

# 抄訳レポート

---

## ■ 抄訳対象

- System Needs Study, System dynamic and operational challenges (Jan 2023)

<https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/TYNDP2022/public/syst-dynamic-operational-challenges.pdf>

## ■ 抄訳者（所属名前順）

- ① AAA
- ② BBB

## 目次と分担

| エグゼクティブサマリー           | 分担 |
|-----------------------|----|
| はじめに                  | ①  |
| 周波数面                  | ①  |
| 系統全体の慣性力とROCOF        | ①  |
| 系統分離イベント              | ①  |
| 緩和施策のポテンシャル           | ①  |
| フレキシビリティのニーズ          | ①  |
| 安定度と電圧安定性             | ②  |
| 電圧安定性                 | ②  |
| 安定度                   | ②  |
| 解決策と緩和施策のニーズ          | ②  |
| グリッドの限界までの活用に向けたチャレンジ | ②  |
| サマリー：系統面のニーズ          | ②  |
| 系統設計のチャレンジ            | ②  |
| 系統運用のチャレンジ            | ②  |
| 追加背景情報                | ①  |
| 各国の想定慣性力              | ①  |
| 謝辞                    |    |

## はじめに

電力システムにおける以下のトレンドが明らかになってきている。

- 全電圧階級におけるRESの増大
- 発・送電（HVDC）分野におけるパワエレ機器の増大
- 発電種別のバラエティの増加
- 潮流の増大・変動の増加

結果として、周波数・電圧・混雑管理の技術的課題（チャレンジ）となる。

本資料では、システム安定性のための課題について、紹介していく。

### 【目標】

- ・ EUにおける2050年までのクライメイト・ニュートラルの実現目標  
(クライメイト・ニュートラル≡カーボン・ニュートラル)

### 【方向性】

- ・ RES発電所建設の加速化
- ・ RESの最適な組み合わせ、そのための国際連系線容量増強・海上システムのメッシュ化
- ・ 同期機によって得られてきた同期・安定性メカニズムの喪失⇒将来的な代替技術確立  
⇒将来的な課題の中でのこれら技術を束ねる送配電の調整が重要

### 【当面の対応】

- ・ 将来技術確立までには、RESや潮流の制限などの対策が必要

## 周波数面（系統全体の慣性力とRoCoF）

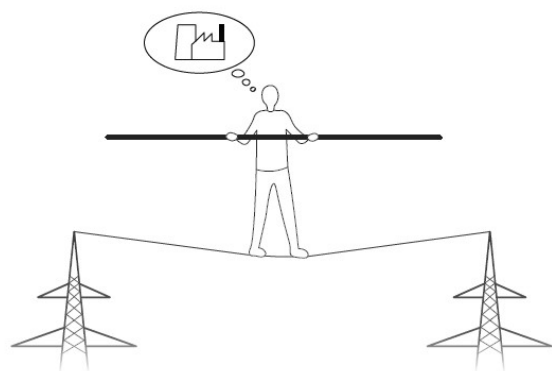
ヨーロッパ大陸の電力システムは同期しており、周波数は、ヨーロッパ大陸全土に影響する。

周波数の変動は、電力の需要と供給のミスマッチにより発生

同期発電機のローター慣性が即座にミスマッチをバランスするように作用する（慣性力）

慣性力は、継続的にミスマッチをバランスさせるものではなく、予備力が得られるまでの変化を和らげる

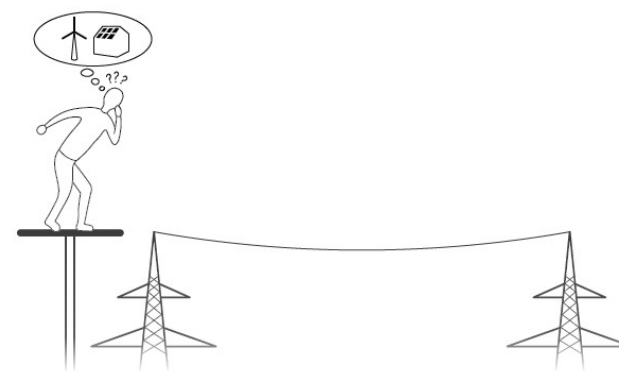
現在、同期発電機がパワエレ接続機器に変化し、慣性力が低下（図中のような綱渡りのような状況）



**以前**  
即座に応答する発電機慣性大  
(綱渡りの棒が長い)



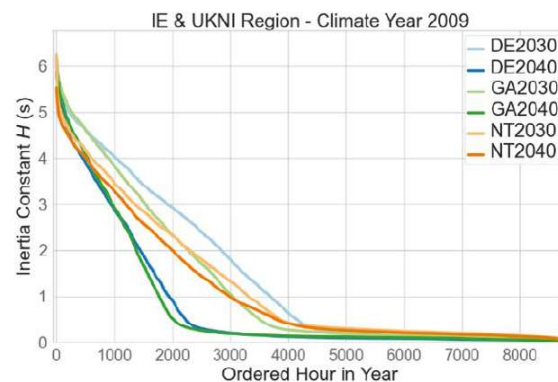
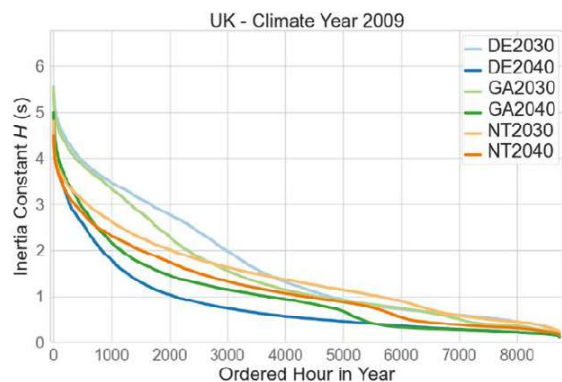
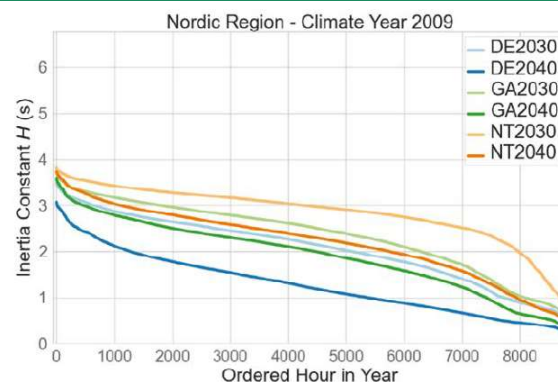
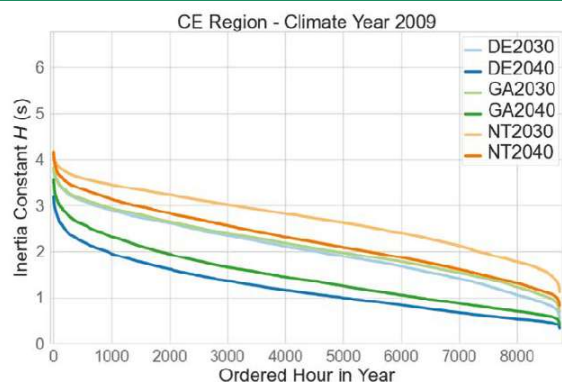
**現在**  
発電機慣性の減少  
(綱渡りの棒が短い)



