

第一部 講演3



# 『再エネ導入による電力系統の諸問題に対する 技術的寄与』

横山 明彦

(東京大学名誉教授, 日本学術会議非会員, 電気学会 元会長)

## 本日の話題提供内容

- 再エネ大量導入における電力システムの運用・制御における課題
- 今後の技術的対応
  - ローカルフレキシビリティの活用
  - デジタル技術の活用
- 個別技術開発項目
  - 多用途多端子自励式HVDC送電
  - 日本版コネクト&マネージにおける基幹系統安定化
  - VPP
  - マイクログリッド
  - EV
  - スマートインバーター

# 1. 需給の時間的ミスマッチ (短時間: 数秒~20分周期)

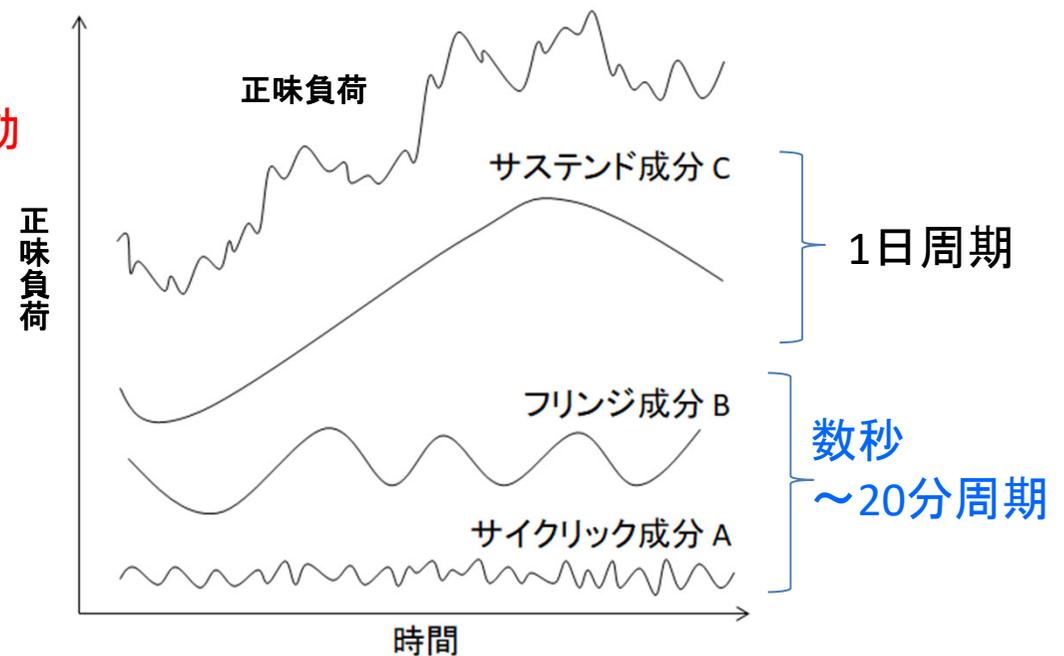
需給 : 電力の需要量(kW)と供給量(kW)

➤ 需給アンバランス分 ⇔ 周波数変動

➤ 短周期の需給アンバランス分を蓄電池などで補償することが必要 (調整力)

