

神奈川県／IGES共催セミナー

「脱炭素社会への展望

～2050年のゼロエミッション社会を考える～」

エネルギーシステムインテグレーション

-脱炭素社会のエネルギー展望-

2020年2月3日

荻本 和彦

東京大学 生産技術研究所 ESI社会連携研究部門

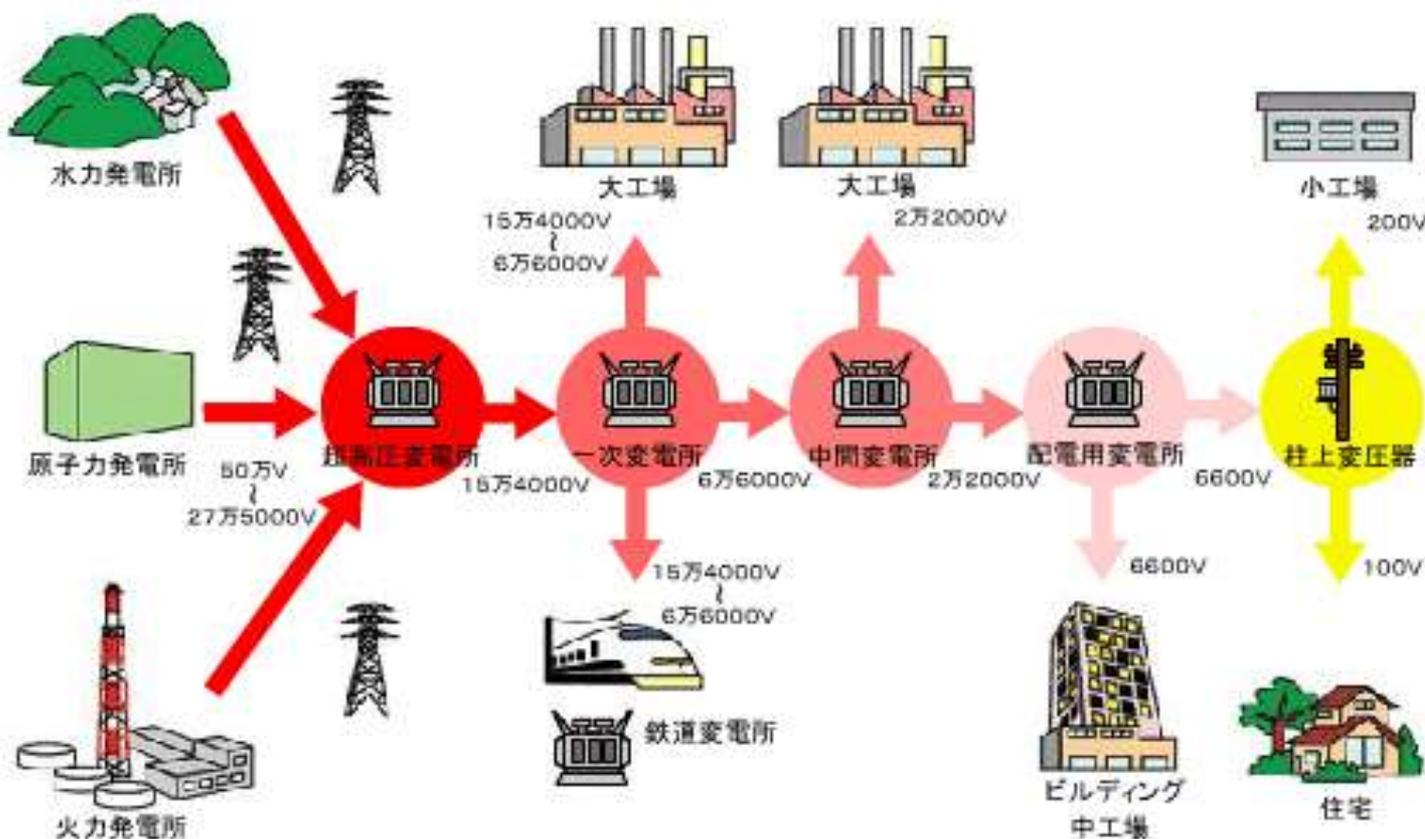
本日の内容

1. 停電から考える
2. 北海道地震で何が起こったのか
3. 台風15号、19号では何が起こったのか
4. 電力システムの変容とこれから

(2. 3.は、生産技術研究所岩船先生作成のスライドから)

電力供給の仕組み

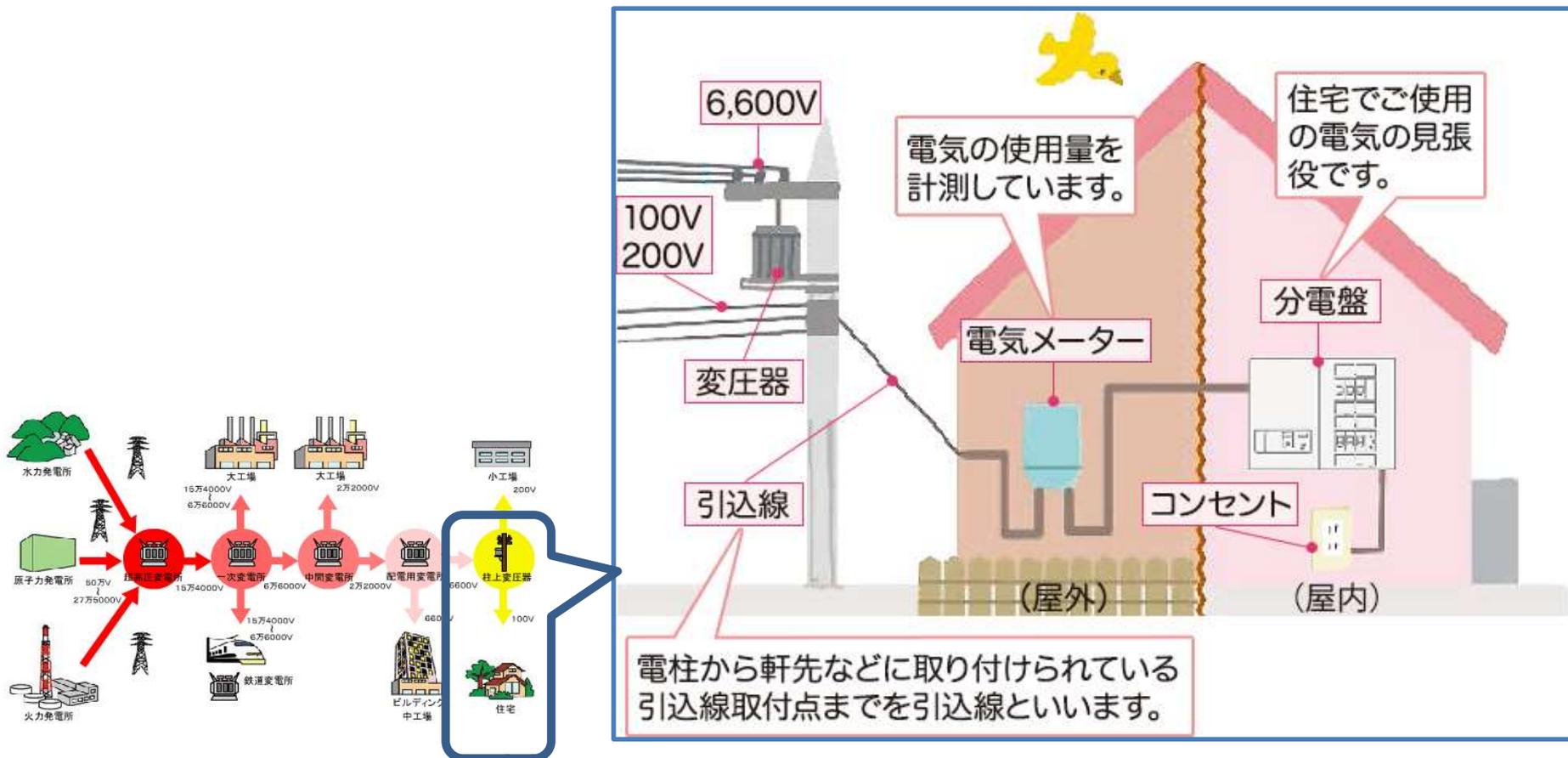
- 各発電所でつくられた電気は、送る電気の大きさと距離により様々な電圧で送られ、需要の大きさにより異なった電圧で届けられる。



出典: 電気事業連合会HP

電力供給の仕組み

- 住宅では、100Vあるいは200Vで引き込まれ、電気メータを通り、分電盤で各配線に分岐して、コンセントから供給される。

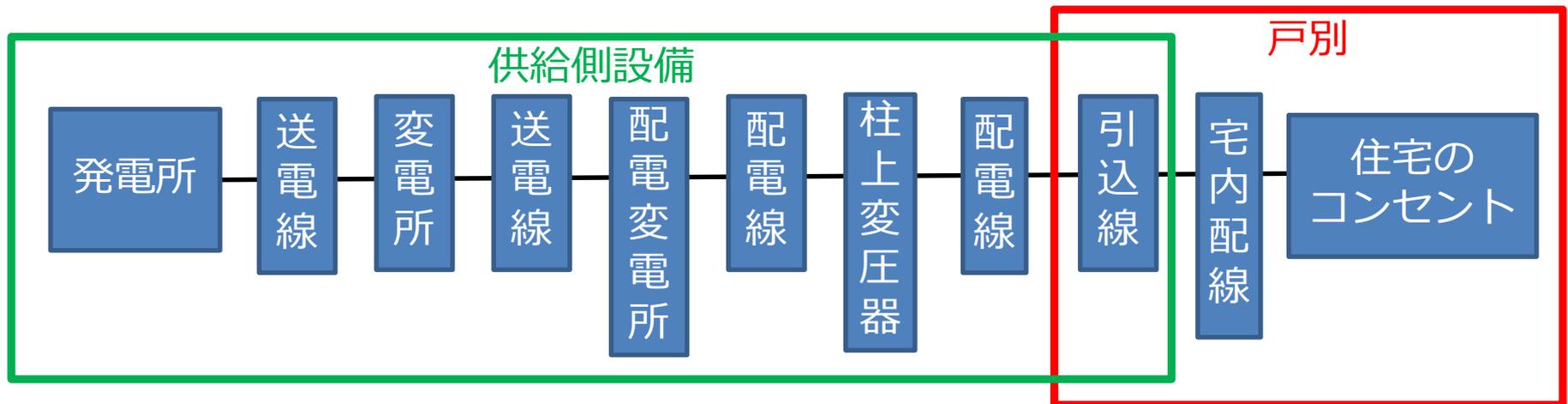


出典: 電気事業連合会HP

出典: 沖縄電気保安協会HP

停電の原因

- 停電は、送るべき電気が電源側で不足する場合、需要までのルートに支障が発生した場合に発生する。



- 需要に対する発電所設備の不足
- 天候の変化による発電の不足
- 災害等による時の発電所の損傷
- 地震、強風、水害、飛散物、倒木などによる
 - 送電線の損傷
 - 変電所の損傷
- 引き込み線の損傷
- 屋内配線の損傷

電力供給の仕組み感震ブレーカ

お知らせ

ご存じですか？
地震による**火災の過半数は**
電気が原因という事実。



東日本大震災における本震による火災全111件のうち、原因が特定されたものが108件。そのうち過半数が**電気関係の出火**でした。地震が引き起こす電気火災とは、**地震の揺れに伴う電気機器からの出火や、停電が復旧したときに発生する火災**のことです。

東日本大震災における火災の発生原因



※日本火災学会誌「2011年東日本大震災 火災等調査報告書」より作成

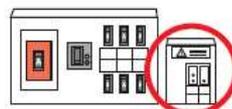
電気火災対策には、**感震ブレーカー**が効果的です。

「**感震ブレーカー**」は、地震発生時に設定値以上の揺れを感知したときに、ブレーカーやコンセントなどの電気を自動的に止める器具です。感震ブレーカーの設置は、不在時やブレーカーを切って避難する余裕がない場合に電気火災を防止する有効な手段です。

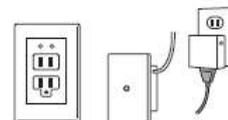
主な感震ブレーカーの種類



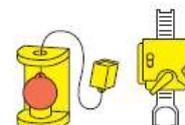
分電盤タイプ(内蔵型)



分電盤タイプ(後付型)



コンセントタイプ



簡易タイプ

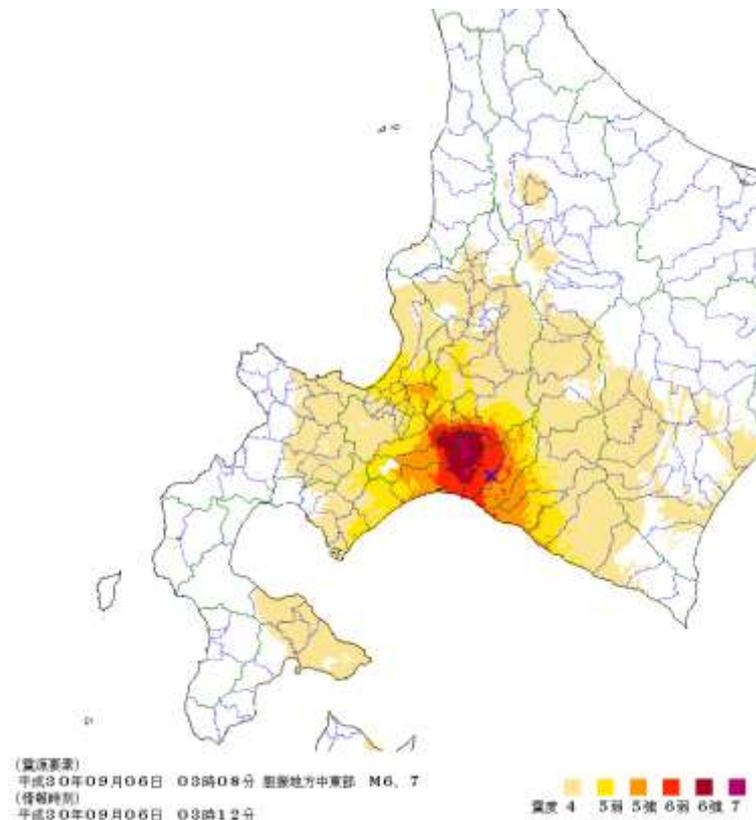
本日の内容

1. 停電とは
2. 北海道地震で何が起こったのか
3. 台風15号、19号で何が起こったのか
4. 電力システムの変容とこれから

(2. 3.は、生産技術研究所岩船先生作成のスライドから)

北海道胆振東部地震に伴う 北海道全域停電（ブラックアウト）

- 2018年9月6日3時7分59.3秒発生
- 震源：北海道胆振地方中東部
- 地震の規模：Mj 6.7、震源の深さは37 km、最大震度7
- 同日3時25分北海道全域停電
- 停電による被害
 - 酪農関連：生乳の廃棄、乳房炎による乳牛の死亡など、約21億円の被害
 - 水産業：冷凍保存していた水産品が解凍、養殖魚が死亡
 - 商工業：道内の全事業所における丸2日間の営業停止の影響額が約1318億円、在庫廃棄などの被害が約136億円（同庁発表）
 - 観光への影響：宿泊施設のキャンセル等延べ114万9千人（約356億円）
 - 通信：固定電話不通、予備電力の枯渇に伴う通信インフラ途絶



北海道ブラックアウト後の議論

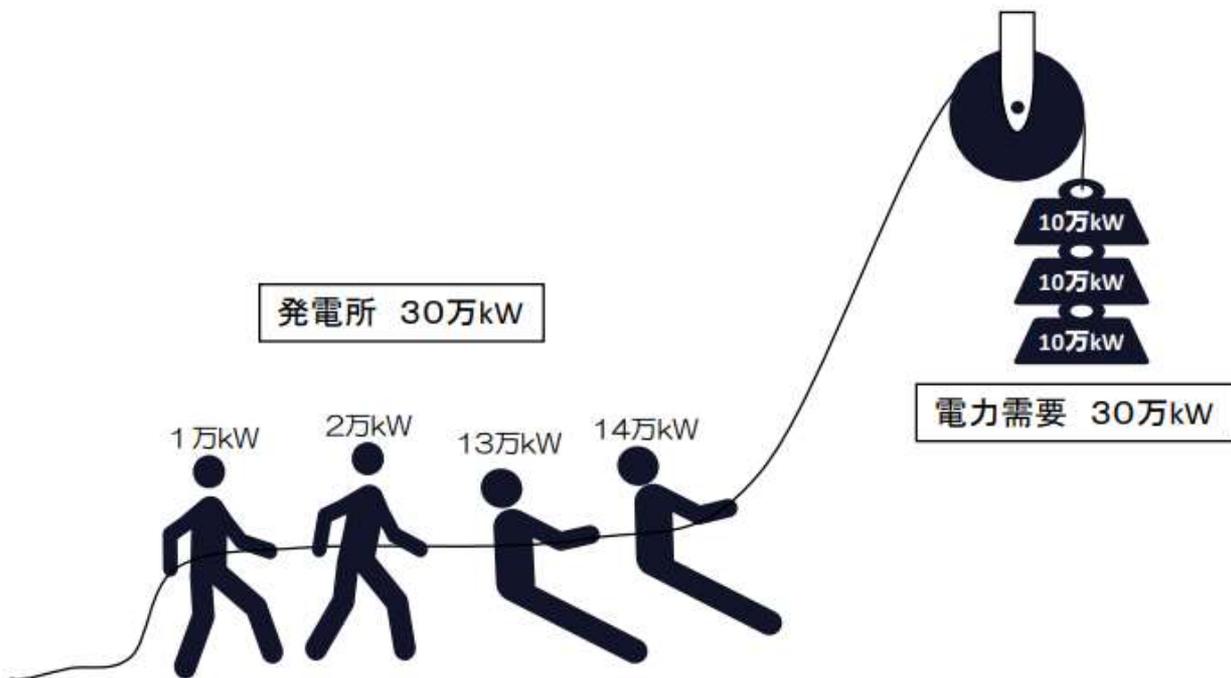
- 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会（電力広域的運営推進機関）（2018年12月19日最終報告取りまとめ）
 - ブラックアウト、ブラックスタートの経緯検証、北海道における再発防止策の検討
- 電力レジリエンスワーキンググループ（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会/産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 合同）（2018年11月27日中間報告取りまとめ）
 - 電力インフラのレジリエンスを高め、停電の早期復旧に向けた取組や国民への迅速かつ正確な情報発信等、災害に強い電力供給体制を構築するための課題・対策を議論
- 電力レジリエンス等に関する小委員会（電力広域的運営推進機関）（2018年12月開始）
 - 再生可能エネルギー主力電源化等を見据えつつ、電力レジリエンスについて、横断的かつ集中的に検討
- 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（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/電力・ガス事業分科会）
 - 再エネ設備の被災状況報告（2018年10月15日第9回）
 - 安全・保安面の規律強化



