

第3回ESIシンポジウム

電力品質維持にも貢献する再生可能エネルギー発電

－ システムサービスへの再エネ発電制御機能の活用 －

経済産業省の取り組み

－ 再エネの最大限の系統接続に向けて －

平成30年7月9日

経済産業省 資源エネルギー庁

電力基盤整備課長

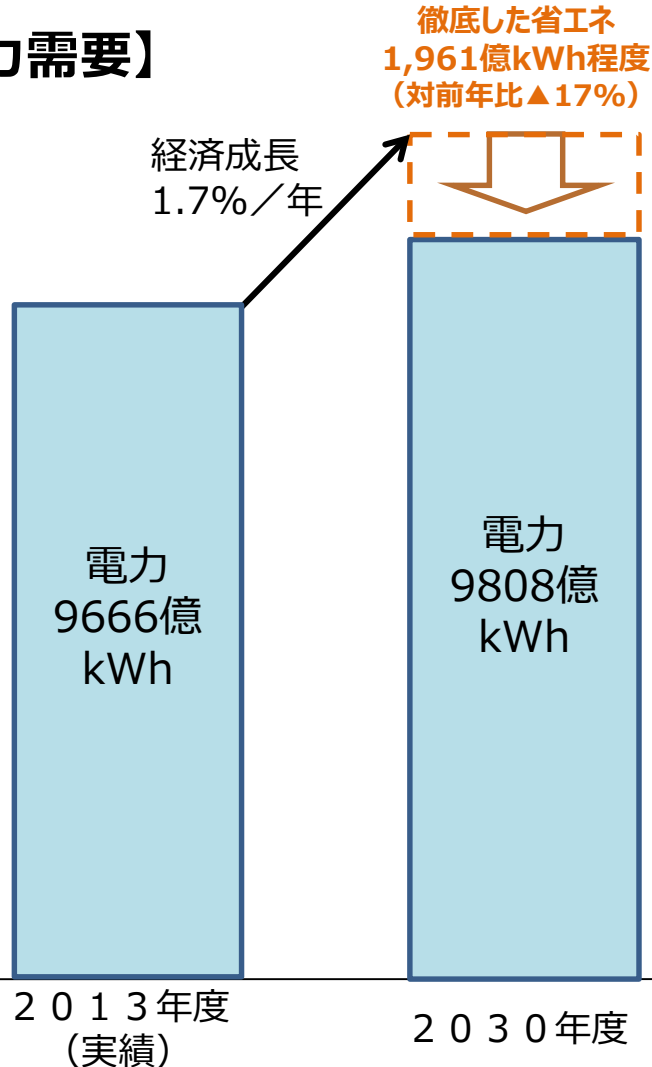
曳野 潔 (ひきの きよし)

- 1. 「再生可能エネルギー」が置かれた現状と系統制約の克服について**
2. 再エネ自身の調整機能確保に向けて

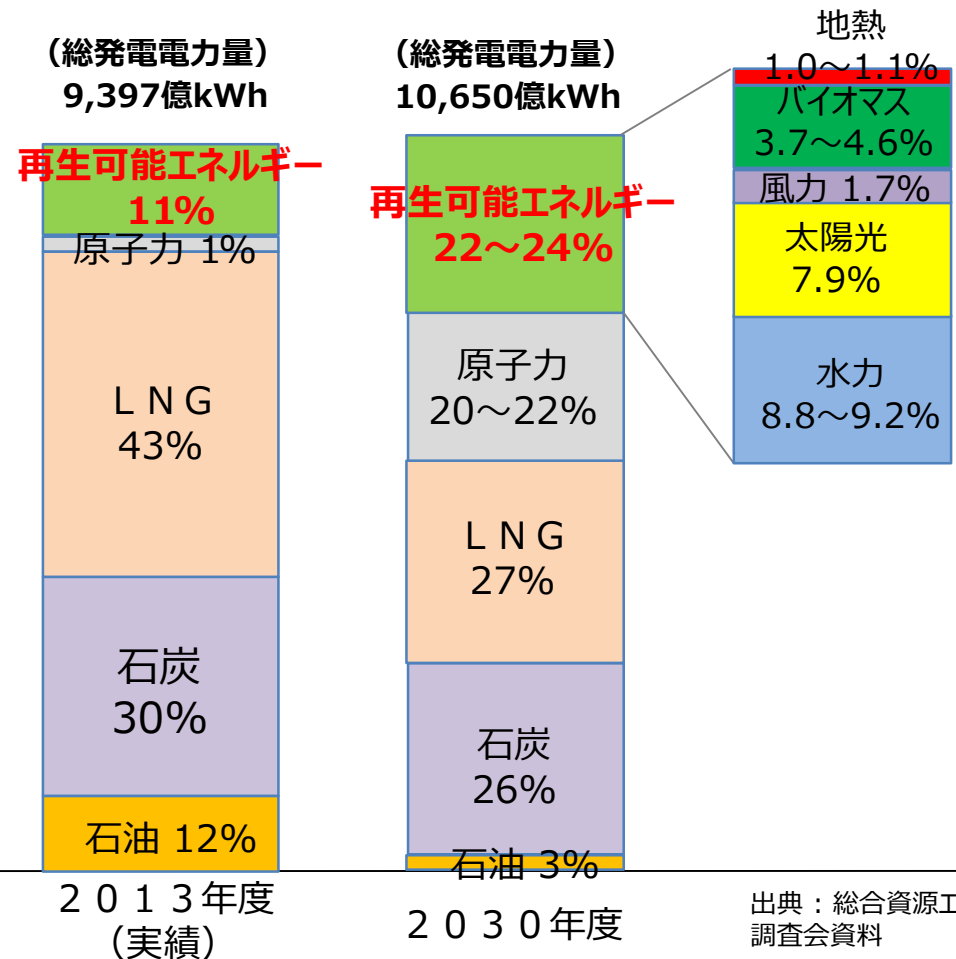
新しい電源構成（エネルギーミックス）

- 徹底した省エネで2030年度の電力需要を2013年度とほぼ同レベルまで抑えることを見込む。
- 東日本大震災前に約30%を占めていた原発依存度は、20%～22%程度へと大きく低減する。
- 太陽光や風力などの再生可能エネルギーの依存度は22～24%に。

