

第51回原産年次大会 概要報告

2018年5月25日



The **51** **ST**



一般社団法人 日本原子力産業協会 JAPAN ATOMIC INDUSTRIAL FORUM, INC.

開催日：2018年4月9日(月)～10日(火)

場 所：都市センターホテル <コスモスホール>

基調テーマ：「原子力が未来を担うエネルギーたり得るには」

第51回となる本大会は、わが国のエネルギー基本計画が見直される中で、原子力が有するポテンシャルを最大限発揮し、将来にわたってエネルギーの安定供給や地球温暖化防止への貢献を果たし、社会・経済の安定・発展に最大限寄与し続けるには何が必要かについて考える大会として開催した。

国内外参加者による講演や議論を通して、以下のような点を広く原子力関係者が共有する大会となった。

- エネルギー安全保障、地球温暖化防止など3Eに大きく貢献する原子力発電の価値を長期的に維持するには、何らかの政策的措置が必要になること。
- 困難な環境の中で今後、原子力が未来を担うエネルギーたり得るにはイノベーションが不可欠であり、固有の安全性に加えて、本質的にコスト効果が高いものにし、今日の市場に即した柔軟性が必要であること。小型モジュール炉(SMR)などの原子炉のイノベーションは、今後の原子力を大きく変える可能性を秘めていること。
- 事故から7年が経過した福島をめぐることは、福島第一の労働環境の改善もあり廃炉が一步一步進んでいること、地元の復興には、地域のアイデンティティを大事にしたいという人の存在が基本となること、イノベーション・コスト構想の実現には企業自らが発想を変革していく努力も求められること。
- 海外において、近年の原子力発電開発プロジェクトでは、プラントメーカーが単に技術・設備を持って発電所を建設するのみならず、政府と一体となった制度整備、当該国の電力事業者が長期安定運転を可能とする幅広いソリューション提供が不可欠になっていること。



参加者：740名（うち海外は29カ国・地域／5国際機関から74名）



4月9日(月)	4月10日(火)
開会セッション [9:30-11:00] ○今井原産協会会長所信 ○政府来賓挨拶 ○特別講演	福島セッション [9:30-11:30] 「浜通りの現状と復興に向けた取組み」 <講演>
休憩 [11:00-11:10]	休憩 [11:30-12:30]
セッション 1「エネルギー政策」 [11:10-12:40] 【パート1：エネルギー安全保障】 <パネル討論>	セッション2 [12:30-15:00] 「プラントサプライヤーの海外展開」 <講演>
休憩 [12:40-14:00]	休憩 [15:00-15:20]
セッション 1「エネルギー政策」 [14:00-15:30] 【パート2：経済性】 <パネル討論>	セッション3 [15:20-17:30] 「原子力におけるイノベーション」 <講演>
休憩 [15:30-16:00]	サイドイベント（レセプション時のみ） ○福島物産展 ○会員企業・組織による簡易展示
セッション1「エネルギー政策」 [16:00-17:30] 【パート3：気候変動】 <パネル討論>	
レセプション [18:00-19:30] （東京ガーデンテラス 紀尾井カンファレンス）	



今井 敬
(一社) 日本原子力産業協会 会長

本年2月の大雪の際に、低い気温のために電力需要が高まったことと、太陽光パネルが数日間にわたって雪に覆われたことなどの要因が重なって、東京電力管内の電力が逼迫し、東電は他の電力会社からの電力融通を受けて停電を回避した。四方を海に囲まれたわが国が再生可能エネルギーの導入を拡大しようとした場合には、その出力変動を国内で吸収するような設備や制度を整備しなければならない。これには大変な時間とコストがかかるので、短期間のうちに大量の再生可能エネルギーを導入し、エネルギーを転換することはできない。このような観点から、先月衆議院に提出された「**原発ゼロ基本法案**」は現実的ではない。

原子力を避け、火力発電に頼り続けるならば、わが国は国際約束の2030年のCO2削減目標を達成できなくなる。地球環境問題と向き合いながら安く安定的な電力を使っていくためには“**再生可能エネルギーと原子力の共存**”こそが不可欠であり、再生可能エネルギーの導入を拡大すると同時に、**安全が確認された原子力発電所をしっかりと運転していくことが重要である。**さらに、**2050年のCO2の80%削減目標達成のためには原子力発電所の新增設が欠かせない。**

再稼働の状況を見ると、大飯発電所3号機と玄海原子力発電所3号機が運転を再開したところであるが、この2基を含めても、新規規制基準をクリアして再稼働に至ったプラントはわずか7基に過ぎない。また、規制をクリアした原子力発電所が裁判所に運転差止めを命じられた事例がいくつか発生している。わが国の原子力発電所の安全対策は、震災の経験を踏まえ格段に向上している。**早急に、新規規制基準への適合性審査を進めていただき、既存の原子力発電所を最大限に活用していただきたい。**

東海第二発電所の審査は、運転開始から40年を経過すると、審査の結論が出る前に運転期間が終了、廃炉が確定する。このような合理的ではないルールは早急に見直していただきたい。

わが国の技術や知見は諸外国から大いに期待されており、英国やトルコのプロジェクトには、日本のプラントメーカーが積極的に関わっているところである。**様々な困難を乗り越えてプロジェクトを成功させていただきたい。**

原子力が未来を担っていくためには、**設計から始まって、建設、運転、メンテナンス、廃止措置などを支える、人材の確保、育成が重要**である。

優秀な人材を確保するためには**原子力の価値や果たすべき役割、将来のビジョンなどを明確にし、広く社会に発信していく必要がある。**そして確保した人材を育成していくためには、何よりも**生きた現場が必要である。**新技術の導入によって、**原子力技術がより魅力的なものになれば、優秀な若者が原子力産業を目指すきっかけになるものと期待する。**



平木 大作
経済産業大臣政務官

東日本大震災から7年経った今、改めて福島復興と再生への思いを強めるとともに、責任あるエネルギー政策を実行していくことの重要性を強く認識した次第である。本日は三点申し上げたい。

一点目は、東京電力福島第一原子力発電所事故は原子力政策の原点であり、**福島復興と福島第1発電所の廃炉・汚染水対策は経済産業省の最重要課題である。**避難指示区域等においては、解除の進展や学校再開など帰還に向けた環境整備が進んでいる。また、官民合同チームを通じた、事業・なりわいの再建や、福島イノベーション・コースト構想に基づく新たな産業基盤の構築に向けて、全力を尽くしている。廃炉・汚染水対策については、**炉内の状況把握が進展するとともに、凍土壁など重層的な対策により汚染水発生量が大幅に低減するなど、取組みの効果が着実に現れている。**昨年9月に改訂した中長期ロードマップに基づき、安全かつ着実な廃炉・汚染水対策を実行していく。

二点目は、**原子力に対する社会的信頼の獲得について。**震災後、国内の原子力発電所が停止する中で、電気料金の国民負担が震災前に比べ増加していること、電力由来のCO2の排出量も中東一国分の年間排出量を超える規模で増大していること、エネルギーの自給率も8%程度と著しく低下していることなど厳しい状況に直面している。こういった現実を前にすると、原子力は必要ないという議論は、真に責任あるエネルギー政策とは言えない。

こうした中で、安全最優先で原子力発電所の再稼働を進めているが、他方で原子力に対して厳しい声があることも事実である。このような声から逃げることなく、官民挙げて国民の不安に真正面から応え、原子力利用の社会的な信頼を獲得していくことが重要だ。このため、**産業大で知見を結集し、新規規制基準への適合にとどまらず、さらなる安全性向上に向けた自主的な取組みや情報の発信を進めていくことは大変重要である。**必要な施策を積極的に実行していきたい。

三点目は、**原子力の安全を支え、原子力の未来を担う技術・人材について。**原子力発電所の長期にわたる稼働停止や廃炉という環境変化が生じる中で、原子力の安全を支える熟練した技術を持つ人材の高齢化・減少は喫緊の課題となっている。こうした課題に対応するためにも、**生きた経験を積むことのできる「現場」を連続的に確保していくことが極めて重要である。**

また、安全性のさらなる向上はもちろん、再生可能エネルギーの拡大への対応など多様化する社会的な要請に応えるため、**世界では民間主導のイノベーションが加速している。**我が国においても世界水準の技術を維持し、さらに発展させていくための取組みを進めていくことが必要である。



「原子力エネルギー：複雑な将来をナビゲートする」

ウィリアム・マグウッド

経済協力開発機構 原子力機関(OECD/NEA) 事務局長

COP21は気温上昇を2°C未満に抑えるための方策を開発することで合意したが、CO2排出量を減らすことは、その殆どがエネルギーをどう使うかどう減らすか、にかかっている。国際エネルギー機関(IEA)の「2°Cシナリオ」では、経済的観点から言えば、COP21の目標を満たすための最善策は全ての電源の活用が必要であることが示されている。この分析で、約500基の大型原子炉を建設することが必要となるが、今の環境を考えると、経済性の問題でかなり難しいであろう。NEAの解析では、均等化発電原価で見ると、他の電力源と比較してもコスト競争力に遜色はないが、原子力は最初の資本コストがかかり、それが不利に働いていることがよく指摘される。**競争原理が働く電力自由化が進む現在の環境下では資金繰りが大変困難で、国の関与がかなりない限り、殆ど不可能とさえ言える。**

軽水炉の基本的な技術は周知の技術で、世界中で軽水炉の安全運転の優れた実績があり、かつ各国間でその経験が共有されている。**原子力は信頼性が高く大規模送電が可能、かつゼロエミッションであることから、CO2排出量削減の有力なオプションの一つである。**原子力発電の問題は高コストな点。大型の軽水炉と同規模のガスタービンを比較すると、要員や規制、コストの点、いずれにおいても負担は大きい。また廃棄物の問題があるが、技術的ではなく社会的・政治的な問題である。

このような問題を解決するためには、**原子力のイノベーションが必要だ。固有の安全性に加えて、本質的にコスト効果が高いものにし、今日の市場に即した柔軟性が必要だ。**大切なことは、今変わりつつあるエネルギーシステムのなかで、原子力がどのような位置付けを確保していくかだ。

原子力は可能性を秘めている。例えば第4世代炉だが、これも実験室レベルから実用レベルまでスケールアップすることは難しい。規制面にも課題がある。規制当局がイノベーションをどのようにして支援していくかは、NEAが各国の規制当局との話し合いのなかで取り上げつつあるテーマだ。**イノベーションを進めていかなければ、原子力の長期的な将来はない。**開発にはコストや時間もかかるからこそ、**NEAは原子力技術のイノベーションを支援すべく、各国の研究者、産業界、規制当局を巻き込み、「原子力イノベーション2050」を開始した。**この先、どのような技術が必要となるのかニーズを調査し、規制当局も含め多国的、かつ集团的に一致団結してイノベーションを支えていこうという話をしている。今取り組んでいるテーマは、事故耐性燃料(ATF)や第4世代炉、先進的なリサイクリング、受動的安全などだ。

