

(2022年3月9日講演)

12. 再エネの限界と原子力活用に向けた諸課題とその解決法

東京工業大学科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所
特任教授 奈良林直 氏

東京工業大学、ゼロカーボンエネルギー研究所の奈良林です。以前、私は先導原子力研究所というところに所属していた。道路を隔てて反対側が、太陽光パネルがビルの全面に付けてある再エネの研究所だったのだが、昨年6月1日にそこと組織統合した。原子力も太陽光も風力もゼロカーボンエネルギーなので、ゼロカーボンエネルギー研究所に名前が変わった。

今この表紙にあるように、日本のエネルギーの供給や利用に関しては、電力の部分は、例えばエネルギー利用に関しては26%で、残りの74%は電気以外のエネルギーとして使われている。2050年までにゼロカーボンエネルギーを達成しようとする、電力のみならず、産業で使われているいろいろな熱や運輸、航空、車、船の燃料、それから台所や家庭で使われているエネルギーの全てをゼロカーボンにしなければならない。これは相当大変な取り組みになるかと思う。

私はまた国家基本問題研究所に所属していて、今理事を拝命しているのだが、エネルギー問題研究会というものを設立して約1年半活動している。昨年4月に自民党に、「脱炭素社会実現と国力維持・向上のための最新型原子力リプレイス推進議員連盟」というものができて、そこでこの政策提言を披露し、マスコミにもお話をした(P2)。1つは、エネルギー政策の基本は国益と現実主義だということだ。今、ウクライナ問題で非常に緊迫しているけれども、日本のエネルギー安全保障をしっかりとしなければいけないということ。また、天然ガスが高騰している、原子力、それから日本のエネルギーについて、やはりしっかりと国益を守ることが大事だと思う。

きょうお話しするのは、まず再エネは非常に不安定でコストが高いということ。そして大雪、あるいは台風が来ると大停電のリスクが避けられないということ。それから国民負担が非常に大きくなっていること。また、フィード・イン・タリフ(FIT:再エネ賦課金)で90兆円ぐらい予算を使うということ。それから、電力を100%再エネにできるかということ、変動電源がある限りは、その変動の谷を埋めるために火力発電所が必要になってくる。従って、技術的に再エネ100%は無理だということだ。

3番目として、原子力の技術は100%国産技術として成っている、諸外国からいろいろな資源を輸入しなくても、鉄とモーター、発電機などの電気品などがあれば、100%日本の技術で造れる。原子力発電所を建設する上での購入品が少ないので、そういう面ではあまり海外にお金が出ていかないかと思う。太陽光パネルはほとんど中国製なので、日本で

太陽光パネルを敷き詰めると中国にお金が行ってしまうのだが、そのようなことは避けられる。

それから世界の潮流として、特にフランスを筆頭として欧州は原子力回帰に向かっている。また、原子力こそ経済性に優れた国産技術だということで、非常にコストも安く安定した電源にすることができる。ただ福島の実験の反省として、やはり安全対策はしっかりやらなければならない。また、事故後再稼働した原子力発電所は安全対策が強化されて、リスクは今 1,000 分の 1 ぐらいまで下がっている。

政策提言としては原子力発電所の長期運転だ。40 年のみならず 60 年、あるいは、米国でも開始されている 80 年に向けた運転。それから新增設をやらなければ足りなくなるということ。2 番目は原子力の技術や人材、中小企業も含めて、サプライチェーンが今どんどん衰退している。これは気になるところだ。3 番目は再処理である。核燃料サイクルのこと。それから高速炉。もんじゅが廃炉に追い込まれてしまったけれども、高速炉は高速炉なりの役割がある。そういったこともしっかり見ていかなければならないだろう。高レベル廃棄物の地層処分について。これは今北海道の寿都町と神恵内村で文献調査の手が挙げたが、自治体が自分で手を挙げてやるというよりは、やはりもっと国が主導しなければ、しっかりした道筋ができないのではないか。それから今、原子力規制委員会の審査が非常に長引いている。いろいろと無理難題の審査があって再稼働が停滞している。もう少し欧米並のしっかりした、リスクを下げることを目的にした合理的規制が必要だと思う。

そして 6 番目がカーボンニュートラルだ。これは冒頭に申し上げたように、国益重視でやらなければならないということ。日本は石炭火力に関しては非常に高効率の技術を持っている。今世界の 30 から 40% を占める火力発電所の効率を上げるだけでも、世界的な二酸化炭素の排出を大幅に削減できる。海外貢献による二酸化炭素クレジットもあるので、むやみに火力発電所を否定すべきではないだろう。以上のようなことをきょうは話したい。

まず再エネは不安定で高コストだという点だ。今ここに示しているのは、世界の太陽光パネルの発電容量の世界ランキングである (P4)。1 位が中国の 254GW。1GW は 100 万 kW なので、中国は 254 基の 100 万 kW の原発相当の太陽光パネルを敷き詰めたということだ。そして米国が 74GW、日本は 67GW だ。かつて五十数基あった日本の原発を上回る太陽光パネルが、今日本には敷き詰められている。そしてドイツ、インドと続く。

