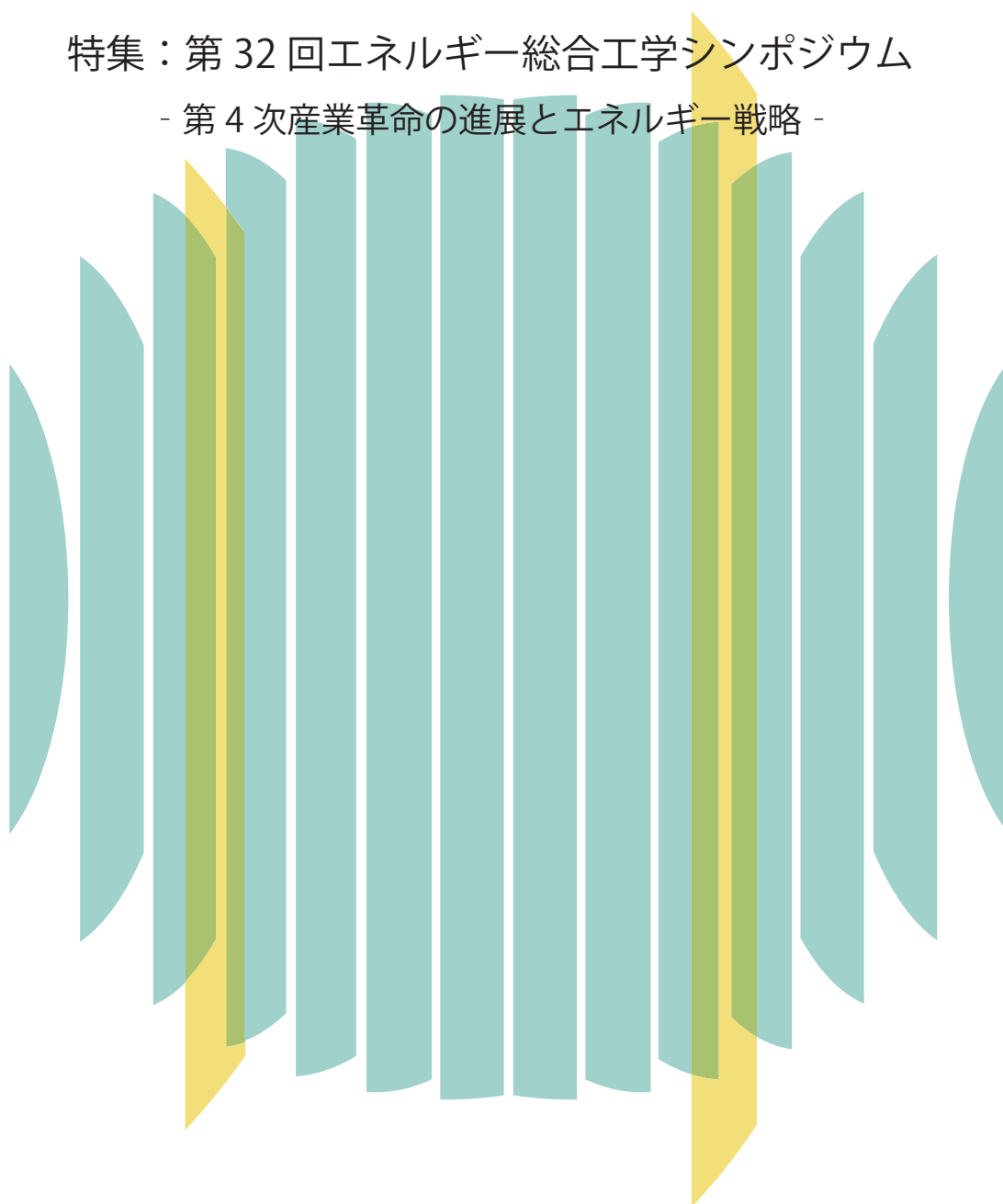


季報 エネルギー総合工学

Vol. 40 No. 4 2018. 1

特集：第 32 回エネルギー総合工学シンポジウム
- 第 4 次産業革命の進展とエネルギー戦略 -



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

第 32 回エネルギー総合工学シンポジウム

第 4 次産業革命の進展とエネルギー戦略



来賓挨拶を述べる 福島 洋 経済産業省 技術総括・保安審議官

日 時：平成 29 年 10 月 6 日（金） 10：00～15：20

場 所：千代田放送会館

総合司会：理事 重政 弥寿志

目 次

【開会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 理事長	白土 良一 …… 1
【来賓挨拶】	経済産業省 技術総括・保安審議官	福島 洋 …… 3
【特別講演】		
米国エネルギー分野における7つの動向		
米コロンビア大学 世界エネルギー政策センター 創立フェロー	デービッド・サンダロー …… 6	
【講演】		
持続可能なエネルギー安全保障戦略		
公益財団法人 笹川平和財団 会長		
元国際エネルギー機関 (IEA) 事務局長	田中 伸男 …… 17	
【講演】		
「Society 5.0」における未来社会像とエネルギー		
内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 議員	原山 優子 …… 33	
【講演】		
ICTを活用した新たなエネルギーシステムの構築		
早稲田大学大学院先進理工学研究科 教授		
先進グリッド技術研究所 所長		
スマート社会技術融合研究機構 機構長	林 泰弘 …… 42	
【講演】		
第四次産業革命がエネルギービジネスにもたらすインパクトと課題		
(一財) エネルギー総合工学研究所		
プロジェクト試験研究部 特任参事	新谷 隆之 …… 57	
【閉会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 専務理事	中村幸一郎 …… 68
【研究所のうごき】	……………	70
【編集後記】	……………	72

開 会 挨拶

白土 良一 (一財) エネルギー総合工学研究所
理事長



皆様、おはようございます。本日は、ご多用中のところ、第32回エネルギー総合工学シンポジウムに多数ご参加賜り誠にありがとうございます。また、皆様には日頃より当研究所の活動に関しまして、ご理解ご協力を賜っておりますことをこの場を借りまして、厚く御礼申し上げます。

昨今のエネルギー情勢を見ますと、原油価格については、2014年以降下落に転じております。この傾向がいつまでも続いてくれるとありがたいのですが、これからまた高騰して行くだろうというのが大方の見るところです。

発電分野では、わが国では石炭、LNG火力が引き続き主力となっていますが、高効率化による環境対応や再生可能エネルギーの大量導入に伴う負荷変動への対応が大変になってきております。また、エネルギー分野での自由化の進展と再生可能エネルギーの導入拡大が電力投資に課題を投げかけているところです。原子力につきましては、低炭素化などを背景に、中国をはじめアジアを中心に導入の増加が想定されております。昨今の運転開始状況を見ますと、中国の発電所がどんどん出てきていると思います。再生可能エネルギーも発電コストの低減と相まって世界的に導入が拡大しております。また、利用分野では、電気自動車（EV）の開発導入が大きく進められつつあります。

地球環境問題については、昨年11月にパリ協定が発効し、世界が協調して2020年以降の温室効果ガス排出量削減に取り組む新たな枠組みが整備されました。このパリ協定では、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃未満に抑えるという目標を掲げるとともに、温室効果ガス削減目標を5年毎に見直す事や長期的な温室効果ガスの低排出型の発展戦略を2020年までに提出することが要請されています。昨日、一昨日と行われましたICEF（Innovation for Cool Earth Forum）では、これについて真剣に討議されていたと思っております。

わが国のエネルギー政策については、「エネルギー基本計画」（2014年策定）の見直しに関する議論が、また、2050年までに温室効果ガス排出量の80%削減という長期目標に向けた政策の方向性に関する議論が開始されました。わが国としては、国内外のエネルギー・

環境をめぐる情勢を見極めながら、長期的視点に立ち、総合的な戦略の下に、官民あげて必要な取組みを進めて行くことを通じて世界に貢献していくことを目指しています。

一方、近年コンピューターの処理能力の飛躍的な向上やセンサー技術の進化などを背景に、ビッグデータやIoT、人工知能といった第4次産業革命が進展し、製造やサービス、金融、交通など、経済社会のあらゆる分野で大きな変革をもたらしつつあります。今朝の新聞にも新商品として、「AIスピーカー」が紹介されておりました。これなどは、執事が各家庭にいるような形になる機械のようです。

今回のシンポジウムではこのような状況を背景に、第4次産業革命の進展とエネルギー戦略をテーマとして報告をさせていただきます。まず、米国エネルギー省の元次官でコロンビア大学世界エネルギー政策センター創立フェローのデービッド・サングロー氏から「米国エネルギー分野における7つの動向」、続いて公益財団法人笹川平和財団の田中伸男会長から「持続可能なエネルギー安全保障戦略」、また、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の原山優子議員から「『Society 5.0』における未来社会像とエネルギー」、また、早稲田大学の林泰弘教授から「ICTを活用した新たなエネルギーシステムの構築」というご講演を頂戴した後、当研究所の特任参事の新谷隆之から「第四次産業革命がエネルギービジネスにもたらすインパクトと課題」という報告をさせて頂く予定です。

冒頭で述べましたとおり、世界のエネルギー・環境を取り巻く情勢は絶えず変化しており、先行きを見通すことは困難であります。このような中、当研究所といたしましては、エネルギー技術の未来を示す羅針盤となるべく、今後とも総合的且つ俯瞰的な観点から「エネルギー」「総合技術」「研究」をキーワードといたしまして、社会に貢献していく所存であります。引き続き、皆様方のご支援、ご協力を賜りますようお願い申し上げます次第です。

最後に、公務ご多用の折、ご臨席を賜りました経済産業省の福島洋技術総括・保安審議官、並びにコロンビア大学のサングロー様、笹川平和財団の田中様、総合科学技術・イノベーション会議の原山様、早稲田大学の林様に改めて御礼申し上げますとともに、本日のシンポジウムがご列席の皆様にとりまして、有意義となることを祈念いたしまして、私の開会のご挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。(拍手)

来 賓 挨 拶

福島 洋（経済産業省
技術総括・保安審議官）



今回、エネルギー総合工学シンポジウムで「第4次産業革命の進展とエネルギー戦略」と題して活発な議論、意見交換がされることを心よりお祝いしたいと思います。

私からは経済産業省の全体的な政策の流れと、その中で私が担当しております産業保安の話についてご紹介させて頂きたいと思います。経済産業省の来年度（平成30年度）の重点政策を8月下旬に公表しております。「新たな需要の創出と人材投資、生産性革命などにより日本経済の成長を確固たるものにする」といった副題で政策を作っており、その中で5つの柱を立てています。

第1の柱は、「Connected Industries を通じた Society 5.0 の実現」です。これに政策資源を集中すると謳っています。Connected Industries と言いますのは、本日のシンポジウムのタイトルでもある「第4次産業革命」とほぼ同義です。

第2の柱は、「対外経済対策の展開」です。アメリカでは新しい大統領が生まれ、ヨーロッパではイギリスがEUから離脱する、またユーロをはじめ世界経済を取り巻く状況もかなり変化していますので、その中で日本としてどのような対外経済対策を構築していくのかということです。

第3の柱は、「産業安全保障の抜本強化／強い産業基盤の構築」です。

第4の柱が「中小企業等による地域未来投資の加速化」で、先般の通常国会で成立した「地域未来投資促進法」を活用し、地域の活性化をしていこうということです。

第5の柱が「環境・エネルギー制約の克服と投資拡大」です。まさにエネルギー総合工学研究所が担当していますエネルギー、更には環境対策をどうしていくのか、ということです。また、かなり増えてきている再生可能エネルギー（再エネ）につきまちは、更なる投資拡大、研究開発支援を行っていくとか、省エネ技術、高効率火力発電の海外展開を行っております。さらに、複数事業者の連携による省エネも推進しつつ、パリ協定等の実施を促すエネルギー政策も進めていこうと考えております。

また、第5の柱の中に、「福島をはじめとする被災地の復興加速」もあります。避難解除後の更なる復興加速化と帰宅困難地域の復興・再生を進めるとともに、廃炉、汚染水対

策についても引き続きしっかりと進めて行きたいと思っております。復興は進んでいるものの、まだ十分ではありませんので、福島復興に対しては、経済産業省も全面的に支援していく所存です。

5本の柱の中で、第3の柱である産業保安関連の分野につきまして、少しご紹介させていただきます。まず、Connected Industries との関係では、データの利活用を進めようということが大きな命題になってきています。データをどのように集めて公正に管理していくのか、特に、国が持っている情報をどのように皆様方に使って頂くのかということが1番目の課題です。2番目の課題は、実証を進めながら、産業界または個人が保有するデータを利活用していくルールを作っていくということです。「平成30年度 経済産業政策の重点」では、特に、産業保安等の協調領域のデータの蓄積、流通、制度整備に向けた実証を謳っています。今、石油精製・石油化学プラントを中心に実証実験をしておりますけれども、電力分野、ガス分野においても保安データの共有化、利活用を進めていきたいと思っております。

産業保安の分野でもう1つ重要だと言われているのは、第1の柱とも重なる「サイバーセキュリティの強化」です。東京オリンピック、パラリンピックの準備が2020年に向けて進められていますが、そういった中で、特に、電力、ガス等重要インフラに対するサイバー攻撃について非常に高い関心を持っていますので、サイバーセキュリティ対策もエネルギー事業者と協調しながら進めていきたいと思っております。

次に、保安について背景をご紹介します。産業保安の事故はかなり減ってきております。ただ、重大事故はかなりあるというのが現状です。そういった中で、多くのプラントで老朽化が進んできているという大きな問題があります。また、保守安全管理を行っていただいたベテラン従業員の方々の引退も進みますので、重大事故のリスクは増大しているのではないか、という認識があります。そういった中で、IoT、ビッグデータ、人工知能を使って、現場の自主保安能力を高めて行くという政策、それとともに企業の稼ぐ力も向上して頂きたいという政策を進めているところです。

高圧ガス、都市ガス、LPガス、電気、火薬などの産業保安法令については、抜本的な見直しをしております。見直しの中身は大きく3つあります。1番目は、ビッグデータ等を活用した自主保安の高度化です。効率的な保安確保をして頂いている方につきましては、例えば、連続運転の期間を長くするとかインセンティブを与える政策を行っております。2番目は、新技術への対応の円滑化です。仕様規定になっているものも多くありますが、性能規定化をさらに進めることによって、国際規格、民間規格を迅速に法令に取り入れられるようにしようとしています。3番目は、安全レベルの維持向上を前提とした規制やコストの合理化です。リスクを再評価して規制の合理化を進めていこうと考えております。

電力につきましては、再エネを中心に技術革新が加速してきている中で、硬直的な技術基

準によって新しい技術の導入や輸入品の適用が遅れているという問題点があります。また、再エネを中心に電気設備の保守管理能力の乏しい新規参入者が増えてきているということも課題になっております。さらに、主任技術者の方々が将来的に不足するという懸念や地域的なアンバランスといった分析も行っておりますので、人材面での対応も考えていきます。

昨今、台風、自然災害がかなり甚大化してきている中で、ライフライン関係でも大きな事故があります。エネルギー関係企業の迅速な対応で、復旧が早くなってきておりますけれども、そういった点についても更に取組んで行きたいと思っております。具体例を申し上げますと、風力、太陽光発電の事故がかなり増えていたり、新規参入の方による不十分な電気の保安が散見されたりしましたので、風力、太陽光発電については規制強化を実施しております。一方で、事故が減少しております大型火力発電所等の分野では、規制の合理化を行っております。我々としては、国と民間との役割分担というものを再度見つめながら事業者の保安力を上げるような、創意工夫に基づいた取組みが促されるような規制をこれからも進めていきたいと思っております。また、国としては、事故を分析してその結果を政策に反映していくことが重要であると思っておりますので、技術支援機関（TSO）で事故分析を行ったり、新しい技術についてもきちんと評価できる体制整備をしていきたいと思っております。

最後になりますが、本日のシンポジウムで専門家の方々からの色々な新しい意見を皆様で共有して頂くとともに、それらの議論を通じて、皆様方のビジネスが発展されることを祈念して私の挨拶にしたいと思います。本日はありがとうございました。（拍手）

米国エネルギー分野における 7つの動向

デービッド・サンダロー (米コロンビア大学 世界エネルギー政策
センター 創立フェロー)



はじめに

本日は「エネルギー総合工学シンポジウム」にお招き頂きましてありがとうございます。皆さんの前でお話しできることを大変光栄に思っています。私からは、アメリカのエネルギー分野について、特に重要と思われる7つの動向についてお話しいたします。

石油と天然ガスの台頭

まず、石油とガスの台頭という動向についてお話ししたいと思います。過去10年間大きな変化を遂げて来ました。特に、その水圧のフラッキング技術や採掘技術など、新しい技術が開発・導入されたことで、大きな変化が見られています。

図1で、アメリカの石油の生産量がどれだけ増加したかを示しています。表では、2005年から2014年の増加が確認されると思います。300万バレル／日ほど、増加しています。この増加は、石油輸出国機構（OPEC）のどの国よりも大きい量ですが、アメリカ一国で増えたのです。

2014年には石油価格が若干下がりましたが、驚く事にアメリカの石油生産高は少ししか下がりませんでした。全体的に、石油産出量は、増加傾向が続いています。これは、革新的な技術が開発されたおかげで実現したことです。

同じ技術が、天然ガスの産出でも活用されていますので、天然ガスの産出量も、アメリカで市場最高を記録しています。

図2では、2000年から2016年までの変化を捉えています。オレンジ色の部分が、シェールガスです。2007年頃から大きくピークを迎えています。

2004年、2005年頃は、エネルギーアナリ

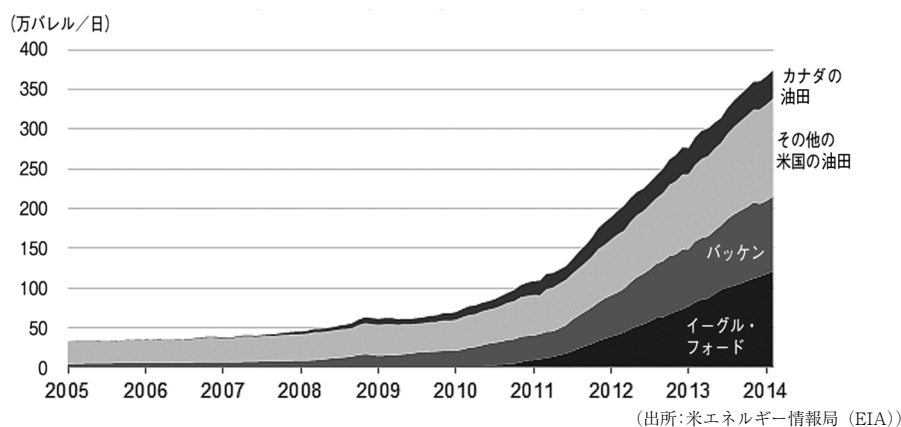


図1 北米の石油生産量推移 (2005年～2014年)

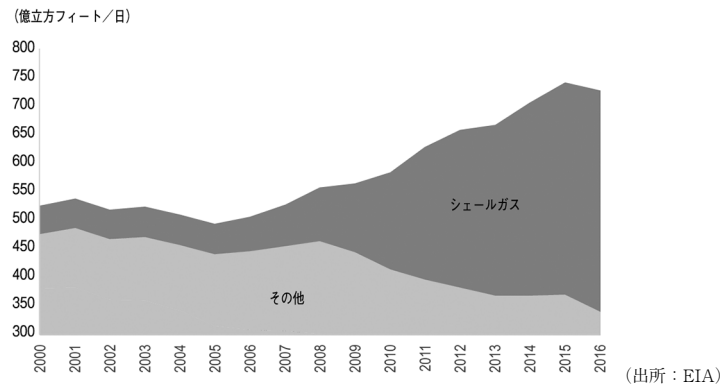


図2 アメリカの天然ガス生産量推移（2000年～2016年）

ストの多くは、将来、アメリカが天然ガスの輸入国になるだろうと予想していました。しかし、ほんの数年の間に、多くの業者が輸出許可証を申請するまでになりました。今では、アメリカは天然ガスにおいて、世界の主要な輸出国として、アジア、日本にも輸出を始めています。

図3は、2005年～2015年までのアメリカと日本の天然ガス価格です。

天然ガスと石油の価格は、基本的に大きく異なった動向を辿って来ました。と言いますのも、石油の取引というのは、単一のグローバル市場での取引が主となっていますが、天然ガスは歴史的にもグローバルな取引ではなく、地域ごとの価格で、マーケットで取引されてきました。

2011年～2013年辺りの数値を見ると、アジアにおける天然ガス価格は、16ドル／百万BTUでした。対して、アメリカでは2ドルで、大きな差がありました。

私は、その頃、連邦政府に務めていましたが、日本の大使が毎月のように私のオフィスに来て、「いつアメリカは天然ガスの輸出を始めるのか」と聞かれていました。

現在では、アジアのガス価格は下がって来ていますので、アメリカとの価格差は縮まりましたが、それでもある程度の差はあります。

再生可能エネルギーの台頭

2つ目の動向ですが、再生可能エネルギー、特に、風力、太陽光発電（PV）の台頭です。

再生エネルギー（再エネ）は、アメリカでは、劇的な動向を辿って来ました。特に、風力は、ここ数年間で大きく伸びています。図4を見ると、2001年～2016年までの風力発電の増加傾向が分かります。

風力が増加している理由は2つあります。

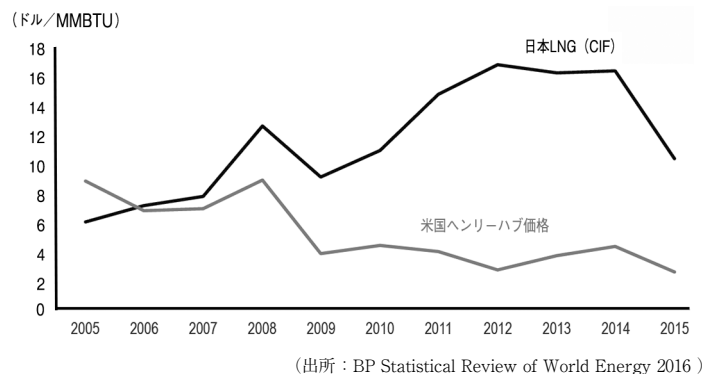
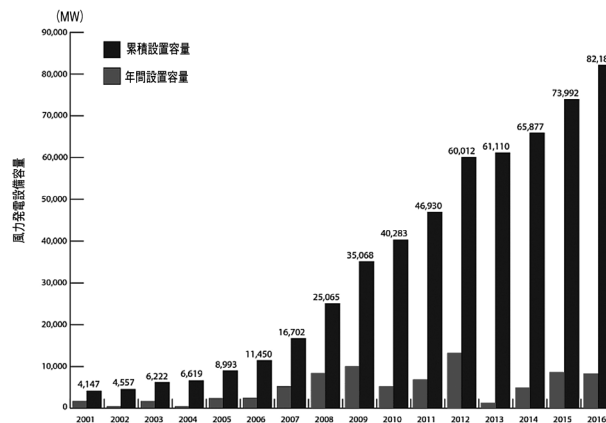


図3 アメリカと日本のガス価格推移



(出所：米国風力協会（AWEA）)

図4 アメリカの風力発電の導入量推移（2001年～2016年）

1つは、風力発電の電力価格が下がって来ていること。もう1つは、アメリカ国内でも、特に中部地域においては、風の資源が豊富にあるということです。アメリカ中部を「風のサウジアラビア」と呼ぶ人もいます。

最近のアメリカでの興味深い傾向として、オフショア（洋上）の風力発電が増えていることがあります。オフショアの風力発電による電力価格は、まだ高い水準ですが、近年急速に下がってきています。特に、東海岸のロードアイランド州の近くで、大きなプロジェクトが始まっています。

実は、PVは、風力よりも急速に伸びています。図5では、2005年～2015年までのPVの伸びをご覧頂けます。

また、PVの電力価格の低下には驚くものがあります。10年前の10分の1になっています。こうした価格変化が、エネルギー会社が電力系

統の経営法や管理法に大きな影響を与えています。一日の間によって大きな需要の変動がありますが、それへの対応の仕方が、エネルギー会社側で大きく変わって来ています。

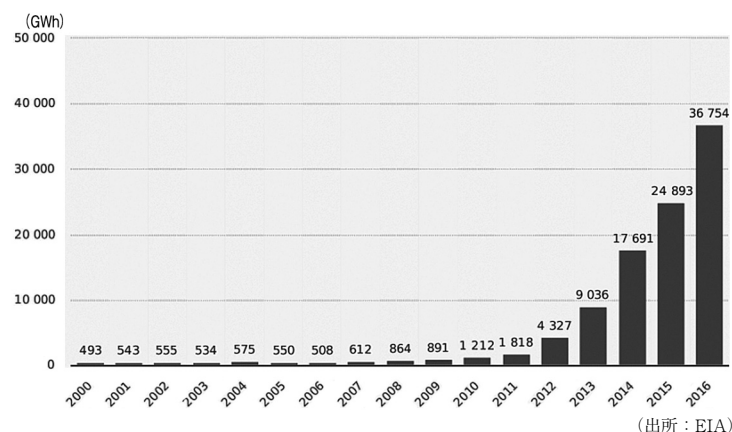
今後も風力とPVは、何年にも渡って大きく増加していくだろうと予想されています。

石炭産業の衰退

3つ目の動向は、石炭の衰退です。図6は、1950年～2016年まで、アメリカの電源構成の変化、発電量の変化を捉えています。

一番上の線が石炭発電です。60年以上もの長い間、総発電量の50%以上がずっと石炭火力でした。

その間、天然ガスは、20%しか占めていま



(出所：EIA)

図5 太陽光発電の発電量（2000年～2016年）

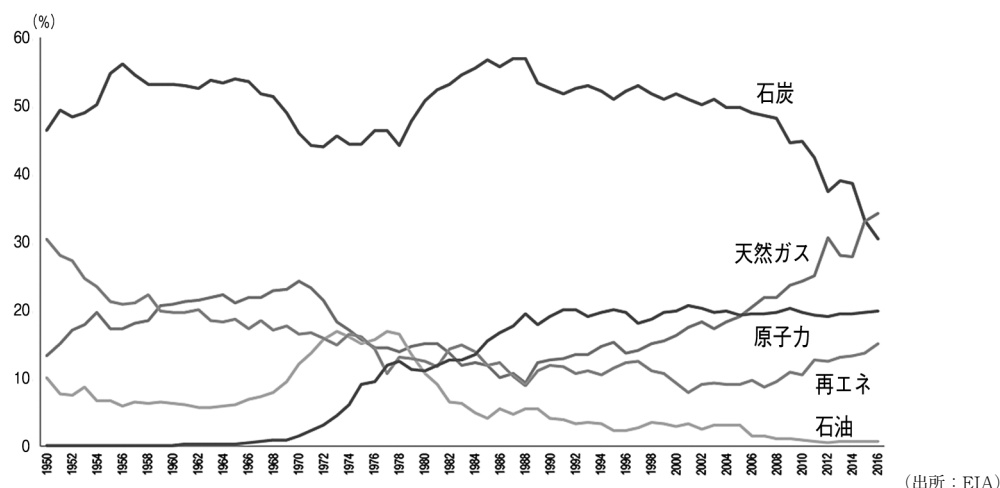


図6 電源別発電シェアの推移（1950年～2016年）

せんでした。しかし、この3年で大きく変わりました。石炭はシェアを大幅に落とし、30%以下に落ちています。そして、天然ガスが大きく伸びて石炭を超えています。

全米の数百の炭鉱が閉鎖に追い込まれています。経済的に維持が不可能となり、天然ガスに対抗できないという理由からです。こうした石炭火力発電の減少、石炭利用の減少は、勿論、この業界の雇用に大きな影響を与えています。

図7は、1900年以降の炭鉱労働者の数を表しています。雇用者の動向を見ますと、ピー

クはおよそ100年前だったことが分かると思います。その頃、80～90万人が炭鉱労働者でしたが、その時のアメリカの全人口は1億600万人でした。石炭業界の下降動向と共に雇用者数も減少しています。この雇用減少は、業界の自動化が主な原因です。

