

電力中央研究所 研究資料

NO. Y18508

欧州における再エネ大量導入下の
配電系統設備形成の動向と課題
—分散型資源の柔軟性確保に向けた検討—

2019年3月

一般財団法人 電力中央研究所

IR

CRIEPI

**Central Research Institute of
Electric Power Industry**

欧州における再エネ大量導入下の
配電系統設備形成の動向と課題
—分散型資源の柔軟性確保に向けた検討—

古澤 健^{*1}

^{*1}社会経済研究所 エネルギーシステム分析領域 主任研究員

背景

欧州では、再生可能エネルギー（以下、再エネ）電源等を含む分散型資源の導入が進められてきた（図 1）。その際、分散型資源事業者の収益のみが重視されてきたことにより、接続要請に対応するための配電設備投資費用が増加している（図 2）。その一方で、経営の効率化を促すインセンティブ規制^[1]の導入により費用削減が促されており、ネットワークのデススパイラル問題^[2]といった配電事業者の収支に関する懸念がある。そこで欧州の配電事業者は、分散型資源の柔軟性^[2]を確保することにより、設備投資費用を抑制する可能性についての議論を進めている。特に、電源接続に関しては、出力制御を伴う電源接続^[3]の実証試験等が実施されている。

目的

欧州の配電事業者において検討されている、出力制御を伴う電源接続の最新事例から課題と留意すべき点を示す。

主な成果

1. 独英仏における出力制御を伴う電源接続の特徴

ドイツ・イギリス・フランスの配電事業者が電源接続のオプションとして出力制御を伴う電源接続を検討している。3 国の取組にはそれぞれ特徴があり、配電事業者と分散型資源事業者の相対的なメリットを、2つの評価軸で整理した（図 3）。

- ① ドイツでは、再生可能エネルギー促進法（Erneuerbare Energien Gesetz）による Feed-in-Tariff 制度により出力制御に対する金銭補償があり、分散型資源事業者の逸失利益が生じないため、同事業者にとっての導入障壁はない。一方、出力制御はオンオフ制御のため、出力制御量が過剰となる可能性があり、配電事業者にとって、適切な出力制御量とするための改善点は残る。
- ② イギリスでは、配電事業者は出力制御を連続変数的に遠隔制御できるため、利便性が高いが、出力制御に対する分散型資源事業者への金銭補償はなく、分散型資源事業者は自らの収入の変化が導入の鍵となる。
- ③ フランスでは、まだ実証試験の段階であるが、出力制御に対する分散型資源事業者への金銭補償はないため、分散型資源事業者の収入は出力制御量次第で変化する。また、出力制御の自動化アルゴリズムの構築が、配電事業者にとっての利便性に関する今後の課題である。
- ④ 3 国の検討における共通的な示唆として、設備投資費用と出力制御による逸失利益の適切なトレードオフの評価を行うことが、設備投資費用の増大や、過剰な抑制に陥らないために重要である。

⑤ 出力制御を伴う電源接続が増えてくると、出力制御量の割当方式次第で分散型資源事業者間の逸失利益に差ができ、不公平が生じうる。これに対し、3国の中で最も早く出力制御を伴う電源接続の検討を開始したイギリスの配電事業者は、同じ GSP^{注3)} に影響を与える複数の分散型資源事業者間の出力制御量配分に関して、不公平を解消する新たな手法として、競争入札による割当方式（図4）を検討している。しかしながら、設備投資を実施するまでの数年間の出力制御のために、競争入札による割当方式を導入するためのシステム費用が必要となることが課題である。

2. 独英仏における出力制御を伴う電源接続と系統利用料金との整合性

系統利用料金の電源課金がない場合でも、図4の競争入札による割当方式が導入されると、分散型資源事業者は実質的に系統利用料金を支払うことになる。この場合、電源課金の系統利用料金を導入していない事由と、競争入札による系統利用料金の発生との間で、整合性を図ることが重要である。

容量比例で電源課金される系統利用料金の場合、複数の分散型資源事業者について系統利用可能な割当容量が同じであれば、これらの事業者が支払う系統利用料金は同じ金額となる。このことは、出力制御された場合でも同様であり、図4に示すいずれの割当方式が導入されても、分散型資源事業者が支払う料金は、基本的には同じとなる。一方、これらの事業者が一年間を通じて要請される出力制御量は、接続箇所によって異なる可能性があり、その結果、逸失利益にも差異が生じうる。このような、系統利用料金が同額である一方で系統を利用可能な電力量が異なるといった、不整合への対応策を検討することが重要である。



図1 ドイツの再エネ導入容量の推移

ドイツでは、2050年に再エネ比率80%を達成するために、再エネの導入が進められている。導入を促進させるために、再生可能エネルギー促進法（Erneuerbare Energien Gesetz, EEG）による Feed-in-Tariff が2000年より実施されている。これらの導入された再エネ容量の90%は配電系統に接続されている。

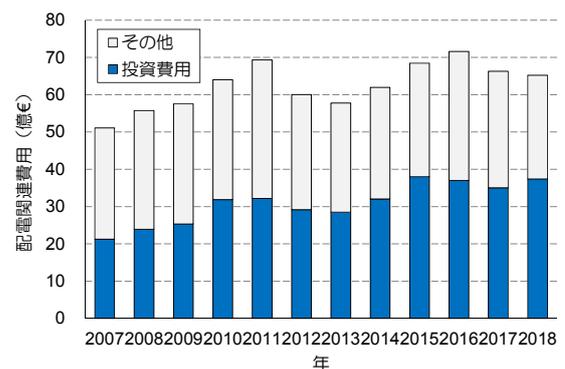


図2 ドイツの配電事業者における設備投資費用の推移

ドイツのネットワーク規制当局（Bundesnetzagentur, BNetzA）の2017年のレポートによると、今後10年で配電事業者が設備投資をする必要があると考えられている金額は100億ユーロに達する。

配電事業者にとっての活用の容易さ

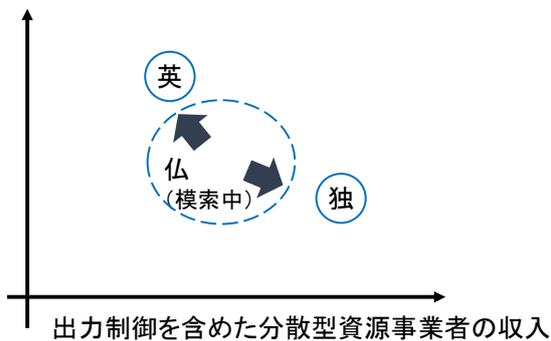


図3 独英仏の配電事業者における出力制約を伴う電源接続の相対的なメリット評価

再エネ電源等の分散型資源の出力制御を伴う電源接続に関して、3国の検討状況からも、まだ、分散型資源事業者と配電事業者にとって、唯一にして最良な手法は見つかっていない。

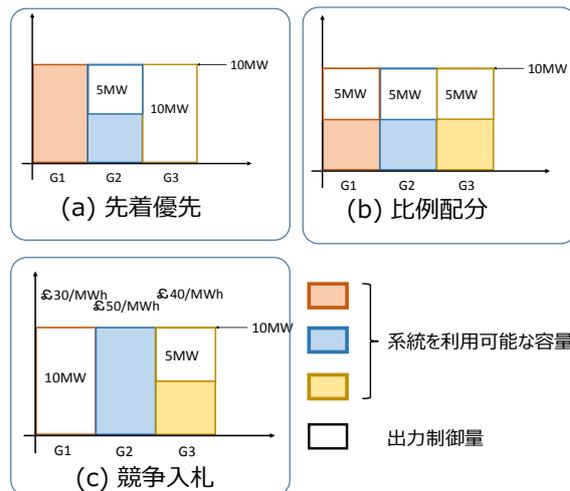


図4 出力制御容量の割当方式

イギリスのロンドン近郊の配電事業者は、出力制御を伴う電源接続を開始している。(a) 先着優先と (b) 比例配分は既に実運用の段階にあるが、配電事業者や分散型資源事業者にとって一長一短であるため、(c) 競争入札による容量割当の仕組みを新たな案として検討している。

今後の展開

欧州の配電事業者においても、出力制御を伴う電源接続は、議論が始まったところであり、今後もその動向を調査する。

- 注1) 再エネの急速な進展により、需要家が系統を通じて購入する電力量は減少傾向にあり、配電事業者の系統利用料金収入の減少を招いているので、解消のための系統利用料金を値上げが、再エネの価格競争力を相対的に向上させ、さらに再エネの導入が加速してしまう悪循環の呼称。
- 注2) 外部シグナル等に反応した発電や需要パターンの変更可能な能力。例えば、配電事業者の指令に対する出力制御等。
- 注3) Grid Supply Point のこと。イギリスでは特に送電系統と配電系統の接続点を指す。

関連報告書：

- [1]三枝まどか、服部徹 Y10032 「ドイツの送配電事業におけるインセンティブ規制の課題-低炭素社会に向けた設備投資への影響を中心に-」 (2011.05)
- [2]古澤健、岡田健司、丸山真弘、朝野賢司、永井雄宇 Y15024 「欧州の配電事業者の配電料金設計の現状と課題-系統需要減少を中心に-」 (2016.09)
- [3]星野光、岡田健司、花井悠二 Y18002 「アイルランドにおけるノンファームアクセス-電力系統利用の権利を考慮した混雑管理の事例分析-」 (2019.03)



欧州における再エネ大量導入下の 配電系統設備形成の動向と課題 -分散型資源の柔軟性確保に向けた検討-

電力中央研究所 社会経済研究所

主任研究員 古澤 健

 電力中央研究所

© CRIEPI 2019

1



 電力中央研究所

目次

1. 背景と目的
2. 受動的なDSOから能動的なDSOへの変化
3. 柔軟性確保を考慮したネットワーク形成の動向と課題
4. 独仏英の配電事業者における分散型資源の柔軟性確保を考慮した配電系統設備形成の動向と課題
5. 分散型資源の柔軟性確保を考慮したネットワークの在り方

特に断りない場合、本稿のスライドは、
Furusawa K., Brunekreeft G., and Hattori T. (2019). "Constrained Connection for Distributed Generation by DSOs in European Countries," Bremen Energy Working Paper No.28, Jacobs University Bremen.
をもとに電中研にて作成した。