**将来**  
発電機慣性のほとんどない  
(綱渡りの棒が無い)

## 周波数面（系統全体の慣性力とRoCoF）

TYNDP2022の需給シミュレーションの結果、年間の慣性をデューレーションカーブとして図示  
 4 エリア（ヨーロッパ大陸：CE 北欧：Nordic グレートブリテン島：UK アイルランド島：IE & UKNI）  
 3 シナリオ（TYNDPでの NT: National Trends DE: Distributed Energy GA: Global Ambition）  
 2 対象年（2030年、2040年）  
 気候年（Climate Year：2009年）



### 【慣性結果】

シナリオ別：NT> DE> GA  
 対象年別：2030年> 2040年

### 【傾向】

2030年から2040年の減少は、CEが大きい

### 【課題】

極小慣性状態では、極端な周波数低下・ブラックアウトとなる可能性がある。既に、小さい系統ではその課題が顕在化してきおり、CEにおいて、系統分離となるような大きな事故時には、同様の危惧が出てくる。

### 【解決策】

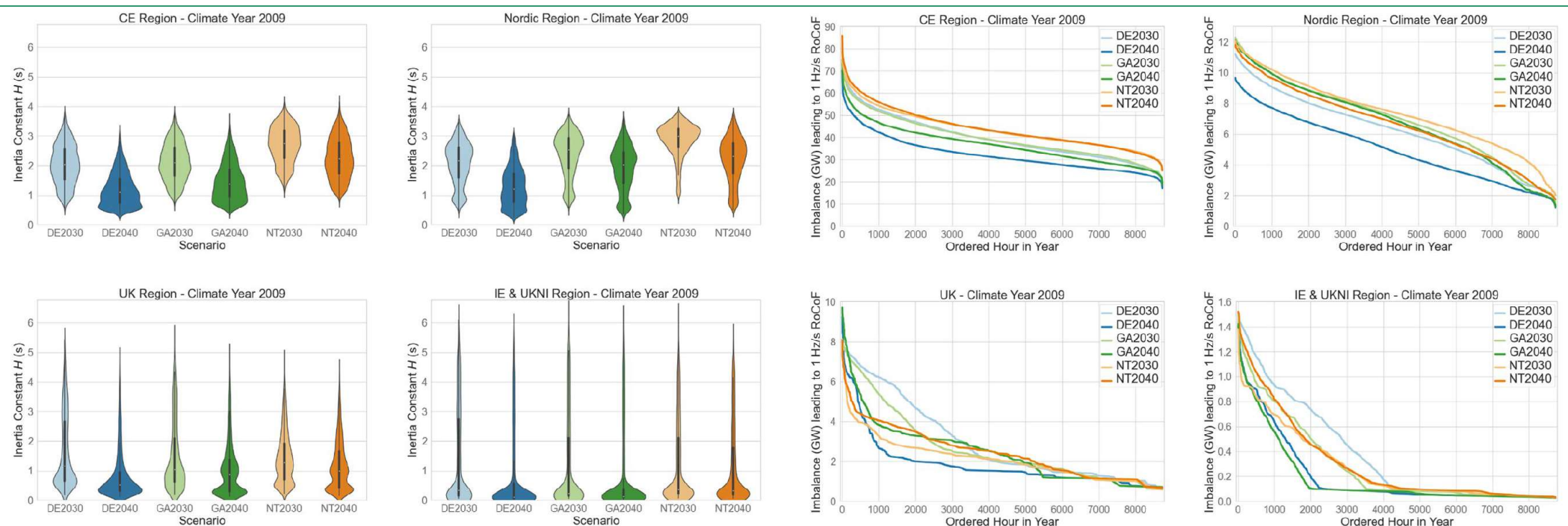
インバータ型RESの慣性の供給、STATCOMや同期調相機の増強。エナジートランジションのペースに追い付くために、これらを迅速かつ協調させていくためのネットワークコードの更新。

## 周波数面（系統全体の慣性力とRoCoF）

■ TYNDP2022の需給シミュレーションの結果、年間の慣性をバイオリンプロットで図示（左図）  
2030年に2040年は、いずれもシナリオにおいて、慣性が減少（TYNDP2020時検討結果よりも減少）

■ RoCoFが1Hz/sとなる需給不一致量を図示（右図）

初期RoCoFは、当該慣性と需給不一致が主要因で決定され、慣性低、需給不一致大の時、大きくなる。  
小規模系統では大規模故障と至らなくても問題となる。慣性増強、発電機耐力強化、高速保護システム構築



慣性（バイオリンプロット）

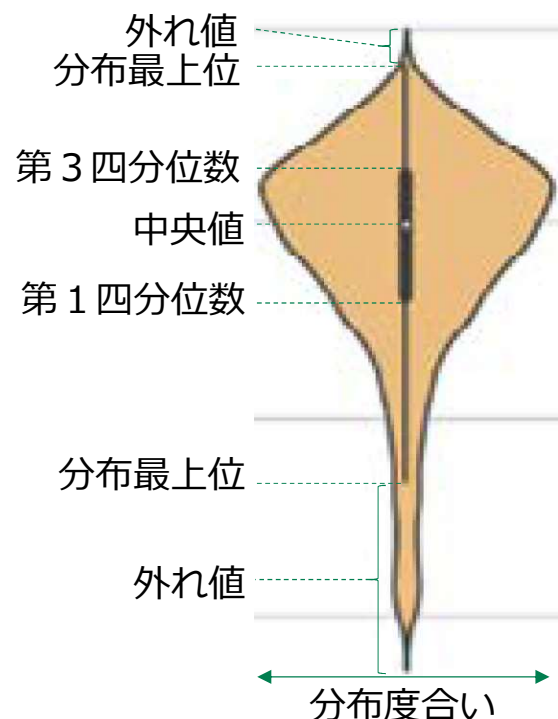
1Hz/sRoCoFとなる需給不一致量

系統規模を考慮されているため、大きさについて注意が必要。



## (補足)①バイオリンプロット、②Climate Year、③RoCoF

### ①バイオリンプロット (例：NR NT2030)



縦軸：対象データ（慣性定数H）

横軸：対象データの分布（左右対称）

デューレーションカーブから直接バイオリンプロットとすることは出来ず、カーネル密度推定等を用いて分布を推定している。また、外れ値算定や分布推定の具体的な方法は、確認できなかったため、直感的なイメージを把握するのみに利用できる。

