



発行年月 2017年3月

発行者 一般社団法人 日本電機工業会

〒102-0082 東京都千代田区一番町17番地4
TEL 03-3556-5886 FAX 03-3556-5890
URL www.jema-net.or.jp

日本電機
工業会
WEB



日本電機
工業会
広報活動



この冊子を手にとっていただき、誠にありがとうございます。

普段、生活の中であたりまえのように消費しているエネルギー。その中でも特に生活に欠かせないのは電気です。この電気について考えてみると、発電方式は国によって多種多様です。その組み合わせや構成は、水資源が豊富な国、石油・天然ガス・石炭などの化石燃料資源が豊富な国、自然エネルギーを重視する国、資源に恵まれない国など、各国の事情によって、供給が安定して、より安価で、国の経済や暮らしに最適な発電方式が選択されています。

世界屈指の工業国でエネルギー多消費国でありながら、水資源、化石燃料資源に恵まれない日本。エネルギー資源のほとんどを海外に依存しています。その中で、1970年代に、二度の石油ショックを経験して、積極的に化石燃料の備蓄、発電方式の多様化、産業や家庭での省エネルギー技術の普及を推進してきました。

一方で、地球温暖化にともなう海面上昇、異常気象による災害など、大きな環境リスクも予想され、世界的に警鐘が鳴らされています。世界全体で増え続ける二酸化炭素（CO₂）の排出によって引き起こされる地球温暖化は、1980年代末頃にリスクとして認知され始め、その対策については1995年に国際的な議論が始まりました。実は、その議論よりもずっと前から、同じような地球規模の解決すべき課題として、オゾン層を破壊するフロンを全廃する取り組みがあります。1930年頃に懸念が示され、1987年にオゾン層を破壊するおそれのある物質を指定し、国際的にこれらの物質の製造、消費および貿易を規制する取り組みが始まりました。科学者による懸念から約80年、国際的な全廃枠組み合意から約30年が経過し、徐々にその成果が出ています。地球温暖化対策についても同様で、これから対策を始めても50年、100年と長い年月にわたり対策の継続が必要といわれています。

今後の日本のエネルギーを選択するうえでは、我が国の実情を踏まえ、それぞれの発電方式のもつ魅力やリスク(メリットやデメリット)について知り、進むべき方向を考えていただくことが重要です。

皆様には、この冊子が今後のエネルギー選択に関して考えていただく手助けになれば幸いです。

2017年3月
一般社団法人 日本電機工業会

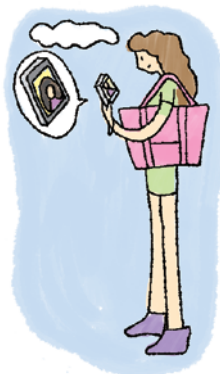
目次

毎日の生活のなかでも、私たちはリスクやその対策を学んでうまく対処している	1
エネルギーの利用に目を向けると、 便利さのウラに“地球温暖化という大きなリスク”が潜んでいる	3
各エネルギー（発電方式）の魅力やリスクは何だろう	5
原子力発電のないリスクとあるリスクを考えてみよう	7
福島第一原子力発電所の事故をふり返って、原因や必要な対策を考えてみよう	9
原子力発電のリスクを減らすために新たにとられた対策を見てみよう	11
専門家に聞く——「リスクのとらえ方」	13
おわりに	15

