

## 特別講座 “SHIN 系統” への期待：

### “SHIN 系統” を “**賑** 系統” へ

NEDO 特別講座  
第1回ワークショップ  
2025.3.7

はじめに～ “SHIN 系統” を “**賑** 系統” へ

#### 【系統利用の “賑”】

1. 電力系統は生き物のように成長し続ける～量的拡大、質的進化
2. 新たなフロンティアを迎えた電力系統  
～ “成熟” でなく “フロンティア”

#### 【系統関連コミュニティの “賑”】

3. 次世代へ向けたチャレンジが始まっている
4. “上書き保存” の積み上げでなく、課題の本質を捉え、  
抜本的なソリューション、新たな価値を創出できる人材の育成
5. 社会への発信強化  
～ 「電気のMΩ（メガ）」を「社会のMEGA」へ

（株）関電工  
特別顧問 山口 博

はじめに～ “SHIN 系統” を “**賑** 系統” へ

# SHIN = 賑

## ◎系統利用が賑わう

- ✓ 再エネなどグリーン電力の確固たる供給基盤
- ✓ エネルギー市場取引のプラットフォームが生み出す新たなビジネスチャンス
- ✓ 多様な分散型エネルギー資源が系統連系し  
地域活性化 など

## ◎系統関連コミュニティが賑わう

- ✓ エネルギー利用の中核インフラを支え  
S⊕3Eの実現を担う人材の厚みを増す など



## 1. 電力系統は生き物のように成長し続ける～量的拡大、質的進化

### (1) 系統連系を梹子に発展してきた電力系統

【日本の電力系統の変遷】

形 態	年 代	モ デ ル
個別供給 (個別から集中へ)	1883年～	
単独系統 (過当競争)	1900年～	
発送電連系 (発電と供給分離)	1939年～	
発送配電 一貫系統 (電力系統の確立)	1951年～	

【サミュエル・インサルの着想】  
 系統連系、需要を束ねることで  
 負荷率の改善、設備利用率の最大化  
 をはかり、事業の経済性を高め、  
 事業拡大をはかる

【系統連系は、“両刃の剣”】  
 連系拡大した一体系統：  
 事故波及による広域停電の可能性

✓ 1965年ニューヨーク大停電  
 ✓ “ ” 御母衣発電所事故に  
 による関西大停電

## 【ニューヨーク大停電等の教訓】

事故波及防止のための系統制御技術を確立

①予防制御 ②緊急制御 ③復旧制御



## 【我が国の電力系統についての私見】

電気学会誌 論説 1969年  
加藤博見氏：関西電力

### 電力系統拡大への警鐘

・・・一体系統には相当のメリットがあるが、慎重なシミュレーションを行い強固な系統を常に保持しないと事故波及が生じ、重大事故に至る危険性がある。

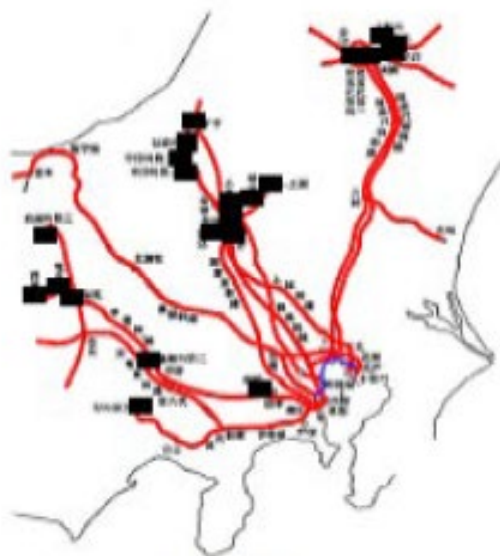
「我が国でもそう遠くない将来に一体系統からルーズカップル(直流連系を含む)に移行を行うことが必要となり、自社系統でもルーズカップルによるいくつかの一体系統構成をすることを考えなければならないであろう」

154kV

275kV

500kV

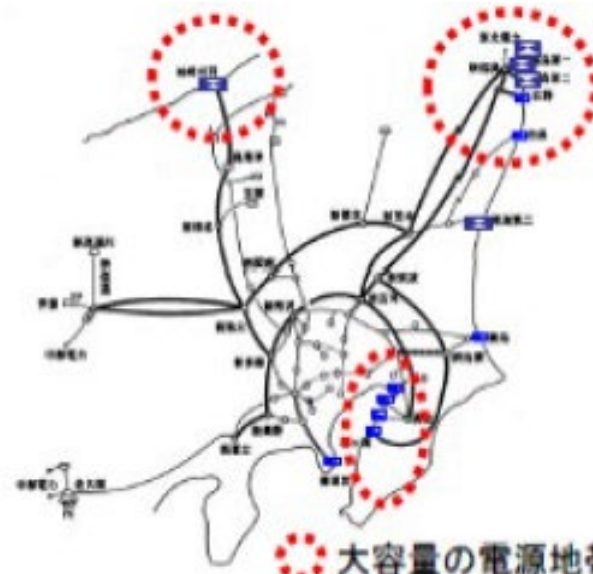
500kV (UHV設計含む)



1951年



1965年



1985年



2010年

## 【大規模集中型の電力系統の特質】

◎規模の経済とネットワークの強固な構築  
を両輪に中央集権型制御システムとして発展

◎同期発電機が中心

✓電力の流れ：発電から需要への一方向  
✓需要の変動に発電機が追従

## (2) 工学的要件を満たさなければ電力取引市場は成立しない

### 【電力系統の基本的成立要件】

◎交流の電力系統を安定運用するための工学的、基本的な下記の成立要件を満たす必要

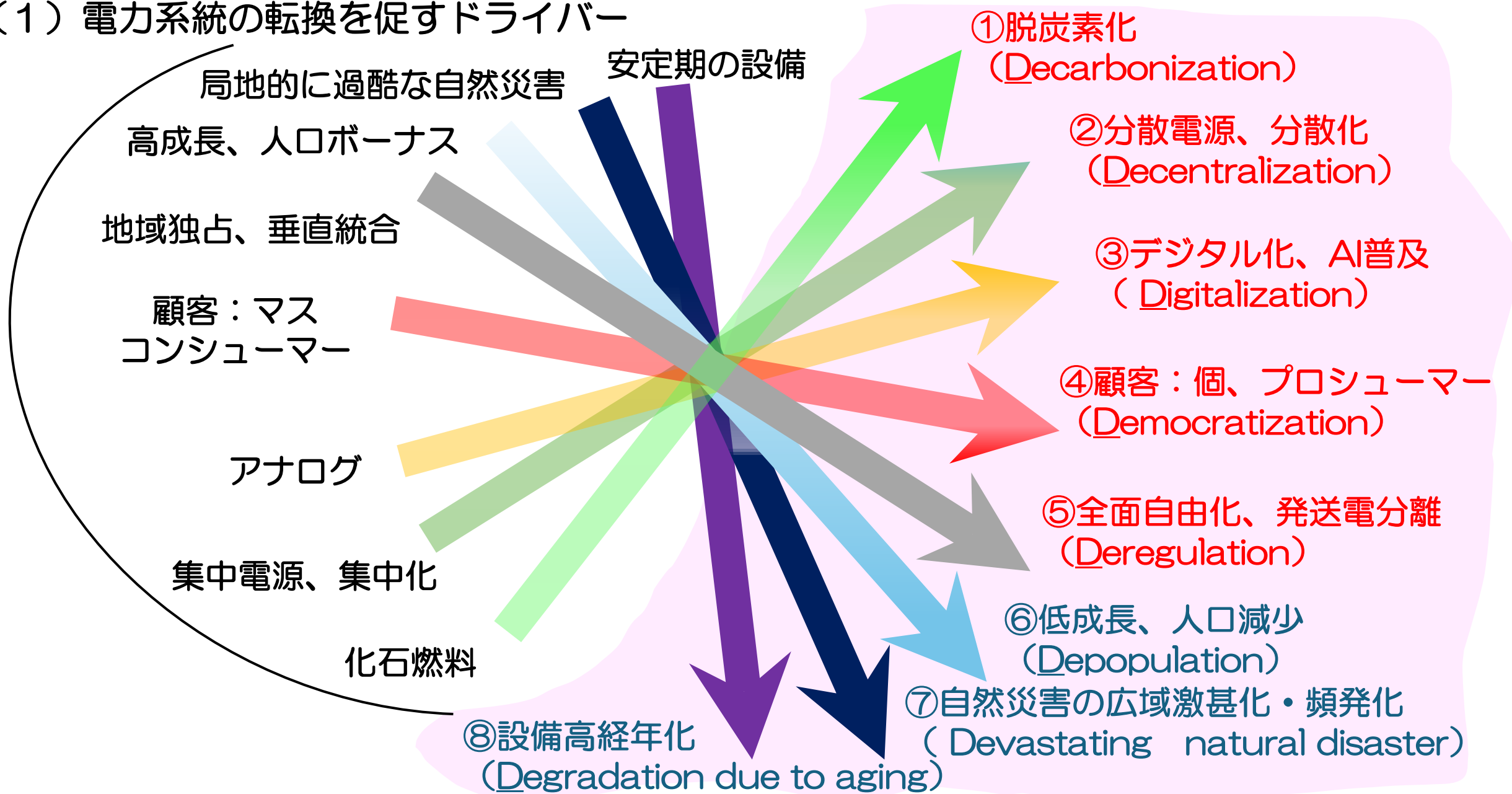
- (1) 送電線や変圧器等の設備の熱容量を超過させない
- (2) 周波数を維持する
- (3) 電圧を維持する
- (4) 系統安定度を維持する
- (5) 短絡・地絡故障電流を設備能力以内に維持する



