

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」

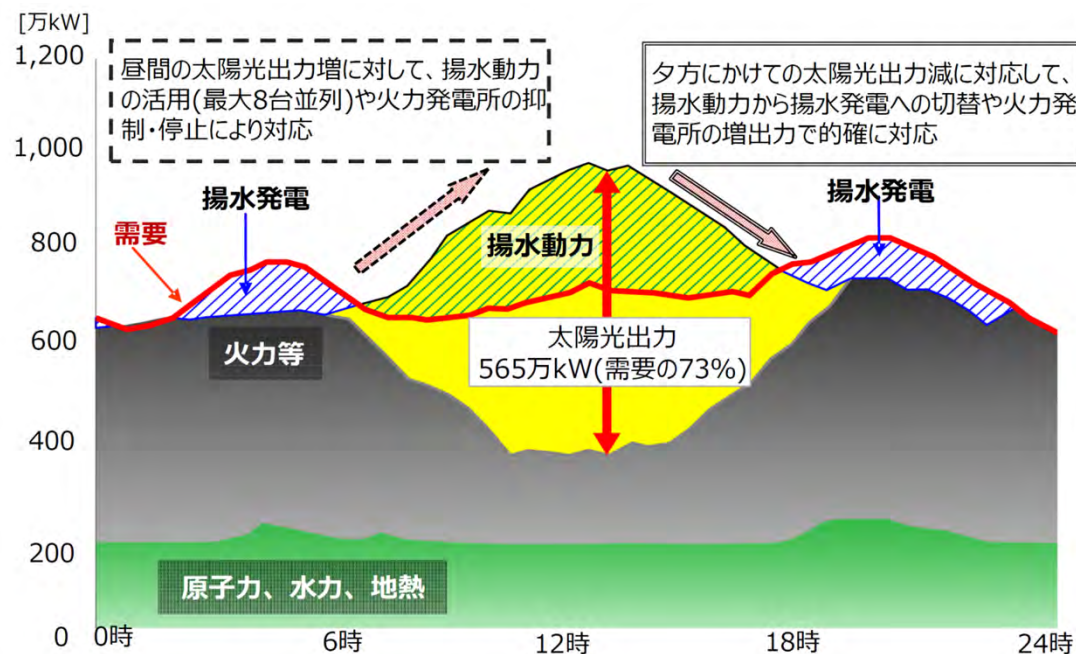
中間シンポジウム

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

大型電源×少数	→	分散電源×多数
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
需要は出なり	→	制御できる需要も(DR)
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)

■ 太陽光発電の増加



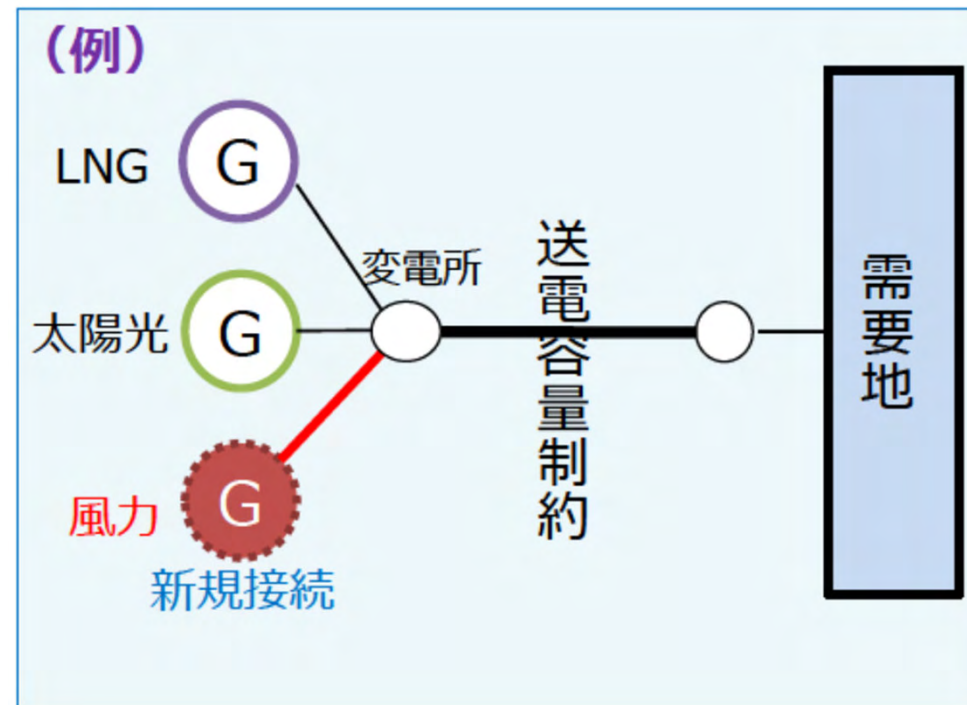
□ 発電が需要を上回る

- 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

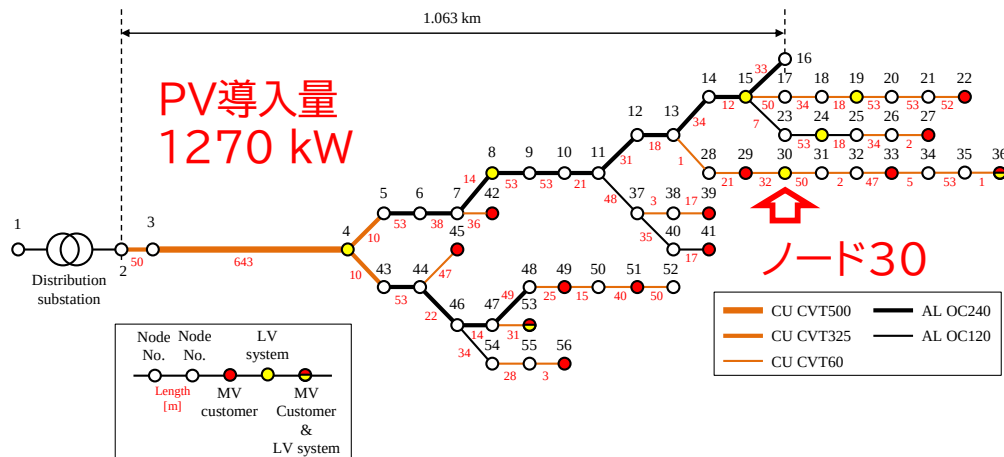


□ 余剰電力を他の需要地へ供給することで送電容量を超過するケース

- 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

■ 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

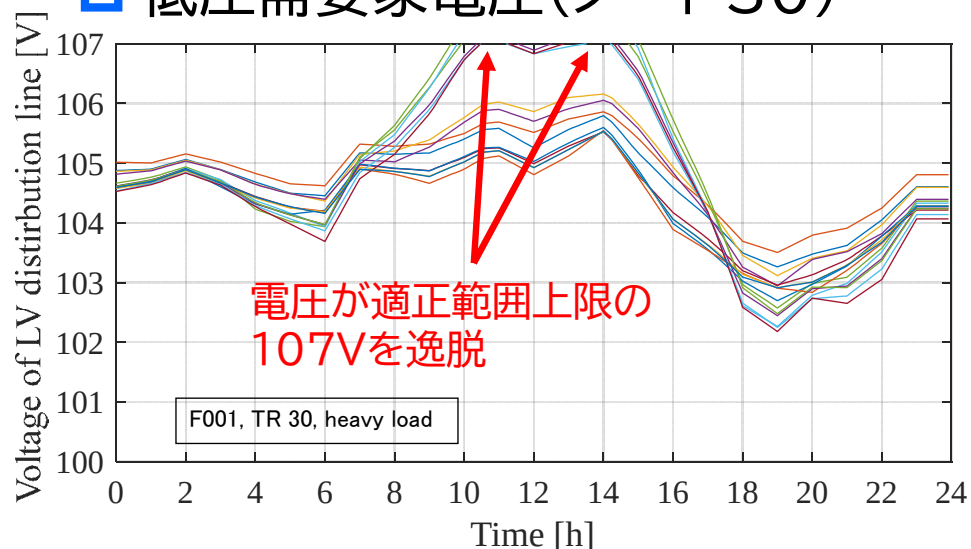
■ F001 (562ノード)



