

海外の再生可能エネルギー大量導入の対応の経験からの示唆

本資料は、再エネの持続的な導入を実現するために、国際エネルギー機関（IEA）が各国の政策、規制、システム運用、多様な市場参加者の考え方の指針となるようにまとめた「Insight Series」（教科書的な出版物）の要旨、目次の仮訳である。

日本国内の再エネ大量導入を含む将来の電力・エネルギー需給については、その時点の海外からの情報を含め最善の知識に基づき議論はされている。しかし、この問題を含む今後の電力・エネルギーの課題解決には、電力・エネルギー需給の技術、市場を含めた制度、規制構造の100年ぶりの大きな変革が求められ、これを包括的に検討するためには、高度な情報・専門知識・理解力・必要な定量分析ツールを使うスキルを必要とする。

このような広い領域の検討を、一人一人でカバーするのは困難であり、それぞれの分野の専門家、関係者が集まって検討することが必要である。しかし、現実には、将来のことから離れ、当面のビジネスの成否などそれぞれの立場を中心に考えがちである。また、海外の事例を参考にする場合も限られた部分を切り取って自らの議論に合致するところを協調して伝えてしまうなどの例も見られる。

技術も制度も一旦最善のものを導入することに失敗すると、技術であればそれを使った設備の寿命の間は次が導入できないか、改造などに大きな費用が発生する。制度であれば、その制度に従って契約、設備形成が行われ、その条件を維持しなければならないことは、制度ができた後、遠い将来までの制度改善の大きな枷になる。

このような残念な状況をあらかじめ避け、また、効率的かつ効果的な議論をするために、本委員会を含めた、再エネ、電力、エネルギーの各種の議論のチェックリストとして、本書全体の内容を使うことを検討いただきたい。

なお、文中の四角囲いは、直前の本文の記述と関連して、目下の本委員会の関連で注目すべき点について述べている。

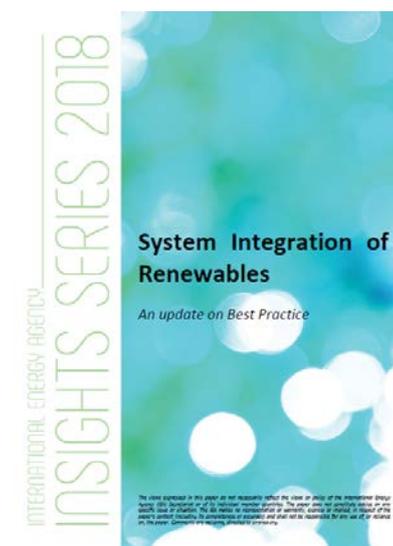
International Energy Agency

Insight Series 2018

**System Integration of
Renewables**

An update on Best Practice

(2018.1 公開)



謝辞

本書には、IEAの3つの出版物である“*Next Generation Wind and Solar Power*”、“*Getting Wind and Sun onto the Grid*”、“*Status of Power System Transformation 2017*”から選ばれた章が組み合わされている。これらは組み合わせられ、システム統合戦略の包括的な概要を形成し、一方で1つの簡潔な出版物を提供することを目指している。

具体的には、本書は、以下の章を組み合わせることで本書作成された。

- Next Generation Wind and Solar Power: From cost to value
 - Executive summary
 - Chapter 2: Next-generation wind and solar power and system integration
 - Chapter 3: Achieving system-friendly VRE deployment
- Getting Wind and Sun onto the Grid: An Manual for Policy Markets
 - Executive summary
 - Grid integration: Myths and reality
 - Different phases of VRE integration
 - Phase One: VRE capacity is not relevant at the all-system level
 - Phase two: VRE capacity becomes noticeable to the system operator
 - Conclusions and recommendations
 - Annex2: Focus on the grid connection code
- Status of Power System Transformation 2017: System integration and local grids
 - Executive summary
 - Chapter 3. Transforming power system planning and operation to support VRE integration
 - Chapter 4. Policy, regulatory and market frameworks to support VRE integration
 - Chapter 5. Topical focus: Evolution of local grids
 - Annex A. Details of technical measures to address power system challenges

