

2019年11月18日

株式会社インプレスR&D

<https://nextpublishing.jp/>

再エネ大量導入への最大の障害「系統連系問題」を解く！

『世界の再生可能エネルギーと電力システム 系統連系編』発行

「新しい考え方」と「古い考え方」を紹介・対比して本質と解決策を示す。

インプレスグループで電子出版事業を手がける株式会社インプレス R&D は、『世界の再生可能エネルギーと電力システム 系統連系編』（著者：安田 陽）を発行いたします。

『世界の再生可能エネルギーと電力システム 系統連系編』

<https://nextpublishing.jp/isbn/9784844378280>



著者：安田 陽

小売希望価格：電子書籍版 1,300 円（税別）／印刷書籍版 1,600 円（税別）

電子書籍版フォーマット：EPUB3 / Kindle Format8

印刷書籍版仕様：A5 判 / モノクロ / 本文 168 ページ

ISBN：978-4-8443-7828-0

発行：インプレス R&D

<< 発行主旨・内容紹介 >>

3.11 以降、日本では再生可能エネルギーへの注目が高まり、導入も進んでいます。しかし、その歩みは遅く、導入目標も高いとは言えません。ヨーロッパを中心とする欧米や他の国々では、風力発電や太陽光発電などの本格的な導入が始まっていることと比べると、大きく遅れた状況にあります。

このシリーズでは、再生可能エネルギーの導入状況、将来予測、コスト&便益、電力情報などについて、図表を豊富に用いて網羅的に分析・紹介しています。再生可能エネルギーと電力システムをめぐる世界と日本の状況の違い、その状況の違いを生みだしている誤った認識とあるべき姿について、しっかりと科学的に論じています。

シリーズ4冊目では、再生可能エネルギーの普及に立ちはだかっている系統連系問題に焦点を当てます。系統連系問題は技術だけでは語ることはできず、経済や政策などの制度面からの考察も必要です。この問題について、本

書の第2章で「古い時代の古い考え方」、第3章で「新しい時代の新しい考え方」を紹介・対比し、問題の本質と解決法を示していきます。

(本書は、次世代出版メソッド「NextPublishing」を使用し、出版されています。)

「はじめに」より

はじめに

本書は「世界の再生可能エネルギーと電力システム」シリーズの第4弾です。これまで、「風力発電編」、「電力システム編」、「経済・政策編」と刊行してきましたが、ようやく再生可能エネルギーを電力システムにつなぐ「系統連系」というテーマに到着しました。

系統連系問題は、現在日本で再生可能エネルギーを導入する際の最大の問題点とも目ざされており、その解決が喫緊の課題とも言われています。この問題を解くためには、表層的で場当たり的な対症療法ではなく、深層を探り、根本的解決を目指す必要があります。そのためには、単に発電工学や電力系統工学などの技術的な知識だけでは足りず、経済や政策などの制度面からの考察も必要です。それ故、この「系統連系編」は、「電力システム編」および「経済・政策編」の続編として讀を持して登場する次第です。

本書では、複雑に絡み合った(ように一見見える)系統連系問題の糸を解きほぐすために、「古い時代の古い考え方」(第2章)と「新しい時代の新しい考え方」(第3章)を対比させ、重要キーワードを並べた構成となっています(下表参照)。

| 第2章 古い時代の古い考え方 を理解するための7つのキーワード | 第3章 新しい時代の新しい考え方 を学ぶための7つのキーワード |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 2.1 空容量 | 3.1 空潮流 |
| 2.2 ノンファーム | 3.2 間接オークション |
| 2.3 先着優先 | 3.3 非差別性 |
| 2.4 原因者負担の原則 | 3.4 受益者負担の原則 |
| 2.5 集積プロセス | 3.5 費用便益分析 |
| 2.6 不安定電源 | 3.6 アダプター |
| 2.7 バックアップ電源(蓄電池) | 3.7 柔軟性 |