今、国土面積でこの電気出力を割り算してみると、何と日本は世界一の太陽光パネル密度になっている。1 平方 km 当たり 177kW だ。しかも平地が少ないので、もし平地だけの面積で計算するともっと桁違いに日本の太陽光パネルは普及していることが分かる。ここまでの話は、太陽光を一生懸命やっている方にとっては非常にうれしいことだとは思いますが、ただその実態はどうか。きちんと効果的に二酸化炭素の排出を減らせているかということだ。

排出係数というものがあって、これは 1kWh 当たりの電気を得るために何グラムの二酸化炭素を排出しているかという値のことだ (P5)。1kW の電気ポットで 1 時間お湯を沸か

すと何グラムの二酸化炭素が出てくるかということだが、日本は 534 グラムである。500 ミリリットルのペットボトルよりちょっと重いような、そのぐらい大量の二酸化炭素を、湯沸しポットたった 1k 当たり 1 時間で出している。

ドイツは 472 グラムである。ドイツは再エネ比率が 40% で日本は 20% だが、40% と 20% の国が隣同士にある。よって、今政府が進めようとしている再エネ比率を「40% 近くまで増やす」と言って、「36% だとか 40% の高みが見える」などと言っていたけれども、結局太陽光パネルの比率を増やしても二酸化炭素は効果的には減らない。これは世界の熾烈な再エネ競争の中でもうはっきり分かってしまったことだろう。従って太陽光は、二酸化炭素排出削減には十分に貢献できないことになる。

このグラフの左端のほうだが、今二酸化炭素の排出が少ない国の 1 位はノルウェーで、たった 13 グラムだ。2 位はスイスの 42 グラム。そしてスウェーデンが 46 グラム、フランスが 70 グラムである。2030 年の目標の 1kWh 当たり 50 グラムというのは、この先頭の 3 カ国は既に達成している。フランスはちょっと多いけれども、また今マクロン大統領が原発を増やすと言っているので、頑張れば大幅に減るだろう。その次のベルギー、イギリス、フィンランド、スペイン、デンマークは風力が盛んな国だ。それ以降の米国より下は、風力もやっているけれども太陽光もやっていて、しかも産業国が多い。二酸化炭素の排出係数は、組み合わせとしてはやはり原子力と水力が最強で、最も効果的に二酸化炭素を減らせるということだ。

これは今のわが国の電源構成だ (P6)。2020 年版の再エネ比率は 20%。その中で水力を除く再エネが 12.9%、地熱が 0.3%、太陽光が 8.5%、風力が 0.9%、バイオマスが 3.2% である。2020 年は、ちょうど原子力は特重施設の工事の遅延で運転停止に追い込まれた年だったのだが、それでも 4.3% 出している。持続的には 6% も超えている。よって 9 基や 10 基原子力の再稼働をすれば、90 兆円をつぎ込んでフィード・イン・タリフで頑張っている太陽光とそんなに遜色なくなるのだ。私はここは非常に大きな注目点だと思う。太陽光は 90 兆円をつぎ込んでも、国のわずか 8.5% の電気しか賄えないことになる。そして石炭は今 27.6%、LNG が 35.4% を賄っているである。今日本が輸入している天然ガスの約 10% はロシア産だ。経済制裁でもロシアから天然ガスの輸入を停止することになると 10% も減ってしまう。

一方こちらはドイツだ (P7)。ドイツのエネルギー政策はもう失敗と私は断定しているのだが、再エネが 39.7%。風力と太陽光、バイオマス、ここら辺を全部足して、水力を含めて 39.7% だ。なぜドイツのバイオマス比率は何でこんなに高いのかと思ったら、実は熱帯雨林で伐採した木材チップを燃料にしているのだ。ドイツは熱帯雨林の環境破壊をしている。それから原子力はまだ 12.3% の電気を出していて、天然ガス、褐炭、石炭で、今 43.7% は火力発電だ。原子力と火力で 56% なので、変動する風力や太陽光を安定化させるためには、しっかりした電源がなければならない。原子力と火力がそれを担っていることになる。

なぜ太陽光や風力は排出係数を効果的に下げられないかをここに示している (P8)。この

サインカーブを全部積分すると、1日のうちでこの黄色い部分が32%になる。これを長方形に当てはめると1日6時間分ぐらいだ。よって24時間の25%相当になってしまう。なぜかという、夜のこの青い部分のほうが面積が大きい。それから日本は温暖な気候なので、雨や曇りの日がある。晴天になる確率は50%だ。それを掛けると32の半分なので16%になる。また電気回路の損失や、日の出・日の入りでは地平線近くから太陽が出るので、この実質的な設備利用率は13%になってしまう。

残りの分は水力や火力、原子力で補完しなければならない。補完する電力の割合が多いので、太陽光パネルをいくら増やしても二酸化炭素が減らないということだ。原子力の比率を増やせばいいのだが、もう物理的に、数式的に、なぜ太陽光では力不足かということが、地球の自転と日本の温暖な気候とで決まってしまう。どんなに太陽光パネルの効率を上げて、コストを下げて、この呪縛から逃れることはできない。

