

# 令和6年度 福島県再エネ研究会・分科会 エネルギーネットワーク分科会

## 地域マイクログリッドへの 期待と展開状況

2024年7月23日

産業技術総合研究所

エネルギーネットワークチーム

主任研究員 児玉 安広

## 講演の全体像

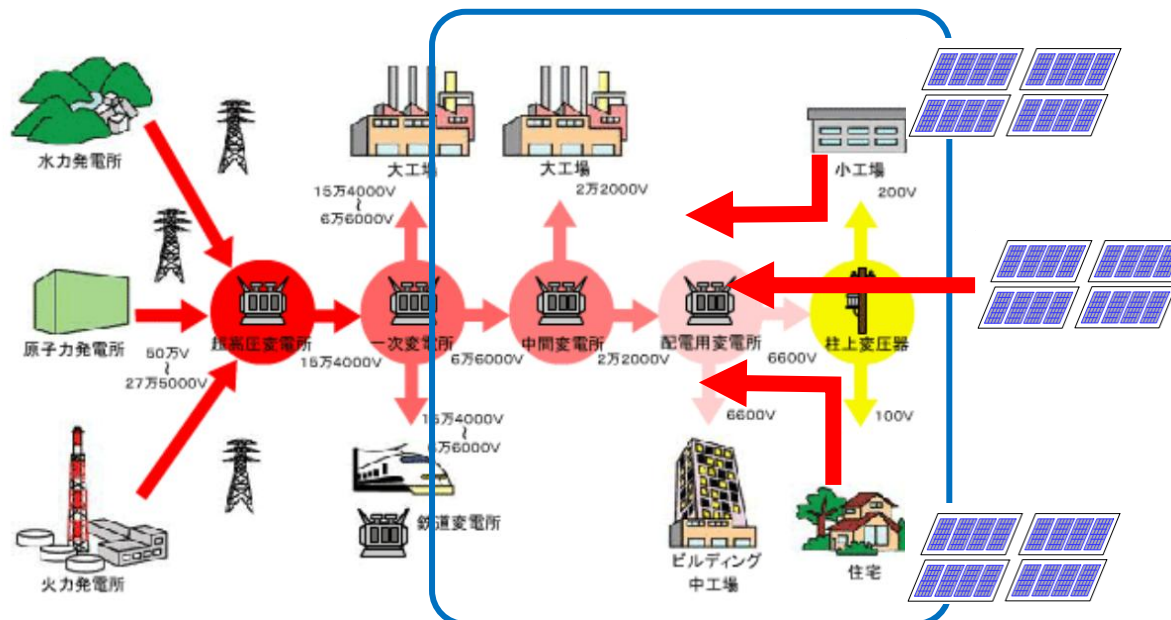
1. 電気はどのように送られる
2. マイクログリッドについて
3. 地域マイクログリッドについて
4. 国内事例
5. マイクログリッドの技術課題
6. まとめ

## 大規模電源→送電線、変電所、配電線

- 6万6000V～15万4000Vに電気を変圧し一部は鉄道会社や大規模工場に送電  
2万2000Vに変電、大規模工場やコンビナートに電気を供給
- 2万2000Vに降圧された電気は配電変電所でさらに6600 Vに降圧。柱状変圧器で6600→100/200 Vへ降圧され各需要家へ100/200 Vで送電

## 小規模な分散型電源→配電線、変電所、送電線

- 太陽光や風力発電などから高電圧の電力系統へのながれ



出典：電気が伝わる経路 - 送電のしくみ | 電気事業連合会 (fepc.or.jp)



