



エネルギーミックス

原子力が果たす役割とは？

様々な電源を最適に組み合わせたエネルギーミックスが、資源の少ない日本の発展を支える基盤となる。それは時代の変遷とともに変化してきたが、東日本大震災以降、エネルギー事情が変化し、新たな課題が浮き彫りになっている。中でも原子力発電は、社会からの信頼を得ながら、その活用の道を探る必要がある。そこで、エネルギーミックスの過去、現在、未来を踏まえ、原子力発電が果たす役割を考えてみたい。

CONTENTS

- 〔2 面〕 最適な電源構成を目指した歴史
- 〔3 面〕 今を支える電力供給にリスクは？
- 〔4-5 面〕 エネルギーのあり方、どう描くか？
- 〔6-7 面〕 あらためて考える、なぜ原子力か？
- 〔8 面〕 日本が実現すべきエネルギーミックス

最適な電源構成を目指した歴史

水力から火力へ 石油危機が多様化促す

日本の暮らしと産業を支える重要なエネルギーである電気。その歴史は、1882年に日本で初めて東京・銀座に電灯がとってつてから、130年以上になる。この間の電源の歴史をたどると、その黎明（れいめい）期は、長く水力発電が中心だった。電気の利用が増えると同時に、より多くの電源が必要になり、火力発電の開発も進んでいく。

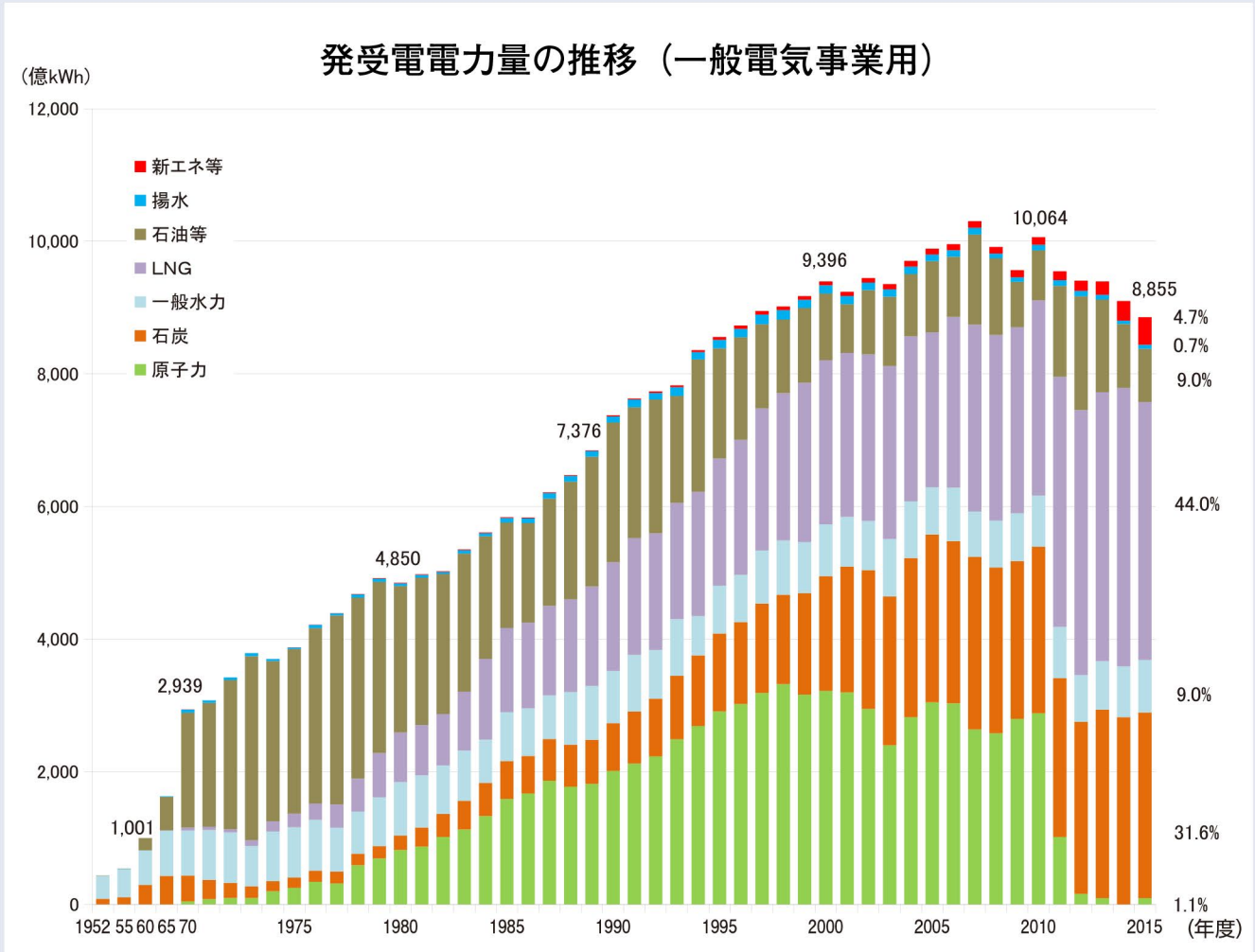
整備し、電源を確保するかが求められた時代。黒部川第四発電所をはじめ、大型水力発電所の開発も盛んになった一方、より需要地に近く大量の電力を供給する大型火力発電所の建設も進む。そうした火力が電源の主役となっていく、いわゆる「水主火従」から「火主水従」といった時代のターニングポイントも経てきた。

