京都大学大学院経済学研究科
再生可能エネルギー講座シンポジウム

風力発電の事業開発と電力インフラの有効活用

～ 系統と調和した風力発電を目指して～

2018年1月29日

一般社団法人 日本風力発電協会(JWPA)
専務理事　中村成人
http://jwpa.jp

JWPA 一般社団法人 日本風力発電協会
Japan Wind Power Association

目　次

０．一般社団法人日本風力発電協会（ＪＷＰＡ）・・・　２
JWPA Wind Vision (2016)　・・・・・・・・・・　４

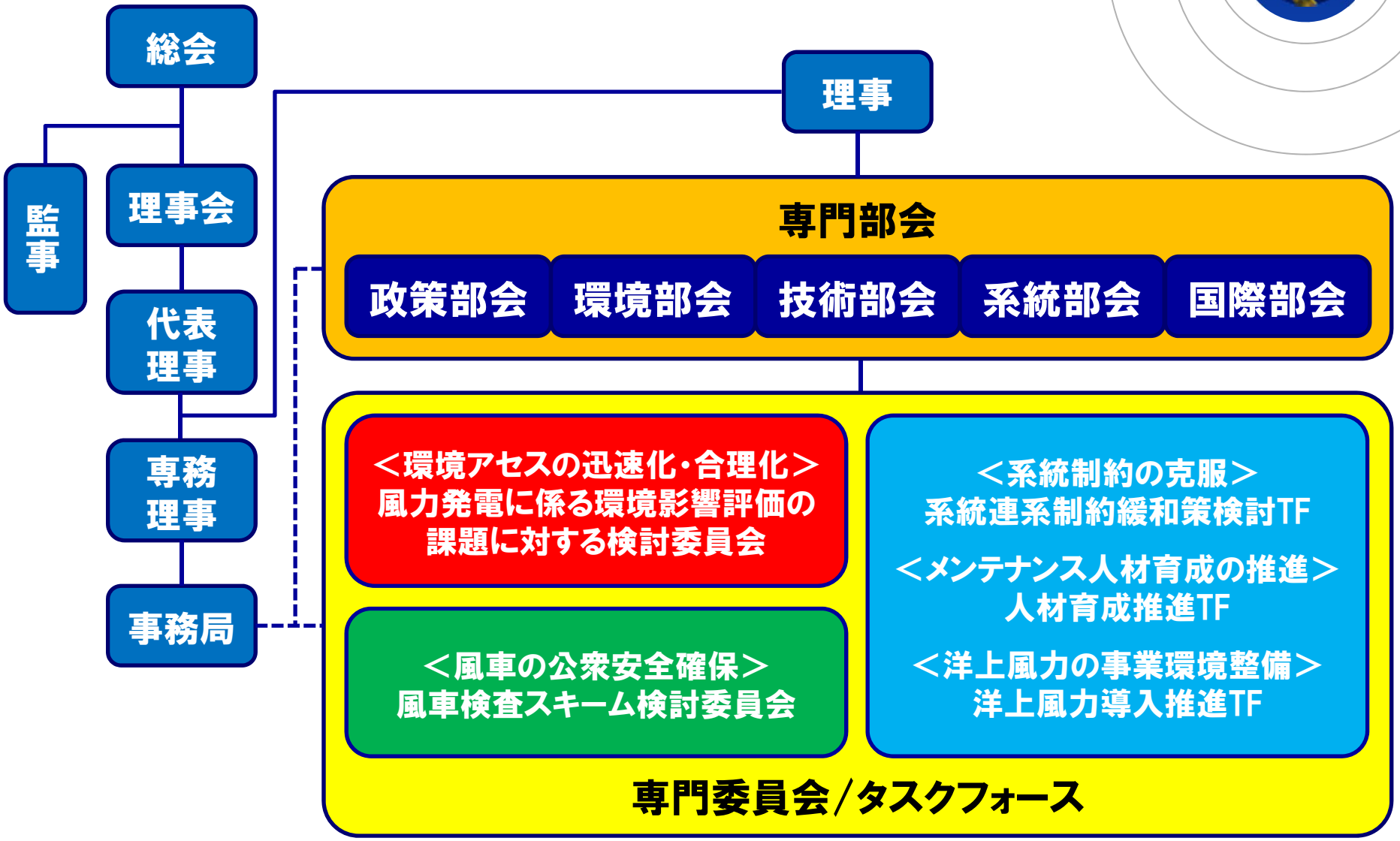
１．日本の風力発電導入実績と開発状況・・・・・・・　６
２．風力発電の事業化までの流れと系統連系・・・・・　９
３．系統連系に関する課題と対応策・・・・・・・・・ 14
４．風車が持つ制御機能の活用とイノベーション・・・ 20

一般社団法人 日本風力発電協会（JWPA）

- 沿革
  - 2001年12月17日：任意団体設立
  - 2005年 7月 4日：有限責任中間法人設立
  - 2009年 5月27日：一般社団法人へ移行
  - 2010年 4月 1日：風力発電事業者懇話会と合併

- 基本理念
  - 我が国のエネルギーセキュリティ向上ならびに地球環境問題の解決に貢献する。
  - 全ての関連産業、企業が結集して、風力発電産業の健全な発展を図る。
  - 我が国を代表する風力発電産業団体として、その責務を強く自覚し、行動する。
  - 内外に影響力を行使できる機能・能力を持つとともに、説明責任を果たし、法令を順守する。
- 会員構成
  - 風力発電に係る全ての業種 332社・団体（2018年1月17日現在）
    - 風力発電事業者、風車メーカー、風車代理店、部品メーカー
    - 土木建築、電気工事、輸送建設、メンテナンス、コンサルタント
    - ファイナンサー、保険、風力発電立地自治体（市町村、公営企業）など
  - 国内風力発電設備容量の約85%を会員がカバー

≪ご参考≫JWPAの専門部会・専門委員会等



「JWPA Wind Vision （2016年2月公表）」策定の主旨

課題の大分類と解決策の提示

No.	課題	解決策の提示
1	経済的自立電源への進化	中長期的な発電コスト低減の施策
2	系統調和型風力発電	時間軸で見た現実的な系統連系対策
3	高信頼性実現、雇用創出への貢献	安全性・信頼性向上、人材育成、資金調達等の諸施策