詳細な謝辞については元の報告書を参照されたい。

要旨 - Executive summary

風力と太陽光発電の設備容量は、支援政策と技術コストの劇的な低下のために、多くの国で非常に急速に成長した。2016 年末までに、これらの技術（出力が変動する再生可能エネルギー（VRE）と呼ぶ）は、パーセントで年間発電電力量の 2 桁の導入率となった。2016 年のデンマークでの VRE の発電電力量は約 45%、アイルランドとスペインでは約 20%に増加した。2022 年までに、中国、インド、米国などの大規模な電力システムでは、VRE の導入率は倍増して 10%を超えると予想されている。

この現実にもかかわらず、VRE の統合についての議論は、誤解、虚構、更には誤った情報によって依然として損なわれている。広く言われることとして、VRE の統合には電力貯蔵が前提条件であり、従来の発電機は VRE 導入率の拡大に伴い非常に高い追加コストにさらされるということがある。このような主張は、事実であるが最終的には管理可能な問題から意思決定者の注意を逸らす可能性があり、これを確認しないままでは、VRE の導入を中断させることにもなる。

本書は、政策立案者やエネルギー省や規制当局のスタッフのために書かれており、2つの主な目的がある。第一は VRE の導入初期に直面する真の課題を明らかにすること、第二は、どのようにこれらの課題をうまく緩和し管理すればよいか示唆を与えることである。また、より高い導入率での VRE 統合の管理方法に関する最新の分析も提供する。

本書では、VRE 導入の 4 つの段階で、電力システムの費用対効果と信頼性を維持するための方策がどのように変わるかを明らかにする。これらの段階では、VRE の容量が増加するに従って電力システムに与えるインパクトが大きく変わり、導入初期の障壁とされかねない対応について、優先順位付けのための有用な枠組みを提供する。

第一段階は非常に単純である。VRE はシステムに顕著な影響を与えない。風力や太陽光発電所がそれらよりもはるかに大きいシステムに設置されている場合、それらの出力やその変動は、電力需要の日々の変動と比較して、認識されるほどではない。現時点で VRE 導入第一段階の国としては、インドネシア、南アフリカ、メキシコが挙げられ、年間の発電電力量における VRE のシェアは約 3%である。

第二段階では、VRE の影響は認識されるが、電力システムの運用を一部改善することで、このインパクトを容易に管理できる。例えば、VRE 電源の出力予測を活用して、柔軟な運転をできる発電所が、電力需要の変動に対応するように、VRE の出力の変動に対してより効率的にバランスをとることができる。

第二段階に入るかどうかの年間電力量のシェアについて、ただ 1 つの閾値というものはなく、電力システム自身の特性に依存する。VRE の年間発電電力量のシェアが 3%からほぼ 15%になる第二段階の国としては、チリ、中国、ブラジル、インド、ニュージーランド、オーストラリア、オランダ、スウェーデン、オーストリア、ベルギーが挙げられる。

- 日本は、現在、第二段階から第三段階に移行中。IEAによると九州エリアは第三段階。
- 段階は、シェアだけでは判定できない。アイルランド、南オーストラリアは、九州と並び運用の困難なエリア。

第三段階では、初めて VRE 統合の大きな課題に直面し、全体的なシステム運用と他の発電所の両方が VRE の変動性のインパクトを受ける。電力システムの柔軟性が重要となるが、本書における柔軟性とは、例えば風力の出力が低下したときに他の供給源から電力を供給するなど、数分から数時間の時間スケールで、需給バランスの不確実性と変動性

に対応する電力システムの能力を意味する。現時点で、主要な 2 つの柔軟性のある資源は、負荷配分可能な発電所と送電網である。中期的な柔軟性として、需要側の選択肢や新しいエネルギー貯蔵技術の重要性が増している。VRE 導入の第三段階とされる国の例には、九州（日本）、ERCOT（米国）、CAISO（米国）、イタリア、英国、ギリシャ、スペイン、ポルトガル、ドイツが挙げられ、それらで VRE の年間発電電力量に占めるシェアは、10%から 25%である。

第四段階では、新たな課題が顕在化する。これらは高度に技術的であり、柔軟性よりも本質的に直感的ではなく、電力システムの安定性に関連する。この電力システムの安定性は、数秒以下という非常に短い時間スケールで通常の運用を妨げる可能性のある事象に直面した場合の復元力である。主にこの段階の課題を抱える国としては、アイルランドとデンマーク¹が挙げられ、VRE の年間発電電力量におけるシェアは 25%から 50%である。