### ②Climate Year (CY、TYNDP2022ではClimatic Yearと表現)

CYは、シナリオビルディング※によると、30年間の気象条件を代表するものとして、2009年が選定されている。これは、Dunkelflaute（暗い嵐：風力・太陽光も小さくなる天候）に基づき、30年間の気象条件をランク付けし、2番目に厳しい年として、選定されている。

※TYNDP2022 Scenario Building Guidelines <https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/building-guidelines>

TYNDP2022自体のCYとしては、2050年までの期間を対象としたDistributed EnergyとGlobal Ambitionでは、2009年に限定している。CYを限定する理由は、当該2シナリオのシミュレーション計算時間が長いためである。TYNDP2022では、クライムコントロール評価が主目的であり、本慣性力評価は、その一部結果（需給条件等）の流用と想定され、慣性力評価結果の取り扱いには注意が必要。（風力・太陽光がない場合、火力等の同期機運転が増え、慣性力として、厳しい気候とは言えない。）なお、National Trendsは、対象期間が2040年までのため、CYに1995年、2008年を加えているが、全シナリオ共通の2009年のみが言及されている。

### ③RoCoF

$$RoCoF(Hz/s) = \frac{50}{S_n(MW)} \frac{Imbalance(MW)}{2H(MWs/MVA)}$$

系統の大きさ $S_n$ によって、同一のRoCoFであってもImbalance量は異なる。前述の検討結果より、1 Hz/sのRoCoFは、CE（ヨーロッパ大陸）では、系統分断等の過酷事象で発生する大きな需給ミスマッチがない限り、問題ない結果となっているが、小規模系統では、需給調整自体も困難になる可能性がある。

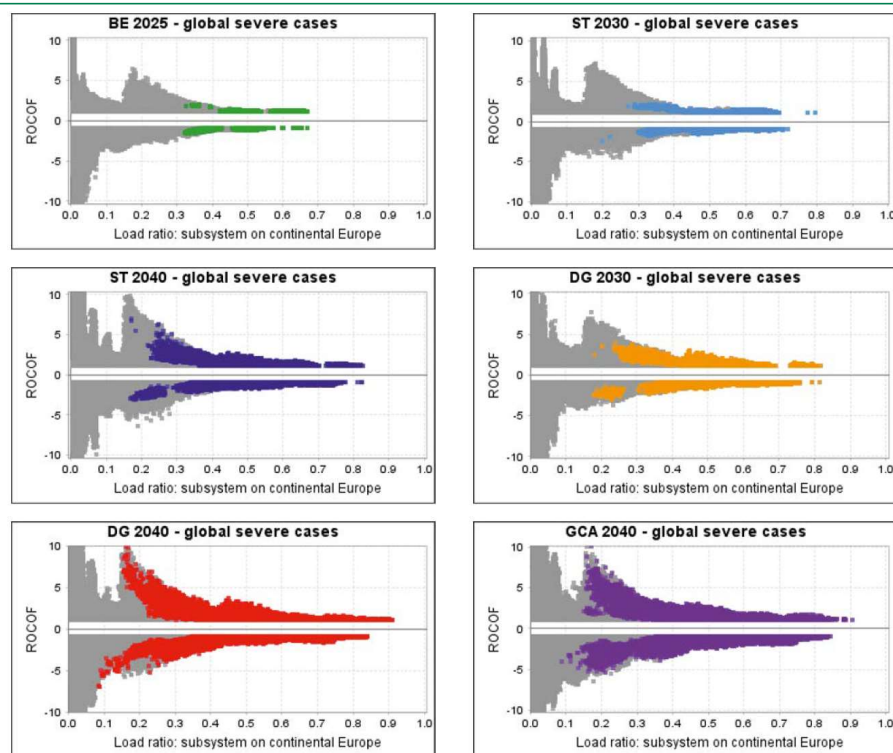
なお、1 Hz/sは、系統運用限度としているが、特に、系統連系要件で定義されるHVDC変換器の2～2.5 Hz/sの運用限度が考慮している。このため、日本で議論されているRoCoFと同様の課題を有している。

## 周波数面（系統分断イベント）

### ■ ENTSO内での系統分断実績

2003年9月：イタリア分断 2006年11月：ヨーロッパ大陸3分断 2021年1月：ヨーロッパ大陸分断  
2021年7月：イベリア半島(スペイン・ポルトガル) 分断

### ■ 系統分断時に分断された両系統のRoCoFが高くなる場合、ヨーロッパ大陸のブラックアウトが危惧される。TYNDP2018のシナリオベースで分断後のRoCoFを確認。ヨーロッパ全体での対策の必要性を確認。



各シナリオベースの分断後のRoCoF

### <解説>

系統分断するケースを想定し、分断後にRoCoFが1Hz/sを超えるケース（灰色プロット）を確認する。分断後に一系統でも運転継続されていれば、早期な復旧が見込めるが、特に、分断後ともに両系統共にRoCoFが1Hz/sを超えるケース（カラープロット）では、ブラックアウトとなる可能性が高い。

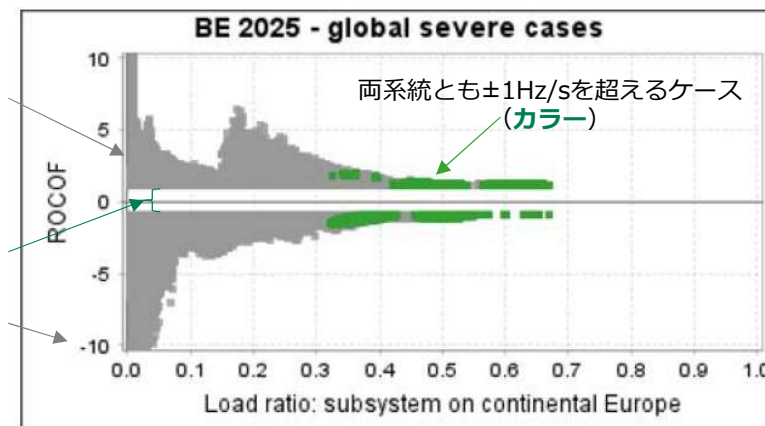
RESが増加するシナリオの差異、対象年代の差異から、今後、両系統共にRoCoFが1Hz/sを超えるケース（カラープロット）が増加していくことが確認できる。

±1Hz/sを超えるケース  
(灰色、カラー)

±1Hz/sの範囲：対象外

10Hz/sを超えるケース  
は表示されていない

横軸：負荷率



BE 2025 – Best Estimate 2025,  
DG 2030 – Distributed Generation 2030,

ST 2030 – Sustainable Transition 2030,  
DG 2040 – Distributed Generation 2040,

ST 2040 – Sustainable Transition 2040,  
GCA 2040 – Global Climate Action 2040.



