

開会挨拶と趣旨説明（以下、敬称略）

関村部会長（東京大学）

昨年の原子力学会の秋の大会で、「SMR 等革新炉の安全と安全規制について—今後の取組—」をテーマに企画セッションを実施したが、時間の制約で十分な議論ができなかった。そこで、秋の大会でのご講演を再度お願いするとともに、議論を深めるため、追加のご講演として高温ガス炉の取り組みについて JAEA の大橋様、規制アプローチに関する国際動向について原子力規制庁の平野様をお願いし、本日のフォローアップセミナーを開催した。

本年は福島第一原子力発電所事故から 10 周年を迎える節目の年であり、学会全体としてこの 10 年を振り返り、次のステップに行くためのさまざまな議論が計画されている。安全部会としては今までの反省に立ち返り、安全というものをどのようにさらに発展させていくか、継続的な安全性向上を実現していくか、これに加えて将来我々がどのように学会をベースにした議論、さらに産業界、規制はもちろん、国際的な動向を踏まえながら我々がリーダーシップをとっていく場を改めて学会として提供していくべきだろう、と考えている。

新しいシステムの安全性を科学技術の観点、安全規制の仕組みづくり、さらに社会の中でどのように受け入れられていくべきかについても安全部会としては検討の場をもちたい。特に革新炉は、安全規制そのものが新しいシステムを導入するリスクにならないような検討を加えるべきだろうと考えている。本日は、第一部で 5 件のご講演、さらに総合討論では原子力規制庁の平野様を含めて総合討論を進める。

第一部 講演

原子力イノベーションの追求

舟木健太郎（経済産業省）

<講演概要>

「原子力イノベーションの創出に向けた取組み」、「技術開発支援と事業成立性評価に関する視点」並びに「製造プロセス・イノベーションに関わる国際動向」について説明された。

- 昨年の秋からエネルギー基本計画の改訂を議論しており、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定するとともに、2030年のエネルギーミックスの検討を進めている。
- 原子力は「実用段階にある脱炭素化の選択肢」ととらえるとともに、多様な社会的要請と課題を踏まえたイノベーションの創出が求められ、NEXIP事業を進めている。
- イノベーションの創出に向けた研究開発基盤として、JAEAに期待している。保有する知見・経験が民間主導の革新炉開発を進める上で有益である。
- 技術開発支援では民間の創意工夫を活かした提案を支援する形で進めており、「技術成熟度」、「市場性」、「開発体制」、並びに「規制対応」等の観点から評価し、令和3年度以降の支援重点化を図る計画。
- 「規制対応」の事例として高温ガス炉に関する取組みが紹介され、諸外国と規制関係機関の参加・協力を得て安全性に関する国際共同プロジェクトを実施するとともに、日本原子力学会のもとで策定した安全設計・基準の国際標準化を目指している。
- 付加製造技術など製造プロセスに関するイノベーションにも海外諸国で注目されており、SMRの安全性・経済性向上に向けて取り組まれている。

<質疑応答>

Q: 関村部会長

9月の企画セッションの時点からの大きな変化として、2050年のカーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略が提示された。SMRを含めた原子力に関して、特に安全、安全規制の観点から具体的変化はあるのか。

A: 経済産業省として支援しているNEXIP事業は、年度末に各事業者から中間的な報告がある。次年度へ向けてどのような開発計画を立てて支援していくかといった議論を行う。その中で、安全規制への対応について事業者が検討した成果を報告いただくこととされており、ただちに規制当局に相談する状況ではないが、今後の規制対応に向けたプランが少し具体化されつつあるものと考えている。