その後、国内産の石炭を使った火力発電のほか、中東から輸入する石油の火力発電も開発が進んだ。ただ、高度経済成長期に入り、1970年代には中東で起きたオイルショックが日本を襲う。急激な石油価格の上昇が、物資不足やインフレーションを巻き起こし、大きな社会不安をもたらした。資源の少ない日本が直面するエネルギー安全保障のリスクが顕在化した事態ともいえる。その反省から、脱石油を目指し、徹底した省エネルギーを追求。さらに、原子力発電の研究・開発も本格化し、天然ガスによる火力発電なども推進していくことになった。海外産の石炭火力をはじめ、新エネルギーとされた太陽光発電などの開発も始まり、電源の多様化がエネルギー政策の中心に据えられるようになった。



オイルショックの節電のため、東京・銀座のネオンも消灯

電力需要の増加の一方、90年代には地球温暖化防止の国際的な機運が高まり、二酸化炭素（CO₂）排出量の削減が強く求められるようになる。安定供給、経済性、環境に配慮したエネルギー政策の必要から、エネルギー政策基本法も成立し、中長期的な視点から日本のあるべきエネルギー政策を具体的に示す最初のエネルギー基本計画が2003年に策定された。低炭素社会の実現などを支える原子力発電や再生可能エネルギーの重要性が強く認識されるようになった。



出典：エネルギー白書 2017。資源エネルギー庁「電源開発の概要」「電力供給計画の概要」を基に作成

今を支える電力供給にリスクは？

高まった火力比率 再エネは急増も

2011年、東日本大震災の発生は、日本の経済・社会に大きな影響をもたらした。

事故後、それまで国内の発電電力量の約3割を担っていた原子力発電所は順次運転を停止し、12年5月には全ての発電所が停止した。停止分の

電力を賄うために、元々発電電力量の6割程度だった火力発電の比率は8割近くまで拡大した。

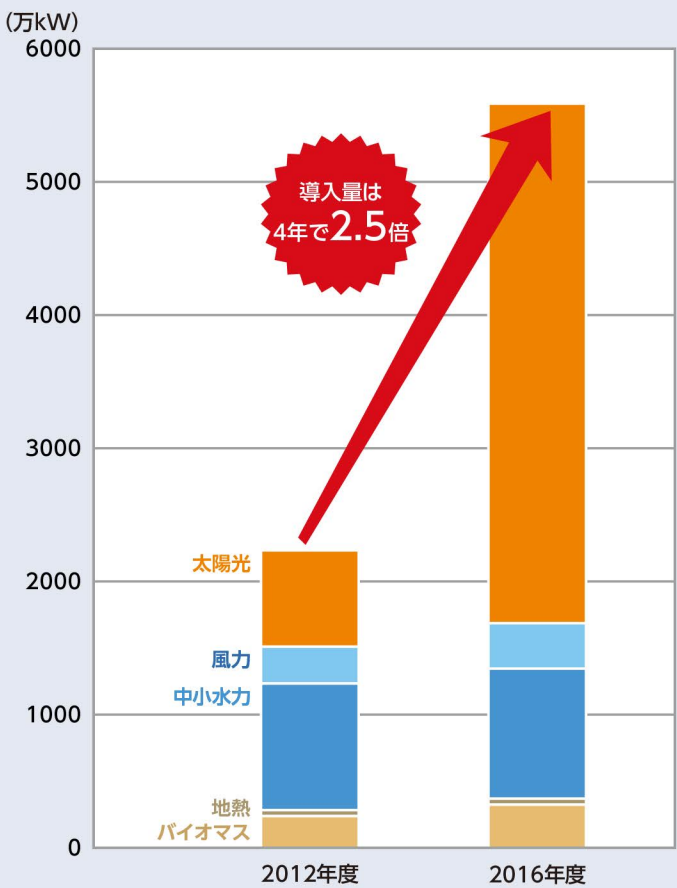
火力発電の燃料となる液化天然ガス（LNG）や石炭、石油などの化石燃料は、海外からの輸入に依存していることもあり、10年には20%近くあったエネルギー自給率が、16年には8.4%にまで低下している。

