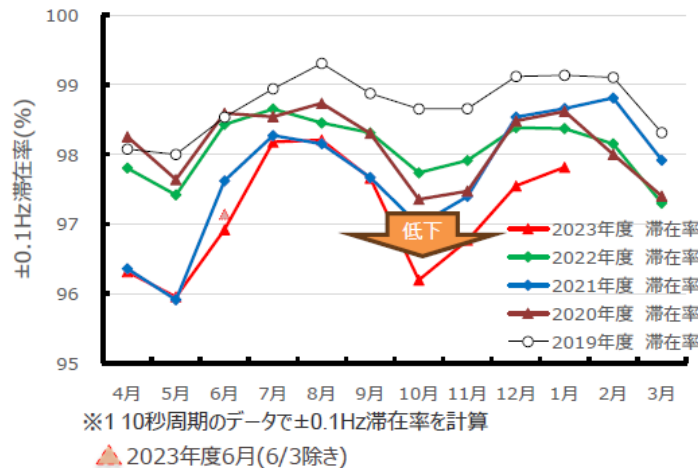
【対策】柱上トランスの増設、等



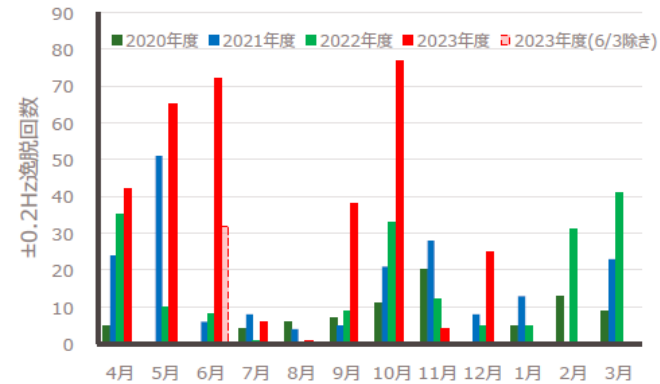
電力品質(周波数・電圧)の維持

- ・太陽光発電の増加に伴い、低需要期に調整力が不足し、また市場取引のコマ間の電力取引量の変化が大きくなり、周波数変動が拡大している。
- ・また、太陽光発電の変換装置の動作により電圧変動現象(フリッカ現象)も発生している。配電系統だけでなく基幹系統の電圧上昇の問題も発生している。

＜ $\pm 0.1\text{Hz}$ 滞在率※1の推移(60Hz)＞



＜年度別・月別 $\pm 0.2\text{Hz}$ 逸脱回数※2の推移(60Hz)＞



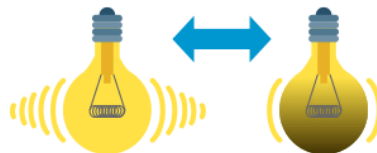
※2 10秒周期のデータで $\pm 0.2\text{Hz}$ を超過したデータ数をカウントしたものであり、 $\pm 0.2\text{Hz}$ 超過が継続した場合は複数の逸脱回数とカウントしているため、発生事象の回数とは異なる
(出所：一般送配電事業者)

(出典)2024 年3月11日系統WG資料1から抜粋

電圧フリッカなし



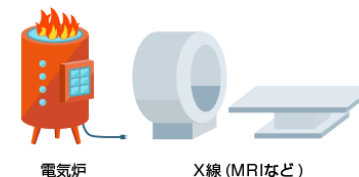
電圧フリッカ発生



チラつく：照明が、明るくなったり、暗くなったりを繰り返す。

昔の主な原因

一時的に大量の電力を使用する時に、**局所的**に電圧フリッカが発生。



今の主な原因

晴天で電気の使用が少ない時期に、太陽光発電のPCSの設定に起因する**広域的**な電圧フリッカも発生するようになりました。



(出典)九州電力送配電 電圧フリッカとは (kyuden.co.jp)

調整力確保 — 揚水の活用 —

- ・2024年4月より需給調整市場においてすべての商品が取引開始。
- ・まだ市場は始まったばかりではあるが、調整力として最も期待される大量の揚水機が、調整市場に出てこない状況にある。
- ・調整力はあるが、需給調整市場が機能していないと見られてしまうのは望ましくない。