© CRIEPI 2019

2

1. 背景と目的

背景：欧州の近年の分散型資源の動向

● 近年の動向：

欧州各国は、再生可能エネルギー（再エネ）電源を含めた分散型資源を、導入促進のために優遇している。

- ✓ 多くの分散型資源は配電レベルに連系している。
- ドイツの例⇒スライド5
 - フランスの例⇒スライド6
 - イギリスの例⇒スライド7

個別の分散型資源の収益の追求が、ネットワーク利用者全体にとっての最適な系統構成とは異なっている可能性がある。

Ex. ネットワークのデススパイラル問題（⇒スライド8）

● 近年の動向を受けた最近の議論：

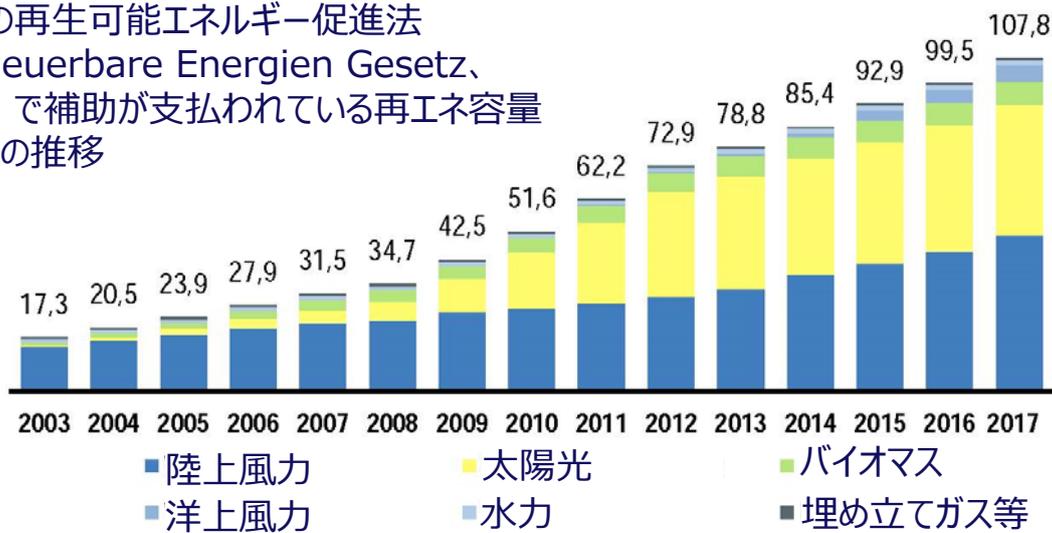
欧州各国や各国の送配電事業者（※）が分散型資源を市場メカニズムに統合するための議論、ルールを検討し始めた。

分散型資源事業者が個別収益のみを追求するのではなく、ネットワーク利用者全体最適へ貢献することを期待した変更といえる。

※ 欧州大陸では、送電事業者が送電系統運用者（Transmission System Operator, TSO）と同じ法人であることが多いため、本稿では区別せずにTSOと呼ぶ。同じく配電事業者（Distribution Network Operator, DNO）が配電系統運用者（Distribution System Operator, DSO）と同じ法人であることが多いため、DSOと呼ぶ。また、英国では、一般的にDNOと呼ばれているが、DSOと呼ぶこととする。

【参考】ドイツの再エネ容量の推移

ドイツの再生可能エネルギー促進法
(Erneuerbare Energien Gesetz、
EEG) で補助が支払われている再エネ容量
[GW]の推移

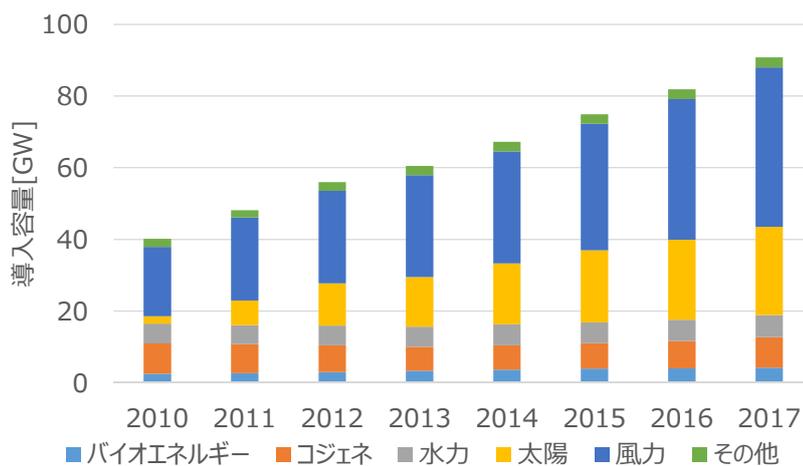


出典：BNetzA (2018). "Monitoring bericht 2018," 2018

- ドイツでは再エネの設備容量が単調増加しており、特に太陽光電源の増加が著しい。
- BMWiによると、ドイツにおいては導入された再エネの容量の90%は配電系統に接続している。

出典：BMWi (2014). "Moderne Verteilernetze für Deutschland," 2014

【参考】フランスのEnedisにおける再エネ容量の推移

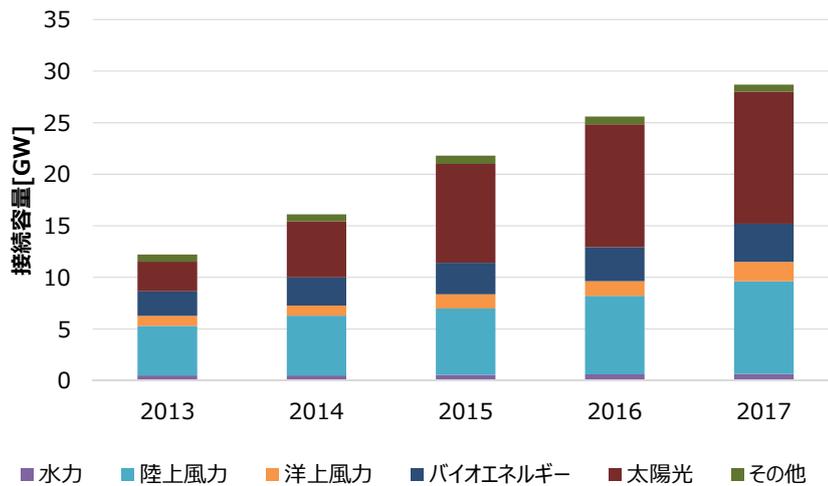


Enedis : フランスの
大手の配電事業者。

出典：Enedis (2018). "Enedis open data," 2018

- フランスでは、再エネの設備容量が単調増加しており、特に太陽光電源の増加が著しい。
- 再エネの設備容量の増加により、今後さらなる配電系統の設備増強費用の増加と、分散型資源事業者が、Enedisによる配電系統の設備増強の終了を待機する時間が長くなる可能性がある。

【参考】イギリスの配電系統における再エネ容量の推移



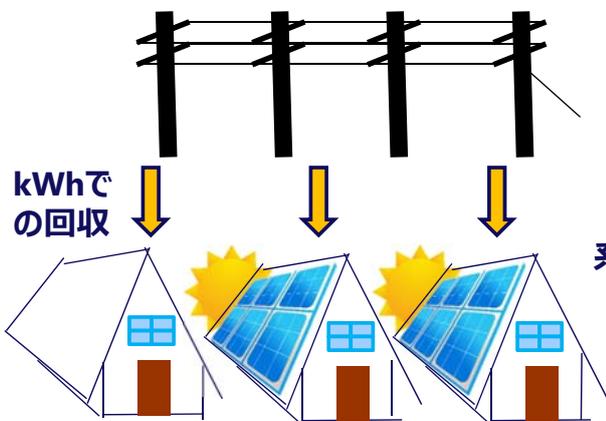
出典：DUKE (2018). "Statistics on electricity from generation through to sales," 2018

- イギリスでは、再エネの設備容量が単調増加しており、太陽光電源の増加が著しい。
- 再エネの設備容量の増加により、今後さらなる配電系統の設備増強費用の増加と、分散型資源事業者が、配電事業者による配電系統の設備増強の終了を待機する時間が長くなる可能性がある。

【参考】再エネ導入拡大を助長させる「デスパイラル」とは？

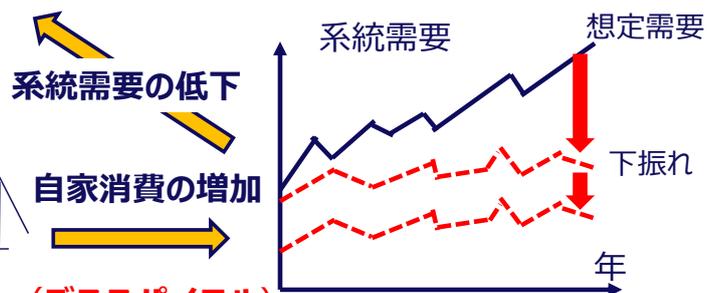
① 配電の費用回収

⇒ 固定費を、従量料金制により回収する。



② 将来の系統需要

⇒ (i) 想定通り：従量料金制の下でも長期的に固定費の回収は可能となる。
 ⇒ (ii) 下振れの場合：短期的には固定費の回収不足が発生する。ただし、系統需要の離脱が少なければ、料金値上げにより長期的には固定費の回収は可能となる。



③ 継続的な配電費用の費用回収懸念 (デスパイラル)

⇒ 『屋根設置型PVの自家消費の単価 < 系統電力の単価』の場合：系統需要の離脱に応じた料金引き上げは、更なる系統電力の減少を引き起こす。

出典：古澤他 (2016). "欧州の配電事業者の配電料金設計の現状と課題," 電力中央研究所報告 Y15024をもとに電中研にて作成

背景と目的

- TSOやDSOや市場運営者等が、分散型資源事業者に対し、分散型資源を活用するために、
 - ・ 前日市場、当日市場、アンシラリー市場に参加を期待する方策を検討している。
⇒ドイツの事例はスライド10参照
 - ・ 前日市場、当日市場、アンシラリー市場への直接的な参加以外の方策も検討している。