毎日の生活のなかでも、私たちはリスクや その対策を学んでうまく対処している

私たちが身の回りのリスクに備えて、行動しているのか、考えてみましょう。リスクや対策を知っていれば、まさかの事態に対応でき、より快適で便利に生活できます。

スマホを使うときも…



スマホって、友達と
いつもつながって
いられるし、すぐに
情報が得られて、
とっても便利。



でも、なかには
悪用する人もいて、
個人情報
漏れたり、
詐欺の被害に
あうリスクが……



やっぱりスマホの
便利さは捨てがたい。
しっかり
セキュリティ対策を
して、スマホを使おう！



旅行でも…



見聞が広がるし、
新しい体験ができて、
旅行はとっても
魅力的。



でも、飛行機などの
事故や旅先での
おもわぬトラブルに
あうリスクが……



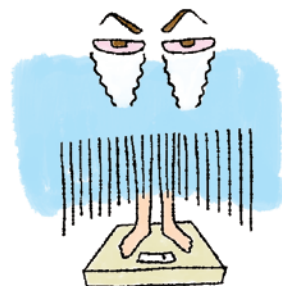
旅行中は、周囲に
気を配りながら
行動すれば大丈夫。
やっぱり旅行に行こう！



毎日の食事でも…



おいしいもの、
好きなものを
食べてるときって、
とっても幸せ。



でも、知らないうちに
太りすぎたり
生活習慣病に
なるリスクが……



食べすぎや
体重管理に注意して、
健康のことを
考えながら
食事をしよう！



どんな行動にも、
なんらかのリスクが
あるんだなあ。



スマホとか旅行とか、
みんな魅力があるから、
そのリスクを受け入れているのね。



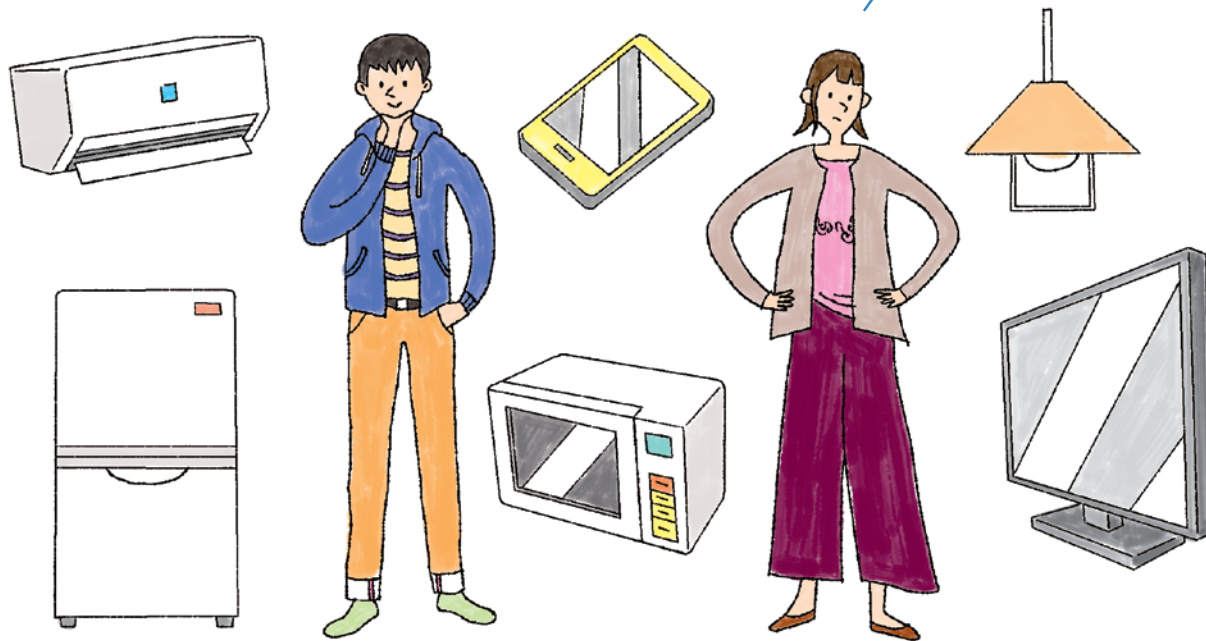
エネルギーも、
魅力とリスクを知って
選択する必要があるよね。



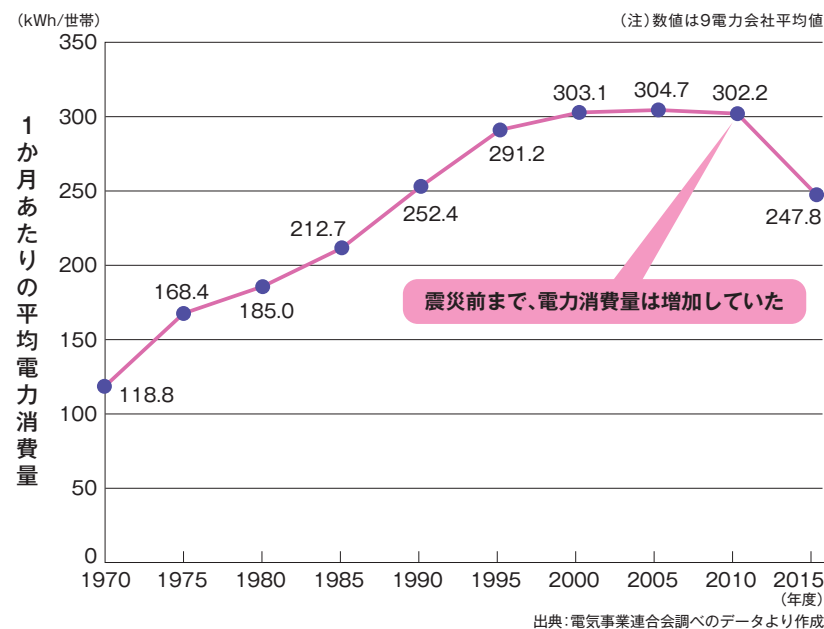
エネルギーの利用に目を向けると、便利さのウラに “地球温暖化という大きなリスク”が潜んでいる