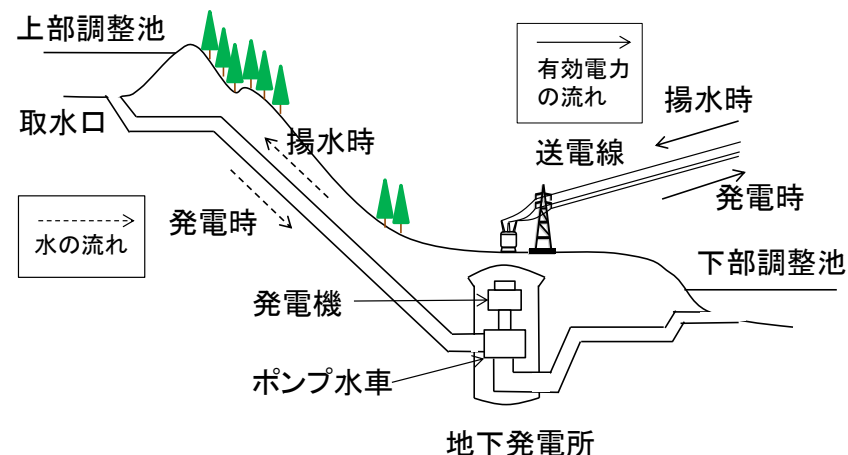
BG : 市場価格の安い時間帯に揚水し、高い時間帯に発電するなどkWh面(経済性)で活用する。調整力としての活用は限定的となる。