海外で検討が進んでいる革新炉の安全設計の特徴について

事例紹介 1 : NuScale

吉田英爾（日揮）

<講演概要>

海外で検討が進んでいる革新炉として、NuScale を題材に安全設計上の特徴について、説明がなされた。

- NuScale は、PWR プラントで培った技術をベースに開発された小型炉とした位置づけで、基本的なプラント構成は 77MWe/1 モジュールとし、12 モジュールを併設する設計となる。米国では、DC 取得済み。
- 原子炉圧力容器内に主要な冷却系を内包し、原子炉停止後の崩壊熱は、静的な ECCS 系を用いて、外部からの注水なしで冷却できるシステムとしている。また、プールに原子炉モジュールを浸漬した状態とし、事故時の冷却に必要な水量は、プールの初期水量で賄える設計としている。運転時、事故時ともに、動力を用いずに、バルブ操作等不要で、自然循環により冷却水を循環させることで冷却できる安全系とし、高い安全性を確保している。従来規制で求められる EPZ に対して、炉心損傷頻度の低さを考慮して、NuScale の EPZ の範囲は劇的に小さくなる。
- NuScale に係る DC 対応では、プラントの高い安全性を考慮して、原理的に起こり得ない事象等を規制側と入念に議論した上で、いくつかの規制要求に関しては、除外対象 (Exemptions) として整理し、確認項目から外している。
- 新しい原子炉には新しいスタンダードが必要であり、新しいスタンダードは、規制側との入念な議論の中で構築されていくものである。

<質疑応答>

Q: JAEA 中村副部長

NuScale 固有の安全性に関して、格納容器のプールに 12 モジュールが収まっている構造と見受けられるが、1 モジュールが故障し、プール水位が低下した際に、他のモジュールに影響がないのか。

A:各モジュール、独立した安全系を有しているので、特に影響はない。

海外で検討が進んでいる革新炉の安全設計の特徴について「事例紹介 2：BWRX-300」：
松浦正義（日立 GE）

<講演概要>

講演では、海外での検討が進んでいる SMR の事例紹介として、BWRX-300 について、以下の内容が説明された。

- 再生エネルギーとの競争を考えると、SMR の初期コストの低減が重要である。米国や英国においても初期コストの低減が求められている。
- 日立の原子力ビジョンとして、これまでの BWR の建設経験を活かして、初期投資リスク低減、長期的な安定電源、放射能有害度低減を実現する新型炉をオープンイノベーションで国際共同開発する。
- BWRX-300 の開発目標として、実証済み技術と設備を最大限に活用し、世界レベルの安全性と高い経済性を実現することを設定している。
 - 一次冷却材圧力バウンダリの高信頼化による LOCA の排除をすることで、炉廻り安全設備の簡素化を実現
 - 建屋面積の縮小と先進建設工法の採用による建設コストの大幅な低減
- BWRX-300 の概要としては、電気出力 300MW 級小型炉であり、革新的安全技術と実証済み技術の融合で優れた炉概念を実現するものである。また、以下の特徴が挙げられる。
 - 一次冷却圧力バウンダリを高信頼化し、LOCA の発生確率を徹底的に低減する。
 - 設計基準事故から LOCA を排除し、ICS のみで事象を収束する。
 - 地下設置型の配置により、外部ハザード、テロに対する安全性とセキュリティを向上する。
- これまでの ABWR 建設で培ったモジュール設計技術を小型炉設計に活用し、建設費・工期の大幅な低減を目指す。
 - 他産業で実績のある機器、製造技術、工法の採用による建設費・工期の低減に寄与する。
- 許認可プロセスの進展として、2020 年 12 月に LOCA 排除の基本概念に関する許認可図書の認可を NRC から取得した。
- 米国規制では安全弁は必須ではなく、ECCS 要求も ICS と隔離弁で代替可とされたが、国内導入時には議論が必要である。
- 米国 ARDP における選定炉の軽水炉型小型炉とメリット/デメリットを比較検討した。その上で 7 年以内に運転開始できるという点について、ハードルが高かったと考えられる。今後、フレキシビリティ、負荷追従性という観点からも検討が必要である。

<質疑応答>

Q:(中村副部会長) p8における全体システムの図内において格納容器の位置はどこになるのか。図内のビール瓶を逆さにしたような形のもので、黄色のキャップのような部分までが格納容器という認識で正しいのか。また、縦に長いパイプがいくつもあるが、これは格納容器内のガスをプールに逃がす役割を担っているのか。