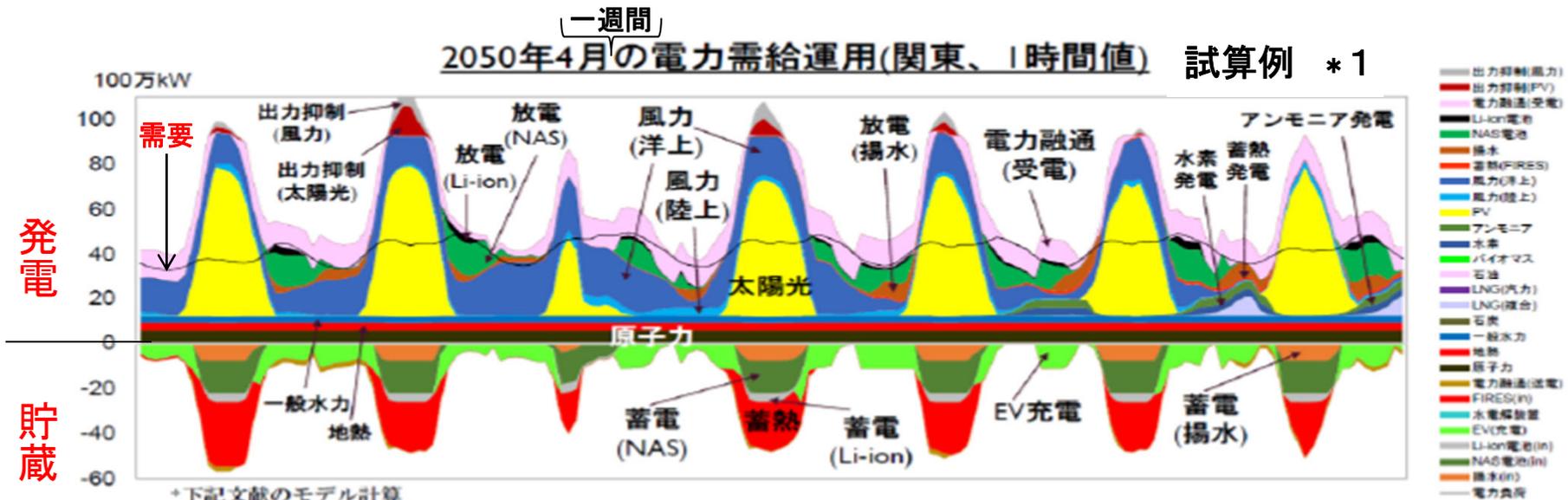
## ● 再エネ大量導入

→ フリンジ、サイクリック成分の増大  
調整電源の火力発電が減少、  
需給バランス維持の困難化、  
調整力の対応強化が必要



## 2. 需給の時間的ミスマッチ (長時間: 日間、週間、月間)

- 昼間の再エネ余剰電力を蓄エネ, 水素製造で吸収し他の時間帯にシフト必要
  - 再エネ大量導入→需給バランス維持の困難化、余剰電力時の対応強化が必要
  - 限界費用の安い電力を活用する産業創出  
(電力貯蔵、水素、合成燃料製造、メタネーション等)



+下記文献のモデル計算  
(文献)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

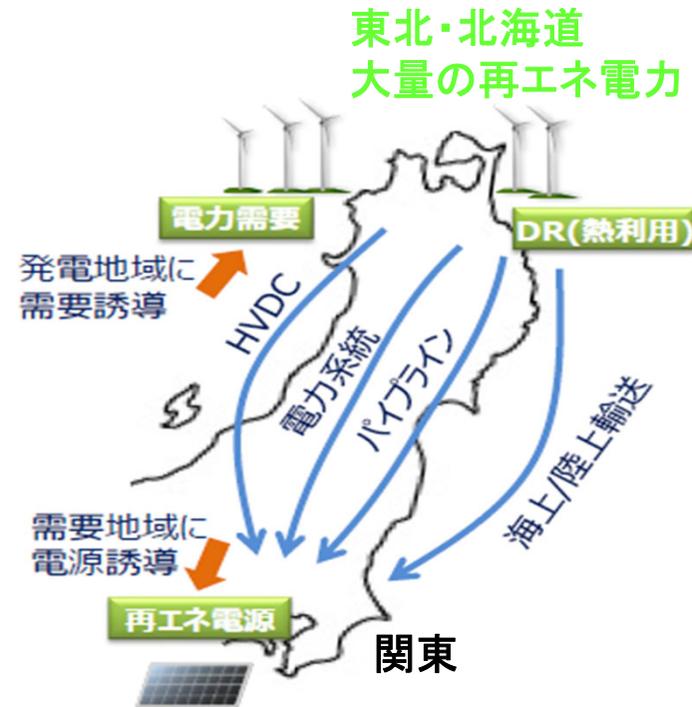
\*1 東大 藤井・小宮山研究室で開発されたモデルを使用

### 3. 需給の空間的ミスマッチ

➤ 再エネ余剰電力を貯蔵して夜間に送電, 水素インフラで需要地に輸送する仕組みが必要

- 再エネ電力を送電網を最大限に活用して需要地に送り, 余剰電力を蓄電・水素で吸収
- 水素・新燃料を需要地へ送る流通網の構築・整備が必要。

課題項目	内容
輸送能力	電力系統の送電限界向上, 運輸による輸送力確保, 広域パイプライン整備など
電源立地	需要近くへの再エネ電源立地による広域融通混雑緩和
需要誘導	電源近くに新規需要誘導・移設, デマンドレスポンス容量確保