課題解決のための具体的施策

電力の安全・安定供給／国民負担の抑制

議論過程における各種課題抽出

「風力発電導入ポテンシャルと中長期導入目標 V4.3」
（2014年6月　JWPA発表）

「長期エネルギー需給見通し（2030年エネルギーミックス）」
（2015年7月　経済産業省決定・公表）

（一社）日本風力発電協会（JWPA基本理念）

1. 風力発電の拡大により、我が国のエネルギーセキュリティ向上ならびに温暖化を始めとする地球規模環境問題の解決に貢献する。
2. 風力発電に関わる全ての関連産業、企業が集結し、国内外の風力発電導入拡大に取り組むとともに風力関連産業の健全な発展を図る。
3. 我が国を代表する風力発電産業団体として、その責務を強く自覚し、行動する。
4. 内外に影響力を行使できる機能・能力を持つとともに、説明責任を果たし法令を遵守する。

≪ご参考≫ 導入拡大を牽引する原動力
（JWPA Wind Vision Report より）

- 我が国の風力発電導入拡大を牽引するドライビングフォースは下記の５点
- これらの着実な実現により、我が国における風力発電の継続した導入拡大を実現

発電コスト（原価）の低減	• グリッドパリティ実現による自立化 • 導入・市場拡大による量産効果 • 発電効率・稼働率・設備利用率の向上
系統の整備・強化	• 好風況地への立地促進、広域運用による発電コスト低減と平滑化効果 • 効率的な出力抑制や精緻な出力予測による広域運用の最適化
リパワリングの推進	• 大型・高効率風車採用による発電電力量の最大化と発電コストの低減
洋上風力推進の環境整備	• 豊富・良好な風資源の最大限活用による導入量と発電電力量の最大化
サプライチェーン確立（強い風車工業）	• 部品生産・組立・メンテナンスまで、産業として一貫した体制を整え、コストダウンと新しい産業・雇用の創出を実現

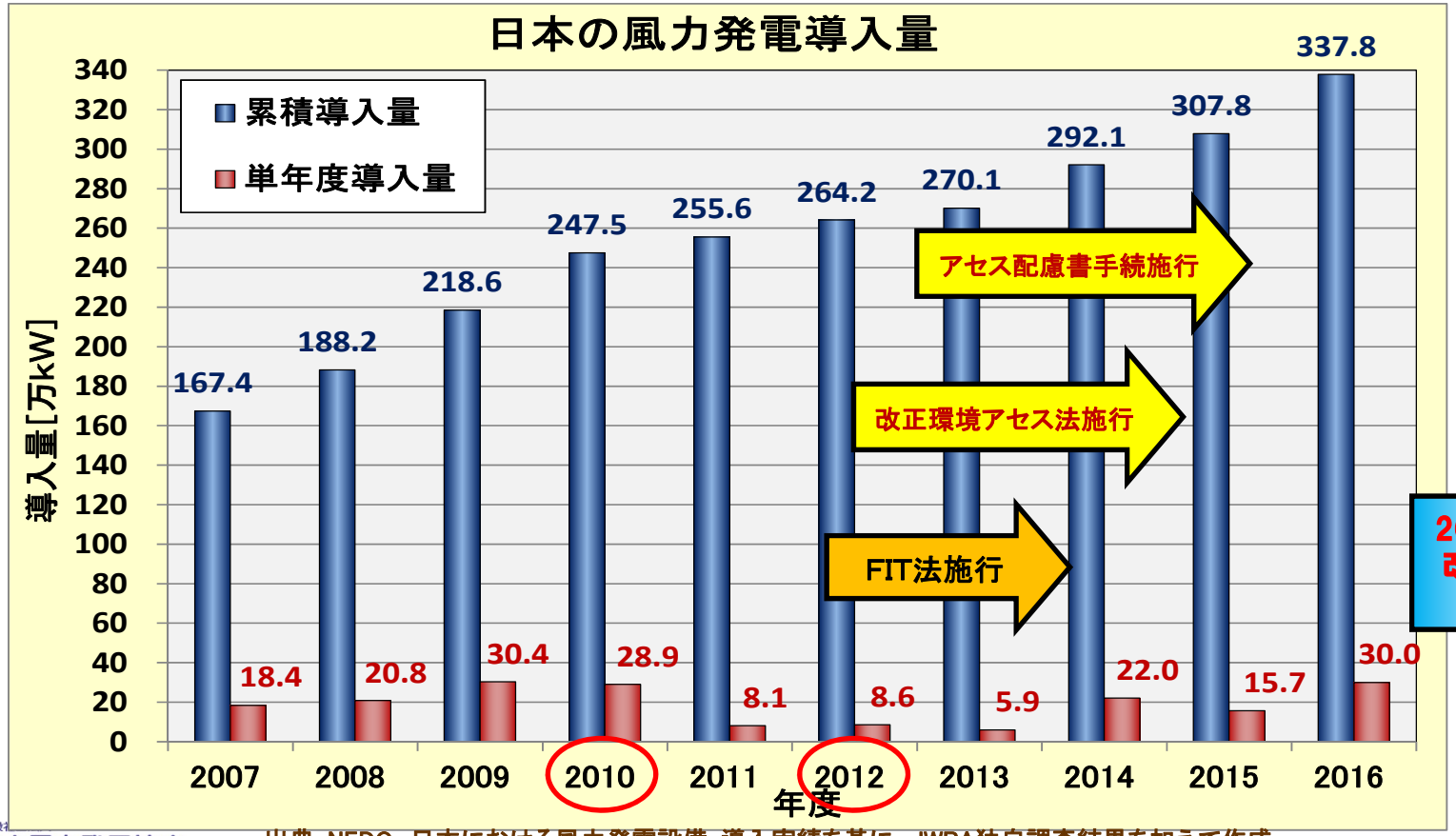
→ 風力発電の導入拡大

0．一般社団法人日本風力発電協会（ＪＷＰＡ）・・・ 2
JWPA Wind Vision (2016) ・・・・・・・・・・ 4

1．日本の風力発電導入実績と開発状況・・・・・・・ 6
2．風力発電の事業化までの流れと系統連系・・・・・ 9
3．系統連系に関する課題と対応策・・・・・・・・・14
4．風車が持つ制御機能の活用とイノベーション・・・ 20