電気の特徴 → 作る側（発電）と使う側（消費）の量が同じになることが必要

## 周波数：安定



電気の発電と消費が同じ

楽に立っていられます。

## 周波数：低下



電気の発電が足りない

使用量（消費）が多すぎて、  
立っているのが大変で  
倒れそうになるかな。

## 周波数：上昇



電気の発電が多い

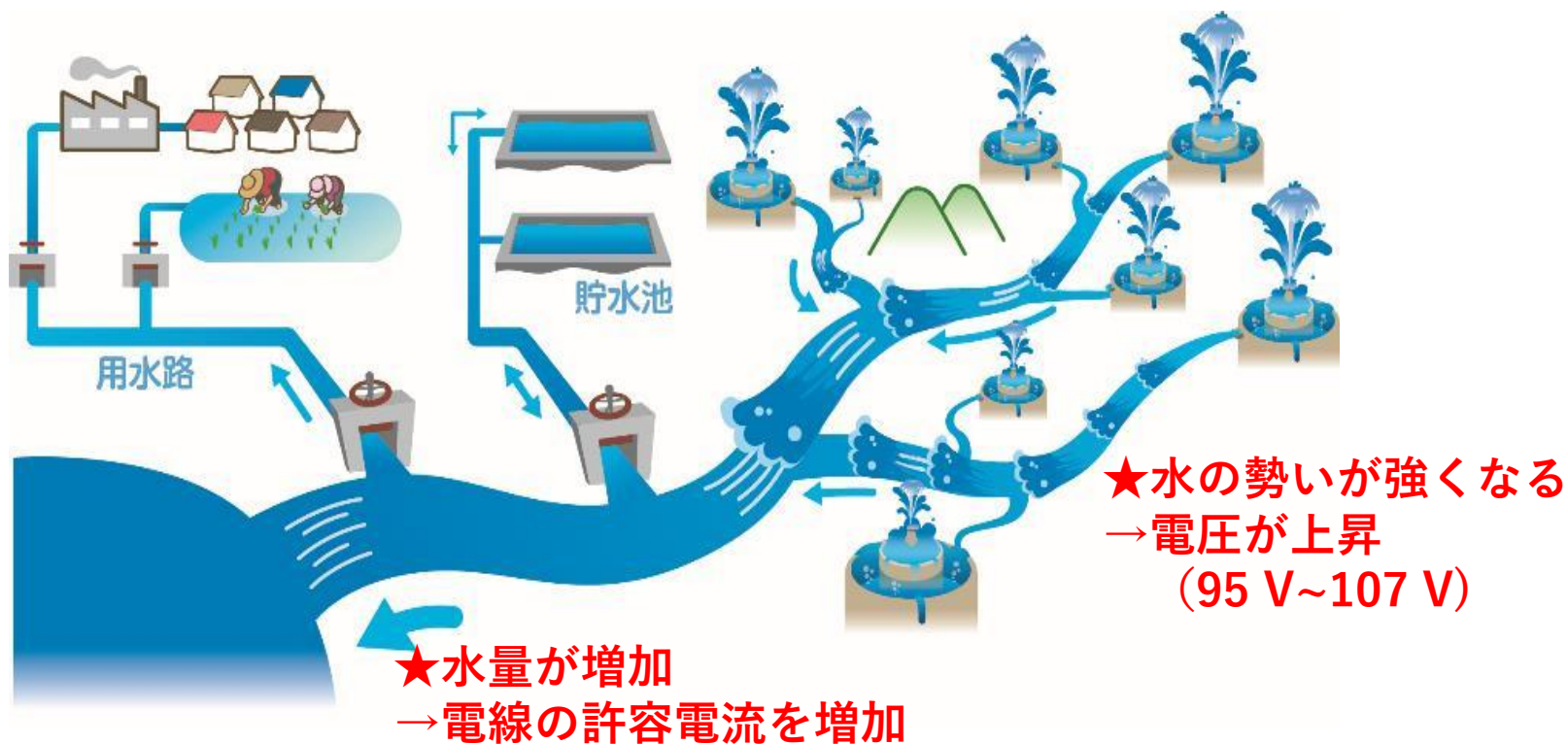
発電量が多すぎて、  
立っているのが大変で  
倒れそうになるかな。

太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入が進む

# 1. 電気はどのように送られる

✓ 身近な電力系統で発生する課題とは？

太陽光発電などの再生可能エネルギーが増加すると・・・



水は「ためたり・使う」ことで「勢い・水量」が小さくなります。

川から用水路に通したり、貯水池にためたり、工場や農業で使うことで、勢いは弱くなります。

# 1. 電気はどのように送られる



電気の使い方、これらの課題は解決できるのでは！！

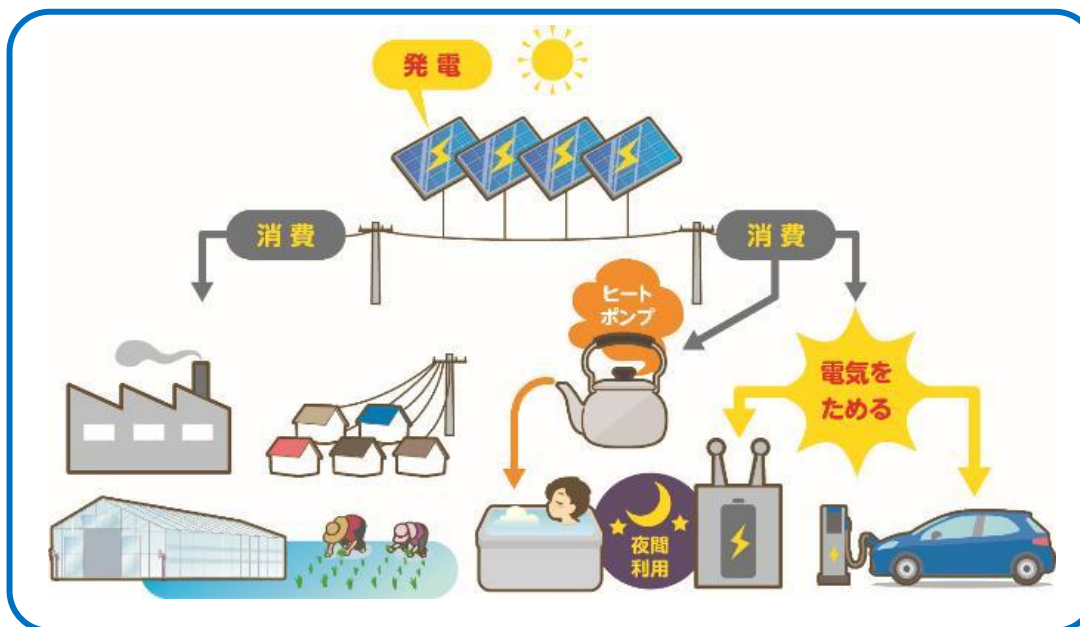
本日は身近な電力系統の内容が中心 → 大きな電力系統の安定性にも貢献

## 1. 街全体でのエネルギーの使い方

→ エネルギーマネジメントによるスマートコミュニティの運営

## 2. 工場などたくさん電気を使用する箇所でのエネルギーマネジメント

日中に多くの電気を使う工場や農業で、太陽光発電を役立てるんだね。

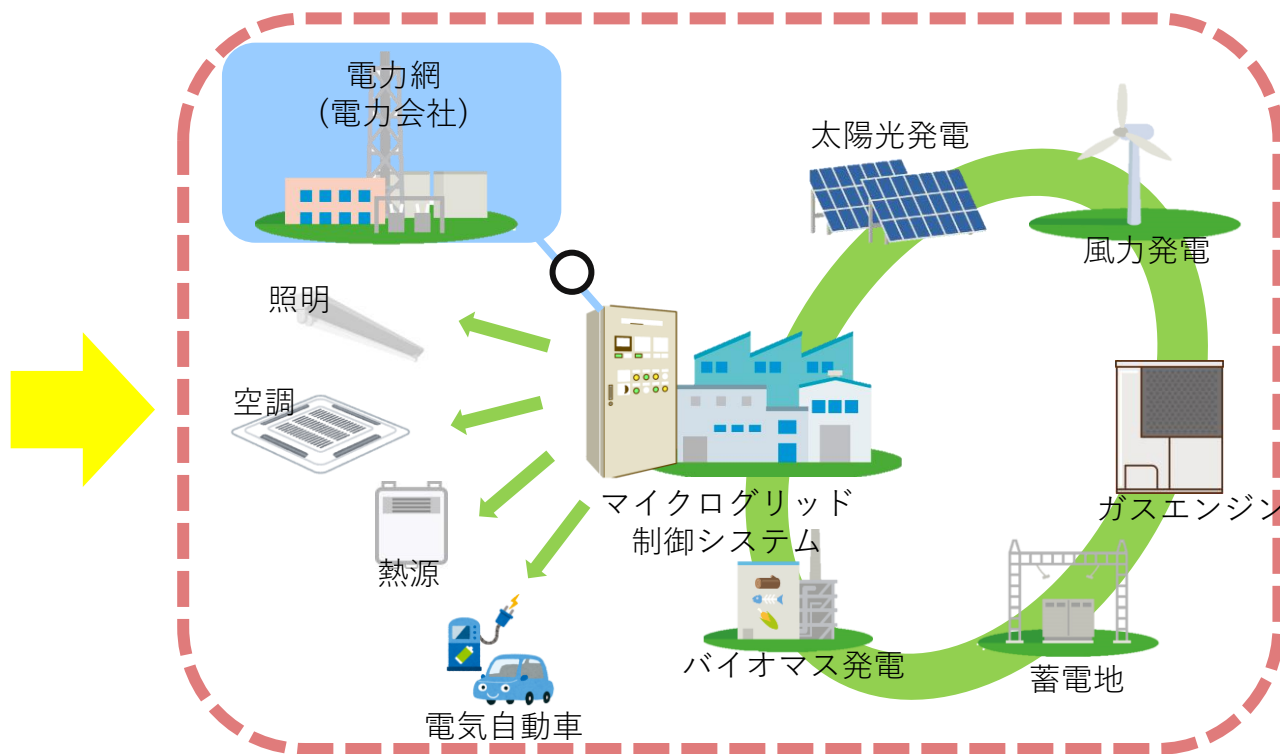


ヒートポンプは昼に作ったお湯を夜に使ったり、電気をためて後から使ったりできるんだね。



### マイクログリッドの概念図

- ・大規模電源から独立
- ・エネルギーの地産地消
- ・レジリエンス向上  
→災害へに対応強化



### ○エネルギー省 (DOE) Microgrid Exchange Group <sup>1)</sup>

- ・定義された電氣的境界内で負荷と分散エネルギー源が相互接続されたグループ
- ・電力系統に対して、独自で制御可能な集合体として機能
- ・電力系統と連系接続および切り離れた状態 (自立) の両方で動作可能

出典:1) <https://building-microgrid.lbl.gov/microgrid-definitions>

### ○国際大電力システム会議（CIGRÉ）<sup>1)</sup>

C6.22 ワーキンググループ、マイクログリッドロードマップ

- 負荷と分散型エネルギーリソース（分散型発電機、蓄エネデバイス、制御可能な負荷など）を含む配電システム
- 主たる電力系統ネットワークに接続、若しくは切離した状態、いずれも制御・調整された方法で運用可能

### ○Senate Bill (SB) 1339<sup>2)</sup>

- 負荷とエネルギー源の相互接続システム
- 分散エネルギー源、蓄エネ、需要応答手段、その他の管理、予測、分析ツールが含まれる
- 単一で制御可能な集合体として機能し、電力系統に連系、解列、または並行して運転できる

出典：1)分散型エネルギーシステムの最新動向と導入事例

出典:2) カリフォルニア州上院法案第1339号SB1339 (09/19/2018)

2003 ~ 2007

2018 ~

## 都市を対象

### ○三地域のマイクログリッド実証

- ・愛知プロジェクト
- ・京都プロジェクト
- ・八戸プロジェクト

### ○仙台マイクログリッド

## 地域を対象

### ○地域マイクログリッド

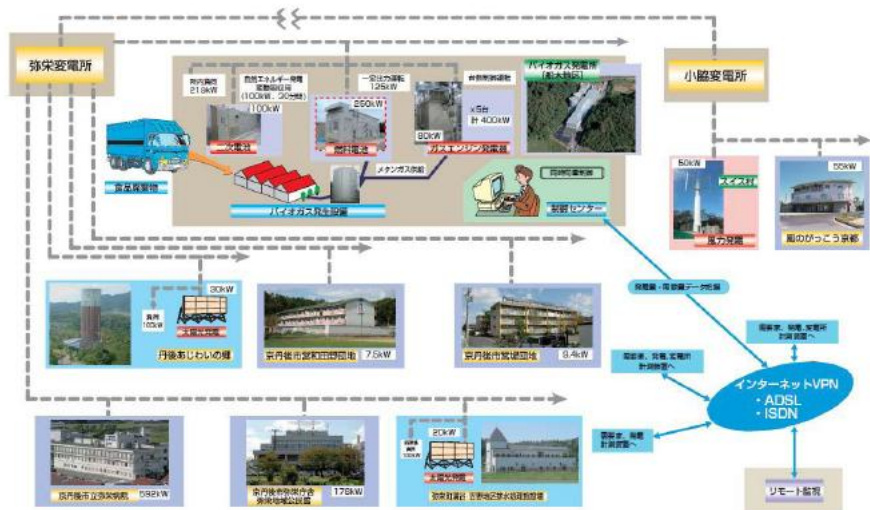
- PVなどの再エネや蓄電池が  
中心に災害時の電力供給
- ・沖縄県宮古島
  - ・千葉県いすみ市