A:格納容器の位置について、認識の通りです。また、配管については PCCS に相当するもので、プールの中に二重ヒートパイプを入れている。通常プールの水の中に入っている状態である。IC が効かずに熱が格納容器側に行った際に、このヒートパイプ側が熱せられて蒸発し、二重配管の上側に放出する。そして、冷却水はプール側から供給されるという構成になっている。

高温ガス炉に関する取組について - 安全設計要件の検討など -
大橋弘史 (JAEA)

<講演概要>

高温ガス炉の概要と実用高温ガス炉の安全設計要件の検討について説明された。

- 高温ガス炉は発電だけではなく、水素製造、工業熱利用などにより、カーボンニュートラル、脱炭素社会にも貢献する革新的原子炉である。
- 高温ガス炉の固有安全性の実証を JAEA の試験研究炉 HTTR により行っており、OECD/NEA の国際共同試験としている。
- 原子力学会において安全要件を検討している。
- HTTR は新規基準に 2020 年 6 月 3 日に合格し、その過程で固有安全性が認められ、安全設備の重要度のダウングレードが達成できた。また、安全評価によって BDBA においても燃料溶融や炉心の著しい損傷が発生しないことが承認された。
- 原子力学会で作成した安全設計要件を IAEA へ提案し、IAEA-TECDOC-1936 として 2020 年 12 月に刊行された。
- 今後の課題は原子炉と水素製造施設の接続に係る安全基準策定と実用炉で実現される水素製造とガスタービン発電の実証である。

<質疑応答>

Q: 関村部会長

OECD/NEA、IAEA の国際機関の活動と学会等における活動をうまくつなぐ役割を JAEA は意図的に果たしていただいたと考えてよいのか。重要な論点があれば教えてほしい。

A: ご指摘のとおり、原子力学会の活動を通じた後に国際提案する道筋をとっている。産業界を含めた国内の皆様がメリットをもたらすように持っていく必要があるので、それをまとめたうえで国研としての我々の役割として国際機関に提案した。

諸外国における革新炉に関する規制動向

鈴木清照（三菱総研）

<講演概要>

SMR の概要と規制対応について説明された。

- SMR は、出力 300MWe 以下のプラントを指し、電力需要に応じて、モジュール単位で出力調整が可能なプラントである。工場で製造し、現地でくみ上げることで、工期の短縮、初期費用の抑制が期待できる。また、安全面に関しては、出力が小さいため、LOCA 時に自然循環による炉心冷却等の特徴を有する。
- 現状、米国、英国、ロシア、中国等で開発が進められている。
- SMR に係る安全規制として、上記開発国の規制当局を中心に、SMR Regulator's Forum を結成し、各国の審査知見及び経験を共有する場を設けている。SMR 開発ベンダーは、SMR の特徴を踏まえ、従来の規制枠組みの修正を求めているが、規制側は新しいプロセスの構築を不要とした見解を示している。
- 同 Forum での 2015 年～2017 年の議論では、SMR の安全設計上の不確かさを鑑み、より多くの実証が必要とした見解、SMR の特徴を踏まえて深層防護の Level1,2 に係る対策の実証に加え Level3,4 に係る対策の実証も重要とした見解等が報告されている。
- 米国では、半径 10 マイルの EPZ を必要とする NRC 規則の適用免除を申請。EPZ のサイズは、議論の結果、認められた評価手法を適用して COL 内で評価、定義することになった。
- 従来の 2 段階(建設・運転)の許認可では、事業者側にとって初期投資に係る財政リスクが許容できないことから、段階的な規制活動をとることが望ましいこと、軽水炉向けの規制要求の多くが先進炉に対し検討不要といった提言が NRC 委員長から IAEA 事務局長に 2018 年に送付されている。
- 国際情勢として、従来の規制枠組みを踏襲しつつ、規制側と産業界で入念に議論しながら、過度に保守的とならないように、SMR 及び先進炉の安全規制の構築を進めている。