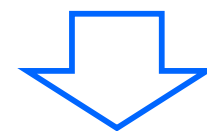
□ PV導入率を変えて24時間分の潮流計算

□ 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

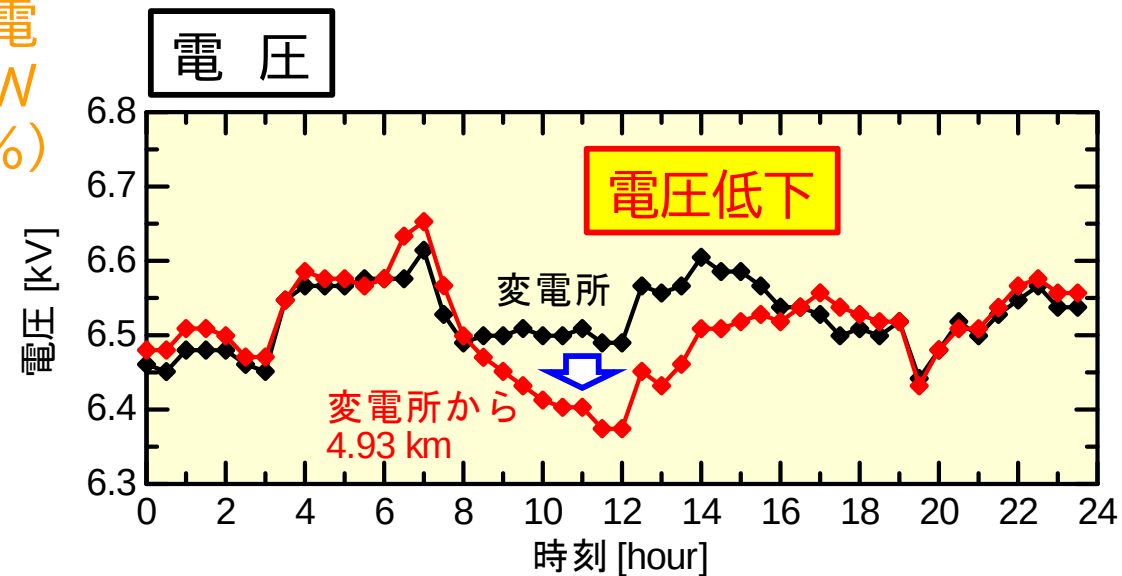
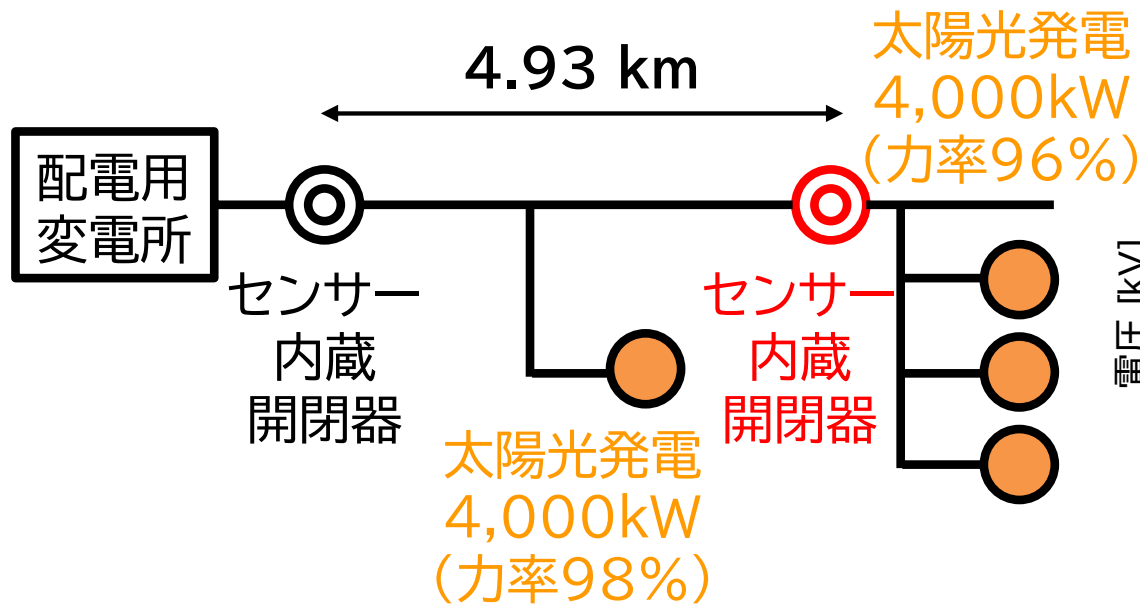
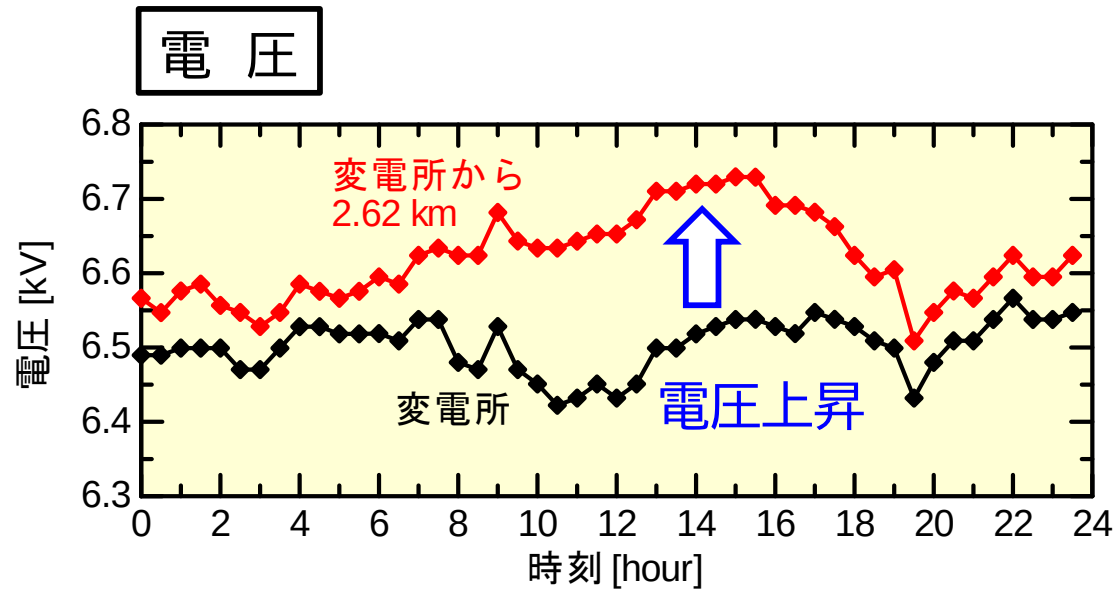
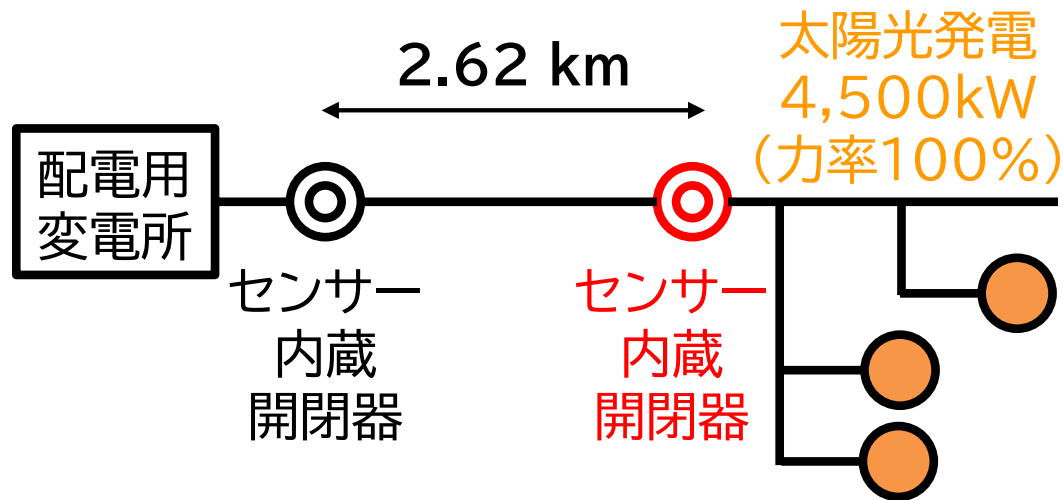
□ 低圧需要家電圧(ノード30)

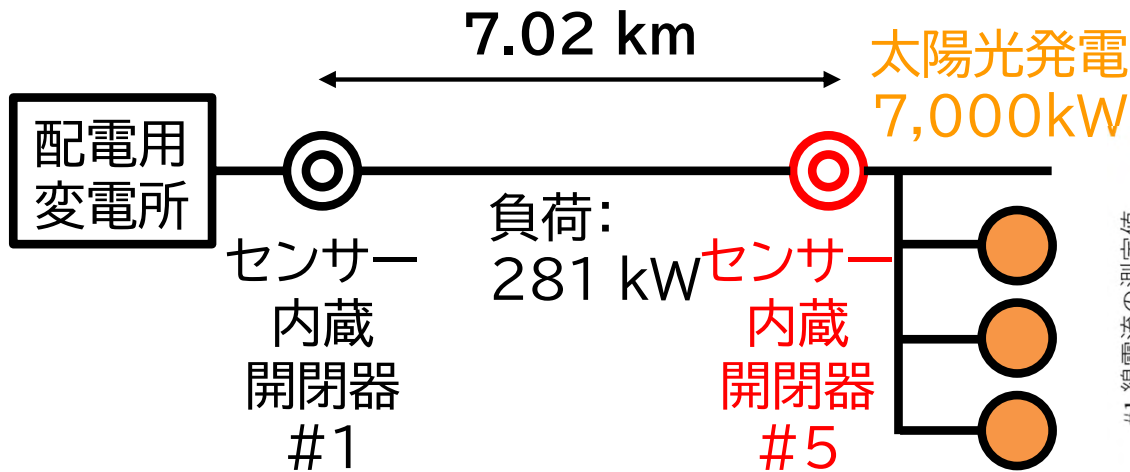


□ 左図のモデルでは、何も対策しないと1270kWで電圧違反が発生



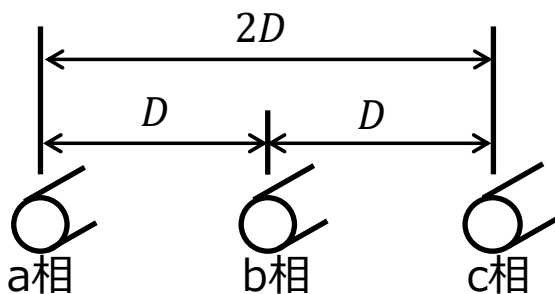
□ 電圧や電流の対策をとらなければ、配電系統に大量の太陽光発電を導入することができない





