

再エネ絡むマイクログリッドのEMSシステムの最前線！ 今知りたい再エネ・EMSのトレンド

中部大学 工学部 電気電子システム工学科

飯岡 大輔

従来の電力システムの構成

水力発電所

火力発電所

送電網

変電所

送電網

変電所

配電線

需要家

電気は, 電力システムを介して
みなさんのもとに届けられます

【安定した電気の条件】

- 周波数が安定している
- 電圧が安定している
- 停電が少ない

再エネ導入により変わること

既存電源の
減少

火力発電所

水力発電所

再エネ導入量の増加

送電網

変電所

送電網

マイクログリッド化

風力発電

太陽光発電

変電所

配電線

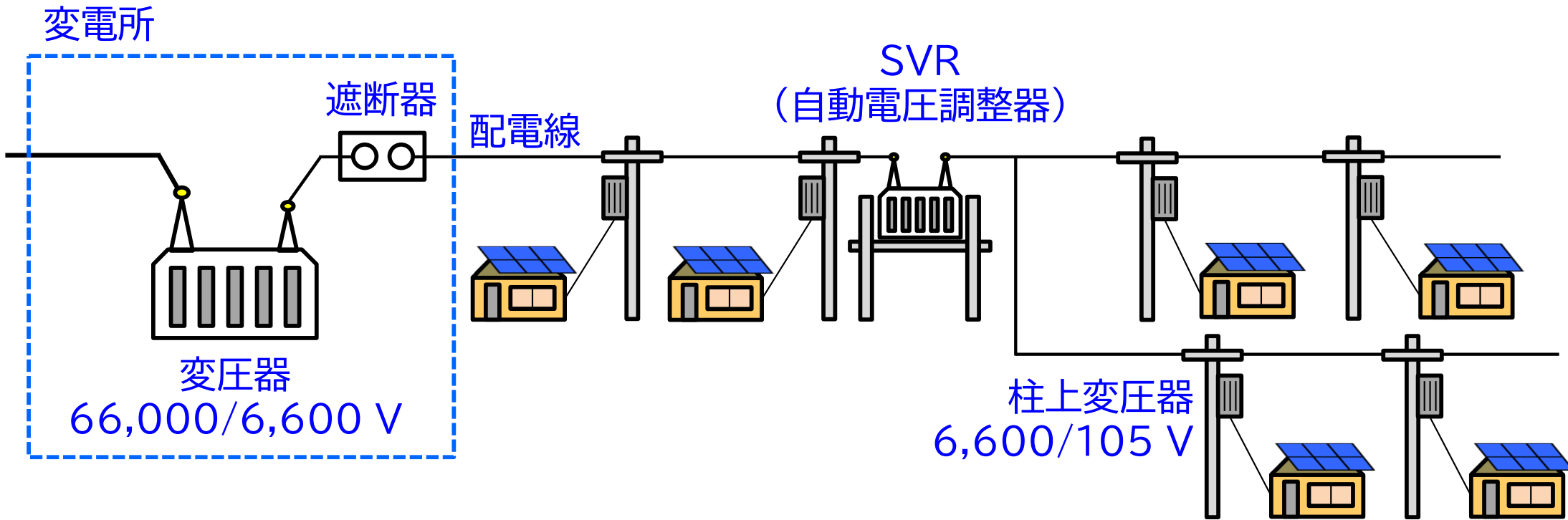
需要家

周波数・電圧への影響は？
6.6kV以下の配電系統に
着目してお話します

本日の発表内容

- 従来の電力システム
 - 安定した高品質の電力(周波数・電圧・停電)を供給
- 再生可能エネルギー電源の増加
 - 既存電源の減少・マイクログリッド化
 - エネルギーマネジメントと電力品質の維持が課題
- マイクログリッドのエネルギーマネジメントと電力品質
 - 6,600V配電システムの運用を理解する
 - マイクログリッドについて理解するためにお話します
 - 電圧の維持, 停電対応
 - 再生可能エネルギー電源を活用したマイクログリッド
 - マイクログリッドの構成／エネルギーマネジメント
 - 電力品質を維持するための工夫／課題
- まとめ

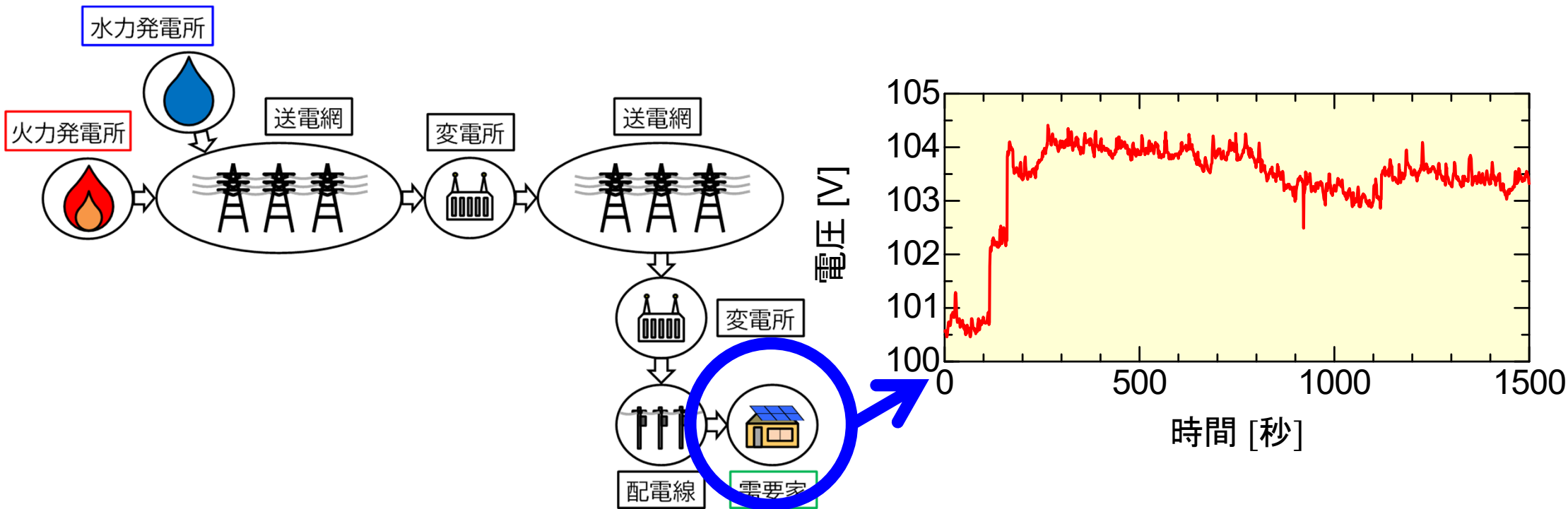
配電系統の構成



- 供給電流は時々刻々と変化する
- 供給電圧も時々刻々と変化する
- 電圧を適正範囲に維持できるように設備全体が設計されており、自動で電圧を調整する装置が設置されている
- 落雷などの事故時には遮断器が動作し、設備を自動で保護する