【電力需要】



【電源構成】



2030年エネルギーミックスの進捗 ～着実に進展。他方で道半ば～

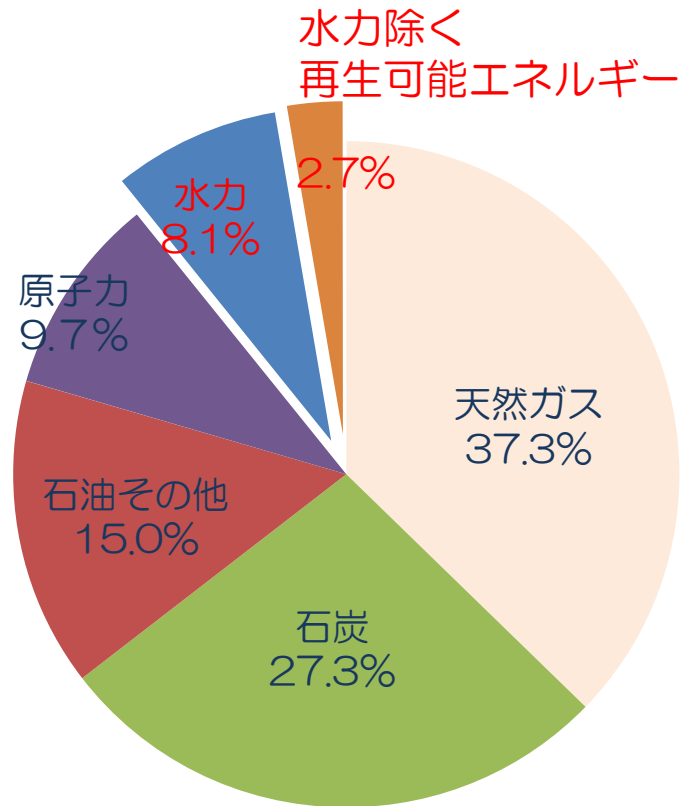
	震災前 (2010年度)	震災後 (2013年度)	足下 (2016年度:推計)	ミックス (2030年度)	進捗状況	
取組指標	①ゼロエミ電源 比率	36% 再エネ10% 原子力26%	12% 再エネ11% 原子力1%	17% 再エネ15% 原子力2%	44% 再エネ22~24% 原子力22~20%	
	②省エネ (原油換算の 最終エネルギー消費)	3.8億kl 〔産業・業務: 2.4 家 庭: 0.6 運 輸: 0.8〕	3.6億kl 〔産業・業務: 2.3 家 庭: 0.5 運 輸: 0.8〕	3.5億kl 〔産業・業務: 2.2 家 庭: 0.5 運 輸: 0.8〕	3.3億kl 〔産業・業務: 2.3 家 庭: 0.4 運 輸: 0.6〕	
成果指標	③CO2排出量 (エネルギー起源)	11.3億トン	12.4億トン	11.4億トン	9.3億トン	
	④電力コスト (燃料費+ FIT買取費)	5.0兆円 燃料費: 5.0兆円 (原油価格84\$/bbl) FIT買取: 0兆円	9.8兆円 燃料費: 9.2兆円 (原油価格110\$/bbl) 〔数量要因+1.6兆円〕 〔価格要因+2.7兆円〕 FIT買取: 0.6兆円	6.2兆円 燃料費: 4.2兆円 (原油価格48\$/bbl) 〔数量要因▲0.9兆円〕 〔価格要因▲4.1兆円〕 FIT買取: 2.0兆円	9.2~9.5兆円 燃料費: 5.3兆円 (原油価格128\$/bbl) FIT買取: 3.7~4.0兆円	
	⑤エネルギー 自給率 (1次エネルギー全体)	20%	6%	8%	24%	

※2016年度は「2018年度までの日本の経済・エネルギー需給見通し」(日本エネルギー経済研究所)を基に推計した値
 ※2030年度の電力コストは系統安定化費用0.1兆円を含む

