

風力発電の導入拡大に向けた取組について

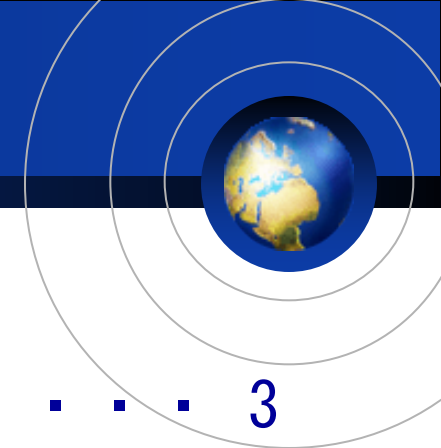


2017年10月17日

一般社団法人 日本風力発電協会

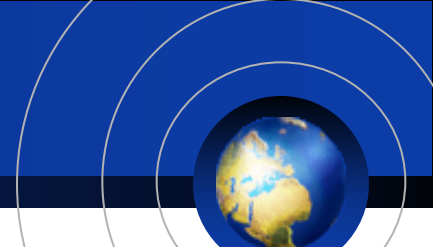
<http://jwpa.jp>

目次



1. 背景	3
2. JWPAのこれまでの取り組み	6
3. 風力発電導入拡大に向けたJWPAの取り組み	8
4. 風力発電の有効電力・周波数制御機能	11
5. 参考資料	15

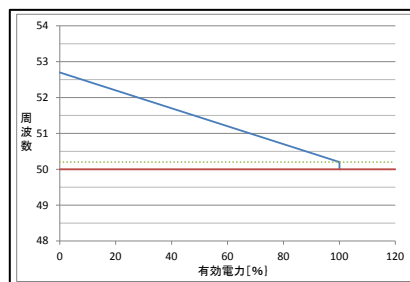
1.1 背景(1/3)



①第2回系統ワーキンググループ(2014年10月 30日)資料4にて、JWPAより系統連系拡大策について、風車制御機能の活用を主体に説明

(http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/keitou_wg/pdf/002_04_00.pdf)

- ・周波数調定率制御(GF機能)
(⇒スライド15)
- ・最大出力抑制制御
- ・出力変化率制限制御



風車の周波数調定率制御(GF機能)の例

②第9回系統ワーキンググループ(2016年11月25日)資料11-1にて、事務局より系統連系の拡大に向けて特に取り組むべき当面の課題について提示

(http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/keitou_wg/pdf/009_11_01.pdf)

- ・北海道における風力発電の連系拡大に向けた対応方策③/系統用蓄電池の活用において、将来的な検討課題として、周波数調定率制御が可能な風力発電所や、スペインの再エネ監視・制御センター(CECRE)のようなリアルタイム制御の導入可能性について、今後、検討が必要ではないか
(⇒スライド16)

対応方策	内容	対応の方向性	将来的な検討課題
① 解列条件付の接続受入	火力による調整力不足の場合の解列を条件に蓄電池容量を低減。	・火力3台運転時の解列(停止)を条件とした新たな接続受入(蓄電池の必要容量の大幅低減が可能)。	自然変動電源の増大に伴う、調整力の確保の在り方について、検討が必要ではないか。
② 実証試験の空き枠の再募集	20万kWの風力導入実証試験について、空き枠(6.3万kW)を活用	・本実証試験が実施可能となるように、広域機関において連系統利用ルールを整備を速やかに検討するように要請する。 ・年明けに再募集を開始、年度内目標の実施案件確定に向けて進める。	実証枠20万kWの実証結果等を踏まえ、更なる拡大方策について、今後、検討が必要ではないか。
③ 系統側蓄電池の活用 ^{※1}	各サイト毎ではなく、系統の変電所等に蓄電池を設置。	・南早来蓄電池実証の中間評価(年末予定)を踏まえて、系統側に必要な蓄電池容量等を確定。 ・系統側蓄電池の設置費用を共同負担することを前提とした連系統希望案件募集プロセスを、年度末目標に試行的に実施。 ・募集の方法、費用負担の在り方等は募集プロセス開始までに別途、検討を進める。	周波数調定率制御が可能な風力発電所や、スペインの再エネ監視・制御センター(CECRE)のようなリアルタイム制御の導入可能性について今後、検討が必要ではないか。
④ LNG火力発電所の活用	建設中の石狩湾新発電所(平成31年2月に1号機運転開始予定)を調整力として活用。	・運転開始後に調整力として活用することにより系統側蓄電池の必要容量の低減を図る。 ・火力3台運転時の石炭火力との差替費用の負担の在り方について、別途、検討を進める。	出力変化速度等に優れたLNG火力発電機の導入により、調整力の増大可能性について検討が必要ではないか。
⑤ 京極発電所(揚水)、北本連系線の活用状況の確認	京極揚水や北本連系線の最大限活用が行われているか検証。	・今後とも活用状況を確認	北本連系線の平常時AFC(平常時AFCは60MW)の拡大可能性について、検討が必要ではないか。

