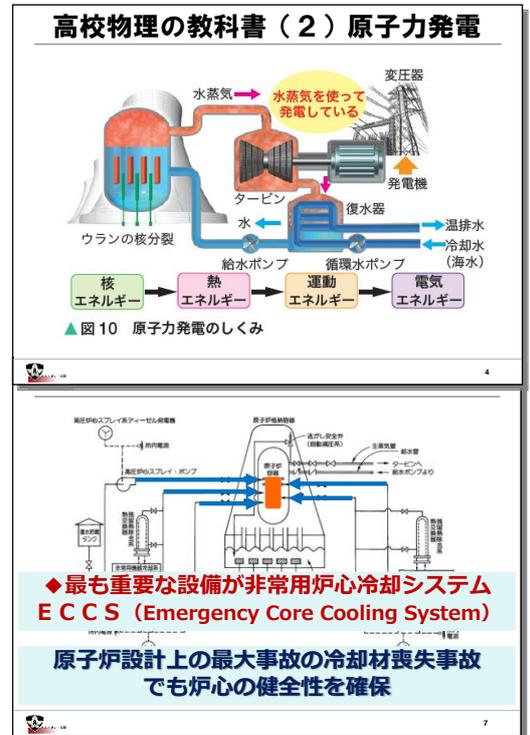


1. はじめに

私が会社で行った研究の一つの『原子炉の安全性に関する研究』に関係した福島の原子力発電所の事故とその後の安全対策と再稼働の状況、そして、これを受けてこれからのエネルギー源をどう考えるかについて、また、これからの社会を担う若い人にどんなことを考えて欲しいかについてお話ししたいと思います。

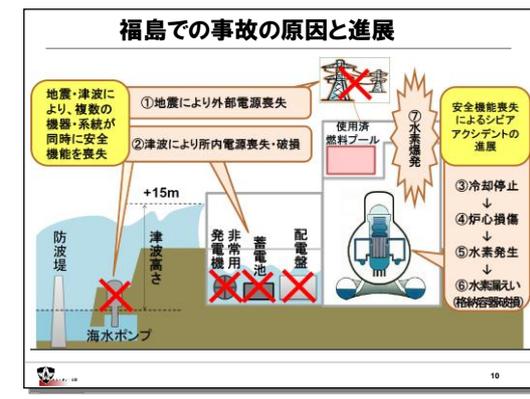
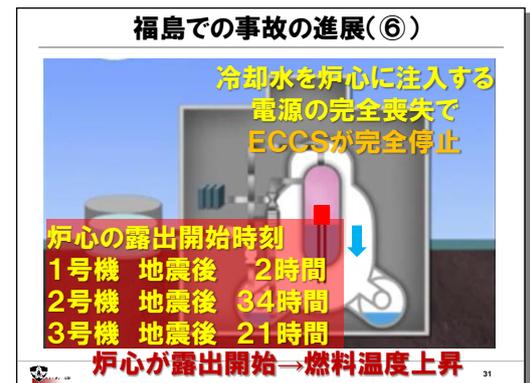
2. 原子力発電の仕組みと安全設備

原子力発電では原子炉内での核燃料のウランの核分裂による熱エネルギーから水蒸気を発生させ、これをタービンに導いて発電機を回転させて発電します。この核燃料は通常は水(冷却水)で覆われて冷却されていて、核分裂の制御は原子炉の下から中性子を吸収する制御棒を挿入しておこなっています。この原子炉内の冷却水が流出する事故を**冷却材喪失事故**といい、すべての原子炉は、このような状況でも炉心の健全性が保てる設計がなされ、さまざまな**想定事故に対応した安全設備が設置**されています。その中で最も重要なシステムを**ECSS (Emergency Core Cooling System)**といて、原子炉の最大の配管が破断して冷却水が流出してしまう条件でも炉心に冷却水を注入して炉心の安全性を保つものです。この原子炉の安全に関する研究開発が私が会社で最初に従事した内容でした。この研究結果は現在でもECSSの冷却性能の妥当性を示すものとして安全性の評価引用文献(kuwako ECSS検索)となっています。では、冷却材喪失事故においても炉心冷却の有効性、炉心の安全性は認められていたのにどうして福島の事故が起きてしまったかをご説明したいと思います。