また、電力コストへの影響についても、追加的な燃料費が16年度までの6年間で計15兆円を越すとの試算もあり、これは国民1人当たり約12万円を負担している計算となる。

さらに、電力分野における15年度の二酸化炭素（CO₂）排出量も10年度と比較して5500万ト増加するなど、わが国はエネルギー自給率の低下、電力コストの上昇、CO₂排出量の増加などの課題に直面している。

一方、震災前後で顕著な変化が表れたのは、再生可能エネルギーだ。FIT（再生可能エネルギー固定価格買取制度）が創設され、その後押しで太陽光発電をはじめ、再生可能エネルギーの普及も加速した。FITの導入前との比較では設備導入量が2.5倍に達し、このうち事業用太

再生可能エネルギーの累計設備導入量



出展：経済産業省・調達価格等算定委員会資料より作成。

陽光発電は約8割を占める。太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、自然条件によって出力が変化するなど不安定であることから、安定供給に悪影響を及ぼしかねない。

出力変動に対応するためには、火力発電などの調整力を確保することが必要となる。再生可能エネルギーが大量に導入されている地域では、

調整力が不足し、変電所に大型の蓄電池を設置したり、新たな送電線を建設したり、追加的な対策が必要になるなど、技術的な課題が指摘されることも多い。

また、再生可能エネルギーの導入に伴う国民負担は2兆円を超えた。FIT開始時からすでに約10倍に膨れ上がっているなど、コスト上昇のリスクも存在している。

エネルギーのあり方、どう描くか？

2030エネルギーミックス その先を見据えて



テーブルに置かれたアマゾンエコーから赤外線リモコンを通じ家電を操作する

Topic トピック

需要の新潮流

AI、IoTがもたらす電化の可能性

「未来社会が生む新たな価値」

20XX年、朝の出勤間際に「夜7時に帰るまでに洗濯と掃除しておいて。料理もね」とつづり、衣類や食器はきれいに仕上がり、いつもの間にか我が家はぴかぴか。おまけに、お気に入りの料理も帰宅したら食べ頃で出てくる。

人工知能(AI)を搭載したスマートスピーカーをはじめ、ホームゲートウェイによって、人が話しかけたり遠隔から制御したりして、家電やシステムを思いのまま、賢く使う技術の実用化が始まっているが、あらゆるものがインターネットにつながるIoT(モノのインターネット)を背景に、これ

まで夢でしかなかった快適な暮らしが実現する時代が到来するかもしれない。

国際エネルギー機関(IEA)によると、2025年には家庭に普及したIoTデバイスの電力消費量は現状の10倍近くの460億kWhに達すると予想する。ホームゲートウェイなどのキーデバイスに限定したものだが、関連するビッグデータの通信、処理も膨大で、より多くの電力消費を伴いそうだ。各家庭には、従来の家電の形態を超えた思いもよらないアイデアの機器やシステムの出現も予想される。未来の暮らしを支える

電化の世界は、むしろ新たな電力需要を創造する可能性を秘めている。

将来、電力と非電力を合わせたエネルギー消費は、人口減少や省エネなどによって、相当な低減が見通される半面、効率に優れた電化機器が非電力で使用する機器やシステムを代替すれば、電力消費はむしろ増加する。それで全体のエネルギー消費は削減できるかもしれない。ガソリン車からEVへ、熱利用は燃焼から電気のヒートポンプへなど、圧倒的な電化シフトがかぎを握りそうだ。



ゲーグルのスマートスピーカーに一声かけると、照明が点灯(デモンストレーションの様子)

2014年に策定された第四次エネルギー基本計画の下、日本の将来のエネルギーのあり方として、2030年度の電源構成であるエネルギーミックスの目標が定められている。15年7月、長期エネルギー需給見通しとして正式決定された。

「安全性、安定供給、経済効率性および環境適合に関する政策目標の同時達成」を前提に、「徹底した省エネルギーの推進」「再生可能エネルギーの最大限の導入拡大」「原発依存度を可能な限り低減」を進めることを基本方針としている。

同計画では、2030年度の総発電電力量は1兆650億kWh程度を見込む。具体的なエネルギーミックスの姿は、再生可能エネルギーは22〜24%程度、化石燃料による火力発電は56%程度としたほか、原子力発電については20〜22%程度としている。各電源の個性に応じた再生可能エネルギーの最大限

の導入と国民負担抑制の両立を目指す。

再生可能エネルギーの中でも、地熱発電・水力発電・バイオマス発電といった自然条件によらず安定的な運用が可能なベースロード電源により、原子力発電を置き換える方針だ。出力変動が激しい太陽光発電や風力発電と合わせ最大限導入しつつ、国民負担の抑制やバランスを踏まえ、電力コストを引き下げる。