甚大な自然災害  
の増加



## 京都エコエネルギープロジェクト

- 電力会社の既設の電力システムを使用した仮想マイクログリッド上において、太陽光発電、風力発電の出力変動分を、バイオガス発電（ガスエンジンと燃料電池）及び二次電池により補う電力需給バランス制御技術の開発・実証
- 自立運転試験や設備拡張による影響度解析が可能な仮想マイクログリッドシミュレーションの開発
- 日本のどの地域でも利用可能な、一般回線を利用したデータ転送システムにより、電力需要量にあわせて供給が可能なシステム（同時同量システム）を構築



出典：NEDO、「京都エコエネルギープロジェクト 平成15年度～平成19年度成果報告書」



出典：NEDO、「京都エコエネルギープロジェクト 平成15年度～平成19年度成果報告書」

## 2. マイクログリッドについて

### ○仙台マイクログリッドの実例

2011.3.11で電力を供給し続けた仙台マイクログリッド

→2004年度から4カ年実施実証試験を行い、その後、展開

#### The Sendai Microgrid

米国エネルギー省ローレンスバークレー研究所WEB 紹介文和訳  
(一部意訳)

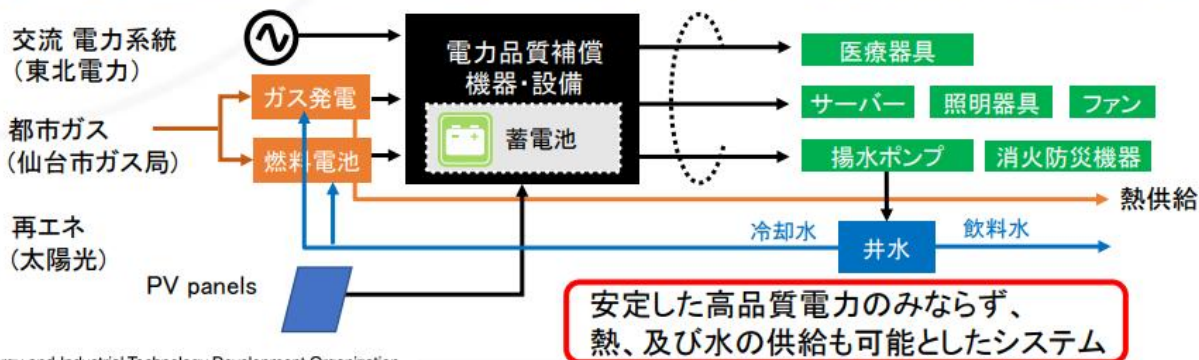


- 恐らく、この地球上で最も有名なマイクログリッドのデモンストレーションである仙台マイクログリッドプロジェクトは、2005年～2008年の時期に日本国内で実施された4つの主要なNEDO実証の1つであり、現在も完全に機能している。
- 既に、大成功を収めたが、2011年の大震災時、優れた機能を発揮し、このプロジェクトはマイクログリッドの分野で世界最高の地位を確立した。
- 数時間のサービス損失の後、エンジン発電機が再始動し、マイクログリッドは、2日間の停電の間、キャンパスが位置する東北福祉大学の教育・病院に電力と熱の両方を供給した。
- エネルギーセンターには、350 kWの天然ガスを燃料とする2式の発電設備、50 kWのPVパネル、および若干量の蓄電池が設置されている。
- このプロジェクトのもう1つの注目すべき機能は、さまざまな回路で供給される6つの異なるレベルの電力品質である。
- その1つは、制御室に給電する直流回路である。ここでは、制御システム機器を含む直流負荷装置があり、外乱(停電等の事故)の影響を防いでいる。

出典：分散型エネルギーシステムの最新動向と導入事例

## ○仙台マイクログリッドの実例

品質別電力供給システム(実証期間 2005~2008年)  
仙台マイクログリッドの概要



New Energy and Industrial Technology Development Organization

出典：分散型エネルギーシステムの最新動向と導入事例

## ○仙台マイクログリッドの実例

### 震災時のシステム運用状況

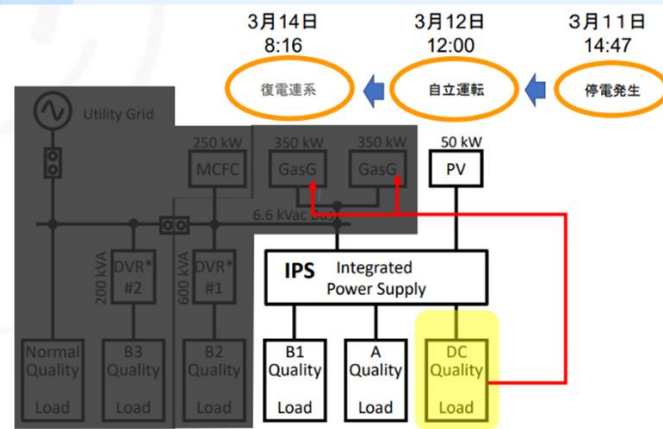


- ・直流・高品質A、B1系統は、蓄電池とPVの組み合わせにより、停電中でも無瞬断で高品質電力の供給を継続した。
- ・GE手動起動後は、コジェネ発電にて、電気と熱を停電中約43時間供給した。

項目	3/11	3/12	3/13	3/14
商用系統	▼14:47:10 電圧変動発生 ⇒ 商用停電	▼8:16:43 商用復電		
GE	▼解列停止	▼12時頃 GE始動(自立運転開始)	商用連系	
直流	蓄電池放電	GEからの供給		
高品質A	▼02:06 手動停止	蓄電池 停電	GEからの供給	
高品質B1	▼02:06 手動停止	蓄電池 停電	GEからの供給	
高品質B3	▼14時頃 バイパスにて給電開始(お客様要望)		停電	