DSOが、配電レベルからの柔軟性 (flexibility) (※) を活用したメカニズムの検討をしている。

※外部のシグナル等に反応した発電や需要パターンの変更可能な能力

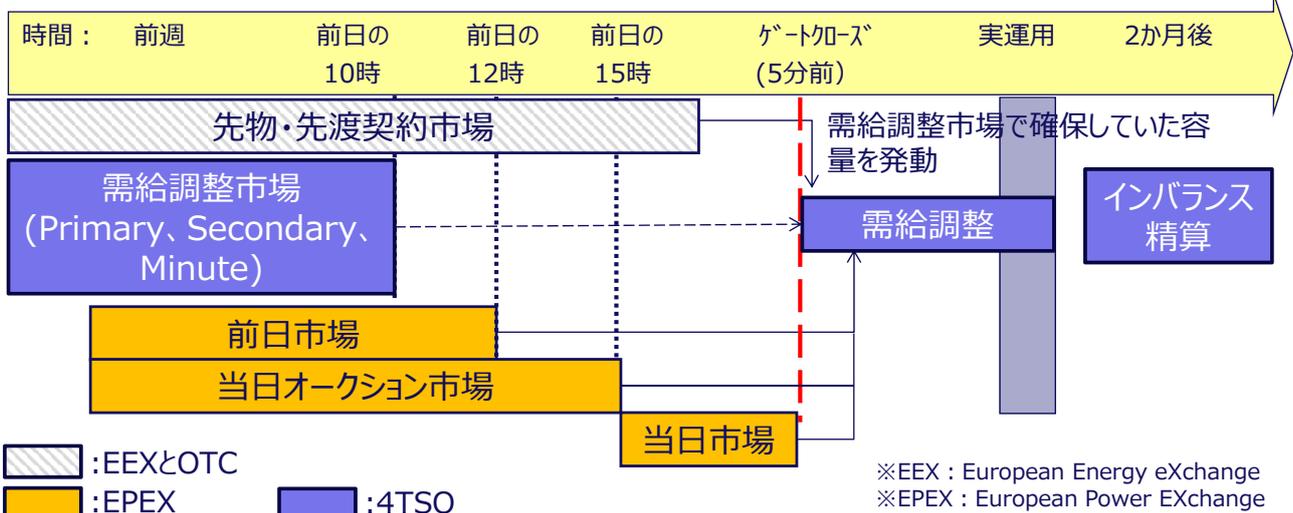
出典：EDSO and Eurelectric (2018). "Flexibility in the energy transition - a toolbox for Electricity DSOs" 2018

柔軟性活用策の1つとして

システムへの接続時から分散型資源の柔軟性確保を考慮したDSOの取り組みの動向を調査する。

【参考】ドイツでの電力取引に関する基本情報

- ドイツの電力取引から需給調整までのフロー
 - 2010年以降、TSOによりFIT電力の市場投入開始
 - 2011年以降、当日市場の15分コマ取引開始
 - 2012年以降、再エネ事業者による市場への直接売買本格適用
 - 2014年以降、当日オークション市場開始
 - 2017年以降、当日市場のゲートクローズ時間変更⇒30分前から5分前へ



2. 受動的なDSOから 能動的なDSOへの変化

従来の配電事業者の考え方

従来の
DSOの
考え方

受動的
なDSO

【設備計画】 確定的に最過酷断面を想定して設備計画を策定する。

⇒スライド17、18、20参照

【電源接続】 公平に全ての分散型資源の接続要請を定格出力で受諾する。⇒スライド20、21参照

【系統運用】 需要にあわせて上位系統からの電力を供給する。

【系統利用料金】 固定費を含めた配電費用を市場価格に応じない従量料金を中心とした料金で回収する。

⇒スライド28参照

従来のDSOの考え方のもとで優遇政策が導入された。

優遇政策 再エネ等の分散型資源を導入するための優遇策

劇的な変化

欧州の各国において、急速な再エネ等の分散型資源の導入が課題をもたらした。

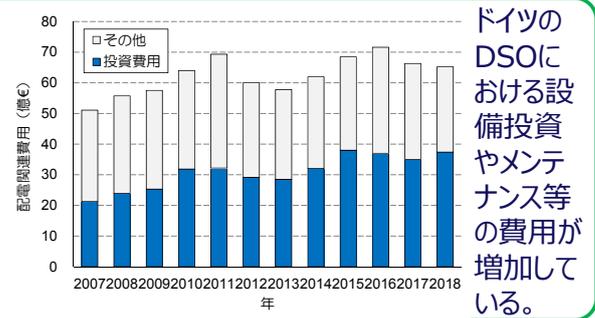
(配電費用の増加、DSOの収入の単調増加不可)

⇒ドイツの例はスライド13、14参照

ドイツにおける再エネ導入による課題の例



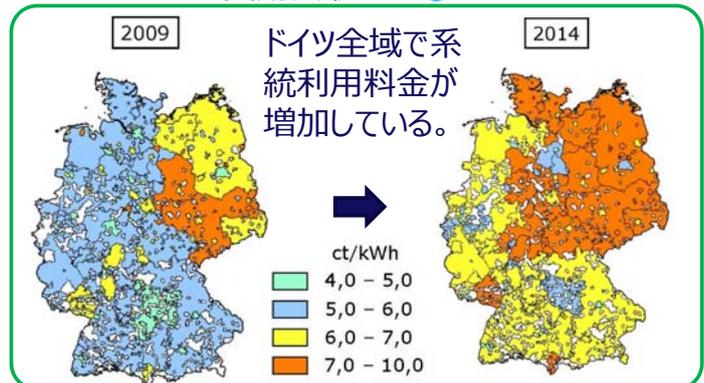
接続要請等に対応して、設備投資費用が増加している。



送電過負荷解消のため再給電が増加している。

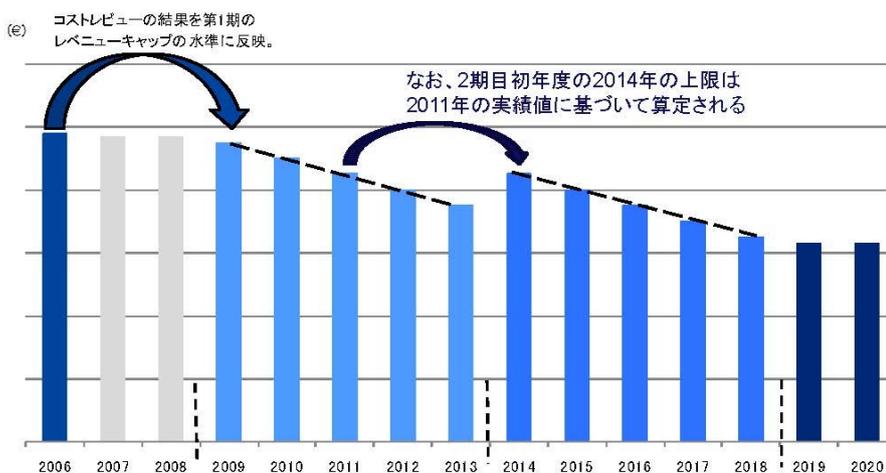


費用回収



出典：BnetZA (2018). "Monitoring bericht 2018" 2018, Gottlob H.W. (2013). "Ein Überblick zu den Stromverteilernetzgebühren in Deutschland" 2013

ドイツにおけるレベニューキャップの概念図



出典：服部 (2016). "欧米の送配電料金規制におけるインセンティブ規制について" 内閣府消費者委員会 2016

※詳細は、三枝・服部(2011). "ドイツの送配電事業におけるインセンティブ規制の課題" 電力中央研究所報告 Y10032を参照

スライド13のような費用増加の一方で、規制当局は経営の効率化を促すインセンティブ規制を導入し、DSOに費用削減を促している。

配電事業者の考え方の変化

従来のDSOの考え方 + 再エネ等の分散型資源を導入するための優遇策

思考
変化

- ・再エネ等の分散型資源の大量導入により課題が生じてきた。
- ・インセンティブ規制が導入された。
- ・スマートな設備や機能（デマンドレスポンス、出力制御、貯蔵装置、各種監視設備）を確保して、活用するという考えが生じてきた。

能動的なDSO

今後のDSOの考え方の可能性

再エネ等の分散型資源の柔軟性を確保して、活用する。

【設備計画】 確率的な面を考慮して設備計画を策定する。⇒スライド19参照

【電源接続】 接続費用を示し、分散型資源事業者に接続方法の選択を提案する。
⇒スライド21～25参照

【系統運用】 分散型資源等を活用して電力を供給する。⇒スライド26、27参照

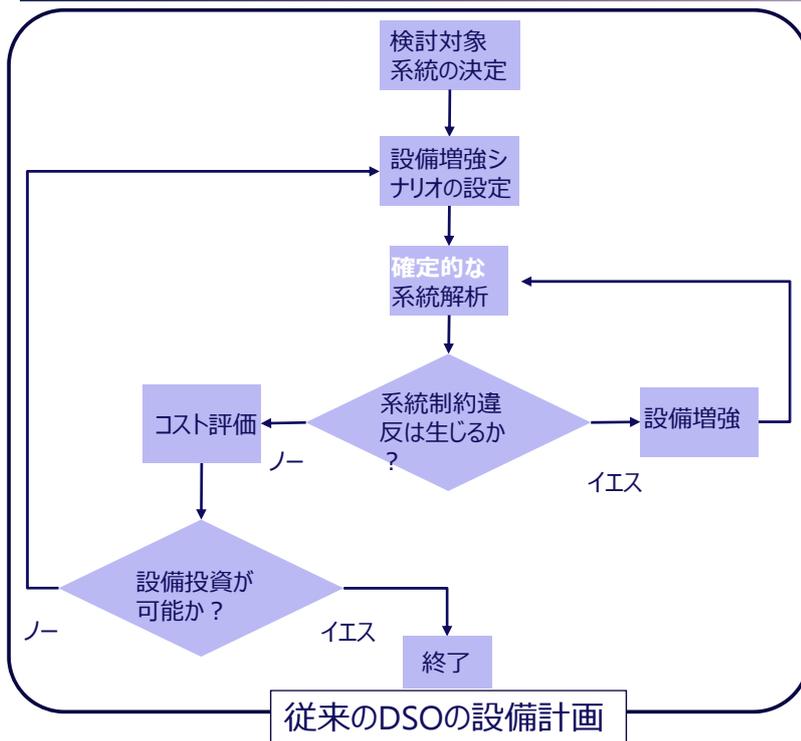
【系統利用料金】 配電の費用を容量料金、時間帯別従量料金、市場価格を反映した従量料金等を考慮した料金設計で回収する。
⇒スライド29参照