1．日本の風力発電導入実績と開発状況（1）
～風力発電の導入実績（年度別）～

- 2016年度末累積導入量（推計値）: 338万kW、2,245基、453発電所
- 2010年度：新規向け補助制度中止 ⇒ 2012年7月：FIT制度施行
- 2012年10月：改正環境アセス法施行（風力発電事業を対象に追加）



出典：NEDO　日本における風力発電設備・導入実績を基に、JWPA独自調査結果を加えて作成

1．日本の風力発電導入実績と開発状況 (2)

- 我が国における風力発電導入量・開発状況（環境アセスメントと系統接続）
  ①運転開始済み： 340万kW
  ②開発中の案件： 1,610万kW
  合計：1,950万kW
  ＊ 左記はいずれも、2017年12月末時点のJWPA調査値
  ⇒ 政府の2030年度導入見通し（風力1,000万kW）には、2020年以降早期に到達する見込み
- 一方で、風況が良く開発が進んでいる北海道と東北北部では、系統接続の制約が厳しさを増しており、最大の課題（14ページ以降参照）

風力発電の導入実績の上位4自治体

都道府県	風車基数	容量(万kW)	発電所数
北海道	303基	35.2万kW	51ヶ所
青森県	238	38.3	31
秋田県	204	36.1	46
鹿児島県	157	26.3	26
全国合計	2,245基	340万kW	434ヶ所