さらに、小泉元首相が全電源を自然エネルギーにできると、原発ゼロはやればできるとおっしゃっているが、設備利用率は13%しかないのだ(P9)。日本で例えば100%電気を供給しようとする、日本が必要としている電力需要の100%をさらに7.7倍の膨大な太陽光パネルを敷き詰め、その100%を超える黄色い部分、夜の時間帯、早朝の時間帯に振り分けなければならない。これはみ出した部分は、電気はそのまま電気として保存できないので、バッテリーの化学エネルギーで蓄えるか、揚水発電所で重力のポテンシャルエネルギーにするか、とにかく蓄電・蓄エネをしなければならないのだ。太陽光や風力では、台風や大雪の際にざっと1~2週間電気が途絶えることがある。そうすると、これを賄うだけで1,000兆円クラスの蓄電・蓄エネが必要であり、そして水素にしても膨大な設備が必要になってくる。結局これを回避するためにも、今日本は、あるいは世界はこのLNG火力発電に頼って、夜のこのブルーの部分の電気を供給していることになる。よって小泉元首相がいくらそう言っても、私は全国のあちこちで「それはうそだ」と講演して指摘している。

これをさらに具体的に言うと、今言った1,000兆円クラスのお金は、陸上風力、洋上風力、そしてこのPVは太陽光。太陽光パネルや風車だけではなくて、送電線のコストや、電気がないときに停電にならないようにするために、火力発電所を待機状態にしておかなければならない(P10)。よって稼働率は非常に低く、老朽化したものも多いのだが、火力発電所を待機状態にしておくコストが必要だ。要はこういったことを全部込みにすると、この太陽光や風力の変動電源のシステムコストは非常に高いと、このグラフから読み取れる。

昨年エネ庁が、太陽光は2030年で原子力よりも安くなると言ったのだが、各方面の識者から散々批判を浴び、もう一回エネ庁が出し直したのがこの資料だ。結局太陽光パネル単体の値段が下がったとしても、その太陽光パネルの配線をして送電線に乗せるまでのコストがあるし、送電線は7倍太くしなければならない。さらにバッテリーや、火力発電所を待機状態にするなどいろいろなお金が必要になってくる。そういうこともあって、90兆円をつぎ込んでもわが国の太陽光は8.8%しか電気を出していないことになる。これがその太陽光のシステムコストをイメージしたものだ(P11)。太陽光パネル、配線ケーブルを全部

つないで、バッテリーを用意して、さらに送電線を 7.7 倍太くして、各家庭までまた配電しなければならない。これには非常に膨大なコストが掛かる。

私がいいなと思うのは、これは福島県浪江の水素工場なのだが、太陽光パネルに隣接して水素工場を造っておけば、少なくとも送電線や蓄電池のシステムコストは要らない (P12)。この水素を作っておくと、今電気分解の効率が 80% で水素が作れるので、それから火力効率が 60%、燃料電池で 70% ぐらいあるので、水素にしたら約半分のエネルギーがまた電気として取り出せることになるのだ。

それから、鉱物資源が非常にたくさん必要になる (P13)。「Conventional Car」と書いてあるけれども、従来の自動車は大体エンジンはアルミダイキャストで、他には鉄やガラスなどでできていた。だが電気自動車にするといろいろな鉱物資源がたくさん必要になってくる。発電にしても同じで、この洋上風力、海岸の風力、太陽光などはたくさんのいろいろな鉱物を必要とする。従って風力や太陽光を増やしていくと、どんどんコバルトやニッケルなど鉱物資源の制約が生じることになる。あるいは送電線を太くしなければいけないので、銅や、強いマグネットを作るためのレアアースが必要になるだろう。これは国際エネルギー機関の「The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions」ということで、再生エネルギーに遷移する時代にあって、このクリティカル（制約）になる鉱物資源をリストアップして分厚い報告書にしたものだ。

これはマイケル・ムーア監督が盛んに指摘しているが、熱帯雨林の木材を伐採して、今ヨーロッパでバイオマス発電に利用しているが、これは膨大な森林破壊だ (P14)。木を切り倒した後に火をつけてパーム油の木を植えるわけだが、今膨大な自然破壊になっているという指摘がある。特に全世界で見ると、バイオマスに使う森林のエネルギーは非常に大きい。今ここに「SOLAR」「WIND」と書いてあるけれども、それよりもはるかにバイオマス、つまり木材などは、人類のエネルギー源として使われている。特に発展途上国等で消費が激しい。とにかく今このパーム油などの畑を作ったり、バイオマスを盛んにしようとすると、マレーシア、ボルネオ島、インドネシア、あるいはアマゾンなどのいろいろな森林が伐採されていく。日本の里山の間伐材でバイオマスをやるなら非常に効果的だし正しいことだと思うが、再エネと言っても、熱帯雨林を伐採しているという事実は道を外れているのではないか。