TSO : 供給力(kW)、調整力(Δ kW)のための揚水、その発動としての発電、全発電機の経済性向上(kWh)のための運用(全体最適運用)が可能である。

- ↓
- ・TSOが揚水機の一部を、常時運用できる仕組みを考えるべきではないか。
 - ・揚水発電事業者には適切な報酬が得られるのが前提

↓

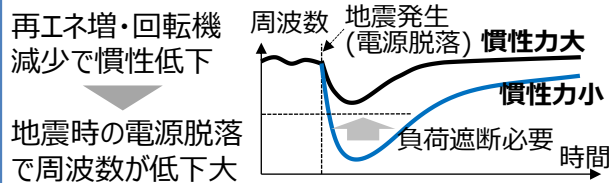
将来の同時市場の機能が期待される



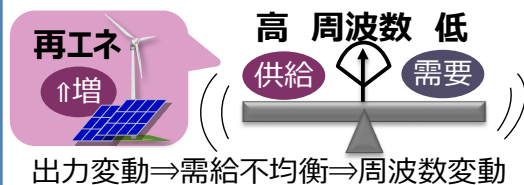
再エネ急拡大に備えた系統対策

2050年CNに向けて、太陽光、風力発電を急拡大させる必要があり、それに必要な系統での準備は、「慣性力」、「調整力」、「系統増強・安定化制御」である。

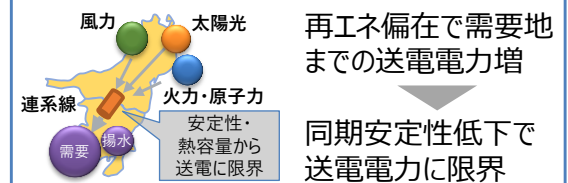
慣性低下で電源脱落時に周波数低下



需給アンバランス時に周波数変動

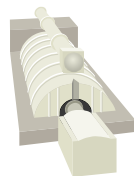


再エネ長距離送電で安定性低下



「慣性力」で周波数を一定に維持

- ・火力機の「低出力」「多数台」運転(+新燃料、CCS)
- ・再エネインバータの「擬似慣性制御」
- ・「同期調相機」の導入 など

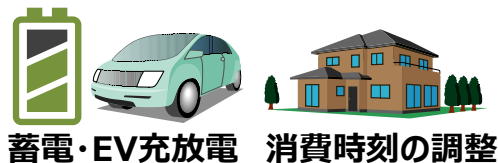


- ・NEDOプロジェクト等で開発中
- ・問題が顕在化してから導入では遅い

- ・GFM(グリッドフォーミング)インバーター*の導入のタイミングを逃すことないようにすべき

*：慣性力や安定化などの機能を提供できるインバータ

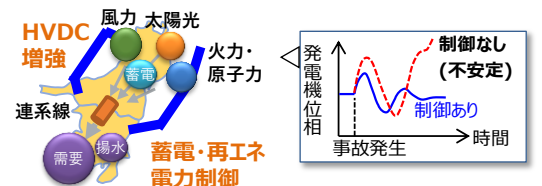
「調整力」でアンバランスを解消



ローカルフレキシビリティの活用

需給の
時間的ミスマッチの解消

系統増強・安定化制御で送電増



需給の
空間的ミスマッチの解消

系統増強

- ・電力システムの設備形成において、電源計画と系統計画を協調させることが重要。
- ・電力システム改革において、発電分野と送配電分野が分離され、この協調が難しくなっている。
- ・基幹送電線の計画から完成までには長期間を要する。
- ・大規模再生可能エネルギー電源に対しては、プッシュ型系統整備の考え方が導入。
- ・大規模再生可能エネルギー電源に対する大規模系統増強は事業者にとってリスクが高い。

＜送電網整備の考え方の転換＞

これまで

増強要請に都度対応（プル型）
→結果として増強工期長期化、非効率に

今後

将来の電源ポテンシャルを見据えて
計画的に対応（プッシュ型）

（広域連系系統の場合）

- ①電力広域機関が広域系統整備計画を策定
- ②広域系統整備計画を国へ届出
- ③広域系統整備計画に基づき、一般送配電事業者等が送電網を整備

- ・様々な計画案をB/Cで評価すべきではないか。
- ・送電網の経済性を上げるための有効利用の方策を産学で検討すべきではないか。

- ・様々なシミュレーションが必要
- ・交流送電網の高度化による柔軟性確保、多端子直流送電の有効活用など。

大規模需要の誘致、地域リソースの活用

- ・大量の再生可能エネルギーを大規模需要地に遠距離送電は高コスト
- ・発電地域にデータセンターなど情報処理センターを立地し大量のデータを伝送するほうが低コスト
- ・低圧のPV, EV, 家庭の蓄電池などローカルな制御可能電気設備の活用が社会コストの削減に貢献