I. VRE 導入の第一段階における推奨事項

電力システムにおいて VRE が増加するにつれて、システム統合の課題が徐々に顕在化する。したがって、VRE を吸収するシステムとしての能力を徐々に高めることが望ましい。最初の VRE 電源は、通常、システムにほとんど影響を与えずに統合することができる。送配電網接続容量の透明かつ適切な技術評価により、統合を実施することができる。技術的に有能で中立的な機関に送配電網統合の技術的可能性を評価する責任を負わせることが重要である。根拠のない導入容量の上限の使用や従来の発電所に適用されていた統合の方法は避けることが必要となる。第一段階では限定的であるが、局所的な送配電網の増強が必要な場合がある。送配電網の増強の前に、電力システムへの影響を最小化する VRE 電源プラント構成にするなど、送配電線の 신설に代わる案を十分に検討する必要がある。

- 従来設備の最大活用のうち、「混雑時の出力制御を前提とした新規接続許容」は重要な改善点。従来電源、再エネ、需要を含めたグリッドコードの将来を見通した内容による制が必要。
- 送配電網の増強の前に既存の系統容量を有効活用することが必要。地域間連系線に導入される間接オークション（市場でのメリットオーダーに基づき連系線を利用）への移行を参考とすれば、より透明性の高い系統利用の早期の導入が可能ではないか。
- 「non-firm 接続（混雑時の出力制御を前提とした新規接続許容）」に加えて、間接オークション導入による「運用と経済」の分離を考慮すべきではないか。

システム運用者は、最初の VRE プラントを接続するための技術要件を特定する際に、最初からやり直すのではなく、最新の業界標準と国際的な経験を参照すべきである。国際基準は、適用場所の状況に合わせて修正する必要がある。システム運用者は、低い VRE 導入率に適した要件から始めるべきである。

- 「最新の業界標準と国際的な経験を参照すべきである。」という点は大きな改善の余地あり。この視点で注目すべき喫緊の課題はグリッドコード、システム運用・市場運営などである。

¹ 訳注：国単位の VRE の年間の発電電力量に占める割合で考えるとデンマークも第四段階に入るとされるが、電力システムとしてみた場合、デンマークはドイツ、北欧の電力システムと密接に連系して運用されており、国単位の課題とするのは難しい面がある。

II. 第二段階における推奨事項

◆ 適切な系統連系規程の制定

システム運用者は、政策立案者や規制当局と協力して、VRE 電源の接続に対応するために、新しい連系要件が必要か、既存の連系要件を改訂するかを決定する必要がある。システム運用者は、関連する電力システムのデータを収集し、連系要件に含める技術的要件を確立するために使用する適切なモデリングツールを決める必要がある。

- ▶ 従来電源、再エネ、需要を含めたグリッドコードの将来を見通した内容による制定が必要。
- ▶ 従来電源、再エネ、需要を含めたデータ収集、分析が必要グリッドコードの将来を見通した内容による制定が必要。また電源、需要、系統に関するデータの開示が必要。
- ▶ 具体的な、より正確なデータに基づくモデリングツールによりインテグレーションスタディを行い、グリッドコードの要件決定が必要。

システム運用者は、より高い VRE 導入率を持つシステムの連系要件を参考にする必要がある。これにより、他の場所ですでに大規模に導入されている風力発電と太陽光発電の技術を導入できるかどうかを判断することができ、これは導入につながるとともにコスト削減に役立つ。業界の利害関係者とシステム運用者は、重要な知見が自分のコードに組み込まれていることを確認するために、他の電力システム、特に大規模な VRE 導入をしているシステムの状況を継続的に注視する必要がある。そして、連系要件は継続的に評価し、改訂することで、適切性を確保する必要がある。

◆ 電源運用における VRE の反映

発電所の可視性はシステム運用者にとって不可欠である。十分な数の従来型および VRE 発電所から静的およびリアルタイムのデータを送信する必要がある。大量のデータとそれに伴うコストを管理するために、小規模の分散型電源（ルーフトップソーラーなど）からの発電量を統計的手法により推定することが必要である。さらに、VRE の出力予測を使用することで、システム運用を最適化できる。最先端の集中型の出力予測システムを導入し、発電所の起動停止やその他の運用上の決定のために、それらを効果的に使用すべきである。

