



季刊 [やく]
December 2017 | No.33
関西電力株式会社

エネルギー・環境情勢と日本の進路

躍 季刊「やく」 December 2017 | No.33

関西電力株式会社



東京に生まれ、緑少ない都会で育った。初めて日本庭園を見たのは、中学の修学旅行で京都を訪れたとき。大きな池があり、しんと石が佇む。その静寂が、歩き疲れた心にぴたっと合い、とても感動した。

庭への憧れから、「深く庭を知りたい」と思うようになり、京都へ。大学で庭園の歴史を学び、ご縁を頂いて植彌加藤造園に入社。嘉永元年(1848年)創業で、南禅寺をはじめ東本願寺、智積院、金戒光明寺などの御用達を務めている会社で、近年では文化財の修復から国内外の現代的な日本庭園の施工まで数多く手がけてもいる。その長い歴史のなかで今、自分が庭にいて、庭の歴史を未来につなぐ仕事に就いていると思うと、背筋が伸びる思いだ。

入社して3年。除草や掃除を中心に、先輩について庭をまわる毎日だ。夏は暑く冬は寒い庭師の仕事。力仕事で、虫にも刺される。でも、好きな仕事だから、庭にいられるのが幸せだ。

今、私が最も深く関わっている庭は、京都・岡崎の無鄰菴。もとは山縣有朋の別邸であり、その庭は東山を借景にした名園だ。琵琶湖疏水から引き込んだ流れや三段の滝など、見所は多い。季節ごと・時間ごとの光の変化で、庭が違う表情を見せるのも魅力的だ。

無鄰菴の芝生には、さまざまな野花が咲く。一般的な庭園管理では、野草は取り除くもの。無鄰菴では、山縣の想いを引き継ぎ、野花を生かした庭づくりをめざしている。私はここで野花の調査を担当。無鄰菴は文化財庭園ゆえ、名画に勝手に筆を加えられないのと同様に、新しい野花の種を蒔いたりできない。庭園本来の景観に近づけるために、明治時代の写真や資料を研究し論文を書き、現代の庭づくりとのバランスを探る。図鑑で野花の名前を調べ、写真を撮り、観察を続ける。庭園の歴史を読み解き、世に発信するのも私たちの役目だ。庭をご案内するツアーで、野花を介してお客さまと会話が弾むのも、楽しい。

けれど修業は始まったばかり。まだ樹に登らせてもらえる機会も少ない。剪定修業もこれからだ。枯れ葉や枯れ枝の除去も掃除の一部。掃除ができるようになるにも10年かかると言われるほど、庭師の仕事は奥深い。大切にしているのは「初心」。つい目の前の仕事に追われがちだが、初めて庭を見たときの感動を忘れずにいたい。早く、そして深く技術を身につけ、一人前の庭師になりたい。そして、初めて庭を見たあの感動を多くの人に味わってもらいたい。🌿

庭の歴史を 未来へつなぐ 半田さなえ 庭師



無鄰菴庭園

Sanae Handa

はんだ さなえ

1992年東京都生まれ。京都造形芸術大学卒。大学で日本最古の庭の指南書『作庭記』を学び、2015年植彌加藤造園入社。無鄰菴で野花を担当。研究論文「『名勝無鄰菴庭園』の本質的価値を見つめた庭園管理―山縣有朋の愛した野花を生かした芝生管理のあり方」で2016年度日本造園学会関西支部賞受賞。なお同社は無鄰菴のほか岩倉具視幽棲旧宅やけいはんな記念公園の指定管理業務、南禅寺、東本願寺、智積院など名勝庭園の保存修理事業、民間では星のや京都の庭園の育成管理など多数手がけている。

<https://ueyakato.jp/> <https://murin-an.jp/>

季刊 [やく] December 2017 | No.33

C O N T E N T S

02 Person 人・明日をつくる

庭の歴史を未来へつなぐ
半田さなえ

03 [鼎談] 基軸を探る

世界のエネルギー・環境情勢と 2018日本の進路を考える

有馬 純／石原慶一／高村ゆかり

18 オピニオン

エネルギー・環境への視点

環境

「CO₂排出ゼロへ、世界観を覆す大転換を」江守正多

原子力発電

「2030年のその先へ、新增設に着手すべきとき」渥美寿雄

高レベル放射性廃棄物

「地層処分へ、膠着状態打開への一歩」佐々木隆之

25 旬発 NIPPON

2025年万博の大阪・関西開催に向けて

29 かんてん FOCUS

低炭素社会の実現に向けた挑戦

河上 豊

34 現場力ノ最前線

全国初! 大規模帯水層蓄熱利用の
実証事業を実施



世界のエネルギー！環境情勢と 2018日本の進路を考える

気候変動影響が深刻化するなか、
欧州を中心にパリ協定遵守に向けた低炭素電源シフトの一方で、
米トランプ政権による化石燃料回帰、
途上国では未電化解消への動きが進む。
激動の世界エネルギー情勢を正しく見極め、
2018年の日本の進路を考えたい――

有馬 純

東京大学公共政策大学院教授

石原慶一

京都大学大学院エネルギー科学研究科長／教授

高村ゆかり

名古屋大学大学院環境学研究科教授

COP 24へ、パリ協定のルールづくりが始まった

有馬 本日は世界のエネルギー・環境情勢と日本の立ち位置・進路を考えます。

客観情勢で言えば、2015年にパリ協定^{*}が合意された。先進国も途上国も初めて一緒に温室効果ガスの削減に努力する枠組みの骨子ができたわけですが、実際に動かすには細かいルールを決めないといけない。17年11月ドイツで開かれたCOP 23^{*}では、先進国と途上国の対立が目立ち、先行きは容易ではない。17年6月には世界第2位の排出国アメリカがパリ協定離脱を表明するという状況変化も起きています。

世界のエネルギー情勢も大きく動いていて、先般発表されたIEA^{*}の年次報告書は四つの変化に言及。①アメリカがシェール革命によって石油・ガス生産大国になった。②世界各地で急速に太陽光発電コストが低下、最も安い電源になりつつある。③世界第1位の排出国中国が大気汚染対策に本腰を入れ、それが温室効果ガス削減にもつながり、世界のエネルギー・環境情勢において位置づけを変えつつある。④デジタル化やEV化等による電化が進展している。そういうなかで現状をどう考えるか。COP 23の結果をどう評価するか、COP 24でルールの合意はできそうか。まずCOPに参加された高村さんの見解をお聞きしたい。

高村 今回のCOP 23は、主にプロセスを決める会議でし

た。まず、20年に、パリ協定の5年サイクルの目標引き上げのしくみを初めて動かすタイミングが来ます。その試みの一環として18年に行う「タラノア対話^{*}」と呼ぶ進捗評価の進め方を決めました。気候変動の科学を再確認した上で、対策や資金支援などの進捗を評価し、次どうするかについて共通認識をつくるプロセスが合意されました。

また、パリ協定の実施ルールをつくる期限が18年のCOP 24に設定されています。COP 23では各国がルールについて意見を出し合っておりまとめ、18年1年かけてルールをつくる出発点に立ちました。アメリカの脱退表明後、最初の公式会合で、アメリカがどういう立ち位置で交渉に臨むかが注目されていましたが、脱退表明の影響はほとんどなく、実務的に粛々と交渉を進めていました。18年、意見の対立はあって詰め切らない部分は残るかもしれませんが、パリ協定の実施ルールは何らかの合意には至るのではないのでしょうか。

有馬 石原さんは、COPのプロセス、という点に注目して見ておられました？

石原 僕は実はエネルギーの観点ではあまり注目していません。科学的根拠に基づいて議論されている一方で、非常に政治的で、最終的な決着は科学から離れるのがこれまでの印象です。今後も、アメリカの離脱などを考えると非常に政治的で、多様なことに利用されている気がしています。

15年を境にエネルギーは非化石シフトへ

有馬 なるほど。私自身の見立てを言うと、パリ協定という全員参加型の枠組みをつくったが、先進国・途上国共通の枠組みを維持しつつ、途上国からの追加的支援要請はで



2017年11月、ドイツ・ボンで開かれたCOP23。全体会議冒頭で議長国フィジーの首相がスピーチを行った ©Alamy/PPS通信社

きるだけ避けたい先進国と、逆に先進国・途上国の二分法を維持し、先進国からできるだけ支援を取りつきたい途上国の対立が目立った。これは根本的対立なので、全体をパッケージで合意しなければならない。ルールの合意は19年に遅れる可能性もある。

アメリカの動向については、トランプ大統領の関心は、自国の削減目標値の引き下げと、資金支援の取りやめ。パリ協定の詳細ルールは彼の関心事ではない。だから今回、アメリカ代表団は従来同様、実務的に交渉を進めた。ただ、今後現れるかもしれない影響として、国際競争と密接に関連している温暖化対策において、世界第2位の排出国アメリカが温室効果ガス削減のコスト負担に背を向けて、国内でエネルギーコストを下げる動きに走ると、困ったことになる。他の国がコストのかかる温暖化対策の目標を引き上げると、アメリカとのコスト差が開いてしまう。各国の目標引き上げの制約要素になることは懸念材料です。

高村 確かにアメリカの政策の変化が温暖化対策の足並みを乱す可能性があります。ただ、パリ協定の前後から特に再エネのコスト低下が温暖化のコストをめぐる認識・議論を大きく変えている。シエル社の言葉を借りると、1970年から約半世紀、石炭と、石油＋ガス、非化石の原子力＋再エネ、この三つの割合はほぼ均衡していた。それが2015年頃を転機にぐっと非化石シフトが始まった。これがどう温暖化対策に影響するか。産炭国である中国やインドでも大きく再エネにシフトし、明らかに排出削減・抑制にも貢献している。深刻な大気汚染への対策にもなり、しかも再エネコストの低下により、当初の想定より随分安く対策ができる見通しがついて、温暖化対策に対する中国、

パリ協定

2020年以降の新たな温暖化対策の国際枠組み。世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求することを目的とする。削減目標は5年ごとに提出・更新。日本は30年までに温室効果ガスを13年度比26%削減、50年までに80%削減する目標を掲げた。15年12月COP 21で採択、16年11月発効。

COP

気候変動枠組条約締約国会議。

IEA

国際エネルギー機関。

タラノア対話

促進的対話。世界全体の排出削減の状況を把握し意欲を向上させるための対話。タラノアは、透明性・調和を意味するフィジー語。

インドの立ち位置が変わってきた。そういう変化が15年頃を分岐点に進行しています。

欧米は抑制、アジア新興国や途上国は推進、2極化する原子力情勢

有馬 非化石と言えば、原子力は再エネと並ぶ非化石電源なので、温暖化防止を目的とするなら原子力をのけ者にする理由はないはずですが、再エネと省エネは賞賛されても原子力についてはアンチの色彩が強い。今回のCOPでも会場内に温暖化防止のための原子力の役割というブースはありましたが、ドイツでの開催という理由もあつてか、とにかく再エネコストがどんどん下がっているので再エネを推進すべき、もう原子力は必要ない、脱原発は正しいという議論がよく聞かれました。今後、原子力は世界のエネルギー情勢のなかで役割を失っていくのか、あるいは原子力の位置づけを再エネが代替できるのか。石原さんの見解をいただけますか。

石原 原子力が2000年代に原子力ルネサンスとして注目されたのは、非化石電源であり、発電コストが安かったから。しかし、ここ数年、石油が非常に安くなった。パリ協定で温暖化対策を強化すると、炭素税など価格上昇要因はあるにしても、まだ石油は安く使えるだろうし、産業全体で考えると化石燃料に頼らざるを得ない分野はある。原子力がそれに対抗できるか。福島第一の事故以降、日本でも世界的にも安全対策費用が増えており、バックエンド費用もあり、今後原子力が安くなる要素はない。一方、再エネは、世界的にどんどん伸びていますので量産効果が大きく技術革新等で、さらに安くなる要素があると思います。

います。石炭利用の鍵はCCSですが、僕はCCSについて明るい未来を持っていません。技術的にかなり難しく、コストは到底見合わない。将来ずっと使える技術であれば投資する価値はありますが、少しの間のつなぎ技術と考えたと、石炭火力は縮小せざるを得ないのかなと。

ただ、世界の動向と、資源のない日本や途上国は話が違う。コストの安さ等を考えると、石炭火力でないとうまくいかない面もあり、石炭火力はある程度必要です。

有馬 東南アジア諸国のエネルギー省の人と話をすると、国の発展のため未電化解消の優先度が非常に高いなか、潤沢に存在する石炭を使わない選択肢はあり得ないと。COPと同時に開催された東アジアサミットの首脳会合の議長声明には、クリーンコールテクノロジー*の重要性が明確に書かれている。石炭利用はあり得ないなんて言うと、東アジアサミットの全参加国に化石賞を与えないといけない。

COPでは、我々が言う3Eの内、圧倒的に環境に重きを置いた議論がなされている。CO₂排出削減が唯一の目標なら石炭なんて存在を許されないが、現実は違います。

高村 インドネシアやベトナムなど産炭国ですぐにゼロは難しい。ただ、大気汚染問題も抱えており、石炭火力は地球温暖化だけでなくローカルな健康問題も生じる可能性があります。中期的な転換への支援が必要です。

有馬 大気汚染問題はクリーンコールテクノロジーで相当部分対応できます。中国では、深刻化している大気汚染問題への対策がそのまま温暖化対策になり、国民の共感を得やすい。日本では、1970年代に大気汚染問題が起き、非常にきれいな空気と水を先に実現してしまい、温暖化問題はその後現れた。