＊左記はいずれも2017年12月末時点のJWPA調査値

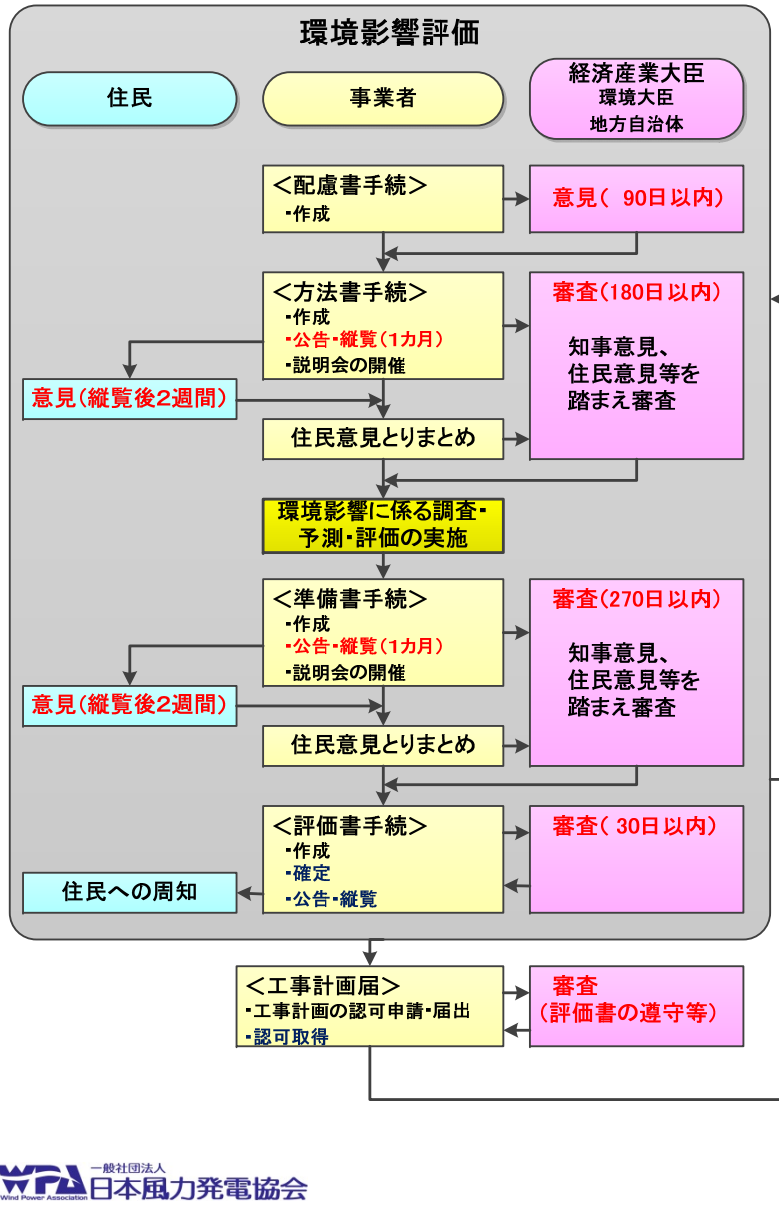
電力会社管内別・開発中案件の上位4自治体

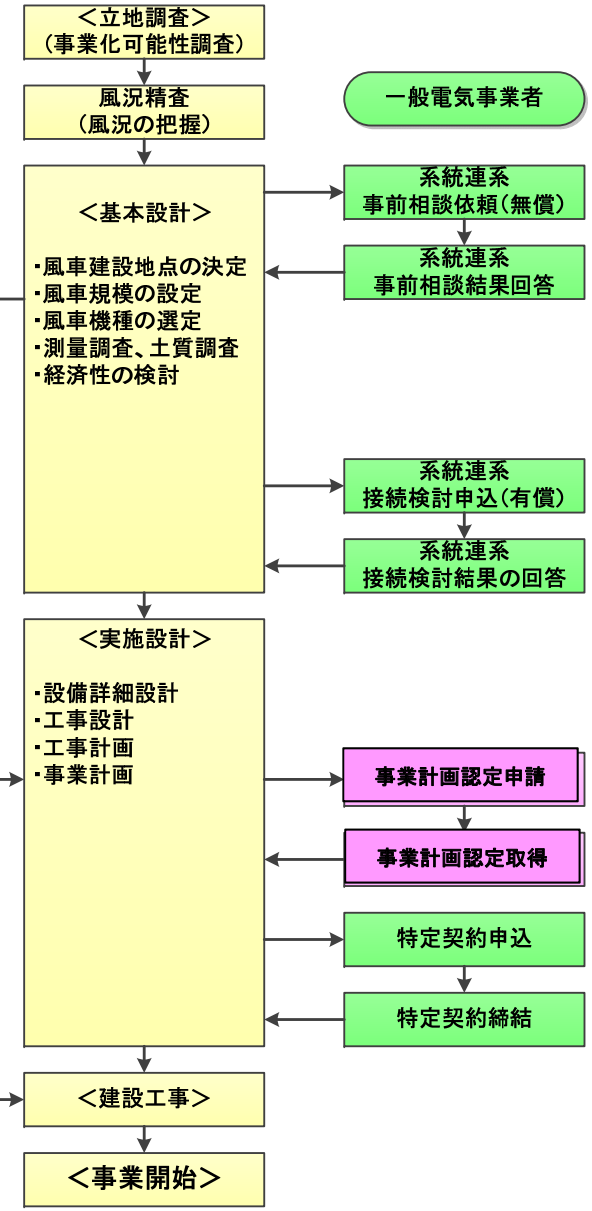
北海道	東北	九州	中国	全国合計
289万kW	994万kW	128万kW	57万kW	1,610万kW

０．一般社団法人日本風力発電協会（ＪＷＰＡ）・・・ 2
JWPA Wind Vision (2016) ・・・・・・・・・・ 4

１．日本の風力発電導入実績と開発状況・・・・・・・ 6
２．風力発電の事業化までの流れと系統連系・・・・・ 9
３．系統連系に関する課題と対応策 ・・・・・・・・・14
４． 風車が持つ制御機能の活用とイノベーション・・・20

2. 風力発電の事業化までの流れと系統連系（1）（全般）

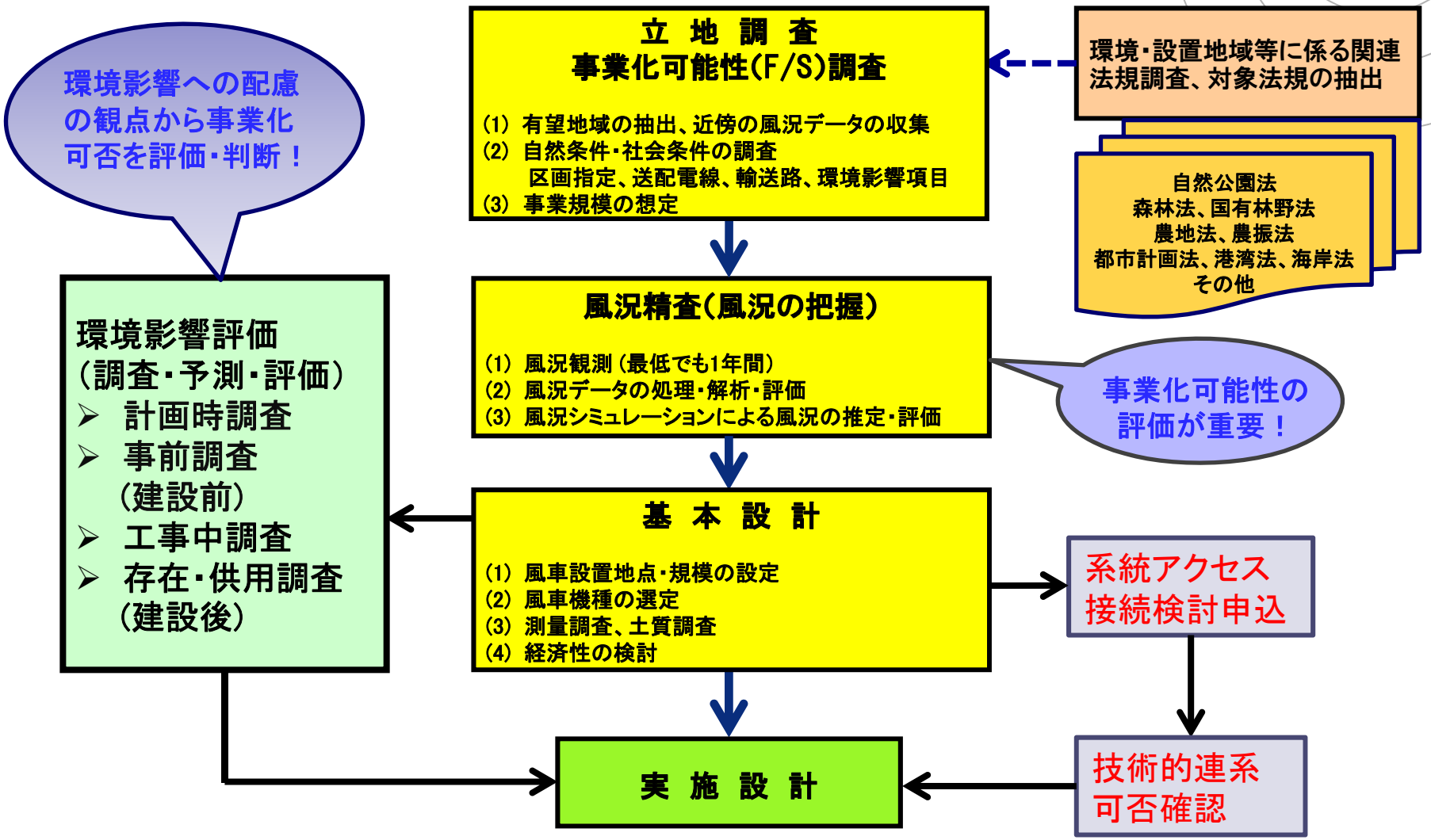




- 立地調査から事業開始まで：5～10年
- 環境影響評価法対象事業
  - 審査期間：90日+180日+270日+30日＝1年7ヶ月
  - アセス手続期間：審査期間+調査・予測・評価期間＝4～5年

2. 風力発電の事業化までの流れと系統連系 (2)

