



## 『未来エコ実践テクノロジー 図解でわかるエネルギーDX』

～ デジタルで効率化する  
電力システム大転換技術

内藤 克彦／蝦名 雅章 著

技術評論社

2025/01 336p 3,080 円（税込）

1. エネルギー分野で進むDX
  2. ヨーロッパの天然ガスの歴史とDX
  3. 北アメリカの天然ガスの歴史とDX
  4. イギリスとヨーロッパのガス市場改革
  5. ガスエネルギー取引市場の発展
  6. 産業を支えるLNG
  7. アメリカのパイプライン事業者
  8. 電力のDX：なぜエネルギー分野でDXは進んだのか
  9. 電力のDX：再生可能エネルギーの出現とDX
  10. 電力のDX：どのように需給調整するか
  11. 電力のDX：電力会社・市場でさらに進むDX
  12. 貯蔵をコントロールするDX
  13. スマートエネルギーとDX
  14. 日本の総合取引所
  15. 再生可能エネルギーを評価するシステム
- 付録 エネルギー産業の歴史

### 【イントロダクション】

エネルギーの流通が、世界的に変化している。日本のこれまでの電力については、大手電力会社が大規模な発電所をつくり、そこから垂直に一方通行で送電をしていた。しかし再生可能エネルギーや独立系発電事業者が増えたことで、送配電が複雑化し、日本型のアナログ的な制御方法では限界がきている。本書では、日本と世界の、石油や天然ガスといったエネルギー供給システムの現状を踏まえ、DX（デジタルトランスフォーメーション）を取り入れながら、効率的で効果的な制御システムをどう行うか、各国の事例を紹介しながら詳しく解説する。カーボンニュートラルを実現するためにも、再生可能エネルギーの流通を増やすことが重要だが、それを推進するために、欧米から世界に広がりつつあるのが、再エネ電力供給での、「エネルギー価値」と「再エネ価値（環境価値）」の分離だ。今後はCO<sub>2</sub>量を取引するうえでも「グリーン電力証書」を発行し、運用する形となる。著者の内藤克彦氏は、東北大学大学院・環境科学研究科・特任教授。蝦名雅章氏は、慶應義塾大学経済学部訪問研究員。英国機械技術者協会（IMechE）日本名誉代表。日本工営株式会社環境技術顧問。

### ●ドイツでは8,760時間全地域のシミュレーションに基づき需給計画

電力の世界で今まで行われてきたことは、多くの需要に対応するだけの供給力を持つ大規模発電所を少数つくり、一方通行で送電線で需要に送り届けるという方法で、送電線はすべての発電所が定格値で同時に運転しても破綻しないキャパシティで整備された。

ところが、独立系発電事業者（IPP）などの独立系の発電施設や大中小規模の再生可能エネルギー発電などが普及してくると、状況が変わってくる。このような多数の分散エネルギー源を適正に活用しようとする、需給の状況やエネルギー流通の状況が複雑になる。

時々刻々と変化する複雑なエネルギーの流れを適切に管理しようとする、エネルギーの流れは見えないので、時々刻々のエネルギー潮流の計算をする必要がある。

ドイツのある送電管理会社（TSO）の講演を聞いたところ、ドイツでは、コンピューターを駆使してリアルタイムですべての送電ルートの時々刻々の電力潮流を算出しながら送電管理を行っている。ドイツの場合は、1時間1コマで年間8,760コマの潮流と、需給バランスの計算を行っているわけである。

このため、ドイツのTSOの話によると、年間の需給計画をつくるときも、送電線整備計画をつくるときも、実運用に合わせてすべて8,760時間全地域のシミュレーションを行い、計画の基礎データとするとの話だった。年間のシミュレーションをすることで、送電線の年間利用率も算出でき、効率的な送電線利用もできるようになる。欧米では、新規のエネルギー供給拠点を新規立地する場合にも、立地事業者側は、年間のグリッドシミュレーションを行うのが通例となっている。

グリッド管理者側だけではなく、エネルギー供給事業者や計画策定者の側も8,760時間の年間グリッドシミュレーションを行う必要がある、欧米ではグリッドシミュレーションに必要な基礎的な情報がグリッド事業者から情報公開されている。

### ●コストの安い順に発電施設を選択する米国のメリットオーダー方式

需給がリアルタイムで時々刻々と変化する中で、効率的に送電管理を行うには、電力潮流の予測計算をリアルタイムで行いながら、送電管理を行うことになる。このためには、コンピューターを駆使したDX管理に切り替える必要がある。

また、多様な電源を使いこなすには「先着優先」の習慣を止めて、送電運用の公平化が必要だ。アメリカでは、これを送電グリッドへの「オープンアクセス」と称している。

オープンアクセスを実現するということは、一定の需要に対して、新旧の多数の発電施設をどのように公平に交通整理するかということである。アメリカでは、この新旧発電施設の優先順位を経済性により決定するのがもっとも公平で合理的であるとして、メリットオーダー方式を導入した。ある時刻から次の時刻に需要が増加する場合に、追加出力がもっとも安価で得られる発電施設から順に発電指令を出すという方式である。