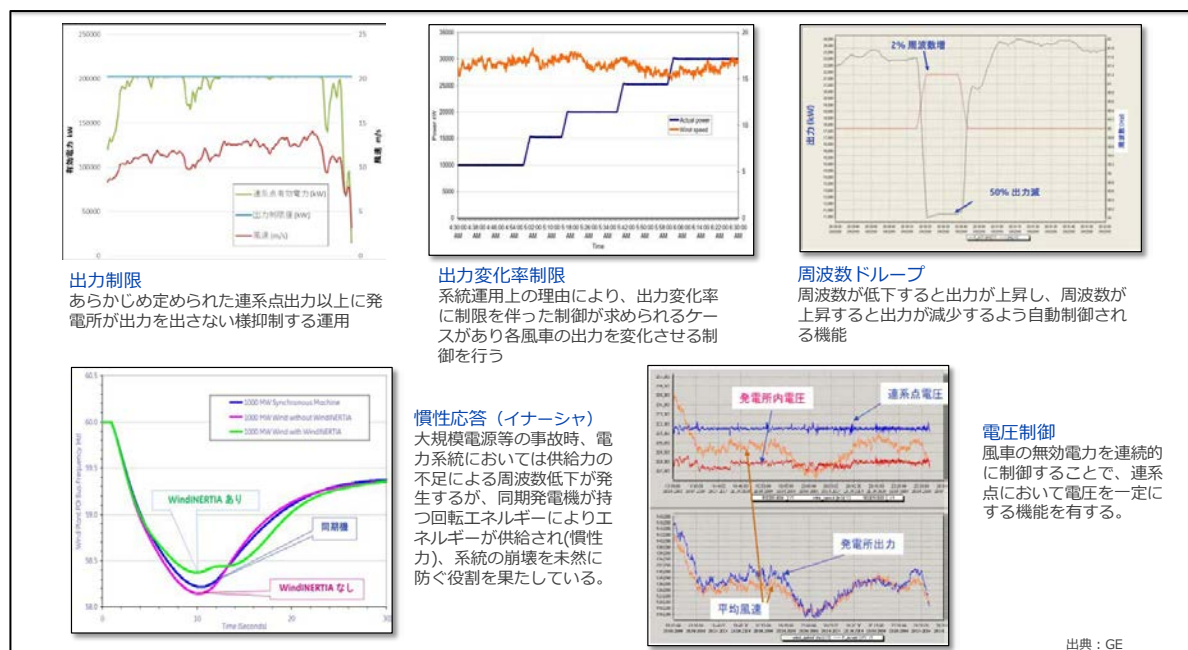
^{※1} 北海道電力・東京電力の共同実証事業として、連系統利用による広域的な調整を通じ、北海道地域における風力発電の導入拡大を行う。
^{※2} 北海道電力においては、②実証試験の空き枠再募集又は③系統側蓄電池の募集プロセスの開始を前提として、南早来蓄電池実証の中間評価(年末予定)や再生可能エネルギー導入促進協議会(2016年11月)等において、系統側に必要な蓄電池容量や募集の方法等の準備が整い、迅速、可及的速やかに風力事業者からの接続申込を受付開始予定。

1.2 背景(2/3)

③第3回再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会
(2017年6月14日)資料3にて、GE社より世界の風力発電動向と日本における課題を説明(海外で実用化されている風車制御機能と、欧州のグリッドコード
規程例を紹介 ⇒スライド17,18)

(http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/saisei_dounyu/pdf/003_03_00.pdf)

- ・最大出力抑制制御
- ・出力変化率制限制御
- ・周波数調定率制御(GF機能)
- ・イナーシャ制御



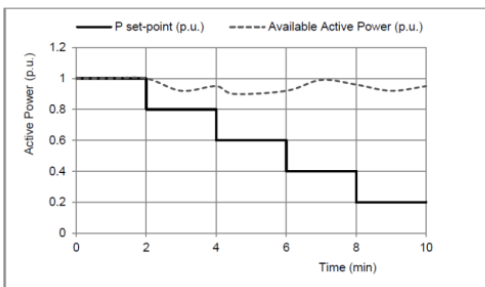
風車の制御機能の例(GE社資料より抜粋)

1.3 背景(3/3)

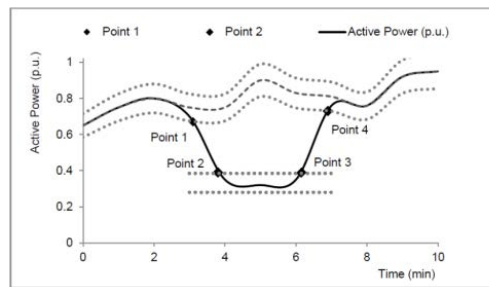


④電力品質の測定及び評価のIEC規格化(IEC61400-21-1)

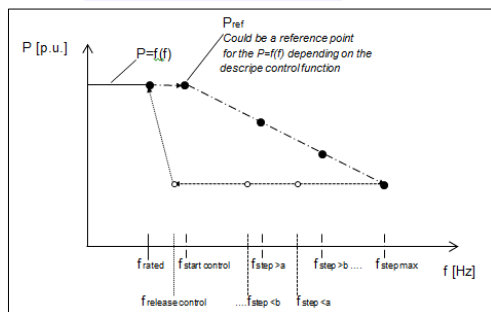
- ・ 各国のグリッドコードに基づき、殆どの風車メーカーで標準装備している風車制御機能の測定方法と評価方法を規定する、「IEC61400-21-1 Ed.1 (Measurement and assessment of electrical characteristics - Wind turbines : 電力品質の測定および評価)」は、2017年7月7日に委員会案に対する各国の投票結果が公表され、承認された。
- ・ 提出されたコメントに対する修正を加えた上で、2017年末に、最終国際規格案の投票が行われる予定