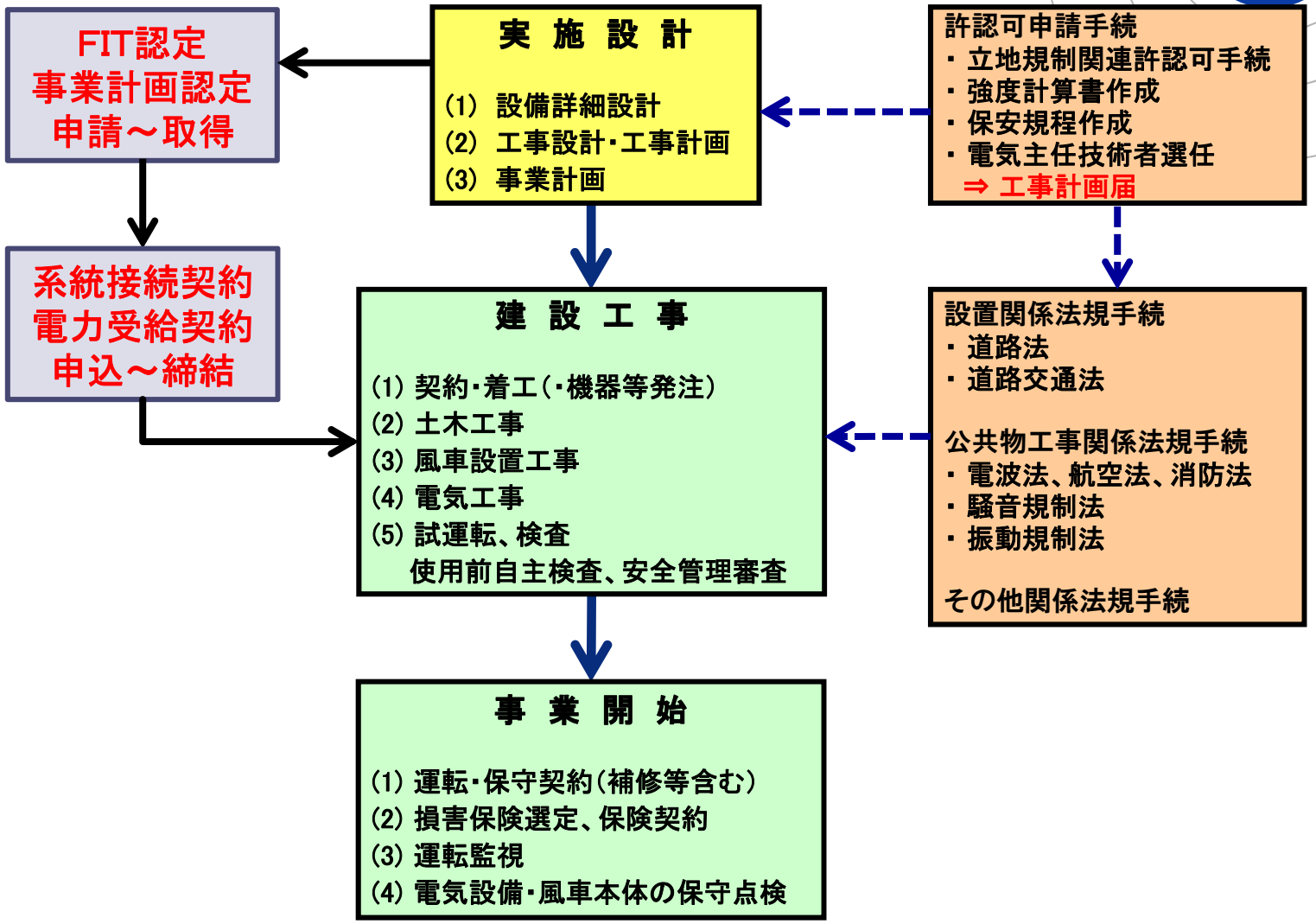
（立地調査～基本設計）



※出典：風力発電導入ガイドブック（改訂第9版　2008年2月NEDO発行）にJWPA加筆

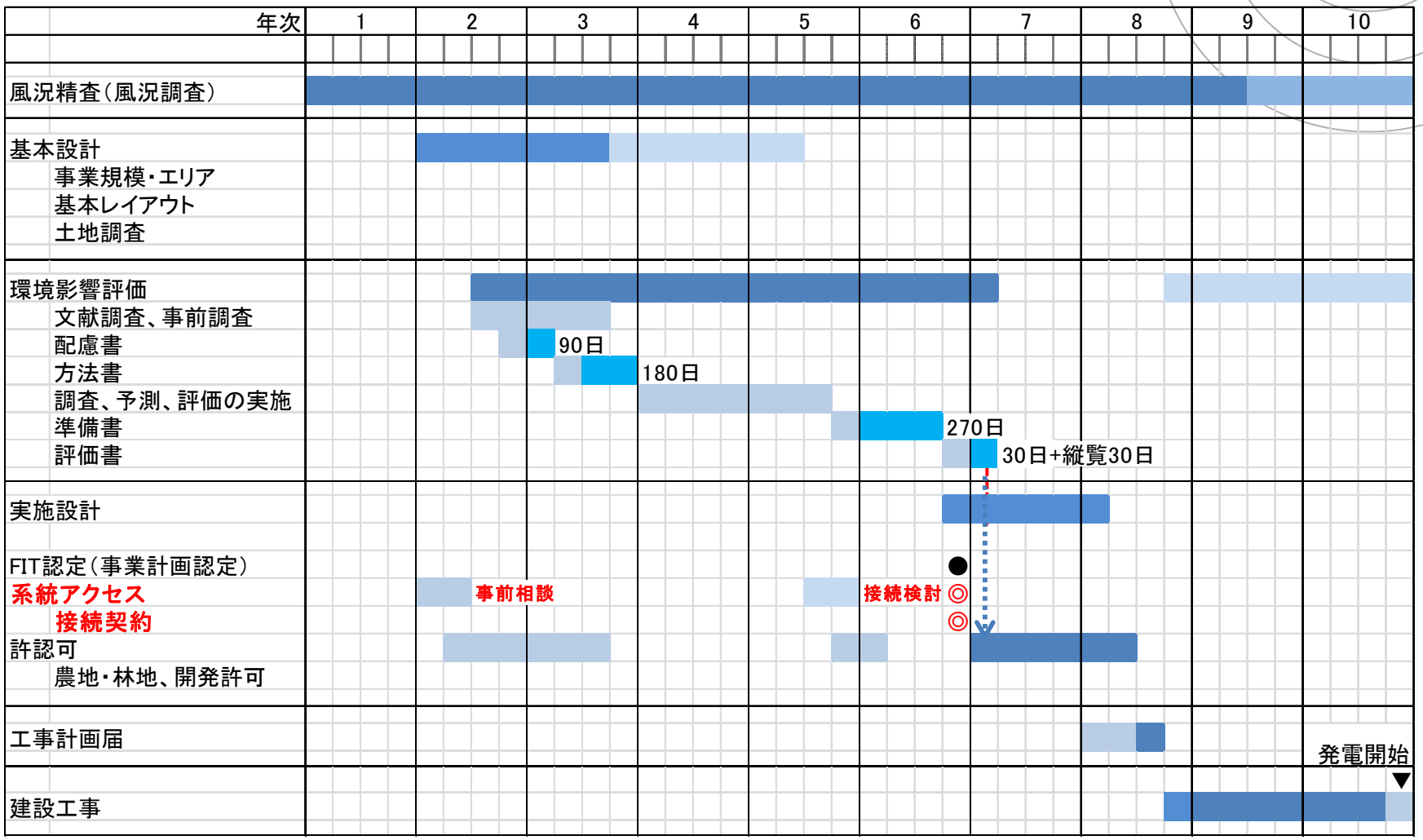
2. 風力発電の事業化までの流れと系統連系 (2)