用語説明

③同時同量

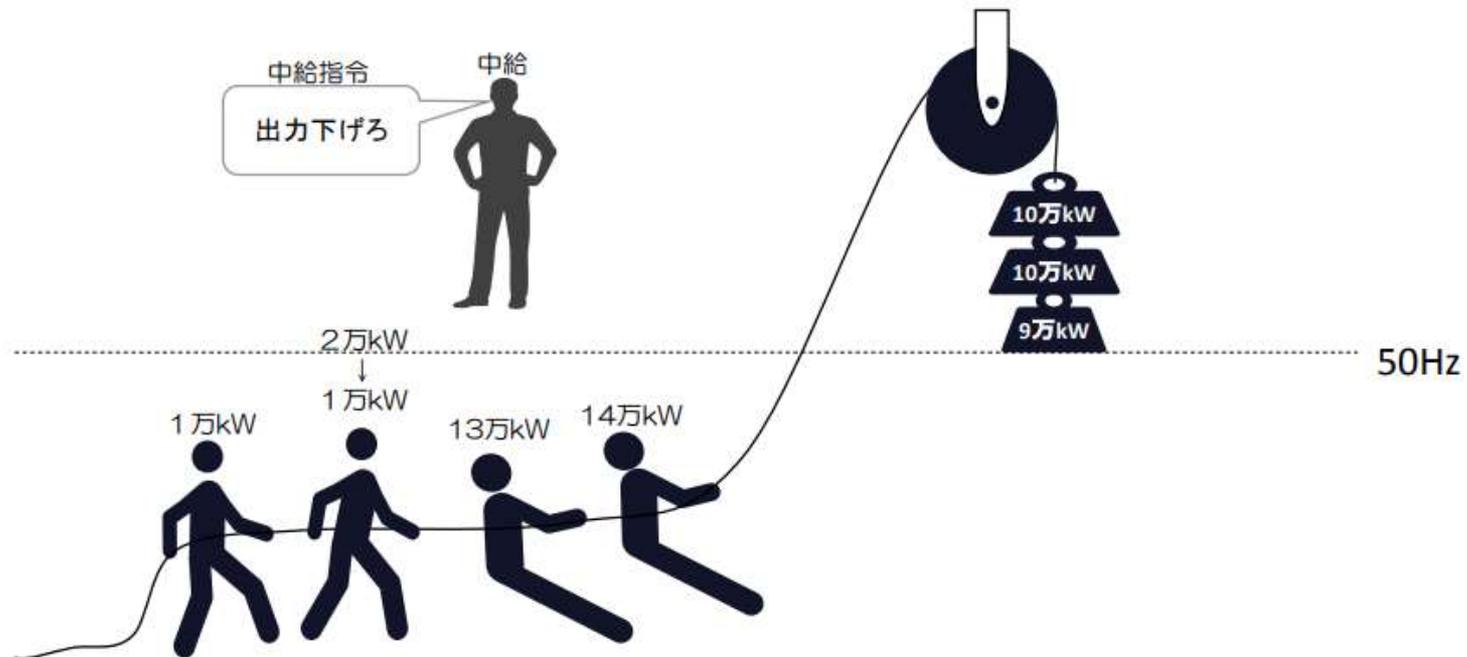
- 下の図は「需要」をおもりに、発電所（電源）を人、送電線をロープに見立て複雑な系統図を模式的に示したものです。
- 電気は貯めることができないため、常に需要増減に合わせてと発電する電気の量を『**同時同量**』でバランスさせています。



用語説明

⑦周波数・⑧中央給電指令所（中給）

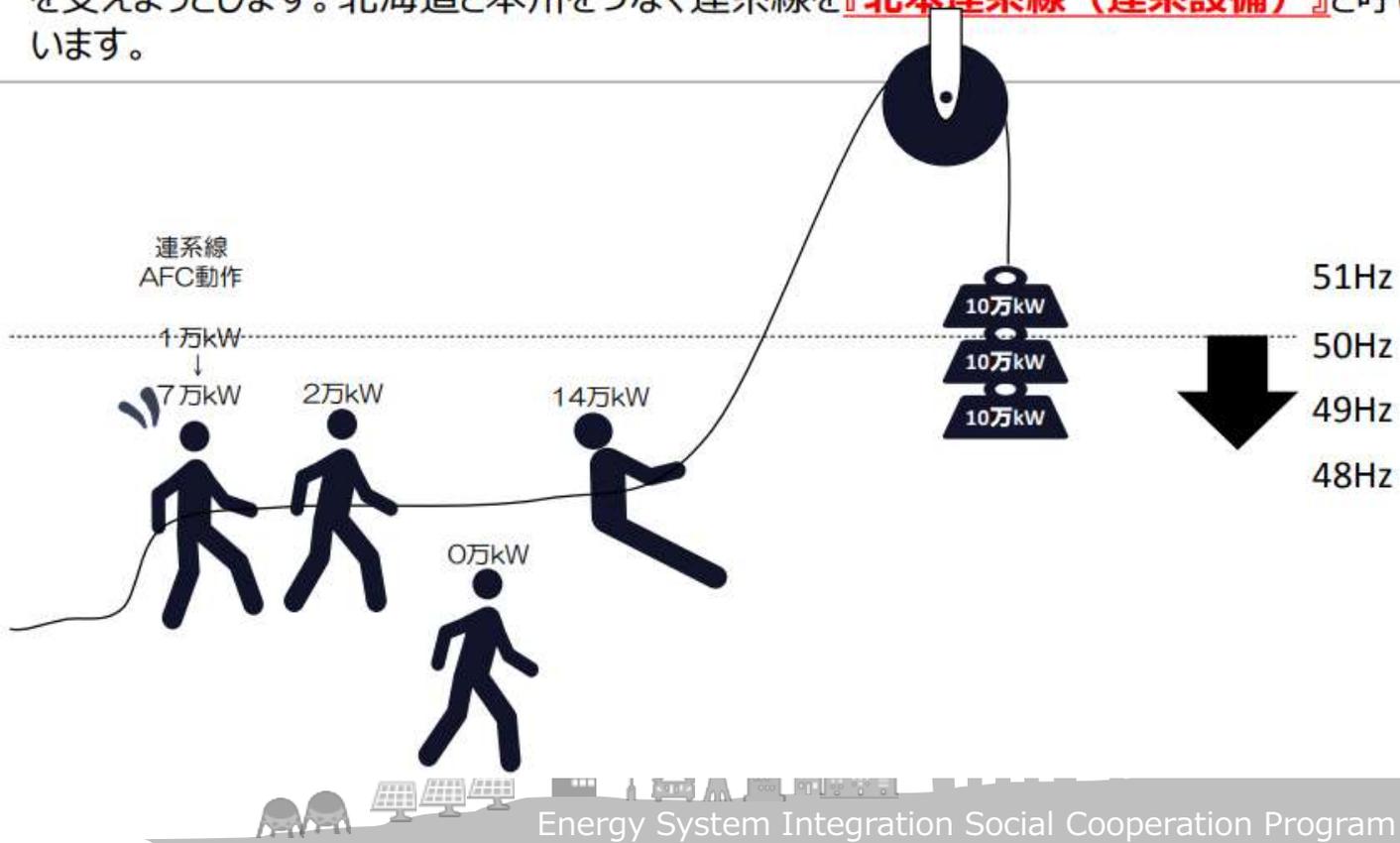
- 系統運用において『**周波数**』は『同時同量』を表すために重要な値です。周波数は北海道であれば50Hzであり、需要と供給のバランスが崩れると周波数が上下します。
- 絵のようにおもりの高さを維持するように電力需要の量に応じて、『**中央給電指令所（中給）**』が大きな発電所に発電の量の指令を出し周波数を一定（＝同時同量）に保ちます。



用語説明

⑨連系線、北本・⑩自動周波数制御装置 (Auto Frequency Control)

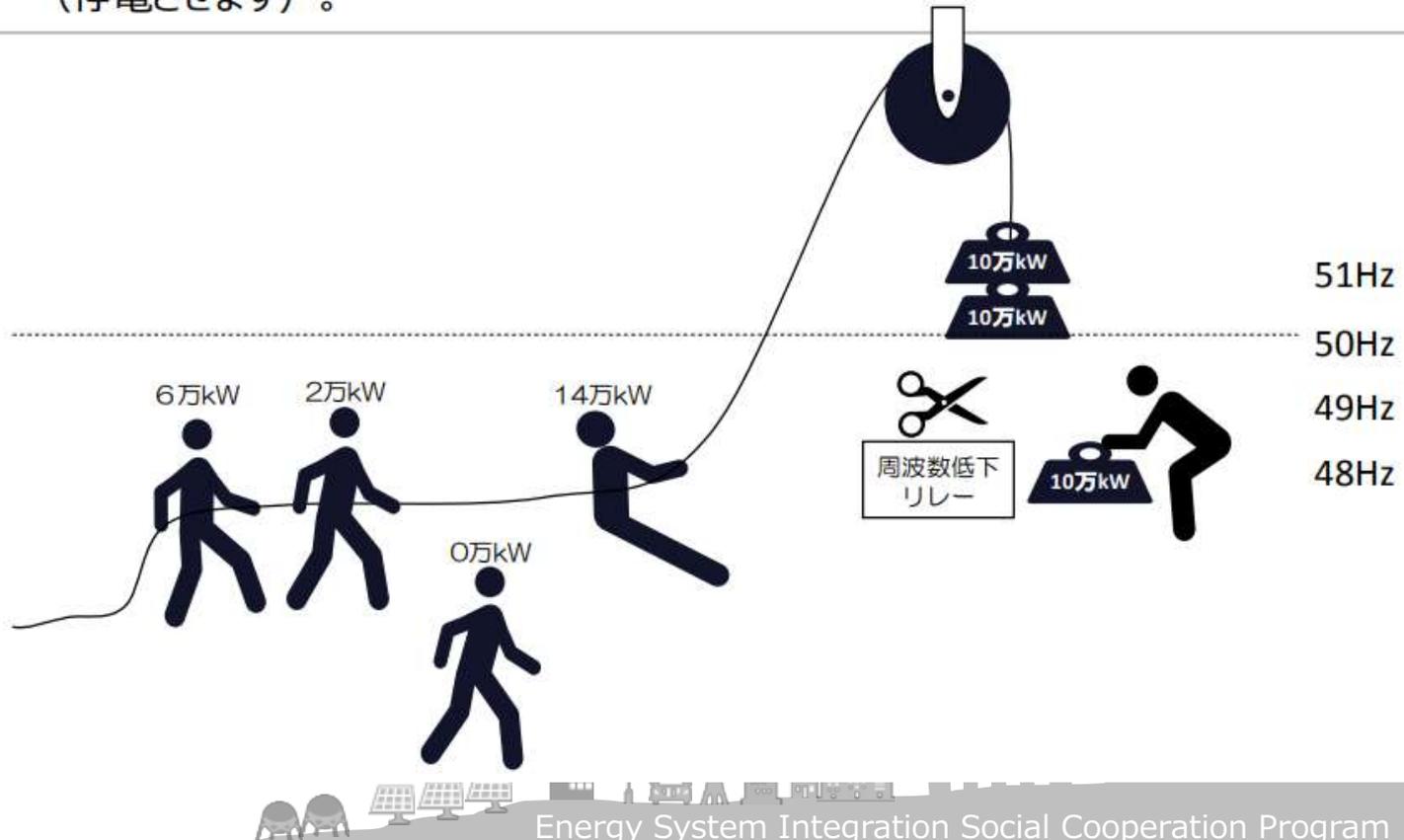
- 事故などで大きな発電所が停止した場合、需要を支えられず、急激に周波数低下が起こります。
- このときに即時に動作するのは、隣のエリアと供給エリアがつながっている送電線の『**連系線**』です。連系線にある『**自動周波数制御装置 (AFC)**』が動作し、隣のエリアの電力を流し需要を支えようとします。北海道と本州をつなぐ連系線を『**北本連系線 (連系設備)**』と呼ばれています。



用語説明

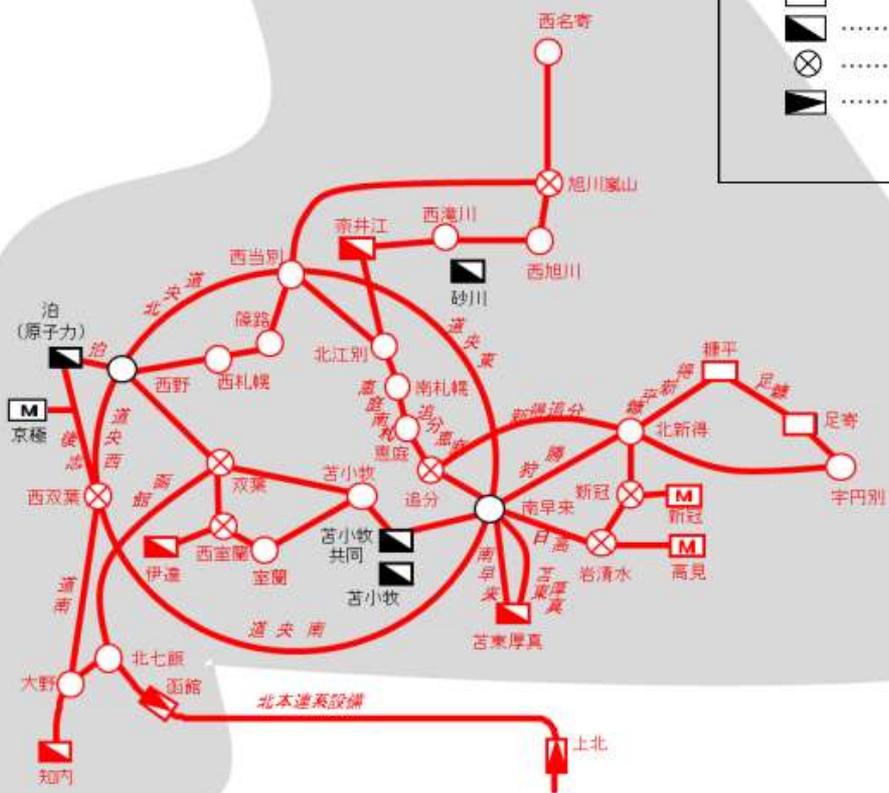
⑪整定値・⑫リレー・周波数低下リレー（**Under Frequency Relay**）

- 発電側の発電量（供給力）が足りず、周波数低下が一定時間、一定周波数（『**整定値**』）以下となった場合には、『**周波数低下リレー（UFR）**』が動作します。
- 『**リレー**』は定めた条件で自動で発電機や負荷（需要）などを系統から切り離す装置であり、周波数低下リレー（UFR）による負荷遮断では、一定量の負荷（需要）を切り離します（停電させます）。



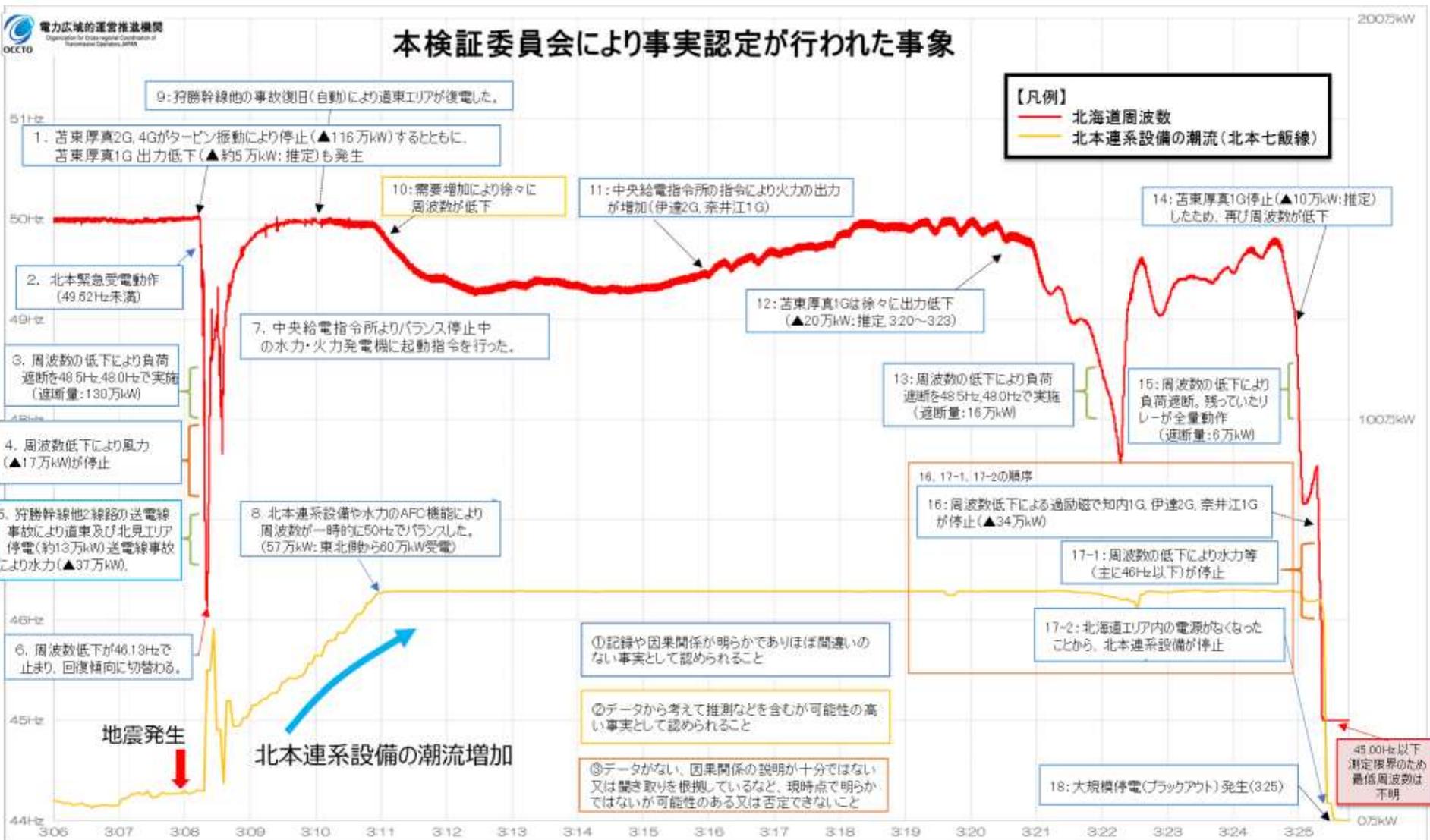
北海道の電力系統

北海道エリアの総需要3,087MW(発電端)



