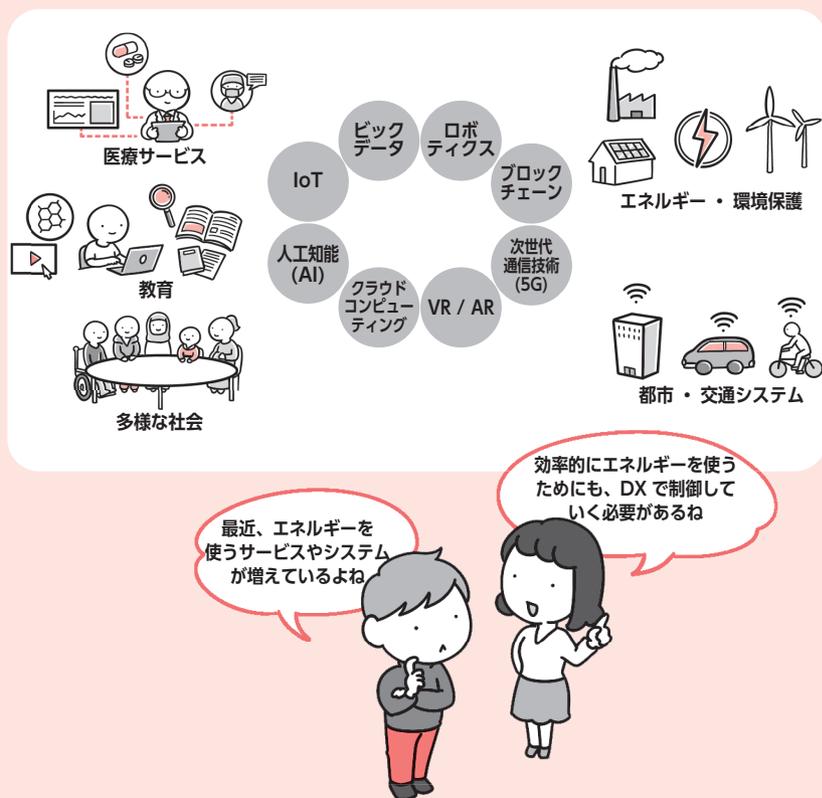


第1章 概要

ガス、電力ともに昔はエネルギー価値しかなかったが、現在では、エネルギー価値に加えて、「ゼロエミッション価値」ともいべき価値が付随するようになってきている。

この「ゼロエミッション価値」の部分は、完全にDXの世界で構築された価値体系となっている。この分野は電力、ガス共通テーマとして、新たな世界を築きつつある。

1章では、DXがなぜ電力とガスで重要となっているかについて、事例を交えて解説する。



1.1 > アナログの世界だったエネルギー

1 これまでの電力供給システム

大規模な電力システムやガスの供給システムのようなパワーシステムは、典型的なアナログの世界で、デジタルの世界は「弱電」や「情報・通信」の世界の話というのが、今までの常識であったかもしれない。

たとえば、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。

これは、精密な需給管理というよりは、発電所の定格値の合計の送電キャパシティにしておけば、間違いがないという言わば極めて安直な考え方で、「大雑把」に送電線がつけられていたわけである。

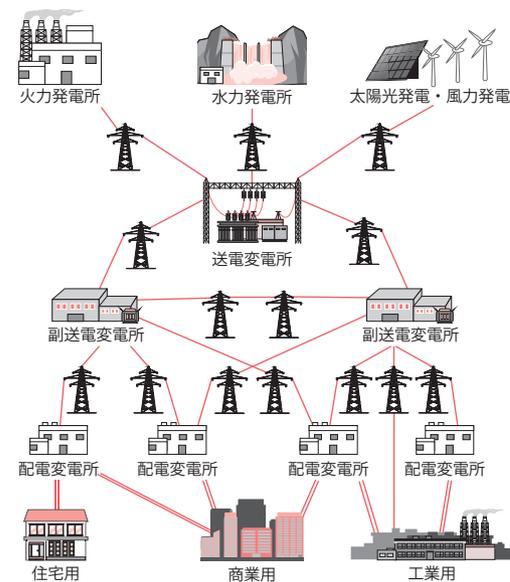
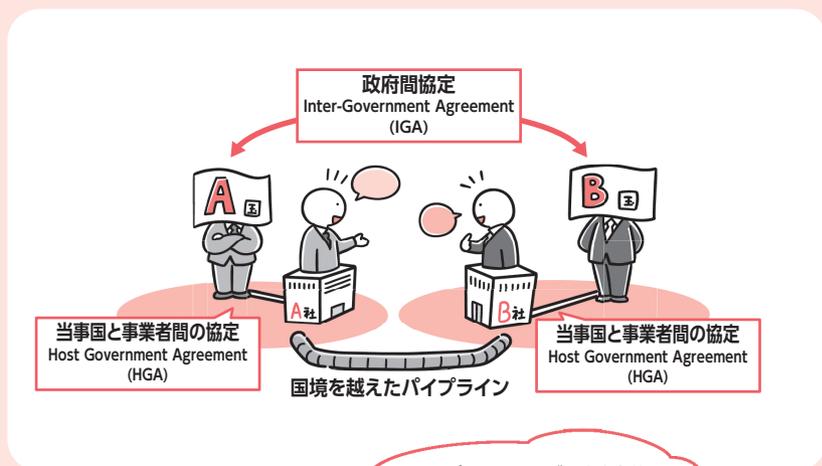


図1.1 典型的な送電の例

第2章 概要

ガスビジネスは、ガスインフラの発展と共に、当初の2国間あるいは2者間の取引から市場を介した不特定多数との取引に代わっていった。そして少なくとも日本では異質と考えられてきたLNGとパイプラインガスが同じプラットフォーム上で売買されるようになった。ロシアによるウクライナ侵攻に際し、ロシアはガス供給を武器としてEU諸国を威嚇したが、ガス市場が機能したため、その効力がある程度削がれるものとなった。

2章では、EU諸国にパイプライン・インフラが急速に整備された背景にあるエネルギー憲章条約とその後のDXを駆使したガスエネルギー市場設立に至る経緯について解説する。



ヨーロッパではエネルギー憲章条約で、パイプラインのインフラが整備されていったんだよ

2.1 > DXのはじまり：天然ガス需要拡大によるパイプラインの導入

1 ウクライナ危機によって示されたエネルギーDXの必要性

ドイツ主導で構築された世界のエネルギーの安全保障の仕組み、すなわちエネルギー憲章条約が、ロシアのウクライナ侵攻を機に一夜にして消え去った。この条約は、もともと西ドイツの東方政策(1969年)の一環として、ソビエト社会主義共和国連邦(ソ連)から天然ガスを導入したことに始まる。冷戦のさなかでも機能し、世界のガス供給の安全を保障するための国際条約として発展したが、この21世紀にロシアによるウクライナ侵攻により突然役割を終了した。そしてロシアは、ガスが武器として機能することを改めて世界に示すことになった。

天然ガスは単なる燃料ではない。食料生産には欠かせない窒素系化学肥料(アンモニアや尿素)の原料だが、ロシアはこれも武器として使用し、あるいはアフリカ諸国などを懐柔するための戦略物質として使用した。ロシアによるウクライナ侵攻が、脱原発の流れを変え、世界は未だ石油ガスに依存していることを示す機会となった。