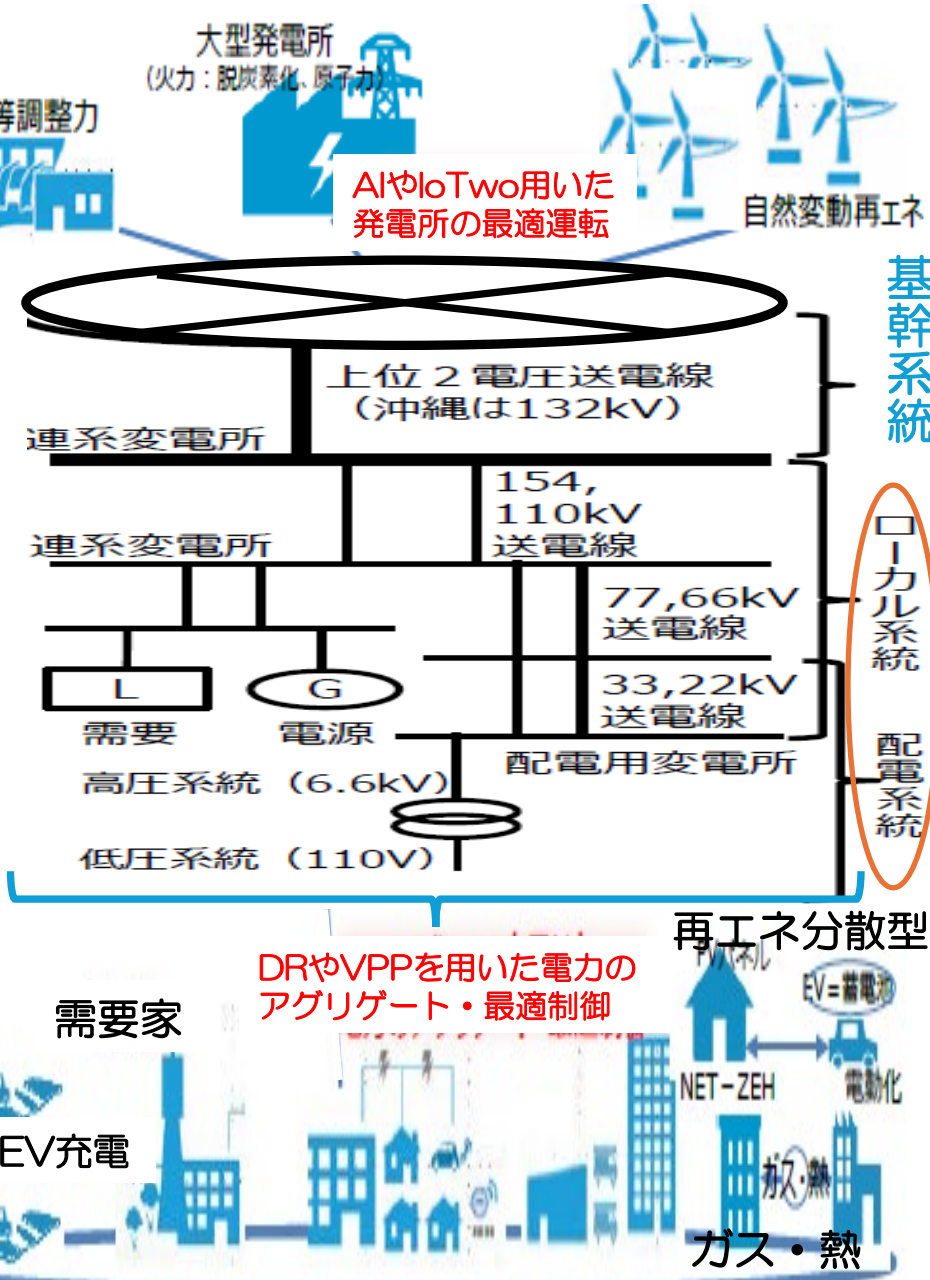
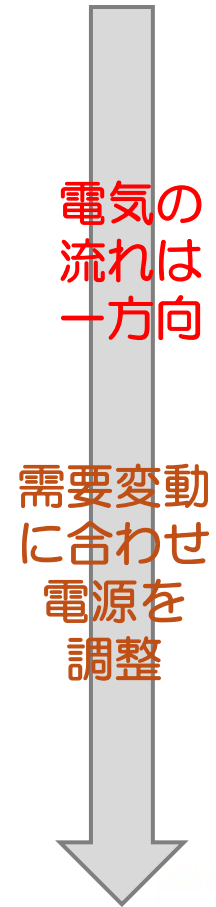
## 2. 新たなフロンティアを迎えた電力系統～“成熟”でなく“フロンティア”

