

電力中央研究所
研 究 報 告 会
2 0 2 2

「カーボンニュートラル社会に向けた電力安定供給」



予 稿 集

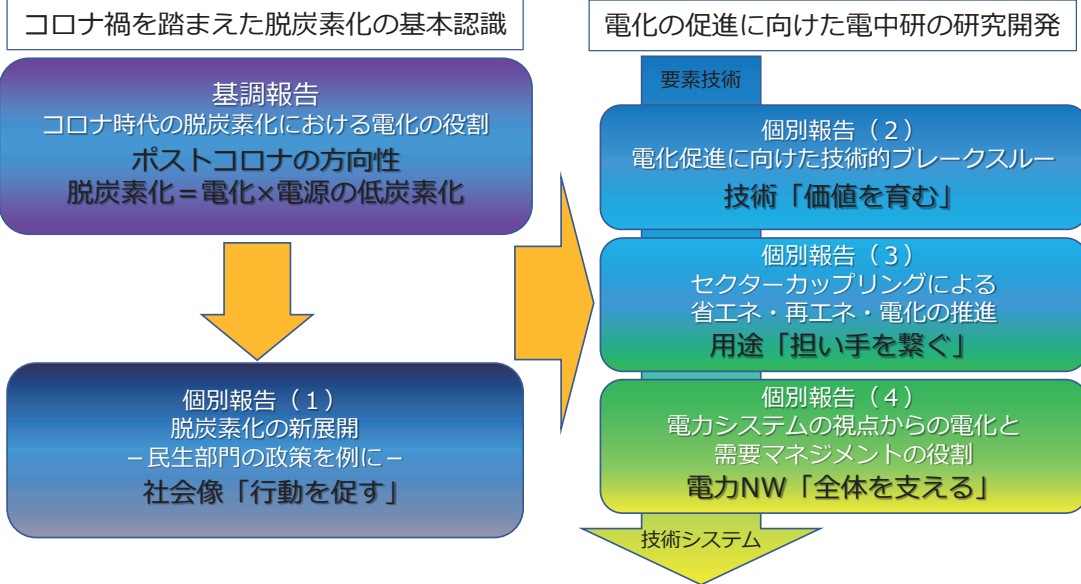
2022年11月10日(木)

【研究報告会】におけるカーボンニュートラル社会に向けたご報告概要

研究報告会2020

「脱炭素化実現に向けた電化の役割 - コロナ禍の影響を踏まえた新たな展開 -」（2020年11月10日）

基調報告において、新型コロナウイルス感染拡大がエネルギー分野に及ぼす影響について提示するとともに、長期的なCO₂排出量の大幅削減の本質である「需要側の電化」と「電力供給の低炭素化」の組み合わせの重要性や効果について、世界的なトレンドや個別技術の趨勢等に基づき論考した上で、各報告を通じて、電気利用の姿についての複合的な視点をお示ししつつ、当所の具体的な取り組みなどをご報告いたしました。

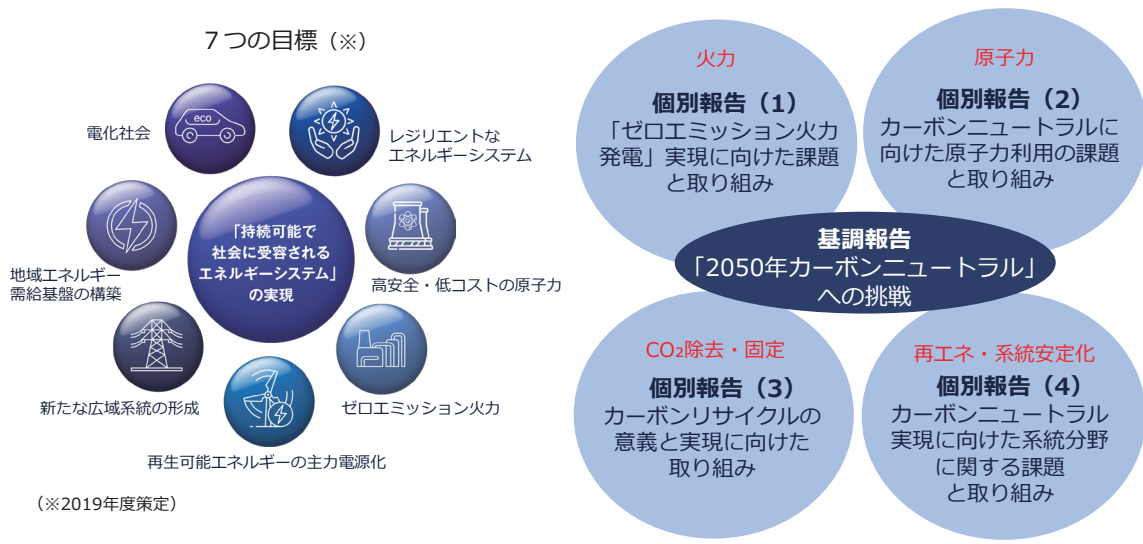


© CRIEPI 2022

研究報告会2021

「「2050年カーボンニュートラル」実現に向けて - 電力供給サイドの課題と取り組み -」（2021年11月17日）

基調報告において、IPCCシナリオデータ分析、再生可能エネルギー導入のポテンシャル評価等に基づき、カーボンニュートラル実現に不可欠な方策、技術開発の要点について考察、さらに当所が2050年にわが国が目指すべき姿として定める「持続可能で社会に受容されるエネルギーシステム」実現のための7つの目標と各個別報告の位置づけを説明するとともに、各報告を通じて主に電力供給サイドの視点から、カーボンニュートラル実現に向けて解決すべき課題、当所の研究の狙いや具体的な取り組み等をご報告いたしました。



(※2019年度策定)

© CRIEPI 2022

目次・プログラム

13:00	開 会	
	開会挨拶 理事長 松浦 昌則	
13:10	【基調報告】 カーボンニュートラル社会を見据えた 電力システム改革のあり方	1
13:50	社会経済研究所 副所長 副研究参事 服部 徹	
13:50	【個別報告】 (1) 電力安定供給を支える原子力発電における リスク情報活用の役割	17
14:20	原子力リスク研究センター 副所長 参事 吉田 智朗	
14:20	休 憩	
14:40	【個別報告】 (2) 安定かつ経済的な需給計画・運用に 貢献する再エネ出力予測	31
15:10	グリッドイノベーション研究本部 研究統括室 副統括室長 兼 課題統括（再エネ出力予測）上席研究員 由本 勝久	
15:10	【個別報告】 (3) 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	53
15:40	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	
15:40	【個別報告】 (4) 電力システムの災害レジリエンス強化と カーボンニュートラル社会に向けた対応	69
16:10	サステナブルシステム研究本部 研究統括室 流通土木分野統括 副研究参事 石川 智巳 構造・耐震工学研究部門 主任研究員 湯山 安由美	
	閉会挨拶 専務理事 犬丸 淳	
16:20 (予定)	閉 会	



【基調報告】

カーボンニュートラル社会を見据えた 電力システム改革のあり方

電力中央研究所 社会経済研究所

副所長・副研究参事 服部 徹

研究報告会2022

2022年11月10日

 電力中央研究所

© CRIEPI 2022



 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- カーボンニュートラルの実現に貢献しつつ、電力の安定供給を確保するためには、脱炭素電源への投資を加速化していく必要があるが、電力システム改革の下で、投資回収の予見性は低くなっている
- そのため、脱炭素電源への投資回収の予見性を高める仕組みと、それらを組み合わせて適切な電源のミックスを実現する競争と規制の新たな枠組みが必要となる

© CRIEPI 2022

1

報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

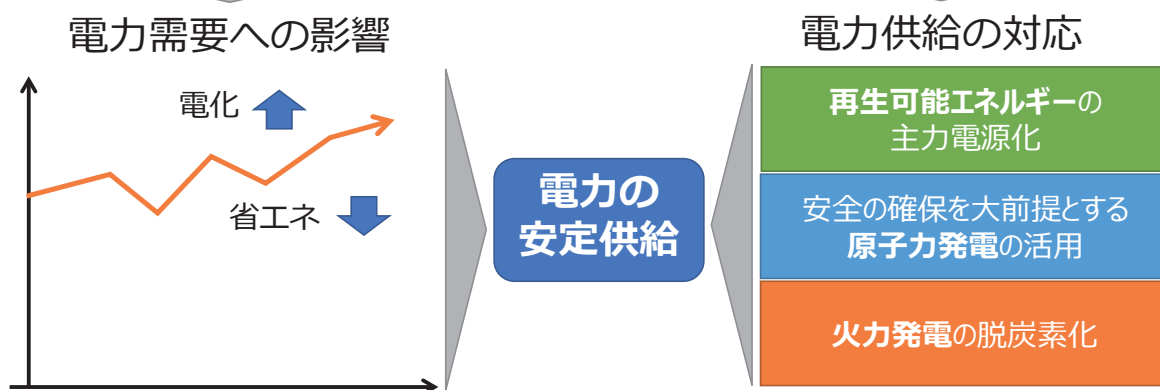
報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

カーボンニュートラルと電力需給

- カーボンニュートラルの目標が電力需要に与える影響を踏まえつつ、電力供給の脱炭素化を図りつつ、安定供給を確保していく必要がある

2050年カーボンニュートラル目標



電力の安定供給の要件

- 電力の安定供給には、システムの信頼度と十分な供給力の確保が必要である
- 常に十分な供給力が確保されていることが、システムの信頼度の維持にも重要

システムの信頼度

電力の安定供給

十分な供給力

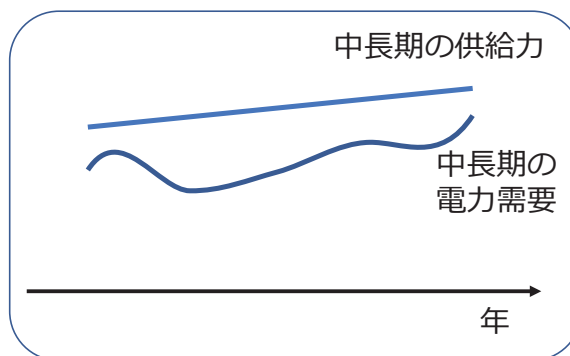
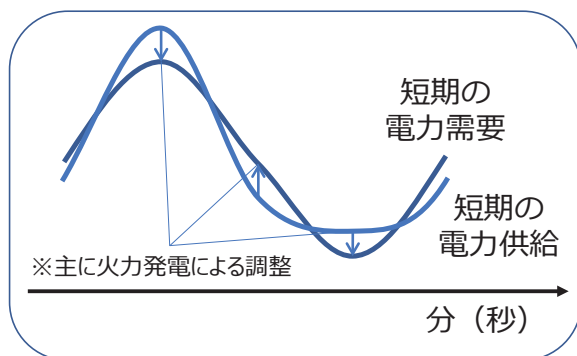
※最近では「レジリエンス」も安定供給に重要な要素とされる

短期の課題

中長期の課題

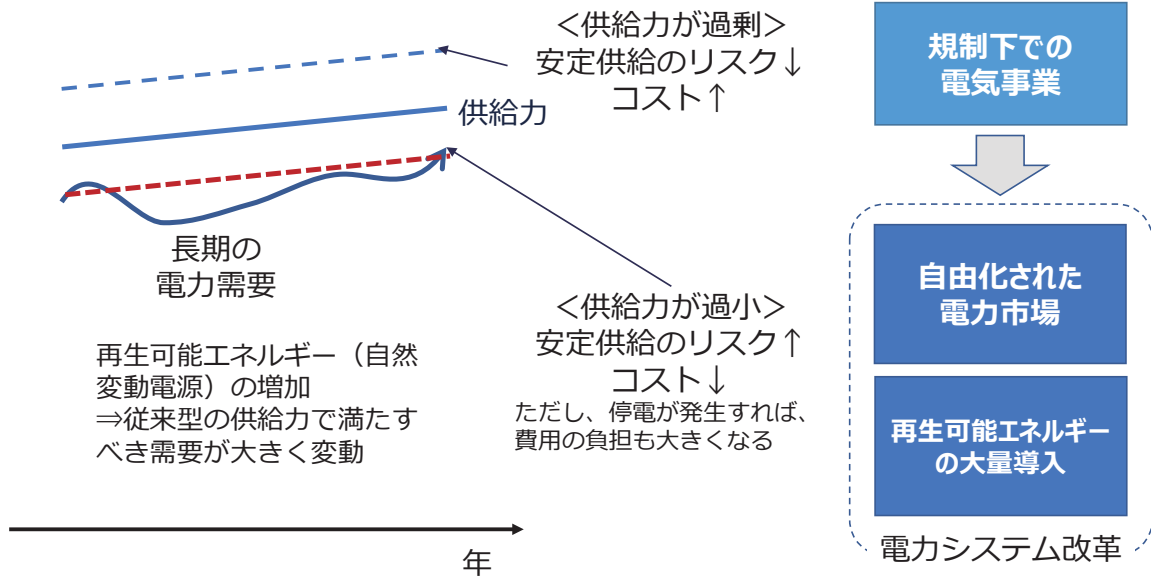
技術的課題

経済的課題



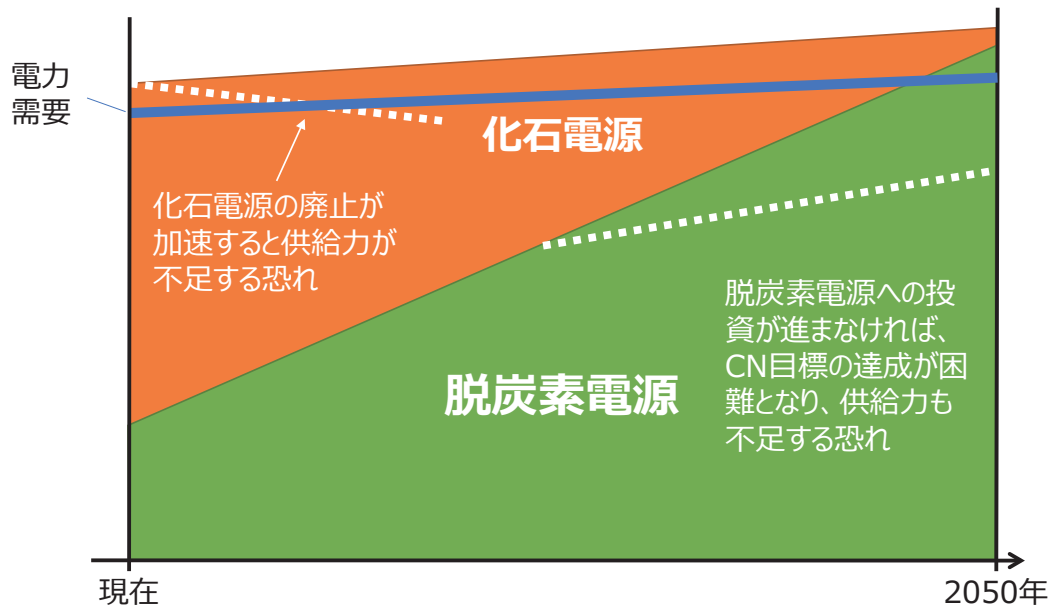
中長期の供給力確保の経済的課題

- 供給力は過剰でもなく過小でもない適切な水準で確保する必要があるが、電力システム改革の下では供給力が過小となるリスクが指摘されてきた



電源の脱炭素化と安定供給のリスク

- 2050年までの移行期においては、安定供給に必要な化石電源も維持しつつ脱炭素電源への投資を促していくことが必要

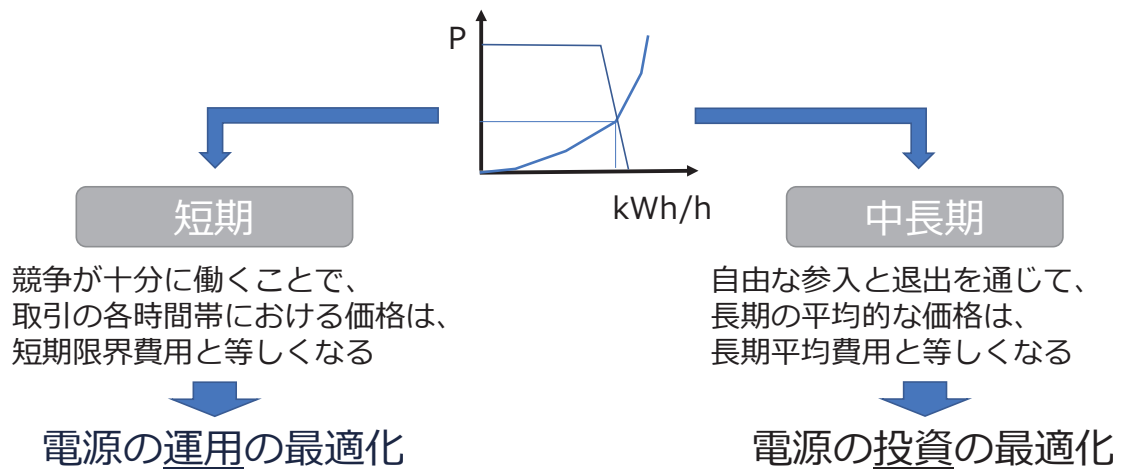


報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

市場の役割と機能

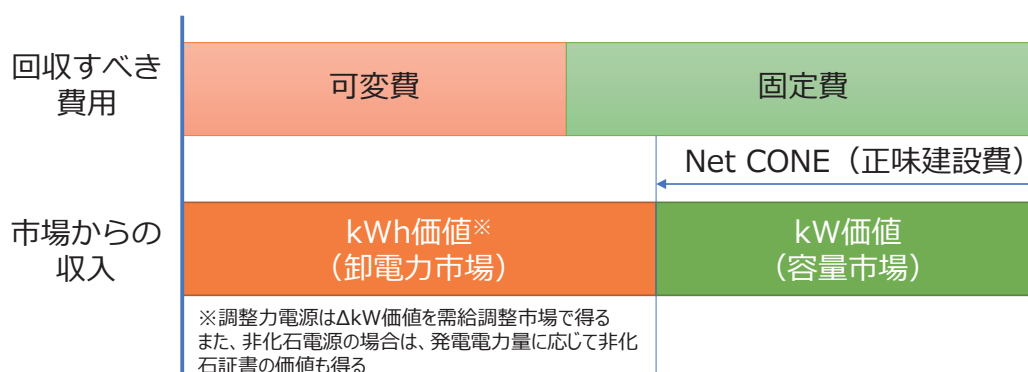
- kWhの価値を取引する卸電力市場には、電源の運用の最適化を図る短期の役割と電源の投資の最適化を促す中長期の役割があると考えられていた



ただし、卸電力市場だけでは、信頼度基準を満たすような供給力が確保される保証はない

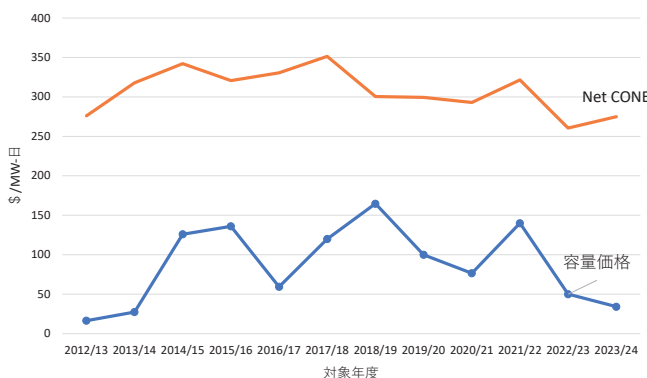
電源の固定費回収の構図

- 中長期的に必要な供給力をより確実に確保するために、海外およびわが国では、kW価値を取引する「容量市場」が創設され、現在、電源の収入は主にkWh価値とkW価値で構成されている
- 電力システム改革の下では、固定価格買取制度のある再生可能エネルギーを除き、電源への投資は、市場からの収入の見通しによって判断されるが、十分な供給力の確保のために新規電源が必要な場合、kW価値は正味建設費[Net CONE]を上回る（投資による利益が見込める）と考えられる

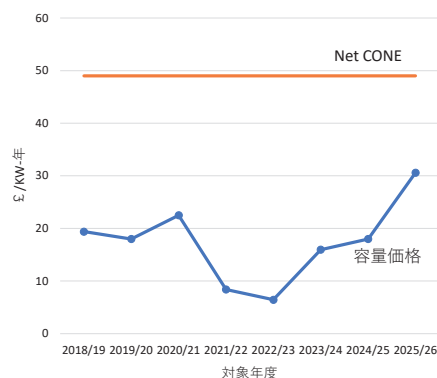


海外の容量市場の価格動向

- 日本と同じ「集中型容量市場」が導入されている米国PJM（北東部の電力市場）や英国の容量市場の約定価格は、年による変動が大きく、ほぼ常にNet CONE（新規電源の固定費回収に必要な水準）を下回っている
 - 国内の容量オークションにおいても、第1回の約定価格はほぼ上限価格の水準だったが、第2回の約定価格は大きく下落した



米国PJMの容量市場（RTO）の価格

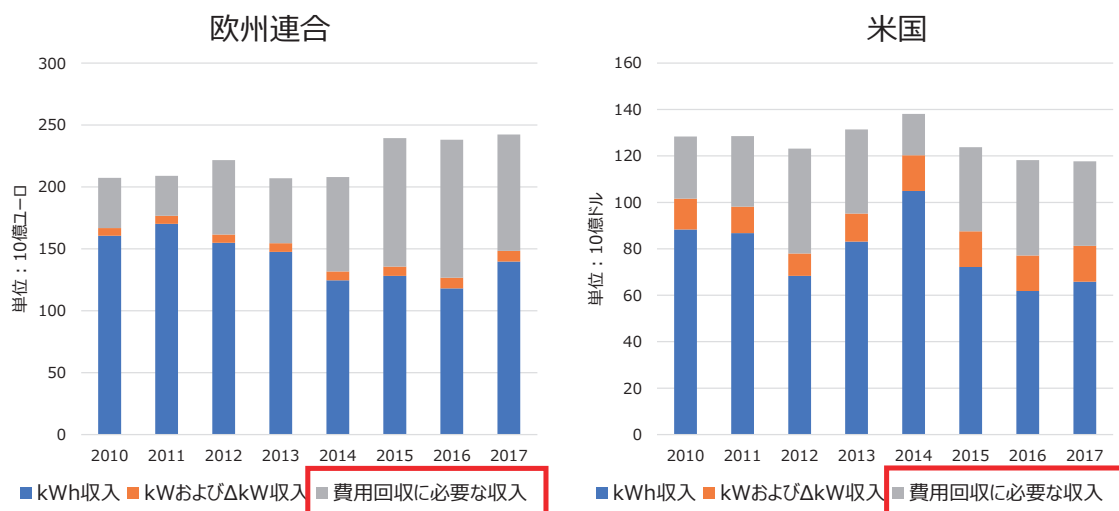


英国の容量市場の価格

出典：PJM InterconnectionおよびNational Gridのデータをもとに作成

欧米の発電部門の収支ギャップ

- 欧米では、卸電力市場や需給調整市場からの収入に、容量市場からの収入を加えても、平均的な発電所の固定費を回収するだけの収入は得られていない



出典：IEA (2018)のデータをもとに作成

CN目標に向けた脱炭素電源投資の課題

- 市場メカニズムは、価格シグナルを通じて投資を促すので、いずれ電源不足になれば価格は上昇すると考えられるものの、建設のリードタイムがある上、将来の需要ならびに燃料価格の不確実性があるため、投資がただちに行われ、電源不足を解消できるとは限らない
 - 価格が上昇したまま電源不足が解消されず、安定供給に懸念を抱えた状態がしばらく続く可能性がある
- 今後、脱炭素電源の投資を促す必要があるが、その多くは、初期投資額が大きく、投資費用や脱炭素の価値に関する不確実性も大きいいため、市場価格の下での投資はさらに進みにくいと考えられる
- 一方で、カーボンニュートラルの実現は「いずれ」ではなく、2050年までに達成する必要がある