小型モジュール炉(SMR)は場合によっては、原子力を大きく変える可能性を秘めている。設計の点で非常に有望なものもあり、コストや品質、信頼性、柔軟性の面でもかなり高い。今後10年程度で市場に出てくることを期待する。



「核融合で遊んだ少年」

テイラー・ウィルソン
米国核物理学者

私は10歳の時に原子力の光に打たれた。自然、数学、科学に適した資質を持っていたのかもしれないが、原子科学、物質、エネルギー、私はこれを何とか私の分野に取り込んでいきたいと思い、そして14年後のいま、それに組み続けている。

12、13歳の頃には核融合の装置を作りたくなった。**核反応を自分のガレージで実現させたかった。14歳の時に慣性静電核融合の実験に成功した。**静電気を使って核融合を発生させる仕組みだ。最初に行ったイノベティブな技術はチェレンコフ検出器だった。この検出器を使って、中性子を補足して量子を多く出すようにすることで主にプルトニウムを検出できるようにした。これまでのシステムより何桁も安い値段でできるものを開発したのである。

現在3つ行っていることがある。ネバダ大学の教職、プロメテウスという会社、それからコミュニケーションアウトリーチ活動で若い人々への働きかけだ。例えば20人の若者にきっかけを与えてそれによって各々が活躍してくれれば、私が一人でやるより何倍も成果は多い。**若者が科学に興味を持つというのが、我々人類が直面している問題、人口増大、エネルギー需要の増大、環境の変化、資源の枯渇、あるいは病気に対する答えに繋がる。**

現在私の会社が注力しているのが**原子炉「モジュラー型受動的安全原子力電池」の開発だ。**いずれ電力会社で使うことになると、核拡散抵抗性、安全性、経済性があるものである。現在の原子力業界では何十億ドル以上もかかる原子炉建設のリスクや高すぎる設備投資、技術設計の標準化等が課題になっているが、**求められるのは固有の安全性を持つ小型の原子炉ではないか。工場で作れるような原子炉だ。**共通の設計、建設のライセンスを持ち、必要なところに出荷できるようなサイズのものということだ。規模としてはおそらく50MW以下のものだろう。宇宙での利用がひとつのカギとなる。人類の宇宙開拓の原動力は原子力ではないかと思う。やはり、原子力が密度の濃いエネルギー源であることは間違いない。宇宙船を推進するものかもしれないし、着陸してからの動力源かもしれないが、放射性同位体を使用した発電機を利用していくということだ。一旦、太陽光が届かないところまで行く、あるいは地球から離れたところまで行く、それでもなお電力が作れるというような状況を考えると、小型の15~20MWの原子炉、あるいはもう少し小型かもしれないが、それを利用して到着先での動力や帰路のための動力源であるとか、酸素を提供するなどに使えらると思う。

私はこれまで生涯をかけ、わくわくしながらやってきた。原子力科学の将来に関しても私は大変楽観している。これにより宇宙に飛行でき、地球上の生活もよくなると確信している。明るい未来が我々の前に広がっていると思う。私自身とその世代はそうだと信じている。

「エネルギー政策：エネルギー安全保障」

セッション1は、エネルギー基本計画の見直しを受け、世界のエネルギー事情や海外の経験・見方を共有しつつ、3E（エネルギー安全保障、経済性、気候変動）の観点から、原子力の役割やその競争力について議論することを目的とした。パート1では、激動する世界のエネルギー地政学の中で原子力が果たすべき役割を再認識し、日本が取るべき道について考えた。



吉崎 達彦（モデレーター）
（株）双日総合研究所 チーフエコノミスト

「地政学リスク」という言葉がはやりとなっているが、今の地政学—「ポストグローバル時代の地政学」—では、①国家の視点に立つこと、②人間の力では変えることのできない地理を考えること、③戦略を検討すること、④ナラティブ（物語、人々の感情のようなもの）が影響を与えるようになっていること、と指摘されている。

日本のエネルギー部門は、こういう地政学の時代にどのように対応していけばよいのか。①については、エネルギーほど地政学がずっと生きてきた分野はなく、ほとんどの場所において国家が中心である。エネルギー産業は多くの場合、国有企業や国家プロジェクトであり、多くの場合国際機関が大きな役割を果たしている。それは、今までのようなWin・Winの考えやグローバリズムの世界観が通用しなくなっているかもしれないからで、**国家レベルでエネルギー安全保障を強化していかなければならない。**

②に関しては、**資源の入手先を多様化すること。**化石燃料で言えば、中東に依存していることなどを一つ一つ見直す必要がある。

③について、難しい時代において大事なことは基本に帰ること。つまり**エネルギーミックスであり、なるべく色々なカードを手元に残しておくこと**に尽きる。そこで、**原子力発電への再投資がどうしても重要になる。**時にはコストの原理とは違うかもしれないが、安全保障のためにその戦略が必要になってくる。

④に関しては、特にここ数年を考えたとき、ポピュリズム的なものに対していかに対抗していくかが大きな問題になる。現在、原子力産業にとっては、脱炭素の動きは追い風と考えてよい。一方、規制緩和や、日本では人口減少等も長期的に見れば、逆風ではないだろうか。そういう諸々な**ポピュリズムに負けないう、原子力をいかに維持、発展させていくか**が大きなテーマではないか。





松野 大輔

経済産業省 資源エネルギー庁
原子力政策課長

エネルギー政策を全般的に考えるに当たり、原子力はどのような位置づけにあるべきか。2年半程前にエネルギーミックスを決定した当時、基本的な哲学、エネルギー政策を考えるに当たって一番大事にしなければならないことは何かを議論した。それがいわゆる**3E+S**で、**その中で最初に出てくるのがエネルギー安全保障**であり、エネルギー自給率を指標にすることになった。1桁台に落ち込んでいたものを25%ぐらいにしようという目標を置いた。

電化率の推移についていえば、これから2030年にかけて電化率が50%を超えるという分析もある。資源をいかに安定的に**電気エネルギーに転換し、国民に安定的、継続的に供給するか**というところまでやって初めて本当のエネルギー安全保障であり、つまり**エネルギー安全保障を進化させていく必要**がある時代に入ってきた。足元で起こっている再生可能エネルギーの導入拡大が進めば進むほど、電気の安全保障が非常に重要になってくる。エネルギー情勢懇談会では、2050年を見据えた政策を考えるに当たり、世界はどのように動いているのかを考えている。この中では「エネルギー技術自給率」という言葉を使っているが、エネルギーを電気に変える、使える形に変えるための技術が国内にあるのかという問題を解決しなければならないのではないかと議論している。

日本の歴史を振り返ると幾度となくエネルギー安全保障について危機が訪れてきたということを再度肝に銘じる必要がある。さらなる電化が見込まれるため、新しいエネルギー安全保障の在り方、その中での原子力の位置付けはますます重要になり、**技術エネルギーとしての原子力について、その技術や人材を日本でいかに保持していくのか**が、エネルギー行政に課せられている課題である。



エサ・ヒバリネン

欧州原子力産業会議(FORATOM) 副理事長

欧州委員会ではエネルギー安全保障の5つの目標を立てた中に、「エネルギー削減と域内の生産増」「域内のエネルギー市場の形成」「エネルギー供給国内のセキュリティの担保」「EU域外でのエネルギー議論での発言におけるワンボイスの強化」がある。**安全保障、団結、信頼という3つがキーワードで、それらにより欧州のエネルギー安定供給が担保される**。EUにおけるエネルギーは「共有された責任」と言われる。例えば環境、排出など域内の市場、競争、政策はEUレベルでの事項だが、エネルギーミックスを決めるのは加盟国それぞれである。

EUのエネルギー政策において、原子力は重要な役割を果たす。CO2排出量が低く、価格も比較的安く、燃料は幅広く入手することができ、安定供給が容易という利点がある。原子力による発電の安定性が、特にエネルギー安定供給という意味では大きな利点である。

長期的に考えて、特に**安定供給、供給のセキュリティに対し、業界として着目**していかなければならない。

原子力が将来生き残るためには、幾つか重要なポイントがある。まず、運転だけでなく使用済燃料の管理も含め安全でなければならない。気候変動を緩和するためのプライオリティをつける必要がある。明らかに原子力の果たす役割は重要である。

電力市場においては、原子力を他の技術と平等に扱うことが求められる。原子力のコストに関しては、より標準化、あるいはハーモナイゼーション、あるいはよりシンプルな設計を用いることによって利益を受けることができるだろう。プラントに関していえば、「大きいことが最もよいとは限らない」という時代になっていくのかもしれない。

<パネリストの主な意見>

◇欧州のエネルギー安全保障をめぐる実情について

- ・欧州のエネルギー安全保障は、欧州レベルで考えるということだが、他方で、エネルギー安全保障の問題は、最後は国家レベルが判断すべき問題ではないか。欧州レベルと国家レベルでのコンフリクトはどのように欧州の中では調整されるのか。
- ・例えば、安定供給保障については欧州全体の部分でいろいろな駆け引きがある。どの国も自らは輸出側に立ちたいが、市場では皆が輸出するということはある得ない。フィンランドでは20%ほどの電力を輸入している。輸入するよりもコストが倍かかっても国内で作ったほうがよいと主張する政治家もいるが、それは供給の安全保障があるからである。**原則としてエネルギー安全保障はEUレベルで決め、域内市場が機能しているため、全てのエネルギーが自由に流れるはずで、国レベルではうまくいくはずだ**という論法になっている。しかし、少し理想主義的なところはある。
- ・ドイツの電力が非常に不安定で電力が余ると他の国に売らねばならず、その点コンフリクトは起きていないのかとの点だが、電力は国境なく自由に国の間を流れて、通常は、時間単位で北欧諸国も欧州の大陸国とやりとりをしている。北欧の場合には風力や太陽光は少なく水力が多いため、発電量を調整できることで安定度が高い。要するに、ドイツから出てくる電気があるかと思ったら、次の時間にはドイツに入っていくようになっているという繋がりがあるから、ドイツはそれでもやっていけるという側面がある。

◇電化率の高まりについて

- ・欧州では最終エネルギー消費の半分が冷暖房で、運輸が30%、残りの20%程度が電力。それに対して日本は2倍だが、なぜ電化率が高いのか。
- ・電化率は都市のシステム、暖房需要に代表されるようなライフスタイルが大きく影響する。そういった点が、だいぶ欧州と日本では違うということだろう。また、日本では産業部門、特にサービス業での電化率が大きく上昇している。
- ・**欧州でも電化率は上昇傾向にあり、逆に増やそうという努力も払われている。**特に運輸セクター、例えば電気自動車が進んでいることもあって、余計に上がっている。冷暖房は欧州北部や東欧では、基本的には地域暖房、セントラルヒーティングだが、電化率は上がりつつある。電化率は20%ではあるが、政治的な関心の8割はそこに向いており、欧州ではそういった数値を見るようになっている。