7

### (1) 電力系統の転換を促すドライバー



従来



今後



運用の広域化

需要地系統

分散化

DER  
普及拡大

【従来との主な違い】

再エネ主力電源化

自然変動電源、分散電源、  
INV電源の増加

需要の能動化、可動化

出なり需要から可制御な需要の増加  
電力貯蔵によるタイムシフト  
Demand Side Flexibility活用

電力インフラとしての  
レジリエンス強化

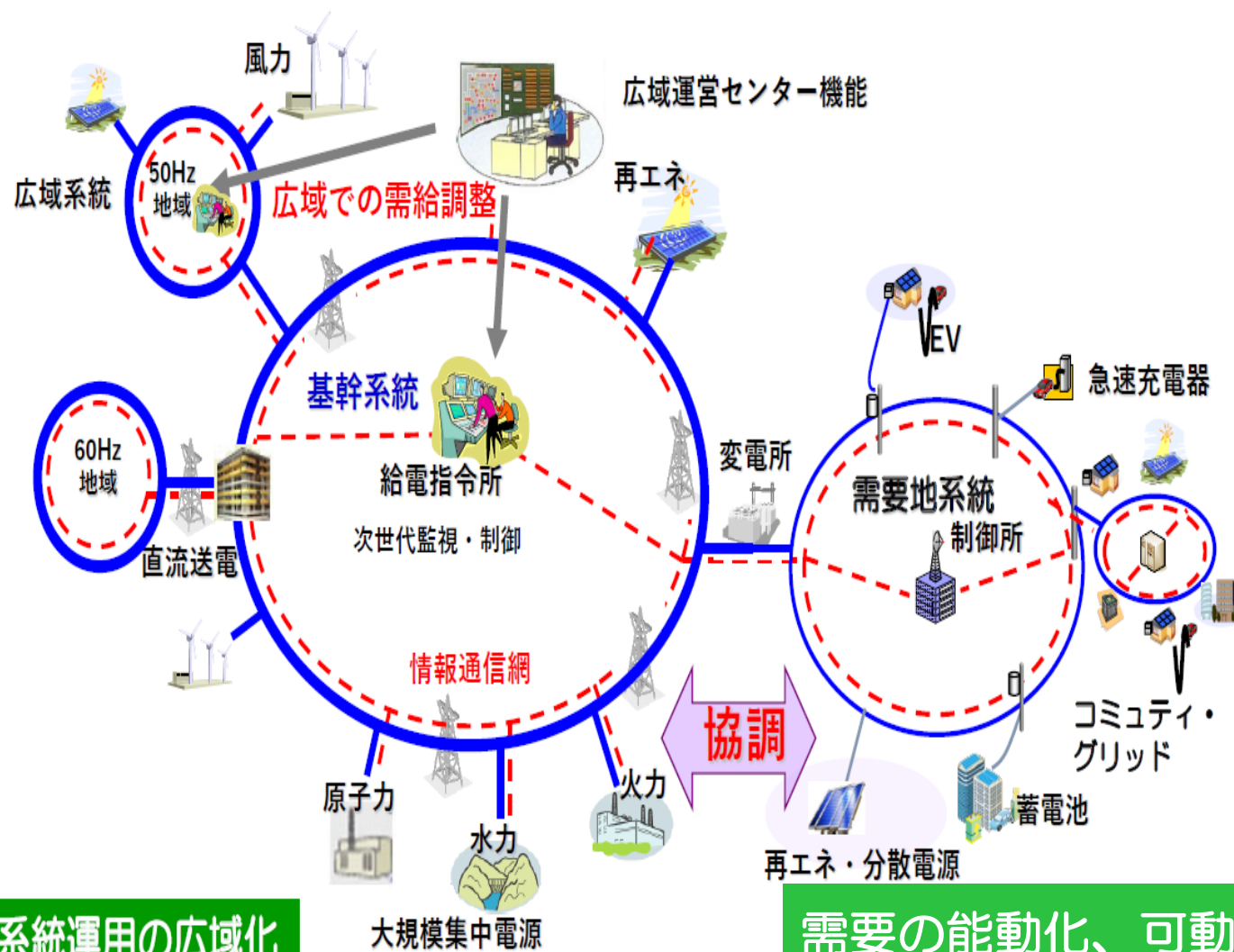
市場による電源配分、電源確保  
kWh、kW、ΔkWの市場取引

広域化する基幹系統  
分散化する需要地系統



## 広域化する基幹系統

## 分散化する需要地系統（DERの普及が進むと受動型から能動型へ）



系統運用の広域化

需要の能動化、可動化

### ◎ “Grid-Following” なDER活用

- ✓ 電力系統の安定運用のために分散型リソースの使用条件を規定する (Grid Code)

### ◎ “Grid-Forming” なDER活用

- ✓ DERが普及・拡大すると、電力NWシステムの形成・運用の効率化、コスト低減に貢献できる使い方の可能性が広がる

(例)

- \* 調整力としての活用：  
VPP（仮想発電プラント）など
- \* 無効電力発生源としての活用：  
スマートインバーターなど
- \* 送配電代替としての活用：
  - 日本版コネクト&マネージ
  - DERアグリゲーション

【状 況 変 化】

\* 広域運用化  
\* 再エネ  
主力電源化

広域化する  
基幹系統

協調

分散化する  
需要地系統

\* 需要の能動化  
可動化  
\* DER普及拡大

★今後30年間毎年平均約120～170億kWh（従来想定）の増勢に見合う拡充が必要な発電力～その位置付けの変化

- ✓地政学リスクなど国際情勢の構造変化を踏まえたエネルギー安全保障の観点でのアプローチが必須
- ✓IT関連需要（ベース負荷）の増加に対応したベース供給力確保の可否は国の成長戦略に直結
- ✓電源脱炭素化は資本集約的な大規模投資が必要  
（民間任せでは済まない）

★供給サイドの脱炭素化と省エネだけではCN未達のリスク～需要サイドでの化石燃料の直接消費（7割強）

- ✓需要サイドの“電化”を強化する必要  
（既存技術で省エネ、CO2削減など多面的な便益）

★需要サイドの“電化”のツールでもあるDERの普及

- ✓需要サイド・フレキシビリティの活用による需給効率化、Energy with X valuesによる付加価値創出が可能に

基幹供給サイドの  
公益性の高まり

国家的観点に立った  
燃料・発電・送変電の  
より強い一体的な取組  
が必要になる

ビジネス価値の源泉は  
需要サイドへシフト

“シェア競争”でなく  
“付加価値を高める  
より自由な創意工夫  
を競い合う競争（電化  
競争）”が必要になる

### 【次世代電力系統が具備すべき要件】

- ① Flexibility (柔軟性)
  - \* 再エネ変動電源に対する柔軟性
  - \* 不確実性に対する柔軟性
- ② Resilience (事故・災害回復力)
  - \* 再エネ大量導入時の信頼度制御
  - \* 停電リスクの供給側と需要側の合理的分担
- ③ Affordability (お客様が価値を評価し  
ご負担頂ける経済性)
  - \* 需要制御の活用、DERの最適配置による  
送配電投資抑制
  - \* 費用対便益評価の確立
- ④ Cyber Security & Usability