3. 柔軟性確保を考慮した ネットワーク形成の動向と課題

- ①設備計画
- ②電源接続
- ③系統運用
- ④系統利用料金

※本節では、従来のDSOと今後のDSOの①～④の考え方の概要を述べる。
各スライドの左上に各概要の単語を示す。

従来の配電系統設備計画の流れ



設備計画のフロー例

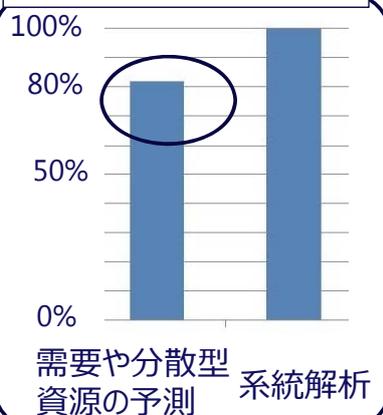
- ・需要シナリオの設定
- ・最悪のケースで系統制約をチェック
- ・コスト最小化の改善策を検討
- ・改善策を比較評価

系統利用者が配電系統を通じて電力を購入することを前提にした計画と言える。

出典：CIGRE WG C6-19 (2014).
 “Planning and optimization methods for active distribution systems”2014

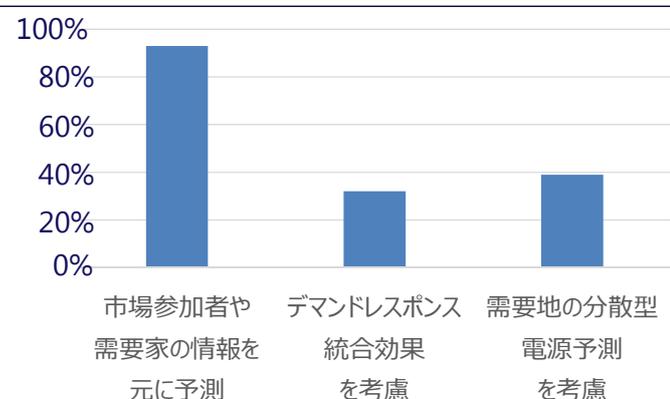
配電系統の設備計画に対する考え方

「DSOが配電計画において検討する項目」のアンケートの回答の一部



世界各国の配電事業者を含むアンケート回答者の80%以上が「需要や分散型資源の予測」を実施して、設備計画を策定していると回答したが、

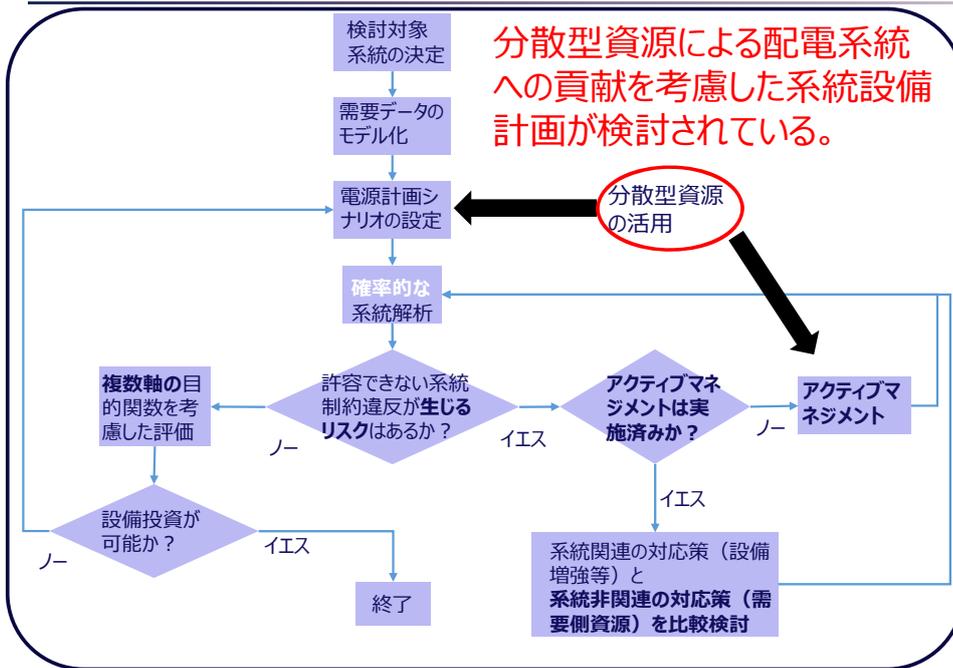
配電系統の設備計画において、「需要や分散型資源の予測」を実施して、設備計画を策定すると回答した詳細回答の一部



実際には分散型電源やデマンドレスポンスの要素に関して、設備計画ではあまり検討できていない。

出典：CIGRE WG C6-19 (2014). “Planning and optimization methods for active distribution systems”2014

今後の配電系統の設備計画



分散型資源による配電系統への貢献を考慮した系統設備計画が検討されている。

従来の設備投資計画から変更された点

- ・分散型資源の活用
- ・複数軸の目的関数の導入
- ・評価に確率的な面を考慮
- ・アクティブマネジメントを考慮

※アクティブマネジメント：分散型資源の出力制御等

議論が緒についたところである。

今後のDSOの設備計画

出典：CIGRE WG C6-19 (2014). "Planning and optimization methods for active distribution systems"2014

長期的・短期的な視点での設備計画で考慮するポイント

長期的な視点での設備計画

- 電圧レベル
- 系統構成
- 設備の標準化

- 系統マスタープラン
- 1次変電所の設備投資計画

40年先

30年先

短期的な視点での設備計画

- 再エネの接続スキーム
- 設備増強
- 系統構成の修正

3年先 -10年先

- 接続の最適化
- 想定外の課題

1年先

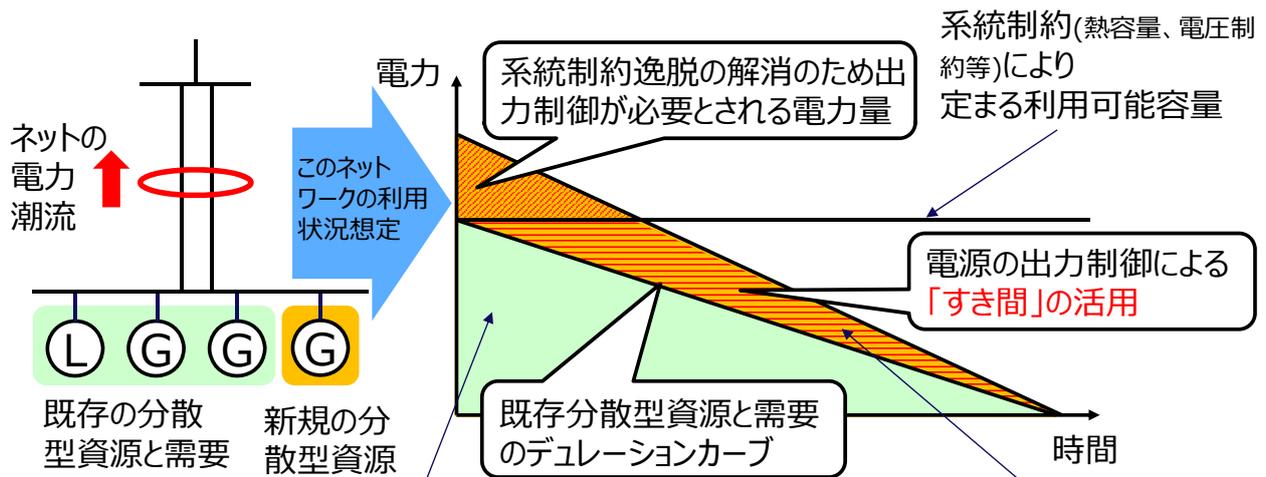
出典：Enedisへのインタビューをもとに電中研にて作成

設備計画において、長期的視点から柔軟性を考慮するのは2018年以降の課題と考えられている。

設備計画において、短期的視点から柔軟性の考慮を2018年には開始している。

多数の分散型資源の接続最適化に関して、柔軟性を確保した電源接続が重要となる。そこで、短期的視点での設備計画において、出力制御を伴う電源接続の検討が開始された。

柔軟性を考慮した出力制御を伴う電源接続の概念図



	出力制御を伴わない電源接続	出力制御を伴う電源接続
接続可能容量以下の接続要請	DSOが接続要請に対して、先着優先で、接続要請を承諾	DSOが接続要請に対して、先着優先で、接続要請を承諾
接続可能容量を超える接続要請	接続要請に対して、DSOは接続可能容量を増加させるための設備増強を実施した後、接続が可能であることを返答	接続要請に対して、DSOは接続可能容量を増加させるための設備増強を実施した後、接続が可能であることを返答 or 分散型資源事業者が出力制御を容認するならば、DSOは設備増強なしに接続要請を承諾

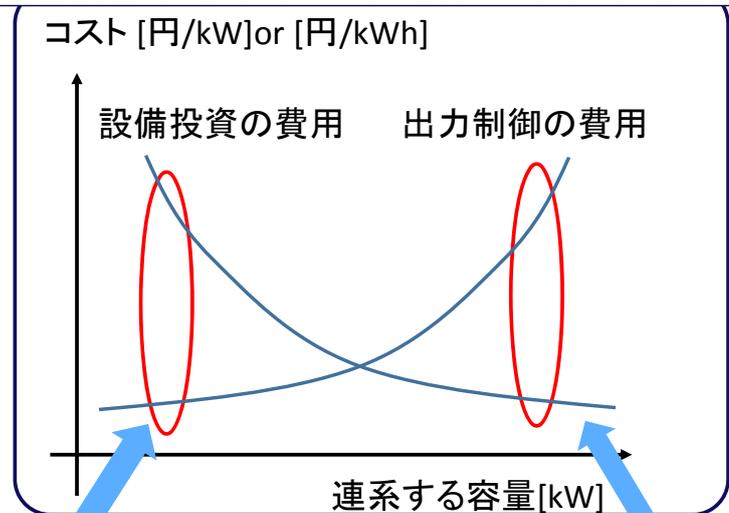
社会全体における設備投資の費用と出力制御の費用の比較

もしも**設備投資の費用**と出力制御による逸失利益(= **出力制御の費用**)を計測することができれば、右図のように比較検討が可能となる。

・**設備投資の費用**：
社会全体でみた、DSOが設備投資する費用である。
この費用は、最終的に、分散型資源事業者が支払う接続料金や、その他の系統利用者が支払う系統利用料金により回収される。