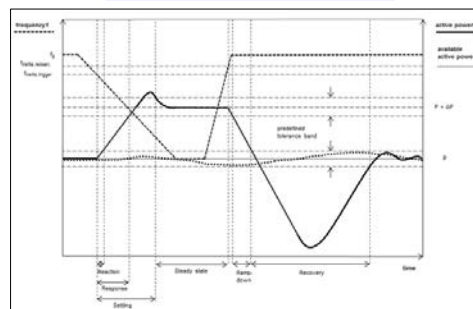
最大出力抑制制御



出力変化率制限制御



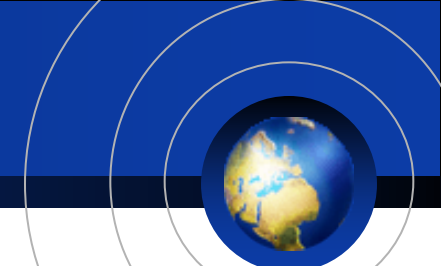
周波数調定率制御



イナーシャ制御

IEC 61400-21-1で規定されている試験パターン例

2.1 JWPAのこれまでの取り組み(1/2)



①欧米のグリッドコード及び風車制御を調査(2011～2012年度)

・主に以下の機能に注視して、欧米における各国のグリッドコード及び風車の持つ制御機能を、文献、製品カタログ等の調査及び国内事業者・メーカーへのアンケート等により、技術レベルや導入可否等の調査をした(欧米メーカー5社、国内メーカー2社)

a) FRT(Fault Ride Through)機能(事故時運転継続機能)

調査結果:欧米ではグリッドコードに規程があり、メーカーは対応済。国内メーカーは数年で対応可

b) 無効電流供給機能(電圧維持機能)

調査結果:欧米メーカーは対応済。国内メーカーは数年で対応可

②セミナー・勉強会の実施

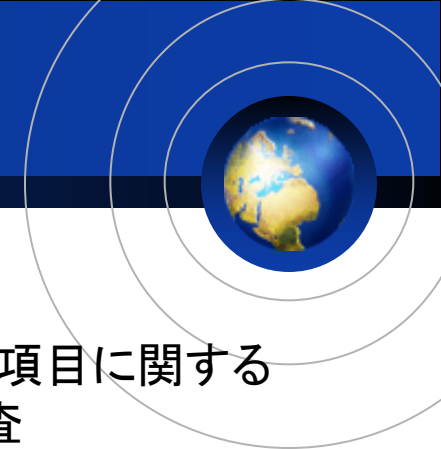
・上記調査の結果および海外での事例紹介を目的に、セミナー等を実施

○メーカーによる風車制御技術の勉強会(2014年度)⇒欧米で一般化している技術の理解に貢献

○Smith氏(UVIG)を招聘し、主に米国における系統運用状況、風力制御技術の適用事例等についての講演及び意見交換会(2016年度)

⇒国内では導入されていない技術(機能)が、欧米では既に、実系統で運用されていることが理解できた。米国で過去クリアしてきた課題等についても紹介があり、参考になった

2.2 JWPAのこれまでの取り組み(2/2)



③国内の導入実績における制御機能の調査(2015～2016年度)

- ・国内に導入した実績のあるメーカーに対し、導入機種毎に以下の項目に関するアンケート調査を行い、制御機能の導入実態や対応可否等を調査

a) 出力制御機能(最大出力制限機能)(2015年度)

- ・既に導入済の風力発電設備(全体263万kW)について、出力制御が可能な機種がどの程度導入されているか、国内外10社に対して機種毎の実態を調査し、出力制御への対応方法を検討

調査結果 ○対応可:9機種(9社)(102万kW/39%)
△費用をかけて可:2機種(2社)(91万kW/35%)
×不可 :9機種(9社)(70万kW/26%) ⇒台数制御で対応可

b) 周波数対応型機能(ガバナフリー機能)(2016年度)

- ・ガバナフリー(GF)機能について、現行の機種の装備状況及び今後の対応可否を国内メーカ3社、海外メーカ6社に対して、導入への可否実態を調査

調査結果 ◎標準装備:海外メーカ全社(6社)
○対応可 :国内メーカ1社
×対応不可:国内メーカ2社(1社は2年程度で対応可)

3.1 風力発電導入拡大に向けたJWPAの取り組み(1/3)

～ウィンドビジョン達成に向け、系統連系拡大対策を推進中～



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(スライド10参照)にて、有効電力・周波数制御特性を測定する
- 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する

☆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、殆どの風車メーカー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、協力を御願ひする
- 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大きなエリアでの風車の発注に対応することを目指す

3.2 風力発電導入拡大に向けたJWPAの取り組み(2/3)

～ウィンドビジョン達成に向け、系統連系拡大対策を推進中～



- 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

ロードマップ・タイムテーブル

No.	実 施 項 目	2017年度	2018年度		2019年度		2020年度以降	備 考
		下期	上期	下期	上期	下期		
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適用に向けた協議・お願い							①各制御機能の特性と有効性を関係機関等へ報告 ②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 ③適用に向け、系統連系要件化のための要求仕様を関係機関等と明確にし、規程化を図る
4	有効電力・周波数制御機能の装備							・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

▲東北北部電源募集プロセス完了(予定)

▲北海道系統蓄電池募集プロセス完了(予定)

3.3 風力発電導入拡大に向けたJWPAの取り組み(3/3)

