

送配電分野のキー技術とキーシステム技術

飯岡 大輔 (中部大学)

EAJ プロジェクト
「社会、産業、人々の生活の変容を支える電力システムの在り方」
中間シンポジウム

2025年4月15日



- 送配電分野の起こりつつある変化
- 変化により生じる課題
- 次世代化へのロードマップ(送配網協会さん)
- 段階的移行のためのキー技術・キーシステム技術
- 送配電分野の次世代化



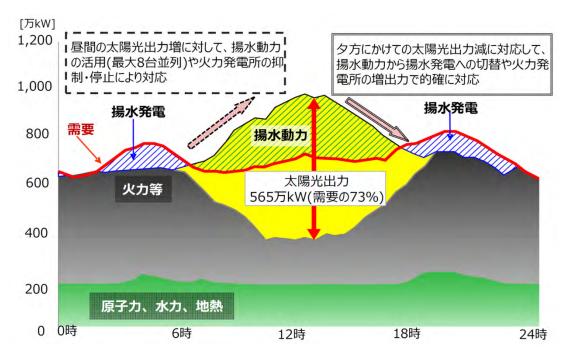
送配電分野の変化

分散電源×多数 大型電源×少数 制御性のある電源 自然変動電源 同機器中心 非同機器(INV電源)増加 制御できる需要も(DR) 需要は出なり 一方通行 双方向 地域ごとで需給一致 全国で需給一致 中央監視による配分 市場による配分 瞬時一致 蓄電によるタイムシフト 混雑なしが前提 ⇒ 混雑が発生(ローカルでも)



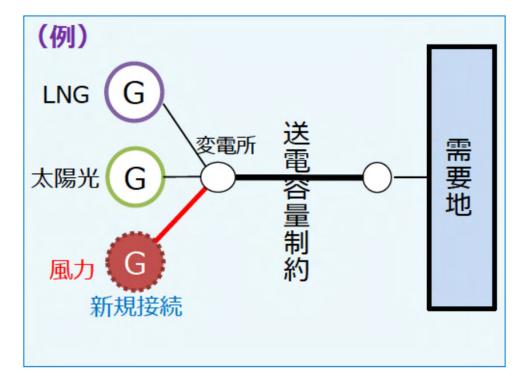
変化により生じる課題~送電系統

■ 太陽光発電の増加



- □発電が需要を上回る
 - 火力発電の出力を絞る/停止
 - ●揚水発電のポンプアップ
- □全国大での需給調整
 - ●市場を介した余剰電力有効活用

■ 送電線混雑



- □ 余剰電力を他の需要地へ供給する ことで送電容量を超過するケース
 - ●出力制限
 - 再給電方式による同量の 下げ指令・上げ指令で混雑解消

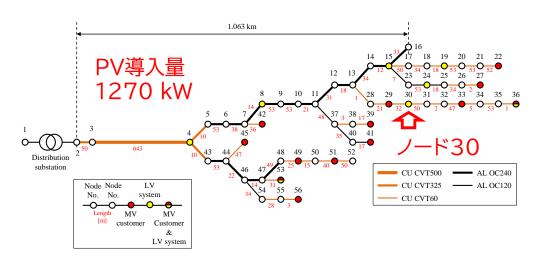
【図の出所】経済産業省 資源エネルギー庁 webページ https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/qa syuturyokuseigyo.html

【図の出所】電力・ガス取引監視等委員会 制度設計専門会合(第55回) 資料3 再給電方式における費用負担等のあり方について https://www.emsc.meti.go.jp/activity/emsc_system/055_haifu.html



変化により生じる課題~再工ネ電源の導入可能量5

- CREST126配電線モデル(実配電線データに基づいたモデル)を用いた検討
- F001 (562ノード)



- □ PV導入率を変えて24時間分の 潮流計算
- □ 電圧や電流の違反が発生しない最大の導 入率をホスティングキャパシティと定義
- 低圧需要家電圧(ノード30) Voltage of LV distirbution line 106 105 104 103 電圧が適正範囲上限の 102 107Vを逸脱 F001, TR 30, heavy load 16 18 20 22 12 14 Time [h]
- □ 左図のモデルでは,何も対策しないと 1270kWで電圧違反が発生