高村 今、再エネが拡大し、アメリカのガス増産もあつて化石燃料は供給過剰で価格は下がる傾向。おそらく原子力は「安い」というだけではなかなか受け入れ難くなっている。経済性の課題を認めた上で安全保障など持つことの意味が問われてくる。

石原 ヨーロッパは脱原発、アメリカはコストで動く国なので原子力は高いと抑制傾向。一方、中国・韓国、アジア途上国は原子力推進で、僕は2極化すると思うんです。

有馬 私自身は日本のように資源のない国は原子力オプシオンを堅持すべきであり、また外交・安全保障の観点からも重要だと思っています。

COPは環境偏重議論で石炭退場を促すが、経済発展をめざす途上国は事情が異なる

有馬 もう一つ、今回のCOPでは石炭が非常に話題になつて、脱石炭連合*が組織され、日本は途上国に対し石炭火力を支援していると化石賞をもらったりしているが、石炭についてはどうお考えですか。

高村 従来、温暖化交渉では、国が特定電源への批判をすることはなかった。今回のCOPは、27の国・州が連携を立ち上げるなど石炭火力廃止への動きが目に見えるようになったのが大変特徴的です。2℃目標達成に向けて、ポーランドとギリシャを除く欧州の電力業界は20年以降石炭火力を新設しない。そうした業界の動きも反映しています。

石原 CO₂排出原単位では石炭が一番悪く、温暖化対策は、まず石炭からというのは理解できます。日本が石炭火力を新設しており、高効率石炭発電の技術開発も継続、途上国支援やプラント輸出もしていると、かなり非難されて

バックエンド

原子力発電所でウラン燃料を燃やした後の工程のこと。

脱石炭連合

英国、カナダ、フィジー、ニュージーランドなど20の国と、米オレゴン州、カナダ・バンクーバー市など7地方政府が、2030年までの石炭使用全廃に向けて発足させた連合組織。COP23の会場で発足会を開催。

化石賞

国際的な環境NGOであるCAN（気候行動ネットワーク）が地球温暖化対策に後ろ向きな国に非難と皮肉を込めて授与する賞。

CCS

二酸化炭素回収・貯留。

クリーンコールテクノロジー

環境汚染物質の排出を低減する石炭利用技術。

3E

エネルギー安全保障(Energy security)・経済性(Economy)・環境保全(Environmental conservation)の三つの「E」の同時達成による最適なエネルギーミックスを追求する考え方。安全確保(Safety)の「S」を大前提に、S+3Eが、エネルギー政策の基本的視点とされる。



有馬 純 ありま じゅん
東京大学公共政策大学院教授
(エネルギー・環境政策)
1959年滋賀県生まれ。東京大学経済学部卒。通商産業省（現・経済産業省）入省。IEA（国際エネルギー機関）国別審査課長、資源エネルギー庁国際課長、経済産業省国際交渉担当参事官、大臣官房地球環境問題担当審議官、日本貿易振興機構（ジェトロ）ロンドン事務所長兼経産省地球環境問題特別調査員などを経て、15年より現職。COPにはこれまで13回参加。著書『トランプ・リスク』『精神論抜きの地球温暖化対策——パリ協定とその後』『地球温暖化交渉の真実』など。国際環境経済研究所主席研究員、21世紀政策研究所研究主幹、東アジア・ASEAN経済研究センター（ERIA）シニアポリシーフェローなど兼務。
<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/faculty/arima-jun/>

石原 日本は公害問題が起きた70年代に、オイルショックが起きて脱石油を進めた。当時はオイルショックの克服イコール大気汚染問題克服だった。そこでエネルギー効率を上げる技術を開発して、天然ガス・原子力を入れて電源の多様化を図った。日本は既にインフラをつくりあげており、そこが中国とは大きな違いですね。

高村 皮肉なことに、エネルギーシステムが未整備の国のほうが、大転換が始まったときは転換の動きを捕まえやすい。既にエネルギーインフラができている国がそれを変えるには、政策側にもエネルギー業界にも力技が必要です。

2℃目標達成へ先進国が100%削減しても 途上国の排出半減は容易ではない

石原 原子力や石炭以外でも2極化はあります。例えば電気自動車。中国は既に約100万台入っていて、日本も欧州も入れる。ところが途上国は、電力も十分供給されていないので、とてもEVに供給する余裕はない。従来どおり石油系燃料に頼らざるを得ない。先進国は脱石油・脱化石燃料化が進むにしても、途上国の排出量抑制は大変です。

有馬 確かに途上国の排出削減は容易ではない。パリ協定は1・5℃から2℃以内に気温上昇を抑えようと野心的な目標を抱えています。この目標の達成可能性は？

高村 2℃という目標は非常に厳しく達成は容易ではない。2050年頃に先進国はカーボンフリーの電気による社会を実現しているという厳しい目標。私の理解では、こうした目標を持つことで、そちらに向けて社会と技術革新を駆り立てる役割を担っている。実際、この目標が、EVシフトなどリアルエコノミーを動かしています。

有馬 2℃目標を達成するには、2050年までに世界全体で40%から70%削減すべきというのが15年のエルマウサミットで出てきた数字。50年までに仮に先進国がカーボンフリー、つまり100%削減しても、世界全体で例えば6割削減するには、途上国の1人あたり排出量を今の半分以下にしなければならない。過去20年間で途上国の1人あたり排出量は約4割増加。中国は3倍、インドは2倍。今、東南アジアやアフリカなど次々に生活力が向上するなか、半減させるのは相当難しい。だから、2℃というゴールはゴールでそちらに向かって努力はするが、あまり細かく炭素予算^{*}を管理し始めると合意は得られなくなる。

高村 国際交渉の場で炭素予算を奪い合うというよりも、パリ協定は目標に向けてどう協力するかにゲームがシフトしたと思います。他方、投資家がこの2℃シナリオでビジネスを評価し始めていることが大変興味深い動きです。

2018日本の立ち位置と進路は？

日本のCO₂削減26%目標達成を左右する エネルギーだが、原子力比率の達成が危うい

有馬 次に2018年の日本の立ち位置について。18年はCOP24でルールが決まる予定ですが、削減量が全然足りない^{*}と各国の削減目標を上げる話がずっと出てきます。今、日本はエネルギー基本計画^{*}を見直しているが、エネルギーミックスの数字には手をつけないとも言われている。国際的に目標引き上げ圧力が生ずる可能性のなか日本はどう対応すればいいか。

高村 何らかの形で努力を積み増したことを見せてほしい

という国際圧力が高まりますね。削減目標の引き上げは現段階で難しいとしても、何か追加的施策を行うコミットメントは出せるかもしれない。例えば中国も、30年目標に、排出原単位の改善目標とともに非化石エネルギーのシェア目標を出している。日本は19年にG20の議長国になり、20年を前に議長国として目標引き上げ議論を自ら進めざるを得ず、追加施策の約束などで努力を示す対応はあり得るのではないでしょう。

石原 エネルギーミックスで原子力比率の目標達成が危うくなっています。再エネはほぼ間違いなく達成するから、原子力の不足分を再エネで補うオプションはあり得る。それは現実問題として仕方がないが、再エネが増えると送電網や系統コストの問題をどうするか、明確な計画が必要です。

有馬 日本は温室効果ガス削減26%を決めるにあたって非常に注意深くエネルギーミックスを考えた。自給率を震災前に戻す、電力コストを下げる、目標水準も欧米と遜色ないものにする。さらに電源構成の変化がCO₂とコストに与える影響分析まで行い、非化石電源のシェア44%とか省エネも含めたパッケージとして26%を決めた。

なかでも原子力再稼動が中心的な位置づけを占めていて、原子力再稼動で化石燃料の輸入コストを節約、それで再生可能エネルギーの増大で生ずるFIT賦課金^{*}を吸収して全体として電力コストを下げる。そういう設計にしているの^{*}で、再稼動が進まないと、全体が計画倒れになります。

温暖化対策を真剣に考えるなら、再稼動に向けてもっと原子力の重要性を政府も声高に言うべきではないか。

石原 そう。動かそうと動かすまいと既に原子力はあるわ



欧州では石炭への風当たりが強い。COP23でも会場近くでデモが起きていた ©Alamy/PPS通信社

炭素予算
地球温暖化を一定レベルに抑える場合に想定される、温室効果ガスの人為的な累積排出量の上限値。カーボンバジェット。

エネルギー基本計画
エネルギー需給に関する施策の長期的・総合的かつ計画的な推進を図るために策定される計画。14年4月閣議決定された第4次計画ではエネルギー政策の基本的視点としてS+3Eが明記され、同計画を踏まえ15年7月発表の長期エネルギー需給見通しで原子力比率は20〜22%とされた。

FIT賦課金
再生可能エネルギー発電促進賦課金。再生可能エネルギー（太陽光・風力・地熱・中小水力・バイオマスなど）で発電した電気を、電力会社等が一定期間・固定価格で買い取る固定価格買取制度（Feed-in Tariff = FIT）において、買取費用を電気の利用者全員から賦課金という形で集め、再生可能エネルギーの導入を支えている。

けで、動かさないのは非常に無駄。政府が再稼動を主導し、まずは2030年目標を早期に達成する。加えて、その後どうするか、を国民に示さないといけない。

僕は30年が転機かなと思っています。つまり30年頃までは既存原子力の再稼動で凌ぐとしても、それ以降、原子力を中心電源に置こうとすれば、新設が必要。この新設が、社会的問題はさておき、幾らでできるか。既存原子力での発電単価と同額で原子力の電気がつくれるかが鍵。

但し、エネルギーセキュリティを考えると、多様な電源を持つておくことは、日本を含め世界的には必要。中国・韓国が原子力をやることはあまり考えられないので、安全性を考えると、日本はそういう国とどう連携していくか。新設の採否も含めて日本は長期的に原子力をこういう計画でやるので、まずはこれだけの原子力を動かし、その後はこういうシナリオでやりますと言わないといけない。

有馬 政府が新增設に言及しないのは非常に残念です。停電が生じてないから、原子力はいらないという議論があるが、エネルギー安全保障と温暖化対策への認識が欠けている。エネルギーリテラシーを高めないといけない。

高村 40年廃炉を厳格に守ると、2030年に12〜15%程度のシェアとなる。30年以降どうするかの議論を行う必要がありますが、安いという議論はもうしないほうがいい。そのコストを示した上で、なぜ必要なのかをきちんと議論しないとけません。

長期を要する廃炉・バックエンドのためにも原子力の新增設は必要だ

有馬 2050年あるいはそれ以降を考えたとき、日本は

る原子力の位置づけが随分変わる印象を持ちました。かなりのパーセントの電力を担うイメージから、小型で技術を維持する程度にまで減っていく、そういうイメージですか。

石原 震災前の30%というのは難しいかもしれませんが、大事なのはエネルギーセキュリティ。日本が福島第一の事故以降、原子力を停止しても停電しなかったのは、オイルショックで電源多様化を進め、どの電源にも20%程度ずつ担わせ、一つ潰れても80%は確保できる形にしていたから。今後も、特定電源に大きく依存することは日本としては得策ではない。多様性が必要です。

メガシティの電力供給はEVの蓄電池化で担う

石原 再エネについては25%程度までは単価が最も安い電源として入りますが、系統の問題があり、25%を超えると極端に値段が上がってしまう。そこで原子力というオプションがやっぱり出てくるんじゃないか。

有馬 再エネは発電コストだけ見ても意味がない。特に太陽光や風力の場合、蓄電池やバックアップ電源、系統も含めトータルコストを見ないとけない。だからIEAも、コストは非常に安くなったが、グリッドで相当の投資をしないとけないという評価です。

石原 私もう一つ言いたいのは、再エネには地域性がある。九州はかなり再エネが入っていて、一時的には70〜80%再エネでカバーできる。一方、大阪・東京というメガシティには十分なりソースはないが、大きな需要がある。大都市と、北海道や九州・四国など需要が少なく土地が十分利用できる地域は別。北海道や九州ではほぼ再エネ100%で賄えるから、日本全体でもできるんじゃないと言われる

原子力の新增設をやるべきか。電力自由化のなかでは、巨大な初期投資がかかり、しかもリードタイムが長い原子力に投資する人は出てこない可能性がある。だからイギリスなど、原子力についてもFITの制度を適用して新設を進めようとしています。それをしても原子力を維持するほうがいいのか、それとも中長期的には脱原発なのか。

石原 長期を要する廃炉やバックエンドの観点からも技術者を育てておかなくてはならず、メイン電源でないにしろ幾つかの原子力発電所はずっと動かして技術を維持する必要がある。廃炉ビジネスだけというのは寂しいし、技術的破綻が起きる可能性もありますからね。

有馬 既存炉の運転だけでなく、新設が必要だと。

石原 ええ。新設やリプレースをしていくべきだろうと。

有馬 新型炉や小型炉など技術革新の可能性は？

石原 今後、大型化は難しく、30万kWとか50万kWの小型炉が、コスト面や事故時の対応、燃料の安定供給面でも望ましい。東南アジアなどはメンテナンスの楽な小型炉を望んでいますし、メンテナンスフリーの炉も研究されている。日本の産業育成という面でも技術開発と国内での新設は続ける必要があります。現在、世界の原子力設備の半分程度は日本で製造している。その輸出ビジネスを考えると、輸出のためだけに技術を持つのはあり得ない。