## (補足) 系統分断

### ■ 2003年9月イタリア分断事象

隣接するスイスの送電線の樹木接触到端を発した送電線の過負荷、連鎖解列による系統分断

参考「FINAL REPORT of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy」 union for the co-ordination of transmission of electricity

### ■ 2006年11月ヨーロッパ大陸3分断事象

ドイツ国内の送電線保安停止に端を発したドイツ国内の連系線の過負荷による系統分断

ドイツが二分されている。

- Area 1 under-frequency
- Area 2 over-frequency
- Area 3 under-frequency

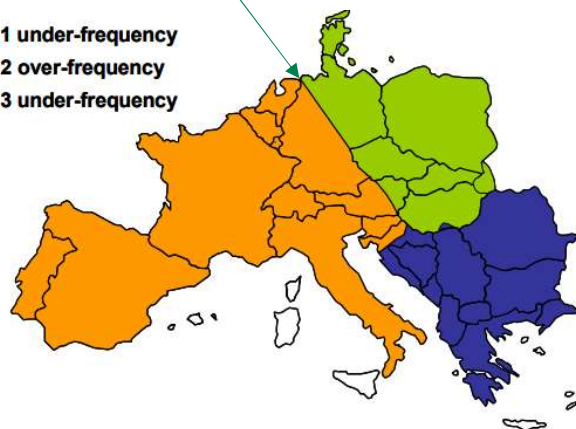


Figure 4: Schematic map of UCTE area split into three areas

出典「Final Report System Disturbance on 4 November 2006」 union for the co-ordination of transmission of electricity

### ■ 2021年1月ヨーロッパ大陸分断事象

クロアチアの変電所の母線分離（過負荷保護）に端を発した系統分断

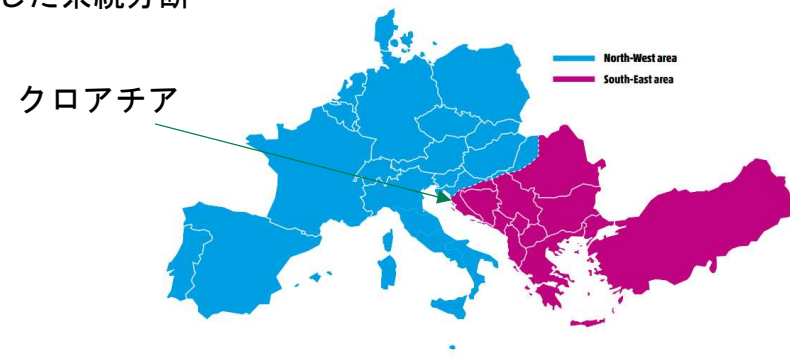


Figure 2.2: Resulting two synchronous areas after the system split

出典「Continental Europe Synchronous Area Separation on 08 January 2021」 ENTSO-E

### ■ 2021年7月イベリア半島分断事象

スペイン国境に隣接するフランス国内自然火災に端を発したフランススペイン間連系線の停止による系統分断

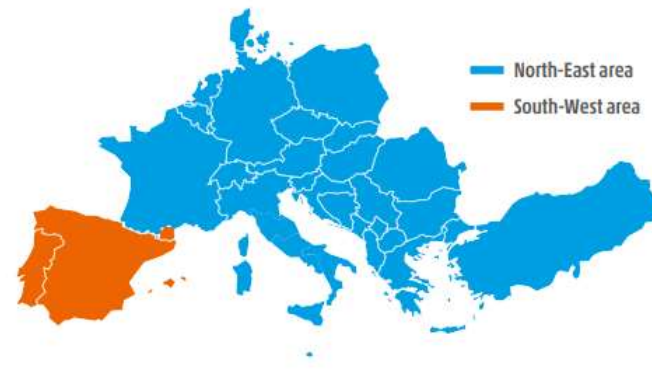


Figure 18: Resulting two synchronous areas after the system split.

出典「Continental Europe Synchronous Area Separation on 24 July 2021」 ENTSO-E

## 周波数面（緩和施策のポテンシャル）

### <デバイス>

- （将来的には）グリッドフォーミングコンバータ（GFM）
- STATCOM + 蓄電池（あるいはHVDC）、同期調相機、市場対応
- 発電機の流用（廃止発電機、現役発電機）
- FFRとして利用可能なコンバータ付発電機、デマンドレスポンス
- 発電機側の耐量強化（RoCoF耐量見直し）
- （系統分断に対して）交流送電の制限と直流送電の増加（特に、TSO所有のGFMのHVDC）、系統増強
- RoCoFに寄らない保護方式の開発