- 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

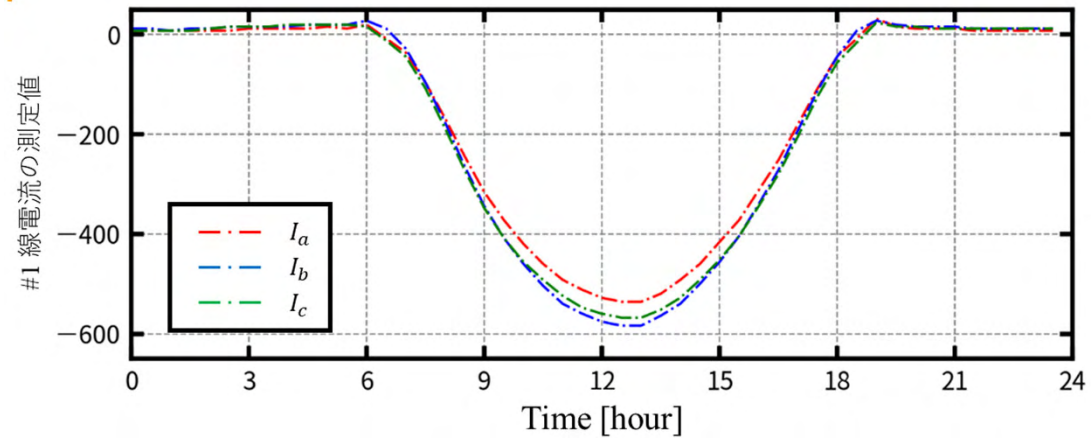
水平・垂直配線



現場の相順を再現

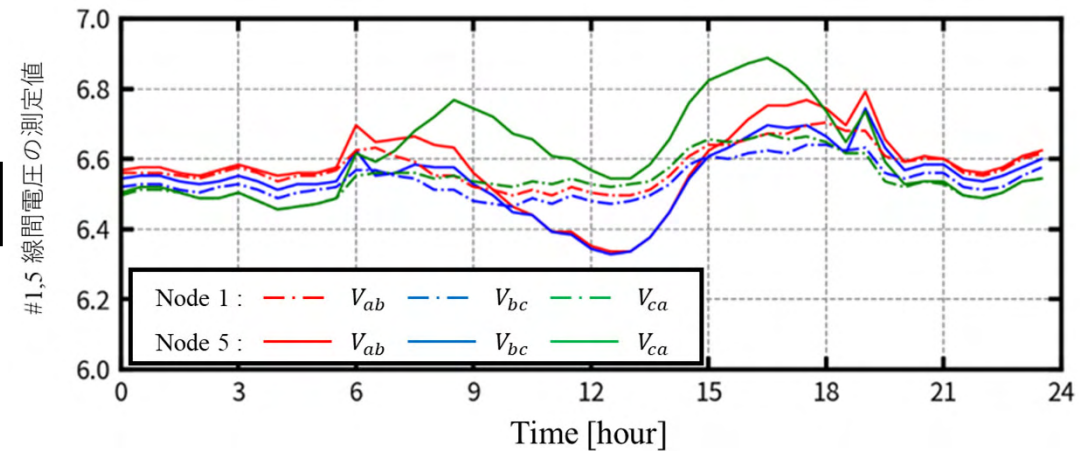
区間	相順
1-2	a-b-c
2-3	c-b-a
3-4	a-b-c
4-5	b-a-c

電 流



電 圧

電圧不平衡の拡大



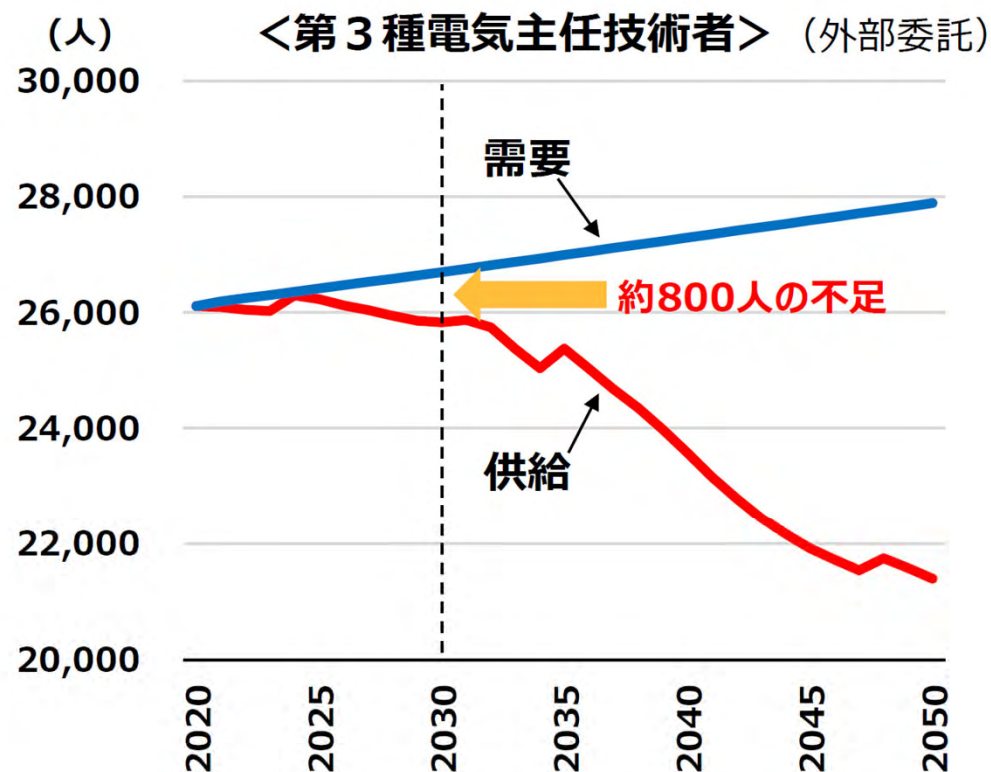
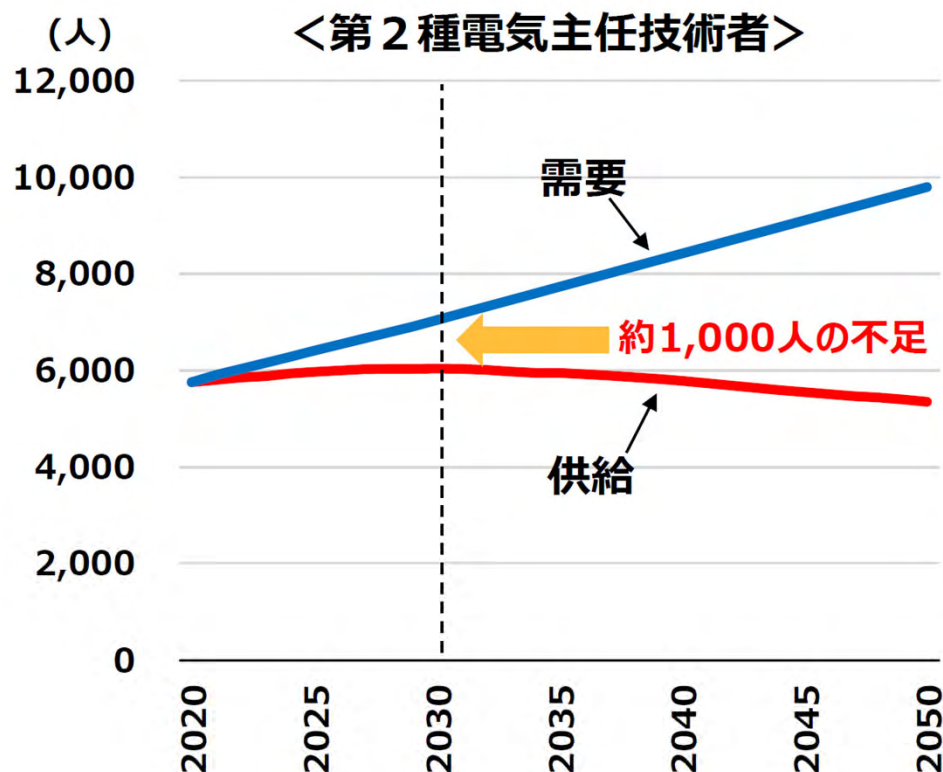
D. Iioka, T. Fujii, T. Tanaka, T. Harimoto, J. Motoyama, D. Nagae, "Improvement of Voltage Unbalance by Current Injection Based on Unbalanced Line Impedance in Distribution Network with PV System," Energies, vol. 14, no. 23, p.8126, 2021-12