必要なことは、エネルギー憲章条約によりヨーロッパ域内のパイプラインインフラが高度に整備され、その結果ガスの市場化に大きく貢献したことである。そしてLNGとパイプラインガスが同じプラットフォーム上で売買されるようになった。これにより、ロシアガスの武器としての効力が大きく削がれ、市場と物流を支えるエネルギーのDXがエネルギーの安全保障に大きく貢献することを示した。

2 北海のガスとソ連のガス

ヨーロッパではガスの供給源として、2つの可能性が考えられた。1つは新たに発見された北海のガス、もう一つはソ連のガスだった。イギリスでは、1970年代に北海油田・ガス田開発が本格化され、天然ガスの恩恵を受け始めた。一方当時の西ドイツでは、別の方法、すなわち政治と天然ガスのパッケージにより、遠く離れてはいるが技術的には不可能ではないソ連のガスの入手を試みた。ヨーロッパの本格的天然ガス導入は、当時の西ドイツによるソ連の天然ガス導入に始

第3章 概要

エンロン (Enron Corporation) は、もともとアメリカのヒューストンの地域ガスパイプライン会社だった。規制緩和の機運をとらえ、吸収合併を繰り返し大きな会社となったが、負債も大きく、そのため買収の対象にはならなかった。

エンロンは収益の向上のため、物理的なガスの売買に加え、先物市場を利用したファイナンシャル・トレーディングや金融工学を駆使したデリバティブをガス売買に組み込んでいった。

資金調達のために数多くのSPCを創設した。SPCはそれぞれ自立していなければならなかったが、このうちのいくつかでクロス担保が見つかり破綻に至った。

3章では、硬直的だったガスビジネスを金融ビジネスに変えたエンロンの興亡と、その後のエネルギー市場の発展について解説する。



アメリカのガスパイプライン会社だったエンロンが、ガスビジネスを金融ビジネスにしていったんだ



3.1 > アメリカのガス事業の自由化

1 エンロンが金融市場で果たした役割

天然ガスと金融・情報をビジネスとして、統合的に組み立てたのはエンロンだった。エンロンの功績は物理的な売買市場に加えて、ファイナンシャル・トレーディングによる金融市場を活発化させ、ガスのビジネスを流動性のあるビジネスに変えたことにある。エンロンによってエネルギーのDXは進展した。とりわけエンロンのエンロンオンライン (EnronOnline) は、ガスの売買プラットフォームとして機能し、当時の石油メジャーに先んじた形となった。エンロンの成功が、市場運営会社ICE (Intercontinental Exchange) の設立を促した。

原油WTI先物やヘンリーハブでのガス先物を支配するNYMEXに対し、ICEはブレント原油先物やイギリスNBP (National Balancing Point) でのガス先物を支配するものとなった。このようにエネルギーのDXとは、エネルギー市場のDX化に他ならない。市場とは人・物・金・情報をブラックホールのように吸い込むものである。

2 自由化前のガス事情

アメリカの電力とガス事業は、FPC (Federal Power Commission) によって規制されてきた。これは現在のFERC (Federal Energy Regulatory Commission) の前身である。FPCは、水力発電事業の規制・調整機関として1920年に設立された。1935年にThe Federal Power Act of 1935、1938年にNatural Gas Act of 1938がそれぞれ制定され、電力事業とガス事業の規制機関としての権限が強化された。

アメリカのガス事業は、このFPCの監督下で、価格の統制が行われてきた。当初ガスの生産者は、パイプライン事業者に決められた価格でガスを売り、パイプライン事業者は、ガス消費者あるいは購入者に決められた価格でガスを売るというものだった。パイプライン事業者にとっては、決められた価格での売買の差額が利益のため、ビジネスとしては魅力のない事業だった。契約はすべて相対取引で、当然マーケットは存在しなかった。

また、ガス事業はガス生産者にとっても投資意欲が湧かない産業であり、

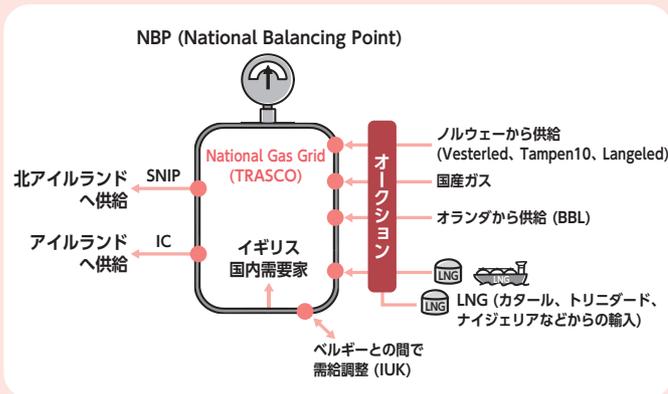
第4章 概要

イギリスでは1986年にサッチャー政権の下でガス事業法が施行され、ガス市場をつくることとガスインフラの維持管理運営を行うことを骨子としたエネルギー政策を策定し、国営ガス会社の民営化を断行した。1996年にさらなる改革が行われ、ガスパイプラインのNetwork Codeが策定された。

この中で、ガス幹線パイプラインの圧力バランスを一定に保つためのオークションが示され、その売買価格はNBP (National Balancing Point) スポット価格と呼ばれた。さらに、大陸側とのパイプラインの接続により、ロシアガス、北海ガス、そしてLNGが同じ土俵で取引をするための仕組みが作られた。

市場の運営はAPX社に移管され、電子プラットフォーム上で先物トレーディングが行われるようになった。そしてヨーロッパのガス自由化に大きく貢献した。

4章では、イギリスをはじめとするヨーロッパのガス市場形成について解説する。



イギリスでは国営ガス会社を民営化し、さらに大陸側のヨーロッパの国々とパイプライン接続することで、ガス取引の仕組みがつけられました



4.1 イギリスのガス事業改革と市場化

1 ガス事業改革

1980年代前半までは、ガス事業は、生産あるいは調達から輸送、配給まで国営ガス会社のブリティッシュ・ガス (British Gas) により独占的に行われてきた。1979年に政権についたサッチャー政権の下で1986年にガス事業法が施行され、British Gasの民営化が断行された。同時に消費者を守るためのガスの監督機関として、Office of Gas Supply (Ofgas) が設立された。のちにOfgasは、電力の監督機関と統合され、Office of Gas and Electricity Market (Ofgem) となった。

サッチャー政権の下で真っ先に行われたのが、改革の大枠を決めるエネルギー政策 (Energy Policy) の設定である。その中で2つの目標が示された。

1つは、ガス市場をつくることと、もう1つはパイプライン・インフラを維持管理運営することだった。この2つの目的を達成するために、まずは、ガスの売買とガスの運送の分離が行われた。1996年にブリティッシュ・ガスは、内部的に次のように3つの分野に分離集約されることになった。

UK Gas Business	国内のガス事業
Global Gas	海外のガス事業
Exploration and Production	石油・ガスの開発と生産

1997年にブリティッシュ・ガスはBGグループ (BG GROUP PLC) とセントリカ (Centrica plc) に分割され、BGグループは石油・ガスの開発/生産部門と国内ガスの幹線パイプライン網 (TransmissionとDistribution) を担うTranscoの両方を引き継ぎ、Centricaは国内の小売りを主業務とするようになった。