・**出力制御の費用**：
分散型資源の出力制御により逸失する利益を総合的に考えた費用である。
最終的な費用負担は分散型資源事業者の場合もあれば、DSOが補填する場合もある(DSOが補填する場合、最終的に、逸失利益は、その系統利用者の系統利用料金により回収される)。

設備投資の費用と出力制御の費用の比較



「設備投資の費用」>「出力制御の費用」 となり、設備投資せずに出力制御することが望ましい
⇒スライド23

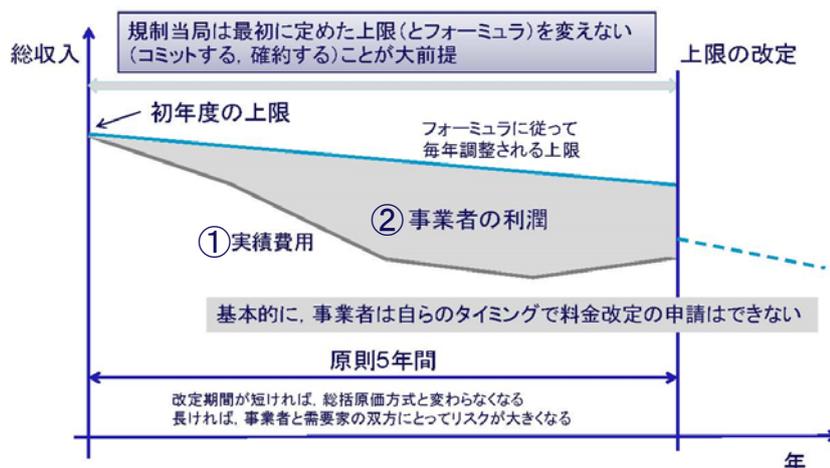
「設備投資の費用」<「出力制御の費用」 となり、出力制御せずに、設備投資することが望ましい

出力制御を伴う電源接続が目指す理想的な関係



- 本来は上記のWin-Winの関係を目指すべきである。
 - ただし、いずれかが、負担（※）を強いられており、各国で現在理想的な仕組みを模索中である。
- ※①設備投資を実施すると、系統利用料金等が高騰する等
 ②設備投資を実施しないと、出力抑制が発生する等

出力制御に伴う電源接続によりDSOにメリットは生じるか？



出典：服部（2016），“欧米の送配電料金規制におけるインセンティブ規制について” 内閣府消費者委員会 2016

インセンティブ規制（※）の環境下では、電力品質（例えば、停電回数等）を著しく低下させずに、DSOは設備投資を避けることで、「①実績費用」を減らすことができれば、「②事業者の利潤」が増え、DSOにメリットがもたらされる。

※インセンティブ規制の詳細は、三枝・服部（2011），“ドイツの送配電事業におけるインセンティブ規制の課題” 電力中央研究所報告 Y10032を参照

出力制御を伴う電源接続は、必ず設備投資の不実施を引き起こすのか？

ネットワークの設備投資が実施されない？

(1) 接続希望者がネットワーク設備投資ではなく、出力制御を受諾



(2) 次の接続希望者にも同様に設備投資費用を提示

ある接続要請があり、

(1) 出力制御を伴う電源接続が選択された場合、DSOは系統増強を実施しないことになる。

(2) その次の接続要請に対しても、設備投資費用を提示し、同様のことが繰り返されると、設備投資は進まないのではないかという懸念もある。

(スライド22の設備投資費用と出力制御費用の比較の図の左側の位置から、右側に移動しないのではないかという懸念)

インタビューに対して、英、仏、独等のいくつかのDSO等は、“出力制御を考慮した電源接続は、DSOが設備投資をするまでの数年間だけの暫定的な方策”と述べており、DSOの役割を考慮すると、将来的には必要となる設備投資は実施される見込みがある。

出典：Eandis、Enedis、Stromnetz Hamburg、UKPN、ENA、EDSOへの2018年のインタビューをもとに電中研にて作成

今後導入する国にとって、設備投資を避けるだけの制度にならないことが重要である。

イギリスのActive Network Managementにおける柔軟性確保の仕組み

- イギリスのいくつかのDSOは、系統制約の監視、分散型資源の出力制御を遠隔で自動的に実施するために、Active Network Management (ANM) という考え方をもち、よりスマートな配電システムの運用を見据えた実証試験を開始している。
 - ・スマートな機器を活用することで、系統制約の監視や、出力制御等の系統運用が可能となる。
- スマートな機器の代表的な機能として、以下の4つが挙げられる。
 - ・**DLR (Dynamic Line Rating)** : 風況や温度等から、設備の温度の予測し、利用可能な容量を算出する。
 - ・**AVC (Automatic Voltage Control)** : 自動でタップ等を切り替えることで、電圧を制御可能とする。
 - ・**QBCS (Quadrature-booster Controller System)** : 位相等を調整することで、送ることができる有効電力を制御する。
 - ・**NPR (Nobel Protection Relay)** : リレーシステムの活用により、電圧制約逸脱や逆潮流の制約逸脱等も制限する。

出典：Cerqueira, et al (2014). "Flexible plug and play low carbon networks: an open scalable active network management solution for a faster and cheaper distributed generation connections," paper C6-211, CIGRE 2014 session, 2014

イギリスのANMの概念図

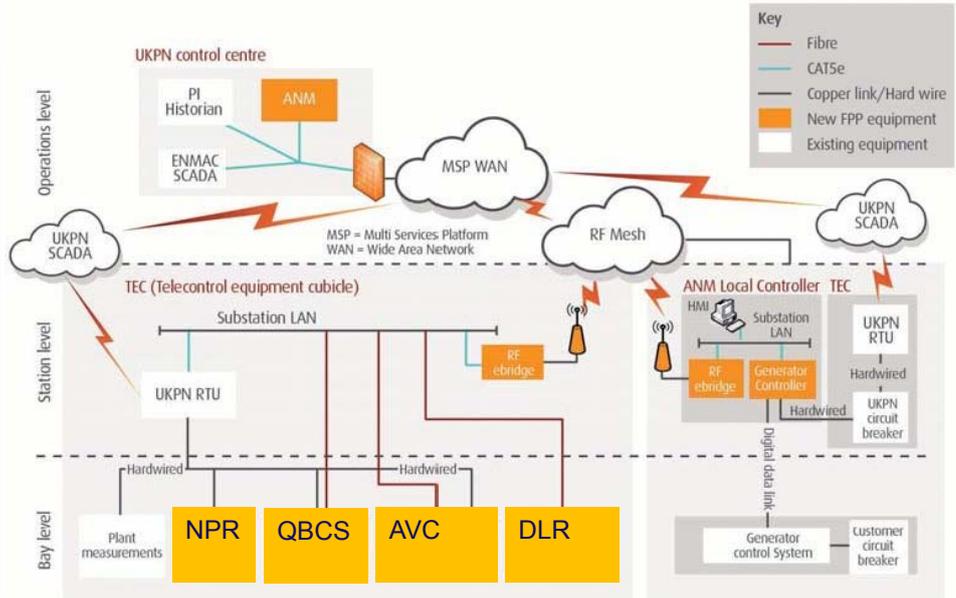
ANMによる系統の効率的な利用を達成するために、以下の2つの機能が活用されている。

Active power flow management :

系統情報を集めて、系統制約を踏まえて分散型資源の出力制御や潮流制御を実施する機能。

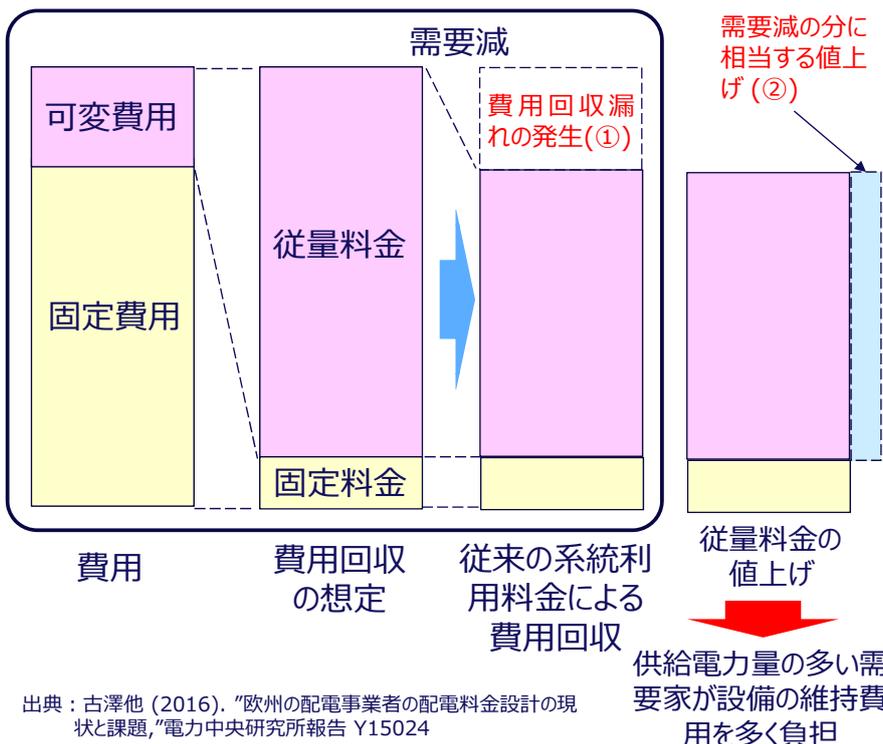
Active voltage management :

電圧制約を考慮した分散型資源の出力制御を実施する機能。



出典：Cerqueira, et al (2014). "Flexible plug and play low carbon networks: an open scalable active network management solution for a faster and cheaper distributed generation connections," paper C6-211, CIGRE 2014 session, 2014