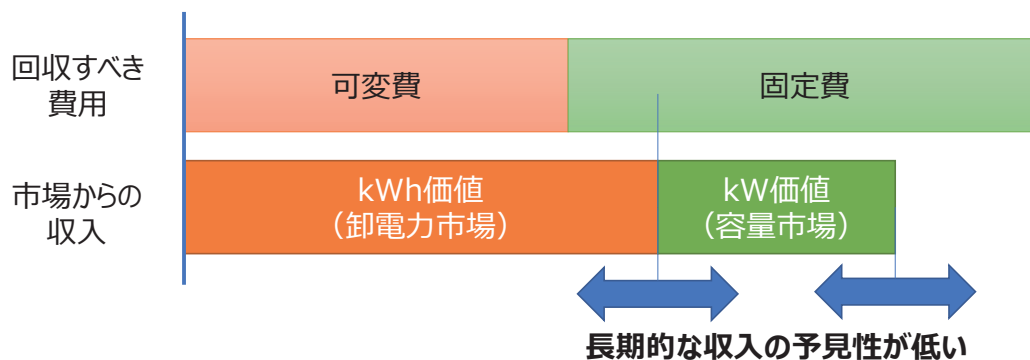


報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

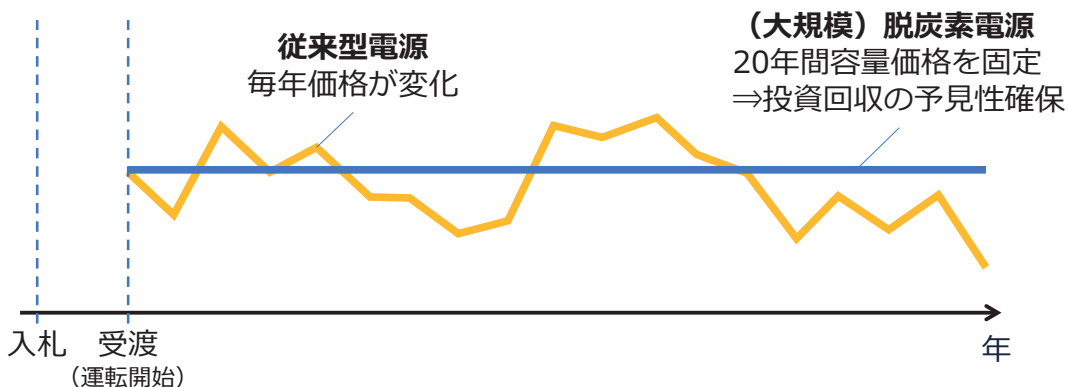
投資回収の予見性

- 今後、脱炭素電源への投資を加速していくためには、投資回収（収入）の予見性を高める必要がある
 - kWh価値ないしはkW価値のいずれかを長期にわたって固定化する必要があると考えられる
 - 再生可能エネルギーは、これまで売電収入を固定化する固定価格買取制度（FIT）により、普及してきた（現在はフィードインプレミアム（FIP）に移行）



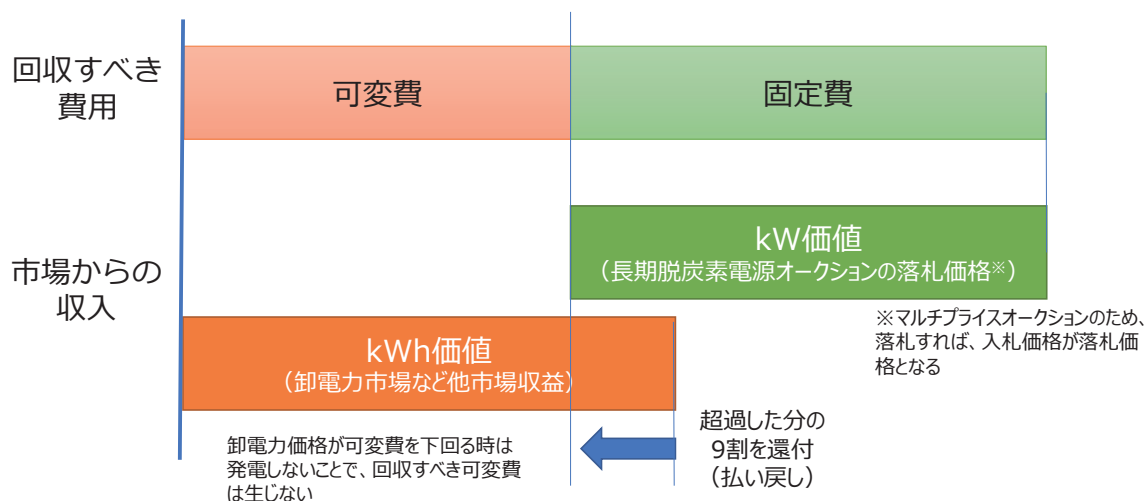
長期脱炭素電源オークション

- わが国では、大規模な脱炭素電源への投資を対象に、容量市場の価格を20年間固定する契約を与える「長期脱炭素電源オークション」を2023年度より導入予定
 - 「事前に決まっていない政策的な対応等」を行う場合に開催する「特別オークション」の一類型



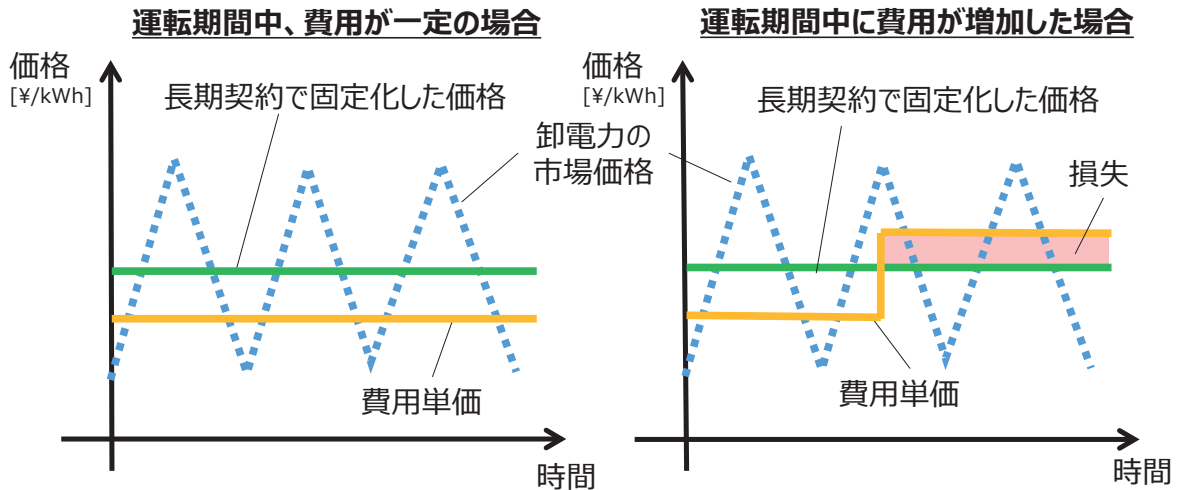
長期脱炭素電源オークションと費用回収

- 長期脱炭素電源オークションでは、卸電力市場からの収益を考慮せずに、固定費相当の価格で入札させる
 - 落札すれば、卸電力市場からの収益に関係なく固定費の回収が可能



長期契約による価格固定化の課題

- 長期契約による価格の固定化は、運転期間中に費用が変わらなければ、安定的な利益をもたらすが、建設中または運転開始後に、想定以上の追加投資などにより、費用が増加してしまうと、損失を被るというリスクがある
- 投資家はこうしたリスクの負担に見合う高いリスクプレミアムを要求する

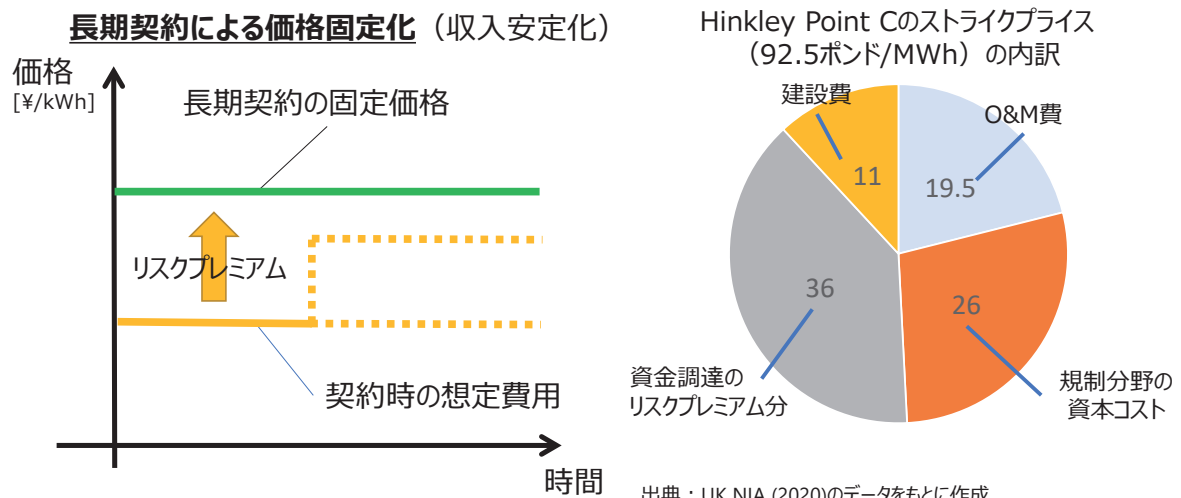


© CRIEPI 2022

18

長期契約による価格固定化の課題

- 実際、英国で、新設の原子力発電所（Hinkley Point C）にFIT-CfD（差額契約型固定価格買取制度）を適用したところ、リスクプレミアムが大きく膨らみ、長期で固定化する買取価格がかなり高い水準に押し上げられた

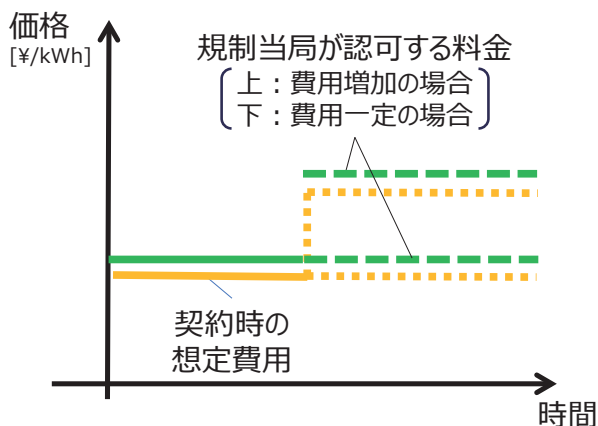


© CRIEPI 2022

19

英国の原子力RABモデル

- 英国では、新設の原子力発電所を規制事業として扱い、投資の回収を規制料金で行うRAB（Regulated Asset Base; 規制資産ベース）モデルを適用
- RABモデルでは、すべての小売事業者が、費用の変動に合わせて認可される規制料金を支払うことで、投資家が負担するリスクを軽減し、資金調達コスト（ひいては総費用）を低減できると考えられる
- ただし、その導入には、費用増加のリスクを負う需要家の理解が不可欠



なお、原子力RABモデルの導入をめぐる議論においては、

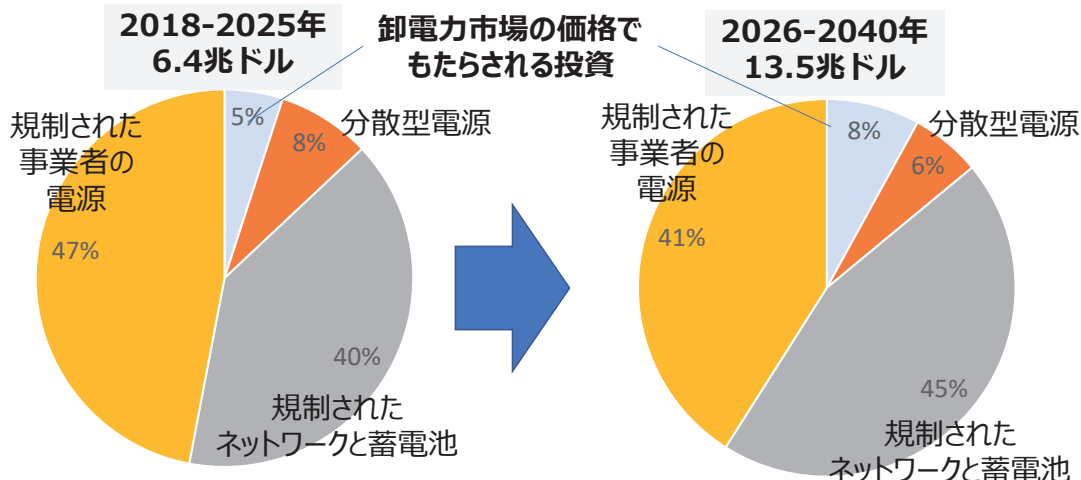
- ・潮力発電
- ・洋上風力
- ・CCUS
- ・エネルギー貯蔵

などへの適用を求める意見もあり※、原子力に限らず、技術開発段階で、費用の不確実性の大きい脱炭素電源を対象とすることも考えられる

※出典：BEIS (2020)

世界の電力部門の投資と規制の関係

- 世界全体では、市場を通じた投資は、再生可能エネルギーの費用の低下もあって、割合が若干増加する見通しもあるが、電力分野の投資の大部分は、規制された事業者によって推進され続けると考えられている
 - 競争によって投資を促す電源と規制によって投資を促す電源へと適切に分けていくことも重要



出典：IEA (2018)のデータをもとに作成

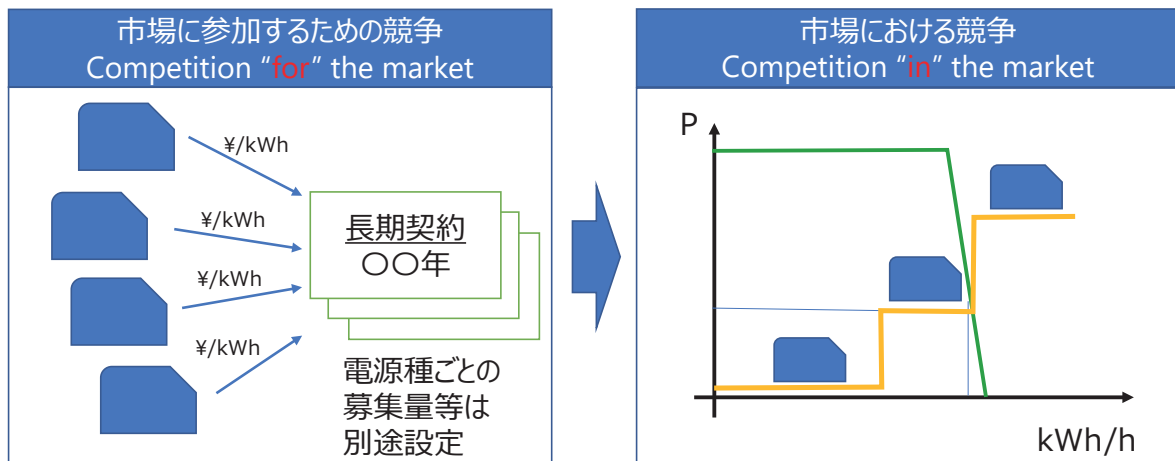
報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

4. 電源のミックスに対する制度の枠組み

長期契約と卸電力市場の2段階の競争

- 海外では、民間による長期のPPA（電力販売契約）の活用にも期待しつつ、カーボンニュートラル社会に必要な脱炭素電源を国などが決めて公募し、長期的な投資回収に必要なコストで競わせた上で、長期契約で確保された電源間で、短期的な発電のコストで競わせる2段階の競争の枠組みへの移行が必要との認識が高まっている

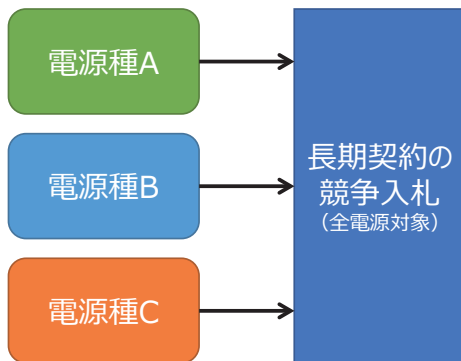


電源構成を考慮した競争の枠組み

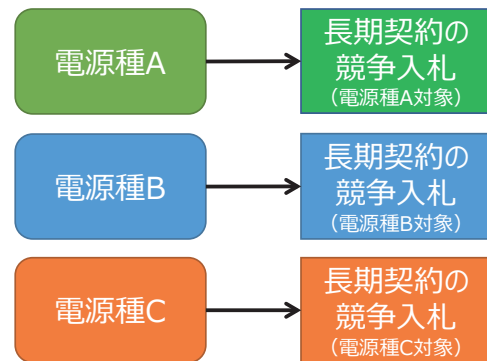
- 長期契約をめぐる競争入札は、効率性の観点からは、技術中立的に、全ての電源が同じ条件で価格競争する方が望ましいが、安定供給にとって望ましい電源構成となるように、電源種ごとの募集量を規制で定め、電源種ごとに競争する枠組みも検討に値する※
 - 例えば、再生可能エネルギーが増えると、調整電源を増やす必要があるような（補完関係が存在する）場合、特に重要である

※出典：Fabra (2021)を参照

技術中立的な競争



電源種ごとの競争

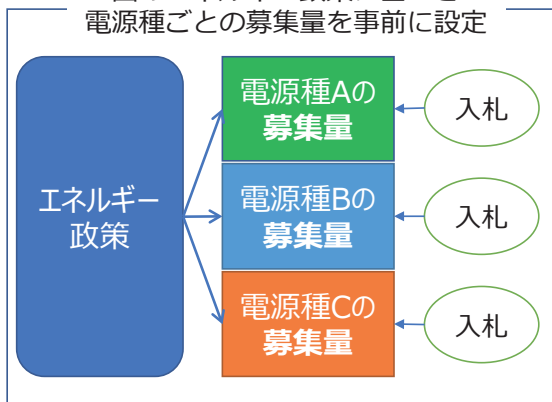


電源構成を考慮したオークションの方法

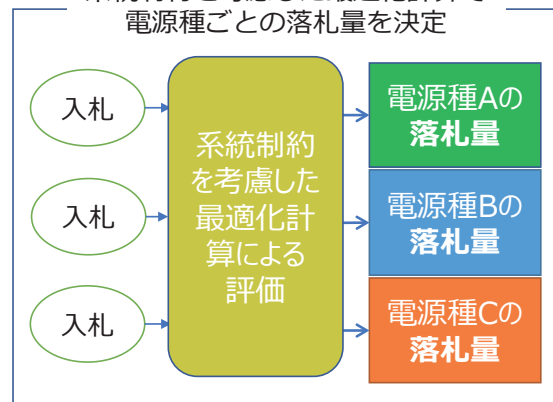
- 長期契約の制度設計をめぐる海外の議論では、エネルギー政策の目標を踏まえて電源種ごとの募集量を定める方法※1の他、入札した電源の情報と系統制約を考慮した最適化計算で、信頼度を維持できる最も安い落札者の組み合わせを決める方法（Configuration Market※2）も提案されている

※1出典：Pierpont (2020) ※2出典：Corneli (2020)

国のエネルギー政策に基づき
電源種ごとの募集量を事前に設定



系統制約を考慮した最適化計算で
電源種ごとの落札量を決定



報告内容

1. カーボンニュートラルと電力安定供給
2. 電力市場を通じた供給力確保の課題
3. 投資回収の予見性を高める仕組み
4. 電源のミックスに対する制度の枠組み
5. 本報告のまとめと本日の報告会の内容

本報告のまとめ

- 脱炭素電源の投資回収の予見性を高める制度として、国内では、再生可能エネルギーを対象とするFIT・FIPに加え、一定規模以上の脱炭素電源を対象とする「長期脱炭素電源オークション」が導入される予定であるが、費用の不確実性の大きい脱炭素電源には、英国で導入されたRABモデルのような規制の手段で資本コストを引き下げることが検討の余地がある
- 投資回収の予見性を高める長期契約の制度においても、民間によるPPAの活用や、国によるオークションを通じて、可能な限り競争が働くようにすることが望ましいが、安定供給の確保のためには、競争が電源構成に与える影響にも留意して、制度設計を進める必要がある

本日の報告の構成

- カーボンニュートラルに貢献しつつ、電力の安定供給を確保するには、競争や規制の制度的課題への対応（基調報告）に加え、個別の脱炭素電源の技術的課題（個別報告(1)-(2)）、電力ネットワークや電力システム全体の技術的課題（個別報告(3)-(4)）の解決に向けた取り組みが重要

カーボンニュートラル社会に向けた電力安定供給
 <競争や規制の制度的課題への対応>

基調報告：カーボンニュートラル社会を見据えた電力システム改革のあり方

<個別の脱炭素電源の技術的課題への対応>

個別報告(1)
 電力安定供給を支える
 原子力発電におけるリスク情報活用の役割

個別報告(2)
 安定かつ経済的な需給計画・運用に
 貢献する再エネ出力予測

<電力系統・電力システム全体の技術的課題への対応>

個別報告(3)
 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

個別報告(4)
 電力システムの災害レジリエンス強化と
 カーボンニュートラル社会に向けた対応

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. BEIS (2020). "RAB Model for Nuclear: Government Response to the consultation on a RAB model for new nuclear projects."
2. Corneli, S. (2020). "A PRIMS-Based Configuration Market for Rapid, Low Cost and Reliable Electric Sector Decarbonization," World Resource Institute.
3. Fabra, N. (2021). "The energy transition: An industrial economics perspective," *International Journal of Industrial Organization*, 79, 102734.
4. IEA (2018) "World Energy Outlook 2018."
5. National Grid. "Final Auction Results" 各年版
6. Pierpont, B. (2020) "A Market Mechanism for Long-Term Energy Contracts to Support Electricity System Decarbonization," World Resource Institute.
7. PJM Interconnection. "RPM Base Residual Auction Planning Period Parameters" 各年版
8. PJM Interconnection. "RPM Base Residual Auction Results" 各年版
9. Roques, F. and Finon, D. (2017). "Adapting electricity markets to decarbonization and security of supply objectives: Toward a hybrid regime?," *Energy Policy*, 105, 584-596.
10. UK NIA (2020). "Nuclear Sector Deal: Nuclear New Build Cost Reduction."
11. 資源エネルギー庁(2022)「電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会 第八次中間取りまとめ」

【個別報告1】

電力安定供給を支える原子力発電 におけるリスク情報活用の役割

電力中央研究所 原子力リスク研究センター

副所長・参事 吉田 智朗

研究報告会2022

2022年11月10日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2022

RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 原子力発電は炭素を排出しない大容量電源であり、2050年のカーボンニュートラルに寄与できるポテンシャルをもつ。
- 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓から、原子力発電に潜在するリスクを直視し、**十分な安全性確保を前提**とした発電所運用により、一般からの信頼を獲得することが不可欠。
- 2050年に「原子力+CO₂回収前提火力」で総発電電力量の約30-40%（第6次エネルギー基本計画）を可能とする設備容量確保のためには、**既存炉の早期再稼働、長期運転の実現、新增設/リプレース**が必要。
- さらに、高い安全性の下でより経済性の高い原子力発電を実現するには、従来の**決定論的判断のみでは限界**があり、**安全規制と発電所運用にリスク情報活用意思決定の導入**が重要。
 - **安全重要度の高い分野**に、より多くの規制資源・運用資源を投入
 - **不要な保守性を排除**して投入資源から最大限の安全性向上効果