### <系統連系要件・技術基準>

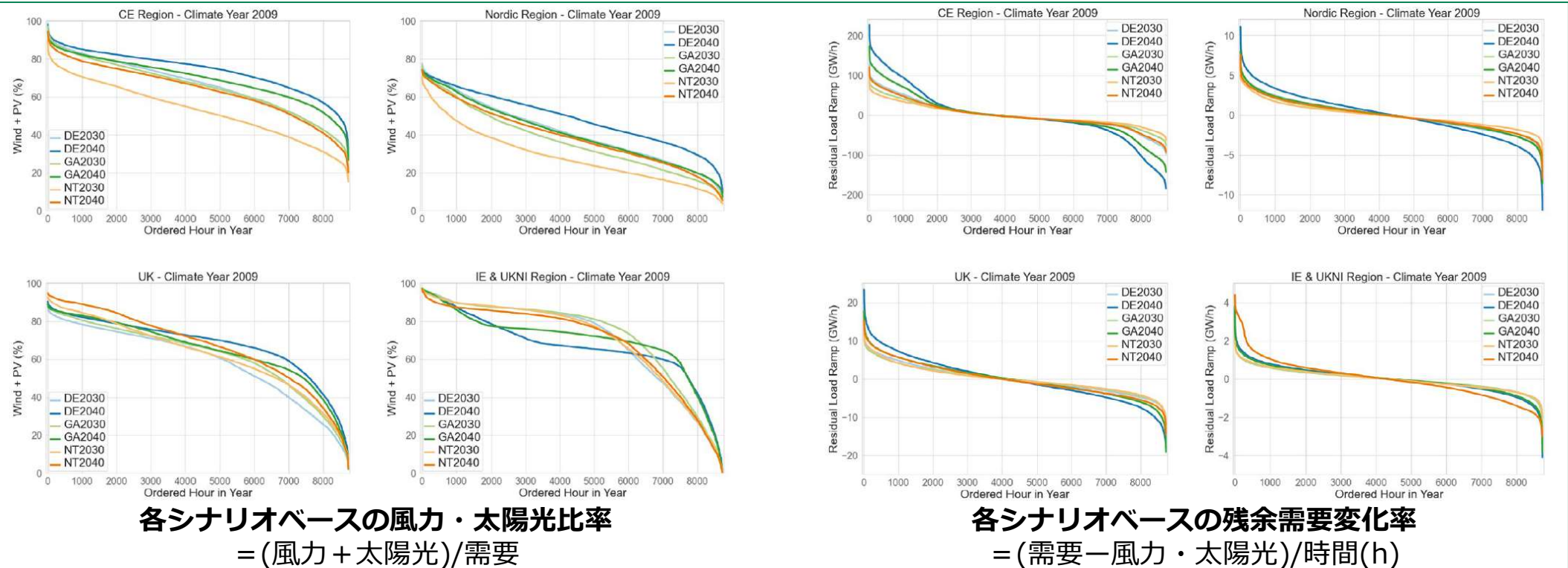
- 高RoCoFに対応するため、慣性、周波数感度などについて発電機・HVDC・需要の必要な機能
- （同期機不足となる将来において）GFMに対して要件定義（電圧確立、故障レベル(電流)貢献、慣性提供、有害なシステム相互干渉防止など）【参照GFM要件情報 [https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/RDC%20documents/210331\\_Grid%20Forming%20Capabilities.pdf](https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/RDC%20documents/210331_Grid%20Forming%20Capabilities.pdf)】

### <系統運用・市場>

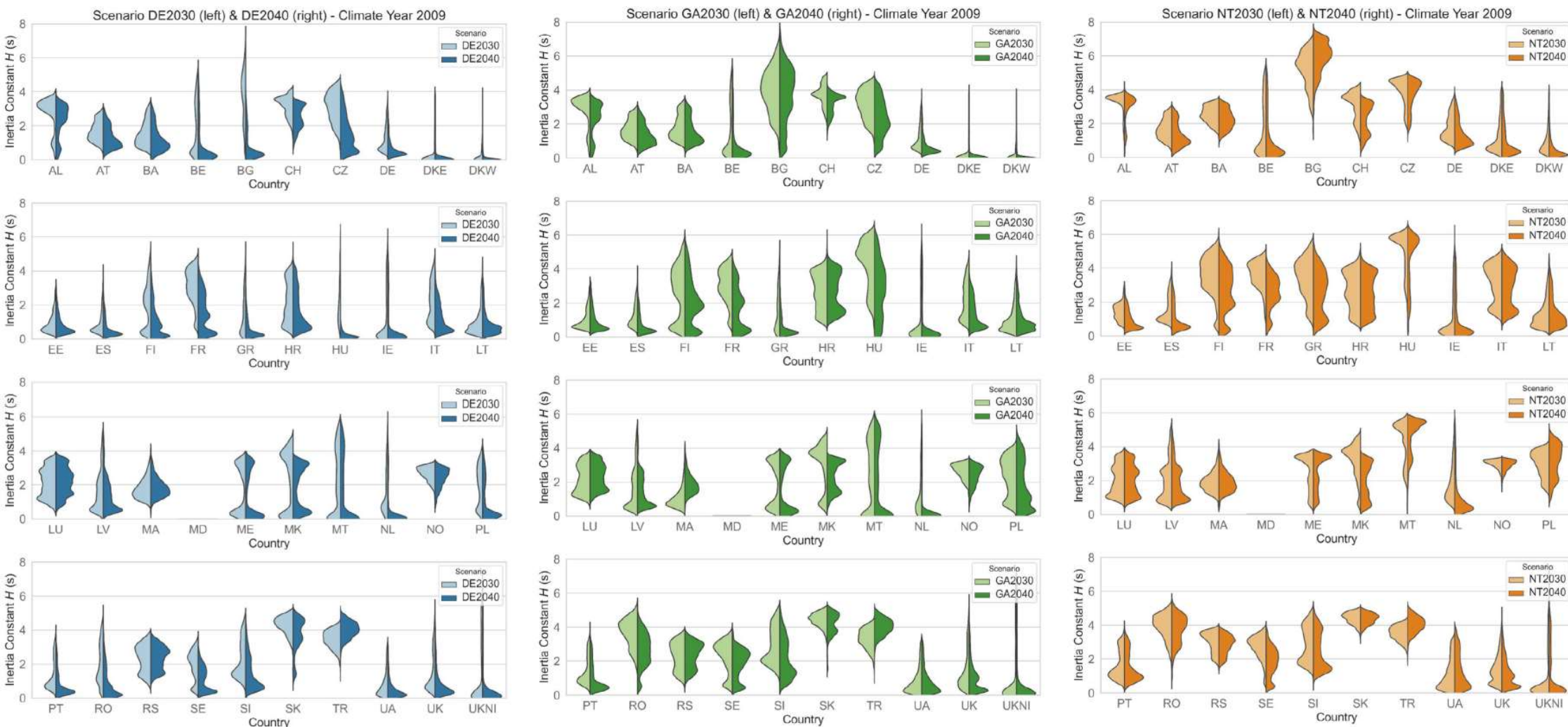
- RES制限と同期機投入（慣性再給電）←短期的対策として有用、長期的には、経済性・環境性で劣る
- 電力融通量低減と慣性再給電による市場制約
- 慣性のリアルタイム監視（現規制では、2年に一度、同期エリア毎に監視）
- （RES稼働率高時における）アンシラリーサービスとして的高速制御可能な調整力確保
- 現状のネットワークコードで定義される最適なHVDC融通量による同期エリア間の慣性力の確保

# フレキシビリティのニーズ

- 各シナリオにおける風力・太陽光比率（自然変動型電源の増加傾向）  
（課題）NRを除く地域では、80%を超える風力・太陽光比率となり、需給バランス維持が課題  
（対応）火力発電・RES・需要・貯蔵（蓄電池）等の新しい役割を定義
- 各シナリオにおける残余需要変化率  
（課題）高速な調整力の確保が課題  
（対応）発電と需要の調整能力確保とその利用のための強固なシステムの構築