わが国は電気代が高い (P16)。これはエネルギーの資料だが、2016 年、日本は産業用の電力料金が一番高くて、その後はドイツ、英国、フランス、中国となっている。ロシアや米国は安い。世界一高い産業電気代の理由はというと、高い電気代で太陽光パネルのシリコンウエハーを作ると、当然コストが高いので値段も高くなってしまふ (P17)。2010 年に 87% あったわが国の太陽光パネルのシェアは、2019 年には 17.1% まで下がった。シェアは中国に取って代わられてしまった。よって今日本で太陽光パネルを敷き詰めようとする、中国産の太陽光パネルを使うことになる。新疆ウイグルに強制労働をさせているなど批判を浴びているけれども、今、日本の大部分の太陽光パネルは中国産に入れ替わってしまっ

いる。

先ほど申し上げた鉱物資源のいろいろな制約だが、バッテリーを作るためのリチウムや、電極に黒鉛——グラファイトが要るだとか、コバルトやニッケル、モーターの強いマグネットを作るために永久磁石が要るのだが、それにもレアアースを大量に使う (P18)。この資源を押さえ込んでしまっているのが中国なのだ。今 1 位がテスラ、2 位がフォルクスワーゲン、3 位が中国の BYD なのだが、今この中国の国旗になっている会社はたくさんある。ところが、世界で初めて電気自動車売り出した日産は今 14 位。それから、これはプラグインハイブリッドも含まれているが、トヨタは今 17 位まで落ちてしまっている。わが国の基幹産業である自動車産業も非常に順位を下げているのだ。

それから製鉄会社だ (P19)。鉄は国家なりということで、かつて日本は粗鋼の生産高世界一を誇っていたわけだが、今の 1 位はこの宝武鋼鉄。2 位がアルセロールミタル。あとの赤いところは全部中国の鉄鋼会社だ。日本製鉄は今 5 位に落ちているし、JFE スチールは 14 位に落ちてしまっている。この右上の円グラフを見ると、50%が中国になっている。日本製鉄はこれからアラバマ州に自動車用鋼板の電炉工場を建設するのだが、日本では電気代が高いので、電気代の安い米国に建設するということだ。鉄鋼もそうだが、どんどんこういう電気を使う産業が海外に出て行ってしまふ。かつて鉄は国家なりと言った、日本の基幹産業である鉄鋼産業もどんどん順位を落としている。

これは 1 人当たりの GDP だ (P20)。これを見ると今日本は 23 位で、27 位が韓国だ。実質的な賃金に直すと、韓国にも日本は抜かれたなどといわれている。ずっと日本の実質賃金は上がらないし、GDP もずっと横ばいか下降している。1 位がこのルクセンブルクで、なぜこの小さな国が 1 位なのかと思ったら、ここには先ほどの世界で 2 番目の鉄鋼会社、アルセロールミタルの本社がある。2 位がスイスだ。ABB がここでヨーロッパの配送電を全部構築している。それからアイルランドには米国多国籍企業があつて、これが急成長している。急成長をする会社には世界の投資が集まるので、このアイルランドの GDP が高くなっている。それからノルウェーは水力発電が盛んだ。アルミやシリコンウエハーなどの電力多消費産業が成立している。そして米国は言うまでもなく世界的な競争力を持った国である。

こうやって見ると、この GDP を見るだけで日本の富が、今みんな証券会社などを通じてウォール街に投資するのだが、その投資されたお金は、今度は世界で成長している会社に投資されるのだ。日本は今成長が止まってしまっているので投資対象から外れてしまい、成長を遂げている中国の会社や、ここに書いてあるような欧州の会社にどんどん投資される。このために、日本は衰退の一途をたどっているというのが現状だ。よって、エネルギーや資源などがいかに日本の将来を決めるか、どうやったら衰退を止められるかということが必要だろう。

日本は太陽光パネルを造れる平地が少なくなったが、ちょっと山の斜面ではまずいよねということで、第 6 次エネルギー計画には洋上風力に力を入れると書いてある (P21)。日

本の周りの風の吹く状況——風況は、北海道と東北の一部に赤いところがあって、ここは風が強い。だがこの風の強さはヨーロッパの3分の2しかない。よって発電した場合、実質的に発電のピークがヨーロッパの半分ぐらいになってしまう。その中でも洋上風力をやろうということだが、実は日本は陸地からちょっと離れるとすぐに1,000mクラスの深い海になってしまうので、洋上風力は船のように浮かべておかなければならない。船は碇を下ろして海底に固定するので、ふらふら揺れている。その揺れている風力のケーブルを陸地まで持ってくるのが、今非常に難題になっているのだ。ふらふら揺れるから折れたりねじれたり、あるいは漁船の操業によって切られるのではないかなど、いろいろな課題があり、この送電ケーブルの問題はまだ解決していない。だから日本がこの洋上風力に力を入れると言っているけど、まだ明確な技術的な礎が築かれているわけではないので、ここに今投資していいのかという話になると思う。台風も多いし、大変厳しい状況での風力、洋上風力になるだろう。