© CRIEPI 2022

1

報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

報告内容

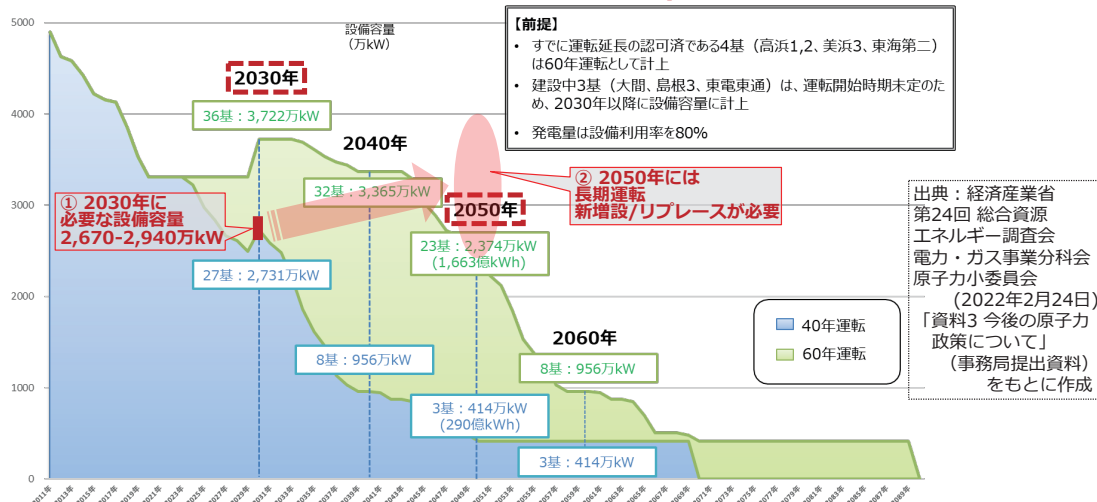
1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

将来の電力需要と 国内原子力発電の設備容量

第6次エネルギー基本計画

- ① 2030年 原子力で総発電電力量の20-22%
- ② 2050年 原子力+CO₂回収前提火力で総発電電力量の約30-40%

- ①に対して… 2030年に27基（未申請以外）稼働が必要
- ②に対して… 2050年に長期運転、**新增設/リプレース**が必要



原子力発電の 長期運転、**新增設/リプレース**のために

- 十分な安全性の確保
 - 新規制基準対応による安全性強化
 - 安全性向上への取り組みを継続
 その一方で
 - ✓ 新規制基準対応のための建設・改造・運用の経済的負担大
- 限られた資源を最も効果的に安全性向上の取り組みに投入

リスク情報活用により、

 - 安全性向上に寄与しない不要な保守性を排除し、
 - 安全性向上に寄与する分野へ資源を集中して
 経済性を向上しつつ安全性の向上を図ることができる
(海外産業界に先行例あり)

報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

リスクとは

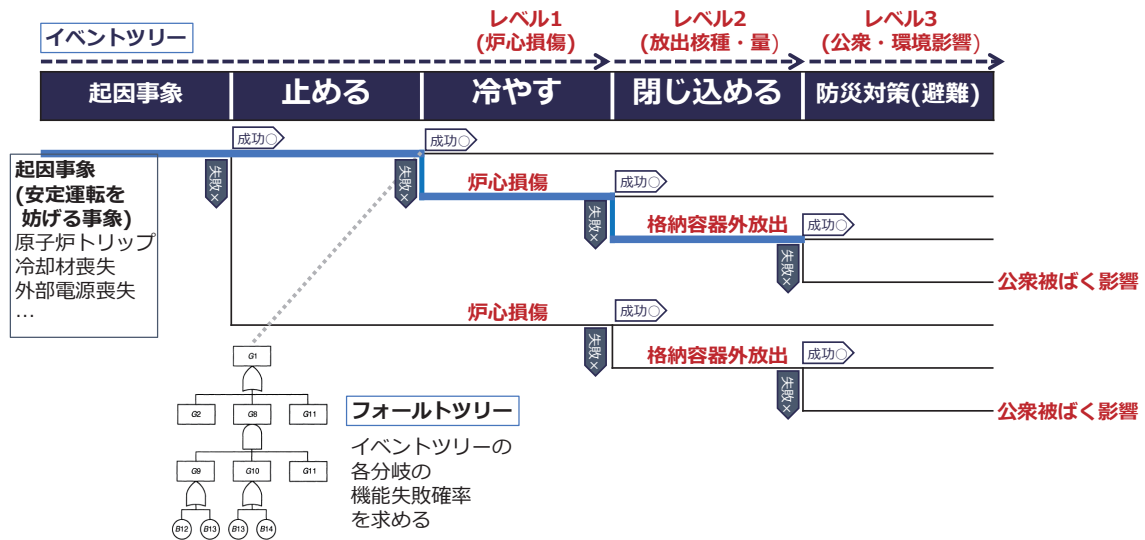
- リスクとは？ 以下の3つの問いへの答え
 1. **どのような悪いことが起こるのか？** - シナリオ(Scenario)
(What can go wrong?)
 2. **それが起こる確からしさはどれくらいか？** - 発生可能性(Likelihood)
(How likely is it?)
 3. **その結果・影響はどのようなものか？** - 影響(Consequence)
(What are the consequences?)
- リスク評価は、「3つの問いへの答え」の組合せを見出すこと。
{シナリオS, 発生可能性L, 影響C} (リスク三重項 : risk triplet)
- 「影響C」原子力発電所のリスク評価では
 - レベル1…炉心損傷
 - レベル2…格納容器外に放出される放射性核種とその量
 - レベル3…公衆・環境への放射線影響

出典：Kaplan, S, Garrick, B. J. "On The Quantitative Definition of Risk," Risk Analysis, Vol. 1, No.1, 1981.

リスク評価とは

■ レベル1/2/3 確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment, PRA)

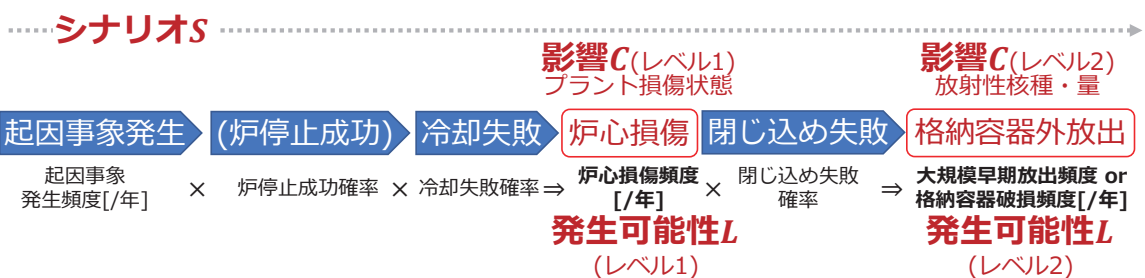
原子炉の安定運転を妨げる事象(起因事象)が起こった場合に、
「連鎖反応を止める機能」「炉心を冷やす機能」「放射性物質を閉じ込める機能」
が失敗するシナリオとその可能性を網羅的に調べる。



8

リスク三重項の分析

■ イベントツリー/フォールトツリーより、体系的・網羅的に {シナリオS, 発生可能性L, 影響C} の組合せが得られる。



- 発生可能性の大きいシナリオ
⇒ どのような事故が起こりやすいか? がわかる。
- 各構成機器について、常に故障している[健全である]と仮定したときのリスクが増える[減る]割合 … リスク増加[低減]価値
⇒ どの構成機器がリスク重要度(安全上の重要度)が高いか? がわかる。

「リスク情報」は、リスク三重項の理解により得られる。

リスク情報を活用した意思決定とは

- **確率論的リスク評価の知見を工学的知見と共に考慮して** 設計・運用・保守などの意思決定をすること。
 - **PRAの知見** (リスク三重項の分析より)
 - ✓ どのような事故が起こりやすいか？
 - ✓ どの構成機器がリスク重要度が高いか？
 - **工学的知見** (特にPRAで分析しにくい部分に関して)
 - ✓ どのような深層防護策がどのように機能しているか
 - ✓ 十分な安全余裕があるかどうか
 - **安全目標** 意思決定の“よりどころ” (国際原子力機関のガイドあり)
 - ✓ 定性的目標 「重大なリスクの増加がないこと」
 - ✓ 定量的補助目標 (定性的目標の達成可否を判断するもの)
 - 炉心損傷頻度 CDF, core damage frequency
 - 大規模早期放出頻度 LERF, large early release frequency
 - 格納容器破損頻度 CFF, containment failure frequency

リスク情報活用・確率論導入のメリット

決定論的手法(従来)	確率論的手法
<p>支配的と思われる代表的事象を想定し、不確かさに対し大きな余裕を重ねることにより、起こりうる事象全体を包絡しているとみなす。(保守的)</p>	<p>実際に起こると考えうるあらゆる事象を体系的・網羅的に分析し、不確かさを可能な限り確率論で定量的に取り扱う。(現実的)</p>
<ul style="list-style-type: none"> □ 代表的事象の想定では、全体の安全性が本当に包絡されているかどうかわかりにくい。 □ 保守的設定のため、どのくらい安全余裕があるわかりにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> □ 体系的・網羅的な想定により、安全への潜在的脅威をより幅広く検討できる。 □ 安全への脅威をリスク重要度に基づいて優先順位付けできる。 □ 安全への脅威に対する防護措置をより現実的にかつ幅広く検討できる。
<p>【例】決定論による設計基準事故設定 大口径配管破断冷却材喪失の際に炉心損傷しないよう安全系を設計し、緊急時対応を計画する。</p>	<p>1975年 米 原子炉安全研究(世界初のPRA) 「実際には小口径配管破断に起因する炉心損傷の可能性のほつが高い」 1979年 米スリーマイル島原子力発電所事故</p>

体系的・網羅的かつ現実的な安全上の知見が得られる
不要な保守性を排除かつ安全上重要度の高い分野に重点⇒資源の有効利用も

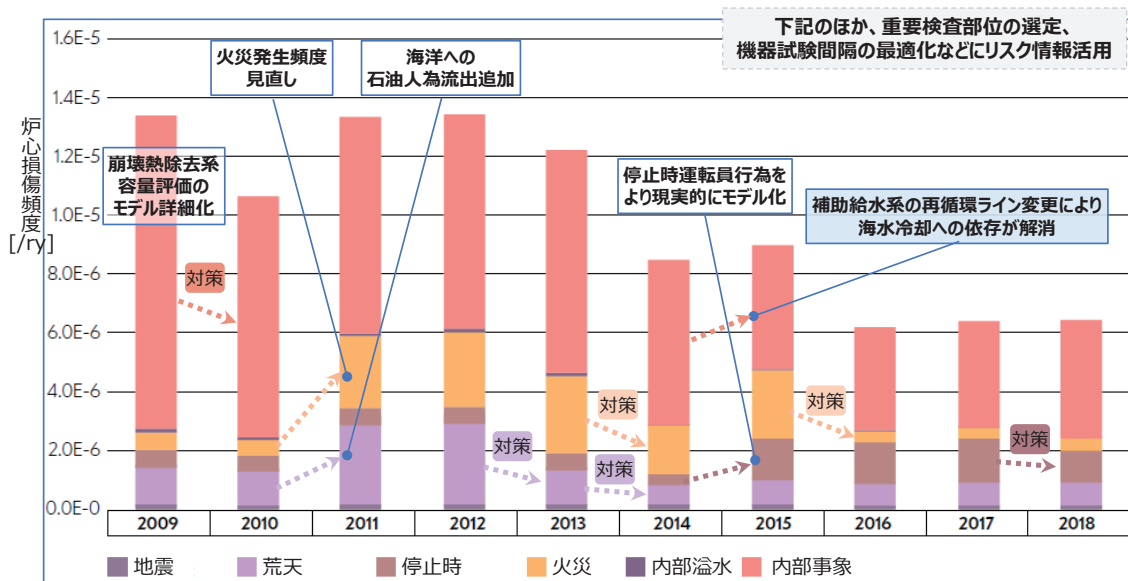
報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価

継続的安全性向上の好例

フィンランド Olkiluoto 1 原子力発電所 (TVO社, BWR, 860MWe, 1979～) の例



出典：“Finnish report on nuclear safety.” Finnish 8th national report as referred to in Article 5 of the Convention on Nuclear Safety STUK-B 237, Helsinki 2019. をもとに作成

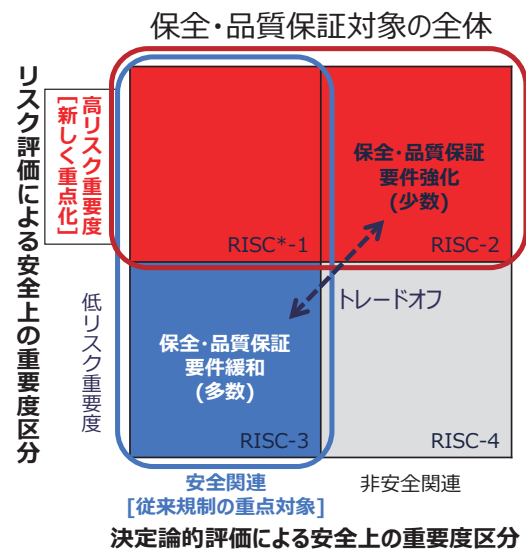
報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守

安全上重要な機器に 保全・品質保証資源を重点化

- 機器の安全上の重要度
 - 従来、決定論により定める [安全関連]
 - PRAにより再評価する [高リスク重要度]
- 保全・品質保証の重点を [安全関連]機器から [高リスク重要度]機器へ



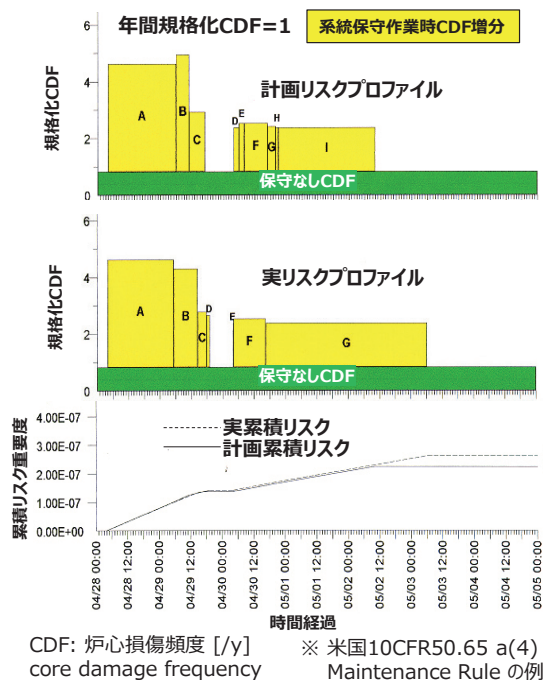
安全性が向上、かつ
保全・品質保証対象機器数が
減少する

*RISC: Risk-Informed Safety Class
米国10CFR50.69 重要度分類 の例
(連邦規則)

安全システムの保全を停止時から出力運転中へ 運転中保全 On-Line Maintenance

- 通常、安全システムは停止時に保全
 - 停止時でも一定のリスクあり
- 出力運転中に安全システムを予防保全
 - (“待機除外許容時間”を利用)
 - 安全システム待機除外により**リスク増**
 - ⇒ **構成リスク管理プログラム**(右図)により許容水準に抑える
 - 保全計画立案と**事前リスク評価**
 - 保全作業実施と**実リスクの監視**
- 停止時は安全システム保全作業削減
 - 安全システム機能維持により**リスク減**
 - 運転中リスクとのトレードオフ

運転中と停止時のリスク管理による
安全性向上、かつ、
停止期間の**短縮**による**稼働率向上**



報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

新增設炉・次世代炉の深層防護設計最適化

- 米国では、非軽水型原子炉(高温ガス炉、ナトリウム冷却炉など)の設計をPRAにより最適化する制度化の取り組みが進んでいる。

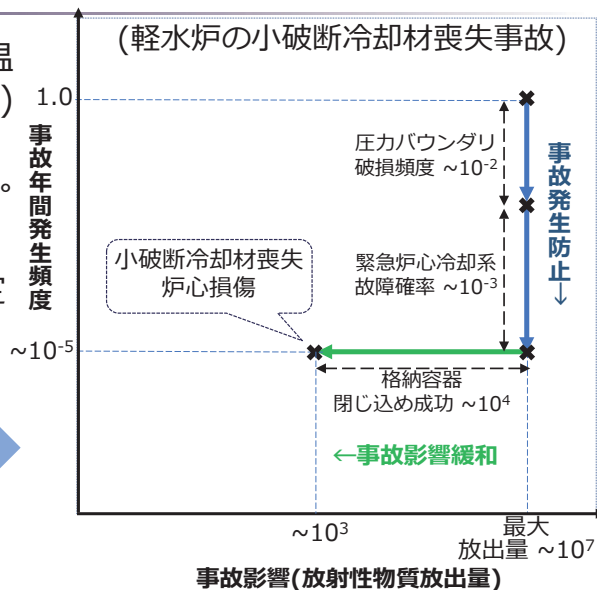
➢ 認可基準事象(設計基準事象、設計基準超事象、など)の決定

➢ 機器重要度分類

➢ 原子炉設計仕様によらない
深層防護バランス

事故発生防止機能と
事故影響緩和機能

とのバランスが適切にとれているかどうかを
事故シーケンスごとに確認



出典：Karl N. Fleming, Fred A. Silady,
"A risk-informed defense-in-depth framework
for existing and advanced reactors,"
Reliability Engineering and System Safety 78 (2002)
をもとに作成

報告内容

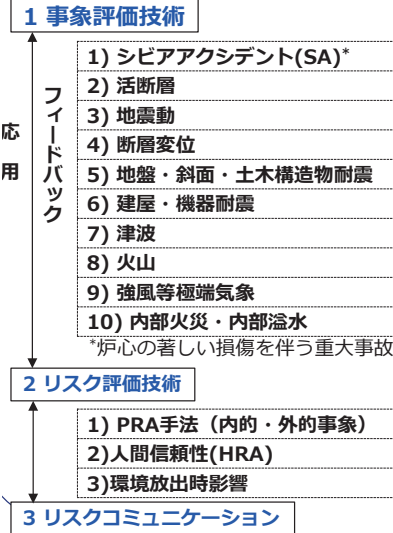
1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子力リスク研究センターの取り組み
7. まとめ

PRA手法研究開発

(2022年3月NRRC研究ロードマップより)

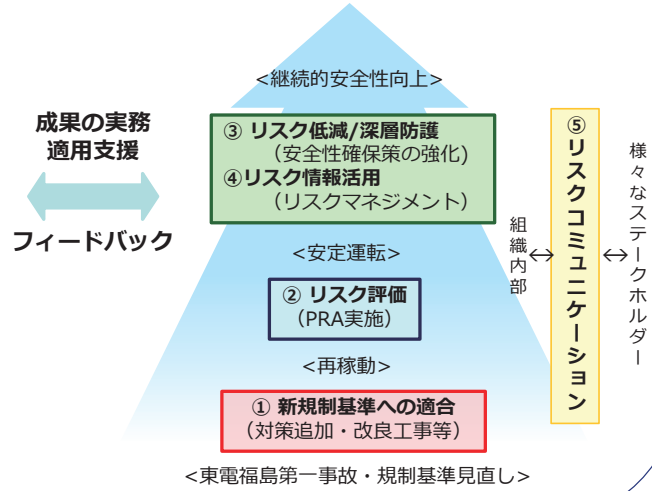
- ・ 低頻度だが大きな被害をもたらし得る事象のさらなる解明と対策立案
- ・ 従来の決定論的な手法に加えてリスク情報を活用する手法を適用

研究開発項目



継続的安全性向上の取り組み

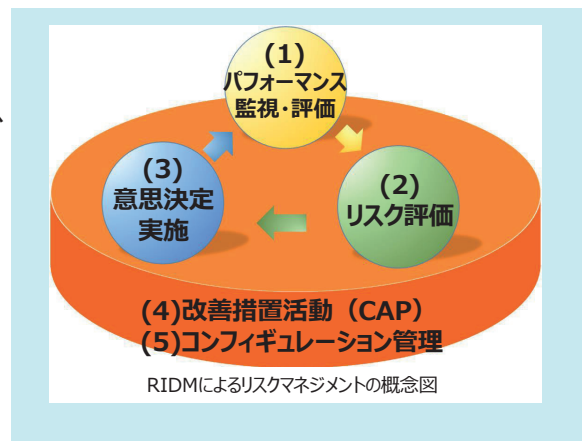
*番号①～⑤は、後述のロードマップの「成果の適用先」の番号に対応



原子力事業者の戦略・アクションプラン

- リスク情報を活用した意思決定(RIDM)を発電所のマネジメントに導入するため、その取り組みの基本方針・アクションプランをとりまとめた。
- 『リスク情報活用の実現に向けた戦略プラン及びアクションプラン』
電力会社11社 初版 2018年2月、改訂版 2020年6月

発電所の取り組みを適切に評価し、より効果的にリスクを低減させ、安全性を向上させる仕組み

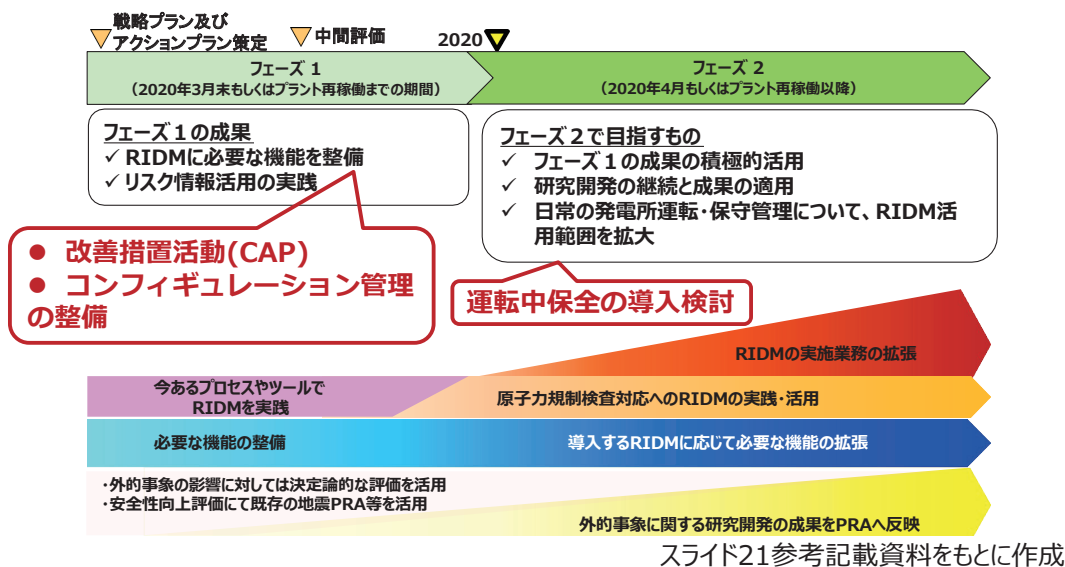


参考：原子力発電の安全性向上のためのリスク情報の活用について、電気事業連合会からのお知らせ、2020年6月19日

原子力事業者の戦略プラン

フェーズ 1 : リスク情報を活用した自律的な発電所マネジメントの高度化。⇒ **着実に進捗**

フェーズ 2 : 自律的な発電所マネジメントを継続的に改善するとともにRIDM活用範囲を拡大。
⇒ **アクションプランを策定**



報告内容

1. カーボンニュートラルを実現しうる大容量電源としての原子力発電
2. リスク評価とリスク情報活用
3. リスク情報活用によるプラントの安全性評価
4. リスク情報活用によるプラントの効率的な運転保守
5. リスク情報活用による新增設プラントの安全設計
6. 原子カリスク研究センターの取り組み
7. まとめ