## (追加) 各国の慣性(シナリオ別)



本来のバイオリンプロットとは異なり、左右で対象年度が異なるため、その分布のみの変化が着目点となる。  
多くの国では、将来的に慣性が小さくなることを示している。



## 安定度と電圧安定性

潮流制約は以下の経緯から、電圧安定性と過渡安定度との関連が強くなってきている。

### 潮流制約に関する経緯

国を跨ぐ、電力のやり取りの増加と長距離化

系統の静的限界（熱容量や電圧安定性）の増加

パワーエレクトロニクス機器により、駆動・制御される発電機・需要の増加

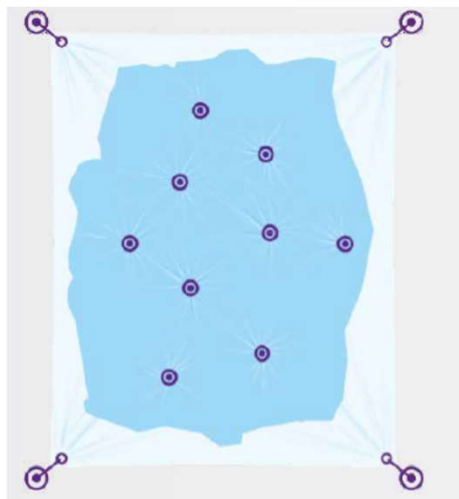


## 安定度と電圧安定性

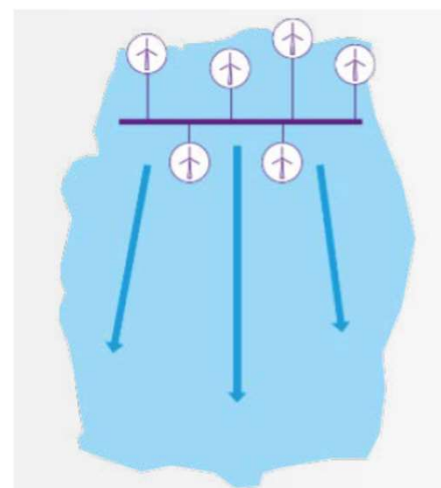
### 電圧安定性

14

- 電力系統は同期発電機の減少と、需給状況・市場状況・再エネの気象状況など移ろいやすい状況の2つの課題に直面している
- 系統面と電源面にそれぞれ即した、解決策の適切な組み合わせが必要である



図：発電機が需要地点の中心に配置された例  
（歴史的な配置）  
－ 発電機は布を適度に伸ばしている  
（＝系統電圧を維持）



図：多くの再エネが特定地点に配置された例  
（ここでは北部に配置）  
－ 再エネ稼働時、南部ではほとんどの電源が停止している  
－ このような状況でも布は適度に伸ばす（＝系統電圧を維持する）必要がある



## 安定度と電圧安定性 過渡安定度

- 短絡容量の大きさは、一般的に系統の強度を示す指標として使われてきた
- 短絡容量が小さくなると系統事故時に、深刻な電圧低下→安定度の悪化→多くの発電機の遮断リスクを引き起こすため、継続的な短絡電力のモニタリングが必要

⇒系統の安定性にリスクあり

➤ 発電機的能力向上 or 短絡電力の増加（同期調相機の設置など）が必要

|    | 短絡容量 大      | 短絡容量 小    |
|----|-------------|-----------|
| 電源 | 多くの同期発電機が稼働 | 多くの再エネが稼働 |
| 系統 | メッシュ化された系統  | 長距離送電     |

| 中長期的施策      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 技術的な解決案     | ➤ 電圧維持源（同期調相機、SVC、STATCOM、HVDCコンバータ、特にGFMを備えたもの）の追加と、適度な分散                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| グリッドコードと標準化 | ➤ FRT、電圧維持、系統形成などの発電モジュールに関連する技術要件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| TSO/DSO間協調  | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 配電系統の無効電力補償<ul style="list-style-type: none"><li>⇒配電系統の再エネには無効電力補償が必要（再エネの無効電<br/>量消費は、高電圧の抑制に寄与。ただし、P6の制約あり）</li></ul></li><li>➤ TSO／DSO間協調による、分散リソースの可観測性と制御性<ul style="list-style-type: none"><li>⇒系統に合わせた制御性と信頼性</li><li>⇒リソース/キャパシティの能力と有効性の監視</li></ul></li><li>➤ 送電系統を維持するための、送電系統での無効電力補償と、TSO<br/>／DSO間における無効電力のやりとりの許容範囲明確化</li></ul> |

### 短中期的施策

- 配電系統の需要家を含む、既存の無効電力源の有効利用
- 必要な短絡電力を満たすため、再エネ・潮流を制限し、従来型のマストラン電源の確保

### ＜配電系統の無効電力補償に関する制約＞

- 再エネは必ずしも無効電力補償が必要な場所に配置されているとは限らない
- 配電系統と特高系統では以下のとおり、同種の電圧の問題は発生しない
  - 配電系統では低電圧、特高系統では高電圧となる可能性あり
  - 負荷時タップ切換器により、電圧の問題が配電系統に制限される
  - 特高系統の問題を解決するため既設電源を活用すると、配電系統で問題が発生するおそれあり
  - 配電系統における無効電力によって引き起こされるコストの消費が問題になるおそれあり



- 系統は、規模と方向が頻繁に変わり得る潮流に直面

- ある瞬間に非常に高負荷に、次の瞬間には非常に低負荷に変化

- 系統増強に必要な時間は、再エネ開発に要する時間よりもはるかに長い。一方で、ノンワイヤソリューションでは既設設備を有効活用し、標準的な設備の開発を補完することが可能

⇒系統の最適化が最初に行われ、次に既設設備の増強、最後に送電線の新設が行われるべきである。  
以下、検討すべき解決策を説明

| 回線容量の増加(DLR) |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 内容           | 架空送電線の電流容量は温度に依存。特定の気象条件では、既存架空送電線の容量を大幅に増やすことができる(150%以上)                                                                                                                                                                                                 |
| 課題           | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 電力系統の安定性限界を維持しながら、現在・将来の熱容量を決定し、運用プロセスに統合することは依然として困難</li><li>➤ 潮流増加にともない、通常時と事故時ともに無効電力消費が増加。</li><li>➤ 電圧安定性の問題を回避するため、十分な無効電力源が必要</li><li>➤ DLRにより一時的な安定性の問題のリスク増加。<br/>潮流増加→位相角が拡大し、系統が一時的な安定性限界に近づく</li></ul> |

| 電流制御装置（移相変圧器 (PST)、静止型同期直列補償器 (SSSC)） |      |                                                                                                       |
|---------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 装置                                    | PST  | 2つのノード間の電圧位相差角を調整することによって電力フローを制御する特殊なタイプの変圧器                                                         |
|                                       | SSSC | 電圧源コンバーター (VSC) と変圧器で構成され、送電線に直列に接続し、電流を90°制御。<br>誘導性または容量性リアクタンスとして制御可能となり、送電インピーダンスを低減または増加し、送電容量変化 |
| 課題                                    |      | 不測の事態時にこれら装置のトリップによって、電圧位相角の急激な変化→大きな電力変動発生のおそれ                                                       |