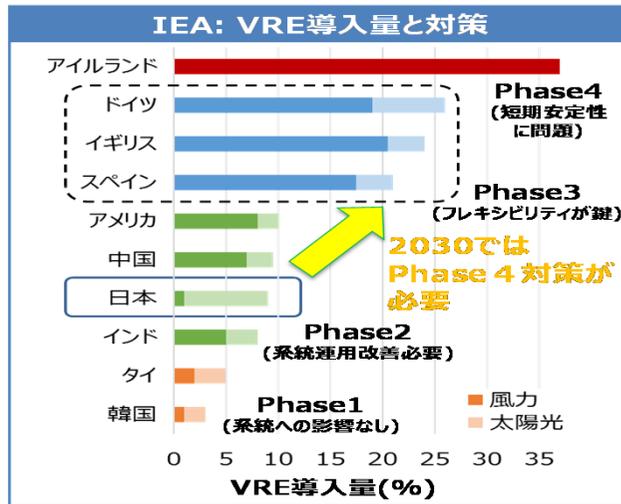
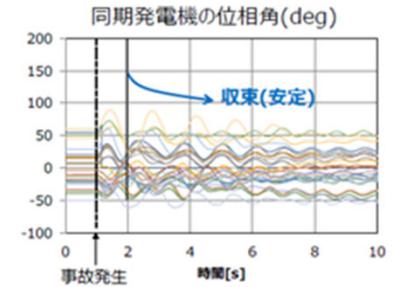
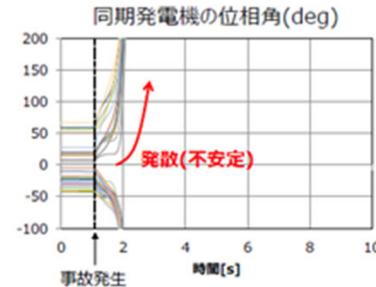


# 4. 系統安定性の悪化

大量の再生可能エネルギー

需給ミスマッチの増大、慣性力の低下  
による系統計画、運用、制御への影響増大

供給信頼性 系統安定性 (いわゆる供給安定性)の悪化



対策技術		Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.4
技術	リアルタイム監視制御				
	送電容量の拡大				
	柔軟な発電出力制御				
	系統安定化システム				
	Advanced VRE				
	非同期電源の連系制限				
	スマートインバータ				
	揚水発電の運用高度化				
	高速周波数応答				
	エネルギーストレージ				
経済性	予備力の適切な確保				
	発電予測活用系統運用				
	高速需給計画・運用				
	VRE協調 需給運用				
需給運用の広域連携					

**慣性力:**  
従来型の火力・水力発電所  
(同期電源)で回転している  
タービン、水車、発電機に  
貯蔵されるエネルギー

出典 : IEA "Integrating variable renewables: Implications for energy resilience", Asia Clean Energy Forum 2017

## これから必要な対応

No	想定される課題	対策	内容（機能，効果）
4.	太陽光・風力など慣性の無い再エネの増大による <b>電力系統の不安定化</b>	・再エネ疑似慣性制御や回転型発電機の活用	・再エネ変換器制御による疑似慣性提供 ・廃止回転機の同期調相機化による慣性の供給
2	系統に供給できない再エネからの <b>余剰電力</b> の活用	・水素や新燃料の活用	・余剰電力を再エネ近隣で水素に変換，現地でFCトラック等へ供給し偏在緩和 ・水素利用による受電電力の低減
3	電力系統の広域に渡る <b>電力融通量の限界</b>	・直流(多端子)送電網の増設	・洋上風力等の電力を需要地までHVDCにより長距離大電力送電
3.	<b>再エネ適地と需要地が一致せず</b> ，送電網の増強が必要	・立地誘導	・再エネ電源と需要(水素製造など)を隣接するように誘致
1.	需給アンバランスで周波数変動増大	・蓄電池、EV等のローカルフレキシビリティの活用	・ローカルフレキシビリティ活用の共通プラットフォーム構築