New Energy and Industrial Technology Development Organization

### 3.1.1 震災後の運転状況



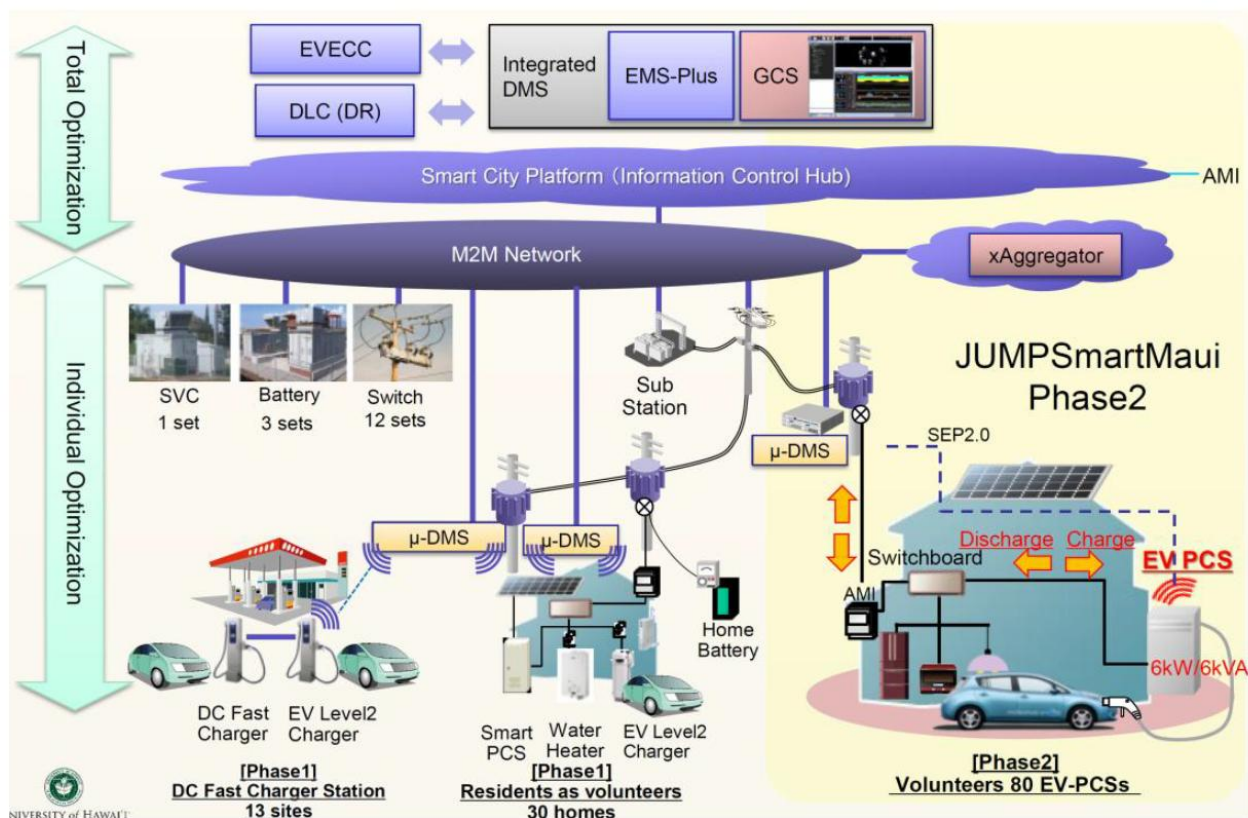
なお、2011年4月7日余震を受け、再度東北エリアで広域停電が発生したが、無事自立運転に切替り、異常はなかった。  
New Energy and Industrial Technology Development Organization

出典：分散型エネルギーシステムの最新動向と導入事例

## 2. マイクログリッドについて

### ハワイ州マウイ島における日米スマートグリッド実証の目的

- 風力・太陽光に応じたEV充電
- 化石燃料依存からの脱却
- 再生可能エネルギーの出力変動吸収のコストの緩和



出典： NEDO:ケーススタディ：ハワイ州マウイ島における日米スマートグリッド実証100864935.pdf (nedo.go.jp)