（実施設計～事業開始）



※出典：風力発電導入ガイドブック（改訂第9版　2008年2月NEDO発行）にJWPA加筆

≪ご参考≫ 風力発電所が発電を開始するまで



0．一般社団法人日本風力発電協会（ＪＷＰＡ）・・・ 2
JWPA Wind Vision (2016) ・・・・・・・・・ 4

1．日本の風力発電導入実績と開発状況・・・・・・・ 6
2．風力発電の事業化までの流れと系統連系・・・・・ 9
3．系統連系に関する課題と対応策・・・・・・・・・14
4．風車が持つ制御機能の活用とイノベーション・・・ 20

3．系統連系に関する課題と対応策（1）

現状と課題

1．広域運用検討の加速化が必要

- 地域を越えた広域運用を全国大とするルールの検討が進められている
  （経済産業省及び電力広域的運営推進機関）
- 電力会社９社の送配電部門による需給調整用電源運用での連携検討が始まる
  （2018年1月5日付電気新聞報道）

2．厳しさが増す系統制約

- 現在開発中の案件（約16GW）の約80%が風況の良い北海道と東北地方に集中
- 北海道：周波数変動対策のため系統側への蓄電池設置を条件に新規風力を大規模（1期、2期合計で1,000MW）募集中
  1期：60万kW募集に対し、240万kWが応募
- 北東北：送電線の熱容量超過のため基幹系統の大規模増強を前提に新規の接続電源 を募集
  280万kWの募集に対し、1,545万kWが応募

3．系統増強等に要する費用と期間の問題

- 北海道：蓄電池設置・設備メンテ及び充放電ロスに関わる費用負担
- 北東北：基幹送電線の増強が必要で多額の費用負担と長期（11～13年）の工事が見込まれる

＊但し、系統の過負荷が想定される際の電源制御を前提に、増強工事完了前の暫定連系が認められる。

3. 系統連系に関する課題と対応策 (2)

当協会が考える対応方策（1）

1. 地域間連系線等利用ルールの見直しと新たな制度化（広域系統運用の拡大）
   - 地域間連系線等を効率的に活用した常時広域運用を全国大に拡大することの早期実現
2. 風力発電重点整備地区の指定と新たな広域系統整備計画の早期策定
   - 風力の特性を考慮した「導入促進地域を設定」し、北海道及び東北の両エリアを対象とした「系統増強マスタープラン」が策定されることを強く期待
3. コネクト&マネージ(Connect & Manage) の早期導入
   - 従来の「熱容量超過・混雑発生 ⇒ 系統増強」という系統整備・運用からの発想の転換が必要
   - コネクト&マネージの発想に合致した費用負担の在り方の検討と見直し
4. 発電電力量予測技術の実用化と広域運用への適用
   - 現在NEDOが取り組んでいる気象予測技術や新たな系統制御システムの開発を加速し、広域機関の電力系統広域運用システムへ組み入れた運用を早期に開始
5. 地域内基幹送電線の整備・増強
   - 「風力発電のための送電網実証事業」の確実な継続
6. 適正かつ公平な出力抑制の実施
   - エリアー括かつ時間単位で出力抑制する制御方式で、同一エリア内においては太陽光とほぼ同程度の風力の導入が可能
7. 風車が持つ制御機能の活用とイノベーションの推進
   - 風車が具備する各種制御機能を活用し、更にイノベーティブな技術の導入を指向すること

3. 系統連系に関する課題と対応策 (3)

弊協会が考える対応方策(2)

【コネクト&マネージ】合理的・効率的な系統の設備形成と運用により系統設備への投資を抑制し適正化する

1. 想定潮流の合理化
   - ✔ 想定潮流は、可能な限り実際の潮流に合わせて設定すること

2. 広域運用の早期実現
   - ✔ 広域運用を早期に実現し、調整力の相互融通などを通じて、全国大の経済的で効率的な設備形成・運用を実現すること

3. 基幹系統の増強費用負担
   - ✔ 広域運用が実現すれば、広く薄い負担、即ち全額一般負担も可能となる
   - ✔ 少なくとも、全電源一律の一般負担上限額に見直すことが合理的

4. 電源制御導入による空き容量活用と費用負担
   - ✔ 現状では既設設備を含めた系統利用者全員による分担が合理的・現実的。将来的には市場メカニズムを活用した仕組みも検討の対象に加えるべき