～ウィンドビジョン達成に向け、系統連系拡大対策を推進中～



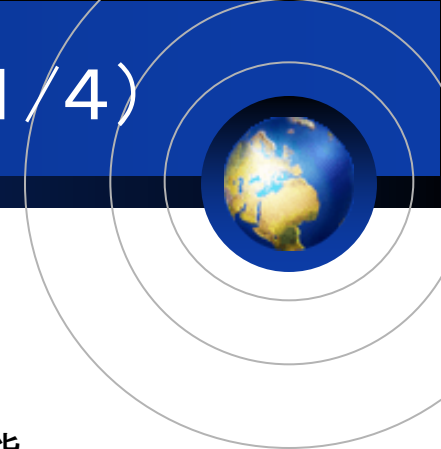
3) 制御機能確認試験概要

- ・ JWPA会員事業者が有する東北エリアにおけるWF(1箇所)にて、風車毎に適用する制御機能の組み合わせを変え、各機能の有無による周波数・有効電力制御状況を把握し、風車制御機能の有効性を検証する(2017年12月頃まで)
 - * なお、検証に際して制御定数設定値は、周波数管理目標値($\pm 0.2\text{Hz}$)以下で、応動する値に設定し、系統周波数変化時の有効電力制御状況を把握
 - * 本検証は、風力発電事業者と研究機関(大学)の協力を得て、実施する

【組み合わせる制御機能】

- ・ 最大出力抑制制御 (⇒スライド11)
 - ・ 出力変化率制限制御 (⇒スライド12)
 - ・ 周波数調定率制御(ガバナフリー) (⇒スライド13)
 - ・ イナーシャ制御 (⇒スライド14)
- ・ 東北エリアにおける他のWF(1箇所)および北海道エリアにおけるWF(1箇所)にて、同様な試験を実施予定(2018年1月以降)

4.1 風力発電の有効電力・周波数制御機能(1/4)



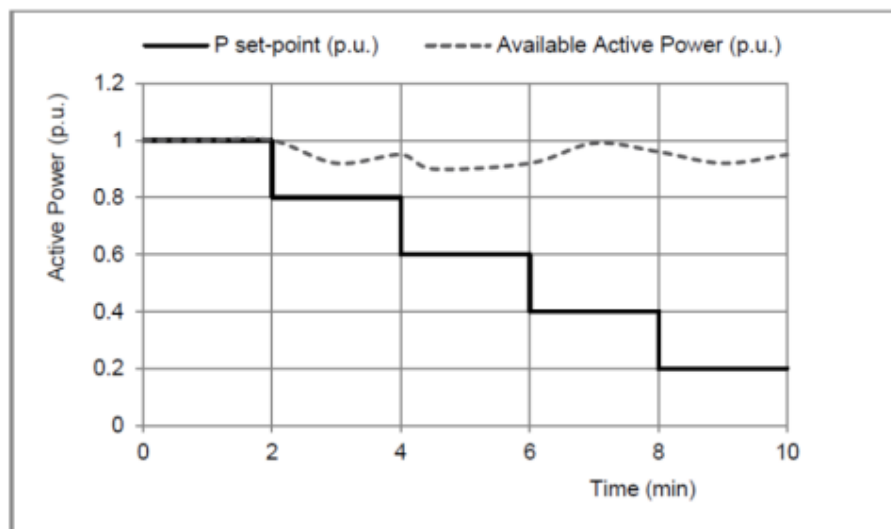
➤ 最大出力抑制制御

IEC61400-21-1:8.4.1 Active power control

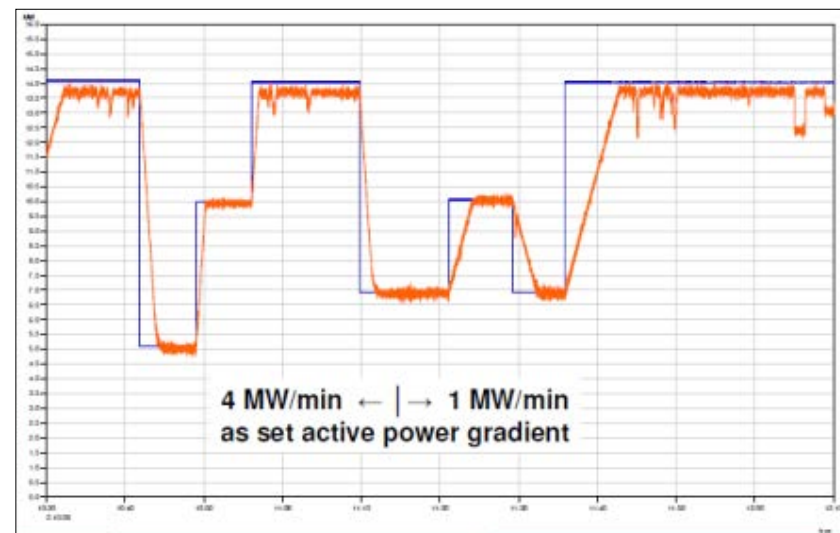
風力発電の出力を、風速に応じた出力可能値より低減して運転を行う機能

- ・電力系統の調整力(下げ代)不足や、局地的な送電線過負荷の解消に寄与する
(一般的には、出力変化率制御と組み合わせる)

⇒ 短周期領域の必要調整力の低減、必要送電線熱容量の削減、潮流制御不用化、周波数調整電源や蓄電池の容量削減、火力の安定運転等のメリットも期待できる



IEC61400-21-1 の試験パターン



出力変化率制限と組み合わせた試験例

4.2 風力発電の有効電力・周波数制御機能(2/4)