### ◎グリーンイノベーション

#### ①基幹系統：

✓発電サイドのグリーン・イノベーション  
促進プラットフォーム

- \* 再エネ主力電源下の系統安定運用
- \* 広域メリットの最大化など

#### ②需要地系統：

✓需要サイドのエネルギー利用のグリーン  
イノベーション促進プラットフォーム

- \* Energy with X valuesの実現
- \* 需要サイドフレキシビリティ活用など

### ◎社会イノベーション

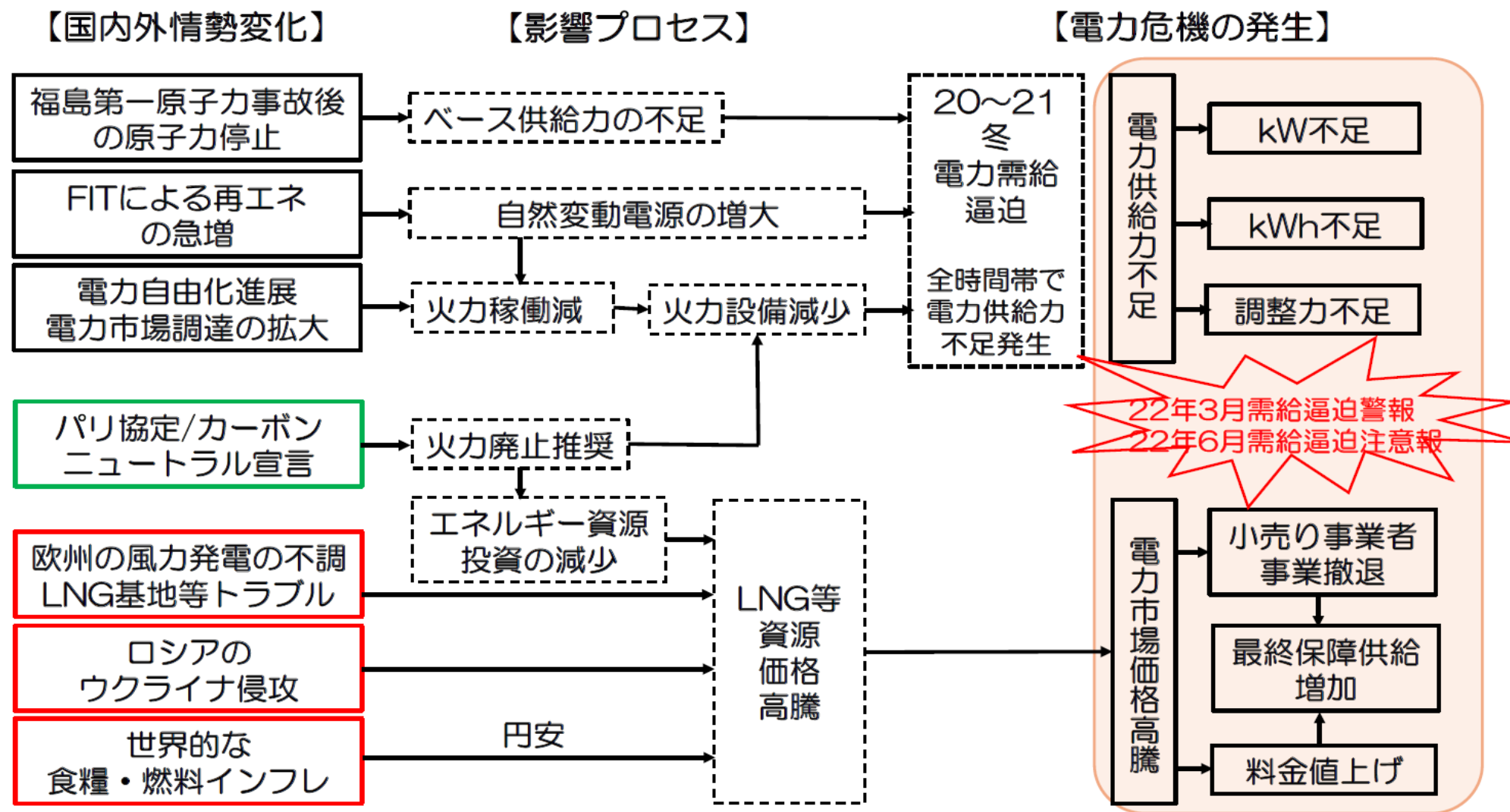
✓ITとの融合、社会とのデータ連系

✓P2X,セクターカップリングなど

# 【系統関連コミュニティの“賑”】

## 3. 次世代に向けたチャレンジが始まっている

### (1) 市場形態、需給調整メカニズム



背景にある  
市場形態・需給調整メカニズム  
に関する課題

電力システム改革（第5次制度改革）  
⇒ 競争メカニズムによる効率促進を通じた  
コスト削減・投資確保

①小売り新規参入、競争促進を優先した  
市場運用の綻び

- ✓既存大手事業者への非対称規制
- ✓小売電気事業者への緩い供給力確保義務

②ベース供給力の不足

③再エネ大量導入により火力電源の過剰  
退出、需給運用の困難性増加

④市場設計の複雑性・細分化

- ✓国全体で供給余力があっても売り切れ発生
- ✓電源運用、系統運用に非効率が生じ  
全体最適を損なっている恐れ
- ✓性質の違う市場が混在し発電事業の予見性  
が低下

