第4次産業革命とエネルギー

慶應義塾大学大学院政策･メディア研究科特任教授
遠藤典子氏（2018/5講演　文責:当懇談会）

【略歴】京都大学大学院エネルギー科学研究科博士課程修了（エネルギー科学博士）。経済誌副編集長等を経て、2013年東京大学政策ビジョン研究センター客員研究員、2015年より慶應義塾大学特任教授（現在に至る）。経済産業省原子力小委員会委員、総合科学技術･イノベーション会議基本計画専門調査会委員など。

【著書】「原子力損害賠償制度の研究―東京電力福島原発事故からの考察」（岩波書店2013年）でエネルギーフォーラム賞（2014年）、大佛次郎論壇賞（2014年）受賞等。

はじめに

今回は「第4次産業革命とエネルギー」についてお話します。この「第4次産業革命」とは、AI（人工知能）や、ビックデータ、モノとインターネットをつなぐIoTなどの技術基盤によって、産業構造や就業構造が劇的に変わることを指します。この第4次産業革命が今後の電力消費にどのような影響を及ぼすのかを考えながら、原子力をはじめとした日本のエネルギー事情などについてお話したいと思います。

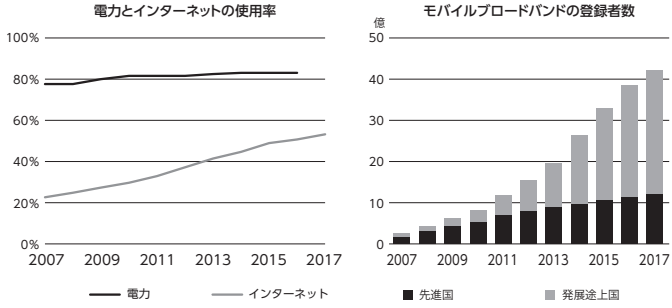
イノベーションによる電力消費の増加

◇インターネット利用者増

現在、インターネットにおける通信量は過去5年で3倍に拡大しています（資料1）。また、世界でやり取りされているインターネットデータの約9割は、過去2年で構築されたもので、これがさらに加速していくことが予想されます。みなさんが使っている携帯端末は、クラウド化、つまりデータセンターにデータを預けることで本体の容量を軽くし

資料1　途上国を中心にモバイルブロードバンドの環境が急速に改善

・35億人超、世界の人口の約半分がインターネットを利用
・モバイルブロードバンドの登録者は2017年に40億人超え（携帯電話登録者数は77億人）



出所：ITU, IEA

ていますが、逆にいうとデータセンターで処理している情報量がかなり大きなものになるということです。

また、電気を使用している人はここ10年以上世界で8割以上に達していますが、インターネット利用者は世界の人口の半分以上がアクセスできる環境に一気に躍進しました。また、携帯端末の登録者は世界で77億人に達し、携帯端末での決済や、大量のデータをやり取りするモバイルブロードバンドの登録者も発展途上国を中心に増加しています。

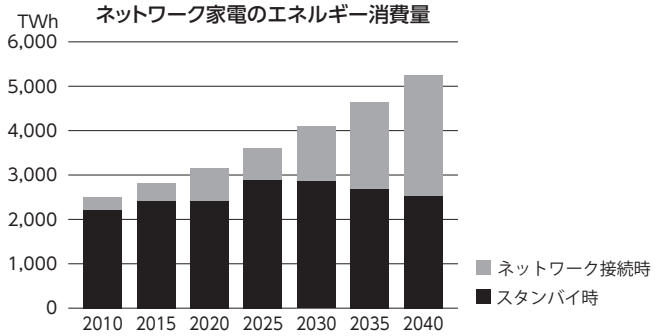
◇電力消費を増やすイノベーション

これからは自動運転の電気自動車の時代になり、スーパーで買い物したものが自動運転で運ばれるなどモビリティーサービスが一般化していくでしょう。

もう一つの注目が、仮想通貨の取引です。この取引は常時コンピューターで演算しているため非常に大きな電力を消費しており、2020年にはデンマーク1国分の消費量に並ぶという試算もあります。