■ 例)電気保安人材の将来的な不足

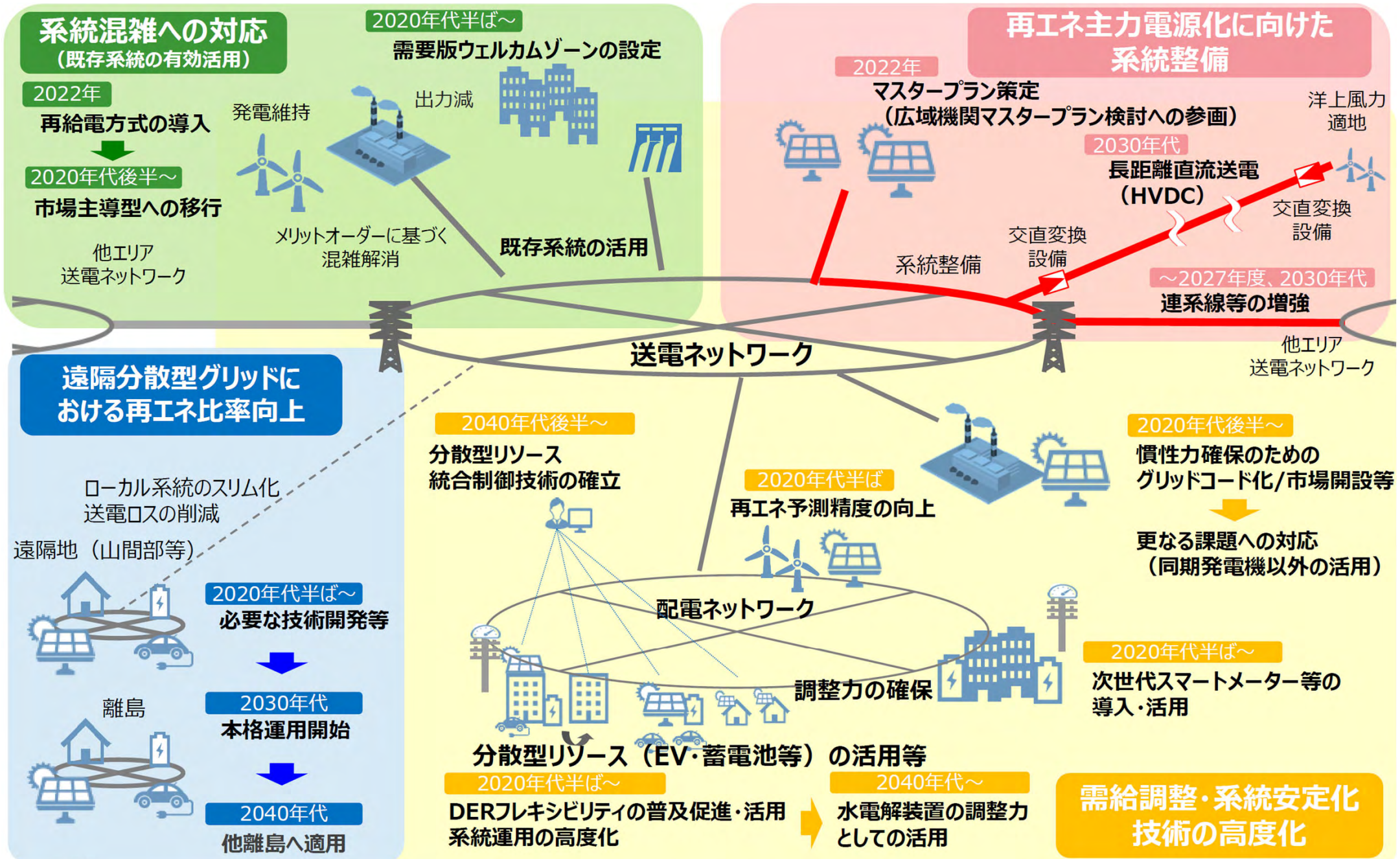
- 再エネ発電設備の増加 ⇒ 電気主任技術者人材の不足が懸念
- 2030年度断面で第2種および第3種電気主任技術者がそれぞれ1000人前後不足する推計

■ 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



次世代型電力NWの絵姿(送配電網協議会)



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

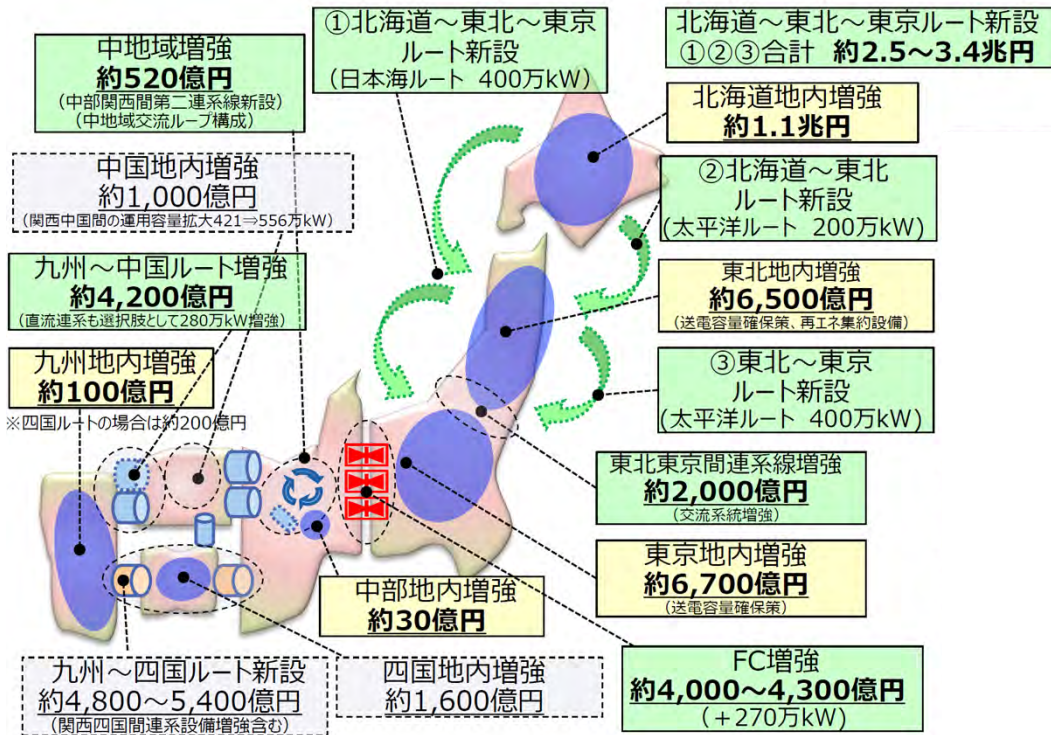
■ キー技術

- 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

■ 系統整備



□ 再エ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
Hornsedale 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