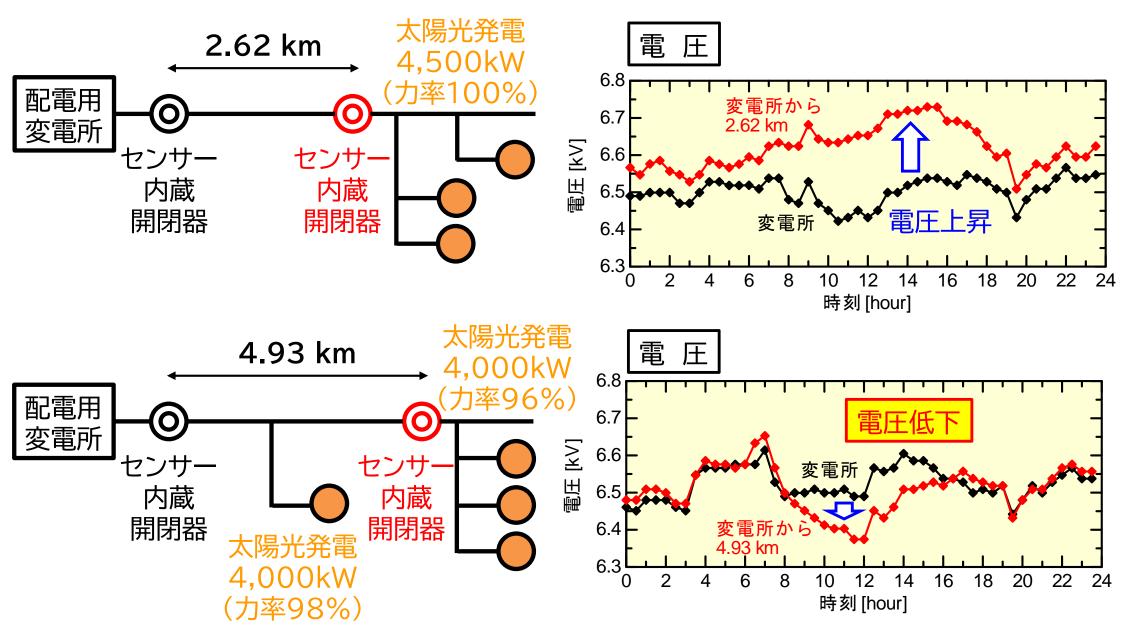


□電圧や電流の対策をとらなければ、 配電系統に大量の太陽光発電を導入 することができない

D. Iioka, D. Orihara, K. Fukushima, S. Bando, S. Abe, and H. Asano, "Enhancement of hosting capacity of photovoltaic generation in a distribution network by application of next-generation semiconductor technology on power electronics equipment" CIGRE 2022 Kyoto Symposium, C000104, 2022



変化により生じる課題~ 逆潮流と電圧変動



D. Iioka, T. Fujii, D. Orihara, T. Tanaka, T. Harimoto, A. Shimada, T. Goto and M. Kubuki: "Voltage reduction due to reverse power flow in distribution feeder with photovoltaic system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.113, pp.411-418 (2019)



変化により生じる課題~電圧不平衡の拡大

流

電

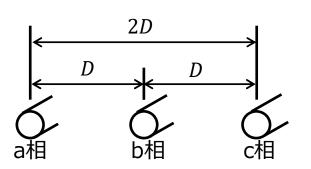
-200

6.0



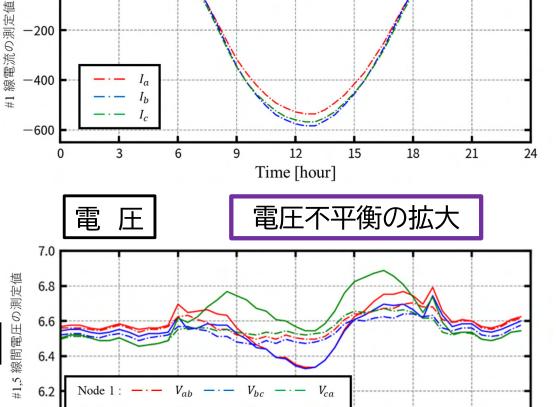
- 三相不平衡潮流計算で電圧不平衡の拡 大の測定結果を再現
- 配電線のインピーダンス不平衡を忠実に モデル化する必要がある