照明に冷暖房に調理、それに勉強や遊びでも電気製品を使っている、電気は生活に欠かせないんだね。

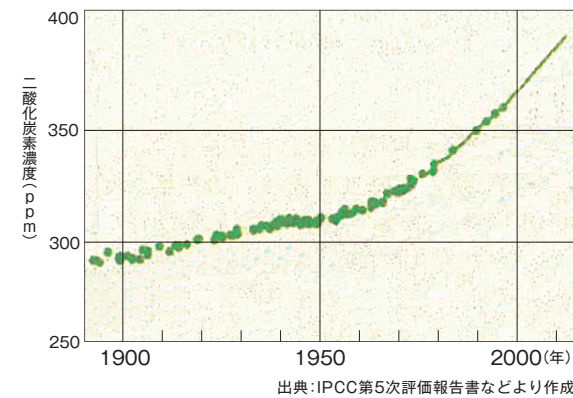
でも、使いすぎると、どうなるんだろう？



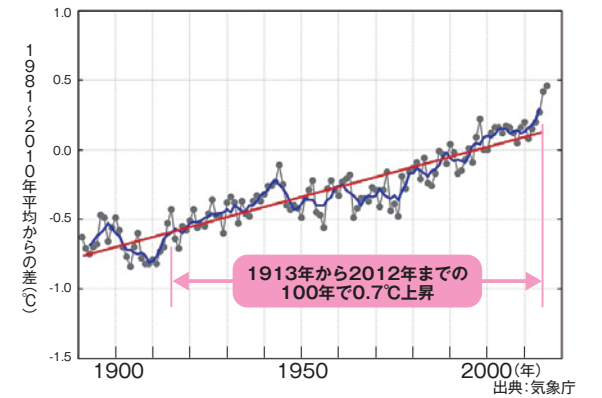
一世帯あたりの電力消費量の推移



地球全体の二酸化炭素濃度の変化



世界の年平均気温の変化



地球温暖化が進むと、どんなリスクが高まるのだろう？

地球温暖化により、100年で世界の平均気温が0.7℃上昇し、これにより次のような事象が現れています。地球温暖化対策は、「パリ協定」など世界共通の課題としてすぐに取り組む必要があります。

- 海水温が上がり氷河が溶ける
- サンゴが白化する
- 雨・雪が局地的に降ったり積もったりする
- 川が氾濫し家屋が流される
- 収穫前の農作物に被害をもたらす、野菜などの値段が高騰する



〈参考〉
環境省
パンフレット

2016年に発生した台風の影響で
畑が冠水し、流されたタマネギ
(北海道新聞社/時事通信フォト)



「パリ協定」って、どんなもの？何が決まったの？

パリ協定は、気候変動枠組条約に加盟する196か国が参加する初の枠組みであり、世界共通の長期目標として、「世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2℃未満に抑えると同時に、できれば1.5℃未満を目指す」などを掲げ、その達成に向けて取り組んでいます。

日本も2030年度までに2013年度と比べてCO₂などの温室効果ガス排出量の26%削減を目標として提出していますので、徹底した省エネ、原子力利用、再生可能エネルギーの促進など、目標達成に向けて今後も努力をしていく必要があります。

電気をつくる時にも、CO₂が出るんだね。だから電気を使いすぎると、環境に影響があるんだね。

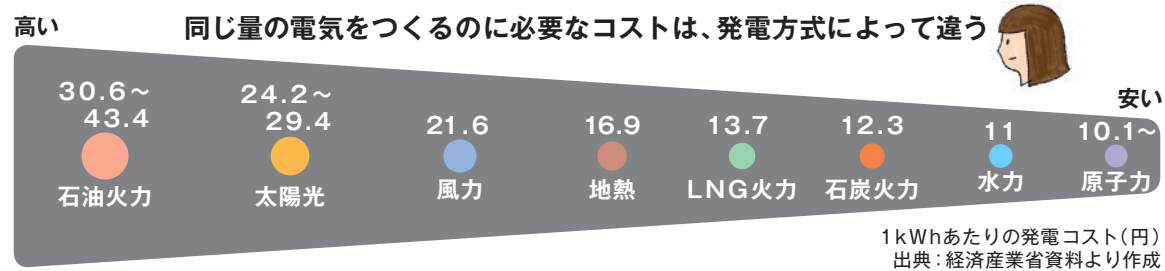
環境に影響があれば、生活にも支障が出るリスクがあるのね。

だから、環境への影響が少ない電気のつくり方やエネルギーのことを考える必要があるんだね。



各エネルギー（発電方式）の 魅力やリスクは何だろう

どのエネルギーも魅力とリスクを持ち合わせています。それぞれのエネルギーの魅力とリスクを知りましょう。



エネルギー資源には、国産のものと輸入しているものがある 



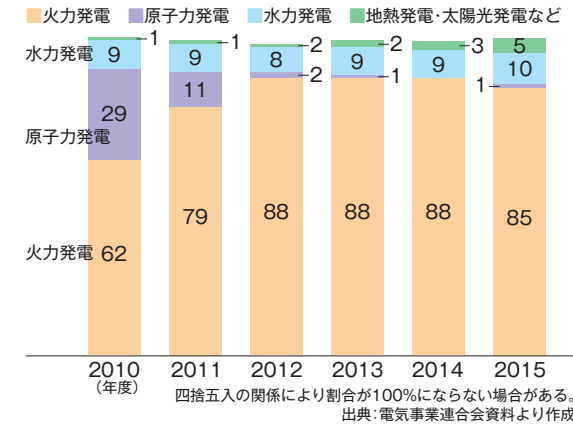
石油・石炭・LNG
(液化天然ガス)などの
化石燃料は、CO₂の
排出量が多いね。