◇イノベーションについて

- ・特別講演のマグウッド氏からもっとイノベーションが必要だという指摘があった。欧州はいろいろな選択肢があって、エネルギー同盟という形もとっているが、その上で次の課題はなにか。
- ・日本に対する見方として、**最大のイノベーションは、恐らくエネルギー消費の側であろう。デジタル化が進み人工知能を消費の側で活用することによって、一番大きな変化が表れてくる**のではないかと。消費者が市場に参画をする、柔軟性がそこで増すということであろう。

<パネリストの主な意見> 続き

◇安全保障と選択肢の多様性について

- ・日本は安全保障といっても選択肢が少ない。欧州はいろいろな選択肢があり、その中で新しいことも試しているという印象だが、そのような中で、日本政府としてどう考えていくのか。
- ・最も重要な部分である。欧州は非常に選択肢が多い。例えば、欧州全体で考えれば石炭、ガス、原子力、最近だと再生可能エネルギーなど非常に多様なエネルギー源があり、エネルギー効率化の方法についても、いろいろな国や企業のアイデアが欧州全体で見れば非常に多様になるのだろう。エネルギーの生産地についても、**欧州域内でいろいろな選択肢を選び組み合わせながら、エネルギー安全保障を多重的に考えられる。**一方で、**日本は自分で立っていかなければならず、資源がない分技術で努力するしかない。**技術は一朝一夕には生まれず、一度捨ててしまうと取り戻すのに大変な時間がかかり、場合によっては取り戻すことができない。間違えないよう対応していく必要がある。
- ・欧州は日本より多様化しているが、プラス面でもありマイナス面でもある。機能する域内市場を作ろうとしてはいるが、ルールは1つしか適用されない。加盟国がそれぞれに電力あるいはエネルギーを自国でどう作っていくかを定めることはできるが、電力取り引きはそんなに簡単ではなく、政策が違うとなかなか厄介である。**最大の課題は加盟国間の安定供給、セキュリティに関する信頼感だろう。**手頃な値段で入手できるかという問題もある。つまり、エネルギー価格は、小売市場や一般の消費レベルでは、税制あるいは再生可能エネルギーへの補助金など、国によってかなりの差がある。

◇国および産業の立場で今後必要となるものについて、原子力産業に対する期待について

- ・エネルギー安全保障の問題は、本来的には政府の責任だろう。しかし、昨年夏に原子力政策課長となってから全国の発電所を回り、話をいろいろ伺ったが、どの方も国のために自分の仕事はあるということを語っていただいた。日本の現場力には、非常にすごいものがある。足元の技術のみならず、考え方や気持ちにおいて厚みを感じる。**足元のエネルギーセキュリティの危機という点では、原子力産業を担う方々の技術、人材、ノウハウが、少しずつ失われつつあることが最大の問題だろう。**これをいかに食い止め、将来につなげていくのか。日本の原子力産業と原子力政策が、**イノベーションにもう一度チャレンジしていくべき瀬戸際ではないか。**そのチャレンジが成功しない限り、日本のエネルギー安全保障は保てないだろう。政策としてもしっかり後押しするように頑張っていきたい。
- ・技術開発や運転の分野で、企業および政府との間でより緊密で実務的なレベルで協力していくことが必要だろう。原子力は極めてグローバルなことから、不可欠なのは、安全面でもコスト面でも従来以上に緊密な協力を、**プラント設計、標準化において進め、それによって将来的に競争力維持が必要**だろう。

<モデレーター総括>

日本のエネルギー安全保障は大変だという事情と、民間は本来は経済性重視だが、原子力の現場においては、一人一人がその安全保障を考えて国のためにやってくれているという発言が印象に残った。欧州については、エネルギーを巡って国の事情とEUの政策が違って、互いがウィン・ウィンだと思っており、決してゼロ・サムになっていない。EUの中は地政学になっていないというところが、日本から見てもうらやましい点だ。

「エネルギー政策：経済性」

パート2では、原子力の「経済性」をテーマに、我が国の電力市場の自由化が進む中、原子力を一定水準維持していくためには何が必要かについて、海外の経験を共有しながら、経済的観点から議論した。



市川 真一(モデレーター)

クレディス・スイス証券(株) チーフ・マーケット・ストラテジスト

エネルギーコストについて発電単価を中心に議論が行われているが、**エネルギーコストを単純な発電単価のみで語るのは危険である。**地球温暖化、資源の乏しい日本、そしてエネルギー価格の逆進性を取り上げたい。

産業革命が大きく進捗したこの100年強では、人類による温室効果ガスの排出量と地球温暖化の間には強い相関関係がある。この100年間のCO2排出の要因は、明らかに化石燃料の大量消費の時代に入ったことである。戦後50年間では、年平均で2.4%ずつ排出量が増加している。例えば10年間、毎年2.4%ずつ排出し続けると、温室効果ガスは10年前と比べて26.8%増えるわけであり、2.4%という数字は深刻なペースと言える。マーケットの世界では地球温暖化を炭素の排出量価格で評価するが、それはあくまで我々が、炭素の問題をコントロールできるという前提に立った話であり、**地球温暖化を抑止し、化石燃料の利用を可能な限り抑制しなければならないフェーズ**に入ってきている。

資源の乏しい日本について。中東からの石油やLNGが通るルートは我々にとって非常に重要なシーレーンである。この**シーレーンを守ることに加え、エネルギー調達地域の多様化をしっかりと進める必要がある。**シーレーン上で日本のタンカーの運航を阻害するような事態が起こった場合、日本経済が大混乱に陥る。**自前のエネルギー源を確保し、調達先を多様化すべきである。**

エネルギーは税金と異なり、極めて逆進的である。例えば、恵まれた経済的環境の中でソーラーパネルを引いて、フィード・イン・タリフ(FIT)でそれを売電し、収入を得ている人の収入の源泉を、自宅にソーラーパネルを引けない世帯が負担するという、極めて社会正義に悖るような事態が起こりかねない。エネルギーの議論は単価だけではなく、低所得者世帯の負担等も十分に考えて、議論をしていかなければならない。

環境、安全保障、逆進性の3つの視点から問題を考えなければ、エネルギーの価格を軽々に論じることはできない。



遠藤 典子
慶應義塾大学 大学院 特任教授

原子力を取り巻く環境は依然として極めて厳しい。再稼働は遅れ、安全対策投資額は2017年の中頃には4兆円を超えた。稼働率によって収益が大きく変動するが、その低下に加え、安全対策投資や社会的な費用が上乗せられて、コスト膨張の傾向にある。一方で、自由化政策の下、原子力事業の資金調達コストは極めて大きくなる。

現在のエネルギー基本計画の原子力比率は2030年に20%~22%の目標が定められているが、30基が再稼働し、稼働率は80%でなくてはならない。2050年以降も原子力発電が必要だとすれば、リプレースが必要になるが、**どういう炉型を持ってくるのか、資金調達はどのようにするのか、政策的措置が明確でなければ、誰も踏み出さない。**

廃炉を安定的に行えるのかということも1つの大きなミッションになる。現在運転中の原子炉の廃炉は共同で進めればよい。

自由化により電力事業者の収益は厳しい状況になっている。総括原価方式のもとでは、自己資本を薄くし借金をして事業を回すことが一番効率的だったが、福島第一事故のようなテールリスクを見た原子力事業者の自己資本は、100%でなければマネジメントできないのではないかとの問題意識がファイナンスセクターから挙げられている。

原子力発電維持には、安全投資を継続する一方で、事故リスクへの備えを可能にする強い財務基盤が必要である。事業予見可能性を確保するための政策の長期的なコミットメントがないと、誰も投資をしない。公社化についても議論を始める必要があるのではないかと。経済性があるため国策民営でやってきたが、安全保障、温暖化対策は国の政策そのものである。経済性が厳しくなる中、民間が付き合う根拠が必要になるし、原子力事業者自体も強くならなくてはならない。そのためには、**再編や統合が必要となり、それをバックアップする法律等の政策的な支援が必要である。**



エドワード・キー
ニュークリア・エコノミクス・コンサルティング・グループ CEO

原子力と自由化市場とは相性がよくない。規制下で、公共事業としての原子力発電は基本的に垂直統合され、料金を通じてコストを回収し、長期計画でやり繰りするという形だが、自由化された中では、一般的にはまず発電が分離される。財務的に切り離され、市場取引される。短期的スポット市場で給電を行い、卸価格を設定することになる。そのような市場では長期的計画は全く考えられない。理論的には市場の価格にシグナルが出て、必要な新規の発電投資が行われるということだったが、米国ではそうになっていない。結果、原子力発電所が閉鎖に追い込まれている状況である。世界的には政府規制下のモデルで原子力発電所がつくられてきた。現在建設中の発電所も基本的にそのモデルである。

昨年、米国エネルギー省の委託で原子力発電の価値分析を行ったが、**米国では、全ての原子力発電所は社会、電力会社、市場にとって、そのまま維持したほうがよいとの結果**だった。閉鎖してガスコンバインドサイクルに切り替えるよりは、原子力を使ったほうがよいということである。

社会としては既存の原子力発電所を継続運転したほうがよいが、市場の価値が低すぎて閉鎖されてしまう。国、世界、社会にとって価値が高い原子力発電所が閉鎖に追い込まれている。事業者が大赤字だからである。ではどうすればよいのか。**一つは規制下に戻し自由化をやめること**である。あるいは、**短期的スポットだけでなく、市場以外で別の収益があるように容量に対する報酬を手当することもできる。**米国では州政府がかなりの発言権を持っている。各州で電力事業者を規制しているため、州政府が原子力を生かし続ける努力をしなければならない。例えば、再生可能エネルギーを支援しているような形で原子力も支援してはどうか。

<パネリストの主な意見>

◇地球環境、COP21パリ協定の観点からの原子力

- ・日本だけではなく、米国でも原子力業界は非常に厳しい状況に置かれている。トランプ政権は既にパリ協定から脱退を決めた。原子力についてはどう考えているのか。
- ・トランプ大統領が何を考えているか答えられないが、パリ協定に入らなくても余り変わらない。米国の政治は短期的にしか考えず、価格は大丈夫、排出量は下がっているというのならば、パリ協定に入らなかったとしても特に問題ないというのが単純な発想と考えられる。
- ・最初にエネルギー問題に興味を持ったのは、2007年から08年にかけて中国の環境問題が最初の入口であった。環境問題はエネルギー問題であり、エネルギーはまさに経済合理性、加えて国家安全保障等、多方面にわたる問題であると気付いた。