- ▶ 再エネの出力予測技術は、導入量の拡大とともにより高い機能（制度、確率などの適用情報の充実、ランプ等の項目の追加）が必要。

発電所の起動停止計画と運用予備力の管理は、リアルタイムに近い実行が必要である。物理的な配電（リアルタイム）の時点よりもずっと前に行われるシステム運用の計画は、変動に効率的に対処するために、リアルタイムに近づくべきである。特に、より短い起動停止計画の修正と負荷配分間隔を旨すべきである。自由化された卸売市場が整備されている場合、当日を含むリアルタイムに近い取引が可能でなければならない。

VRE の導入レベルを上げるためには、市場運営を改善する必要がある。自由化された卸売市場が整備されている場合、VRE の導入率を拡大に対応して正確な価格設定を行うために取引の方法を改善する必要がある。

- 変動性への対応として、価格シグナルの時間分解能を高めること、つまり、価格は短い時間間隔で与え、価格の変動性の許容度を上げることが重要である。
- 不確実性への対応として、実際の需給バランスを反映して、リアルタイムに近い時点で形成される短期の価格シグナルが重要である。

- 地点の制約とモジュール性への対応として、電力価格が場所によって異なるという、価格シグナルの空間分解能の重要性が高まる。

➤ 地理的粒度の高いシグナルの重要性が本書でも強く施行されている。「間接オークション」を地内系統にも導入するなど、電力価格シグナルの空間分解能が向上する施策が必要ではないか。

◆ VRE 連系の十分な送配電網容量の確保

新しい送電線の建設は、VRE の導入と同期する必要がある。VRE 導入の拡大に伴い、発電所を接続するために、送配電網への新たな投資が必要になる可能性がある。電源と送配電網の構築を同期させる方法と、送配電網の構築が遅れる場合の VRE 運用の管理方法を検討する必要がある。さらに、既存の送配電網インフラを十分に活用する必要がある。送配電網に混雑が発生した場合、送配電網運用者は、新しい送配電線の構築に頼る前に、制約を管理するための低コストでの対応の可能性を検討する必要がある。

➤ 増設の必要性の判断は、再エネの出力制御を前提とすることが必要。既存の送配電網を最大限活用することを前提に、系統増強については、費用対効果・社会的便益を評価・見える化する必要がある。その手法には不断の見直しが必要。他方、価値のある系統増強は費用回収を担保することで確実・速やかに実施させることが必要。

低圧および中圧の送配電網の双方向の電力潮流に対応する必要がある。小規模の VRE 容量が地理的に集中して導入されたシステムでは、低圧および中圧の配電網から送電網に向かって「上向き」に流れる潮流を確実に管理できることが必要となる。これは一般に既存の設備で可能だが、調整が必要な場合がある。最後に、事前に十分な計画を立てるべきである。この VRE 統合段階では、送配電網計画の体系的な手法を開発して実施する必要がある。

◆ VRE のシステムへのインパクトの最小化

技術の組み合わせは、慎重な計画によって最適化することができる。たとえば、エネルギーの計画者は、風力、太陽光発電、流れ込み式水力などの相互に補完しあう技術を導入する価値を考慮する必要がある。地理的な広がりやまた、システムにおける VRE の価値を向上させることができる²。VRE 発電所の広範な普及によるシステム運用上の利点を念頭に置いて、既存の送配電網容量の最適化について検討する必要がある（第三、四段階の「システムと協調した VRE 導入」を参照）。

Ⅲ. 第三、四段階における推奨事項

◆ VRE 統合を支援するための電力システムの運用と計画の変革

VRE 統合には、電力システムのコスト効率と信頼性を維持するための具体的な対策が必要であり、それらは VRE の導入の進展に伴い進化する必要がある。統合の課題に取り組むために、多様な対策が用いられてきた。これらの対策は、電力システムのそれぞれの要件および目的に従って選択することができる。本書では、多数の、特に VRE の高い導入率で適用される技術的および経済的対策を概説している。

多様な対策を協調させるためには、ロバストで統合的な計画が重要である。多くの管轄区域では、費用対効果が高く信頼できる方法で、VRE の高い導入率を電力システムに受け入れるには、より統合され協調した計画の枠組みが重要な役割を果たす。本書には、

² 訳注：それぞれの変動が相殺するという「地理的なならし効果（平滑化効果）」により。

多様な供給資源と需要資源にわたる統合計画、発電と送配電網の統合計画、電力部門と他の部門の間の統合計画（特に運輸、暖房と冷房）、さまざまな需給調整エリアを跨ぐ地域間計画など、新たな電力部門計画の実例が紹介されている。