水平·垂直配線



現場の相順を再現

区間	相順	
1-2	a-b-c	
2-3	c-b-a	
3-4	a-b-c	
4-5	b-a-c	



D. Iioka, T. Fujii, T. Tanaka, T. Harimoto, J. Motoyama, D. Nagae, "Improvement of Voltage Unbalance by Current Injection Based on Unbalanced Line Impedance in Distribution Network with PV System," Energies, vol. 14, no. 23, p.8126, 2021-12

Time [hour]

15

18

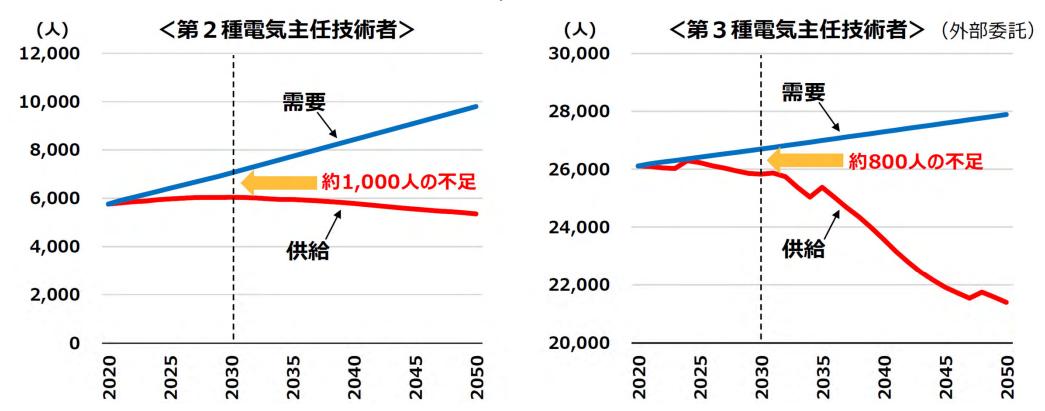
21

24



変化により生じる課題~技術者不足

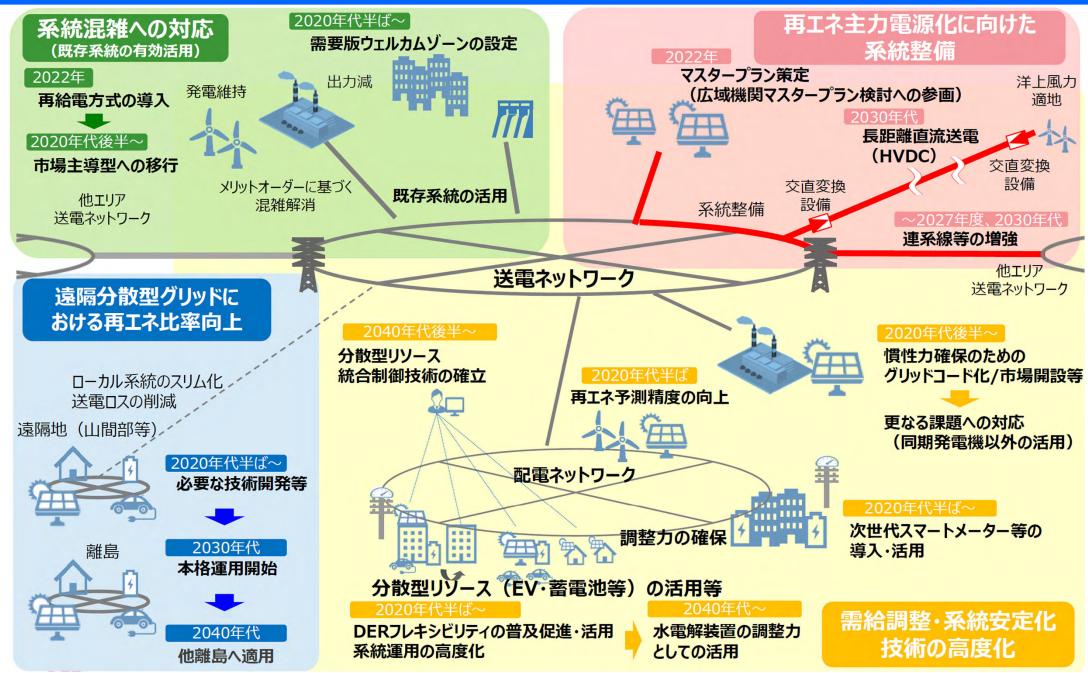
- 例)電気保安人材の将来的な不足
 - □ 再工ネ発電設備の増加 ⇒ 電気主任技術者人材の不足が懸念
 - □ 2030年度断面で第2種および第3種電気主任技術者がそれぞれ1000人前後 不足する推計
- 電力業界に携わる技術者も不足
 - □ 就職先はすごく恵まれているのに,大学の電気系学科が不人気