DC・半導体工場などIT関連  
電力需要の中長期的な増大

◎再エネバランシングの困難性が増すなか、  
柔軟で効率的な需給運用のメカニズム  
～電源最適運用～の再構築が課題

- ✓日本の需給構造に相應しい需給メカニ  
ズムは、分散型か集中型か

◎長期的な視点に立った供給力確保、投資  
確保（ベース供給力確保）が課題

- ✓競争により投資を促進する電源、規制に  
より投資を促進する電源に適切に区分する  
必要はないか

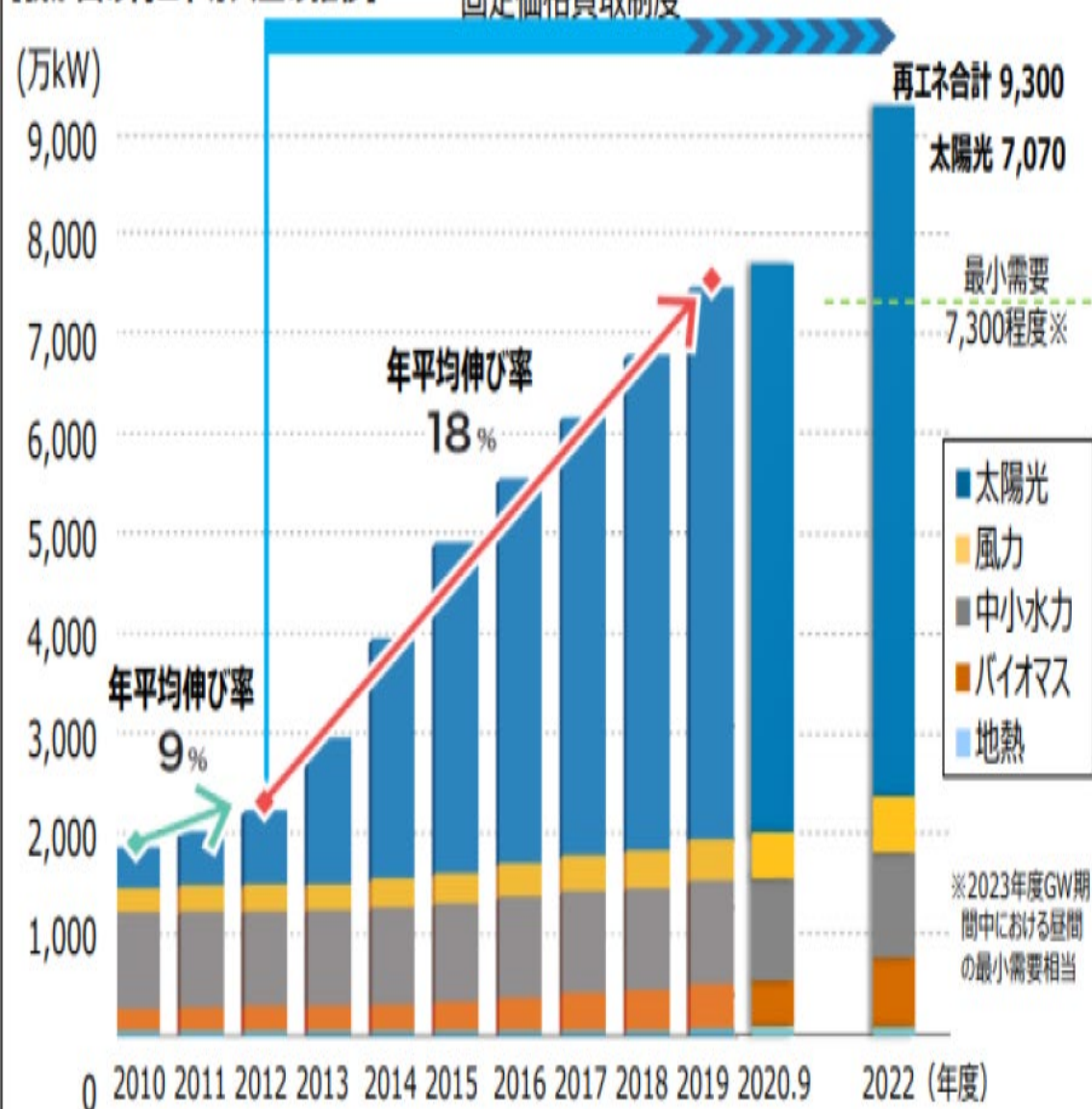


## （２）再エネ主力電源化

14

～日本の再エネ導入レベルは世界的に見て高いレベルにある～

【我が国の再エネ導入量の推移】



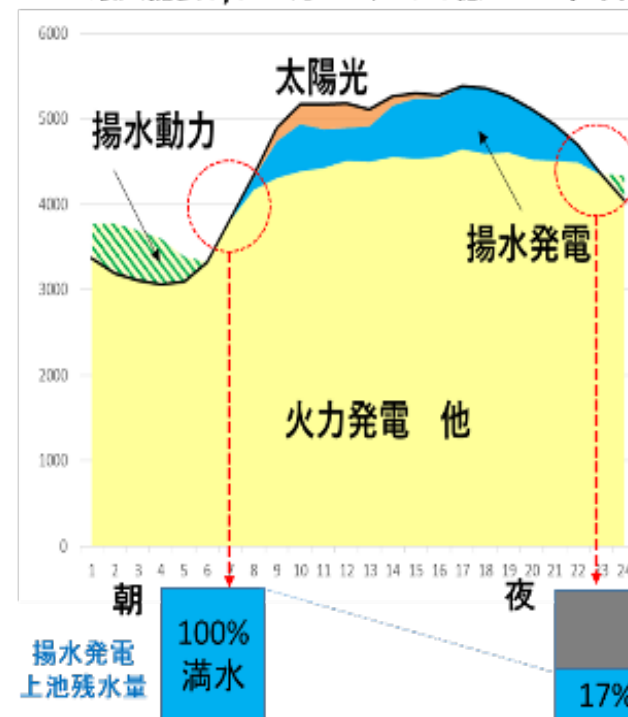
### 課題①：地理的ギャップ

再エネ適地と需要場所の距離が離れている

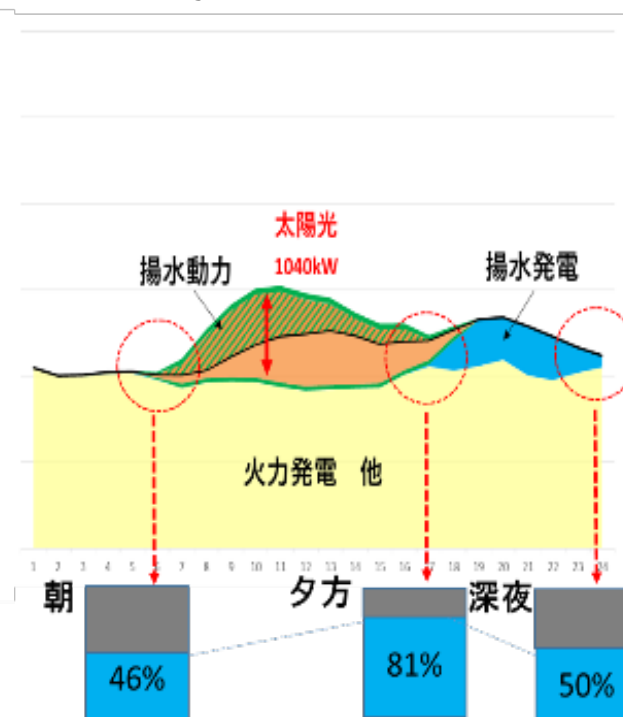
### 課題②：時間的ギャップ

年間を通じて需給のひっ迫と余剰を繰り返す

2022年1月6日（平日・雪）  
最大需要5,374万kW、10.8億kWh／日



2022年5月2日（日曜・晴）  
最大需要2,673万kW、5.5億kWh／日



（出典：東電PG）

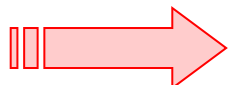
## 課題③：忍び寄る系統セキュリティ・リスク

〔太陽光・風力発電  
導入量・分布〕

1) 集中連系  
が点在

2) 連系箇所が  
面的拡大

3) 大量  
連系



加えて



加えて



【配電系での電力品質へ影響】

- \* 配電線毎の連系量、日射量のバラツキ  
⇒電圧適正維持が困難
- \* 事故時安全性・復旧へ影響など

【需給・周波数調整へ影響】

- \* 系統制約の発生（送電混雑など）
- \* 周波数調整力不足  
（出力変動拡大、調整電源減少など）
- \* 軽負荷晴天時に余剰電力が発生

【安定度の脆弱化など  
系統安定性へ影響】

- \* 同期発電機減少による同期化力、慣性力の低下
- \* 短絡容量の減少、事故電流検出能力低下によるリレーの誤動作 など

〔IEAによる分類〕

フェーズ1：軽微な影響

フェーズ2：  
系統混雑、ダックカーブ  
化など限定的な影響

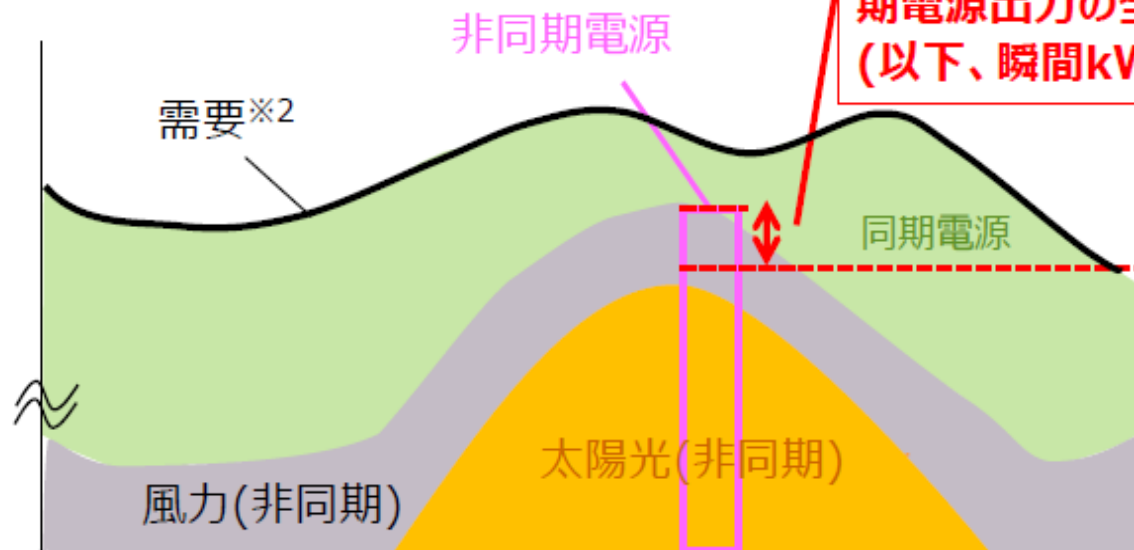
フェーズ3：  
ダックカーブ化進展、  
VREが運用を左右する  
（日本、豪州、伊など）