火力発電は、燃料費の変動の影響を受けやすいものの、経済性のある石炭火力や需要の変動に機動的に対応できる液化天然ガス(LNG)火力の特性を踏まえ、引き続き利用していく。

原子力発電は、安全の確保を大前提に重要なベースロード電源と位置づけている。可能な限り原子力発電への依存度低減は図るものの、安全性が確認されたプラントは再稼働を着実に果たしていく考え方も示す。

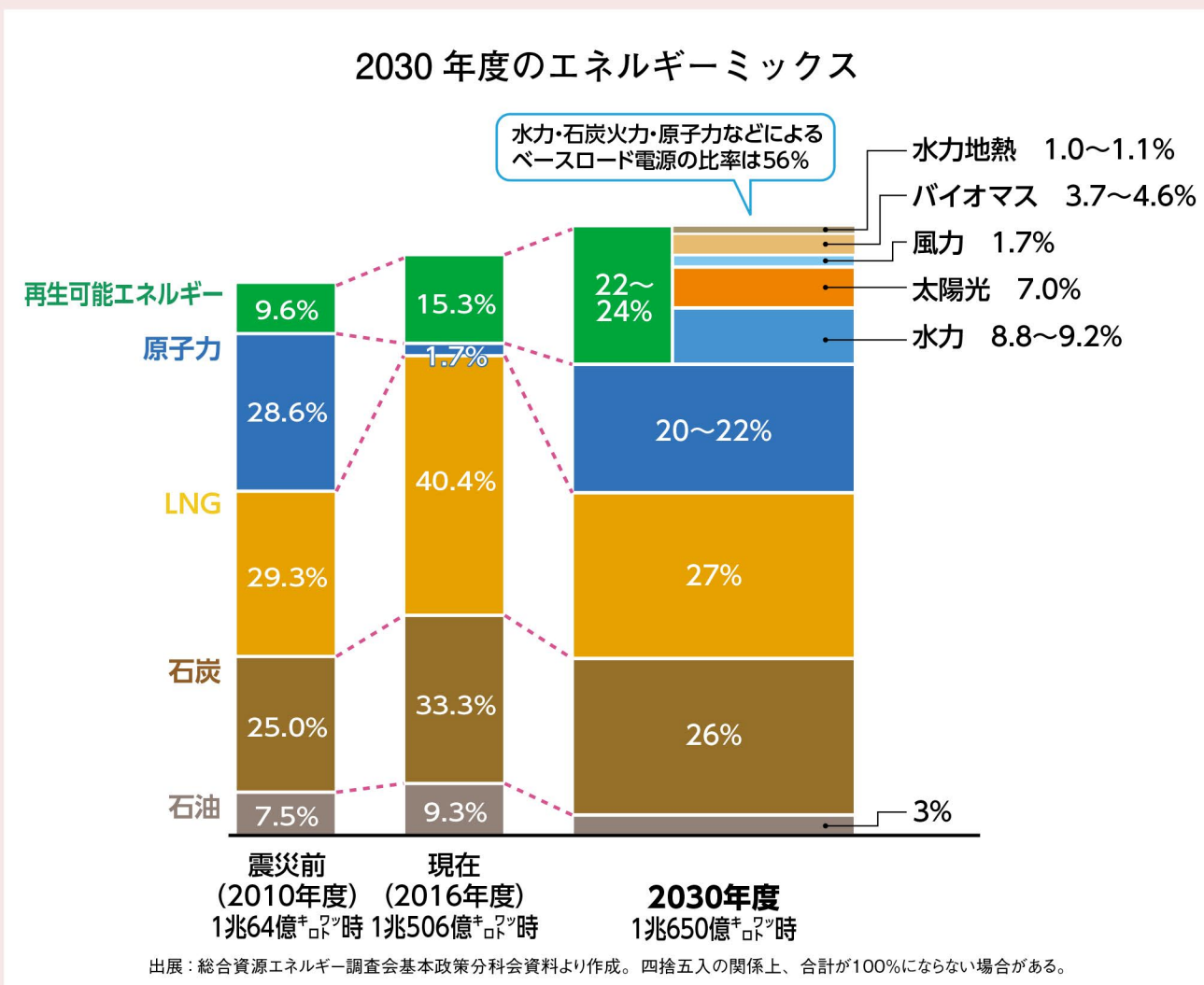
エネルギー基本計画は、少なくとも3年に1度検討し、必要に応じて見直されることになっており、現在は国の総合資源エネルギー調査会基本政策分科会で検討されている。これまでの議論では、原子力発電に対する新設・リブリースの検討を要請する意見もあり、今後の展開が注目されている。

一方、こうした基本政策分科会の審議と並行し、2050年を視野に入れた長期展望の検討も、有識者会議のエネルギー情勢懇談会で進められている。温室効果ガス削減を推進する観点や技術革新などを見通し、原子力発電の有用性や位置づけなどが議論されている。