有馬 日本国内で原子力をやるのに、なぜ海外で売るのがという話になりますね。今、中国・ロシアが原子力輸出にかなり力を入れている。中国のように毎年原子力を新設していれば、技術力は間違いなく上がります。

石原 価格競争力もそれなりに生まれます。

高村 今の話をうかがうと、日本のエネルギー供給におけ



中国では原子力発電所の新設がどんどん進んでいる。写真は福建省の福清原子力発電所。
2014年1号機が運転開始、以後15年に2号機、16年に3号機が運開し、現在さらに3基建設中 ©Photoshot/PPS通信社

が、地域ごとに精査して、きめ細かな議論をすべきです。

メガシティはアジアの特徴で、一千万人規模のメガシティに対して、温暖化と安定供給に最適なエネルギーシステムを日本が率先して示し、広めていくことが、将来アジアをリードしていく上でも必要でしょうし、そういう技術開発は日本がすべきだと思いますね。

有馬 メガシティのエネルギー供給のあり方について、何か具体的な青写真をお持ちでしょうか。

石原 方向性としては、メガシティの特徴としてEV化が進むと思うんですね。EVを公共財の形で巨大蓄電池として利用すれば、九州や北海道で余った再エネの電気を都市で吸収でき、かなりの変動電源が抑えられる。地方から都市への送電線は既にあるから、それを十分活用すればいい。

有馬 都市の場合、長距離運転はあまり必要がないから、EVの普及には都市が向いていますね。

石原 駐車している間は必ずコンセントにつないで、蓄電池として使わせてもらう。デジタル化・スマート化が進むなか、車の使用計画を入力して集中管理し、車としての使用以外は蓄電池として自由に使わせてもらう。その代わりEVは公共財として安く提供すればいい。そういうシステムを考えれば、いろいろなことができる。

高村 蓄電システムなどさまざまな方法で調整力を供給する民間のビジネスモデルもありそう。とても面白そうですね。

競争を阻害するF-I-Tを改め、

施工費を高止まりさせる商慣行の見直しを

有馬 震災後、日本とドイツを比較する議論が多いが、欧

高村 大きなイノベーションが今後必要になるのはシステムではないでしょうか。日本製パネルは中国製とコスト面で競争できないにしても、システム技術は日本がもっと外に売っている技術じゃないですか。

有馬 ドイツのF-I-Tのおかげで中国のPV産業が育ち、今や日本のPV産業は中国と競争しても勝てない。

PVのコストがこんなに下がるなら、あんな高い価格で急いでF-I-Tを導入する必要はなかった。世界では再エネコストがこんなに下がっているから日本では原子力は要らないという議論がありますが、「そんなに安いならF-I-Tをやめられますね」と訊くと、いや、やめたら困ると。日本の再エネはどうしてこんなに高いのでしょうか。

高村 日本の再エネが高い理由は大きく三つ。一つはF-I-Tの買取価格。今はずいぶん下がりましたが、特に最初の3年ほど非常に高く、コストが高止まった。次に施工費が高い。三つ目がグリッドへの接続に課題があり、コストにも反映している。接続工事に時間がかかると、その間、融資を受けても発電せず事業は寝かしておくことになり、それがコストを上げている。さらに、風力などはある程度の量にならないと規模の経済でコストが下がらない。太陽光はかなり増えたので、コストは確実に低下した。今、F-I-T価格でも事業用は21円まで下がりました。

石原 10円切らないとまだ高いですよ。結局、F-I-Tが競争を阻害した。本来は価格競争をすべきなのに、値段が決まっているから競争する必要がなかった。制度的に競争を阻害したこと、私も今、実験で太陽光を入れていますが、施工費が高い。とにかく工期が長く、その分、人件費がかかる上、過剰品質。日本人は強固なものをきちっとつくつ

州内のグリッドで囲まれているドイツと比較すること自体、ミスリーディングな議論。むしろEU全体で見ると脱原発ではなくて、4分の1程度は原子力が占め、天然ガスと石炭と再エネがバランスよく分散する形になっている。

石原 震災前のEU全体と日本全体のバランスは似ていた。**有馬** ほぼ同じ。ドイツが再エネを大量に導入できた理由は、ドイツと隣国のエネルギー政策が違っていたから。つまり隣国がドイツと同様に脱原発・風力増強を行っていたら、ドイツで余った風力をオランダやポーランドのグリッドに流し込み、彼らの火力で調整してもらうということはできなかった。ドイツは異なる電力構成の隣国と相互補完ができたが、今後は自らデマンド調整や、北から南への送電線敷設によって大風力地域から大需要地域に効率よく電

気を送る形をつくらないといけない。問題は、南北の送電網敷設に真ん中の住民が反対して進まない。その課題に今ドイツは直面している。日本は隣国との系統連係がなかったがゆえに、最初から自ら調整せざるを得なかった。

高村 IEAの報告書も25%程度まではグリッド運用など既存の調整力で大きな追加コストなく自然変動電源を入れられると指摘している。日本はまだ約8%程度ですが、25%を超える規模となるとコストがかかる。再エネを大規模に導入するためのグリッド運用やシステムのイノベーションについてはどう見てらっしゃいますか。

石原 25%を超えたとき、EVは大きな蓄電池になる。日本の5千万台が全部EVになれば、非常に大きな蓄電池。日本の総電力消費1日分くらいの電力貯蔵ができます。

もう一つはスマートグリッド*構築によるデマンドコントロール。家電がAI化すると、自動的に需給調整ができる。



石原 慶一 いしはら けいいち
京都大学大学院エネルギー科学研究科長；
教授（エネルギー社会工学）
1957年京都府生まれ。京都大学工学部金属加工学科卒、同大学院工学研究科金属加工学専攻修士課程修了。工学博士。87年無機材質研究所客員研究員、90年京都大学助教授を経て、教授。2017年4月よりエネルギー科学研究科長。将来のエネルギーについて、基盤技術から実現可能なシナリオまでを研究対象にし、材料開発などの基礎技術を社会に活かして豊かな社会を構築すべく、多様な社会活動を行っている。関西原子力懇談会「日本のエネルギー選択を考える会」メンバーなど。
<https://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/cV4nR>

スマートグリッド
基盤となる電力系統の安定性を失うことなく、低炭素社会の実現とお客さまの利便性向上を目的に、情報通信技術、蓄電池技術などの新技術を用いた、高効率、高品質、高信頼度の電力流通システム。

PV
太陽光発電 (Photovoltaic)。

てしまう。もっと競争原理が働かないと下がらない。

今後の課題と方策は？

低炭素イノベーションには

国が大きな目標を立て、多様な技術を競わせる

有馬 今後の課題ですが、2050年あるいはそれ以降、気温上昇を2℃以内に抑えるには、多様な分野でイノベーションを起こす必要がある。イノベーションが起きやすい環境づくりをどう進めればいいか。

石原 イノベーションを起こさせるには大きな政策目標が必要です。2050年にカーボンフリーにするなど、カンフル剤として大きな目標を政府が立て、官民一体になって技術開発をする。

高村 同感です。方向性、めざすべきゴールの提示がイノベーションには非常に大事。社会のイノベーションには、新しい技術開発だけでなく、技術の普及も必要です。成功例はZEH*。政府が2020年に向けてZEHを標準住宅にすると打ち出して業界と一緒に取り組み、大手住宅メーカーの中には今年間販売新築住宅の70%以上がZEHというところもある。具体的な政策目標を出すことがイノベーションを促します。

石原 ZEHみたいな成功例はあるにしても、政府は個々の技術より、もっと大きなターゲットを示し、それに向けて多様な技術を競争させるほうがいいのではないですか。

高村 両方必要かと思います。つまりZEHのように既に見えている技術。これはかなり具体的に年限を決めて普及政策を導入すればいい。もう少し先の技術は、多様な技術オプションの中でどれが生き残るか競争させ、イノベ

ーションを生じさせることが必要だと思います。

有馬 かつてのように政府が特定技術を支援するモデルは今後なくなる可能性がある。多様な技術が我々の予想もしないマリッジをするんでしょうね。

またマクロ経済環境が悪いと技術開発に資金を回せないで、良好なマクロ経済環境と良好な企業収益は長期イノベーションほど必要になる。経済を縮小・閉鎖させるとイノベーションは生じず、既存技術の改善に終わってしまう。

産業を虐めるのではなく育てるためにカーボンプライシングを使う

有馬 イノベーションを生み出すきっかけとして、カーボンプライシング*についてはどうですか。

高村 近年の研究は、特許出願件数を比較したとき、カーボンプライシングが入っている国のほうが、技術開発への圧力がかかって、特許取得数は多いとしています。

CCSなど低炭素化へのハードルが高い技術は、かなり高いプライスがつかないと、技術の革新・普及は起きない。逆に再生可能エネルギーやEVなどの低炭素技術のコストが下がっていけば、プライスのレベルはさほど高くなって済む。そういう関係にある。カーボンプライシングは長期削減を考えると、技術コストと技術戦略と切り離せない。ただ、日本の明示的炭素価格3ドルは低い。そのコスト構造が、石炭が優位に選択されてしまう理由ではないか。

有馬 石原さん、どうでしょうか。

石原 日本国内で厳しいカーボンプライシングを導入すれば、国際競争力のある産業が育つ。今まで日本の輸出産業の成功は、ほとんどが国内競争で力をつけてから海外に出

高村 ゆかり たかむら ゆかり
名古屋大学大学院環境学研究科教授
(国際環境法)

1964年鳥根県生まれ。京都大学法学部卒、一橋大学大学院法学研究科修士課程修了、同大学院法学研究科博士後期課程単位修得退学。静岡大学助教授、龍谷大学教授などを経て現職。中央環境審議会地球環境部会委員、持続可能な地球環境研究に関する検討作業部会委員、大阪府環境審議会温暖化対策部会専門委員、総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会新エネルギー小委員会委員など。2030年の電源構成を議論する経済産業省の有識者会議「長期エネルギー需給見通し小委員会」委員も務めた。
<http://www.social.env.nagoya-u.ac.jp/norm/takamura>



た。だから、ローカーボン技術を育てるために、カーボンプライシングを使う。虐めるのでなく、育てるために使うという発想でうまく制度設計すればいいんです。

有馬 国際的に統一的なカーボンプライシングがあるのが望ましいが、現実には各国ごとに異なり、各国のコスト環境に凸凹を生じさせている。高村さんは3ドルは安いと言われたが、エネルギー税等を加えた実効炭素価格で見ると、アメリカ・中国と比べ、日本のレートは相当高く、根っこのエネルギーコストもやっぱり高い。日本にとって重要な比較対象は欧州ではなくアジア太平洋地域。

石原 国際的な共通ルールは必要ですが、例えば自動車の排ガス規制など、もともと厳しいマスキー法*があつた上、日本はさらに厳しく規制した。それで国内メーカーが努力をしてイノベーションを起こした。むしろ海外よりも厳し目のプライシングのほうが国際競争力は生ずる。それは一国のイノベーションを起こさせる方策です。

パリ協定下で生まれる巨大な低炭素市場で日本の高効率エネルギー技術を活かせ

有馬 最後に、日本の産業、そして電力会社に対してアドバイスなりメッセージがあればいただきたい。

石原 日本の産業は個々の要素技術はかなりあり、欠けているのはアプリケーション技術。各要素技術を具体的な目に見える形にすることを期待したい。これが輸出にもつながるし、将来日本を支える中枢技術にもなる。

電力会社は今後ももう少し自社の電力の商品価値を考えてほしい。電力自由化で新電力の参入は多いが、これまでの議論は値段だけ。電力という商品の販売を通じて電力会社

ZEH
ゼッチ。ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス。外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロにすることをめざした住宅。

カーボンプライシング
炭素の価格付け。温室効果ガスの排出量に比例し明示的に価格を付ける施策。炭素税や排出量取引制度など。費用負担が発生することで、経済全体で費用効率的に温室効果ガスを削減できる。また消費者や生産者に対し、間接的に排出削減を促すエネルギー課税・エネルギー消費量や機器等に関する基準や規制等、暗示的炭素価格施策もある。

マスキー法
アメリカで1970年に設けられた、自動車の排気ガスを規制する「大気浄化法」の通称。



エネルギー・環境 への視点

エネルギー問題と環境問題は表裏一体。

エネルギーミックスと整合的なものとなるよう設定された日本の温室効果ガス削減目標だが、原子力再稼動に遅れが目立ち、削減目標達成に黄信号が灯っている。

「環境」「原子力発電」「高レベル放射性廃棄物」など、

エネルギー・環境をめぐる各側面について、各分野の専門家・有識者の意見を聞いた――

はもつと人々のエネルギーリテラシーを高める情報発信をすべき。今、国民の多くが、電気はあつて当たり前、コンセントに差せば使えるスイッチを入れれば点くことを前提に、値段が少しでも安いとか原子力に反対する人は新電力に移り、関西地域はかなり関西電力離れを起こしている。しかしエネルギー安全保障や変動する電力需給バランスを知った上で、電力選択なり、政府のベストミックス計画に対する提言ができる国民を育てる必要があります。