◇日本で原子力発電を続けていくためには何（リプレース、新規建設、運転寿命延長）が必要か

- ・原子力事業者にとってはリプレースよりも、40年から60年までの延長の方が比較的難易度は低いだろうが、20年延長するための安全対策投資を考え、延長できると思っても、踏みとどまる事業者も多いだろう。民間事業であるため、経済的に事業として継続可能かが問われる。**自由化市場の中で放置されていると原子力は立ちゆかない。政府が原子力を続けていく覚悟を決めるのであれば、その具体的な政策が打たれなくてはならない。**英国でとられているCfD(差額決済契約)のようなシステムや再生可能エネルギーと同じように全量買い取りにしても良いのではないか。あくまで非競争下の電源として確保することが第1番目の条件ではないか。
- ・**既存原子炉の寿命延長は、既設炉のメリットを生かすという点では非常に良い。**米国でも60年までの寿命延長を承認していたり、または80年を目指している発電所もある。この承認を得るための追加的負担はそれほどでもない。事業者にとっては、20年延長は魅力的かもしれない。しかし、実際にアップグレードをして60年承認を受けたにもかかわらず、利益が出ないのでやめるという例もある。**軽水炉は運転できるだけ運転を続けることが望ましい。**
- ・全てを政府が決める体制の構造が上手くいっているのが中国である。我々も、原子力のエネルギーミックスを維持するためには民間でやるのがよいのかといったことも考える必要がある。原子力は市場主義とマッチせず、政府が所有したらよいのかもしれないが、非常に難しい問題である。

<パネリストの主な意見> 続き

◇国の関与を高めた場合の影響について

- ・総括原価方式の時代に日本で言われたことは、電気料金が低いのではないかとのことであった。国の関与を高めた時、価格に対するモラルハザードや国の関与が強いがゆえのテクノロジー面でのモラルハザードが起り得るのではないかとの議論もある。
- ・総括原価方式だから価格が高くなるとは必ずしも言えない。むしろ、総括原価方式は薄い利益を最低限確保する仕組みである。これまで電力会社がやってきたことは、電力料金を下げてきた歴史だった。公社化のことを言うと、国に何ができるのか、国が行うことでモラルハザードが起きるという意見もあるだろうが、逆に民間でやり続けることができるのか。**100年も続くような事業を信用できる主体として残るのはどこかという場合に、もう少し国の加担が必要な局面に来ているのではないか。**
- ・電気事業法が変わり、電力会社は事故を起こした時に経済産業省に申請するだけで倒産できる。そういう意味では、事業者の資産を引き取り、事故の事後処理の仕組みを整えるいわゆる預金保険機構のような機能が必要である。原子力損害賠償・廃炉等支援機構ができたので、そこで通常炉の廃炉を皆で一緒に行い、技術を蓄積する仕組みを作ってはどうか。
- ・原子力は設備コストが高く、長期にわたって回収しなくてはならないため、民間が投資するのは難しく、**何らかの長期的な収益の保証を政府が提供すべきである。**中国のように政府が正しい理由のもとに政策を決め、特別な社会的利点を把握できるような仕組みをつくり、民間ができるようにしていく必要がある。

◇原子力のバックエンドの課題について

- ・使用済燃料をキャスクで乾式貯蔵をし、何百年も置いておくことは、コストもかからなく、安全であり、様々なオプションを保持できる。埋設処分ではできないメリットがある。**中間貯蔵が恒久的なソリューションだと考える。**
- ・今のままだと、日本の原子力には先見性がない。最終的には、ドライキャスクに入れて発電所内貯蔵するという事かもしれないし、オンカロのように深い穴を掘って貯蔵することかもしれないが、それに対して、原子力を主要な電源の1つとして位置づけている国の方針が見えていないところに、原子力そのものに対する不信感がある気がする。

<モデレーター総括>

エネルギーのコスト、特に原子力に関して、**単純に発電原価だけで語るということは非常に危険で、より多角的な側面から考えなければならない**ということは、パネリスト3人に共通した意見であった。

資源に乏しい日本の場合は、例えば、ドイツ等の例と単純に比較するのは非常に難しい。ドイツの場合は、隣に原子力大国フランスがある。また、石炭のあるドイツと日本を単純に比較してドイツを学ぶべきだといったような議論は、非常に危険である。

原子力を続けていく上で、政府の関与をさらに高めていくために、公設民営や国有という考え方もある。**国の規制または法制の中で、より明確に原子力政策を打ち出していく**というような方法論はあるだろう。

「エネルギー政策：気候変動」

パート3では、温暖化防止の中で原子力が果たし得る役割について、改めて冷静な議論を行った。



有馬 純(モデレーター)
東京大学公共政策大学院 教授

日本の2030年の電源構成は、COPパリ協定に先立ち日本が出した約束草案の底流をなすエネルギーミックスで、原子力は20～22%である。自給率の回復、電力コストの引き下げ、他国に遜色のない温室効果ガス削減目標を念頭に策定された。原子力を再稼働することで、原子力の停止により非常に増加した化石燃料の輸入コストを節減し、再生可能エネルギーを増やすことに伴い増大するFITのコストを吸収していくというよくできた設計になっている。**電力コストの増大を防ぎながら再生可能エネルギーを拡大するためには、原子力の再稼働が不可欠であるということは自明である。**

日本は、2030年の温室効果ガス26%削減目標を超えて、2050年80%削減という非常に野心的な目標を掲げた。達成のためには、2013～30年までの削減年率は1.6%だが、2030～50年までは年率7%の削減が必要。非常に厳しい目標である。そのような中で、今のままでは原子力が次々に運転期間を終えて減っていく。**20年寿命延長すればその分運転期間は延びるが、新增設の議論に背を向けたままではいずれ日本の原子力はなくなってしまう。**長期にわたる温室効果ガスの削減に真面目に取り組むならば、このままの状態を放置すべきではない。

IEAは**2017年世界エネルギー展望(WEO)**の中で基準シナリオである新政策シナリオに加えて、**パリ協定と整合的な持続可能シナリオ(SDS)**を出している。日本については、発電電力量の32%を原子力で賄うというシナリオが出されている。**すなわち、再生可能エネルギーだけではなく原子力もシェアを拡大する必要があるというメッセージが出されている。**

日本のような国にとり、原子力は3Eに取り組むために非常に重要な手段の1つである。2030年の約束草案を実施するならば、原子力の再稼働が不可欠であり、2050年およびそれ以降に温室効果ガスの長期削減を図っていくには、原子力発電所のリプレースをきちんと議論しなくてはいけない。**日本のような国には原子力も再生可能エネルギーも必要なのである。**

原子力オプションを温暖化対策として維持するためには、政策、規制、さらに事業環境の整備が必要になる。原子力に関する明確な政策的方向性、また自由化市場において原子力投資を確保するための政策的なインセンティブを含む事業環境の整備、さらに合理的な原子力安全規制、原子力損害賠償法の見直しなど課題が山積している。これらに取り組むためには、何よりも強い政治的な意思と政治的な資源が必要になってくるが、今の日本に一番欠けているのはそこかもしれない。



ピーター・フレーザー
国際エネルギー機関(IEA) ガス・石炭・電力
市場部門長

電力部門の脱炭素化について、世界エネルギー展望(WEO)においては、新政策シナリオでは、石炭の比率が2040年まで右肩下がり、天然ガスは変わらず、石油はさらに減少し、化石燃料の割合が約65%から約50%に減少する。残り50%の内訳は、原子力と再生可能エネルギーであり、再生可能エネルギーはどんどん増加し、原子力は10%を維持と見込んでいる。一方、実際に2040年までに相当量の排出削減を実現するシナリオというのがSDSである。SDSでは、2040年に化石燃料が4分の1以下にまで落ち、75%は化石燃料以外であり、当然再生可能エネルギーが増加するが、原子力も15%に比率を高める必要がある。**供給側では、再生可能エネルギー、原子力、そしてCCSという3つ全て動員して、2040年に2度上昇に抑えることができることになる。**

2010年の段階では、2040年までに原子力は全体の8%、CCSは19%、排出削減に貢献すると考えられていた。しかし、再生可能エネルギーは価格がかなり下がってきており、将来のエネルギーミックスに対する再生可能エネルギーの寄与度が随分変わる。以前は21%と考えていたが、現在は36%を期待している。原子力の寄与度は6%と以前の8%から低下しているが、**原子力の6%は発電量としては相当量**で、現在世界の設備容量は413GWだが、SDSシナリオでは、運転終了分の119GW分をカバーして**さらに426GW増やさないといけない。どれだけ早く排出削減ができるかは、世界の既存原子炉の運転期間にも関わってくる。**

今後、特にエネルギーシステムの脱炭素化には、再生可能エネルギーだけでなく原子力もCCSも効率化も、全て必要である。



ベン・ハード
環境NGO「ブライト・ニュー・ワールド」代表

環境と原子力発電を考えるときに、まず**環境の側面から何を求めるのかを考える**べきである。どういう未来を作ろうとしているのか、日本は何を求めると、世界中が何を求めているのか。

地球上には約70億の人口がいるが、持続可能性のためには人口増加を抑えることが重要である。人口の成長鈍化は、経済成長と深く結びついている。**喫緊の課題は、人口問題に対応しながらエネルギーをどうするかである。**貧しい人たちが豊かになれるようにしなければいけない。環境系の団体等は、40~60%程度一次エネルギーが縮小すると見込んでいるが非現実的である。この数字に目を奪われた結果、100%再生可能エネルギーに目が向いている。再生可能エネルギーの一種に数えられているが、実はそうではないものは、水力とバイオマスである。南米のアマゾンの辺境にある熱帯雨林で、900MWのダムを作るのに必要な面積は95平方kmであり、原子力発電は、面積は1.4平方kmで済み、面積効率性は604と水力の63倍の効率である。

一方で、私たちは燃料源として危険なものを受け入れ続けている。例えばバイオマスは、大変容量が大きく、大気汚染や健康被害をもたらす。大気汚染が一番危険なものである。しかし、多くの国が化石燃料を燃やし続けており、結局その負担は自然に担わせている。より深刻な環境問題として、再生可能エネルギーの利用に関わるものもある。

リサイクルはエネルギーの集約度が高い。世界中の色々なところで、本当はまだ使えるリソースがあり、活用しきることが本当に持続可能な未来である。**将来は、エネルギーを非常に集約的に使う、そしてクリーンで科学技術を使って自然を保全することに使うべきである。**そのビジョンに対して、原子力はぴったり適合する。

<パネリストの主な意見>

◇反原子力の環境団体等の原子力理解を得るには

- ・分析結果を見せ、あらゆるアプローチが必要で、非常に難しい目標を達成するのに今ある手段の内の1つを放棄してしまうと、それだけ目標達成は難しくなるという論調を張るべきである。まず原子力をやめて、それから化石燃料を減らすという戦略よりも、まずオンタリオ州の実例的な例を見せて、これより良い案があるかと投げかけることだ。
- ・例えばオーストラリアは、完全な送電網があったとしても非常に大きな国土で、風力や太陽光がリソースとしてあるが州によって違う。すると、せいぜい40%ぐらいしか変動する再生可能エネルギーは使えない。それ以上はベースロードとして原子力を使うことが必要となる。島国で近隣国のグリッドへの接続もない日本では、そういう議論はかなり説得力があるのではないか。
- ・全体的な戦略として何を望むかが問題だ。太陽光が送電網接続されると石炭を減らすことができると考えるが、オンタリオの例として、ソーラーパネルを屋根につけても石炭でなく天然ガスがなくなるだけだ。するとCO2排出がそれほど減るわけではない。