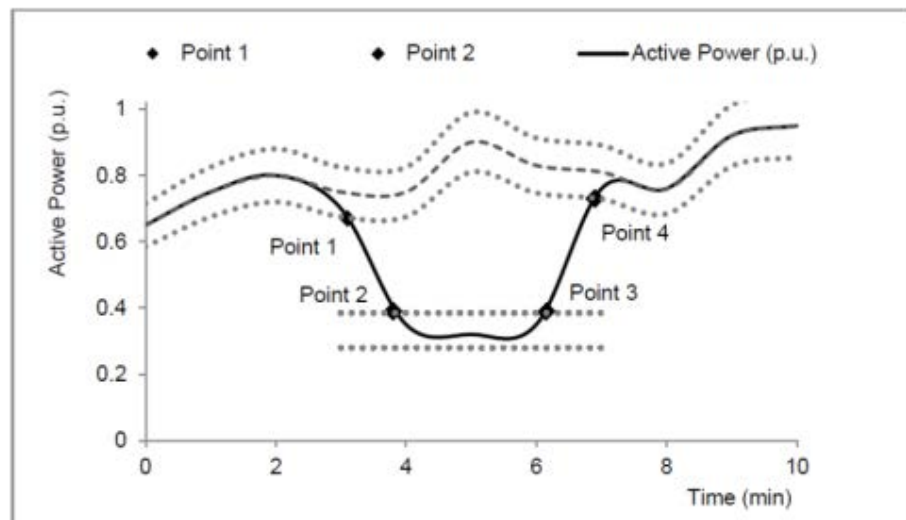
➤ 出力変化率制限制御

IEC61400-21-1:8.4.2 Active power ramp rate limitation

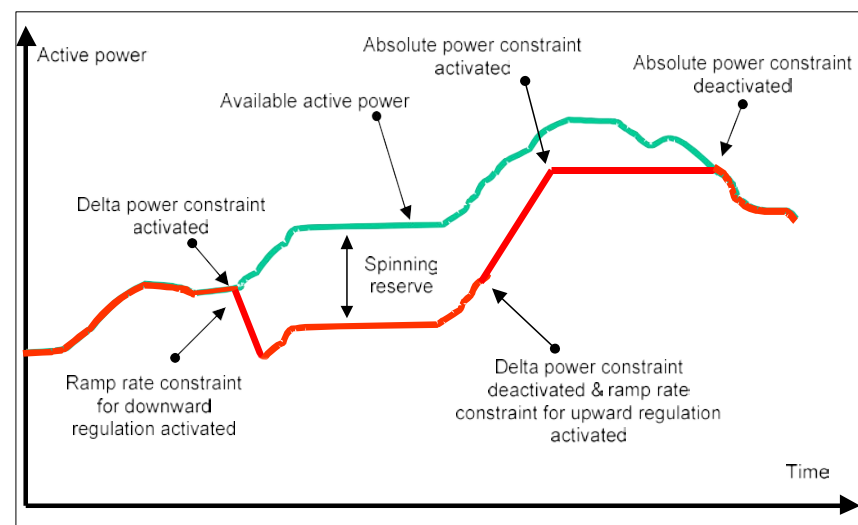
①通常起動時と停止時 ②通常運転中 ③系統事故後の復旧時 における風力発電の出力を、出力可能値以下の領域で、出力の増加および低減率を制限して運転を行う機能(例:1MW/分)

・通常運転中やカットアウト後のカットイン時の出力変動量を緩和する

⇒短周期領域の出力変動量抑制=必要調整力の低減、周波数調整用電源や蓄電池の容量削減、出力制御量削減、火力の安定運転などのメリットも期待できる



IEC61400-21-1 の試験パターン



デンマークのグリッドコード

4.3 風力発電の有効電力・周波数制御機能(3/4)



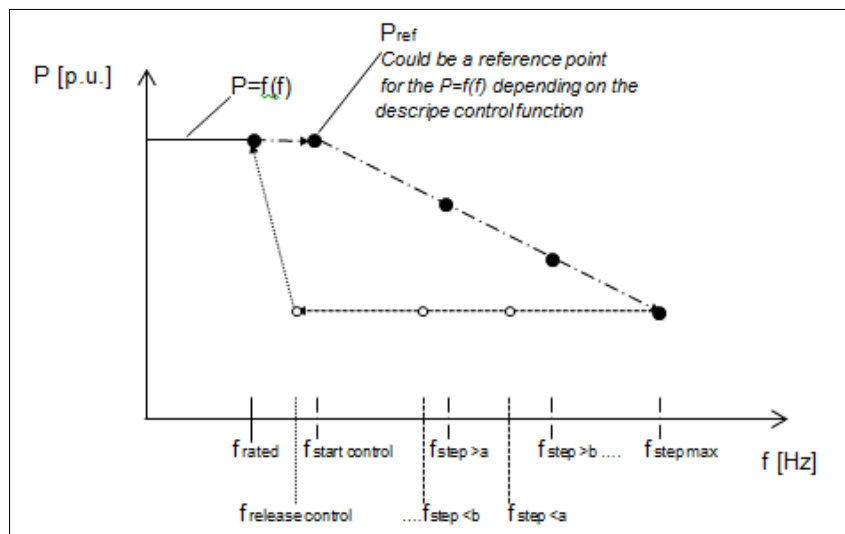
➤ 周波数調定率制御

IEC61400-21-1:8.4.3 Frequency control

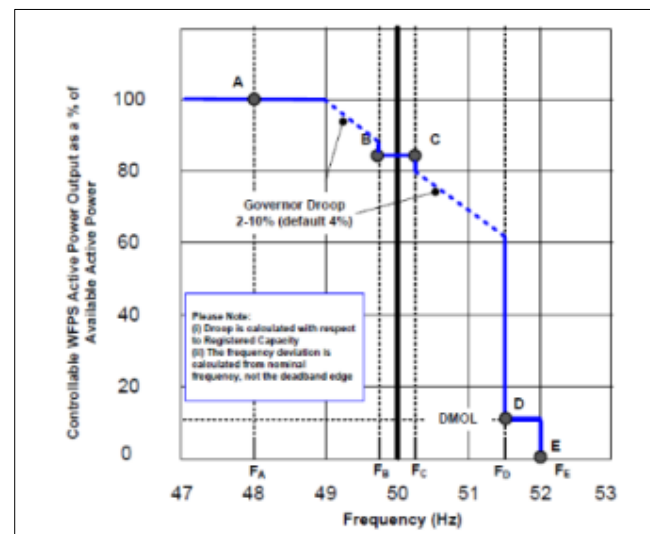
①周波数上昇時は、調定率に従い風力発電機の出力を低減 ②出力抑制運転中においては、周波数低下時は、調定率に従い風力発電機の出力を出力可能値以下の領域内で増加して運転を行う機能(例:周波数調定率=4%)