【図の出所】 経済産業省 第13回 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 電気保安制度ワーキンググループ 資料1 電気主任技術者制度について,2023年3月31日



次世代型電力NWの絵姿(送配電網協議会)



【図の出所】2050年カーボンニュートラルに向けて~電力ネットワークの次世代化へのロードマップ~送配電網協議会https://www.tdgc.jp/information/2021/05/21_1600.html



段階的移行のためのキー技術・キーシステム技術

送配電分野について本プロジェクトで取りまとめているキー技術

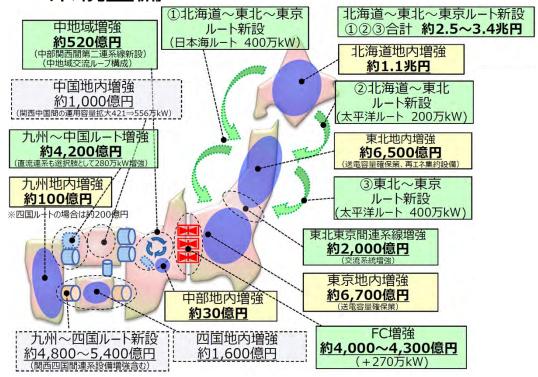
- キー技術
 - □直流送電
 - □送電線の運用容量拡大
 - □ 変電機器(ポストSF₆)
 - □ 調整機器(FACTSなど)
 - □ ホスティングキャパシティ管理
 - □ 設備状態把握
 - □ 設備管理·劣化判定
 - □ ダイナミックレーティング
 - □ドローン, AI
 - □インバータ電源の高機能化
 - □地域マイクログリッド
 - □配電線の電圧調整機器
 - □ ICT機器(センサ付開閉器, スマート メータなど)

- キーシステム技術
 - □ 状態監視・推定の高度化
 - □シミュレーション技術
 - □ 系統状況の指標化・しきい値
 - □ 混雑·安定性管理
 - □運用容量管理
 - □電力品質管理
 - □事故復旧/接続切り替え
 - □ 最適保守計画(点検,修繕,更新)
 - □ 最適設備計画(増強,廃止)
 - □運用者向けツール・訓練
 - □大規模需要立地点の自治体との協調
 - □ ICTによる配電系統の見える化
 - □ 絶縁監視



送配電分野の次世代化~系統整備

■ 系統整備



- □再工ネ電源増加と将来潮流の分析
- □混雑系統の抽出



□地内と連系線の増強案

- 大規模蓄電所
 - □ (例)南オーストラリア州 Hornsdale Power Reserve 150MW/193.5MWh



- □ グリッドフォーミングインバータ
- □ 豪州の電力市場を運営する機関に よって, 慣性力を提供できること を認定^[1]

【写真の出所】経済産業省 第17回 エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会 資料3,2022年1月19日