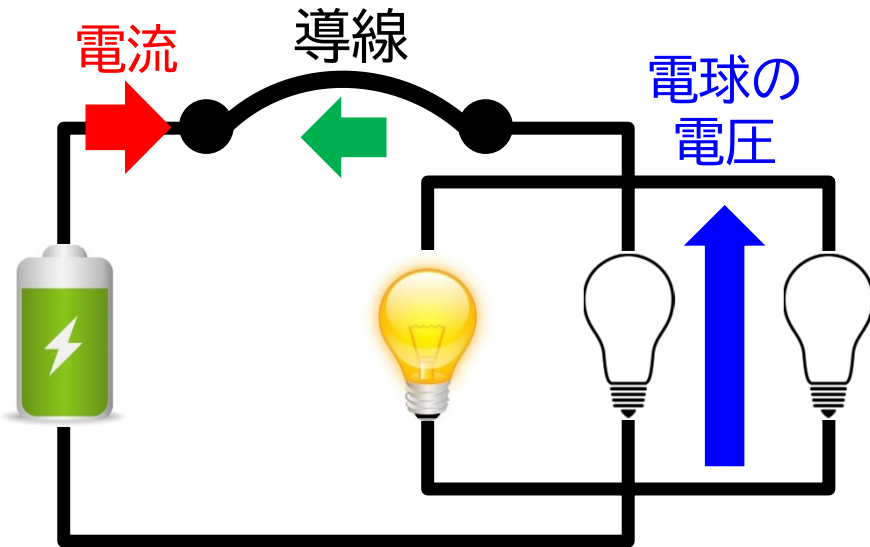
電圧はどれぐらい変動しているのか？

- 需要家の電圧を測定しました
 - 標準電圧が100Vの低圧系統
 - 分電盤に測定器を設置して、25分(1500秒)測定






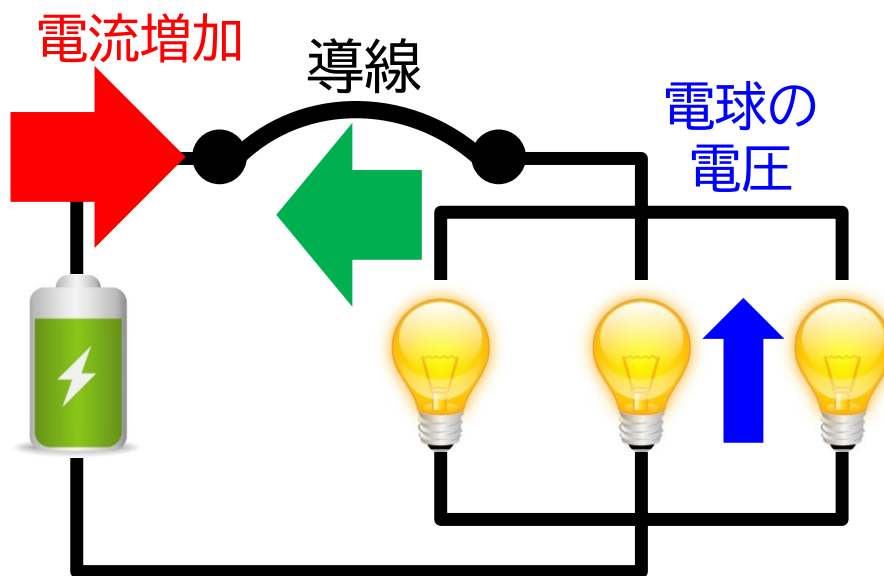
- まったく一定ではない, 常に変動している(100Vではない)

オームの法則が関係します






乾電池に電球を1個接続

- 乾電池から電流()が流れる
- 導線抵抗と電流で電圧()が発生
- 乾電池と導線の電圧で電球の電圧()が決まる



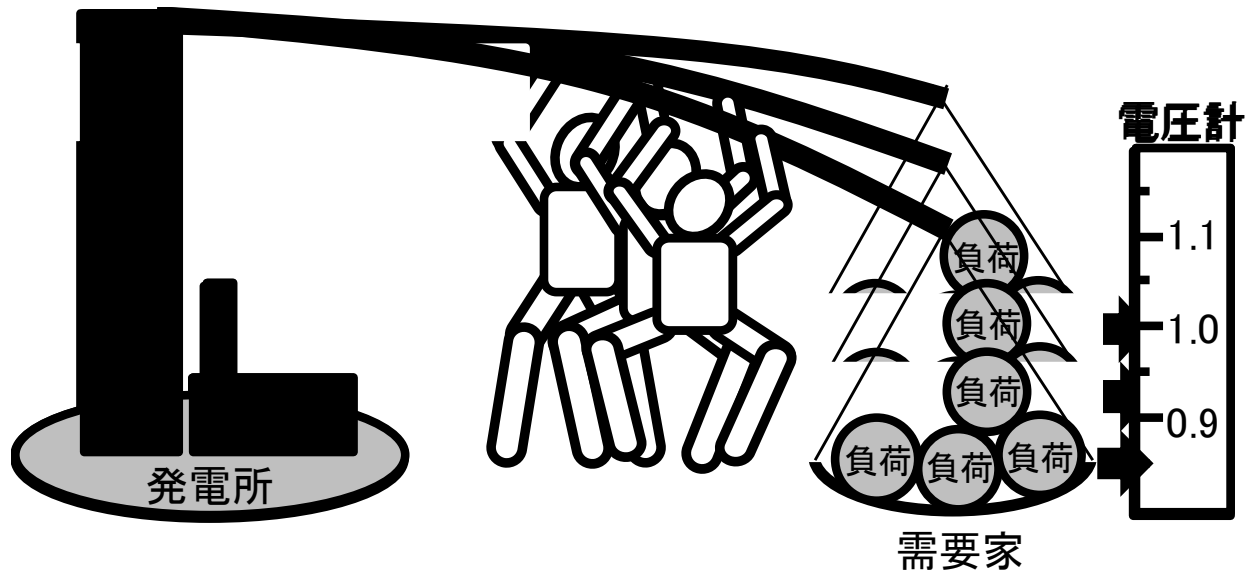
乾電池に電球を3個接続

- 乾電池からの電流()が増加
- 導線抵抗の電圧()が大きくなる
- 導線の電圧が大きくなった分だけ電球の電圧()が低下する

- 電気の使われ方に応じて電圧は変動する

電圧維持のための制御

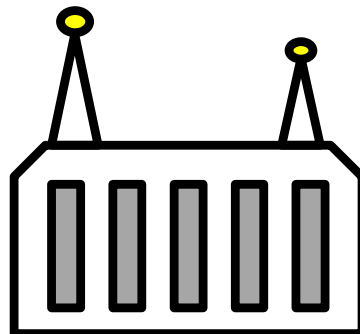
【電圧を維持する方法は？】



- 竿の先端におもりを乗せると竿がしなり, 先端の高さが変わる
- 竿の長さ = 電線の長さ
- おもり = 電力需要
- 先端の高さを維持するために, 竿の中間を適切に支える
- さまざまな電圧制御方法