◆ 集中電源規模の VRE 統合を支援する政策、規制と市場の枠組み

政策、市場、規制の枠組みは、運用および投資の意思決定に対し決定的な役割を持つ。電力システムの変革と関連して、VRE の大規模な導入は、従来の政策、市場、規制の枠組みに大きな課題をもたらす。これは、より競争力のある市場や自由化された市場が垂直統合モデルに向かっていくにかかわらず、ほとんどすべての市場構造に当てはまる。しかし、VRE 統合に必要な適応は、出発点が異なることから、それぞれの状況において異なるであろう。

市場、政策、規制の枠組みの 5 つの幅広い目標により、電力システムの変革の中で VRE のより大きな導入率の統合が可能になる。

- 発電の収入に安定供給への貢献を完全に反映するための措置を含め、電力の安定供給を確保すること

➤ 安定運用のためには、これから大きな影響を受ける電力システム運用について、モニタリングと分析を、日射や風況と連動した分析を行うこと、将来の問題を予測して分析を行うことなどが必要。

- 既存のすべての資源から柔軟性を開放し、運用意思決定をリアルタイムに近づけることで負荷配分を改善し、競争的枠組みを通じて効率的なエネルギー価格発見を促進するなど、変動性および分散型電源の導入が拡大している電力システムの効率的運用をすること

➤ VRE の予測精度向上に加え、柔軟性資源の拡大と、それを取引する場（全国市場）の整備、の両面の取り組みが必要。系統運用者に対して、必要となる調整力のより効率的な市場調達を促しつつ、その費用を回収可能な仕組みへの見直しが必要。

- IPP プロジェクトのための適切な構造の電力購入契約（PPA）を含め、クリーンな発電に対する資本集約的な投資のための低コストの資金調達を誘引する十分な投資確実性を確保すること
- 局所的に適切な場合に地方の大気汚染や炭素排出を制限するための措置を含め、負の外部性の価格化すること
- 火力、送配電網、デマンドレスポンス資源、エネルギー貯蔵など、新しい柔軟性源の統合と開発を保証すること。

◆ システム価値

電力システムの変革を成功させるためには、VRE の経済評価の変更も必要である。従来の均等化電力コスト（LCOE: Levelized cost of electricity）だけではもはや十分ではない。

➤ 再エネの有利さを円/kWh のいわゆる発電原価で議論することは不可。システム全体に与える便益から自身の費用を引いて評価すべき。

次世代の評価では、風力や太陽光発電からの電力のシステム価値（SV）を考慮する必要がある。システム価値は、風力または太陽光発電を電力システムに追加することによって生じるシステム全体の利益として定義され、正と負の相互作用によって決定される。正の影響には、燃料コストの低減、二酸化炭素（CO₂）やその他の汚染物質の排出量の低

減、他の発電の必要容量の低減、おそらく送配電網インフラの低減、送配電損失の低減などがある。負の面では、従来発電所のサイクリングコスト³の増加や追加の送配電網インフラ費用の増加、システム制約による VRE 出力の抑制などの費用の増加がある。

➤ 再エネ追加に伴う社会的便益と社会的費用の分析を行って、再エネを追加した電力のシステム価値 (SV) を見える化することが重要。

システム価値は、発電コストを超えて重要な情報を提供する。システム価値が発電コストよりも高い場合、追加の VRE 容量は電力システムの総コストを削減するのに役立つ。VRE 発電の導入率の増加に伴い、VRE 発電の変動および他の負の影響がシステム価値の低下を招く可能性がある。

◆ システムと協調した VRE 開発—風力と太陽エネルギー発電の価値を最大化
風力と太陽光発電は、システムと協調した導入戦略によって自ら自身の統合を促進できる。VRE がシステム統合のツールとして見られないことが多いという事は、歴史的な理由からである。VRE 導入の初期段階における政策の優先順位は、単にシステム統合の視点でなく、可能な限り迅速に導入を最大化し、LCOE をできるだけ迅速に低減らすことに尽きていた。しかし、この考え方は、VRE の高い導入率では十分ではない。VRE 統合を自ら促進するためには、先進的な導入を開始し、VRE 技術の貢献を広げるためには、考え方の革新が必要である。