高村 15年頃を分岐点に世界は大きく変わりつつあります。残念ながら、日本の産業は低炭素分野で国際競争が本格化している潮流を掴み切れてないのではないだろうか。欧米に比べると一歩出遅れた感もある。パリ協定が動いていくと、IoTなどの流れとともに、変革に伴ってエネルギー分野も移行のための巨大市場が出てくる。特に再生可能エネルギー分野の大きな市場ができる見込みです。40年までの新設発電設備への総投資額約10兆ドルのうち72%が再エネへの投資で、その額は年4千億ドルに達するとの予測もあります。そこにぜひ日本の産業が食い込んでほしい。日本の再エネ技術は、特許取得数で見ると16年段階でも中国・アメリカを抜いて1位。石原さんが言われたように、要素技術としてはかなり力を持っている。パリ協定がもたらす変革はビジネスチャンスでもある。国もそれを促進する産業戦略が必要です。

電力需要が伸びないなかで、再エネの導入は拡大し、原子力も再稼動するならば、電力会社は、今後供給過剰のなかでビジネスを組まなければならない。電力だけでなく総合エネルギー産業としてどう事業を拡大していくか。そして販売するエネルギーにどう付加価値をつけていくか。技

術力も経験も資本力もあり、信頼できるエネルギー事業者としてもつと再エネ拡大に力を入れてほしい。特に、風力、地熱は一定の資本力と技術力がないと安定的な事業はできないから、ぜひ本腰を入れて取り組んでいただきたい。

有馬 僕も一言。温暖化問題は地球全体としての削減が目的ですから、それに役立つ「種」を常に日本企業には提供してもらいたい。パリ協定のもとで巨大な低炭素市場ができるなら、その機会をうまく捉える。大量生産型は中国に勝てないから、いかに賢く使うかという知恵が要る部分で競争力を発揮してもらいたい。長期の排出削減には、今までなかった技術の組み合わせ、イノベーションが必要になるから、そこで日本企業の強みをぜひ発揮してほしい。

日本の産業は多様な分野で非常にエネルギー効率の高い生産プロセスを実現しているから、日本の産業が力を失い、その部分が他の国に代替されていくと、地球全体としての排出量が増えてしまう。そういうことのないよう、日本企業には、温暖化をめぐる議論の場でぜひ国やセクター横断的な大きな視点を提供してもらいたいし、議論のフレームを拡げる提言をしてもらいたい。

日本の電力業界は、培ってきた知恵を世界の排出削減に授けるべく、もつと海外での活躍を望みたい。

本日はありがとうございました。■

(2017年11月24日実施) 編集／田窪由美子



CO₂排出ゼロへ、世界観を覆す大転換を

江守正多

国立環境研究所 気候変動リスク評価研究室長



えもり せいた

国立環境研究所 気候変動リスク評価研究室長
1970年神奈川県生まれ。東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士（学術）。97年国立環境研究所入所。06年温暖化リスク評価研究室長等を経て、11年より現職。専門は地球温暖化の将来予測とリスク論。気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書主執筆者。著書『異常気象と人類の選択』『地球温暖化の予測は「正しい」か?』『温暖化論のホンネ～「脅威論」と「懐疑論」を超えて』など。
<http://www.nies.go.jp/researchers/100101.html>

気候変動リスクが高まっている。

過去100年で世界の平均気温は1℃高くなり、海面は平均20cm上昇した。酷暑や豪雨、台風、ハリケーンなどの異常気象も温暖化によって激甚化し、頻度が増す傾向にある。

例えば200年に1度の異常気象というところ、自分が生きている間に起きないと思うかもしれないが、実際は、毎年200分の1の確率で起きる可能性がある。温暖化が進むとそれが100分の1、50分の1と徐々に確率が上がっていく。

特に深刻なのは途上国の被害だ。南太平洋などの小さな島国は海面上昇によって将来的には自国が水没してしまうという絶望感を抱えている。東南アジアでは台風や豪雨による洪水が頻発し、インドなどでは熱波で毎年のように数千人もの人々が命を落としている。

中東やアフリカでは深刻な干ばつが難民発生の一因となり、周辺地域の秩序を不安定化させている。シリア内戦も記録的な干ばつによる食料不足と都市人口急増が遠因と言われている。

温暖化問題が難しいのは、被害を受けるのが、温室効果ガス排出の「当事者」たる先進国・新興国でなく、これまで温暖化にほとんど責任がない途上国ということだ。まして、これから生まれてくる将来世代は全く責任がないにもかかわらず、より影響が深刻化した世界で生きていかざるを得ない。こうした地域間・世代間の不公平に対し、「クライメート・ジャスティス」（気候正義・気候の公平性）を実現すべきという声が上がっている。これは、先進国の人々が引き起こした気候変動の責任を認識し、途上国の人々が被害を受

調査結果がある。インフラが十分整備されている日本では、途上国で起きているような甚大な被害を想像しにくいかもしれない。温暖化対策は生活の質を上げるか下げると問うた調査でも、世界は「上げる」が3分の2だが、日本は「下げる」が3分の2。日本人にとって温暖化対策は「節約」「我慢」「辛抱」「負担」するイメージだ。

温室効果ガス排出ゼロ社会の実現には、世界観を覆すトランスフォーメーション（大転換）が起きないといけない。例えば産業革命のように、価値観が一変し、従来の常識が通用しなくなるほどの大転換。身近な例を挙げ

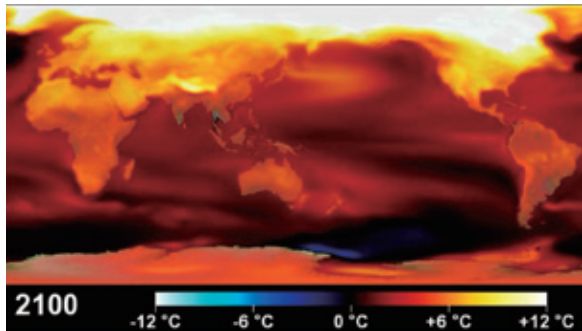
れば「分煙」もそうだ。30年前は職場でも街なかでも、どこでも煙草が吸えた。病院の待合室にさえ灰皿があったが、今では考えられない。

同様の変化は、エネルギー分野でもいつか必ず起きるだろう。再生可能エネルギーが安くなり、蓄電技術や系統安定化技術も進み、全ての電源がCO₂フリーになって、「昔の人はCO₂を出しながら発電していたなんて、信じられない！」と常識が変わる。転換がいっになるかはわからないが、少なくとも世界はその方向に舵を切り始めた。

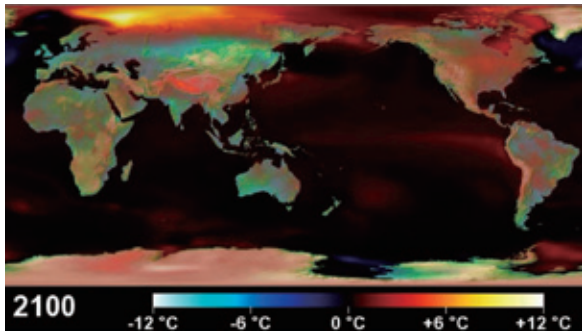
技術革新が、その動きを後押ししている。

2100年の気温変化シミュレーション

「対策無し」ケース



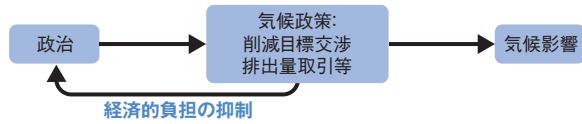
「2℃未満」ケース



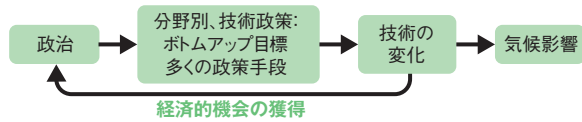
MIROC5 気候モデルより(AORI/NIES/JAMSTEC/MEXT)

京都議定書とパリ協定

「京都議定書」のパラダイム(排出量重視)



「パリ協定」のパラダイム(技術重視)



Schmidt and Sewerin, 2017; Nature Energyより

例えばライドシェアアプリの登場で、クルマは所有するものからシェアするものに変わり始めた。いくら「環境に配慮しよう」と理念を振りかざしても有意な変化は生み出せなかったが、イノベーションが起ればライフスタイルは変わっていく。

ゼロエミッションへ、全電力を100%再生で賄うのはかなり先だとしても、同じくCO₂を出さない電源として原子力を選ぶかどうか。社会でよく議論して判断すべきだ。次世代の頃にはイノベーションによって全く違う発想の原子炉ができてくるかもしれない、それが十分安全で廃棄物も少ないなら、使っていくという判断もあるだろう。

京都議定書が採択された1997年、COP（気候変動枠組条約締約国会議）の交渉は、CO₂削減という負担を他国に押しつけ合うゲームだった。それから20年、パリ協定は、脱炭素化に向けた「機会の奪い合い」へとパラダイムシフトした。ゼロエミッションをめざすことには世界が合意した。ではその過程で脱炭素社会という大転換後の世界で主導権を握るのは誰か。競争のルールが変わったとき、それに気づかず競争に参加している者は「カモ」になるだろう。日本はゼロエミッションに出遅れていないか。杞憂であることを心から願う。

けているという不公平さを正していこうとする考え方を含むものだ。持てる技術やノウハウを使い、「緩和」「適応」両面での国際協力は、日本をはじめ先進国が進んで担うべき役割だ。

そういうなかで2015年に合意され16年に発効した、2020年以降の気候変動対策の国際的枠組みを定める「パリ協定」。世界の平均気温上昇を産業革命前の2℃未満（努力目標1.5℃）に抑え、今世紀後半には温室効果ガス排出を実質ゼロにすることをめざしている。

問題は、この目標を各国がどこまで「真に受けて」いるかだが、日本では8割以上の人々が「達成できるわけがない」と思っているのではない。日本は気候変動リスクを深刻と考える人が諸外国に比べ極端に少ないという

2030年のその先へ、 新增設に着手すべきとき

渥美寿雄

近畿大学理工学部電気電子工学科教授



あつみ ひさお

近畿大学理工学部電気電子工学科教授／同原子力研究所教授（原子力材料・エネルギー材料学）
1959年大阪府生まれ。大阪大学工学部卒、同大学院博士後期課程修了。ドイツ・マックスプランク研究所客員研究員、近畿大学講師、助教授などを経て現職。「エネルギーと水素」をキーワードに、核融合炉における水素工学、クリーンエネルギーシステムについて研究。講演や子供向け実験教室のほか、中学校・高校への出前授業や学校教員向けセミナーの講師なども務める。
http://www.kindai.ac.jp/sci/education/faculty_and_research/07_atsumi_hisao.html

2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故から6年余り、事故直後に比べると人々の原子力に対する見方が変わってきた。私は大学以外での対外的な知識普及活動にも関わっており、事故直後は放射線の影響はどうか、日本は大丈夫か、といった懸念を抱く人々をよく目にした。しかし最近は18歳選挙の開始もあり、原子力政策が論点になったことから、「原子力のことを知りたい」という人が増えてきた。特に中高生などの若い世代は柔軟で、大人のような固定観念がない。きちんと学んで冷静に判断しようとしている。

ただ、こうした場でよく耳にするのは、「安全・安心のため原子力をゼロにするのはわかりやすいが、原子力がなぜ必要かはわかりにくい。安いから?」という声。エネルギー選択の基準が「安全性」と「経済性」し

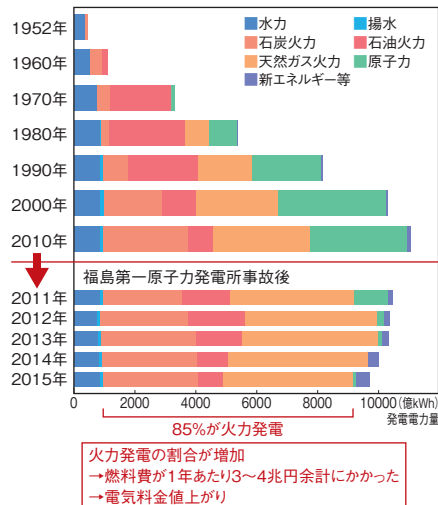
かイメージできていない人は多い。しかし基準はそれだけではない。「エネルギー安全保障」も考慮すべき極めて重要な基準だ。国産資源か、輸入資源なら輸入国との関係はどうか、供給量は確保できるか、価格は安定しているか。また「環境性」もエネルギーを選択する上で、切り離せない大切な基準だ。CO₂排出量はどうか、大気汚染・水質汚染等を起こさないか――。

これら4つの基準を総合的に考えると、原子力は抜きん出て優秀だ。福島第一の事故を起こしてしまっただけで、「安全性」は現時点では「○」ではないが、他は「○」。そもそも日本が原子力を導入した理由は、資源小国の「エネルギー安全保障」。輸入に依存しているのは国の基盤は極めて脆弱だ。原子力発電の燃料であるウランも全て輸入だが、燃料交

えると国は成り立たない。だからこそ、それぞれの国の固有事情を考慮してエネルギー

を選択しなければならない。1986年にチェルノブイリ事故を起こしたウクライナは、事故当時の原子力比率が26%だったが、2016年には52%と倍増。新增設も進み、現在も2基建設中だ。背景には、天然ガスの大部分をロシアから輸入していたが、ロシアとの関係悪化により原子力に頼らざるを得なくなったという事情がある。一方、資源のない日本が原子力を選ぶのは安全保障という固有事情があるからだ。ちなみに将来、可採年数5万年とも言われる海水からのウラン抽出が実用化すれば、四方を海に囲まれた日本にとってはまさに「純国産」エネルギーとなり、安全保障問題を一気に解決する可能性もある。