出典：2021年1月18日日立東大ラボWG1発表資料より作成

# ローカルフレキシビリティの活用

ローカルフレキシビリティ： 下位電圧系統から需要家までの事業者以外の蓄電池、分散型電源、EV、可制御負荷などの調整力

蓄エネ設備、系統設備の増強 → 2040年以降急激なコスト増が懸念



配電系統レベルで分散型電源の接続&マネージ

一般送配電事業者がプラットフォームと連携。

配電事業ライセンスを活用し、デジタル技術も活用したVPP出力制御

ローカルフレキシビリティ(調整力)市場による高度な運用



系統側の設備増強を回避しつつ、大量の再生可能エネルギーを効率的に運用

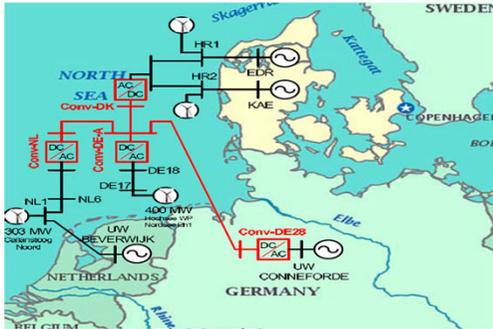
# デジタル技術の活用

- 5G, 6G 大容量のデータを超高速、超低遅延で送受信  
リアルタイムでの仮想空間へのデータ反映、エッジコンピューティング
  - 多数のセンサー、ドローン、ロボット、カメラ監視 → スマートメンテナンス
  - 多数のEV制御 V2G制御

↓  
系統安定化  
効率化、コスト削減

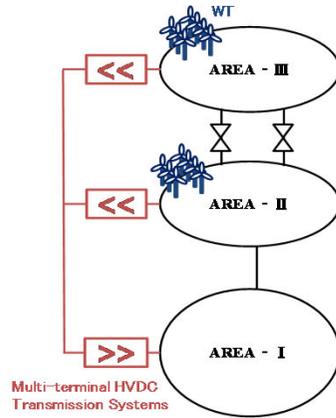
- デジタルツイン
  - 電力システムではデジタルシミュレーション技術でモデル化、実用化。  
すでにデジタルツインを採用しているといっている。
  - 今後の発展形: 超リアルタイムシミュレーション
    - 事故発生後リアルタイムで、系統安定化制御装置のパラメータ整定  
(例えば、再エネ発電所も含めてどこの発電所をどれだけ遮断するか)。  
オンライン安定度判別など。