この1996年の改革により大口の消費者に関しては第三者アクセスが認められるようになり、直接生産者からガスを購入できるようになった。そして国内のパイプラインネットワークはNational Transmission System (NTS) と呼ばれ、Transcoによって運営されるようになった。

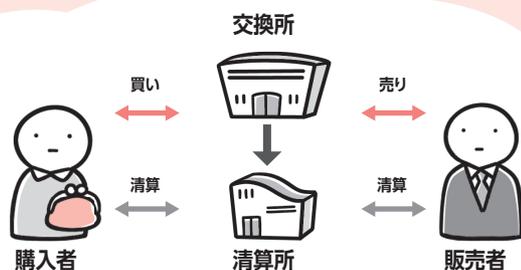
国営ガス公社の民営化によりガス公社がなくなったのではない。当初、イギリス国内でガスの小売りを行っていたセントリカはガス、LNG、電力と再生可能

第5章 概要

かつてセブンスターズのような恐竜が石油利権を独占していたが市場の発展により時代に見合わないものとなり、独占の象徴であった垂直統合が崩れ去った。パイプラインガスやLNGも同様にガスを保有する供給者と購入者の2者の相対契約から市場を介した売買に代わっていった。エネルギーの開かれた市場でもっとも上流にあるものは消費者であり、ガス権利の保有者は選択肢の一つでしかない。

5章では、ガスエネルギー市場の役割と発展、それを支えるDXについて解説する。

石油・ガス会社が独占していた時代から、ガスを自由に取引する市場が発展していったんだ。それにともなって、DXの役割も大きくなっているんだね



5.1 > ガス取引市場の設立

1 ガス取引市場の設立

① ガスエネルギー市場の要件

ガスエネルギーの公正な取引市場運営には、次の要件が必要となる。

①	インフラ運営とビジネスの分離
②	インフラ使用への第三者アクセス
③	運営の透明性
④	高度で頑丈な電子取引プラットフォーム

これらは一日にして成り立ったものではなく、歴史的な積み重ねや工夫の産物である。ガスエネルギーのDX化とは、エネルギー取引市場のDXに他ならない。その達成には法整備や制度設計、TSOパイプラインなど、物理的な投資が重要となる。

しかしもっとも重要なのは、市場運営を支えるプラットフォームの構築である。現在、プラットフォームの構築と覇権をめぐり、熾烈な戦いが行われている。

市場とは人、物、金を飲み込むブラックホールのような存在である。それを統合するのはDX、すなわち情報のプラットフォームである。

② 市場の役割

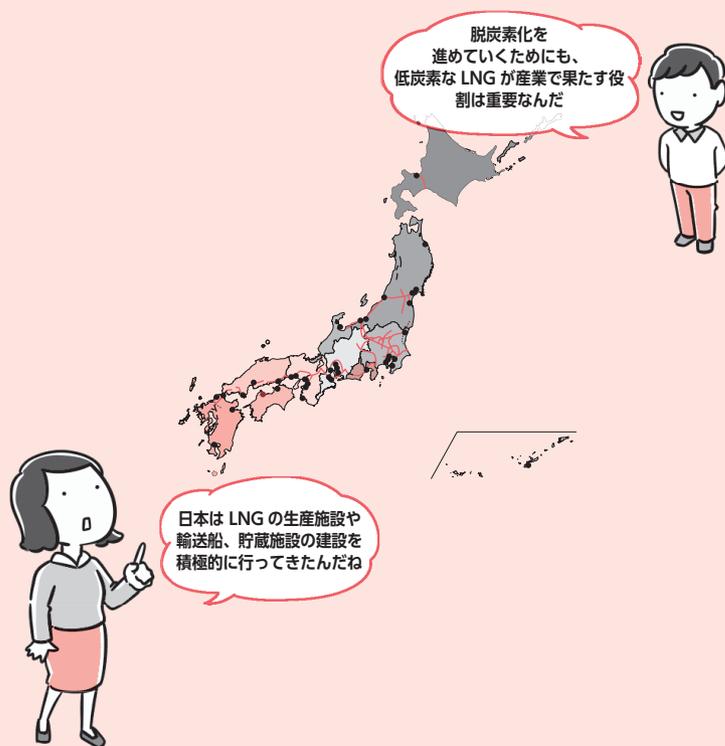
市場は複数の供給者、あるいは販売者と複数の需要家、または購入者の間での利害の調整機関として作用するものである。ガスの需要家は、次のことを考えている。

①	長期契約に縛られたくないけれど長期安定供給がほしい
②	不要なガスは買いたくない
③	価格の高いガスは買いたくない
④	前もってガスを買うよりも後で特定の価格で買うことのできるオプションがほしい

第6章 概要

LNGには産業の低炭素化を支える重要な役割がある。日本はLNG開発での生産施設や輸送船、貯蔵施設建設に関わる技術的な側面を含め、プロジェクト開発に大きな役割を果たした。電力とガス会社は、地域独占企業として、企業会計の総括原価方式とコストの消費者転嫁により、膨大な資金を長期にわたり安定的に投入することができた。

日本は世界のLNG開発を主導したが、市場設立により、LNGの流通の主導権を握るという発想はなかった。市場とは情報のプラットフォームの運営を通じ人、物、金、情報呼び込む存在であり、重要な経済インフラである。日本へのLNG持ち込みは利権であり、市場とは相容れないものとされてきたが、実際にはエネルギーの安全保障の観点からも重要な存在だった。



6.1 > 日本のLNG導入の背景

1 日本のLNG導入の歴史

① LNGの輸入・消費量

1969年に東京電力と東京ガスが、アラスカKenai LNGプロジェクトで生産されたLNG(液化天然ガス)の輸入を開始した。この時の輸入量は、年間96万tだった。現在は日本全体で、8000万tを消費するに至っている。そのうち57%が電力、36%が都市ガス、残りが産業用である。

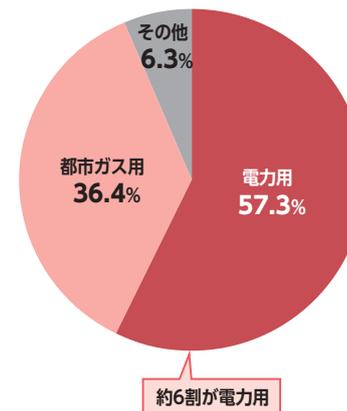


図6.1 日本の天然ガス用途別割合(2021年度)
出典：独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)
「天然ガスが暮らしを灯すまで(使う)」¹⁾をもとに作成

② 低硫黄原油と同等の価値を獲得したLNG

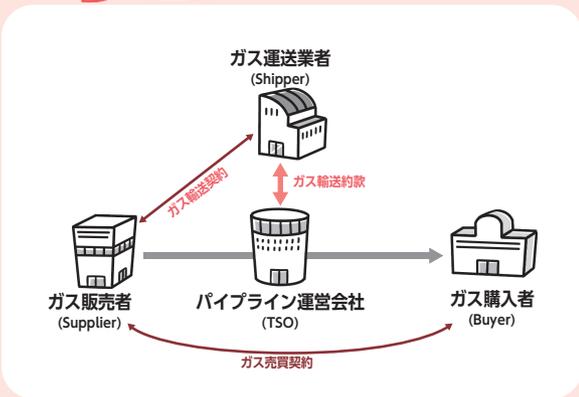
イギリスでは、ガス需要のほとんどが都市ガス用だったが、日本の場合、主要な需要者は電力会社だった。1960年後半には公害問題が深刻化し、低硫黄燃料の導入が求められていた。深刻化する公害問題に対して、電力会社は硫黄分の濃縮された重油に代わり、低硫黄の原油の生焚を行った。これにはインドネシア産の低硫黄原油(硫黄含有率0.1wt%以下)であるスマトラ・ライト原油やデュリ(Duri)原油、あるいは中国の大慶原油が選択的に用いられた。