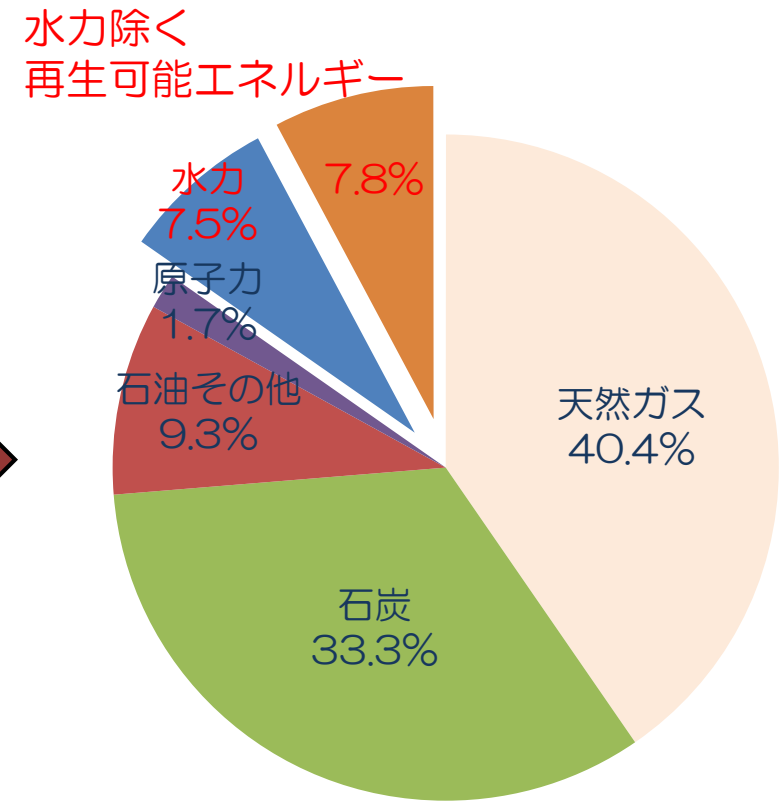
再生可能エネルギーの導入状況

- 以前から我が国において開発が進んできた水力を除く再生可能エネルギーの全体の発電量に占める割合は、2.7%（2011年度）から7.8%（2016年度）に増加（水力を含めると15.3%を占める）。

【発電電力量の構成(2011年度)】



【発電電力量の構成(2016年度)】



2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応の方向性

- 2030年のエネルギーミックスへ向けた対応は着実に進展しているが、道半ば。
- 引き続き、3E+Sの基本に沿って、2030年のエネルギーミックスの確実な実現へ向け、エネルギー源ごとの対策等を深掘りし、着実に推進していく。

2030年を目途としたエネルギー源ごとの対策

省エネ等

再エネ・原子力・化石燃料
に並ぶ第4のエネルギー源に

- ①産業・業務部門の深掘り
-企業間連携による省エネ
- ②貨物輸送の効率化
-荷主・輸送事業者の連携強化
-EV・PHV/ FCVの普及加速
- ③業務・家庭部門の深掘り
-機器間連携による省エネ
-住宅・ビルのゼロ・エネルギー化
- ④水素の更なる利活用
-水素基本戦略の着実な実施
- ⑤低炭素な熱供給の普及
-熱の面的利用等

再エネ

主力電源に

- ①発電コスト低減
-国際水準を目指す
- ②事業環境を改善
-規制のリバランス
-長期安定的な電源へ
- ③系統制約解消へ
-「新・系統利用ルール」の創設
- ④調整力を確保
-広域的・柔軟な調整
-発・送・小の役割分担整備
-カーボンフリー調整力の開発

原子力

依存度低減、安全最優先の
再稼働、重要電源

- ①更なる安全性向上
-自主的安全性向上のための「新組織」の設立と行政等によるサポート強化
- ②防災対策・事故後対応強化
-新たな地域共生の在り方の検討
- ③核燃料サイクル・バックエンド対策
-国内事業者間連携・体制強化と国際連携
- ④状況変化に即した立地地域対応
-短期から長期までの柔軟かつ効果的な支援
- ⑤対話・広報の取組強化
-データに基づく政策情報提供と対話活動の充実
- ⑥技術・人材・産業の維持・強化
-安全を支える人材と知の維持へ

火力・資源

火力の低炭素化・
資源セキュリティの強化

- ①高度化法・省エネ法の整備
-非化石価値取引市場を創設等
- ②クリーンなガス利用へのシフト
-コジェネの更なる高効率化等
- ③資源獲得力強化
-EV普及に備えた鉱物資源確保
-国際資源マーケットの育成・活用等
- ④有事・将来への強靱性強化
-燃料供給インフラの次世代化
-天然ガスサプライチェーンの強化等
- ⑤国内資源・技術の有効活用
-大規模地熱発電の開発促進
-国産資源開発等

横断的課題（システム改革・グローバル展開・イノベーション）

自由化の下での経済性（競争の促進）と公益性（低炭素化等の実現）の両立、海外展開促進、AI/IoT利用等

再エネ政策の対応の方向性

		日本の課題		今後の対応
再生可能エネルギーの 主力電源化	発電コスト	<ul style="list-style-type: none"> 欧州の2倍 これまで国民負担2兆円/年で再エネ比率+5% (10%→15%) →今後+1兆円/年で+9% (15%→24%)が必要 	→	<p>国際水準を目指した徹底的なコストダウン</p> <p>入札制・中長期目標による価格低減 〔大規模太陽光に加え、来年度以降、入札対象を大規模バイオマスや洋上風力に拡大〕</p> <p>ゲームチェンジャーとなりうる技術開発〔^{ペロブスカイト型}太陽光等〕</p> <p>自立化を促す支援制度の在り方検討〔海外の先進手法の検証〕</p>
	事業環境	<ul style="list-style-type: none"> 長期安定発電を支える環境が未成熟 洋上風力等の立地制約 	→	<p>規制のリバランス 長期安定電源化</p> <p>洋上風力のための海域利用ルールの整備 (海洋再エネ促進法案を今通常国会に提出)</p> <p>適正な事業実施/地域との共生 〔運転開始期限を来年度から全電源に、太陽光パネル廃棄対策の検討開始、地熱資源の適正管理等に向けた制度検討〕</p> <p>新たな再エネ活用モデル/再投資支援 (2019卒FITの取扱い決定、太陽光評価ガイドの活用)</p>
再エネの大量導入を支える 次世代電力ネットワークの構築	系統制約	<ul style="list-style-type: none"> 既存系統と再エネ立地ポテンシャルの不一致 系統需要の構造的減少 <p>⇓</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来の系統運用の下で、増強に要する時間と費用が増大 次世代NW投資が滞るおそれ 	→	<p>「新・系統利用ルール」の創設 ～ルールに基づく系統の解放へ～</p> <p>既存系統の「すき間」の更なる活用 (日本版コネクト&マネージ) 〔来年度から、実態ベースの空容量算定、平時における「緊急枠」の先行活用、混雑時の出力制御前提の系統接続は、検討加速化〕</p> <p>再エネ大量導入時代におけるNWコスト改革 (「発電+NW」コストの最小化・次世代投資へ検討開始)</p> <p>徹底した情報公開・開示〔トップランナー水準の地域の取組を全国で/よりきめ細かな開示〕</p> <p>紛争処理システムの構築 (関係機関の連携強化)</p>
	調整力	<ul style="list-style-type: none"> 変動再エネの導入拡大 <p>⇓</p> <ul style="list-style-type: none"> 当面は火力で調整 将来は蓄電の導入によりカーボン・フリー化 	→	<p>広域的・柔軟な調整 発・送・小の役割分担</p> <p>火力の柔軟性/再エネ自身の調整機能確保 (風力発電等への適用の検討加速化)</p> <p>市場機能/連系線/新たな調整機能の活用 (具体的な検討加速)</p>
				→