Key system-friendly VRE deployment measures:

主なシステムと協調した VRE 導入対策：

- すべてのケースにおいて、政府は効果的な統合計画を確保すべきである。明確なルールと手順による透明性の高いプロセスにより、新しい VRE 容量が適切な時期と場所に導入され、VRE の調達と送配電網の増強の協調によりシステム全体のコストが低減される。

➤ 定量的な解析に基づく再エネの導入種別、量、配置による安定運用、経済運用、将来の電力需給を見通した Integration Study に基づく統合計画による技術の価値、制度設計の必要性。

- もう一つの重要な措置は、VRE 発電の導入場所を誘引するために適切なシグナルを提供することである。再生可能エネルギー資源として最適な地域ではなく、需要センターに近い地域や、代替の発電の選択肢が非常に高価な地域に VRE を配置する方が良い場合もあり得る。

➤ 多数のプレーヤーが参加する現在の電力市場では、価格、運用、規制などを駆使して、シグナルを出す必要がある。

- 最適な技術ミックスの選択は、重要な役割を持つもう一つの要素である。例えば、風力と太陽光の出力は世界の多くの地域で相補的である。技術の組み合わせを配慮した導入をすることで、相乗効果が得られる。
- 安定した発電時間特性を持つ技術の選択は、システムと協調した VRE の導入を実現するもう 1 つの方法である。例えば、先進的な技術による風力発電機は、より高い

³ 訳注：火力発電の頻繁な起動停止、部分負荷運転に伴う費用増

タワータービン設計と大きなロータ対発電機比のおかげで、従来型の機種と比較してより滑らかな発電特性を実現する。

- システムサービス⁴市場の高度化が重要である。システムサービス調達する新たな方法により、VREの高い導入率でシステムをより効率的に運用することができる。例えば、VRE資源と需要側管理を組み合わせることで運用予備力を提供することで、火力電源を使うよりもコスト効率が良い可能性がある。
- 分散型資源の統合には、全体的な電力システムに提供する価値に応じて報酬を支払う仕組みを確立する必要がある。電気料金は、時間と場所に応じたコストを正確に反映する必要がある。

➤ 小売料金改革は、最も安く安定な電力需給実現のツール。

◆ 地域配電網の発展

低圧および中圧送配電網は、受動的に分散された電力を顧客に供給するパラダイムから、電力とデータの双方向の流れによりスマートで能動的に管理するシステムへ、変わりつつある。移行を成功させるためには、技術、経済、制度の3つの重要側面を十分考慮する必要がある。

➤ PV導入とこれからの低炭素化に必要な電化には配電網の増強が不可欠。(盲目的な埋設による地下化の前に、)メリハリをつけた配電網の増強と縮小の計画が必要。

- 技術的には、高度な分散化のもとでの安定かつ効果的なシステム運用を確保することが、電力会社⁵と規制機関にとって新たな優先事項となる。高度な情報通信技術(デジタル化)の導入で、システムの可視性と制御性を改善することで、デマンドレスポンスを大幅に利用できる可能性がある。
- 経済的には、分散型太陽光発電の普及と電池の経済性の向上は、小売電気料金と税制の改革を必要とする。これには、分散型資源にその価値に応じて報酬を与えることと、送配電網のユーザーに共有インフラのコストを適切に負担させることの両方が含まれる。
- 制度的には、役割と責任は変わると考えられる。1つの優先事項は、地域配電網を担う事業者と送電網の運営を担う事業者の間の協調の高度化である。さらに、アグリゲータのような全く新しい役割を制度に組み込むことが重要である。

- 「～が必要」という点については、多くの場合の場合以下の要素が含まれる。
- ◇ 実現するための技術が、個別要素およびシステム運用側に存在すること
 - ◇ 技術を普及させるため、規制、インセンティブ、経済合理性のいずれかがあること。
 - ◇ そのためには、市場、システム運用、規制を含めて、ルール、整備が伴うこと。
- 再エネの導入をはじめとし、電力・エネルギー需給、技術、社会的要請などの変化により、実現すべき内容は異なる。上記の各項目は将来を見据えたものであるとともに、十分な汎用性、柔軟性、拡張性を持つことが必要。
- 特に、制度は、将来を見据え、社会的に益のあることが報われ、制度の穴をくぐっても報われない仕組みにすることが、持続的取り組みに重要ではないか。