# 多用途多端子自励式HVDC送電ネットワークの技術開発

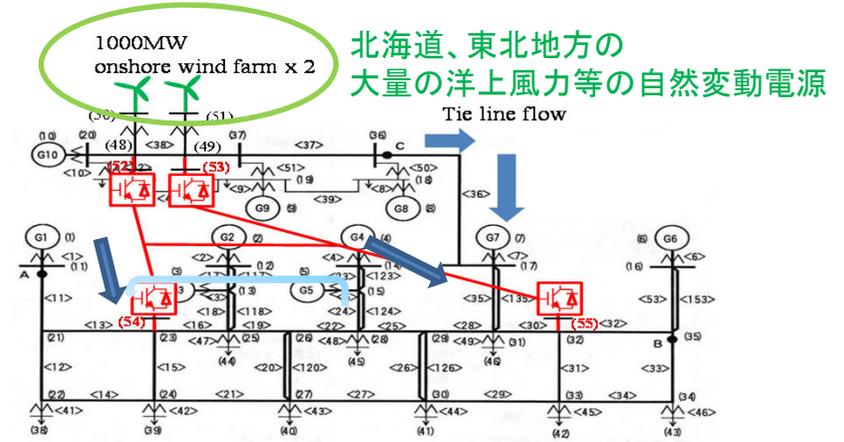


欧州の例

多端子自励式  
HVDC送電システム  
の例



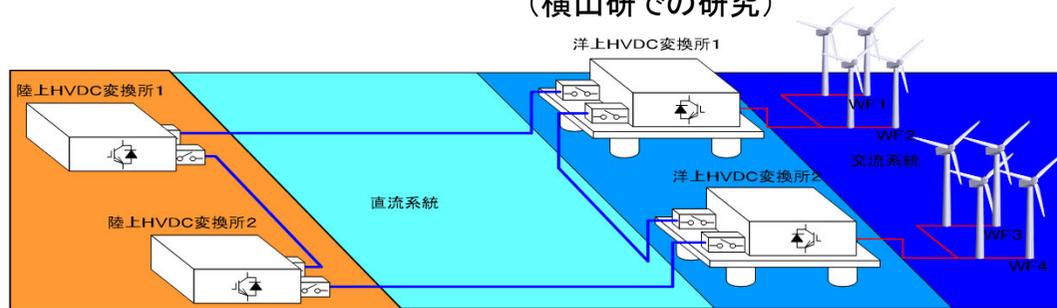
わが国への適用例



(横山研での研究)

NEDO 次世代洋上直流送電  
システム開発事業  
(2015年~2019年)