資料2　ネットワークに接続された家電製品の電力消費が急拡大

「デマンドレスポンス」に対応できるという利点もあるが、スタンバイ時も電力を消費する



出所：IEA

このほかにも、3D造形装置や3Dプリンターなどで加工される付加的製造技術の普及、人感センサーや温度変化を室内で感知する装置の普及があげられます。

例えば、夏に効率的に部屋の温度を下げられるよう、部屋に設置したサーモスタットをAIが動かす、といった家のオートメーション化では、センサー装置が重要な働きを果たすだろうといわれています。さらに、ネットワークに接続することで家のオートメーション化を実現するスマート家電は、常時、電力が消費され、電力消費は急激に増加するといわれています（資料2）。

一方、生活がスマートになることで、例えばAIやIoTの技術を使って電力需給をやり取りし、相対的に電力消費を抑える「デマンドレスポンス」などの新しいサービスも生まれています。

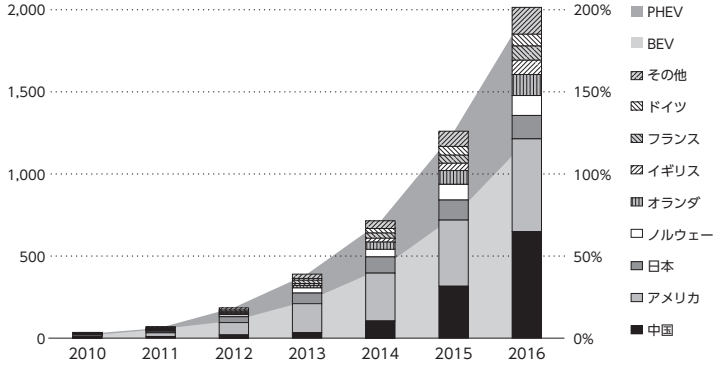
この電力消費における正と負の局面についていろいろな試算がありますが、私は、発展途上国の人口増加と経済発展に加え、先進国における電化の進展によって、電力消費が増えるのではないかと思います。

◇電気自動車の台頭

次に電気自動車の普及について、米国と中国市場を中心に急拡大しています（資料3）。このさらなる普及にはリチウムイオン電池の問題があります。この電池には、レアメタルの一種であるリチウムやコバルトなどの希少金属が多く使われること、半固体電池から全固体電池へ

資料3　EVは2016年に世界で200万台を突破

バッテリーEV（BEV）車、プラグインハイブリッドEV（PHEV）車の普及状況



出所：IEA

の開発が必要であることなどイノベーションが必要ですが、世界の投資がそちらへ向かえば確実に進んでいくでしょう。自動車がガソリンから電気に代わっていくということは、エネルギーにおいても大きな革命を及ぼすでしょう。

◇安価で安定した電力供給

こうしたイノベーションが起きるときに、日本の電気料金は割高で、しかも電力供給が不安定でいいのでしょうか。

これからは、ますます安価で安定的なエネルギー変換効率の高い電力が求められるでしょう。再生可能エネルギーだけではその役割は果たせないため、気候変動問題を考慮すれば原子力が必要になってくると考えています。

エネルギー安全保障と原子力

◇長期的なエネルギー政策の必要性

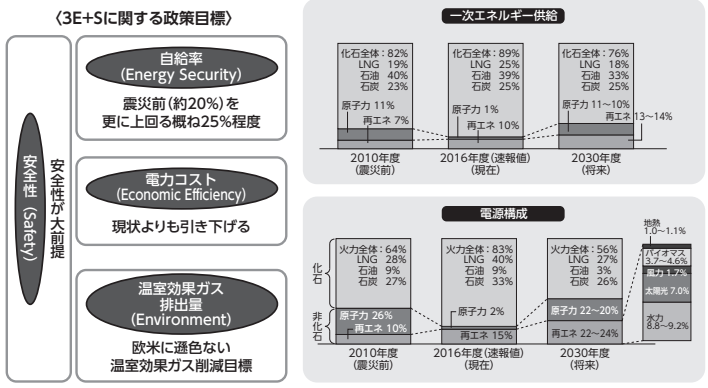
今、日本が直面しているエネルギー安全保障上の留意点の一番目は、原子力発電の再稼働が遅れているために、エネルギー自給率が一番低い時で6.3%まで低下してしまったことです。これは福島第一原子力発電所事故の影響で原子力発電が停止し、火力発電の炊き増しによる化石燃料への過度な依存によるものです。