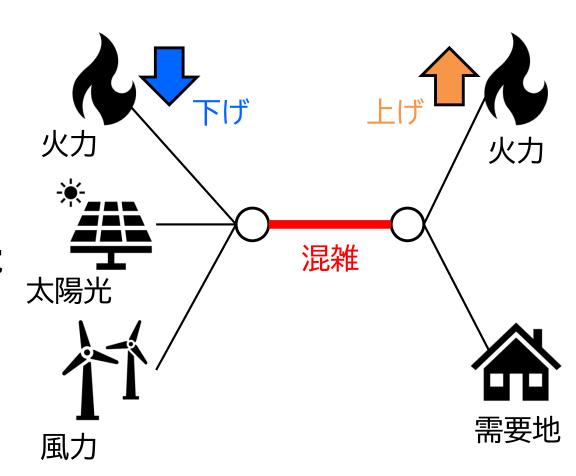
[1] 電気新聞, 2025年4月7日

【図の出所】電力広域的運営推進機関,広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン) < 別冊(資料編) > 2023年3月



送配電分野の次世代化~混雑への対応

- 2023年12月に再給電方式を導入
- 全国ではじめて混雑処理を実施
 - □東京電力PG
 - 2025年1月6日
 - 気温が17度を超える
 - ▶ 暖房需要が伸びなかった
 - > 変電所につながる火力発電 所は計画通りに稼働
 - > 変電所に潮流が集中
 - > 混雑処理を実施
 - 火力発電所の出力を 下げる
 - 他地点の電源を上げ調整して需給バランスを確保
 - 3コマ合計15万kWh

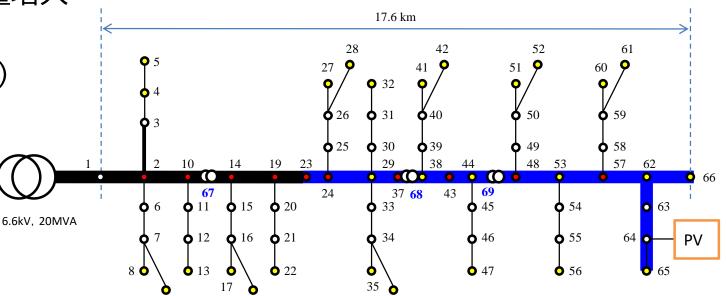


【図と文章】電気新聞,2025年1月9日,「東電PG 変電所過負荷で火力抑制」 に基づいて作成

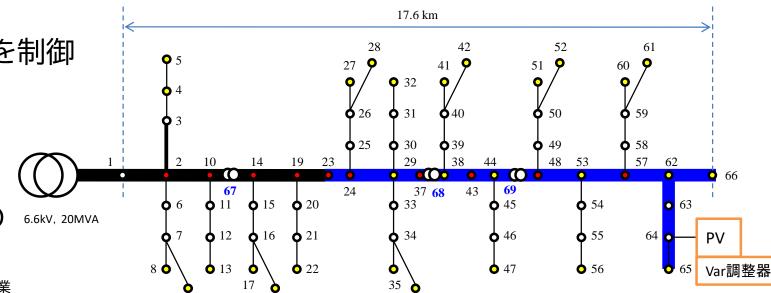


送配電分野の次世代化~配電系統の設備形成

- 太陽光発電の導入可能量増大
- 配電線を太線化(青線部)
 - 配電線の抵抗成分が 減少する
 - □ 配電線工事が必要



- PV連系点の無効電力を制御
 - □ 定電圧制御
 - 🗖 無効電力一定制御
 - STATCOMなどの 設備導入が必要



NEDO 分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業研究開発項目③(2014~18年度)



送配電分野の次世代化~配電系統の設備形成

- 太陽光発電の導入可能量のさらなる増加のために, 配電用変電所の変圧器2次側,配電線幹線を22kVに昇圧
 - □ 6.6kV配電線を3区間に分割



Al 200sq, $R = 0.133 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$ Al 120sq, $R = 0.239 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$