こういう形で、太陽光や風力発電を一生懸命普及しようと、再エネ最優先政策が取られているわけだが、再エネを増やすと大停電が発生しているというのが今の世界の状況である。これはスウェーデンだが、2019年に暴風雪、ブリザードが吹いて、木が倒れて送電線を切ったり、電車も止まってしまった(P23)。大変な停電が1週間、2週間続いたのだ。そのとき私はスウェーデンのウプサラ大学の先生に知り合いがいて、この先生にいろいろとお聞きしたら、もう命からがらだったと。マイナス20度、30度のところで、温風暖房機はみんな電源が要るのに、電気がないので暖が取れない。そうすると、まだ電気が来ているところに向かって人々は命がけで移動しなければならなかった。よって国民はこの暴風雪にはこりごりで、やはり「原子力にしっかり頼るしかないのではないか」ということで、スウェーデンは脱原発政策を世界で初めて国民投票で決めた国だったが、それを政府が破棄した。

同じようなことが日本でも起こった(P24)。これは去年の1月上旬だ。99%くらいまで電力の使用率が上がって、余力は1~2%しかないという状況があった。各電力会社は大口需要者の方々に操業を止めてもらって何とかしのいだのだ。この寒波によって天然ガスの使用量が急増して、またばか高い天然ガスを買わなければならないということで、大変な目に遭ったのが去年だが、今年もかなり同様の状況になっている。東京電力の管内では今年も電気が足りなくて、他の電力会社から融通を受けていた。

2021年の1月には、太陽光はピークで7%の電気を供給していた(P25)。だが大雪が降ったときは2%まで、約5%低下している。それから去年電力需要が寒波によってどんどん伸びて、太陽光も減ったために、LNG火力の比率が増えた。34%ぐらいで運転していたものが44%ぐらいまで増えた。そうするとLNGを大量に消費するので、急きょスポット価格で購入したのだが、2021年の1月2月は、2020年5月の約18倍高い天然ガスを買うことになった(P26)。これで新電力の会社が幾つか倒産したり、とんでもなく高い電気代になったりしていた。そして去年の10月には56ドル、31倍まで上がってしまったというこ

とだ。

今ウクライナにロシアが攻め込んで、ロシアに経済制裁をかけることになっている。もし経済制裁をかけてロシアの天然ガスを減らすと、価格はこんなものでは済まない。300ドルぐらい上がるという脅しをかけている。欧州はこの天然ガスの高騰で産業経済が止まってしまうかもしれない。核兵器を使わなくてもロシアはヨーロッパをエネルギーにおいて支配できる状況だ。今 NATO がロシアに積極的な強い制裁などの対応が取れないのは、このエネルギーというものの首根っこを、プーチンにしっかりつかまれてしまっているためだ。

それからカリフォルニアは真夏の熱波で計画停電が発生した (P27)。国の最大かつ最も革新的なこのカリフォルニア州にとって、容認できない不都合だと知事が発言しているが、太陽光パネルに頼っていて電気が出ない。猛暑になりこういう悲劇が起きて輪番停電になってしまった。しっかりした電源を持たないと電気は足りなくなる。特に朝や夕方の電気が足りない。

それからアメリカ南部のテキサス州でも去年 2 月に寒波が襲って、風力発電がテキサス州の 23%の電気を供給していたのだが、風車が凍結して約半数が止まってしまい大停電が起きた (P28)。ガレージの車のエンジンをかけて暖を取ったら、一酸化炭素中毒で 40 名が死亡した。後の報道ではこの倍の 80 名ぐらいが亡くなっているという話もある。それから原発も 1 基、給水流量計のセンサーが凍結して給水流量が誤って表示され、その異常により運転が停止した。テキサス州で 700 万世帯が影響を受けた。

次に、安全対策とリスクがどのぐらいまで下がっているかという話をする。この新規制基準の概要が今ここに書いてある (P30)。防潮堤、タービン建屋、内部溢水などがあったけれども、原子力建屋などを水密化している。それからこのフィルタベントは、私が盛んに国の委員会で設置を強く求めて付くことになった。またモバイルの消防車や注水ポンプ、電源車などで電気や水を供給できるようにした。それから森林火災、竜巻、火山の噴火など自然災害に備えるということだ。また特定重大事故対処施設、これは特重施設というのだが、航空機テロの対策のために地下に要塞のような大きな建物が造られて、その中に原子力発電所の制御盤、発電機、注水ポンプなどが収納されている。このようなことでリスクは非常に低減している。

また福島事故では、3月15日、2号機の格納容器からリークが生じて、周辺の放射線量が急増した (P31)。3月15日、16日には盛んに黒い煙、白い湯気が上がっていたという状況だ。ちょうど風向きが飯舘村のほうに向いていたので、あつてはならない地元汚染を生じさせてしまったわけだ。この原因は、当時原子力安全・保安院の、福島事故の技術的知見の委員会で明らかにされているが、Oリングにシリコンゴムを使っていて、それが150度以上で硬くなることから漏えいしてしまった (P32)。では何でその対策を取っていなかったのか。高温・高圧になると格納容器が変形して、フランジのボルト締めのところ隙間が生じる。Oリングが固くなると漏えいが生じて、それがオペレーションフロア、