3. 福島の事故の概要、新しい規制基準と原子力発電所の再稼働の状況

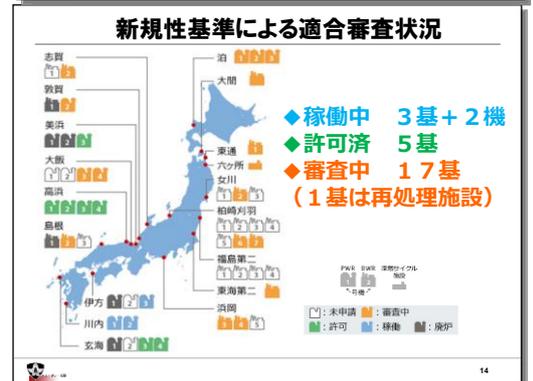
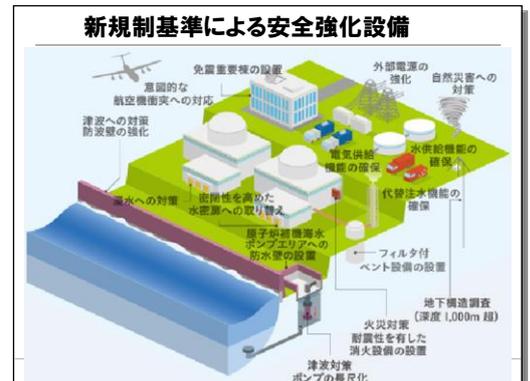
東日本大震災発生時、福島第1発電所の1~3号機の原子炉は稼働中でしたが、この地震直後発生直ちに**制御棒が挿入され核反応が停止**しました。また、配管が破断して原子炉の冷却水が急激に流出するような状況は発生していませんでした。ただし、炉心には**崩壊熱**とよばれる熱が残るため炉心を長期間冷却する必要があります。このため、**炉心は地震直後からECSSで正常に冷却**されていました。しかしながら、地震発生後30分後に、炉心に注水するポンプの電源の**非常用発電機が津波で浸水して停止**し、炉心を冷却するための電源がすべてなくなってしまいました。これを**全電源喪失**といて、このような事象が起こらないような安全設計がなされていたはずでした。しかしながら、**設計条件を超える津波**により、**全電源喪失の状態が継続**した結果、崩壊熱で炉心内の水が少しずつ蒸発し、その結果として炉心の露出、そして燃料温度上昇が始まり、時間の遅れに差はありますが、**燃料温度が融点(約2600℃)を超えて炉心が融け落ちてしまった**ものです。右図は事故最終報告書に記載されている図で、事故の要因図を示していますが、地震直後ではECSS系が作動して、炉心の冷却が行われていたが、『①地震と津波により、複数の機器・システムが同時に



安全機能を喪失して全電源喪失の状態が発生、②その後のシビアアクシデント(想定していた以上の過酷事故)の進展を食い止めることができなかつた』が福島の現状となった原因としています。ただ、津波に対しては、2007年に869(貞観11)年の貞観地震 M8.3レベルの地震の発生が懸念され、これは東電にも指摘されていて、これに対策していれば福島の事故は防げていたものです。

この事故以降、規制の体制は原子力規制委員会に、また、新しい規制基準も福島の事故を教訓に非常に厳しいものとなりました。右図は新規規制基準の概要ですが、想定しうるさまざまな自然災害に対して**より高い安全裕度を持つ対策を備えることが求められ**、仮にシビアアクシデントが起きてしまった場合の対策、さらに、テロによる意図的な航空機衝突等も考慮しなければ発電の許認可が受けられなくなり、この新基準により福島の事故の1/10レベルの放射能放出**事故が発生する確率が100万年に1回**という値が評価されています。

この新規性基準に対応して、原子力発電所を所有する各電力会社は安全対策を施し、運転許可の申請を提出していますが、これまでに審査に合格した発電所は10基あり、そのうち、3基が再稼働済、2基が再稼働の準備中です。ただし、審査に合格しても、再稼働には地元自治体の同意が必要です。長野県に電力を供給している中部電力も、浜岡原発での安全対策はすべて完了して、2つの原子炉の運転許可の申請を提出していますが、現状では地元同意を得るのは難しい状況となっています。また、関西電力高浜4号機は5月17日に再稼働する予定になっていますが、この再稼働をめぐる**裁判の大阪高裁の判決**では、①**福島第一原発事故の原因は基本的なことは明らかにされ**、②この教訓を踏まえて作られた**国の新規規制基準は不合理ではない**、との判決が下されています。