Al 58sq, $R = 0.477 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$

Al 25sq, $R = 1.150 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$

/KIII ● 低圧需要家を想定した負荷

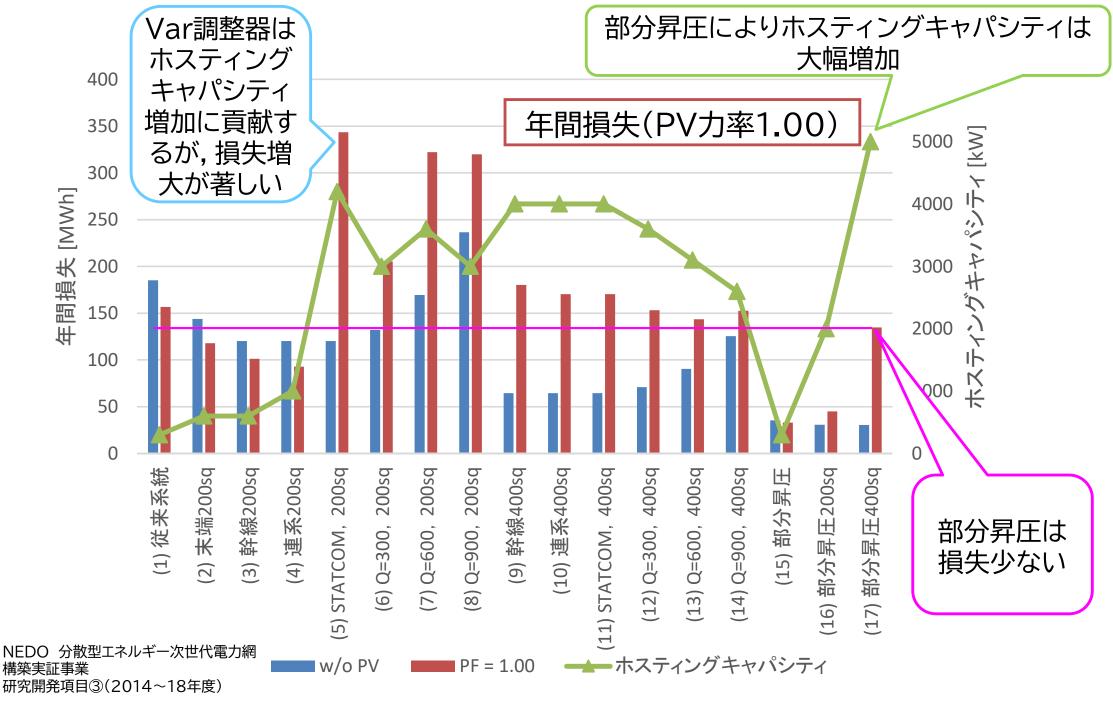
高圧需要家を想定した負荷 | /ード64 | 6.6kV 架

ノード64に 6.6kV 架空連系 出力 P_{PV}[MW]

配電塔	高圧 負荷 数	低圧 負荷 数
1	4	8
2	4	9
3	2	11



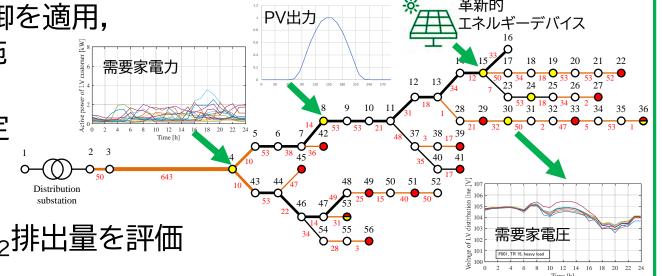
ホスティングキャパシティと配電損失



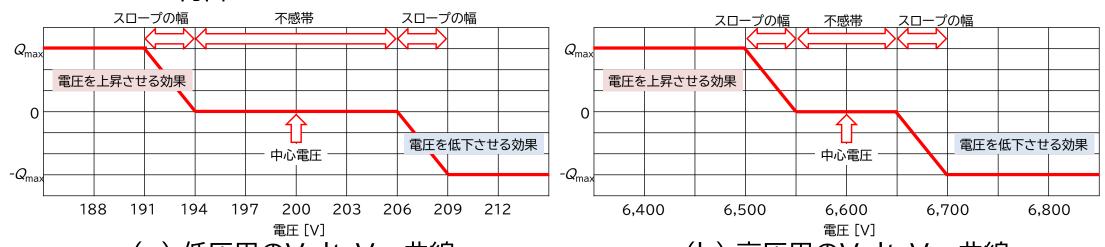


送配電分野の次世代化~系統制御の高度化

- PV用PCSにVolt-Var制御を適用, 配電系統の潮流計算を実施
 - □ 需要家電力, PV出力の 24時間分の変化を指定
 - □ 電圧, 電流, 線路損失の計算から 再工ネ導入可能量, CO₂排出量を評価