フェーズ4：  
余剰発生進展、事故時の  
安定運用の見直し必要  
（九州、南豪州、アイル  
ランドなど）

フェーズ5, 6：  
長い時間軸の余剰・不足

＜再エネ主力電源:太陽光の場合＞

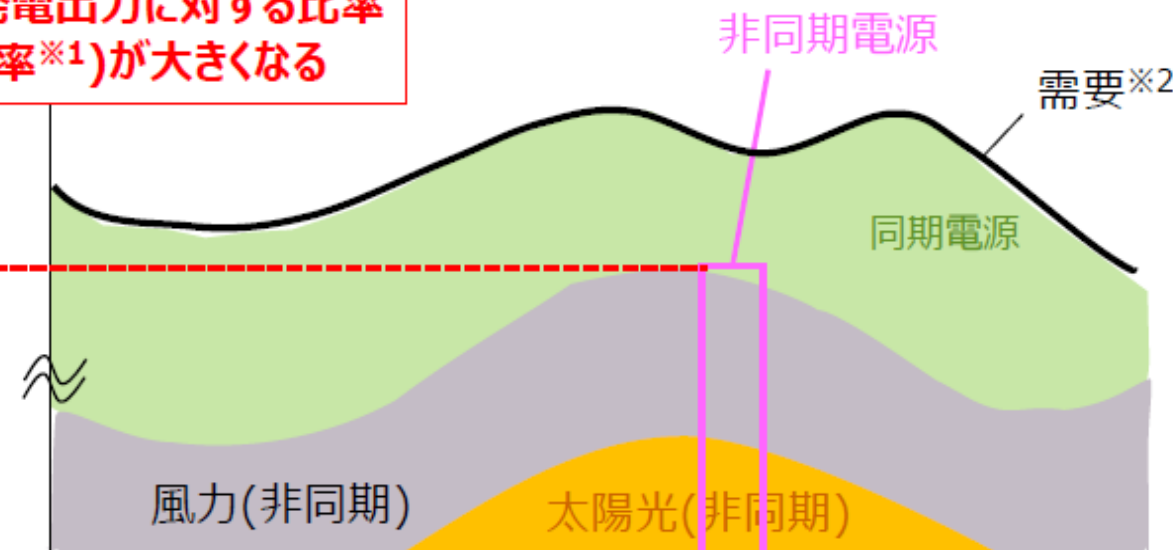
日本



同じ再エネ年間kWh比率でも瞬間的なkWh出力では、太陽光主力の方が非同期電源出力の全体発電出力に対する比率(以下、瞬間kWh比率※1)が大きくなる

＜再エネ主力電源:風力の場合＞

アイルランド、英国等



非同期電源の全体発電に対する比率(年間kWh比率、瞬間kWh比率※1)