## ○地域マイクログリッドの定義

「平常時は下位システムの潮流を把握し、災害等による大規模停電時には自立して電力を供給できるエネルギーシステム」

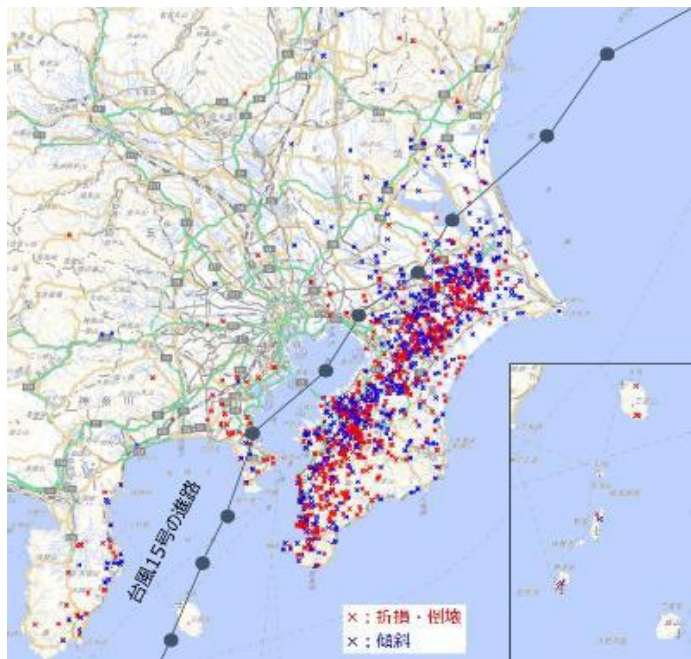


出典：地域マイクログリッドの手引き

#### ○地域マイクログリッドが注目される背景

- 2019年台風15号により電力設備が甚大な被害を被る
- 鉄塔の倒壊や電柱の折損など、復旧に時間を要する甚大な被害

**災害時においてもエネルギーの供給は不可欠**

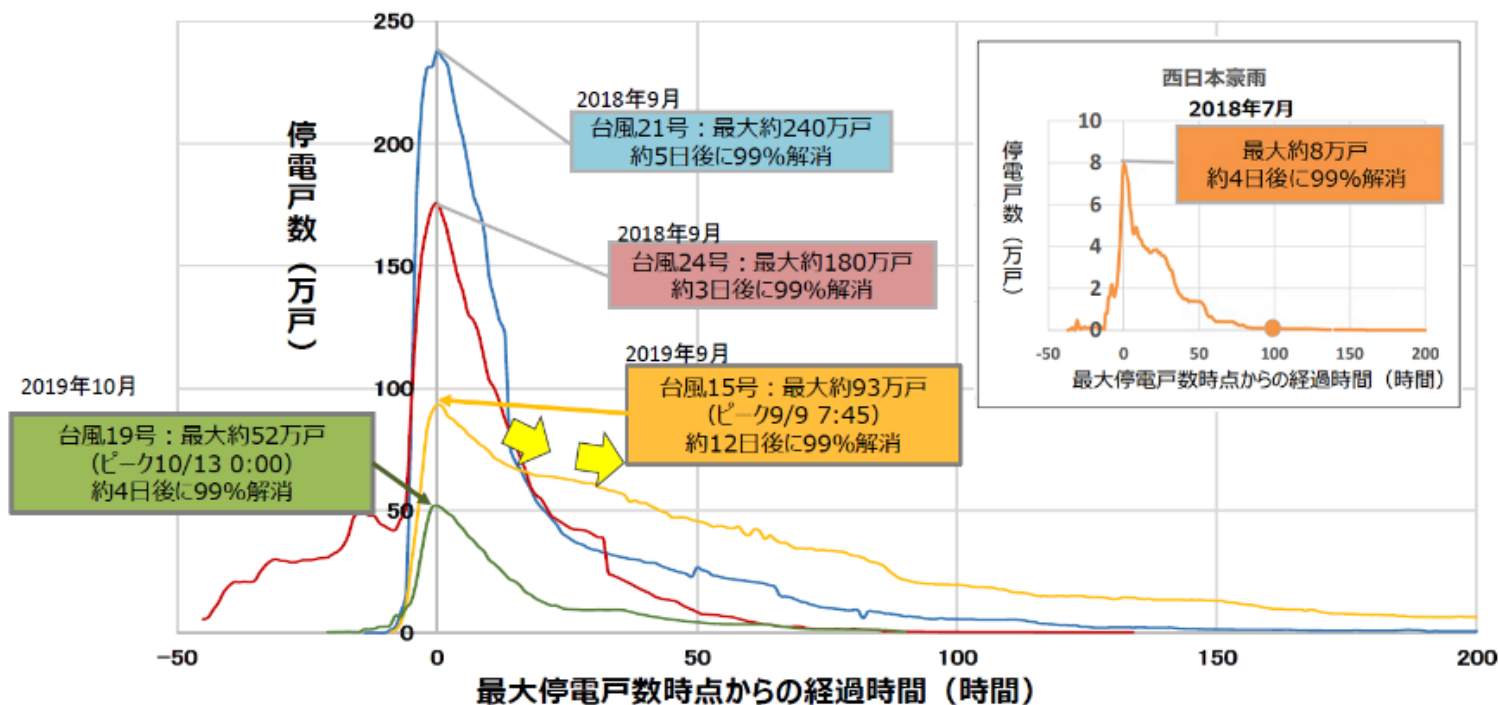


出典： <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/typhoon.html>

## ○地域マイクログリッドが注目される背景

- 災害の甚大化により、大規模な停電が長時間継続
- 電気は生活に欠かせない重要なインフラとなっている

→早期復旧が期待しており、地域マイクログリッドが注目



出典：<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/typhoon.html>

## ○地域マイクログリッドの構成

### 分散型エネルギー

比較的小規模で、かつ様々な地域に分散しているエネルギーの総称、従来の大規模・集中型エネルギーに対する相対的な概念



図2.1 分散型エネルギーを構成する設備形態

(引用：総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会（第6回会合） 資料1）

### 分散型エネルギーシステム

地域に存在する再生可能エネルギーや未利用熱を一定規模のエリアで面的に利用するようなシステム

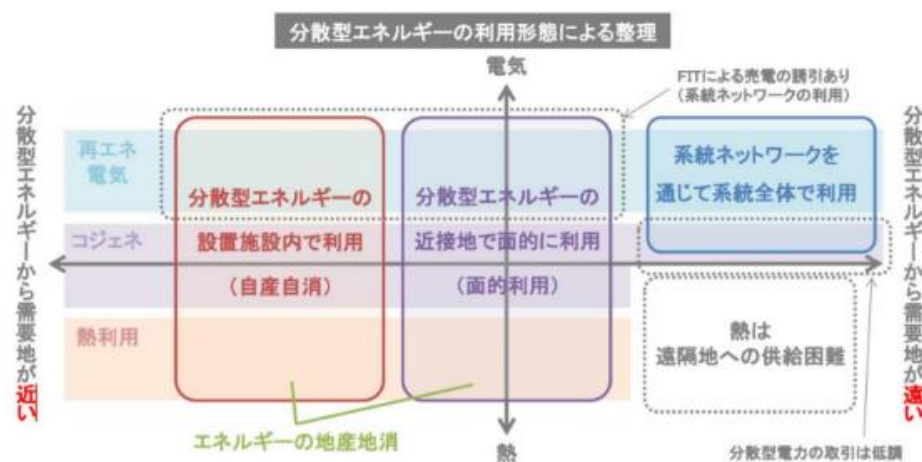


図2.2 分散型エネルギーの利用形態

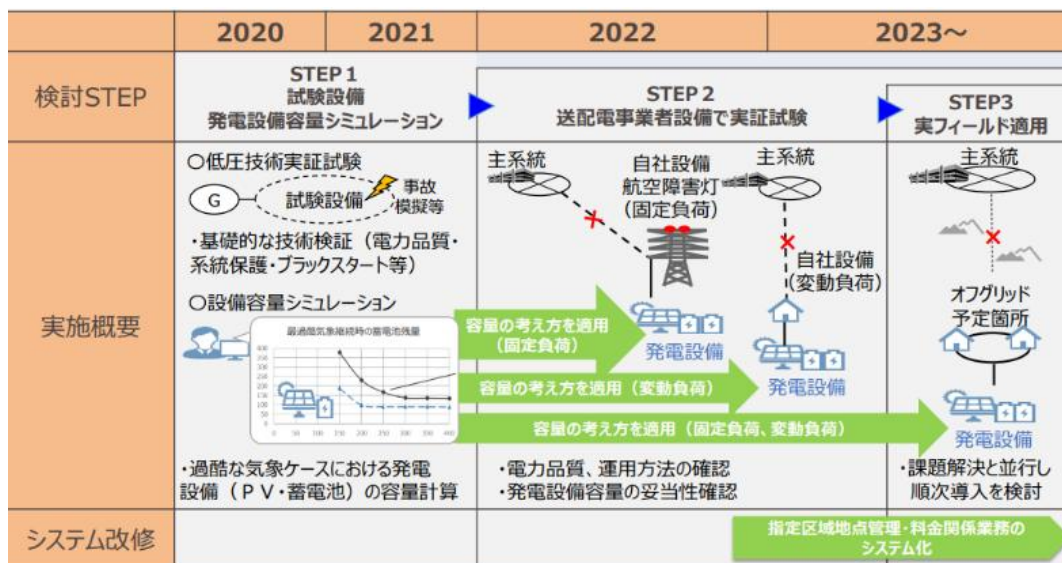
(引用：総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会（第6回会合） 資料1）

出典：地域マイクログリッドの手引き

### 3. 地域マイクログリッドについて

#### ○関西電力送配電

- 経済性の向上・災害時のレジリエンス強化に向けて、システムのオフグリッド化に必要な技術実証・容量シミュレーションを行いながら、自社設備での実証試験を進め、各課題の解決を推進
- 課題解決に向けた実証試験と並行して、適用可能な実フィールドの選定・導入検討を推進

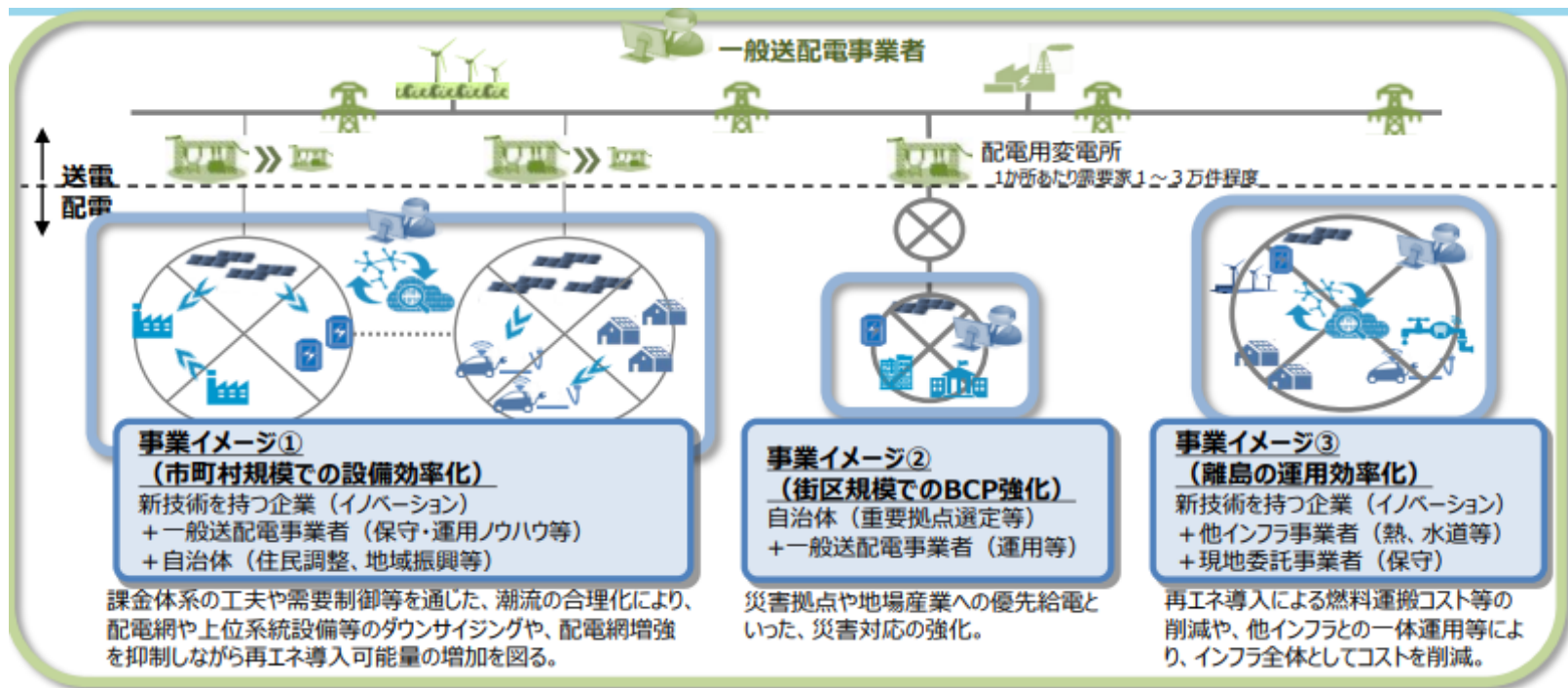


出典：ネットワークの次世代化に向けた取組と課題 関西電力送配電株式会社 2022年4月12日



## ○配電ライセンス制→配電線を借りて電力系統を運用

- 特定の区域において、一般送配電事業者の送配電網を活用し、新たな事業者がAI・IoT等の技術も活用しながら、自ら面的な運用を行うニーズが高まっているため、安定供給が確保できることを前提に、配電事業者を電気事業法上に新たに位置付け
- 新規事業者によるAI・IoT等の技術を活用した運用・管理が進展する事を期待  
⇒設備のダウンサイジングやメンテナンスコストの削減