読み進める順番は、第2章に全て目を通してから第3章に進んでもOKですし、興味のあるテーマ(例えばノンファームと間接オークション)に関して、2.2節→3.2節と対比しながら読み進めても構いません。系統連系問題の本質の解明と解決にあたって、新旧のキーワードが対となる

ように構成されています。

「古い時代の古い考え方」とは、発電電分離以前の垂直統合の時代の電力システムの考え方です。

本書では、決してそれを否定したり貶めるために取り上げるわけではありません。これらはいわば「古典」です。エネルギー問題が科学技術に立脚する以上、これまでの先人の積み上げてきた叡智は尊重すべきで、「新しい時代の新しい考え方」も先人の蓄積の破壊を意図するものではありません。

たとえパラダイムシフトのような科学技術上の断絶があったとしても、過去の理論や技術が全て否定されるわけではありません。例えば量子力学の登場においては、古典電磁気学が記述し得なかった量子レベルの物理現象を記述したという点で科学史上の大きな跳躍がありましたが、通常のほとんどの現象(例えば電力システムの挙動)は古典電磁気学で十分説明がつき、古典電磁気学は否定されたわけではなく21世紀の現在でも現役で利用されています。

新しい時代の新しい考え方を学ぶには、まず「古典」を知る必要があります。古典理論によってどこまで記述でき、どこから記述できないかを確認する必要があります。再生可能エネルギー、特に本書で対象とする風力発電や太陽光発電は、21世紀に入って急速に進化した新しい技術です。単純に、新しい技術は古い時代の古い考え方では設計された器には入りません。器を新しいものに替えていく必要があります。そのためには古い器がなぜそのように設計されたのか、「故きを温(たず)ね」る必要があります。

「新しいものが入らないのは新しいものが従来のシステムに合わせようとしなからだ!」という意見もあるかもしれませんが、それは今のシステムに満足し「我々は何も変りたくない」と言うに等しく、現状から変わらうとしなければ日本は猛スピードで変化しつづけるグローバルな国際競争に生き残ることはできないでしょう。新しいものが入らないのは、しばしばそれを入れるための器、すなわちそれを入れる方法やルールが古いことに起因します。そしてその解決方法は、意外にも超革

2 | 3

「第1章 「系統連系問題」とは、何が「問題」なのか?」より

たに流布している言説とは180度違うことが書かれており、世界と日本のギャップに驚く方も多いのではないかと思います。

「系統連系問題」とは、文字通り、VREを電力システムにつなぐ(系統連系する・統合する)際に発生する諸問題です。もちろん、新しい技術であるVREを従来から培われてきた技術で構成された電力システムにつなぐ際には、全く問題がないというわけではありません。しかし、本章で例示した3つの文献を見ればわかるとおり、それらはある一定の段階までは問題がないと見なされていたり、あったとしても十分解決可能な問題であることがわかります。さらにその解決方法は決して技術的な解決だけでなく、法制度の改革などソフト的な解決手段の方が重要であることも強調されています。この点を見逃してはなりません。

1.2 世界における日本の立ち位置と「系統連系問題」の本質

前節で引用した国際エネルギー機関(IEA)の文献[15]では、VREの導入に関して直感的にわかりやすい分類を試みています。図1-2-1は、VREの導入に伴う技術的困難性によって「第1段階」から「第4段階」に各国・各エリアを分類し、発電電力量導入率(シェア)ごとに並べたマッピング図です。

図1-2-1 IEAによるVRE導入率と統合段階の対照(2016年)

この図の中で、同じ導入率でも段階が異なるのは、その国の電力システムの環境が異なるからです。例えば、アイルランド(IE)はポルトガル(PT)より導入率が低いのに第4段階です。アイルランドは北海道と同じ