太陽光や風力は、天気によって発電できない時があるわね。
地熱や水力は、発電所をつくれる場所があまりないんだって。

原子力は、CO₂の
排出量、発電コスト、
安定供給の面で
メリットが
大きいんだね。

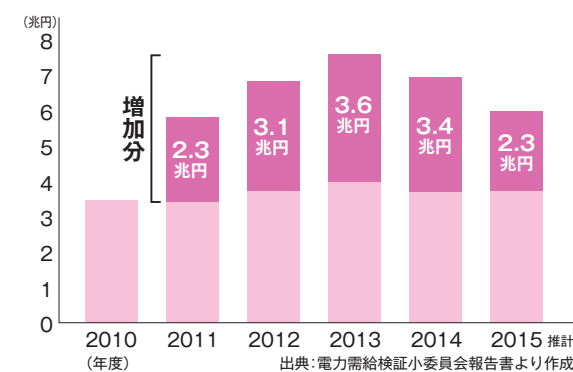
「3E+S」って何？ 日本のエネルギー政策では、「3E+S」の考え方が基本になっています。3Eとは、Energy security(安定供給)、Economic Efficiency(経済効率性の向上)、そしてEnvironment(環境適合)です。Sは、Safety(安全性)です。Sの安全性を大前提として、3Eであるエネルギー自給率の向上、経済性、そしてCO₂の削減をバランスよく満たす(リスクを下げる)ように組み合わせて、エネルギー政策を決めています。

日本の電源別発電量の割合(%)



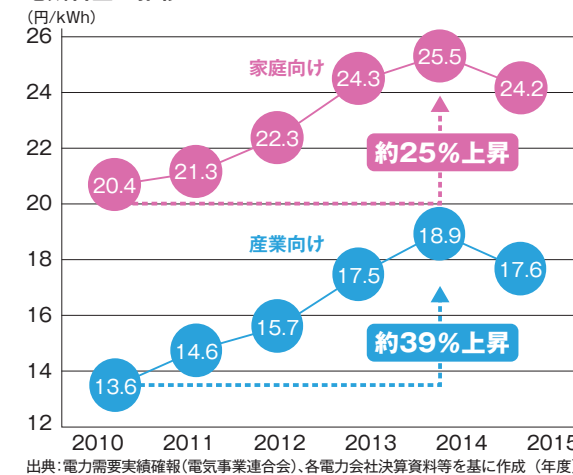
総発電電力量のうち原子力発電の割合は、東日本大震災前までは30%ほどありました。震災後は、原子力発電が止まったため、代わりにLNGや石油などの火力発電や太陽光発電などの割合が増えています。

原子力発電の停止にともなう火力発電の燃料費増加



震災後の2011年度から2015年度までの5年間に、原子力発電所が停止しなかった場合に比べ、LNGや石油などの火力発電の燃料費が約15兆円多くかかりました。これは、毎日80億円以上を払って海外から火力発電用の燃料を買っていることになります。

電気料金の推移



震災後、停止した原子力発電に代わり、火力発電用のLNGや石油の輸入量が増えたことで、徐々に電気料金は上がりました。2015年度は、原油価格の低下などで、やや電気料金が下がったものの、依然、産業向けの上昇割合が高く、産業への影響が大きいことが分かります。

エネルギー資源を運ぶタンカーのルート(シーレーン)



資源の少ない日本は、化石燃料のほとんどを海外からの輸入に頼っています。このうち、石油は80%以上、LNGは30%程度を中東に依存しています。これらの資源を運ぶ海路はシーレーンと呼ばれ、途中での海賊の出没、周辺国での領有権争いによるリスクがあります。