自由な市場を支えるうえで、営利を求めない公正なガスパイプラインの運営者の存在は欠かせない。パイプライン事業者 (TSO) はその重要な担い手である。アメリカの規制緩和は、自由で公正な市場設立と TSO の設立が表裏一体で行われ、米国連邦エネルギー規制委員会 (FERC) のもとで促されてきた。

また、TSO には Net Zero の担い手としての期待も大きく、脱炭素と水素社会に向けた取り組みが進められ、その動向は注目に値する。



アメリカでは国家主導で、自由で公正な市場を確立するためのシステムがつけられているんだ



TSO (送電管理事業者) の役割は大きいんだね



7.1 > アメリカのパイプライン事業

1 パイプライン事業者 TSO の役割

欧米のパイプライン事業者 TSO (Transmission System Operator / EU では ITO) は、パイプラインによるガス輸送に特化した組織である。

TSO は、パイプラインを保有し、ガス生産者あるいは供給者とガスの需要者の2つのビジネスをつなぐインフラ事業者で、多数の生産者と需要者の間で需給のマッチングを取るために、互いに交信しながら運営されている。ガスの売買には関与せず、事業形態としては非政府機関、あるいは中立なる第三者機関である。なお、EU では、パイプライン資産を保有しないパイプラインの運営者を独立系システム運用事業者 (ISO: Independent System Operator) として区別している。

パイプラインのネットワークは、パイプ導管本体に、コンプレッサー、計量施設、ガス減圧施設、SCADA¹ とデータ監視施設、通信施設、LNG 製造と貯蔵施設、ガス貯蔵施設、腐臭施設 (人口密集地近傍の幹線パイプラインにも使用)、ガスの検針と料金徴収システムで成り立っている。これらは、SCADA の下で統合的に運用される。このように TSO は、自由で開かれたガス市場を支える重要なインフラとなっている。

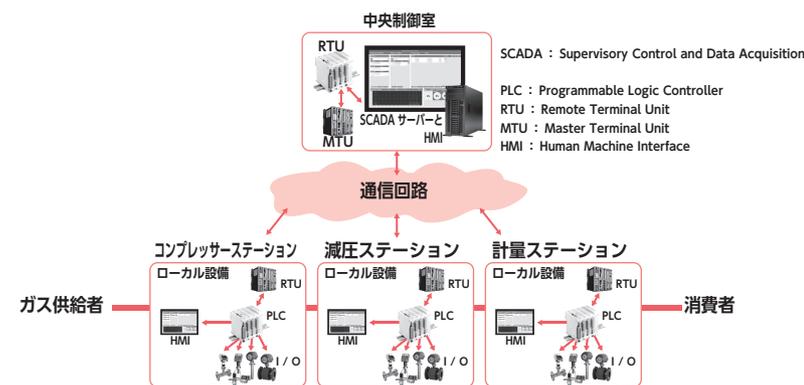
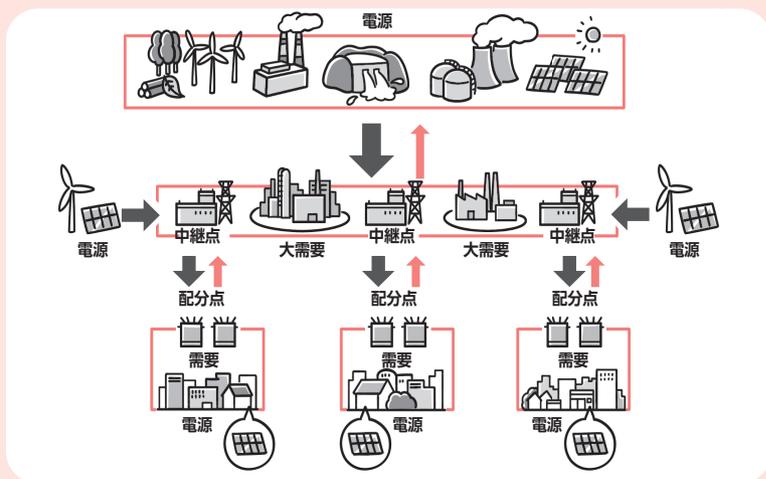


図 7.1 TSO・DSO の SCADA

¹ SCADA Supervisory Control and Data Acquisition の略で、「スキヤダ」と呼ばれる。インフラや製造、生産、発電、組み立て、精錬などを含む一連の製造工程のデータを集約し、コンピュータによる監視と制御を行うシステム。

8章では、エネルギー分野でDXが必要とされ、なぜ導入されるにいたったかの背景を解説する。また、コージェネレーション（熱電併給）や再生可能エネルギーでのエネルギー供給も加速する中、それを制御するためにもDXの果たす役割について解説する。



カーボンニュートラルの実現には、再生可能エネルギーの導入は欠かせない。そこでもDXの果たす役割は大きいね

8.1 > DX前のエネルギーは中央集権型

アメリカでのエネルギー改革は、まず、ガスの世界で実施され、ガスの世界で創出された「オープンアクセス」の概念に基づくエネルギー改革の手法が電力の世界に持ち込まれた。アメリカには多数のガス田があり、需要側の都市も全国に散らばっている。このような分散的システムを導管でつなぎ、かつ、公平性を担保して健全・経済合理的な市場を形成するには改革が必要であったわけである。

電力の世界は当初は地方で分立した世界であったが、全米が送電線で接続され、また、コージェネレーション（熱電併給）の地域エネルギーセンターや独立系の発電所（IPP）、再生可能エネルギーによる多数の発電所が設置されるようになると、送電線利用の公平性を担保するために、ガスの世界で作られた制度が電力の世界に持ち込まれる。しかし、瞬時にエネルギーが伝達される電力の世界でガスで確立された公平なシステムを動かすには、この頃同時に成長してきたIT技術をフルに用いる必要があった。電力では、より明確にDXを基盤としたエネルギーシステムが構築されることになる。