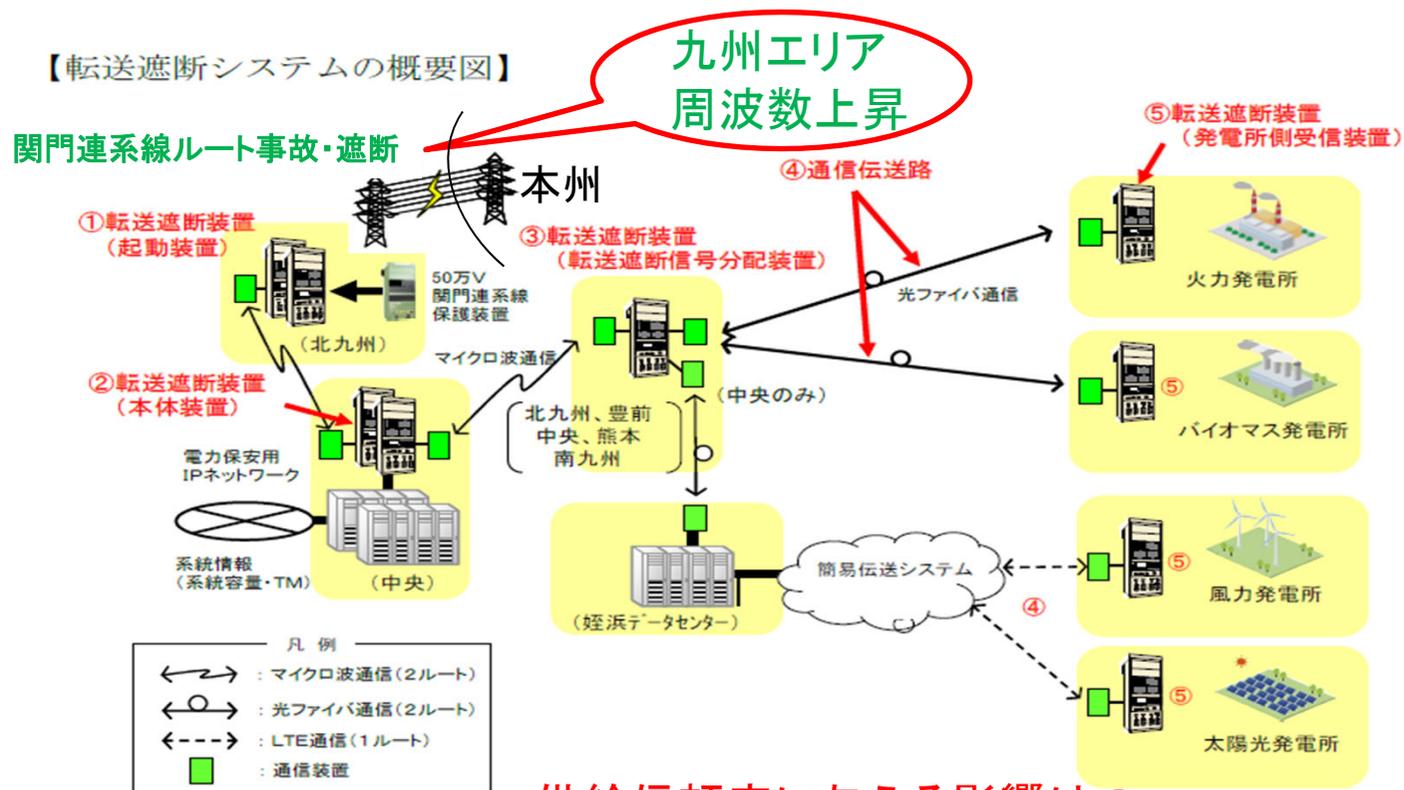
500KV多端子自励式HVDC系統



HVDC系統の有効利用は？

# 日本版コネク&マネージにおける基幹系統安定化

コネク&マネージ : 送電線に接続したい電源をとりあえず接続してから、何かのときには、出力制御などを行う

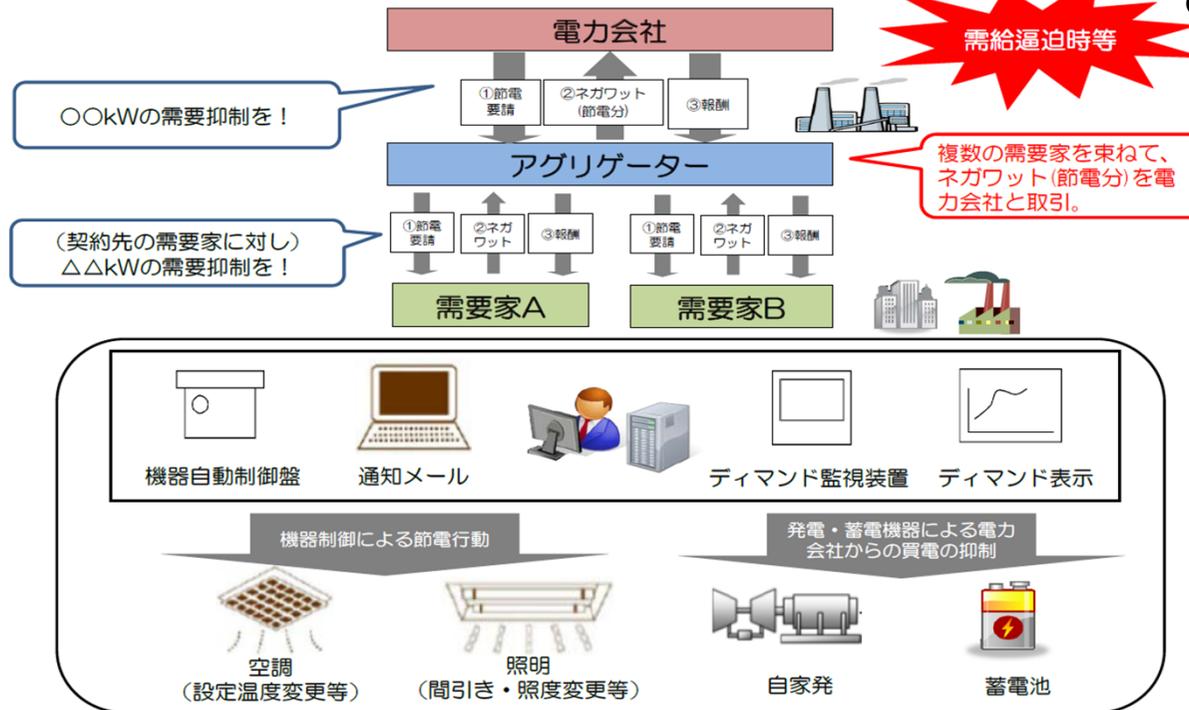


供給信頼度に与える影響は？

# VPP事業

VPP : Virtual Power Plant 仮想発電所  
自家発、蓄電池、負荷などを  
制御して、あたかも一つの発電所  
のように扱う

インセンティブ型ディマンドレスポンスのイメージ

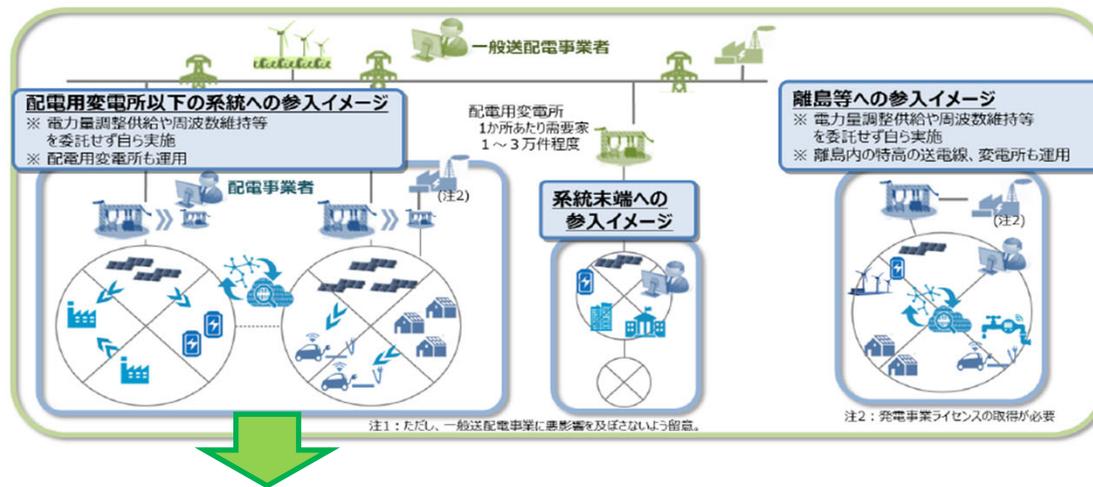


地域的に分散した多数のVPPの制御は？ どこまで応答性能をあげられるか？

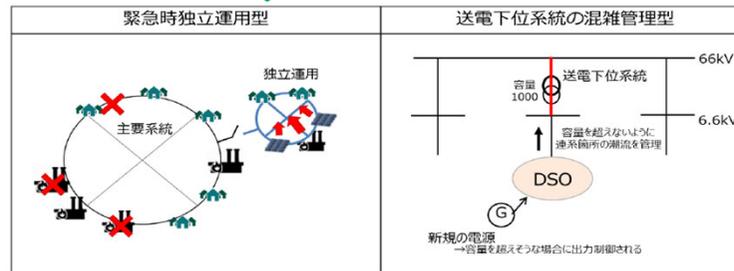