5. 設備形成(増強・整備)費用の合理化
   - ✔ 標準化した仕様による入札など、徹底した合理化・効率化が必要

≪ご参考≫ 系統制約の克服に向けて（JWPA Wind Vision より）
～ 既存設備の最大限の活用と適切な出力制御～

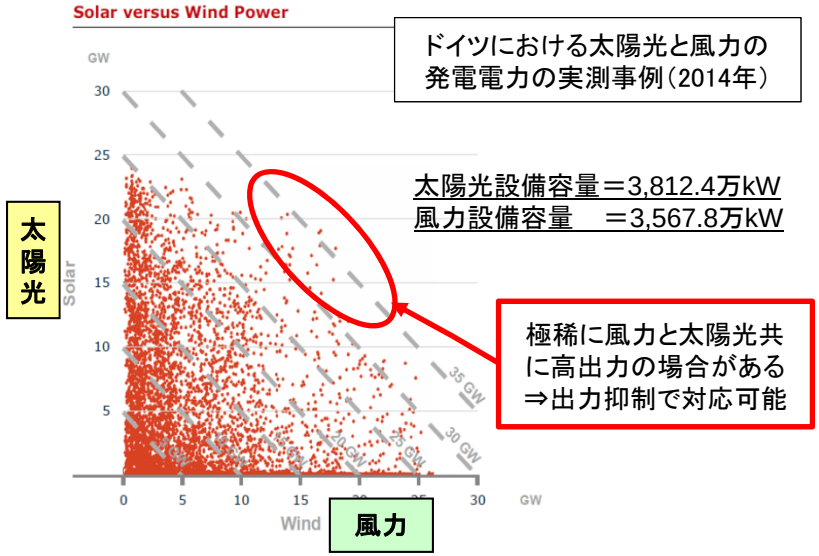
- 風力の導入量と出力抑制率の検討を行った結果、日数単位による出力制御方式よりも時間単位による出力制御方式の方が、出力抑制率が低い（抑制時間が少ない）ことが分かった
- JWPAの提案する、エリアー括かつ時間単位で出力上限を抑制する制御方式により、太陽光とほぼ同程度の導入が可能

既存設備の最大限の活用により、風力適地（北海道・東北・九州）において、太陽光とほぼ同程度の風力発電の導入が可能

＊各エリアにおける風力導入量と出力抑制率の試算例（JWPA）

エリア	風力導入量	出力抑制率（抑制日数）＜日数単位＞	出力抑制率（抑制時間）＜時間単位＞
北海道	150万kW	25.4%（74日）	8.5%（739時間）
東北	600万kW	18.6%（41日）	4.0%（370時間）
九州	900万kW	27.9%（54日）	8.2%（648時間）

風力発電と太陽光発電は補完関係にある
→ 系統の効率的なシェアが可能、導入拡大が互いの支障になり難い



※　本シミュレーションでは、2013年度の需要実績に対して残余需要値（需要電力から太陽光及び風力の発電出力を差し引いた残りの需要）が設定した下限値を下回らないよう、太陽光及び風力の発電出力を抑制する方式を採用し、風力については、各電力会社の管内を一括して発電出力の上限を時間単位で抑制する制御方式（最大出力抑制制御方式）を採用
※　なお、本シミュレーションは、下げ代不足の解消を念頭に「最低残余需要値の維持」のみに着目した静的な需給バランスの検討であることから、下記の事項は考慮していないため、実際の風力の導入量及び出力抑制率（出力抑制時間）については、本シミュレーション結果とは異なる可能性があることに留意
①年度毎の需給状況の変化　②需要予測、太陽光出力予測及び風力出力予測の誤差（太陽光及び風力が最大出力（2σ相当）に上振れする可能性等を含む）　③火力や水力など従来型電源の起動・停止等に要する時間的な制約等　（2013年度における発電設備容量及び運用方式、最低残余需要、太陽光導入量及び出力抑制時間等については、第3回系統WGで示された値をベースに試算）

≪ご参考≫系統制約の克服／柔軟性に富んだ系統の整備・強化
～既存系統の最大限の活用、風力導入促進エリアの設定～

広域機関の本来の機能発揮による既存の系統インフラ活用による導入拡大

→

北海道及び東北の両エリアを「風力発電重点整備地区」に指定

→

電力の安定供給や広域的取引の環境整備に必要な基幹系統の整備・強化

- 老朽火力など他電源の廃止・更新計画に合わせて（必要な系統調整力は確保しつつ）、新規の風力発電の系統接続を順次進めていくことにより、導入拡大が可能となる
- 重点整備地区等、その地域の特性に合わせた風力発電の効率的配置を促すことで導入拡大が図られるとともに、関連産業の集積等による地方活性化・地方創生への貢献が期待される
- 電力の安定供給や広域的取引の環境を整備するためには、地域間連系線をさらに充実する必要があるとともに、地域内の送電網整備を確実に進めていくことが肝要

出典：電気事業連合会、日本の送電ネットワーク、http://www.fepc.or.jp/enterprise/supply/soudensen/sw_index_01/index.html をベースに加工

０．一般社団法人日本風力発電協会（ＪＷＰＡ）・・・ 2
JWPA Wind Vision (2016) ・・・・・・・・・・ 4

１．日本の風力発電導入実績と開発状況・・・・・・・ 6
２．風力発電の事業化までの流れと系統連系・・・・・ 9
３．系統連系に関する課題と対応策・・・・・・・・・14
４．風車が持つ制御機能の活用とイノベーション・・・20

4. 風車が持つ制御機能の活用とイノベーション（1）
～系統調和型風力発電に向けたJWPAの取り組み～

1）目的

今後の風力大量導入を踏まえ、風車が有する電力・周波数制御機能を活用して風力発電設備が電力系統へ調整力を提供する道筋を付け、周波数・電圧安定性を維持した上での、風力発電の導入量の増大を図る（蓄電池等調整力削減や出力抑制時間の短縮にも寄与）

2）ロードマップ

① 実系統における制御機能確認試験にて、有効電力・周波数制御特性を測定

② 把握した制御特性を加味した周波数シミュレーションなどにより、制御の有効性を確認

> ☆風車の周波数制御は、国内での適用実績が無いことから、念のために、既に欧米の各国で適用され、殆どの風車メーカが標準装備している風力発電設備の制御機能について、IEC61400-21-1をベースに計測確認する。各制御機能単独の場合と組み合わせた場合の総合特性を把握し、風車の周波数制御機能が、系統の周波数安定化に寄与することを提示する予定