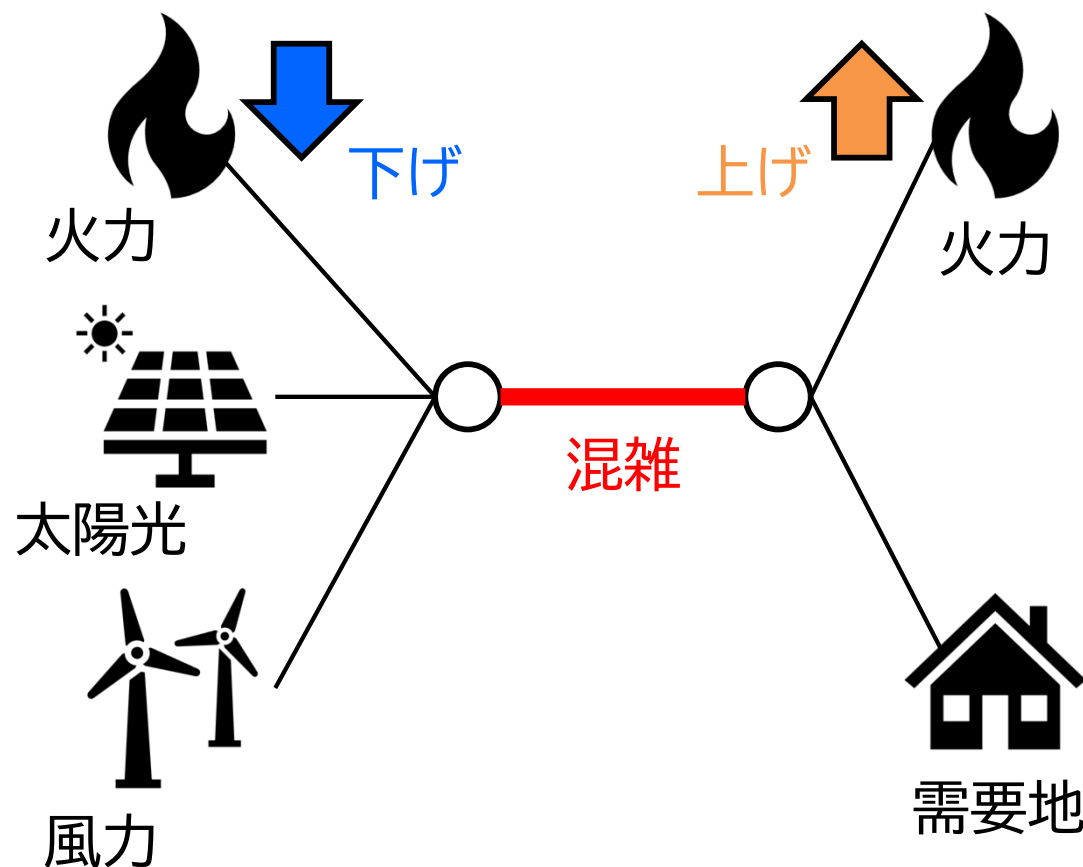
■ 2023年12月に再給電方式を導入

■ 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

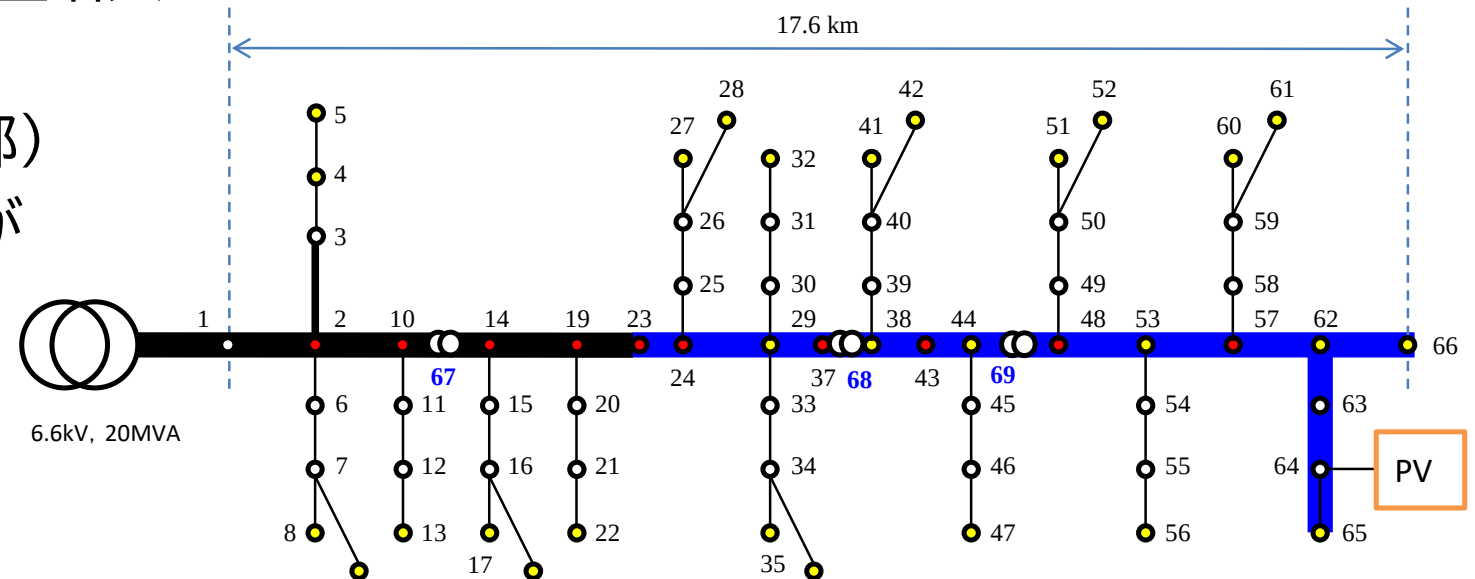


■ 太陽光発電の導入可能量増大

■ 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

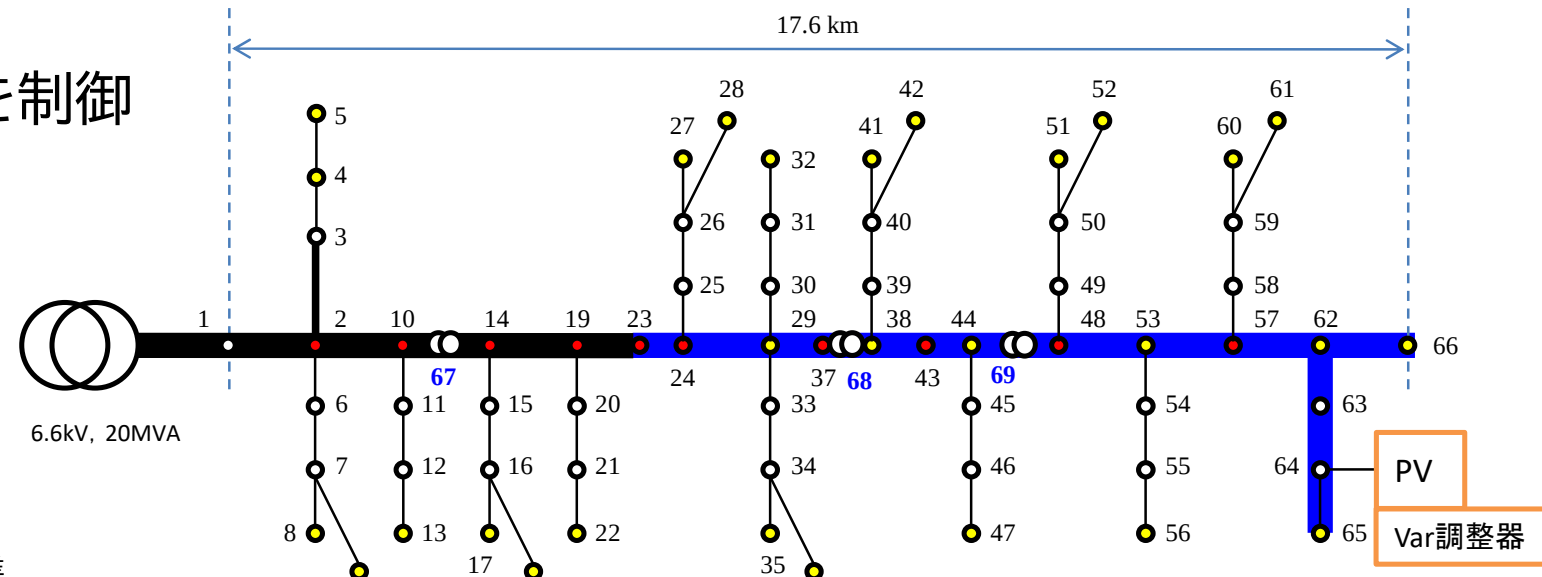


■ PV連系点の無効電力を制御

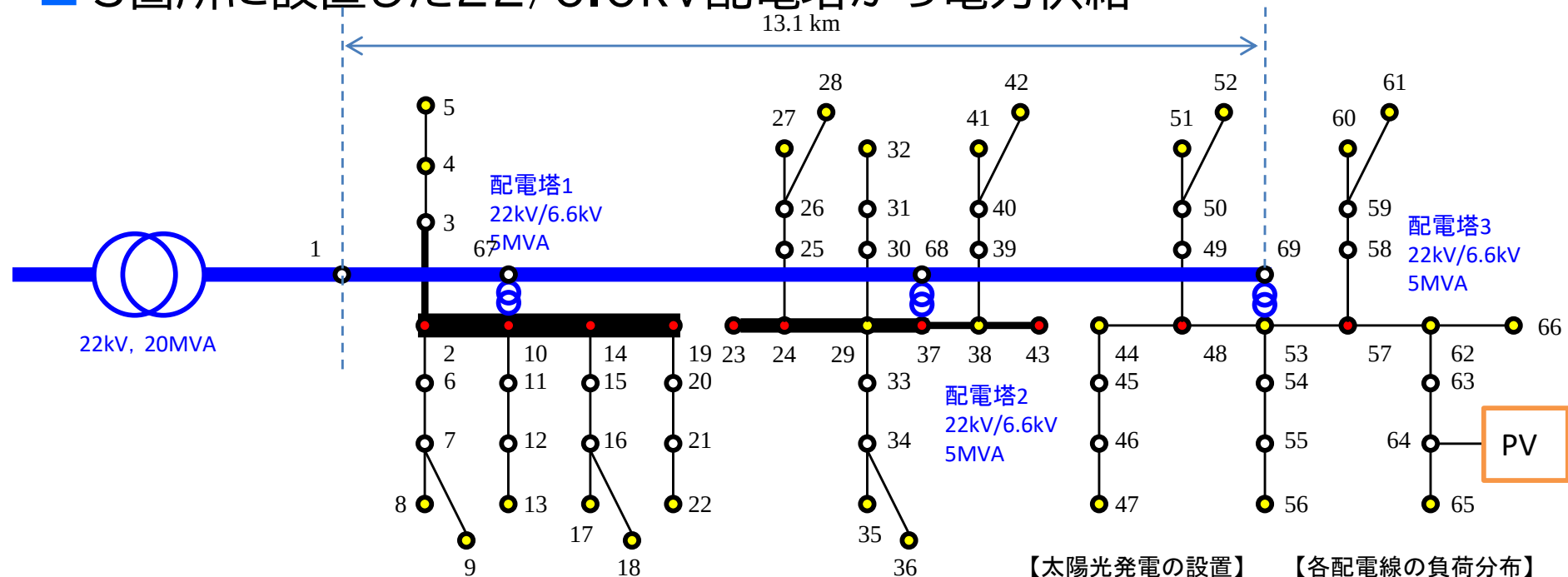
□ 定電圧制御

□ 無効電力一定制御

□ STATCOMなどの設備導入が必要



- 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
 - 3箇所を設置した22/6.6kV配電塔から電力供給