出所: 経済産業省ホームページ

# 配電事業ライセンスによるマイクログリッド事業

- 地産地消のビジネスモデル → 事故時に独立、良き市民へ
- ローカルフレキシビリティの提供 → 積極的系統貢献

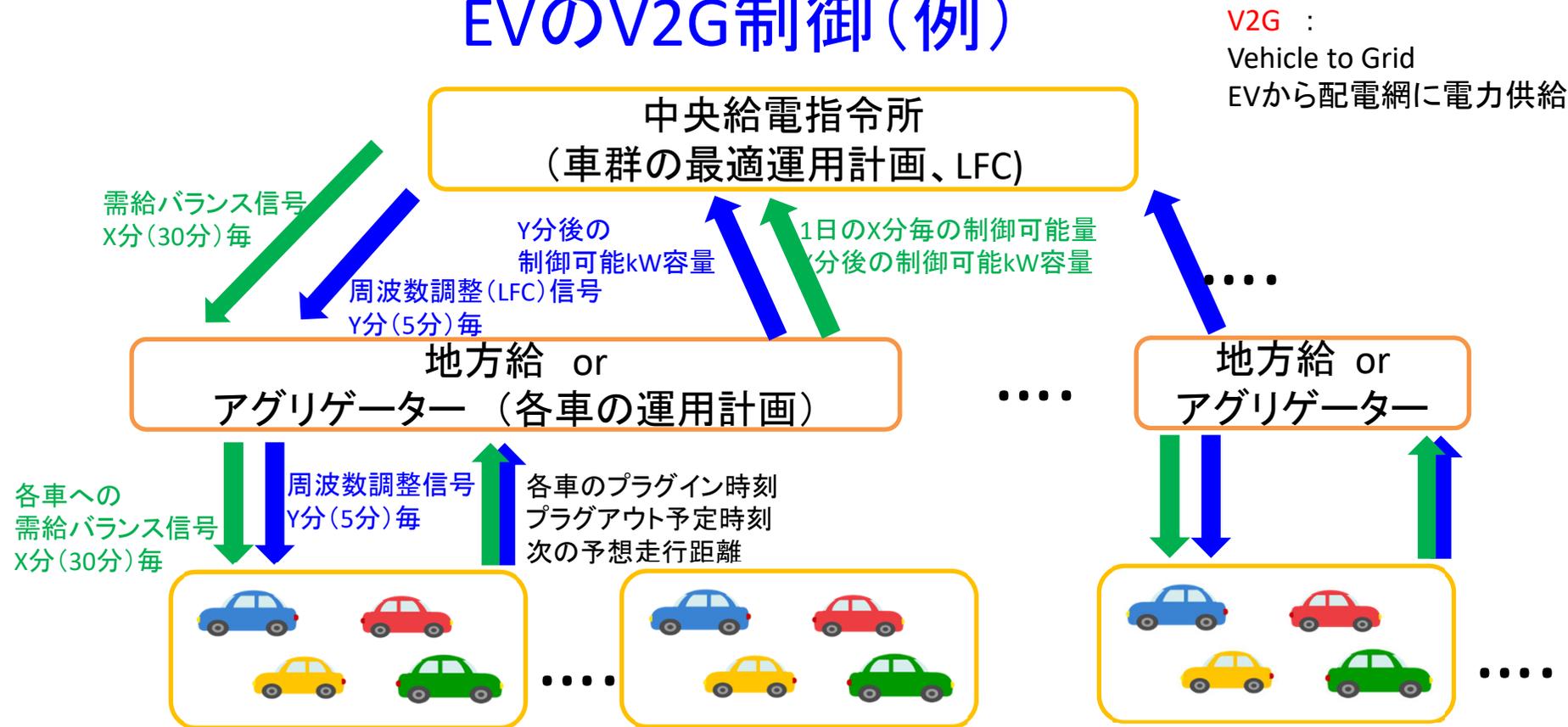


配電事業ライセンス：  
 小規模な発電事業と  
 配電事業の統合が  
 可能



事業経営の継続性は？

# EVのV2G制御(例)



V2G :  
Vehicle to Grid  
EVから配電網に電力供給

- 数千万台のEVの制御をいかにこなすか？ (EVユーザーの利便性を損なわない)
- EVの経済的参加インセンティブは？

# スマートインバーターによる系統慣性力の確保

## 同期発電機(同期電源)

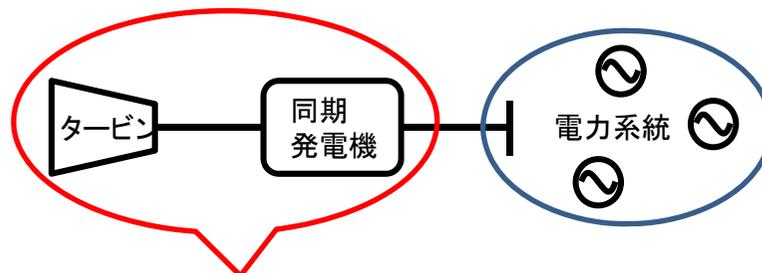
- 他の同期発電機と協調しながら、系統の電圧・周波数を維持する。
- タービン・発電機の回転子が慣性を持つため、系統の微小変動を吸収できる。