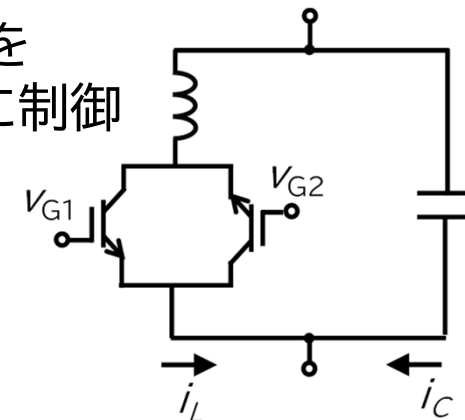
タップ切替変圧器

- 電圧を一定に保つように変圧比を変える (タップを切替)
- 機械的に切替えるので 多少の時間が必要
- 変圧比の幅は離散的



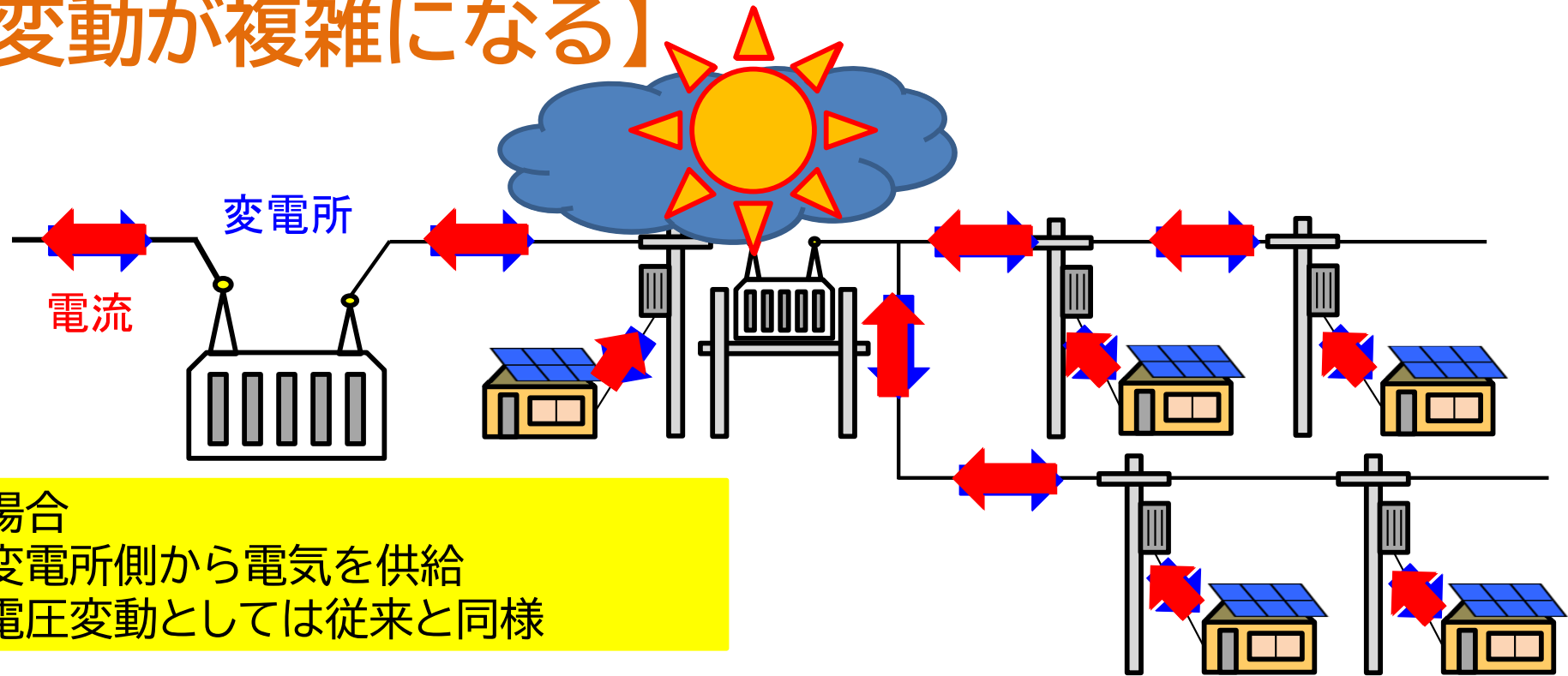
無効電力補償装置

- 遅れと進みの無効電力を パワエレ素子で連続的に制御
- 瞬時に制御できる
- 変圧器に比べて高価



再エネ増加が電圧に及ぼす影響

【電圧変動が複雑になる】



□ 雨の場合