③ 各制御機能の特性と有効性を関係機関等へ報告し、適用に向けて協議

④ 原則、新規に建設されるWFには、有効電力・周波数制御機能を装備するようにJWPAとして統一的な指針の策定に取り組む。欧米での先行事例を参考に、2018年度内に暫定仕様を定め風力ポテンシャルの高い地域での導入促進を目指す

⑤ 各制御定数設定値は、欧米のTSOと同様に、当該エリアの電力会社の指示により設定可能とする。これにより、各エリアの系統特性に合わせて有効電力・周波数制御機能を活用し、風車/WFが運用される

4. 風車が持つ制御機能の活用とイノベーション（2）
～系統調和型風力発電に向けたJWPAの取り組み～

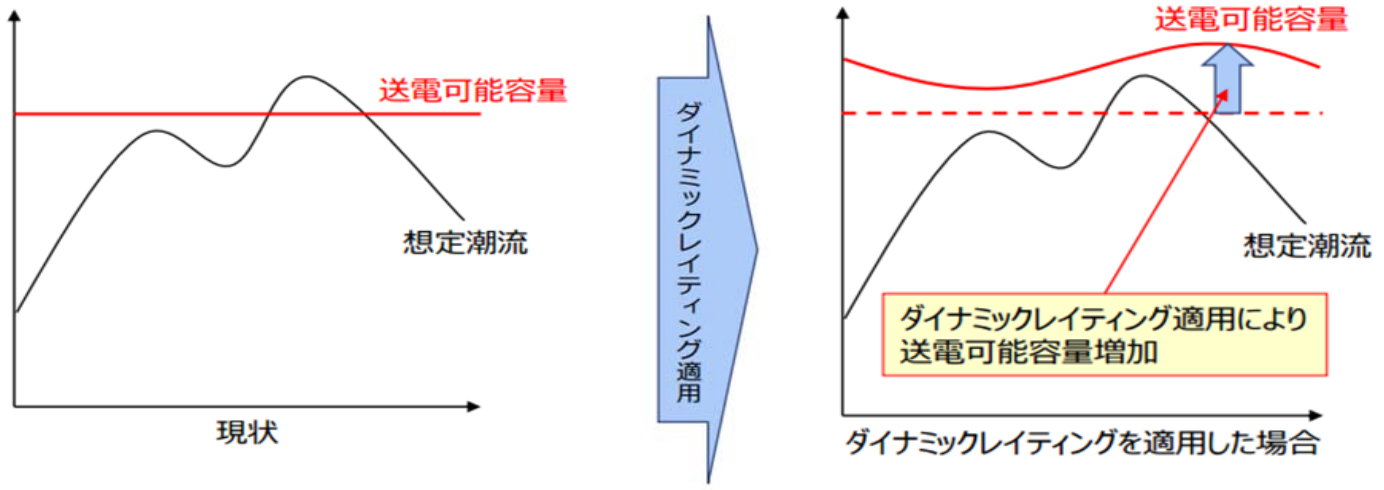
ロードマップ・タイムテーブル

No.	実施項目	2017年度 下期	2018年度 上期	2018年度 下期	2019年度 上期	2019年度 下期	2020年度以降	備考
1	制御機能確認試験	→						・実系統における制御機能確認試験により、有効電力・周波数制御特性を測定・把握
2	周波数シミュレーション等による有効性を確認	↔						・JWPAおよび研究機関が実施予定 ・IEC61400-21-1をベースに測定し、各制御機能単独と、組み合わせた場合の総合特性を把握し、周波数安定化に寄与することを確認
3	各機能の特性と有効性を報告 制御機能の機能毎の装備可否・仕様等の調査	① ②		③				①各制御機能の特性と有効性を関係機関等へ報告 ②国内外のメーカに制御機能の機能毎の装備可否、設定範囲等の仕様 ③欧州先行事例を参考に、新規建設WFに実装する制御機能を暫定的に設定
4	有効電力・周波数制御機能等制御機能の装備		↔					・原則、新規建設WFには標準装備 ⇒そのためにはJWPAとして統一した指針策定が必要
5	制御機能を活用し実運用				→			・2019年以降、順次実用化

≪ご参考≫　ダイナミックレーティング
～革新的な技術の適用にチャレンジ～

- 電線温度変化を随時演算し、送電容量を動的に算出・管理する手法（ダイナミックレーティング）により送電線設置場所の外部環境要因の変動に追従した送電容量を算出することで送電線をより効率的に運用**（北海道北部風力送電㈱が実施予定の実証事業）**
- ダイナミックレーティングに加え、気象予測と発電量予測を組み合わせることにより、設備能力を最大限活用することが可能となる

【図：ダイナミックレーティング概念図】



出典：広域系統長期方針（案）＜参考資料＞（電力広域的運営推進機関、2017年2月）をもとに北海道北部風力送電㈱が作成

最後に：風力発電大量導入時代の実現に向けて

- JWPA Wind Vision（2016）で2030年に3,620万kWの導入に向けた道筋と方策を提言

- 長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス：2030年風力1,000万kW）は、2020年代の早い段階に達成見込み

風力発電の大量導入時代到来への期待と責任

【期待】
- エネルギーミックスの見直し（意欲的な導入見通し（≒導入目標）を新たに設定）
- 強い風力発電産業・サプライチェーンの確立
- 低コスト化技術・革新的技術など研究開発の継続
- 大量導入実現による発電コスト低減の実現 （グリッド・パリティの達成）

【責任】
- 基幹電源の一翼を担う存在　⇒ 信頼される電源としての責任 （安全で安定した運転の実現）
- 電力システムの一部としてシステム全体への統合　⇒ システム費用最小化への貢献
- 社会システムの一部として社会に根差し受け容れられる存在　⇒ 社会に便益を提供し負荷の軽減に貢献

ご清聴ありがとうございました

JWPAフォトコンテスト：北海道宗谷岬