◇IEAのシナリオについて

- ・IEAの新政策シナリオ(NPS)と持続可能シナリオ(SDS)の違いの説明で、SDSでは再生可能エネルギーの比率が36%、原子力が6%という数字があがった。原子力の役割はIEAよりもっと高い数字を考えられるのではないか。
- ・将来については、基本的に過去がどうだったかを現実に見るべきである。気候変動がまさに喫緊の問題だということであれば、例えばフランスやスウェーデン、オンタリオの例を見て石炭を減らす、英国のように洋上風力や原子力を重視する方向性もある。それらを見ていくと、明らかに、電力からの温室効果ガスの排出をほとんどゼロに近くすることができるという証拠がある。
- ・CCSは原子力よりも削減効果があるということになっているが、モデリングの問題ではなく技術として考えるべきである。原子力という既に実績のある技術よりも、大きな貢献が期待されているというのはおかしい。
- ・かなりの再生可能エネルギーが電力網につながると、様々な発電に対する需要も変わってくる。米国市場の場合、天然ガスが安いので電力卸売価格が下がっている。原子力はもう少し柔軟性を持たせ市場指向型に動かす必要がある。原子力技術も設計のときにそういうことを考えて作り込む必要がある。
- ・そもそも、限界コストが低く柔軟性を持った供給が常に良いと考えていいのか。例えば変動性のある電源は変動性の部分は自分たちで責任を持つということに持っていく必要があるのではないか。変動性のある再生可能エネルギーが自分で解決することが重要なのであり、天然ガスによって変動性を吸収するというのであればカーボンニュートラルではなくなる。
- ・単に再生可能エネルギーだけではなく、原子力をやり電力貯蔵も組み入れ、せっかくあるものをフルに使ったほうがよい。原子力と太陽光と風力を使う。特に南オーストラリアなどでは屋上の太陽光パネルはたくさんある。さらに洋上風力や電力貯蔵など、全部上手く最適に組み合わせれば非常に多く炭素の排出削減ができる。

<パネリストの主な意見> 続き

◇自由化市場において大規模な設備投資が必要な原子力発電への措置について

・環境の視点から言うと、**将来のリスクを低減するための1つのやり方は、資本コストを低くし割引率を小さくすることである**。低炭素電力ということ考えた時に原子力は非常に大きな価値を持ち得る。長期間にわたって使われるものは、その間に色々な価値が提供され、低炭素電力を可能にするわけなので、実際建設し、成功して、そして資本コストも低いということを示すことができれば、価値があると政府も気づくのではないか。

・**新規建設の成功経験が重要であるし、既存の発電所を維持することにも価値がある**。これを直接的な形で、炭素税や排出量取引制度のようなものを使うことが難しいとすれば、他に何かソリューションを考えなければいけない。特に炭素を取り除くという価値を認識するべきである。

◇日本政府や産業界に対するアドバイスについて

・世界エネルギー展望(WEO)等を使って、いろいろなオプションが必要だということを示すべきである。気候変動であれ、エネルギー安全保障であれ、オプションをできるだけ多く確保しておくことが大事である。**IEAが示している日本のSDSシナリオは、再生可能エネルギーと原子力の両方が必要**ということで、**原子力を考えていく上で政府にとっても非常に心強いメッセージだ**。

<モデレーター総括>

国内外の環境NGOは、原子力対再生可能エネルギーという二者択一の非常に不毛な問題設定をする傾向が強いが、脱原子力を行って再生可能エネルギーを推進したドイツにおいて、脱炭素化が結果的に遅れていることは周知のとおりである。「**原子力あるいは再生可能エネルギー**」ではなくて「**原子力および再生可能エネルギー**」が必要であるという点は、改めて強調したい。特定の技術をルールアウトすることは考えるべきではない。

大幅な脱炭素化を目指すのであれば、単に現状の原子力を維持するだけでなく新設が必要であるという点、そのためには、何らかの政策的な支援措置が必要だという点についてもパネリスト間で意見が一致した。

日本ではエネルギー基本計画を見直し、長期戦略の議論も行うが、長期の脱炭素化を狙う一方で、原子力新增設の議論はまだ回避されている。しかし、IEAの持続可能シナリオの中では、日本は再生可能エネルギーと並んで原子力シェアの拡大が必要だと言われている。「脱炭素化の目標は大量の新規原子力なくしては達成できない」との指摘をもってセッションのまとめとしたい。



「福島第一原子力発電所の現状と課題」

増田 尚宏

東京電力ホールディングス(株) 執行役副社長

福島第一原子力発電所の労働環境の改善について、現在、全面・半面マスクが必要なエリアは全体の5%程度で原子炉建屋やタービン建屋の周囲に限られており、**約95%のエリアで一般作業服等での作業が可能となっている**。大型休憩所内への食堂の開設など食事の場所が整備されるとともに、新事務本館に隣接して協力企業棟が開設し、協力企業と東電社員が一体となって廃炉作業に取り組める環境を整えることができた。作業員の被ばく線量は、現在月平均0.3mSv程度である。国際放射線防護委員会(ICRP)が定める5年で100mSv、年間50mSvという数字と比べても非常に低く抑えることができている。今後、溶け落ちた燃料にチャレンジするに当たっては線量が高い場所での作業も増えてくるが、被ばく量をしっかり押さえ、長期間安心して働ける現場にしていきたい。

汚染水対策には、「取り除く」「近づけない」「漏らさない」という3つを基本方針として取り組んできた。雨が降ると建物の屋根を通して雨水が入り1日当たりの汚染水が増える。以前は雨の後に汚染水が増えた状況が続いていたが、最近では雨で増えた後にしっかりとコントロールできて汚染水の増加量が低減している。凍土壁をはじめ、舗装やサブドレンの使用など、様々な対策をとってきた効果がようやく出てきている。**今後、建屋の中にたまった汚染水をコントロールしつつ抜いていく作業が必要になる**。中の汚染水を抜いてしまえば、もし津波が来ても建物の中の汚染水が外に出るというリスクがなくなる。**2020年頃までに、その状態にしたい**。

使用済燃料プールからの燃料取り出しは、とくに3号機については、爆発した建屋の大型瓦れきを遠隔操作のクレーンで全て取除いた後、橋桁状の構造物を組んだ上にドーム、中には燃料取扱機・クレーンを設置した。本日(2018年4月10日)も同設備の試験を行っているところである。**今秋には、使用済燃料の取出しを開始し、約2年で完了したいと考えている**。

燃料デブリ取り出しに向けて、1号機ではほとんどが原子炉格納容器の下部へ落下し、2号機では多くが圧力容器に残り一部が格納容器下部へ落下、3号機では圧力容器に1~2割ぐらい残りあとは格納容器下部へ落下しているのではないかと評価している。現在、国際廃炉研究開発機構(IRID)の協力を得つつ、ロボットを使って中の様子を見ているところである。

双方向のコミュニケーションに関しては、この4年間の廃炉責任者として、相手が欲しいと思っている情報をしっかりと発信することが大事だということをつくづく痛感した。**今後、視察受け入れも増やす予定で、現在、毎年20,000人の方に見ていただくための準備をしている**。



「福島イノベーション・コースト構想と地域の活性化 について～新たな価値の創造を目指して～」

小沢 喜仁

福島大学 共生システム理工学類 人間支援システム専攻 教授

地震発生により緊急的に避難した浜通り地域であるが、原子力発電所事故が同時に起きたことで、**事故の収束や除染、賠償問題、生活・なりわいの再建、健康管理という問題が発生し、長期化している。**2018年2月末現在、約49,000人が避難中だが、約180万人もが現在も福島県に住んでいる。自治体によって差はあるが、着実な復旧、経済的な生活の再生も進んでいる。一方、**避難の長期化によって、「コミュニティ・イン・コミュニティの問題」が発生している。**自治体の帰還が進む中で、帰還住民に加え廃炉作業や支援などに関わる人々の移住が増えることによる新たな問題が生じている。

福島大学では、事故後の放射線に関する取組みをもとに、2013年に環境放射能研究所を設立した。2019年4月には、食と農の安全にかかわる食農学類を発足させる。大学として新たなニーズに基づいて変わっていきたい。

イノベーション・コースト構想には、政府主導の取組みとして、「廃炉基盤技術開発」「国際的産学連携ハブの創出」「ロボット研究技術共同実証拠点の創設」「アーカイブ機能の創設」「スマートエコパークの設置」がある。一方、福島県が主体となるのは、「再生可能エネルギー開発」「イノベーションによる営農再開」「医療産業の高度化」などである。「営農再開」について農業は福島県の大きななりわいのひとつであり、また「医療産業の高度化」をはじめ、様々な産業の高度化推進も求められている。大きな機会があるのにも関わらず、地域経済の歩みは遅く受注型ビジネスモデルが多いが、「医療産業の高度化」に関連する中小企業が開発型に変わってきている。

イノベーション・コースト構想には、今年度160億円が用意されているが、企業はまだ様子見の状況である。各企業は非常に高いシーズを持っているが、現在は廃炉やロボット産業、再生可能エネルギー等の分野に関するニーズが生じている。**企業自らがニーズオリエンテッドな発想で変革していく努力も求められる。**

人材育成については、技術開発能力だけでなく、ビジネスとして成立するのかという視点も非常に大きな要件である。中小企業は現在のなりわいを維持・持続することに努力しているが、プロデューサーやマッチングプランナーの関与がこの先も求められる。

各企業の連携を促進していくため、浜通り地域の産業の特徴など情報をオープンにし、市場動向を踏まえた自己変革に取り組むきっかけを地元企業に提供することが重要である。**特に技術開発を必要としている分野について、ニーズを発信してもらいたい。**

浜通りの復興には、「この地域に住みたい」「地域のアイデンティティを大事にしたい」という人の存在が基本となる。こういった人々を真ん中にして、それぞれの社会がさらに大きな形で発展していく未来が、様々な困難を乗り越えた先にあってほしい。



モデレーター 村上 朋子

(一財) 日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 原子力グループ
グループマネージャー 研究主幹

<モデレーターによるイントロ>

セッション2では、プラントサプライヤー各社の国際的な原子力事業の開発・展開について伺いすることとする。

現在、世界では様々な国が原子力の開発を行っており、また原子力発電所の導入あるいは導入検討を進めている国もたくさんある。この状況は、2011年の東電福島第一原子力発電所事故が発生した後も、原子力を必要としている国があるという事実を示している。

そうした原子力技術の開発、導入にかかわり、その技術を支えるプラントメーカーには、原子力の導入を望む国から毎日のように引き合いが来ているとお聞きしている。

数多い開発プロジェクトがあるが、その中には順調に進捗しているもの、そうでないものがあり、全てのプロジェクトが順調に進んでいるわけではない。この事実を原子力事業に携わる者はどのように見ればよいのだろうか。どのような要因がプロジェクトの成否にかかわるのか。