系統制約の克服に向けた対応の全体像

<発電事業者の声・指摘>

「つなげない」
(送電線の平均利用率が
10%未満でもつなげない)

「高い」
(接続に必要な負担が大きすぎる)

「遅い」
(接続に要する時間が長すぎる)

<実態>

「送電容量が空いている」のではなく、
停電防止のため一定の余裕が必要

- 50% = 「上限」(単純2回線)
- 「平均」ではなく「ピーク時」で評価

欧州の多くも、日本と同様の
一部特定負担 (発電事業者負担)

- モラルハザード防止のため、大半の国は
一般負担と特定負担のハイブリッド

増強工事や用地取得には
一定の時間が必要

- ドイツでも工事の遅れで南北間の送電
線が容量不足

再生可能エネルギー大量導入に対応する「新・系統利用ルール」の創設

送配電事業者との個別ケースごとの対応 → **ルールに基づく系統の開放へ**
海外のベストプラクティスの積極的な導入

<対応の方向性：「5つの柱」>

【1】実際に利用されていない送電
枠の「すき間」の更なる活用
(= 日本版コネクト&マネージ)

【2】費用負担の見直し・平準化
【3】コスト削減徹底 (接続費用のコス
ト検証、託送制度改革)

【4】手続の迅速化 (標準処理期間等)
【5】情報の公開・開示の徹底
(事業の予見性向上)

<各機関でルール化+紛争処理システムの構築>

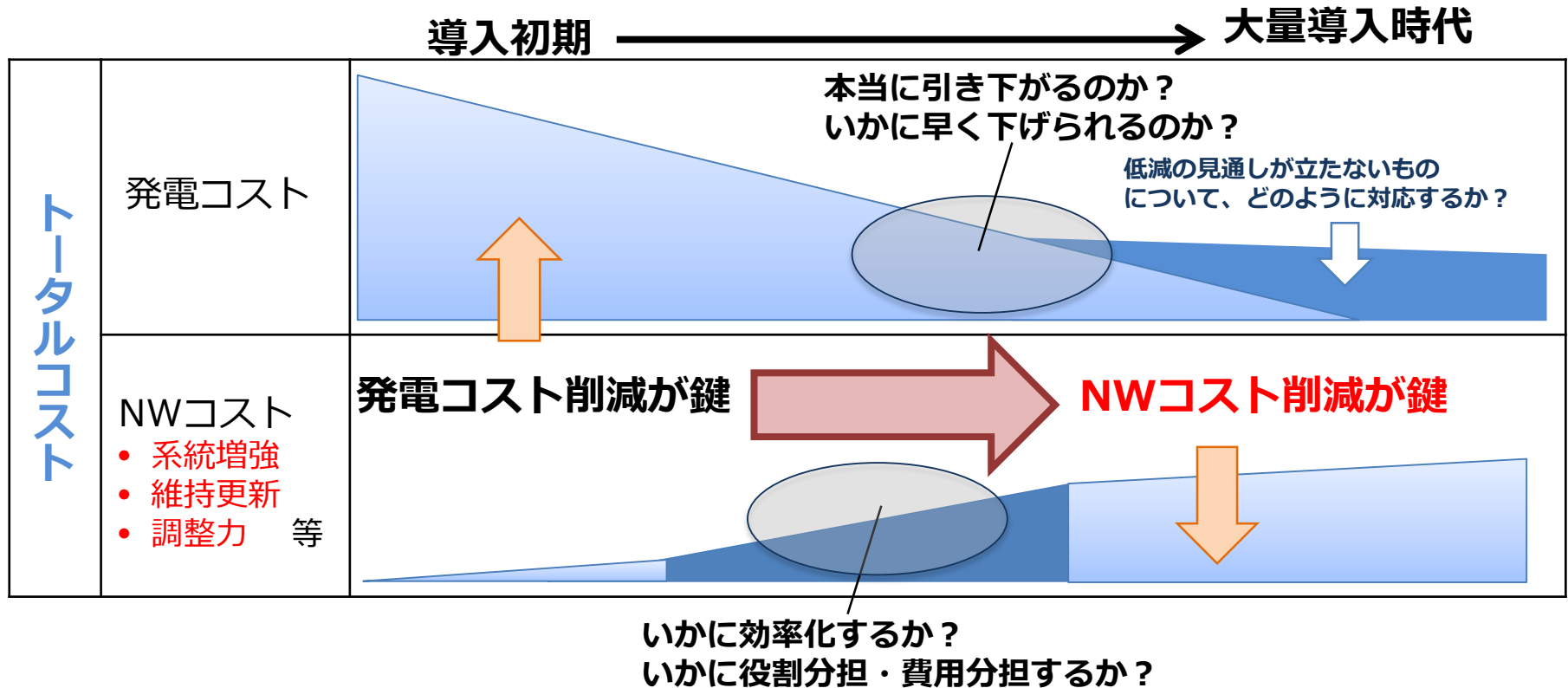
資源エネルギー庁

電力・ガス取引監視等委員会

電力広域的運営推進機関

再エネ大量導入時代におけるNWコスト削減の意義

- 「再エネの最大限の導入」と「国民負担の軽減」を両立するためには、コストを可能な限り引き下げつつ、システムをはじめとした必要な投資が行われることが必要。
- このため、発電コストとNWコスト（系統・調整力）のトータルでの最小化を実現するシステムへの移行が重要。この結果、再エネ事業者にとっての「高い」問題に対する解決策ともなる。
- 再エネの普及とともに発電コストが低下すれば、トータルコストに占める比率が上昇するNWコストの抑制が次なる課題。