赤 : 送電している状態
(運転中及び充電中)
黒 : 停止中

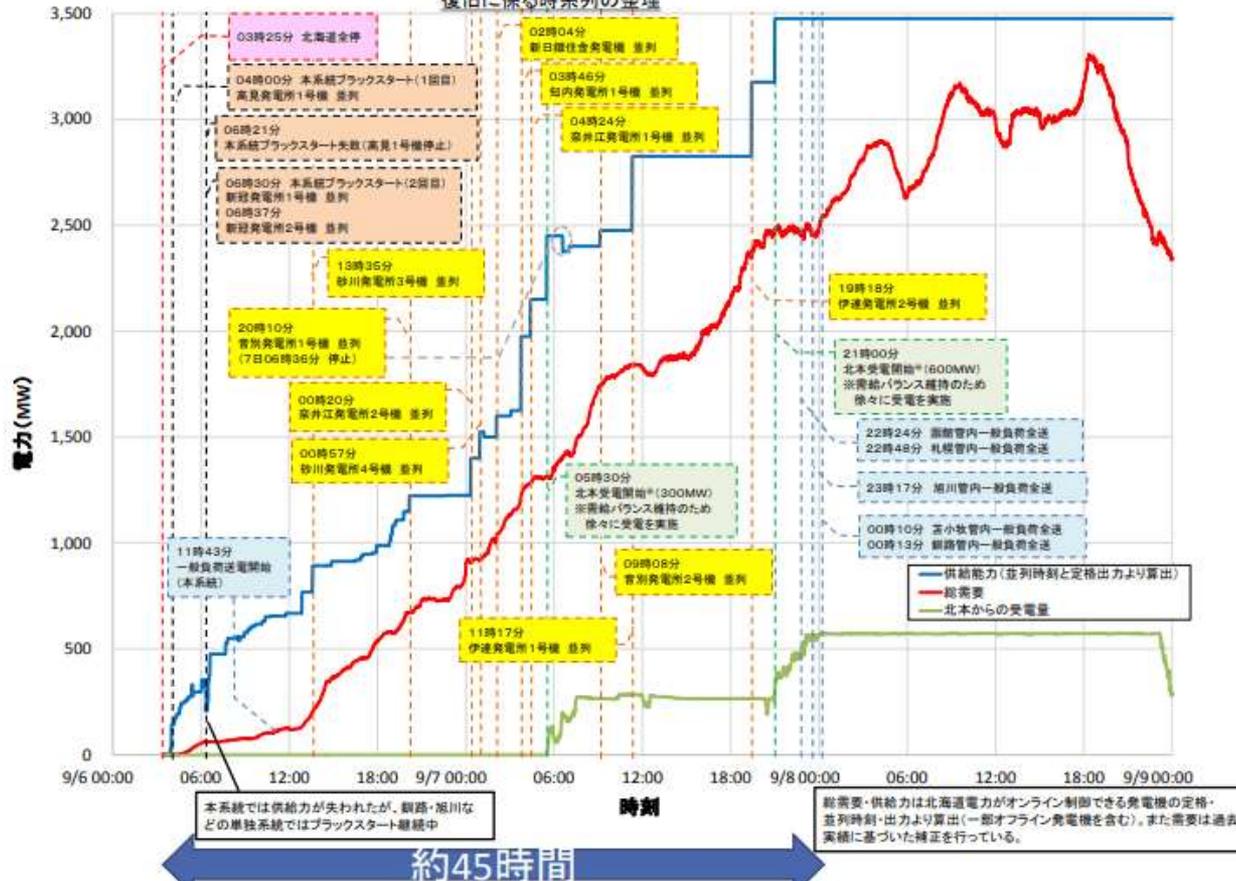
北海道エリアにおける地震発生後から大規模停電発生までの電力系統（送電網）の状況



ブラックアウトから一定の供給力確保に至る経緯について

- ブラックアウト後から一般負荷送電（一定の供給力（約300万kW）確保に相当）至るまでの復旧状況について「停電の早期解消」の観点から検証を行った。
- 手順書に定められた手順どおりに適切に復旧が進められたが、ブラックアウトから概ね全域に供給できるまで45時間程度を要している。

本検証委員会により事実確認が行われたブラックアウトから一定の供給力確保に至るまでの復旧に係る時系列の整理



ブラックアウトから 一定の供給力確保に至る経緯について

- ブラックスタートについてはマニュアルに従い実施しており、明らかな人為的ミスなどはなく、問題となるような点は確認できなかった。小さい系統から少しずつ発電機を起動させていくため、復旧時間の短縮には限度があることを確認した。

手順の概要

- ブラックスタート対象発電機の状態を踏まえ、発電機の起動順位をパターン化（全7パターンを準備）
系統安定化のため、揚発機2台による復旧を基本
- ブラックスタート後の系統復旧優先順位の明確化
火力・原子力発電所の保安用所内電源確保と早期の系統への再並列を目的に、
操作ステップの少ない275kV系統から実施

など

負荷供給について

- 中給は、発電機並列等の状況から供給力を算出し、供給支障の解消を系統制御所（系制）に指令
- 系制は、ブラックスタート系統の負荷供給による周波数・電圧変動を考慮しおよそ3,000kW単位で送電

通常の停電復旧



ブラックスタートからの復旧



- ブラックスタート機能が付いた一部の発電機から、少しずつ周囲の発電機を起動させる。
- 系統が極めて小さく、少しの動揺で系統が大きく変動し不安定。

地震発生からブラックアウトに至る経緯について

1. 今回の事象は、主として、苫東厚真発電所 1、2、4号機の停止及び地震による狩勝幹線他 2線路（送電線 4回線）の事故による水力発電の停止の複合要因（「N-3」+「N-4」）により発生した。
2. 北本連系設備のマージンを活用し緊急融通が行われ周波数を回復させたが、最大受電量に達したため、苫東厚真発電所 1号機のトリップ時は周波数調整機能が発揮できず、ブラックアウトに至った。

ブラックアウトから一定の供給力（約300万kW）確保に至る経緯について

1. 1回目のブラックスタートは手順どおりに適切に復旧が進められたが、泊発電所の主要変圧器に送電したところ、異常電流で南早来・北新得変電所で分路リアクトルが停止。
2. 2回目は大きな問題はなく復旧しブラックアウトから概ね全域に供給できるまで45時間程度を要した。
3. 分路リアクトルの停止を予見することは非常に困難であり、仮に1回目のブラックスタートにおいて不具合事象がなく理想的に行えたとしても数時間の短縮が限度であった。

設備形成及び運用上の不適切な点は確認できなかったがブラックアウトの社会的影響を踏まえ当面（今冬）の対策をとりまとめ

当面（今冬）の再発防止策

1. 周波数低下リレー（UFR）による負荷遮断量35万kW（需要309万kW時）の追加
2. 京極発電所 1、2号機の運転を前提とした苫東厚真発電所 1、2、4号機 3台の稼働
3. 京極発電所 1、2号機いずれか 1台停止時は苫東厚真発電所 1号機の20万kW出力抑制又は10分程度で20万kW供給できる火力機等の確保
4. 周波数が46.0～47.0Hzに低下した場合にも運転が継続可能な電源の需要比30～35%以上確保
5. 京極発電所 1、2号機いずれか 1台が停止した場合の追加対策実施と広域機関による監視

2018年度末の石狩湾新港発電所 1号機や新北本連系設備の運転開始も踏まえ、検証委員会のみならず様々な主体が、今後の検討事項として、北海道エリアにおける運用上・設備形成上の中長期対策等を整理



運用上の中長期対策（留意事項を含む）

今後、北海道エリアにおける電源構成や需給バランスが大きく変化することなどにより、以下の運用上の中長期対策は適時適切に見直されるべき。特に、泊発電所が再稼働後に脱落した場合については、再稼働時期の目途が立った時点で改めてシミュレーションを行うとともに、必要な対策の検討を行い所要の措置を講じることが必要不可欠。

○石狩湾新港発電所や新北本連系設備の運転開始後

<北海道エリアにおけるUFR整定の考え方>

- 周波数の最下点を47.0Hz以上に引き上げることが可能となるよう、早期にUFRの整定を見直す（df/dt機能の整定済みの割合を1割から2割に増加させる）。

<最大規模発電所発電機の運用>

- 北本・新北本連系設備でAFC余力を確保できる状態であることを前提に、今冬の対策における苫東厚真発電所1、2、4号機3台稼働のための「京極発電所1、2号機が運転できる状態」という条件を解除する。
- 今回想定した最過酷断面よりも周波数低下が予想される場合などは、最大サイト脱落のシミュレーションを事前に行い、ブラックアウトに至らないことを確認し、必要に応じ、所要の措置を講じる。

<ガバナフリー、AFC、連系設備のマージンの再評価>

- 現時点で見直す必要はない。

○泊発電所再稼働後

<北海道エリアにおけるUFR整定の考え方>

- UFR整定の見直し(周波数変化率要素(df/dt)の活用)や高速負荷遮断を行う安定化装置による対策が必要。

<ガバナフリー、AFC、連系設備のマージンの再評価>

- 現時点で見直す必要はない。

設備形成上の中長期対策（北本連系設備の更なる増強等）

- 国において、更なる増強が必要となった場合の費用負担の在り方について検討を行う必要がある。また、広域機関において、更なる増強及び現在の北本連系設備の自励式への転換の是非の具体的検討を行う必要がある。
- ブラックアウトを起こさないためには、技術的には更なる増強等が有益であることは言うまでもないため、国の方針のとおり、国や広域機関において、更なる増強、及び現在の北本連系設備の自励式への転換の是非について、シミュレーション等により効果を確認した上で、ルートや増強の規模含め、来春までを目途に具体化を図ることが求められる。



災害に対する政府の対応

- 平成30年に発生した災害による 大規模停電発生時における政府の対応について

(平成30年10月18日 経済産業省)

- 一定の供給力の積み上げ
- 節電要請による需給バランスの維持
- 発電所の復旧による需給の安定化
- 再生可能エネルギーの活用状況
- 大規模な台風・豪雨への対応

(以下基本電力レジリエンス小委の会議資料)



北海道大規模停電にかかるとの対応の基本方針

今回の北海道大規模停電に係る対応の基本方針

- 今回の地震発生後からの一連の対応（節電要請、需給バランスの安定化、計画停電の検討等）については地震前から定められていたルールに基づいて対応。かつ、その時点で得られた客観的なデータに基づき、定量的な分析を行い、対応を判断。
- その上で、情報発信の観点から以下の取組を実施。
 - (1) 確認されている事実・見通しなどは、都度、積極的に公表する（※）
（例）
 - ✓ 大臣記者会見・事務方による定例プレスブリーフィングを発災日の9月6日から18日の間までに大臣から11回、事務方から12回実施。
 - ✓ Twitterを活用し、停電や需給の改善などについて、発災日の9月6日から9月19日の間までに計300回以上ツイート。
 - (2) 復旧状況等、国民が知るべき情報・見通しが示されていない場合には、期限を設けて一定の用途を示すよう電力会社等に指示
（例）
 - ✓ 発災当日、経済産業省から北電に対し、数時間以内に電力復旧の用途を立てるよう指示

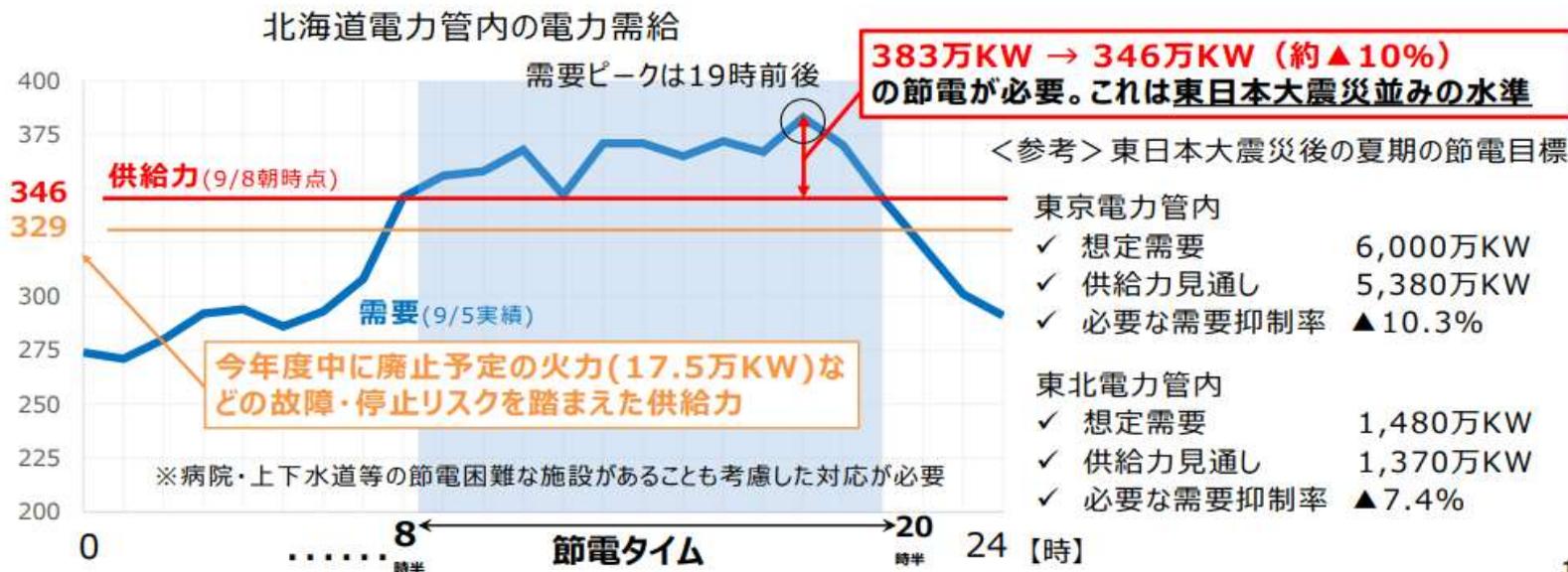
（※）各電力会社に対し、経済産業省のこうした対応を踏まえた情報提供のあり方の見直しを指示済



需給ギャップと対応

1-2-1. 9月10日の週の需給ギャップと対応方針（2）

- 大規模停電を避けるためには、電力需要が増加する平日8:30～20:30（節電タイム）に道内全域で平常時よりも「1割」程度の需要減が必要な状況であった。
- 今年度中に廃止予定の老朽火力発電設備の故障等のリスクや、病院・上下水道等の節電困難な施設があることも踏まえ、道内全域の家庭・業務・産業の各部門に対して、節電タイムにおいて、平時よりも「2割」の節電要請を検討。
- まずは大口の産業部門の電力需要を抑制しつつ、月曜日の時点での家庭・業務部門における節電状況を見極めた上で、産業需要も立ち上げていく方針とした。



節電協力依頼の内容

(参考) 政府による節電への協力依頼の状況 (全体)

- 震災後、家庭・業務・産業の各分野に対し、節電への協力を依頼。
 - ⇒ 家庭には、テレビや経済産業省ホームページ等を通じた広報を徹底
 - ⇒ 事業者には、経産省・他省の所管団体、北海道庁等を通じて要請

各部門での節電対策 (北海道)

① 家庭 (ピーク需要の5割)

家庭での消費電力量では、照明が最大。テレビ、冷蔵庫などの待機電力も多い。3割以上の消灯などの「家庭の節電対策メニュー」を、世の中に広く周知・広報。

広報を徹底
(テレビ、HP、
Twitter等)

② 業務 (ピーク需要の3割)

照明の割合が非常に大きい。団体や企業に対して、「事業者の節電対策メニュー」を周知し、執務エリアの照明の間引きや、使用していないエリアの消灯を徹底。

・ **団体等を通じ要請**
・ **大口需要家
には個別連絡**

③ 産業 (ピーク需要の2割)

業種ごとに使用形態が異なる。関係省庁を通じた所管業界に対する節電要請とともに、道内の大口需要家に対する電話等の個別要請によって、最大限の対応。

節電の実績

1-2-5. 9月10日の週（平日）の節電タイムにおける需要減率の推移

※震災前のピーク日（9/5）との比較

時間	0時台	1時台	2時台	3時台	4時台	5時台	6時台	7時台	8時台	9時台	10時台	11時台	12時台	13時台	14時台	15時台	16時台	17時台	18時台	19時台	20時台	21時台	22時台	23時台
9/10 (月)	19.7%	19.1%	17.4%	15.2%	13.9%	15.0%	14.0%	12.4%	13.9%	11.6%	10.8%	13.7%	14.7%	15.8%	16.0%	15.3%	15.4%	14.9%	15.4%	15.6%	15.4%	15.5%	13.7%	15.0%
9/11 (火)	14.4%	14.7%	11.9%	9.7%	9.1%	10.3%	10.8%	11.8%	15.1% (26.2)	15.1% (25.6)	16.1% (24.9)	16.9% (23.8)	17.1% (24.3)	17.2% (23.2)	16.2% (22.6)	16.1% (19.9)	15.6% (17.1)	14.6% (14.9)	14.3% (14.3)	14.2% (14.2)	13.7% (13.7)	13.6%	11.2%	11.3%
9/12 (水)	19.7%	19.1%	17.4%	15.2%	6.9%	8.7%	9.3%	9.8%	13.6% (20.2)	12.8% (16.3)	15.2% (15.6)	14.9% (17.4)	15.6% (17.9)	16.0% (20.0)	15.3% (18.9)	15.5% (16.4)	15.5% (16.0)	10.3% (14.2)	14.1% (14.1)	14.3% (14.3)	13.9% (13.9)	15.5%	13.7%	15.0%
9/13 (木)	8.5%	8.8%	6.6%	6.1%	5.8%	8.8%	11.6%	13.4%	19.6%	17.2%	17.5%	16.0%	15.1%	16.4%	15.8%	15.6%	14.3%	11.8%	12.5%	12.9%	12.7%	12.1%	8.4%	9.3%
9/14 (金)	7.4%	7.2%	5.1%	4.5%	4.0%	5.7%	8.3%	10.0%	12.6%	9.6%	8.7%	11.1%	10.9%	12.0%	12.1%	11.1%	11.0%	9.9%	10.5%	10.8%	10.5%	9.2%	5.7%	5.6%

節電タイムの時間帯

※速報値を記載

※()内は太陽光の発電量の補正前のもの

時間	0時台	1時台	2時台	3時台	4時台	5時台	6時台	7時台	8時台	9時台	10時台	11時台	12時台	13時台	14時台	15時台	16時台	17時台	18時台	19時台	20時台	21時台	22時台	23時台
9/18 (火)	7.9%	8.0%	6.9%	4.6%	3.9%	6.5%	11.1%	13.3%	16.3%	12.2%	12.2%	12.1%	14.3%	14.6%	15.5%	12.8%	11.1%	8.8%	9.8%	10.0%	9.6%	8.6%	6.4%	7.4%
9/19 (水)	6.0%	7.2%	6.7%	5.2%	3.6%	5.3%	8.5%	12.5%	16.1%															