図8は、驚くような表なのですが、アメリカの4大石炭会社の時価総額です。時価総額が無い水準まで落ち、全て破綻しています。この間、沢山の株主資本が失われました。

こうした石炭における石炭利用の減少傾向は、今後も続くと予測されています。

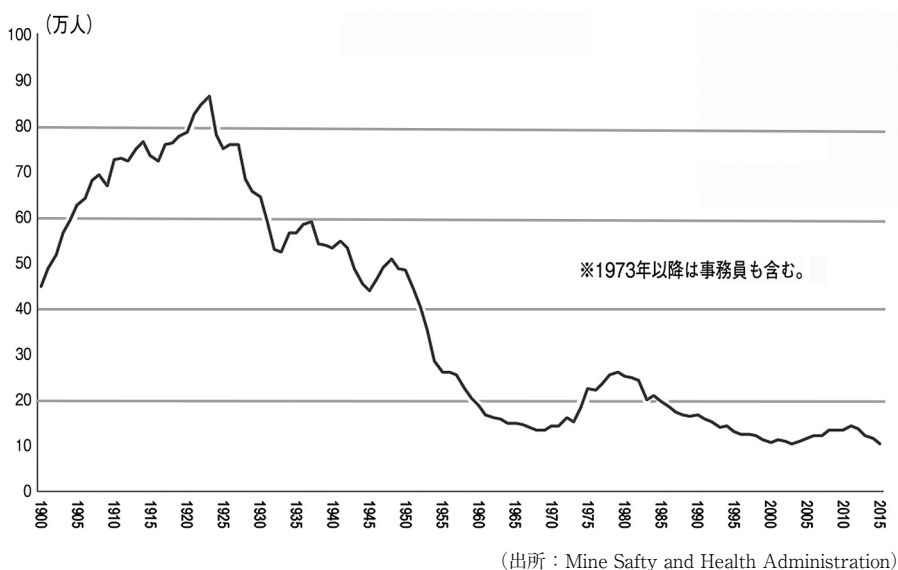


図7 炭鉱労働者数の推移（1900年～2015年）

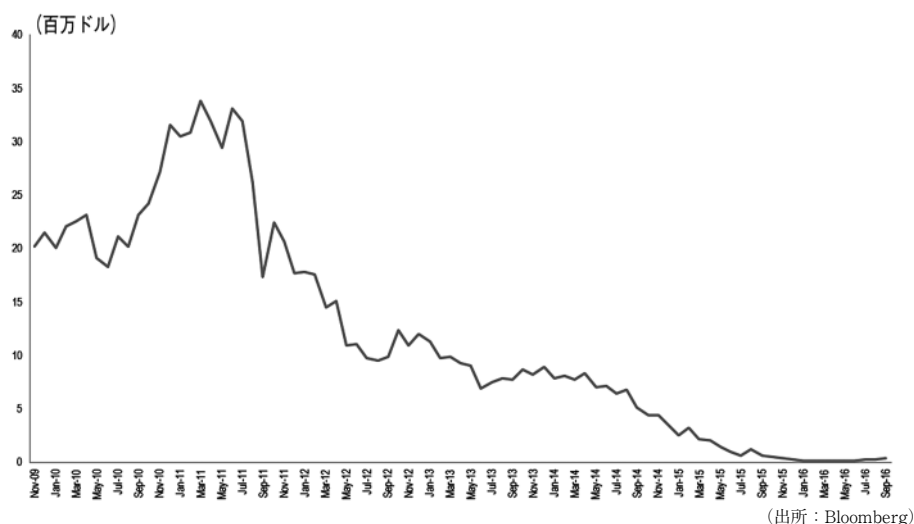


図8 4大石炭会社の時価総額推移（2009年～2016年）

原子力発電における課題

4つ目の動向は、原子力発電における課題についてです。

図9には、原発サイトの位置を示しています。全米に広がっていますが、東部に集中しています。アメリカでは、今、世界のどの国よりも多い99基の原発が稼働しています。

原発は、電力分野で非常に重要な役割を担っています。総電力供給量の20%を占めています。カーボンフリーのエネルギー源では65～

70%になります。アメリカにおける原発の最大の課題は、価格が下がった天然ガスとの競争です。

また、原発の老朽化も進んでいます。1970年代に建てられた発電所もあり、一番最近でも1990年代です。今では、アメリカで新規に原発を建てるのは困難です。ここでも、天然ガス火力の建設よりかなりコスト高になってしまうからです。

数年前までは、5基の原発が建設中で政府は、多額の助成金で支えていましたが、そのうちの3基は建設中止に追い込まれました。そして今では、新しい原発として建設中なの

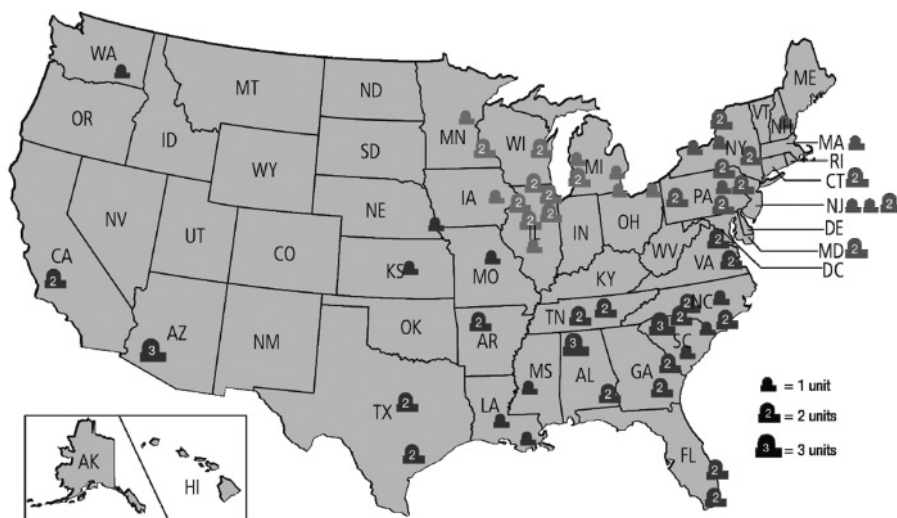


図9 アメリカの原子力発電所（2017年5月現在）

は2基です。ですが、そこでも大幅な予算オーバーという難しい状況にあります。

これは、他の国と同様、アメリカにとっても大問題だと私は思います。今、必要なのは、より安く実現できる原発技術です。何よりも原子力は二酸化炭素(CO2)削減に貢献できる、カーボンフリーの電力だからです。

アメリカと日本の状況を比べると、原発に関する意見は大きく異なります。幸い、アメリカでは、日本のような複数ユニットにまたがる大きな原発事故は起きていませんから、原子力はあまり大きな政治問題にはなっていません。国民の間で一部反対している人達はいますが、それ程、大きな声にはなっていません。

運輸分野での変化

5つ目の動向が、運輸分野での変化です。さらに、その中に3つの動向があります。3つの動向が合わさって、過去100年の変化よりも大きな変化がもたらされると考えています。

シェアリング・エコノミー

運輸分野における1つ目の動向は、シェアリング・エコノミー（共有経済）の台頭です。この中では、スマートフォンで、ハイヤーのような運転手付きの高級車を呼ぶことができる、ウーバー・テクノロジー社の配車システム「ウーバー」が大きな影響を及ぼしていま

す。また、ウーバー以外にもリフト社等のシェアリング会社が登場しています。

アメリカの多くの都市では、ほとんどの人がスマホにウーバー社やリフト社のアプリを入れており、車を利用する時には、リフト社やウーバー社の車を呼んでいます。ウーバーのビジネスモデルは、「皆のお抱え運転手」ということです。

それで、このウーバー等によって今、車利用に革命が起きています。身近な例ですが、私の子供たちの運転に対する姿勢に大きな変化をもたらしました。私の子供たちは何れも20代前半なのですが、私が、彼らと同じ年代には、「買えるようになったら車がほしい」と一番強く思っていました。けれども、私の子供たちの誰も車を買いたいとは思っていません。車に乗らなければいけない時は、全員ウーバーを呼んで使っています。

自動運転車

運輸分野における2つ目の動向は、自動運転車です。まだ、変化の初期段階にありますが、こちらでも大きな革命を起こすと考えています。

シンプルな自動運転技術は、既に導入され始めています。例えば、自動駐車技術が搭載されている車も販売されています。また、基本的な情報処理や視覚的な検知技術といった自動運転に必要な技術は、年々高度化してきていますし、これからもどんどん良くなるでしょう。

最近、私は、この自動運転車がマーケットに入ってくるのが、エネルギー分野にどの



米ウーバー・テクノロジー社が提供する配車サービス「ウーバー」



自動運転車



電気自動車

(出所：米コロンビア大学・世界エネルギー政策センター (CGEP))

図10 運輸分野で劇的な変化をもたらしている3つの動向

ような影響を与えるのかという文献を読みました。色々読んだ結果、今の段階ではどうなのか分からないという結論に達しました。

自動運転車の普及で、エネルギーの使用・利用が増加する可能性はあります。自動運転車であれば、より運転しやすくなりますから、もっと長距離運転をしようという気持ちにもなります。自動車に乗る回数は多くなり、走行距離も長くなるので、エネルギー使用が増えるというわけです。

ただ、一方では、自動運転車の普及でエネルギー使用が減る、省エネが実現できるということも考えられます。と言いますのは、一般的に、人間は運転が下手ですから、車自体が自動運転するようにプログラミングできるのであれば、人が運転するよりも、エネルギー効率の良い運転が可能になります。車間距離も短くできるようになり、空力抵抗も削減することができます。

ですから、今の段階では、自動運転車がエネルギーにどういう影響を及ぼすのか不透明です。ただ、言えるのは、自動運転車というのは、安全面でプラスに働くということです。昨年、アメリカでは3万件以上の交通死亡事故が発生しました。ほとんどの原因は、人為的エラーでした。タバコ以外で、唯一、公衆

衛生上の大問題となっているのが交通死亡事故です。そして、自動運転車が普及することによって、安全な運転が実現され、交通事故による死亡やケガなどが大幅に削減されると期待されます。

電気自動車（EV）

運輸分野に大きく変化をもたらしている3つ目の動向は、電気自動車です。

電気自動車は、まだ、普及の初期段階にあります。既に、革命が始まっていると思います。これから、もっと劇的な結果が生まれてくると考えられます。史上初めて、自動車メーカーが、車ができる前に40万台の受注を得ました。これは、実際に、EVメーカーのテスラ社に起こったことです。

図11は、アメリカにおけるEV販売台数の伸びです。2014年には、石油価格が下がったため、一時期、伸びが横ばいになりましたが、その後再び伸び始めています。

EV販売台数の割合は、今のところ、全ての自動車販売台数の数パーセントに過ぎませんが、今後どんどん伸びていき、重要性が増してくると考えられます。

図12は、EVの州別販売台数です。販売の

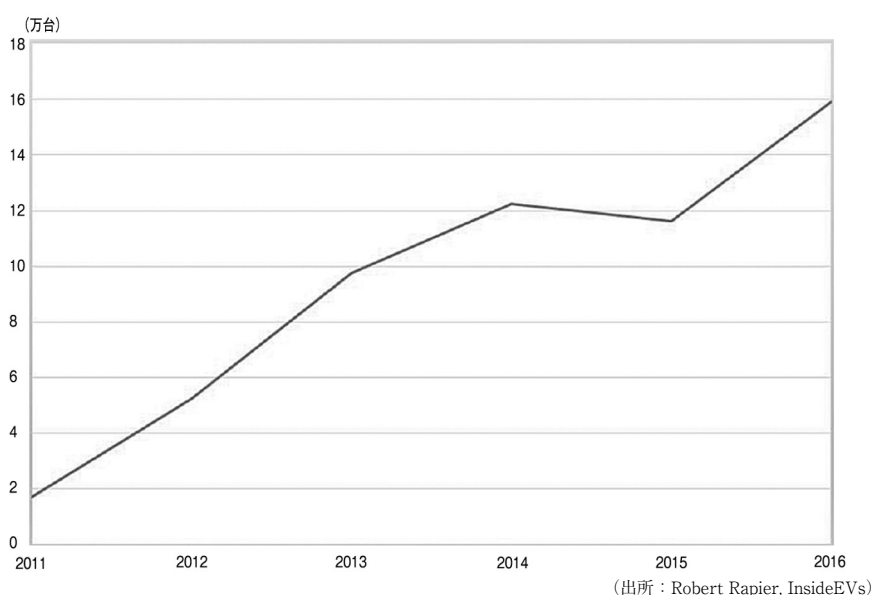


図11 アメリカのEV販売台数（2011年～2016年）

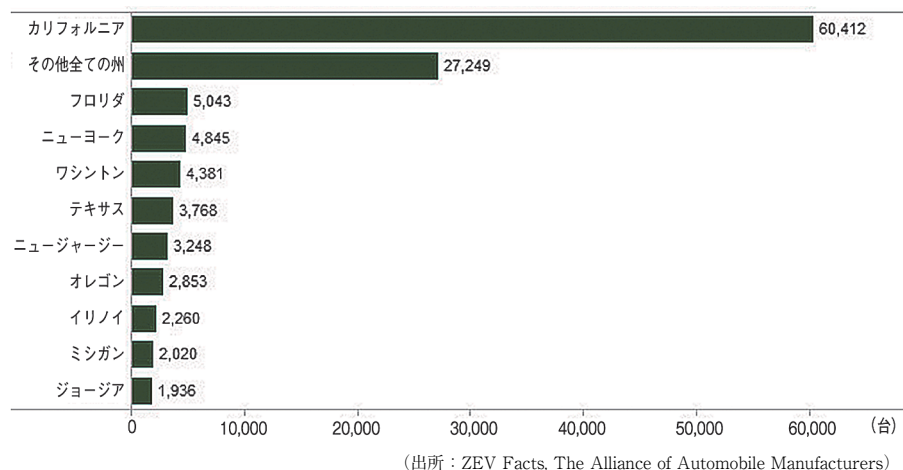


図 12 2016 年 1 月～10 月の州別 EV 販売台数

半分がカリフォルニア州だということが分かります。

連邦政府と州政府で異なる政策

温室効果ガス（GHG）の減少

6つ目の動向は、温室効果ガス（GHG）の減少です。図 13 で過去 10 年の数値を見ますと、アメリカが他のどの国よりも多く温室効果ガスの排出量を削減しています。

世界で一番大きく GHG 排出が削減された最大の要因は、不況ですが、石炭から天然ガスへの移行や価格の変化も影響していますし、更には、自動車の効率化も要因の 1 つとして挙げられます。

7つ目の動向は、連邦政府と州政府が別々の政策を採るようになって来ているということです。

トランプ大統領に関する 5 つの論点

今回、日本に来て色々な所で最初にされる質問は、トランプ大統領に関するものです。皆さんの関心が高いようなので、彼について 5 つの点を述べたいと思います。

まず、トランプ大統領は、就任前、公務についた経験がありません。アメリカ史上初め

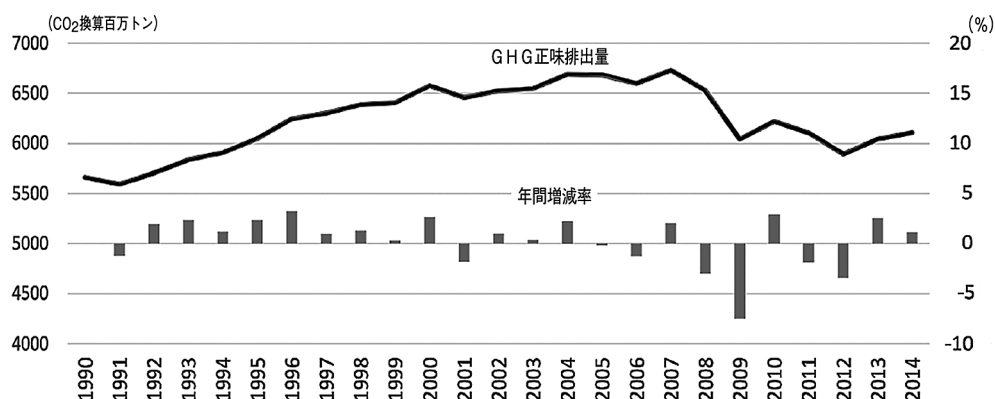


図 13 アメリカの温室効果ガス排出量の推移



(出所：CGEP)

図 14 ドナルド・トランプ
第 45 代アメリカ大統領 (2017 年 1 月 20 日～)

て公職を経験していない大統領が生まれたのです。

2 つ目は、不動産王の彼がずっと豊かだったわけではなく、巨額の損失も蒙っているということです。

3 つ目は、彼がテレビとブランディングという 2 つの分野でかなり成功したビジネスマンだったということです。

4 つ目は、今のアメリカを理解する上で非常に重要な点だと思います。それは、ほとんどのアメリカ国民の間で彼が不人気だということです。実際、就任 1 年目でこれほど不人気な大統領はかつていなかったという程の不人気です。

通例では、新しい大統領就任後、最初の 100 日程度は「ハネムーン期間」と呼ばれ、「まずは、やらせてみよう。チャンスをあげよう」という姿勢で、皆が大統領を暖かく見守り、批判しないものです。今ぐらいの時期で、大統領の支持率を比較すると、オバマ 60%、ジョージ・W・ブッシュ 55%でしたが、トランプ大統領は 36% しかありません。そして、その倍以上の国民が不支持を表明しています。

そして、最後の 5 つ目は、トランプ大統領

の周りには、政権に脅威を与える多くのスキャンダルがあることです。実際に、刑事事件として調査している検察官もいます。1 つは、ロシア政府と結託して、ロシア政府が選挙戦に介入したのではないかとという件です。他にも多くの問題の調査が行われています。おそらくトランプ大統領は、ここでかなりのエネルギーを削がれているという面があります。

但し、アメリカ大統領を罷免するのは、手続き上、非常に難しいのです。国によっては、新しい選挙をするだけ罷免できるところもありますが、アメリカ憲法の下では、一度大統領になった人を任期中に辞めさせるのは中々できることではありません。アメリカの歴史において、一度だけ任期中に辞任した例があります。それは 1974 年のリチャード・ニクソン大統領です。

トランプ政権のエネルギー政策と異なる 州政府の政策

トランプ大統領のエネルギー政策は、言ってみれば、オバマ大統領と真逆です。

特徴として、①石油・石炭、ガスといった化石燃料の優先があります。②環境規制は緩和の方向にあり、③「気候変動は問題ではない」という姿勢をとって、「パリ協定」からの撤退も宣言していますし、④再エネ予算の削減にも動いています。

これらの特徴は、確かに、アメリカのエネルギー政策の重要な要素ではありますが、この場で強調したいのは、アメリカでは、州政府は必ずしも連邦政府の方針に従っているわけではないということです。

州政府は、連邦政府から独立した立場にあります。つまり、連邦政府直轄の組織ではないのです。また、州知事が、必ずしも、大統領の政策に従わなければいけないというわけでもありません。実際に、大統領が所属する政党（政権党）と対抗する政党（野党）出身の知事も多くいます。

そして、エネルギー政策では、州政府が重要な役割を担っています。

図 15 に示すのは、エネルギー企業に再エネ使用を義務づける「再エネ・ポートフォリオ基準」(Renewable Portfolio Standard) を持っている州です。これをエネルギー会社に課しています。これは、大統領がどのような政策を出そうが変わらないことです。

図 16 では、ネットメータリング制度を持っている州を示しています。ネットメータリングというのは、住宅用などの分散型 PV シス

テムの発電量から、電力消費量を差し引いて余剰電力量が発生した場合、余剰分を次の月に繰り越せる、つまり、消費量を発電量で「相殺」する仕組みです。PV の電力利用を促進するための制度ですが、こちらもトランプ大統領になったからといって方針が変わるわけではありません。

実際、州レベルで他国と協定を結ぶこともよくあります。図 17 は、カリフォルニア州知事と中国の交渉官が、カリフォルニア州と中国の間の気候に関する協定に調印している

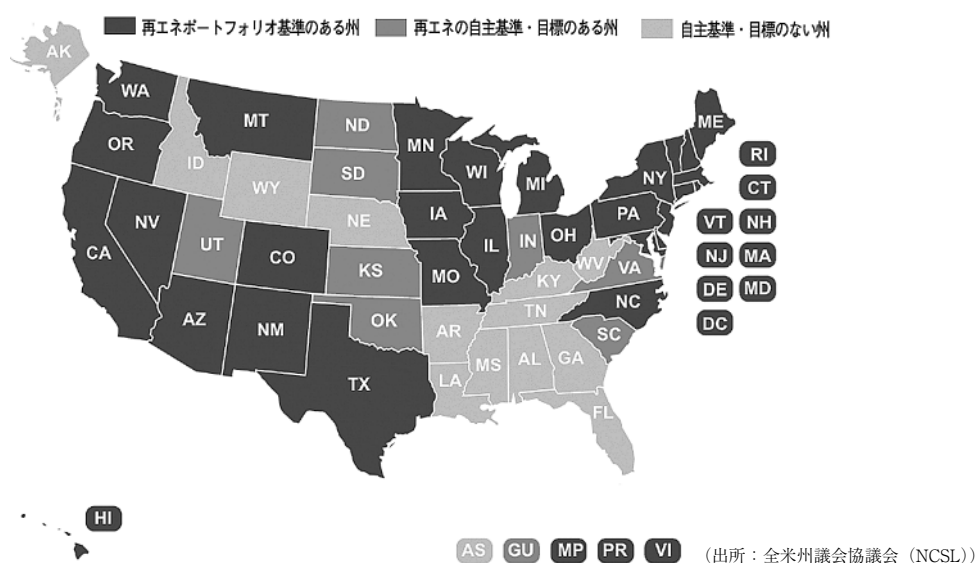


図 15 再エネポートフォリオ基準を持つ州と持たない州

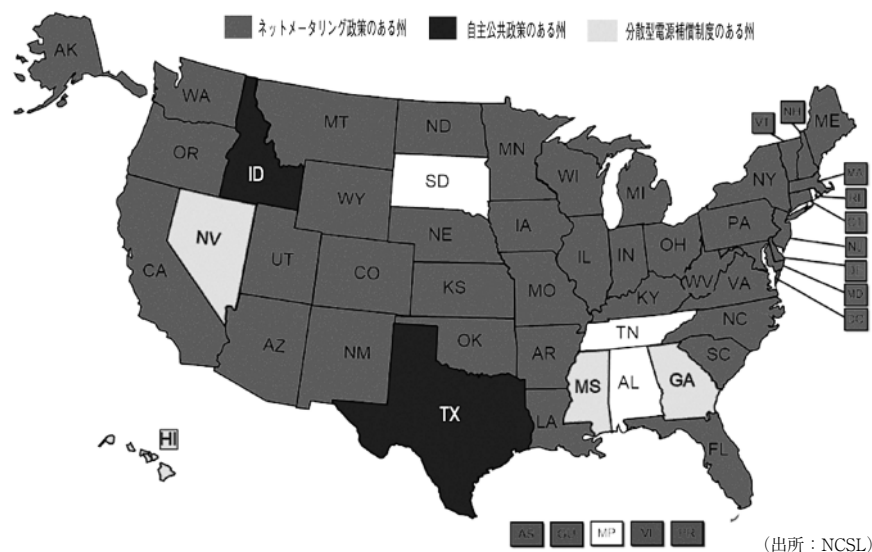


図 16 ネットメータリング政策を採用している州



(出所：Office of Governor Edmund G. Brown Jr.)

図 17 「米加州ー中国江蘇省クリーンテクノロジー提携協定」に署名するジェリー・ブラウン知事（右）



(出所：CGEP)

図 18 ジェリー・ブラウン知事を激励するシュワルツェネッガー前知事

ところです。カリフォルニア州は、非常に大きな州です。もしも国であれば、経済規模で見て世界で8番目くらい、日本と同じくらいの大きさの国になります。

図 18 では、映画俳優アーノルド・シュワルツェネッガー氏（前カリフォルニア州知事）が、トランプ大統領と同じ共和党出身ながら、現在の民主党ジェリー・ブラウン知事と手を携えて、気候変動に対して戦うという姿勢を示しています。

子力発電に関する課題、⑤運輸分野の変化、⑥温室効果ガスの排出量の減少、⑦連邦政府と州政府の政策が分かれてきているという話をさせて頂きました。

本日はご招待頂きまして、そして、ご清聴頂きましてありがとうございました。

おわりに

本日、プレゼンテーションで7つのアメリカのエネルギー分野における動向をお話させて頂きました。①石油・ガスの台頭、②再生エネルギーの台頭、③石炭利用の減少、④原

[講演]

持続可能なエネルギー安全保障戦略

田中 伸男 (公財) 笹川平和財団会長
元国際エネルギー機関 (IEA) 事務局長



はじめに

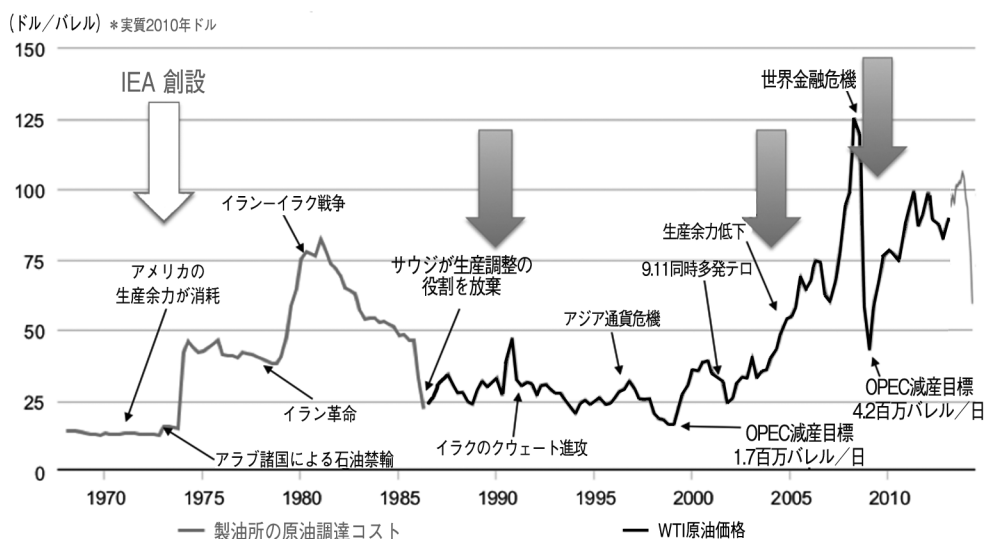
本日は、私が国際エネルギー機関 (IEA) にいたということもあって「持続可能なエネルギー戦略」というタイトルでお話しします。

内容ですが、まず、エネルギー安全保障の観点から石油価格の今後とその影響について、次に、気候変動の観点から化石燃料だけではなく再生可能エネルギー、原子力までを見るとどう見えてくるのか、最後に、日本が今抱えている課題、福島事故以降の原子力をどうするのかという大きな課題について、私なりの提案、こうすれば国民に理解して頂けるのではないかという、原子力政策の私案についてお話ししようと思います。

エネルギー安全保障と石油価格

IEA のミッション～石油備蓄～

図 1 に石油価格の推移を示しました。IEA は、第一次石油ショック (1973 年 10 月～1974 年 1 月) を受け、経済協力開発機構 (OECD) の枠内で 1974 年 11 月に創られました。第一次石油ショックでは、石油輸出国機構 (OPEC) のアラブ諸国がオランダとアメリカを狙って石油の禁輸をしたのですが、消費国はまったく禁輸という事態への準備ができていませんでした。そこで、OPEC に対抗して石油備蓄を持ち、いざという時にはそれを使おうということで、IEA ができました。



(出所: IEA, トムソン・ロイター)

図 1 石油価格の推移と IEA 石油備蓄の放出

IEA がこれまでに、石油備蓄を取り崩したことが3回ありました。最初は1991年の湾岸戦争の時。2回目が2005年のハリケーン・カトリーナとリタがアメリカを襲った時。そして3番目が、私がまだIEAにいた2011年春に起きたリビア危機の時でした。刷り増しできる通貨と違い、石油備蓄は放出すると無くなってしまいますので、何回も放出することができません。ですから、価格が上がれば放出するというのではなく、供給の physical disruption（物理的途絶）があった場合、またはその恐れがある場合にのみ放出するというのがIEAの本来の使命です。

2つのIEA石油価格シナリオ

備蓄からどのぐらいの量を放出したらいいか決めるため、IEAは、色々なデータを集めてレポートを書いています。そうした中で、毎年11月に出す『世界エネルギー見通し』（WEO, World Energy Outlook）が有名になってきました。

実は、2015年のWEOの大きなテーマの1つは、今後の石油価格の予想でした。今後上がっていくのか、それとも、低いまま続くのかという議論です。現時点で石油価格は50ドル内外ですが、以前のように100ドルを超える時代が戻って来るのだろうか。IEAは、図2に示す2つのシナリオを作っています。1つは、「100ドル超え時代」に戻るという「新政策シナリオ」。もう1つは、一定の条件を満

たせば、2020年代半ばくらいまで低価格が続くという「低価格シナリオ」です。その条件を満たすことが難しいので、IEAはまた高い方にいくのではないかと言っているのですが、あに図らんや、低価格の時代が意外と続くかもしれないと言うのが、私がこれから申し上げる話です。

低価格を支えるシェールオイルの強靱性

図3は、世界の三大産油国（サウジアラビア、アメリカ、ロシア）の石油生産量の推移です。価格が100ドルを超えた時代にどんどん伸びていったのがアメリカのシェールオイルでした。ロシアとサウジを追い越し、2014年にはアメリカが世界最大の産油国になりました。サウジはこれに対抗するためにどうしたか。石油の価格を上げると儲かるのはアメリカばかりという時代が続いたので、減産せずシェアを確保するという政策を採りました。中国もヨーロッパも不況で需要が減ったのに供給は減らなかったのが価格が壊れました。サウジは、これで「アメリカがくたばるだろう」と思ったのですが、簡単にはそうなりません。さすがに価格が30ドル台になって、やっとシェールオイル生産が減り始めました。サウジは頑張り続け、ついに世界一のシェアを奪還したのですが、価格が低い状態ではとても生き残れないということで、去年11月、OPECとロシアも一緒になって減産へと方針を変えました。