エネルギーミックスの進捗状況

	震災前 (2010年度)	震災後 (2013年度)	定下 (2016年度：推計)	ミックス目標 (2030年度)
取組指標				
ゼロエミ電源 比率	35% 再エネ 10% 原子力 25%	12% 再エネ 11% 原子力 1%	17% 再エネ 15% 原子力 2%	44% 再エネ 22~24% 原子力 22~20%
CO ₂ 排出量 (エネルギー起源)	11.4億トン	12.4億トン	11.4億トン	9.3億トン
電力コスト (燃料費 + FIT買取費)	5.0兆円 燃料費：5.0兆円 (原油価格84\$/bbl) FIT買取：0兆円	9.8兆円 燃料費：9.2兆円 原油価格110\$/bbl 数量要因 ▲1.6兆円 価格要因 ▲2.7兆円 FIT買取：0.6兆円	6.3兆円 燃料費：4.2兆円 原油価格48\$/bbl 数量要因 ▲0.9兆円 価格要因 ▲4.1兆円 FIT買取：2.0兆円	9.2~9.5兆円 燃料費：5.3兆円 原油価格128\$/bbl FIT買取：3.7~4.0兆円
エネルギー自給率 (1次エネルギー全体)	20%	6%	8%	24%

出展：総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料より作成。2016年度は「2018年度までの日本の経済・エネルギー需給見通し」(日本エネルギー経済研究所)を基に推計。2030年度の電力コストは系統安定化費用0.1兆円を含む。



Topic トピック

需要の新潮流 「EVが広げる電力技術」

増える蓄電池が世界を変える

日本は次世代自動車のうち、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド(PHV)を合わせた普及台数の目標を、2030年に最大100万台としている。この30年時点で従来車が全体の3〜5割を占める一方、2〜3割はEV、PHVが占める。

ある試算では2035年、EVが日本全体の保有台数の2割を占める程度まで普及すると、EVによる電力消費量は年間144億kWhに達し、電力需要を2%近く押し上げる効果をもたらすと指摘されている。電力消費量の増加に寄与する可能性が高い。

電力消費とは別に、EVやPHVに搭載した蓄電池を電力系統につなげ、余った電力を一時的に蓄え、不足時には放電するようなきめ細かい制御が期待される。電力

系統にない大量のEV、PHVの蓄電池を一齐に制御できれば、あたかも発電所の機能を発揮する仮想発電所(VPP)も構築できる。また、再生可能エネルギーの急激な出力上昇を吸収することもある。実際、国内外の有力企業がこぞって研究開発や実証を繰り返している。



電池の性能向上でフル充電による航続距離が飛躍的に伸びつつあるEV(写真は日産のリーフ)

あらためて考える、なぜ原子力か？

安定供給

自給率向上に貢献する準国産エネルギー

2015年の日本のエネルギー自給率は7.4%(16年は8.4%)。先進国の中でも極めて低く、エネルギー資源のほとんどを海外からの輸入に頼っている。資源の少ない日本が電力の安定供給を確保するには、こうした現実を見据え、いかに自給率を高めるかが求められる。原子力発電の燃料の原料であるウラン資源は、石油など中東のような特定地域に偏在することなく、世界各地に比較的分散し、政情が落ち着いた国が多い。このため、安定した調達が可能だ。また、核反応は燃焼などの化学反応に比べ、100万倍もの大きなエネルギーを利用でき、少ない燃料で大量のエネルギーを生み出すことができる。

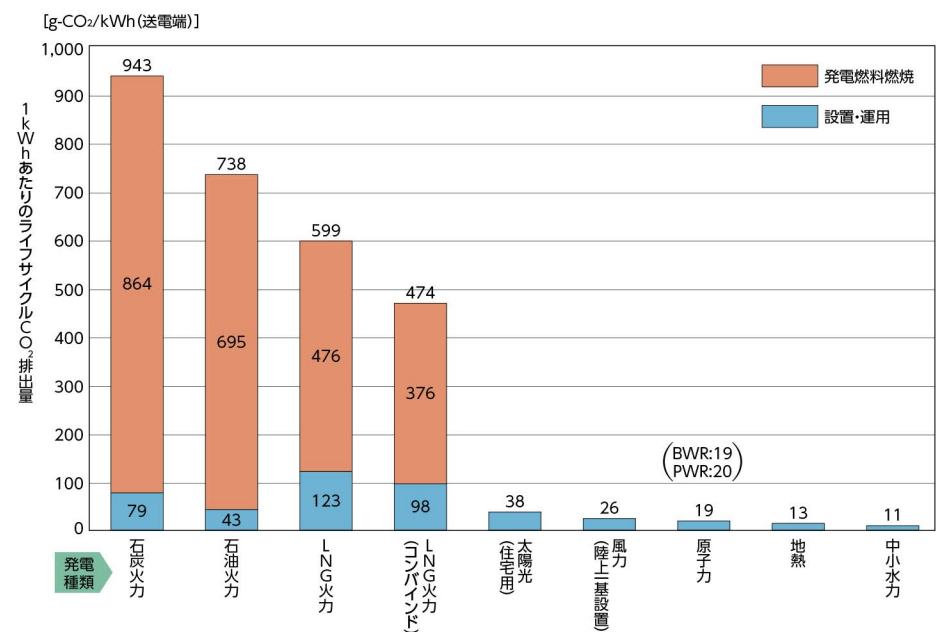
使用済み燃料からはウランとプルトニウムを取り出し、リサイクルできる特長も持つ。放射性物質としての管理を万全に行えば、備蓄も容易といわれる。そうした意味から、原子力発電は自給率向上に寄与する準国産エネルギーと位置づけられている。