| 電圧制御装置（可変分路リアクトル (VSR) 、同期調相機、STATCOM） |         |                                                                                                                                   |
|----------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 装置                                     | VSR     | タップチェンジャーを使用して、分路リアクトルの巻数を変更することによって、インダクタンスを変化<br>需要変動に応じて、無効電力補償の調整が連続的に可能                                                      |
|                                        | 同期調相機   | 駆動設備を軸に取り付けない直流励磁同期機である。同期発電機で、慣性（フライホイールを装備している場合）、短絡電流、電圧制御機能を具備。これらの機能は、周波数、過渡安定度および電圧安定性の向上に役立つ                               |
|                                        | STATCOM | モジュール式マルチレベル構成の半導体バルブを備えたVSCに基づくFACTS。<br>無効電流を動的に供給または吸収し、電圧調整が可能であり、電圧の安定性が向上。<br>エネルギー貯蔵を備えた場合、STATCOMSはローカルまたはエリア間の電力動揺の減衰に寄与 |

| システムストレージ (1/2) |                              |                                                                                                                    |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| バッテリーストレージ      |                              | 周波数調整、電圧サポート、混雑管理に使われる                                                                                             |
| 機械式ストレージ        | 圧縮空気エネルギー<br>ストレージ<br>(CAES) | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 圧縮空気を膨張し、発電用タービンを駆動可能</li><li>➤ 用途：周波数調整、混雑管理</li></ul>                    |
|                 | フライホイール：                     | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 最も迅速な応答時間を持ち、慣性も提供</li><li>➤ 用途：周波数調整。</li></ul>                           |
|                 | 液体空気エネルギー<br>ストレージ<br>(LAES) | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 空気が液体になるまで冷却する必要があり、これを膨張させて発電用タービンを駆動可能</li><li>➤ 用途：周波数調整、混雑管理</li></ul> |



| 電圧上昇     |                                                                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 熱エネルギー貯蔵 | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 蓄えた熱により、需要のピーク時に蒸気タービンを稼働し発電</li><li>➤ 用途：周波数調整、混雑管理</li></ul>                           |
| 化学貯蔵     | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 電気による水素やメタン製造により、電気を貯蔵可能。製造設備で電力需要を調整することで、電力系統内の需要を調整</li><li>➤ 用途：周波数調整、混雑管理</li></ul> |
|          | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 最も迅速な応答時間を持ち、慣性も提供</li><li>➤ 用途：周波数調整</li></ul>                                          |
|          | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 空気が液体になるまで冷却する必要があり、これを膨張させて発電用タービンを駆動可能</li><li>➤ 用途：周波数調整、混雑管理</li></ul>               |

## グリッドの限界までの活用に向けたチャレンジ

25

| 電圧階級の格上げ       | 電圧階級を格上げし、送電容量を大幅に増加                                                                                                              |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 実現可能性の<br>評価項目 | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Right of Way</li><li>➤ 離隔距離</li><li>➤ 支持物の適合</li><li>➤ 導体の詳細評価</li><li>➤ 電磁界ノイズ</li></ul> |

- パワーエレクトロニクス機器と分散型エネルギーの増加、デジタル化、電力システムにおける技術開発

⇒ 調査と分析が必要な新たな課題の発生（TYNDP system needs study 9以前の報告書でも課題について言及）

### 新たな課題

EHVケーブルの多用（AC用）

新デバイスと制御間の相互作用

サイバーフィジカルシステム

位相変成器・HVDC回線の増加

TSO-DSO間協調

老朽化した系統と発電機

セクター統合

エネルギー貯蔵システム

| 新たな課題（代表例：ダンピング）                                                                                                                                                                                                                                                     | 対策                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 擾乱（発電の喪失など）発生後、互いに離れた複数発電機のグループ間で振動が発生<ul style="list-style-type: none"><li>⇒振動は一般的には十分に減衰され、数秒後に振動は停止</li><li>⇒振動の減衰を目的に送電容量を制限すると、エリア間連系の収益性を著しく損なうおそれ</li></ul></li><li>➤ ヨーロッパにおける長距離送電の増加は、制御システムの調整が必要となるおそれ</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 同期機、FACTS、STATCOM/HVDCの電圧・電力の適切な調整</li><li>➤ 電圧・電力の適切な調整には、振動に関与する全機器を模擬した、ダイナミクスモデルが必要</li></ul> |

- 本章では技術的背景、システムへの影響、関連する解決策や緩和策の説明を通じ以下に言及
  - いくつかの主要なダイナミクスと運用上の課題に関する包括的な視点
  - 監視、研究すべき新たな現象やトピックス
  - 欧州の政策目標である炭素化を達成できる可能性がある、将来を見据えた解決策



## サマリー：系統面のニーズ 系統設計のチャレンジ

- システムの安定性（再生可能エネルギーの制限、潮流の制限、マストラン電源の必要性）を維持するための中間的な解決策が必要
  - 電力変換器のGFMが一つの解決策
  - ロードマップ（GFMの技術要件化、同期発電機の慣性に代わるもの）を設定し、系統で活用できるようにするため、ステークホルダー（TSO、DSO、研究機関、メーカー、システム利用者、政策立案者）間の建設的な対話の加速が必要

| チャレンジ        | 概要                                                                                                                                                   |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アベイラビリティ     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ システムの柔軟性確保に対する報酬システムと、システムのニーズに沿って行動する市場参加者へのインセンティブの確保</li> <li>➤ グリッドユーザーの必要な技術力と欧州電力市場の一貫した改善</li> </ul> |
| ノンワイヤソリューション | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 既設、及び新設されるインフラを有効活用し、インフラの新設までの補完が可能</li> </ul>                                                             |
| リサーチ&イノベーション | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 安定性管理のための新技術開発を加速するには、RD&amp;Iと利害関係者の協力が必要</li> </ul>                                                       |