節電タイムの時間帯

※速報値を記載

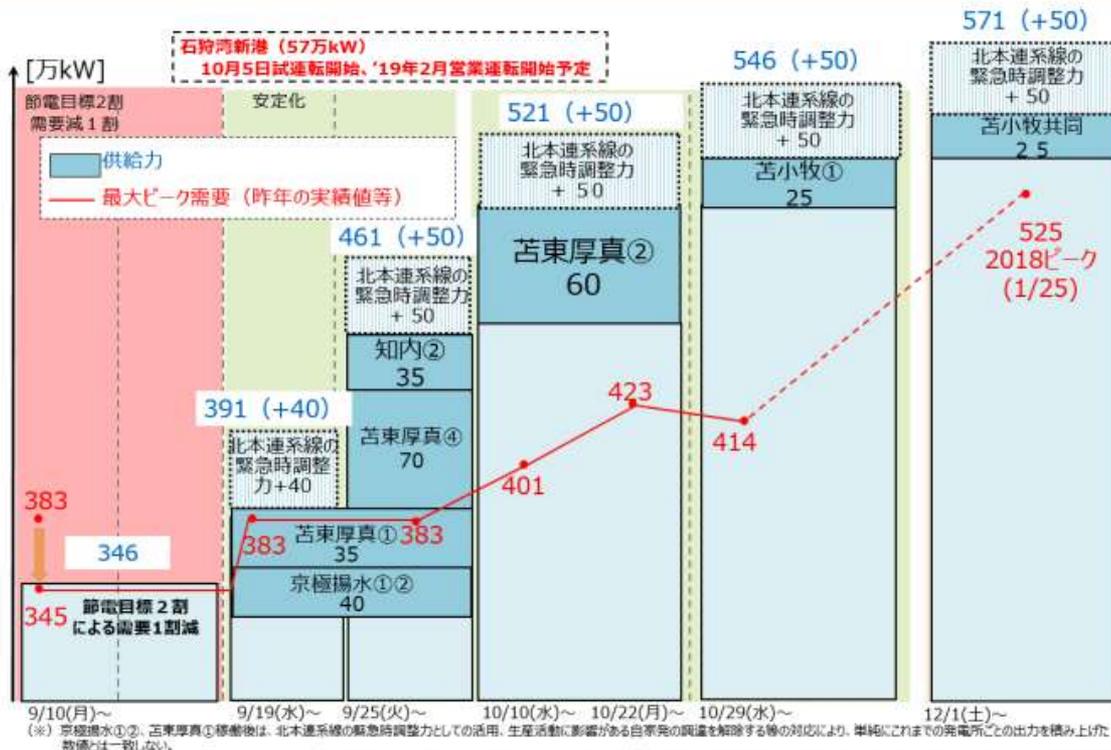
※苫東厚真1号機が稼働したため、19日8時台までを記録



発電所の復旧

1-3-3.現在の需要と供給のバランス

- 9月25日に苫東厚真火力発電所4号機、10月10日に2号機が復旧。
 - また、石狩湾新港発電所1号機が10月5日に試運転を開始。
 - 電力需給は安定しているが、例年通り、電力需要が最も大きくなる冬の時期に向けて無理のない範囲での節電の取組を継続。
- 11月上旬に冬の電力需給対策について取りまとめ。



地震発生時の再エネの状況

1-4-1. 地震発生時の北海道における再エネ発電設備の状況について

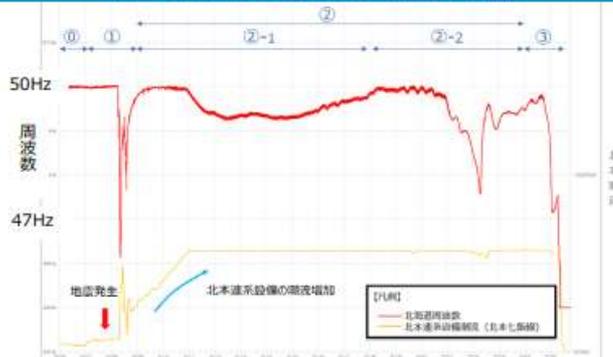
- 事業用の再エネ発電設備には、北海道電力の系統連系技術要件に基づき系統連系保護装置が設置されており、系統事故等により、系統全体の周波数が運転限界周波数（47～51.5Hz）を外れた場合に、自動的に解列する機能が具備されている。
- 今般の地震発生直後も、当該機能により系統連系している再エネ発電設備のほぼすべてが自動的に解列された。

(参考1) 震災時点の再エネ発電設備連系量

種別	連系量
風力	386MW
太陽光	1,383MW

出典:北海道電力より資源エネルギー庁ヒアリング

(参考2) 停電前後の周波数の推移



(参考2及び3) 出典：電力広域的運営推進機関 第1回平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会資料4-1より、資源エネルギー庁抜粋

(参考2) 地震発生の前後の系統状態

(地震前)				(地震後)			
供給力	定額 (MW)	出力 (MW)	火力運転計画	供給力	定額 (MW)	出力 (MW)	
火力	秋川 3号機	125	0	11:00計測予定	秋川 3号機	125	0
	秋川 4号機	125	0	14:00計測予定	秋川 4号機	125	0
	森井江 1号機	175	64	運転中	森井江 1号機	175	58
	森井江 2号機	175	0	5:30計測予定	森井江 2号機	175	0
	苫小牧 1号機	250	0	作業停止※1	苫小牧 1号機	250	0
	苫小牧 2号機	250	0	作業停止	苫小牧 2号機	250	0
	伊達 1号機	350	0	バンス停止※2	伊達 1号機	350	0
	伊達 2号機	350	76	運転中	伊達 2号機	350	76
	伊達 1号機	350	338	運転中	伊達 2号機	350	76
	五重厚島 1号機	600	595	運転中	五重厚島 1号機	600	294(推定)
	五重厚島 2号機	700	598	運転中	五重厚島 2号機	600	0
	五重厚島 4号機	350	96	運転中	五重厚島 4号機	700	0
	知内 1号機	350	0	作業停止	知内 1号機	350	103
	知内 2号機	350	0	作業停止	知内 2号機	350	0
高別 1-2号機	148	0	バンス停止	高別 1-2号機	148	0	
水力※3	新設1-2号機、高島1号機、早1号機、定奇1-2号機	361	69	運転中	新設1-2号機、高島1号機、早1号機、定奇1-2号機	361	0
水力※3	京橋1-2号機、高島2号機、早2号機	521	0	作業停止	京橋1-2号機、高島2号機、早2号機	521	0
水力※3	その他	711	運転中	その他	343	0	
主力火力※3	319	166	運転中	主力火力※3	319	1	
その他※4	344	運転中	その他	不明※2			
北本連系設備 (北海道南支庁圏外)	600 (約570)	72	運転中	北本連系設備	600	270 (上限中)	
需要	3087			需要	3087		

※1：作業停止とは、定期検査等により停止した状態
 ※2：「バンス停止」とは、需給バランスで運用上停止した状態
 ※3：中央給電指令所がテレメータ（遠隔測定）情報を受信している水力・風力
 ※4：その他は、需要から火力・水力・主な風力・北本連系設備の合計を差し引いた不明分
 ※1：中央給電指令所がテレメータ（遠隔測定）情報を受信している水力・風力
 ※2：この時点における正確な需要がわからないため算出できない

再エネの接続復帰（風力・PV）

1-4-2. 再生可能エネルギー（風力・太陽光）の接続復帰経緯

- 再生可能エネルギーを安定的に運用するには出力変動に対応する調整力が必要不可欠なため、調整力の確保状況と並行して段階的に再生可能エネルギーを接続。

9/8 (土)7時頃～

再エネの出力変動に対する調整力の関係で電源種を限定して立上げ（南早来のレドックスフロー蓄電池を活用）

9/9(日)3時頃～

蓄電池付太陽光（特別高圧）についても接続要請。蓄電池付太陽光7箇所の内、4箇所故障、3箇所週末対応不可だったため、実際は月曜以降に接続

9/11 (火)9時頃～

北本連系線の余力が一部確保されたことから段階的に対象を拡大。高圧太陽光と風力発電28万kW（特高24.6万kW、高圧3.7万kW）を接続

9/14(金)16時頃～

京極揚水発電所の稼働により北本連系線の余力が安定的に確保され、特別高圧太陽光（出力変動緩和対策なし）を含め、全ての再エネを接続



※低圧太陽光(うち住宅用は16)は停電解消後に事業者側の復旧に合わせて発電開始。

再エネの接続復帰後出力推移

1-4-3. 再生可能エネルギー（風力・太陽光）の出力の推移

- 再生可能エネルギーは出力最大時は需要比で20~30%程度で推移している一方、最大需要時(18時台)には太陽光の出力が低下するため需要に占める割合は低くなる。



再エネの割合	最大需要時	再生可能最大出力時
	1.2%	3.8%
0%	2.0%	
0.1%	0.9%	
0%	30%	
2.2%	28%	
0.9%	22%	
1.3%	26%	
0.4%	37%	

(資料) 北海道電力データより³⁴

再エネの接続復帰 (バイオマス・地熱)

1-4-4.再生可能エネルギー (バイオマス・地熱) の出力の推移

- バイオマス・地熱発電は、震災直後から、接続が可能になったものからすぐに接続し発電。発電量の変動はほぼなく、一定割合で発電し供給力として貢献。



(資料) 北海道電力データより

本日の内容

1. 停電とは
2. 北海道地震で何が起こったのか
3. 台風15号、19号で何が起こったのか
4. 電力システムの変容とこれから

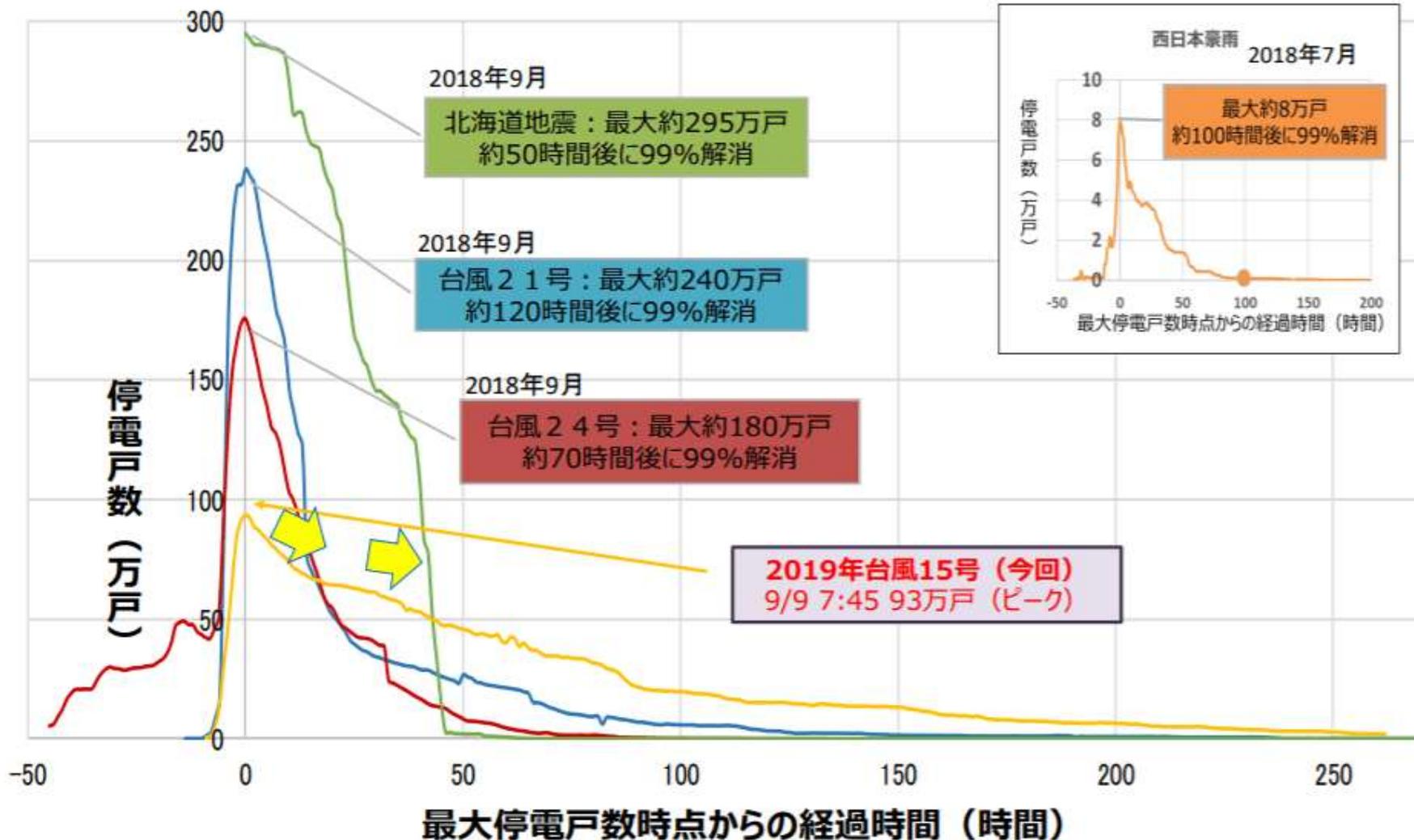
(2. 3.は、生産技術研究所岩船先生作成のスライドから)

台風被害（台風15号による被害）



各災害時の被害状況

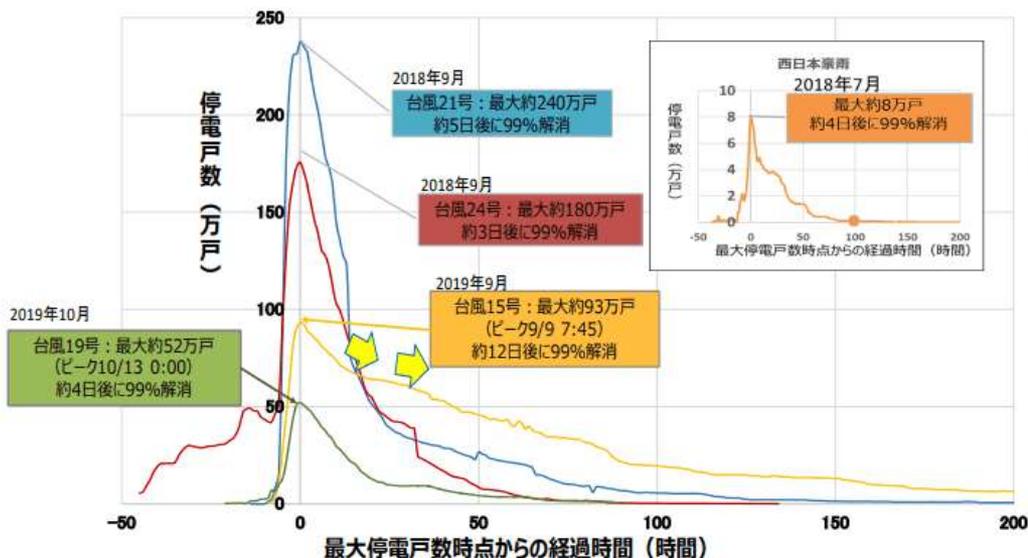
(参考)各災害時における停電戸数の推移



台風被害の概要

- 本年9月の台風15号による暴風等による停電は、停電戸数のピークは93万戸であったが、**電柱の損壊が約2,000本（昨年の台風21号の約1.5倍）**に達するなど、特に千葉県内において深刻な被害を受けたため、復旧作業に時間を要し、**長期の停電**が発生。
- **10月の台風19号**は、台風15号と比較し**末端の配電設備の被害規模が相対的に小さかった**ことに加え、**台風15号の教訓を踏まえ、初動からの体制強化・巡視要員の確保**などにより、大幅に改善。

＜これまでの台風被害における停電戸数の推移＞



＜台風15号の概要＞

		令和元年台風15号	平成30年台風21号	
期間降水量	静岡県	450.5ミリ	愛知県	378.5ミリ
	千葉県	237.5ミリ	大阪府	(気象庁情報なし)
最大風速※1	東京都	43.4m/s	高知県	48.2m/s
	千葉県	35.9m/s	大阪府	46.5m/s
最大瞬間風速※2	東京都	58.1m/s	大阪府	58.1m/s
	千葉県	57.5m/s		
気圧傾度		7~10hPa/10km	5hPa/10km	

(出所) 第7回電力レジリエンスワーキンググループ 資料3 (一部抜粋)

※2019年台風19号については、10月12日(土)午前中に強風による飛来物の影響により、短時間(1分程度)発生した停電の影響を除く。

年間停電時間の推移

- **2018年度は、台風21号、台風24号や北海道胆振東部地震等を原因として、1軒あたりの年間停電時間は、全国平均すると225分**となった。これは、過去30年間で、東日本大震災が発生した2010年度に次ぐ水準。
- **2019年度は、台風15号の東京電力管内被害の復旧に12日程度（99%復旧）の時間を要しているが、全国平均すると80分**の見込み。過去の台風襲来が少ない千葉県における局所的な暴風等により電柱の倒壊等の設備被害が多く起こったことや倒木の処理に時間を要したことが停電の長期化をもたらしたと考えられるが、平均すると**2018年の水準以下**となる。



台風と地震による停電の影響の違い

• 地震

- 発電所や変電所故障、ケーブル地絡などが震源に近い場所で局所的に発生、地点にもよるが、一度に復旧できる

• 台風

- 台風の経路上で地上物が広範囲に被害。あちこちで電柱倒壊、倒木や飛来物による断線、停電個所の特定に時間がかかる
- 倒木の処理は私有物なので電力会社は勝手に処理できない
- 道路寸断の場合、修理車が通れず、作業個所にたどり着けない



台風15号等の検証を踏まえた 主な対策の全体像

- 本年9月の台風15号による停電では、停電戸数ピーク：約93万、電柱損壊：約2,000本（昨年台風21号の約1.5倍）など、千葉県を中心に広域に甚大な被害を受け、長期停電（最長2週間程度）が発生。
- 10月以降、経済産業省の有識者会議で検証を行い、国民生活を支える安定的な電力供給、停電の早期復旧、より正確な情報発信を実現する観点から、以下の対策を整理。今後、政府全体の検証の場に報告を行う。

<政府における対策>

<東京電力における対策>

1：被害状況の迅速な把握・情報発信、国民生活の見通しの明確化

- 鉄塔等の被害の迅速な把握のための衛星画像やAI等の活用、停電復旧情報のビッグデータ化による復旧予測の精緻化、情報の一元管理のためのシステム開発【予算対応】
- 迅速な通電確認のため、顧客情報の自治体への提供の仕組み【制度対応】

- 「巡視」の重要性を徹底し、①初動から最大限の要員投入、②カメラ付きドローン、ヘリ等の活用を拡大
- 現場情報や電源車の稼働状況をリアルタイムで把握・共有し、復旧工程を管理するシステムの導入
- 情報集約・整理を行うマネジメント要員を適正配置

2：被害発生時の関係者の連携強化による事前予防や早期復旧

- 一般送配電事業者間の連携計画を策定し、復旧手法・設備仕様の統一化等を通じた復旧作業の迅速化促進【制度対応】
- 全事業者が協調し復旧活動等を行う義務の法定化【制度対応】
- 復旧費用や電源車派遣の相互扶助制度の創設【制度対応】
- 倒木対策における他省庁（林野庁等）との連携等【運用対応】
- 災害時における電動車（EV等）の非常用電源としての活用促進【運用対応】

- 設備の完全復旧よりも早期の停電解消を最優先する「仮復旧」等の復旧方針について、早期指示の徹底
- 電力会社間・自衛隊との定期的な情報共有・合同訓練
- 事前の樹木の伐採など、自治体や他インフラ（通信等）との連携強化

3：電力ネットワークの強靱化によるレジリエンス強化

- 鉄塔の技術基準見直し【制度対応】
- 無電柱化の推進（関係省庁連携）【予算対応】
- 災害に強い分散型グリッドの推進【制度対応】
- 社会的に重要な施設への自家発電設備の導入促進【予算対応】
- 送配電網の強靱化とコスト効率化を両立する託送料金制度改革【制度対応】

- 費用対効果を踏まえた送配電網の強靱化・スマート化（無電柱化を含む）の推進（効率的・計画的な更新投資）
- 鉄塔の総点検による状況の把握と今後の更新等に向けた計画の策定

台風15号等の検証を踏まえた 主な対策の全体像（続き）

（４）復旧までの代替供給・燃料の確保

● 電力・石油会社間の災害時提携やタンクローリー配備の加速化

- 電源車の応援融通を行う事態を想定した電源車の燃料確保【制度対応】
- 電源車や病院等の自家発電機への燃料供給に利用できる緊急配送用ローリーの配備（予算対応）

● 燃料の安定的かつ低廉な調達（中東不安定化等を踏まえた調達先の多角化、緊急時の調達確保）

- LNGの調達先の多角化と非常時の安定確保を図るため、JOGMECによる積替基地やアジアなどにおける貯蔵基地（平時は各国への供給基地）へのリスクマネー供給を可能とする【制度対応】
- 万が一、民間によるLNGなどの燃料調達が困難になった場合に、緊急的な措置としてJOGMECが燃料を調達【制度対応】