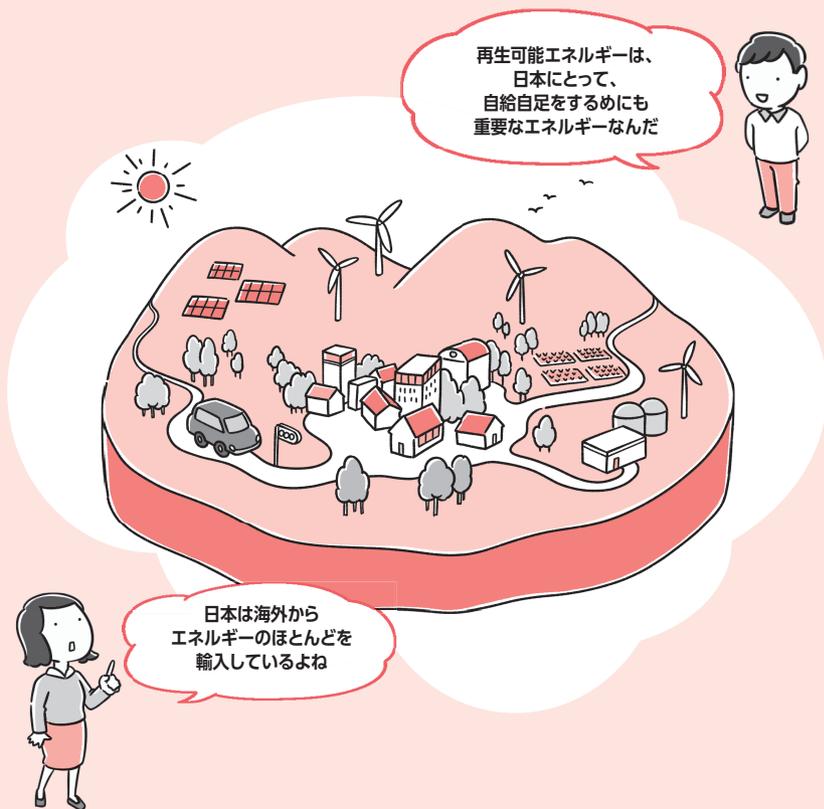
1 変電所を経由する電力供給

2000年頃までのエネルギー供給は、どこの国でも少数の大規模エネルギー供給源から、膨大な数の需要家に、順次、電圧やガス圧などを下げながらエネルギーを届ける形で行われていた。たとえば、電力であれば、遠隔地の大規模発電所から、

大規模変電所 → 中規模変電所 → 小規模変電所

と順次電圧を下げながら、下流に行くほど多数の電線に電力を分流させてユーザーに送り届けていくことになる。大工場や大規模ビルなどのエネルギーを大量に必要とする大口需要家には、供給力の大きい途中段階の高い電圧の電線から電力を供給することもある。

9章では再生可能エネルギーのポテンシャルや今後の動向について解説した上で、送電管理上の特徴について概説する。日本は長らくエネルギー輸入大国で、エネルギーのほとんどを海外に頼ってきた。第二次世界大戦直前まで、陸海軍の燃料のほとんどをアメリカからの輸入に頼っていたため、アメリカの石油禁輸政策が開戦の引き金になった。ところが日本の再生可能エネルギーのポテンシャルは、莫大で、再生可能エネルギーでエネルギー独立が実現可能である。



9.1 > 再生可能エネルギーは面的に分布する膨大な供給源

1 もとから存在する再生可能エネルギー

大規模な火力発電所や原子力発電所は、臨海部に燃料などが直接運び込めるように専用の港湾を整備してつくられるピンポイント型の立地である。これはエネルギー密度の高い燃料をさまざまな産地から持ち込んで、発電に使うためである。たとえば、100万kWのLNG（液化天然ガス）火力発電所であれば、年間100万tくらいの膨大なLNGを海外から買い付けて、発電所に持ち込むことになる。

一方で再生可能エネルギーは、農業と同じで太陽エネルギーや風力といった天然に広く分布するエネルギーを利用する。再生可能エネルギーは、基本的には元々に元々存在するエネルギーである。

2 太陽光発電のポテンシャル

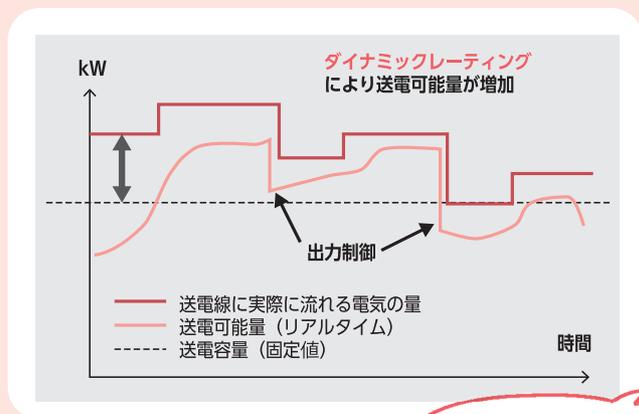
太陽光のエネルギーは、1平米当たり約1kWで、地球に太陽から降り注ぐエネルギー1時間分で全世界の1年間のエネルギーが賄えるといわれているが、なんといってもエネルギー密度が薄い。このために十分なエネルギーを得ようとするとかなりの面積を必要とする。

表9.1 2050年の太陽光発電のポテンシャル

土地	区分内訳	設備容量 (GW)	年間発電量 (TWh/年)		設置面積 (km ²)
農地	営農地	240	360		8,700
	荒廃農地	110	160		1,400
	小計	350	520	50%	10,000
住宅地	空き家整備地	80	110		1,000
	住宅屋根	180	270		9,900
	小計	260	380	37%	11,000
その他	宅地(住宅以外)	60	90		7,600
	低・未利用地	30	50		400
	小計	90	140	13%	8,000
	合計	700	1,040		29,000

出典：国立研究開発法人 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター
「国土の有効利用を考慮した太陽光発電のポテンシャルと分布」(2022)^[1]をもとに作成

10章では、具体的な送電管理のイメージを概説する。需給がリアルタイムで時々刻々と変化の中で、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。このようにすることで、過剰な安全幅を取る必要もなくなる。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。



DXで管理することで、
電力の送電管理を
効率的に行えるようになるね



10.1 > 電力の公平性と効率性の原則

1 オープンアクセスとフローベース

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なことはすでに述べてきたが、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。また、再エネ電力や需要は時々刻々と大きく変化している。

今まで発電所が送電線に接続しようとする、送電線を割り振るときに最大の発電電力（定格値）に合わせて送電契約を結ぶようなことが行われていた。しかし、先に述べたように気象や需要が変化の中で、再エネも火力発電も必ずしも常に定格値で発電しているわけではない。定格値で送電線を占有するようなやり方をアメリカでは、「コントラクトパス」と称しているが、需要などが絶えず変化している状況下でこのように固定的、人為的に送電割り振りすること自体が、あまり効率的ではない。

そこで、時々刻々の需給バランスの変化に応じて物理法則にしたがい実際に送電線を通る電力のままに送電線を使わせるのが、もっとも合理的であるとして「フローベース（実潮流ベース）」の送電利用が、アメリカのハーバード大学のホーガン教授から提案された。結局、FERC（アメリカ連邦エネルギー規制委員会）は、制度的には「オープンアクセス」を、技術的には「フローベース」を前提とした、改革を行った。

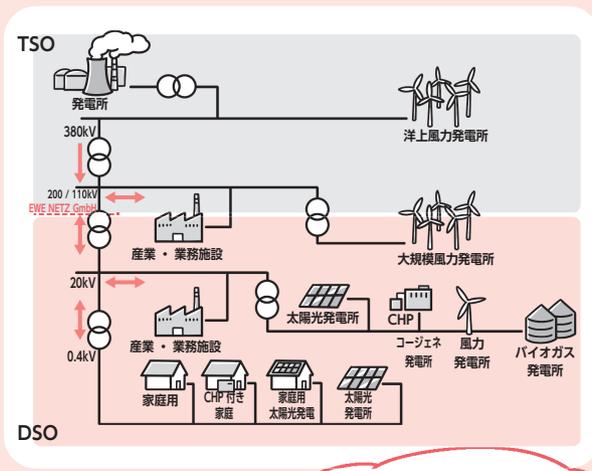
2 電力供給の効率的なルート

電力潮流は物理法則により、もっともエネルギーロスの少ないルートで発電から需要に供給される。ということは、たとえば、東北地方の発電所と東京の需要家が相対契約を結んでも、実際に東京の需要家に供給される電力のほとんどは、総体的に送電ロスの少ない東京近郊の発電所からの電力になることになる。