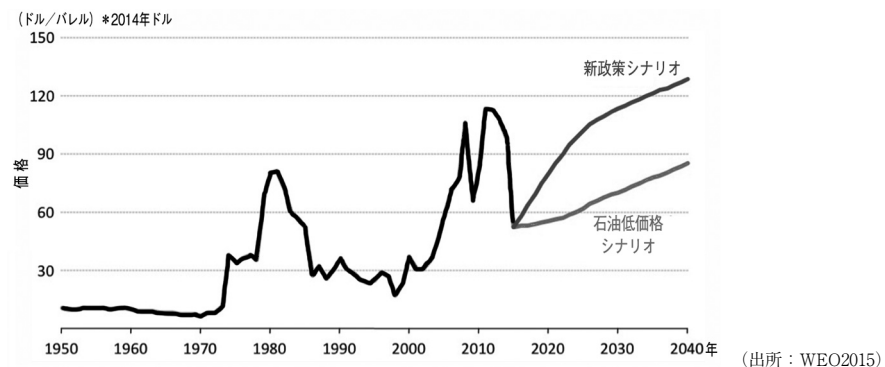


図2 IEAの石油価格シナリオ

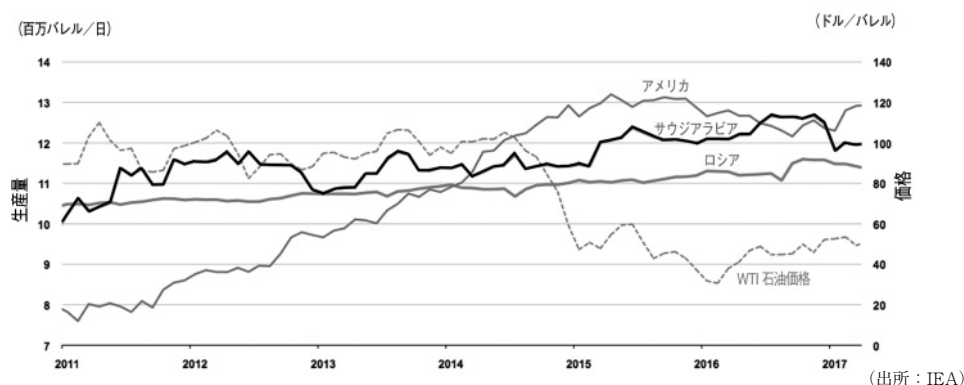


図3 世界三大産油国（米・露・サウジアラビア）の攻陥

すると価格が上がり始め、アメリカのシェールオイルも増えてしまったのです。ですから、シェールオイルは、未だ相当な強靱性をもって、45ドル、50ドルくらいでも競争力があると見えます。そうしますと、シェールオイルが元気であるうちは、石油価格はそう高く上がらないのではないかと読めます。

ただ、価格が低かったために、2015年と2016年に世界の石油・ガスの上流投資は、前年よりも減りました。IEAの“World Energy Investment 2017”によりますと、2015年が25%減、2016年が24%減でした。2017年は少し増えると言われていますが、中東4%、ロシア6%のところ、アメリカのシェールオイルが53%です。石油価格がそこそこ低くても投資が伸びていることが分かります。

需要が戻ってくると、需給が逼迫して価格が急騰するリスクがあるわけです。

価格低迷で減る石油生産

図4は、石油の生産コスト比較ですが、サウジアラビアのコストは、10ドル／バレルです。ただ、サウジアラビアが財政をバランスするには、80～100ドルくらいの価格が必要です。カタール、クウェートはずっと人口も少なく、財政も健全なので、そんなに高い価格は必要ありません。ロシアやベネズエラは、元々コストが高く、財政がバランスする石油価格も非常に高いです。もし、低価格が続きますと、こういった国々は大変困ったことになります。

IEAは2040年にかけて世界の石油需要は1400万バレル／日になると予測していますが、石油生産は、北海、中国、メキシコでは減ってしまいます。生産が増えるのはアメリカのシェールオイルですが、それも、ここ10

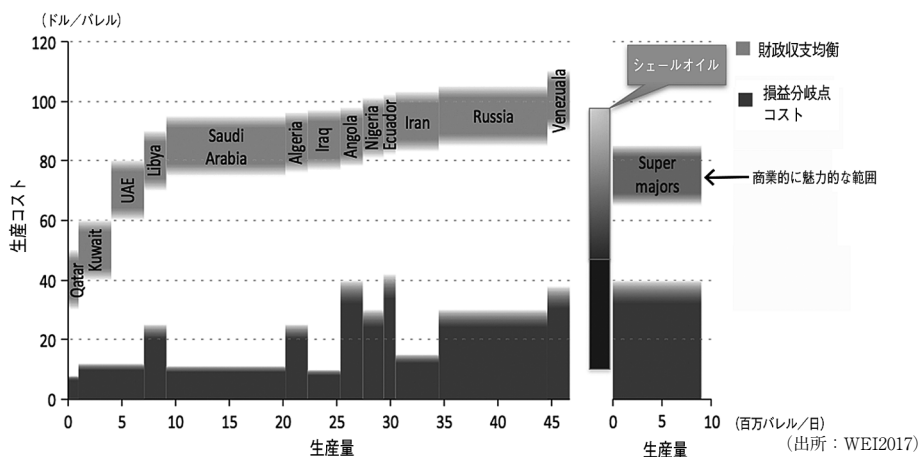


図4 石油生産コストの国際比較

年、20年で伸びが鈍くなっていくと考えられます。それから、カナダのオイルサンド、ブラジル沖合の油田では確かに伸びますが、残りの多くの部分は、中東に依存するしかない、というのがIEAの見通しです。中東の中では、半分がイラク、4分の1がイランです。こういった国々で本当に投資が進むかは、中東情勢によりますので、相当な下方リスクがあると考えていいわけです。

石油価格低迷の最大のリスク ～高まる中東依存～

石油価格が下がると、高コスト国の投資は相対的に増えません。価格が下がれば下がるほど、中東に依存するしかありません。他方、価格が下がると需要は増えてしまいますので、益々中東依存が高まっていきます。問題は、中東では、価格が下がると収入が減るので、財政収支がバランスしなくなり、社会安定のための色々な経費を出しにくくなるので、より不安定化することです。より不安定な中東に、より多くの石油を依存しなければならなくなるのです。これが、低価格が続いた時の最大のリスクです。

図5に、主要国の石油・ガスの輸出入状況が2040年にどうなっているかを示しました。既にガス輸出国になっているアメリカは、石油輸入も減り、輸出もできるようになっています。これに対し、中国の輸入依存度は高まっていきます。今、石油6割、ガス3割を輸入していますが、いずれ石油8割、ガス4割を輸入するようになってしまいます。インドも輸入依存度が高まります。日本と韓国は、今も100%石油もガスも輸入していますので、これ以上悪くなりようがありません。ですが、日本が4割のガスを輸入しているASEAN諸国は、今後、ガスを輸出をできなくなります。ASEANに依存できなくなる日本が、なるべく中東に依存しないとすれば、ロシアから輸入するのが最も合理的な選択になるはずですが。

アメリカの「エネルギー・インディペンダンス」 と日本のエネルギー安全保障

アメリカは、中東にもロシアにも依存する必要がありません。これがアメリカの地政学的な強みです。もちろん、石油価格が上がれば困りますが、輸入依存度の高い国々とは、地政学的な意味での差が圧倒的に大きいです。

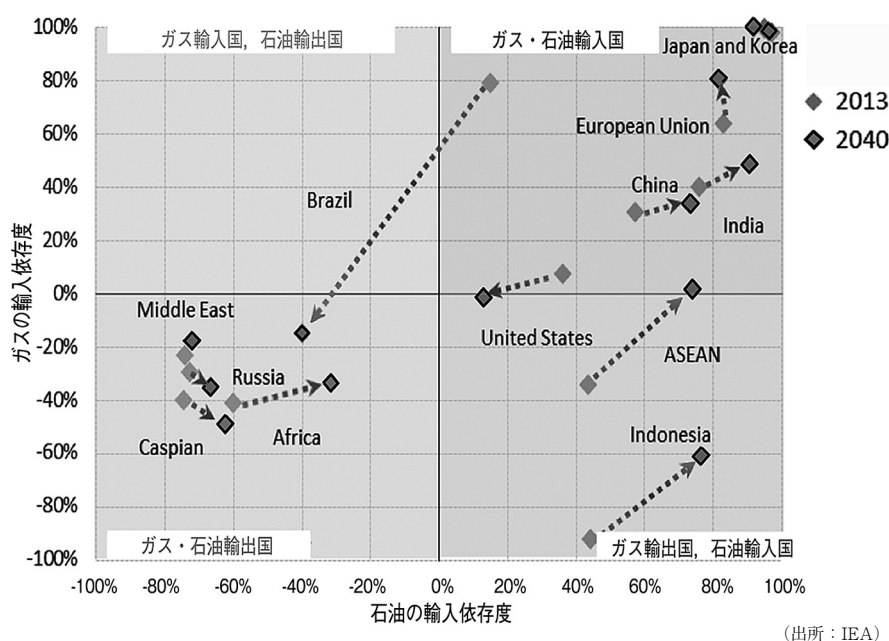


図5 石油・ガスの輸出入

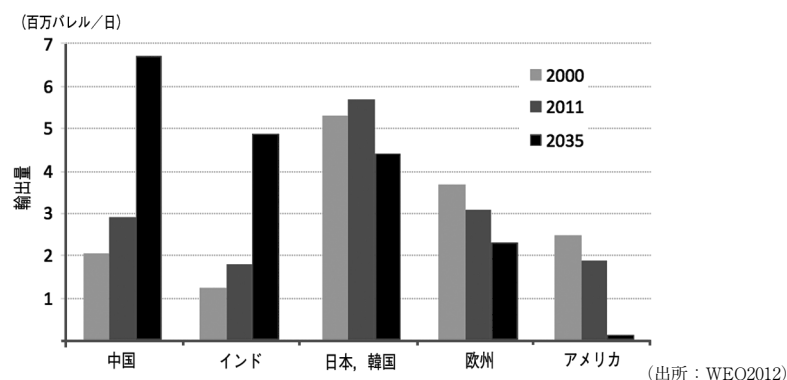


図6 中東からの石油輸出（仕向け地別）

これがアメリカの「エネルギー・インディペンデンス」で、明らかにアメリカの一人勝ち状態になってきています。

図6は、中東からどの国に石油が輸出されるかというグラフです。将来、中国、インドに圧倒的に多くの中東石油が行くようになります。何と9割がアジアに行くこととなります。かたやアメリカは、中東の石油を必要としなくなります。

この時アメリカが、今までと同じように、ホルムズ海峡の平和通行、中東和平にコミットし続けてくれるか考えなくてははいけません。「困る人たちが自分で守れ」と言ってくる可能性が大きいのです。日本は、安保法制を変えて、万が一の場合には、ホルムズ海峡に掃海艇を派遣できるようにしましたが、インド洋、ホルムズ海峡、ペルシャ湾での安全保障は、中国やインドと一緒にやった方がいいのではないかと考えます。

中国、インドの IEA 加入の可能性

ペルシャ湾の問題は、中国にとってはるかに深刻な問題だと考えられます。経済を伸ばして行くために、中国、インドの石油輸入が増えていき、2030 年を待たずに、IEA 加盟国の輸入量を抜いてしまいます。すると、IEA が石油備蓄を放出しても、中国、インドが放出分を吸い込んでしまい全く効果が無くなってしまいます。IEA としては、中国、インド

をメンバーに入れることが非常に重要な課題になります。

IEA の創設者であるヘンリー・キッシンジャー氏に、私が「中国を IEA メンバーにしましょうよ」と話したところ、彼は「それは素晴らしい考えだ。自分も協力したい」と言ってくれました。彼は、中国にも IEA 加入を働きかけたと思います。インドは、もう少しで入るところまで行きました。今、中国もインドも「主要な非加盟国」（パートナー国）というオブザーバーみたいな地位に留まっています。

もちろん、IEA に入らないと困るのは彼らなのですが、ただ、アメリカが創った組織である IEA では、加盟国の石油消費に応じた票の構成になっていて、アメリカが最大の票を持っています。アメリカ主導の団体ですから、加盟国の義務として 90 日分の備蓄をしても自由に放出することはできません。中国もインドも「アメリカの制肘を受けるのは嫌だ」ということで、メンバーになりたくないわけです。

ホルムズ海峡封鎖の影響

～日本の石油備蓄は十分、ガスが問題～

今、IEA 加盟国は、16 億バレルの法的備蓄を持っています。200 万バレル／日をこの備蓄から放出しますと 2 年間持たせることができます。400 万バレル／日だと約 1 年持たせることができる。ホルムズ海峡封鎖がそう長く続かないとすれば、1 年間持てば十分です。

第一次石油ショックの時は、約 400 万バレル／日の不足で、第二次石油ショック（1979 年）の時は 560 万バレル／日の不足でした。ホルムズ海峡が封鎖されると 1300 万バレル／日が不足しますから、数カ月も持ちません。大体そんな大量に放出できませんから、ホルムズ海峡封鎖というのは、最大のリスクです。

ホルムズ海峡封鎖で日本が困るのはガス

日本は、独自に 180 日分の石油備蓄を持っていますから、半年は持ちこたえられます。石油に関する限り、日本にとってホルムズ海峡封鎖は、必ずしも大きな問題ではありません。

実は、ホルムズ海峡封鎖で困るのはガスです。日本のガス輸入の約 20% はカタールからです。その中でも中部電力㈱は、全電源の約 4 割をカタールのガスに依存していますので、もし、これが止まると、一挙に計画停電になります。中部電力が計画停電を防ぐ最良の方法は、浜岡原発を再稼働することですが、浜岡原発は、菅直元元総理が超法規的に止めた原発ですので、これを再稼働するのは、政治的にハードルが極めて高いので、中部電力㈱にとって、カタールからのガス輸出がどうなるかが大きな問題となります。

中東危機というのは、「千年に一度の津波」

よりは遥かに頻繁に起こる可能性があります。日本は、これに対して準備をしておく必要があるのですが、残念ながら、想定外の状態にあります。経済産業大臣が、電気事業法に基づく供給命令をかけて浜岡原発を再稼働することは可能なのですが、「そんなことを考えるだけでも恐ろしい」ということで、官邸も経産省も考えたくないわけです。考えたくないというのは、想定外を作っていることですから、残念ながら「日本のホルムズ危機に対する対応は全くできていない」と考えるべきです。私自身は、「いったい我々は 3.11 で何を勉強したのだろうか？」という疑問を持っています。

トランプ大統領の不確実性と中東危機

図 7 は、G8 ラクイラ・サミット（2009 年 7 月）の様子です。当時まだロシアはメンバーで、オバマ大統領が最初に参加したサミットでした。

私も IEA 事務局長として、アフリカ首脳とのランチに参加しましたが、私の隣に座ったのがリビアのカダフィ大佐でした。カダフィは、そのランチで「実は、アメリカとイギリスから頼まれて北朝鮮に電話して、俺も（核開発を）止めたから君も止めたらと言ったんだ。ところが、金正日は言うことを聞かなかった」と言ったのです。



図 7 2009 年の G8 ラクイラ・サミットに参加した各国首脳

この話を、カダフィと親しかった西ケ廣・前リビア大使にお話したら、「カダフィは、アメリカは自分を殺しに来ないと思っていた。何故なら、アメリカから言われて北朝鮮へも働きかけたし、自分も核開発を止め、汚職撲滅キャンペーンもやったからだ」と西ケ廣さんは言っていました。ところが、カダフィは、アメリカも参戦した、「アラブの春」に触発されたりビア危機で殺されました。これが北朝鮮に大変なメッセージを送ってしまいました。最近、金正恩は、「絶対に俺はフセインとカダフィの二の舞にはならない」と言い、核兵器開発に邁進しています。中東の危機が東アジアにも伝播しているわけです。

アメリカがリビア危機に参戦する時、オバマ大統領が北朝鮮のことも考えて議論したという痕跡はありません。やはり、オバマ大統領の失敗は「アラブの春」のインパクトについて十分なアセスメントをしなかったことです。今、イランとサウジアラビアの仲が非常に悪くなり、カタールを巻き込んで大きな喧嘩をしています。

もし、トランプ大統領が「オバマ政権のレガシーをみんな潰す」という政策の下にイラン核合意を潰し、イランが「もう一度、核兵器を作る」と言った時には、世界は、また元に戻ってしまいます。イランとサウジアラビアの関係は相当おかしくなるでしょうし、サウジアラビアも「核を作ろう」と言うに決まっ

ていますので、中東危機が起こります。ペルシャ湾を巡る状況は、一触即発状態です。

また、トランプ大統領がイラン核合意を潰すことは、北朝鮮に対して「アメリカと対話するなんて最初からナンセンスだ。何をやっても無駄だ」というメッセージを送ることになり、日本の地政学的リスクを高めることにもなります。

世界のエネルギー予測

ガスの黄金時代、 低炭素エネルギー時代の到来

IEA の WEO2016 によりますと、図 8 に示しますように、今後 2040 年にかけて、石炭、石油の伸びが鈍る一方で、ガスが伸びて「ガスの黄金時代」がやって来ます。それから「低炭素エネルギーの時代」も来ますし、原子力もそれなりに伸びていく。途上国、中国を代表する新興国では、再生可能エネルギーが伸びていきます。

LNG 貿易が牽引する「第二の革命」

ガスでは、液化天然ガス（LNG）の貿易が伸びて、色々な国が供給元になっていきます。

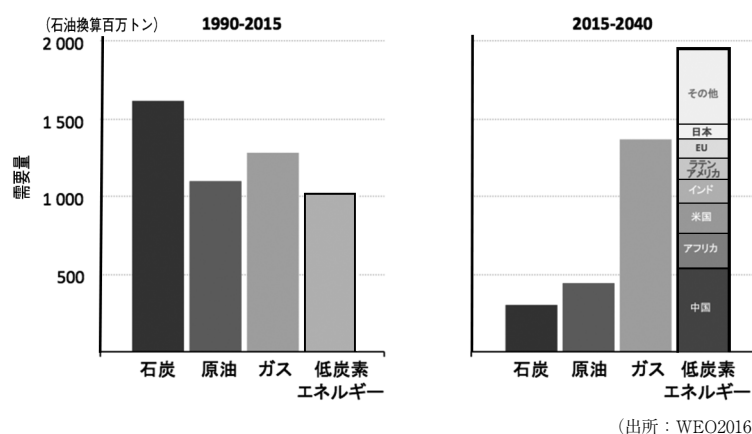
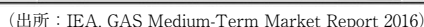


図 8 世界の一次エネルギー需要の変化（実績と予測）

経済産業省の「LNG産消会議」では、「仕向地規制を止めろ」と昔から言われてきました。仕向地規制とは、長期契約の中で、どこそこの買い先（供給元）から日本（荷揚げ場所）に持ってこなければいけないと決めてしまう契約です。LNGを出す方にとっては競争を減らすために、買う方にとっては安定供給のために良い契約なのですが、そうすると「市場がでにくいので止めてしまえ」と経産省も強く指導して来ました。そのお陰もあって、ガスは「第二の革命」の中で商品化していきます。

ただ、LNG 貿易が非常に多くなると、シーレーンを通して大量に運ばれることから安全保障上のリスクがあります。図9は、南シナ海、東シナ海のどこにLNGの液化基地とLNGをガスに戻す受入基地があるかを示しています。海上からのリスクに晒されていることがよく分かります。

こういう状況で、「ガス輸入は、海上輸送よりパイプラインで」と言うのが中国の戦略です。既に、国内では西から東へのパイプラインが完成し、トルクメニスタンから持ってきます。また、ミャンマーからの石油・ガスのパイプラインでは、ミャンマーで荷揚げされた中東からのガスが雲南省まで来ています。それから、ロシアともガス輸入契約を結んでいます。具体的にいつから、いくらで買うのか明確ではありませんが、パイプライン建設は進んでいます。中国自身は、「ガスはパイプ



– 24 –

ラインで買った方が安全」と考えていて、今でも輸入の半分以上がパイプラインによるものです。これが、中国の多様化戦略で、「エネルギーの一带一路戦略」だと思います。

ただ、石油の40数%がホルムズ海峡を、80%がマラッカ海峡を通過して来るわけですから、中国が「海の一帯一路」で、南シナ海やマラッカ辺りに進出して来ることは、アメリカにとっても由々しき問題です。

今、笹川平和財団では、アメリカ、インド、オーストラリア、日本で、インドパシフィックオーシャンにおける海洋セキュリティについて議論していますが、アメリカは、中国のエネルギー戦略、特に、ガス戦略を注視しています。

ヨーロッパ、ロシアの多様化戦略

ロシアのガスに依存しているヨーロッパは、ロシア依存を高めたくないの、多様化戦略を採って、色々な場所にLNG基地を造ったり、アフリカから買って来たりしています。

逆にロシアは、ガスの売り先があまりにヨーロッパに依存してきたので、中国や日本にも売ろうとしています。ヤマルというLNG基地ができ、そこから北極海経由でLNGを輸出しようとしています。先日、私もフランスの石油大資本トタル社の国際アドバイザーとして、

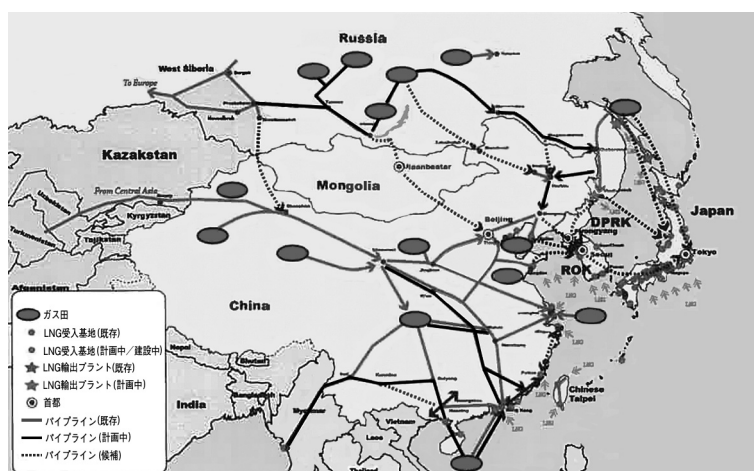
そのための砕氷型タンカーの命名式に出席してきました。船は、トタル社のクリストフ・デ・マルジェリ社長の名前を取って「クリストフ・デ・マルジェリ号」と命名されました。彼は「ヤマルLNGプロジェクト」の成功のため一所懸命ロシアと交渉していたのですが、その途中、モスクワの飛行機事故で亡くなりました。

プーチン大統領は、彼がプロジェクトに大いに貢献してくれたということで、彼の名前を付けた巨大な砕氷型タンカーの竣工に当たり、大変感激的なスピーチをしました。プーチン大統領が、何故ここまで「ヤマルLNGプロジェクト」に入れ込むかというと、北極海に向けた道が開けたからです。同型の砕氷タンカーを15隻も造るそうですが、それが北極海を動いていきます。これは、ガスの多様化とともに考えられているロシアの地政学的な戦略です。従って、日本もLNGだけでなく、サハリンからパイプラインでガスを買って来るということを、日露関係が変わっていく中で考えた方がいいのではないかと思います。

パイプライン網整備で取り残される日本

ASEANも既に「広域ASEAN天然ガスパイプライン網」を始め、沢山のパイプライン網を持っています。

日本でも昔、平田賢・芝浦工業大学教授が「北



(出所：第13回 NAGPF 会議資料, 2013年9月)

図10 北東アジアガスパイプライン構想 (2013年9月現在)

東アジアガスパイプライン構想」という素晴らしい提案をされました。それが実現したのは全部中国国内です。私も 2013 年 9 月に中国で開かれた、北東アジアガスパイプラインフォーラム（NAGPF）の国際会議に呼ばれて行ったのですが、中国の出席者から「平田先生に足は向けて寝られません。彼が言った通り我々がパイプライン網を造りました」と言われました。

残念ながら、日本は、国内のパイプライン網も、海外と繋がるパイプライン網も全く無く、取り残されているというのが実態です。

電化が進む中でのエネルギー安全保障

今後の世界は、電気を使っていく時代になるでしょう。従って、電力をどう上手く使うかがエネルギー戦略の要になってきます。そうしますと、隣国と送電線を繋いで大きな連携網を作り、相互に融通するという戦略が非常に合理的な戦略になります。それを示しているのが図 11 です。上からエネルギー自給率の高い順に並んでいます。上位に輸出国が並び、下位の自給率が低い国が原子力によって補完していることがよく分かります。

ヨーロッパ 28 カ国は、化石燃料、自然エ

ネルギー、原子力のバランスを各国でうまく取って、平均で自給率約 5 割になっています。これこそ「集团的エネルギー安全保障」と言えるのではないかと思います。集团的なエネルギー安全保障とともに、隣国と繋がっていると、ドイツのように自国では原発を止めて、再生可能エネルギーを使えるように大きな出力変動を取り除けるほど大きな市場を作るという「持続可能な戦略」も採れます。エネルギー安全保障戦略と「持続可能な戦略」が相互にリンクしていることがよく分かります。さらに、中東北アフリカとヨーロッパの電力系統を繋ぐ「デザーテック構想」もあります。

ASEAN 諸国でも系統連系の話がありますし、日本でも孫正義氏が「アジアスーパーグリッド構想」を出しています。中国は、「グローバルエネルギーインターコネクション（GEI）」というアイデアを、ロシアは「日露パワーブリッジ」というアイデアを持っています。さらに、プーチン大統領は、日本、韓国、中国、ロシアの系統を環状に連系する「アジアスーパーリング構想」への支持も表明しています。

実は、IEA は、「日本は国内でもっと系統連系をしないと危ない」と言ってきたのですが、電源周波数が東西で 50Hz と 60Hz に分かれて

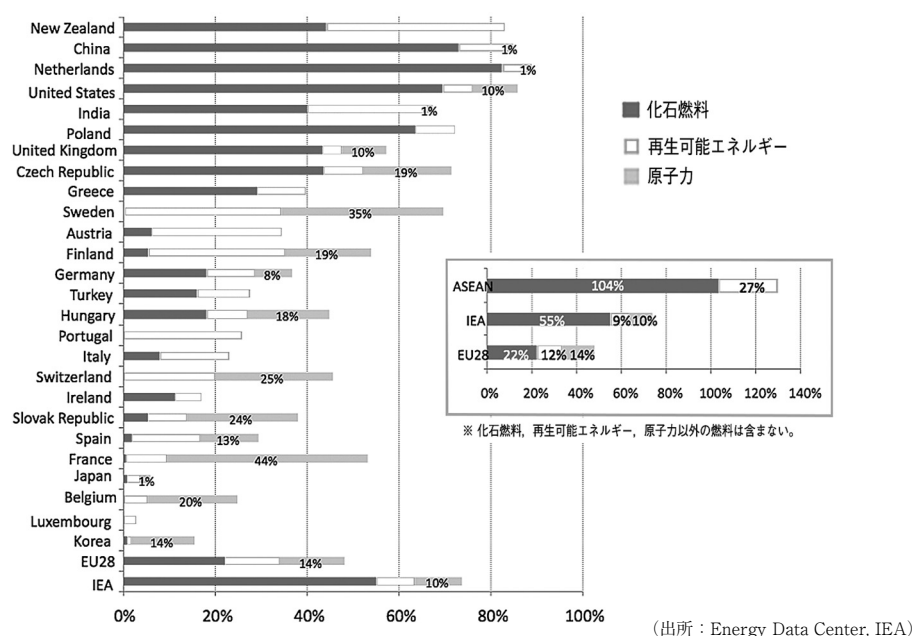


図 11 自給率とエネルギーミックス（2013 年）

いるために、福島事故の直後、電力を西から持ってこられなくて停電を起こしてしまいました。この課題は、昔からあります。

東西の電源周波数を統一しないと再生可能エネルギー導入も進みません。それは東京電力(株)の再生とも絡んでいます。私は、東京電力は唯一の送電会社になって、原発は関西電力(株)に売り払った方がいいのではないかという記事を日本経済新聞(2016年10月28日「私見卓見」)に寄稿したことがあります。既に、東京電力の火力部門は、中部電力と一緒に(株)JERAとして独立させていますので、いずれ東京電力が送電会社として独立すれば、株価が上がり国に借金を返せます。送電会社として、必要な料金をそれぞれの発電会社に掛ければいいわけですから、再生可能エネルギーも平等に扱えて、その収益で福島を補填することもできます。これが、電力市場と上手くリンクした、非常に理にかなったエネルギー戦略だと思っています。