原子力発電のないリスクとあるリスクを考えてみよう

原子力発電のないリスク

火力発電に頼りすぎると、発電でのCO₂の排出量が増えて、地球温暖化が進んでしまう。

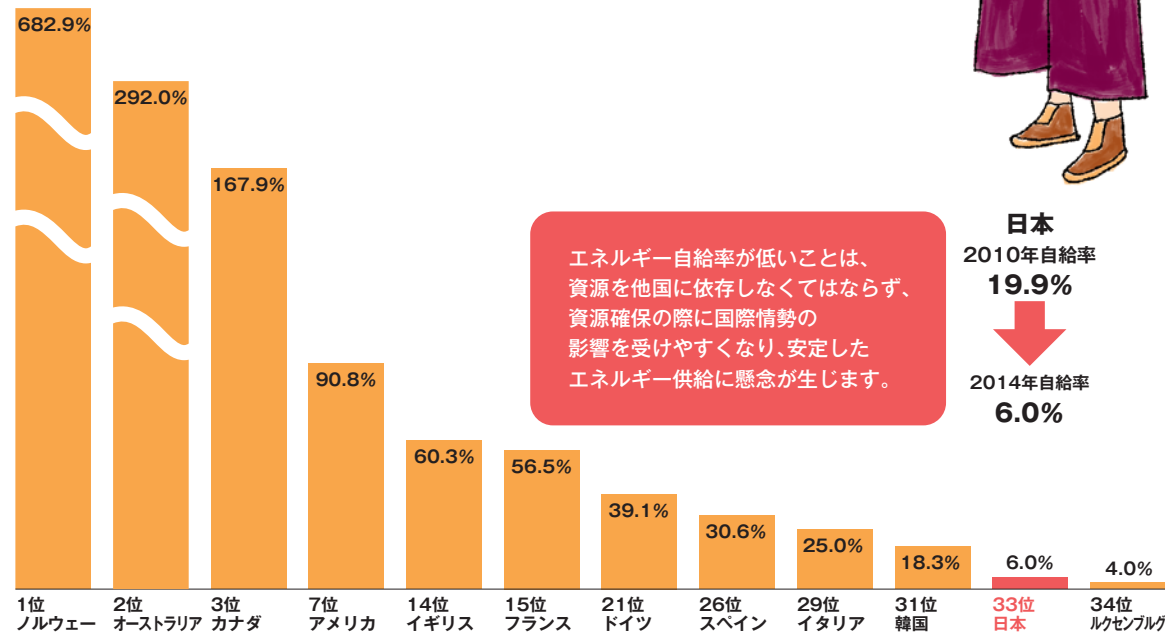
火力発電を多く使うと、化石燃料の輸入にお金がかかり、電気料金が上がってしまう。

電気料金が上がると、工業などでもものをつくるコストが上がり、工場が海外移転し仕事なくなる。

化石燃料をほとんど輸入に依存している日本、輸入相手国に足もとを見られて、価格交渉力が弱くなる。

化石燃料の輸入がとまると、電気がほとんどつくれなくなる。

各国のエネルギー自給率（2014年）



エネルギー自給率が低いことは、資源を他国に依存しなくてはならず、資源確保の際に国際情勢の影響を受けやすくなり、安定したエネルギー供給に懸念が生じます。

エネルギー自給率：生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率です。
※表内の順位は、OECD（経済協力開発機構）34カ国中の順位です。 出典：IEA「Energy Balances of OECD Countries 2016」を基に作成

原子力発電のあるリスク

大きな事故が起こったら、放射線による被ばくを避けるために、避難生活を余儀なくされる。

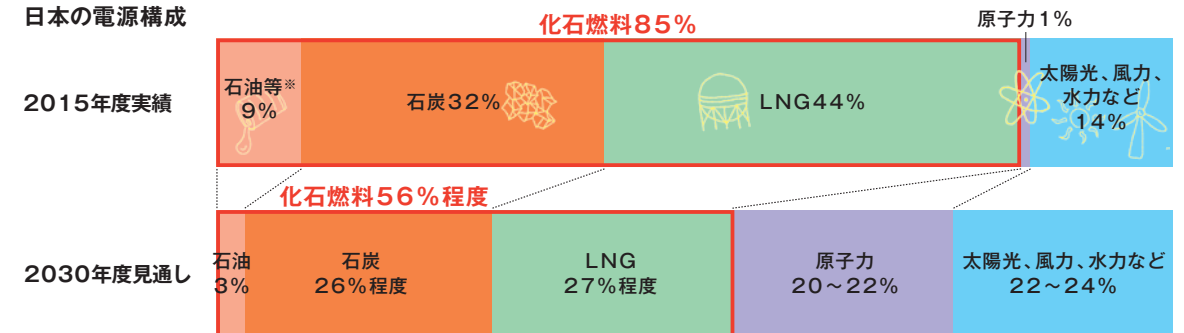
放射性廃棄物の最終処分場がまだ決まっていない。

野菜や魚が放射性物質に汚染されているといったうわさから、値段が下がったり、売れなくなったりする風評被害が起こる。

放射線は、細胞の中にあるDNAを傷つけて、発がんの原因になるといわれる。

エネルギーで大事なものは、供給の安定性、経済性、環境への影響、そして安全性。それぞれのエネルギーの魅力とリスクを考えて、原子力発電を含めたバランスのよい発電方法を選択する必要があるんだね。