まとめ

- **原子力発電は炭素を排出しない大容量電源であり、2050年のカーボンニュートラルに寄与できるポテンシャル**をもつ。
- 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓から、原子力発電に潜在するリスクを直視し、**十分な安全性確保を前提**とした発電所運用により、一般からの信頼を獲得することが不可欠。
- 2050年に「原子力+CO₂回収前提火力」で総発電電力量の約30-40%（第6次エネルギー基本計画）を可能とする設備容量確保のためには、既存炉の早期再稼働、長期運転の実現、**新增設/リプレースが必要**。
- さらに、高い安全性の下でより経済性の高い原子力発電を実現するには、従来の決定論的判断のみでは限界があり、安全規制と発電所運用に**リスク情報活用意思決定の導入**が重要。
- 原子力リスク研究センターでは、国内原子力発電へのリスク情報活用導入のため、必要なPRA技術の開発とリスク情報を活用した意思決定の事業者支援を行っている。

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. 経済産業省 第24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 資料3「今後の原子力政策について（事務局提出資料）」 2022年2月24日
(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/024_03_00.pdf)
2. S. Kaplan, B. J. Garrick, "On The Quantitative Definition of Risk," Risk Analysis, Vol. 1, No.1, 1981.
3. Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), "Finnish report on nuclear safety." Finnish 8th national report as referred to in Article 5 of the Convention on Nuclear Safety STUK-B 237, Helsinki 2019.
(https://www.iaea.org/sites/default/files/finland_nr-8th-rm.pdf)
4. The B. John Garrick Institute for the Risk Sciences, UCLA, and NRRRC CRIEPI, "Risk-Informed Decision Making: A Survey of United States Experience," 2017.
邦訳「リスク情報を活用した意思決定：米国の経験に関する調査」
(<https://criepi.denken.or.jp/jp/nrrc/publication.html>)
5. K. N. Fleming, F. A. Silady, "A risk-informed defense-in-depth framework for existing and advanced reactors." Reliability Engineering and System Safety 78 (2002) 205–225.
6. 原子力リスク研究センター「NRRRC研究ロードマップ」2022年3月
(<https://criepi.denken.or.jp/jp/nrrc/intro/roadmap.html>)
7. 電気事業連合会「原子力発電の安全性向上のためのリスク情報の活用について」電気事業連合会からのお知らせ 2020年6月19日
(https://www.fepc.or.jp/about_us/pr/oshirase/1260030_1458.html)

【個別報告2】

安定かつ経済的な需給計画・運用に 貢献する再エネ出力予測

電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部
研究統括室
副統括室長 兼 課題統括（再エネ出力予測） 上席研究員
由本 勝久

研究報告会2022
2022年11月10日

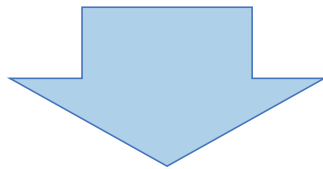
RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2022

RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、再生可能エネルギー（再エネ）を主力電源として最大限導入する
- しかし、導入の中心となる太陽光発電（PV）・風力発電は自然変動電源と呼ばれ、**天気によって出力が変化する**



大量導入すると需要と供給を
バランスさせるのが困難にな
るとの懸念

需給運用を安定かつ経済的に行うには

- ① 予測精度の向上、
- ② 予測大外しの検知、
- ③ 低出力現象の分析と長期予測 が重要な技術課題

© CRIEPI 2022

1

報告内容

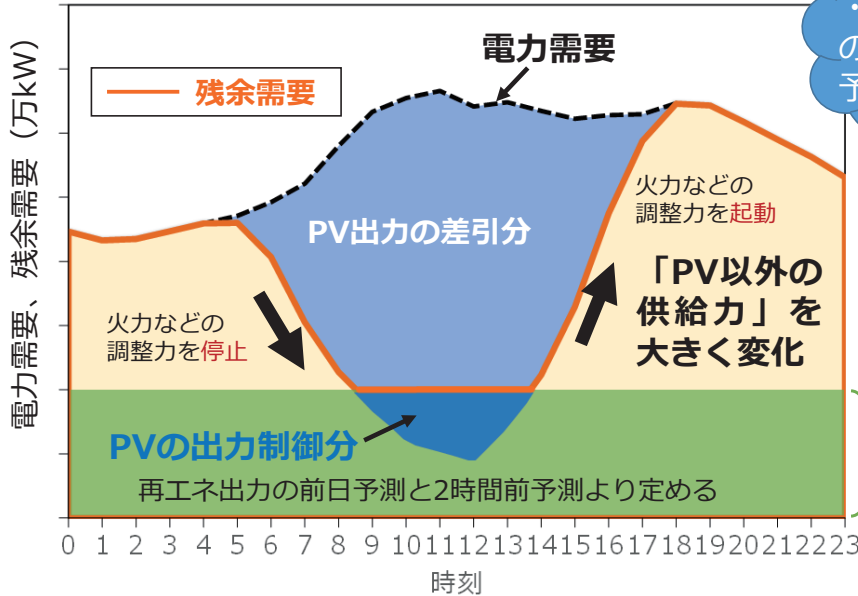
1. 電力システムの需給計画・運用における予測の重要性
2. 当所の再エネ出力予測の基盤技術
3. 再エネ大量導入時の需給計画・運用に貢献する予測技術の開発
4. まとめ

報告内容

1. 電力システムの需給計画・運用における予測の重要性
2. 当所の再エネ出力予測の基盤技術
3. 再エネ大量導入時の需給計画・運用に貢献する予測技術の開発
4. まとめ

再エネ大量導入時の需給運用の難しさの例 (1)

残余需要 = 「電力需要」 - 「再エネ (PV) 出力」
 → PV以外の供給力が分担する分



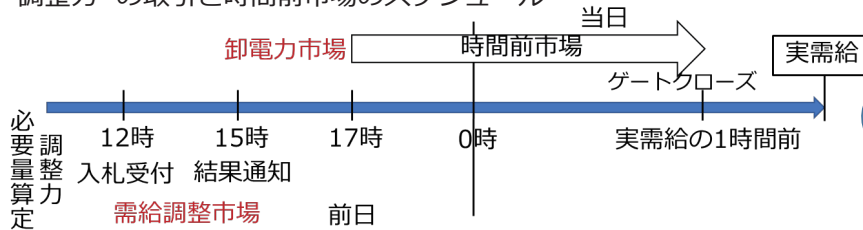
・供給力、調整力
 ・再エネ出力制御
 の準備の適正化に
 予測が不可欠

※PV以外の供給力：揚水動力
 や連系線融通も含める等、こ
 こでは詳細を省いて示してい
 る。

“下げ代不足”
 短時間変動用の調整力
 + 出力変化が困難な電源,等

再エネ大量導入時の需給運用の難しさの例 (2)

調整力※の取引と時間前市場のスケジュール



再エネ出力予測
 誤差の増大によ
 り、調整力の市
 場調達が複雑に

前日

調整力の必要量を、最大に近い予測誤差に基づき計算
 → 誤差が大きいとそれだけ必要量が増大

※3次調整力②のこと。
 再エネ出力の予測誤差
 に対応する。

当日断面

- 下振れ (再エネの実出力が予測を下回る場合)
 - 調整力が不足するため、時間前市場からの調達や他エリアからの融通が必要 → 追加量の検討が必要
- 上振れ (再エネの実出力が予測を上回る場合)
 - 調整力に余剰が出て、経済性に懸念 → 調達を減らす検討が必要

再エネ大量導入時の予測の重要性

- PV・風力発電は日射や風の変化で出力が変化する



大量導入した場合、供給力・調整力を大きく変化させねばならない

- 需給バランスを適切に維持するには、予測が不可欠
- 導入量が増えるにつれて予測誤差の大きさそのものも増大するため、これを考慮すると需給の調整が複雑化



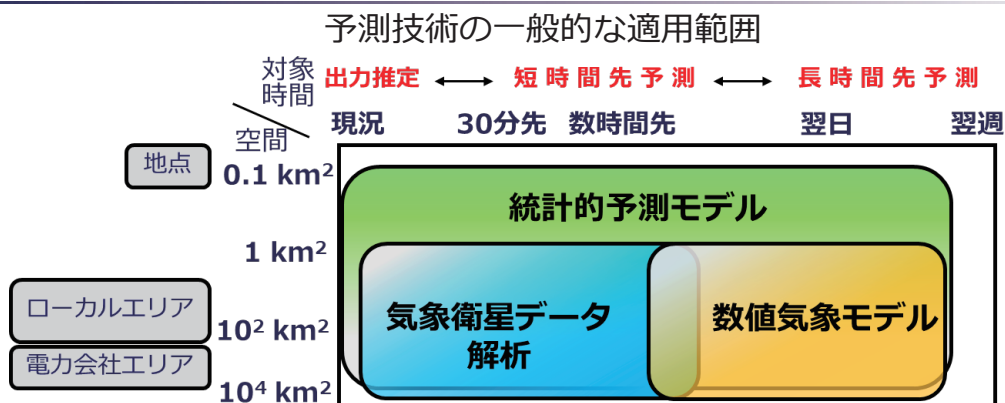
“出力予測技術の高度化が不可欠”

当所では、予測精度の向上のみならず、将来の需給運用の実務への貢献を考えた予測技術の開発を進めている

報告内容

1. 電力システムの需給計画・運用における予測の重要性
2. 当所の再エネ出力予測の基盤技術
3. 再エネ大量導入時の需給計画・運用に貢献する予測技術の開発
4. まとめ

再エネ出力予測技術



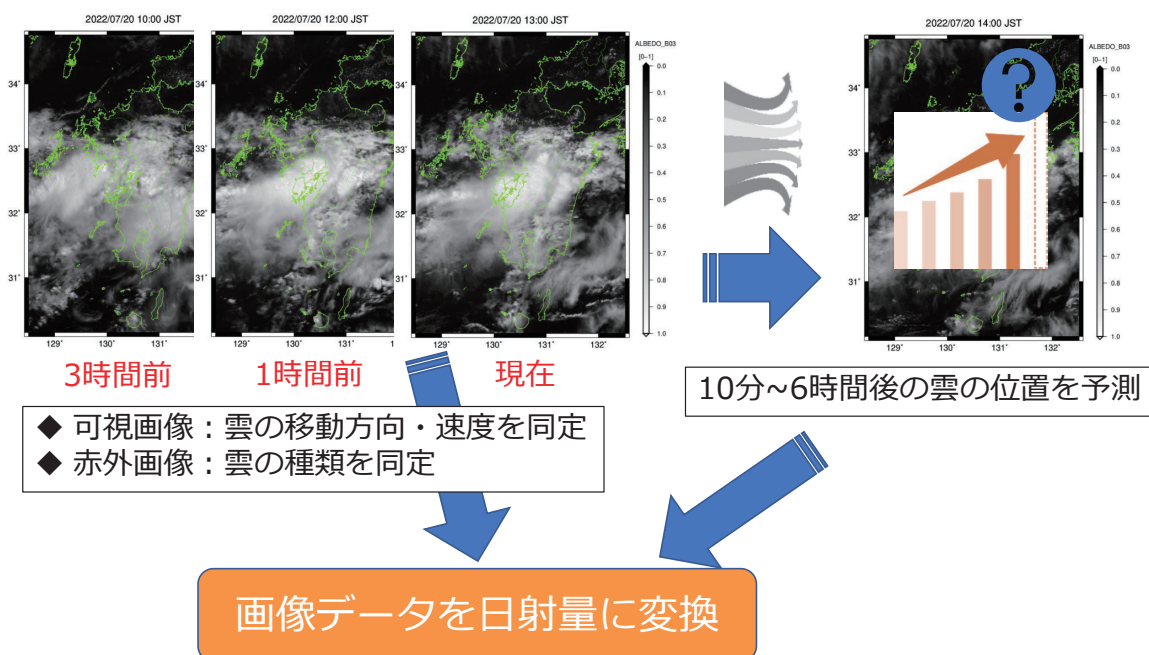
当所が保有する予測の基盤技術

- 気象衛星データ解析による日射予測 (SoRaFAS)
- 数値気象モデルによるPV・風力発電出力予測 (NuWFAS)
- 統計手法による残余需要予測

当所開発の日射予測・解析システム (SoRaFAS)

Solar Radiation Forecasting and Analysis System

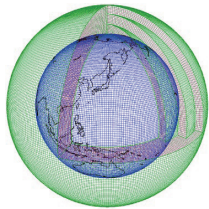
電中研報告N18003



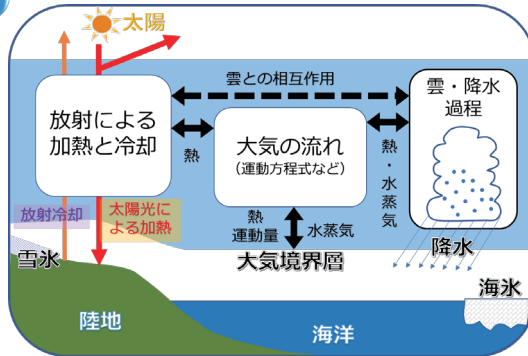
当所開発の気象予測解析システム (NuWFAS)

Numerical Weather Forecasting and Analysis System

電中研報告N09024



出典：気象庁WWW「数値予報とは」
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/ku/know/whitep/1-3-1.html>

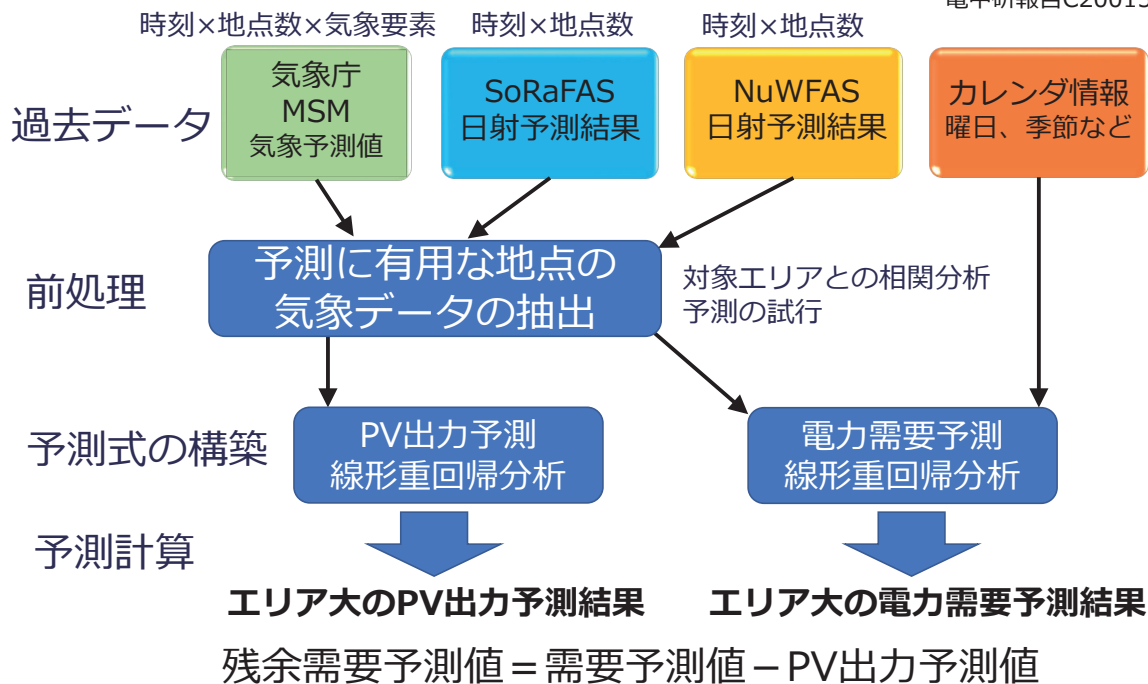


WRF : Weather Research and Forecasting
 米国大気研究センター(NCAR)などが開発した数値気象モデル

コンピュータ上で仮想の地球の大気の動きをシミュレーション
 物理学や化学の法則に基づいて時間変化を計算

統計手法による残余需要予測

電中研報告C20015



当所の予測技術の特徴

- 気象に関する長年の研究の蓄積
 - ✓耐風、耐雪、耐塩対策等に活用されてきた
 - ➡電力設備の復旧支援・災害対応へ【個別報告4】
- 予測システムの内製化
 - ✓新技術を迅速に採用することが容易（例：積雪量予測）
 - ✓柔軟・迅速に電気事業の新たなニーズに応えることが可能
- 予測結果をWebベースで配信
 - ✓ブラウザのみで結果を受信、閲覧可能
 - ✓電力会社の実配信➡利用評価を基に改善・改良
- 様々な専門分野の研究者とのコラボレーション
 - ✓気象学 ・ 統計学 ・ 電力システム工学の有機的結合
（基盤技術）（手法改良）（適用先）
 - ✓応用面、実用面に比重を置いて、ニーズを先取り

報告内容

1. 電力システムの需給計画・運用における予測の重要性
2. 当所の再エネ出力予測の基盤技術
3. 再エネ大量導入時の需給計画・運用に貢献する予測技術の開発
4. まとめ

再エネ主力電源化に向けて

安定かつ経済的な需給計画・運用のための 再エネ出力予測の重要技術課題

技術課題	①予測精度の向上	②予測大外しの検知	③再エネの 低出力現象の分析と 出力の長期予測
活用先	<ul style="list-style-type: none"> 需給計画・運用における経済性の向上、など 	<ul style="list-style-type: none"> 調整力必要量の削減 再エネ出力制御量の削減 需給ひっ迫の可能性検討 	<ul style="list-style-type: none"> 需給ひっ迫の回避 エネルギーセキュリティの向上 長期の需給計画策定(年間計画など)

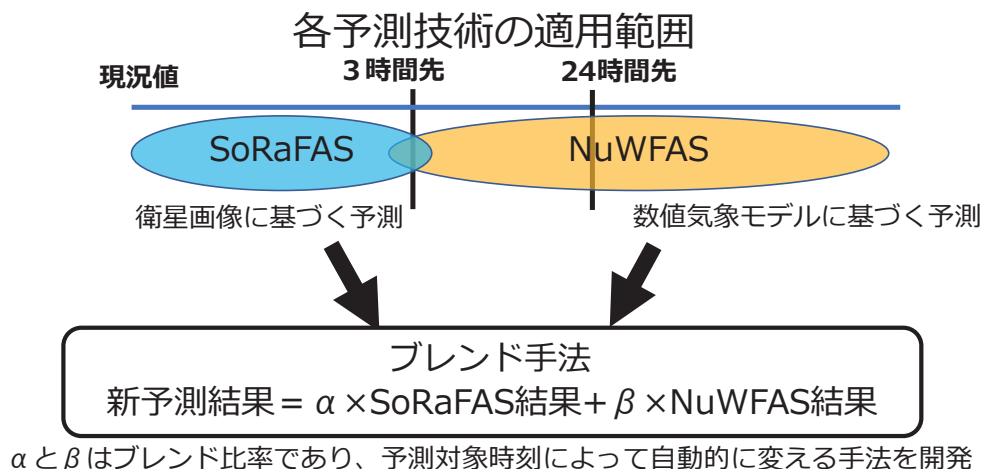
現在進行中の当所における取り組みを紹介

①予測精度の向上

現在進行中の2件を紹介

- 複数予測技術の融合による精度向上
 - ✓ 予測技術によって苦手・得意とする条件が異なるため、組合せ効果で相互補完
- ローカルエリアでの予測精度向上
 - ✓ 新しい適用先・プレイヤーでの活用
 - ・マイクログリッドや需要地系統
 - ・VPP（仮想発電所）やアグリゲータ事業者

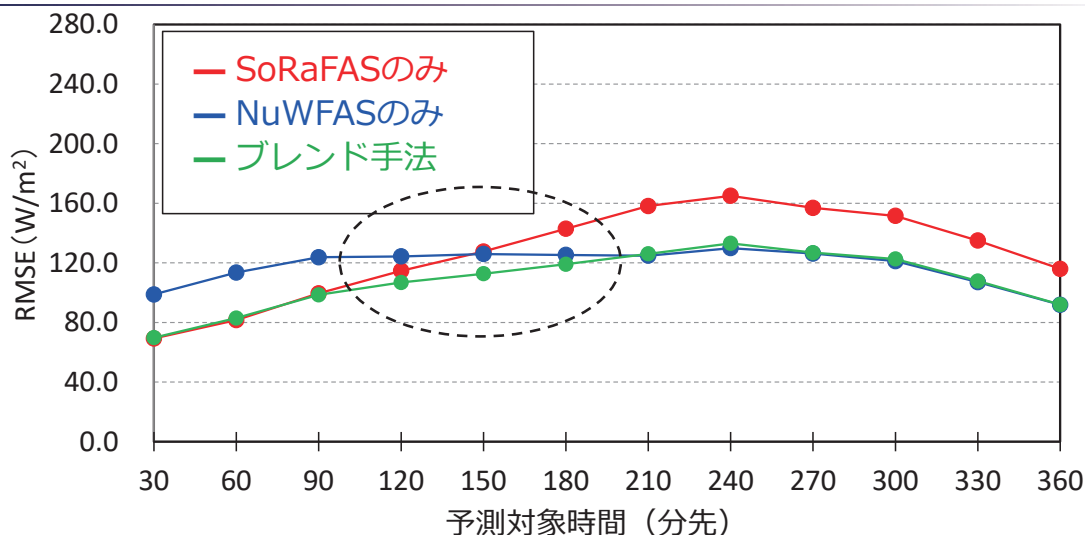
当所提案の複数予測技術の融合法



従来技術が苦手としていた、2時間先から3時間先の予測で精度向上を確認

卸電力市場の当日市場（1時間前が最短）での調達に活用が期待

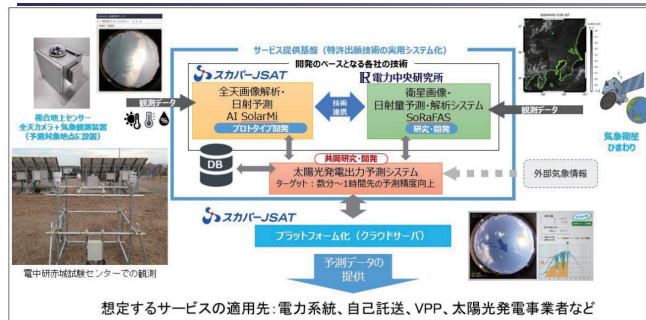
ブレンド手法による日射予測結果



RMSE：平均2乗誤差の平方根

2021年10月～12月 赤城試験センターでの結果
 予測実施時刻：8:00,8:30,9:00,9:30の平均値

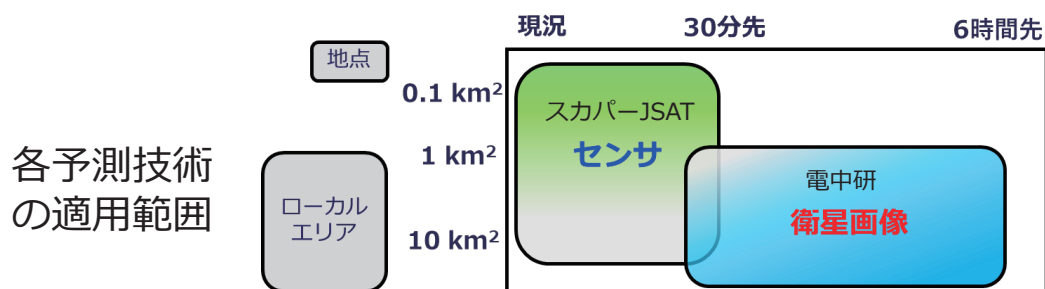
ローカルエリアでの予測精度向上



- ✓ スカパーJSAT様：**センサ**
 全天画像+気象観測
 数分先から15分先程度
 （最大30分）
- ✓ 電中研：**衛星画像**
 SoRAFAS
 30分先から3時間先程度
 （最大6時間）