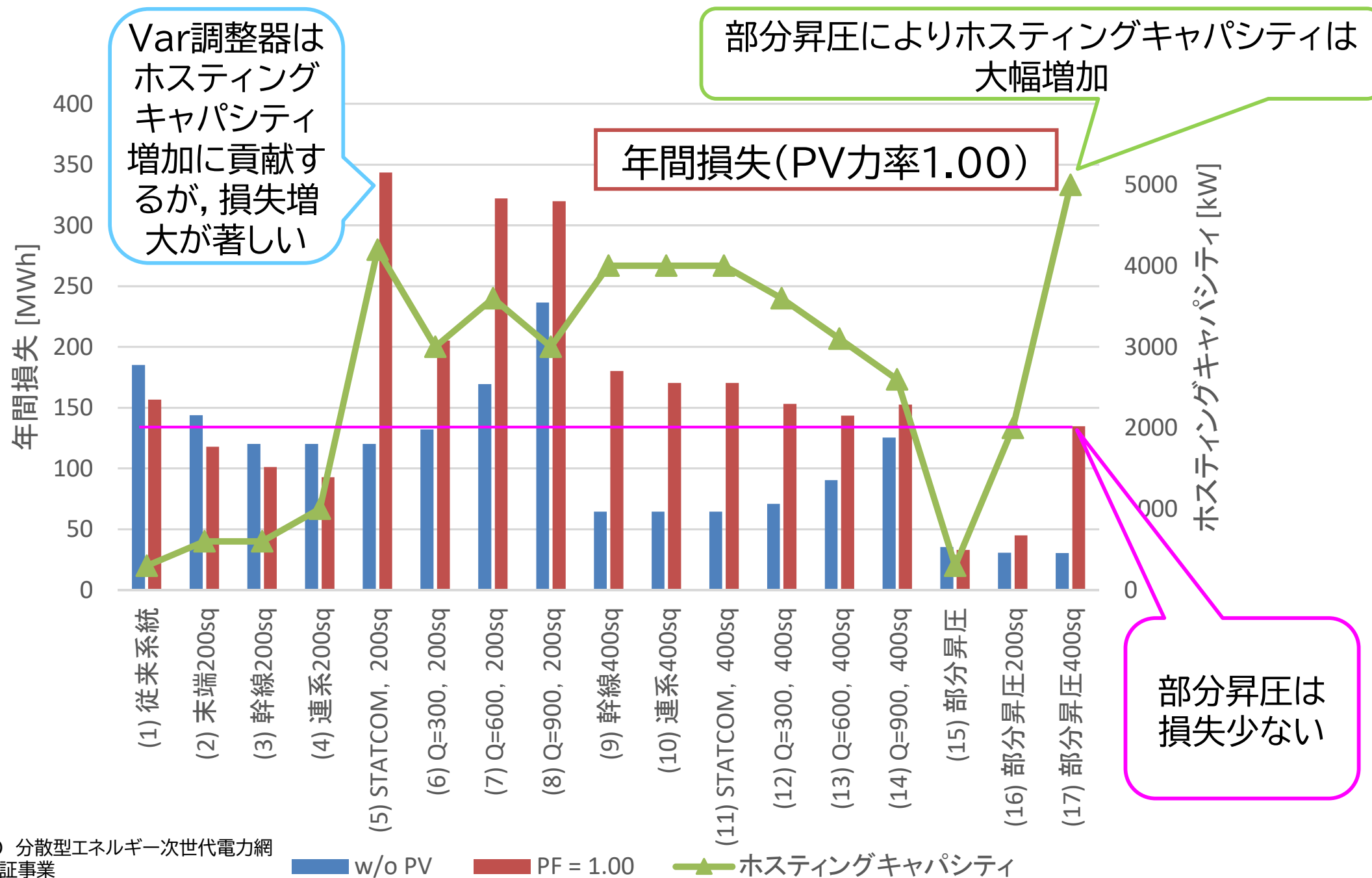
【太陽光発電の設置】

ノード64に
6.6kV 架空連系
出力 P_{PV} [MW]

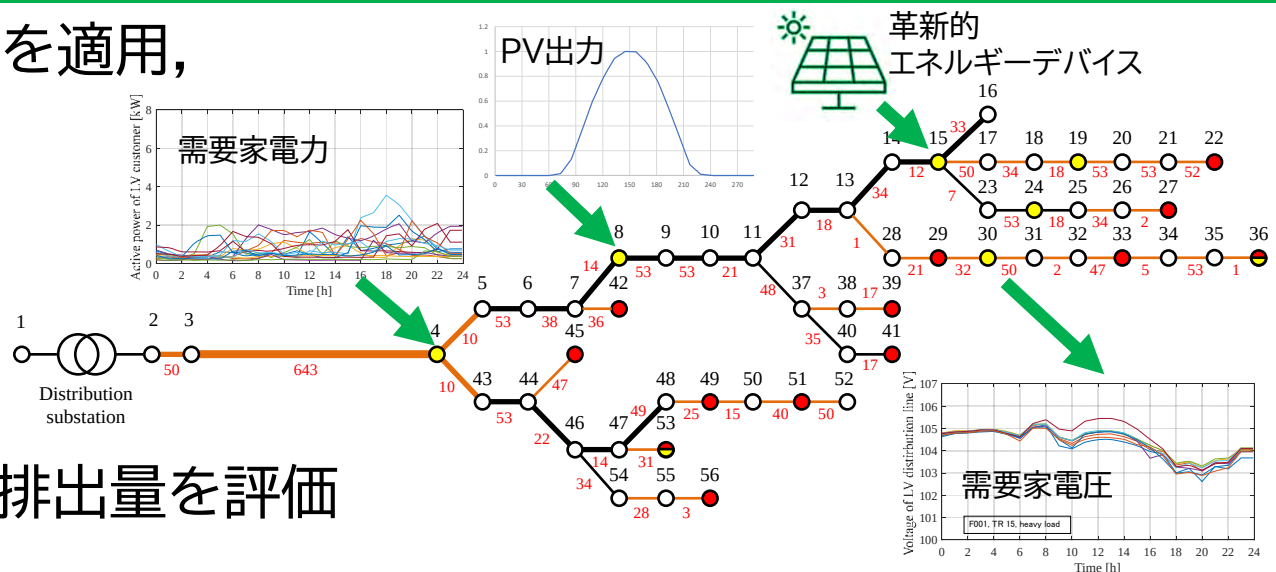
【各配電線の負荷分布】

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

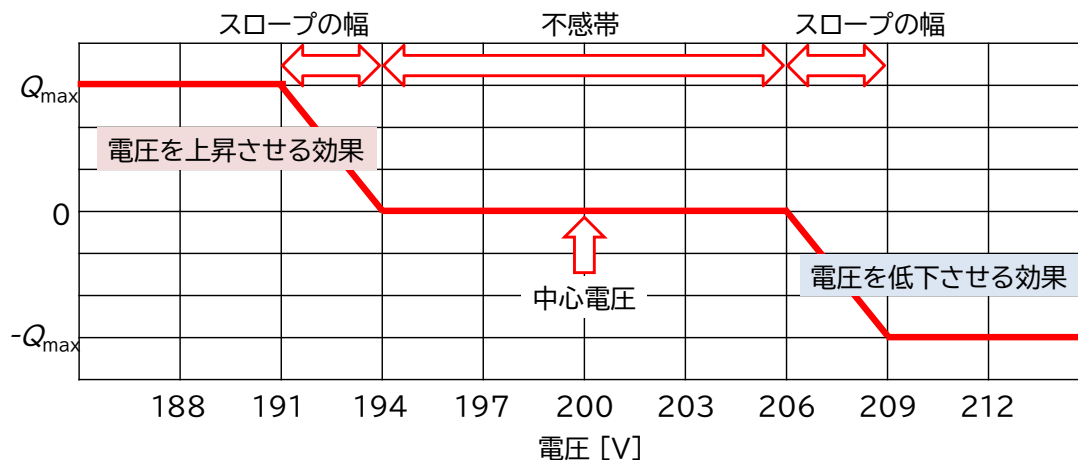
■	Al 200sq, $R = 0.133 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$	●	高圧需要家を想定した負荷
■	Al 120sq, $R = 0.239 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$	●	低圧需要家を想定した負荷
■	Al 58sq, $R = 0.477 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$		
—	Al 25sq, $R = 1.150 \Omega/\text{km}$, $X = 0.400 \Omega/\text{km}$		