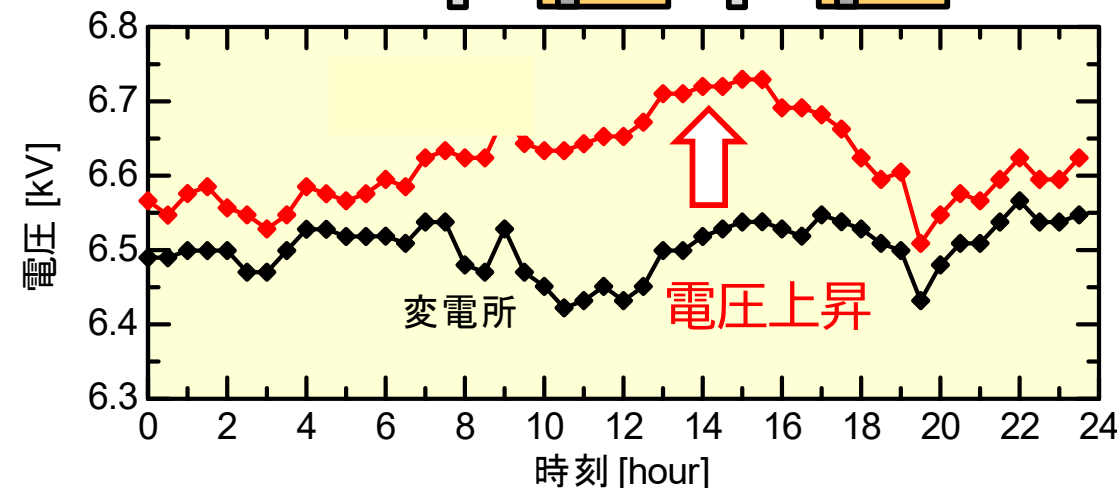
- 変電所側から電気を供給
- 電圧変動としては従来と同様

□ 快晴の場合

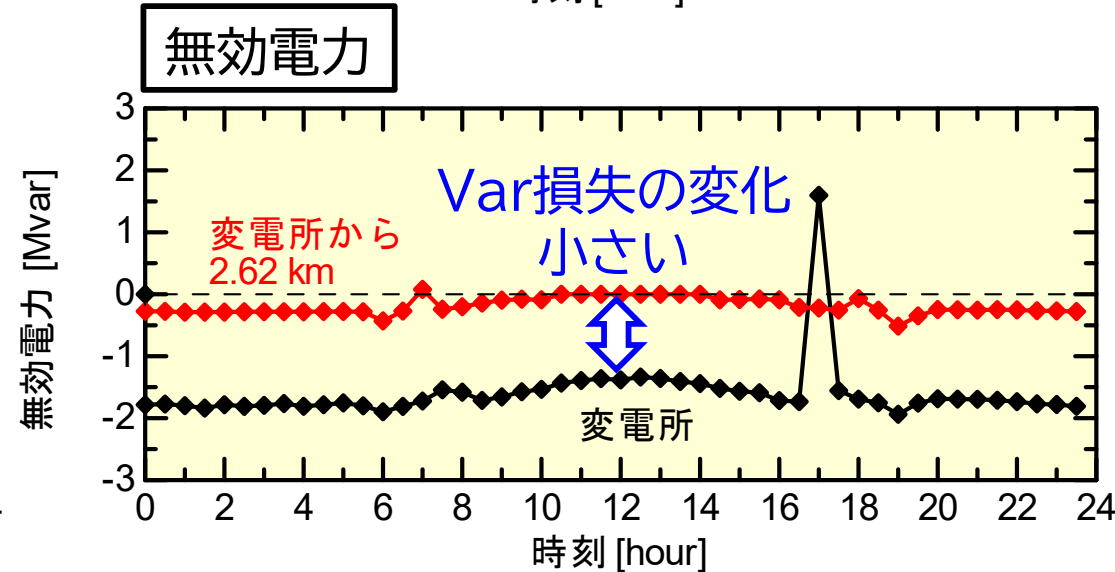
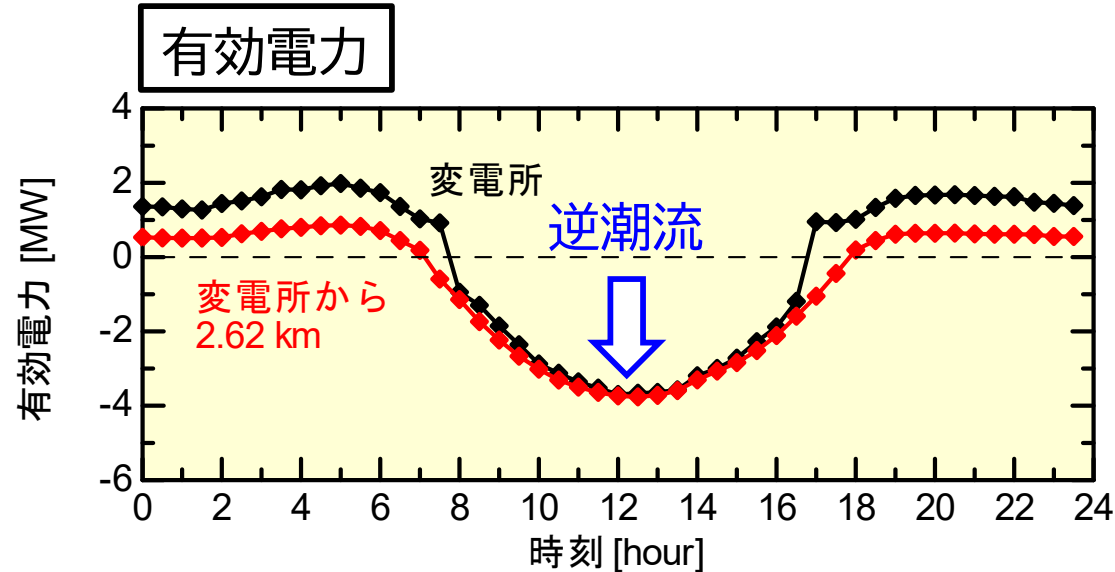
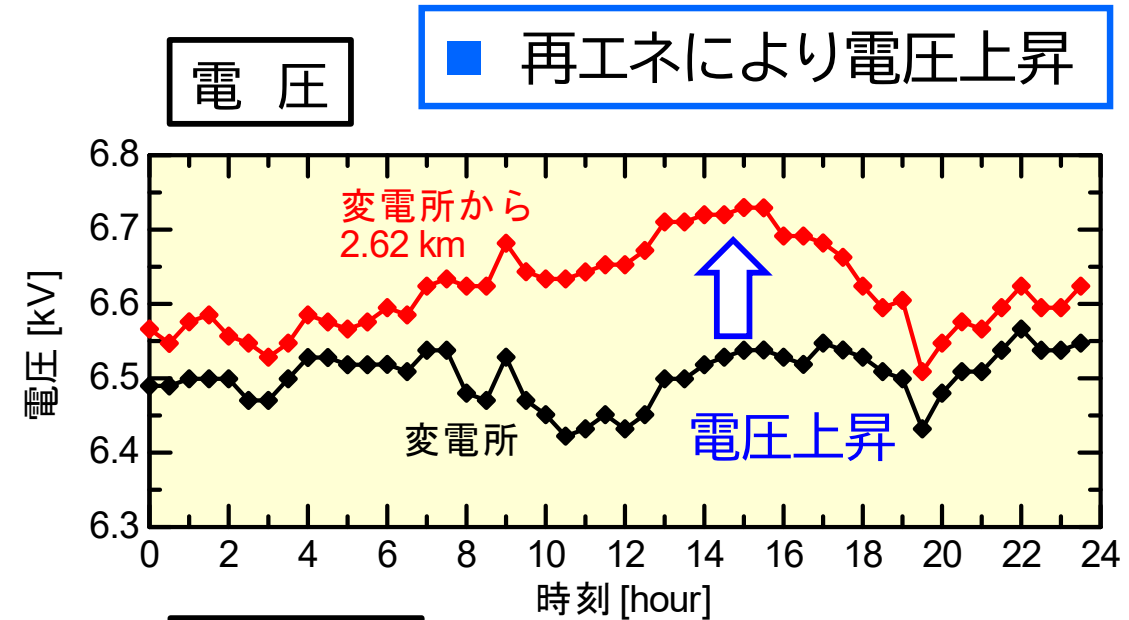
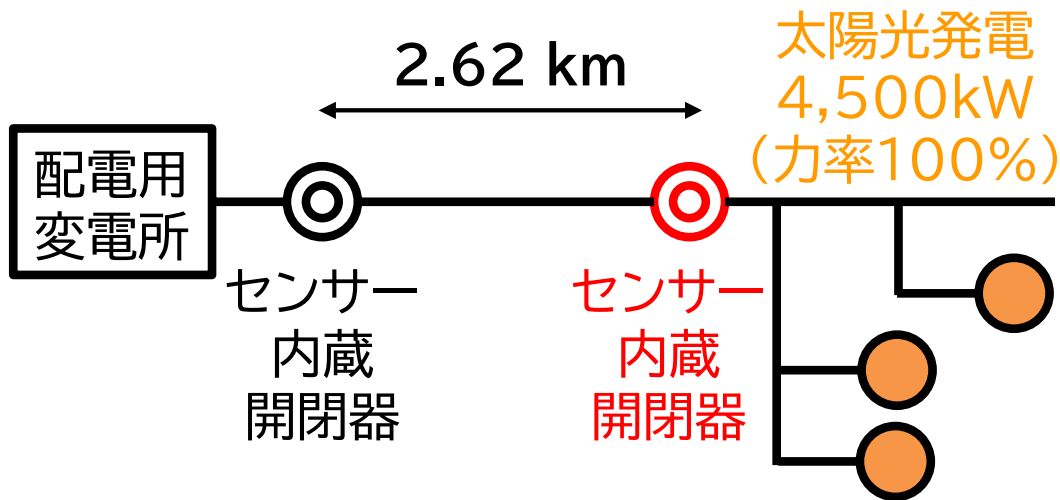
- 太陽光からの電流が増加
- 昼間の電圧が上昇