プレスリリース2020年12月3日 https://criepi.denken.or.jp/press/pressrelease/2020/12_03press.pdf?v4

複合地上センサ予測と衛星画像予測のハイブリッド予測システム



予測精度向上に向けた今後の研究の方向

- 従来技術の改良、など
- AI・機械学習の適用（**現在進行中**※）
- IoT（Internet of Things：モノのインターネット）の融合
 - ➡ 気象センサ等の観測装置を分散設置し、IoT技術により気象データをリアルタイムに収集する
 - 数値気象モデルの初期値
 - 予測結果の精度検証用データ➡補正・補完にも（洋上風力発電用の風速観測）
 - AI・機械学習の学習データの蓄積
 - ➡ 複合地上センサ予測と衛星画像予測のハイブリッド予測システムは、IoTの融合の初期技術

今後注目したい
研究課題

※参考：

由本・比護他、平成28年 電気学会 B部門大会、120(2016)
 菅野他、令和4年電気学会全国大会、6-213(2022)
 菅野・野原、2022年度日本気象学会秋季大会、P439(2022)

②予測大外しの検知

決定論的予測の結果例

翌日PV出力予測で大きな誤差が生じた回数
(年間8760時間に対する百分率)

±20%を超える誤差	1.6%
±30%を超える誤差	0.3%



回数は少ないものの
予測大外しは生じる

※一つの予測値を求める「決定論的予測」では限界がある

- ✓ 翌日予測：13時30分に出力
- ✓ 期間：2021年の1年間の毎日
- ✓ 粒度：1時間単位
- ✓ 誤差：導入設備量に対する比

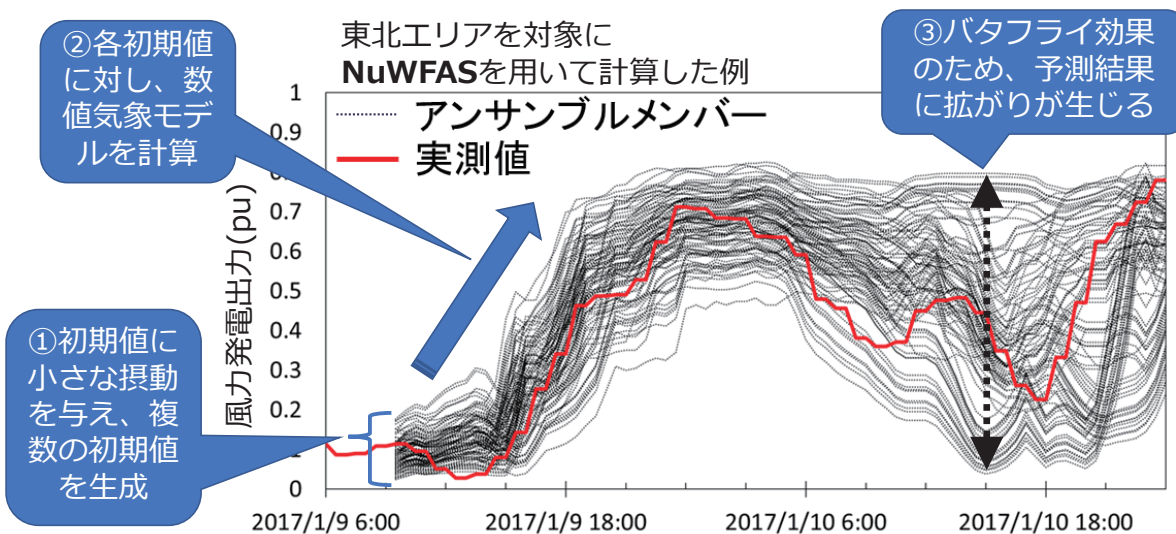
計算方法は、電中研報告C20008に記載

大外しにどう備えるかが
重要と認識

予測大外しの検知に向けた、
アンサンブル予測に基づく確率予測の研究開発に着手

アンサンブル予測とは

複数の予測を同時に求める予測法 電中研報告C19005



アンサンブルメンバー：個々の予測のこと

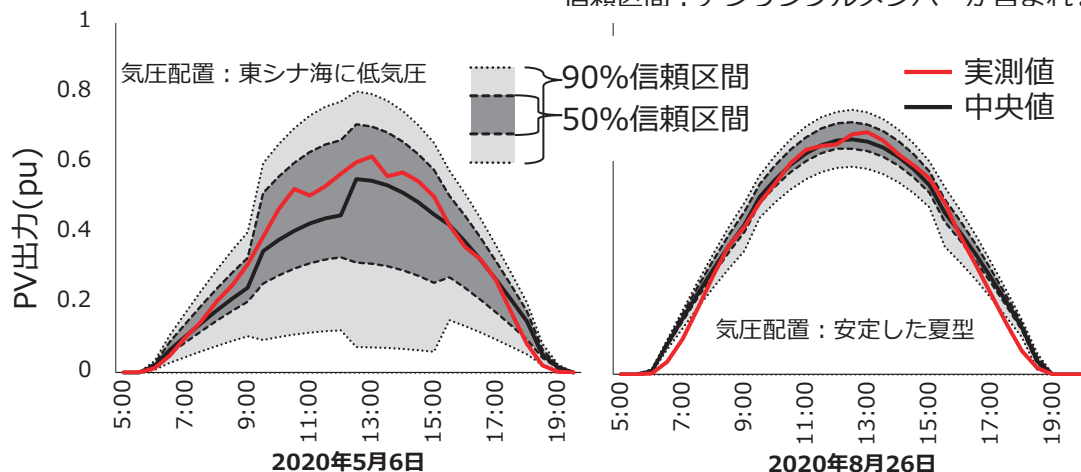
pu(per unit)：定格容量を1.0とした発電出力の比

確率予測による予測の信頼性評価

アンサンブル予測を確率論的に表現

中国エリアを
対象にした翌日PV出力予測の例

信頼区間：アンサンブルメンバーが含まれる確率



PV出力予測の信頼性が低い事例

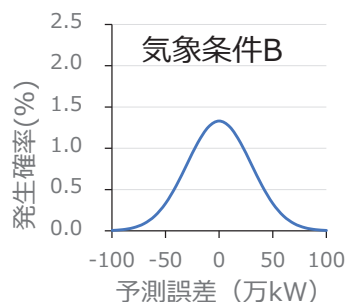
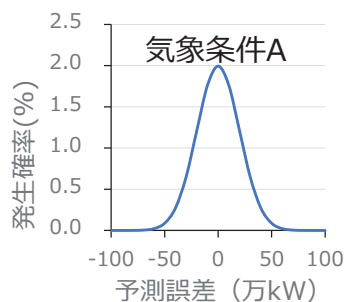
PV出力予測の信頼性が高い事例

pu(per unit)：定格容量を1.0とした発電出力の比

予測大外しの検知に向けた今後の研究の方向

- 第1ステップ：信頼区間・確率予測の使用性向上
 - 区間の幅から予測の信頼性を定量評価
 - ➡再エネ出力制御の所要量等の検討に活用
- 第2ステップ：予測大外しと気象条件との関係性評価
 - 大外しが起こり易い気象条件の抽出と分析・評価方法の開発
- 第3ステップ：気象条件ごとの予測誤差の発生確率
 - 予測大外しの可能性を把握

確率密度分布
イメージ



③再エネの低出力現象の分析と出力の長期予測

研究の背景

- 自然変動電源（PV、風力）の出力特性
 - 変動性➡これまでの報告内容
 - 間欠性
 - 雨や無風で出力低下が長期間に亘ること

- 間欠性について
 - 出力が非常に低い無光無風期間（Dark Doldrums, Wind Drought）が欧米で問題
 - ドイツでは2017年1月中旬から下旬、オランダでは2018年4月30日に実際に起こり、系統に影響があったと報告

Doldrums : 無風状態
Drought : 干ばつ

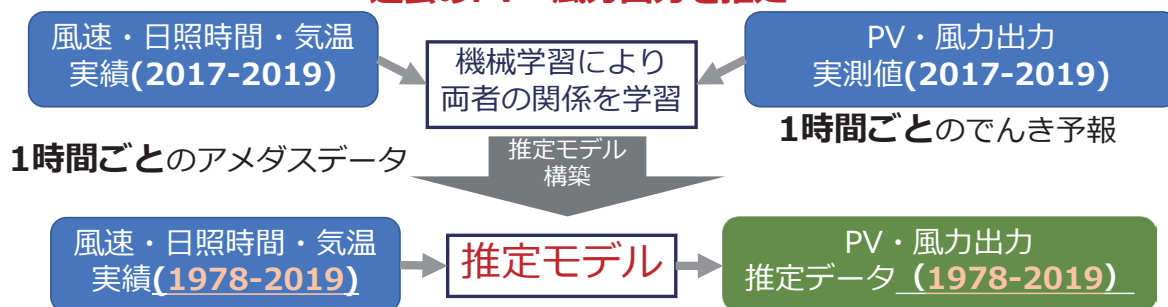
参考 : Bowen Li, et al., Wind Energy, Volume24, Issue1(2021)

◆ 日本でも再エネの低出力現象があるのではないかと
◆ エネルギーセキュリティ上の懸念になるのではないかと

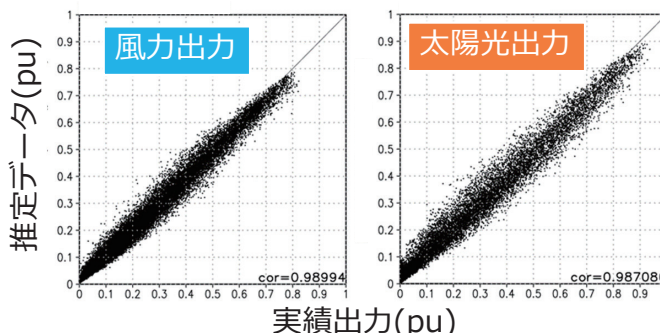
③再エネの低出力現象の分析と出力の長期予測

当所における低出力現象に関する研究

過去のPV・風力出力を推定



pu(per unit) :
定格容量を1.0
とした発電出力
の比

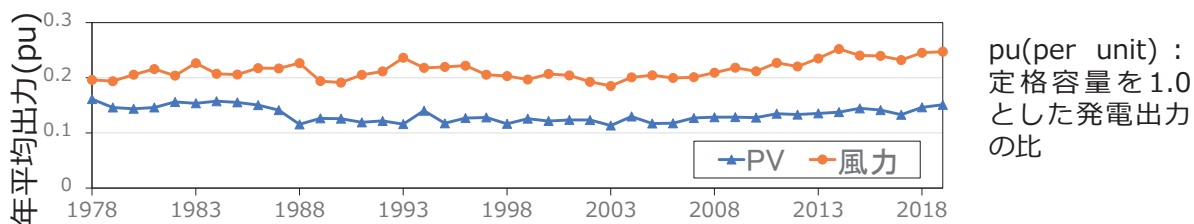


42年分

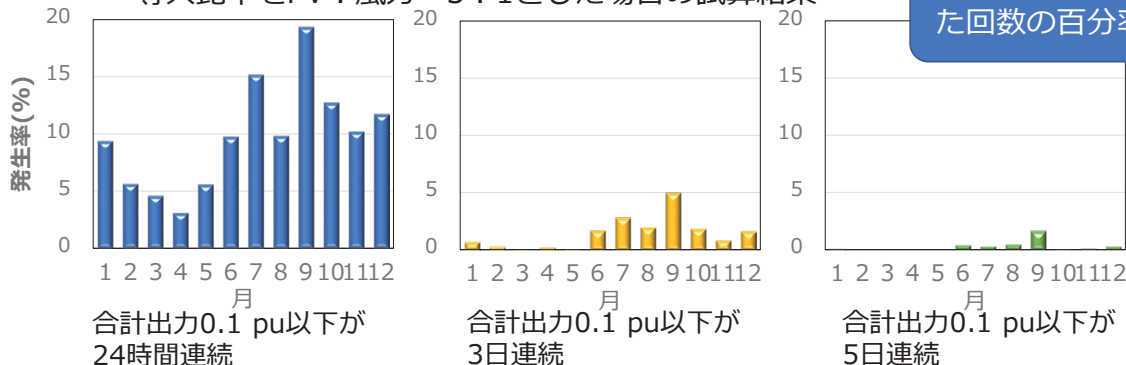
2017-2019
のデータの比較

低出力現象に関する分析結果例

42年(1978-2019)分の推定データの結果(東北エリア)



導入比率をPV : 風力 = 3 : 1とした場合の試算結果



長期予測に向けた今後の研究の方向

今後のニーズ

- ✓ 出力予測の対象スパン : 現在は3日先程度まで → 一週間先 (週間計画での活用)
- ✓ エネルギーセキュリティの検討 → 長期 (例えば3カ月以上) のPV・風力の発電電力量予測

■ 低出力現象について

- ✓ 洋上風力も含めた低出力現象の分析とデータの蓄積
- ✓ 無光無風が発生する条件の気象学的検討

■ 長期予測について

- ✓ チャレンジングな課題
- ✓ まずは地球規模の気象現象 (エルニーニョ等) と日本域での日射・風速との関係性の解明からスタート

報告内容

1. 電力システムの需給計画・運用における予測の重要性
2. 当所の再エネ出力予測の基盤技術
3. 再エネ大量導入時の需給計画・運用に貢献する予測技術の開発
4. まとめ

まとめ

- 2050年カーボンニュートラルに向け
 - ➔需給計画・運用を安定かつ経済的に行うために、出力予測の高精度化・高度利用が不可欠
- PV・風力が大量導入された場合、予測精度向上・大外し検知・長期予測が重要な課題
- 当所では、SoRaFAS・NuWFAS・統計手法による予測システムを開発
 - ➔これらをベースとして新たな予測技術の開発を進捗中

当所では、再エネ主力電源化に向け、安定かつ経済的な需給運用に貢献する予測技術の開発を推進します

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. 送配電網協議会：需給調整市場とは、
<https://www.tdgc.jp/jukyuchoseishijo/outline/outline.html> (2022年10月3日閲覧).
2. 需給調整市場検討小委員会 事務局：三次②必要量の低減に向けた新たな取り組みについて、第30回需給調整市場検討小委員会 資料2 (2022年7月13日).
3. 橋本 篤・宇佐美 章・小林 広武：ひまわり8号を用いた日射量推定・予測システムの開発－九州エリアにおける1年間の精度評価－、電力中央研究所 研究報告N18003(2019).
4. 橋本 篤・平口 博丸：気象予測・解析システム (NuWFAS) の高度化と北海道を対象とした予測精度評価、電力中央研究所 研究報告N09024 (2010).
5. 比護 貴之：需給運用で用いる残余需要予測の高精度化に関する基礎検討－複数の残余需要予測式の比較評価－、電力中央研究所 研究報告C20015 (2021).
6. 比護 貴之・橋本 篤・野原 大輔・由本 勝久・門倉 真二・平口 博丸：短時間先日射予測における統計手法の活用、令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.13(2019).
7. 橋本 篤・由本 勝久：衛星画像予測と数値気象モデルを組み合わせた短時間先日射量予測手法の開発、令和4年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.15(2022).
8. 電中研・スカパーJSATプレスリリース2020年12月3日
https://criepi.denken.or.jp/press/pressrelease/2020/12_03press.pdf?v4
9. 由本 勝久・比護 貴之・鶴見 剛也：多数地点の日射データに基づく統計的手法による短時間先日射予測の開発－天気別予測の効果の検討－、平成28年 電気学会 電力・エネルギー部門大会、120 (2016)

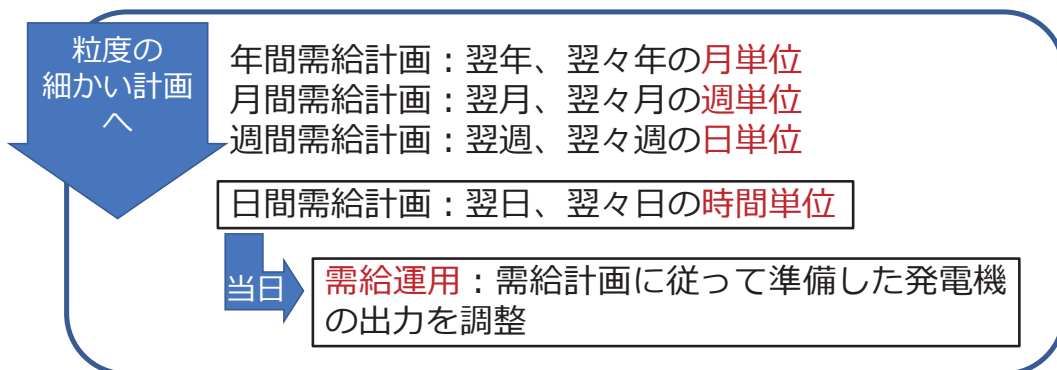
参考文献

10. 菅野 湧貴・野原 大輔・大庭 雅道・藤本 悠：勾配ブースティング決定木を用いた風力発電出力予測とその解釈性に関する基礎的検討、令和4年電気学会全国大会、6-213(2022)
11. 菅野 湧貴・野原 大輔：機械学習を用いたエリア合計太陽光発電出力の予測、2022年度日本気象学会秋季大会、P439(2022)
12. 野原 大輔・菅野 湧貴：太陽光発電出力確率予測 – 中国エリアにおける予測事例とその検証 –、電力中央研究所 研究報告C20008 (2019).
13. 大庭 雅道・門倉 真二・野原 大輔・平口 博丸・橋本 篤：電中研風力発電出力予測システムの構築 – 東北エリアにおける予測事例とその検証 –、電力中央研究所 研究報告C19005 (2020).
14. 電力中央研究所：Annual Report2020,
<https://criepi.denken.or.jp/intro/annualreport.html>
15. Bowen Li, Sukanta Basu, Simon J. Watson, Herman W. J. Russchenberg:
Mesoscale modeling of a “Dunkelflaute” event, Wind Energy, Volume24,
Issue1(2021) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/we.2554>
16. M. Ohba, Y. Kanno, D. Nohara: Climatology of dark doldrums in Japan, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 155, 111927(2022)

付 録

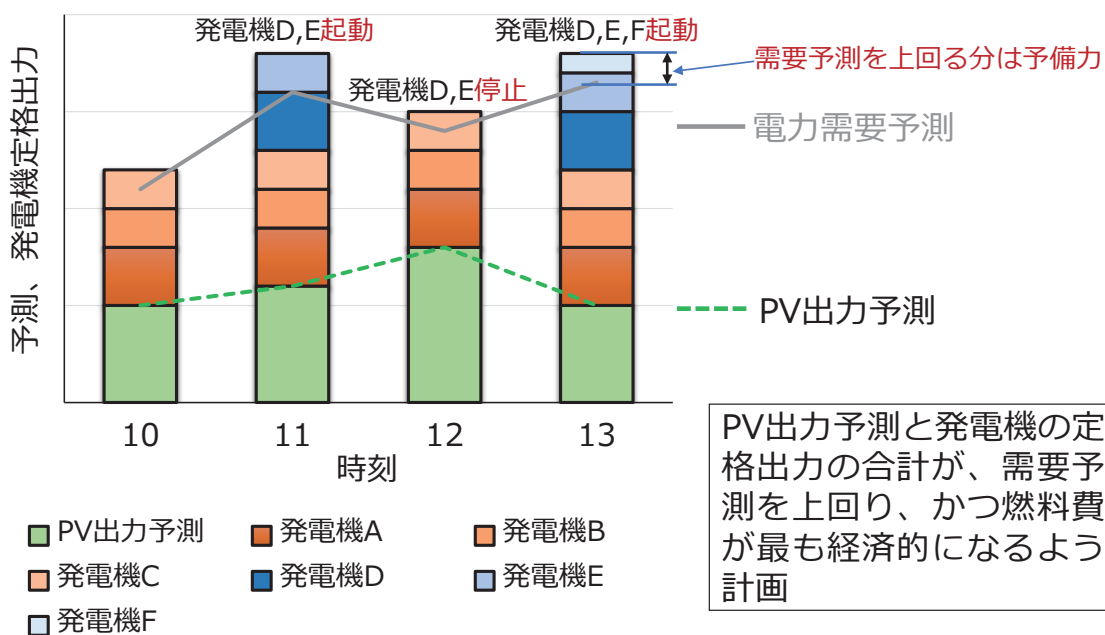
電力システムにおける需給計画・運用

- 一般送配電事業者では、**想定した将来の電力需要・再エネ出力に対し**、需要と供給をバランスでき、**需要を上回る供給力を確保する計画を策定している（需給計画）**
- 時々刻々変化する当日の電力需要に合わせて発電機出力等を調整する（**需給運用**）

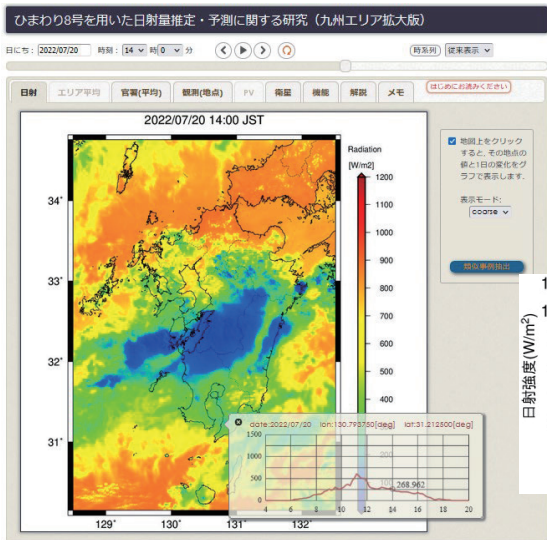


需給計画の例

翌日の発電機起動停止計画の策定イメージ

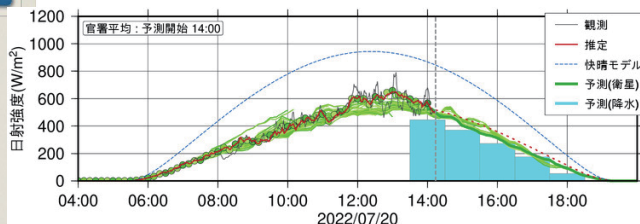


SoRaFASによる日射の推定・予測



SoRaFAS画面例
2022/07/20 14:00の日射推定結果

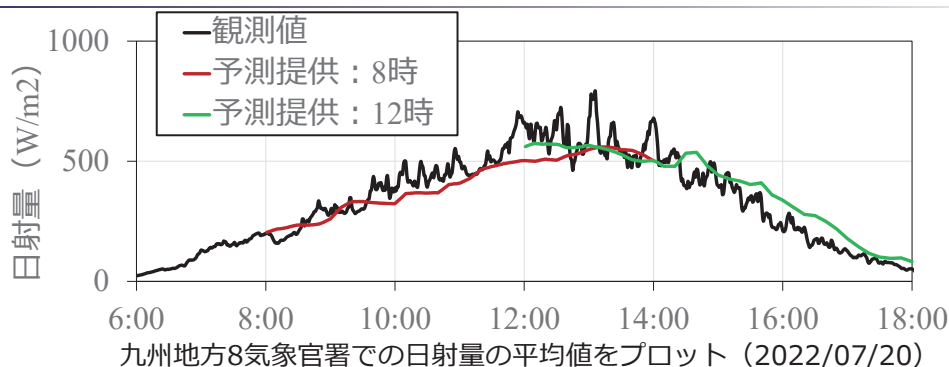
- 日射の推定：衛星画像から直接変換 (1分間隔、1km解像度)
- 日射の予測：10分間隔、6時間先まで (実用的には2~3時間先まで)