日本の発電方法と発電電力量の推移



「エネルギー白書2017」に基づく渥美氏の資料をもとに作成

発電方法を選択する4つのキーワード

●「エネルギー供給」としてどうか

供給の安全保障

- ・国産でなく輸入偏重なら「国富流出」（貿易赤字で国の経済として問題）
- ・どの国から輸入するか（国同士の関係、輸入経路の安全性）
- ・将来的にも使い続けることができるか（資源の枯渇、価格高騰がないかどうか）

供給の安定性

- ・量として十分に供給できるか
- ・質は良いか（時間的に出力が変動しないか）

●「発電コスト」としてどうか

- ・産業界は、外国と厳しい価格競争にさらされている。電気料金が製品コストに直接反映される

●「環境負荷」（環境への影響）はどうか

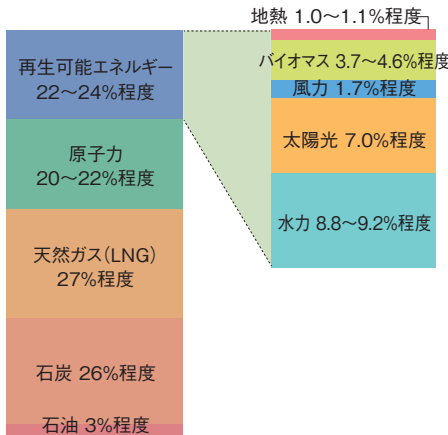
- ・二酸化炭素（CO₂）排出は低く抑えられるか
- ・平常の運転時に大気汚染、水質汚染を起こさないか

●「安全性」はどうか

- ・重大な事故を起こさないか→国民の合意が得られるか

渥美氏の資料をもとに作成

2030年度のエネルギーミックス



資源エネルギー庁「長期エネルギー需給見通し」(2015.7)をもとに作成

どかかる。今、新增設に着手しないと、日本を維持できない。

それには社会的合意形成が不可欠だ。これまでも国や事業者は合意形成の土台となる情報を数多く発信してきたが、反対する人の声ばかりがクローズアップされ、「何か隠しているのでは」と批判されてきた。ホームページやパンフレットで、一方的に情報公開するだけでなく、教育現場などにも積極的に向いて説明し、根拠のない批判にはしっかり反論する。そうした議論を多くの人に聞いてもらうことで、合意形成も進むのではないかと。何より人々は、原子力の「顔の見えなさ」に漠然とした不安を抱いている。巨大技術、巨大設備だが、動かしているのは生身の人間。それを知ってもらうのが社会受容の第一歩だ。



地層処分へ、 膠着状態打開への一歩

佐々木隆之 京都大学大学院工学研究科教授



ささき たかゆき
京都大学大学院工学研究科教授
(原子核工学)
1968年兵庫県生まれ。92年北海道大学理学部卒、97年京都大学大学院理学研究科修了、博士(理学)。京都大学准教授を経て、2015年より現職。より安全で効率的な、廃棄物処分および核エネルギー資源リサイクルプロセスの確立を目的として、アクチノイド元素をはじめとする放射性核種の熱力学的特性に関する研究を行っている。
https://www.ne.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/introduction/n_material

使用済燃料の再処理で生じる「高レベル放射性廃棄物」は、ガラスと混ぜて固める「ガラス固化体」として30～50年冷却貯蔵した後、放射線レベルが十分に下がるまでの数万年以上、生物圏から離れた場所で安全に隔離する必要があります。日本は既にガラス固化体換算で2万本以上の高レベル放射性廃棄物を持ち、その処分は避けて通れない重要課題だ。

処分方法については、日本でも40年以上前から研究開発を進め、1999年には核燃料サイクル開発機構(現・日本原子力研究開発機構)が「地層処分は技術的に実現可能」とする研究開発成果を公表。翌2000年、「最終処分Ⅱ地層処分」とすることが法律で定められ、実施主体として原子力発電環境整備機構(NUMO)が設立された。

以来、国とNUMOは全国各地で説明会を

開催するなど、地層処分への理解を得るため活動してきたが、原子力への不信不安、国民の知識不足、説明側の体制不備等々で、膠着状態が続いてきた。

こうした事態を打開するため、17年7月、国は火山・断層・隆起活動調査など最新の知見に基づく「科学的特性マップ」を公表した。最終処分地の選定時に考慮すべき科学的特性や、その分布を示したもので、一般の人々も自分の関係する地域の評価に関心を寄せ、地層処分を社会全体で考える端緒になることが期待されている。

但し、これで処分事業が一気に進むとは思えない。むしろ今回のマップ公表は、国民の理解を得るため、一つステップを戻してリスタートし、「手を挙げてくれる地域には法律に基づく選定調査を行い、一歩ずつ丁寧に進

術の研究が進んでいること、廃棄物を地中埋設した後も処分場を閉鎖するまでの100年以上、場合によっては取り出し(後戻り)が可能で、一定期間は地上で管理・監視できることなど、将来世代に委ねる選択肢についても、丁寧に訴えていく必要がある。もちろん受け入れ地域には最大の敬意や感謝の念を持つとともに、補償のあり方を国全体で議論できることなども伝えていく。

とはいえ、事業者や科学者が専門用語で語るだけでは、いくら丁寧な説明でも一般の人々に理解してもらうのは難しい。ニュートラルな立場から、専門家の言葉を上手く「翻訳」してくれる人の助けも必要だ。例えば学校の先生、地域のお医者さんなど「この人の言うことなら聞いてみよう」という人にコーディネーターの役割を担ってもらい、わかりやすく伝えてもらう「しくみ」をつくる。そ

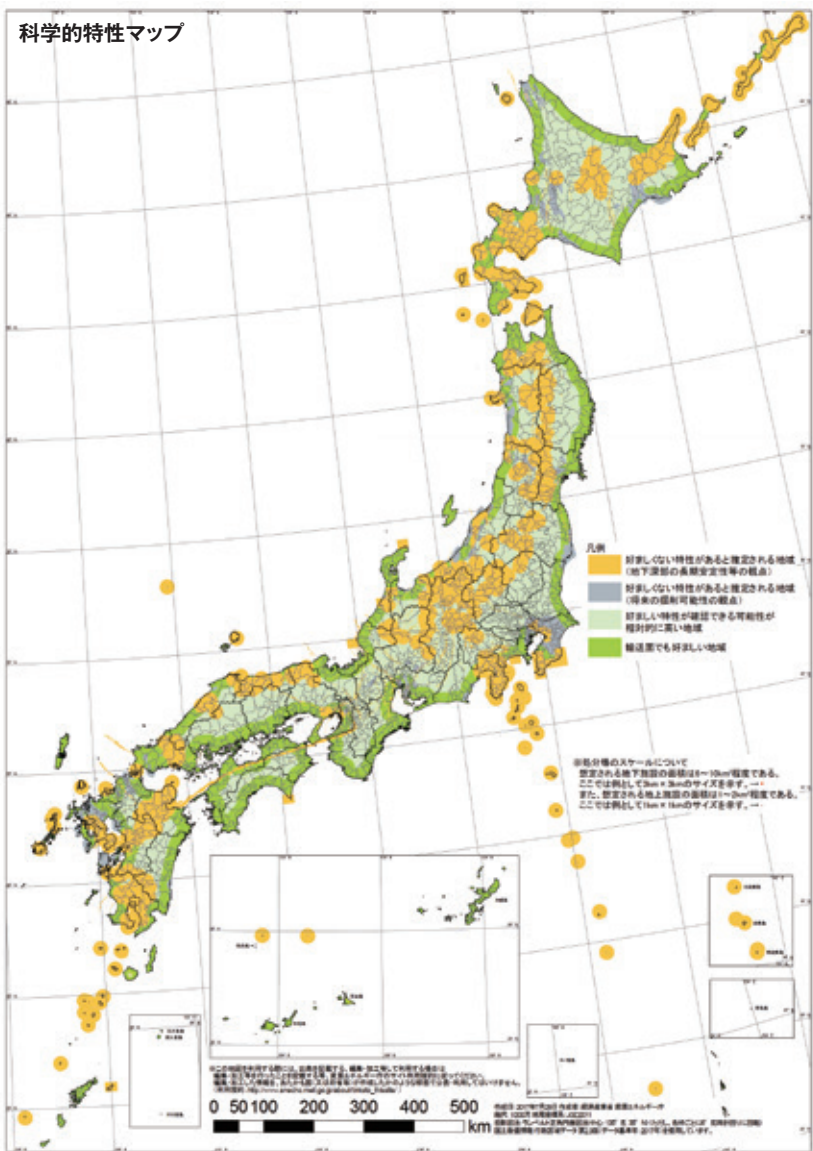
うした活動の積み重ねの先にこそ、国民的理解があるのではないか。

マスコミの「トイレなきマンション」という常套句に対し、逆に国民が「それはちよつと違う」と思ってくれるようアプローチをしないと、思考停止・膠着状態は脱せない。

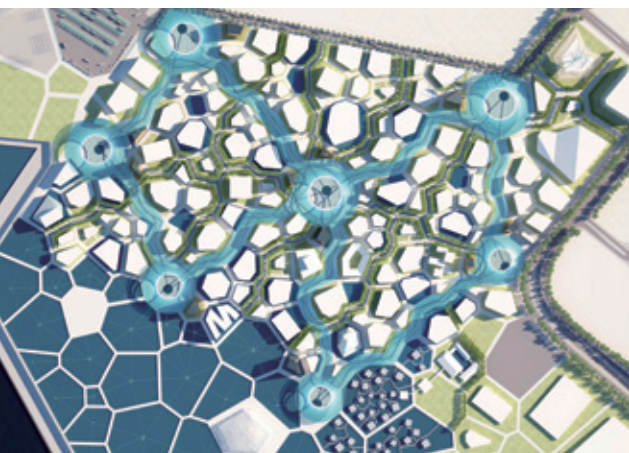
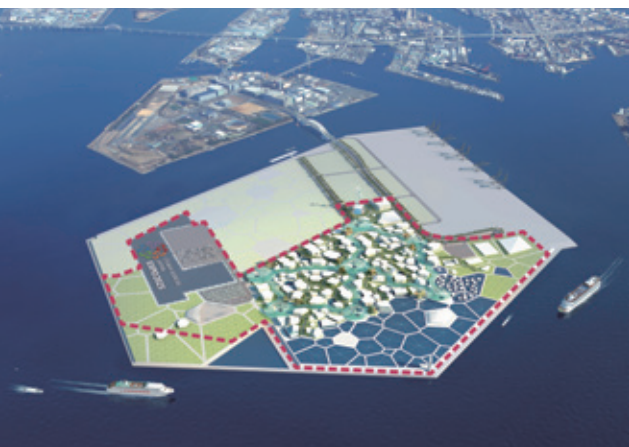
電気事業者には、国やNUMOが進める理解活動促進に積極的に関与する責任がある。しかしそれ以上に大事なものは、きちんと再稼動を実現し、日々の運転はもちろん、低レベルを含む廃棄物の貯蔵管理、さらには廃止措置――原子力に関わる全ての事業を着実に遂行し、国民との信頼関係を構築することだ。

資源小国の日本は、準国産エネルギー・原子力を再処理して高速増殖炉で繰返し利用する「原子燃料サイクル」の確立をめざしてきたが、その見通しは厳しい。3・11後の逆風を受け、原子炉の新設やリブレースへの理解獲得も容易ではない。それでも再生可能エネルギーや蓄電技術が依然開発途上のなか、原子力と原子燃料サイクル路線を維持することは日本のような資源の少ない国の保険になる。

そしてそのための技術や知識の継承に、人材育成は欠かせない。私自身も、最終処分という難問に敢えて立ち向かう気概ある若者を、責任を持って育てたい。



資源エネルギー庁ウェブサイトhttp://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/maps/kagakutekitokuseimap.pdfより(一部内容を削除)



上／会場は大阪のウォーターフロントに位置する人工島・夢洲
下／非中心・分散型のパビリオン配置
出典：ビッド・ドシエ（立候補申請文書）（経済産業省作成）

持続可能な開発目標（SDGs）



国際連合広報センターより

求められるものも変化している。
「今や万博の開催目的は『人類社会の課題解決の場』。立候補国は、国連の持続可能な開発目標（SDGs=Sustainable Development Goals）で掲げられているような、国際社会の共通課題に解決力を示していく必要がある」と、小林さん。
立候補国がBIEに提出する立候補申請文書「ビッド・ドシエ」にも記されているように、環境問題にフォーカスするフランス、イノベーションに重点をおくロシアなど、各国が特色を打ち出すな