⁴ 訳注：アンシラリーサービスともいう。

⁵ 訳注：Utilityは、従来は垂直統合型の電力会社を意味し、米国、日本ではその形態が残っているのに対し、欧州では発・送・配が概ね分離される中、対象となる組織がない状態となっている。また、公営の会社を含め、様々な他の事業形態もある。ここでutilityは電力会社と訳すが、将来的には被規制機関である「送配電会社」などとするのが適当かもしれない。

目次

An update on Best Practice

Acknowledgements

Executive summary

VRE 開発の第一段階における推奨事項 Recommendations for Phase One of VRE deployment

第二段階における推奨事項 Recommendations for Phase Two

適切な連系要件の制定 Ensuring an appropriate grid connection code is in place

電源運用における VRE の反映 Reflecting VRE in power plant operations

VRE 連系の十分な送配電網容量の確保 Ensuring sufficient grid capacity to host VRE

第三第四段階における推奨事項 Recommendations for Phase Three and Four

システム価値 System Value

システムと協調した VRE 開発-風力と太陽エネルギー発電の価値の最大化 System-friendly VRE deployment - maximising the value of wind and solar power

序 Introduction

システム統合とは何か What is system integration

システム統合 System integration

VRE 電源の特性 Properties of VRE generators

電力システムの柔軟性 Power system flexibility

VRE 統合の段階 Different phases of VRE integration

第一段階-すべてのシステムレベルで目立たない Phase One - VRE not relevant at the all-system level

第二段階 - VRE の存在が知覚される- Phase Two - VRE becomes noticeable

第三段階 - 柔軟性が重要になる- Phase Three - flexibility becomes a priority

第四段階 - 電力システムの安定性が課題となる- Phase Four - power system stability becomes relevant

第四段階を越えて Beyond Phase Four

VRE 統合段階のまとめ Summary of VRE deployment phases

戦略と計画: システム統合の成功の基本 Strategy and planning: The foundation of successful system integration

第一段階: VRE 容量 or 電源はすべてのシステムレベルで影響なし Phase One: VRE capacity is not relevant at the all-system level

送配電網の特定の場所に VRE を導入できるか? Can the grid accommodate VRE at the identified sites?

送配電網の利用可能な容量の決定 Determining available grid capacity

増強の必要性の管理 Managing possible upgrade requirements

適切な系統連系規則があるか？ Are there appropriate technical grid connection rules?

第二段階: VRE 電源がシステム運用者から知覚される Phase Two: VRE capacity becomes noticeable to the system operator

正味需要とは何か？ What is net load?

システム統合の達成への新しい優先事項 New priorities for achieving system integration

系統連系要件は適切か？ Is the grid connection code appropriate?

VRE 発電出力はシステム運用に反映されているか？ Is VRE output reflected in system operation?

システム運用者に対する発電設備の可視性 Visibility of power plants to the system operator

VRE 発電出力の予測 Forecasting of VRE output

電源，連系線，予備力の運用 Scheduling power plants, managing interconnections, operating reserves

準リアルタイム，リアルタイムの電源の制御 Controlling plants close to and during real-time operations

VRE 開発の継続に十分は送配電網があるか？ Is the grid still sufficient for continuing VRE deployment?

VRE 開発と同期した送電線増強 Synchronising build-out of new transmission lines with VRE deployment

既存送配電インフラの最大活用 Best use of existing grid infrastructure

配電網と低圧送電網における双方向電力潮流の扱い Dealing with two-way power flows in the low- and medium-voltage grid

VRE はシステムと協調して導入されているか？ Is VRE deployed in a system-friendly way?

第三段階と第四段階 Phase Three and Four

VRE 統合を支援するための電力システムの計画と運用の変革 Transforming power system planning and operation to support VRE integration

VRE の運用の課題に対する技術的選択肢と運用改善 Technological options and operational practices to address operational challenges of VRE

VRE 設備に重要な運用容量の必要性 The need for operational requirements relevant to VRE plants

VRE の高導入率に伴う統合計画 Integrated planning with higher deployment of VRE

DER の増加のもとでの配電網と低電圧送電網の計画と運用 Planning and operation of low- and medium-voltage grids in light of increased DER

VRE 統合を支援する政策，規制と市場の枠組み Policy, regulatory and market frameworks to support VRE integration