日本の電源構成



※2015年度実績値の「石油等」にはLPG（液化石油ガス）その他ガスを含む

出典：経済産業省「長期エネルギー需給見通し」（2015年7月）より作成

福島第一原子力発電所の事故を ふり返って、原因や必要な対策を考えてみよう

福島第一原子力発電所 事故の進展

地震発生

原子炉が自動停止

発電所の外からの電気を失った

すぐに非常用の電源や原子炉を
冷やす装置が動き出し、冷却した

津波襲来

すべての電源を失った

原子炉を冷やす機能を失った

燃料が高温になり、
水素が発生した

建物内に原子炉から水素や
放射性物質が漏れ出した

建物内で水素爆発が起こった

発電所外に
放射性物質が放出された

原子炉を
止める
できた

原子炉を
冷やす
できた

~~原子炉を
冷やす
できなかった~~

~~放射性物質を
閉じ込める
できなかった~~

事故から
分かったことは？



では、必要な対策は？



電気で動く冷却装置が
使えなくなった。

高温になった原子炉の
燃料の部材から水素が発生した。

地震で発電所の
外からの電源を失い、
津波で発電所内の
非常用発電機などの
すべての電源を失った。

それで原子炉を冷やせず、
内部の温度が上昇した。

水素爆発が起こり、
建物がこわれて、
放射性物質が外へ
出てしまった。



予備の冷却装置を
用意しておく！

原子炉に水を入れるポンプを、
いくつも用意しておく！

もっと地震や津波に強くする！
津波がきても発電所の中に
水を入れないようにする！

冷やす装置を動かす電源は、
いろんな方式で用意して、
津波が届かないよう
高い所にも置く！

水素の爆発を防ぐ
対策をする。それから、
いろんな訓練もして、
備えておく！

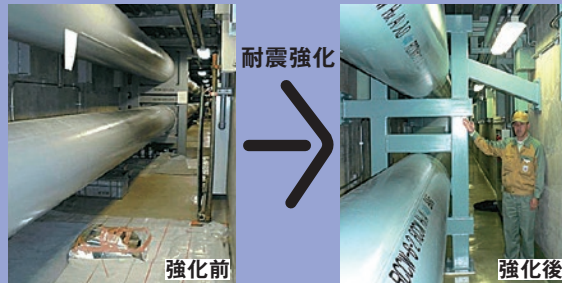


原子力発電のリスクを減らすために 新たにとられた対策を見てみよう

福島第一原子力発電所の事故が拡大した主な要因は、外部からの電気と発電所内の非常用電源が使えなくなったため(9～10ページ参照)、原子炉を冷却できなかったことです。

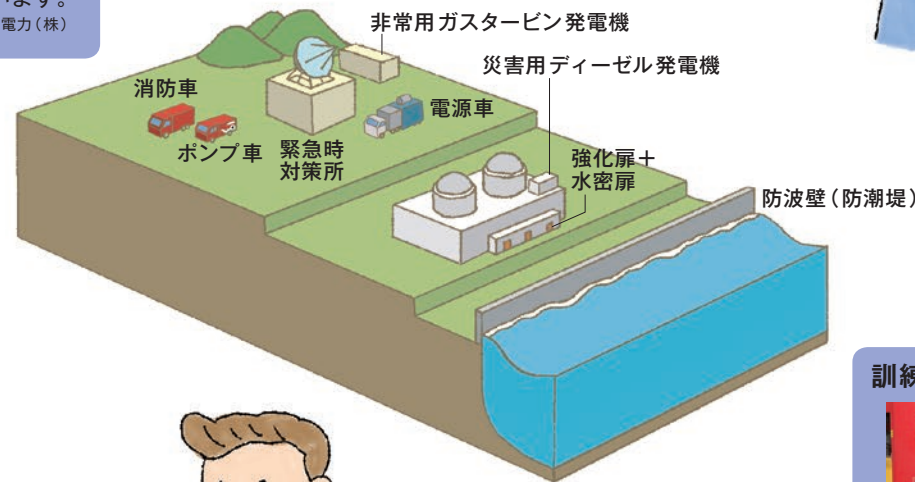
その教訓を踏まえ、原子力発電所の設計基準を強化し、対応すべき項目が新たに盛り込まれた新しい規制基準が策定されました。全国の原子力発電所では、新規規制基準に基づき、地震や津波などに対する対策の強化を行うとともに、水素爆発防止などの事故の拡大防止対策も行っています。

地震に強くする 配管のサポート改造工事



新しい知見も踏まえて敷地の周辺の活断層など地質調査が行われ、必要な場合は、配管のサポートの追加など施設の耐震を向上させる工事などが進められています。
写真提供：中部電力(株)

発電所周辺で起こる最大の地震も見直しているそうだよ。



津波に強くする



防波壁の設置



水密扉の設置

津波の大きさや敷地の高さを考慮して、防波壁(防潮堤)を設置したり、津波に耐えられる強化扉や建物の入り口を水密扉に取り換える対策がとられています。
写真提供：中部電力(株)