大広場「空」
出典：ビッド・ドシエ（立候補申請文書）（経済産業省作成）

大阪・関西で万博を

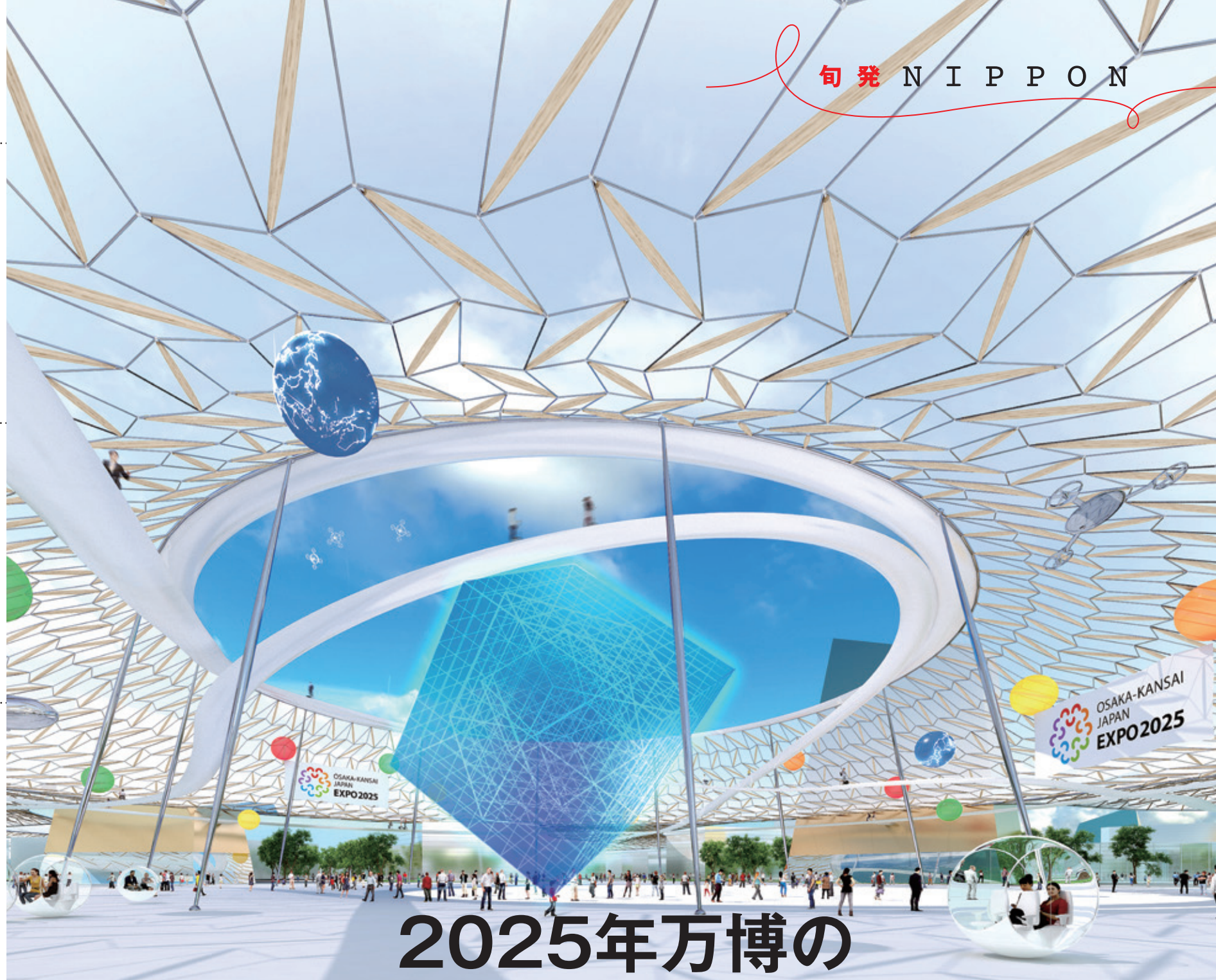
5年に1度開催される国際博覧会（万博）。今回は2020年にアラブ首長国連邦のドバイで開催される。その次の開催は2025年。「開催地に大阪・関西を」と、日本が名乗りをあげた。

ポーツイベントが続き、観光集客も含めた活性化が期待されるなか、そのあとに続くものとして万博誘致への動きが生まれた。
15年に自治体や経済団体による検討の場が設けられ、翌年、地元関西としての基本構想案を策定。17年3月全国組織として誘致委員会が設置され、4月にパリのBIE（博覧会国際事務局）に正式に立候補を表明。日本（大阪・関西）のほかフランス（パリ郊外サク

レ）、ロシア（エカテリンブルク）、アゼルバイジャン（バクー）が手を挙げ、18年11月の開催地決定に向けて誘致活動がスタートした。
いのち輝く未来社会のデザイン
ロンドンで第1回の万博が開催されたのは1851年。かつての万博は、最先端技術や珍しいものを集め、近未来や非日常を体験できる場であり、国威発揚の場だった。しかし21世紀に入り、万博に

立候補国の万博構想

	テーマ	開催地	開催期間（2025年）
日本	いのち輝く未来社会のデザイン	夢洲（大阪・関西）	5月3日～11月3日
フランス	共有すべき知見、守るべき地球	パリ郊外サクレ	5月1日～10月30日
ロシア	世界の変革・子供や将来世代のための包括的なイノベーション	エカテリンブルク	5月2日～11月2日
アゼルバイジャン	人的資本	バクー	5月10日～11月10日



2025年万博の 大阪・関西開催に向けて

2025年の万博開催地に手を挙げた大阪・関西。
フランス、ロシア、アゼルバイジャンも立候補を表明し、
18年秋の開催地決定に向けて誘致活動が本格化している。
日本・関西にとっての開催意義は？ 誘致獲得への課題は？ ——
関西経済連合会 万博推進室長の小林義彦さんに話を聞いた。



か、日本（大阪・関西）のテーマは「いのち輝く未来社会のデザイン」、サブテーマは「多様で心身ともに健康な生き方」「持続可能な社会・経済システム」。日本での万博開催を通じて、SDGs達成目標年である2030年に向けて、世界の人々に幸福な生き方と社会・経済の未来像を示し、世界共通の課題に大きく貢献できることを示す。「日本の得意分野であるIoTやAIなどの先端技術を活用し、世界の課題解決に貢献していく。それが、日本の科学技術基本計画の中核コンセプトである『Society50』と一貫性を持つことも、強みの一つ」

ライフサイエンス分野をはじめとした最先端技術、それを支える中小企業が集積し、豊かな文化が息づく大阪・関西で開催することも、未来社会を考え創造していく万博の場にふさわしい。

開催期間は2025年5月～11月、会場は大阪湾の人工島・夢洲を予定。敢えて中心をつくらない離散型の会場デザインや、AR（拡張現実）・MR（複合現実）技術の活用で、未来社会を表現し、国内外から約280万人の入場者を想定する。

開催意義を世界にPR

2025年の万博開催地は、立候補国による3回のプレゼンテーションや、BIE調査団による現地視察等を経て、18年11月、BIE加盟約170カ国による投票で決定する。

17年6月にBIE総会で行われた第1回のプレゼンでは、誘致委員会会長（経団連会長）や大阪府知事が演説し、日本および大阪・関西の優位性をアピールしたほか、ビデオには安倍首相も登場。国家首脳がメッセージを伝えたのは日本だけで、コミットメントの高さを示した。また、17年11月のBIE総会では、発展途上国で安全な飲み水の普及に取り組む在阪企業



上／BIE総会でのプレゼンテーション(17年6月)
下／アスタナ万博でもPR(17年7月)

で働く女性などが演説した。

開催地に選ばれるために最も重要なことが、BIE加盟国に向けて、日本開催の意義や大阪・関西の魅力のアピールすることだ。日本の技術や投資への期待も大きい。健康・ライフサイエンス・環境分

上／JR新大阪駅のデジタルサイネージでPR
下／阪神甲子園球場でPR映像を放映



上／関電ビル頂上部を万博誘致ロゴマークの5色でライトアップ
下／未来社会デザイン会議



を流した。年末には大阪・光の饗宴とも連携し、中之島にある関電ビルディング頂上部でも誘致を盛り上げるライトアップを実施。また次代の担い手である若者の共感獲得にも力を入れており、企業の若手社員が集まりグループワーク等を通じて社会の課題解決のビジョンを描く「2025未来社会デザイン会議」を東京で開催した。誘致委員会の趣旨に賛同する会員は11月末で約23万人。今後はFacebookやTwitterなどSNSを通じてPRにも力を入れ、競合国を圧倒的に上回る賛同者獲得をめざす。調査団が視察のために来日する18年3月頃に向け、さらなる盛り上げ策を打っていく。

経済効果は2兆円を見込んでいるが、数字に表せない効果もある。

野の技術が自国の課題解決に役立つと思ってもらい、日本での万博開催に共感・賛同を得ることが大切だ。17年6～9月カザフスタンのアスタナで「未来のエネルギー」をテーマに開かれた万博（認定博覧会）に日本も出展しPRを行ったように、今後あらゆる機会を捉えて各国に日本支持を働きかけていく。

国全体で盛り上げを

「大阪で万博を開催してほしい」という国民の期待感の醸成も欠かせない。既に駅や空港などで誘致ロゴマークを活用したポスターや映像によるPRを始めているほか、17年7月には甲子園球場や吹田サッカースタジアムでPR映像

「単なる半年間のお祭りで終わってはいけない。アスタナを訪れたとき、現地の子供たちが『一緒に写真を撮って』とやって来た。万博では、そんな人と人との触れ合いが生まれる。民間の交流が、経済的なつながりに発展することもめざしたい」

1970年万博から55年ぶりの大阪万博実現へ、オールジャパンで挑んでいる。

誘致委員会への入会方法

誘致委員会ホームページ

会員募集

会員登録フォーム

から登録

<http://www.expo2025-osaka-japan.jp/>

EXPO 2025

検索



●世界と日本の趨勢

地球温暖化問題をめぐる世界と日本の動きをどう見ているか？

2020年以降の温室効果ガス削減の国際枠組み・パリ協定が発効し、低炭素社会の実現が喫緊の課題になっている。昨今、投資家の方々やお客さまの意識が本当に変わってきた。海外では石炭利用の多い会社から投資を引き上げるダイベストメントの動きが急速に拡がり、RE100*に参加する企業も国内外ともに増えてきた。先般のCOP23でも石炭への風当たりは極めて強かった。

ただ資源に乏しい日本では、一足飛びに脱石炭・脱化石燃料とはいかない。安全確保を大前提にエネルギー安定供給、経済性、環境保全の同時達成をめざす「S+3E」の観点から、火力や原子力、再生可能エネルギーなど多様なエネルギー源をバランスよく活用する「エネルギーミックス」を推進。それによって、日本のパリ協定での約束・2030年度に2013年度比26%減という温室効果ガス削減目標を達成しようというのが国の方針だ。

*RE100 事業活動に必要な電力を100%再生エネルギーをめぐって企業による国際的イニシアチブ。

動憲章」を策定。環境対策はCSRの重要な要素と位置づけ、「低炭素社会の実現に向けた挑戦」「循環型社会の実現に向けた活動の展開」「地域環境保全対策の推進」「環境管理および環境コミュニケーションの推進」を4本柱とする環境行動方針を策定し、これに基づいた取り組みを進めている。

関西電力グループ環境行動方針



環境室の役割は？

大きな役割は、CSRとして確実に環境への取り組みを実践することと、そのベースとなる組織風土を維持・向上するためグループ全体を統括すること。電気・ガスの小売が全面自由化され、市場競争が激化するなか、これまで以上に社員一人ひとりが環境マインドを持って事業活動を行うことが極めて重要だと考えて

低炭素社会の実現に向けた挑戦

低炭素社会への転換は世界・日本そしてエネルギー事業者の重要課題。関西電力も原子力再稼動、火力高効率化、再エネ開発などに挑むなか、パリ協定での日本の目標達成に向けた関西電力の対策と課題を訊く――

河上 豊 関西電力 環境室長



その方針に基づく電気事業者の取り組みは？

関西電力を含む主要な電気事業者は16年2月に「電気事業低炭素社会協議会」を設立し、国の計画と整合する電気事業全体の削減目標として2030年度CO₂排出係数0・37kg-CO₂/kWhという数値を掲げた。この協議会には小売市場の98%（16年度）を占める事業者が参加しており、各社とも活動に力を入れている。また政府もこうした事業者の自主的取り組みを下支えするため、省エネルギー法やエネルギー供給構

おり、組織風土づくりにおける我々の役割はさらに重要になっている。

また、我々は環境関連の法規制の専門家集団でもあるので、培ってきた知見・ノウハウ、人脈、政策情報などを最大限活かして、コンプライアンスをしっかりと守り、各事業活動が円滑に進むようサポートするのも環境室の役割だ。

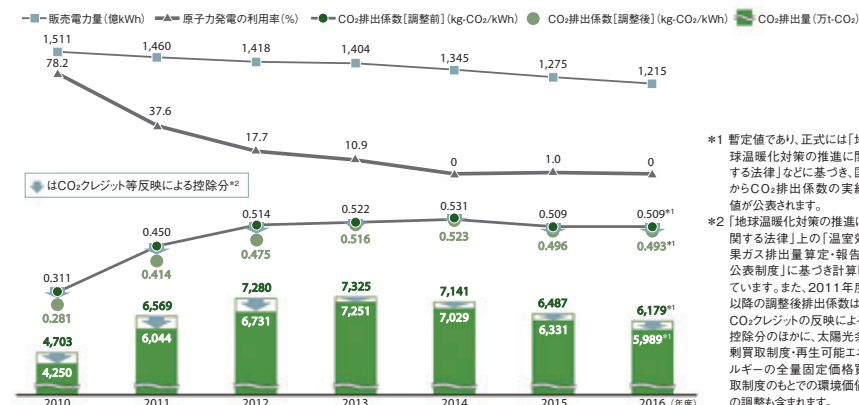
さらに情報開示も重要なミッション。PRI（国連責任投資原則）*を機に、環境・社会・ガバナンスを重視して投資するESG投資の動きが広がっている。こうした動きに対応するには、「環境対策をしっかりとや