・電力系統における周波数変動抑制(周波数安定化)に寄与する

⇒系統異常時の周波数維持や早期回復、周波数調整用電源や蓄電池の容量削減、LFC必要容量の低減、潮流制御の不用化、火力の安定運転等のメリットも期待できる



IEC61400-21-1 の試験パターン



アイルランドのグリッドコード

4.4 風力発電の有効電力・周波数制御機能(4/4)

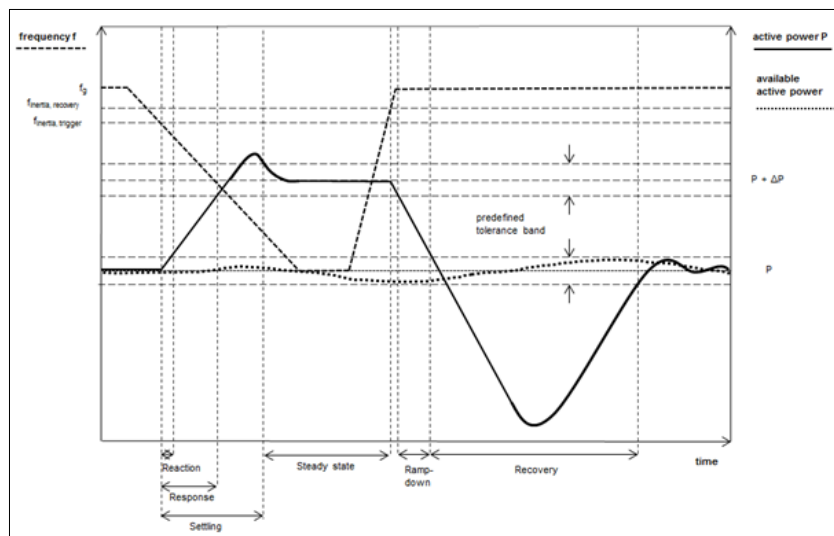


➤ イナーシャ制御

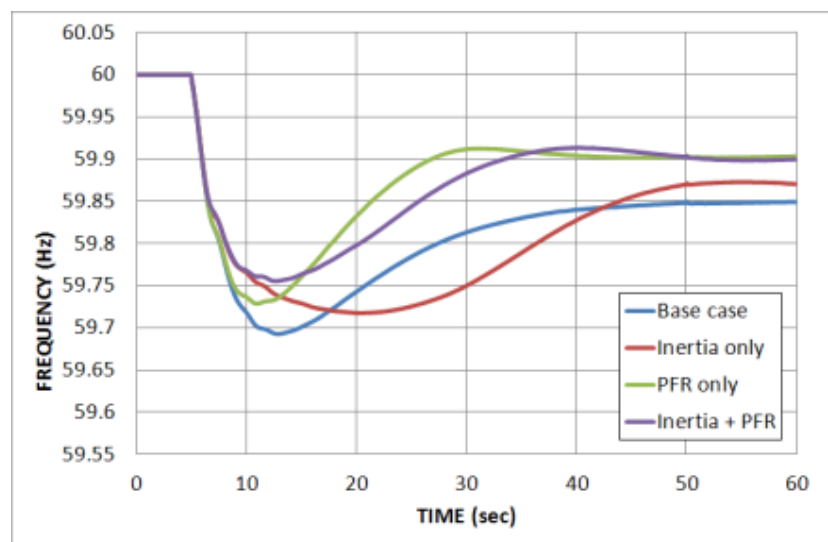
IEC61400-21-1:8.4.4 Synthetic inertia

系統事故に伴う周波数低下時に、風車の回転エネルギーを電気エネルギーに変換し、出力を一定時間(5～10秒程度)増加運転を行う機能

- ・電力系統事故時の、過渡安定性維持と常時の周波数安定に寄与する
⇒ 一般発電設備の必要連系量(慣性力不足対応)の低減、インバータ電源の接続容量拡大、火力の安定運転等のメリットも期待できる