地球温暖化対策とエネルギー技術

2060年ネットゼロエミッションのための技術

世界の二酸化炭素(CO₂)の排出は、2014年から2016年まで、約32ギガトンで横ばい

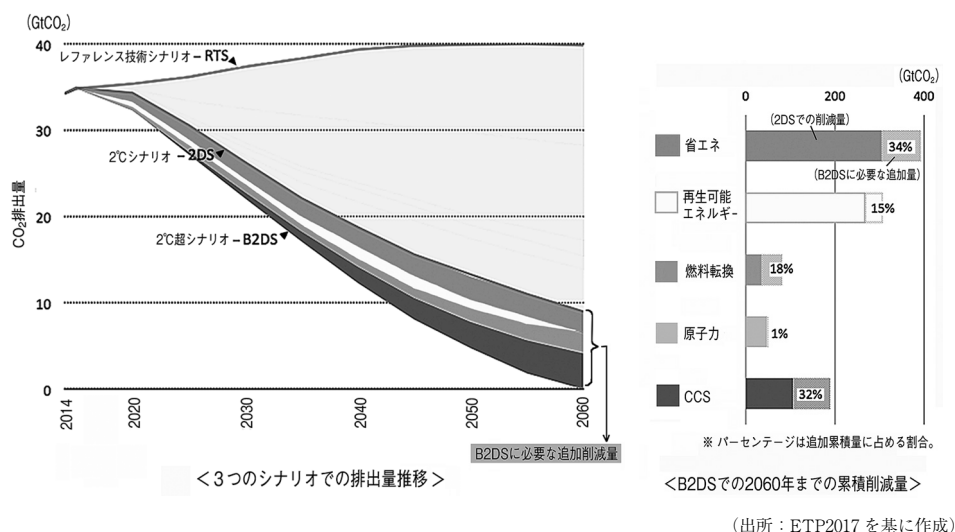


図 12 B2DS 実現に 2060 年までのエネルギー技術毎の CO₂ 削減量

ですが、今後もそれが続くのでしょうか。

IEA の「2℃シナリオ」(2DS) をやるには、特に、再生可能エネルギーと省エネが重要です。さらに、IEA は最近、2060 年にカーボンニュートラル(ネットゼロエミッション)を実現する「2℃超シナリオ」(B2DS)を提案しています。図 12 に示すように、その実現には 2DS 以上の削減が必要となりますが、IEA の『エネルギー技術見通し 2017 年版』(ETP2017)によりますと、B2DS で非常に重要になってくるのが二酸化炭素回収貯留(CCS)です。

今、どういうエネルギー技術が伸びているかと言うと、去年までは、太陽光、陸上風力、それから電気自動車(EV)でした。今年は電力貯蔵が注目を集めています。これが初めて「クリーンテクノロジー」としてETPで取り上げられ、いよいよブレイクするようになってきた、とIEAが言ったのが大変注目されます。昨日、一昨日と都内で開かれたICEF(Innovation for Cool Earth Forum)でも、エネルギー貯蔵の分科会に大変多くのお客さんが来ていました。

ETP は、再生可能エネルギーの増加、特に、太陽光と風力の増加が著しいのですが、図 13 に示すように、それだけでは 2DS 実現には足りないと言っています。また、再生可能エネルギーの活用には、地域分散型のシステム思考が必要だとも言っています。

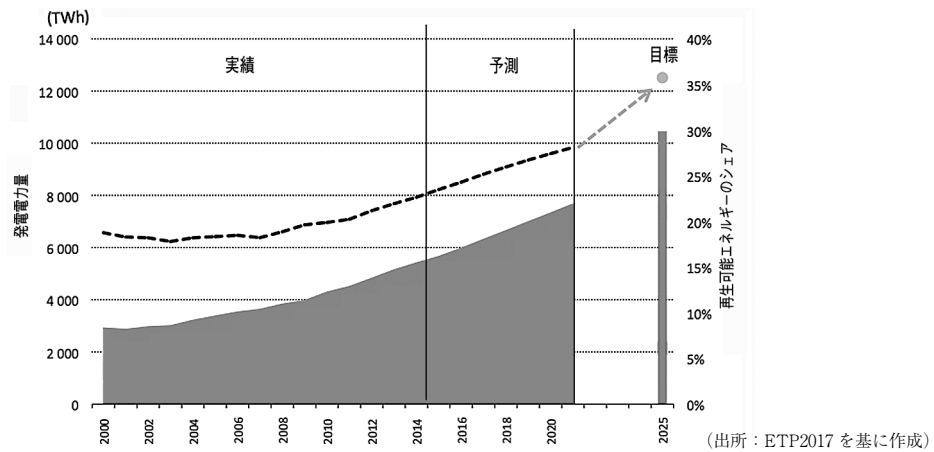


図 13 2DS 実現には不十分な再生可能エネルギー

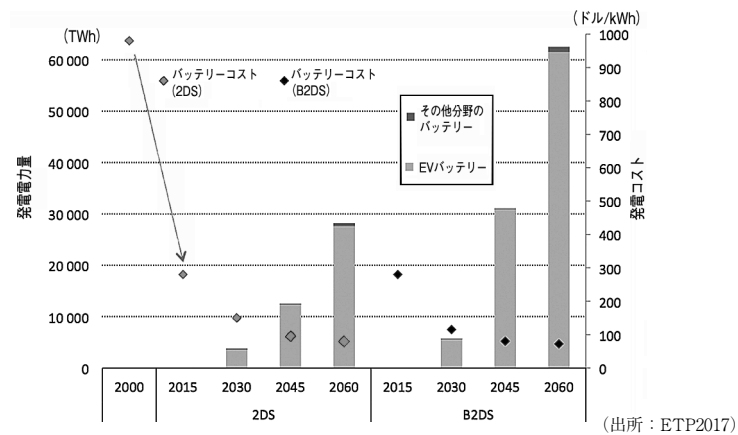


図 14 コスト低下が著しい電力貯蔵

それから、電力貯蔵は 2014 年の 1.5 ギガワットから 2016 年には 3.4GW へと大きく伸びていて希望が持てますが、2025 年でも揚水発電が電力貯蔵の 10 倍以上の 200GW とはるかに大きいと認識しています。今、電力を貯蔵するバッテリーのコストが最近大きく下がっ

てきていますから、これが続けば、2DS も B2DS も夢ではないと IEA は言っています。

次は CCS です。今、30 メガトン規模で実験が行われていますが、これでは全く足りず、今の 100 倍位までいかないと意味のある量にならない、と IEA は言っています。

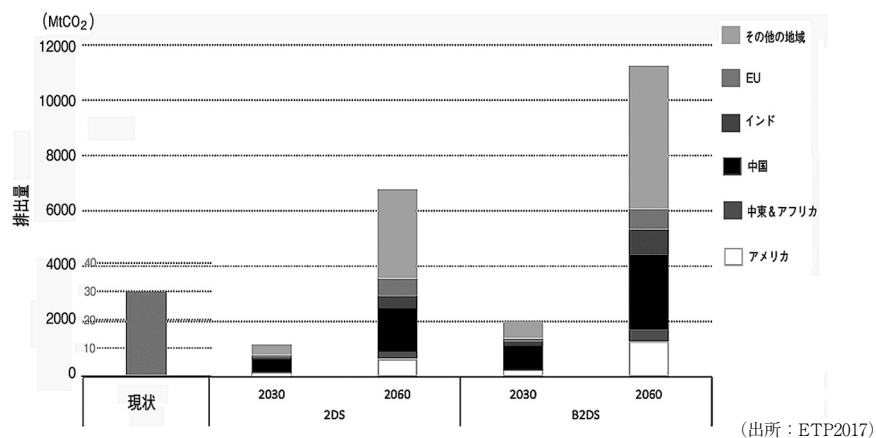


図 15 現状の 100 倍規模が求められる CCS

それから、EV の普及が進み、2016 年に 200 万台に達しましたが、B2DS では 2030 年に 100 倍の 2 億台にしないといけません。

そのためには「EV 革命」が必要で、ゼロエミッション地域指定や内燃機関エンジンの販売禁止等の強力な規制が必要です。最近、フランス政府もイギリス政府もゼロエミッション地域指定を明らかにしました。中国もインドも追随すると言われています。そういった形で、いよいよ『エネルギー技術見通し』が言っている「EV 革命」が起こりそうです。アメリカでも、ライドシェア（相乗り）サービスの普及などと一緒に運送部門で大きな変化が起こる可能性があると思います。

水素の対日輸出を模索するサウジアラムコ

このまま行くと、石炭だけでなく石油の需要もピークアウトするのではないかとサウジアラビア国営石油（サウジアラムコ）が心配しています。

先日、東京でサウジアラムコと（一財）JPCC 国際石油ガス協力機関との共催で“The Global Perspective of Hydrogen Economy”というシンポジウムがありました。サウジアラムコと日本の石油業界が研究テーマに水素を取り上げたわけです。サウジアラムコは、石油から水素だけを取り出して CO₂ を地下に埋めれば、その水素はクリーンなエネルギー源になりますから、それを輸出することが、

サウジアラムコの生き残り戦略の 1 つになっていると考えているわけです。

シンポジウムでは、千代田化工建設(株)の有機ケミカルハイドライド法で水素をサウジアラビアから持ってくるか、川崎重工業(株)の冷凍サイクルを使って液化水素にして持ってくるか、それとも住友化学(株)の提案のように水素をアンモニアにして持ってくるか。どれがベストな輸送方法かを議論していました。サウジアラムコが石油需要のピークアウトを真剣に心配しているということに、私も大変驚きました。

持続可能性と原子力の役割

IEA によると原発の大量建設が必要な日本

今後、原子力にはどういう役割があるのでしょうか。図 16 は、IEA が出した日本の発電電力量構成の実績と予測です。今後、再稼働が進んで、2040 年で約 2 割まで回復するのではないかと言っています。これは、日本政府の予想と基本的に変わりません。

ただ、2DS を実現するには、2050 年には再生可能エネルギーが約 7 割を、そして 17% を占める化石燃料のほとんどは CCS 付きで、原子力は 16% でないといけません。今、原子力の割合は 11% ですから、これを 2050 年までに 16% にするには、毎年 20GW ずつ増やさな

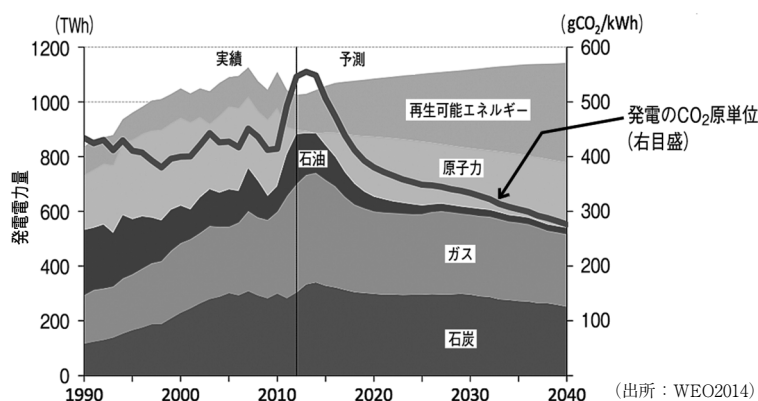


図 16 現状の 100 倍規模が求められる CCS

いといけません。つまり、巨大な原発を毎年20基建てていかなければいけません。ですが、スリーマイルアイランド事故、チェリノブイリ事故、そして福島事故の後で、これは相当難しいでしょう。

そうすると、2DSを実現するための原子力については、違ったパラダイムを考えた方がいいというのが私の持論です。

開発が進む統合型高速炉（IFR）

原子力に対する信頼の回復は、廃炉の問題、使用済燃料の問題、そして安全の問題についての国民の懸念に答えないとできないと思います。そこで、私は、むしろ早く、小型の第4世代炉に進んだ方が良くと思っています。高速炉開発はロシアや中国、インドが非常にリードしていますので、このまま行くと、技術的なヘゲモニー（覇権）が向うにいつてしまうのではないかと心配です。

アメリカでは色々なベンチャー企業が第4世代炉を開発しています。有名なのがNuScale社で、軽水炉の小型モジュール炉（SMR）の開発をしています。私が着目するのは、GEHitachi社のPRISMという統合型高速炉（IFR）です。IFRは、ロバート・ストーン監督の映画『パンドラの約束』（2013年）の中に出て来たので有名になりました。

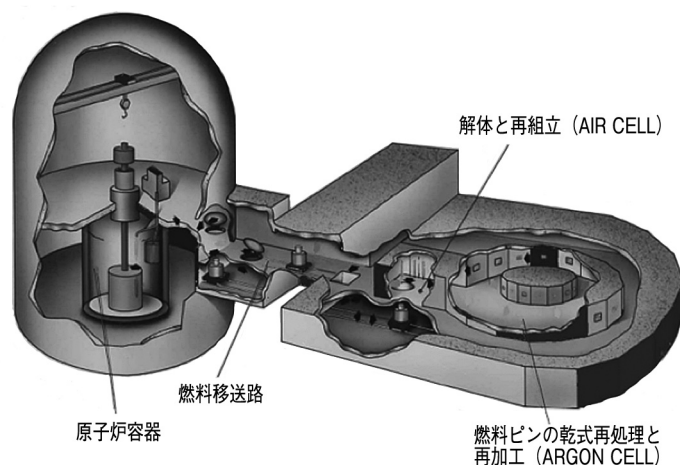
図17は、今もアメリカ・アイダホ州のアルゴンヌ国立研究所にあるIFR（EBR-II）の模式図です。金属燃料を使うという点で、日本の高速増殖炉「もんじゅ」とは異なります。また、六ヶ所村再処理施設のような湿式ではなく、電解型乾式再処理施設（パイロプロセッシング）が隣接し、炉と再処理施設がワンパッケージになっているというのがEBR-IIの特徴です。私も見に行って来ました。IFRプロジェクトが1994年に中止となったため、EBR-IIの炉は廃炉になっていますが、再処理施設はまだ稼働していました。

IFRのメリット

このシステムには、色々なメリットがあると言われています。①非常に有効な廃棄物処理が提供できる、②コストが安い、③核拡散性が低い、④安全性が高い、とかです。

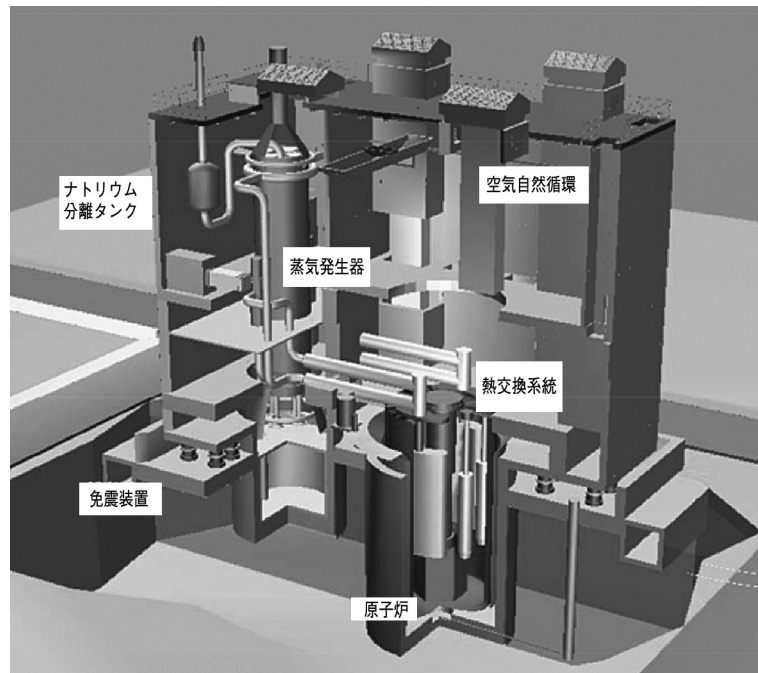
安全性では、1986年に、福島第一原発と同じような全電源喪失の実験をやって、人の手を借りずに無事に炉が止まったという実績があります。こういう実験をして、無事に止まることを国民に見せることは、国民の安心感を高める手段になると思います。

コストの面では、乾式は施設が簡単になるため、湿式よりも非常に安いということです。全体で六ヶ所村再処理施設の5分の1で済む



（出所：Dr.Yoon Il Chang, Argonne National Laboratory）

図17 米アルゴンヌ国立研究所の統合型高速炉 EBR-II の模式図



(出所：GE Hitachi)

図 18 GEHitachi の S-PRISM の模式図

とされています。もう 1 つの大きな特徴は、この炉から出て来る高レベル放射性廃棄物の毒性が落ちるまでの期間です。使用済み燃料だと 30 万年。そこからプルトニウムを取り出すと 9000 年。ここで、マイナーアクチナイドも一緒に燃やしてしまえば、廃棄物の毒性が落ちるまでの期間は、天然ウラン並みの 300 年になります。30 万年ではなく 300 年保管するということなら、地層処分の場所も割と見つけやすいのではないかと、という議論があります。

図 18 は、GE Hitachi 社が設計した商業型小型モジュラー高速炉 S-PRISM の模式図です。PRISM は、EBR-II の後継にと意図されていましたが、未だに造られていません。これを早く造るべきではないかと思えます。

国防上も必要と考えられる原子力技術の維持

アメリカでは、潜水艦用の軽水炉が非常に上手くいってしまったために、高速炉が使われなくなりました。しかし、日本が原子力をこのままだって全部止めて本当に良いのか、という議論があります。ジョセフ・ナイ教授、リチャード・アーミテージ氏といった非常に

親日的な人達が『第 3 次アーミテージ・レポート』（2012 年）で、「原子力を止めると、日本は二流国になる」と脅かしています。もちろん、武器を持つつもりは無いにしても、原子力を止めると、やはり隣の国から軽蔑され侮れますので、そうならないように原子力技術を維持することが、国防上、安全保障上必要だという議論をしなければいけないのではないかと、感じているところです。

したがって、今の北朝鮮情勢、東シナ海や太平洋での中国の動向を考えると、日本が原子力潜水艦を持つというのは、1 つのオプションとして充分在り得るのではないかと。海上自衛隊、アメリカ海軍は、このオプションを歓迎します。こういう議論もしていけないと、原子力の将来についての議論もできないかもしれない、というのが私の感じているところです。皆さんがどう思われるか、中々悩ましいところではあります。

韓国は IFR に非常に熱心です。既に、米韓原子力協定の中で、2028 年のプロトタイプ炉建設・運転開始を目指して、大勢の韓国人がアルゴンヌ国立研究所で研究を進めています。

デブリ処理のための IFR と乾式再処理施設

IFR には、炉心で溶け落ちた核燃料(デブリ)の処理に使えるという非常に大きな特徴があります。乾式再処理ですと、電気分解で溶けたコンクリートやステンレス、鉄、色々な物を上手く分離して、プルトニウムとマイナーアクチノイドを取り出して燃やせます。それ以外は、高レベル放射性廃棄物として捨てる。こうした方がいいのではないのでしょうか。

取り出したデブリを福島県外に持ち出すのは殆んど不可能でしょう。取り出して 30 万年保管する場所を探すのか、燃やして容量を小さくし、300 年のゴミに替えて保管するのか、どちらを選ぶかと考えれば、答えは明らかです。では、IFR をやれば一体どのぐらいの時間が掛かるか。25 年くらいで、デブリの中の超ウラン元素 (TRU) を 3 分の 2 くらいまで減らせます。さらに燃やし続ければ、もっと減らすことができます。

いくら掛かるかという、炉が 1000 億円、再処理施設が 1000 ～ 2000 億円。合計で 2000 ～ 3000 億円。発電もできますが、「デブリ処理のための小型高速炉と乾式再処理施設」という提案をしているわけです。そんなに高い買い物ではないと思います。

おわりに

福島事故を乗り越えるために

デブリ処理のために IFR の建設・運転ができるかどうかは、ひとえに、福島の人達がやらせてくれるかどうかにかかっています。

私がある所で上の提案をしたところ、ある身体障害者の女性からメールを頂きました。彼女は、福島にいて、子供の頃、街に原発がきたのを大変喜んだそうです。ところが、事故の後、うつうつとして、それまでのキャッ

チコピー「うつくしま、ふくしま」が無くなってしまったと言って泣いていた。ところが、私の話を聞いて、「これをやれば、科学技術に尽すという意味で「つくすしま、ふくしま」になれる」と書かれていました。私は、ビックリすると同時に大変感激しまして、「これを是非キャッチコピーで使わせて下さい」とお願いしています。こういう方が、10 人、100 人と出てくれば、デブリをそのまま置いておくより遥かに合理的なので、今私が提案したことは可能ではないか、やってみたらいいのではないかと思います。

長崎への原爆投下の日、爆心地から 700 メートルにある長崎医科大学(現・長崎大学医学部)で被ばくした永井隆教授(当時)が、やはり原爆の後に、「原子力の利用というのは文明の進化のために必要だ。それが長崎の原爆の災害を転じて福となす方法ではないか。そうすれば、多数の犠牲者の霊もまた慰められるであろう」と言ったという話があります。

福島事故で、日本は原子力だけでなく技術全般に対する世界の信頼を失ってしまいました。相当思い切ったことをして事故を乗り越えてみせないと、その回復はできないと考えます。IFR を使って、福島でデブリ処理をやって見せて、これが他の県でも使えるとなるとそこへも出ていくチャンスがあります。

IFR をそれぞれの原発サイトに建てて、「原子力のゴミの焼却炉型原子炉」という売り方でいけば、「持続可能な原子力」というのも、あながち不可能ではないのではないかと、それが「福島の禍を転じて福となす」道ではないか、ということでお話をさせて頂きました。

今日は、ご清聴、大変ありがとうございました。(拍手)

[講演]

「Society 5.0」における未来社会像とエネルギー

原山 優子 (内閣府 総合科学技術・イノベーション
会議 議員)



はじめに

本日のテーマはエネルギーですが、まず、エネルギーを抱え込む社会そのものの話、次に、私も策定に携わった「第5期科学技術基本計画」の中で、総合科学技術・イノベーション会議が概念化を進めている「Society 5.0」の話をし、最後に、「Society 5.0」におけるエネルギーの位置づけについて話したいと思います。

加速し増幅する変動

「第5期科学技術基本計画」策定時の共通認識 ～大変革時代～

政策の場にいると、少し先読みしながら今日どういうアクション取るか決めなければいけません。20年前、30年前の日本であればアメリカの後追的な状況にあって、将来が見通せたのですが、今はまったくそうではありません。私は、「第5期科学技術基本計画」(2016年～2020年)の策定に携わりましたが、計画がスタートする前年の2015年に、どういう形で5年計画を作ったらいいか内部で相当議論しました。「確実に言えることは、今が大変革時代でどう変わるか先の見通しがつかない」というのが、その時の共通認識でした。

一年くらいかけて計画を作ったのですが、その共通認識に間違いはなかったと言うか、2016年になると、想定以上に大変革の波が日本だけでなく世界中に押し寄せました。単に技術動向だけの大変革ではなく、地政学的な大変革でもありました。どこの国でも政権が変わると、政策の方向転換があり得ます。その大変革の波は今も続いている、不確実性が高まっていると思います。

2017年は、その大変革の延長線にありながら、さらに輪をかけて、安全保障まで不確実になって来ています。この中で我々はどういう社会を作っていくか。不確実性を減らすために、また、より良い未来社会像を作るために、どう備えるかということが問われていると思います。

進化するイノベーション

[広がり]

今、毎日のように人工知能(AI)とか「モノのインターネット」(IoT)、ビッグデータといった話が、あちこちで飛び交っています。技術が変わり、その技術を使う人が変わっていくというより、もっと大きな文脈での変動、社会的価値観そのものも変わりつつあるのではないかというのが、今日の皆さんも持たれている認識だと思います。これまでは、既存の価値を守ってだけで良かったのかも知れませんが、今、価値観そのものも再構築していくことが問われていると思います。

その中には、限られた資源をいかに効果的に使って次の世代につないでいくこと、また、地球そのものも持続可能なものにしていくことが、我々の大きな責務だと思っています。それを可能にする価値観、生活感、行動原理が求められています。

では、そのために我々はどういうボタンを押すことができるか。一言で言えば、イノベーションです。ただ、イノベーションというボタンを押せば何かが解決できる、ということではありません。これまでの延長線だけではなく、新たな発想で、様々な仕掛けをしていくことが求められています。そのためのイノベーションと捉えて下さい。

そのイノベーションですが、これまでは、変革者（イノベーター）や起業家（アントレプレナー）がアクション（行動）を起こし、新しいものが出て来て世の中が変わっていくという形でした。それが進化し、今は、個人ではなくチームが、ネットワーク型、分散型で協調してアクションを起こし、変化が広がっていく形になっています。

また、イノベーションは、これまで経済成長に結びついて「経済的付加価値」として着目されていたところがありました。10年ぐらい前から「それだけなのか」という考え方が出てきました。新しい技術を導入することで地球規模の問題が起きてきたのですが、それを逆手にとり、新しい技術で地球規模の課題を乗り越えることもできるだろう。「新しい技術をよりサステナブルな社会のために」という発想が出て来たのです。それが国連主導の「持続的な開発目標」（SDGs：Sustainable Development Goals）にもつながると思います。SDGsは、途上国向けだった開発目標を地球規模でやっていこうという動きです。多分、イノベーションなしでは難しいものだと思います。

[科学技術イノベーションの新機軸]

もう1つ、進化しているのは「科学技術イ

ノベーション」です。昨今、科学そのものの進化のスピードも速くなっていて新機軸が出て来ています。今、瞬時に情報共有ができる状況があります。これまでは入手困難だった様々なデータを共有できるようになると、新しいアプローチで、新しい知識を作ることが可能になります。これが「オープン・サイエンス」です。それに参画するのも科学者に限ったわけではなく、一般の人たちもデータを集めたり意見を出したりして関係を持つようになっています。これが「シチズン・サイエンス」です。「オープン・サイエンス」も「シチズン・サイエンス」も、かなり「第4次産業革命」やIoTといった技術とつながるところがあります。中でも鍵となるのは「デジタル化された情報」です。これも大きな流れで、何処まで行くか未だ分かりません。

イノベーションの原動力として、データと社会的要素が入り込んで来て、経済的効果と社会的効果の両方を狙うという「ソーシャル・イノベーション」、社会の中で様々な人達にも恩恵が及び、様々な人達が貢献できるような「インクルーシブ・イノベーション」という考え方も出て来ています。この2つのイノベーションは、どちらかと言うと、開発途上国に当てはまると思われがちなのですが、そうではありません。例えば、多くの先進国では国内で格差が広がっています。格差是正の政策ツールとして、政府による富の再配分だけでは不十分で、本質的な解には至りません。本質的に格差を解消するには、やはり政策ツールを強化することが必須で、その中にイノベーションがあるという発想があります。浸透の度合いは国によって違いますが、そういう新基軸が出て来ています。

[経済活動&構造の変化]

その中で、経済活動や構造変化は、日本にも押し寄せて来ています。様々な新しい形の経済（データ駆動経済、インターネット経済、オンデマンド経済、シェア経済、プラットフォーム

経済など）が出て来ています。旧来型の経済では、モノやサービスを作る人、それを売る人、それを買う人がいました。新しい形の経済では、作る人も複雑系となり、専門家もいれば、たまたま今日だけ作る側に回る人もいます。しかもその活動は、国境内のある地域に限定されているものではなく、国境を気にしないという世界観も出て来ています。

政策ツールとしてのイノベーション

劇的な変革の流れと同時に仕掛け方もどんどん変わっています。そういった変化の中で、科学技術イノベーション政策を策定しなければいけませんでした。科学技術イノベーションは、経済成長に貢献するだけでなく、社会的または地球規模の課題への解にもなります。地球規模の課題というのは、1つの国が環境を汚染した時には他の国にも影響がある、他の国が何かした時には日本にも影響が出てくるという「相互乗り入れ」の形をしています。ですから、その課題は一緒に解決しなければいけません。その時に、日本がリーダーシップを取りたいし、取ってほしいと言う期待感が強くあります。日本が世界に貢献する中で、日本の産業競争力も強化しなければいけません。

また、よほど小さな国でない限り、国内でも地域格差が存在します。大概の場合、都市型の産業がある首都圏とそれ以外との地域との間で格差が広がっていきますから、地域発展のために政策的に対応しないといけません。さらに、未来志向の社会変革を起こす時、政府が勝手に社会像を決めるのではなく、様々な人たちが発言でき、価値観を共有しながら進む国にしたいという発想があります。その先にくるのが「Society 5.0」という話になります。

これまで経済政策には金融政策、財政政策といった政策ツールがありましたが、今や、それだけではカバーできなくなっています。そこで、科学技術イノベーション政策が、公共政策、経済政策のツールとして主流化して

いるというのが現状です。経済協力開発機構（OECD）のレポートを見ると、日本だけでなく、ほとんどの先進国が同じようなことをしています。そこで難しいのが、いかにこれらの政策を互いに強化し合う形で絡めていくのか、ということです。それが非常に難しく、毎日悪戦苦闘しているところです。