14 | 15

「第2章 古い時代の古い考え方を理解するための7つのキーワード」より

2.1 空容量

本章では、新しいテクノロジーである変動性再生可能エネルギー（VRE）を電力システムにつなぐ際に、なぜさまざまな問題が発生するのか（あるいは解決可能な問題に対して「問題だ」と言い続けるのか）について考察するために、「古い時代の古い考え方」についてキーワードごとに紹介していきます。トップバッターは**空容量**です。

さて、「空容量問題」は目下、日本で再エネ導入にあたっての最大の参入障壁といえます。まさに数ある「系統連系問題」の中のラスボス級です（トップバッターからラスボス級でさみせん）。送電線空容量問題については、既に拙著『送電線は行列のできるガラガラのそば屋さん？』[21]や専門書[22]で詳しく解説しているので、詳細はそれらに譲るとして、ここでは本書のコンセプト（古い考え方と新しい考え方の対比）に従ってダイジェスト版的に解説していきます。

古い時代の古い「空容量」の考え方

送電線空容量問題としては、固定価格買取制度(FIT)が始まって2年ほどした2014年頃にはいくつかの送電線で「空容量ゼロ」になったことが一般送配電事業者（当時は一般電気事業者）より発表され始めていました。これが本格的になったのは、2016年5月30日に東北電力から青森・秋田・岩手の3県の地域全域にわたって「空容量がゼロ」であることが発表され、再エネ業界に大激震が走ったことがきっかけです。「空容量がゼロ」の地域に新規電源（その多くが再エネ）を接続しようとする場合、送電線の増強工事が必要のため、表2-1-1の例に示すとおり、数年～十数

年間の接続遅延と数億～数百億円もの工事負担金が求められるケースが出てくるようになりました。

表2-1-1 高額の工事負担金の例

| 場所 | 容量 [kW] | 負担金 (億円) | kWあたり単価 [万円/kW] | 工期 |
|-----|---------|----------|-----------------|--------|
| 東日本 | 1,940 | 5588 | 2800.7 | 18年0ヶ月 |
| 東日本 | 165 | 212 | 1286.6 | 6年0ヶ月 |
| 西日本 | 1,940 | 420 | 216.5 | 5年2ヶ月 |
| 西日本 | 1,115 | 225 | 202.3 | 14年6ヶ月 |
| 東日本 | 1,115 | 4.5 | 41.0 | 2年0ヶ月 |
| 東日本 | 1,940 | 7.4 | 38.6 | 1年4ヶ月 |
| 東日本 | 1,900 | 4.0 | 21.3 | 2年11ヶ月 |
| 東日本 | 1,115 | 1.3 | 12.1 | 1年7ヶ月 |
| 西日本 | 1,940 | 1.4 | 7.5 | 2年0ヶ月 |

その後、筆者が全国の基幹送電線（主に500kVや275kVなどの上位系統）の公開データを用いて利用率を分析し公表したところ、統計データ上の利用率は低いことが判明し、多くのメディアで社会問題として取り上げられ、一般にも知られるようになりました。

図2-1-1 空容量ゼロとされた送電線の潮流実績および運用容量の時系列グラフ例

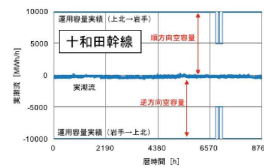


図2-1-1はある一般送配電事業者が「空容量ゼロ」であると公表した送電線その当時の直近1年間の実潮流の時系列グラフです。図の実線で

「第2章 古い時代の古い考え方を理解するための7つのキーワード」より

- ・ 認定を受けた既存契約等による利用潮流は、先着優先の原則から、連系線等の新規利用潮流の抑制後に抑制する。

この考え方は後身にあたる広域機関の「業務規程」にも引き継がれ、2017年9月時点（9月6日変更版[29]）では以下のように規定されていました。

- ・ (連系線の管理の原則)

第125条 本機関は、連系線の管理を行うに当たっては、次の各号を原則とする。

- 一 先着優先 連系線の利用において、先に受理した計画を後から受理した計画より優先して扱うこと
- 二 空おさえの禁止 連系線の利用の計画段階において、実際に利用することが合理的に見込まれる量を超えて連系線の容量を確保する行為（以下「空おさえ」という。）を禁止すること