## 仮想同期発電機制御型PVインバーター

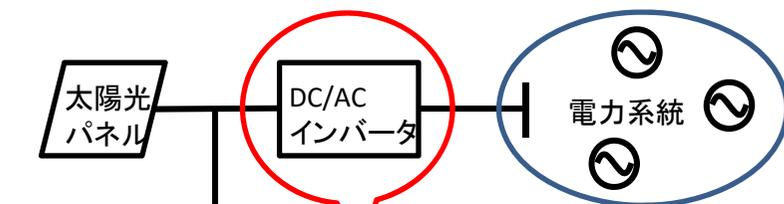
- 同期発電機と同じような出力を行うように制御することで、系統の安定度を向上させる。
- 慣性による変動の吸収を電力貯蔵装置で模擬する。



3割から4割のPVパワコンに慣性力補償をさせないと効果が出ない。  
早急に対策する必要がある。



タービン・発電機の回転エネルギーの変化により、系統動揺を吸収



インバータの電圧指令値を制御することで、同期発電機の出力を模擬



タービン・発電機の回転体の代わりに、電力貯蔵装置で系統動揺を吸収

# おわりに

- 2050年カーボンニュートラルへ向けた  
電力システムの運用・制御における取り組み
- ローカルフレキシビリティの利用
- デジタル技術の活用  
数千万という超多数のデバイスをいかに効率的  
かつ効果的に制御するかという技術的課題
- 事業性(経済性)の確保