<質疑応答>

Q: 関村部会長

ソースタームの評価手法や EPZ の設定に係る基本的な方法論に関して、進捗状況、技術的な実証、研究段階、コードの確認等、米国の事例等を教えて欲しい。

A: EPZ は、適用免除とされているので、それを規則化していくという点が大きな流れ。ソースタームの部分は、現状整理できていない。

Q: 中村副部会長

EPZ の議論に関連し、米国では TMI が起き、発電炉におけるシビアアクシデント(SA)の最

初の事例となったが、放射性物質の大気放出量は無視できる程度に少なかった。これまでの知見や解析手法を用いた安全評価の結果として、EPZ の最適化の中で、影響している部分はどこか。

A: 過去の知見を含めて、原理原則的な部分を整理し、その上で EPZ を設定しているので、全体として考慮されていると認識している。

第二部 総合討論

企画セッションの振り返り

森山善範（安全部会幹事、鹿島建設）

<講演概要>

2020 年秋の大会における企画セッションの振り返りとして、SMR 等革新炉の安全に関する論点が説明された。

- 企画セッションで提示した SMR 等革新炉の安全に関する論点は以下の 4 つ。
 - 共通する技術的個別課題
 - 規制プロセスに関する課題
 - 新技術等に関する評価・解析技術の構築
 - 今後の取り組み

 - 1 点目の共通する技術的個別課題については、深層防護や EPZ に関しては個別事例で紹介があった。総合討論では、深層防護に関し、第 4 層での対応設備のクラス分類が日米で異なるとコストにも影響が出ることや、外的事象に対しては地下立地などによる合理的設計で対処可能という意見が出た。
 - 2 点目の規制プロセスに関する課題では、規制の予見可能性をどう担保するのか、建設や運転実績のない新技術をどのように使っていくのかといった課題が示された。また、新型炉ということだけでなく、既設炉への新技術の採用を柔軟にしていくというプロセスから議論することも提案があった。
 - 3 点目の新技術等に関する評価・解析技術の構築については、実証試験や模擬試験は規制側、推進側がそれぞれ行うのではなく、データを共有し、それぞれでコードを検証し、規制側の解析コードと推進側の解析コードをそれぞれ独立したコードとして使うことが適切であるという意見が出た。
 - 4 点目の今後の取り組みとしては、ロードマップの必要性や規制側とのコミュニケーション、安全部会だけでなく新型炉部会、リスク部会などと一緒に活動を進めていく必要があるなどの意見が出た。
-

話題提供：規制アプローチに関する国際動向
～米国原子力エネルギー革新・近代化法を巡って～
平野雅司（原子力規制庁）

<講演概要>

総合討論における話題提供として、NEIMA(Nuclear Energy Innovation and Modernization Act)に関して以下の内容が説明された。

- NEIMA の概要として、対象は商用新型炉である液体金属炉や高温ガス炉等の非軽水炉の小型モジュラー炉である。NRC への指示としては以下である。
 - 2年以内に、リスク情報を活用したパフォーマンスベースの許認可活用技術とガイドに向けた戦略を開発すること。規制戦略については NEI 18-04 により、既に終了していると考えられる。
 - 2027年12月31日までに、炉型に依存しない、つまりテクノロジーインクルーシブなルール作りまでを完了させること。これは、議会が NRC に対して新型炉開発に対してインセンティブが働く規制を作るよう指示したことになる。
- 現行許認可プロセスについては、10CFR Part 50 と Part 52 があるが、投資家へのインセンティブが働かないことから、新たに Part 53 を作ろうとしている。
- NEI 18-04 は非軽水炉の許認可基準開発のためのガイダンスであり、サザンカンパニー社主導の LMP の一環として作成された。主要プロセスは許認可ベース事象の選定、機器・構造物の安全重要度分類、深層防護の適切性評価である。
 - 最も特徴的なのは、頻度－影響目標(F-Cカーブ)を用いることである。
 - F-Cカーブは、発生頻度の小さい確定的影響を伴うような大きな事故に対して、安全目標を満足するよう設計することを要求している。
- 米国 NRC 規制ガイド 1.174 に関して以下の説明があった。
 - 深層防護は、機器や人間の振る舞いにおける不確実さを考慮するための有効な手段である。
 - 完全さに関わる不確実さについて、「不確実さ」は「不確かさ」ではなく、考慮しているハザードの範囲が全体をカバーしないことの反映にすぎない。結果的に、真のリスクがどこに存在するかに関する不確実さとなる。
 - ハザードの発生頻度の評価モデルがない、あるいは、大きな不確実さを伴うような場合は、深層防護に重点を置くべきという結論になる。
- 米国では、新型炉の開発に対し、投資家のインセンティブが働くよう炉型に依存しないテクノロジーインクルーシブであり、リスク情報を活用したパフォーマンスベースの規制枠組みの整備が行われている。一方で、日本においては、地震、津波、火山といった外的自然ハザードの不確実さが非常に大きいので、必ずしも米国のようにインセ