本日は、国際的な原子力市場で事業を展開するプラントメーカーから、各社の戦略、取り組みについてご自身の思いを含め、語って頂くこととしている。こういった話を伺う中で、我々エネルギー・原子力事業関係者がこれからの国際的な原子力事業の展望の見極めを付けられるものと期待している。

<モデレーター総括>

登壇頂いた5名はそれぞれ異なる企業の方々であり、世界で事業を推進するという意味では競合関係にあり非常に微妙な関係でもある。

各社で海外展開の目的は微妙に異なる。「**自社で育てた原子力技術を必要としている国でそのまま役立てて頂きたい**」ということもあるし、特に日本の場合には、「**新規建設の国内環境が厳しい中、まず海外展開を行い、そこで培った経験を国内にフィードバックすることで人材・技術を継承していきたい**」ということもある。

昨今、米国での新規建設プロジェクトが諸般の事情から中止となるなど、国際的な原子力市場は明るい話題ばかりではないが、原子力をエネルギーとして必要としている国がある限り、プラントサプライヤーが様々な場所で技術を磨き、その技術を持続的に育てて頂けることは、日本ばかりでなく世界にとっても大変有難いことである。

今回発表頂いた中で、一番印象的だったのは、「**原子力を導入する国といかに適切なパートナーシップ、良い協力関係を築くか**」という点だ。安全性の達成も、経済性の達成も、パートナーとの協業なしには成り立たない。そのようなパートナーとの協業が、いずれは原子力を導入する国や地域のプラントメーカーあるいは輸出国への信頼に繋がるものと思う。



「英国における原子力発電所新設の取り組み」

吉村 真人

日立GEニュークリア・エナジー(株) 原子力国際技術本部 本部長

日立GEニュークリア・エナジー、日立製作所、日立グループ一丸で、英国プロジェクトに取り組んでいる。現在の技術・人材・サプライチェーンを維持し、次世代に安定的に継承する必要があり、これを可能とする安定した事業見通しの長期的なビジョンを持つには海外に取り組む必要がある。海外原子力開発へのメーカーの関わり方の転機は、2009年UAEバラカの国際入札。従来のように**プラントメーカーが単に技術・設備を持って発電所を建設するだけでは不十分で、政府と一体となった制度整備、当該国の電力事業者が長期安定運転を可能とする運転管理システムの支援等、幅広いソリューション**を与えられないと発電事業の海外展開が難しくなっている。

原子力発電所の建設の案件には、バンクブル(Bankable)なことが求められる。将来にわたり安定的に投資回収の見通しが立てられる案件であることが必要。以下が組み合わせあって初めて実現可能。①当該国が原子力を必要とし政府が導入政策を持っていること、②予見可能な電力市場メカニズムを有し、収益性、回収可能性が安定的に見通せること、③運転を担う電力会社があり経験が蓄積される仕組みがあること、④実証された技術、明確な許認可プロセス、調達・建設管理の経験を持ったプロジェクト実行体制があること。

英国には、政府に明確な原子力政策があり、CfD(精算型固定価格買取制度)もあることから、原子力の長期にわたる売電価格がある程度保証される仕組みがある。こうした中、日立グループとしては、事業者として日本原電、エクセロンとの協力を得て、発電所の運営に対する支援体制を整えてきた。また、実績のあるABWRの技術を採用し、ベクテル、日揮のパートナーも得て、本プロジェクトを成功裏に導きたい。

英国の原子力事業環境は、以下の通り。①長期にわたり原子力を必要とする政策、②現在、設備容量10%程度の既存原子力発電所は今後順次停止の計画、③重要な政策目標として、エネルギー安全保障、脱炭素化を掲げ、再生可能エネルギーや原子力を含んだ経済的競争力のある低炭素電源を推進していく方針。その仕組みとして電気のCfDを導入している。

英国では、ホライズン社を発電事業者としてプロジェクトを推進、現在はウィルヴァプロジェクトに取り組み中。実績あるABWR 2基をまずウィルヴァサイトに建設することとしており、ABWRの炉型については、英国の許認可システム(GDA)のプロセス審査入りし、2017年12月に4年9ヶ月(史上最短)で計画通りに無事審査を終了。現在は、**ホライズン社のサイトライセンスの審査が進行中**である。

EPC体制としては合弁会社(日立GEニュークリア・エナジーヨーロッパ、ベクテル、日揮)を設立し、準備中。また、発電所運営体制の強化の目的で設立された、ジェクセル・ニュークリア(日本原電、エクセロン)とホライズン社とは協力関係にある。

ホライズンプロジェクトはこれからが正念場。最終投資判断を行うまでの間に、①残りの許認可取得、②電力買取価格の決定、③資金調達先の決定、が残っている。これらの合意ができて初めて判断ができる。

オンタイム、オンバジェットの信頼性を高めるためのポイントは、①エンジニアリング面:設計変更の最小化、手戻りの最小化、②製造・調達面:製造品質の確保とオンタイムデリバリー、③建設工事:現場での手戻り等の回避。国内建設のノウハウをローカルコントラクターとの間での実行。

英国でのABWRプロジェクトをオンタイム、オンバジェットで実現し、その成功経験を次の国内・海外プロジェクトにフィードバックし、事業を維持・発展させていくことで、人材と技術、国内の安全を支える原子力事業基盤をメーカーとして維持していきたい。



「原子力事業の海外展開」

飯田 将人

三菱重工業(株) 執行役員 パワードメイン シノップ・プロジェクト室長

三菱重工の原子力海外事業は、**原子炉容器、蒸気発生器等のコンポーネントを中心に計80基の輸出実績**を有している。フランス原子力産業界の再編により、2018年1月にFramatomeがEDFグループの一員となったことから、ATMEA社は現在当社とEDFの50%ずつ出資の合弁会社となっている。**ATMEA1は、日仏PWRプラントの全ての経験を取り込んだ最新設計の第三世代+ α の世界戦略炉**である。主な特徴として、従来炉に対し冷却系の多重化(2→3系統化)や多様化(大気冷却機能の追加)や、コアキャッチャーの設置等が挙げられる。

トルコ・シノッププロジェクトへの取り組みについては、2013年5月IGA(日本・トルコ政府間合意文書)が締結され、日本に優先交渉権が与えられた。その後、トルコのクーデター未遂等もあって若干遅れ気味ではあるが、現在もフィージビリティスタディー(FS)を継続中。

三菱重工は、シノッププロジェクトについては電力サイドとEPCサイドの2つの顔を持つが、EPCサイドにフォーカスして説明する。日仏協調のベストチームでEPCを推進すべく、取組体制は、以下を考えている。**①一次系:三菱重工、EDF/Framatome、②二次系:三菱日立パワーシステムズ、③土木建築工事:大成建設、大林組、BOUYGUES(EPR建設でEDFと協力)**

現在FSを実施中だが、一気にEPC契約に至るのではなく、**実機向け詳細設計のプロセスを経て、EPC契約に繋げたい**。フェーズドアプローチにより、リスクを最小化しつつEPCを推進する。建設認可の申請を行い、許可取得後、ファイナンスのクローズの後、EPCを開始する。この間も実機設計も進めていく。**現在EPCで重点的にアクションしているのは以下4つ。****①許認可:**トルコ原子力庁と定期的にワークショップ開催の上、具体的にはATMEA1設計の安全解析書を同庁に提示し、ワークショップを実施しながら、理解を深めて頂いている。**②設計・エンジニアリング:**ATMEA1標準設計にシノップ固有条件を反映した3D-CADモデルを構築中。**③調達:**安全設備については、EPRで実績の豊富なEDF/Framatomeの欧州サプライチェーンを積極的に活用予定。国産化の要求に応えるべく、製造能力や品質管理を見極め、トルコベンダーの活用推進。部品点数が数十万点にも及ぶため、ICT技術をうまく活用する必要あり。オンタイムな物品管理を行うことで遅れがないよう努める。**④建設:**最大のリスクを有する部分であり、3ステップでの推進を計画。フェーズ①FSの中で、国内ゼネコン(大成建設、大林組)と共同検討。フェーズ②EDFとの共同検討(海外知見を入れたブラッシュアップ)。フェーズ③トルコ企業との共同検討(現地ワーカーの能力、労働条件の見極め)。作業者がいかに間違いなく工事をするかがポイントであり、ワークパッケージ(主に、設計図面、取り扱い説明書、施工要領書、安全作業指示書、作業許可書)の整備が重要。

安全文化については、決められたプロセスに従って活動を行う意識を持つことや組織・個人ともに原子力安全に責任を持って仕事することをトルコ企業を含むサプライチェーン全体で推進していく必要がある。

海外展開について、現在プラントとしては、10年以上にわたる日仏共同での**ATMEA1の開発を通じて、欧米の規制対応力を培ってきている**。これらの総合力を基に、今後はEDFとの戦略的な協業を通じ、トルコシノッププロジェクトの玉成を目指すと共に、世界各国にATMEA1を展開し、グローバル事業の更なる飛躍を目指す。



「ロスアトム：エネルギーを超えて－さらに遠くを目指して」

ニキータ・マゼイン

ロスアトム・オーバーシーズ(株) 副社長

ロスアトムは世界的な原子力ベンダーである。世界一の受注件数を誇る。国際的に多くを受注しているが、それらはロスアトム全体が持っている製品チェーン・サービスチェーンのごく一部に過ぎない。**我々は幅広い形で製品・サービスを提供しており、単に原子力発電所の建設だけではなく、原子力に関わるライフサイクルマネジメント全体にも携わっている。**エネルギー分野では例えば、ライフサイクルサービスとして燃料を長期的に供給することや、O&M契約、バックエンドでの再処理、廃止措置にも関わっている。

世界の市場においては、ロシア型加圧水型原子炉、VVERを展開しており、現在世界で運転中のものは60基、建設段階にあるものは40基ほどあり、ヨーロッパ、インド、中国などで展開している。我々はグローバルな市場に対して、1,200MWのVVERを提供し、基本的に60年以上の運転年数を保証している。

エネルギー業界向け、原子力発電所向けのソリューションについて。特に新興国に対しては、単に原子力インフラを構築するだけでなく、ライフサイクルマネジメントに対するソリューションも提供する。それらには、**人材養成、パブリックアクセプタンス、サプライチェーンの構築**などがある。さらに、実際に建設するとなると長期的な燃料供給も必要になる。