もちろん、相対契約した東北地方の発電所の電力も少しは実際に届くが、東北地方の発電所の電力のほとんどは、最寄りの東北地方の需要として吸収されることになる（[図10.1](#)）。

11章では、送電管理のDX化に伴い、市場の価格コントロールの防止や地域ごとの市場価格設定、需要側のコントロール、地域単位での需給管理といった多様な分野でのDXも進んでくる。

これは、根本となる送電システムをDX化することにより、これらと接続する各種の機能もDX化することで、システム全体の管理が情報システムとして一体的に行いやすくなるからである。



11.1 > コンピューターで行う市場価格のリアルタイム監視

1 市場の価格操作を監視するシステム

① 市場価格の操作を自動的に防止する NYISO システム

大規模な発電施設を保有する元の垂直統合の電力会社が、意図的に電力市場への出し惜しみなどを行うと、大きな価格影響力を持つことになる。

そこで市場価格操作の防止のために NYISO のシステムでは、AMP (Automated Mitigation Process) というシステムが組み込まれている。発電施設の約定のプロセスの中で市場支配力の行使に伴う市場価格の高騰などを判定し、自動的に防止する仕組みである。

市場への影響力の行使に関して NYISO は、次に示す三種のケースを想定している。

① 物理的出惜しみ	発電施設で本来提供可能な売入札・発電計画を意図的に NYISO に提出しないこと。
② 経済的出惜しみ	発電施設が発電指令を受けないように、または市場の約定価格に影響を与えることを目的に不当な高値の入札を提出すること。
③ 非経済的電力供出	本来非経済的な発電施設であるにもかかわらず、送電混雑を起こすため、ひいてはそれによって利益を得るために、意図的に発電設備の出力を上昇させるような入札を行うこと。

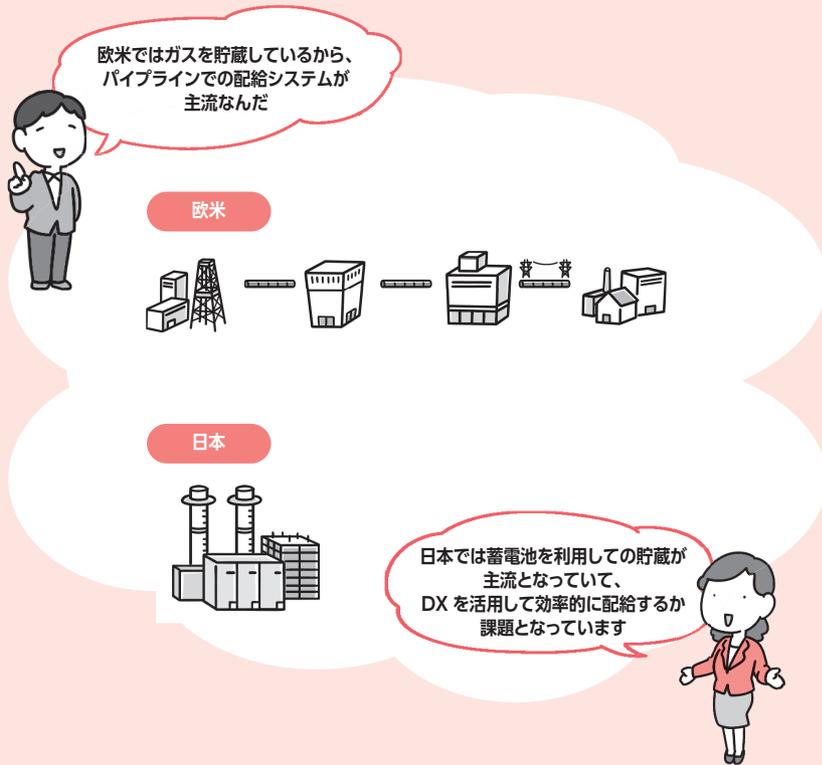
これらを判定するための検証は、次の① Conduct test (入札価格検証)、② Impact test (市場影響評価) の2ステップから成る。

① Conduct Test (入札価格検証)	各入札の価格を各入札に対する基準価格と比較し、両者の差異が ISO (送電グリッド管理者) の定める閾値を超過している場合、当該入札は「価格検証不合格」と判定される。
② Impact Test (市場影響評価)	価格検証不合格の入札の価格を基準価格に差し替えて発電約定のプロセスを行い、差替前の市場価格と比較してどの程度価格が変化したか確認する。リアルタイムの発電約定のプロセスでも、これが行われている。差替前後の市場価格の変化が ISO の想定する閾値を超過していた場合、Mitigation と呼ばれる市場支配力の抑制措置により、価格検証不合格の入札は強制的に基準価格に差し替えられる。

第12章 概要

12章では、DXを活用したエネルギー貯蔵の事例を紹介する。

欧米ではガス貯蔵により、パイプラインでの配給システムが主流だが、日本では蓄電池による貯蔵が主流となる。欧米の事例から日本の問題についても解説する。



12.1 国内外のガス貯蔵施設

1 アメリカのガス貯蔵施設

エネルギー貯蔵というと日本では蓄電池やLNG（液化天然ガス）タンクを直ぐに思い浮かべるが、どちらも短期貯蔵向きで長期貯蔵には適さない。ところが、天然ガス需要は、一般に季節によって大きく異なる。暖房や加熱用の天然ガスは、気温が低い時に需要が増える。電力の需要もエアコンが活躍する夏と冬にピークがあり春秋は需要が少ない。

欧米では、天然ガスの比較的低需要—低価格—の期間に貯蔵し、比較的高需要および高価格の期間に貯蔵からガスを引き出し、ガスの調達コストを全体として下げるようなことをしている。ガス貯蔵への注入力、引出量は、需要と生産の差となる。

ガス貯蔵により、送ガスパイプラインと配給システム全体の柔軟性が増加し、また、ガス貯蔵が低需要の期間の過剰なガスの捌け口となることによって、価格の適正化にも寄与する。ガス貯蔵施設は、また、高需要期にガスの入手を容易にし、高需要期のガス価格を下げることに寄与する。