（５）電力ネットワークの強靱化、電源等の分散化によるレジリエンス強化

<電力ネットワークの強靱化>

● 緊急時の電力融通に資する地域間連系線の増強促進

- マスタープラン（広域系統整備計画）に国への関与を法定化し、それに基づく地域間連系線等の増強費用について全国で支える仕組みを導入【制度対応】

<電源等の分散化>

● 災害時に自立運転可能な再エネ等分散型電源の地域への導入拡大

● 設備の老朽化や再エネ大量導入も踏まえた最新の電源の導入や多様化・分散化の促進

- 再エネの主力電源化に向けた、国民負担の抑制と両立するFIT制度の抜本改革【制度対応】
- 世界的に過小投資の問題が生じている電源の更新投資の安定化と、それによる多様化・分散化【制度対応】

情報発信

	減災対策		防災対策
	情報発信	停電の早期復旧	
緊急対策	<p>SNS等を活用した国民目線の情報発信</p> <p>① SNSアカウントの開設と迅速な情報発信 ② 電気事業連合会による情報発信のバックアップ</p> <p>多様なチャネルの活用による幅広い国民層への情報周知</p> <p>③ ラジオ、広報車等の活用 ④ 自治体との情報連携の強化 ⑤ 災害時におけるコールセンターの増強</p> <p>現場情報収集の迅速化</p> <p>⑥ リアルタイムな現場情報収集システムの開発等の検討 ⑦ 住民が投稿できる情報収集フォームのHP上への開設やツールの整備</p>	<p>他の電力会社の自発的な応援派遣による初動迅速化</p> <p>① 電源車等の自発的な派遣 ② 復旧作業のノウハウ共有化</p> <p>関係機関と連携した復旧作業の円滑化</p> <p>③ 大規模な応援派遣に資する資機材輸送手段の確保 ④ 道路関係機関や重要インフラ事業者等との連絡窓口の開設 ⑤ 自治体との災害時の情報連絡体制の構築</p>	—
中期対策	<p>⑧ 電力会社のHP上の停電情報システムの精緻化 ⑨ 関係省庁の連携による重要インフラに係る情報の共同管理・見える化 ⑩ ドローン、被害状況を予測するシステム等の最新技術を活用した情報収集</p>	<p>⑥ 復旧の妨げとなる倒木等の撤去の円滑化に資する仕組み等の構築</p>	<p>火力発電設備の耐震性確保の技術基準への明確な規定化</p>

3



情報発信 (顧客情報の自治体への提供の仕組み)

- 災害復旧や事前の備えに電力データを活用するため、**電気事業法上の情報の目的外利用の禁止の例外**を設け、**経済産業大臣から電力会社に対して、地方自治体や自衛隊等に個人情報を含む電力データの提供を求める制度整備を検討。**
- また、高齢者の見守りや防犯対策などの社会的課題の解決やイノベーションの創出のため、消費者保護を確保しつつ、**電力データを有効活用する制度整備を検討。**
(例：本人の同意を前提に、地方自治体の民生職員による、高齢者の見守り等に活用)

<情報の目的外利用の禁止の規定>

電気事業法

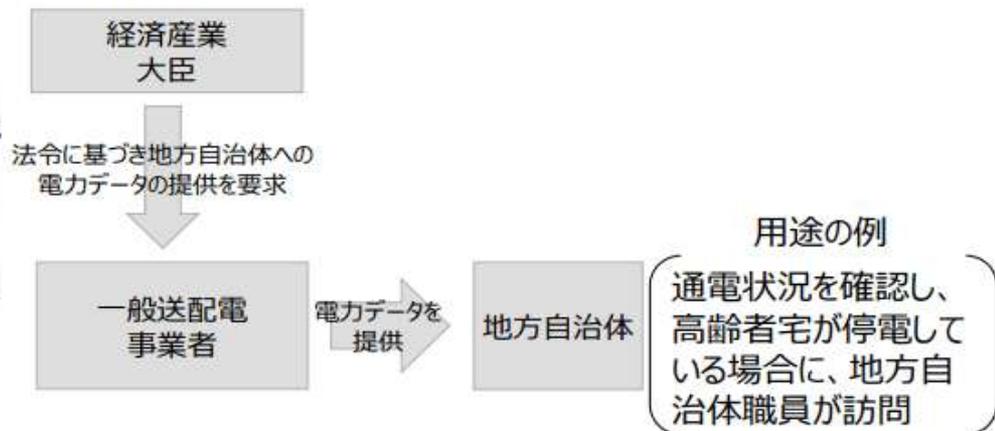
第二十三条 一般送配電事業者は、次に掲げる行為をしてはならない。

- 一 **託送供給及び電力量調整供給の業務に関して知り得た他の電気を供給する事業を営む者**（以下「電気供給事業者」という。）及び電気の使用者に関する情報を当該業務及び電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（平成二十三年法律第百八号）第二条第五項に規定する特定契約に基づき調達する同条第二項に規定する再生可能エネルギー電気の供給に係る業務の用に供する目的以外の目的のために利用し、又は提供すること。

二 (略)

2 (略)

<災害復旧時の地方自治体への電力データの提供イメージ>



震災時のコジェネの活用

1-4-8. 震災時におけるコージェネレーションの活用状況について

- 災害時に停電が起きた場合も、コージェネレーションから電気・熱を継続して供給可能。
- 今般の災害においても、コージェネレーションにより自宅での給湯や携帯電話の充電、病院での医療機能の維持が可能となるなど、生活環境の維持に大きく貢献した。

コージェネレーション

天然ガス、石油、LPガス等を燃料として、エンジン、燃料電池等の方式により発電し、その際に生じる廃熱も有効活用するシステム



活用事例

- 台風21号による停電時の活用例
 - 8施設 (医療施設や老人ホーム等) で産業用コジェネを活用
 - 835世帯でエネファームを活用
- 北海道胆振東部地震による停電時の活用例
 - 23施設 (医療施設やホテル等) で産業用コジェネを活用

【注】ガス事業者へのヒアリングにより作成

<エネファームによる給湯>



<エネファームによる携帯電話の充電>



<停電時の使用電力の目安>

エネファームは停電時も最大700W発電可能



震災時の住宅用太陽光発電の活用

1-4-9.災害時における家庭用太陽光発電設備の稼働状況について

- 家庭用太陽光発電設備の多くは、停電時に自立運転を行う機能を備えており、昼間の日照がある時間帯には太陽光により発電された電気を利用することが可能。今般の北海道胆振東部地震後、経済産業省は、ホームページやツイッターを通じて、自立運転機能の活用方法を周知。
- 今般の震災においても、自立運転機能等の利用により、停電時においても電力利用を継続できた家庭が約85%存在することが太陽光発電協会の調査により推計されている。

(参考1) 自立運転機能について

● 自立運転機能の使用方法は、概ね以下のとおりだが、メーカーや機種により操作方法が異なる場合があるので、取扱説明書の確認が必要。

- ① 自立運転用コンセント（茶色のコンセントが目印）の位置を確認し、取扱説明書で「自立運転モード」への切り替え方法を確認する。
- ② 主電源ブレーカーをオフにし、太陽光発電ブレーカーをオフにする。
- ③ 「自立運転モード」に切り替え、自立運転用コンセントに必要な機器を接続して使用する。

※ 停電が復旧した際は、必ず元に戻す。（自立運転モード解除⇒太陽光発電用ブレーカーをオン⇒主電源ブレーカーをオンの順で復帰）

<ソーラーフロンティアの例>



(参考2) 自立運転機能の活用実態調査

- 太陽光発電協会が、会員企業を通じて、北海道胆振東部地震による停電の際に自立運転機能を活用した実態について、サンプル調査を行った結果、**住宅用太陽光発電ユーザー428件のうち約85%にあたる364件が自立運転機能を活用した**と回答。

自立運転機能を活用した方の声

- 冷蔵庫、テレビ、携帯充電が使えた。友達にも充電してあげることができ、喜んでもらった。
- (蓄電機能付きPVユーザー) 停電であることに気づかなかった。

経産省ツイッター (2018/09/06)

- ご自宅の屋根などに太陽光発電パネルを設置されている方は、停電時でも住宅用太陽光発電パネルの自立運転機能で電気を使うことが出来ます。自立運転機能の使用方法などは、こちらをご覧ください。
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/announce/20180906.pdf

台風時の住宅用太陽光発電の活用

「太陽光発電の自立運転機能」の活用についてのヒアリング調査（2019年9月、台風15号被害エリア）（太陽光発電協会）

- 蓄電機能を併設しない住宅用システム（太陽光発電システムのみ）へのヒアリング（486件）
 - 自立運転機能を利用した件数：388件（利用率：79.8%）
 - 住宅用太陽光発電システムで自立運転を活用しなかった理由
 - 自立運転機能があることを知らなかった：24件
 - 運転方法が判らなかった：60件
 - その他：14件
 - 携帯が使えず自立運転の方法が調べられなかった。
 - 年配のユーザーの方で調べる方法がわからなかった。
- 蓄電池・EV等の蓄電機能を併設したシステムの設置件数調査
 - 住宅用太陽光発電システムの件数：1,799件
 - 住宅以外の太陽光発電システムの件数：2件

→これらの殆どは、自立運転機能利用と推察される

- 自立運転機能を利用した世帯の声
 - 冷蔵庫を使うことができたので、中の食べ物を腐らせずに済んだ。
 - 日中に冷蔵庫・洗濯機・扇風機・テレビが使えた。
 - 近隣の方へ携帯の充電等で貢献できたことが嬉しかった。
 - 1週間程度停電が続いたが太陽光（発電）のみで電気が供給できて大変助かった、夜電気が使用出来ることで子供も安心して過ごせた、（蓄電池保有世帯）



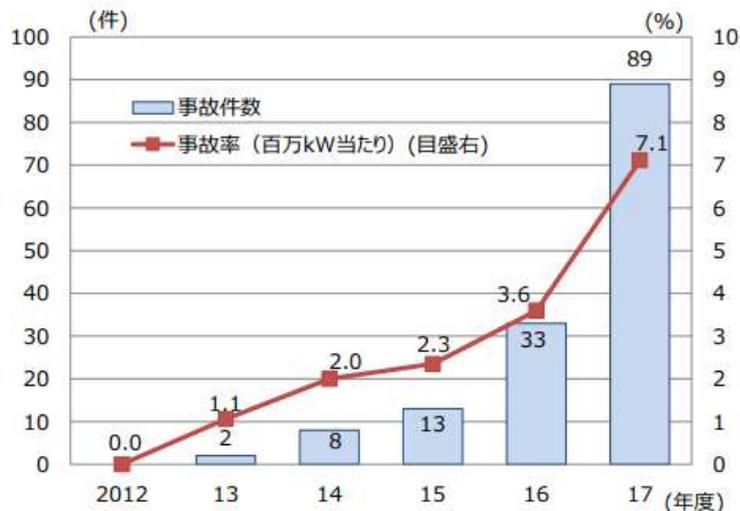
災害による太陽光発電の被災状況

- 再エネ発電設備のうち、特に、急増している太陽電池発電については、**事故件数・事故率ともに増加の傾向。**
- また、**近年、自然災害の度に再エネ発電設備の事故も発生し、再エネ発電設備の安全の確保に対する社会的な要請も高まっているところ。**

＜太陽電池発電設備の事故件数の推移＞

※小出力発電設備は除く

年度	2012	13	14	15	16	17
事故件数	0	2	8	13	33	89
事故率 (百万kW当たり)	0.0	1.1	2.0	2.3	3.6	7.1
設備量 (1000kW)	202	1,892	4,005	5,536	9,180	12,514



出所：電気保安統計年報(2017年度)

なお、2016年度以降、事故報告の対象範囲を広げている。

＜近年の主な災害時の太陽電池発電設備の事故状況＞

※小出力発電設備は除く

	年	2018年			2019年		
	災害事象	7月 豪雨	台風 21号	北海道 地震	台風 24号	台風 15号	台風 19号
合計 (発電所数)		19	23	3	3	8	27
原因	浸水	8	-	-	-	-	22
	土砂崩れ	11	-	-	-	-	5
	強風	-	20	-	3	8	-
	高潮	-	3	-	-	-	-
	地震	-	-	3	-	-	-

＜再エネ発電設備の事故の様子＞



太陽光パネル崩壊事故 (2018年7月、姫路市)



風力発電設備倒壊事故 (2018年8月、淡路市)

「むつざわスマートウェルネスタウン」



【周辺店舗や住戸が停電する中、明るく輝く道の駅(上)と住宅(右)】



【長蛇の列となった温泉施設】 (出典: ANN NEWS)

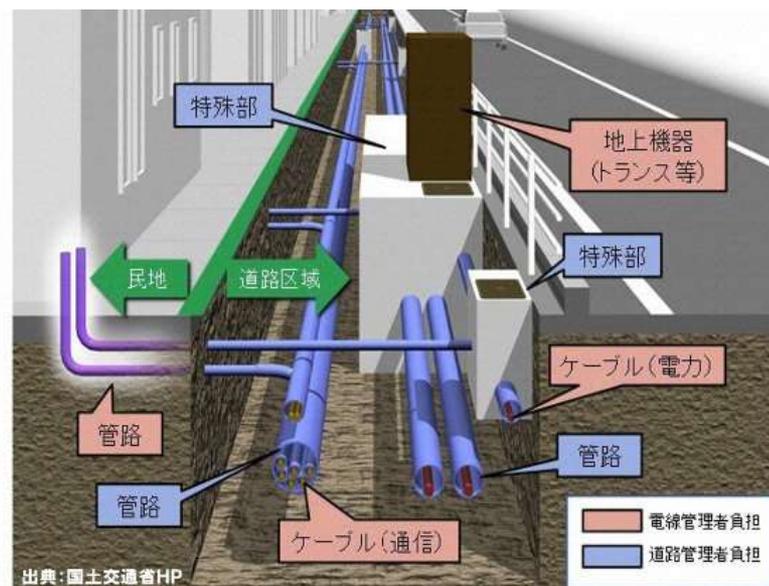
- ・ 温水が使えたのがありがたかった。
 - ・ 2~3,000円お支払いしたいくらい気持ちよかった。
- (温泉施設を利用した住民の声)

自立した電力供給システムで、台風15号上陸後に防災拠点として効果を発揮

リスクとコストのバランス

• 電線地中化

- コスト 5.3億円/km（電線共同溝方式：約3.5億円/km + 電気・通信設備（地上機器（トランス）、ケーブル）工事に係る費用1.8億円/km）*1
- 宅地開発時負担金額 80-150万円/戸*2
- 水害リスクはあり（被災時には復旧に時間がかかる）



現在、主流となっている整備手法であり、道路地下空間を利用して電力ケーブルや通信ケーブルなどを地中化する方式です。

*1国土交通省 無電柱化の現状（平成29年1月26日）

<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/chicyuka/pdf03/09.pdf>

*2無電柱化企業 株式会社ジオリゾームHP

<https://www.georhizome.com/>



リスクとコストのバランス

- 太陽光発電・蓄電池設置
 - 太陽光発電
 - FIT買取により10年償却が可能
 - 停電時には自立運転で1500Wくらいまで利用可能
 - 蓄電池 現在20万円/kWh程度（5kWhで100万円）
 - 10年で償却するためには、5万円/kWh以下が必要
- 自動車
 - 100V電源・1500Wまで使用可能（標準あるいはオプション装備）
 - 電気自動車／プラグインハイブリッド車／ハイブリッド自動車
 - V2Hで6kWまでフル利用可能
 - 電気自動車
- マイクログリッド？



「需給一体型」の再エネ活用モデル

- **自家消費とシステムの活用を含む「需給一体型」のモデル**について、①家庭、②大口需要家、③地域の3つの視点から、必要な環境整備を進める。また**ネットワークも含めた電力システム全体の効率性や再生可能エネルギーによるレジリエンス**といった視点も踏まえつつ、FIT法の抜本見直しも見据えた支援策のあり方について検討する。

①家庭

- ① 家庭用太陽光と蓄エネ技術を組み合わせた効率的な自家消費の推進

- 蓄エネ技術の導入コストの低減
- ZEH+の活用、ZEH要件の在り方



- ② VPPアグリゲーターによる蓄電池等を活用した余剰電力の有効活用

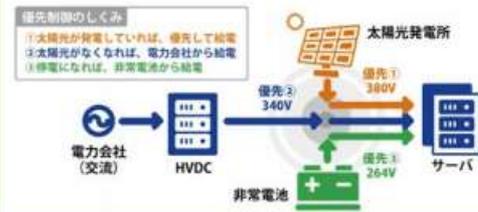
- 蓄電池の導入コストの低減
- 制御技術の向上や各種電力市場の設計
- 柔軟な電気計量制度

②大口需要家

- ① 敷地内（オンサイト）に設置された再エネ電源による自家消費

- ② 敷地外または需要地から一定の距離を置いた場所（オフサイト）に設置された再エネ電源による供給
 - 関係機関で連携した相談・紛争処理機能による対応

<国内のオフサイト再エネ電源による供給事例（さくらインターネット）>



③地域

- ① 地域における再生可能エネルギーの活用モデル

- 地域の再エネと熱供給、コジェネなど他の分散型エネルギーリソースを組み合わせ経済的に構築したエネルギーシステムの普及拡大
- 海外事例を踏まえた事業構築のガイドライン等自立的に普及する支援策



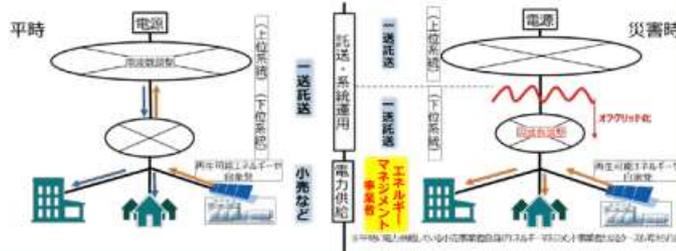
- ② 地域の分散型エネルギーシステムを支える電力ネットワークの在り方

- 託送サービスや費用負担の在り方の検討

再エネ×レジリエンス

- ① 家庭 ⇒ 住宅用太陽光の自立運転機能の活用
エネファームなど他電源等と組み合わせた災害対策
- ② 大口需要家 ⇒ ZEBやオフサイト電源と蓄電池を組み合わせた非常の電力供給
- ③ 地域 ⇒ 地域の再生可能エネルギーと自営線・系統配電線を活用した、災害時にもエネルギーの安定供給を可能とするモデル
(今後、技術的要件の確認や料金精算方法等の論点の整理が必要)