4. 2030年の日本のエネルギーミックスと世界の原子力発電の流れ

政府は今後のエネルギー政策として、原子力を一定量まで確保したい考えを持ち、**3E+S**(「安全/Safety」であることを大前提に、3つのE「供給安定性/Energy security」「経済性/Economic growth」「環境保全/Environmental conservation」)として、原子力を安全性の確保を大前提に、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し、原発依存度は、省エネ・再エネの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる方針です。この背景として、エネルギー自給率(現在6%)の低さと、温室効果ガスの削減があります。日本はCO2排出が世界5位の主要排出国ですが、昨年末に発効した**パリ協定**(京都議定書以来18年ぶりに合意された温暖化問題に対処する国際条約)では、省エネや脱CO2エネルギーへの転換によって「**2030年度までに、2013年度比で、温室効果ガス(CO2)の排出を26%削減**」、2050年には、80%削減する目標を掲げています。右の写真は中部電力のCM画面です。この2つ(エネルギー自給率、温室効果ガス削減)の条件を克服するため、政府が設定した数値目標のキーワードとしてエネルギーミックスがあります。画面中の円グラフは2030年の電源構成比で、原子力発電の比率を震災前の約3割に近い値(原子力発電の比率を20~22%)にするとしています。この2030年の目標達成に必要な原子力発電所の再稼働数は20は

政府の方針: 3E+S と 原子力発電

“3E”(3つの“E”) + “S”

Energy Security: 安定供給
Economic Efficiency: 経済効率性の向上
Environment: 環境への適合

Safety: 安全性

優れた安定供給性と効率性を有しており、**運転コストが低廉**。
政府は原子力をフェードアウトするが当面は利用していく方針
重要な**ベースロード電源**。
原発依存度については、**可能な限り低減**させる。

TVでのPR

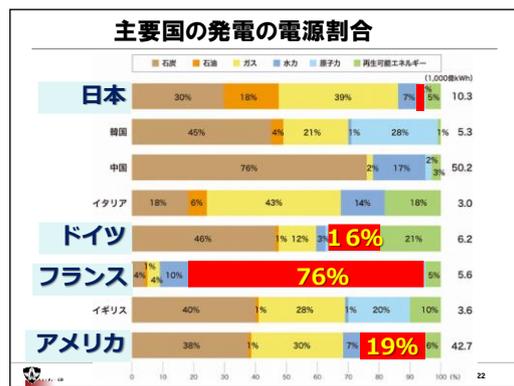
2030年度の電源構成(政府案)

再生可能エネルギー 22~24%
石炭 3%
天然ガス 27%
原子力 20~22%

電力の安定供給のためには、安全の確保を大前提に、原子力・火力・再生可能エネルギーによるエネルギーミックスが必要だと考えます。

必要です。ところが、現在の原子力発電所の寿命を考えると2030年には運転可能な原発がすべて稼働しても、15%に満たない状況です。このように現在の状況から考える2030年における電源のベストミックスの数値目標は非現実的な数字と考えざるをえません。

次に、世界の原子力発電を見ると、**全世界では400以上もの原子炉が稼働**しており、世界で最も多くの原子力発電所を持っているのは米国で、次いでフランス・日本・露と続きます。右図は、主要国の電源比率をグラフにしたもので、米国は原子力発電の割合が総発電量の19%ほどですが、フランスは75%以上にもなります。日本では現在3基が稼働していて、約2%となっています。また、主要国の原子力発電への考え方は様々です。**米、仏は原子力を推進する考えは福島事故以降も変化していません**。一方、**独はメルケル首相が、福島事故がきっかけで推進派から批判派に「転向」し、2022年末までに原発を全廃**することを法制化、**2030年に原発停止を決定**しています。ただし、独は仏の原子力発電による電力を輸入している状況もあり、**電力網が発達し電力流通が可能なヨーロッパと、島国で孤立している日本との大きな違い**にもなります。