二つ目は**サプライチェーンマネジメント、地元産業への取り組み**について。現在様々なプロジェクトが各国で行われているが、国際パートナーや地元企業パートナーとしっかりと連携を取ることが重要になってくる。サービス、機器ベンダー、メーカーと協力しながらプロジェクトを進めていくが、そこには基本原則があり、それによってプロジェクトが円滑に実施されるように担保することを行っている。我々のプロジェクトにおいては、地元企業が参画すること、つまりは国産化が進むということは非常に望ましく考えている。所有者にとっても、受注する側にとってもコストを最適化し、全体的なプロジェクトの効率を最適化することにつながる。シリアルコンストラクションという形で、**複数を同時に作ることで全体的なコスト低減を実現することも提案**している。また、技術的な能力も大切で、サプライヤーになってもらうためには当然、技術的に一定の認定を受けてもらう必要がある。

我々が進めているグローバルなプロジェクトでは様々な形でサプライヤーとの協力関係を構築している。外注先であったり、ライセンス契約を結んだり、またはジョイントベンチャーを作ったりとその関係は多岐にわたる。インドや中国での発電所建設では、土木工事や機器の据付けなどで、早期の段階から地元の企業に参画してもらっている。

ロスアトムの強みは、**グローバルで幅広いソリューションを持っており、さらにそれらを統合的なアプローチで提供**できている点である。



「先進型能動のおよび受動的PWR-HPR1000（華龍一号）の概観」

李 軍

華龍国際原子力技術(株) 副主任技師

中国の原子力関連技術の開発には2つの流れがあり、一つは海外から導入したものである。1980年代にはフランス製の加圧水型炉を、1990年代にはロシア型PWR(VVER)を、2000年代に入り、ウェスチングハウス社製AP1000の導入を行ってきた。もう一つの流れとしては自国での自主設計路線があり、中国核工業集团公司(CNNC)が「CNP300」と「CNP600」を開発した。これらを1,000MW級の「CNP1000」にスケールアップしたほか、2000年代になり中国広核集团有限公司(CGN)も独自技術により「CPR1000」を開発した。現在では20基以上が中国国内で稼働している。これらはそれぞれ、「CP1000」と「ACPR1000」へと研究開発が進められ、**双方の第3世代設計である「ACP1000」と「ACPR1000+」を統合して「華龍一号(HPR1000)」が設計された。**これに至った経緯としては、**コスト削減があり、双方の技術を持ち寄ることによって安全性をより高くする**という目的もあった。**2017年にシステム設計が完成し、標準的な技術がまとまった。**

「華龍一号」は、国際原子力機関(IAEA)や欧州電力要求(EUR)など国際的な安全要件、および福島第一事故後の安全要件に準じて開発された改良型PWRであり、**全世界の運転中・建設中のPWRから得られた経験をフィードバックして安全性と信頼性および経済性を改善した。**出力は1,200MW以上で、設計寿命は60年。安全系には先進的な動のおよび受動的な設計を採用している。負荷追従、低出力運転も可能である。安全システムに関しては、オーダーメイドで顧客の要求に適合するよう提案ができる。

「華龍一号」では、外部ハザードに関して耐震設計や洪水対策が施されており、さらに安全機能および事故緩和に関しては、様々な事故を想定した上で、十分な対策を講じている。電源供給や非常用の補給水に関しても多重の対応策を用意しており、使用済燃料プールの冷却やモニタリングの機能も十分に設定している。

「華龍一号」を採用した国内の実証炉建設プロジェクトは、CNNCの福清5、6号機増設計画およびCGNの防城港3、4号機増設計画として進展中である。福清5号機は2020年初頭に運転開始する予定である。**国外においては、「華龍一号」を世界の原子力市場に大々的に売り込んで行くため、CNNCとCGNは2015年12月末、登記資本金5億元(約90億円)の合弁事業体「華龍国際原子力技術有限公司」を折半出資で設立することを決めた。**パキスタンのカラチ原子力発電所では、2、3号機(K2、K3)に同設計を採用した建設工事が2015年と2016年に開始された。英国では、EDFエナジー社が計画しているブラッドウェルB原子力発電所に供給することが決まっているため、同国の規制当局は2017年1月に「華龍一号」の英国仕様版「UK-HPR1000」について包括的設計審査を開始した。5基目の原子炉はアルゼンチン初のPWRとなる「華龍一号」を建設予定で、CNNCは2017年5月にアルゼンチン国営原子力発電公社(NASA)と一括請負契約を正式に締結している。



「世界の原子力市場における韓国水力原子力（KHNP）」

ハリー・チャン

韓国水力原子力(株) グローバル原子力ビジネス部長

韓国の原子力産業も同様の道筋で発展しており、1970年代にまず、外国の原子炉技術による初号機をターンキー契約で導入。80年代は国産化を開始して共同プロジェクトに参加するようになった。90年代に入ると、標準設計として「OPR1000」を独自に開発。国産化のレベルをさらに上げていき、2000年代には安全性と経済性を改善した「APR1400」を開発するに至った。韓国はこの設計により、国際企業間の激しい競争を制してバラカ原子力プロジェクトの受注に成功した。

UAEに輸出した同設計の欧州版となる「EU-APR」は2017年11月に欧州電力要求の認証を取得したほか、米国版の「US-APR」は現在、米原子力規制委員会が設計認証(DC)審査中である。合計6段階の同審査のうち、第5フェーズまで審査が進展しており、2019年5月にはDCを取得できる見通しである。

バラカ・プロジェクトの成功は韓国原子力産業界の努力のみならず、韓国政府の強力な支援の賜である。2009年12月に調印となり、4基を提供し、燃料供給3サイクル分、運転支援も行う。参考プラントは第3世代の新古里3・4号機。ドバイから390kmに位置するサイトでは、今年2月時点で1号機が98%完成、4基合計の進捗率は88%に達している。2週間前に現地で開催された1号機の竣工式には、韓国の文在寅大統領がUAEアブダビ首長国のムハンマド皇太子とともに出席した。文化・地理・宗教的に異なるUAEでの建設工事は、砂嵐や高温などの厳しい環境下で困難を極めたが、**海外の原子力プロジェクトでは信頼し合えるパートナーとなることが重要**だ。チーム・コリアとして数十年にわたる協力関係を築き上げ、相手国との信頼関係を大切にしてきた。

KHNPは、2001年に韓国電力公社(KEPCO)から分社化された韓国唯一の原子力発電企業で、原子力発電事業で海外展開を推進するという国の政策を牽引、世界の原子力市場をリードする上で必要な輸出戦略をいくつか推進している。

技術面では最新の設計を開発し続けており、顧客国の規制要件に合わせたものを提供。出力は1000MW級と1400MW級どちらも可能で、小型モジュール炉の開発能力も有している。顧客国のニーズに合わせて地域熱供給や脱塩、負荷追従運転することも可能。原子力プロジェクトには様々なリスクが伴うが、そのリスクを解析し、軽減・回避するプロセスがあり、国内外の専門家や、他プラントの経験も参考にしている。KHNPが肝に銘じている重要事項の1つが「カスタマイゼーション」であり、**輸入国のニーズや要件に応えられるソリューションとして、人材開発・育成のサポート、規制面での協力を**求められることもある。さらに、国同士あるいは企業同士の連携が非常に重要になる。世界の原子力ビジネス界も同様に、単に企業同士の契約や国同士の協力協定に基づくものではなく、**その国民に対する誓約や相互の信頼**の上に成り立つのである。



モデレーター 西山 潤

東京工業大学 科学技術創成研究院 先端原子力研究所 助教・工学博士

<モデレーターによるイントロ>

私自身、大学において、鉛ビスマス冷却炉などの次世代炉、最近では宇宙での原子力エネルギー利用として原子力電池や宇宙炉の研究を行っている。また、日本原子力学会・若手連絡会の会長を務めており、若手の勉強会や意見交換も実施している。日本の原子力業界の若手は、福島第一原子力発電所事故直後から、事故の収束や廃炉関連の仕事、新規制基準の対応が直面する課題として目の前にあり、取り組んできた。

事故から7年が経過し、依然として廃止措置は重要な課題ではあるが、原子力業界の若手にとり、原子力発電と自分自身の未来を思い描くうえで、原子力発電が将来にわたって社会に貢献し続けることができるかは重要な点である。

原子力発電が社会に受け入れられるためには、さらなる安全性、信頼性の向上が求められる。加えて、他の発電方法に対して経済性や持続可能性を含めて優位に立たねばならない。そのためにイノベーションが必要となる。

本セッションでは、イノベーションをテーマに世界の4企業から講演を頂く。SMRや第四世代炉、IoT/AIの活用など、最新の技術開発の動向を伺い、課題を共有したい。

<モデレーター総括>

「原子力におけるイノベーション」と題して、4名の講演者から発表を頂いた。私自身、原子力に携わっているので、この発表をワクワクして聞いていたが、**一般の人にこのワクワク感が伝わっているかが重要**と考える。

本日の発表者は、ベンダーの方々なので、自社の技術開発について企業間で競争してそれぞれ高め合っていく立場にある。さらに、他の発電方式に対する優位性を保つためにもさらなるイノベーションが必要となる。

一方で、原子力業界全体の課題として、**優秀な学生や様々な分野の専門家を原子力業界に振り向かせ、異分野の連携・融合によって、新たなイノベーションを生み出していく必要がある**。

大会初日、米国のテイラー・ウィルソン氏が、核融合炉を作って原子力に興味を持った話をした。我々原子力に携わる者自身が、原子力は非常に魅力的な分野であることを若い人に伝えるように見せていくことが、新たなイノベーションを生むベースになると思う。原子力がこれからも社会に貢献し続けるためには、安全性の追求が重要であり、これからも魅力ある原子力であり続けるためには、イノベーションが重要である。



「デジタル時代を見据えた小型モジュール炉（SMR）の開発」

マーティン・J・グッドフェロー

ロールスロイス 戦略・ビジネス開発マネージャー

小型モジュール炉(SMR)は商業的に成り立ち、投資に適しているものでなくてはならない。この要求に適う設計によって、高い費用対効果と安全性を確実にする。SMRが社会的に受容されるためには、環境、セキュリティ、安全衛生、原子力安全といったライフサイクル全体を通じた安全性の確保が鍵である。さらに、このような安全を最優先し、同様に重要なのが経済性である。

2～3年かけて財務モデル評価を行った結果、原子力発電コストを上げる要因は、プラント規模やその他の固定費によるものが大きいと判断された。規模の経済の問題、建設遅延等が財務コストに悪影響を与える主要要素である。このため、設計をよりシンプルに、工期を短縮し、事業遂行に確実性を持たせることが重要である。同時に投資する側にとって信頼性の高いものでなくてはならない。

SMRは小型であるという利点を活かし、野球場面積の1.5倍程度の屋根がついた屋内(建設シェルター)で、**24時間、天候に関係なく建設が可能だ**。建設期間は、プラント建屋の基礎(下部)に2年、その他のプラント建屋部分(上部)に2年、合計4年で建設を行う。技術的に上部と下部を切り離すことが可能であり、それぞれ個別に建設を進めることで、**確度をもって納期を設定**することができる。

設計はバーチャル環境で行われ、機能的なモジュール化が図られる。モジュールは小型のためトラック等の車両での運搬も可能であり、サイト近隣への影響も最低限に留めることができる。また使用されるコンクリート量が減るため、廃炉プロセスを短縮することが可能である。