電力ネットワーク（NW）コスト改革に係る3つの基本方針（概念図）

1. 既存NW等コストの徹底削減

2. 次世代投資の確保（系統増強・調整力等）

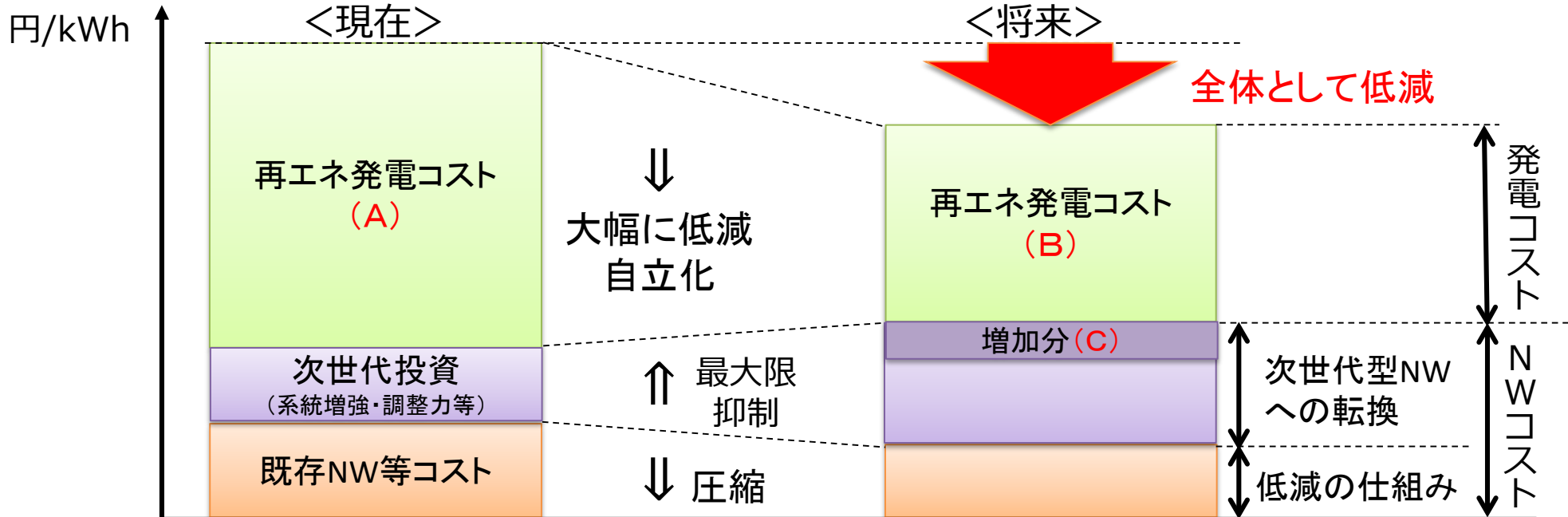
3. 発電側もNWコスト最小化を追求する仕組み

- 再エネ大量導入を実現する次世代NWへの転換
- 「発電+NW」の合計でみた再エネ導入コストの最小化

$$\text{コスト} = \text{単価} \downarrow \times \text{量} \uparrow$$

最大限抑制

再エネ導入コスト： A（現在） > B + C（将来）



Beyond 2030のNWシステム（「分散化」「広域化」）（イメージ）

5. Globality 事業の国際的な展開

海外との連携

大型発電所
(火力低炭素化、原子力)

水素

電力を水素に転換して
エネルギーを貯蔵

基幹送電線

自然変動再エネ
(太陽光、風力)

需要地近隣への設置による低ロス化

揚水・系統蓄電池等
調整力

バックアップ
+
品質維持
(アンシラリー)
+
ベース提供

TSO
送電

DSO
配電

1. Flexibility

連系して安定供給

NET-ZERO

PVパネル

2. Security

必要な時に電力を使える環境整備
情報セキュリティの確保

ZEH

EV = 蓄電池

電動化

【エネルギーデータの活用】
IoTを含む他のビジネスとの連携が可能になる。

NET-ZERO

ZEB

ガスコジェネ

熱

【熱の有効活用】
CO2を排出する自家発を利用する需要家は現状では賦課金の負担が低い、低炭素化の促進とどうバランスを取るべきか？

【デジタル技術】
発電、需給予測、グリッド保守管理、電力の最適制御等の各機能に、いかなる革新をもたらすか？

3. Mobility 需要の可動性の向上

需要地概念の変容が起こる可能性があるのではないか？

計量の変容が起る可能性があるのではないか？

充電需要の制御により、NW投資・発電側の投資・運用の最適化が図られるのではないか？

【ユニバーサルサービスの維持】
他の事業と連携が必要になるのではないか？

- ← 電気：遠隔地への配電
- ← ガス（LP含む）[他のエネルギーインフラ]
- ← 通信、水道[ネットワークインフラ]
- ← 宅配、郵便

【託送のサービスの変質】
分散化（NET-ZEROエネルギー等）の進展で、NWの主な役割が「電気（kWh）を運ぶこと」から、「電力品質の維持」や「バックアップが受けられる」ことに変容するのではないか。かかる変化を踏まえ、適切な課金体系への移行が必要ではないか。