■ Volt-Var制御



(a) 低圧用のVolt-Var曲線

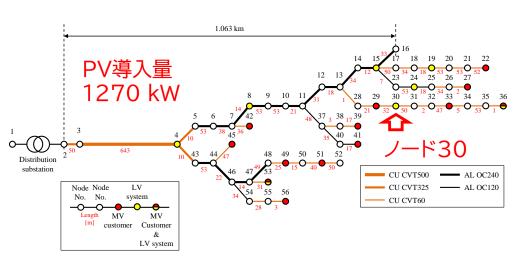
(b) 高圧用のVolt-Var曲線



Volt-Var制御の適用

■ CREST126配電線モデル

■ F001 (562ノード)



- □ Volt-Var制御の適用で PV導入可能量が1270⇒6125kW
- □ 同様の検討を35配電線で実施, 都道府県別電力消費量需要などから, 全国の配電系統に導入可能なPV容量 を拡大推計

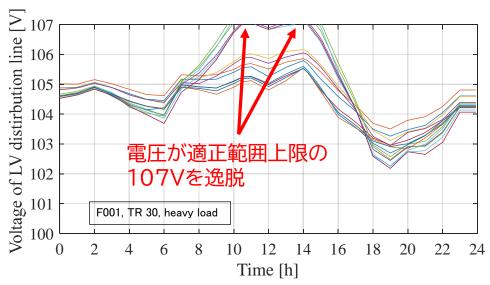
●未対策:

76GW

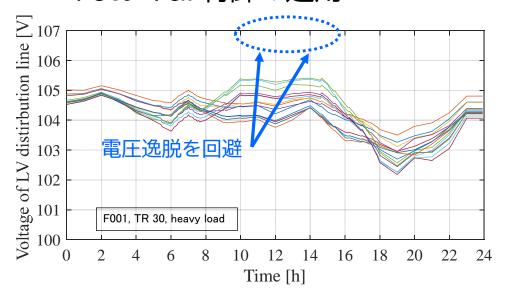
● Volt-Var適用:

296GW

■ Volt-Var制御なし



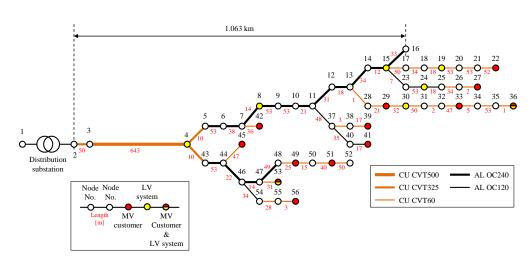
■ Volt-Var制御の適用



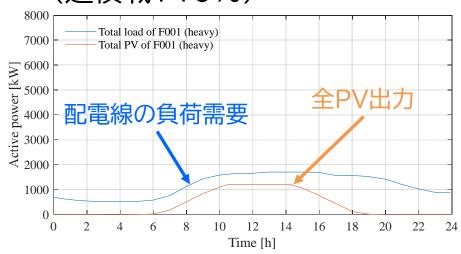


Volt-Var制御/デマンドレスポンスの適用

- 配電線の負荷需要と全PV出力の比較
- F001 (562ノード)

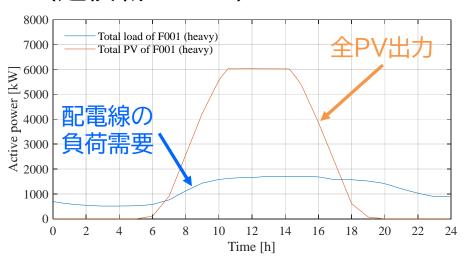


□ PV導入量: 1210 kW (過積載140%)



- □ Volt-Var制御の適用
 - ⇒ 昼間の逆潮流量が増加
 - ⇒ 配電用変電所の受電電力量は減少
 - ⇒ エネルギーシステム全体の 再エネ電源構成比向上に貢献
- デマンドレスポンスの適用で、受電電力量減少の効果は拡大