ンティブとして働かないのではないか。

- 先進炉・新規炉に関する NRC 委員へのブリーフィングにおいて、USC から「リスク情報を活用したパフォーマンスベーストの手法に関する懸念は、余りにも PRA に依存しており、設計承認に際し、本質的に共通要因故障モードになっている」という指摘が出た。

<質疑応答>

総合討論にて行う。

総合討論

(関村部会長) 平野さんからのある意味問いかけも含めたご講演をベースにしまして、総合討論進めていきたい。今回パネラーとしては、ご講演頂いた船木様、吉田様、松浦様、さらに大橋様、鈴木様、平野様に加え、安全部会の幹事から糸井先生、中村さん、お二人も加わっていただく。最初に平野様のご講演に対してご意見ご質問等をパネラーの方から頂きたい。それでは最初に中村さん、一言コメントをいただきたい。

(中村副部会長) 資料の10ページ目に、不完全さ、不確実さのところがポイントとされている。今回のために数ページの資料を用意して、軽水炉の安全評価を扱っているが、そこに用いられる解析コードをの性能として事故の現象を網羅できる必要がある。多数の自己評価解析を行い、その結果を基に安全評価をして、不確かさを追い込んでいくということになると思うが、資料10ページの不確かさというのは不確かさとは違って、十分に知見がない場合にどうするかということ。先ほど安全評価では、十分に知見がある必要があると申し上げたが、実際の軽水炉の評価においては無理である。なぜなら軽水炉は非常に大きいシステムなので、そこで生じる現象をすべて調べるということはできない。このため常に外挿、類推を伴う評価をしており、解析結果には保守性を担保することが必然的に求められる。ここには、「深層防護」に重点を置くべき」と書いてあるが、保守性の担保といった今の安全評価における考え方の軸をどのようにシンクロして考えるのか、ということが一つ疑問としてある。そこについてなにかコメント等いただきたい。

(関村部会長) 糸井先生、次お願いします。

(糸井先生) 平野さんの資料で、2点、私としての考えを少しお話しさせて頂きたい。一つはテクノロジーインクルーシブな規制体系を日本で作っていく時に、それがインセンティブとして働くのかどうかという議論があった。インセンティブになるかどうかは、技術的な所だけから決められるものではないのかもしれないが、少なくとも米国では外的事象に地震だけではなく火山のような不確実な事象まで含めてテクノロジーインクルーシブな規制の考え方というのを、DOE、NRCも含めて議論がされている。この議論は検査制度と同じで、その考え方をそのまま日本に持ち込めるわけではなく、本質的なところを捉えて日本の現状に当てはめていくか、というところの議論を行わないと、それがインセンティブとして働くかどうかの議論に行かないのではないかと、というのがまず1点目。もう一点目は、次のページでUSCの方のコメントでPRAに依存しているところが危惧されるというコメントあり、一般的な議論として少しミスリーディングになるかもしれないと思い、コメント差し上げたい。PRAとは本来様々な知見を集約してシステムティックに取りまとめてそこから有用な結果を取り出すというプロセスをPRAと呼んでおり、その意味では、PRAに依存することが危惧されるという論理はそもそも成り立たないだろうと思う。PRAであろうがなかろうが網