2022/07/20 14:00提供の過去実績と
予測結果のグラフ
(九州地方8気象官署での観測値の平均)

※推定：これまでの各時点での日射推定結果
※予測 (衛星)：今後の日射予測結果

SoRaFASによる予測結果



日射量予測誤差 期間RMSE
(当所 赤城試験センター：2021/10~2021/12)

予測提供時刻	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後
9時00分	83	104	145	171
10時00分	81	129	170	144
11時00分	102	143	116	88

10分値、W/m²

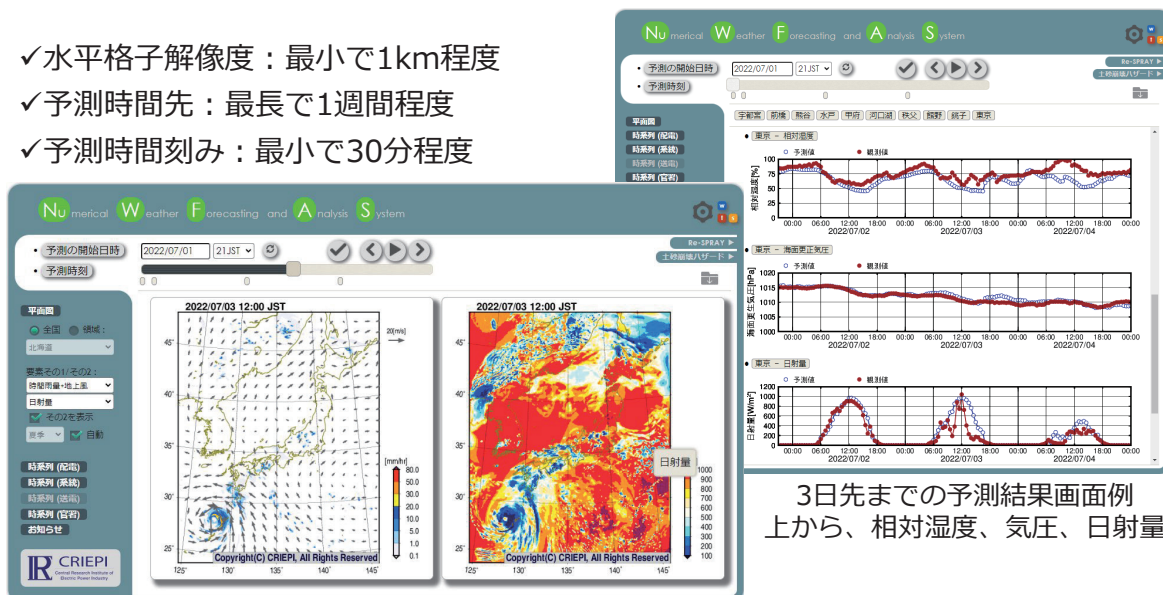
(参考)
赤城試験センターでの
観測結果

	2021年 10月	2021年 11月	2021年 12月
月最大	844	811	675
月平均	292	310	262

10分値、W/m²

NuWFASによるPV・風力出力予測

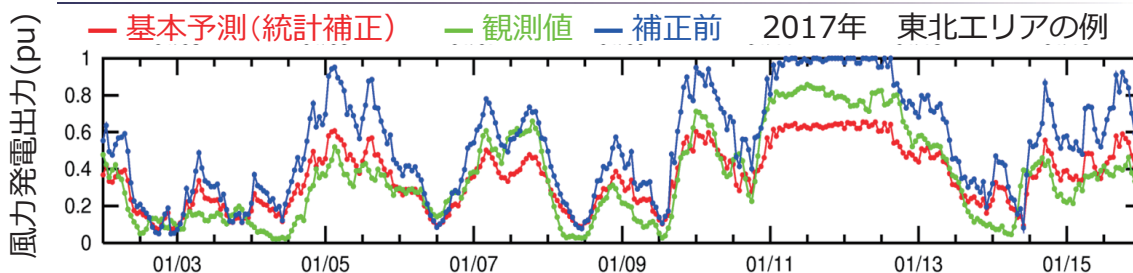
- ✓水平格子解像度：最小で1km程度
- ✓予測時間先：最長で1週間程度
- ✓予測時間刻み：最小で30分程度



3日先までの予測結果画面例
上から、相対湿度、気圧、日射量

風速・降水量と日射量の分布を表示した例（動画も可能）

NuWFASによる予測結果例



NuWFAS基本予測による予測誤差 年間RMSE（定格容量%）

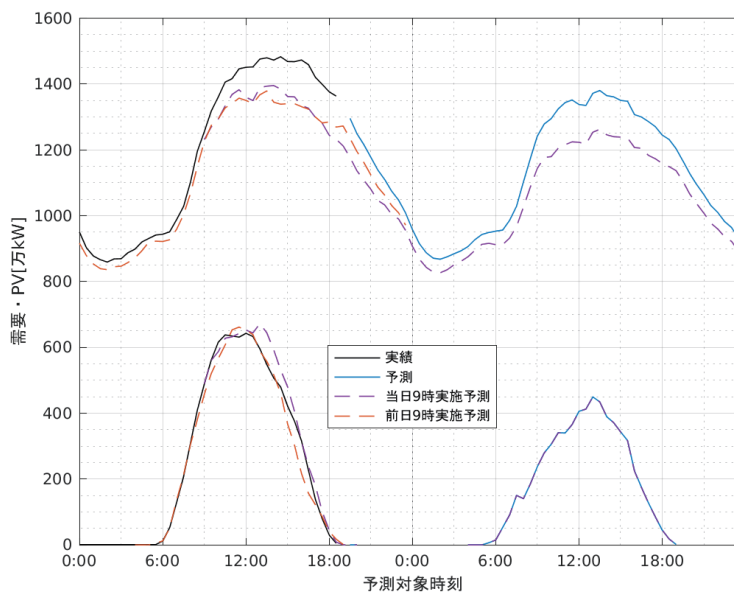
RMSE：
平均2乗誤差の
平方根

	風力予測誤差	PV予測誤差
6時間先まで	7.4	7.5
6時間から12時間先まで	8.2	7.8
12時間から18時間先まで	8.4	8.1
18時間から24時間先まで	8.8	8.3
24時間から30時間先まで	9	8.8
30時間から36時間先まで	9.5	9.1

残余需要予測システム

- ✓エリア大の当日・翌日の電力需要とPV出力の予測を30分単位で表示
- ✓実績・予測：でんき予報
- ✓当日9時実施予測：
翌日24時までの予測
- ✓前日9時実施予測：
当日24時までの予測

現在、システム
を構築中



プロトタイプの配信画面例
※ブラウザで表示

【個別報告 3】

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 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2022
2022年11月10日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2022

RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、太陽光発電（PV）や風力発電など再生可能エネルギー（再エネ）の最大限導入が進められている
- 需要サイドにおいては、蓄電池や電気自動車（EV）などの普及が見込まれる



- 再エネの更なる導入拡大を実現するため、今後、電力系統の需要側では、分散型エネルギー資源（DER）との協調により、一定のエリア内で再エネ電力を地産地消する需要地系統の実現を考えていく必要がある

分散型エネルギー資源（DER）：再エネ、蓄電池、EV等

© CRIEPI 2022

1

報告内容

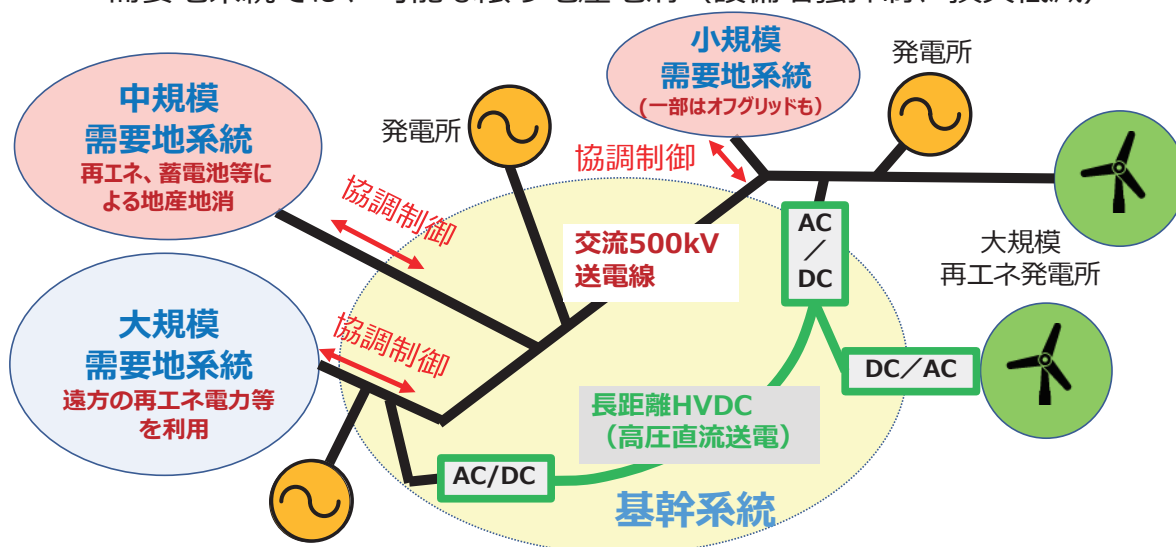
1. カーボンニュートラル実現に向けた需
要地システムの課題
2. 分散型エネルギー資源の活用
3. 分散型エネルギー資源の活用に関する
当所の取り組み
4. まとめ

報告内容

1. カーボンニュートラル実現に向けた需
要地システムの課題
2. 分散型エネルギー資源の活用
3. 分散型エネルギー資源の活用に関する
当所の取り組み
4. まとめ

カーボンニュートラルを実現する将来系統

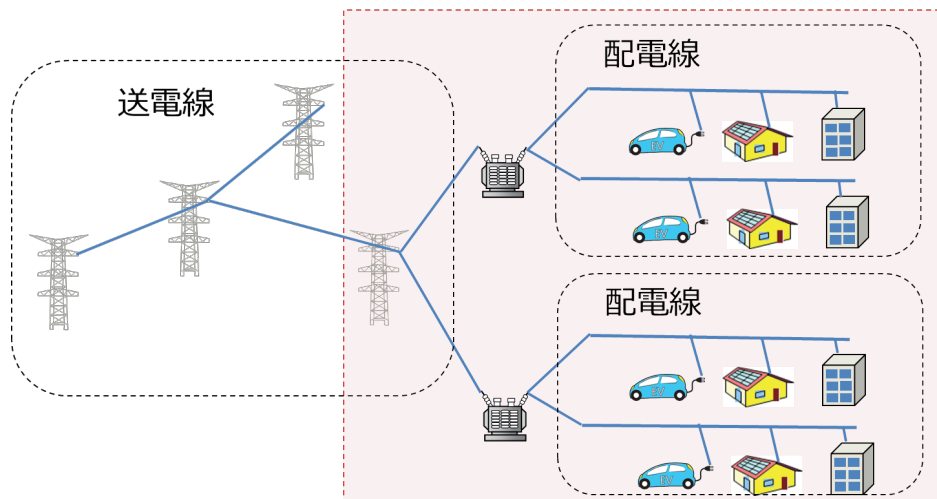
- カーボンニュートラル実現に向け、再エネを最大限導入
 - ✓ 基幹系統：風力など大規模、需要地系統：PVなど小規模
- 基幹系統と需要地系統で協調制御
- 需要地系統では、可能な限り地産地消（設備増強抑制、損失低減）



需要地系統

- 需要地系統とは、複数の配電用変電所を含む一定のエリアの電力系統。今後は、再エネ電源などDERの普及拡大が見込まれ、需要地系統におけるDERの活用を考える必要がある。

需要地系統（地域供給系統+配電系統）



カーボンニュートラル実現に向けた課題

- カーボンニュートラルの実現に向けて、再エネの最大限導入が進むと、電力の安定供給を確保するため、基幹系統と需要地系統では以下の課題を解決する必要がある。

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

需要地系統

◆ 電圧の適正化

- ✓ 再エネ導入拡大時の電圧適正化

◆ 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、安定供給の確保

今回は、需要地系統について報告する

報告内容

1. カーボンニュートラル実現に向けた需要地系統の課題
2. 分散型エネルギー資源の活用
3. 分散型エネルギー資源の活用に関する当所の取り組み
4. まとめ

分散型エネルギー資源の活用

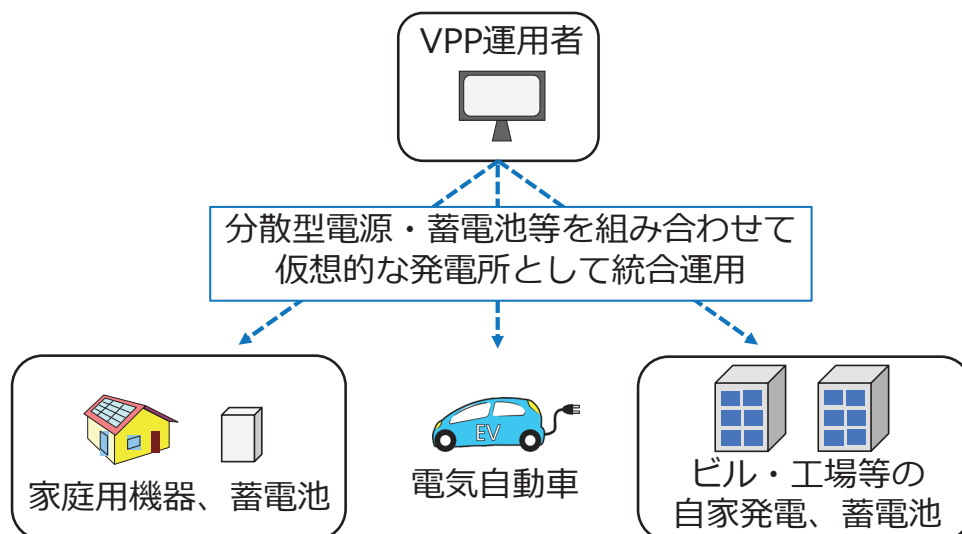
- 需要地系統における課題への対応方法は、大きく系統側、再エネ制御、蓄電池・EV活用の3通りが考えられる。
- 系統側の運用・制御の高度化
 - ✓ 状態監視・推定（センサ、スマートメータ）
 - ✓ 電圧制御機器
- 再エネの制御
 - ✓ 有効電力制御、無効電力制御
 - ✓ 系統連系規程、VPP
- 蓄電池・EV等の活用
 - ✓ 直接制御
 - ✓ VPP、DR

系統側の制御に加えて、需要側の**分散型エネルギー資源（再エネ・蓄電池・EV等）**の活用が期待されている

※ VPPとDRは後のスライドで説明

分散型エネルギー資源の活用法（VPP）

- 運用者が、多数の分散型電源や蓄電池等を組み合わせ、仮想的な発電所（バーチャルパワープラント：VPP）として統合運用する。



分散型エネルギー資源の活用法（DR）

- DR（デマンドレスポンス）とは、電気料金やインセンティブにより、電力需要カーブの変化を誘導すること。需要家が保有する分散型エネルギー資源は、DRによる活用が期待される。

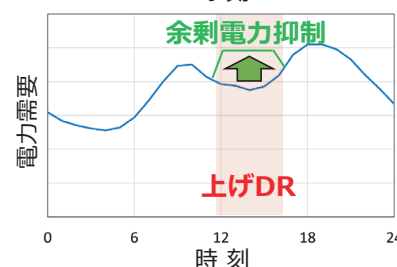
- 下げDR

- ✓ 対象となる時間帯の需要を減らすDR
- ✓ 需給逼迫時やピーク時間帯の需要削減に利用できる



- 上げDR

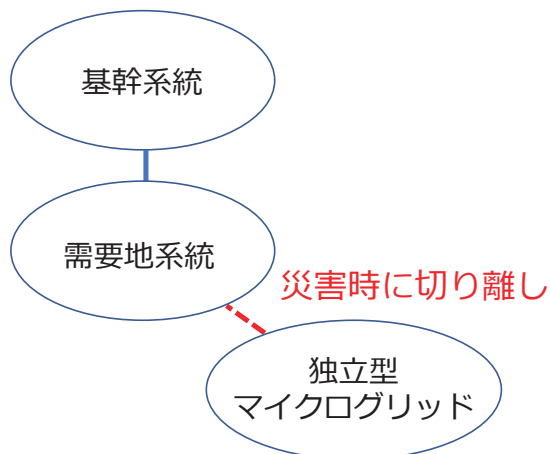
- ✓ 対象となる時間帯の需要を増やすDR
- ✓ 再エネの余剰電力（昼間のPV等）抑制に利用できる



オフグリッド（独立型マイクログリッド）

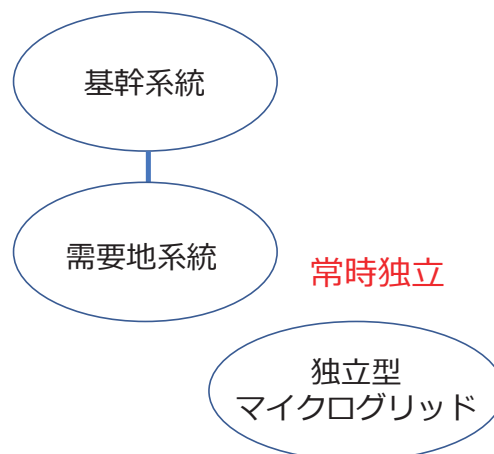
- 将来的には、需要地系統の一部を基幹系統から切り離して、独立型のマイクログリッドとして運用することも考えられる

災害時の独立運用



目的：災害時のレジリエンス強化

常時の独立運用



目的：配電設備維持コストの低減

報告内容

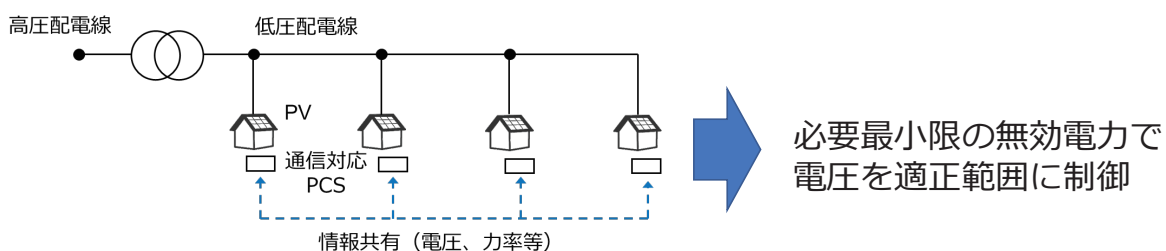
1. カーボンニュートラル実現に向けた需要地系統の課題
2. 分散型エネルギー資源の活用
3. 分散型エネルギー資源の活用に関する当所の取り組み
4. まとめ

本報告で紹介する取り組み

- 電圧の適正化
 - ✓ 分散型エネルギー資源を活用した電圧制御方式
- 過負荷の防止
 - ✓ アグリゲータによるDER運用を考慮した需要地系統の運用法
 - ✓ EV充電シフトの配電系統への影響評価
 - ✓ ローカル市場の調査
- 安定供給の確保
 - ✓ 地域マイクログリッド運用の技術課題

分散型エネルギー資源による電圧制御

- 分散型エネルギー資源を活用した電圧制御方式の開発
 - ✓ 需要家間の通信を用いて適切に無効電力制御を行うローカル自律制御方式を開発
 - ✓ 需要家間で、電圧・力率等の情報を共有することにより、それぞれが自端制御を行うよりも有効な電圧制御が可能



1秒周期の通信により、同じ低圧配電系統の需要家間で、電圧等の情報を共有

電圧制御方式の実証

- 開発した電圧制御方式の実証
 - ✓ 当所の赤城試験センターで、通信の応答性や実需要家設備との制御干渉まで含めた有効性を実証
 - ✓ 需要家間の通信には、GOOSE（国際規格 IEC 61850の通信方式の一つ）に準拠した通信方式を適用



変電所

赤城試験センターの配電系統



分散電源室



低圧模擬線路装置



需要家模擬電源装置

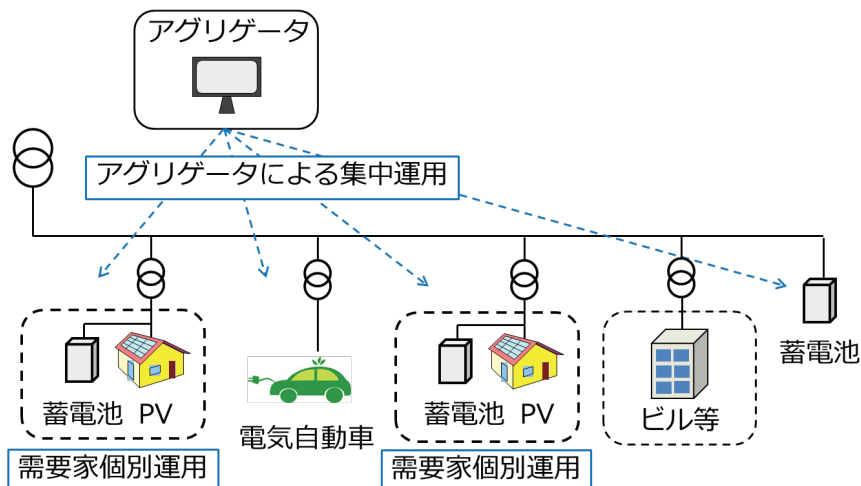
NEDO事業「再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発」2019～2021年度

本報告で紹介する取り組み

- 電圧の適正化
 - ✓ 分散型エネルギー資源を活用した電圧制御方式
- 過負荷の防止
 - ✓ アグリゲータによるDER運用を考慮した需要地系統の運用法
 - ✓ EV充電シフトの配電系統への影響評価
 - ✓ ローカル市場の調査
- 安定供給の確保
 - ✓ 地域マイクログリッド運用の技術課題