政策というのは「呼び水」であって、現場の人たちが行動しやすい環境に持っていかなければいけません。ベンチャー企業の方々に、「政府に何をしたいか」と訊ねますと、「口を出さないでいるのが一番いい」とおっしゃいます。ですから、政府は、これまでのやり方と違うやり方をしなければいけないと認識しています。

第5期科学技術基本計画

計画の基本コンセプト

〔大変革に備える〕

「大変革に備えることが大きな鍵である」という認識でいますが、ではどうやって大変革に備えるか。まず、基盤的な力として、知識力の強い方が備えとして良いだろうと考えました。中でも「人の力」が大切です。デジタル社会ということで、「データ・サイエンティストが必要だ」という議論があります。そういう議論を各国の政策担当者たちしていると、「そもそもAIを上手く使いこなす人間力は何か。やはり人間の基盤的な力だろう」となります。人間の「基盤的な力」というのは、人間の創造性やロジックの組み立て、他の人との関係性、組織力などです。その力をよほど鍛えておかないと、逆にAIに使われてしまうのではないかという心配があります。そういう意味で「基盤的な力」が、かなり核的な部分になると思っています。

それと同時に、先が読めない時には、様々な

ことを試みなければいけません。そうすると、社会実験が必要です。その実験もするだけでは価値がないので、そこから学習して次のステップに行く道を付けなければいけません。

また、これからは、これまでの延長線ではない発想が価値を生み出していくだろう。これは、計画的にできるものではありませんから、今は光ってなくても数年後には光るかも知れないというものを潰さない。できれば、組織間の枠、分野の枠、機関の枠、考え方の枠、性別の枠などに捕らわれることなく、創造性を尊ぶという流れを作らなければいけません。やはり、「異に対する社会的受容」が鍵になると認識しています。

[Society 5.0]

そこで出て来た発想が「Society 5.0」です。どういう状況を想定しているかと言うと、第一に、科学技術やイノベーションをフル活用する社会である。その中でも、技術のための技術ではなく、人の生活が豊かになり、人との関係性がスムーズになり、新しい発想が出て来るような社会である。人が中核となる。そこでは、1つのグループがリーダーシップをとって、後の人たちは付いてくれば良いというのではなく、全員参加型が望ましいのではなかろうかという話です。それを可能にするのは、日本の将来、地球の将来がどうあるべきか議論した上で、良くなる可能性があるという共通の価値観を持って進んでいくことだと思っています。

[具体策]

具体的には、変革者（ゲーム・チェンジャー）を発掘することがあります。これまでの経験からすると、「変革者を望む」と言って手を挙げると潰されてきました。だから、手を挙げる人が少ないという感じです。ですから、それを意識的に発掘しなければいけないという考え方でいます。

アプローチでは、「システム・オブ・システムズ」という発想への転換が求められます。日

本は、システム化することが得意だと思うのですが、これからは、「システム・オブ・システムズ」の発想がこれまで以上に重要になってくるといえる話です。それから自分の守備範囲だけではなく、全体図を見たうえで、どういうふうに要素をつないでいくかという、バリューチェーンの発想も求められます。具体的なプロジェクトを推進しないと、実感できないし、世の中も変わらないと言うことで、具体的なプロジェクトをしようという話が出ています。

それと同時に、色々な分野に応用できる共通基盤となる技術を磨かなければいけません。イネーブリング・テクノロジー（Enabling Technology）という、今のところどう化けるか分からないけれども、これから化けそうなテクノロジーに投資します。何がイネーブリング・アテクノロジーなのか、見極めるのがかなり難しいですから、そこでは、確率論が必要になってくると思います。

第5期科学技術基本計画の中の 「Society 5.0」

表1が「第5期科学技術基本計画」の中身です。特に今日お話ししたいのは「Society 5.0」です。第2章の「未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組」のところで「超スマート社会」として出てきます。また、エネルギーは、第3章の「経済・社会的課題への対応」のところで登場します。

「Society 5.0」についての政策を議論していると、よく一緒に出て来るのがドイツ発の「Industrie 4.0」です。日本の「Society 5.0」では、「社会」を真ん中に置き、社会の中に産業が位置づけられています。「Industrie 4.0」が初めて提唱されたドイツで、政策を作る人達と話していると、「Industrie 4.0」には、元々社会が入っていて、その中での産業という考え方だったそうです。一般に、表面に出て来た産業にしか目がいきませんが、「Industrie 4.0」の発想は「Society 5.0」と共有するものがある

表 1 第5期科学技術基本計画の内容

1. 基本的考え方
2. 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の 取組 ⇒ Society 5.0 (p.7)
3. 経済・社会的課題への対応 (p.11)
4. 科学技術イノベーションの基盤的な力の強化 ー人材力の強化 ー知の基盤の強化 ー資金改革の強化
5. イノベーション創出に向けた人材・知・資金の好循環シス テムの構築 ーオープンイノベーションを推進する仕組みの強化 ー新規事業に挑戦する中小・ベンチャー企業の創出強化
6. 科学技術イノベーションと社会の関係強化
7. 科学技術イノベーションの推進機能の強化

るとおっしゃっています。

「Society 1.0」から「5.0」までを図1に示しました。文明論的に、人間がどういう道筋を辿って今日に到ったかを思い出しながら、数字を付けてみました。今、情報化社会が確立しつつありますけれども、まだまだポテンシャルがたくさんあります。その次に来るのではないかと仮置きするのが「5.0」です。遡れば、人類が自然と共生しながら狩猟や採集をしてきた狩猟採集社会が「1.0」。自然への働きかけとして農耕が始まり、集団を形成し国家を築くようになった農耕社会が「2.0」。次に、原動力すら人間が作り出した社会が「3.0」。エネルギーの話はこの時代から出て来きます。人間は、原動力を意図的に作ることで、社会そのもの、産業構造を新しくして来しました。そして今、情報化により無形資産をネットワークで結び、多様な付加価値を生み出すようになった情報社会が「4.0」です。

次の「Society 5.0」は、4.0で築かれた情報社会を土台にしながら、全ての人が、年齢、

性別、地域、言語といった色々な制約を乗り越えて、生き活きと快適に暮らせる社会。その中に、ロボットやAIが当たり前身の回りにいるようになる。サービスは、オーダーメイドとなり、新技術や新しい情報化でサービス格差が解消され、新しいものがどんどん出て、ゲーム・チェンジの機会も増加する社会でしょう。また、それを目指しています。

「Society 5.0」プラットフォーム

図2に示した「Society 5.0」プラットフォームの「エネルギーバリューチェーン」の最適化に焦点を当てて、これからの話を進めていきます。図2の上段には、12個の塊(システム)が乗っていますが、全て1個で完結している訳ではありません。実際には、互いに接点があったり、オーバーラップがあったり、こっちが進むとあっちが衰退するとか、一緒に進んでいくとか様々な可能性があります。12個の塊には、共通となる基盤技術があります。

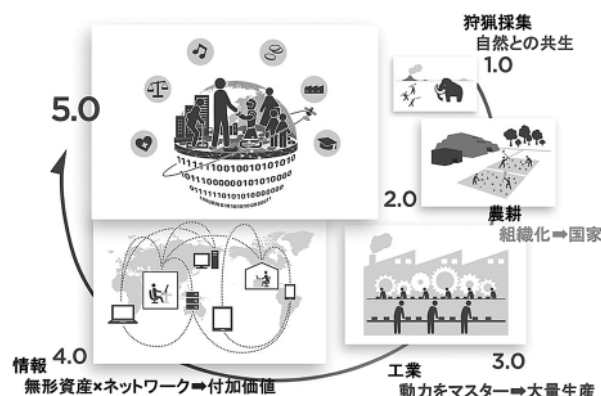


図1 人間の歩み

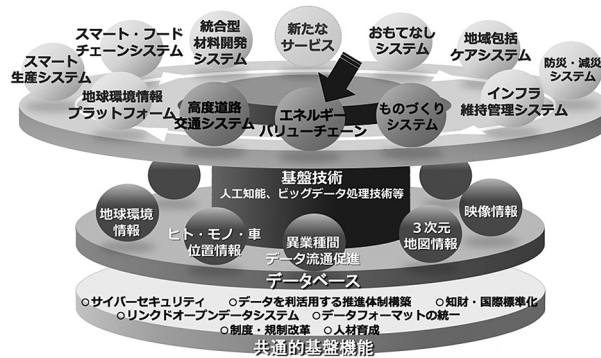


図2 「Society 5.0」プラットフォーム

その下の中段にはデータベースがあり、一番下が技術的な「共通基盤機能」があります。

図の中で一番肝心なのは、データベースという中段の層です。旧来型でも少しはあったのですが、「Society 5.0」では、これが大きな位置を占めると考えられます。全ての分野に入り込んでいるデータをいかに集め、いかに調理し、いかに価値あるものにするかというのが、我々にとっての大きなチャレンジとなります。

と地域社会の自律的发展があります。持続的な成長を可能にしようとする、その原動力であるエネルギーの話になります。それから、地球規模課題への対応と世界の発展への貢献という課題では、地球規模でのエネルギー政策に日本が関与していくべきと考えられています。具体的には、エネルギー、資源、食料の安定的な確保です。

エネルギーバリューチェーン

「Society 5.0」の中のエネルギー

経済・社会的な課題とエネルギー

経済・社会的な課題として、持続的な成長

エネルギーを1つの「バリューチェーン」として見て、話を進めます。図3に、エネルギーバリューチェーンの最適化が示されています。生産、流通、消費というサイクルがありますが、このサイクルの全体を見て政策を議論する必要があります。



図3 エネルギーバリューチェーンの最適化

また、エネルギーバリューチェーンの背景には、ライフサイクルアセスメント的な発想があります。エネルギーバリューチェーンは、日本だけで完結するものではなく、本来、地球規模のシステムとして考えなければいけないという認識でいます。図3の中で、色々なパーツに共通する技術もあるし、エネルギーに特化した技術、システムとして回すための要素技術もあります。それを推進していかなければいけないという話です。

また、図3には、日本がどこに位置して、海外に対する日本の貢献は何かという、グローバルな視点も入れなければいけません。

「総合戦略2016」と「NESTI 2050」でのエネルギー分野

「科学技術基本計画」を実施するために、毎年、「科学技術イノベーション総合戦略」が作られています。図4の「総合戦略2016」は、「第5期科学技術基本計画」の初年の戦略です。エネルギーについてですが、図4には、図3と同じ要素、同じターゲット分野が入っています。ですが、図4で意図しているのは、システムの発想を盛り込みたいということです。新しい電源を開拓するだけでなく、それを使う所まで持っていくシステムをどうするか。そして、最終的に利用者が利用しやすい、

全体として崩れないシステムをどう作るかということです。事例として、変動型再生可能エネルギー利用システム、化石燃料の有効利用+CCUS（二酸化炭素回収貯留利用）システムが示されています。要素技術があり、部分毎のシステムがあり、さらに、それをまとめたシステムを作るということですが、これは非常に大変です。エネルギーシステムのネットワークには、サービス層、サイバー層、物理層がありますが、層によって行為主体も違ってきますし、どの層を誰が責任を持ってやるのかという全体像の話になると、なかなか上手いきません。それでも、全体図を見ることができるようになったことは、大きな進歩だと思っています。

今、エネルギー分野での全体的なシステム作りは、直近の話で進めています。前述のSDGsや地球規模の課題に向き合う時には、もっと先読みしなければいけません。多分、日本に望まれているのは、もっと先の将来に可能になるようものの種まきです。世界的な要求に答えるために策定したのが、「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI 2050)です。2050年を目標達成の目安にしています。やはり、長期の目標については、政府の文書として残しておくことが大事です。それがあれば、政権が変わった時でも次の議論のベースになると思います。「方向性を示

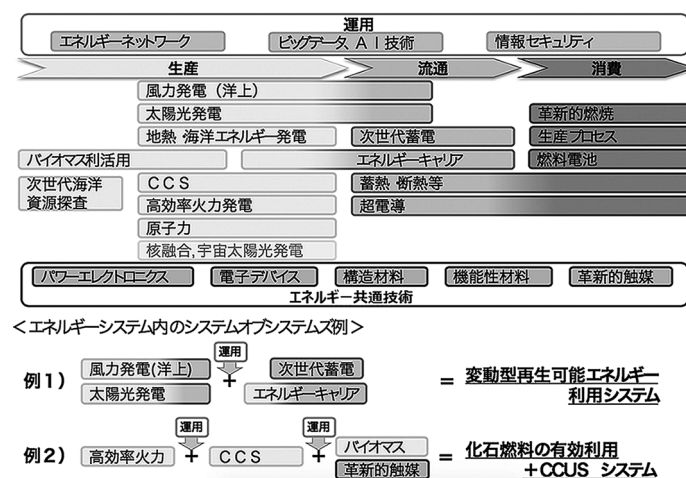


図4 「科学技術イノベーション総合戦略2016」でのエネルギーシステム

して残す」という意味で、「NESTI 2050」は、とても重要な文書だと思います。

「NESTI 2050」の中では、技術開発を進めるべき分野として、図5に示したように、省エネルギー、蓄エネルギー、創エネルギー、CO₂固定化・有効利用があります。その分野の中で、フォーカスすべき技術も書き込まれています。システム化のコア技術としてパワーエレクトロニクスなどのセンサーが挙げられていますが、情報を資産として活用するシステムを盛り込んでいくかということが、実用

化の鍵になると思っています。

図6は、エネルギーシステムのネットワークアーキテクチャです。真ん中の「サイバー層」というのは、埋め込んだ情報をどうつなげていくかという話です。サイバー層の「エネルギープラットフォーム」にもバリューチェーンがあって、「IoT サービスプラットフォーム」があります。これは、情報をエネルギーの世界に埋め込んで、いかに消費ののところまで持っていくかという話です。

そして、エネルギーシステムのネットワー

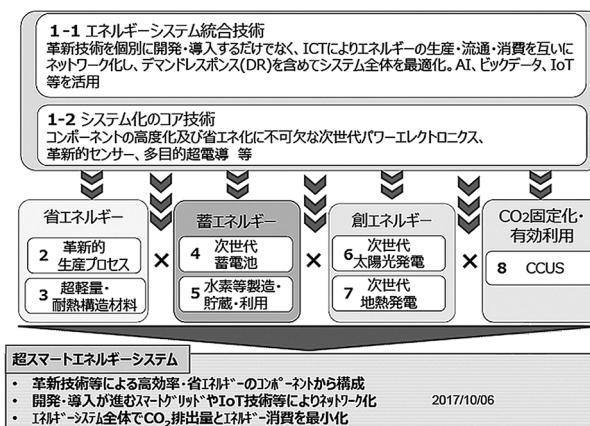


図5 「NESTI 2050」で実用化を目指すエネルギーの有望分野

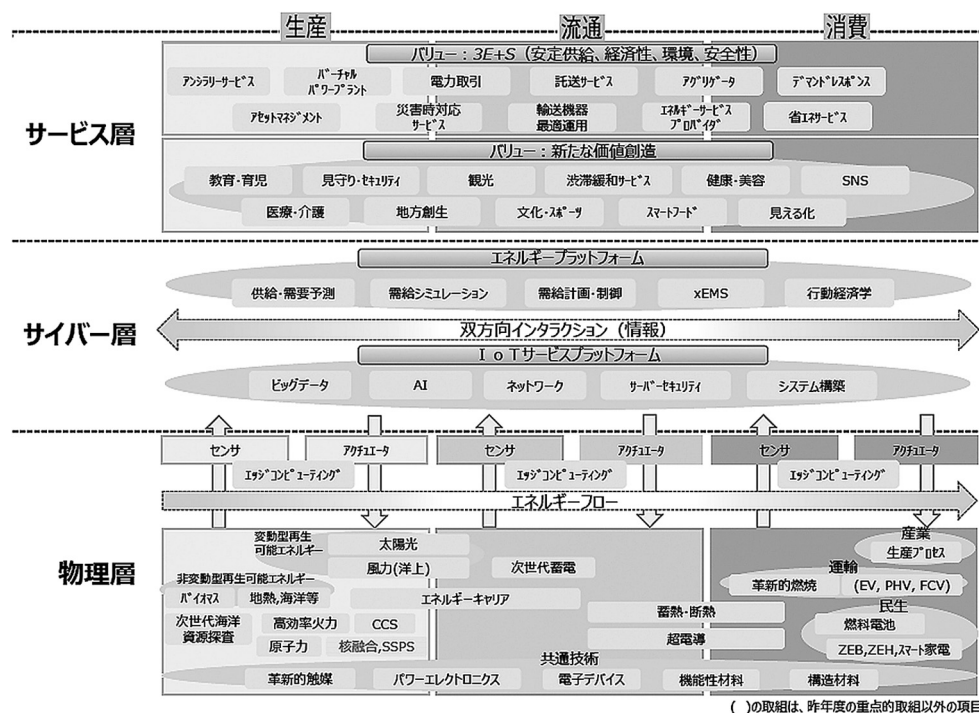


図6 エネルギーシステムのネットワークアーキテクチャ

ク作りでは、これまで以上に他分野の方々も乗り入れた形でシステムを作っていないといけません。しかも、これまで取り扱っていない物をお互い取り扱うことになります。今は、文化も用語も違う中で「システム・オブ・システムズ」を埋め込むための「助走期間」だと思っています。

「システム・オブ・システムズ」に向けて

通常、皆さんが考えられるのは、マクロレベルでのエネルギーの安定供給だと思います。例えば、変動型再生可能エネルギー利用システムで、プロの方々にとって一番悩ましいのが出力の変動です。「そんな当てにならないものをシステムに埋め込むと困る」というのが当初の議論でした。今、それを乗り越えていくために、蓄エネルギーという要素技術の電力システムへの埋め込みが進められています。その時、埋め込んだシステムが本当に機能するか確認するためのテストベッド（叩き台）が必要となります。また、今は、一般消費者がシステムの中に取り込まれていないと思います。若い世代では、エネルギーの枯渇や自然の話に非常に敏感な人が多いです。彼らの行動様式は多分、我々の世代とは違います。そういう人達の生活様式にあった電力供給の仕方もシステムの中に盛り込んでいかないとはいけません。

また、アフリカなどで、イノベーション起こす時には、そもそも安定的な電気の供給が無い所でイノベーションを起こさないといけないことがあります。そういう所では、非常に面白いイノベーションが起きていて、安定的にエネルギーが無くても使える道具を作るノウハウが蓄積されています。そういうものを日本にも取り込むことができないかと思っています。

同時に、情報システムが浸透し、細かな所まで逐次調整ができるようになってきます。それを上手く取り入れるために、これまでとは違うやり方を試す必要も出てきます。

また、コストパフォーマンスなどの理由で、これまで使われなかった地域熱電供給システムも取り入れながら、他との組み合わせを可能にする情報システムが埋め込まれた時には、新たな全体システムを考えていく必要があると思います。

おわりに

「Society 5.0」に向けて

最後になりますが、データの利活用がこれまでの技術開発に付加価値を与えるものとして、スマートメーターなどが出て来ています。さらに、新たなデータをエネルギーマネジメントの中に埋め込み、エネルギーシステムとしてのデータの利活用が考えられます。エネルギーの需給情報とそれを組み合わせれば、新しいサービスも可能になってきます。例えば、老人が孤立して生活していたとしても、エネルギーの消費状況を監視することで、日々の動きを捉えることができます。高齢者の見守りとか、お互いを見守り、故障の探知など、これまでできなかった様々なサービスが付加価値として生まれ、それを活用して、そこからの収益を配分することもできるようになります。

これからの課題は、その鍵となるデータをいかに収集・活用・管理するかです。データは、垂れ流してはいけないものなので、セキュリティの担保が非常に重要になります。

エネルギーシステムの中には、経済性や環境性、公平性、快適性など、新しい社会の根本となる部分があるようなので、日本国内でスマートなものを作り、海外に発信しながら、海外の良いところも取り込んでいくという在り方を、「Society 5.0」の中で発想して頂ければありがたいと思います。

ご清聴ありがとうございました。（拍手）

[講演]

ICT を活用した新たなエネルギーシステムの構築

林 泰弘

早稲田大学大学院先進理工学研究科 教授
先進グリッド技術研究所 所長
スマート社会技術融合研究機構 機構長



はじめに

私のテーマは、情報通信技術（ICT）を活用した新たなエネルギーシステムの構築です。

発電、貯蔵、使用などの場面で、再生可能エネルギー（再エネ）、蓄電池、電気自動車（EV）、家庭用燃料電池といった、様々なエネルギー・リソースが電力ネットワークにつながります。

まず、テーマの背景として電力ネットワークを巡る最近の動きについて、次に、私が座長を務める「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス・フォーラム」（ERABF）が取組む、分散型エネルギー・リソースを束ねて価値を生み出す新しいビジネス「アグリゲーション・ビジネス」の話、さらに、エネルギー・リソースを使った実証プロジェクトの紹介、そして、今後の展望について話したいと思います。

電力ネットワークを巡る最近の動向

進む分散型エネルギー・リソースの導入

2011年3月の東日本大震災までは、図1の上段のように、大規模施設で集中的に発電し、遠距離にいる需要家に送電するという一方向の電力供給システムしかありませんでした。東日本大震災が起こり、日本が地震国であることもあり、地理的に分散する再生可能エネルギー（再エネ）というエネルギー・リソースの導入が進められています。

その分散型エネルギー・リソースには、大きく3つの型があります。①プロデューサ型リソース、②コンシューマ型リソース、③プロシューマ型リソースです。

再エネには、太陽光や風力、バイオマスなど様々なリソースがあります。再エネでの発

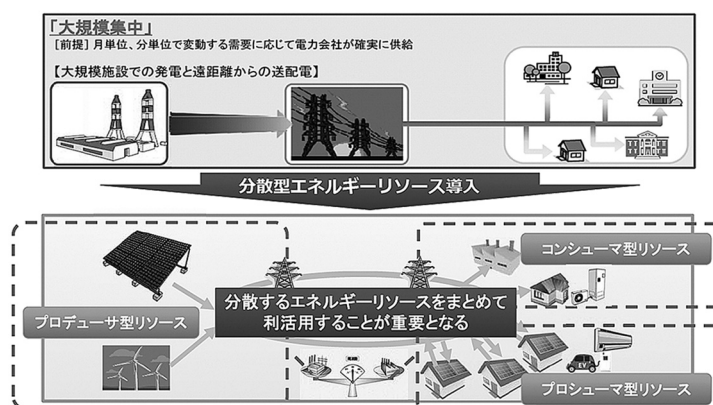


図1 東日本大震災以降で進む分散型エネルギーリソース導入

電から需要家までの流れは一方向で、これはプロデューサ型リソースです。昔は、発電して需要家に電気を届けるという一方向の流れがビジネスの根本でした。

しかし今や、太陽光パネルが需要家側の住宅の屋根に付いて発電し、それを貯める蓄電池もあります。場合によっては、電気自動車（EV）も「動く蓄電池」となります。屋根の太陽光パネルで作った電気は、家の中の電化製品に使う形で自家消費できます。つまり、電気を作るプロデューサでありながら、それを使うコンシューマにもなるわけです。これを「プロシューマ」と呼びます。この場合、太陽光パネルや蓄電池、EVなどは、プロシューマ型リソースとなります。蓄電池や太陽光設備の価格が劇的に下がると、もしかしたら、全ての住宅にプロシューマ型リソースが入り、家で消費する電力はほとんど自分達で賄える時代が来るかも知れません。

さらに、住宅の太陽光パネルで作った電気の余った分は、電力ネットワークへ戻す形で売ることできます。この時、電気の流れは双方向です。とは言っても、太陽光は自然エネルギーで出力が変動するので、「電力ネットワークへはちゃんとした繋ぎ方をしなければいけない」という話や「繋がらない方がいい」という話もあります。

低炭素社会に不可欠な再エネ・省エネ導入

2015 年 11 月に合意され、日本も 2016 年 11 月に批准した、国連気候変動条約第 21 回締約国会議（COP21）の「パリ協定」は、非常に大切です。

日本は、2030 年に 2013 年比 26% の温室効果ガス削減を約束しました。一方、3 年毎に見直す「エネルギー基本計画」は、東日本大震災の後、舵を切りました。「第 4 次基本計画」（2014 年 4 月）、それを受けて見直された「長期エネルギー需給見通し」（2015 年 7 月）では、図 2 で示すように、2030 年の電力需要は、9,808 億 kWh 程度となります。その電源構成は、再エネ 19～20%、徹底した省エネが 17%。この 2 つで約 4 割となり、かなり攻め込んだ計画だと思います。特に、再エネは自然変動電源ですから、積極的に導入するには、上手く束ねて動かすシステムが必ず必要になってくると思います。

急増する太陽光発電

見直す前、2009 年 8 月の「長期エネルギー需給見通し」では、太陽光の導入目標（運転開始量）は、2020 年度で 2,800 万 kW でした。ところが、2015 年で既に 3,000 万 kW 導入済

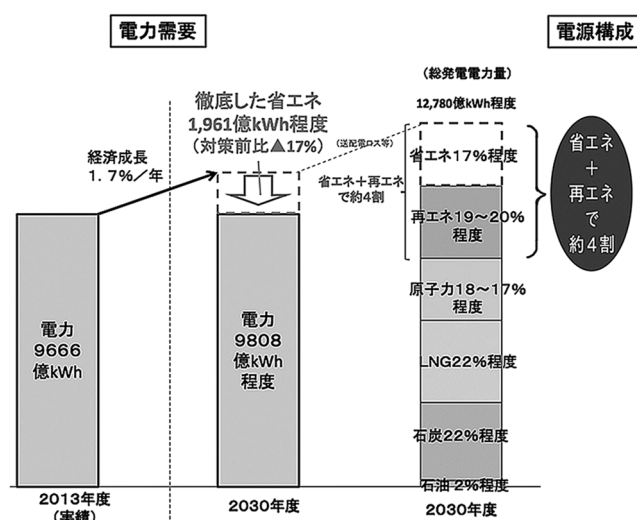


図2 2030年の電力需要と電源構成

みです。2012年7月に始まったFIT（固定価格買取制度）が効いて急激に増えました。運転開始を待っている認定量は8,000万kWで、FITについて国民負担の問題もあり、今、色々な動きがあります。

ネガワット（節電電力量）取引に向けた動き

電気は、大量には貯蔵できないので、需要量と供給量を常に一致させ続ける、「同時同量」とする必要があります。需給が逼迫している時間帯に節電して需要を減らせば、追加で発電するのと同じ効果が得られ、需要家側からも需給バランスを取ることができます。こうした電力を取引するのが「ネガワット取引」です。

発電所で発電したものは、「正」なので、ポジティブのポジで「ポジワット」と言います。節電した電力量（kWh）は、「負」なので、ネガティブのネガで「ネガワット」と言われています。「エネルギー基本計画」（2014年4月閣議決定）でも、ネガワット取引の促進に向けた環境整備の必要性が謳われています。

特に、日本のエネルギー政策にとって大事だったのは、2015年11月の「未来投資に向けた官民対話」で、安倍総理が「節電のインセンティブを抜本的に高める。家庭の太陽光発電や「モノのインターネット」（IoT）を活用し、節電した電力量を売買できる『ネガワット取引市場』を、2017年までに創設をいたし

ます。そのため、来年度中に、事業者間の取引ルールを策定し、エネルギー機器を遠隔制御するための通信規格を整備いたします」と発言したことです。そして、2017年にネガワット市場が創設されました。

しかも、内閣府「日本再興戦略2016」（2016年6月）では、ネガワット取引を整備しながら、2030年度までには、先行するアメリカと同水準（最大需要の6%）のネガワット活用を目指すとしています。

電力システム改革

ネガワット取引実現に向けた動きがある中で、電力システム改革が話題になっています。図3に示すように、2016年には電気事業が、発電、送配電、小売の3つに分けられ、小売が全面自由化されました。色々な事業者が登録制で小売事業に参入できます。電気を買うのは、電力会社からでなくても良い。ガス会社、石油会社、携帯会社からでも良いということで、誰でも自由に小売事業に参画できるようになり、今、1,000社くらいが参画しています。