環境

温暖化防止における優位性

原子力発電は環境面のメリットとして、発電時には二酸化炭素(CO₂)を排出しない特性を持つ。再生可能エネルギーや水力と同様、地球温暖化防止に貢献する低炭素電源である。「パリ協定」で、日本は2030年

電源別ライフサイクル CO₂ 排出量



出展：電力中央研究所「日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価」より作成。

※発電燃料の燃焼に加え、原料の採掘から発電設備等の建設・燃料輸送・精製・運用・保守等のために消費される全てのエネルギーを対象としてCO₂排出量を算出。

※原子力については、現在計画中の使用済み燃料国内再処理・プルトニウム計画(1回リサイクルを前提)、高レベル放射性廃棄物処分・発電所廃炉等を含めて算出したBWR(19.2%・CO₂/kWh)とPWR(20.2%・CO₂/kWh)の結果を設備容量に基づき平均

度で2013年度に比べ温室効果ガス排出量を26%削減する目標を掲げた。これは長期エネルギー需給見通しにも明記。一方で、2050年までに温室効果ガスを80%削減する長期目標も持っている。電力業界としては、2030年度に排出係数0.37キログラムCO₂/キロワット時程度(使用端)とする自主目標を設定。これは2013年度比35%削減に相当する。その実現に向け、事業者の協議会を設け、進捗を管理している。いずれの目標の達成には、原子力発電の活用が切り札となる。出力規模が大きく、CO₂を排出しないベースロード電源としての原子力発電は、日本が国際的な協約を果たし、地球温暖化防止を先導するキとなる。

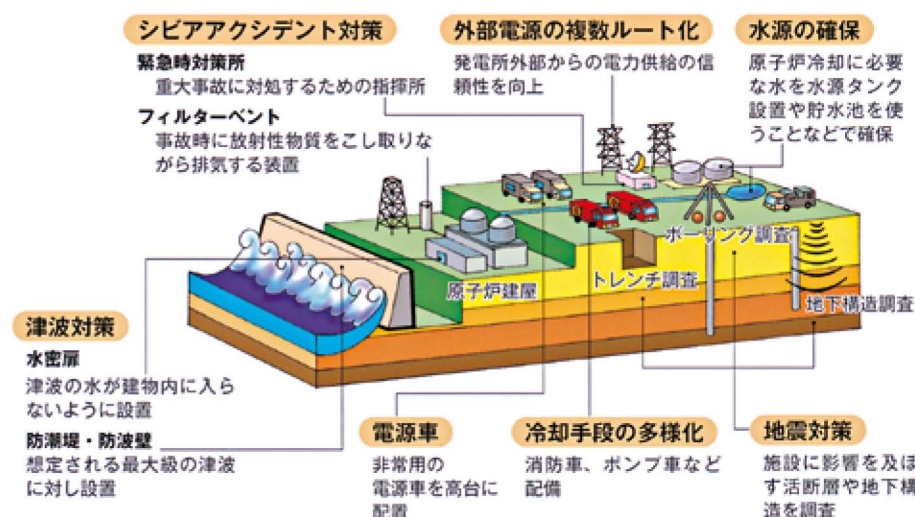
Topic トピック

安全確保を大前提とした原子力の活用



万一のシビアアクシデントでも、冷却機能を維持できるよう、入念に訓練を積んでいる(関西電力大阪発電所の訓練の様子)

新規制基準で求められる主な安全対策



原子力発電を活用する上では、安全確保が大前提だ。現在、多くの原子力発電所で、2013年7月に策定された新規制基準に適合するよう、その対策が講じられている。2018年1月末時点で、14基のプラントが審査に合格した。新規制基準は東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓を踏まえ、地震や津波への対策強化を求めるほか、シビアアクシデントやテロなどの万一の事態にも備えるよう、従来の規制基準を大幅に拡充している。きめ細かいハード面の対策に加え、徹底した訓練やマニユアルの整備などソフト面の対策の充実も求めている。電力業界では、世界的に最も厳しいとされ