□ PV導入量: 6125 kW (過積載180%)



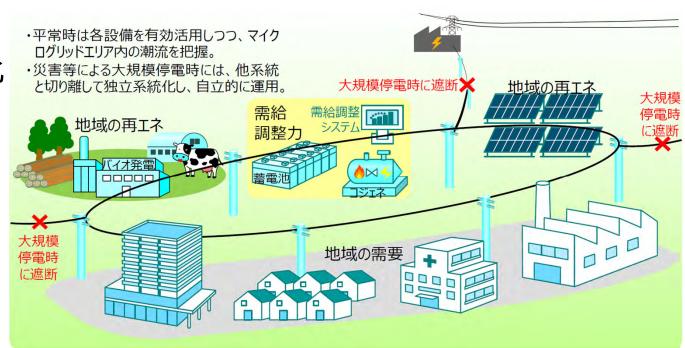
内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

「IoE社会のエネルギーシステム」A-② 再生可能エネルギー主力電源化に向けた革新的エネルギーデバイスの便益評価



送配電分野の次世代化~マイクログリッド化

- 地域マイクログリッド
 - □ 大規模停電時に独立系統化 自律的に運用
 - □課題
 - エネルギーマネジメント
 - インバータ電源の ブラックスタート
 - ●短絡・地絡の検出
- マイクログリッド発動の事例
 - □ 宮古島来間島
 - □ 訓練ではなく実際の停電に 伴う発動
 - 発電所母線不具合に 伴う停電長期化
 - □ 早期仮復旧が実現した 好事例





【図の出所】経済産業省 内閣府 総合エネルギー調査会 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(第69回), 資料2, 2024年9月30日

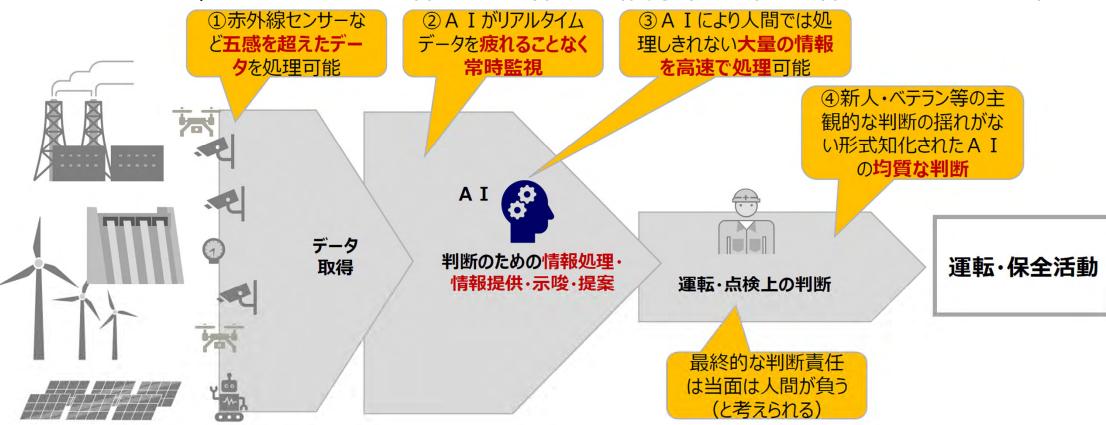


送配電分野の次世代化~スマート保安

- 設備の高経年化,再エネ発電設備の増加
- 電気保安人材の高齢化,電気保安分野への入職者の減少



■ IoTやAI,ドローンなどを活用 ⇒ 保安力維持・向上(電気保安のスマート化)





- 送配電分野を取り巻く環境の変化とともに生じる課題
 - □ 太陽光発電の増加, 送電線混雑
 - □ 再工ネ電源の導入可能量, 電圧変動, 電圧不平衡
 - □技術者不足
- 次世代化へのロードマップ
 - □ 段階的移行のためのキー技術・キーシステム技術
- 送配電分野の次世代化
 - □ 系統整備, 大規模蓄電所
 - □送電線混雑への対応
 - □配電系統の設備形成
 - □系統制御の高度化
 - □地域マイクログリッド
 - □スマート保安