電源計画＋系統計画＋需要計画の協調(長期の国土計画)が必要

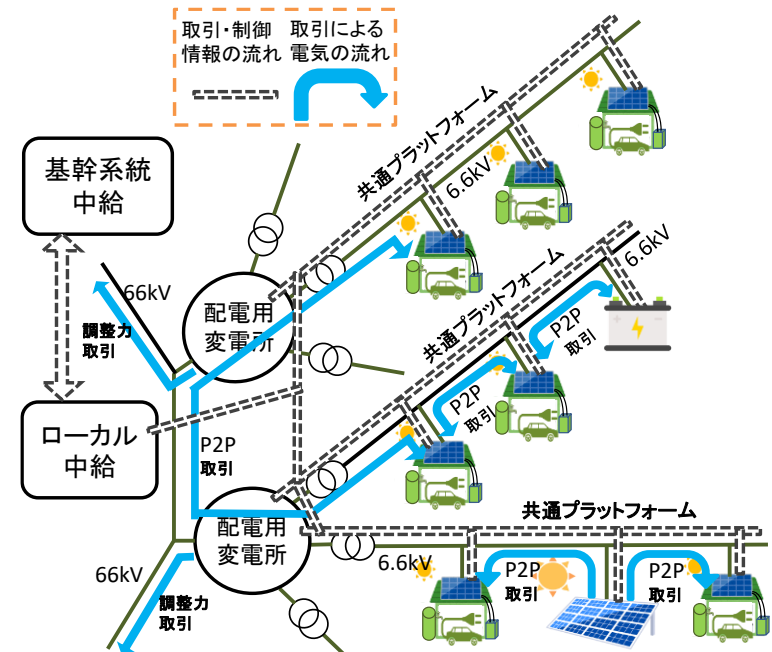
●データセンターの時間分散処理による再エネ活用

- Googleは「カーボン・インテリジェント・コンピューティング・プラットフォーム」を開発
 - 電力系統の中で再エネが多く稼働する時間帯を予測し、サーバーの処理をシフト
- 同プラットフォームは、地域の電力系統における再エネ稼働時間を1時間単位で予測
 - 再エネ稼働が多い時間帯に、画像のフィルター機能更新などの不急の処理を実行



出典：Our data centers now work harder when the sun shines and wind blows. (2020年4月)
<https://www.blog.google/inside-google/infrastructure/data-centers-work-harder-sun-shines-wind-blows/>

(出典) 日立東大ラボ内部説明資料(2020年)より

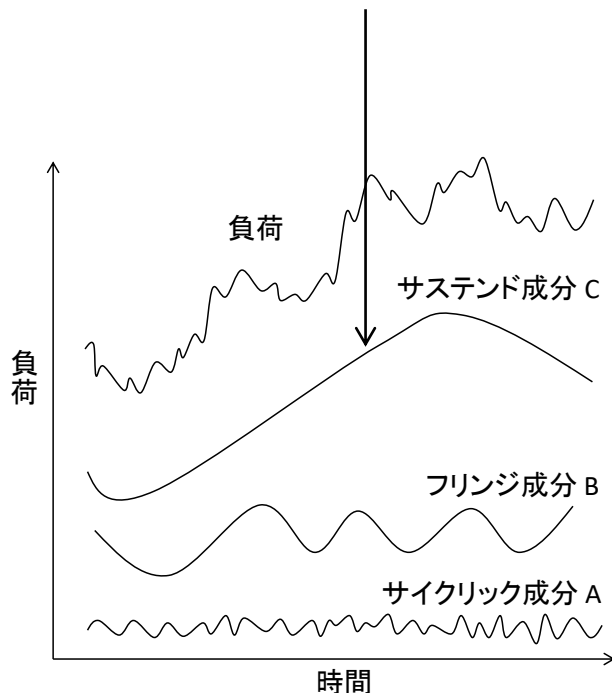


ローカルフレキシビリティの活用イメージ

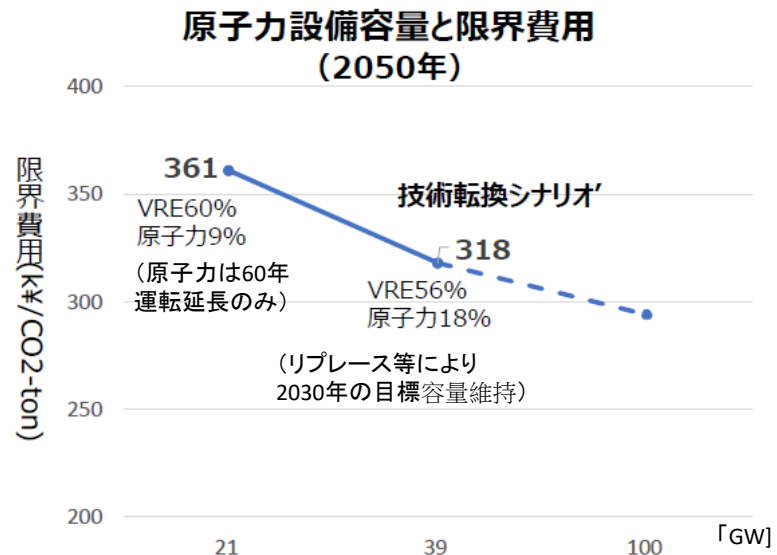
原子力発電の系統貢献

- ・将来、再生可能エネルギー電源、原子力発電、CCS付火力発電、蓄電池などで電力が供給されるとすると、安定供給のために原子力発電の活用が必須となる。
- ・原子力発電は、エネルギーの安定的な供給のみならず、慣性力を供給でき、無効電力を供給できるので系統の電圧を維持することに貢献できる。
- ・長い周期の負荷変動に対する追従運転を行うことにより、電力貯蔵用蓄電池の必要量を削減でき、社会コストを削減できる。