メンテの高度化
電線地中化の推進

コミュニティグリッド
オフグリッド、他
自立：地産地消

4. Functionality

AI、IoT等のデジタル技術による各機能の革新

1. 「再生可能エネルギー」が置かれた現状と系統制約の克服について
2. **再エネ自身の調整機能確保に向けて**

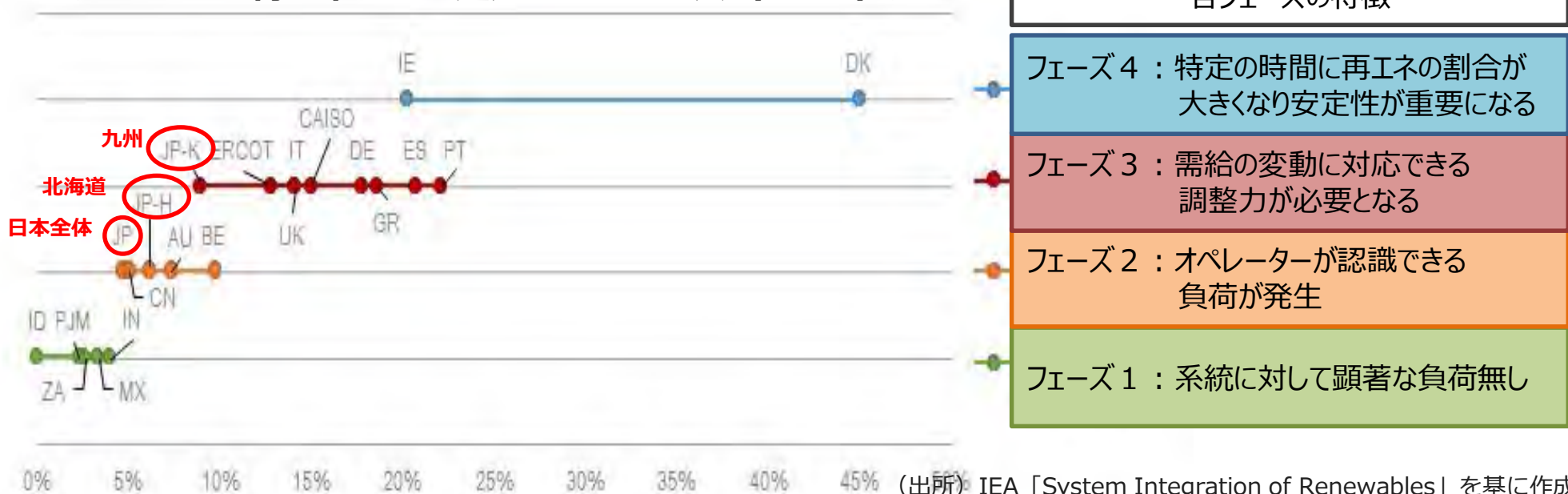
グリッドコードの整備を行う必要性について

- 自然変動再エネ（太陽光・風力）の導入拡大に伴い、急激な出力変動や小刻みな出力変動等に追従可能な調整力の必要性が高まっている。例えば、北海道エリアでは、風力発電の出力変動に対応可能な調整力が不足しているため、風力発電設備（出力20kW以上）は、蓄電池等を通じた出力変動対策を講じることが前提となっている。
- 国際エネルギー機関（IEA）によれば、自然変動再エネの導入率に応じて、電力システムで求められる対応が高度化するとされている。日本においても、今後、風力発電が有する制御機能や柔軟性を有する火力発電の調整力としての重要性がますます高まっていくことが想定される。
- また、風力発電の制御機能を有効に活用することによって、蓄電池の必要量やそれに要するコストを低減しつつ、効率的な風力発電の導入拡大を進めることができる。
- このような状況を踏まえ、新規の風力発電が具備すべき調整機能や火力発電が具備すべき調整機能（AFC機能、DSS等）を特定し、その具体的水準を定めるべきと考えられる。また、既存の火力発電についても、再エネの大量導入時代に適切に対応できるよう、同様の調整機能を具備することを促していく必要がある。
- こうした検討を踏まえつつ、今後、太陽光発電等、他の電源についても併せて議論していく。

再生可能エネルギーの大量導入に伴う電力ネットワークの在り方

- IEAによれば、自然変動再エネ導入比率にに関して4つの運用上のフェーズが存在する。
 - ・フェーズ1ではローカル系統での調整が必要となる。
 - ・フェーズ2では系統混雑が現れ始め、需要と変動再エネのバランスが必要となる。
 - ・フェーズ3では出力制御が起こり、柔軟な調整力や大規模なシステム変更が必要となる。
 - ・フェーズ4では変動再エネを大前提とした系統と発電機能が必要となる。
- アイルランドとデンマークはフェーズ4、フェーズ3にはEU各国、フェーズ2には北米・南米・アジア・オセアニアの各国が位置する。日本全体と北海道はフェーズ2、九州はフェーズ3に位置する。

<各国の変動再エネ比率と運用上のフェーズ（2016）>



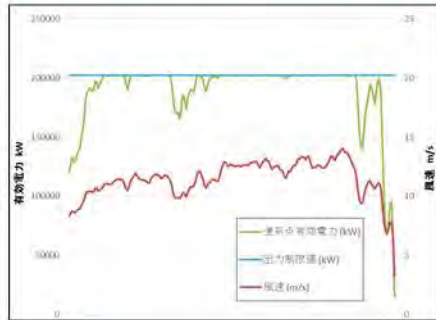
各フェーズの特徴	
フェーズ4	特定の時間に再エネの割合が大きくなり安定性が重要になる
フェーズ3	需給の変動に対応できる調整力が必要となる
フェーズ2	オペレーターが認識できる負荷が発生
フェーズ1	系統に対して顕著な負荷無し