配電事業者の費用回収漏れの可能性



欧州のDSOは、費用回収を従量料金メインで実施してきた。仮に系統需要が減少する場合、費用回収漏れが生じる可能性がある(①)。

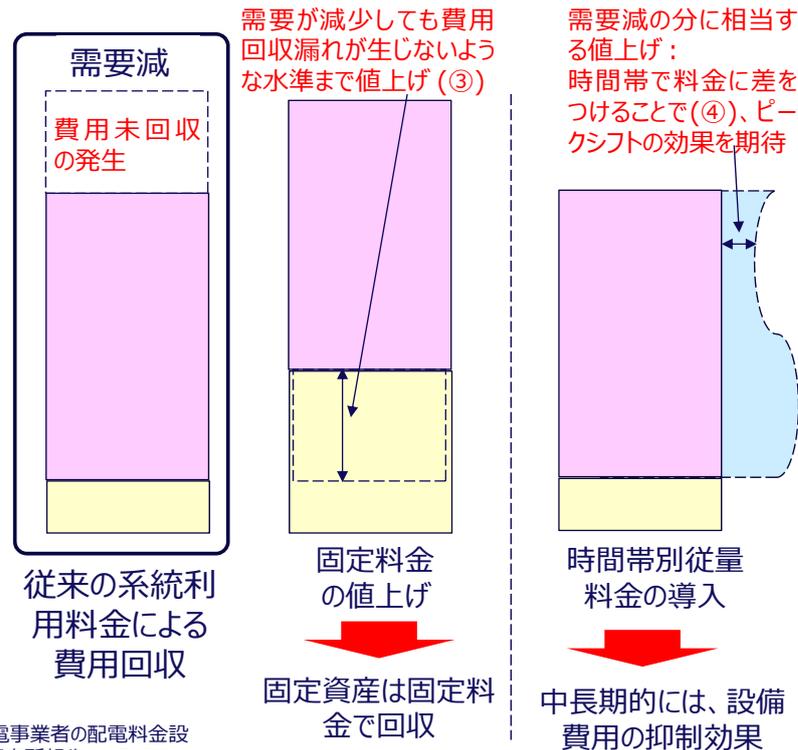
●従量料金の値上げ(②)は、システムを利用する電力量が多い事業者ほど、系統利用料金を支払うべきという原因者負担の原則に基づいた料金といえる。

●しかしながら、スライド8のデスパイラルに陥る可能性がある。

出典：古澤他 (2016). "欧州の配電事業者の配電料金設計の現状と課題," 電力中央研究所報告 Y15024

配電事業者の費用回収漏れの予防策

- **固定料金の値上げ(③)**
 - ・回収漏れを避けることは可能となる。
 - ・ただし、従量料金等他の料金設計と組み合わせる適切な収入となる料金設計が難しい。
- **時間帯別従量料金の導入(④)**
 - ・設備投資抑制効果により、長期的には費用回収漏れがなくなる可能性がある。
 - ・ただし、価格反応が十分ではない場合、設備投資抑制効果が見込めない。



出典：古澤他(2016)，“欧州の配電事業者の配電料金設計の現状と課題”，電力中央研究所報告 Y15024

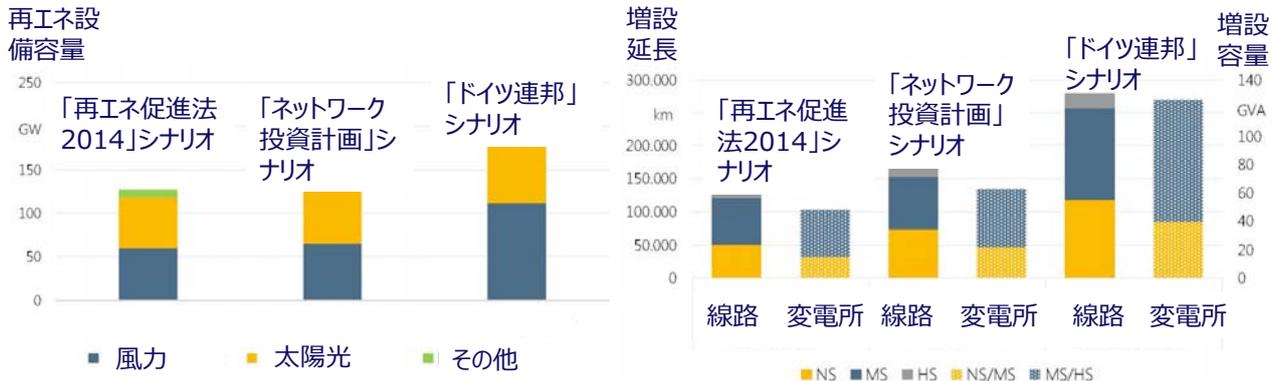
4. 独仏英の配電事業者における分散型資源の柔軟性確保を考慮した配電系統設備形成の動向と課題

- ①ドイツの動向と課題
- ②フランスの動向と課題
- ③イギリスの動向と課題

※本節では、分散型資源事業者として、主に再エネ事業者を想定して述べる。

ドイツのBMWiの文献における将来の再エネ導入目標シナリオ

従来：ドイツのDSOは、分散型資源事業者が望む接続要請に応じる義務がある。



2032年の再エネ導入目標シナリオ

左図のシナリオを達成するために必要なネットワークの設備投資

従来の設備計画の策定ルールでは、「出力制御なし」の設備計画を策定する。そのため、設備投資は大きくなる。

※HS：高圧、MS：中圧、NS：低圧、MS/HS：中圧と高圧の変電所、NS/MS：低圧と中圧の変電所

出典：BMWi (2014). "Moderne Verteilernetze für Deutschland" 2014

従来から2018年現在も実施されているドイツにおける再エネ出力制御の概要

● 出力制御が離散的

配電系統における再エネの出力制御

- ・100kW超：設備容量の100%、60%、30%、0%となる出力制御
- ・30kW超100kW以下：オンオフ制御の出力制御
- ・0kW以上30kW以下：オンオフ制御の出力制御 or、常に設備容量の70%以下に出力制御

出典：MRI (2017). "平成28年度新エネルギー等導入促進基礎調査 (固定価格買取制度の見直しに係る調査)", 2017年2月、Stromnetz Hamburgへのインタビューをもとに電中研にて作成

● FITルールで、補償ありきの出力制御

出典：BMWi (2017). "Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)," 2017

出力制御を実施しない前提で、設備投資計画を策定するが、実際は、従来から系統運用断面での出力制御が実施されている。

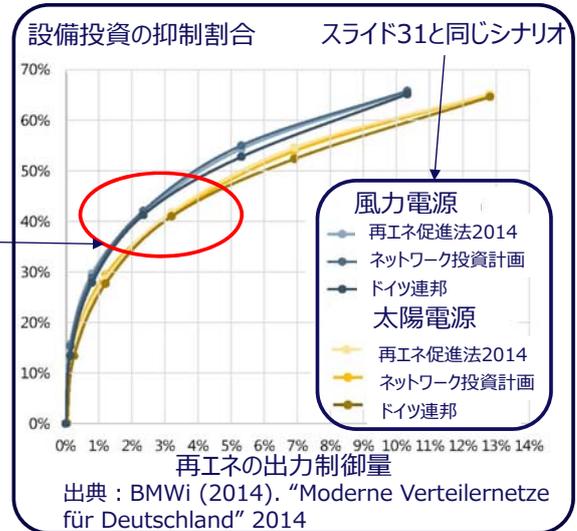
ドイツの3%出力制御ルール

● 新たなオプション：3%出力制御ルール（2017年開始）

このルールにより、DSOは分散型資源の年間発電量の3%分の出力制御を実施可能とする設備計画の策定が可能となった。



右図は年間発電量を3%減らすことで、必要な設備投資を40%減らせる可能性があることを示している。



・分散型資源事業者：

収入の変化がない（EEGにより出力制御に対する金銭補償あり）。

・DSO：設備投資費用を抑制することが可能となる。

➡ この制度が効果的か否かは、現在検証されている。

フランスのSmart Connection導入前

従来：フランスのDSOは、分散型資源事業者が望む接続要請に応じる義務がある。

新ルール
の導入

待ち行列（※1）と接続に関する設備投資費用の課題

※1：18か月～48か月の待機 ⇒スライド36の(Basic connection)

“S3REnR”ルール：複数の分散型資源事業者の接続要請がきたら、設備増強費用をシェア

➡ 結果として、待ち行列は減らず

・分散型資源事業者：特に最初に接続要請をした事業者が接続して、運開するまでの待機期間が長い。

・DSO：設備投資費用の抑制には目立った効果なかった。

フランスのSmart Connection

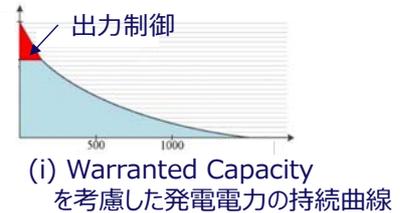
新たな取り組みとして、出力制御を伴う電源接続（Smart Connection : SC）が実証試験として開始される。