出典：配電事業ライセンスについて

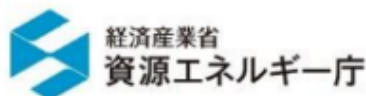
## ○地域マイクログリッドの手引き

地域マイクログリッド構築に必要な事項が整理されている手引き

# 地域マイクログリッド 構築のてびき [タイトルなし]

地域マイクログリッドの導入を検討している事業者（地方公共団体、電力会社（一般送配電事業者）、エネルギーマネジメント事業者等）、地域マイクログリッド構築への参加を検討している事業者（発電設備の所有者、地域の需要家等）

2021年4月16日



## 目次

1. 本資料について	.....	7
1.1 本資料が作成された背景	.....	7
1.2 本資料の対象者	.....	7
1.3 本資料の構成	.....	7
1.4 地域マイクログリッド構築に向けたステークホルダーと検討事項	.....	8
2. 分散型エネルギーの概要	.....	10
2.1 分散型エネルギーとは	.....	10
2.2 分散型エネルギーへのシフトが求められる理由	.....	11
2.3 地域マイクログリッドとは	.....	12
2.3.1 非都市部における地域マイクログリッドの典型モデル	.....	13
2.3.1.1 郊外・半島部・山間部等における地域マイクログリッドの典型モデル	.....	13
2.3.1.2 離島全域における地域マイクログリッドの典型モデル	.....	14
2.3.2 都市部における地域マイクログリッドの典型モデル	.....	15
2.3.3 各典型モデルの地域・地勢の特徴	.....	16
2.4 地域マイクログリッドのコンセプトを実現している事例 <small>[タイトルなし]</small>	.....	17
3. 地域マイクログリッドの構築に向けた課題	.....	19
4. 地域マイクログリッド構築に向けた全体の流れ	.....	21
5. 事前の全体構想検討	.....	23
5.1 事前検討の概要	.....	24
5.1.1 ①地域MGの必要性・目的の検討	.....	24
5.1.2 ②地域MGの概要検討	.....	24

出典：地域マイクログリッドの手引き

## ○電気設備の技術基準解釈への反映→地域独立系統に関する記載

改正後	改正前
<p>(第十六号に定める主電源設備及び第十七号に定める従属電源設備を除く。)</p> <p>二 分散型電源 電気事業法(昭和39年法律第170号)第38条第3項第一号、第三号又は第五号に掲げる事業を営む者以外の者が設置する発電設備等であって、一般送配電事業者若しくは配電事業者が運用する電力系統又は第十四号に定める地域独立系統に連系するもの</p> <p>三～十三 (略)</p> <p>十四 <u>地域独立系統</u> 災害等による長期停電時に、隣接する一般送配電事業者、配電事業者又は特定送配電事業者が運用する電力系統から切り離れた電力系統であって、その系統に連系している発電設備等並びに第十六号に定める主電源設備及び第十七号に定める従属電源設備で電気を供給することにより運用されるもの</p> <p>十五 <u>地域独立系統運用者</u> <u>地域独立系統</u>の電気の需給の調整を行う者</p> <p>十六 <u>主電源設備</u> <u>地域独立系統</u>の電圧及び周波数を維持する目的で<u>地域独立系統運用者</u>が運用する発電設備又は電力貯蔵装置</p> <p>十七 <u>従属電源設備</u> <u>主電源設備</u>の電気の供給を補う目的で<u>地域独立系統運用者</u>が運用する発電設備又は電力貯蔵装置</p> <p>十八 <u>地域独立運転</u> <u>主電源設備</u>のみが、又は<u>主電源設備</u>及び<u>従属電源設備</u>が<u>地域独立系統</u>の電源となり当該系統にのみ電気を供給している状態</p> <p>【限流リアクトル等の施設】(省令第4条、第20条) 第222条 分散型電源の連系により、一般送配電事業者又は配電事業者が運用する電力系統の短絡容量が、当該分散型電源設置者以外の者が設置する遮断器の遮断容量又は電線の瞬時許容電流等を上回るおそれがあるときは、分散型電源設置者において、限流リアクトルその他の</p>	<p>二 分散型電源 電気事業法(昭和39年法律第170号)第38条第3項第一号又は第四号に掲げる事業を営む者以外の者が設置する発電設備等であって、一般送配電事業者が運用する電力系統に連系するもの</p> <p>三～十三 (略)</p> <p>(新設)</p> <p>(新設)</p> <p>(新設)</p> <p>(新設)</p> <p>【限流リアクトル等の施設】(省令第4条、第20条) 第222条 分散型電源の連系により、一般送配電事業者が運用する電力系統の短絡容量が、当該分散型電源設置者以外の者が設置する遮断器の遮断容量又は電線の瞬時許容電流等を上回るおそれがあるときは、分散型電源設置者において、限流リアクトルその他の短絡電流を制限</p>

出典：METI 電気設備の技術基準の解釈の一部改正について20220331-2.pdf (meti.go.jp)

## ○系統連系規程への反映

キーワード：地域独立系統に関する記載あり→一部抜粋

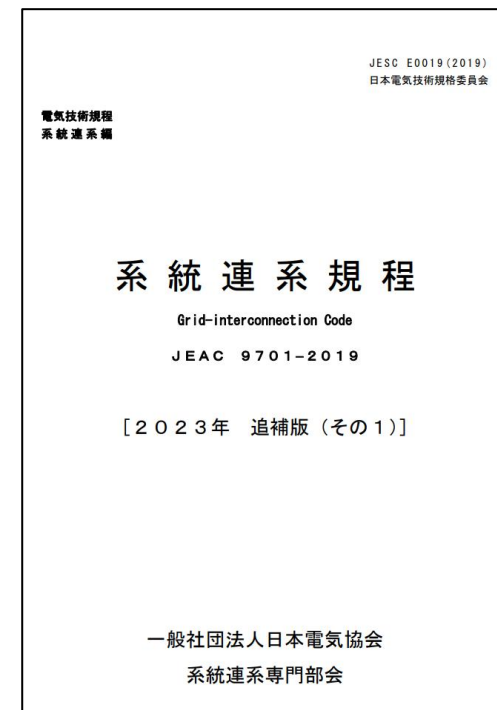
(改定の趣旨、目的及び内容)

< 電気設備の技術基準の解釈の改正（**地域独立系統**など）に伴う技術要件の追加 >

**地域独立系統運用**は、地域のレジリエンス向上のために災害時による長期停電時に、一般送配電事業者又は配電事業者が運用する電力系統から切り離した状態において、この線路内に存在している発電設備又は電力貯蔵装置だけで電力を供給する運用であり、当該運用に関する技術要件について、2022年（令和4年）4月に「電気設備の技術基準の解釈」の改正が行われました。この改正を踏まえ、連系協議の円滑化を目的に「**地域独立系統に関する運用時の基準や留意点**」等の明確化のため、系統連系規程の見直しを行いました。

### 3. 地域独立運転の開始・解除

災害等による長期停電時に、一般送配電事業者又は配電事業者が運用する系統から切り離し**地域独立**運転を開始する場合、または**地域独立**運転を解除し一般送配電事業者又は配電事業者が運用する系統に再接続する場合に、主電源設備及び従属電源設備を運転した状態で無停電切替を行うと、一般送配電事業者又は配電事業者が運用する系統側及び**地域独立**系統側で擾乱が生じ、連系する発電等設備の不要解列を招いたり、負荷設備に影響を及ぼすおそれがあるため、**地域独立**運転の開始又は解除は、主電源設備及び従属電源設備、が停止又は解列し地域独立系統が停電した後で行うものとする。



出典：一般社団法人日本電気協会 系統連系専門部会 系統連系規程 2023追補版（その1）  
<[4D6963726F736F667420576F7264202D208C6E939D98418C6E8B4B92F6816D32303233944E92C795E294C5816982BB82CC8250816A5D303531376669782E646F6378](https://www.denki.or.jp/4D6963726F736F667420576F7264202D208C6E939D98418C6E8B4B92F6816D32303233944E92C795E294C5816982BB82CC8250816A5D303531376669782E646F6378)> (denki.or.jp)

## 京セラ株式会社等（神奈川県小田原市）

- 災害等による大規模停電時に、小田原いこいの森/わんぱくらんど（避難所）の施設に電力供給を行うため、太陽光発電や蓄電池等を導入。
- 小田原市、京セラ、東京電力パワーグリッドにおいて協定締結に向けて協議中。「地域マイクログリッド」発動・復帰時の手順や役割、責任分担を定める予定。
- 2022年春頃を目標に「地域マイクログリッド」の発動訓練を計画中。