図2-3-1に広域機関による先着優先と空おさえの禁止の概念を示します。また図2-3-2に連系線利用者による利用計画の更新の様子を示します。

図2-3-1 先着優先と空おさえの禁止の概念

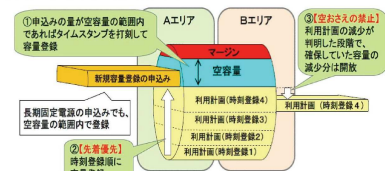
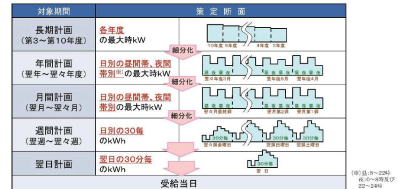


図2-3-2 連系線利用者による利用計画の更新の様子



先着優先の原則は一見して公平に見えますが（事実、ESCIは「公平性・透明性の確保の観点から」と明記しています）、既存設備に圧倒的に有利に働きます。なぜなら第一に、連系線利用計画の申し込みは実際に使う時間帯の10年前から申し込むことができるからです。これでは最近運転開始した発電所ほど不利になります。

第二の理由としては、新規テクノロジーである再エネにとって結果的に不利に働きます。なぜなら、風力や太陽光などの変動性再生可能エネルギー（VRE）は1週間前や前日に正確に出力を予測することは困難ですが、1時間前や5分前でしたら誤差も相当小さくなり予測精度も向上するからです。

天気予報で傘を持っていくかどうか判断する際に、週間予報より前日予報、前日予報より当日のピンポイント予報の方が圧倒的に信頼性が向上することは、多くの人が身をもって体験していることでしょう。コンピュータシミュレーションが発達して直前の数分前の天気予報（気象予測）の精度がどんなに向上したとしても、テレビ番組の準備の都合で2日前までの天気予報しか受け付けない、という硬直的なルールがあったとしたら最新の予測技術は宝の持ち腐れです。

従来のルールである先着優先の原則は、あくまで20世紀型の電源同士では公平ですが、単純に21世紀型の新しいテクノロジーには対応してい

「第3章 新しい時代の新しい考え方を学ぶための7つのキーワード」より

3.1 実潮流

第2章において「古典」、すなわち発電分離以前の垂直統合の時代の電気の工学のコンセプトについて学んできましたが、本章では、新しい時代の新しい考え方、すなわち電力自由化・発電分離以降の新しい電力システムの世界について、見ていきましょう。トップバッターは**実潮流 physical flow**です。

本節の対となる2.1節において、「空容量」の古い（静的・簡易的な）計算方法と新しい（動的・詳細な）解析方法を紹介しました。時々刻々と変化する空容量を動的かつ詳細に求める場合、必ず**実潮流のデータ**が必要になります。そこで本節では、実潮流に焦点を当てて、新しい時代の新しい考え方に基づく電力システムの運用の事例を紹介いたします。

空容量問題のその後

2.1節において2016年頃からクローズアップされてきた空容量問題について短く概観しましたが、2019年になってようやく大きな動きが出てきました。2019年5月17日に東京電力パワーグリッド（以下、東電PG）が「試行的な取り組み」についてプレスリリースを発表し[3.1]、その別紙資料の中で以下のような表現で「現在の考え方」と「今後の考え方」を比較しています（下線部は筆者による）[3.2]。

- ・ **【現在の考え方】**
「最も過酷な」断面を設定し、平常時に混雑を発生させない前提で潮流想定を合理化し、空容量を算出し、系統アクセス検討を実施

実施

※送配電等業務指針第62条「流通設備の設備形成は、（～中略～）通常想定される範囲内で評価結果が最も過酷になる電源構成、発電出力、需要、系統構成等を前提としている。」