敷地に水を入れない、もし入っても建物には水を入れないということだね。



いろいろな方式の電源を増やす



燃料などの冷却には、水を注入するポンプや、機器を動かす「電源」が必要です。常設の電源が機能しない事態になっても、常にバックアップする電源を確保するために、非常用のガスタービン発電機や電源車も準備しています。

写真提供：(左)電気事業連合会(パンフレット「現場の力」より)、(右)東京電力ホールディングス(株)



非常用の電源車

冷やすための備えも、多重になったんだ。水素を水に変える装置も、つけられているそうだよ。



ポンプをいくつも用意しておく

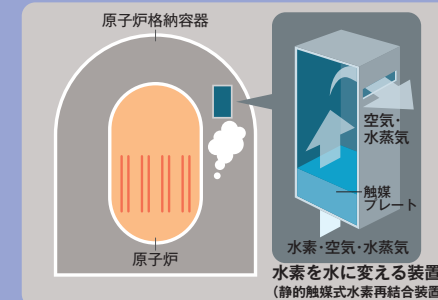


可搬型送水ポンプ車

原子炉や燃料を安定的に水で冷やすために、既存のポンプ以外にも、可搬型の送水車や給水車なども配備されています。

写真提供：電気事業連合会(パンフレット「現場の力」より)

水素の爆発を防ぐ



原子炉格納容器の水素爆発を防ぐため、水素の濃度を下げ、触媒を使って水素を水に変える装置(左図)や原子炉建屋の上部から水素を排気する設備も設置されています。

訓練をして備えておく



大容量ポンプ設置訓練



給電訓練



事故時の操作訓練



夜間がれき撤去訓練

事故が起きた場合でも、準備した対策を有効に機能させるために、定期的な訓練や教育を実施し、緊急時にも確実に対応できるようにしています。

写真提供：(左上)関西電力(株)、(右上)北海道電力(株)、(下2枚)東北電力(株)

備えのためには、訓練も大事よね。雪の中や夜間など、きびしい条件でも訓練をしているそうよ。



専門家に聞く——「リスクのとりえ方」

山口彰先生（東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻 教授）

Q 私たちは、なるべくリスクは避けたいと考えがちですが。

リスクはよく「危険」と訳されますが、英語で「take a risk（リスクをとる）」というように、リスクは自分の便益となるものを自ら選択して、自分でとるものです。物事を決める時に、なぜ自分でそのように決めたのか考えてみると、何か良いことがあるからです。また、それを決めることによって、なんらかの代償もあります。

だからといって、リスクは避けるものと考えるのは正しくありません。いろいろな社会活動を行っていくには、リスクをとりながら、最適な決定をしていくことが必要です。

中国語ではリスクを「風險」といい、将来起こり得る危険を表しますが、リスクは危険というよりも、自分たちが生きていくうえで物事を取捨選択することです。リスクを避けたいと考えるのではなく、管理するものと認識してほしいと思います。

Q 最近、「ゼロリスク」という言葉をよく耳にします。

私たちのまわりに、リスクがゼロのものはありません。ゼロリスクということは、何もしないことです。しかし、何もしないことによって便益が得られなければ、それが新たな損失になります。

アメリカの論文に、次のような例が挙げられています。郵便配達の人がポストに郵便を入れ、受け取る人はポストに手を入れて郵便物を取り出します。この行為が危険とは、ほとんどの人は思いません。しかし、ある人が害虫や蛇をポストの中に入れた場合、その行為を見ていた人は、郵便物を取るのは危険だと認識します。

このようにリスクの見方や対処の方法は、その人のもっている知識に依存します。リスクから目を背けて避けようとするよりも、どういうリスクがあるのか、どういう性質のリスクかを理解して、それに備えるほうがはるかに良い結果を生みます。

身のまわりにどういう危険があるか、自分では分かりません。常に気を配りながら、理解して知識を深めれば、より安全で、よりメリットの多い選択ができます。

英語のRisk（リスク）の語源をさかのぼると「利益」という含意をもち、スペイン語のRisco（岩礁）やイタリア語のRisiko（災い）であり、いずれも航海に関係した言葉でした。

冒険心に富んだ大航海時代には、危険を冒してでも利益を得ようという意味も含めて使われていたようです。



どの航路にもリスクはある。しかし、リスクをおそれず漕ぎ出そう。…多くの船乗りたちの勇気ある行動が、新たな発見などにつながりました。

Q 福島第一原子力発電所の事故後、各発電所ではさまざまな安全対策が取られています。

例えば自動車で考えてみると、雪が降ったら滑りどめを準備する、衝突を想定して保険に入っておく、事故を起こした時にフロントガラスを割って脱出できるように器具を用意するなど、それぞれのリスクに合った備えをします。