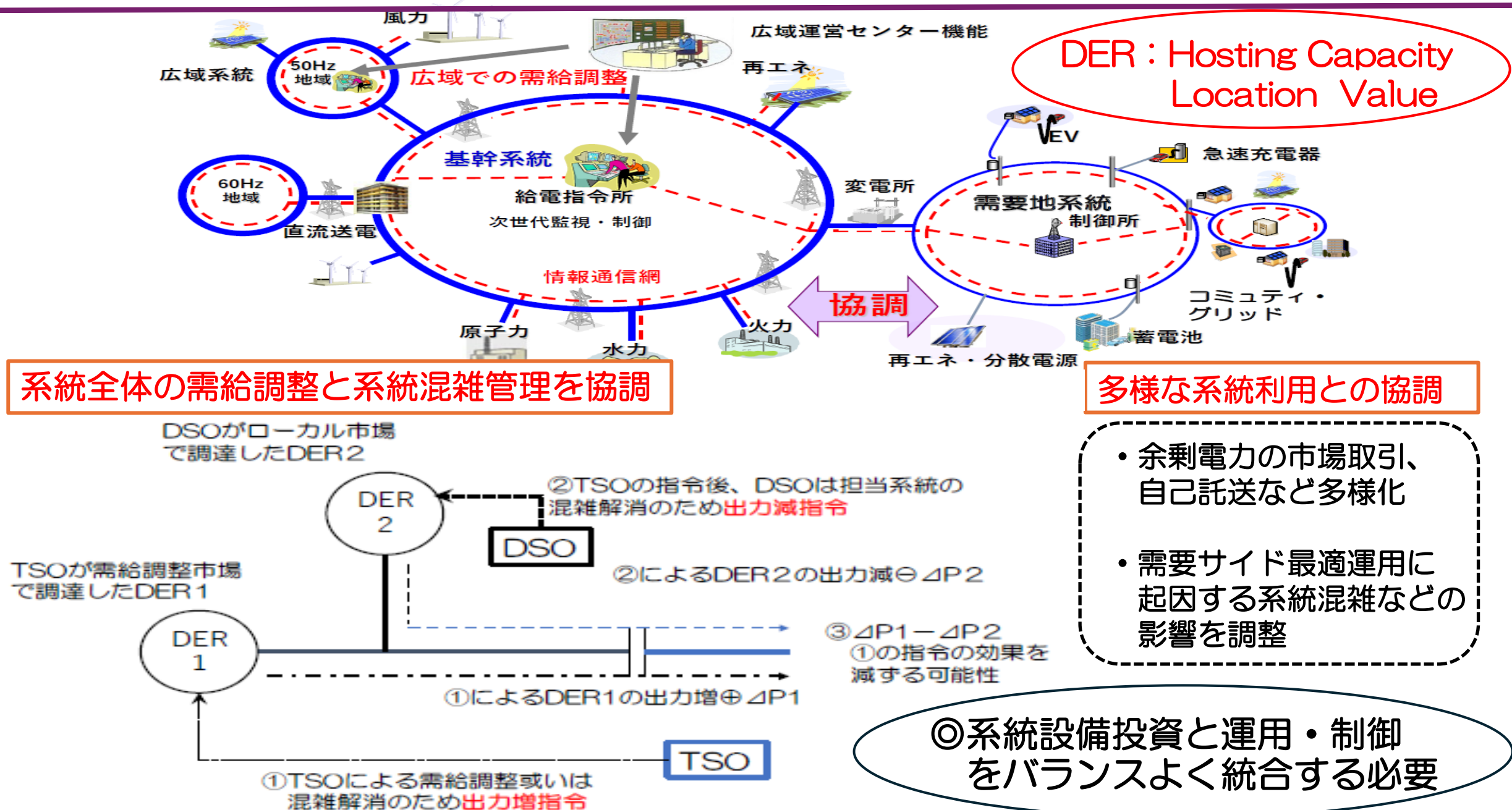
年間kWh比率：同程度  
瞬間kWh比率※1：大きい

← 太陽光主力の方が瞬間kWh比率※1の最大値が大きい →

年間kWh比率：同程度  
瞬間kWh比率※1：小さい

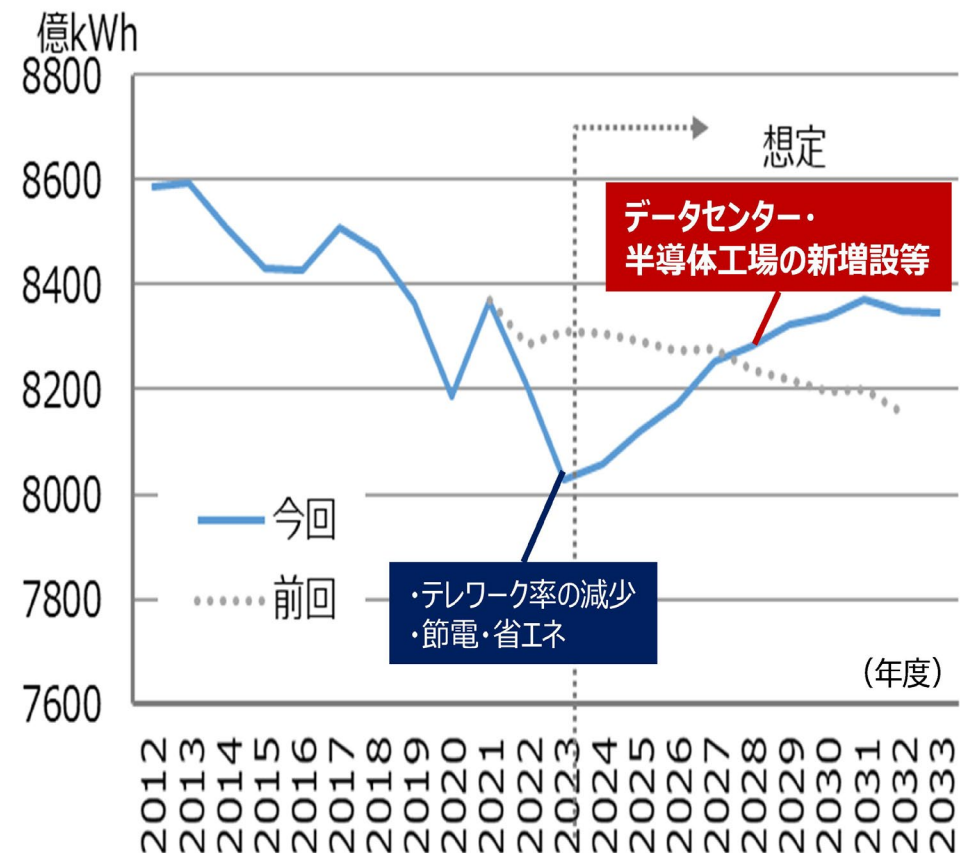
※1 瞬間kWh比率:瞬間的な非同期電源出力の全体発電出力に対する比率

(3) 需要の能動化・可動化、DERの有効活用～新たな協調が必要となる



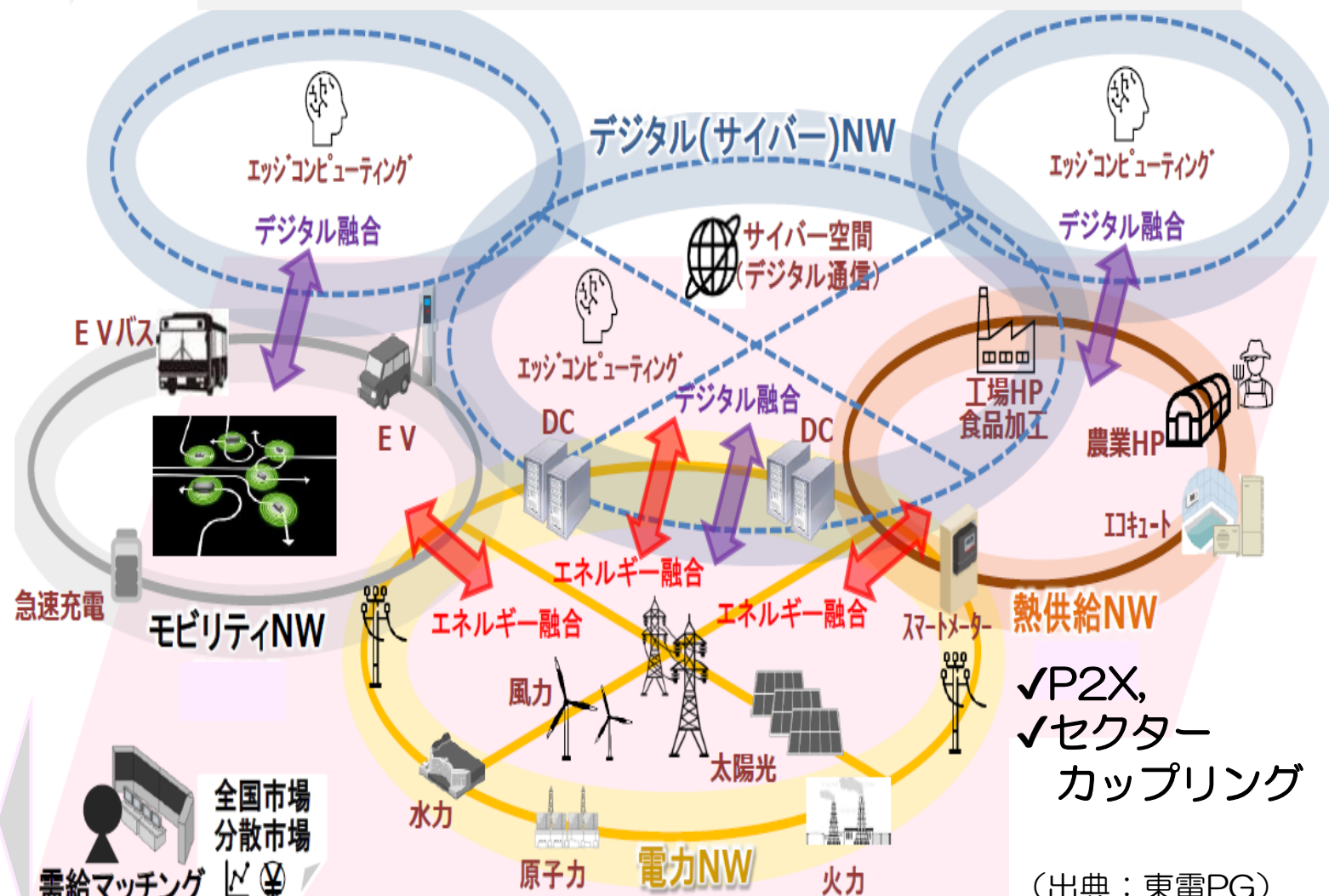


## ◎電力広域的運営推進機関による 需要想定の見直し



◎電力系統と社会インフラとの連携が  
密になり、地域・顧客の課題への  
ソリューション提供機能が拡大  
～社会・系統利用者との共進化を促進

## ◎サイバー空間の需要が急増、モビリティNW, 熱供給NW等のリアルとサイバー全体の エネルギーマネジメントが必須



(出典：東電PG)



## 4. “上書き保存”の積み上げでなく、課題の本質を捉え、抜本的なソリューション、 新たな価値を創出できる人材の育成

### (1) システム・オブ・システムズとして複雑さ・不確実性を増す電力システムとしての 全体最適化を牽引する素養を培う

#### 【第1の要件：全体像の把握】

大きな転換期を迎えている電力システムでは、システムとして挙動する構成要素夫々の変更が相互に影響し合っ電力システム全体に影響する可能性がある。

従って、全体像を把握し、個々の構成要素の振る舞いが全体最適の視点で望ましいものになるよう、Check & Actionが必要。

#### 【第2の要件：長期的視点】

電力システムの形成・維持運用は、マイクロ秒（雷サージなど）、ミリ秒（系統安定度）から分（周波数調整）、さらに需給運用・系統運用に係る時間、日、週、月、年と設備形成や燃料調達に必要なさらに長期の年数など幅広い時間単位の要件を満たす必要がある。長期的な視点で考え、“瞬時から長期に亘る時間軸での調和“をはかることが必要。

#### 【第3の要件：不確実性への対処】

需要想定の上振れ・下振れ、電源開発計画の変更・修正などに加え、今後は、自然変動再エネの変動性と不確実性、グリーンエネルギー技術・分散型エネルギー資源などの普及の不確実性、関連諸制度の実効性に関する不確実性など新たな不確実性が重畳することに備え、柔軟に対応していくことが必要。