□ 日射量の変動が激しい場合

- 日射量に併せて、電流の向きが変わる
- 電圧が上昇・低下を繰り返す



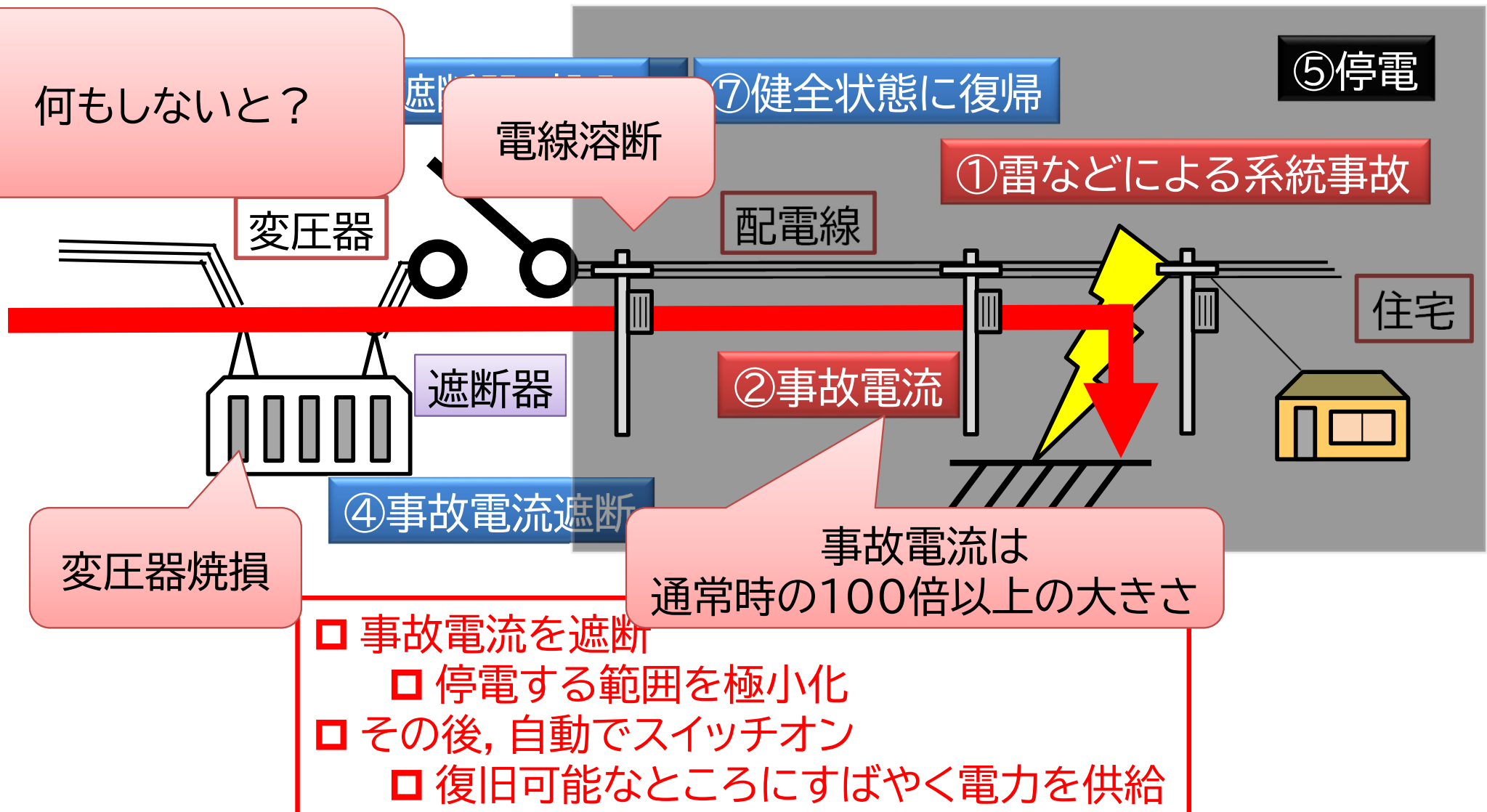
再エネを増やした現場で何が起きているか？



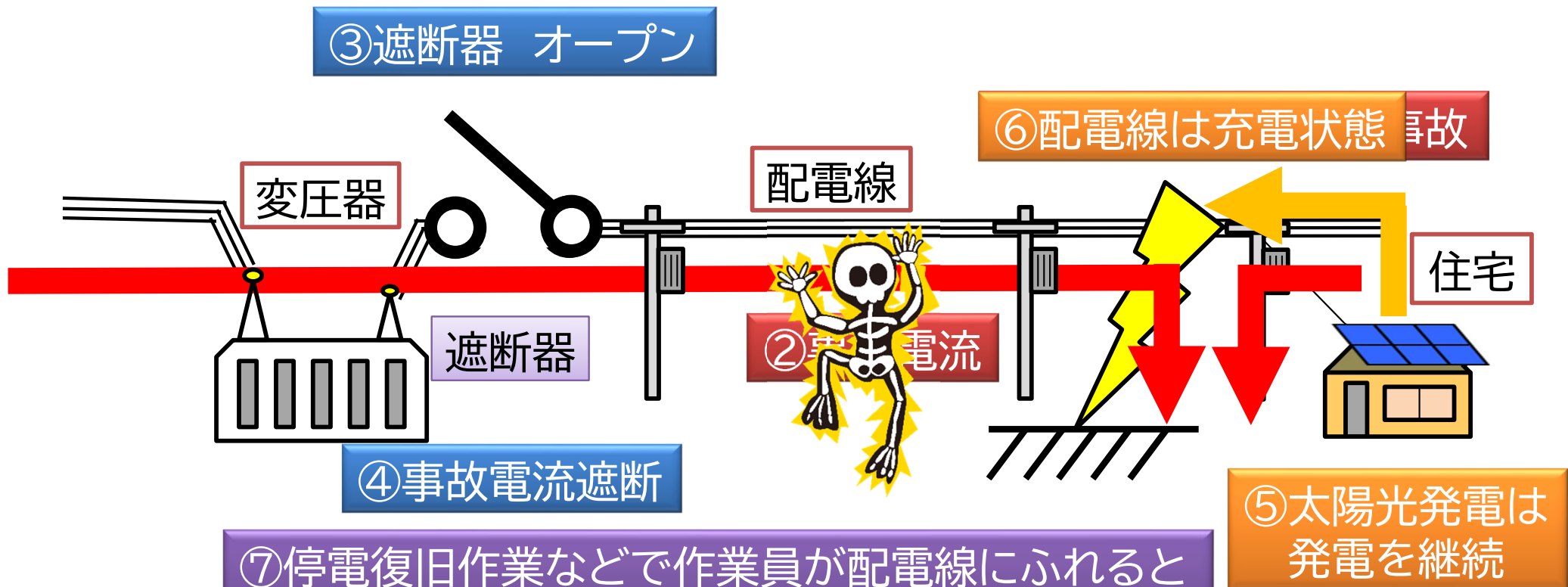
D. Iioka, T. Fujii, D. Orihara, T. Tanaka, T. Harimoto, A. Shimada, T. Goto and M. Kubuki: "Voltage reduction due to reverse power flow in distribution feeder with photovoltaic system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.113, pp.411-418 (2019)

停電時の制御

配電自動化システムによる事故復旧



再エネ増加が停電に及ぼす影響



⑦停電復旧作業などで作業員が配電線にふれると感電してしまう

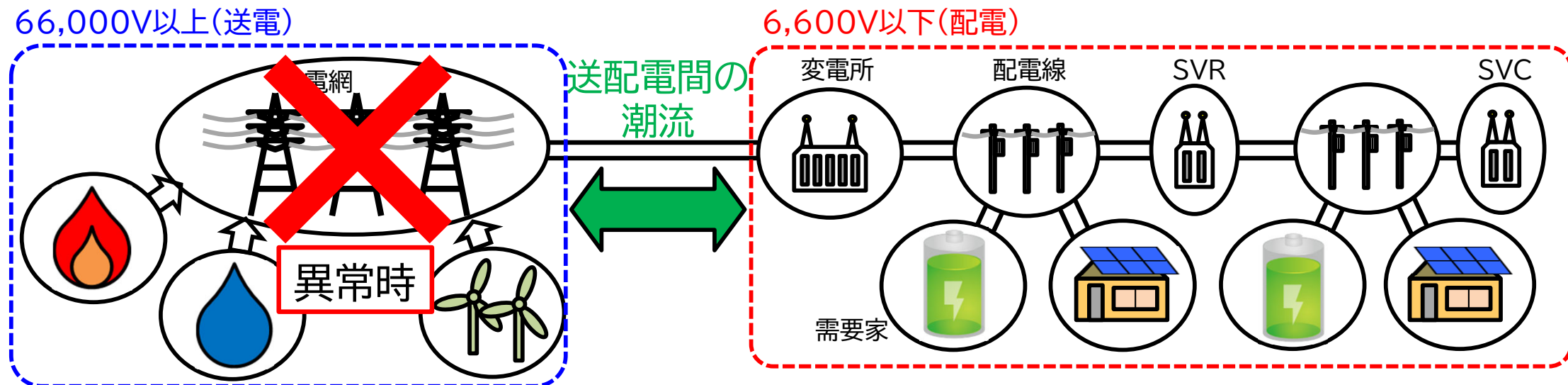
⑧太陽光発電を切り離す(解列)する必要がある(単独運転防止)