高浜発電所3号機並列（発電・送電開始）時の中央制御室



造高度化法を改正するなど、官民一体で低炭素化をめざしている。

CO₂排出係数などの推移



*1 暫定値であり、正式には「地球温暖化対策の推進に関する法律」などに基づき、国からCO₂排出係数の実績値が公表されます。
*2 「地球温暖化対策の推進に関する法律」上の「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」に基づき計算しています。また、2011年度以降の調整後排出係数は、CO₂クレジットの反映による控除分のほか、太陽光余剰買取制度・再生可能エネルギーの全量固定価格買取制度のもとでの環境価値の調整も含まれます。

●関西電力の環境方針
関西電力の取り組みは？ まず環境対策をどう位置づけている？

関西電力グループはCSR（企業の社会的責任）を事業活動の基盤に置き、「関西電力グループCSR行

る」だけでなく、投資家の方々の観点を踏まえた上で、「環境情報を丁寧に開示」することで適切な評価をいただく必要がある。

*PRI 国際連合が05年に公表し、加盟する機関投資家等が投資ポートフォリオの基本課題への取り組みについて署名した連の投資原則。

― ESG投資といえば、関西電力は世界的SRI（社会的責任投資）指標の構成銘柄に選定されたとか？

16年から2年連続でDow Jones Sustainability Index（DJSI）*の構成銘柄（Asia Pacific Index）に選定された。当社のCSR活動全体がグローバルに評価され、非常に嬉しく思っている。ほかにも温暖化対応に焦点を当てたCDP（国際的な環境評価NPO）への対応も実施しており、投資家の方々から当社を選んでいただけるよう、今後も丁寧に情報を開示していきたい。

*DJSI アメリカのS&P Dow Jones Index社がスイスのRocheSAM社が99年に開発したSRI指標であり、企業の「環境」「社会」「企業統治」の各分野を分析評価し、持続可能性に優れた企業を選定するもの。

●低炭素化への取り組み
低炭素社会の実現に向けた具体的な取り組みは？

供給面では、まず原子力発電所の



朝来バイオマス発電所

——**関西電力は舞鶴発電所でもバイオマスを利用していたのでは？**——

舞鶴発電所は関西電力唯一の石炭火力発電所だが、08年から木質ペレットの混焼を行っている。

そのほかに相生発電所2号機でも重油・原油から木質バイオマスへの燃料転換を計画しており、17年4月、三菱商事パワーと共同で事業化検討のための新会社・相生バイオエナジーを設立。22年度に運転開始を予定している。



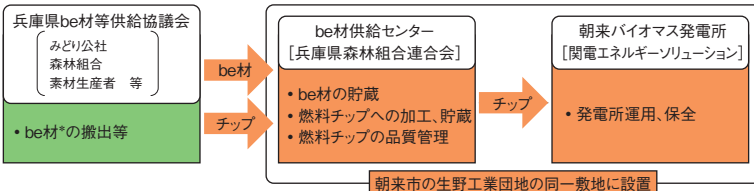
設備更新後の姫路第二発電所

再稼動。発電時にCO₂を排出しない原子力はCO₂削減に極めて有効なため、万全の安全対策を講じた上で再稼動に全力を尽くしていく。おかげさまで高浜3・4号機は無事に運転を再開し、続いて大飯3・4号機も安全を最優先に再稼動に向け、鋭意準備を進めているところ。また40年超運転に向けた美浜3号機、高浜1・2号機の安全対策にも全社を挙げて取り組んでいる。

一方、火力発電は少しでも化石燃料の使用量を減らし、CO₂排出量を抑制するため、熱効率の向上に努めている。例えば姫路第二発電所では、最新鋭の1600℃級ガスター

朝来バイオマス発電事業スキーム

兵庫県・朝来市:事業運営への指導助言・協力(燃料の長期安定供給体制構築・運用支援等)、「兵庫モデル」の広報



*be材 バイオマスエネルギー材。燃料用チップに供する、間伐等で伐採され森林内に残されたままになっている未利用木材

——**需要面の取り組みは？**——

社会全体として省エネ・省コスト・省CO₂を実現するため、ヒートポンプ技術を活用した高効率システムなどの提案活動に力を入れている。加えて「はぴeみる電」など、お客さまのエネルギー利用を見える化するサービスも推進。スマートメーターの設置も他社に先駆けて進めており、17年9月末時点で約843万台——6割を超えるお客さまに導入した。22年度までにはすべてのお客さまへの設置を完了する計画だ。

——**スマートメーターの導入が進むと何が変わる？**——

スマートメーターの導入、スマートグリッド*の構築により、エネルギーの見える化がさらに進み、家ごと、ビルごとの管理はもちろん、社会全体の省エネ化にも寄与できる。また電気の利用実態に合わせた効率的な設備形成や、より柔軟な料金メニューづくりも可能になる。

*スマートグリッド 基盤となる電力系統の安定性を失うことなく、低炭素社会の実現とお客さまの利便性向上を目的に、情報通信技術、蓄電池技術などの新技術を用いた、高効率、高品質、高信頼度の電力流通システム。

●**課題と抱負**

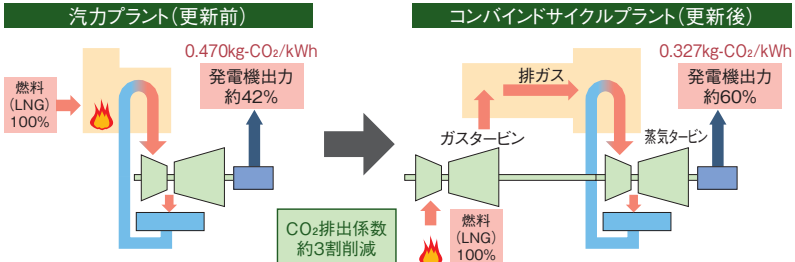
——**取り組み成果は上がっている？**——

CO₂排出係数で見ると、震災前の2010年度は原子力の利用率が78・2%と高く排出係数も0・281kg-CO₂/kWhと業界トップレベルの数値だったが、残念ながら、震災以降は原子力発電所が停止し、化石燃料の消費量が大きく増えたことから排出係数も悪化した。一方で、姫路第二発電所の設備更新、相生発電所の燃料転換、再生可能エネルギーの増加などの改善要因もあり、16年度実績は0・493kg-CO₂/kWhとなった。今年度は高浜3・4号機の運転再開があり、大きく改善できると見込んでいる。

——**やはりCO₂排出削減に果たす原子力の役割は大きい？**——

非常に大きい。電力業界の目標達成のみならず、国の掲げる「13年度比26%削減」を実現するためにも、一定程度の原子力は必要不可欠。エネルギー基本計画で定めた2030年の原子力比率20~22%に向け、安全が確認されたプラントの再稼動と、安全を大前提とする40年超運転を着

従来型とコンバインドサイクルの比較

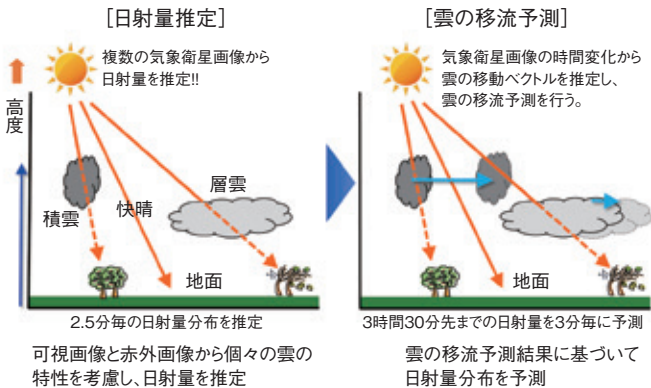


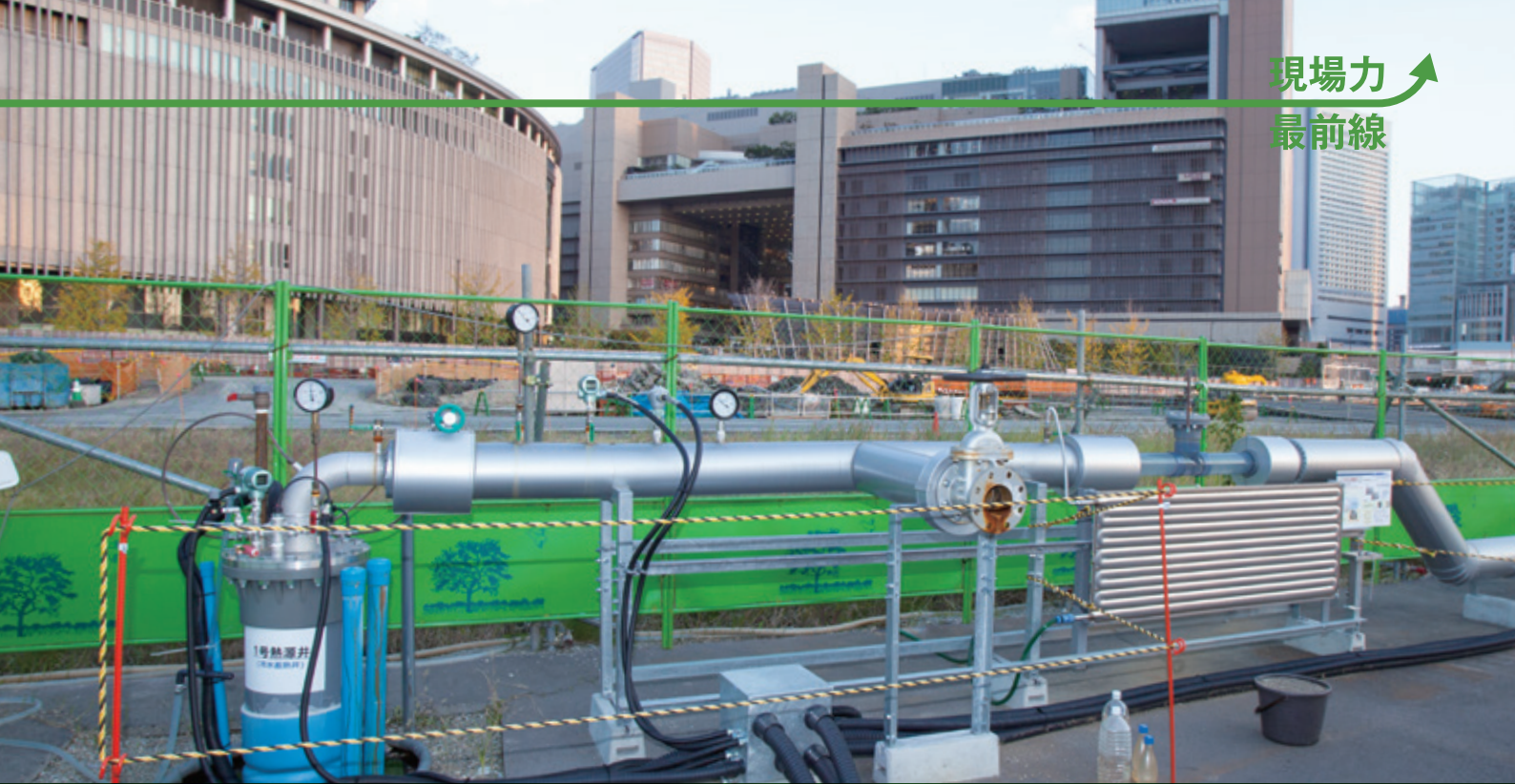
ビンを用いたコンバインドサイクル発電方式への設備更新を完了。熱効率は従来の約42%から世界最高水準の約60%に向上し、CO₂排出係数の低減に貢献している。また従来は重油焚きだった相生発電所1・3号機でLNG利用を開始し、より環境性に優れた燃料への転換も行っている。

——**低炭素化といえば再生可能エネルギーが思い浮かぶが？**——

当然それを取り組んでいる。グループ全体で2030年までに50万kW程度の電源を開発する目標を掲げ、既設水力発電所の出力向上、太陽光・風力・バイオマスの発電所建設などを推進。さらに、天候により出力が変動する太陽光発電の大量導入に備え、グループ会社の気象工学研究所とともに、日射量短時間予測システム「アポロン」を開発した。これにより、太陽光発電出力の変動を事前に予測し、安定的な需給制御を実現できる。このように、電気事業者としての専門技術力を活かした技術開発にも積極的に取り組んでいる。16年度は太陽光とバイオマス各1

日射量短時間予測システム「アポロン」の概要





現場力
最前線

全国初！ 大規模帯水層蓄熱利用の 実証事業を実施

再生可能エネルギーが期待されるなか、うめきた2期暫定利用区域で、
帯水層を蓄熱に利用し、ビル空調を賄う日本初の大規模実証事業が大詰めを迎えている。
低炭素社会実現をめざすプロジェクトを担ってきた専属メンバーの取り組みを追った。



実に進めていくべきだ。
但し、当然ながら温暖化対策は2030年がゴールではなく、中長期的にはさらに大幅なCO₂削減が必要だ。その時どうするかも視野に入れておかないといけない。

中長期的な大幅削減とは？

16年5月、政府は2050年の温室効果ガスの80%削減などを盛り込んだ「地球温暖化対策計画」を閣議決定した。これが日本の中長期的目標となっている。

では、どうやってこれを達成するか。電源の低炭素化を徹底して進めるとともに、暖房・給湯のヒートポンプ利用や電気自動車等、さまざまな分野において、電化を大幅に進めることが必須だ。