<災害時における地域のエネルギー安定供給（イメージ）>



個人的な意見

- 供給側だけの対策では費用対効果が厳しい
 - 地中化？
 - 自立電源の導入支援、蓄電池設置による利活用の推進？

→ 災害対策重視のあまり、費用負担が増大するおそれあり

○住宅用PV、電気自動車の活用

×自営線の敷設、蓄電池への補助拡大 等
- 需要側の対策を組み合わせた検討が必要
 - 節電時の情報提供は不十分
 - リアルタイムの需給の情報が公表されない（契約種別）
 - どこまでの節電を何すべきかが不明
 - 十分な需要の分析がされていない
 - スマートメータの活用（2025年までに全面普及予定）
 - 部分的な需要抑制機能
 - 災害、停電は起こる前提の備え、心構え（沖縄に学ぶ）
 - カセットコンロ、石油ストーブ、充電器、防災グッズ
- インフラ企業の“矜持”にどこまで依存できるのか
 - 発送電分離、自由化
 - プレーヤーの増加
 - 制度・システムとしての信頼性確保が必要ではないか



本日の内容

1. 停電とは
2. 北海道地震で何が起こったのか
3. 台風15号、19号で何が起こったのか
4. 電力システムの変容とこれから

(2. 3.は、生産技術研究所岩船先生作成のスライドから)

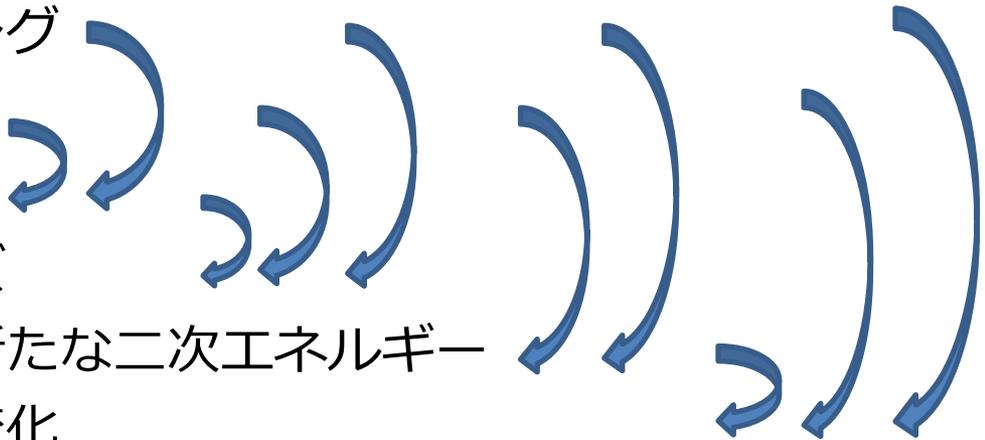
世界共通の潮流

人類共通の課題解決の必要性が認識され、取り組みが加速している。

- ✓ IPCC（国連気候変動に関する政府間パネル）とCOP（国連気候変動枠組条約締約国会議）での継続的議論、
- ✓ SDGs（2015年の国連サミットで採択された持続可能な開発目標）

これらを背景に、電力・エネルギー部門では、今後、長期の継続的かつ大規模な変革が起こる：

- 電化とセクターカップリング
- 再生可能エネルギー導入
- 分散型システム
- 価値のシフトとマネタイズ
- 大規模エネルギー貯蔵と新たな二次エネルギー
- 交流電力システムの質的变化



変革は、供給側のみではなく、需要側、流通ネットワークと、全分野に及ぶこと、そして長期にわたる取り組みため、戦略的取り組みが必要であることが重要である。

世界共通の潮流

改めてSDGsの「持続可能な開発目標」を見てみると、その達成には、情報・通信の分野と並んで、電力・エネルギー分野が果たす役割が大きいことがわかる。

[SDGs持続定開発目標]

1. (貧困) あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
2. (飢餓) 飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
3. (保健) あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
4. (教育) すべての人々への包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する
5. (ジェンダー) ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う
6. (水・衛生) すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
7. (エネルギー) すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
8. (成長・雇用) 包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用 ディーセント・ワーク を促進する
9. (イノベーション) 強靱なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
10. (不平等) 各国内及び各国間の不平等を是正する
11. (都市) 包摂的で安全かつ強靱レジリエントで持続可能な都市及び人間居住を実現する
12. (生産・消費) 持続可能な生産消費形態を確保する
13. (気候変動) 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
14. (海洋資源) 持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
15. (陸上資源) 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
16. (平和) 持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
17. (実施手段) 持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

世界共通の潮流：電化とセクターカップリング

- 省エネルギーおよび経済性の観点から、化石エネルギーからの燃料転換や新たなエネルギー需要の獲得により、エネルギー需要の電化とセクターカップリングが進展する。
- 低炭素排出エネルギー源である再生可能エネルギー、原子力の出力が一義的に電気であることも電化促進の理由である。
- 運輸、温冷熱供給を中心に世界で新たな取り組みが行われている

IEA2018, The Year of Electricity

5月の既設電源の柔軟性の向上に関する Power System Transformationの Status Reportの発刊。

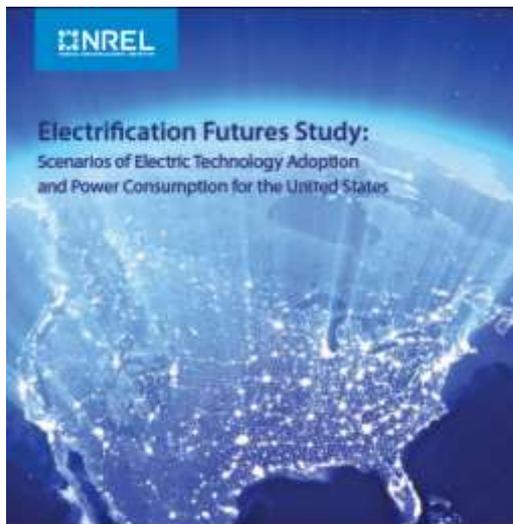
6月の東京でのESAPのワークショップでの Electricity Security Action Plan 2.0が発表と、安定供給に関する議論。

電力システム連系の安定供給の問題に関する Electricity Security Across Borders reportの発刊

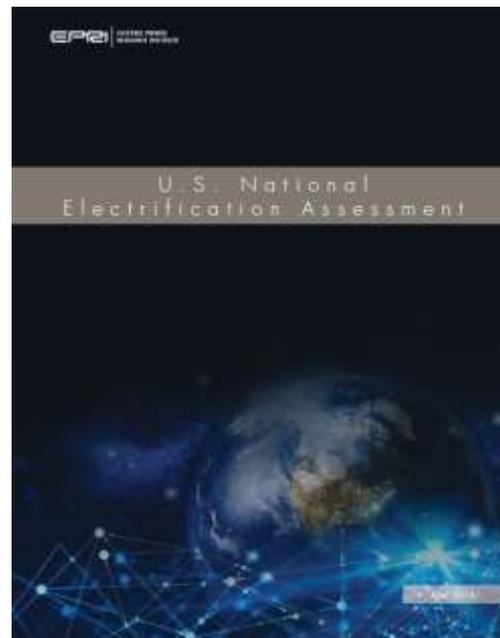
スマートエネルギーシステムに関する “Technology Roadmap” の発刊

年次の再エネ、ガス、石炭、省エネの市場報告書での、再エネが各市場に与える影響分析。

The World Energy Outlook 2018では、初めて電力に焦点を当てる。



NREL
Electrification Futures Study:
Scenarios of Electric Technology Adoption
and Power Consumption for the United States

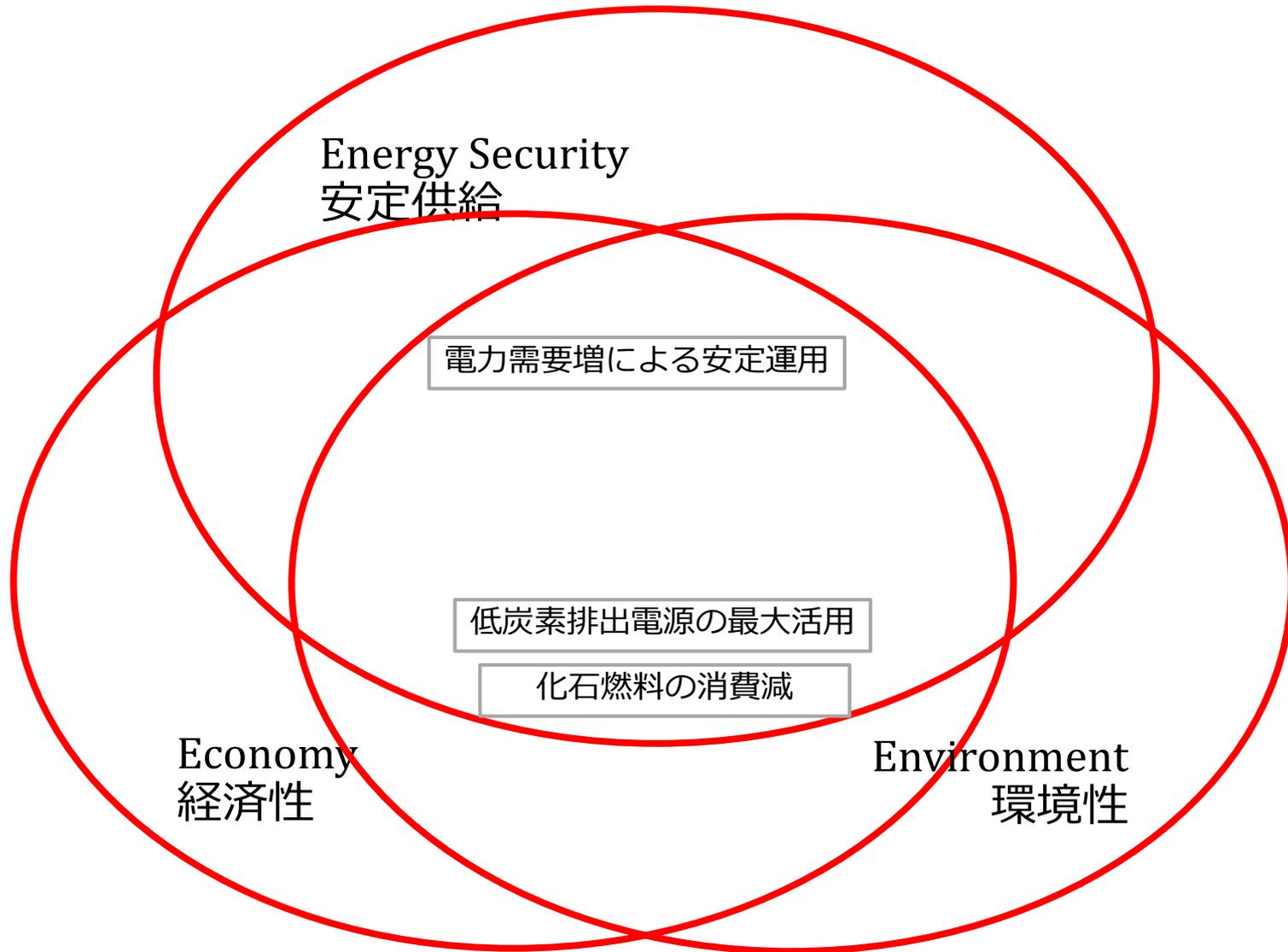


EPRI
U.S. National
Electrification Assessment

[NREL: Electrification Future Study](#) [EPRI: US Nat'l Electrification Assessment](#)

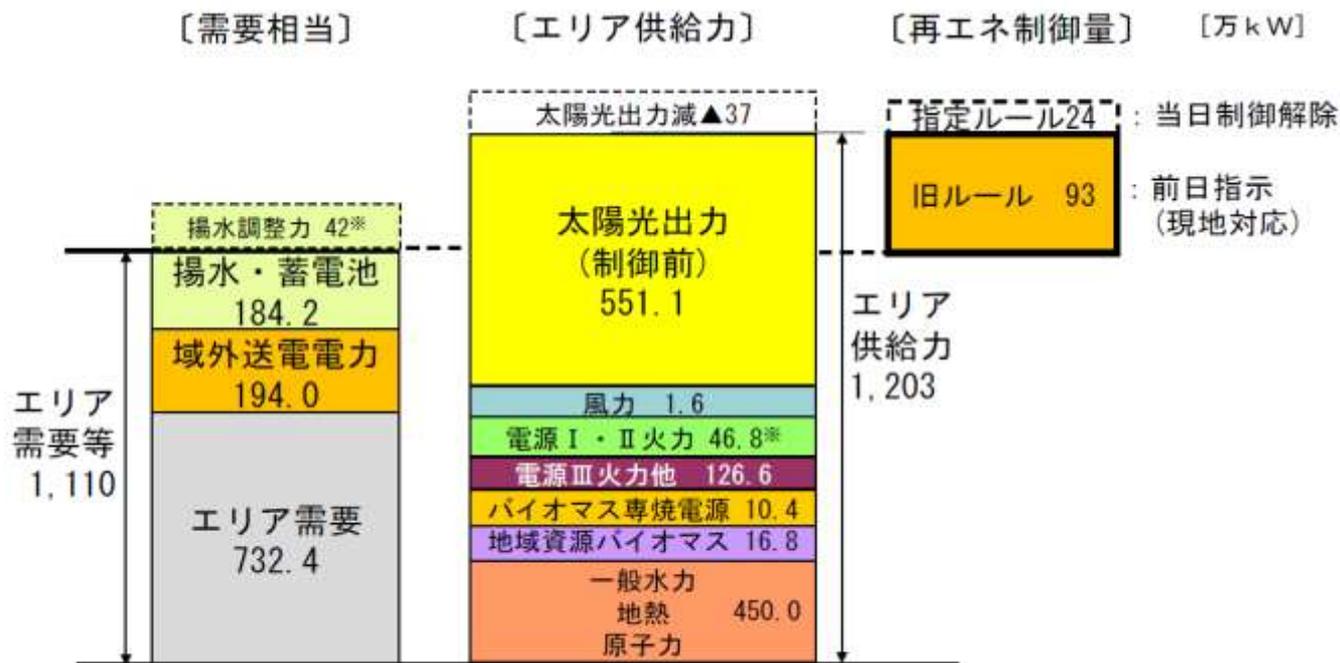


3E+Sにおける「電化」



2018年10月九州本島での再生可能エネルギー電源の出力制御

- ❑ 初めての10月～11月の出力制御のうち、最大の制御量となった10月21日は、118万kWが前日指令され、当日24万kWの解除を経て、93万kWが実施された。
- ❑ 大部分の設備が遠隔で制御できず、ファックスやメールによる連絡と現地制御で行われている状況は、安定運用と運用コスト低減への大きな課題。
- ❑ 既設のルーフトップPVについては、遠隔指令・制御機能がなく、出力制御難。

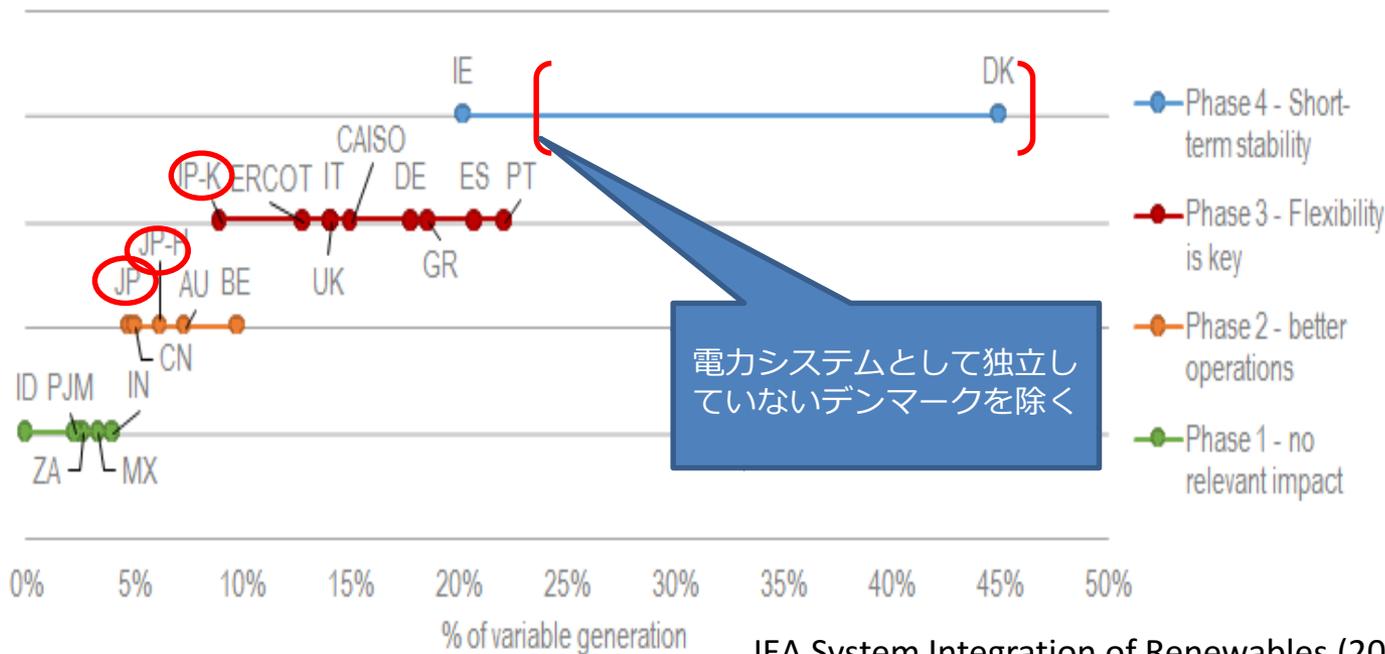


※太陽光出力の上振れ対応とLFC調整力を火力・揚水で調整力を確保

九州電力出力制御時 [下げ調整力最小時刻：10月21日 12:00～12:30]
 経産省 第18回系統ワーキンググループ 資料2-1 (2018.11)