羅的に取り上げてシステムティックに議論することはできる。

(関村部会長) 中村さんからは不確実さに関わる点、糸井先生からはテクノロジーインクルーシブという米国の基本的な考え方について、それから USC の方からのコメントに対してどういうふうを考えるべきなのか、という点についてご指摘いただいた。それではお二人からのコメントにつきまして平野さんの考えを少しご披露いただきたい。

(平野様) 米国のテクノロジーインクルーシブの考え方をそのまま日本に持ってこられるか、という話について、テクノロジーインクルーシブという言葉が最初に聞いたのは、カナダの CNSC がカナダの立地評価指針を改定した時に、テクノロジーインクルーシブに変えたということでしたので、読んでみたところ、基本的にはリスクを評価しそれが安全目標と合致するかどうかを評価しなさい、ということであった。すなわちテクノロジーインクルーシブでは、どのような炉型にも共通な概念で規制していこうということであるから、リスクという概念が前面に出てくるという感じがした。福島事故以前の日本での立地評価指針は外的事象と離隔と防災可能性の三要素有って、これらはすべてリスクを構成する重要なファクタを確認するといっていることだと思う。このため、テクノロジーインクルーシブという概念になってくると、リスクという一つの指標としての重要性が前面に出てくる。日本の場合は相対的に外的事象、地震、津波、火山とかの不確実さが非常に大きいのでなかなか難しい面があり、これが米国と日本とでの違いではないか。それがインセンティブとして働くかに影響があるというのが私の指摘である。それから USC の方のコメントについては、基本的に RG1.174 と同じで、5つの要素、すなわち深層防護だとか安全裕度だとか、そういったいくつかの要素に対してリスクから得られる insight を足して判断する、ということをきちっとやっている限りにおいては総合的な判断になるが、テクノロジーインクルーシブでリスク中心になってくるとちょっと違う方向になってしまう、そういう方向にいかないようにという牽制なのかもしれない。不確実さの話は、今の話と同じで、外的事象の発生頻度の不確実さの話である。そのインコンプリートネスあるいはコンプリートネスというのは、すべてのハザードを考えているか、という意味です。

(関村部会長) 今の議論は安全部会のセミナーらしい話だが、SMR、新型炉の議論に戻りたい。そういう意味で JAEA の大橋さんの方から、特に HTTR での審査の経験を踏まえてコメントがありましたらお願いしたい。

(大橋様) 平野さんからご説明頂いたリスクインフォームドパフォーマンススペース (RIPB) の審査についてご質問させていただきたい。RIPB の手法は非常にロジカルで分かりやすいやり方だと思っている。ただ、ご指摘あったように日本では、外的事象を含めて非常に不確実さが大きい、また、SMR、新型炉に関してはデータが少ない、などの観点もある

と思う。そういったことを踏まえ、HTTR では実証試験をベースとし、ライセンスドバイテ
ストではないですけどそれに近いようなアプローチを取りつつ規制基準の反映を図ってきた。
一方、残された課題として、最終的に炉心損傷のような低頻度事象の practical
elimination をどうするかという議論があるが、そのような事象は実証が困難である。そう
すると評価で対応することになり、結局は頻度的なリスクという概念が入ってくることに
なるので、そこにジレンマがある。SMR、新型炉の規制基準の在り方としてどういったアプ
ローチがいいのか、という点について、ご意見いただきたい。

(関村部会長) 本質的なご質問と思う。平野さん、現時点でお立場もあるかと思いますが、
個人的な実績も踏まえながらご対応いただけるか。

(平野様) 1点だけ、先ほどのスライド 13 のところで、USC の方の 2 番目の発言で、「現時点
では非軽水炉の設計は紙上のもの、学術的な検討の過程にあり、検証のための十分なデータ
は存在しない。」とある。それに対して HTTR では実証データを積んでいる、これは非常に重
要だと思う。PRA が中心になるとは考えていないが、PRA の重要さは増してくると思う。こ
のような中で、データを積み上げているか否かというのは大きなファクタではないか、と思
う。