さらなる自主的安全性向上を追求

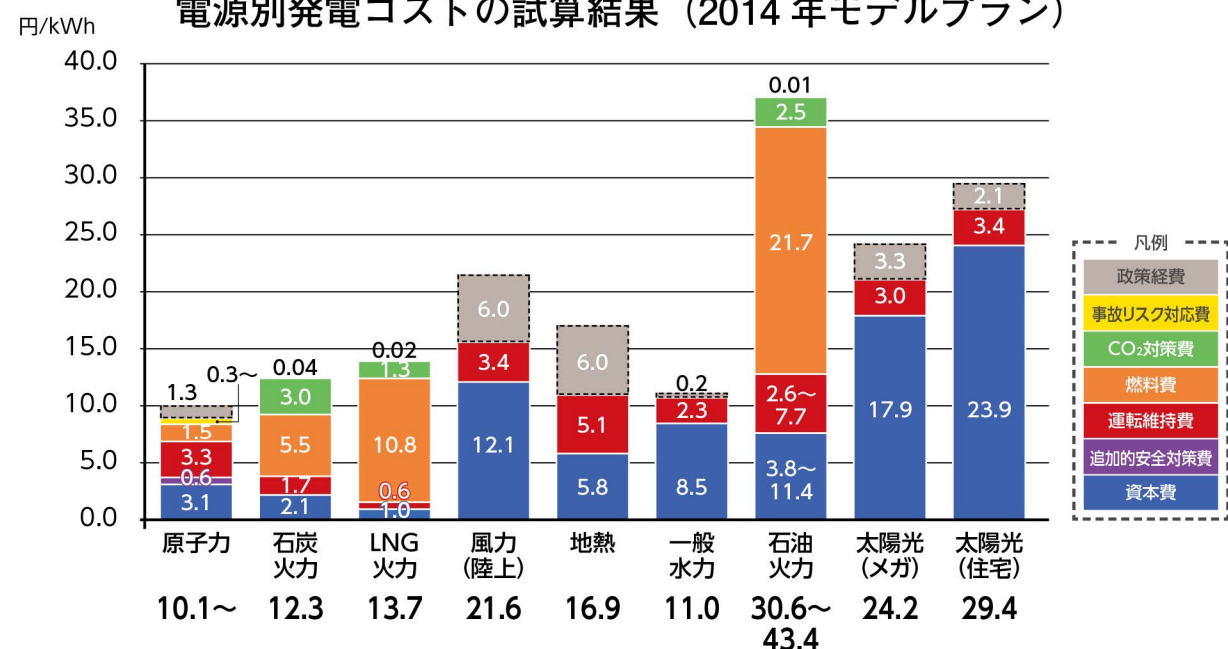
る新規制基準をクリアするだけでなく、確率論に基づくリスク情報を活用した安全評価をはじめ、事業者が相互に発電所の現場を訪問し、ともに安全への意識や対策を高め合う「ピアレビュー」の実施など、さらなる自主的安全性向上を目的とした取り組みを入れ

経済性

注目される他電源との比較優位

現行のエネルギー基本計画では、主な電源ごとに新設プラントを想定したモデルを設定し、その発電コストを割り出している。原子力発電については、1キロワット時あたりの発電コストが政策経費を含め、10・1円以上と算出している。これは、石炭火力発電の12・3円、一般水力発電の11円と遜色のない水準だ。再生可能エネルギーは今後の技術革新でコスト低減が一層進む可能性はあるが、太陽光発電は24・2円のほか、風力は21・6円、地熱発電が16・9円だ。原子力発電は、事故リスク対応費として、東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴う廃炉・賠償費用などが確定していないため、下限を示した位置づけだ。資本費や運転維持費の比率が高い原子力発電は、燃料費の高騰による悪影響を受けにくい。燃料費が4・8割を占める火力発電と比べ費用構造は対照的でもある。

電源別発電コストの試算結果(2014年モデルプラン)



出展：総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料より作成。



今は原子力発電の将来をより明確に展望すべき時期にきているのかもしれない(写真は関西電力高浜発電所3、4号機)

原子力発電は、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源と位置づけられている。

日本が実現すべき エネルギーミックス 原子力の新設・ リプレースも視野に

安定供給の確保、電力コストの引き下げ、二酸化炭素(CO₂)の排出抑制の面で優れ、エネルギーのベース

に欠かせない。そのためには、既設プラントは安全を最優先し、まずは新規制基準に適合することが必要だ。今後、さらに再稼働を果たすプラントが増加し、電力供給を実際に担っていくことになるが、プラントが運転できる期間は最長で60年と定められており、将来的に原子力の発電比率が低下していくことは目に見えている。おのずと新設やリプレースが必要になるのは明白だ。より現実的に原子力発電の将来を展望する必要がある。