## 株式会社ネクステムズ等（沖縄県宮古島市）

- 災害等による大規模停電時に、宮古島市来間島において太陽光発電、蓄電池等を活用して、指定避難所及び住宅に電力供給を行う。
- 沖縄電力、宮古島市とコンソーシアムを締結し、それぞれの役割分担を明記（「ネクステムズ」は設備の設置及び維持管理、「沖縄電力」は発動及び運用、「宮古島市」は構築に向けた需要家への説明及び指定避難所の運営）。



出典：[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/energy\\_resource/pdf/017\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/energy_resource/pdf/017_04_00.pdf)



## 4. 国内事例

### ○事例紹介（自営線）

#### ○むつざわウェルネスタウン （千葉県睦沢町）

CHIBAむつざわエナジー(株)は、天然ガスコジェネ及び太陽光、系統からの電力を組み合わせ、道の駅及び各住宅に**自営線で電力供給**。

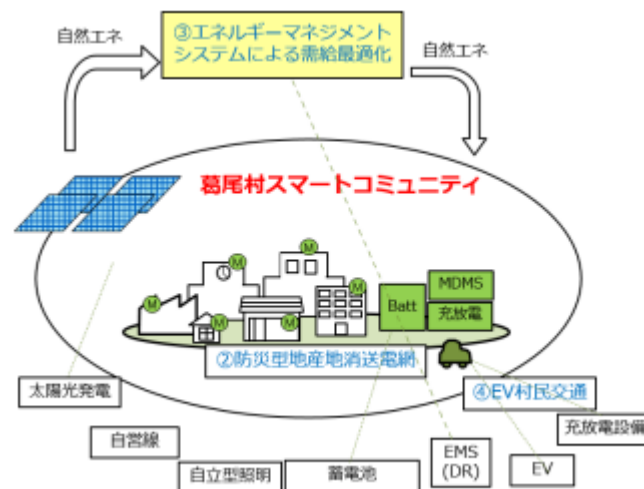
2019年台風15号による大規模停電時においても、**再エネと調整力（コジェネ）を組み合わせ、道の駅及び各住宅に対して電力供給を実施**



#### ○葛尾村スマートコミュニティ （福島県葛尾村）

葛尾創生電力（株）が特定送配電事業者として、太陽光発電と大型蓄電池により、需要家に**自営線で電力を供給**。

**地域資源を活用したエネルギーの創出と災害時のエネルギー確保**などにより、地域の雇用創出・魅力向上・ブランディングの実現や防災力を強化するスマートコミュニティを構築



出典：配電事業ライセンスについて

## ○葛尾村スマートコミュニティへの産総研による技術支援

- ◆小売電気事業を通じ、地域新電力の事業の運営ノウハウが蓄積された。
- ◆昨今の卸電力価格の上昇により、自家発電比率を高める上で太陽光発電の稼働率向上が重要であり、エネルギー管理システム(CEMS)の果たす役割が大きい。
- ◆山間地域のローカルグリッドには一般送配電事業者との保護協調の整合性が特に重要。ローカルグリッドの上位(一般送配電事業者)の異常が下位(需要家)に波及しないようにするため、より高度な保護協調の検討が必要であることが分かった。



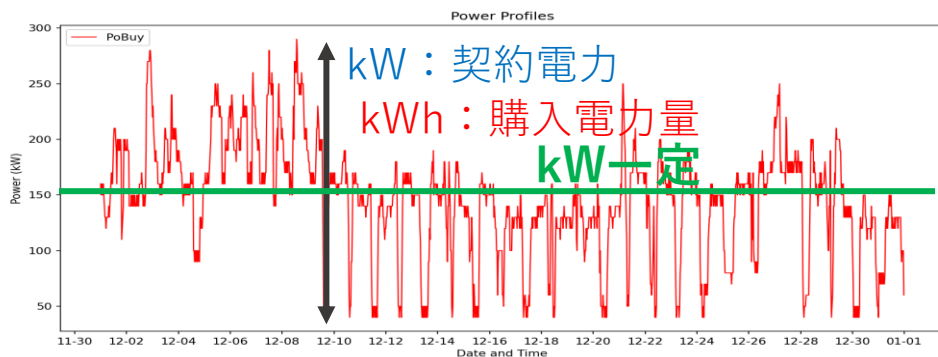
葛尾村スマートコミュニティの実証の成果を汎用的知見として共有し、ローカルグリッドの普及を促進  
R4で特に重点化するテーマ：一般送配電事業者とローカルグリッドの保護協調の設計と対策

出典：産総研 被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業

## 【問】：マイクログリッド構成機器により、**収益を改善？**

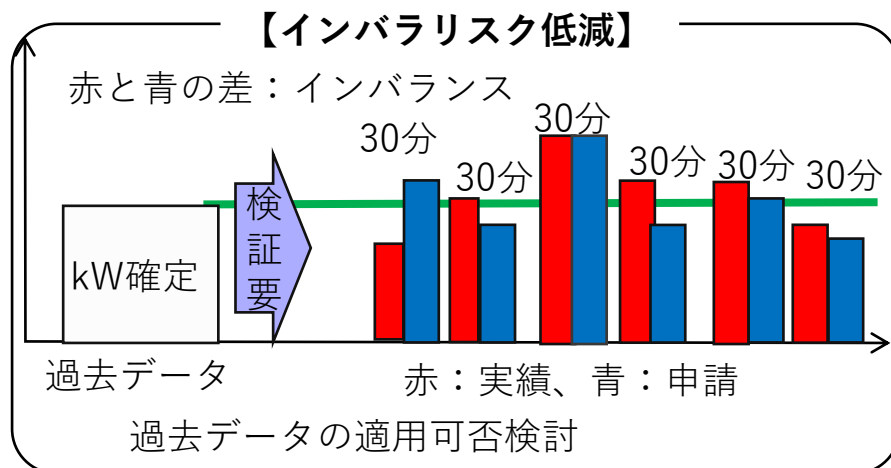
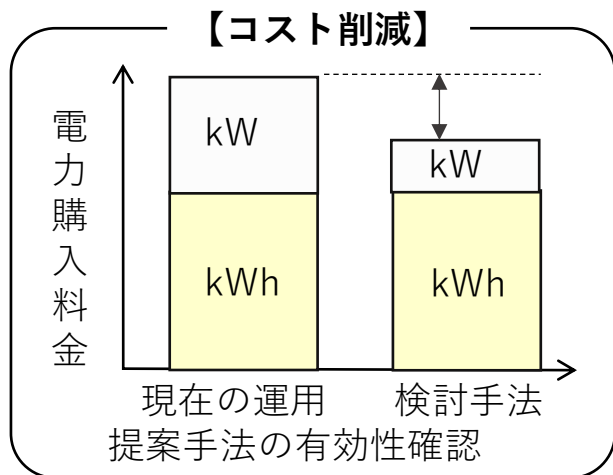
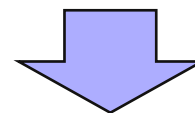
○収益 = 電気料金収入 - (①電力購入費 (契約電力「kW」 + 購入電力「kWh」) + 人件費など)