⑨復電後, 太陽光発電を接続する必要がある

- 系統事故時に配電系統を切り離して運用する場合, 安全に運用する必要がある

マイクログリッド

- 再生エネルギーを用いて限られたエリアへ電力を供給
- 供給形態の違いにより、いくつかの種類がある
 - 離島などで電力供給する遠隔分散型／平常時は主要系統と接続した連系型



平常時

- マイクログリッドを上位系統と接続，マイクログリッド内で極力地産地消
- 足りない電力を上位系統から供給可能，余った電力を上位系統へ逆潮流

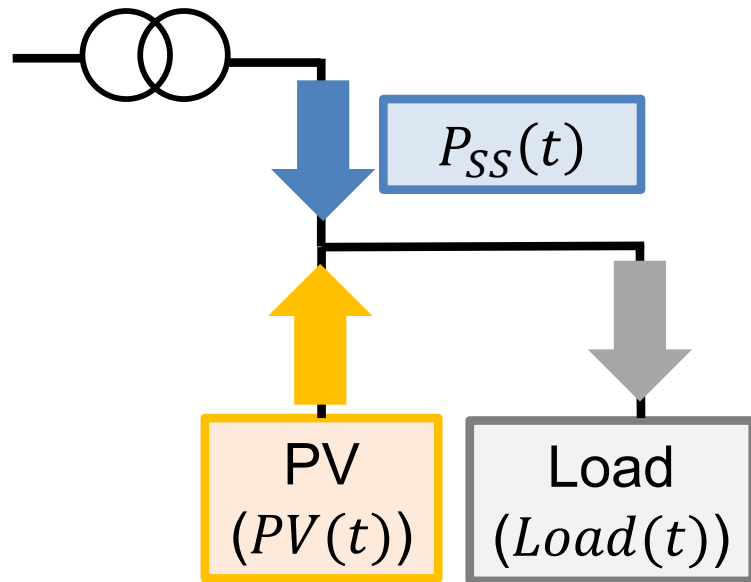
異常時

- 上位系統との接続を切り離し，マイクログリッド内の電力を地産地消
- 足りない電力は蓄電池から供給，あるいは負荷の電力消費を抑制

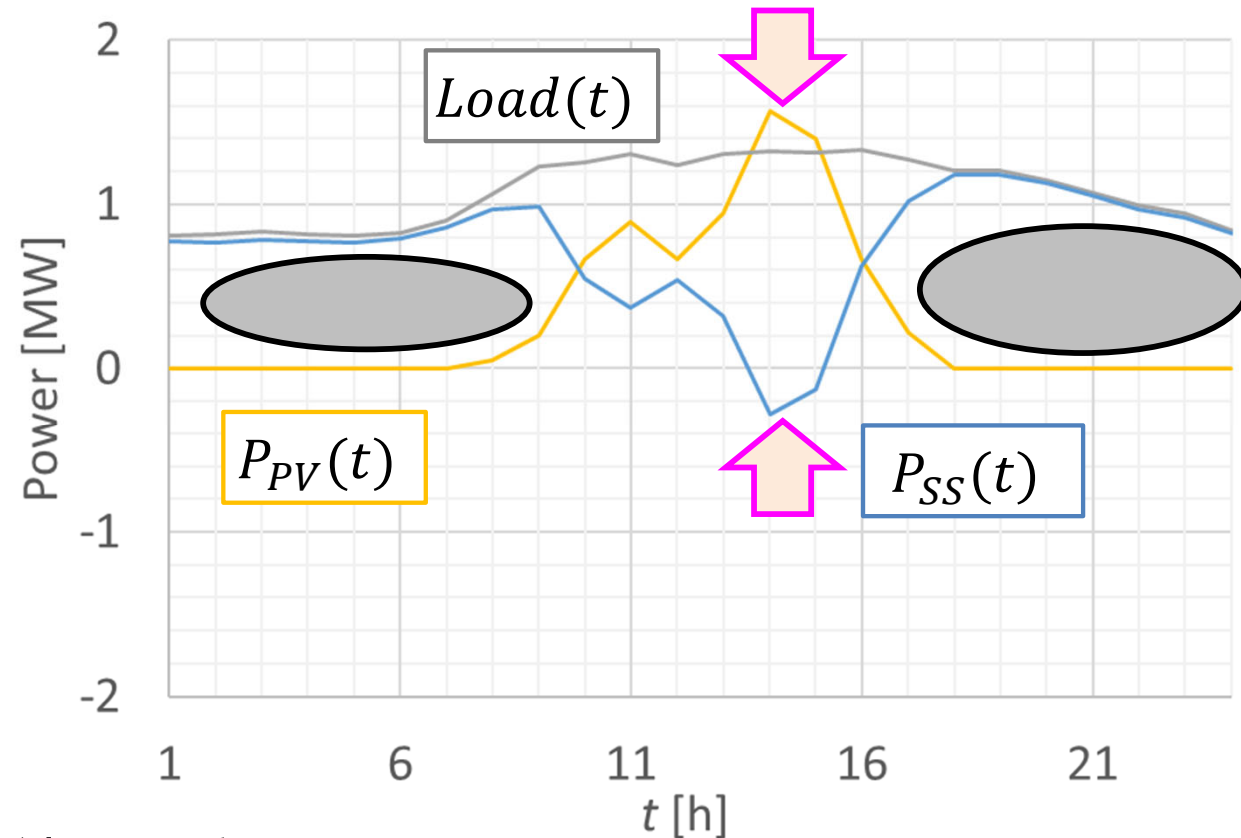
- マイクログリッド内のエネルギーをどのようにマネジメントするか？
- マイクログリッド内の電力品質をどのように維持するか？

太陽光発電と蓄電池によるEMSの基本

■ 電力の流れの例(蓄電池なし)