(出所) IEA「System Integration of Renewables」を基に作成

海外における風車の制御機能の取扱い

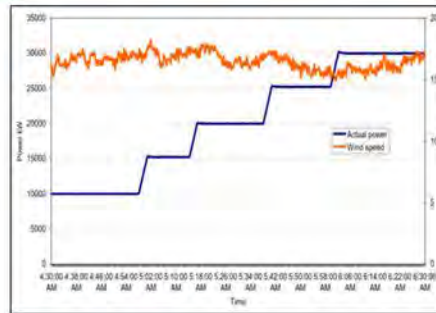
- 海外では既に風車の制御機能は実用化されており、欧州ではグリッドコードに規定されている例もある。

風力発電は系統安定化が可能な電源



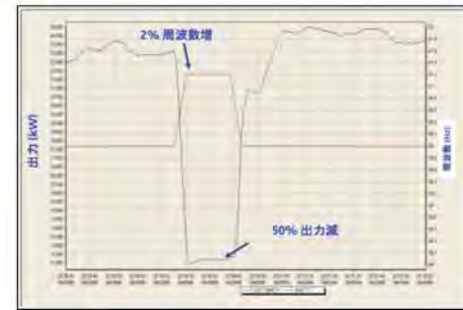
出力制限

あらかじめ定められた連系点出力以上に発電所が出力を出さない様抑制する運用



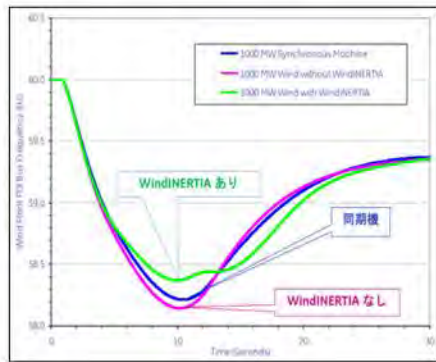
出力変化率制限

系統運用上の理由により、出力変化率に制限を伴った制御が求められるケースがあり各風車の出力を変化させる制御を行う



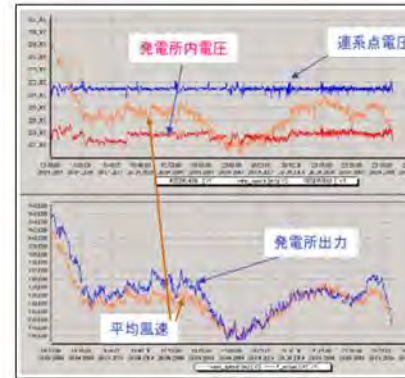
周波数ドレープ

周波数が低下すると出力が上昇し、周波数が上昇すると出力が減少するよう自動制御される機能



慣性応答 (イナーシャ)

大規模電源等の事故時、電力系統においては供給力の不足による周波数低下が発生するが、同期発電機が持つ回転エネルギーによりエネルギーが供給され(慣性力)、系統の崩壊を未然に防ぐ役割を果たしている。



電圧制御

風車の無効電力を連続的に制御することで、連系点において電圧を一定にする機能を有する。

出典：GE

風力発電は既に出力抑制、上方・下方予備力、無効電力の供給とを行う事ができ、従来火力プラントが果たしている系統安定化や調整力の機能を果たす事ができる

風力発電は「風まかせ」ではない



風車の制御機能と蓄電池を組み合わせた制御シミュレーション（例）

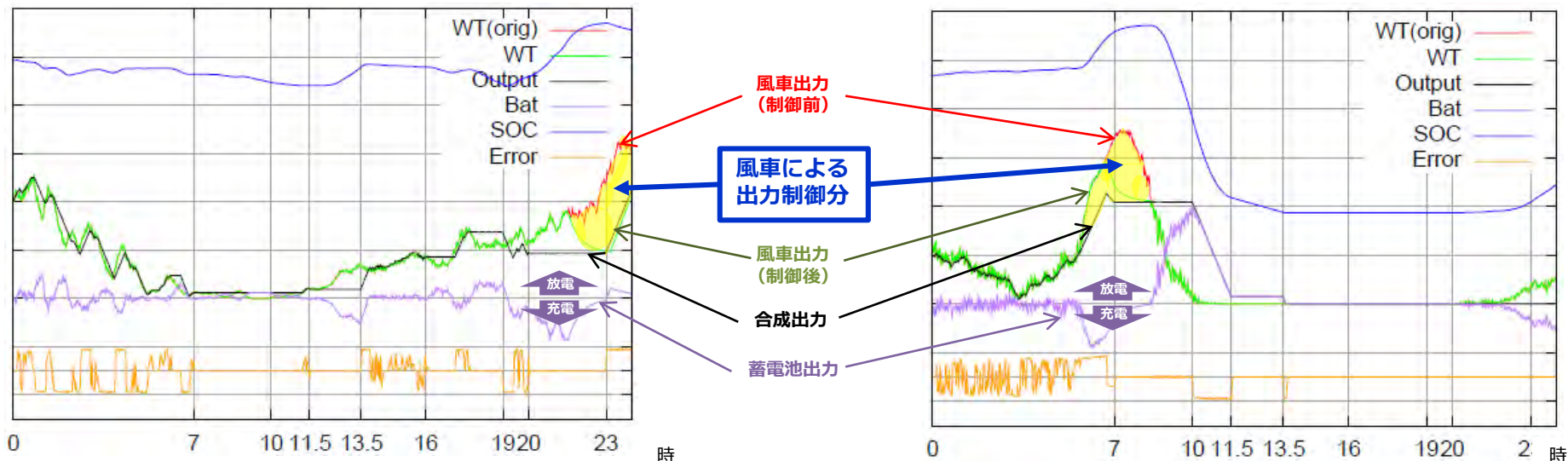
- 北海道エリアでは、風力発電設備（出力20kW以上）は蓄電池等を通じた短周期及び長周期の出力変動対策を講じることが前提となっている。
- 風車側の制御機能と蓄電池を組み合わせることで、必要な蓄電池容量を削減することが可能。