○運用効率 → ②事前に30分毎の電力購入量の申請が必要 (インバランリスク回避)  
→ 予測技術の必要性



提案手法 →

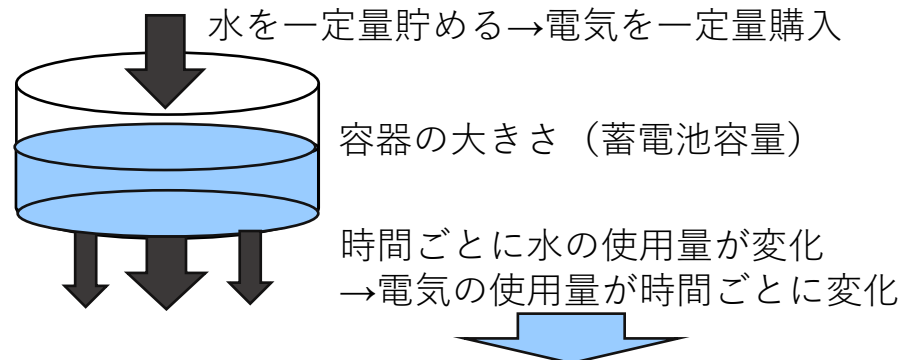
- kW最小化
- kW一定化：インバラン回避



(参考文献) 児玉安広, 大谷謙仁, 植村篤: 予測技術を活用したデマンド算出方法の検討、6-176 2024年電気学会全国大会

# 5. マイクログリッドの技術課題

【解】：蓄電池を用いた  
kW最小化を検討



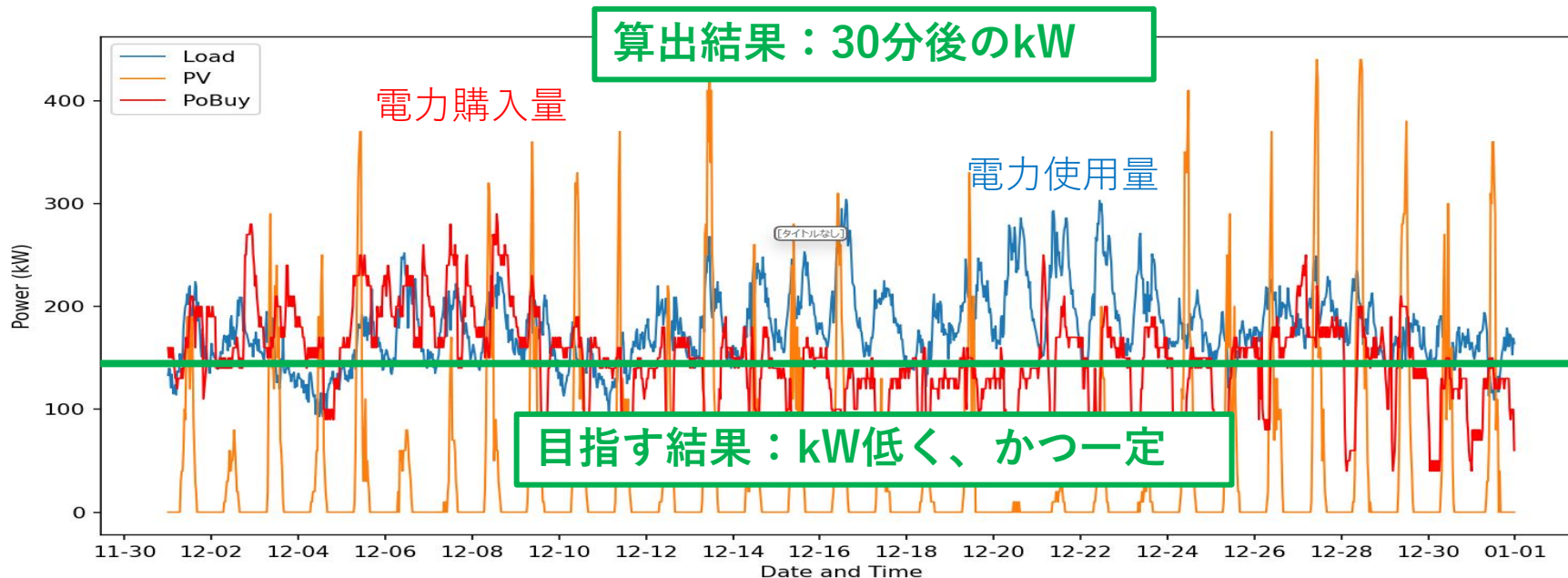
【目的関数】：線形計画法で算出

$$\min \rightarrow kW_{max} \dots (1)$$

【制約条件】

- 等式条件：需給バランス、充電量
- 不等式条件：蓄電池の上下限 (max:90%,min:10%)、太陽光の発電量など

- 電気使用量多：蓄電池にたまっている電気を放電
- 電気使用量少：蓄電池に電気を充電



【結果】：実際の電気購入量（黒線） > 最小化から算出した結果（緑：正解値）

【予測】：小売りから電力購入を想定（何日か前に購入電力量の申請要）

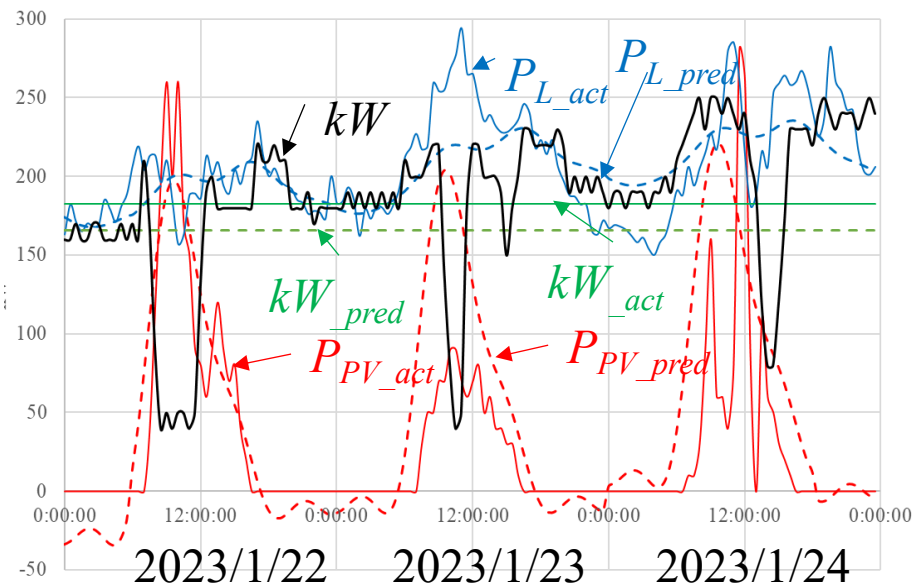
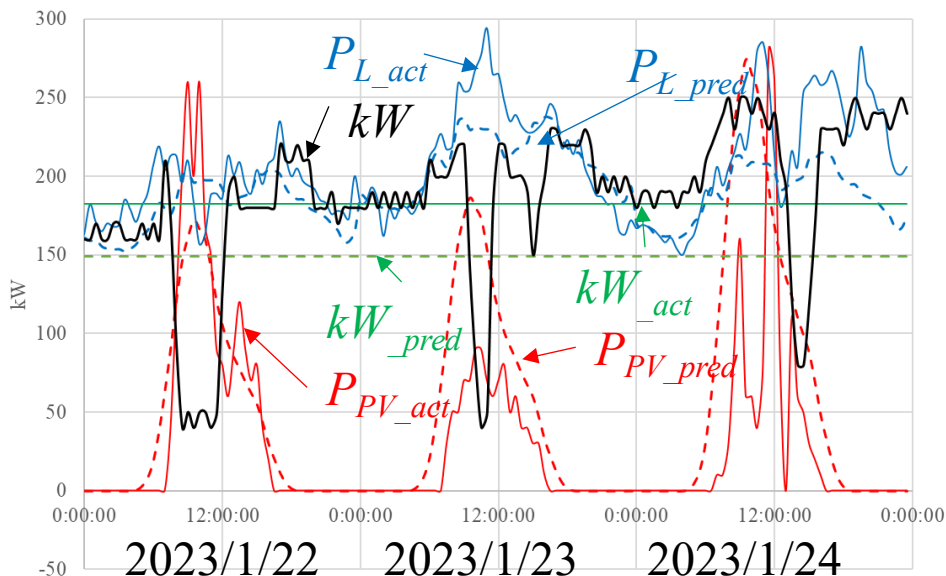
正解値の緑実線に対し予測から求めた電力購入量が小→不足が発生

○予測手法：Neural Network

- $P_{DG}$ は一定値となる
- 必要kWを予測が下回る結果

○予測手法：Prophet

- $P_{DG}$ は一定値となる
- 必要kWを予測が下回る結果



(参考文献) 児玉安広, 大谷謙仁, 植村篤: 予測技術を活用したデマンド算出方法の検討、6-176 2024年電気学会全国大会

- 災害時の電力供給を目的に地域マイクログリッドの構築が進んでいる
- 日本国内において、複数の地域マイクログリッドが検討されている
- 今後は、地域マイクログリッドをより現実的なものにするために価値を生み出すための技術開発が必要

### (謝辞)

本講演の一部は、福島国際研究教育機構(F-REI)の委託研究費 (JPFR24070104) により実施した内容を含む。