先ほども申し上げましたが、第4次産業革命によって電力消費が増加する可能性があり、安価で安定的なエネルギー変換効率の高い電力供給が必要となります。これを基盤として、AIやIoTによるアプリケーションサービスの開発･普及がもたらされますし、電気自動車による自動運転等が加速します。これからの主力産業を支えるインフラとして安定的な電力供給が重要な使命を果たしますので、エネルギー安全保障の観点からもしっかり考えなければなりません。

しかし、福島第一原子力発電所の事故から7年が経過しましたが、原子力政策においてはリプレース（建て替え）に対する明確な政府の方針が示されていません。原子力発電の再稼働にあたっては、長期的な視野に立った政府による政策立案が行われないと、稼働できない状態が続き、原子力技術の流出や人材離れなど日本の原子力政策に大きな影響が出てしまいます。

2030年に向けた日本のエネルギー政策目標（資料4）では、「エネルギー基本計画」の見直しにおいて原子力のリプレースについては言及しないという方針を採りました。エネルギーミックスについても2015年から内容が変わらず、原子力と再生可能エネルギーで電源構成の44%をまかなうとしながら、相変わらず石炭や天然ガスへの依存状態は続きます。

資料4　2030年をターゲットとした日本のエネルギー政策目標

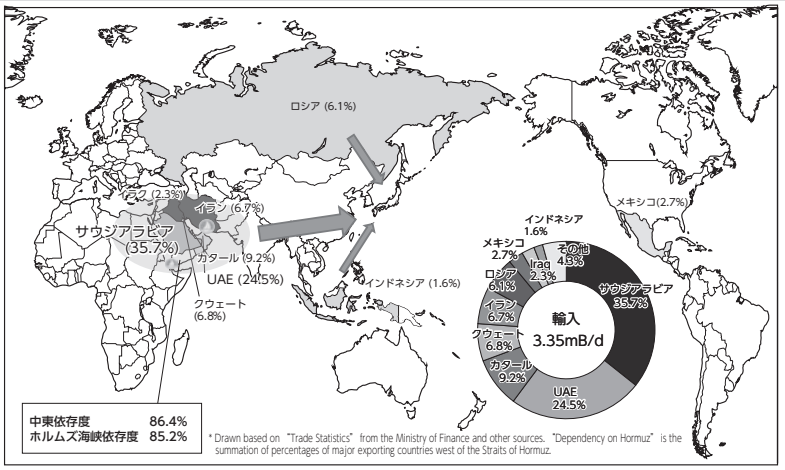


出所：資源エネルギー庁

◇安全保障上のリスク

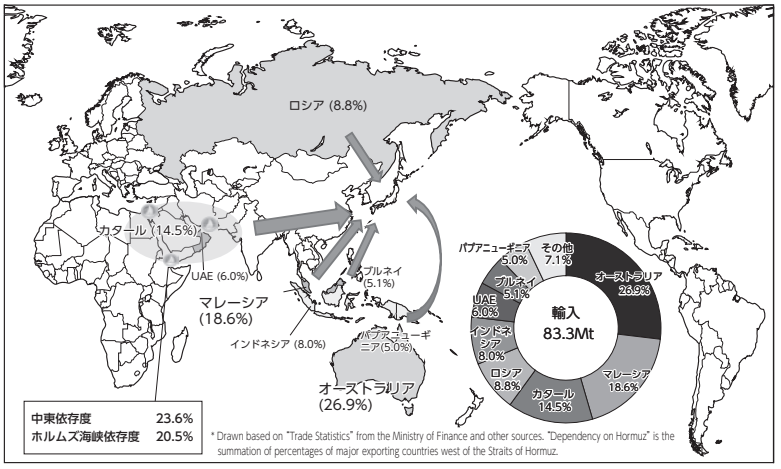
日本は原油の輸入先として、中東諸国に86. 4%を依存しており、ホルムズ海峡を通るルートで見ると85. 2%を依存しています（資料5）。この地域は海賊活動が多く、また社会情勢が不安定で、実際に石油の途絶が起こったこともあり、中東諸国に依存するリスクが懸念されています。