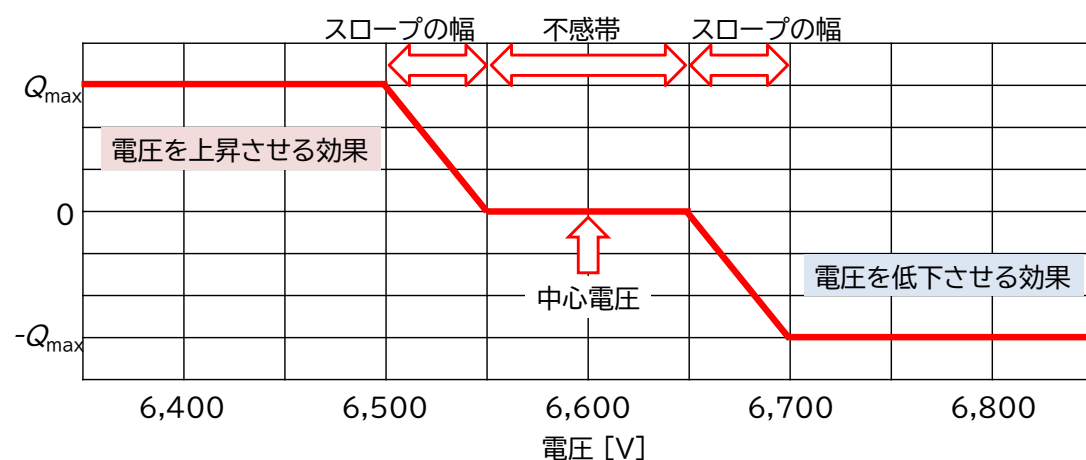
- PV用PCSにVolt-Var制御を適用,
配電系統の潮流計算を実施
 - 需要家電力, PV出力の
24時間分の変化を指定
 - 電圧, 電流,
線路損失の計算から
再エネ導入可能量, CO₂排出量を評価



Volt-Var制御



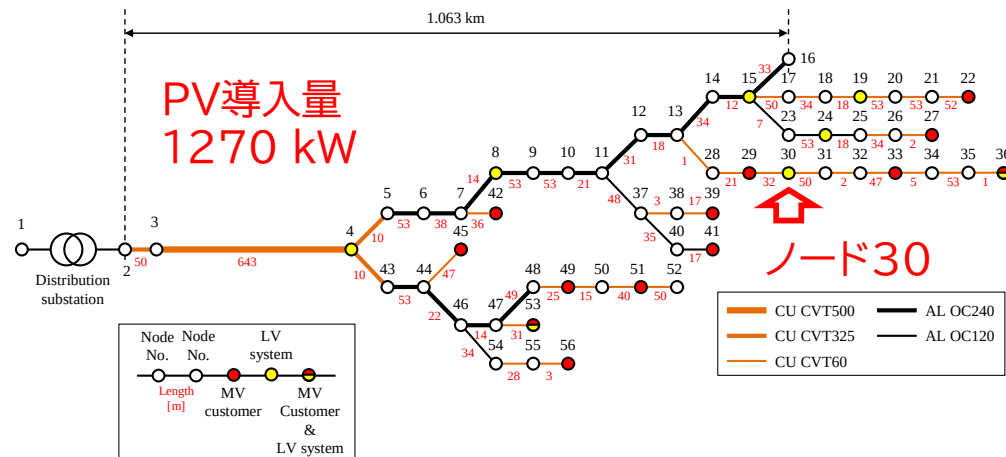
(a) 低圧用のVolt-Var曲線



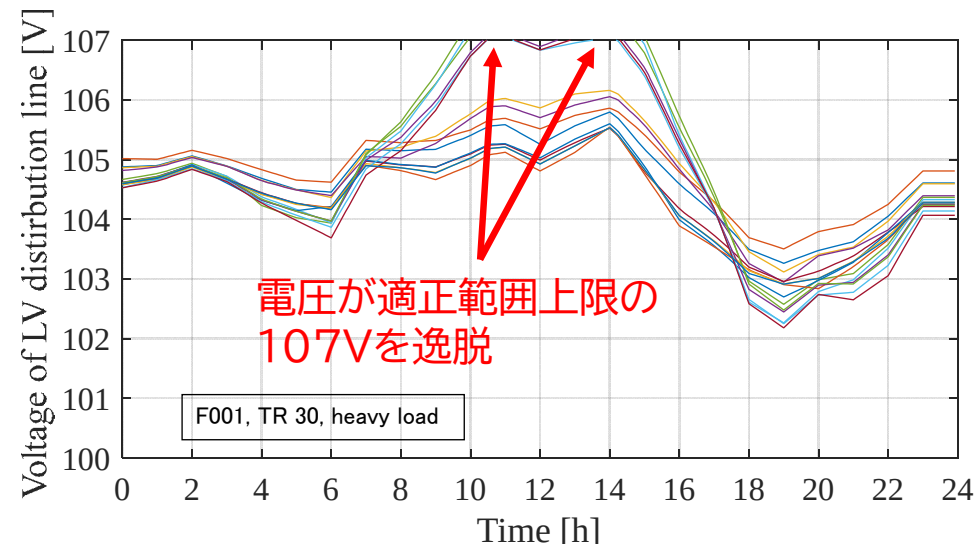
(b) 高圧用のVolt-Var曲線

CREST126配電線モデル

F001 (562ノード)