出典：Enedisへのインタビューをもとに電中研にて作成

-(i)Warranted Capacity：最小限系統に流入できる容量を保障

DSOは分散型資源の出力制御された最大電力を前提に系統運用が可能となる。

ただし、運用前日に、翌日の出力制御実施が決まるため、分散型資源が今後一年間発電可能となる電力量は明確ではない。 ➡ **再エネ事業者にとってリスク大**

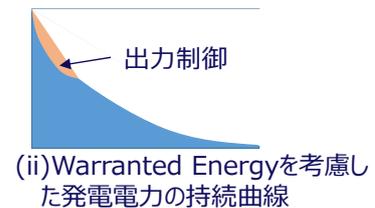


-(ii)Warranted Energy：年間で最低限系統に流入できる電力量を保障

分散型資源事業者は、接続時から出力制御電力量を把握可能なため、(i) よりも収益を把握しやすい。

ただし、年度の始めに出力制御を多く実施した場合、DSOはそれ以上出力制御が難しくなる可能性がある。

➡ **DSOにとってリスク大**



- ・分散型資源事業者：従来の接続より2か月以上早く接続可能、接続費用も安価となる。
- ・DSO：設備投資費用を抑制することが可能となる。

【参考】フランスDSOにおける電源接続の流れ

● Basic Connection（設備増強なし）



- Basic Connectionで設備増強が必要な場合、
上図の「9～12か月」に加えて数か月必要

短縮

● Smart Connection（設備増強なし）

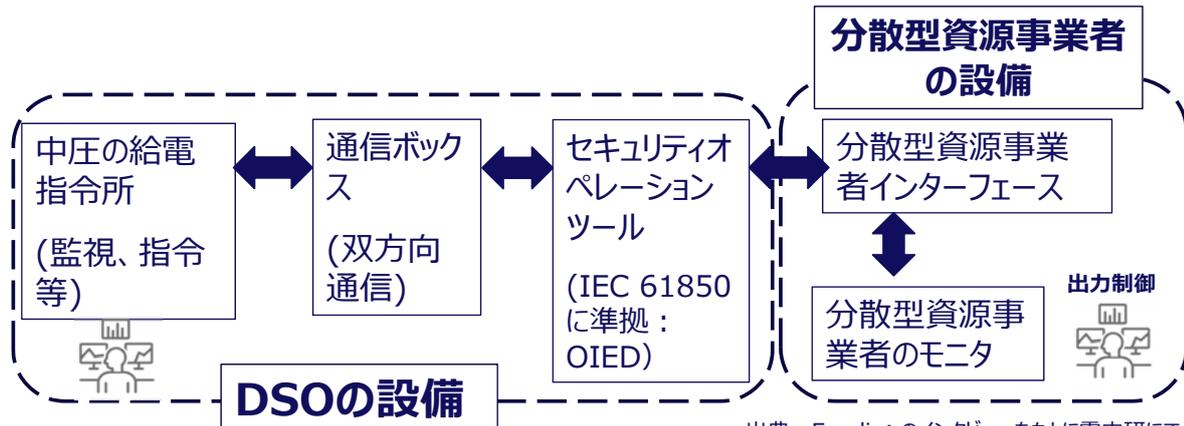


【参考】フランスのSCにおける出力制御指令の流れ

- 前日** 天気予報等から出力予測
出力制御が必要ならば、分散型資源事業者に指令
- 当日** 30分ごとに変更の指令可能

下図に示すように、直接的にDSOが分散型資源を制御できるわけではない。

出典：Enedisへのインタビューをもとに電中研にて作成



出典：Enedisへのインタビューをもとに電中研にて作成

イギリスのFlexible Connection

従来：イギリスのDSOは、分散型資源事業者が望む接続要請に応じ、TSOからの電力を需要家に届ける義務がある。

能動的な DSO

- ・分散型資源を活用した柔軟性の確保
- ・柔軟的な設備投資の決定

- ・分散型資源の大量導入
- ・需要家の考え方の変化
- ・スマートメータの利活用

● **出力制御を伴う電源接続** (※1) (Flexible Connection : FC)

※1 インタビューによると、1～4年間の契約期間で、出力制御は1日に数時間程度

出典：UKPN、ENAへのインタビューをもとに電中研にて作成

同じGSP (※2) に影響を与える複数の出力制御を伴う電源接続が存在した場合の出力制御容量の配分方法を検討

- (a) 先着優先 (Last-in First out : LIFO)
- (b) 比例配分 (pro-rata)

出典：UKPN (2017). "Flexible Distributed Generation" 2017

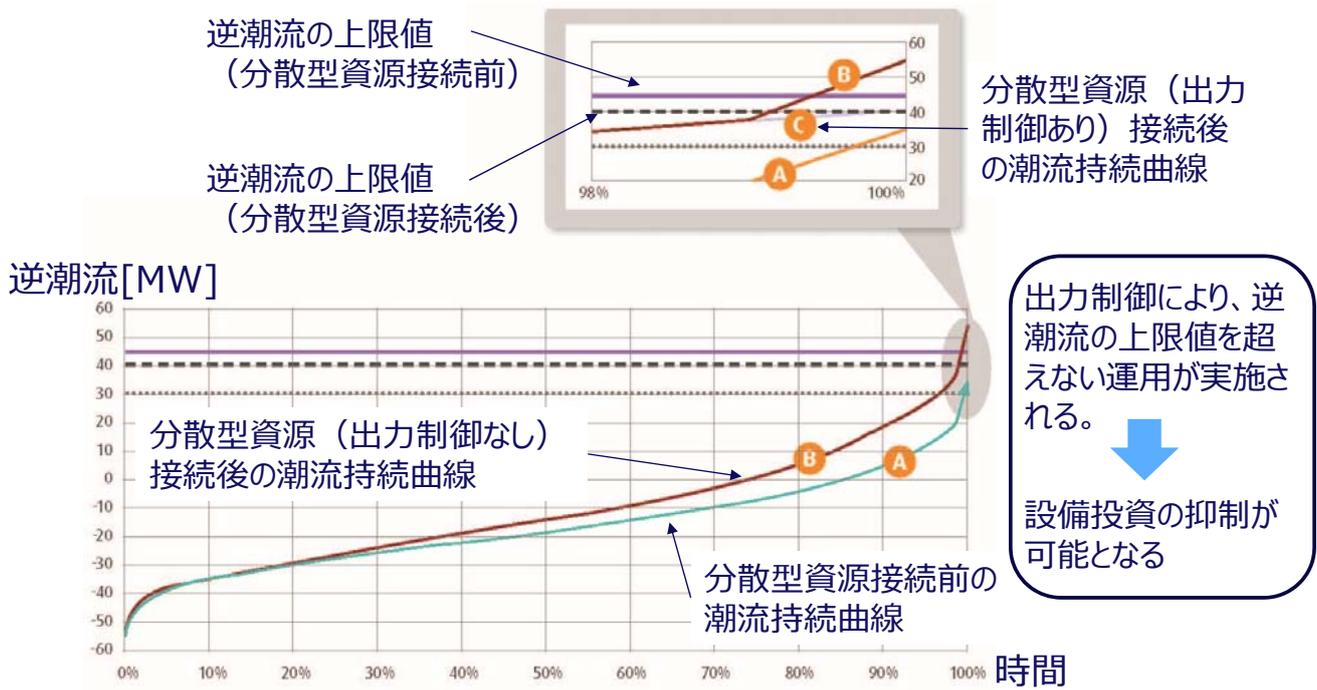
※2 GSP: Grid Supply Pointのこと。イギリスでは特に送電系統と配電系統の接続点を指す。

・**分散型資源事業者**：より早く、より安価に電源接続が可能となる。

・**DSO**：設備投資費用の抑制が可能となる。

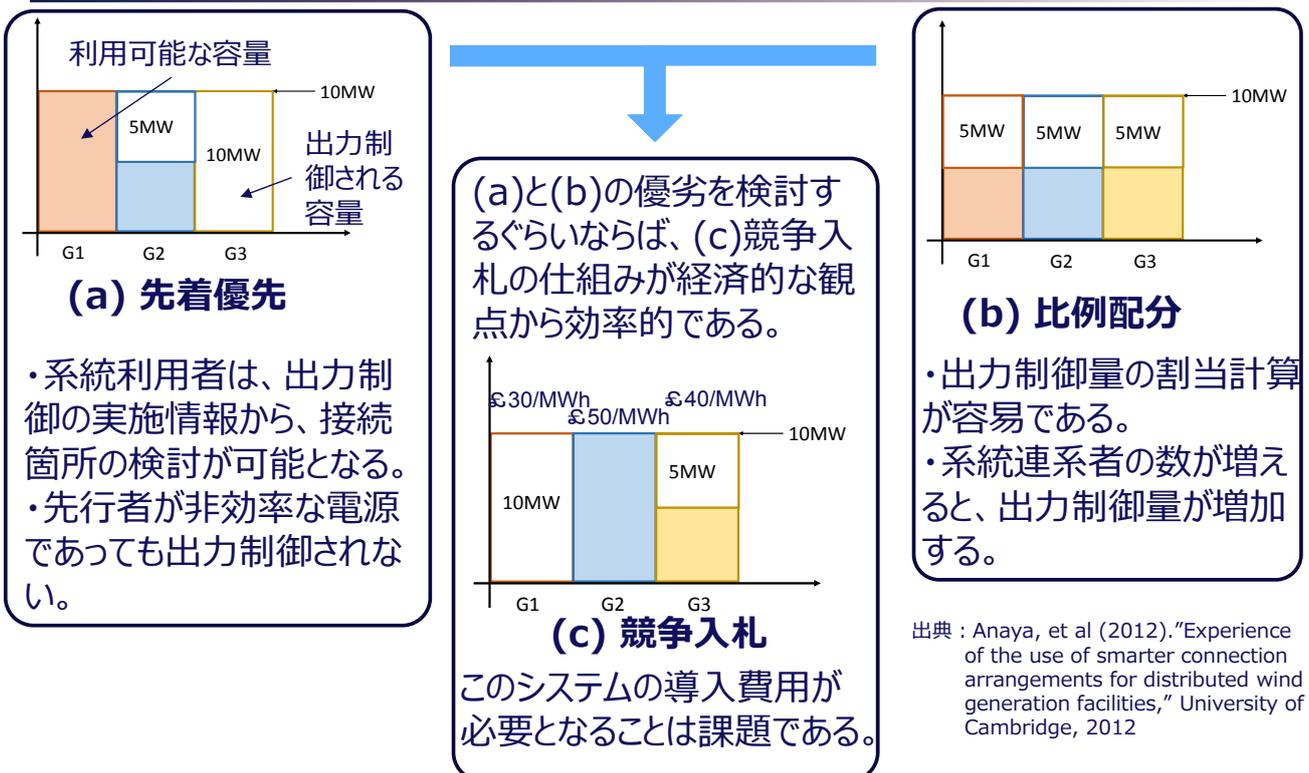
- **柔軟的な系統運用** (Active Network Management : ANM) も活用
⇒スライド26、27

イギリスにおける潮流持続曲線を考慮した出力制御の概念図



出典：UKPN (2014). "Flexible Plug and Play - implementation of active voltage and active power flow management within FPP trial area SDRC9.6-," UKPN, December 2014

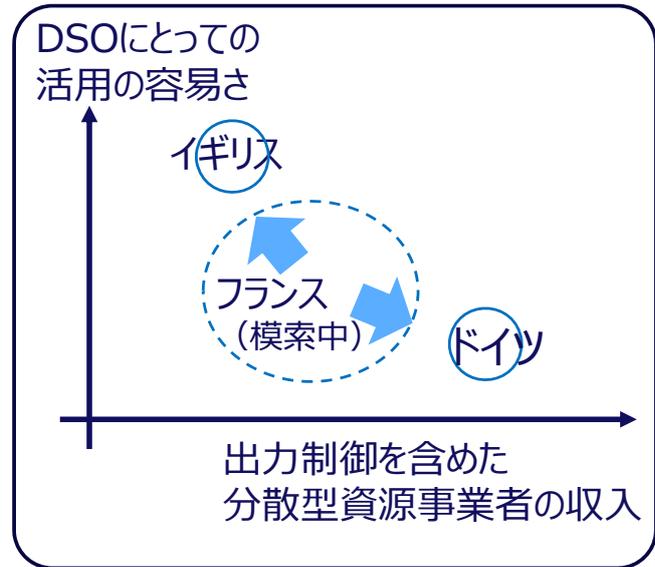
イギリスの出力制御の容量割当



出典：Anaya, et al (2012). "Experience of the use of smarter connection arrangements for distributed wind generation facilities," University of Cambridge, 2012