Topic トピック

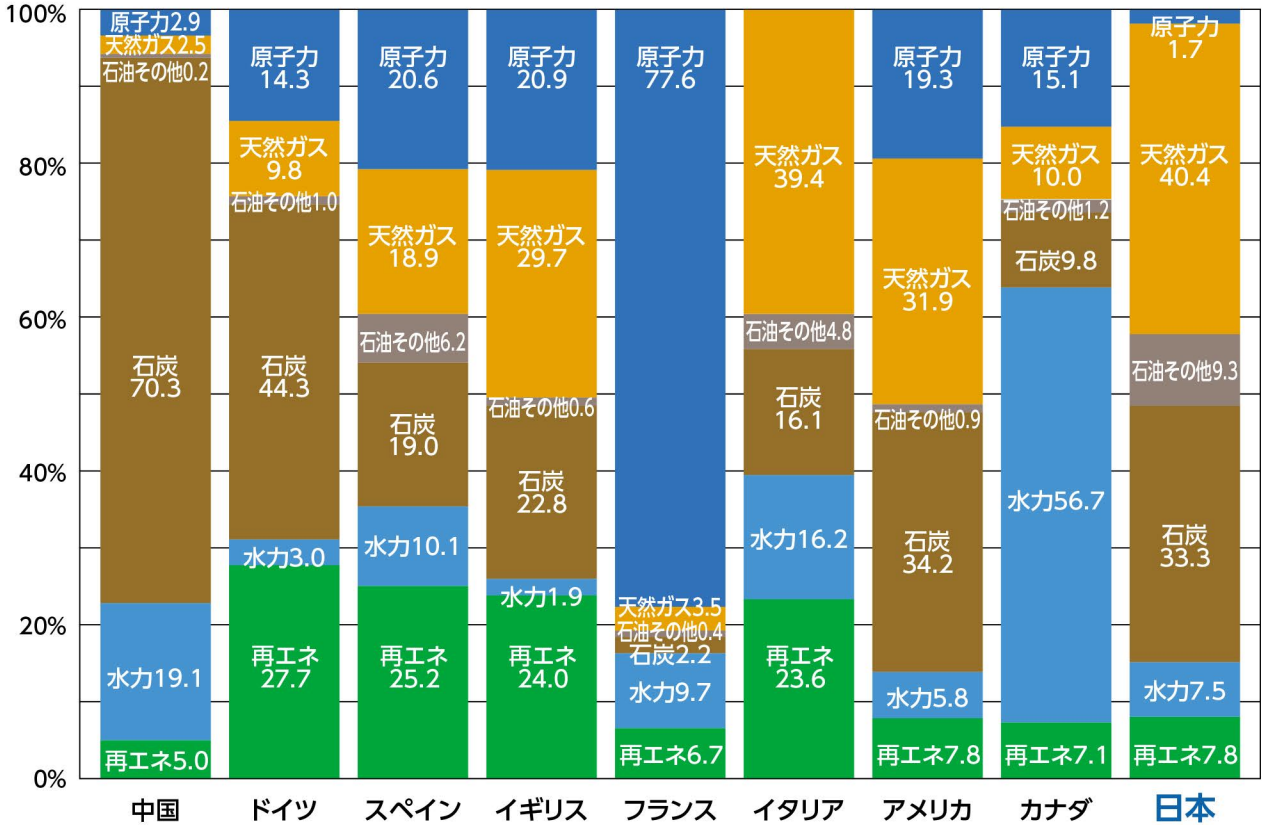
諸外国のエネルギーミックス

国情反映した電源の組み合わせ

諸外国のエネルギーミックスの状況を見ると、国ごとに特徴がある。ドイツは再生可能エネルギーの導入拡大が顕著であるが、石炭火力の比率が高く、原子力発電も一定水準ある。また、フランスは原子力発電の比率が圧倒的に高い。米国は近年、天然ガスによる火力発電が伸びるものの、石炭や原子力発電の比率も高い。また、中国は圧倒的に石炭による火力発電が中心だが、原子力発電や再生可能エネルギーなどは、今後の導入規模が大きく、その動向は世界への影響を与えるようになってきた。

あらためて資源の少ない日本が目指すべきエネルギーミックスは、あらゆるリスクに対応できる多様化が基本。そのためには、電源ごとのメリット・デメリットを見極め、様々な選択肢を組み合わせることが、望ましい将来性を描くベースになる。

主要国と日本のエネルギーミックス比較



出典：「日本のエネルギー エネルギーの今を知る20の質問」・資源エネルギー庁。日本以外は2015年推計値データ、IEA Energy Balance of OECD Countries(2016edition)、日本は総合エネルギー統計 2016 年度速報値。再生可能エネルギーと水力発電は別々に表記している。