電力システム改革の目的は、①安定供給の確保、②電気料金の最大限の抑制、③需要家の選択肢や事業者の事業機会の拡大の3つです。

安定供給確保のため、送配電部分では一社独占を認め、小売事業者から得る託送料金でコストを回収するスキームで動いています。

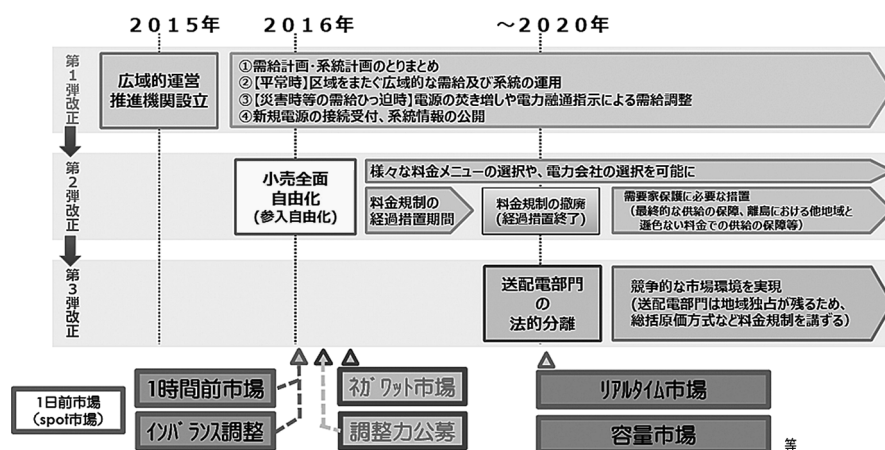


図3 電力システム改革の工程と市場整備

他方、発電・送配電・小売に分かれると、場合によっては上昇する電気料金の抑制が課題になります。そこは、携帯料金やガス料金を電気料金とセットにした割引サービスなど、販売戦略がある競争領域の話だと思います。

最後に、電気は色々なビジネスにつながる可能性があります。人の暮らしを考えた時、需要家が色々な所を選択できることが大事です。電力システム改革で、電気を電力会社以外にも買えるようになり需要家の選択肢が拡大します。同時に、市場支配力を持つ大規模事業者以外の事業機会も拡大します。これがイノベーションの契機にもなると思います。

ネガワット市場の類型、 わが国初の調整力公募とアグリゲーター

ネガワット取引の形には、図4に示すように3つの類型があります。小売事業者には、「同時同量」達成のために需要管理責任があります。そのための取引が「類型1」。他方、系統運用者（地域独占の送配電事業者）が地域の電気のコセントの品質を安心安全に管理する調整力を募集するのが「類型2」です。

電気は、需給バランスが崩れると周波数変動し大規模停電も起こり得ます。そうならないよう、送配電事業者には、周波数制御と需給バランス調整をする能力（調整力）が求

められます。

例えば、10年に1回の寒い冬、または暑い夏といった厳気象で需要が供給を上回ると予想されるなら、節電のために1日のうち何時間か送電を止めることを受け入れる約束を需要家と交わしておいて、需給逼迫に備えるわけです。応札する事業者は、制御能力があることを示して落札します。

ネガワット市場が創設された2017年の前の2016年度、一般送配電事業者（沖縄以外の電力会社9社）が、経済産業省のガイドラインに沿って調整力公募を行いました。

図5に示すように、「電源I」という厳気象に備えた募集に対し、全国で約95.8万kW（総額約36億円）が集まりました。この公募で、特に話題になったのは、デマンドレスポンス（DR）の実証事業で知見を蓄積してきた、電力会社ではない、アグリゲーター（需要家に需要制御の指示を出しDR量を集める特定卸供給事業者）が10件、全体の約5分の1に当たる21.7万kWを落札したことです。

前述のように、電力システム改革の目的の1つは、需要家の選択肢と事業者の事業機会拡大です。2016年に実施された調整力公募が、わが国で初めて市場を通してDR量が取引された実例です。規模としてはまだまだ小さいですが、こういう事実があったとことを知っておいて頂ければと思います。

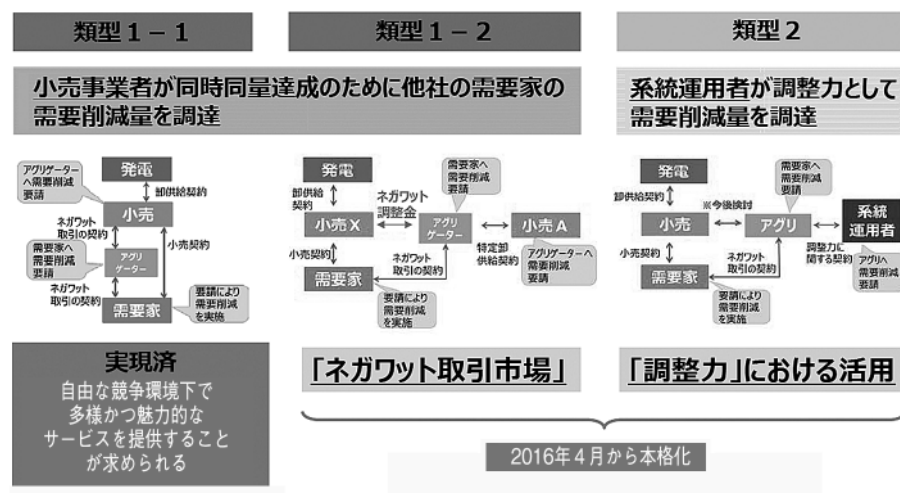
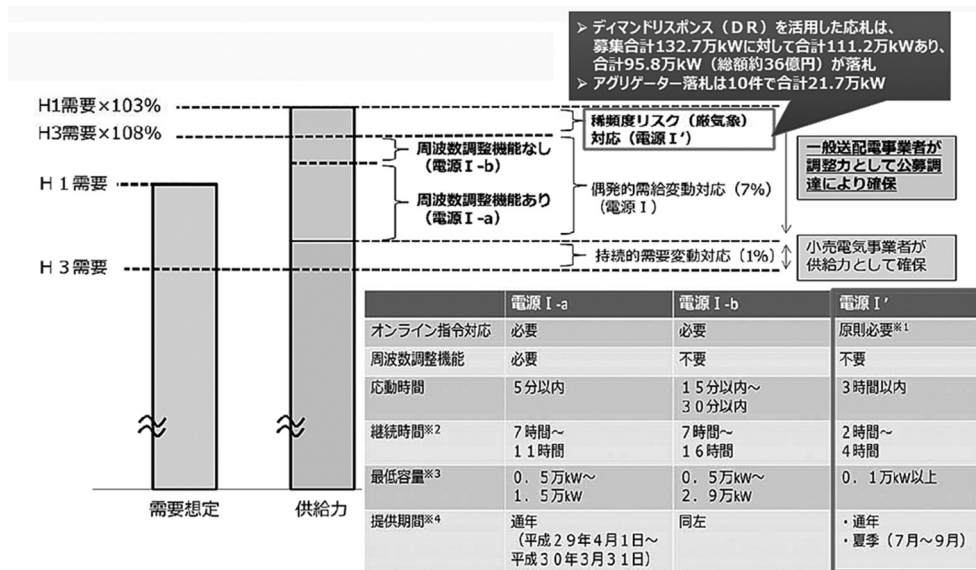


図4 ネガワット取引の類型と進捗状況



（出所：第 69 回電力・ガス取引監視等委員会資料）

図5 2017 年度分の調整力の区分と必要量（沖縄電力を除く）

2017 年度分の調整力の区分と必要量を図 5 に示します。2017 年度の供給力として、最大電力需要（H1）の 103%，最大 3 日平均電力（H3）の 108%を想定しています。その中の稀頻度リスク（厳気象）対応が「電源 I'」です。送配電事業者から来年度、「電気が足りないから切ってください」と言われた時、受ける側は要請から 3 時間以内に電気を切って 2～4 時間継続しなければいけません。最低 1,000kW を通年、または夏（7～9 月）に節電します。

アグリゲーターが創り出す

仮想発電所（バーチャル・パワープラント）

DR ビジネスが成立しつつある中で、図 6 に示すように、アグリゲーターが需要家側の

エネルギーのリソース（太陽光発電、蓄電池、EV、エネファーム、ネガワット等）を、IoT を活用して統合・最適遠隔制御することで、あたかも 1 つの発電所のように機能させることができます。例えば、住宅、工場、ビルのネガワットを束ねるリソース・アグリゲーターがいて、さらにそういった人達を束ねる親アグリゲーターがいます。蓄電池だけ、空調だけ、コンビニだけを束ねるアグリゲーターがいても良いと思います。

今まで電力会社は、火力発電所などに対して出力（発電）や停止をお願いしていました。火力発電所と同じような価値を生む、この仮想発電所（VPP:バーチャル・パワープラント）に要請できるわけです。

特に、老朽化した火力発電所を、10 年に 1

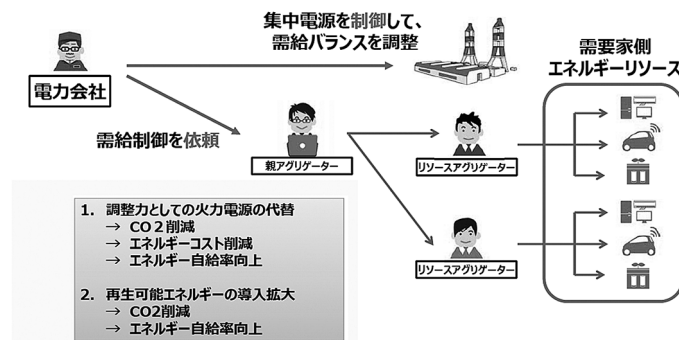


図6 バーチャル・パワー・プラント（VPP）の仕組み

回の厳気象のために用意しておく維持費もかかるし、動かす時大変です。バーチャル・パワープラントは、通信の信号で節電をして、ネガワットの価値で老朽火力と等価になれば二酸化炭素（CO₂）も削減できますし、エネルギーコストも標準通信規格でつながれば安くあがり、エネルギー自給率の向上、再エネの導入拡大にもつながると期待されています。

エネルギー・リソース・アグリゲーション

アグリゲーターが束ねる DR とは？

そもそもデマンド・レスポンス（DR）とは何か。例えば、「〇時から〇時まで節電して下さい」という信号を送配電事業者から送って、需要側が反応すると、それへの対価を払う。場合によっては、要請に応じて需要のピークをずらすと、その分を節電量としてお金を払う。このように、消費電力のパターンを変化させるのが DR です。

とても暑い夏や寒い冬（厳気象）に、太陽光を目いっぱい使っても電気が足りない時、DR で需要を抑制してくれれば、その対価を払う。発電と需要の「同時同量」が達成できて、コンセントの周波数が一定の範囲内に収まります。

「上げ DR」と「下げ DR」

～電力の不足時・余剰時の社会的要求～

社会的要求には、図 7 に示す 2 つのパターンがあります。電気が足りない時の要求と電気が余る時の要求があります。電気が足りない時は再エネで助かります。

しかし、電気が余る時は、逆に再エネを抑制してくれという話になります。例えば、ゴールデンウィークなどで皆が家を留守にして電力を消費しない時は、余ってしまいます。火力発電所を止めていくら発電量を減らしても、それ以上に再エネが電力ネットワークに入ってきてしまうと、供給過剰で周波数が上がってしまいます。この場合、需給バランスをとるために再エネを抑制しないといけません。

そのような 2 つの社会的要求に対応する形で、2 種類の DR があります。電気が余る時に需要を増やすのが「上げの DR」、電気が足りない時に皆で使うのを止めて需要を減らすのが「下げの DR」です。

私は、2050 年頃には、予測される翌日の電力不足に対して、「下げ DR」ができる電気機器が登場しているのではないかと。全国の住宅 7,700 万軒にスマートメーターが付いて、ネガワット分を全て測れて、ビジネスができる時代が来ると思います。その時には、例えば、15 万軒単位で 1 時間だけエアコンを止めることを、7,700 万軒の中で順番に行うことができ

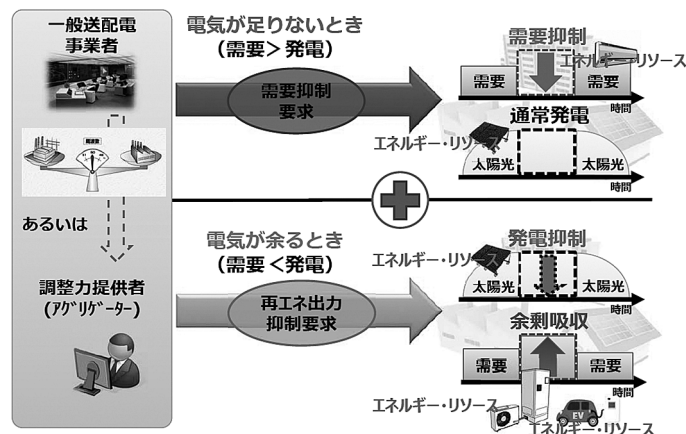


図 7 電力不足時と余剰時の社会的要求

ます。同じように、ヒートポンプ給湯器でお湯を沸かす時間も順番にずらしたり、EVの充電もずらすなどすれば、火力発電所1基分15万kWを3時間下げるのと同じ価値が生み出せます。さらに、火力発電所からCO₂を排出しなくて済みます。このように、DRは、需要を抑制する信号を送るだけです。今はもうICTが普及していますから、スマホやSNSからでもできるのではないかと思います。

自動デマンドレスポンス（ADR）

今や、メールや電話で需要抑制をお願いして、需要側の反応を測るという時代ではなく、図8に示すモデルのように、通常時から全部システムティックに行う時代です。

DRサーバーが電気事業者側にあり、そこからアグリゲーターが信号を受けて、さらに顧客に要請し、反応した分を計測して対価を払うというモデルがあります。

特に、日本は、地震が非常に多い国なので、地震が起きた時に、一部の大事な電気は止めないという制御も必要だと思います。例えば、食べ物が腐らないように家の冷蔵庫は止めないとか、お年寄りや子供がいる家庭ではエアコンだけは止めないとか、緊急レベルだけは守るという制御です。英語で停電を「ブラックアウト」と言いますが、緊急時に、一部の大切な負荷だけは残すことを「ブラウンアウト

ト」と言うそうです。

ですから、わが国では、通常時の自動節電対策としての「オートノマス化」に加えて、緊急時の自動自律対応策としての「レジリアント化」が非常に大事だと思っています。

発電・需要の一定制御に貢献する エネルギー・リソース

繰り返しになりますが、コンセントに届く電気の品質を一定に保つため、必ず需給を常にバランスさせなければいけません。図9の真ん中の斜めの線が、電力需給がバランスしている線です。厳気象の下で電気を使う時は、需要が供給を超え「これは大変だ」となり、発電を増やさないといけないのですが、その時、蓄電池から電力を融通（ポジワット）して、需給バランスの線上に持って来ることができます。

一方、春や秋は、再エネからの電力供給が需要を超えてしまいます。これを放っておくと、抑制のために再エネが電力ネットワークから切られてしまいます。せっかくの電気ももったいないので、その時は需要を増やす「上げDR」をします。例えば、電気給湯器でお湯を沸かししたり、蓄電池に貯めたりすれば、需要を創出できます。DRで動かせるものがあれば何でも動かし、発電の抑制を回避することが考えられます。

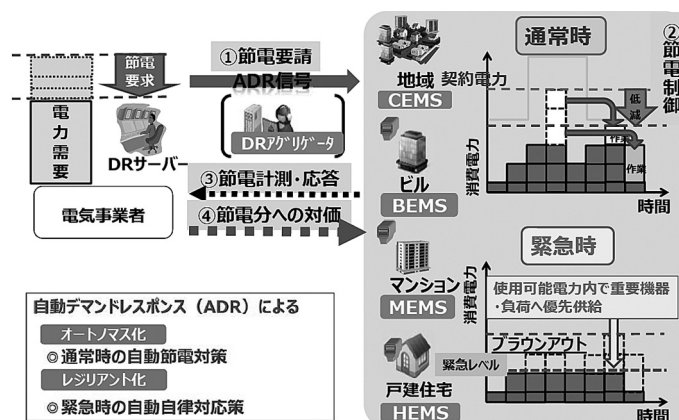


図8 自動デマンドレスポンス（ADR）の仕組み

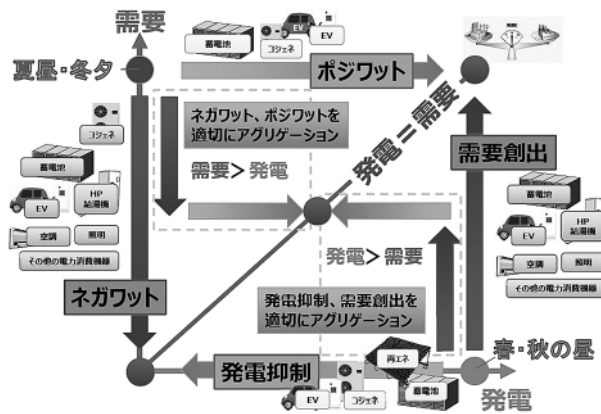


図9 発電・需要一定制御に貢献するエネルギーリソース

エネルギー・リソース・アグリゲーションが 生み出す新産業への期待

エネルギー・リソース・アグリゲーションで、「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス」という新産業が創出できると期待されています。

図10にこの新産業の流れを示します。再エネを含む色々な分散型エネルギー・リソースをアグリゲーターが束ね、電気や関連サービスを提供します。顧客のネガワットを束ねる際には、対価を払わないといけませんから、その原資は、ネガワットの調整力公募で落札する、日本卸電力取引所（JEPX）などのネガワット市場で取引する、小売事業者と取引して料金を徴収するなどの方法で用意することが考えられます。

電力会社にとって、図10の仕組みの良いところは、沢山の人間からネガワットを集め

てくれるアグリゲーターの存在です。アグリゲーターは、自身の責任で色々な所のネガワットを束ねてくれます。顧客をどれだけ集めるかがアグリゲート・ビジネス成功の鍵になりますから、色々な人達が関わってきて新産業が創出されるという期待が持てるわけです。

新産業育成のための産官学の取組 ～ ERAB 検討会と ERAB フォーラム～

そのような期待がある中で、2016年度、経済産業省資源エネルギー庁・新エネルギーシステム課が新設されました。「システム」という言葉が入った課が経済産業省に初めてできたことに、私は「システムの時代が到来したのだなあ」という思いを強くしました。

そして、新エネルギーシステム課の課長直属の組織体に、官主体のエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス（ERAB）検討

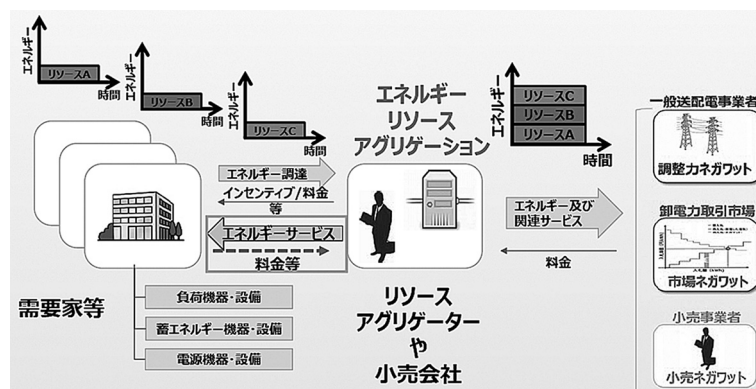


図10 エネルギーリソースアグリゲーションの流れ

会があります。

ERAB 検討会は、需要家側のエネルギー・リソース(創エネ機器・設備、蓄エネ機器・設備、負荷機器・設備)を対象に、それらの機器・設備を遠隔操作することで、ネガワット、需要創出、ポジワットを束ねるビジネスの発展を支援することを目的としています。検討課題には、ネガワットの計量方法、遠隔操作のための国際標準通信規格、アグリゲーターの要件策定、制御量評価、サイバーセキュリティなどがあります。

一方、我々、早稲田大学のスマート社会技術融合研究機構(ACROSS)は、産学主体の「エネルギー・リソース・アグリゲーション・フォーラム」(ERABF)を早稲田大学の学内に設置しました。そして、官主体のERAB検討会と連携し、意見集約や情報発信、ビジョン共有の活動をしています。我々は、年に数回、産官学の方々と束ねた会議を行っていくことで、ビジネスのためのシステムの基盤作りを進めています。

ERAB 検討会による

エネルギー・リソースの物的・経済的資源化

リソースとは、生活や産業活動等のために利用可能なもので、その中には、天然資源や観光資源のような物的資源、人的資源、そし

て経済的資源があります。また、リソースは、時代や社会によっても変わってきます。例えば、ネガワットというリソースなどは、昔はありませんでした。新産業になると期待されるエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスは、分散型エネルギーを新たに物的・経済的に資源化する活動と言えます。

ERAB 検討会が考えている物的・経済的資源化について図11の右側に示します。エネルギー・リソースを物的資源にするには、エネルギーを安全に束ねて、正確に測り、動的に制御して使うために、通信体系の整備上、上流標準化(OpenADR)や下流標準化(ECHONET Lite)が必要となります。ここで、デマンド・レスポンス・オートメーション・サーバー(DRAS)というのは、自動で節電信号を出してネガワットを束ねることをシステムティックに行うためのサーバーです。さらに、物的資源化のためには、サイバーセキュリティや余った太陽光をネットワークにつないで売るためのFIT併用逆潮流も可能にしなければなりません。

他方、エネルギー・リソースを経済的資源にするには、ネガワットを市場で取引するルールを定め、さらに儲かってビジネスが持続可能になるよう取引量を設定するための制御量評価が必要です。蓄電池で貯めた部分は何を価値とするか、という話です。

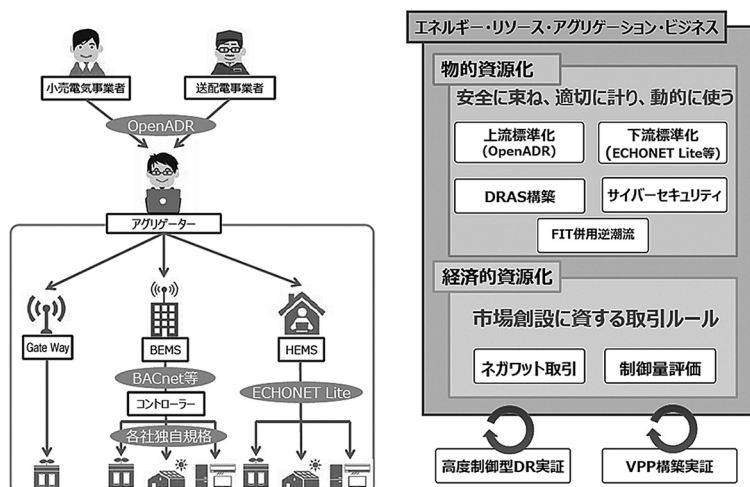


図11 ERABにおける物的・経済的資源化

図 11 の左側に示す通信規格ですが、小売事業者や配電事業者からアグリゲーターへ「〇時から〇時まで節電して下さい」という信号を送る時は、世界標準になると思われるアメリカの標準通信規格 OpenADR を使います。

信号を受けたアグリゲーターは、次に、ビルや住宅などに信号を送ります。住宅のエネルギー管理システム (HEMS) では、日本が開発し世界標準になっている通信規格 ECHONET Lite を前提に考えていて、ビルのシステム (BEMS) では BACnet というアメリカの規格を使うことが多いと思います。通信部分は、既存の良いものを使うということが ERAB 検討会の考え方です。

アグリゲーターの立ち位置

改めて、アグリゲーターが全体のどこに位置してビジネスをする人なのかを図 12 で説明します。

アグリゲーターは、送配電事業者、発電事業者、産業や家庭といった需要家の間に立ち、ネガワットというリソースを束ねてビジネスを展開します。電気事業法には、発電事業者、送配電事業者、小売事業者に関する規定がありますが、アグリゲーターは、特定卸供給事業者で、電気事業法で規定する「電気事業者」には当たりません。経済産業省は、電気事業

法を変えないで、アグリゲーターを育成する環境を創っていかうとしているようです。

アグリゲーターの腕の見せ所

～顧客の説得～

人の暮らしはエネルギーが無いと成り立ちません。ですが、人は節電のために暮らしているわけではありません。私は、学生たちに「人にとって何が幸福か。それを支援するサービスを中心に人の暮らしにとって大事なものをやるべきだ」と話しています。それとの関連で言いますと、通信制御信号は強制力を持った電力供給停止の信号ではありません。実際には、ネゴシエーション型情報の信号なのです。

例えば、電力会社のコントロール下にある火力発電所は、供給過剰による停電を起こさないために「〇時に止めて下さい」と言われたら、その通りに止めます。これに対して、需要家は急に「(電気の使用を) 止めろ」と言われても止めたくない時もあります。その時のアグリゲーターの仕事は、使用量抑制を需要家に依頼することなのです。その時、需要家は「ごめん。ちょっと今日お客さん来ているから駄目です」、「今回はできません」と断ることもできます。

そのような状況で、節電を担保するのがアグリゲーターの腕の見せ所なのです。例えば、

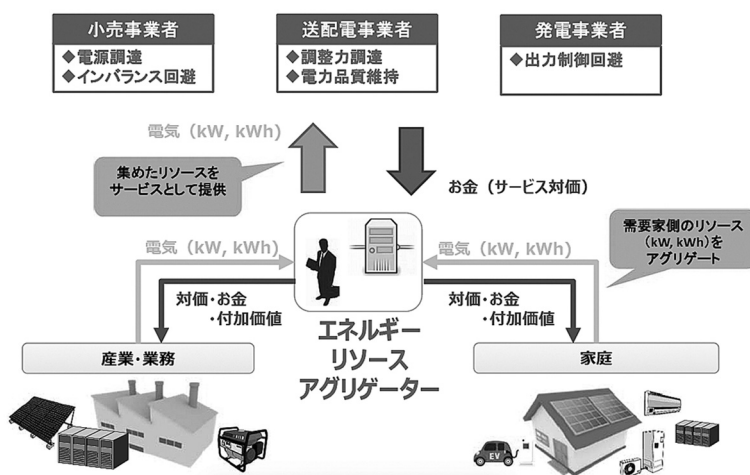


図 12 アグリゲーターを中心とするビジネスの流れ

100 万人の顧客に消費抑制の信号を打った時、30 万人が反応してくれれば良いわけです。電力ネットワークは全部つながっていますから、どこの 30 万人でも構いません。とにかく、100 万人のうちの 30 万人が反応して、ネガワットが毎回確保できれば良い。データが蓄積されていくと、段々と需要家の行動も読めて来ます。分散している需要家の反応が分かれば、このネゴシエーション型ビジネスも成り立つわけです。実は、OpenADR という通信規格は、時間と量のネゴシエーションに適した規格なのです。

ですから、ERAB 検討会では、図 13 に示すように、OpenADR とエネルギーアグリゲーション技術の組合せで、アグリゲーション・ビジネスの技術体系を形成できるのではないかと検討しています。そこでアグリゲーターと顧客間の通信にも OpenADR を検討すべきではないかという話が出ています。

ACROSS と実証事業

EMS 新宿実証センターの設立

私は、電力システムの研究者ですので、2011 年 3 月の東日本大震災には大きなショックを受け、「何とかしなければいけない」と強く思いました。

震災直後から「分散型システムに移れ」という立派な未来図が示されましたが、「誰が中立的なプラットフォームを作るのだろうか？」と思いました。そのための技術の学術的基盤が無いし、色々な企業の方々と一緒にやる場も無い、と思ったのです。そこで、我々は、2014 年 7 月、スマート社会の鍵となる技術の研究拠点「スマート社会技術融合研究機構」(ACROSS)、産学連携組織の「スマート社会技術推進協議会」と「スマート社会技術研究会」を設立しました。

人が住む住環境は大事です。再エネも大事。医療も大事。経済も大事。モビリティも大事です。ということで、ACROSS では、スマートグリッド、スマートハウス・ビル、スマートモビリティ、スマートヘルスサポート、スマートフードの 5 つを研究対象としています。

スマートグリッド関係では、ACROSS の設立に先立って、インフラ系の方々（電力、ガス、通信、住宅メーカー）やメーカー（電機メーカー、自動車メーカーなど）25 社と連携して、経済産業省と一緒に学内に「Energy Management System (EMS) 新宿実証センター」を作りました。このセンターの目的は、国際標準通信規格を用いて、日本の目指す DR 技術の整理・研究開発・実験実証・提言をすることです。今、国家プロジェクトをやりながら、上流から下流まで、日本の標準的な DR の仕組みを作るための中立的実験所として機能しています。EMS 新宿実証センター

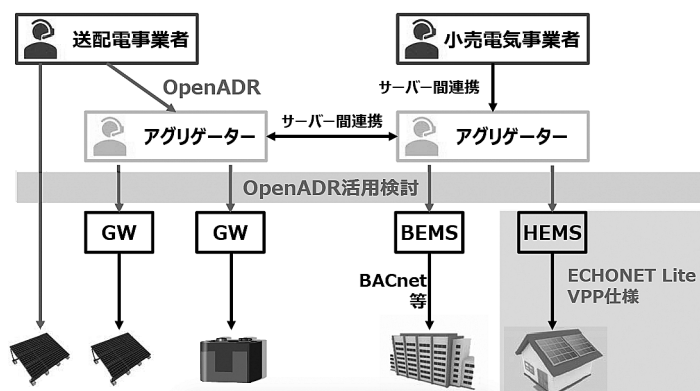


図 13 ネゴシエーション型ビジネスに適した OpenADR による体系構築

では、上流から「節電せよ」という信号が出て、それが下流の住宅まで届いて、反応を上流に戻すという仕組みの開発に取り組んでいます。

図 14 がセンターにある設備の写真です。2つの仕様のスマートメーターを入れ、自動DRサーバーを置いて、色々な家電製品をつないでいます。家電製品の選定では、広がりを持たせるために、オープンイノベーション的な戦略をとりました。つまり、家電製品は、絶対同じ会社の物を2つはつながない。通信規格 ECHONET Lite を持っていない家電製品はつながないという制約を設けました。