つまり原子力発電所のメンテナンスをするフロアに上がってきて、そこが水素爆発した。そして放射性物質を周辺にまき散らしてしまったということになる。

その対策のためにフィルタベントを設置することを国の委員会に強く求めて、これは実現し、わが国の原子力発電所にはフィルタベントが付いている (P33)。PWR は最初から付けなければならないし、PWR については 5 年以内に、先ほどのテロ対策の特重施設の中にフィルタベントを設置している。

ちょっと余談だが、この開発したフィルタベントを小さくして次亜塩素酸水を入れると、コロナ対策にもなるということで、空気の洗濯機として、昨年オリンピックの前に国会の予算委員会でこれを使ったらどうだという質問がされた。丸川珠代大臣は、「そういういい技術があるのだったらぜひ使いたい」と答弁されたのだが、無観客のために実現せず終わってしまった。

これはフィルタベントを設置しているところだ (P34)。大きいほうが中部電力の浜岡の原子力発電所で、釣り上げているのが東京電力のフィルタベントである。機械学会でワーキンググループをつくって、どういうフィルタベントにするかを 40 名ぐらいの委員でまとめ、機械学会から『フィルタベント——原子力安全の切り札』ということで出版した。わが国は無機ヨウ素、セシウムなどの放射性物質だけではなくて、小児甲状腺がんの原因物質である有機ヨウ素 (Organic iodine) も取り除くフィルタを設置している。

この格納容器フィルタの設置の効果としては、敷地境界で年間の被ばく線量を許容値以下に持っていくことができるので、地元を汚染しない (P35)。それから 0 から 5 キロの PAZ という圏内では、事故が起きたら速やかに退避しなければならないのだが、福島ときには寝たきり老人の方々が、病院のベッドから強制的にバスに乗せられて命を失ってしまった。その反省から、下の写真にあるが、この中部電力浜岡発電所近くの御前崎市の体育館の中に、放射性物質をこし取ってきれいにして供給する「エアーシェルター」というものができた。空気で膨らむテントなのだが、この中に大勢の人を収納して、被ばくがないように供給する空気中の放射能を低減する設備が付いている。5 から 30 キロ圏内は、このフィルタベントが作動すると線量が上がらないので、屋内退避でよいことになる。これは原子力防災上のルール上定められている。いろいろな体育館などの避難施設に皆さんが集まっていれば、食料や飲み水を配布するのは簡単なのだが、各家庭がそれぞれに屋内退避をされていると、配送にはまた別の難しさがある。私はそういう訓練も必要ではないかと思う。

フィルタベントの効果としては、この真ん中の下に「事故シーケンス」とあるが、その上に「崩壊熱除去機能喪失」と書いてある (P36)。これは原発を冷やせなくなったということなのだが、このフィルタベントを使うと、格納容器からベントをして熱を逃がして炉心を低圧にできるので、また簡単に炉心に注水できるようになる。そうすると炉心損傷確率が 1,000 分の 1 になると。これが一番大きいリスクなので、原子力発電所のトータルのリスクも 1,000 分の 1 になるのだ。中部電力浜岡の PRA (確率論的リスク評価) の改正結

果が静岡県の委員会に提出されたので、今このように皆さんにお示ししている。このようなことで、フィルタベントは安全対策に非常に効果がある。

それから、全交流電源喪失にガスタービンの発電機を設置するなど、いろいろな事故シーケンス、事故のモードによって、確実に冷却、減圧することができるようになっていく。この対策も、事故のリスクというのは 3.8×10^{-9} のマイナス 9 乗。1 億分の 1 が 10 のマイナス 8 乗なので、リスクは今 1 億分の 1 以下に低減した。それから自然災害に対しても非常に強靱で、安全で安定した電源となったということだ。

それから防潮堤や、EWS の水密扉の中に重要な冷却ポンプを収納している建屋など、こういったものが各発電所に設置されている (P37)。詳細はまた何かご質問があればご説明するが、高台のガスタービン電源や電源車、消防ポンプ、注水ポンプなどが備えられている (P38)。

原子力発電所の再稼働については、今の世界の状態をここに書いてあるとおり 4 象限に分けてある (P40)。現在原発を利用して将来的にも利用するところは全世界で 25 カ国ある。現在使っていないけれどもこれから使っていくという国が 14 カ国。先ほどのスウェーデンはカウントされていないのだが、実は今使っていて将来も使うことになったので、26 カ国になった。ドイツは脱原発を今年中にやると言っていたが、どうもロシアの天然ガスが使えなくなると原発も要るから、今年の廃炉は延期しようかという話になっている。

先日スイスの研究所でオンライン講演をした。「世界第 2 の二酸化炭素の排出が少ない国がどうして脱原発をするのだ、再エネは非常に変動が大きくて安定電源にならない、やめたほうがいい」と言ったら非常に好評で、来年はスイスに来てぜひ講演してくれということになった。今年は海外渡航中止勧告レベル 3 が政府から出されてしまったので海外出張はできなかったが、そういう状況だ。