資料5　日本の主な原油調達先（2016）



一方、天然ガスはオーストラリアやマレーシア、ロシア、UAEなどから輸入され（資料6）、調達の多角化が進み、さらにアメリカのシェールガスの調達も可能になりました。

資料6　日本の主な天然ガス調達先（2016）



しかし、他にも原油や天然ガス供給の遮断リスクがあります。今、アメリカと中国の対立や駆け引きが明確になっていますが、中国はその勢力を周辺地域に拡大することを目指してきました（資料7）。もし、マラッカ海峡を通過できない状況となれば、日本船はロンボク海峡を通過することを強いられ、輸送費だけで年間300億円の負担が増加します。エネルギーの安全保障においては、東アジアに対しても留意する必要があると考えます。

また、原油価格も高騰しており、これからも高値が維持されるだろうと予測されています。原因の一つは、アメリカがイランへの経済制裁を再開するという声明を発表したことです。

もう一つの要因はベネズエラが財政悪化による資金不足から産油量が落ち込み、過去30年間で最低レベルになったことです。

あいにく日本が輸入する天然ガスの価格は、原油価格に連動するシステムになっています。他国の市場は天然ガスだけの市場があるのですが、日本だけ

資料7　中国が主張する第1列島線と第2列島線

※第2列島線まで航行不可能となった場合は、オーストラリア南岸まで迂回する必要が生じる。

は原油価格が上がると天然ガスの価格も上がります。日本はこのようなリスクがあり不安定なエネルギー事情だということを考えなければなりません。

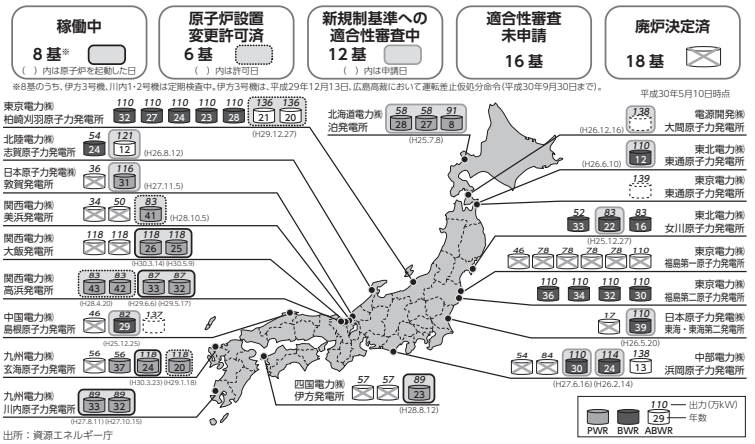
しかし、エネルギー安全保障の問題は、国民一人ひとりの気持ちに響かず、なかなか理解してもらえないのが実情です。

厳しい事業環境

◇新規制基準

原子力発電所の再稼働と新規制基準への適合状況は厳しくなっています（資料8）。原子力事業者による安全対策投資も膨らんでおり、公表した費用を2017年の半ばで合算すると4兆円を突破しています。電力事業者は、総括原価方式で得られる安定的な利益を原資に長い期間をかけて電源を開発し、電力の安定供給に努めています。既存の原子力発電を稼働させれば、安価な電源となることが容易に想像できます。原子力発電の燃料費コストは僅かのため、震災前のような7～8割という稼働率で運転できれば、コストが下がります。しかし、訴訟によって運転が止められたり、新規制基準に適合できずに再稼働できなければ、原子力発電は戦力外になってしまうのです。

資料8　日本の原子力発電所の再稼働と新規制基準適用状況



出所：資源エネルギー庁

◇技術伝承の懸念

福島第一原子力発電所事故による賠償費用は、総額8兆円（東京電力と他の電力会社が半分ずつ負担）です。原子力産業の市場規模は約1兆8500億円、関連企業は約400社、雇用は約5万人と試算されています。今後は原子力産業の市場規模は縮小すると予測されており、原子力技術の伝承ができなくなることが喫緊の課題です。

◇持続可能な事業体制

資料9の通り、世界では、原子力は依然として気候変動問題に対処するための主力電源の中の一つと位置付けられており、今後も市場規模が拡大すると予測されています。日本がパリ協定の目標を達成するためには、二酸化炭素の排出量が多い火力発電は減っていかざるを得ません。特に石炭に関しては、日本がどれだけ高効率な石炭火力発電所を作っていてもとりわけ金