独仏英のDSOにおける出力制約を伴う電源接続の 相対的なメリット評価

- ドイツの2018年の時点のルールでは、出力制御分に対して、分散型資源事業者への金銭補助があるため、分散型資源事業者の逸失利益は実質的に生じない。一方、DSOによる出力制御は、オンオフ制御で実施されるため、出力制御量が過剰となる可能性があり、その場合、DSOの金銭負担が増える。
- イギリスの2018年時点のルールでは、DSOが出力制御を遠隔で連続的な出力となるように制御できるから、DSOは適切な系統運用が可能となる。一方、分散型資源事業者への出力制御に対する金銭補償はないため、分散型資源事業者の逸失利益が生じる。
- フランスの2018年時点では、まだ実証試験段階であり、分散型資源事業者への出力制御に対する金銭補償はなく、DSOによる出力制御の自動化は今後の課題である。

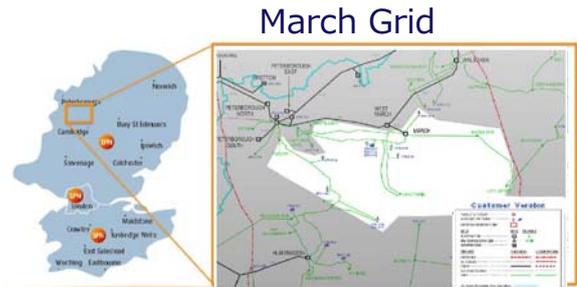
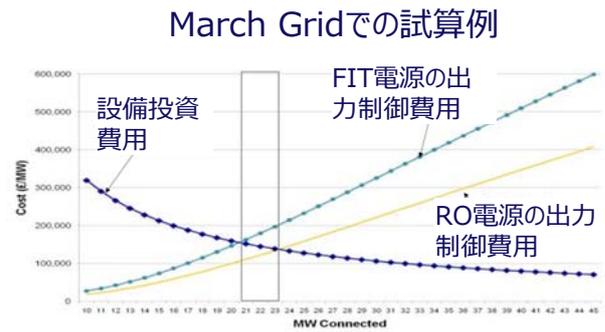


➡ まだ、唯一にして最良な手法は
見つかっていない。

5. 分散型資源の柔軟性確保を考慮 したネットワークの在り方

出力制御は設備投資よりもメリットがあるか？

- スライド22のように、設備投資費用と出力制御による逸失利益（＝出力制御の費用）の比較検討が可能か否かは、出力制御を伴う電源接続を本格実用するには重要な論点である。
- 右上図に示すように、イギリスでは比較可能となるような例がある。
 - ・ただし、限定した範囲であったため、右上図のような比較が可能であったと言える。
- 系統大の潮流を考慮して、長期的な観点から、この比較は難しい。



出典：Laguna, et al (2013). "Flexible plug and play low carbon networks: commercial solutions for active network management," paper 768, CIRED 22nd international conference on electricity distribution, 2013

DSOにとって使いやすい制度となっているか？

DSOは出力制御を適切に利用できる？

出力制御を直接的に、連続変数的に実施可能

VS

出力制御を直接的に、連続変数的に実施難

各国の出力制御の現状

- ・イギリス：アルゴリズムで自動化 ⇒スライド27、39
- ・ドイツ：離散的な出力制御 ⇒スライド32
- ・フランス：半自動化 ⇒スライド37

今後導入する国にとって、

- ・遠隔で連続変数的に出力制御が可能となる仕組みが重要である。
- ・もしも新規接続時の要件とするルールが導入されても、既に普及した分散型資源には、どのように遠隔で連続変数的に出力制御が可能となる仕組み義務付けるのか？

分散型資源事業者にとって 受け入れやすい制度となっているか？

分散型資源事業者は受け入れやすい？

将来の収入が安定 VS 将来の収入が変化

系統利用料金の電源側課金なし VS 系統利用料金の電源側課金あり

各国の金銭補償、電源側課金の現状

- ドイツ：
 - ・出力制御に対する金銭補償有り（再エネのみ）
 - ・系統利用料金の電源側課金なし
- フランス、イギリス：
 - ・出力制御に対する金銭補償なし、
 - ・分散型資源事業者は、総合的に接続までの待機期間を考慮した出力制御や接続費用を含めて収入の減分を比較評価
 - ・系統利用料金の電源側課金あり

今後導入する国にとって、託送料金において、設備容量比例の電源側課金導入後、同じ設備容量で異なる出力制御電力量となった場合、分散型資源事業者間で不整合が生じる制度とならないか？

まとめ

- 欧州では、分散型資源事業者とDSOを含めた社会全体で望ましい柔軟性のあり方を検討している。
 - ➡ DSOは従来よりも系統構成の選択肢が増加する可能性がある。
 - ・分散型資源事業者が個別最適のみを追求するのではなく、ネットワーク利用者全体の最適化に貢献することを期待した変更といえる。
- 分散型資源接続時に、DSOは設備増強実施を含めて、接続要請を受諾する。または、分散型資源事業者が出力制御を容認するならば、DSOは設備増強なしに接続要請を受諾する。欧州では、このようなオプションを提案、実施可能とする動きがある。
 - ➡ 分散型資源事業者が、ネットワークを活用するための費用を理解するのに貢献する。
 - ・DSOはインセンティブ規制を考慮して、設備投資延期のメリットを検討することが可能となる。

類似制度の導入を検討する際に考慮すべき論点 (1/2)

- 欧州の出力制御を伴う電源接続は、暫定的な対応策であり、必要となる設備投資は実施する方針となっている。同様の制度の導入を検討する際には、過剰な設備投資抑制に陥らないようにすることが重要である。
- 出力制御を伴う電源接続の導入を検討する場合には、以下の課題が残る。
 - 設備投資費用と出力制御による逸失利益（＝出力制御の費用）のトレードオフを適切に評価することが、社会全体から見た設備投資費用を抑制するためにも、過剰な設備投資の抑制に陥らないためにも重要である。
 - 新たな接続時の必要要件を、「連続的に遠隔で出力制御を可能とする機器の導入」としても、既に接続している電源にはどのように義務付けるのか、その費用は誰が支払うのかは重要である。

類似制度の導入を検討する際に考慮すべき論点 (2/2)

- 系統利用料金の電源側課金制度がなく、出力制御費用を分散型資源事業者の損失とする場合に、競争入札方式で系統の利用可能な容量を割り当てることは、分散型資源事業者への実質的な電源側課金となる。この場合、電源側課金の系統利用料金制度を導入していない事由と、競争入札方式による系統利用料金の発生との間で、整合性を図ることが重要である。
- 容量比例で電源側課金される系統利用料金制度の場合、割り当てられる系統利用可能な容量が、分散型資源事業者間で、同じであれば、支払う系統利用料金も同じとなる。出力制御が実施された場合も同様に、分散型資源事業者間で支払う料金は同じとなる。しかし、これらの事業者が1年間を通じて要請される出力制御量は、接続箇所異なる可能性があり、逸失利益も異なる。系統利用料金が同額である一方で、系統を利用可能な電力量が異なるといったに不整合への対応策を検討することが重要である。

参考文献

1. 三枝まどか, 服部徹 (2011). “ドイツの送配電事業におけるインセンティブ規制の課題-低炭素社会に向けた設備投資への影響を中心に-” 電力中央研究所報告 Y10032
2. 服部徹 (2016). “欧米の送配電料金規制におけるインセンティブ規制について” 内閣府消費者委員会 2016
3. 古澤健, 岡田健司, 丸山真弘, 朝野賢司, 永井雄宇 (2016). “欧州の配電事業者の配電料金設計の現状と課題-系統需要減少を中心に-,” 電力中央研究所報告 Y15024
4. 三菱総合研究所 (MRI) (2017). “平成28年度新エネルギー等導入促進基礎調査 (固定価格買取制度の見直しに係る調査) ”, 2017年2月
5. Anaya K. L. and Pollitt M. G. (2012). “Experience of the use of smarter connection arrangements for distributed wind generation facilities,” University of Cambridge, 2012
6. Furusawa K., Brunekreeft G., and Hattori T. (2019). “Constrained Connection for Distributed Generation by DSOs in European Countries,” Bremen Energy Working Paper No.28, Jacobs University Bremen.
7. BMWi (2014). “Moderne Verteilernetze für Deutschland” 2014
8. BMWi (2017). “Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)” 2017
9. BNetzA (2018). “Monitoring bericht 2018,” 2018
10. CIGRE WG C6-19 (2014). “Planning and optimization methods for active distribution systems” 2014

参考文献

11. Cerqueira E., Georgiopoulos S., Johnston R. and Currie R. (2014), “Flexible plug and play low carbon networks: an open scalable active network management solution for a faster and cheaper distributed generation connections,” paper C6-211, CIGRE 2014 session, 2014
12. DUKE (2018). “Statistics on electricity from generation through to sales,” 2018
13. EDSO and Eurelectric (2018). “Flexibility in the energy transition – a toolbox for Electricity DSOs” 2018
14. Enedis (2018). “Enedis open data,” 2018
15. Gottlob H.W. (2013). “Ein Überblick zu den Stromverteilernetzentgelten in Deutschland” 2013
16. Laguna-Estopier A., Crosthwaite-Eyre E., Georgiopoulos S. and Marantes C. (2013). “Flexible plug and play low carbon networks: commercial solutions for active network management,” paper 768, CIRED 22nd international conference on electricity distribution, 2013
17. UKPN (2014). “Flexible Plug and Play – implementation of active voltage and active power flow management within FPP trial area SDRC9.6-,” UKPN, December 2014
18. UKPN (2017). “Flexible Distributed Generation” 2017

IR

CRIEPI

**Central Research Institute of
Electric Power Industry**

[不許複製]

編集・発行人 一般財団法人 電力中央研究所
社会経済研究所長
東京都千代田区大手町1-6-1
e-mail src-rr-ml@criepi.denken.or.jp

著作 一般財団法人 電力中央研究所
東京都千代田区大手町1-6-1