Volt-Var制御なし

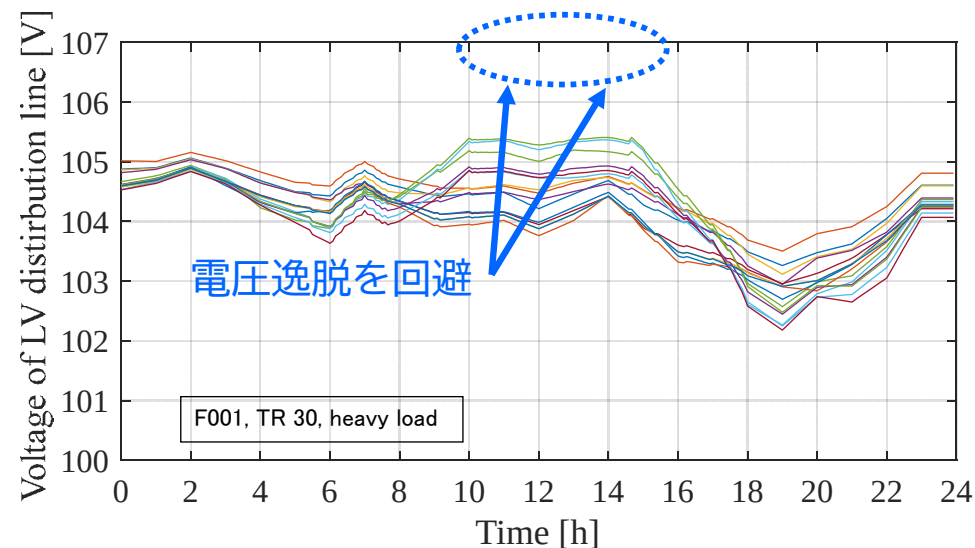


□ Volt-Var制御の適用で
PV導入可能量が1270⇒6125kW

□ 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

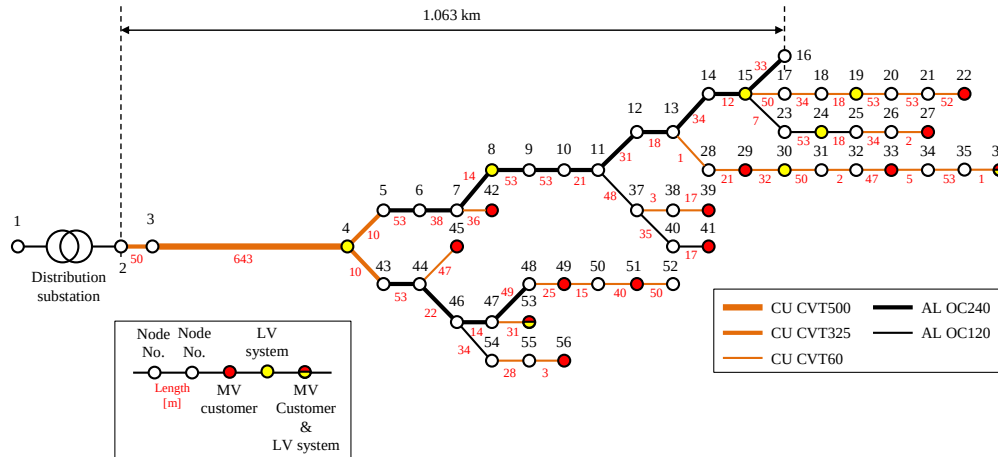
- 未対策: 76GW
- Volt-Var適用: 296GW

Volt-Var制御の適用

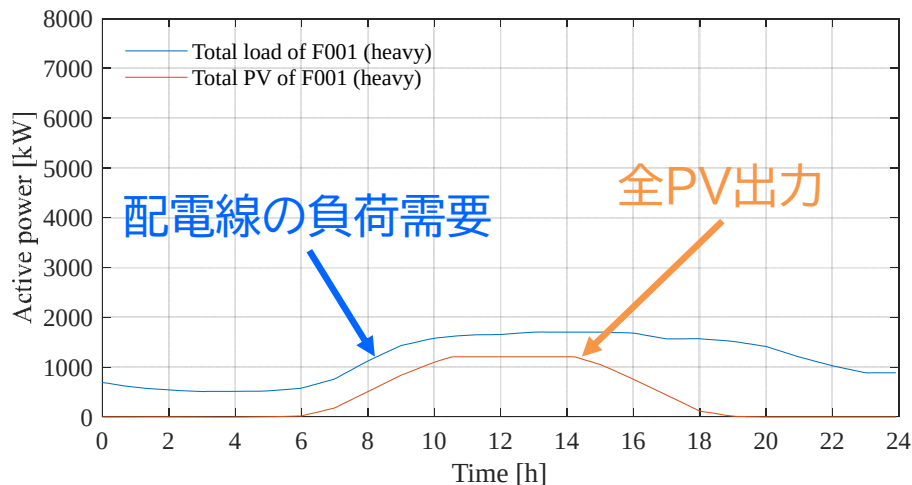


■ 配電線の負荷需要と全PV出力の比較

■ F001 (562ノード)



■ PV導入量: 1210 kW
(過積載140%)

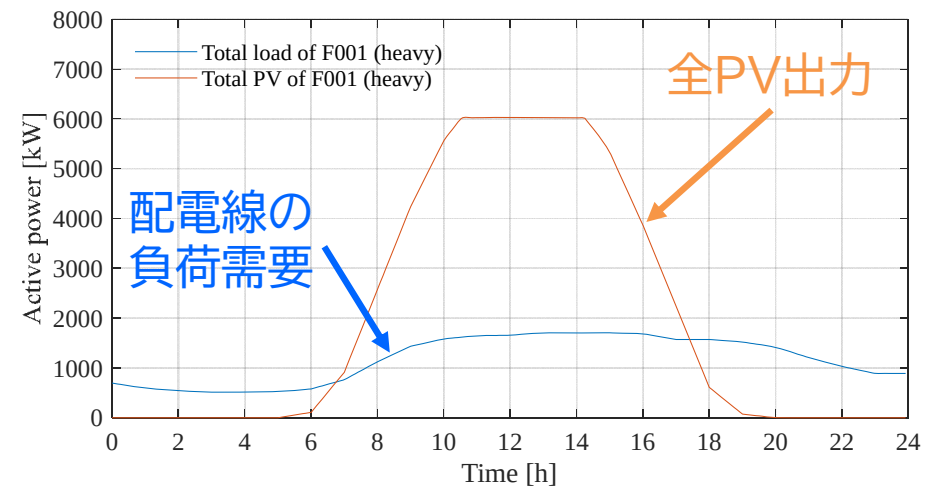


■ Volt-Var制御の適用

- ⇒ 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%)

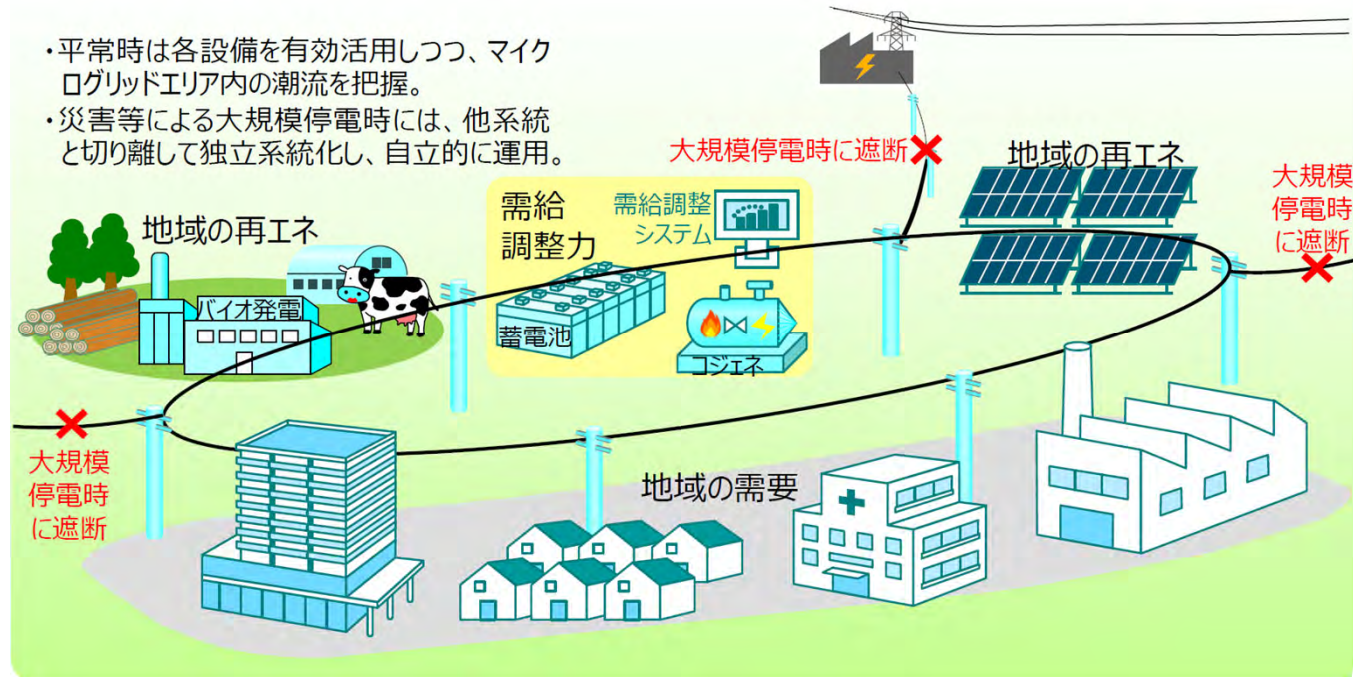


■ 地域マイクログリッド

□ 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

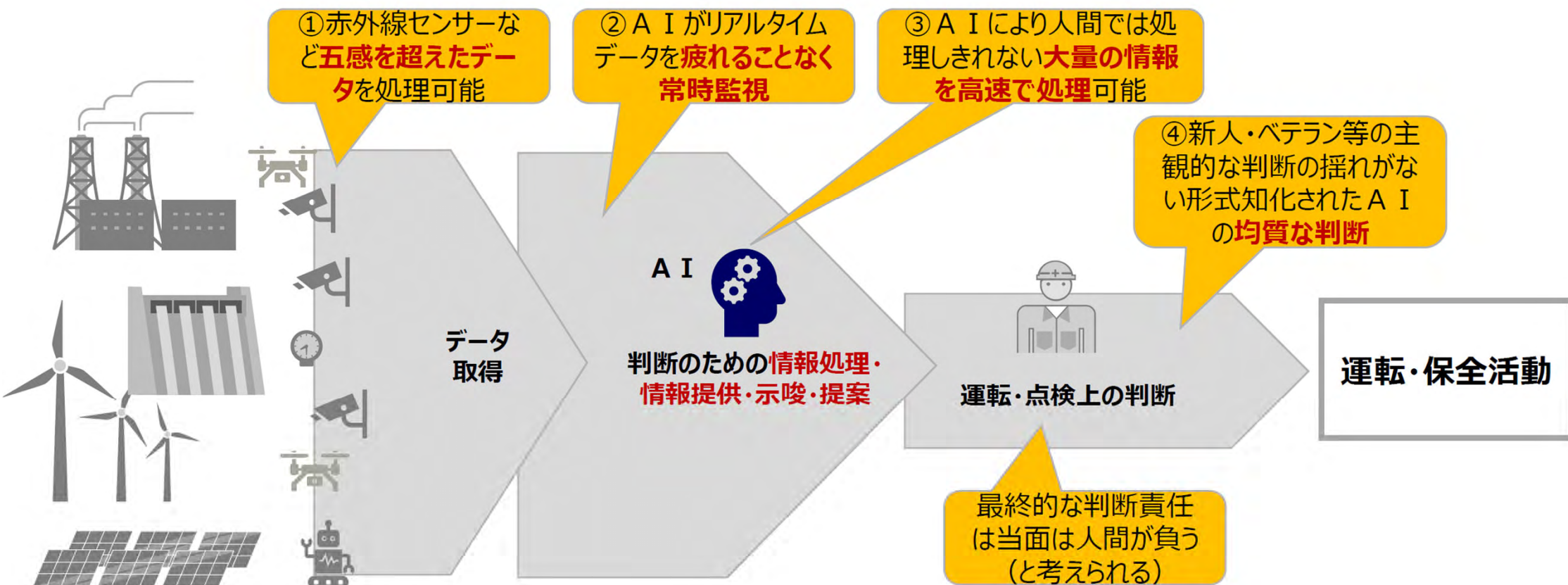
□ 早期仮復旧が実現した
好事例



- 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
 - 再生エネルギーの導入可能性, 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