IEC61400-21-1 の試験パターン



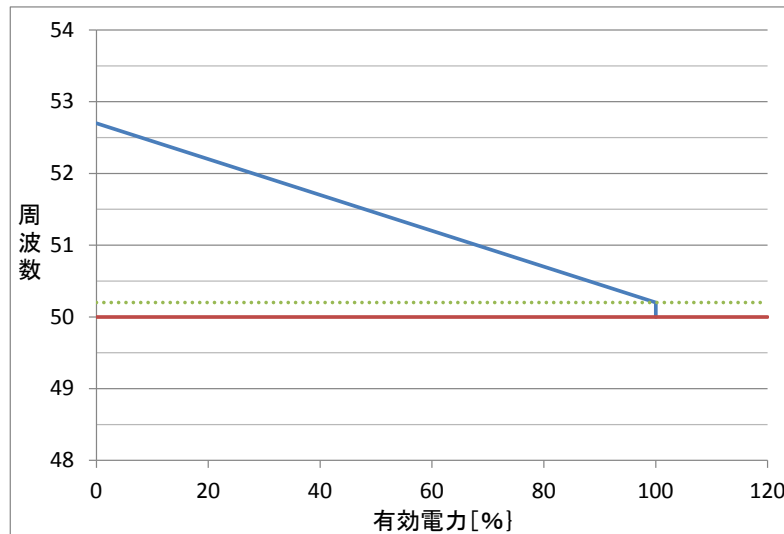
NREL シミュレーション結果例 風力比率15%

5.1 参考資料－1

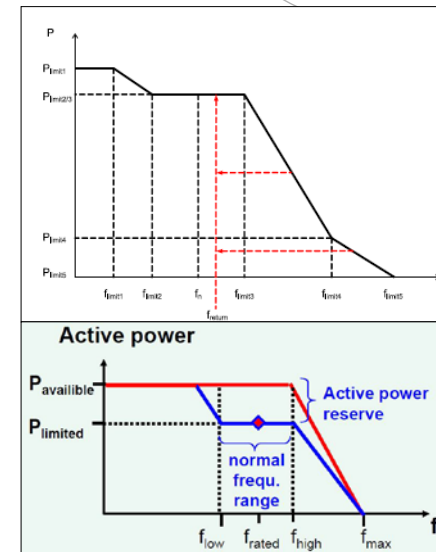
- ◆ 第2回系統ワーキンググループ(2014年10月30日)
資料4「風力発電の系統連系可能量拡大策」より抜粋

2. 周波数上昇時の出力抑制運転

- 系統事故や下げ代不足などに伴う、系統側の周波数上昇時に、有効電力を制限し、周波数回復・維持に寄与する。(ガバナフリー相当)
 - － ドイツの場合: 不感帯0.2Hz、調定率40%/Hz
 - － アイルランドも適用中



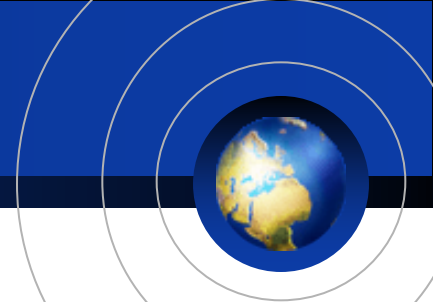
周波数上昇が発生すると、あらかじめ設定している調定率で出力を低下



周波数低下時に出力を上げる制御も可能であるが、予め通常運転最大出力を定格出力以下に設定する必要がある為、通常使用していない。

4

5.2 参考資料－2



◆ 第9回系統ワーキンググループ(2016年11月25日)

資料11-1「系統連系の拡大に向けて特に取り組むべき当面の課題について」より抜粋

北海道における風力発電の連系拡大に向けた対応方策②

4

○各種対応方策の具体的内容

対応方策	内容	対応の方向性	将来的な検討課題
①解列条件付の接続受入	火力による調整力不足の場合の解列を条件に蓄電池容量を低減。	・火力3台運転時の解列(停止)を条件とした新たな接続受入(蓄電池の必要容量の大幅低減が可能)。	自然変動電源の増大に伴う、調整力の確保の在り方について、検討が必要ではないか。
②実証試験の空き枠の再募集※1※2	20万kWの風力導入実証試験について、空き枠(6.3万kW)を活用	・本実証試験が実施可能となるように、広域機関において連系線利用ルールの整備を速やかに検討するように要請する。 ・年明けに再募集を開始、年度内目途の実施案件確定に向けて進める。	実証枠20万kWの実証結果等を踏まえ、更なる拡大方策について、今後、検討が必要ではないか。
③系統側蓄電池の活用※2	各サイト毎ではなく、系統の変電所等に蓄電池を設置。	・南早来蓄電池実証の中間評価(年末予定)を踏まえて、系統側に必要な蓄電池容量等を確定。 ・系統側蓄電池の設置費用を共同負担することを前提とした連系希望案件募集プロセスを、年度末目途に試行的に実施。 ・募集の方法、費用負担の在り方等は募集プロセス開始までに別途、検討を進める。	周波数調定率制御が可能な風力発電所や、スペインの再エネ監視・制御センター(CERCER)のようなリアルタイム制御の導入可能性について今後、検討が必要ではないか
④LNG火力発電所の活用	建設中の石狩湾新港発電所(平成31年2月に1号機運転開始予定)を調整力として活用。	・運転開始後に調整力として活用することにより系統側蓄電池の必要容量の低減を図る。 ・火力3台運転時の石炭火力との差替費用の負担の在り方について、別途、検討を進める。	出力変化速度等に優れたLNG火力発電機の導入により、調整力の増大可能性について検討が必要ではないか。
⑤京極発電所(揚水)、北本連系線の活用状況の確認	京極揚水や北本連系線の最大限活用が行われているか検証。	・今後とも活用状況を確認	北本連系線の平常時AFC(平常時AFC幅は±60MW)の拡大可能性について、検討が必要ではないか。

※1 北海道電力・東京電力の共同実証事業として、連系線利用による広域的な調整を通じ、北海道地域における風力発電の導入拡大を行う。

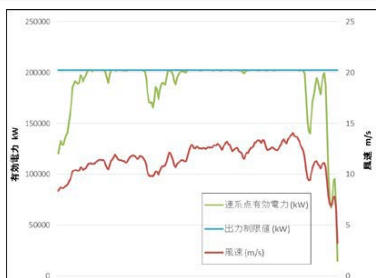
※2 北海道電力においては、②実証試験の空き枠再募集又は③系統側蓄電池の募集プロセスの参加を前提として、南早来蓄電池実証の中間評価(年末予定)や再生可能エネルギー導入促進関連制度改革小委員会(1月開催予定)等において、系統側に必要な蓄電池容量や募集の方法等の準備が整い次第、可及的速やかに風力事業者からの接続申込を受付開始予定。