具体的には、アメリカの場合は1時間毎の市場管理なので、1時間毎に卸売電力市場への発電オファー（電力市場への発電事業者からの入札のこと）の中から限界コストの安い順に需要量に達するまで、発電指令候補の発電所・出力を選択していくことになる。こうすることで、経済効率の悪い発電施設から経済効率のよい発電施設に入れ替わり、電力システムが全体として新陳代謝していくことになる。

### ●電力に含まれる再エネ価値を評価する REC

欧米では、2000年頃から再エネの推進システムとして、REC（Renewable Energy Certificate）やGO（Guarantee of Origin）のシステムが設けられ、活用されている。再エネには、電力価値と再エネとしての環境価値があり、これを切り離して取引するためのツールである。

日本では、再エネによるゼロエミッションを実現しようとする、再エネ電力を使用しなければならないという風に長らく考えられてきた。一方アメリカなどでは、早い段階から、再エネ電力の再エネ価値と電力価値を切り離して、個別に取引するということが行われてきた。

元来、系統を通じて相対契約（＊発電事業者と需要家の直接契約）で再エネ電力を購入しても、実際に購入者のところに届く電力は、時々電力潮流に応じて化石由来・再エネ由来の電力が混ざったものである。再エネとの相対契約は、形式上の再エネ利用権の確保に過ぎなかったわけである。

再エネ価値を分離すると、どの発電所で、どれだけの電力を発電したのであるかという、発電履歴を正確にたどれるように厳密に管理することが重要となる。

北米のRECやヨーロッパのGOのシステムでは、この発電履歴の管理システムが属性トラッキングシステムとして発展してきた。一方で、気候変動対応のために、企業の電力使用を100%再エネにするという運動が、RE100として、世界的に活発になっている。これを達成する手段として、属性トラッキング（＊再生可能エネルギーの発電に関する

詳細な情報を記録し、追跡するための電子的な仕組み）が重要なツールとなっている。

アメリカでは 1990 年代の半ば頃になると、REC 取引のシステムが整備される。（＊ REC 取引では）電力取引と再エネ価値取引を分離し、再エネ発電の電力価値は、電力卸売市場に売却し、再エネ発電の再エネ価値（環境価値）は、証書化して別途販売する。

この場合、再エネ価値のカバーする電力量と再エネ発電から売却される電力量が、正確に一致することが必要であり、再エネ価値証書が独り歩きして、多重に使用されることを防止する必要がある。

つまり、再エネ価値の証書を扱うものは、次のような点を厳格に管理する必要があるわけである。

- （１）再エネであることの確認
- （２）再エネ価値の所有者の確認
- （３）再エネ発電の時刻、発電量、場所の確認
- （４）二重取引防止のための発電属性の相互チェック
- （５）その他

北米では、こうしたことを確認・認証する組織が設立された。北米では、複数の認証機関が、担当地域を決めて活動しているので、REC の二重使用がされないように、認証機関同士で相互チェックする体制が敷かれている。アメリカでのこのような動きを受けて、ヨーロッパでも再エネ価値の取引のメカニズム（＊ヨーロッパ版の REC システムである GO）がつくられることになる。

現在、（＊国際的な）REC システムの運営自体は、オランダに設立された I-REC Services B.V. という会社が、営利活動として実施している。REC サービスの名称は「EVIDENT」として、イギリスにコンピューターセンターを設け、I-REC（International REC）登録管理のハード、ソフトを管理している。

（＊ 2015 年に設立された）国際 REC 規格財団では、25 年以上の欧米での REC システムの経験を踏まえて、国際属性トラッキング規格を 2021 年に制定している。なお、財団は、2024 年に名称を「国際トラッキング規格財団」に変更し、REC からトラッキングへの概念の変化を明確にしている。つまり、「再エネ証書」という概念から「トラッキング証書」という概念に進化している。

一方で、日本では、非化石証書、J クレジットなどのローカルな REC 類似システムが構築されてきた（2024 年から日本にも I-REC が導入された）。

再エネの証明を、属性証明という概念に抽象化・整理してみると、この属性証明という概念は、再エネの世界だけではなく、同じように属性証明を必要とする多くの分野にそのまま使えることが明らかになる。

たとえば、EU では、この属性トラッキングシステムをそのまま、再エネ由来水素に適用し、ガス版 REC をつくり、再エネ水素製造のインセンティブとする方向で動き出している。

国際属性トラッキング規格の特徴は、個々の発電所の時々の発電行為をレジストリに REC として記録し、書き換えを許さないという点にある。これにより、同一発電であるかどうかを常に確認できる状態にしておくということだろう。

※「＊」がついた注および補足はダイジェスト作成者によるもの

**コメント:**本書の「はじめに」で著者の内藤氏は、日本人（日本企業）の「ハード志向」が問題であることを指摘している。エネルギーの領域では、高効率の発電プラントなど設備面に強みを持っており、DX に関しても、まず大規模データセンターなどのハードに目が向く。その分、オペレーションやソフトウェアについては、他国より後れをとっているようだ。REC のような仕組みについても本格導入では欧米に比して後れは否めないが、「国際トラッキング規格財団」に参加するなど前進の兆しも見られるようだ。