電力システムの効率的運用のための政策，規制と市場の枠組み Policy, market and regulatory frameworks for efficient operation of the power system

クリーンな電源への十分な投資の確保 Ensuring sufficient investment in clean power generation

負の外部費用の価格化 Pricing of negative externalities

十分な柔軟性の解法 Unlocking sufficient levels of flexibility

システムと協調した VRE 導入 Achieving system-friendly VRE deployment

発電原価を超えたシステム価値 System value, or the need to go beyond costs

システムサービス能力 System service capabilities

導入場所 Location of deployment

発電技術のミックス Technology mix

VRE の地理的分布 Geographical spread of VRE

その他資源との地内統合 Local integration with other resources

発電の時間特性の最適化 Optimising generation time profile

統合計画 Integrated planning

まとめ : RE 政策枠組みにおけるシステム価値の反映 Summary: Reflecting SV in RE policy frameworks

Topical focus: 配電網の発展 Evolution of local grids

パラダイムシフト - 将来のエネルギーシステムにおける配電網 A paradigm shift - local grids in future energy systems

デジタル化の機会の活用 How to foster the opportunities of digitalization

高度の分散化のもとでの安定かつ効率的システム運用 Secure and effective system operations under a high degree of decentralisation

補償メカニズムと小売り料金設計による経済効率と社会公正の確保 Ensuring economic efficiency and social fairness through compensation mechanism and retail rate design

役割と責任の再構築 Revisiting roles and responsibilities

結論と推奨事項 Conclusions and recommendations

第一段階の VRE 導入への推奨事項 Recommendations for Phase One of VRE deployment

プロセスの発展としてのシステム統合 Treat system integration as an evolutionary process

適切な課題への着目 Focus attention on the right issues

連系容量の透明かつ適切な評価 Ensure a transparent and sound technical assessment of grid connection capacity

最新の国際的な産業標準の連系要件の活用 State-of-the-art international industry standards provide a basis for technical connection requirements from the outset

第二段階への推奨事項 Recommendations for Phase Two

適切な連系要件 Ensuring an appropriate grid connection code is in place

電源運用への VRE の反映 Reflecting VRE in power plant operations

VRE 導入を可能にする十分な送配電網の容量の確保 Ensuring sufficient grid capacity to host VRE

VRE のシステム影響の最小化 Minimising the system impact of VRE

第三段階、第四段階への推奨事項 Recommendations for Phase Three and Four of VRE deployment

VRE 統合を支援するための電力システムの運用と計画の変革 Transforming power system operation and planning to support VRE integration

集中電源規模の VRE 統合を支援する政策、規制と市場枠組み Policy, regulatory and market frameworks to support utility-scale VRE integration

システムと協調した VRE 開発-風力と太陽エネルギー発電の価値の最大化 System-friendly VRE deployment - maximising the value of wind and solar power

Annex 1: 系統統合: 神話と現実 Grid integration: Myths and reality

論点 1: 天気に従う変動特性は管理できない Claim 1: Weather driven variability is unmanageable

論点 2: VRE 導入には従来電源への高コストが避けられない Claim 2: VRE deployment imposes a high cost on conventional power plants

論点 3: VRE 容量には同量のバックアップが必要である Claim 3: VRE capacity requires 1:1 “backup”

論点 4: 関連する送配電網費用は高すぎる Claim 4: The associated grid cost is too high

論点 5: 貯蔵技術が不可欠である Claim 5: Storage is a must-have

論点 6: VRE 容量によりシステムが不安定になる Claim 6: VRE capacity destabilises the power system

Annex 2: 系統連系要件 Focus on the grid connection code

系統連系要件とは何で、なぜ重要なのか What is it and why does it matter?

系統連系要件の VRE に対して適切か? Is the grid code appropriate for VRE?

VRE の導入特性 VRE deployment factors

システムの技術的特性 Technical properties of the system

規制と市場について Regulatory and market context

適切な系統連系要件の開発プロセス The process for developing an appropriate grid code

VRE シェアによる要件の優先順位付け Prioritising requirements according to VRE share

系統連系要件の実施と改訂 The enforcement and revision of a grid code

Annex 3. 電力システムの課題に対応する技術の詳細 Details of technical measures to address power system challenges

序 Introduction

VRE 導入の進行した段階での技術的対策 Technical measures during the later phases of VRE deployment

Glossary

Acronyms, abbreviations and units of measure

References