スマートハウスは4棟あります。また、太陽光を沢山入れる時は電力ネットワークの制御が必要なので、配電系統シミュレータとい

う実験システムを作りました。それをハブとして双方向に通信します。さらに、図 15 に示す、センターの外とも通信のやりとりをする「エネルギー・サイバー・フィジカル・プラットフォーム」もあります。

ネガワット実証事業

我々が携わっている OpenADR を活用したネガワット実証事業の内容は、図 16 の通りです。

東京電力(株)、関西電力(株)、中部電力(株)から節電要請の信号を受け、センターがハブとなり、関東エリアや中部エリアに、例えば、「13時から15時の間だけ節電して下さい」という



図 14 EMS 新宿実証センターの設備



図 15 エネルギー・サイバーフィジカルプラットフォームの概念図

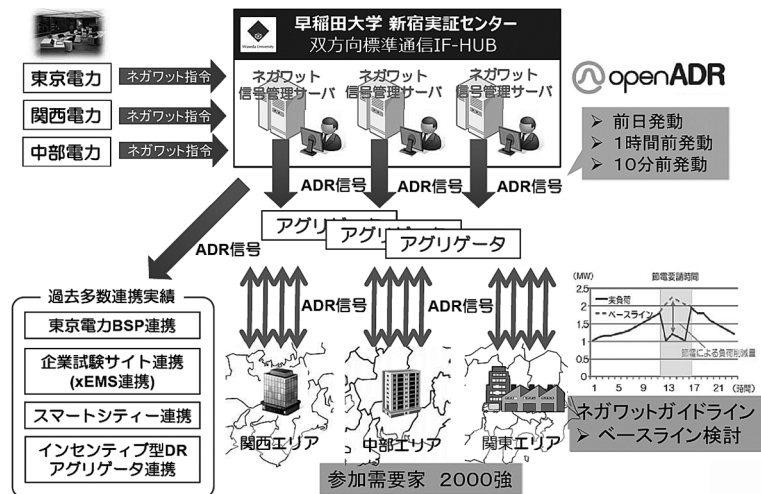


図 16 OpenADR を活用したネガワット実証事業

信号を送ります。もし何も反応がなかったら、電力消費は今まで通り（図 16 右下のグラフの点線のベースライン）です。信号に対して、需要家が電力消費を下げた部分がネガワットとなります。なお、ベースラインは、新エネルギーシステム課で議論して決めた「ネガワットガイドライン」に沿っています。

手始めに、2,000 戸の需要家で実験してみました。ただ、数も少なかった上に、色々難しいところがあって、その時は自家発電と空調を用いたポテンシャル推計くらいしかできませんでした。そのデータを基に、全国規模で実験した場合を推計すると、1 時間前に ADR 信号を送って自家発電や空調を動かせるとしたら、ネガワットは 1,300 万 kW となりました。

一方、太陽光が余って止めなければいけない時、「〇時か〇時まで発電を止めて下さい」ということと「〇時から〇時まで消費を下げてください」というのは、ほぼ同じ信号で済みます。同じ OpenADR で信号を送ったら良いので、それほど多くの通信規格は要りません。

そこで今、図 17 に示すように、東京電力(株)、関西電力(株)、北陸電力(株)から信号を送ってもらい、各エリアで太陽光出力を止める実証をしています。この実証事業は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託で、(一財) エネルギー総合工学研究所 (IAE) と一緒に行っているものです。

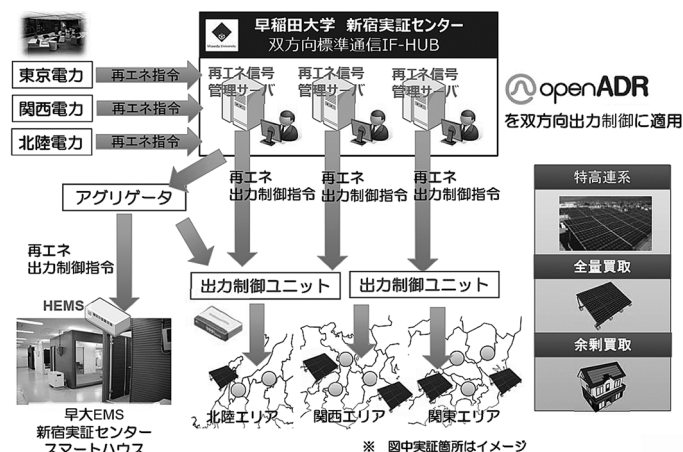


図 17 OpenADR の太陽光出力制御への適用 (IAE・NEDO)

余剰買取時の出力制御と HEMS での自動制御

例えば、太陽光で余った分を電力ネットワークに流すと切られてしまいます。切られる電気がもったいないので、その分を、EMS 新宿センター内のスマートホームで消費する実証を行いました。その流れを図 18 に示します。HEMS があって、太陽光パワコン、EV、給湯器の組合せで余剰電力を消費します。EV の充電に使うと、移動のためのエネルギーへのシフトになります。夜に入る風呂のために給湯器でお湯を沸かすと、熱への転換となります。

図 19 に示すように、ネガワット指令を受けて、電力消費量を下げることを行っていますし、再エネの出力制御で再エネを止めることも行っています。VPP には、2つの要請（上げる、下げる）が入ってくるわけです。発電所と同じ機能をするということで、今、DR のサーバー構築をして、我々が親アグリゲーター（6 事業者）に信号を打つ実証を始めています。

おわりに

バーチャル・パワープラント構築実証事業

今後の展望

最後に、IAE と共同で行っているバーチャル・パワー・プラント（VPP）実証の話です。

今、電力システムで大きなチャレンジが進んでいるところです。これまでは、大規模集

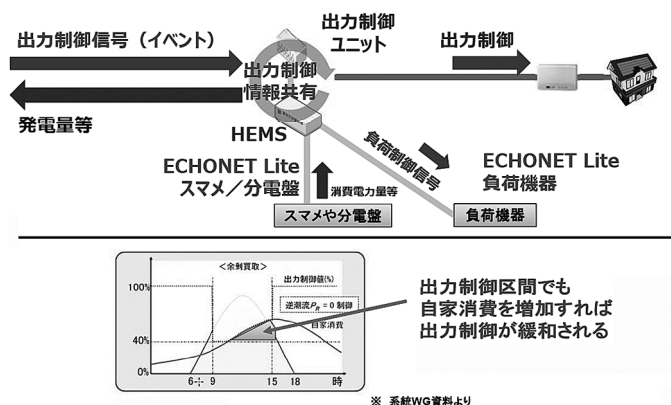


図 18 余剰買取時の出力制御と HEMS による自動制御（IAE・NEDO）

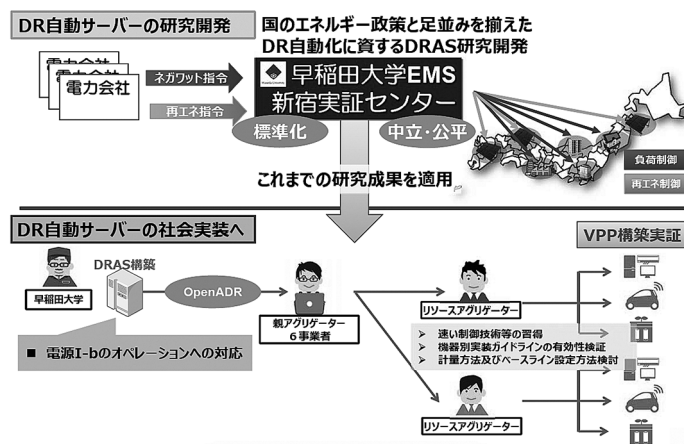


図 19 バーチャル・パワープラント構築実証事業（IAE）

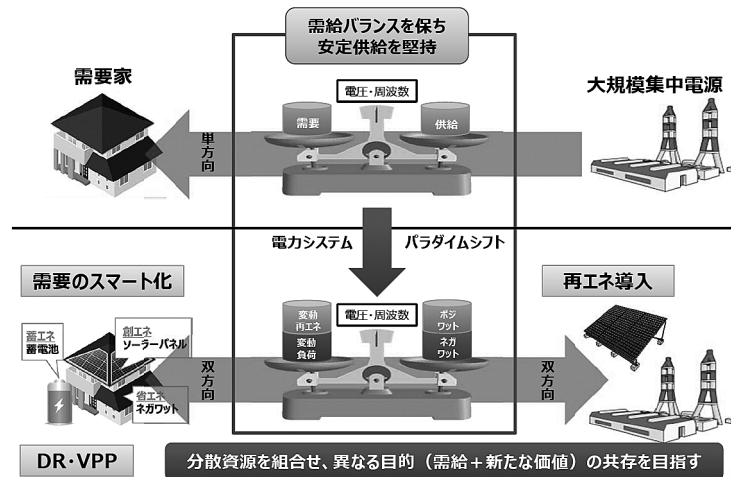


図 20 電力システムで進行中の大きなチャレンジ

ネガワット調整者	調整用途	評価の対象
小売電気事業者等	供給力 (同時同量達成)	電力量 (kWh) ※発動時のみ
一般送配電事業者	調整力 (需給バランス調整、周波数制御等)	容量 (kW) + 電力量 (kWh) ※発動の有無に関わらず、待機時も評価され収益を生む

ネガワット調整力領域の拡大			
電源 I -a	電源 I -b 113.2万kW募集	電源 I ' 132.7万kW募集	
オンライン指令対応	必要	必要	原則必要※1
周波数調整機能	必要	不要	不要
応動時間	5分以内	15分以内 30分以内	1/6以下 3時間以内
継続時間※2	7時間～ 11時間	7時間～ 16時間	3.5倍以上 2時間～ 4時間
最低容量※3	0.5万kW～ 1.5万kW	0.5万kW～ 2.9万kW	5倍以上 0.1万kW以上
提供期間※4	通年 (平成29年4月1日～ 平成30年3月31日)	通年 (平成29年4月1日～ 平成30年3月31日)	・通年 ・夏季(7月～9月)

送配電事業者がボジワットと同等に信頼できるような精緻な調整力創出が不可欠 → 標準化スキーム構築

図 21 ネガワット・リソースの拡大（調整力公募の領域拡大）

中で発電し、需要家まで一方向に流れていた電気でしたが、ボジワットとネガワットに分けられ、需要のスマート化と再エネ導入で双方向に流れようとしています。全体像を示すと、図 20 のようになります。分散型エネルギー・リソースをアグリゲートして、異なる目的（需給＋新たな価値）の共存を目指すことが大事だと思っています。

今後、太陽光出力の変動が速くなってきたりする時、もっと速く制御する努力も必要になってきます。図 21 の今後拡大されるネガワット調整力領域に「電源 I -b」があります。今よりも応動時間は短く、継続時間は長くなります。これについては、既に 2017 年度の

VPP 実証が始まっています。今後、リアルタイム性にシフトしていくということです。

私は、発電機が発動して発電した量 (kWh) は「マラソンで言えば持続力」だと思っています。一方で、曇って太陽光の出力がなくなり、一度に電気が消えた時の瞬発力が必要となりますから、待機時でも発電能力である容量 (kW) も大事になると思います。

そういった意味で、リアル世界とサイバー世界をつないで新しい価値を生み出せればと思っています。

以上です。どうもご清聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

第四次産業革命がエネルギービジネスにもたらす インパクトと課題

新谷 隆之 (一財) エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 特任参事



はじめに

インダストリー 4.0 と第四次産業革命

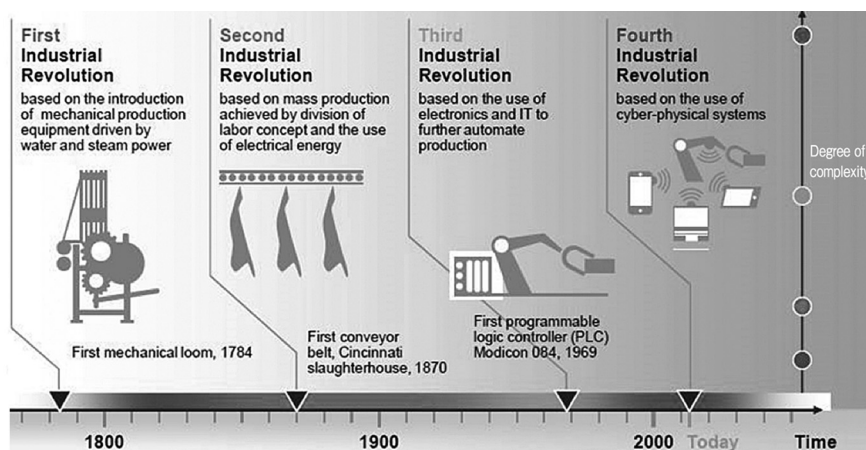
私は、2017 年度、第四次産業革命がエネルギービジネスにもたらす影響度調査を行っています。そこで本日は、その調査の一端をご報告させていただきます。

第四次産業革命 (Fourth Industrial Revolution) という言葉は、インダストリー 4.0 (Industry 4.0/Industrie 4.0) とほぼ同時期に日本で聞かれるようになったと思います。

インダストリー 4.0 は、2011 年に、ドイツ工学アカデミーが産業見本市ハノーバーメッセ 2011 で発表したドイツ政府が推進する製造業のデジタル化・コンピューター化を目指すプロジェクトで「スマートファクトリーの実

現」を根幹としています。それに対して、第四次産業革命は、デジタル技術の進展、モノのインターネット (IoT) の進展で、インダストリー 4.0 を含みながら新たな経済発展や社会構造の変革を誘発する文明史上の大きな波と考えて良いと思います。

図 1 は、産業革命とインダストリー 4.0 の関係を説明するためによく見かけるものですが、蒸気機関を動力として機械生産が始まった、いわゆる「産業革命」を第 1 次の産業革命、電力を使い、流れ作業で大量生産が可能になった産業構造への転換を第 2 次の産業革命としています。さらに、エレクトロニクス、情報技術 (IT) を利用したオートメーションの産業構造への移行を第 3 次の産業革命とすると、今回は、4 番目の産業構造の転換期に当たりますから第四次産業革命となります。この第四次産業革命で、インダストリー 4.0 の世界になる、という説明ではないかと思います。



(出所: <https://bcmpublicrelations.com/blog/what-is-industry-4-0/>)

図 1 産業革命とインダストリー 4.0 の関係

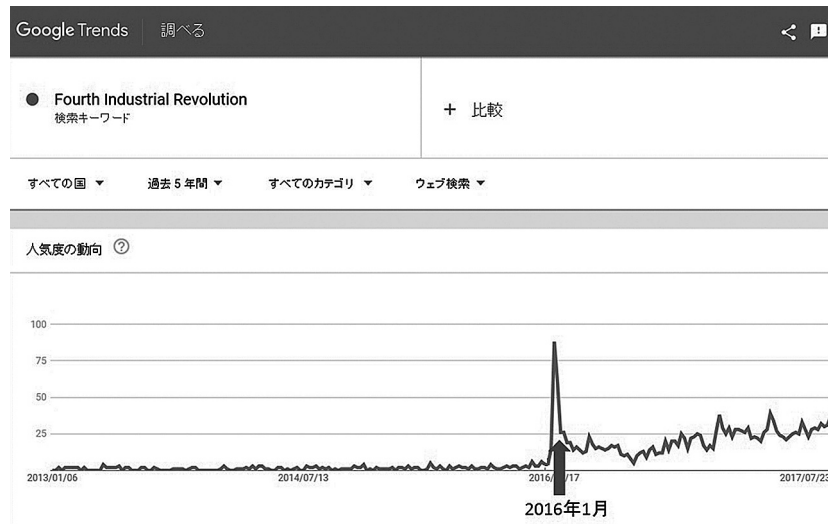


図2 世界中で関心が高まっている第四次産業革命

2016年1月から高まった 「第四次産業革命」への関心

6年前に「インダストリー 4.0」とともに語られだした「第4次産業革命」について、なぜ、当研究所が調査を始めたのか説明いたします。

ここに面白いグラフがあります。図2は、Googleトレンドというインターネット上のサービスを使って、2013年～2017年までの、全世界における第四次産業革命の英語：Fourth Industrial Revolutionの検索頻度をグラフにしたものです。Fourth Industrial Revolutionの頻度が、2016年1月に急にピークに至り、その後も高頻度で検索されていることが分かります。

一体、2016年1月に何があったのか？「第四次産業革命の理解（Mastering the Fourth Industrial Revolution）」を主要テーマとした第46回世界経済フォーラム（通称ダボス会議）です。また、ダボス会議の主催者で創設者のクラウス・シュワブ氏の著書『第四次産業革命－ダボス会議が予測する未来－』が2016年1月の会議に合わせて出版されていました（図3の日本語版は2016年10月に発行）。

そこで、当研究所は、今また、脚光を浴びつつある第四次産業革命をクラウス・シュワブ氏がどう定義しているのか、というところから調査を始めたのです。

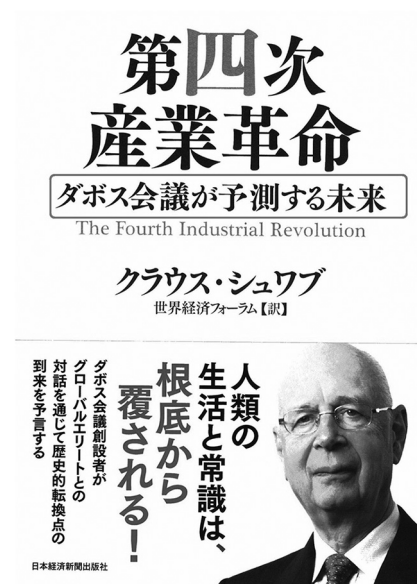


図3 『第四次産業革命』（2016年10月発行）

第四次産業革命の5つの特徴

特徴1：デジタル革命が土台

第四次産業革命の特徴として、まず挙げられるのは、インターネットの利用がより偏在化、モバイル化していることです。そして、IoT デバイスに、小型化且つ強力な低価格になったセンサーが利用されていること。さら

に、高度化した人工知能（AI）技術を利用していることです。

特徴2：これまでを凌ぐ拡大速度と範囲

世界のデータ量は、2年ごとに倍増しています。そして、そのようなデータを扱うためにハードウェアの性能は、CPUの演算速度もハードディスク容量も、データをギャザリングするための通信速度も指数関数的に向上しています。そして、ディープラーニング等により、AI技術が一気に発展したことで、第四次産業革命は、これまでの産業革命を遥かに凌駕する速度と範囲に拡大しているということです。

特徴3：テクノロジーの融合

前述のテクノロジーが融合することによる、アプリケーションレベルでのメガトレンドが3つあります。

①デジタル領域での、ブロックチェーン、ウーバー、エアビーアンドビー等、②物理的領域での、自動運転車、3Dプリンター、ドローンや先進ロボット工学等、③生物学的領域での、遺伝子配列の解析ベースの個別化治療等とそれらの領域間の相互作用。例えば、3Dプリンターで細胞パターンを作製するバイオプリンティング等が出て来ています。

特徴4：インダストリー 4.0 との相違

シュワブ氏の著書『第四次産業革命』では、単に、新しい技術がもたらす産業構造の変化に留まらず、第四次産業革命が社会構造・経済構造、ひいては、我々の暮らしに与えるインパクトについても論じられています。

具体的には、新しいビジネスモデルの出現があります。従来モデルの破壊や生産・消費・輸送・配送システムの再編成等、あらゆる産業で、根本的な転換が起きる可能性があります。我々の暮らしでも、働き方やコミュニケー

ション方法、自己表現や学習、気晴らしの方法でのパラダイムシフトが示唆されています。また、教育・医療・輸送の各システム、政府関係機関での変化も示唆されています。

特徴5：2025年までのテクノロジーシフト

シュワブ氏の著書の副題は、「ダボス会議が予測する未来」となっています。巻末の「テクノロジーシフト」という部分では、2025年までに第四次産業革命で世の中がどう変わることが書かれています。それを、最後の特徴として挙げようと思います。

実は、このテクノロジーシフトは、シュワブ氏の独断によって決められたものではありません。世界経済フォーラムの「ソフトウェアと社会の未来に関するグローバル・アジェンダ・カウンシル」が行ったアンケート調査に基づいています。デジタル領域、物理的領域、生物学的領域において、今後10年以内（2025年まで）に起きると予想されるテクノロジーシフト（技術変化）を挙げ、情報通信技術（ICT）分野の800名を超える企業役員や専門家を対象にアンケート調査を行いました。その結果が掲載されているわけです。

私は、80%以上の人が「そう思う」と答えた11項目について表1にまとめました。

今でもバーチャル・リアリティ用のゴーグルは出ていますが、次は「普通のメガネ」の10%がインターネットに接続されると予想されています。「体内埋め込み式携帯電話が発売される」という予想には少々驚きましたが、心臓のペースメーカーなどはかなり前から体内に埋め込まれているわけですから、体内に埋め込む携帯電話があってもいいのかなと思います。また、最近の若い人たちを見ていると、「スマートフォン、携帯は、自分の命の次に大事」という感じの人が沢山いますので、2025年頃になると体内に携帯電話を埋め込む人が現れても不思議ではないとも思いました。

表1 2025年までに起こるテクノロジーシフトに関するアンケート調査結果

■デジタル領域	
・10%の人々がインターネットに接続された服を着ている	(91.2%)
・90%の人々が容量無制限の無料ストレージを保有している	(91.0%)
・1兆個のセンサーがインターネットに接続される	(89.2%)
・眼鏡の10%がインターネットに接続されている	(85.5%)
・80%の人々がインターネット上にデジタルプレゼンスを持っている	(84.4%)
・政府が初めて国勢調査の代わりにビッグデータの情報源を活用する	(82.9%)
・人口の90%がスマートフォンを使用	(81.0%)
■物理的領域	
・米国で最初のロボット薬剤師が登場する	(86.5%)
・3Dプリンタによる自動車第一号の生産	(84.1%)
・消費財の5%が3Dプリンタで生産されたものになる	(81.1%)
■生物学的領域	
・体内埋め込み式携帯電話の発売開始	(81.7%)

第四次産業革命とエネルギービジネス

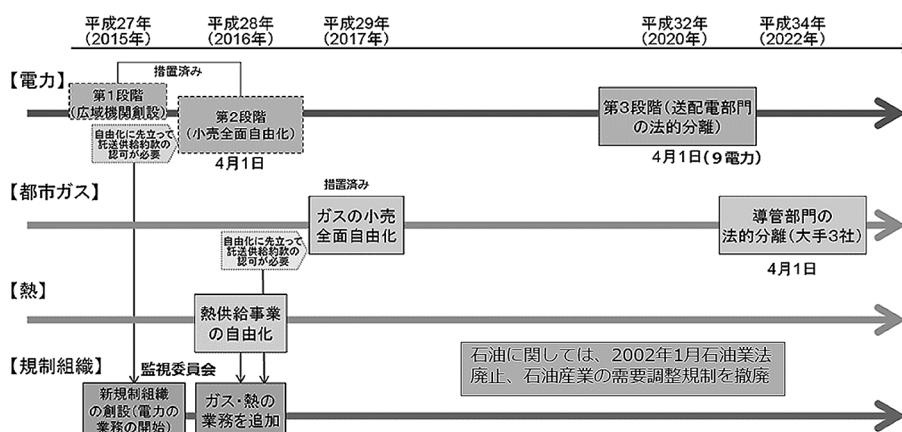
検討に当たっての前提条件

次に、第四次産業革命がエネルギービジネスに与える影響について調査しました。図4は、電力・ガス・熱に関するシステム改革のスケジュールです。

石油と熱の自由化は既に終わっています。電力とガスについては、2020年に向けたシステム改革が進行中です。その結果を全く無視

して、第四次産業革命のエネルギービジネスへの影響を考えても意味がありません。また、再生可能エネルギー（再エネ）の導入は益々増えていくでしょうから、その影響も考えざるを得ません。

そこで、第四次産業革命のインパクトと課題を検討するに当たり、まず、再エネ導入、二酸化炭素（CO₂）排出削減策が今後も進むという前提条件を設定しました。次に、2025年頃には電力部門で発送配電分離が完了していて、リアルタイム市場と容量市場の運用が開始されていて、メリットオーダーによる市場メカニズムが導入されていると想定しました。



（出所：資源エネルギー庁資料（2015年8月）を基に作成）

図4 電力・ガス・熱に関するシステム改革のスケジュール

そうすると、固定価格買取制度（FIT）の期限が切れた再エネがスポット市場に燃料代ゼロ円で入札してくる可能性があり、再エネが入ってきた分、他の電源が減ることが考えられます。第四次産業革命の技術構成要素である AI、IoT、ビッグデータの相乗効果で数分後の発電量予測が正確にできるようになると、スポット市場だけでなく、リアルタイム市場、容量市場にも燃料代ゼロ円の再エネが投入される可能性すらあります。

このような想定の下、主に電力を中心に、第四次産業革命がエネルギービジネスに与えるインパクトと課題を検討しました。電力ビジネスで、エネルギーバリューチェーンを最適化するために、ということが可能になるのか検討したわけです。

検討対象分野

－運用、生産、流通、消費分野－

検討の対象は、図5に示すように、運用分野では需給予測業務、生産分野では火力発電業務、流通分野ではプラントと送電線の保全業務です。さらに、我々の暮らしがどう第四次産業革命の影響を受けるのかも考えてみました。

〔運用分野－需給予測業務〕

最初に運用分野です。需給予測へのインパクトと課題についてお話しします。

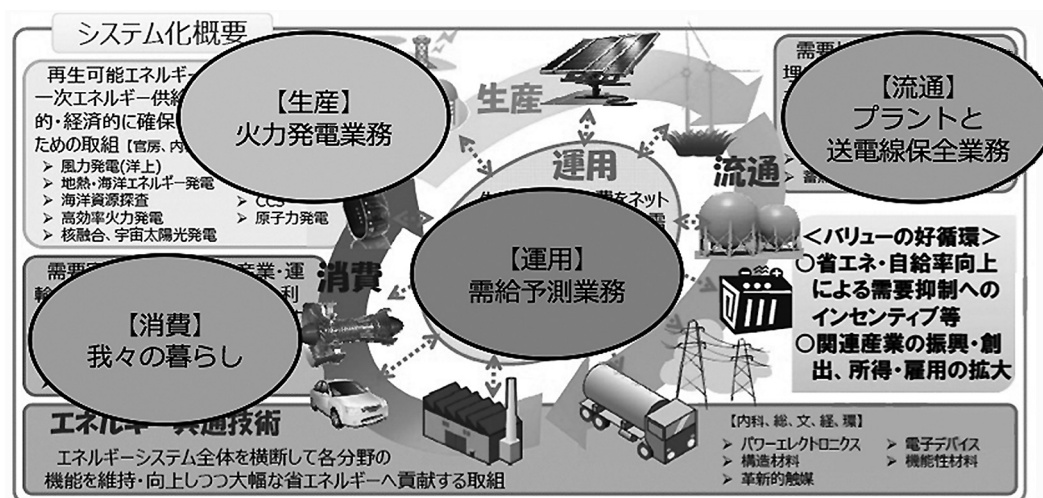
予測技術の分野は、第四次産業革命で一番恩恵を受ける分野の1つだと思います。図6に示すように、予測には、従来、重回帰分析が多用されてきていますが、AIの進展で図7のような「ニューラル・ネットワーク」（NN）ができ、今では、図8に示す「ディープラーニング」が用いられるようになってきているようです。

需給予測業務へのインパクトを考えた場合、再エネの増加や、蓄電池の普及、デマンド・レスポンス（DR）、バーチャル・パワープラント（VPP）、林先生のご講演にあったアグリゲーターの市場参入で、予測が益々複雑になり、今までの重回帰分析による予測モデルだけでは大変難しくなると思います。

一方、AIの進歩は、需要と供給両方の予測業務に変革をもたらす可能性があります。今後は、需給予測が最適になるIoT、ビックデータ、AIツールの組み合わせが分かる人が必要になってくると思います。