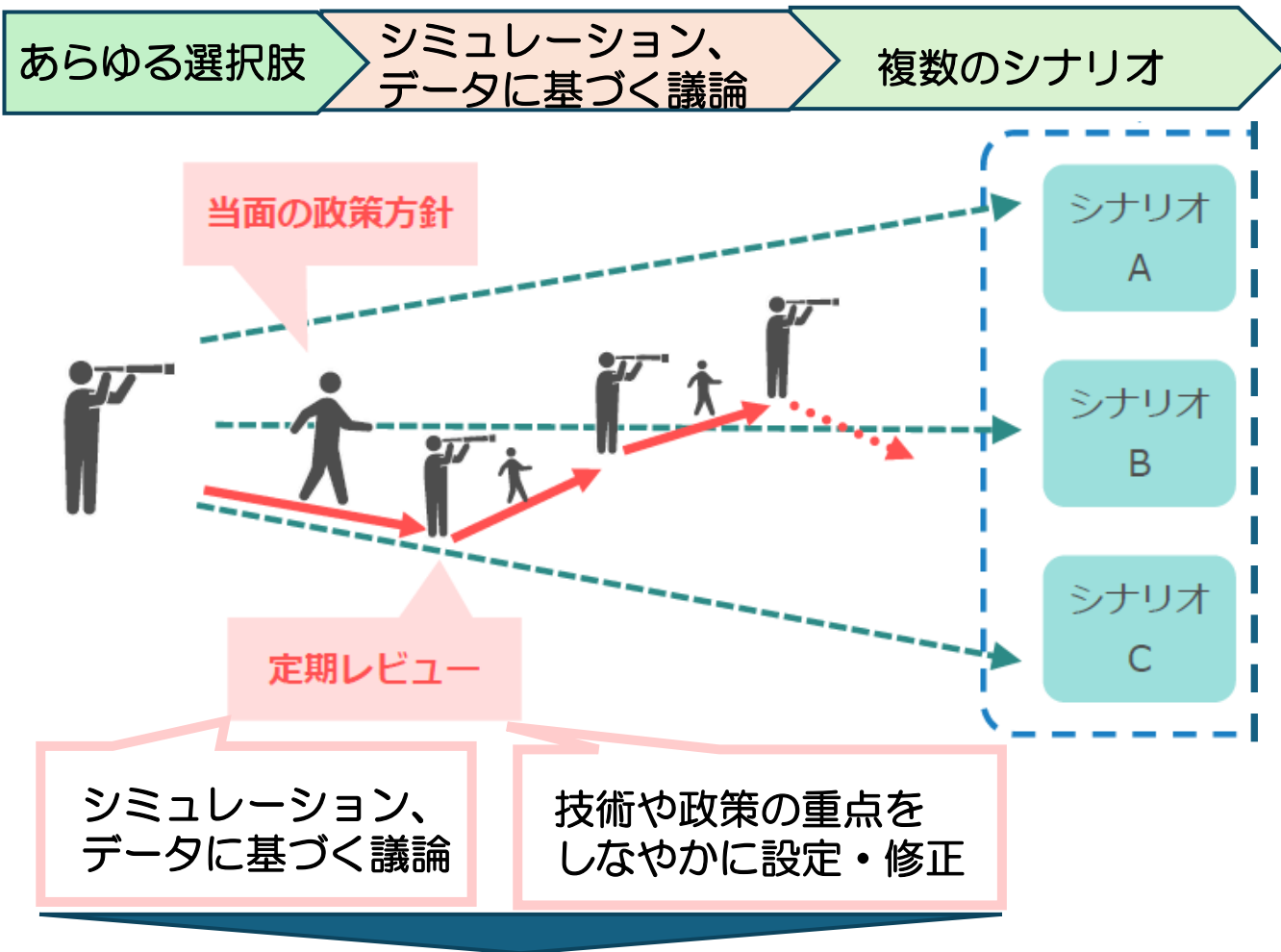
### ◎電力システムを巡る将来の不確実性の高まり

⇒前提条件を変え複数のシナリオを分析し、脱炭素化、分散化、デジタル化などの影響を評価し設備投資や制度・市場設計に活かす取り組みが必要

### ◎多様なエネルギー・リソースが複雑な相互作用を引き起こす

⇒DERなど需要サイドの能動的な需給制御は、電気の流れを複雑化させ、設備形成、系統運用、市場構造などを大きく変える可能性。

シミュレーションにより挙動、影響を分析し官民が共有する必要。



### ◎シミュレーションによる結果の解釈を広く共有

## 5. 社会への発信強化 ～「電気のMΩ（メガ）」を「社会のMEGA」へ

“追い風” だが、“苦戦” ？

◎脱炭素化の切り札“電化”、レジリエンス強化  
など電気分野での活躍の可能性が拡がり“担い手の  
確保”に追い風が吹く状況のはずだが“苦戦”？

（１）電気系職種の人材問題：使命・魅力（面白さ）に関わる訴求力を低下させる要因

① “電気” inside～  
存在訴求力  
低下

✓ 電気“は、あって当たり前”の時代

災害時の早期復旧への称賛はあるが一過性で志望動機に繋がらない

✓ モノづくりや“電気”、“エレクトロニクス”が見えない時代

デザインとサービスで差異を競争することを体験している世代に、  
技術者の苦労や喜びを伝えることが難しい

✓ 地味、目で見ても分からない、オタクっぽいイメージ

多くの電気専攻の学生がもつ「電気」に対するマイナス因子

② “社会インフラ”としての  
“電気”への志望駆動力  
低下

✓ 安定でなく停滞イメージ

より魅力的な他業界が存在するなかで、安定だがチャレンジや変化がないイメージが拭い切れない。安定でなく停滞感がある

✓ 「無駄な箱物論」に押され、インフラ整備の重要性について政治も国民も共有不足

- \* トランプ大統領～毎年「インフラ整備の迅速化指示」、欧米首脳は常にインフラの重要性を語る
- \* 風土的条件を忘却し、「住むことを忘れ、その場に滞在するだけとなった日本人」（藤井聡 京大教授）
- \* 日本には海外のような子供向けの電気・通信・水道などインフラに関する「職業本」がない。

✓ 「成長産業への労働移動」政府方針が与える誤解

社会インフラ、生活維持サービスを支える“人”がいなければ社会が成り立たない



“SHIN 系統”の取組みを対象層の意識・関心に合わせ発信することに加え、“社会インフラの重要性”の訴求が必要

## (2) 「電気のMΩ (メガ)」を「**社会のMEGA**」へ

～ “電気” だけでなく社会インフラによる「当たり前になった便利さ」、  
「その便利さの更なる向上」を支える人・仕事に光を当てる世論の醸成を～

～ MEGA: Make Essential Workers Great Again!! ～

◎ 「デジタル・ツィン（サイバー空間と物理空間の相互連携）」、「ワット・ビット関係」  
などIoT、IoT、AIが普及する時代 ～ソフトが持て囃される～

### ◎入職の動機付け、入口の多様化が必要

(例) ソフトに馴染んだ次世代層をIT, ソフトを  
入口に入職の動機付け

⇒サイバー空間と物理空間のインターフェイス  
への関心、さらには物理層の電気など社会  
インフラへ誘うことで“担い手”を確保して  
いくことも一法。

### ◎物理層・インフラ層への関心の芽が必要

⇒これを育む環境を創るためにも、  
社会インフラによる「当たり前になった  
便利さ」, 「その便利さの更なる向上」  
を支える人・仕事に光を当てる世論の  
醸成が必要ではないか。



## 【訴求ポイント】

- ① 「当たり前になった便利さ」が崩れると社会全体に与える影響は計り知れないことへの深い認識を醸成
- ② （これまでの当たり前を超え）  
社会と共進化する新たな時代を迎えた”電気“、“電力系統”への関心を深める
- ③ 日常の「当たり前になった便利さ」を支える人・仕事が賞賛される社会への回帰  
(リヨン技能オリンピック国際大会が注目されない・・・産業基盤に関心が薄い国でよいのか)

## 「電気のMΩ（メガ）」を「社会のMEGA」へ

- ✓ “電気”に閉じることなく、インフラ関連団体等の人材確保・育成諸活動が相互に連携し協働して社会活動として輪を拡げることが必要ではないか。
  - \* 関連団体横断のフォーラム形成、専門紙間の関係による一般社会との対話・発信強化など
  - \* インフラ業の新たなイメージ、働く人たちの人間ドラマなどを訴求対象層の意識・関心に合わせ対話・発信できるよう打ち出し方を研究し展開  
(災害復旧の担い手としての活躍への評価を一過性に終わらせない発信手法など)
- など
- ✓ AIの時代～正しい（適切な）情報を量的に優越させる必要があるのではないか
  - \* LLM（大規模言語モデル）では学習するWeb情報が正しく（適切で）なければ、正しい（適切な）答えは導かれない。



Thank You for Your Attention!!