以上をまとめますと、①新規性基準により事故の確率(100万年に1回)は大きく下がりましたがそれでもゼロではない。②日本では、自給率が6%と低く、また、CO₂排出量が増加し続けている。ただし、経済面、環境面を除けば、原子力がなくても社会は成立している。③世界では、米・仏は継続推進、電力不足が深刻な中国やインドは拡大利用。独、スイス、スウェーデンでは全廃方針となり、④技術的、経済的、社会的なそれぞれの側面で、原子力に対するいろいろな考え方があるのが実情です。

では、これからの社会に求められるエネルギー源はそのようであるべきか？考えなくてはいけないのは、エネルギー自給率、CO₂排出量削減(地球温暖化防止)、再生可能エネルギーの到達可能レベル、さまざまなリスク(環境影響、電力料金、...)、等々です。これらの要因の考え方は様々で、決まった考え方はできないのが現状ですが、求められるのは、環境、経済、人間社会(地域、国)のバランスを保った持続可能な社会に求められるエネルギー源の選択です。

5. 環境を見据えた将来のエネルギー源

現在でも最も優先して**利用すべきエネルギーは太陽光**です。地表での太陽光のエネルギー量は1m²当たり約1kWで、もしも地球全体に降り注ぐ太陽光を100%変換できるとしたら、世界の年間消費エネルギーを、わずか1時間でまかなうことができるほど巨大なエネルギーであり、しかも、枯渇する心配がありません。ただし、太陽光の課題として、現在の**電力需要を賅うには広大な面積が必要になり、このため設備費が高く、昼夜の発電量の差が大きい**ことがあり、安くて安定なエネルギー源としては課題があります。この太陽光発電の身近な話題として、霧ヶ峰の山麓一帯に設置する太陽光発電施設の計画があります。この規模は1km四方に31万枚のソーラーパネルを設置するもので、これで、諏訪市の全世界の電力の1.5倍をまかなえる計画で、その導入には積極的な意見が多いと思いますが、地域の生活環境に影響があるとすると、直ちに賛成とならないのが実情で、現在は、設置の環境アセスメントが問題となっているようです。



また、**将来の技術として核融合発電**があります。この原理は太陽の中心で起こっている反応(核融合反応)で、水素原子同士が結合してヘリウム原子になる際に膨大なエネルギーが発生し、例えば、1グラムの水素からタンクローリー1台分の石油(約8トン)に相当するエネルギーを得ることができ、また、核分裂反応のよう

な放射性廃棄物が発生する問題もわずかです。この核融合に関する研究で最大のものは「国際熱核融合実験炉」と呼ばれ、日本もこの国際プロジェクトに参加していますが、2035年によく実験装置の運転が始まり、この技術の**実用化はまだずっと先で21世紀の半ば以降**になります。

また、現在でも太陽光がわずかな**遠い惑星への宇宙開発**には、エネルギー源として**放射性同位元素を用いた電源**が用いられており、今後の宇宙開発の電源になくてはならないものになっています。このように原子力は使い方さえ誤らなければ有効なエネルギーで、遠い将来、人類が太陽エネルギーを使えない宇宙旅行をするときには原子力エネルギーは必要になります。

6. おわりに

必ず枯渇する**化石燃料に代わるエネルギー源の代表格は太陽光**ですが、この**理想的な太陽光の利用でも総論賛成各論反対**もあるのが実情です。すなわち、どのエネルギーを選択するにも、個人の考え、地域の考え、国の考え、地球規模の考えが必要で、自分がどの立場で何を基準に考えるかが重要です。**福島復興なしには原子力の推進はあり得ない**と思いますが、**水没の危機にある南太平洋の島国にとっては地球温暖化の防止は差し迫った問題**です。政府は2030年のエネルギーミックスの数字を提示していますが、今は、政府が決めた方針に賛否を述べていますが、国民一人一人がベストミックスを考え、**それぞれの人が現在の社会環境そしてこれからの社会を維持可能なエネルギーのベストミックスの考えを持ち**、その総意で国のベストミックスを決める必要があると思っています。もちろん、この大前提が**普段の省エネへの努力**があってこそその議論です。

以上、今日のお話が少しでも皆様のこれからの環境とエネルギーについて考えをまとめるのに参考になれば幸いと思っています。そして、私の学校での授業においても、これからの社会を担う生徒自身が自分のエネルギーミックスの考え方を持てるような科学の知識を伝えていきたいと思っています。

以上