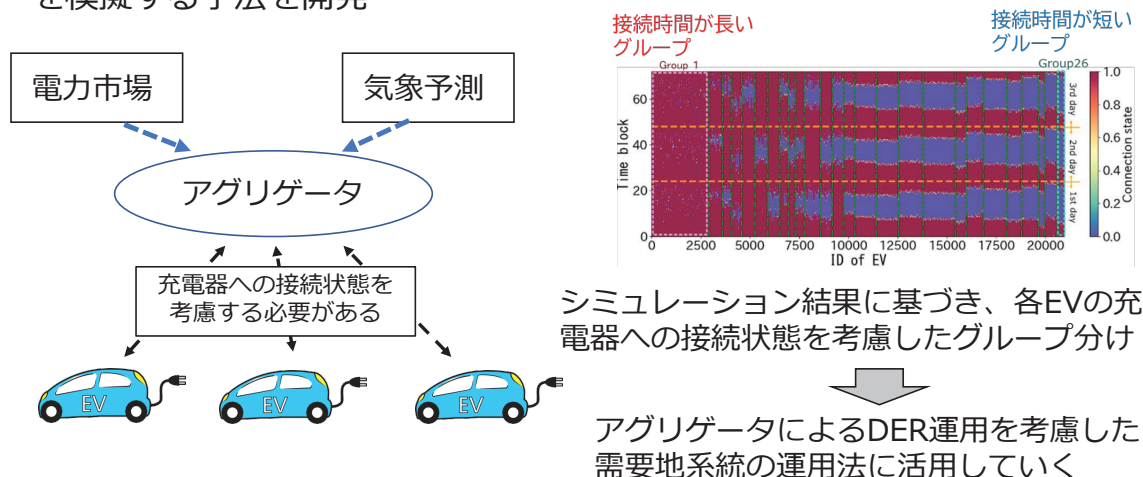
アグリゲータによるDER運用模擬手法の開発

- 分散型エネルギー資源の経済運用を模擬
 - ✓ 需要家個別運用およびアグリゲータによる集中運用を考慮
- 様々な条件設定
 - ✓ 対象地域、PV・蓄電池・HP給湯機普及率、EV普及台数、他



アグリゲータによるEV群の運用を模擬する手法

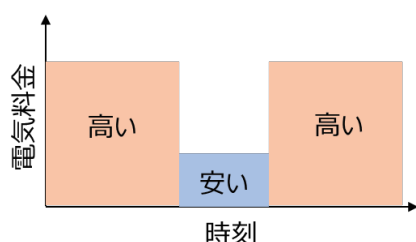
- EVの充放電を活用する場合、EVが充電器に接続されていないと制御対象にならないため、充電器への接続状態を考慮する必要がある
- 充電器への接続状態を考慮して、アグリゲータによるEV群の充放電制御を模擬する手法を開発



出典：T.Mannari, H.Hatta, "Analysis on the effect of V2G aggregation on distribution network based on traffic simulator", CIRED Workshop 2022, 1348

EVの充電シフトに関する実証事業

- 2020年度から、国の補助事業として、EVの充電シフトに関する実証事業「ダイナミックプライシングによる電動車の充電シフト実証事業」が行われている
- 電力市場価格等に連動したダイナミックプライシング（DP）によりEV充電を誘導し、再エネを有効活用

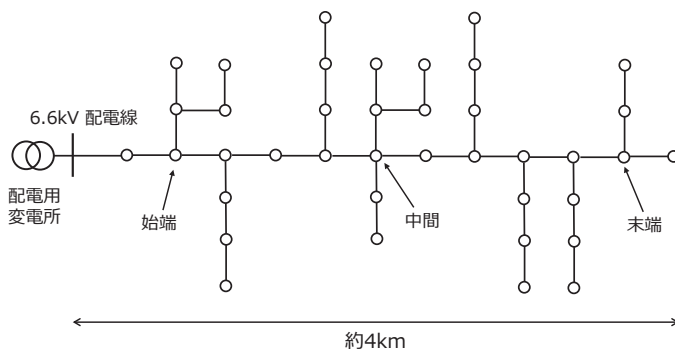
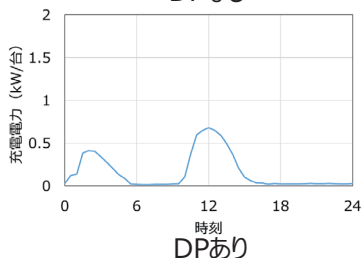
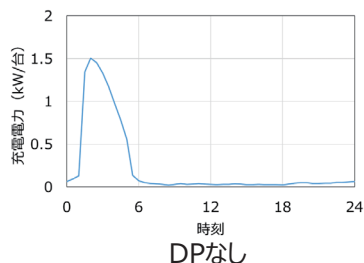


- 電気料金が安い時間帯
 - 充電する → 再エネの有効活用
- 電気料が高い時間帯
 - 充電しない → 需給逼迫の緩和

出典：SIIウェブサイト、令和4年度 ダイナミックプライシングによる電動車の充電シフト実証事業 公募情報を参考に作成

EV充電シフトの配電系統への影響評価

■ DPによりEVの充電を昼間にシフトすることによる配電系統への影響評価を実施

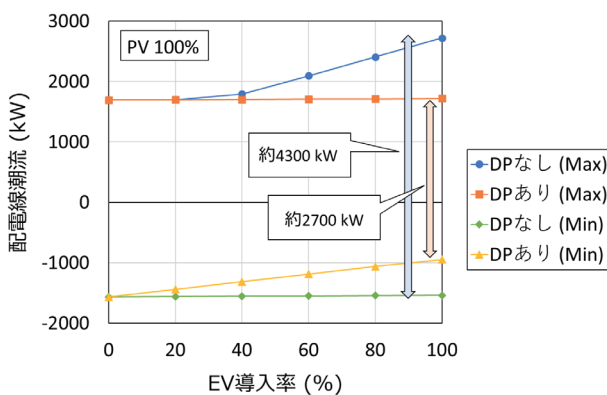


住宅地域配電系統モデルを用いたシミュレーションにより、配電線潮流および電圧への影響を評価

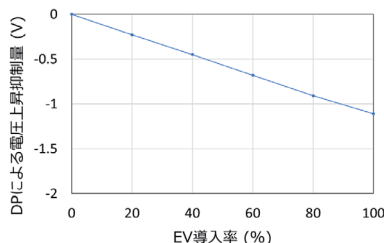
出典：八太啓行，萬成遥子，高橋雅仁，「ダイナミックプライシングによるEV充電シフトの配電系統への影響評価」，電気学会 電力・エネルギー部門大会，220，2022

シミュレーション結果

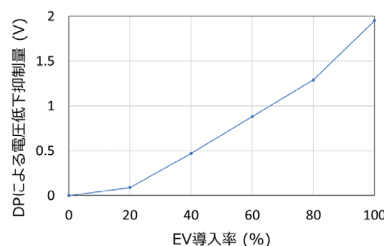
■ シミュレーションにより、配電線潮流および電圧の変動幅を抑制できることを確認



潮流の変動幅
(一日の最大値と最小値)



DPによる電圧上昇の抑制量



DPによる電圧低下の抑制量

出典：八太啓行，萬成遥子，高橋雅仁，「ダイナミックプライシングによるEV充電シフトの配電系統への影響評価」，電気学会 電力・エネルギー部門大会，220，2022

ローカル市場の調査

- VPPやDRにより、DERを需要地系統の潮流管理（過負荷防止など）に活用するためには、様々なプレイヤーが相互協調する必要がある
- ✓ 系統運用者、アグリゲータ、再エネ発電事業者、小売電気事業者、需要家



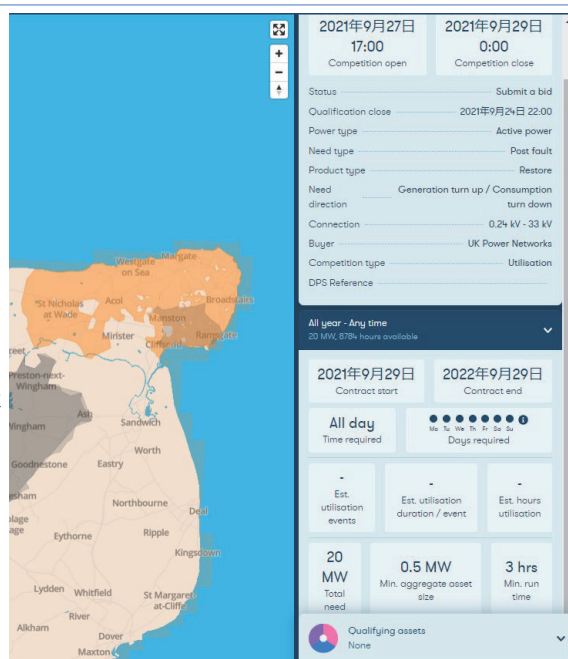
- DERを需要地系統の制御に活用することに対して、適切な対価を得られることも重要
- ✓ 市場の活用も考えられるため、当所ではローカル市場の調査を行っている

英国のローカル市場の調査

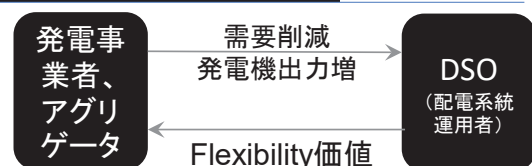
piclo flex（混雑管理用ローカル市場）

- 市場の特徴
 - ✓ 目的
 - 配電増強の繰り延べ（ピーク対策）
 - 設備故障による供給支障への対策
 - ✓ 運用開始：2019年2月
 - ✓ 特徴
 - 発電機の出力増加、並びに需要減少を入札する。
 - 地域配電事業者の指令に応じて制御する。
- 過去の取引情報が得られるため価格情報も収集可能。

piclo flex市場開催の案内画面の例^[1]



市場における商品とお金の流れ



本報告で紹介する取り組み

- 電圧の適正化
 - ✓ 分散型エネルギー資源を活用した電圧制御方式
- 過負荷の防止
 - ✓ アグリゲータによるDER運用を考慮した需要地系統の運用法
 - ✓ EV充電シフトの配電系統への影響評価
 - ✓ ローカル市場の調査
- 安定供給の確保
 - ✓ 地域マイクログリッド運用の技術課題

地域マイクログリッド

- 災害等による大規模停電時に、上位系統から切り離して自立的運用を行う地域マイクログリッドが考えられている
- 2021年度から、国の補助事業「地域マイクログリッド構築事業」が開始され、国内の複数地点でマイクログリッド実証設備の構築が進められている

実施場所	地域マイクログリッドの概要
神奈川県小田原市	PV設備・蓄電池等を活用
沖縄県宮古島市	PV設備・蓄電池等を活用
北海道釧路市	PV設備・バイオマス発電設備・蓄電池等を活用
千葉県いすみ市	PV設備・蓄電池等を活用
北海道松前町	PV設備・風力発電設備・蓄電池等を活用
群馬県上野村	PV設備・蓄電池等を活用

(出所) SII webページを参考に作成：<https://sii.or.jp/microgrid03/>

地域マイクログリッドに関する当所の取り組み

- 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年度からのNEDO事業の一部として、地域マイクログリッドの技術的な課題（小規模システムの運用・保護等）への対策技術の開発と実証評価を実施する。

- いすみ市マイクログリッド構築事業（主：（株）関電工）
 - ✓ いすみ市に地域マイクログリッドを構築する前に、当所の赤城試験センターにおいてマイクログリッドシステムの事前検証試験（ブラックスタート、需給調整等）に協力する。



報告内容

1. カーボンニュートラル実現に向けた需要地システムの課題
2. 分散型エネルギー資源の活用
3. 分散型エネルギー資源の活用に関する当所の取り組み

4. まとめ

まとめ

- カーボンニュートラルの実現に向け、需要地系統では分散型エネルギー資源を活用したエネルギーの地産地消を考えていく必要がある。
- このため、当所では需要地系統における分散型エネルギー資源の活用方法や影響評価など、様々な研究開発の取り組みを進めている。
- 分散型エネルギー資源を活用するためには、需要地系統の運用・制御技術を確立する必要がある。また、技術課題に加えて、ローカル市場の活用など制度面の取り組みも必要である。

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

用語集

需要地系統	複数の配電用変電所を含んだ一定のエリアの電力系統。再エネ電源や分散型エネルギー資源の普及拡大が見込まれている。
アグリゲータ	多数の電源・蓄電池等を集約し、発電や需要の調整を指示することにより電力を供給する事業者。
マイクログリッド	DER等を活用して独立運用する小規模の電力系統。
Electric Vehicle (EV)	電気自動車。蓄電池を搭載し、電気で走行する自動車。
Virtual Power Plant (VPP)	バーチャルパワープラント。多数の分散型電源や蓄電池等を組み合わせて、仮想的な発電所として統合運用すること。
Demand Response (DR)	デマンドレスポンス。電気料金やインセンティブにより、電力需要の変化を誘導すること。
Distributed Energy Resource (DER)	再エネ、蓄電池、EV等の分散型エネルギー資源。
Dynamic Pricing (DP)	ダイナミックプライシング。電力需給状況に応じて動的に価格を設定すること。

参考文献

1. T.Mannari, H.Hatta, "Analysis on the effect of V2G aggregation on distribution network based on traffic simulator", CIRED Workshop 2022, 1348.
2. SIIウェブサイト、令和4年度 ダイナミックプライシングによる電動車の充電シフト実証事業 公募情報。
3. 八太啓行, 萬成遥子, 高橋雅仁, 「ダイナミックプライシングによるEV充電シフトの配電系統への影響評価」, 電気学会 電力・エネルギー部門大会, 220, 2022.
4. piclo flex: "Competitions", <https://picloflex.com/dashboard> .
5. SIIウェブサイト、地域マイクログリッド構築事業, <https://sii.or.jp/microgrid03/>.

【個別報告 4】

電力システムの災害レジリエンス強化と カーボンニュートラル社会に向けた対応

電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部

研究統括室 流通土木分野統括 副研究参事 石川 智己
構造・耐震工学研究部門 主任研究員 湯山 安由美

研究報告会2022

2022年11月10日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2022

RI 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 災害レジリエンスを強化する方策として、「抵抗力」と「回復力」の向上が考えられる。それに関連した当所の研究成果を紹介する。
- 今後、CN社会に向け電力システムも変化していく。災害レジリエンスの観点から、その変化に対して今から検討しておくべき課題も生じる。本報告では、その変化に対する課題を整理し、解決に向けた当所の今後の取り組みを示す。

© CRIEPI 2022

1

報告内容

1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築における自然災害への備え

報告内容

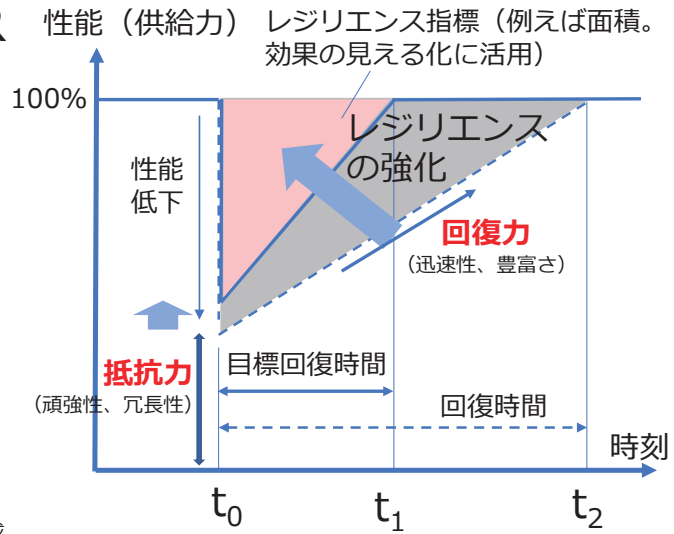
1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築における自然災害への備え

災害レジリエンスとは

レジリエンスと4つのR



秋山・石橋 (2019) より作成

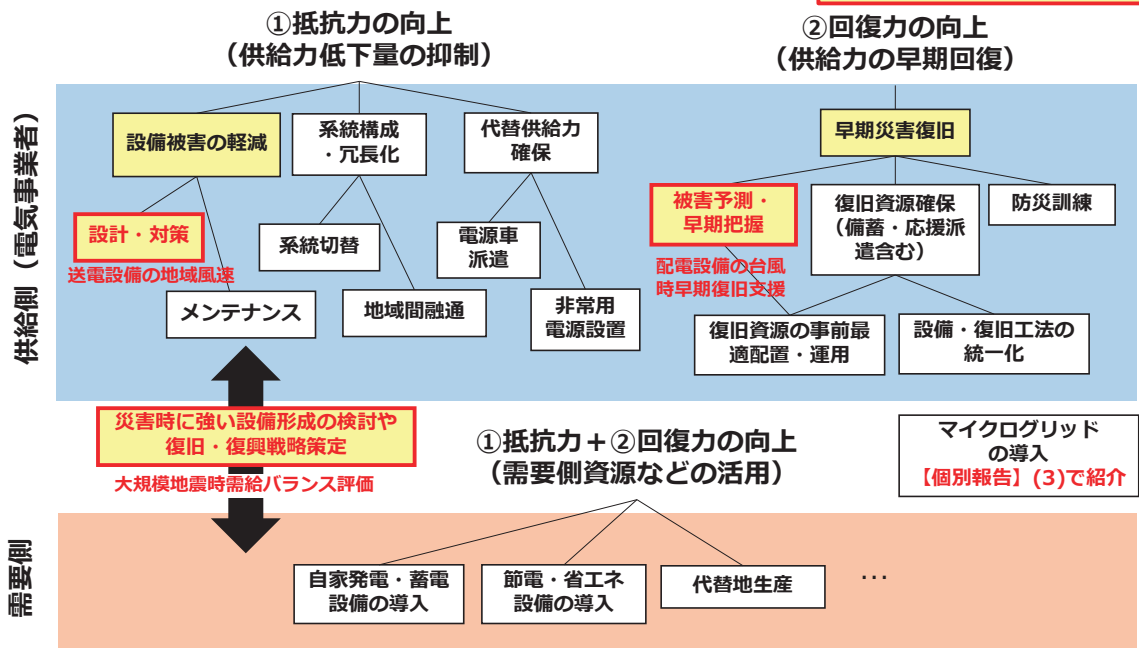


建築雑誌 (2020) より作成

電力システムのレジリエンスを考えるにあたり、供給力だけでなく、**需要の低下・回復性、需要側資源の活用**も考慮する必要がある。

電力システムのレジリエンス強化に寄与する 具体的対応策例（技術）のマッピング

【個別報告】(4)で紹介する項目



報告内容

1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築における自然災害への備え

設備被害を軽減（抵抗力の向上）するには？

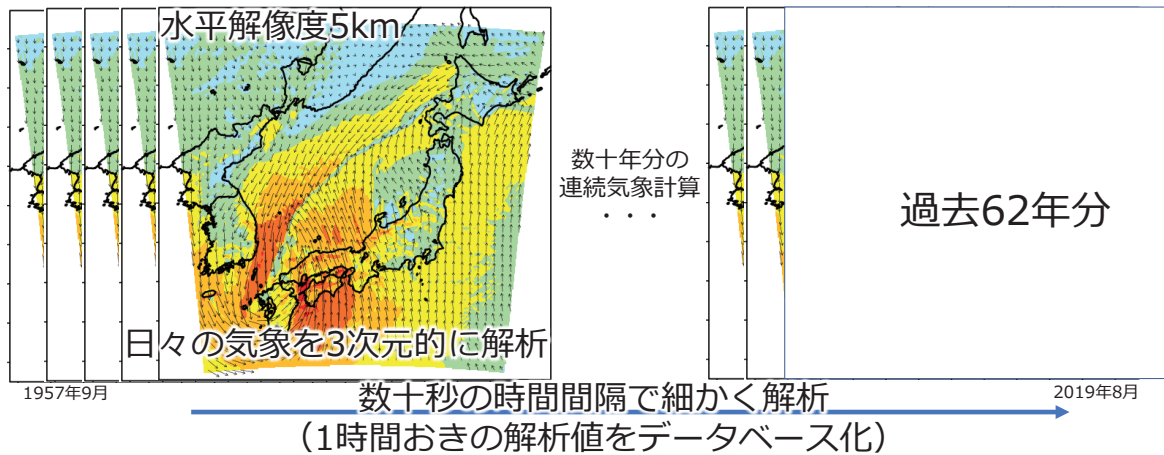
ポイント：建設地点の立地環境（地理的、地形・地盤環境）に応じた外力に基づく、一定水準以上の構造安全性（抵抗力）の確保・維持（構造物単体）

- 長期にわたり安全性を維持していくために必要な視点
 - 高経年化への対応、適切なメンテナンス（高経年化が進むなか、効率的かつ確実なメンテナンスの実施）
 - マルチハザード（地震と津波、強風と水害など）
 - 気候変動による影響（環境変化による材料劣化、荷重の変化、対策品設置地域や効果の変化など）

地域の実情を踏まえた地域風速の評価

電中研報告N18011、N20007

- 地域風速は、地上10m10分間平均風速の再現期間50年に対する値
 - 長期気象気候再現計算DB※を用いて、極値統計解析により5km毎の地域風速を計算
 - 全国約150か所の気象官署における観測値を用いて信頼度の高い地域風速を算定し、長期気象気候再現計算DBによる地域風速を補正して、地域風速マップを作成
- ※電中研気象予測解析システムNuWFASを用いて、1957年9月から2019年8月までに日本周辺（沖縄除く）で発生した気象場の再現計算を行い、その結果をデータベース化



© CRIEPI 2022

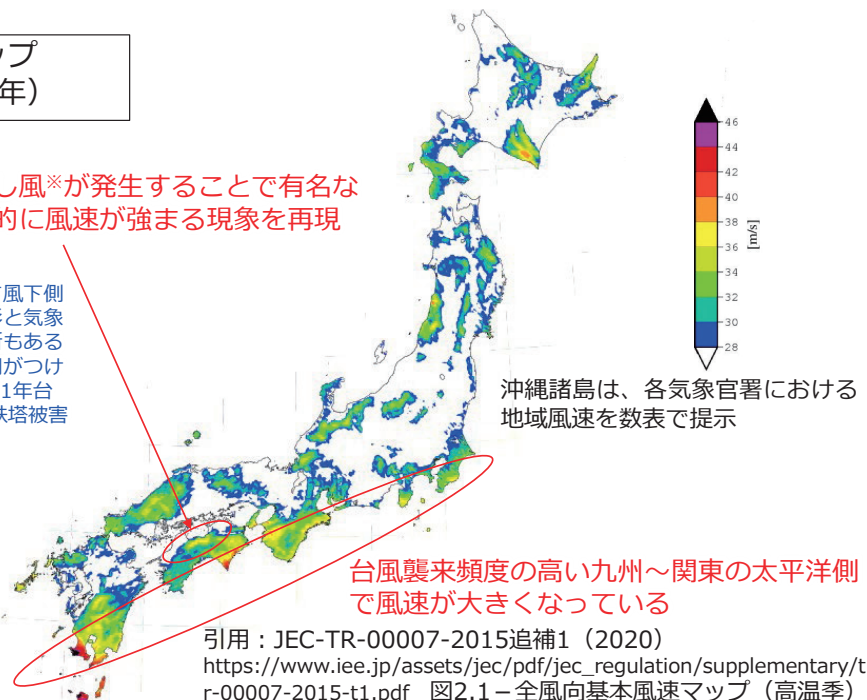
8

地域の実情を踏まえた地域風速の評価

地域風速マップ (再現期間50年)

やまじ風など、おろし風※が発生することで有名な地域において、局所的に風速が強まる現象を再現

※山を越えた気流が増速して風下側斜面に吹き降りる現象。地形と気象条件により発生し、発生場所もある程度決まっている。固有名詞がつけられていることが多い。1991年台風19号ではやまじ風による鉄塔被害が発生した。



引用：JEC-TR-00007-2015追補1（2020）
https://www.iee.jp/assets/jec/pdf/jec_regulation/supplementary/t-r-00007-2015-t1.pdf 図2.1－全風向基本風速マップ（高温季）