ロールスロイス社では、モジュール単位でのバーチャルモデリングについて、他の事業分野で10年の経験があり、これを原子力プラントの建設に応用している。

ロールスロイス社は、約30年前に航空機エンジンの製造を開始したが、現在は販売ではなく、自社の責任でリースしている。これら航空機エンジンの運用データをリアルタイムで収集し、パフォーマンスや保守スケジュールなど全てを一元管理している。データの分析から故障を予測し、故障前に部品交換することも可能であり、予防保全に役立っている。実績ある技術を活用し、原子力発電所においてもパーツ製造データをデジタルパスポートのような形で記録することにより、デジタル履歴が予防診断のほか、廃炉の段階まで活用できるなど、大きなメリットがある。

調査の結果、**設備コストとしては20億ポンド(約3,000億円)以下に抑えることを目標に設定**した。MWhあたり10ポンド(約1,500円)程度の試算となる。建設コストについても通常30～50%が金利になるが、ロールスロイス社では15%程度に抑えており、全体のコスト削減に大きく役立っており、電力単価を大きく低減させることができる。設計は原子炉システムのみではなく、発電所全体にわたり、**デジタル技術を最大限活用し、建設期間の短縮や規制リスクの縮小を実施し、プラント全体のライフサイクルを考えた設計**になっている。



「原子力発電プラントの安全性および信頼性向上に向けた技術開発」

青木 保高

東芝エネルギーシステムズ(株) 原子力事業部 原子力システム設計部
システム計画担当 グループ長

東芝エネルギーシステムズ社は、福島第一原子力発電所の事故後の再稼働に向けた安全性向上対策について、注水系、電源系などの設備強化対策や、マネジメント強化として原子力規制庁へ事故時のプラント挙動を再現できるシミュレータを納入するなど、**安全性の向上に貢献している**。原子力の課題解決に向けた技術開発を、3つのカテゴリーに分けて紹介する。

1. ハード対策であり、安全性、信頼性向上に加えて、経済性向上にも踏み込んだ開発案件

①薄型コアキャッチャーは、シビアアクシデント(SA)対策として、既設の発電所の更なる安全性向上対策として開発した。既設炉の限られたスペースに設置可能で、熔融炉心の保持、コンクリートとの相互作用(MCCI)を防止が可能。②水素処理システムは、事故時に発生した水素を処理し、ベントを不要とする。BWRの実機条件を模擬した試験では、反応材を通過させることで水素濃度をほぼ0%にできることを確認。③SiC炉心材料について。事故耐性が向上。チャンネルボックスや燃料被覆管の製造に際しては、黒鉛の型にSiC繊維を捲きつけ、成型後に黒鉛を除去する繊維複合化の製造技術を開発済み。SiC複合材構造設計の最適化と長尺(~4m)の製造技術の開発を実施中で、2026年の量産化が目標。

2. バーチャルプラントの導入

工事計画の効率化や教育訓練に貢献できる、人工知能(AI)やバーチャルリアリティ(VR)の主な活用例を示す。

①電気アイソレーション支援システム。従来の人間に依存していたシステムと違い、電気アイソレーション支援システムは、ヒューマンエラーの防止、アイソレーション計画の効率化を目的とし、作業員の教育・訓練にも活用できる。②バーチャルリアリティ(VR)。設計3Dデータを用いて、新人の訓練や作業性の確認を行え、作業時間の短縮に繋げることが可能。③6DCADでは、従来の3DCADデータに加え、工事物量、工程計画(時間)、人員計画(人工)のデータを一括管理するほか、シミュレーション技術の適用により最適な工事計画を立案し、工程短縮、工事費用の合理化を実現する。

3. 環境適合への配慮。高レベル放射性廃棄物の低減に加えて、放射性廃棄物の資源化への取り組み

内閣府の革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)にて、2つのテーマで研究開発を実施している。①高レベル廃液から電解法、吸着法、溶媒抽出法を組み合わせた分離回収手法を開発。高レベル廃液の前処理が不要で、二次廃棄物発生量を低減。②ガラス固化体から化学還元によりガラス主成分のSi-O網目構造を分解、電解精製によりPd、Zrを回収し、熔融塩中溶解成分からSe、Csを分離回収。

そのほか、社会との共生に向けた軽水炉以外の技術開発として、長期運転を可能としつつ事故時に人的操作無しで自然停止する4S(Super-Safe, Small and Simple)原子炉、優れた安全性と多様な熱利用が可能な高温ガス炉があり、開発を続けていきたい。



「次世代原子炉の革新」

デビッド・スレジック

GE日立・ニュークリアエナジー(GEH) 原子力発電プラントプロジェクト
販売・事業運営担当 上級副社長

GEと日立の原子力合弁企業として設立されたGE日立・ニュークリアエナジー(GEH)社と日立GEニュークリア・エナジー(HGNE)社。
GEH社はグローバルサプライチェーン、各国の許認可などに強みを持ち、HGNE社は日本のBWR事業を行う。GEH社の原子力プラントは第3世代であるABWRの実用化に続き、ABWRの進化型である第3+世代であるESBWR、革新型SMRであるBWRX-300、先進型原子炉である第4世代のPRISM炉へと、60年以上にわたる原子力事業の経験を生かし継続的な技術革新を行っている。

GEH社では、コスト低減のイノベーションを進め、新しい流れを生む必要があった。10世代目の沸騰水型原子炉であるBWRX-300は、コスト競争力を持ち最も経済的な軽水炉とするために設計された。特長は次のとおり。

①300MWeの小型モジュール原子炉、②システムを簡素化しLOCAゼロを目指した設計(安全系が無いためコストを下げる事ができた。天然ガス火力発電やコンバインドサイクル発電と競合できるコスト競争力を目指し、最初から経済性を考慮した設計。)、③建屋規模は161,000m³(ESBWR)→15,500m³(90%削減)、④出力300MW=市場が求めているスイートスポット、⑤セキュリティ向上のため地下に設置、⑥格納容器を小さくすることで、コンクリート物量を削減(ESBWRに比べMWあたり50%以上低減)、⑦75名の所員で運用(運転)できるようにする、⑧ミサイルのサイロを作る技術を使う(大きな穴を掘って埋戻すのではなく、既存の他産業の建設技術を使う)。

PRISM(ナトリウム冷却高速炉)で使われているナトリウム冷却システムは、以前から使われている技術で、金属燃料のEBR-I(実験増殖炉)から始まり、SIG(原子力潜水艦)、EBR-II(実験増殖炉II)を経て、SEFOR(サウスウエスト酸化物燃料高速実験炉)、CRBRP(クリンチリバー増殖炉計画)と進むなかで、金属燃料を用いたPRISMが誕生した。PRISMの特長は次のとおり。

①コンパクトなプール型原子炉、②受動的安全、③モジュール化、④金属燃料(固有の安全性)、⑤過熱蒸気(高い熱効率)、⑥先進的リサイクルセンターとして適用することで、使用済燃料とプルトニウムの消滅処分が可能。英国セラフィールドの放射性廃棄物のPRISM炉での処分について共同実施。

PRISMの設計は1981年に開始された。許認可プロセスについては、エネルギー省(DOE)のALMR計画のもとで1987年に大きく進展し、その後GNEP計画等を経て今日に至っている。GEH社はEBR II(ナトリウム冷却、金属燃料、小型化、受動的安全)の技術、経験を持ったARC社と提携することでイノベーションを共有。ARC社に対して知識を提供するなどカナダの許認可を取得するための支援サービスも行っている。他社に対する支援サービスを通じ、業界全体の進展に寄与していく。



「Multi-D デジタル化のためのプラットフォーム」

アレクセイ・サチュク

アトムストロイエキスポート(ASE) プロジェクト管理コンサルティングサービス
セールスリーダー

アトムストロイエキスポート(ASE)社の3次元情報モデルは、90年代末から提供されている。原子力発電は複雑で多くの産業界と関連するため、多くのシナジー効果がある。例えば、進展著しい機械製造のリーディング企業において、3次元モデルの適用による、製品のライフサイクルマネージメントという考え方が生まれた。製品利用者の経験を反映させることで、製品の質を高めていく考え方である。全く新しい製品を製造する場合、最初に体系的な設計を行うことで、将来の製品適用プロセスまで策定できる。建設分野での3次元モデル利用方法に関するアイデアが生まれ、ASE社では一流の専門家を招き、具体的に戦略を検討してきた。これが、建設分野におけるデジタル化経験蓄積の経緯である。

このような経験および、市場や規制当局からの要請があったことにより、様々な種類のデジタルツールが生まれた。これらのツールは、プロジェクト実行段階において、特定課題を自動的に解決することができるが、原子力発電所の特定のプロジェクトマネジメント用に作られるため、発電所が完成して顧客に引き渡された時点で、その役割を終える。この一連の作業で、ASE社はいろいろなデータを蓄積し、建設プロジェクトの効率化向上には、これらのデータをライフサイクルステージに移した方が良いと認識するに至った。

様々なツールを統合するには、プロジェクト参加者が同時に様々な大量のシステムに取組む必要があり、結果的にプロジェクトマネジメントが複雑となる。これにより、プラットフォームという考えに至ったのが今日の状況である。

このツールでは、一つのウィンドウからプロジェクトに入り、このウィンドウを通してプロジェクトのあらゆる側面に入っていく。このMulti-Dプラットフォームがデータと人を知的に管理する。このプラットフォームのベースは、情報システムから得られる実際のデータである。プラットフォームにおいては、人が介在することなく自動的に解析ツールで意思決定が行われる。逆に、プロジェクトの参加者は、不必要な情報からは遮断され、保護された必要な情報だけにアクセスできるようになる。実際には、プロジェクトの参加者による経験のフィードバックにより、ユニークな経験が蓄積され、再利用が可能になる。

今日までに、ASE社では、大規模な設備投資を伴うほとんどのプロジェクトにも対応可能で、各々の用途に適した25以上のアプリケーションを一通り揃えることができた。また、変更管理、プロジェクト報告、コスト管理、コミュニケーション管理、生産管理等の100以上の自動的プロセス管理が可能となった。これはASE社が提唱するプラットフォームと、世界標準として使用されているプロジェクトマネジメントとの違いと考えている。



大会では、4月9日夜、レセプション会場に会員展示コーナーを設け、会員の活動をアピールする場を提供した。今年で5回目となる展示コーナーには、6機関と福島物産の出展があった。多くの来場者が各ブースを訪れ、展示内容についての説明を受けるとともに活発な意見の交換をする姿が見られた。また、福島物産展では、来場者の方々が福島の銘菓や地酒など、思い思いの商品を購入していた。

【出展】

(株) キュリオン ジャパン、原子力発電環境整備機構 (NUMO)、(株) スギノマシン、(株) 千代田テクノル、日立GEニュークリア・エナジー (株)、三菱重工業 (株)

福島物産展