マイクログリッド内の太陽光発電・負荷

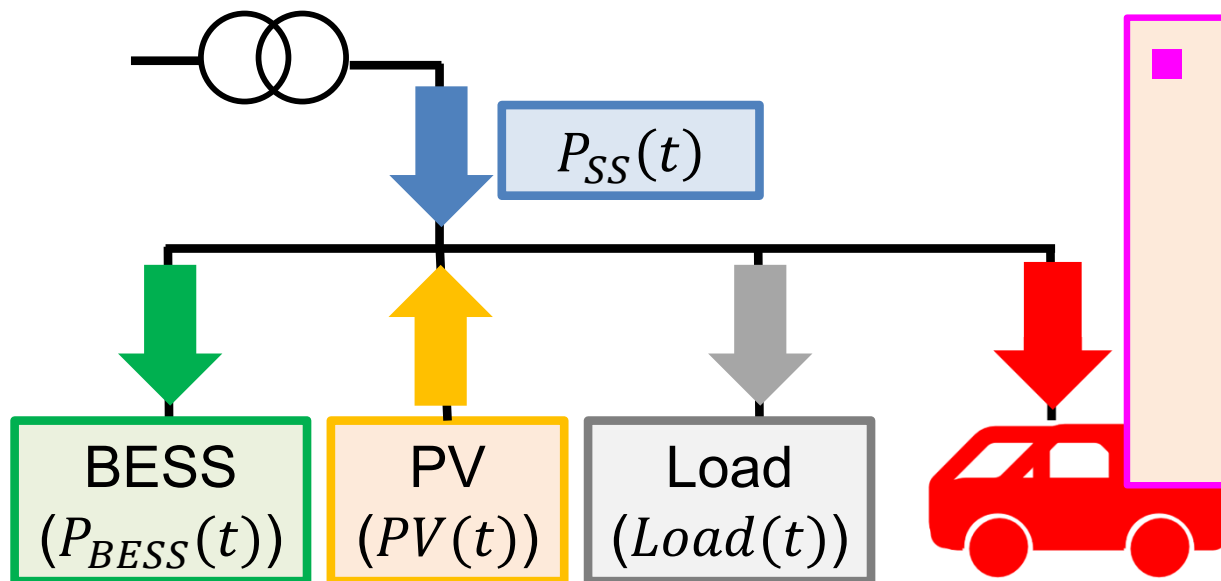


夜間 PVの出力なし ⇒ 上位系統から受電
⇒ 地産地消を高めるためには蓄電池からの供給が必要

昼間 PV出力が負荷電力を上回る場合あり ⇒ 上位系統へ逆潮流
⇒ 地産地消を高めるためには蓄電池への充電が必要

V2Gの活用

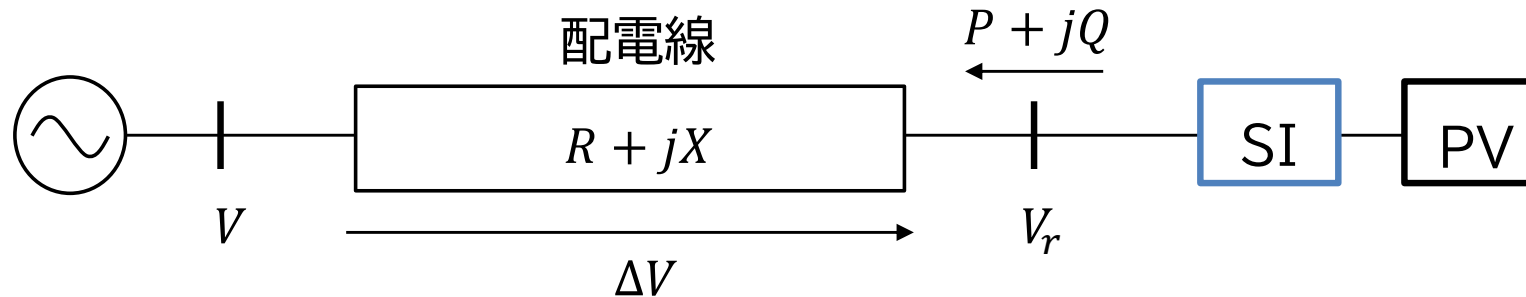
- V2G(Vehicle to Grid)
 - 電気自動車などの蓄電池を電力系統に連系
 - 電力系統と電気自動車間で充放電
- メリット
 - グリッド内で利用できる蓄電池容量が増える(新たに用意する蓄電池が減る?)
- 難しいところ
 - 車が駐車しているときのみV2Gで利用可能



- マイクログリッド内のエネルギーをどのようにマネジメントするか？
 - 太陽光発電・蓄電池など, 必要な装置を導入する
 - グリッド内の電力や自動車の使われ方など, 消費者の行動をうまくマネジメントする必要がありそう

マイクログリッド内の電力品質

■ 電圧対策：インバータの無効電力制御



□ 逆潮流で配電線インピーダンスに生じる電圧上昇 $\Delta V \cong \frac{RP + XQ}{V}$

● Q制御なし($Q = 0$)の場合 $\Delta V \cong \frac{RP}{V}$

● Q制御あり($Q < 0$)の場合 $\Delta V \cong \frac{RP + XQ}{V}$

電圧上昇を
小さくできる

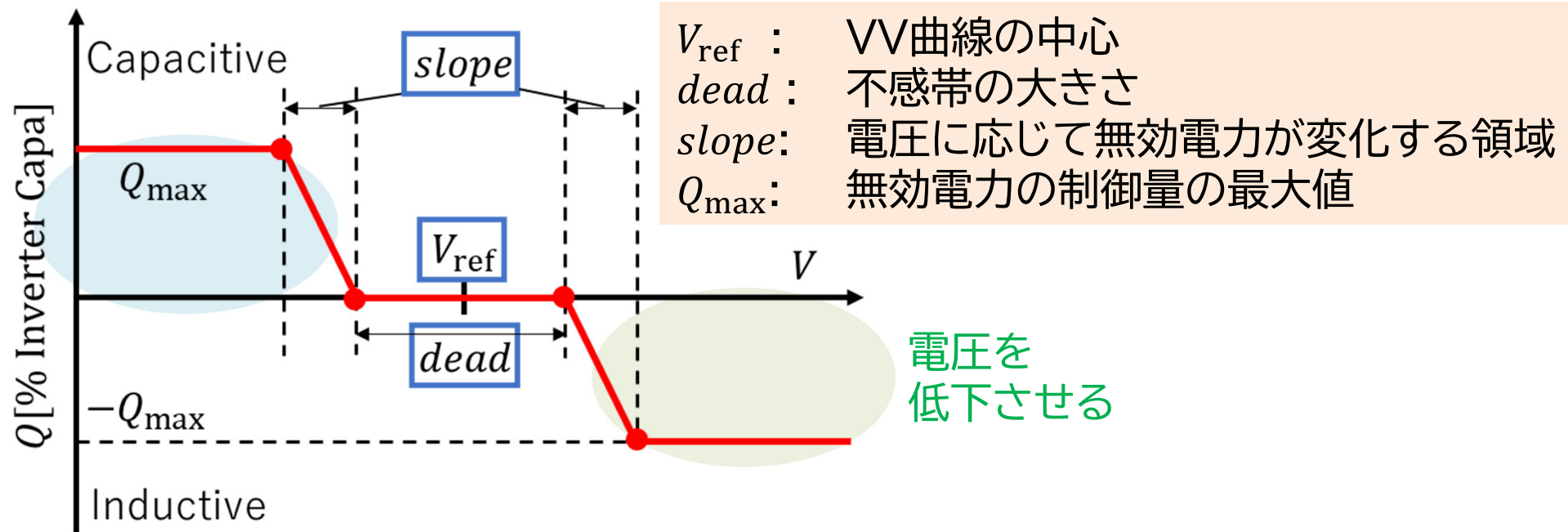
➤ ただし、
配電線損失が上昇 $P_{\text{Loss}} \cong R \frac{P^2 + Q^2}{V^2}$