東日本大震災では、福島第一原子力発電所は津波で電源を喪失してしまいました。発電所の敷地の中に津波を入れない（ドライサイト）ようにできればいいですが、今後も大津波をともし地震が起こり得ますし、防潮堤が壊れるなどのシナリオも考えられます。ですから、ドライサイトにするという思考でストップするのではなく、万が一に備えて頭のトレーニングを重ねていくことが、安全の質を高めることにつながります。電力会社も原子力関係者も、そのことを痛切に感じて、発電所の安全対策を行っています。

また、シナリオの重要度に応じて、どんな備え方をするのが効果的で適切であるかを考えるのが「リスク管理」で、いろいろな真実を暴いてくれるもの、安全対策の方向を示してくれる強力な助っ人だと思えばよいと思います。

Q どのエネルギーにもリスクはありますが、そのリスクと共存していくために、私たちができることは。

各エネルギーには、それぞれのリスクがあります。私たちは、安いエネルギーを安定的に確保しなければなりません。そのために、各エネルギーのリスク特性を理解し、補填できるような設計をしてあげる必要があります。

震災前の日本のエネルギーはバランスの良い構成になっていて、石油・石炭の火力で3割、天然ガスの火力で3割、原子力も3割でした。一つのエネルギーが失われても7割が残り、コストの面でも上昇を抑制する効果がありました。それぞれのリスク原因を、他のエネルギーでカバーしていたのです。

今後日本は、安いエネルギーをすべての国民に安定的に供給し、それぞれのエネルギーのリスクをしっかり抑制できるようなエネルギー政策にしてほしいと思っています。

一方、私たちも、エネルギーの組み合わせを好きか嫌いかではなくて、海外ではどのようなことを考えていて、どのような政策をとっているのかなども見聞きしながら、エネルギーの特性を踏まえて日本の政策について考えていかなくてははいけません。



1957年島根県生まれ。
工学博士。専門は、原子炉工学、リスク評価など。
東京大学工学部原子力工学科卒業、同大学大学院工学系研究科博士課程修了後、動力炉・核燃料開発事業団（現・日本原子力研究開発機構）にて高速炉研究に従事。2005年4月から大阪大学大学院環境・エネルギー工学専攻教授。2015年1月より現職。原子力規制委員会発電用軽水型原子炉の新規制基準に関する検討チーム委員、文部科学省原子力科学技術委員会委員長、資源エネルギー庁の原子力小委員会委員、自主的安全性向上・技術・人材WG座長、日本原子力学会リスク専門部会長、国際PSAM組織委員会理事などを歴任。

世界の国々は、自国にエネルギー資源をもっている国もあれば、ほとんど資源をもっていない国もあります。世界の原子力発電所の建設の状況を見ると、現在、世界で運転中が、31の国や地域で447基、建設中が60基、計画中が164基^(※)あります。将来、電力需要の急増が予測される中国やインド、アラブ首長国連邦などでは、積極的に原子力発電所の建設を行っています。多くのエネルギー資源をもつアメリカやロシアでさえも、新規の原子力発電の建設に着手しています。イギリスでも新規建設が進められ、スウェーデンでは建て替えが計画されています。一方、ドイツは、2020年までに段階的に原子力発電所を閉鎖する方針であり、原子力発電の現在の割合が70%のフランスは、2025年までに50%へ抑制する方針です。

日本は、東日本大震災後に決定したエネルギー基本計画の中で原子力発電を「重要なベースロード電源」として位置づけ、2015年7月の「長期エネルギー需給見通し」で、2030年の電源構成に占める原子力発電の割合を20～22%としています。これを目標に、安全性の確保を優先して、九州電力(株)川内原子力発電所1、2号機に加え、2016年8月には、四国電力(株)伊方発電所3号機が再稼働したほか、いくつかの発電所が新規規制基準への適合が認められるなど、原子力発電の再稼働は、少しずつ進み始めています。

電力分野の2010年度と2014年度の二酸化炭素(CO₂)排出量を比較すると、8,300万トン増加しました。これは日本全体の温室効果ガス排出量6%分の増加に当たります。原子力発電が停止し、その代わりに火力発電を焼き増したことからCO₂排出量が増加しました。原子力発電がCO₂排出量の削減にいかに関与しているのかが分かります。

原子力発電は、事故が起きた場合、周辺地域に多大な被害を与えるリスクがありますが、一方で「安定して大量の電力を供給できる」、「発電するコストが安く、経済性が高い」、「発電の際には、地球温暖化の原因となる温室効果ガスを排出しない」などの多くのメリットがあります。

また、再稼働した原子力発電所は、震災による事故を踏まえ、新規規制基準に沿った安全対策が取られています。

皆様には、この冊子を活用いただき、安全性が向上した原子力発電を含めて、エネルギーの選択について今後も考えていただければ幸いです。

(※) 出典：一般社団法人日本原子力産業協会「最近の世界の原子力発電開発動向データ」(2017年1月)
WNA "World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements" (2017年1月)