——ということは、再生可能エネルギーもさらに増やしていく？

再エネも重要な選択肢の一つだが、供給安定性とコスト面でまだ課題が多い。12年のFIT（固定価格買取制度）導入以降、太陽光を中心に導入が進んでいるが、日本の再エネの発電コストは国際水準と比較しても

かんでんFOCUS

高く、FITによる買取費用は年間約2・7兆円（17年度。賦課金は2・1兆円）。平均的な家庭の負担は毎月686円に達している。再エネをどこまで伸ばせるかはコスト低下の進展度合いとの兼ね合いが重要になるだろう。

他に方法は？

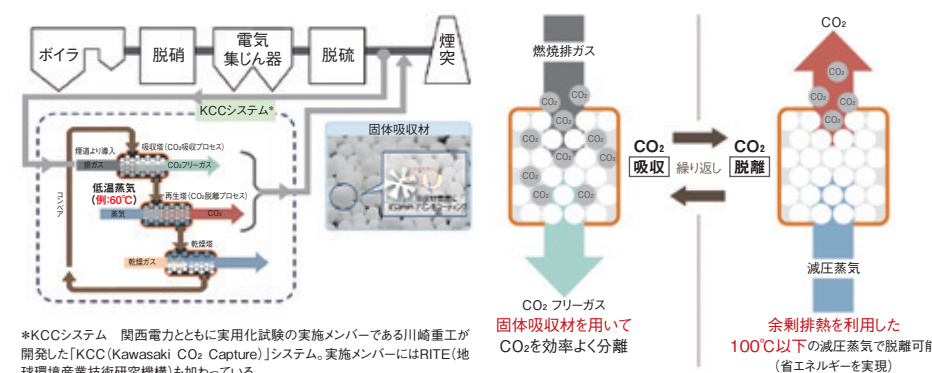
排ガスからCO₂を回収・貯留するCCS技術が実用化すれば、大幅な削減が期待できるが、実用化には技術的にも経済的にも現在ではまだハードルは高い。しかし、今後、CCS技術のコスト低減を目的に、舞鶴発電所にて「省エネルギー型二酸化炭素分離・回収システム」の実用化試験を行うなど、さまざまな研究開発を進めており、CO₂の大幅削減には革新的なブレークスルーが必要となってくる。

ただエネルギーは社会の根幹に関わるものであり、常に現実的な選択肢を確保しておくことが必要だ。

では最後に今後の抱負を。

まずは、安全を最優先に原子力発電所の再稼働を着実に進め、足下の

省エネルギー型二酸化炭素分離・回収システムの実用化試験設備のしくみ



電源ミックスを再構築する。加えて、ヒートポンプの普及拡大などを通じて電化を進めるとともに、スマートグリッドの構築を通じて、発送配電を担う企業グループとして、低炭素社会の実現とお客さまの豊かな暮らしに貢献していきたい。

うめきた発 「帯水層への大規模蓄熱」

JR大阪駅北側の「うめきた」2期区域。2023年頃

のまちびらきをめざすエリアの一角に深さ60mの井戸が掘られ、帯水層から汲み上げた地下水を冷暖房の熱源として利用する技術の実証事業が行われている。関西電力が主導する「帯水層蓄熱のための低コスト高性能熱源井とヒートポンプのシステム化に関する技術開発」プロジェクトだ。

帯水層とは、地下水を多く含む地層。地盤には断熱性があり、地下水の温度を一定に保つ、いわば魔法瓶のような役割を果たす。温度は、地下10〜15m以深だと、年間を通して18℃程度。夏場は外気温より低く、冬場は高い。だから夏場は外気温より冷たい地下水を汲み上げて冷房に利用し、生じた温排熱を帯水層に蓄え、半年後の冬場に暖房に利用、生じた冷排熱を再び帯水層に戻す。ヒートポンプをキーデバイスとして、このサイクル

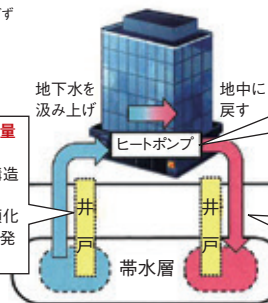


うめきた2期区域

実証内容

※今回の実証では実建物に繋かず模擬熱負荷により実証を行う。

- ①掘水・還水切替型大容量高性能熱源井の開発
 - ・閉塞を回避する井戸構造の研究
 - ・井戸の長寿命・高信頼化に適した掘削工法の開発
 - ・揚水・還水性能の評価
- ②地下水用高性能ヒートポンプの開発
 - ・季節間に加え昼夜間蓄熱機能を持つシステム制御技術の開発
 - ・利用条件に応じたシステム構成の検討
- ③地盤沈下影響評価、熱解析
 - ・地盤沈下量の予測技術開発と実験井による検証
 - ・蓄熱効率の予測・改善策の研究



こうして15年4月から3年間のプロジェクトが始動。関西電力が中心となって計画立案・課題設定を行い、協力してくれる事業者を募った。

成功の鍵は井戸掘り

「実現のためには、日本にはない特殊な井戸が必要。その開発が鍵だった」。坂恵の言葉どおり、最大課題は揚水・還水切替型大容量高性能熱源井の開発。

「日本では、汲み上げるための井戸はあっても、戻すための井戸はほとんど研究されていない。揚水・還水を切り替えて使う井戸は、日本にはなかった」

ビルの空調設備は、15年、20年と使い続ける。井戸も同様に長期間の使用に耐える信頼性の高さが要だ。調査の結果、切替型井戸の実績を持つオランダの工法を輸入することにした。国土が低いオランダでは古くから地下水の研究が進んでいたわけだ。

オランダから技術監督を招き、掘削機も自分たちで製作し、実証用井戸の掘削を開始。とはいえ日本で未経験の井戸掘りを、いきなり注目率の高い「うめきた」で、というのはリスクが大きく、まずはプロジェクトメンバーである三菱重工の高砂工場の敷地で行うことになっ

井戸の掘削



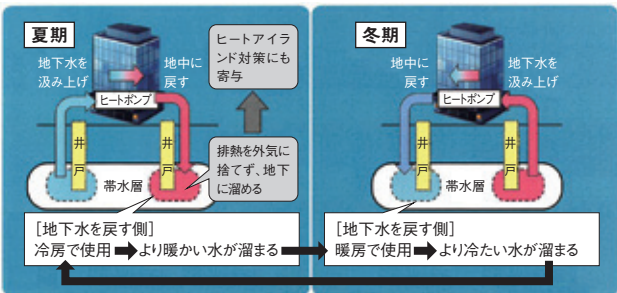
地下の土壌を採取して調査



地下60mの地質状況。
粘土層と帯水層が交互に層を形成している

帯水層蓄熱利用システムによる運転のしくみ

季節間蓄熱



従来システム比一次エネルギー消費量35%*の削減の実現をめざす

※(試算条件)
延床面積3万㎡の一般的な事務所(熱源容量630RT)
従来システム:ガス吸収式システム(冷房COP1.25、暖房COP0.86)
帯水層蓄熱システム(冷房COP5.1、暖房COP5.9、蓄熱効率80%)
一次エネルギー原単位 電力9.76MJ/kWh、ガス45MJ/㎡

を回す「季節間蓄熱」システムにより、従来に比べ一次エネルギー消費量35%削減をめざしており、実現すれば、省エネルギー・CO₂排出削減・ヒートアイランド現象の緩和などが期待される。また、夜間電力で冷水をつくり帯水層に蓄え、昼間に利用することで、電力需要のピークも抑制できる。

「流れている地下水の熱を空調に利用する例はこれまでもあり、関西電力も京都・神戸で実施済み。しかし帯水層への大規模蓄熱は国内で例がなかった」

関西電力でプロジェクトの指揮を執る、お客さま本部エネルギー利用調査グループ課長の坂恵信介は、振り返る。

国家プロジェクトに採択

地元・関西に恩返ししたいと、関西電力に入社した坂恵。火力発電所勤務の後、技術営業として建築設備や空調システムに関するノウハウを習得、得意の英語を活かし海外での発電事業にも携わった。

現グループでは下水熱利用の国家プロジェクトに関わり、「次は帯水層だ」と国の事業に応募したが、なかなか採択されない。これで最後と決めた3度目にやっと「環境省CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」に採択された。

た。しかし、一筋縄ではいかなかった。

還水用の井戸は細かい粒子が詰まりやすく、閉塞を防ぐため、井戸の構造を研究し、実際に掘り進めながら工法開発に挑んだ。全国初ゆえの、手探りの作業が続いた。加えて、掘り始めて15m前後で巨大な石に当たり、それを除去できない事態に見舞われた。仕方なく自作の掘削機は諦めて、オランダが先に技術協力していた中国から掘削機を借り、作業員も10人ほど来てもらって、16年夏、ようやく1本目の井戸が完成。「機械や人員を借りる手続きや費用など、予定外のこととで時間も金もかかった。同時に大阪市内で掘る2本目の井戸の計画も進めなければならず、この頃が一番大変だった」

揚水規制下での実証事業

プロジェクトメンバー・大阪市の協力もあり、17年1月うめきたで工事が始まった。注目エリアで失敗できないという緊張感があったが、高砂での反省点を活かし、無事に掘り上がった。

結果、高砂・うめきたに2本ずつ、合計4本の井戸が完成。3本目からは日本企業が工事を行った。オランダの技術監督も帰国し、4本目は日本人スタッフだけで完成させることができた。

編集後記

2020年以降の温暖化対策の新たな枠組み「パリ協定」のルールづくり開始——今号のテーマは「世界のエネルギー・環境情勢と日本の進路」です。有馬純さん、石原慶一さん、高村ゆかりさんにお集まりいただいた[鼎談]では、激動の世界エネルギー情勢を正しく見極め、2018年の日本の進路について考えるとともに、続く[オピニオン]では、「環境」「原子力発電」「高レベル放射性廃棄物」というエネルギー・環境をめぐる各側面について識者・専門家に提言をいただきました。

パリ協定での日本の目標達成にエネルギー事業者が果たす役割は大きく、[かんでんFocus]では低炭素社会の実現に向けた関西電力の挑戦について訊くとともに、[現場力ノ最前線]では、再生可能エネルギーであり省エネルギーにつながる地下水利用、全国初の大規模帯水層蓄熱利用の実証事業を取り上げました。さて、日本にとって高度経済成長の象徴として大阪万博が開催されると同時に、公害問題もクローズアップされた1970年。万博と言えばかつては最先端技術を集めた国威発揚の場でしたが、21世紀の万博は、国連の持続可能な開発目標で掲げられているような、人類社会の課題解決の場とされています。[旬発NIPPON]では、2025年万博の大阪・関西開催に向けた取り組みを紹介しました。また[Person]では自然を生かす日本庭園で修業中の若き庭師にスポットをあてました。2018年へ、新しい『躍』をお届けします。(T)

躍

題字 森 詳介(関西電力株式会社 相談役)

『躍』(やく)という誌名は、皆さまとともに「躍進」「飛躍」していきたい、また皆さまにとって「心躍る」広報誌でありたい、との思いを込めて名づけました。

『躍』の内容はホームページでもご覧いただけます。
<http://www.kepco.co.jp/yaku/>

発行●関西電力株式会社 広報室
発行人／松倉克浩 編集人／近藤賀彦
〒530-8270 大阪市北区中之島3丁目6番16号 電話06-7501-0240
企画／編集●株式会社エム・シー・アンド・ビー

2025年国際博覧会を
大阪・関西へ



実はうめきたの井戸は、実際の建物の空調にはつながっておらず、模擬熱負荷での実証だ。大阪市の揚水規制区域にあり、地下水をビル空調に利用できないからだ。揚水規制は地盤沈下を引き金に半世紀前に定められたが、このシステムでは汲み上げた水を元に戻すため、沈下は起きないと想定している。その検証も行い、現時点で地盤沈下は起きていない。

再エネとしての高いポテンシャル

代替型井戸の開発、高性能ヒートポンプの開発、地盤沈下の影響評価等、計画の実施・検証は着実に進み、3年間のプロジェクトは終盤を迎えている。実用化の目処が立ち、今後は普及・PRが課題。実証データをもとに経済性を検証し、ビルオーナー等への営業も開始する予定だ。現状ではビルオーナーが再エネを導入しようにも、選択肢は少ない。太陽光は広いスペースが必要な割に大電力のビル空調は賄えない。井戸を掘れば水が出る日本では、このシステムならビル空調をある程度賄えるポテンシャルがある。

体感用輻射パネル

手造りの井戸の模型



右手前に蓄圧タンクと熱交換器、奥に空冷ヒートポンプ

揚水・還水切替型熱源井

「ビルオーナーにすれば、再エネを利用しているというアピールにもなる」

使わないのはもったいない

課題もある。現状、ポンプ、バルブ、スクリーン等の井戸の構成部品はオランダからの輸入。技術的には日本で製作可能だが、特殊な機器のため商業ベースに乗らないからだ。今後、地盤沈下が懸念される埋立地や人工島での実証も進め、多くのエリアで普及の目処が立てば、国内量産品での井戸の施工も夢ではない。

うめきた2期区域への導入には揚水規制の緩和等が必要で、特区での規制緩和申請等も含め、実現方策を探っている。

「井戸さえ掘れば、スペースもとらずシステムを組めるわけで、研究すればするほど、地下水を蓄熱利用しないのはもったいない。この省エネ・省CO₂技術が社会に普及し、それが会社の価値を上げることにつながれば、何より嬉しい。まずはこのシステムを実用化し、早く第1号を実現させたい」

その日に向けて、挑戦は続く。 **躍**