韓国も今原子力を使っているし、ベルギー、ドイツ、スイス、このあたりの脱原発がどうなるかだ。台湾も風力に力を入れると言っていたけれども、おそらく全電源の 1% しか風力での供給ができていない。ウクライナのことを見ていけば、蔡英文総統は、やはり原発を使い続けるという判断をするのではないかと期待している。

この国連の欧州経済委員会は原子力の役割を非常に高く評価している (P41)。原子力発電はそのライフサイクル全体で他のどの電源よりも CO₂ の排出が少なく、風力、太陽光、ガス、石炭等競合する電力源と比較して、kWh 当たりの二酸化炭素の先ほどの排出係数が最も少ないことを確認した。それから土地の利用も少なく、全てのクリーンテクノロジーの中でライフサイクル中の鉱物と金属の使用量が最も低いことも明らかになった。

そして欧州の執行機関である欧州委員会も、原子力発電を投資対象にすべきだということで、タクソノミー (投資分類) の中に入れた。もちろん天然ガスも入れたようだ。実質的な実力から天然ガスと原子力を投資対象にしたということで、欧州は積極的に原子力に投資する環境になったということだ。マクロン大統領はヨーロピアン PWR (電気出力 165 万 kW の欧州型の加圧水型原子炉 EPR) を、最初は 6 基と言っていたが、さらに追加して

最大で 14 基建設するかもしれないという意見を表明した。これはロシアのウクライナ侵攻の前のことだ。

COP26 と EU のタクソノミーについては、ここに書いてあるように、欧州は原子力に再び回帰したと言っていいと思う (P42)。今マクロン大統領がそういう方針を出していて、欧州の原子力万博——World Nuclear Exhibition が昨年 12 月に開催されて、数千人の来場者があった。実は私はこれにも出張しようと思っていたのだが、先ほども言ったとおりオミクロン株の水際対策で出張中止勧告が出されてしまったので、既に出張していた商社の人に頼んでこの写真を送ってもらった (P43)。欧州で原子力発電所の建設が再開すると、欧州の原子力メーカーと提携している日本のメーカーも機器輸出ができるのではないか。この中でスリーダイヤのマークも展示ブースをやっているのだから、国内メーカーの輸出の道はやっと今再開しつつあるのではないか。

それから中国は華龍 1 号という、パッシブセーフティーを持ちコアキャッチャーも付けた 100 万 kW の原子炉を、シルクロード、一帯一路に沿って建設すると言っている (P44)。AP1000 はウェスチングハウス社で、米国での工事がすごく遅れて、東芝がウェスチングハウスの赤字を背負ってしまって撤退してしまったけれども、中国では既に 4 基の AP1000 が営業運転に入っている。

また、小型モジュール炉を造って石炭の消費を削減すると中国政府は明言している。私が参加した国際会議でも、中国の人がそのような SMR (小型モジュール炉) のプレゼンをしていた。実は月曜日から国際会議があって、夜 7 時から 12 時ぐらいまで、ずっと私はベルギーで開催されている日本時間では夜の国際会議にインターネットで每晚参加している。

現在の再稼働状況については、1 基は未だ特重施設の工事遅延で止まっているが、大体 10 基が再稼働を遂げている (P45)。設置許可申請やいろいろな工事、まだ防潮堤や、地下構造について液状化などで改造工事が必要になったところはあるが、やっと 10 基ぐらい動いている。このように行政機関が申請書を受け取ってから結果を出すまでに、行政手続法ではおおむね 2 年で審査しなければならないことになっているのだが、現在の原子力規制委員会は行政手続法違反であると、国会の原子力問題調査特別委員会で議員がこれについて質問をして、更田委員長も否定はされていなかった。電力会社は、審査員が途中で帰るからおかしいなどと言いつつしていたが、やはり審査の要点のガイドラインがしっかりしていないので、審査中にルールを変えてしまうのだ。逃げ水現象で、なかなか再稼働にこぎ着けられないのが現状だと思う。米国 NRC は ACRS という諮問機関を持っていて規制委員会のチェックをしている。日本の規制委員会にもそのような機能が必要ではないか。

新增設・リプレースに関しては、私がざっと数えると、敷地に余力があるところがあって、20 基ぐらいは可能かと思う (P46)。ただこれは今言われたように、国民の理解を頂いた上でないといけないので、いかにご理解いただくかが大きな課題だと思う。

それから ICAPP——先進原子炉国際会議で基調講演をしてくれということで、「The Role of Japanese Nuclear Power Plants Toward Carbon Neutrality in 2050」という題で福島

の事故の反省に基づく、カーボンニュートラルを目指す日本の原子力発電所の役割について国際会議で講演をした (P47)。これはアラブ首長国連邦のアブダビで開催されたのだが、コロナ対策でハイブリッドになっており、日本からインターネットで参加した。