Qを増やすと
配電損失が大きくなる

適切に無効電力制御すると、少ない配電損失で電圧品質を向上できる

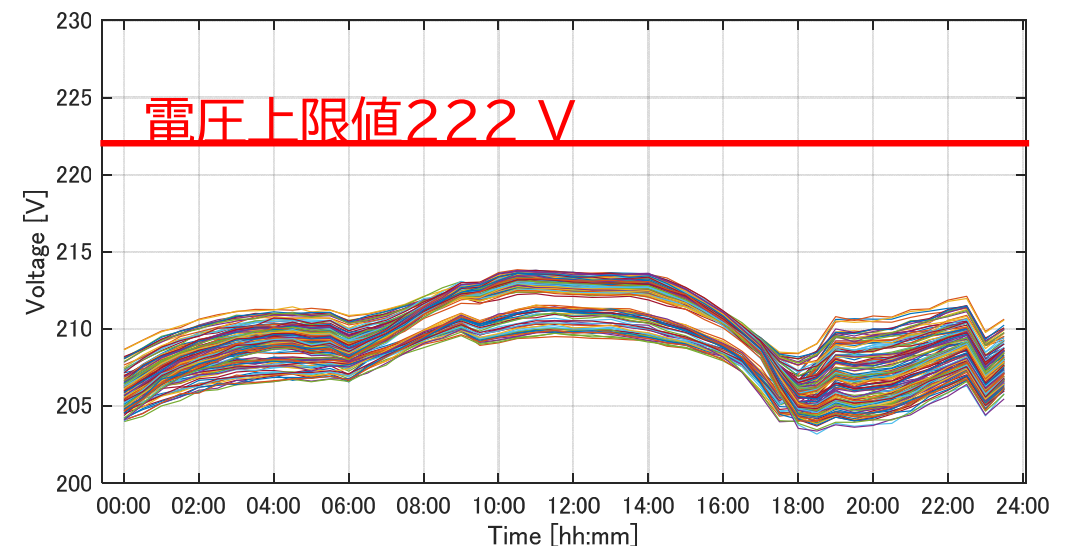
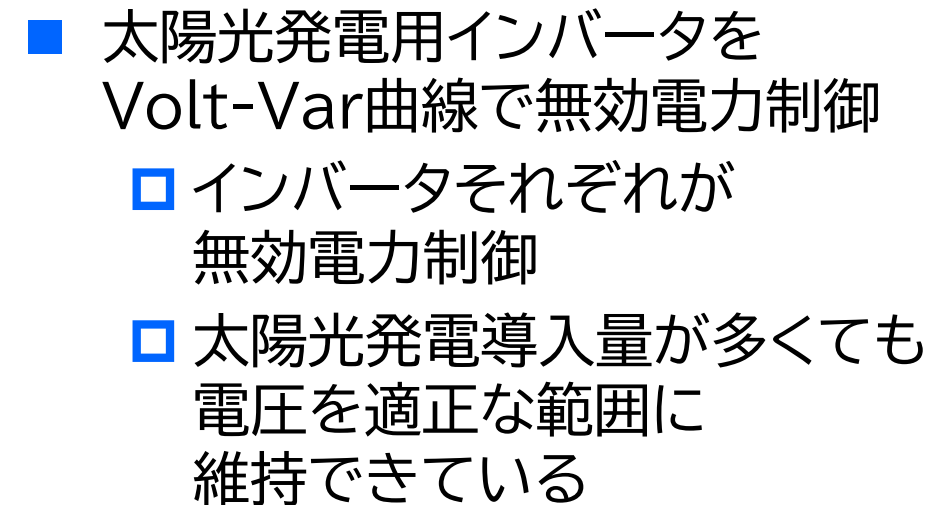
Volt-Var制御(電圧-無効電力制御機能)

電圧を
上昇させる



- Volt-Var制御では,
 - 電圧が $V_{\text{ref}} + \frac{dead}{2}$ 以上 \Rightarrow 遅れ無効電力を消費 ($Q < 0$) し電圧を低下させる
 - 電圧が $V_{\text{ref}} - \frac{dead}{2}$ 以下 \Rightarrow 進み無効電力を消費 ($Q > 0$) し電圧を上昇させる

Volt-Var曲線の設定値 (V_{ref} , $dead$, $slope$) により
配電線の電圧に及ぼす効果が変わる

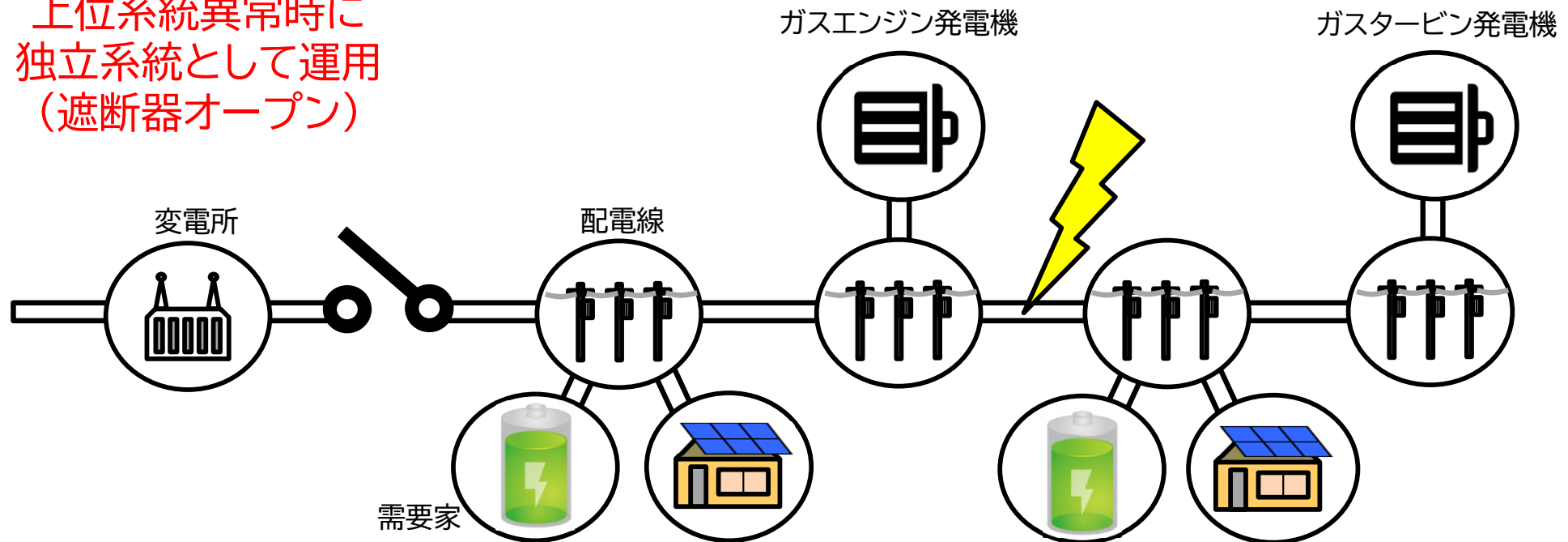


18 / 20

事故時の制御

独立系統運用時に地絡・短絡事故が発生した場合の操作は？

上位系統異常時に
独立系統として運用
(遮断器オープン)



- 安全確保と系統機器の保護
 - 事故電流の遮断, 停電・充電箇所の違い
- 運用面の利便性
 - 事故後の早急な復旧

具体的な方法は
まだ確立されているとはいえない？

まとめ

- マイクログリッドのエネルギーマネジメントと電力品質
 - 6,600V配電システムの運用を理解する
 - 電圧／周波数の維持, 停電対応
 - 再生可能エネルギー電源を活用したマイクログリッド
 - マイクログリッドの構成／エネルギーマネジメント
 - 電力品質を維持するための工夫／課題
- マイクログリッドもお客さんに電力を供給
 - 配電システムと同様に高い電力品質で電力を供給する必要がある
 - 再生可能エネルギー電源が増えると, 以下の技術に課題があることを示しました
 - 電圧の維持
 - 事故時の保護制御