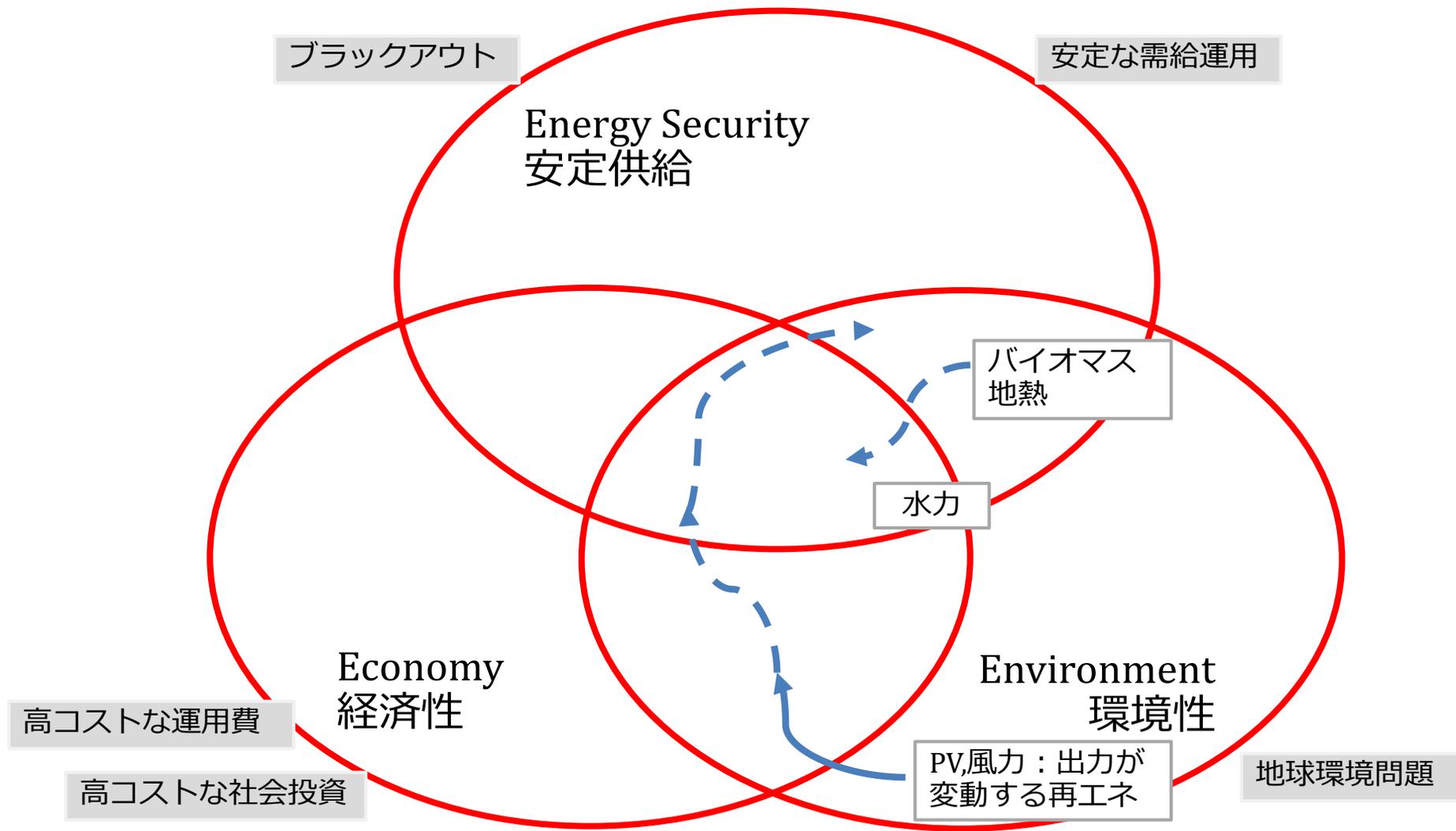
RE導入の状況：IEAによる導入段階

- 一定規模以上の電力システムにおいて、出力が変動する再エネ（VRE: PV,風力）の最大導入率は25%弱程度
- 日本は全体としてのVRE導入率は数%であるが、PVの導入の突出する九州の電力システムの運用の難しさは、IEAの提唱する導入段階のうち「Phase 3」とされている。
- 低炭素排出に有効な原子力の一定出力運転を加えると、九州（JP-K）、北海道（JP-H）の電力システム運用の難しさは、アイルランド（IE）にも再生可能エネルギーの大量導入で、デンマーク、ドイツなどが話題に近づく状況。



IEA System Integration of Renewables (2018, 邦訳)

3E+Sにおける「再生可能エネルギー」



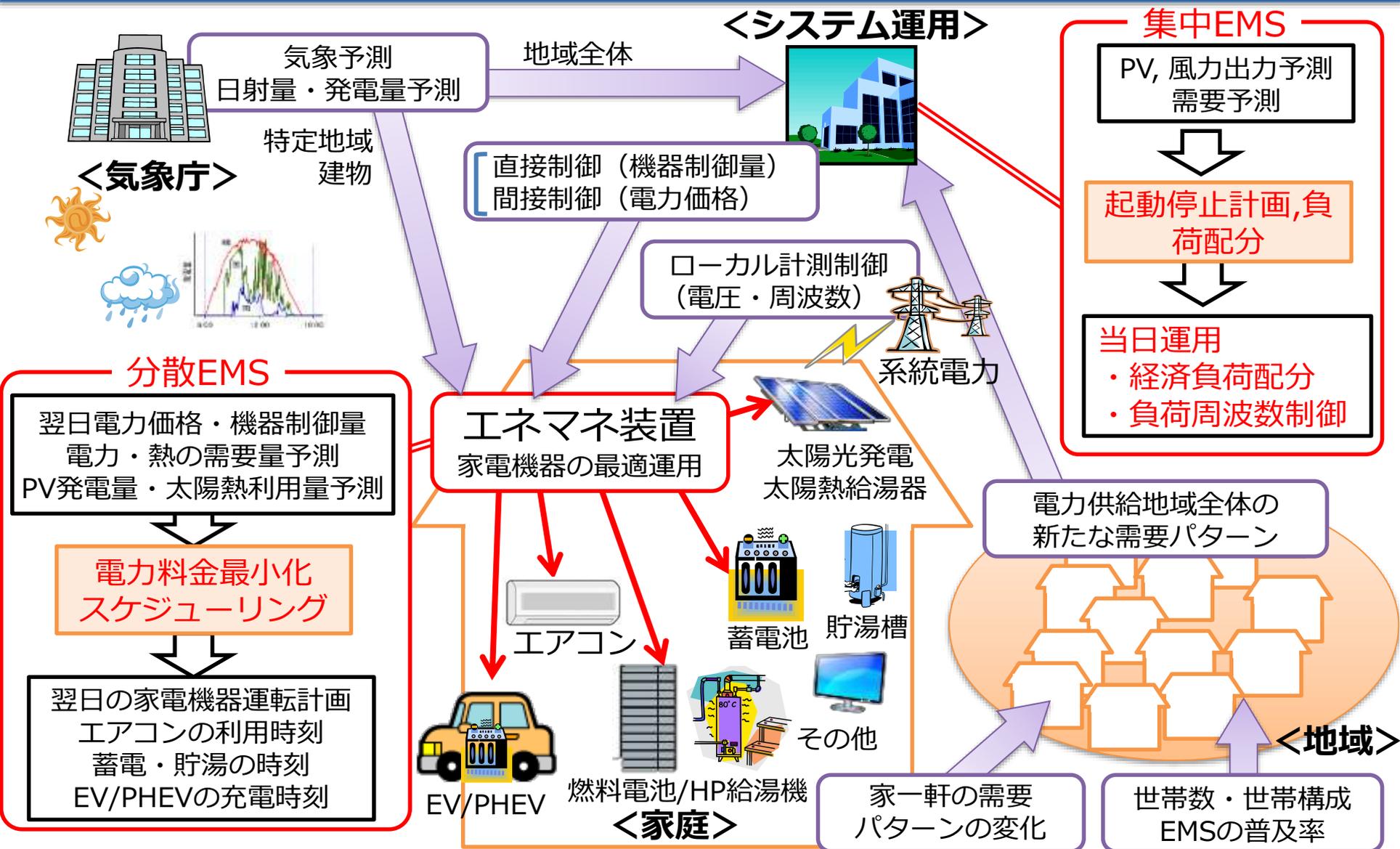
経済産業省 第19回総合資源エネルギー調査会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ 資料5 (2018.12)

世界共通の潮流：分散型システム

- 再生可能エネルギーのうち、太陽光発電、風力発電、オンサイト型電源などの普及により、電源の分散化が進み、大規模電源に対し単独事故の影響が低減する。
- EV、貯湯槽、バッテリーなどが、分散システムとして能動的になる。
- 電化による新たな需要は、分散型の調整可能な技術となる。



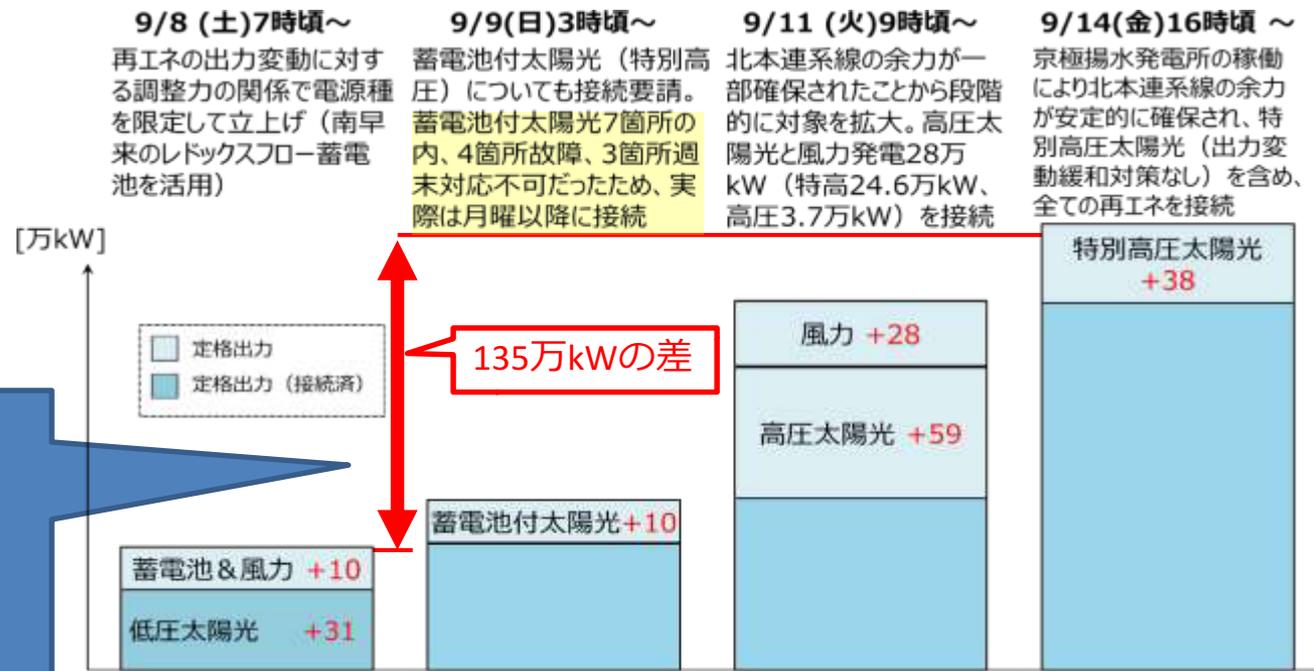
集中/分散エネルギーマネジメントの協調



荻本和彦, 岩船由美子, 片岡和人, 池上貴志, 八木田克英: 電力需給調整力向上に向けた集中・分散エネマネの協調モデル, IEEJ B部門大会講演論文集, 16, 08_7-12 (2011)

北海道ブラックアウト：風力,PVの運用復帰状況

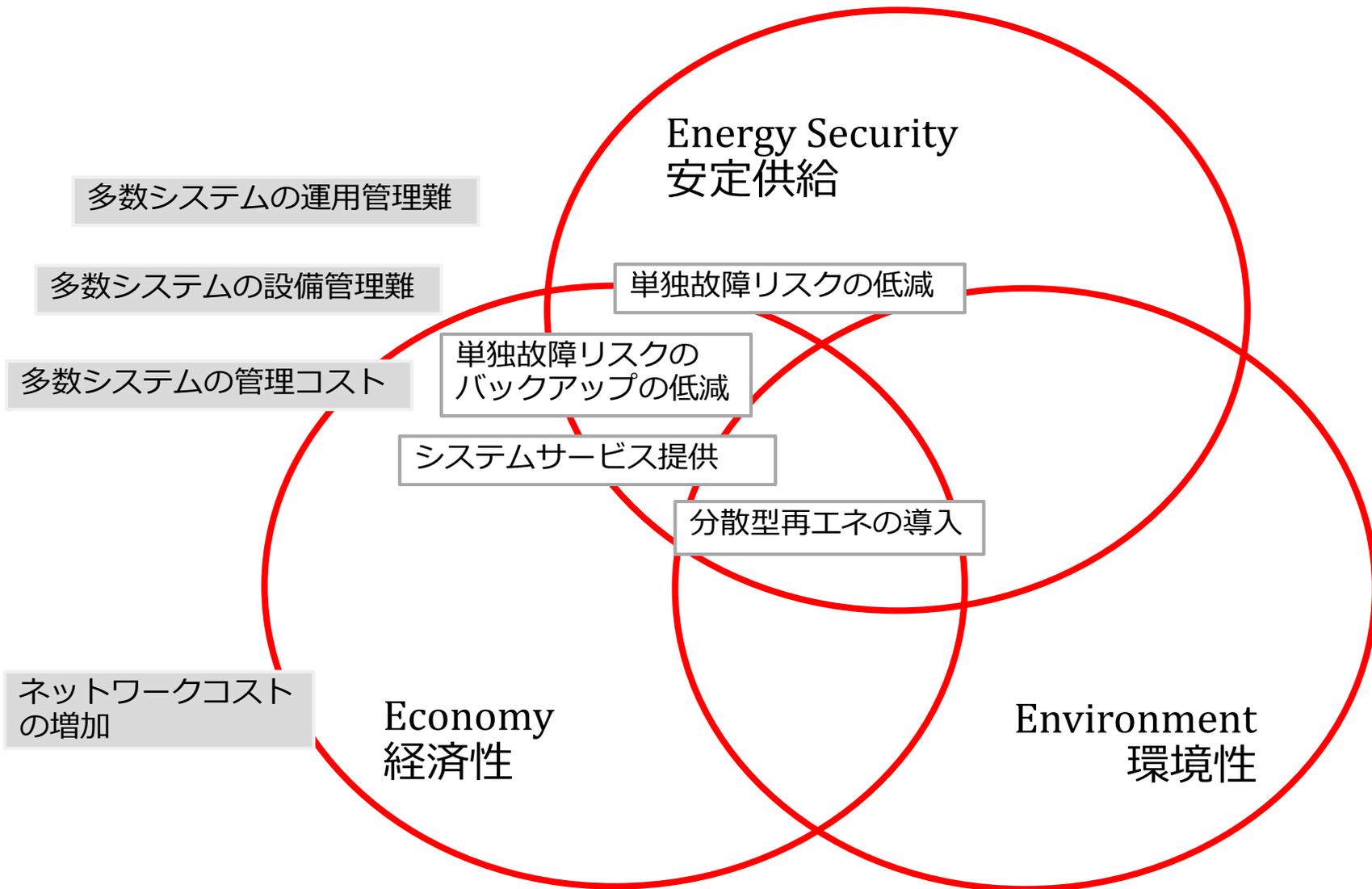
- ❑ 停電が解消すると、変動防止のために止めたくても止めることができない低圧太陽光は起動した。（需給不安定要因）
- ❑ PV, 風力を安定に運用するには、出力変動に対応する調整力が必要なため、調整力の確保状況に応じて段階的に起動を試みた。
- ❑ 系統蓄電池で別途調整力を確保した10万kWの風力のみ土曜に起動したが、それ以外の135万kWのPVと風力は機能不足、管理不備により使用できなかった。
- ❑ 遠隔での起動停止および出力制御など必要な機能があれば、使用できた可能性大。



週末の2日間は、機能不足および、管理不備のため、31万kWを除いて135万kWのPV,風力は使用できず

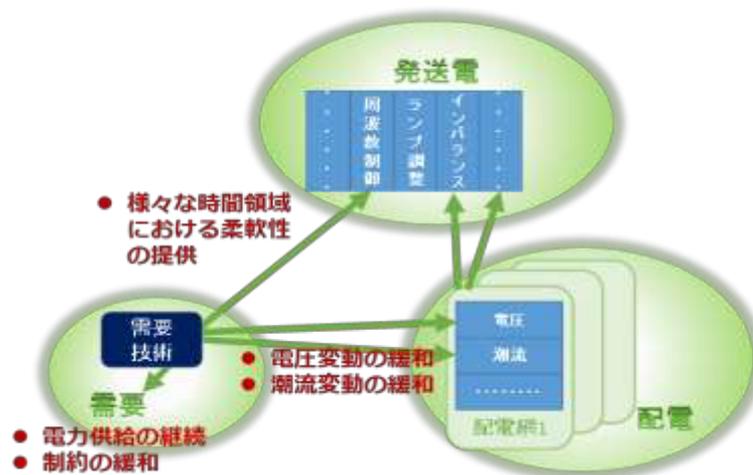
※低圧太陽光(うち住宅用は16)は停電解消後に事業者側の復旧に合わせて発電開始。

3E+Sにおける「分散型資源」

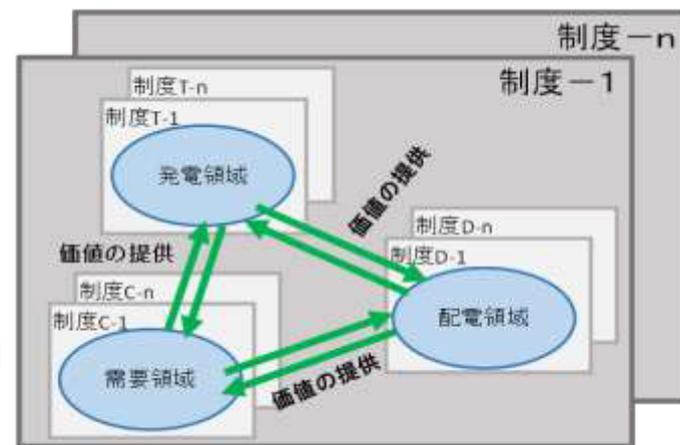


世界共通の潮流：価値のシフトとマネタイズ

- PVや風力など可変費ゼロのVREの導入拡大により、値を確定できない電力量（kWh）の価値は低下し、**確定でき、随時調整できる発電出力と需要（kW）の価値が上がる。**
- 最終消費が必要とするものは、電力などエネルギー自体ではない。**最終的に必要なサービスに向かって価値はシフトする。**
- 革新の実現には、技術に報酬を与える「**マネタイズ**」が必須であり、**市場の革新**が必要。
- 革新の先取りと効率的実施に向け、海外では送配電を始め**多数のプレイヤーを包含し、技術ニュートラルな制度設計**が進行中。



需要技術の領域を跨いだ価値の活用
(有効電力の場合)