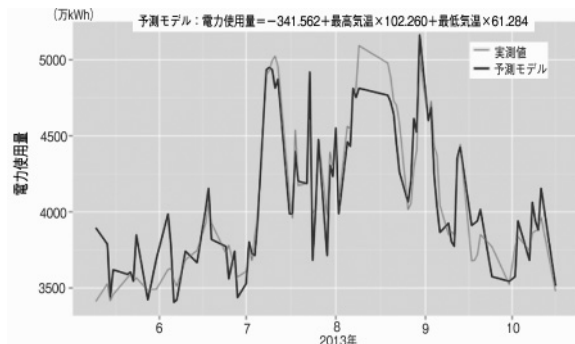
〔生産分野－石炭火力発電業務〕

次に、発電業務へのインパクトです。ここでは、石炭火力のCO₂排出削減問題を考えてみました。



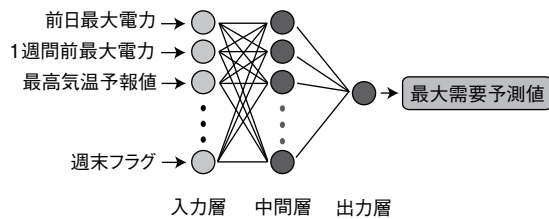
（出所：エネルギー戦略協議会事務局資料（2017年3月22日）を基に作成）

図5 エネルギーバリューチェーン最適化での第四次産業革命のインパクト



(出所：菅井康之、「気象庁 XML を利用した需要予測の可能性」、先進 IT 活用推進コンソーシアム、を基に作成)

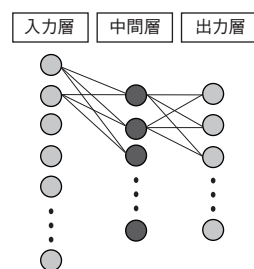
図6 重回帰分析による分析モデル



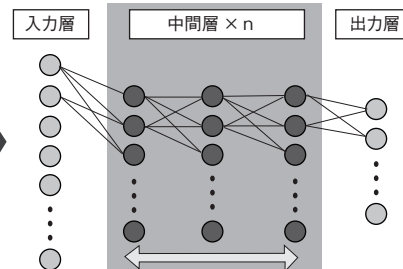
(出所：小林正行、「環境変化に対応した電力需要システムの開発」技術開発ニュース No.123)

図7 従来システムの NN モデル

ニューラルネットワーク (NN)



ディープラーニング

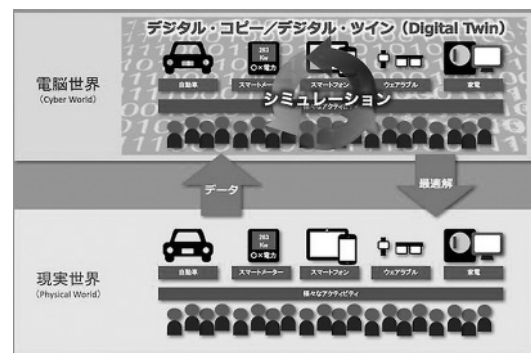


(出所：http://markezine.jp/static/images/article/24185/24185_02.png)

図8 需要予測は NN から AI を使ったディープラーニングへ

CO₂ 排出量の多い石炭火力では、これまでも CO₂ 排出を低減するためにバイオマス燃料等の混焼が行われて来ました。ですが、電力業界が定めた 2030 年度の CO₂ 排出係数目標 (0.37kg-CO₂ / kWh) を達成するには、様々な再エネの導入を促進するとともに、混焼率を高める必要があると思います。その場合、混焼率やバイオマス種の変更など運転条件を変更し、CO₂ 削減と発電コスト最小を目指すのは、従来の発電所運転の経験だけでは困難と予想されます。

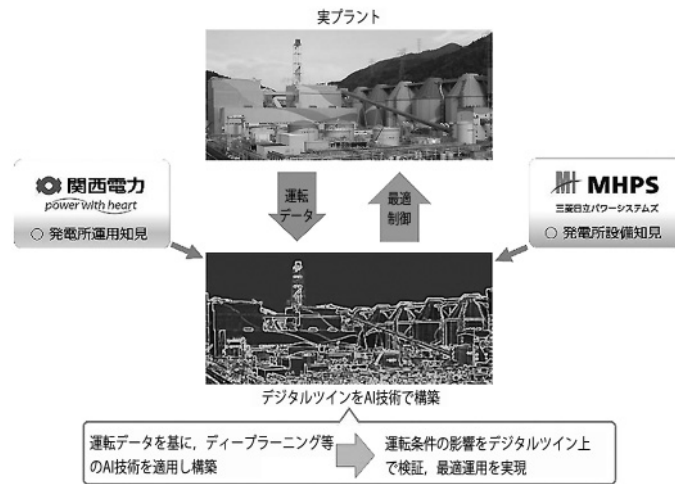
そこで、図9に示すように、発電所のシミュレーターをデジタル・ツインとして、サイバーワールド内に構築し、そこに混焼率やバイオマスの種等の運転条件を変更したケースを検証することで、いち早く最適化運転にもっていけるのではないかと思います。なお、デジタル・ツイン構築では、発電所側の設計・製造・建設ノウハウの提供がないと、良いものがないと言われてしています。



(出所：http://biz-it-base.com/blog/wp-content/uploads/2017/01/827aa4f50ab623ab504dc6a6012be398.png)

図9 デジタル・ツインによるシミュレーション

図10は、関西電力㈱による「AIを活用した次世代火力運用サービスの協働開発」の模式図です。中身を見ると、関西電力㈱が発電所運用の知見を、三菱日立パワーシステム㈱ (MHPS) が発電所設備の知見を持ち寄って、その発電所のデジタル・ツインを作り、ボイラー燃焼調整等の最適運用を実現させるという取り組みです。



(出所： http://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2017/0913_1j.html)

図 10 AI を活用した次世代火力運用サービスの協働開発

当面、主要調整力電源としての火力発電の立ち位置が脅かされることはないでしょうが、将来的には、太陽光や風力も調整力電源としての運用が多くなると考えられます。発電事業者は、今後、電源ポートフォリオを考えて電源を組み替えていく必要があると思います。

海外では、既に電源組替えの動きがあります。例えば、ドイツの電力大手エーオン社は、2016年に火力発電と水力発電を子会社ユニパー社に移管し、再エネを持ってくるという戦略を立てました。但し、再エネが今後どれほど普及するかは、国としてどれだけ再エネを重視するかによります。ドイツの場合、再エネを重視しているので、エーオン社のような戦略もあって良いということかも知れません。ですから、今後、日本の再エネ政策はどうなるのか、注意深く見守る必要があると思います。

[流通分野－プラントと送電線の保全業務]

①プラント点検業務へのインパクト

今まで点検作業は、異音判断など、経験と勘に頼っていました。IoT デバイスからのリアルタイムデータを24時間体制で監視し、AIで不具合を検出する「予兆診断」が可能になると、従来の定期点検、定期部品交換と比べて、大幅に費用を削減できると見込まれます。

ただ、定期点検、定期部品交換については、法令で定められていますから、それに従う必要があります。法改正のために、IoT、AIを駆使した新たなソリューションによる、予兆診断の有効性を実証事業等で検証する必要があると思っています。

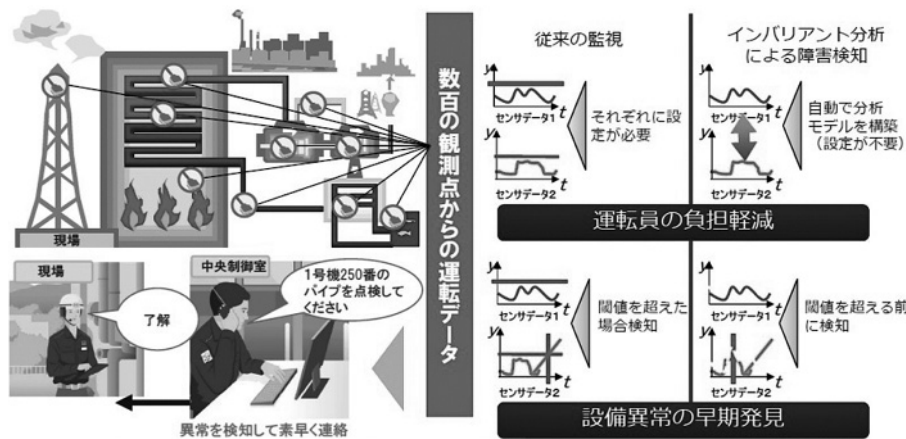
図 11 は、中部電力(株)が発表した火力発電における運転支援サービス事業の共同実施についての絵です。「インバリエント分析」というAIを使った予兆診断について書かれています。ここでは、圧力・温度・流量・開度・水位等の運転データをインバリエント分析で解析します。

従来は、それぞれのセンサデータに閾値（それを上回ると異常だという値）を人間が設定しておき、センサデータがその閾値に達すると「設備異常だ」ということになったわけです。

これに対し、インバリエント分析では、センサデータセットの通常時パターンと異常時パターンを学習させることで、センサデータのセットのパターンから、個々のセンサーが閾値を超える前に設備異常を「超」早期に発見できると言っています。

②保全業務へのインパクト

送電線の点検業務を考えてみました。送電線の点検業務は、人間にはハードワークです



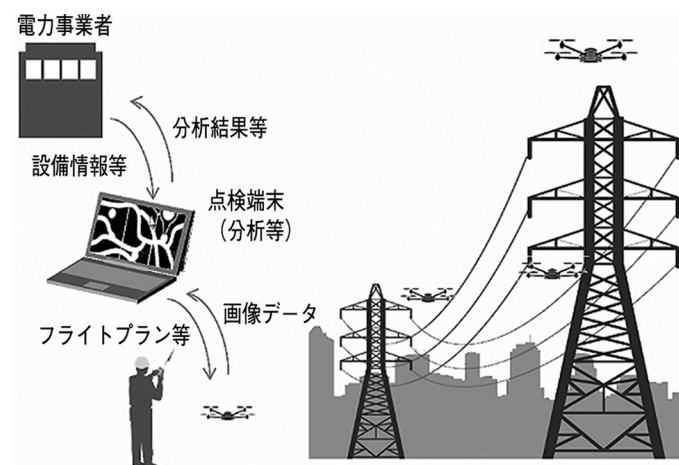
(出所：中部電力㈱プレスリリース「火力発電における運転支援サービス事業の共同実施について」別紙、2016年6月24日)

図 11 火力発電運転支援サービスにおける予兆診断

が、図 12 のように、ドローンを飛ばして撮影した映像データを分析して、必要な対応をすることにすれば、危険な作業が減ります。ところが、今、ドローン運航には、航空法が適用され、基本的に目視外飛行は禁止されています。必ず、送電線に沿って点検要員が歩いていかないといけないわけです。ただ、インターネット通販大手アマゾンのドローン配送が既に海外で始まっていますので、日本でも目視外飛行の制限が早晩解消されるのではないかと思います。

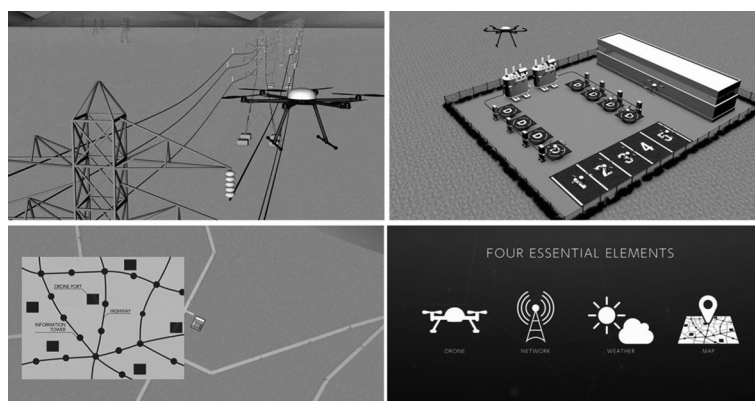
私がそのようなビジネスモデルを考えていた矢先、2017 年 3 月、東京電力ホールディング

ス㈱が地図の㈱ゼンリンと共同で図 13 に示す「ドローンハイウェイ構想」を発表しました。ゼンリンの地図データの中に、ドローンのハイウェイとなる送電線データを入れ、変電所の空き地にドローンの充電ポートを置きます。GPS 機能を備えたドローンが地図を参照して、送電線の上を目的地に向かって飛行したり、飛行しながら送電線や鉄塔を写して、その画像データをセンターに送り返します。ドローンのバッテリーが少なくなったら最寄りのドローンポートを探して自分で下りて充電をし、また、飛行を続けるというイメージです。



(出所：新エネルギー新聞「東芝とアルパインが送電線点検用ドローン開発で協働」、2016年10月3日)

図 12 ドローンによる送電線点検



（出所：東京電力ホールディングス(株)プレスリリース「ドローンハイウェイ構想の実現に向けて」別紙，2017年3月29日）

図 13 「ドローンハイウェイ構想」

私の予想を超えて、既に、電力会社が新しいビジネスを考えていることが分かりました。

〔消費分野：暮らし〕

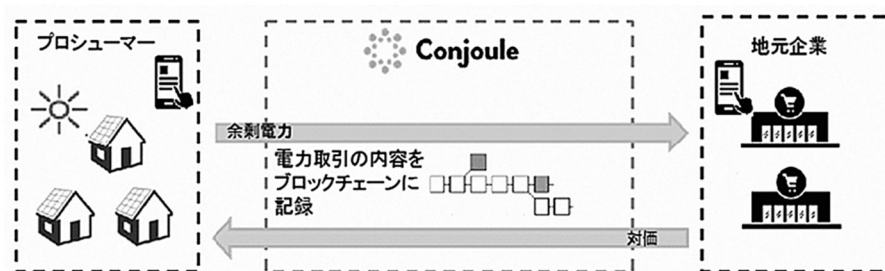
①プロシューマーの一般化

今までは、電力会社が電気をつくり、消費者がその電気を使うという形でした。それが消費者が自宅に太陽光発電パネル、蓄電池を設置し、余剰分を売る時代が来そうです。少なくとも、戸建住宅に住んでいる人は、かなりの確率でプロシューマーとなり、受給自足の生活形態が広がる可能性があります。第四次産業革命の代表的な技術であるブロックチェーンの技術、ピア・ツー・ピア（P2P）の小売電力取引を可能にするトランザクティブ・エネルギー（TE）の技術が実用化されると、エネルギーは、自給自足が基本で過不足分も地域での電力融通で賄う形になるかも知れません。

図 14 は、東京電力ホールディングス(株)と独イノジー社が共同出資で創ったコンジュール社のビジネスモデルです。ブロックチェーンを使って電力取引をするモデルになっています。TE については後述します。

②エネルギー制御機能付き家庭用端末

昨今人気の AI / スマートスピーカー「アマゾンエコー」(Amazon Echo)、「グーグルホーム」(Google Home) がさらに進化したような家庭用端末のある暮らしを想像してみました。音声認識で照明などの宅内の電気機器を ON・OFF する装置に見える端末が、その内部に従来のホームエネルギー管理システム（HEMS）よりも優れた宅内エネルギー機器制御機能を持つようになると思います。例えば、蓄電池制御と合わせて太陽光発電を最大限利用する。今は売電、今は蓄電池に充電、



（出所：仮想通貨情報サイト bitpress「東電、ブロックチェーンを活用し独大手電力会社イノジー社と電力取引プラットフォーム事業展開」紙，2017年7月11日）

図 14 P2P 電力取引プラットフォーム事業の概要図

明日にはアグリゲーターに売る，ということまで考える機能です。

アグリゲーターから要請があれば，デマンド・レスポンス（DR）やバーチャル・パワープラント（VPP）リソースを提供します。その他にもトランザクティブ・エネルギーのP2P通信を行って，隣家と電力融通をしたり，その地域で「明日から一週間の夏休みで留守にするので，わが家を見ておいて下さい。その代わりに，わが家の太陽光発電の電気は全部電力融通で無料で使って構いません」というようなこともできるかも知れません。

また，既に，アマゾン社やグーグル社自身がアグリゲーターになるために，家庭用端末を無償で各家庭に提供する時代になっているかも知れません。

③トランザクティブ・エネルギー（TE）

TEを使った電力融通について説明させて頂こうと思います。

TEというのは，米国エネルギー省内に設置されたグリッド・ワイズ・アーキテクチャー・カウンシル（GWAC）が2015年に発表したフレームワークです。従来通り，消費者が電力会社やアグリゲーターと取引することにも使えますが，プロシューマーとしてP2Pで電気を融通することにも使える仕組みになっています。

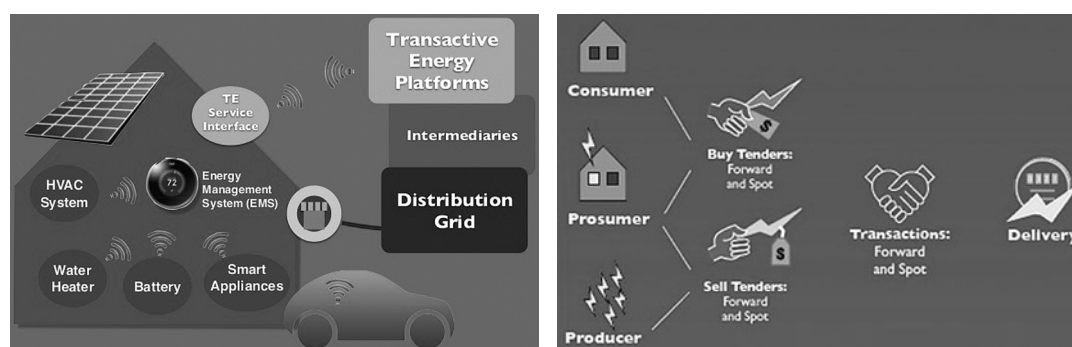
従来の電力ビジネスモデルでは，「同時同量」の需給バランスを取る場合，供給者側がイニ

シアティブを取ってきました。それに対してTEが需給バランスを取る場合，中央集権的なトップダウン・メカニズムを廃し，基本的に市場取引に委ねます。但し，ちゃんと売り手から買い手に電気が届く仕組みにならなければいけません。

ブロックチェーンでは，売買マッチングをすることによって，その売買代金の決済を自動的に行うことができます。ですが，契約時点で，電気が売り手から買い手に届くのを確保するのは，ブロックチェーンだけでは，到底無理だと思います。

TEでは，コンピューター処理におけるトランザクションの考え方をベースにしたプラットフォームを考え，「価格も含めて，電力を売りますよ。電力を買いますよ」という売買マッチング，売り手から買い手への電気経路（Distribution Grid）の確保という2つの条件が揃って初めて取引（トランザクション）が成立する形をとっています。

現在，米国標準技術研究所（NIST）がイニシアティブを取って，TEの実運用に向けたプロジェクト「TEチャレンジ」で，国内外の賛同者と共同で，モデリング&シミュレーション用ツールの開発・拡張を行い，TEを評価するためのモデリングとシミュレーションプラットフォームの開発を行っているとしています。



(出所： <https://bakerstreetpublishing.com/>)

図 15 TE による電力取引のイメージ

おわりに

今後の課題と視点

以上、第四次産業革命がエネルギービジネスにもたらすインパクトと課題について、調査研究者として個人的な見解のに基づいた発表をさせていただきました。

今後求められる研究の課題と視点として、エネルギー総合工学研究所（IAE）では以下を考えています。

- 電力・水素・熱エネルギーの総合的マネジメントシステムの構築
- プラントの建設費・運転費等のコスト低減に向け、IoT／ビッグデータ／AIを利用したデータ取得・活用（予測）に係る技術
- 安全性の向上と保守点検作業の経済性の向上を兼ね備えた予兆保全
- 再エネ電源のスマートインバータ化、調整力運用・容量確保への適用、応答性の向上、需要創出、送配電の自動化・高度化推進
- 火力発電分野、石油・化学プラントにおける最適化運転制御の追求
- 顕在化していないエネルギー分野への応用事例、影響事例についての検討

その中で、IAEの役割を、①中長期のエネルギー技術シナリオの提示、②新規事業の企画・立案・推進（システムのなアプローチを中心に）、③製品・サービス・システム運用等に関する標準化の支援、④規制・制度の最適化に向けた調査研究の提案・実施だと考えています。

具体的な取組みとしては、まず、最新情報の提供（月例研究会やホームページ、季報等）、分野を絞った新たな研究会の設置を検討いたします。受託研究としましては、今回の発表内容に関わらず、分野ごとの課題解決の手法

を導入します。例えば、再エネ大量導入時の負荷変動対応など、様々な課題を検討する上で、ビッグデータ、AIを活用していく事例の調査などです。また自主研究も継続していく所存です。

ご清聴ありがとうございました。

閉 会 挨拶

中村幸一郎 (一財) エネルギー総合工学研究所
専務理事

本日は「第4次産業革命とエネルギー戦略」というテーマでシンポジウムを開催致しましたところ、多くの方々に長時間にわたり熱心にご参加頂き、誠にありがとうございました。

来賓の福島様から経済産業政策と産業保安に関する新政策をご紹介頂くとともに、このシンポジウムへの期待と当研究所への激励が込められたご挨拶を頂戴いたしました。

コロンビア大学世界エネルギー政策研究センター創立フェローのサンダロー様より、「米国エネルギー分野における7つの動向」と題してお話を頂きました。米国での動きを事実・データとともに分かり易く解説していただきました。この特別講演のメッセージは、「産業界、ビジネス、技術の面で、そして州レベルという、より身近なレベルの政策面で、低炭素化への取組みが着実に進んでいる」ということであると理解をいたしました。

続いて、笹川平和財団の田中会長からは「持続可能なエネルギー安全保障戦略」について地政学的な視点も含めて、国際的なエネルギー情勢を分析し、その上で日本のエネルギー戦略を語って頂き、その中で持続可能な原子力について具体的なお提案をお示し頂きました。

総合科学技術・イノベーション会議の原山議員からは、「Society 5.0における未来社会像とエネルギー」について、Society 5.0から具体的な話に解きほぐして頂き、エネルギーバリューチェーンを最適化し好循環させていくお考えを頂き、エネルギー研究開発の今後の方向をsystem of systemsというコンセプトで指し示して頂きました。

そして、早稲田大学大学院先進理工学研究科の林教授からは、「ICTを活用した新たなエネルギーシステムの構築」について、エネルギーリソースアグリゲーションとは何か、その意義について、そしてビジネス化を目指したプロジェクトについてご説明頂きました。

昨日、一昨日、東京でInnovation for Cool Earth Forum (ICEF) が開かれました。過去3年間、経済成長が続く中でグローバルなCO₂の排出が横ばいで推移していること、政策面、ビジネス面、技術面、資金面で低炭素化の動きが着実に進展していること、一方で、温暖化目標を達成するには更なる取組みが必要との議論がなされておりました。

今日のシンポジウムでのエネルギー政策・戦略の話，イノベーションとエネルギー技術開発の話，再エネと需給調整の話は，政策当局，産業界，技術者・研究者等の関係者が今後取組んで行くに当たっての考え方，取組みの方向性，あるいはその内容を指し示して頂いたように思います。本日ご出席の皆様にもご参考，お役に立つものであったと思います。

私どもといたしましても，今日のシンポジウムでの話を通じ，課題の再認識，調査研究の意義・位置づけの整理，新たな気づきにつながり，非常に有意義なものとなりました。新谷からの話の最後にありました今後の当研究所の役割・取組みに継続して反映して参りたいと思っております。

最後になりますが，引き続き，私どもの事業，調査研究にご理解とご支援をお願いし，改めて，ご来賓とご講演者に御礼を申し上げ閉会の挨拶とさせていただきます。本日は誠にありがとうございました。（拍手）

研究所のうごき

(平成 29 年 10 月 2 日～12 月 31 日)

◇ 第 23 回賛助会員会議

日 時：10 月 6 日 (金) 15:50 ～ 19:00

場 所：千代田放送会館

議事次第：

1. 最近の事業活動について
2. 調査研究活動について
3. 講演『今後のエネルギー政策について－総合資源エネルギー調査会及びエネルギー情勢懇談会での検討状況－』（経済産業省資源エネルギー庁長官官房総務課長 松山泰浩氏）

◇ 月例研究会

第 371 回月例研究会

日 時：10 月 20 日 (金) 14:00 ～ 16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 電力事業におけるインダストリアル・インターネットご紹介
(GE パワー・サービス パワーデジタル ソリューションアーキテクト 牟田 泰孝 氏)
2. コマツの IoT によるビジネス活用（お客様への最適な商品、最善の使い方を追い求めて）
(株)小松製作所 ICT ソリューション本部 ビジネスイノベーション推進部 部長 浅田寿士 氏)

第 372 回月例研究会

日 時：11 月 17 日 (金) 14:00 ～ 16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. ロボット革命の実現に向けて
(経済産業省 製造産業局 産業機械課 ロボット政策室長 安田 篤 氏)
2. 太陽光発電大量導入に伴う、次々世代における配電系統の将来像の検討
(一財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主任研究員 石原 正浩)

第 373 回月例研究会

日 時：12 月 15 日 (金) 14:00 ～ 16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. The Road to the Hydrogen Economy- Opportunities, Challenges and Success Stories in NRW / Germany 水素経済への道 - ドイツ・NRW 州でいかに機会を活用し、挑戦に臨み、サクセスストーリーを作るか

(株)エヌ・アール・ダブリュージャパン 代表取締役社長 ゲオルグ・K・ロエル 氏)

2. 開発輸入水素の国富流出に関する影響評価 (IAE 主催の自主研究会の成果)

((一財) エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 参事 笹倉 正晴)

交流会

日時：12 月 15 日 (金) 17:15 ～ 19:30

場所：航空会館 8 階 801 会議室

◇ 外部発表

[講演]

発表者：坂田 興

テーマ：低炭素社会構築に向けた水素エネルギーシステムの貢献可能性

発表先：東京工業大学

日 時：10 月 31 日

発表者：坂田 興

テーマ：持続性社会構築に向けた水素の貢献可能性と「Power to Gas」

発表先：(株)日本計画研究所主催の講演会

日 時：11 月 9 日

発表者：坂田 興

テーマ：持続性社会構築に向けた水素の貢献可能性

発表先：エネルギー問題に発言する会（代表 早野 睦彦氏：高速炉エンジニアリング(株)元社長）

日 時：11 月 19 日

発表者：坂田 興

テーマ：持続性社会構築に向けた水素の貢献可能性

発表先：(公財) 原総合知的通信システム基金主催のシンポジウム「水素社会の実現に向けた施策と事業動向」

日 時：11 月 28 日

[寄稿]

寄稿者：坂田 興

テーマ：水素エネルギーシステム

寄稿先：化学工学誌 81 巻 10 号 (2017) 「化学
工学年鑑 2017」

寄稿者：石本 祐樹, 杉山 昌広

テーマ：CO₂ 直接空気回収技術の研究動向

寄稿先：『エネルギー・資源』(11 月号)

寄稿者：Yuki Ishimoto, Masahiro Sugiyama, Etsu-
shi Kato, Ryo Moriyama, Kazuhiro Tsu-
zaki and Atsushi Kurosawa

テーマ：Putting Costs of Direct Air Capture in
Context

寄稿先：FCEA Working Paper Series: 002 (発行元
Forum for Climate Engineering Assess-
ment, School of International Services,
American University)

寄稿者：堂本 宗宏 (NEDO), 蓮池 宏

テーマ：圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES) シス
テムの開発・実証

寄稿先：『クリーンエネルギー』(12 月号)

◇人事異動

○10 月 31 日付

(退職)

田中隆則 研究顧問

○11 月 30 日付

(退職)

重留義明 原子力工学センター 主管研究員 兼
技術開発支援センター 兼 プロジェ
クト試験研究部

○12 月 1 日付

(出向採用)

鴻野健二 プロジェクト試験研究部 主管研究員

編集後記

昨年のエネルギー情勢を振り返ると、例年のことながら内外ともに様々な動きが見られた一年であった。

重要なエネルギー資源である石油については、昨年11月末のOPEC総会においてOPECとロシアなど主要な非加盟産油国との協調減産が本年末まで延長されることが合意された。これにより石油需給バランスの改善が期待される一方で、価格が上昇すれば米国シェールオイルとの攻防が長期化するとの見方がなされている。

再生可能エネルギーを見ると、世界で一層の普及とコストの低下が進んでおり、特に太陽光発電については、IEAのWorld Energy Outlook 2017によれば、昨年の太陽光発電容量の伸びは他のすべての発電形態を上回るとともに、2010年以来新規太陽光発電で70%、風力発電で25%、バッテリーで40%のコスト低下があったとのことである。

また、原子力については、経済発展に伴いエネルギー需要の増加が見込まれる

アジア、特に中国、インドにおいて開発が急速に進められている。一方、需要面では、特に自動車部門においてドイツ、フランスをはじめとする欧州や中国などにおける電動化シフトが明らかとなった年であった。

わが国においては、2030年のエネルギーミックスを示したエネルギー基本計画の見直しに関する議論が進められるとともに、2050年までに80%の温室効果ガス排出削減という長期目標の達成に向けたエネルギー政策の方向性に関する検討が開始された。

昨年6月に米国トランプ大統領が脱退を表明したパリ協定であるが、現時点で世界の温室効果ガス排出量の約9割を占める国・地域が参加し一丸となって排出削減に取り組む画期的な枠組みである本協定の実現を目指すとともに、そのための技術やビジネスのイノベーションが生み出されるような経済発展に資するエネルギー・環境政策が期待される場所である。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第40巻第4号

平成30年1月20日発行

編集発行

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル（6F）

電話（03）3508-8891

FAX（03）3501-1735

<http://www.iae.or.jp/>

（印刷）株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。