・ **【今後の考え方】**

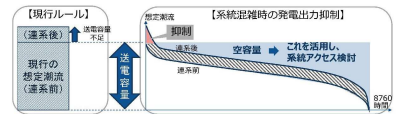
千葉方面においては、太陽光や風力などの変動電源の特性を踏まえ、平常時の混雑の際に発電出力抑制を許容し、時間ごとにきめ細かな断面で潮流想定を合理化し、系統アクセス検討を実施

↓

佐京連系を対象とし、8,760時間の想定潮流を算出し、空容量の有効活用を検討

図3-1-1に同資料の説明図を示します。この図の「現行ルール」はまさに、本書2.1節で指摘した「古い時代の古い考え方」による計算方法に相当します。一方、同図右のグラフは横軸に「8760時間」と書かれた右下がりの滑らかな曲線が描かれていますが、これは1時間ごとの1年間の時系列波形データ 8760点（＝24時間×365日）を降順に並べ替えたグラフであり、**持続曲線 duration curve**と呼ばれます。発電や需要などの電力システムの状況を確率統計的に処理する際によく用いられる手法です。

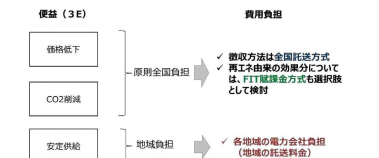
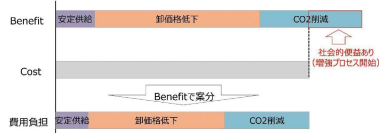
図3-1-1 東京電力パワーグリッドによる「現在の考え方」と「今後の考え方」



このような持続曲線が資料に掲載されるということは、運用容量や実潮流の時間変化を考慮した詳細な動的解析を検討する(した)ということの意味します。すなわち、「新しい時代の新しい考え方」による解析方法

「第3章 新しい時代の新しい考え方を学ぶための7つのキーワード」より

図3-6-6 経産省による連系統強化・費用負担の考え方



費用便益分析の目的は、本節冒頭で述べたとおり、社会的意思決定を支援することです。中立機関や国における議論がこのような定量的で客観的な手法で進むことにより、透明性や非差別性も自ずと担保されるようになるでしょう。

3.6 アデカシー

アデカシー adequacyは既に本節の対となる2.6節で登場していますが、この用語および概念は、実は別段「新しい時代の新しい考え方」ではなく、「古典」の時代から存在する用語です。しかしながら、この用語は元々電気の工学の中でもマイナーなようで、筆者の調べた限りでは電験（電気主任技術者試験）の過去問でも登場したことはほとんどないようですし、電力会社の中でも一部の部署でしか必要ないで業務に関係なければ知らない人も多いかもしれません。大学の電気系の専門課程でも、ここ数年は強電系の講義がどんどん減られ必修でなくなっているため、アデカシーという概念を知らないまま電気工学科を卒業してしまう人も少なくないかもしれません。

しかし、複数のプレーヤー（発電会社・小売会社）が電力を取りし、変動性再生エネルギー（VRE）も大量導入される将来の電力システムで、不確実性とうまくつきあいながらシステムの全体最適設計を行っていくためには、このアデカシーはますます重要な概念になるといえるでしょう。そもそも「再生エネルギーは不安定だ！」「バックアップ電源が必要！」という主張は、アデカシーという電力工学上の根本概念（古典なのに！）を理解していないことから発生する誤解だと筆者は見えています。