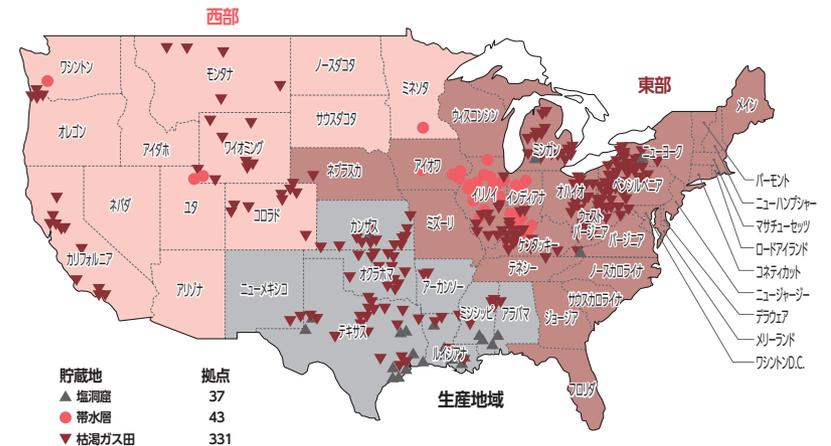


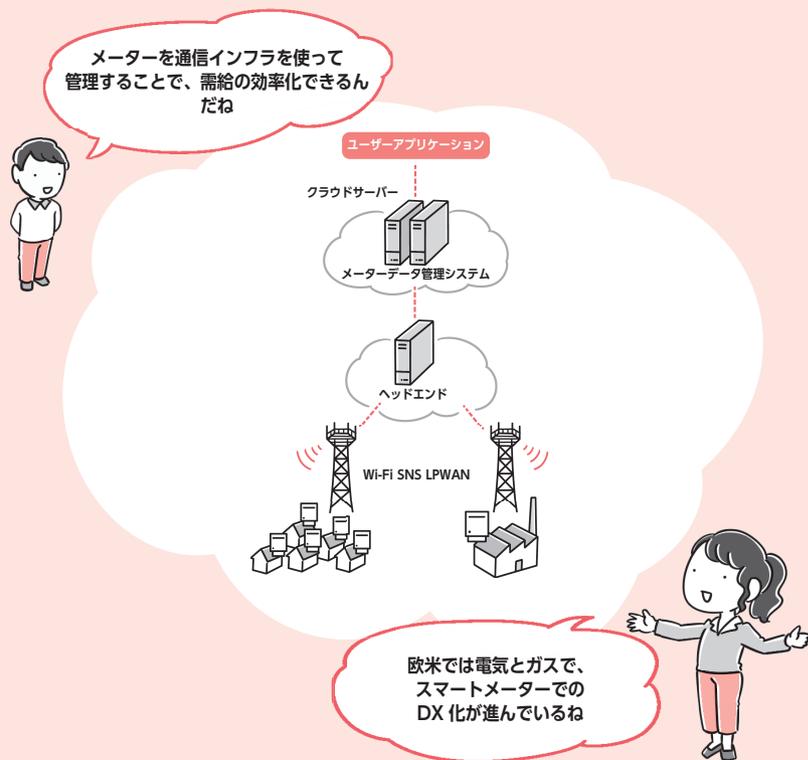
図12.1 アメリカのガス貯蔵施設

出典：米国連邦エネルギー規制委員会 (FERC) 「Energy Primer」(2015)^[1]をもとに作成

電気・ガス用スマートメーターにより、エネルギーの消費量がリアルタイムで可視化され、記録を即座に確認することができるとともに、消費者も当事者となり、エネルギーのピークの調整に協力できるようになる。

とりわけ電力分野では、太陽光発電や電気自動車の登場により、配電線の末端に取り付けられたスマートメーターはネットゼロを計量可視化するための重要なインフラの一部になる。

13章では、電力・ガス用スマートメーターなどによって効率化を図るDX化の有用性について解説する。



13.1 > 欧米のガスのスマートメーター

電力やガスメーターのスマート化が急速に進んでいる。欧米ではスマートメーターはNet Zeroを計量可視化するための重要なインフラの一部と認識されている。スマートメーターは、メーターと中央システム間の双方向通信により、スマートグリッドの一部となる。これはAdvanced Metering Infrastructure (AMI) とも呼ばれるものである。

とりわけ電力分野では、太陽光発電や電気自動車の登場により、配電線の末端のスマートメーターが逆潮流の検知などを含む重要な役割を果たすと認識されている。

電力用スマートメーターは、電力消費量、電圧レベル、電流、力率などの情報を記録し送信する電子デバイスである。スマートメーターは電力メーターをさすことが多いが、ガスや水道も含まれる。

1 ガスのスマートメーターの重要な機能

ガスのスマートメーターには自動検針機能に加え、安全・保安機能が備わっていることが重要な要件となる。消費者も当事者となり、エネルギーをほぼリアルタイムで記録確認し、場合によってはガスの供給・運営者と一緒に消費ピークを調整する役割を担うことになる。

ガスのスマートメーターにとって安全面で欠かせない機能は、ガス漏れ検知や地震などの災害時では安全措置とガス遮断後の復旧時に対応する機能である。

2 スマートメーターによるモニタリング

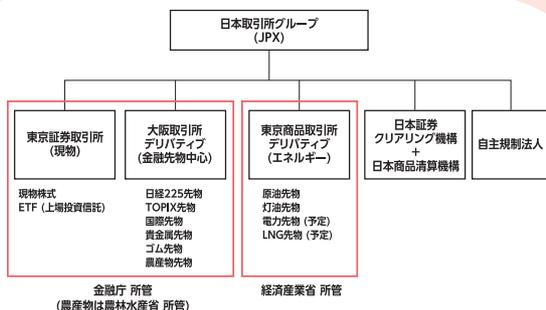
欧米でのスマートメーターは各戸あるいは事業所に取り付けられ、エネルギーネットワークの一部を構成している。室内に設置されたモニターでエネルギーの消費状況とコストについて見ることができる。

スマートメーターは通信ネットワークに接続され双方向の通信が可能となっている。通信ネットワークは広域をカバーするために多様なシステムの組み合わせですべてのユーザーとつながるように設計されている。

第14章 概要

電力のDX化を加速させるためには、取引を円滑に進めるための取引所の整備も欠かせない。現状では電力やガスを取引する先物市場がないことが課題となっている。

14章では、商品取引所の課題と、今後どのような仕組みが必要かについて解説する。



日本では電力やガスの先物を取引する市場がないの？

エネルギーのDX化を進めるためにも、取引所の整備が急務になっているんだ

14.1 日本総合取引所が設立された経緯

1 日本の金融取引の課題

世界的商品先物市場が活況を呈しているなかで、日本の商品先物市場は低迷を続けてきた。

これまで日本の市場では、商品先物取引所で直接取引ができるのは商品取引所の会員に限られ、取引所と各投資家あるいは委託者の橋渡しの役割を担ってきた。また商品先物取引市場は、農林水産省と経済産業省がそれぞれ管轄、金融商品は金融庁の管轄となり、一元的な取引の妨げとなってきた。

たとえばこれまで株式指数や個別株、債券といった金融先物・オプションは「大阪取引所」、貴金属やゴム、農産物の先物は「東京商品取引所」で取引されていた。株価指数や個別株は「金融商品取引法（金融庁）」、貴金属は「商品先物取引法（経済産業省・農林水産省）」といったように分かれていたため、金融先物と商品先物は別々の口座で取引する必要があった。

2 総合取引所の誕生

2019年11月1日に東京商品取引所は日本取引所グループの完全子会社となり、日本取引所グループと東京商品取引所は経営統合した。そして2020年7月27日、東京商品取引所に上場していた貴金属やゴム、農産物の先物を大阪取引所へ移管し「総合取引所」が誕生した。総合取引所とは、幅広いデリバティブ（金融派生商品）取引を一元的に提供する取引所のことである。先物・オプション取引の清算業務を一括して行う日本証券クリアリング機構と日本商品清算機構も統合された。