資料9　世界の電源別市場規模見通し

	2016年	2040年（IEA見通し）			
		各国自主目標（日本は▲26%）水準※1		パリ協定目標達成水準※2	
電力需要（世界発電量）	24 兆kWh	39 兆kWh	+150 兆円	36 兆kWh	+120 兆円
再エネ	6 兆kWh	16 兆kWh	+100 兆円	23 兆kWh	+170 兆円
太陽光 風力	1兆kWh（太陽光：0.3 風力：1.0）	7兆kWh（太陽光：3.2 風力：4.3）	+60 兆円	12兆kWh（太陽光：5.3 風力：7.0）	+110 兆円
原子力	3 兆kWh	4 兆kWh	+10 兆円	5 兆kWh	+20 兆円
火力	16 兆kWh	20 兆kWh	+40 兆円	8 兆kWh	-80 兆円

※1 新政策シナリオ　※2 持続可能な発展シナリオ
注：2016年⇒2040年の市場規模変化（市場規模は10円/kWhと想定して概算）　出所：IEA WEO2017より作成

融市場から、厳しい視線を向けられるでしょう。

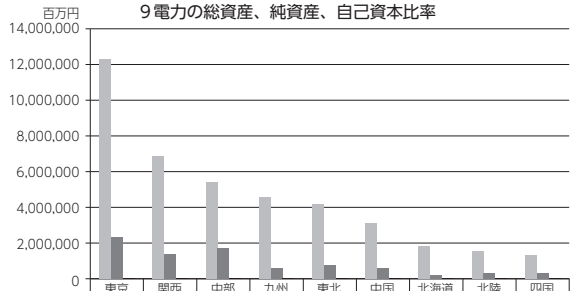
では、原子力事業を持続可能性があるようにするにはどうすればいいのでしょうか。エネルギー基本計画を受けて、2030年の電源構成における原子力発電比率を20～22%にするという目標になっていますが、このためにはおおむね30基が再稼働し稼働率は80%を超える必要があります。

2050年以降も原子力が必要であれば、原子力発電のリプレースは必須になります。原子力発電をリプレースするときの事業運営体制や資金調達をはじめとする政策的な支援の検討、ファイナンスに政府の保証をつけるなど、具体的な取組みを議論する時期になったのではないかと思います。そして、廃炉作業が安定的に行われることも必要です。

◇自己資本、負債

電力会社は総括原価方式という仕組みの中で、安定的なキャッシュフローが入ってくる事業体として運営してきました。従って、自己資本を薄く、負債を厚くし、レバレッジを効かせることが合理的でした。しかし電力自由化で総括原価方式が失われます。しかも過酷事故のリスクを考えると、原子力事業は自己資本100%の事業体がやらなければならないのかもしれません。それは極端だとしても、これまでとはまったく違った仕組みが必要になると考えられます。

資料10　依然として低い電力会社の自己資本比率



	東京	関西	中部	九州	東北	中国	北海道	北陸	四国
■総資産	12,277,600	6,853,182	5,412,307	4,587,541	4,145,928	3,100,754	1,829,539	1,518,076	1,301,267
■純資産	2,348,679	1,344,696	1,724,713	574,577	755,624	581,162	200,022	327,614	303,879
■自己資本比率	19.1	19.3	31.1	12	16.8	18.6	10.3	20.4	23.3

出所：各社有価証券報告書（平成29年3月期）

おわりに

日本には潤沢なエネルギーの需要があります。二酸化炭素の排出量など地球温暖化の面も含めて、発電効率がよく安定的に電気を供給できる原子力発電は、これからも大きく期待される電源であろうと考えられます。

そして、エネルギー安全保障の問題は、今後ますます重要性を増すと予想されます。エネルギーの自給率を上げることが必要ですが、再生可能エネルギーはまだまだ道半ばです。すでにある原子力発電を、将来にわたって使っていくことは合理的な選択でしょう。

もちろん原子力事業者は安全な投資を継続し、事故リスクへの備えを可能にする強い財務基盤を持った事業者でなければなりません。

一方で政府は事業予見可能性を確保するために、長期的コミットメントを示し、諸政策を変えていく必要があると思います。すぐにでも着手しなければならない問題が山積しています。電気事業者には危機感と強い覚悟を持っていただくとともに、日本のエネルギー・産業が安定的な力を維持できる状況こそ、第4次産業革命の重要なインフラであると考えます。