今も昔も重要なアデカシー

さて、アデカシーに関しては本シリーズ『電力システム編』でも取り上げていますが、重要な概念なのでここで今一度おさらいのため、その内容を一部再掲します。

<<目次>>

はじめに

第1章 「系統連系問題」とは、何が「問題」なのか？

1.1 そもそも「系統連系問題」とは何か？

1.2 世界における日本の立ち位置と「系統連系問題」の本質

第2章 古い時代の古い考え方を理解するための7つのキーワード

2.1 空容量

2.2 ハンファーム

2.3 先着優先

2.4 原因者負担の原則

2.5 募集プロセス

2.6 不安定電源

2.7 バックアップ電源と蓄電池

第3章 新しい時代の新しい考え方を学ぶための7つのキーワード

3.1 実潮流

3.2 間接オークション

3.3 非差別性

3.4 受益者負担の原則

3.5 費用便益分析

3.6 アデカシー

3.7 柔軟性

第4章 おわりに: 系統連系問題は市場参入障壁問題

参考文献

著者紹介

<< 著者紹介 >>

安田 陽(やすだ よう)

京都大学大学院 経済学研究科 特任教授

1989年3月、横浜国立大学工学部卒業。1994年3月、同大学大学院博士課程後期課程修了。博士(工学)。同年4月、関西大学工学部(現システム理工学部)助手。専任講師、助教授、准教授を経て、2016年9月よりエネルギー戦略研究所株式会社 取締役研究部長。京都大学大学院 経済学研究科 再生可能エネルギー経済学講座 特任教授。

現在の専門分野は風力発電の耐雷設計および系統連系問題。技術的問題だけでなく経済や政策を含めた学際的なアプローチによる問題解決を目指している。現在、日本風力エネルギー学会理事。IEA Wind Task25(風力発電大量導入)、IEC/TC88/MT24(風車耐雷)などの国際委員会メンバー。

主な著作として「世界の再生可能エネルギーと電力システム 経済・政策編」、「世界の再生可能エネルギーと電力システム 電力システム編」、「世界の再生可能エネルギーと電力システム 風力発電編」、「送電線は行列のできるガラガラのそば屋さん?」、「再生可能エネルギーのメンテナンスとリスクマネジメント」(インプレス R&D)、「日本の知らない風力発電の実力」(オーム社)、翻訳書(共訳)として「洋上風力発電」(鹿島出版会)、「風力発電導入のための電力系統工学」(オーム社)など。

<< 販売ストア >>

電子書籍:

Amazon Kindle ストア、楽天 kobo イーブックストア、Apple Books、紀伊國屋書店 Kinoppy、Google Play Store、honto 電子書籍ストア、Sony Reader Store、BookLive!、BOOK☆WALKER

印刷書籍:

Amazon.co.jp、三省堂書店オンデマンド、honto ネットストア、楽天ブックス

※ 各ストアでの販売は準備が整いしだい開始されます。

※ 全国の一般書店からもご注文いただけます。

【インプレス R&D】 <https://nextpublishing.jp/>

株式会社インプレスR&D(本社:東京都千代田区、代表取締役社長:井芹昌信)は、デジタルファーストの次世代型電子出版プラットフォーム「NextPublishing」を運営する企業です。また自らも、NextPublishing を使った「インターネット白書」の出版など IT 関連メディア事業を展開しています。

※NextPublishing は、インプレス R&D が開発した電子出版プラットフォーム(またはメソッド)の名称です。電子書籍と印刷書籍の同時制作、プリント・オンデマンド(POD)による品切れ解消などの伝統的出版の課題を解決しています。これにより、伝統的出版では経済的に困難な多品種少部数の出版を可能にし、優秀な個人や組織が持つ多様な知の流通を目指しています。

【インプレスグループ】 <https://www.impressholdings.com/>

株式会社インプレスホールディングス(本社:東京都千代田区、代表取締役:唐島夏生、証券コード:東証1部9479)を持株会社とするメディアグループ。「IT」「音楽」「デザイン」「山岳・自然」「旅・鉄道」「学術・理工学」を主要テーマに専門性の高いメディア&サービスおよびソリューション事業を展開しています。さらに、コンテンツビジネスのプラットフォーム開発・運営も手がけています。

【お問い合わせ先】

株式会社インプレス R&D NextPublishing センター

TEL 03-6837-4820

電子メール: np-info@impress.co.jp