<ケース1：下げ調整が必要な断面>

合成出力増加禁止時間帯（20時～23時）において、風力出力が増加したため充電に回したが、満充電に近くなったため、風車側で出力を抑制し、合成出力増加を回避。

<ケース2：上げ調整が必要な断面>

合成出力減少禁止時間帯（7時～10時）に入る前に予め充電と風車側の抑制により合成出力を下げる。これを行っていたことにより、その後10時までに風力出力が急減したが、蓄電池の放電により合成出力の減少を回避。



(出所) 「風力発電のための送電網整備の実証事業費補助金」
採択事業者：北海道北部風力送電株式会社

グリッドコード（風力）の整備方針

- 風力発電には出力抑制や出力変化率制限等、従来電源が有するような調整力機能が期待される。風力発電の導入で先行する欧州ではこうした機能が標準装備され、主要電源としての役割を果たしている。また、こうした制御機能は、各国の状況や風車の規模等に応じて風車が具備すべき機能としてルール化されているケースもある。
- 日本においても、効率的に風力発電を導入拡大するため、日本風力発電協会（JWPA）と一般送配電事業者が連携して風車が具備すべき制御機能を特定し、ルール化した上で、そうした機能の具備を風力発電事業者に求めていく。
- ルール化に当たっては、実系統で運用した際に問題が生じないことを確認するための再エネの導入状況に応じた段階的な解析、風力発電モデルの構築、シミュレーション等に一定程度の時間を要する可能性があるが、足下での風力発電の接続検討状況等を踏まえ、まずは全国大で適用可能な要件の早期ルール化・適用開始（1～2年程度）を目指し、その他の必要な事項（事故時等を想定した要件）のルール化については、各エリアにおける風力発電の導入状況に応じて段階的に行う。
- 北海道についてはサイト蓄電池や系統側蓄電池の必要量やコストの低減、東北については北東北募集プロセスにおける出力制御率の低減等の事前検討に有用と考えられるため、それらの導入スケジュールを見据えて先行して検討する。
- なお、現時点では、国産風車等に前述の制御機能が装備されていない風車も存在することから、JWPAは風車メーカーに対して、シミュレーションに必要なデータの提供や必要な機能の装備を求めていく必要がある。

再エネ導入規模に応じた解析手法

- 具体的には、①平常時解析、②事故時解析、③瞬時値解析を行う必要があるが、全国大で適用できるルールを先行して早期策定することを目指し、①を1～2年程度で行う。②・③については各エリアにおいて必要とされる時期に行うこととし、早期適用を目指す。

	機能	解析に必要な検討項目・期間
導入拡大にあわせ段階的に進めていく	①平常時解析 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 平常時解析は、エリア毎に違いが生じるものではなく、<u>全国共通で適用することができる</u>基礎的なシミュレーション。 ◆ <u>制御機能を適用した風車の導入量が、周波数変動や系統の電力供給の動き等への影響を解析</u>する。 ◆ 平常時解析と蓄電池モデルと組み合わせることで、制御機能を適用した風車の導入による<u>蓄電池容量への影響を確認</u>する。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>各メーカー風車についてパラメータ</u>（「出力制御ブロック（伝達関数）」、「特性」、「定数範囲」等）が必要。 ◆ 既存の標準的な風力発電モデルをベースに、上記パラメータを適用し、<u>モデル構築+シミュレーションで1年～2年程度</u>要する。
	②事故時解析 <ul style="list-style-type: none"> ◆ <u>電源脱落等の系統事故を想定して行うシミュレーション</u>。「安定度」、「電圧安定性」、「周波数安定性」について、どの様な振る舞いをするか解析する。 ◆ 事故時解析により、<u>事故時においても系統が安定的に運転を継続できるかどうか</u>が把握できる。 ◆ 事故時解析は、エリア内に大量に風力が導入された場合に必要となるため、平常時解析終了後に進める。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 各メーカー風車について、<u>詳細なパラメータ</u>（出力制御ブロック（伝達関数）、特性、定数範囲等）が必要。 ◆ 事故時の安定度検討のために、<u>新たな詳細風力発電モデルの構築が必要</u>。 ◆ 新たな詳細風力発電モデルの構築に<u>1～2年程度</u>要する。
	③瞬時値解析 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 電源の系統への接続時や<u>系統の切替時の影響等を想定して行うシミュレーション</u>。<u>電圧・電流等の瞬時値レベルでの短時間領域（～数秒）</u>で解析する。 ◆ 瞬時値解析を行うことで、過渡安定度、電圧異常等の過渡的な振る舞いによる<u>系統安定性への影響の有無</u>を把握できる。 ◆ 瞬時時解析は、エリア内に大量に風力が導入された場合に必要となるため、平常時解析終了後に進める。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 数十μs オーダーの解析に耐える詳細モデルの構築について考慮が必要。 ◆ 詳細モデルの構築・検討に時間がかかることが想定されるが、<u>本解析が必要となるのは風力の大量導入が進んだ時点における個別系統の解析</u>であることから、<u>5年程度</u>を目途に検討・開発を進める。

グリッドコード化に向けた役割分担（風力）

- グリッドコード化に向けて、関係各社がそれぞれ必要な役割を担い取組を進めていく必要がある。