原子力発電で追従させる成分



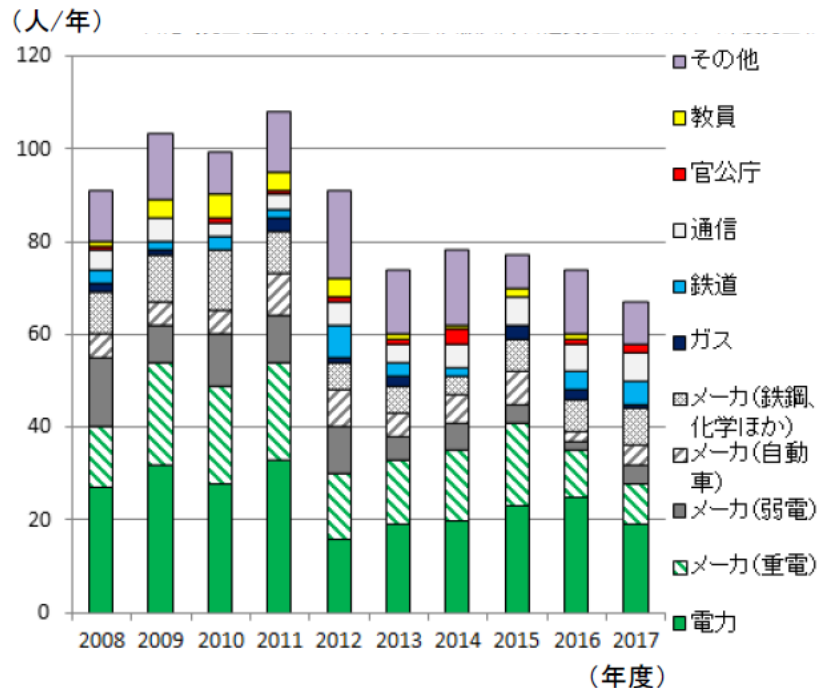
原子力発電による自然変動電源の系統対策、出力変動対策、季節変動対策の緩和



(出典) 日立東大ラボ 試算結果(2019)より

電力システム分野に携わる人材

- ・複雑な制度設計に対するシステム構築や頻繁な制度変更によるシステム変更はシステム構築でのミスが発生しやすい。また、運用でのミスも発生しやすくなる。
- ・このシステム開発が間に合わず、手作業で対応するケースも発生。
- ・システム開発者も他の会社の高給で引き抜かれ、減少傾向。
- ・電力自由化や東日本大震災により電気事業の魅力が低下してきている。



パワーアカデミー参加12研究室の学生
(学部+修士+博士)の就職先内訳

(出典)2018年パワーアカデミー調べ

- ・将来のエネルギーシステムの中核を担う次世代電力システムに進化すべき
- ・産学が共通のビジョンをもつことが重要
- ・この進化を支えるには多くの人材が必要
- ・優秀な人材の確保策が必要

まとめ

- 送配電ネットワークの全体最適化と安定供給（供給信頼性の維持）の観点からこれまで進められてきている送配電網運用の広域化、基幹系統のプッシュ型の増強の方向性は重要である。
- 供給信頼性はなんとか維持されており、災害に対するレジリエンスも確保されている。
- 電力品質（周波数・電圧）については、問題が発生してきており、今後も技術的対応が必要である。
- 調整力の確保については、揚水発電所の運用も含めた今後の一層の検討が必要である。社会コストの低減も含めた調整力確保の対応としては、検討中の同時市場が大いに期待される。
- 大規模な系統増強には、電源計画、系統計画、需要計画の協調が必要であり、送配電網の一層の有効利用策を産学一体となって検討することが望まれる。
- 原子力発電を有効活用して系統貢献させることが望まれる。
- 今後の一層複雑な制度の下での電力システム改革に携わる優秀な人材の確保が引き続き必要である。