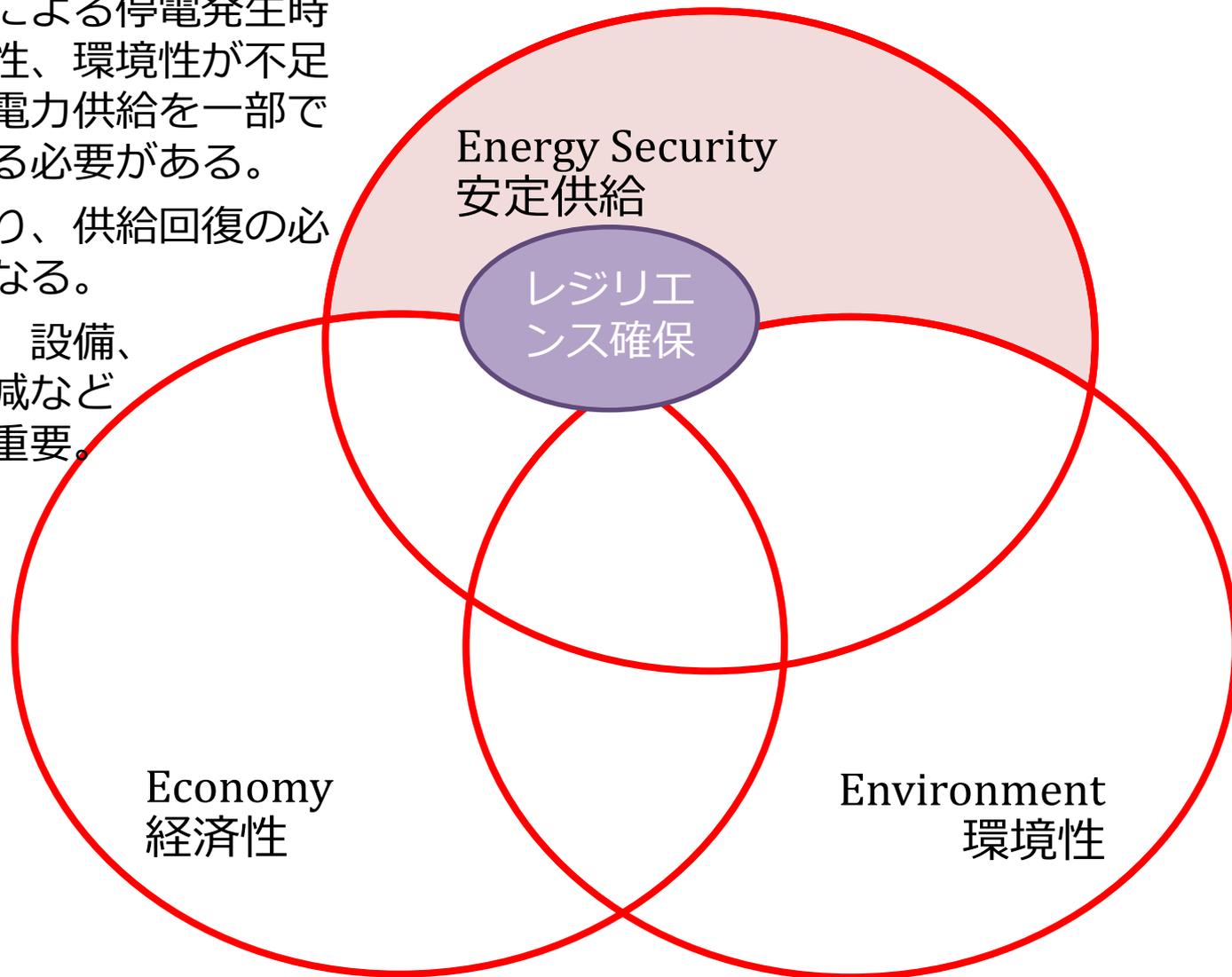


価値の提供と制度による実現（マネタイズ）

東京大学、ほか：革新的エネルギー貯蔵システム等を活用した超分散エネルギーシステムの研究報告書(2018)

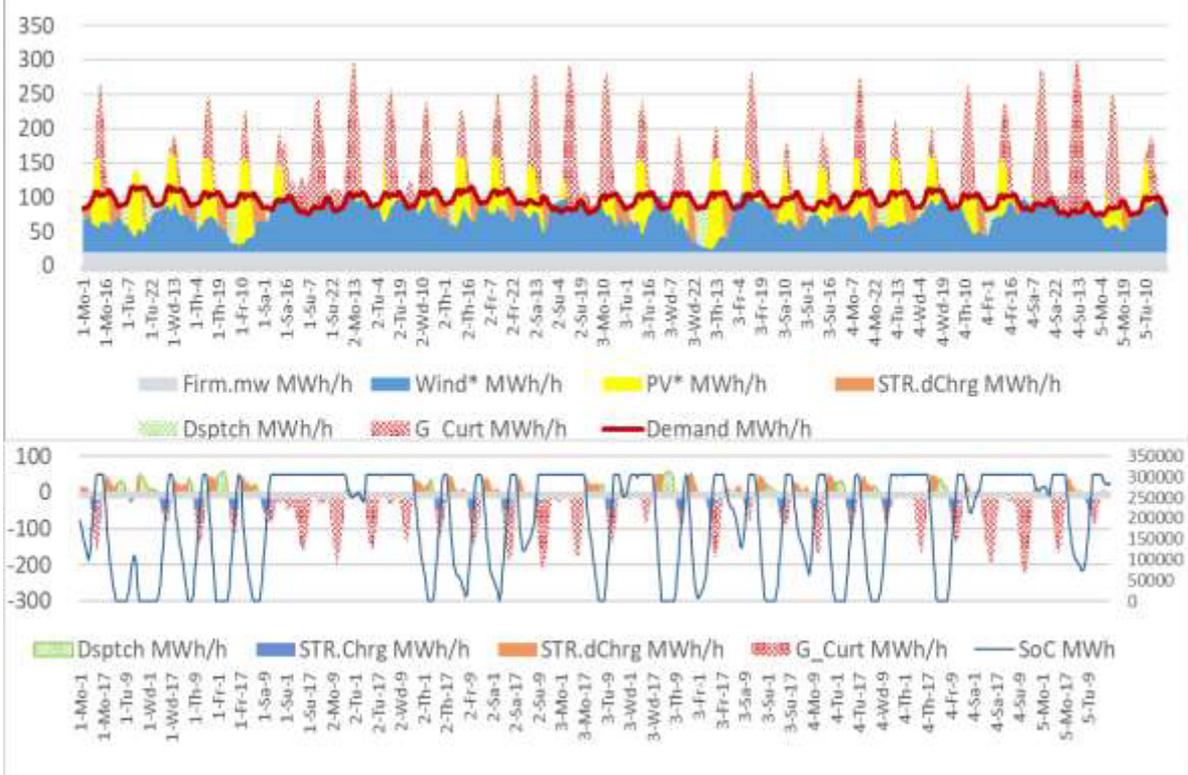
3E+Sにおける「レジリエンス確保」

- 災害などによる停電発生時は、経済性、環境性が不足しても、電力供給を一部でも継続する必要がある。
- 需要により、供給回復の必要性が異なる。
- 需要側の、設備、需要の削減などの運用も重要。



世界共通の「新」潮流：大規模貯蔵と新二次エネルギー

- 一次エネルギー供給は、出力調整が難しいPV、風力、原子力、地熱、潮流などの低炭素排出電源にシフトすることが求められる。
- 低炭素排出電源のシェアの増加に伴い、月間、季節間などの**大規模エネルギー貯蔵**が必要となり、**新たな二次エネルギー（常温常圧で、ほぼ液体）**が必要となる。
- 新二次エネルギーの導入には、製造・流通、利用のインフラ整備が必要であり、**導入時期と規模の見極めが必須**。



需要, PV, Windの2013年データにもとづく需給解析例 (4月の第1~5週)
 (Firm: 114 GW, PV: 212GWp, Wind: 128 GWp, Storage: 20 GWx6.1 hours, Dsptch:114GW)

上:需給状況,
 下:荷配分可能電源, 電力貯蔵装置の入出力とSoC, 抑制出力)

凡例 Firm.mw: Firm電源出力, Wind*: 風力出力, PV*:PV出力, STR.dChrg: 貯蔵設備発電/充電, Dsptch:負荷配分可能電源出力, G_Curt: 出力抑制, Demand: 需要, SoC: 充電残量

荻本和彦, 宇田川佑介, 占部千由, 岩船由美子, 下田吉之, 山口容平, RE100%領域の新たな二次エネルギーの必要性について, JSER 研究会講演論文集10-1(2018)

世界共通の「新」潮流：交流電力システムの質的变化

- PVや風力など、インバータにより連系される再エネ電源の増加により、再エネ電源の出力が大きな時間帯から始め、集中型電源すなわち同期機の運転容量が低下する。
- 同期機の絶対量あるいは割合に低下による課題は：
 - システム慣性、同期化力の低下による周波数の変化速度と変化幅の拡大
 - 電圧の維持能力の低下によるネットワークの電圧管理難
 - 事故電流の減少による送配電網の事故検知の難と保護システムの機能低下
 - 高調波の拡大による損失の増大
- いつ、どこで、どの程度の問題が発生するかを把握することが効果的な対策を少ない費用で実施するカギとなる。

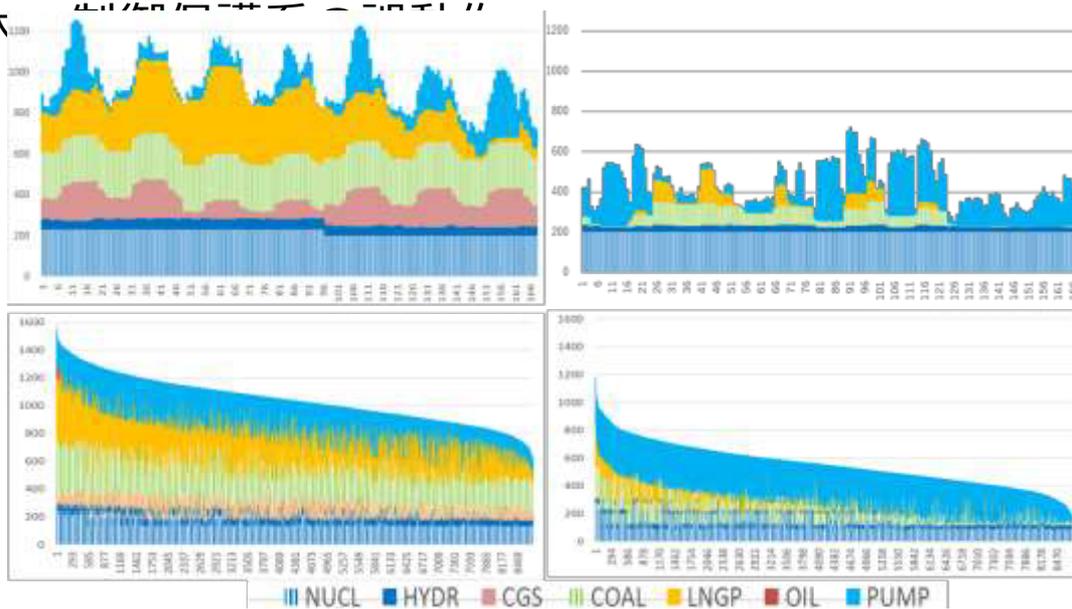


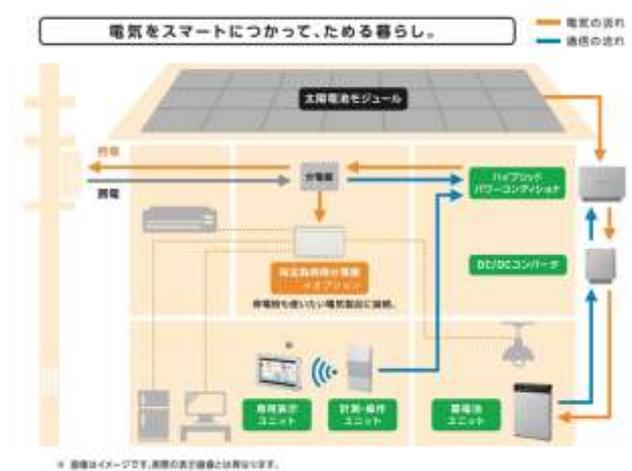
図2 システム慣性の週間の変化と年間の持続曲線 (GVA-sec)

(上：4/1～7の1週間、下：持続曲線、
左：2030年長期需給見通しシナリオ、
右：2050年のPV250GW, 風力70GWシナリオ)

荻本和彦:電力システム・再エネインテグレーションの将来, IEEJ 全国大会 講演論文集 シンポジウム2050年に向けた電力システムと情報通信とデータ科学の協奏H4-3, ppH4-1 (2019)

停電：自立した需給

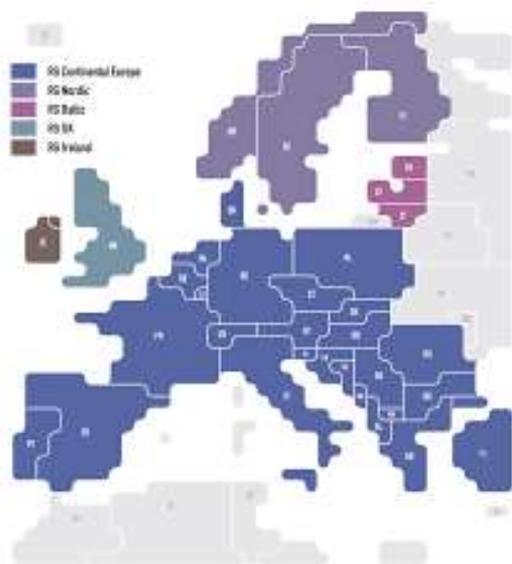
- 電力システム側で電気を供給できなくなって停電した場合、住宅側に安定した電源があれば、自立した電力供給を行うことができる。
- 住宅など単独の需要における自立した電力供給は、技術の普及で範囲が拡大：
 - 燃料を使用する非常用電源：燃料の貯蔵量の範囲
 - PV単体：PVの出力で決まる範囲、昼間のみ
 - PV+蓄電池：PVの毎日の発電量と、PVと電池の出力で決まる範囲
 - EVによるV2H：EVの蓄電容量の範囲
 - ガス発電：ガスの供給が条件



出典：TEPCOホームテック
HP

電力需給の自立：様々な規模の自立

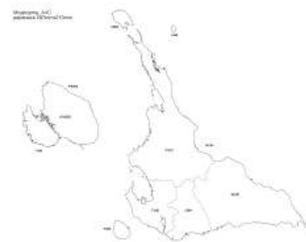
- 電力システムは、常に需給をバランスし、自立する必要がある。
- 欧州連系システム、日本の9地域連系システム、宮古島、停電時に自立供給を行う住宅など、規模は大きく異なるがそれぞれ自立している。
- ニューヨークで始まった配電事業は、ナイアガラ滝からの交流送配電となった。電力システムは需要の増加とともに、連系範囲を広げ、規模が拡大した。
- 離島、山小屋、遠隔地の灯台など、物理的、経済的な理由で小規模で自立したシステムの存在する。



欧州：600GW



日本:150GW



宮古島: 50MW



住宅: 5kW

電力需給の自立：規模の大きな場合

(通常時)

- 電力需給のコストは、主として発電と送配電の設備費と運用費（燃料費など）。
- 発電設備費は、常に需要を賄うために、全体として一定の余裕が必要となる。
- 送配電費は、発電から需要までをつなぐ設備費として、一定の額が必要。
- 広域の電源を特性に応じて選択して使うことで、経済的で安定な運用が実現

(災害時)

- 電力システム側が停電すると、電源を持たない需要は停電の継続する期間、電気を使うことができない。
- 従来の非常電源に加え、ルーフトップPV、定置型バッテリー、EVなどの技術が確立し、需要単位で電力を自給できる実績が増えている。
- すべての需要量をそれぞれが賄うことは難しく、スマートフォンの充電、テレビ・ラジオの視聴、その他の一部の家電など、限られた範囲の電気の利用となる。

電力需給の自立：小規模に分離した場合

(通常時)

- 住宅、コミュニティなど小規模の需要が自立するためには、相対的により大きな容量の電源や蓄電池が必要となり、**設備コストは増加する**。
その場所で使用できる電源のみが使用できるため、例えば風が強い地域にのみ立地する風力発電など、**電源構成が制約され、不利な選択となる**。
- 複数の需要を結んだ自立の場合、需要の間に必要な配電線、自立下システムの運用システムなどの設備費、維持管理費など**自前設備の費用・運用は新たな負担**。
- 電力のユニバーサルサービスでは、過疎化や維持費大などから、配電線を廃止してPV+蓄電池などによる**自立方式の選択の可能性あり**。
(米国のハリケーン対策の中でも実施例あり)
- 完全自立の場合、FIT制度による付加金の支払いが不要となる可能性有り。

(災害時)

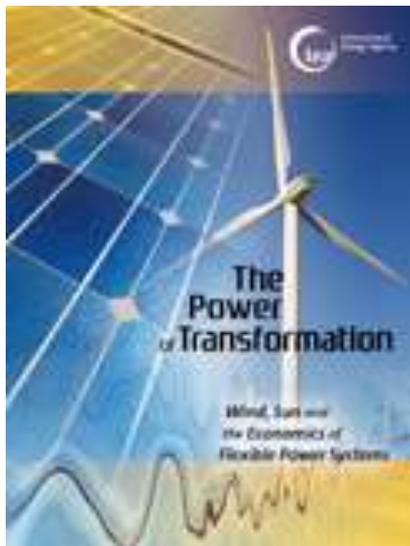
- 地震、風水害、その他の多様な災害の影響に対し、**十分な設備と運用が行われれば、停電を回避することができる**（そのエリアで被害があれば自復措置が**必用**）。
- 需要全体を賄うことは難しく、複数の需要間で限られた電力を利用するしくみを事前に合意し、災害のもとで運用することが必要となる。

いま、もう一度何を考えないといけないのか

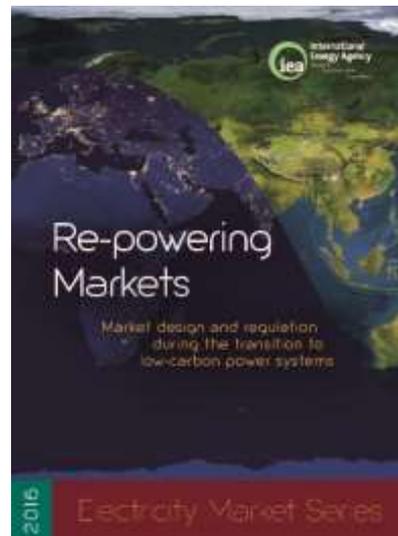
- エネルギー、電力で実現すべき 3E+S(安定供給Energy Security、経済性Economy、環境性Environment + 安全性Safety) の同時確保が必達の条件である。
- 原子力事故の発生から7年余で当該分野における「安全性」の確保への継続的な取り組みが続けられている。
- 原子力が停止し、FITの高額な買取価格のもとで再エネの導入が進むことで、「**経済性**」、「**環境性**」は従来に比べて低下している。
(全供給量の10%未満の再エネに3.6兆円/年の賦課金-追加負担-がかかっている)
- 近年のブラックアウト、台風災害による停電では、「**安定供給**」の問題顕在化。
- アイルランド、九州などの先行地域で見られるように、再エネの大量導入のためには、運用の改善、さらには需給構造改変等の対策を、長期的な計画のもとで進める必要がある。
- これから10年程度は、**従来の集中型電源に加え、多数の分散型の電源、需要を管理・制御できるよう、**(グリッドコード制定と需給調整の高度化に) **取り込むことが鍵**となる。
- **需要側が果たす役割は大きく、人口の減少など社会の変化とともに新しい電力/エネルギーシステムに移行する必要がある。**

世界の議論は参考になる

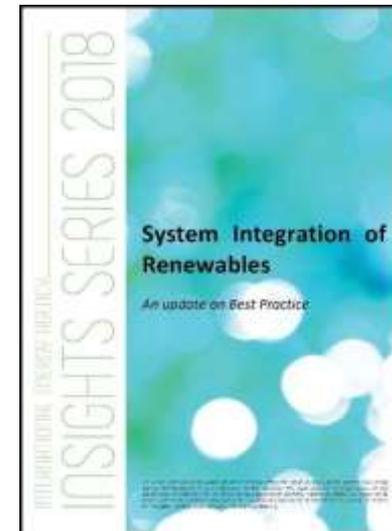
- IEAでは、将来の電力/エネルギーシステムに関して、2014.1月に「The Power of Transformation」、2016.1に「[Re-powering Markets](#)」、2018.1に「[System Integration of Renewables](#)」を発刊した。
- 上記の三つの報告書は、これからの電力/エネルギーシステムの技術、制度、政策について述べたもので、それぞれNEDOより邦訳が公開されている。



http://www.nedo.go.jp/library/denryoku_henkaku.html



http://www.nedo.go.jp/library/repowering_markets.html



http://www.nedo.go.jp/library/system_integration_of_renewables.html