このように、今世界で潮流になっているパッシブセーフティー (静的安全系) についてちょっとご説明したい (P49)。これは AP1000 のパッシブセーフティーを説明した図だ。左側が従来の原子力発電所で、これは加圧水型原子炉だ。おびただしいポンプとバルブと配管が付いている。それに対してパッシブセーフティーは、そういう動的なシステムではなくて冷却機で自然に冷やしてしまう。熱伝達の自然な冷却力を使った冷却方法を取り入れたものが、この中国ですでに 4 基動いている AP1000 というタイプの原子炉だ。

実は SMR については今世界で 78 のアイデアが出されて、開発競争でしのぎを削っているが、基本的な概念はこの AP1000 が持っている、系統を単純化して自然力を活用するという安全系の考え方だ。これがパッシブセーフティーの考え方で非常に大事なわけだ。どのような効き目があるかということ、もし原子炉で事故があったとする。そうすると、格納容器の外側上にはプールがあって、プールから水道の蛇口のようなものが下りているが、この格納容器の鉄板を上から水で冷やす。崩壊熱というのは時間とともに発熱が小さくなるので、最初発熱が大きいときは格納容器を冷やす。格納容器の中はどうかということ、最悪炉心がメルトダウンにいくような場合には、ヒューズバルブというものがあって、これは高温になると溶けてしまう。よって、水を流し込んで外側から全部冷やしてしまう。冷やすと熱が出るので蒸気が湯気で上がってくるが、これは格納容器の鉄板の天井にぶつかって凝縮して水になってまた落ちる。雨どいがあるので、また元のプールに水が戻るということで、これによって外部注水をしなくても自然冷却で事故収束ができるのだ。これが自然冷却システムである。

このパッシブセーフティー採用に依る物量の削減は、バルブの数が半分になるとか、ポンプが 3 分の 1 要らなくなるとか、安全系のパイプが 8 割減るとか、ヒーターなどのいろいろな設備の 8 割が減る (P50)。それから建物の容積が半分ぐらいになり、ケーブルが 7 割減る。このように物量の大幅な簡素化ができるので、SMR はこういったコンセプトを取り込んで、小型モジュール炉として開発が進められているわけだ。

これはアメリカの法人である GE 日立ニュークリアという会社だが、ここでは BWRX - 300 という 30 万 kW の SMR が開発されて、カナダに売ろうということで既に契約がすんで建設する段階に入っている (P51)。実はこの SBWR は出発点では私も参画していた。GE のエンジニアのディルマーさんという方とこの Simplified BWR のコンセプトを提案して、こういうものいいねということになった。

もう 1 つ、この SMR の代表例がアメリカの NuScale 社のもので、この小型モジュール炉を全部で 12 基やると、92 万 4,000kW ということで、たくさんの小型モジュール炉を並べて設置するというコンセプトがある (P52)。最近 IHI と日揮が出資して、この NuScale 社のプロジェクトに日本も参加している。これは NuScale の原子炉の断面だ (P53)。原子

炉容器と格納容器の間に事故が起きるとスプレーをする。そうすると、原子炉容器から格納容器、そして外側のプールまで全部水で熱が伝わるようになる。それで原子炉を外側のプール水で自然冷却するというのがこの NuScale の特徴である。

それからロールス・ロイスは、高級自動車だけではなくて、ジェットエンジンや原子力潜水艦をつくっているのだから、原子力潜水艦の小型原子炉を使って小型モジュール炉に今参入したところだ (P54)。こういう炉について、世界で 70 だとか 80 のアイデアが出されてしのぎを削っている。

東工大でも小型モジュール炉を開発していて、実は私は 2000 年ぐらいに東芝にいたので、その時代に小型モジュール炉の開発に携わっていた (P55)。そのとき東工大と共同研究をやっていたので、当時の資料もあって設計ができて、3 次元 CAD で図面まで描けてしまう。この特徴としては、インターナルポンプを使って出力をフレキシブルに変えられるようにした点だ。再エネの電気が少なくなったら原子力が助けますよというのがコンセプトだ。隣の太陽光の先生方は、これは非常にいいねと言って、再エネと原子力は今大学レベルでも協調体制にあるということだ。他に再処理の話などもある (P56)。

また、3 月 4 日にザポリージャの原発がロシアの攻撃を受けたのでこれもちょっと紹介する (P57~62)。原発は大事なもので、高速道路を埋め尽くすほど人の鎖で幾重にも取り囲んだのだが、この発電所に向かう高速道路に並んでいる人をロシアが砲撃して、手足が飛び散ったと報道されている。原子力発電所の中にロシア軍が攻め入ってしまったてこのような形になっている。それからチェルノブイリもそうだ。これは欧州のメーカーで日本も出資していて、要はこのチェルノブイリの原発の廃炉作業を NATO、欧米が一生懸命支援しているのだが、これもロシア軍が制圧してしまっている。大変悲しい状況だ。

こういったことで、原子力をしっかり使って日本の経済を立て直して、しっかりした国力を回復することが非常に重要だと思う (P63)。再エネは非常に再費用対効果が小さいので、再エネを使うにしても原子力と組み合わせて、2 つが共生しなければいけない。講演は以上とします。ご静聴どうもありがとうございました。