© CRIEPI 2022

9

地域性や構造物の応答特性を踏まえた設計

■ 送電用鉄塔設計標準JEC5101（電気学会電気規格調査会、発刊に向け準備中）

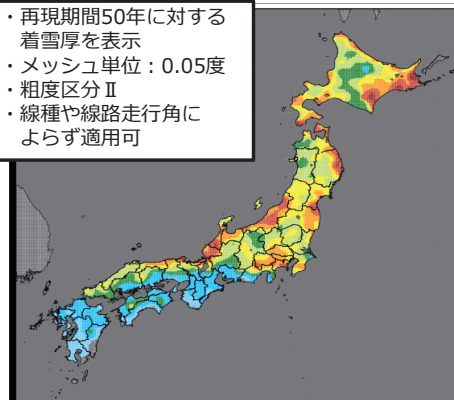
⇒「送電用支持物設計標準JEC127-1979」の40年ぶりの改正

⇒当所の研究成果（風荷重、着雪荷重、地震荷重）を反映

目次

- 1 適用範囲
- 2 用語および定義
- 3 一般事項
(許容応力度設計から限界状態設計法へ
損傷限界：再現期間50年)
- 4 荷重（等価静的荷重を基本）（Cigre 2022(B2)）
 - 4.1 固定荷重
 - 4.2 風荷重（電中研報告N18011、N20007）
基本風速マップ、ガスト影響係数法
 - 4.3 着冰雪荷重（電中研報告SS21006）
基本着雪厚マップ、重畳させる風荷重
 - 4.4 地震荷重（電中研報告SS21008）
基本最大加速度マップ、層せん断力係数法
 - 4.5 作業荷重
 - 4.6 保安荷重
- 5 荷重効果の算定
(以下、省略)

- ・再現期間50年に対する
着雪厚を表示
- ・メッシュ単位：0.05度
- ・粗度区分Ⅱ
- ・線種や線路走行角に
よらず適用可



0 10 20 30 40 50 [mm]

基本着雪厚マップ

(着雪密度一定値 (0.6g/cm³))

電中研報告SS21006

地域の実情を踏まえた安全性の確保

報告内容

1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定
支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築に
おける自然災害への備え

停電の早期復旧を実現するためには？

令和元年台風15号及び台風19号の対応を踏まえた
電力レジリエンスワーキンググループ論点整理のポイント

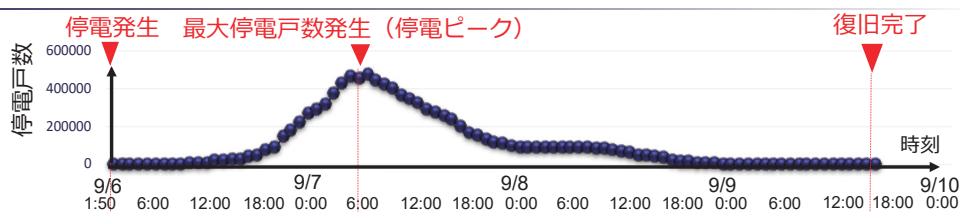
ポイント1：迅速な情報収集・発信を通じた初動の迅速化、 国民生活に影響する電力復旧見通しの明確化

- ・ 初動から現場確認等のための最大限の要員確保体制の構築
- ・ 巡視効率化のためのドローン、ヘリ等の活用、情報の一元管理
- ・ 迅速な被害・復旧予測

ポイント2：被害発生時の関係者の連携強化による早期復旧

- ・ 電源車派遣の効率化、復旧手法・設備仕様の統一化
- ・ 早期の停電解消を最優先する「仮復旧」方式の徹底
- ・ 全ての事業者が協調し、復旧活動に従事するための仕組み作り
- ・ 自治体への情報提供
- ・ 倒木処理・伐採の迅速化
- ・ 災害復旧費用の相互扶助

RAMPT/RESIの概要



RAMPT/RESI情報の活用期間（各社が参照するタイミング）

事前準備（初動の迅速化）

応急復旧の実施（情報収集・共有）

RAMPT

Risk Assessment and Management system for Power lifeline - Typhoon
配電設備の台風被害予測システム

- ・ 台風による時々刻々の風速分布や強風時間帯（突入から離脱）を推定
- ・ 配電柱の折損、倒壊、配電線の断混線数の推定

RESI

early power REStoration Information platform
早期電力復旧情報プラットフォーム

- ・ 災害時に関係者間で迅速に災害情報を共有・蓄積
- ・ 過去実績に基づき自動的に復旧時間（見通し）を予測

経済産業省令和元年度補正予算および令和2年度第3次補正予算「高圧ガス等技術基準策定研究開発事業（停電復旧見通しの精緻化・情報共有システム等整備事業）」にて電中研が開発

※RAMPT/RESIは、一般送配電事業者10社のご協力のもと試験運用中

配電設備の台風被害予測システムRAMPT

機能

- 5日先までの風向・風速、被害数等の予測・結果表示

技術的特徴

- 台風モデルの活用
- 地表面粗度や地形影響を考慮
- 個々の電柱強度、架線条件、架線方向と風向の関係を考慮
- 様々なデータベース（設備データ、土地利用区分、微地形区分、樹木近接度、累積降雨量など）を活用
- NuWFASともリンク

課題

樹木倒壊、飛来物、土砂災害等の2次被害に対する推定精度向上

【入力】 入力情報

【結果】 風向・風速分布、最大風速分布、被害数結果、営業所別の最大風速、強風域突入・離脱時刻等の結果

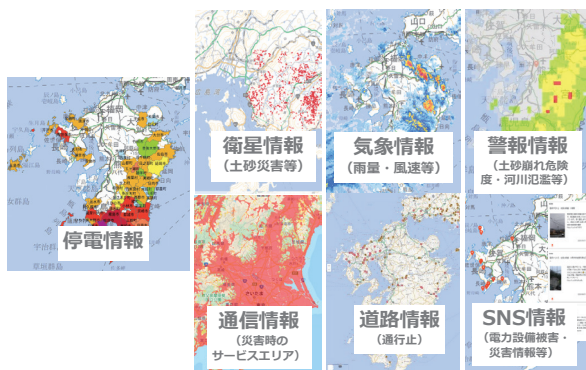
【活用】 事前準備（人員・資材配置等）の検討、事前応援派遣の検討、台風通過後の応援派遣の検討

早期電力復旧情報プラットフォームRESI

RESIは、主に下記の2つの機能と過去災害データベース（アーカイブ機能）を保有しており、他電力管内も含めた**停電状況等の広域的な把握**、停電ピーク直後からの**復旧時間推定**、**データアーカイブ**による停電推移の把握や過去災害との比較等が可能

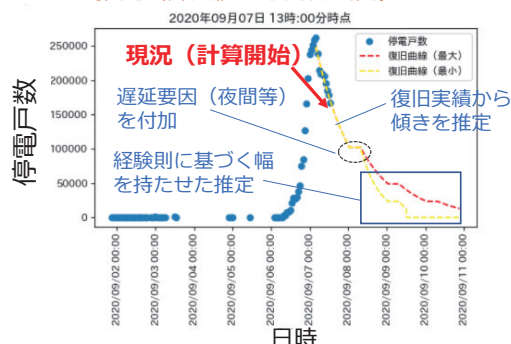
各種情報の収集・表示

- 各種情報の収集および収集した情報の地図等への表示機能



復旧時間推定ツール

- 復旧見通しの推定機能
停電ピーク以降、巡視未完了時においてもAI自動計算により復旧見通しを推定（算出値は原則非公開）



報告内容

1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築における自然災害への備え

大規模災害に対するレジリエンス

- 南海トラフ巨大地震等の大規模災害に対し、設備被害を完全に防ぐことには限界がある。

災害時に求められる機能水準(電力需要)を推定した上で、それを満たすような供給力を確保するというアプローチが必要。

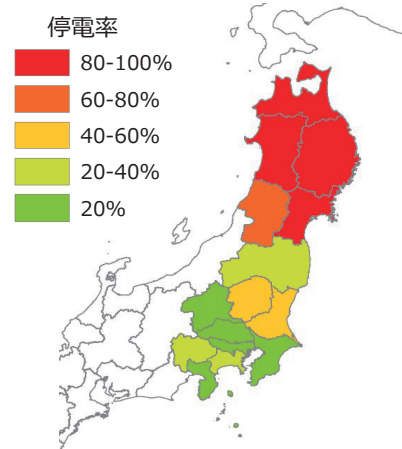
- 国*でも稀頻度事象に対する電力システムのレジリエンス強化策として、地域間融通や需要抑制・分散策等、システムの複眼的な対策の必要性が議論されつつある。

*経済産業省 電力安全小委員会 電気設備自然災害等対策WG (2014年～)、電力レジリエンスWG (2018年～)



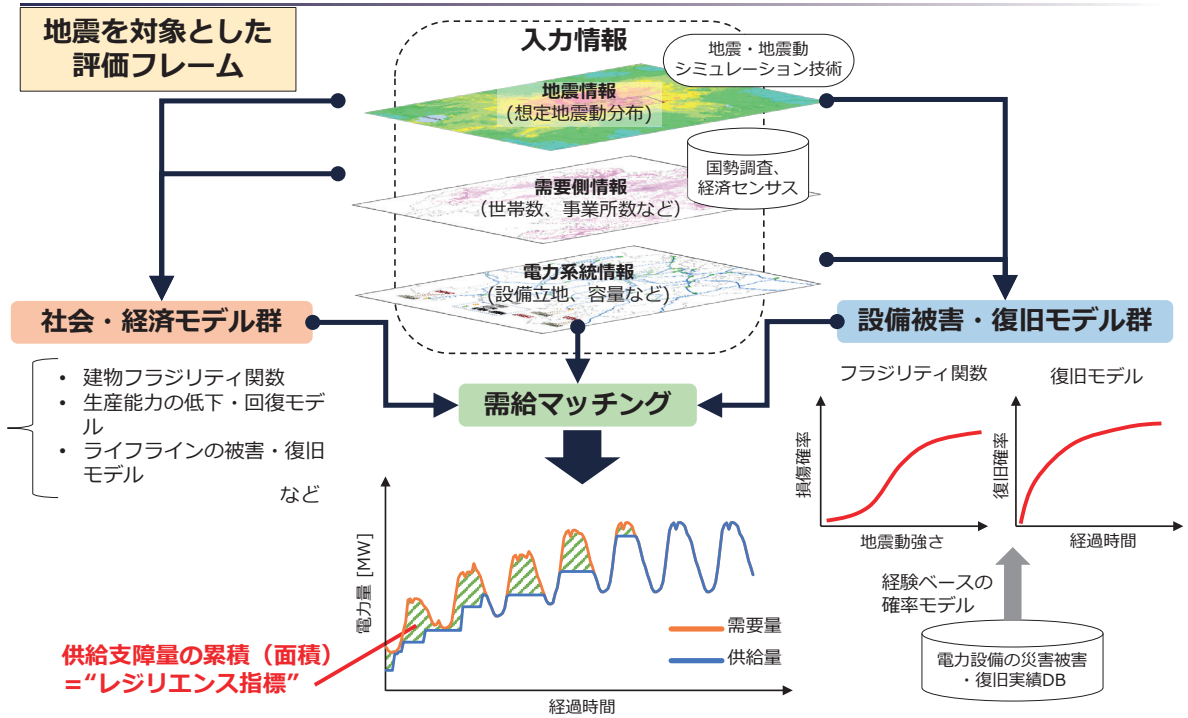
大規模災害に対する電気事業者の合理的かつ説明性の高い対応戦略の策定支援を目的とした「**災害時の電力需給バランス評価手法**」を開発中

2011年東北地方太平洋沖地震による
発災当日の停電発生状況



消防庁 (2013) より作成

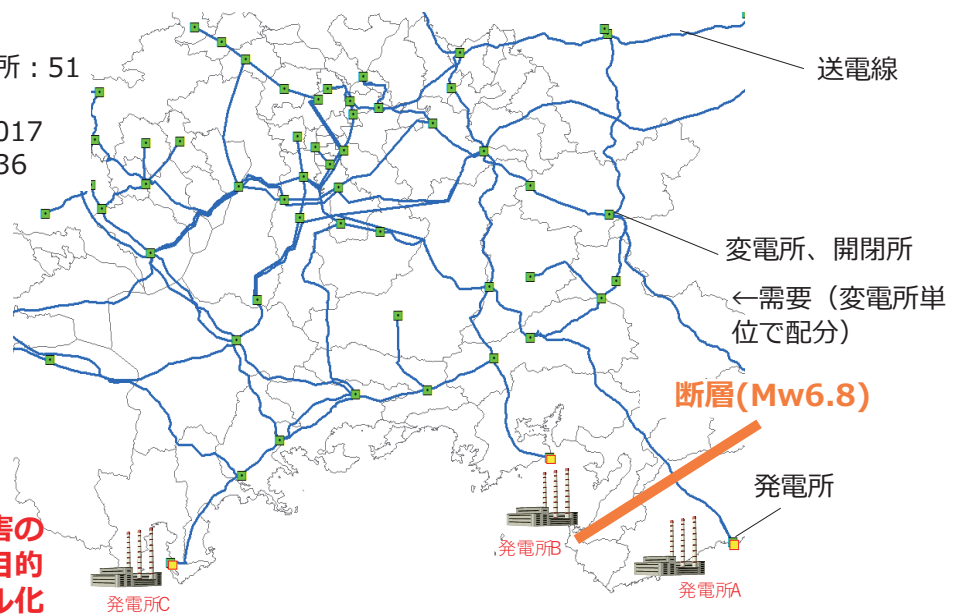
災害時の電力需給バランス評価手法



評価手法の適用例

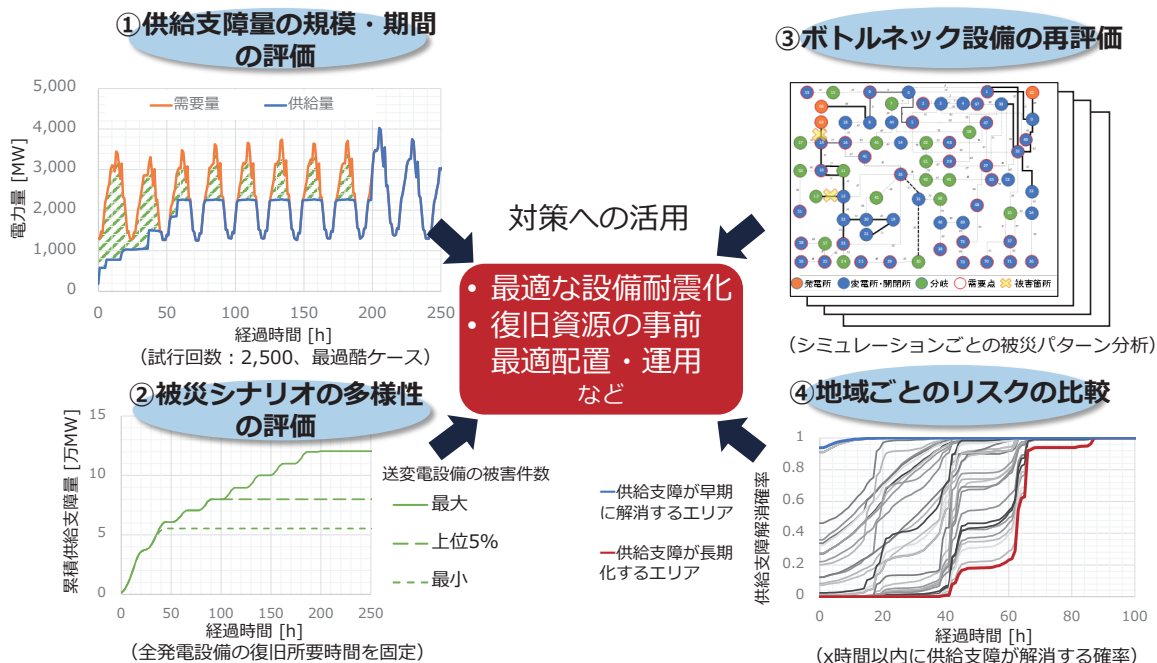
<仮想系統>

- 発電所：3
- 変電所、開閉所：51
- 送電線：96
- 送電鉄塔：3,017
- 需要エリア：36



対象とする災害の規模、評価の目的に応じてモデル化範囲を設定

評価結果を活用した対応策の検討



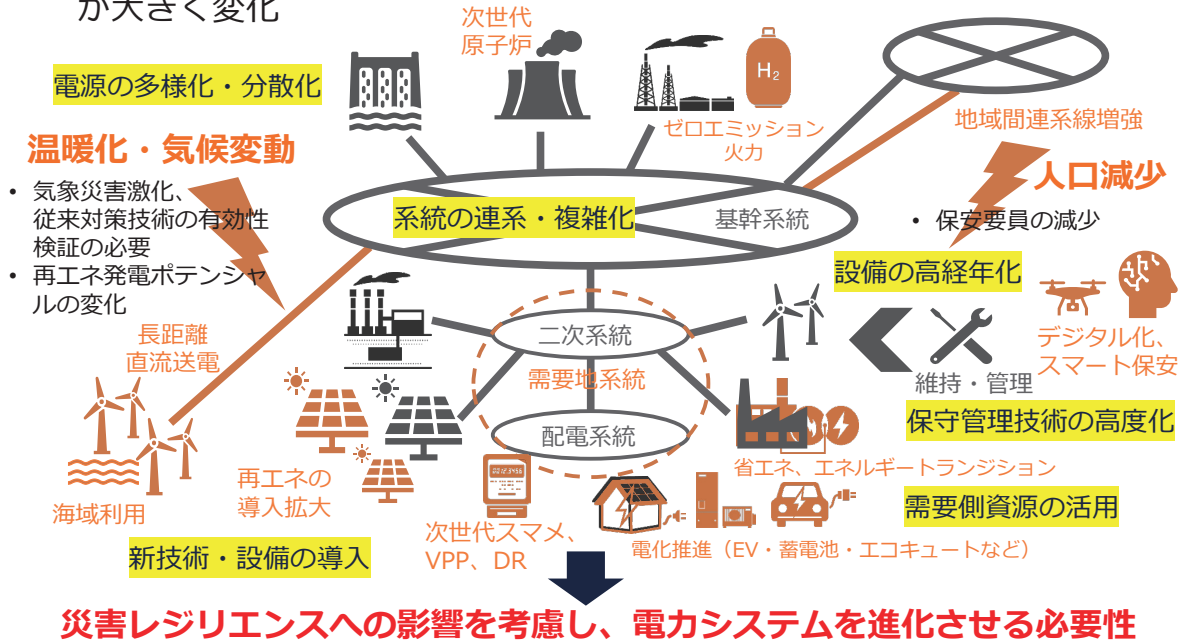
評価対象設備の拡大、将来像への適用を視野に拡張を実施中

報告内容

1. 災害レジリエンス強化の基本的考え方
2. 設備被害を軽減する技術
3. 早期災害復旧を支援する技術
4. 災害に強い設備形成や復旧・復興戦略策定支援に資する技術
5. CN社会に向けた次世代電力システム構築における自然災害への備え

CN社会・次世代電力システムとレジリエンス

■ CN社会・次世代電力システムでは、電力の生産・供給・消費のあり方が大きく変化



次世代電力システム構築における災害時のレジリエンス確保に向けた課題例

	現在と2050年CN社会との違い	設備形成において考慮すべき課題の例	当所が貢献できる技術
電源	<ul style="list-style-type: none"> 大規模発電所の分散型電源への置き換え拡大 大型電源としての洋上風力導入拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 対災害抵抗力、復旧性が未知 (①、②、③) 災害時にどう使うのか?、復旧させるのか? (④) 	① 気象・風況解析技術 (NuWFAISなど)
基幹系統	<ul style="list-style-type: none"> 系統増強の進展 (資源の偏在による長距離送電、系統連系設備) 	<ul style="list-style-type: none"> 対災害抵抗力、復旧性が未知 (①、②、③) 災害時にどう使うのか?、復旧させるのか? (④) 	
需要地系統	<ul style="list-style-type: none"> 需要側資源 (PV、蓄電池、EV、エコキュート、燃料電池など) の普及 地産地消型グリッドの実現 再生エネルギー事業者、新電力やアグリゲータ等、プレーヤーの多様化 	<ul style="list-style-type: none"> 対災害抵抗力、復旧性が未知 (①、②、③) 災害時の扱い?、電源として期待するのか? (④) 公衆安全性に問題ないか、継続利用可否判断は? 災害時の具体的な運用は? (誰が公衆安全性を確認し、系統分離等を判断するのか) (④) 各プレーヤーの役割は? (復旧実務における意思決定など) (④) 意思決定のための情報共有はどのようにするのか? (⑤) 	② 各種解析・評価技術 (地震動評価、地震応答、風・ギャロッピング応答、着雪量評価、地盤応答など)
共通	<ul style="list-style-type: none"> 高度なデジタル社会 既存設備の高経年化 人口減少による復旧要員の減少とスマート保安の普及 気候変動による極端気象の増大の懸念 	<ul style="list-style-type: none"> 通信インフラ機能不全時の対応は? 余寿命評価等、既存設備の安全性確認と対応 (①、②) 復旧活動のあり方は? (⑤) 構造安全性が低下するリスクへの対応は? (①、②) 	③ 確率論的リスク評価技術 ④ 災害時需給シミュレーション技術 ⑤ RAMP/RESIの拡張・活用

※ 「設備形成において考慮すべき課題の例」における①~⑤は、「当所が貢献できる技術」に対応

まとめと今後の展望

- 災害レジリエンスを強化する方策としては、“抵抗力”と“回復力”の向上がある。これまで当所ではそれらに寄与する研究を実施してきた。
- CN社会・次世代電力システムでは、電力の生産・供給・消費のあり方が大きく“変化”する。災害レジリエンス強化の基本的考え方は変わらないものの、“変化”によってその実現には新たな課題が生じる。当所が所有する基盤技術を活用・発展させ、課題解決に資する研究開発を着実に実施する。
- 不確実な将来像、災害像に対する電力システムの災害リスクマネジメントとして、多様なシナリオの想定と対策への活用が重要。次世代電力システムの設備・運用設計の段階から、災害レジリエンスへの影響を考慮することが必要。

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. 秋山充良、石橋寛樹：南海トラフ地震その防災と減災を考える、早稲田大学出版部(2019).
2. 特集 レジリエント建築社会の到来、建築雑誌（日本建築学会）、2020年1月号(2020).
3. 早田直広 他：気象官署における送電用鉄塔風向別基本風速の再評価、電力中央研究所 研究報告 N18011(2019).
4. 北野慈和 他：基本風速マップ作成のための高解像度・長期気象・気候データベースの強風事象の特定把握と風速補正方法の考案、電力中央研究所 研究報告N20007(2021).
5. Yoshikazu Kitano, et al.: Latest Design Standard on Structures for Overhead Transmission Lines in Japan, Cigre 2022 Paris Session papers and proceedings, B2, PS1, 10629(2022).
6. 送電鉄塔設計標準JEC-TR-00007-2015（電気学会電気規格調査会）追補1(2020).
7. 松宮央登 他：送電用鉄塔の着雪時荷重算定手法の検討、電力中央研究所 研究報告 SS21006(2022).
8. 佐藤雄亮 他：送電用鉄塔の耐震設計に用いる加速度応答スペクトル算定手法の提案、電力中央研究所 研究報告SS21008(2022).
9. 石川智己 他：配電設備の台風被害予測手法の提案とシステム化、電力土木、Vol.357、17-26(2012).
10. 電力中央研究所：Annual Report2021,<https://criepi.denken.or.jp/intro/annualreport.html>
11. 消防庁：東日本大震災記録集(2013).
12. 湯山安由美 他：大規模災害時の電力需給バランス評価に関する研究開発、エネルギーと動力、No.294、1-6(2020).

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]