## サマリー：系統面のニーズ 系統運用のチャレンジ

- ENTSO-Eの「System of Systems」ビジョンに沿って国境を越えた協力と、地域ニーズと制約への適応が必要
- 状況は同時によりヨーロッパ的であり、より地域的である。これら課題に対処するために、TSOにはいくつかのリソースがある。

| チャレンジ        | 概要                                                                                                                                                                           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 新市場モデル       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 国を跨ぐ課題への対応のため、より緊密な運用の調整を必要とするシステムの実現。</li> <li>➤ モデルはリソースを組み合わせ、高レベルのパワーエレクトロニクスを備えた系統ソリューションへと展開し、かつ、予測には複数国を含める必要がある。</li> </ul> |
| 分散柔軟性        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 系統のニーズに貢献するフレキシビリティが不可欠</li> <li>➤ 各国のネットワーク、制度、経済性に依存し、地域の制約、文化、現実性に適応のうえ、自動化と意思決定を支援</li> </ul>                                   |
| 地域調整センター     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 地域調整センターを通じた、国境を越えた協力の強化</li> </ul>                                                                                                 |
| 地域制約に関する深い知識 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 機関、顧客、利害関係者、一般市民との緊密な関係、DSOとのパートナーシップを通じて得られる、地域制約に関する深い知識</li> </ul>                                                               |

## 日本とのギャップ、それを踏まえた提言

### <気象条件>

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 気づき    | TYNDPのシナリオに利用する気象条件は、過去30年間の情報を基に、代表する年度を決めている。                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 日本の実情  | マスプラでは、直前年度（2019年度）の再エネ導入量と発電実績を基にした利用率を用いている。                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 得られた洞察 | 気象条件として過酷な条件を定義した上で、過去の気象実績を用いたシナリオを作る必要がある。                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 解説     | 再エネの導入量が増大していく将来において、再エネ電源の発電状況は、需給バランスにおいて大きく影響を与える。再エネ導入量を反映する上では、直前の年度の活用は適切であると想定されるが、気象条件として、直前年度が厳しいとは限らない。今回の慣性力においては、再エネ供給が多い気象状況が厳しくなるとは考えられるが、再エネ主体となった需給環境下では、再エネが運転できない気象状況では、火力の運転が必要となるため、クライメイトニュートラルの実現可能性検討としては、再エネ供給が少ない気象条件が必要となる。ENTSO-EがTYNDPの解析結果を流用したため、慣性力検討として当該気象条件は適切でないと考えられる。 |

### <RoCoF管理>

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 気づき    | RoCoFの管理値を1Hz/secとし、系統分断状況においても管理対象としている。                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 日本の実情  | RoCoFの管理値を2Hz/secとし、系統分断状況下の検討は対象外としている。                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 得られた洞察 | RoCoFの管理値として、単独運転検出で用いられる整定値に適切な安全率を見込むことが必要。系統分断状況下については、RoCoF管理値に対する需給不一致量を管理することが必要。                                                                                                                                                                                                                           |
| 解説     | ENTSO-Eにおいても、2～2.5Hz/secの単独運転検出機能による設備停止が懸念されているものの、それ自体を管理値にしていない。この理由は明確ではないが、解析では限られた条件下になるため、網羅的に確認することは困難であり、適切に管理をしていく上では、ある程度の安全率を見込む必要があると考える。系統分断状況については、それ自体がセキュリティ基準としてN-2以上の過酷な状況であり、それに加え電源脱落を想定することは、適切とは言えない。しかしながら、負荷変動等の定常時で発生するものにおいては、RoCoFを管理すべきであり、ENTSO-EのようにRoCoF管理値に対する需給不一致量の管理は有用ではないか。 |

## 日本とのギャップ、それを踏まえた提言

### <グリッドフォーミングコンバータ（GFM）の促進>

|        |                                                                                                                                                                          |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 気づき    | GFMの開発促進、要件定義化                                                                                                                                                           |
| 日本の実情  | ブラックスタート機能による実用化を除き、GFMは研究対象ではあり、実用化の具体的な動きはない。                                                                                                                          |
| 得られた洞察 | 同期機減少に伴う種々の課題に対応していくために、GFMの開発促進が必要である。                                                                                                                                  |
| 解説     | 再エネ導入量が増大し、同期機の運転が減少していくと、これまで同期機が担ってきた系統維持機能が喪失していく。このため、再エネやHVDCで用いれるパワエレ機器を、これまでのグリッドフォローイングコンバータではなく、GFM化していくことが求められる。まずは、ENTSO-Eが定める要件定義を参考に、日本に適用できる要件定義が必要と考えられる。 |

|        |                                                                                                                                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 気づき    | 送電系統を維持するための、送電系統での無効電力補償と、TSO／DSO間における無効電力のやりとりの許容範囲明確化                                                                           |
| 日本の実情  | 送電系統、配電系統それぞれ個別に電圧維持に努めており、両系統間で協調し電圧維持していない                                                                                       |
| 得られた洞察 | 再エネの導入量が増大していく将来において、TSO／DSO間の協調を強化すべき                                                                                             |
| 解説     | 再エネに起因し配電系統では低電圧、特高系統では高電圧となる場合があり、両系統で異なる電圧の問題が発生しうる。日本では両系統でそれぞれ個別に電圧を維持してきたが、再エネが大量に導入していく将来においてはTSO/DSO間で協調し送電・配電系統を維持する必要がある。 |

| 大項目  | 中項目                | 小項目       | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | N/A |
|------|--------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----|
| 価値   | 日本にとって取り込む価値はあるか   |           | ○ |   |   |   |   |     |
| 前提条件 | 前提条件（以下）が明確になっているか |           |   |   | ○ |   |   |     |
|      | 日本と前提条件が合っているか     | 国土や地理     |   |   |   |   | ○ |     |
|      |                    | 地政学       |   |   |   |   | ○ |     |
|      |                    | 需要動向      |   |   |   |   |   | ○   |
|      |                    | 電源ポートフォリオ |   |   |   |   | ○ |     |
|      |                    | 燃料制約      |   |   |   |   | ○ |     |
|      |                    | 各種インフラ状況  |   |   | ○ |   |   |     |
|      |                    | 電力制度      |   |   | ○ |   |   |     |
|      |                    | 電力市場      |   |   | ○ |   |   |     |
| 整理学  | 課題と解決策が明確に定義されているか |           |   |   | ○ |   |   |     |
|      | 解決策は課題を解消できているか    |           |   |   | ○ |   |   |     |

| 大項目 | 中項目                | 小項目        | 該当 |
|-----|--------------------|------------|----|
| 関係者 | 日本におけるステークホルダーはだれか | 政府         | ○  |
|     |                    | 規制機関       | ○  |
|     |                    | 広域機関       | ○  |
|     |                    | 発電事業者      | ○  |
|     |                    | 送配電事業者     | ○  |
|     |                    | 小売電気事業者    | ○  |
|     |                    | 最終需要家      | ○  |
|     |                    | メーカー       | ○  |
|     |                    | 金融機関       |    |
|     |                    | アカデミア・研究機関 | ○  |
|     |                    | その他        |    |

慣性・周波数分断等、シナリオ想定から課題解決までの流れは、規制機関中心  
グリッドフォーミングコンバータは、メーカ主体の開発、政府の後押し、規制機関の要件定義