5.3 参考資料－3(1/2)



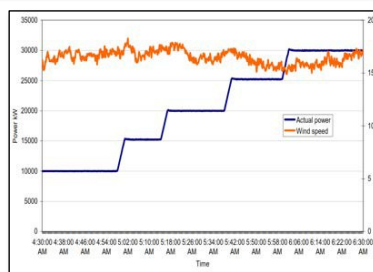
- ◆ 第3回再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会 (2017年6月14日) 資料3「世界の風力発電動向と日本における課題」より抜粋

風力発電は系統安定化が可能な電源



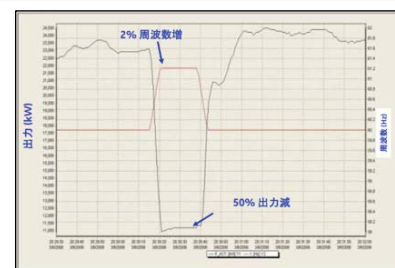
出力制限

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



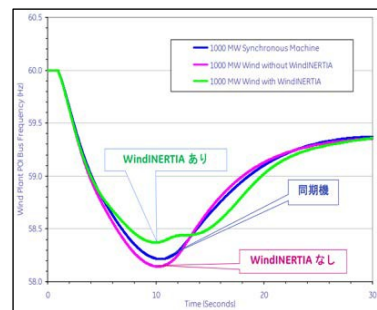
出力変化率制限

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



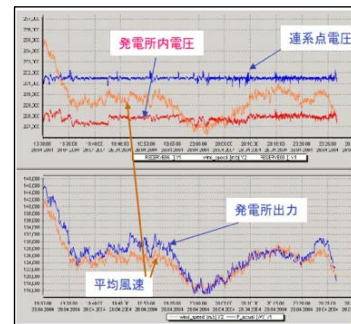
周波数ドロープ

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



© 2017 General Electric Company. Proprietary and Confidential. All Rights Reserved.

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/saisei_dounyu/pdf/003_03_00.pdf

5.4 参考資料－3(2/2)



- ◆ 第3回再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会
(2017年6月14日) 資料3「世界の風力発電動向と日本における課題」より抜粋

グリッドコード一例

風力制御機能			アイルランド共和国		デンマーク				
			5MW以上の発電所	その他	11kW から 50kW以下の 発電所	50kWから 1.5MW以下の 発電所	1.5MWから 25MW以下の 発電所	25 MWを越えるか 100 kV以上の 送 電線接続の発電所	
ウィンド ファーム レベルの 制御	無効電力 (電圧) 制御機能	力率一定制御 または 一定無効電力制御 Power Factor Control 及び Reactive Power Control	必須 (要求数値は、 低風速シナリオで発電する 風車数により設定し、 事業ごとに異なる)		必須	必須	必須	必須	
		電圧制御 Voltage Control			必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	必須	
	有効電力 (出力) 制御機能	有効電力(出力)制御 Active Power Control	必須 (TSOとの協議のより、 事 業ごとに異なる数値を設定)		必須	必須	必須 (定格出力の40%- 100% 範囲で制御可 能であること)	必須 (定格出力の20%- 100% 範囲で制御可 能であること)	
		出力変化率制御 Ramp Rate (Limit) Control	必須 (TSOとの協議のより、 事 業ごとに異なる数値を設定)		必須 (最大標準値は 100kW/s)	必須 (最大標準値は 100kW/s)	必須 (最大標準値は 100kW/s, 定格出力 の40%-100% 範囲 で制御可能であ ること)	必須 (最大標準値は 100kW/s, 定格出力 の20%-100% 範囲 で制御可能であ ること)	
	周波数制 御機能	周波数調定率制御 (ガバナンス・模擬制御) Frequency Control 及び Frequency Response	必須 (ドループの範囲 は 2-10%、 初期設定は 4%、 TSOとの協議によ り、事業ごとに 異なる数値、 周波 数カーブを設定)	必要条件なし	周波数応答機能 のみ必須 (TSOとの協議で、 事業ごとに異なる 数値を設定)	周波数応答機能 のみ必須 (TSOとの協議で、 事業ごとに異なる 数値を設定)	周波数応答・制御機 能とも必須 (TSOとの協議で、 事業ごとに異なる 数値を設定)	周波数応答・制御機 能とも必須 (TSOとの協議で、 事業ごとに異なる 数値を設定)	
		デルタ制御 Active Power Reserve Control			必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	必須 (TSOとの協議で、 事業ごとに異なる数 値を設定)	
		慣性力模擬制御 又は イナーシャ制御 Inertial Control	必要条件なし		必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	
各風車 レベルの 制御	瞬時停電 運転継続 機能 FRT	低圧運転継続機能 Low Voltage Ride through	必須 (最小値 15%)		必要条件なし	必要条件なし	必須	必須	
		零電圧運転継続機能 Zero Voltage Ride Through	必要条件なし		必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	必要条件なし	

Sources: Eirgrid Grid Code Version 6.1 および Energinet.dk Technical regulation 3.2.5 for wind power plants above 11 kW

- グリッドコードは、個々の国の背景をベースに段階的に適応・発展を繰り返し、常に新しいあり方を模索している。
- 経済性及び系統安定化に寄与できる規模レベルを鑑み、発電所の規模の違いで、要求する内容・設定を変えている国もある。



© 2017 General Electric Company. Proprietary and Confidential. All Rights Reserved.

21