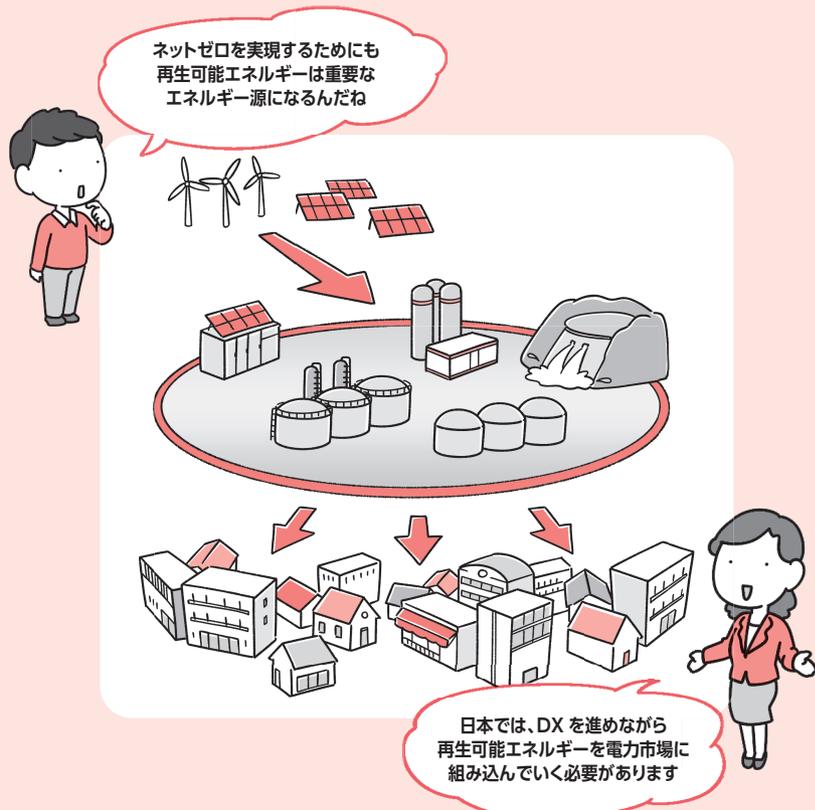
今回の総合取引所の実現により今後は一つの口座で取引できるようになった。総合取引所の実現によって期待できる効果は、主に投資家の利便性向上と結果的に期待される市場の流動性向上である。

第15章 概要

2050年のネットゼロ(温室効果ガス正味ゼロ)を実現するためには、再生可能エネルギーの調達が必要となるが、電力やガスの相対取引で再生可能エネルギーを調達すると、エネルギー流通に伴うさまざまな制約やインバランス反則金などの問題が生じる。

そこで、再エネ価値をエネルギー価値と切り離して取引するシステムがアメリカで考案された。

15章では、海外の事例を見ながら、再エネを日本の電力市場にいかに関与させていくかを解説する。



15.1 再生可能エネルギー価値取引の経緯

1 再生可能エネルギーの推進システム

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をするためのツールである。

表15.1 欧米の再生可能エネルギー推進システム

証書	対象国・地域	証書管理システム
GO (Guarantee of Origin)	欧州連合 (EU) 加盟28カ国アイスランド、ノルウェー、スイス	EECS (European Energy Certification System) または国別のシステム
REC (Renewable Energy Certificate)	アメリカ、カナダ、プエルトリコ	地域・州別のシステム
I-REC (International Renewable Energy Certificate)	ブラジル、チリ、中国、コロンビア、グアテマラ、ホンジュラス、インド、インドネシア、イスラエル、ヨルダン、マレーシア、メキシコ、モロッコ、ナイジェリア、ペルー、フィリピン、サウジアラビア、シンガポール、南アフリカ、台湾、タイ、トルコ、UAE、ウガンダ、ベトナム (2019年6月1日時点)	国・地域別のシステム

(注) 2024年からI-RECが日本にも導入された。

出典：株式会社ウェストボックス「海外の再エネ証書(電力)」¹⁾をもとに作成

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ならざるを得ないという考えられてきた。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、時々の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が、これをより明確に電力価値と再エネ価値を分離したのである。

再エネ価値を分離すると、重複する発電履歴の再エネ価値証書をつくらないう、いつ、どの発電所で、と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

20世紀になると、石油は小型で高効率なエンジンの燃料として、戦争の行方を決める決定的な戦略物質となった。

エネルギーのDXは、エネルギー経済の発展の歴史である。20世紀の前半はセブン・シスターズという恐竜が闊歩する世界だった。石油輸出国機構(OPEC)の登場により恐竜の時代は終焉を迎え、市場経済の時代となった。

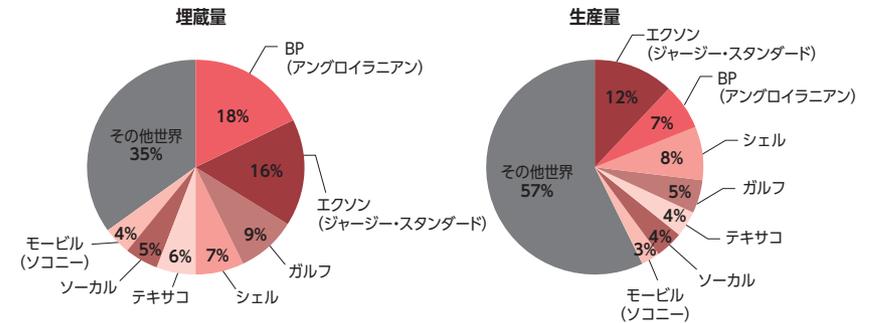
本章では、本編では触れきれなかった環境価値やエネルギー価値の取引のための情報と、そのプラットフォームが覇権を争う時代になった経緯を解説する。

付録 1 > エネルギーとして使われはじめた石油の歴史

[1] エネルギー経済の発展により重要になったDX

産業革命の進展に伴いエネルギーの需要が高まり、当初は石炭、そしてより高効率で小型化が可能な石油燃料が重要な役割を果たしてきた。

エネルギーのビジネスはオセロゲームに似て、端を取ったものが勝つ。アメリカのジョン・D・ロックフェラーは乱立状況にあった油田開発には興味を持たず、石油製品市場の独占により巨額の富を手にした。その後、セブン・シスターズと呼ばれた石油メジャー7社は、世界の石油資源を独占することにより、巨万の富を得た。



図A.1 セブン・シスターズの埋蔵量と生産量(1949年時点)

出典：経済産業省・資源エネルギー庁「エネルギー白書2016—平成27年度エネルギーに関する年次報告」(2016)^[1]をもとに作成

石油輸出国機構(OPEC)の登場により独占は崩れ、原油・石油製品の市場化の時代が始まった。市場には人・物・金・情報が集約される。これによりエネルギーのDX化が開始され、金融工学の発展により多くの金融派生商品がつけられるようになった。

現在は地球温暖化という課題が加わり、低炭素化への対応が求められている。それを解くカギは、エネルギー利用のさらなる効率化技術開発と精緻な情報をベースに、高度で統合的な環境価値や、エネルギー価値の売買のためのプラットフォームの構築だろうと考えている。