(大橋様) ご回答ありがとうございます。引き続きデータを蓄積しつつ進めていきたい。

(関村部会長) 今の観点、SMR に関してどのように実証試験やデータを積み重ねていくかとい
う話だが、現在の軽水炉、あるいは軽水炉ベースのシステムにはパフォーマンスベースの
考えでは極めて重要であると思う。だからこそ RIPB がテクノロジーインクルーシブになっ
ていくということが RG1.174 の重要なポイントである。パフォーマンスベースが平野さん
の資料 12 ページだと、「規範的でないこと」とあるが、もう少し一歩進めるとすれば、安全
達成のための多様な能力をどのように構築していくのかという観点で事業者あるいは規制
に問われている。この結果を定量的に示せるのであればパフォーマンスベースに繋がるの
ではと考えている。皆様からのコメント頂いた状況で平野さんからさらにお考えをお聞か
せいただきたい。

(平野様) パフォーマンスベースの本質的な意味は、ゴールセッティングであり、目標に到
達できるかというところを見るわけで、そこに至るパスについては見ないということ。関村
さんの話としては、その目標の設定の話であり、高い目標を設定して皆でそこを目指して
いくことになるといえる。また、リスクインフォームドとパフォーマンスベースは独立する
ものであり、パフォーマンスベースの価値は大きなものだと考えている。インセンティブ
を与えて、そこに独創性やイノベーションが起きることを狙うべきではないか。

(関村部会長) 続いてパネラーの方からコメントを伺いたい。最初に鈴木さんからコメントを伺いたい。

(鈴木様) インセンティブについては、誰にとってのインセンティブかという質問は必ず出てくる。例えば、テクノロジーインクルーシブを使うことで、規制対応の不確実さの低減やこれまでの要求の一部が緩和されるのであれば、インセンティブに繋がると考えられる。新型炉に対する規制対応の不確実さの低減のために、米国ではこのような手段に至ったと考えられる。もう一点として、カナダのロードマップの事例が挙げられる。実際、カナダではグリッドがない場所に SMR を置きたいため、ローカルの自治体と共に検討を進めている。一方で、アメリカは安全保障の観点と原子力技術維持の観点から進めている。これらを踏まえて、日本では今後どのように進めていくかを検討すべきである。

(関村部会長) 鈴木さんのコメントを踏まえて、吉田さん、松浦さんの意見を伺いたい。

(吉田様) インセンティブとリスクについて議論する上で、日本の規制体系の中で型式証明をどう位置付けるかが大きな論点として挙げられる。アメリカの場合は、サイトの条件をまるめた形で、原子炉の工学的設備としての最適化や安全目標を設定しながら、それに対する具体的手法を議論できる措置がある。日本では、サイトを決めなければ議論ができない状況に対して、学会やアカデミックな場からどのような発信ができるかが今後重要な論点である。

(松浦様) 設計者として、どのように具体化していくべきかを考えさせられた。コメントの一点目として、BWR-X300 の国内導入を考えたときに、規制の各条項に当てはめて、BWRX-300 の安全系がどのように適用しているかを考える必要がある。仕様規定ではなく、性能規定の議論が必要であり、どのようにパフォーマンスを出せるのかを説明することを受け入れてもらえるのであれば、国内導入のハードルも下がるのではないかと。クラスということも含め、パフォーマンスベストについて議論できると良い。コメントの二点目として、PRA に依存しすぎではという指摘については、何を取り扱うかによって、今後 PRA に依存できる状況になっていくと考えられる。様々な不確定性がデータとして整えられていくと、今後 PRA に対して使うことができる。捉え方の問題ではあるが、PRA に依存するという点については、決定論的なものと確率論的なもののバランスをうまく取りながら、設計を考えていく必要がある。

(関村部会長) 鈴木さんから、インセンティブ、規制の不確実さ、カナダでのロードマップとアメリカの考え方が必ずしも同じことを示しているわけではないことをご指摘頂いた。ま

た、吉田さんからインセンティブを持っていく上で、日本に当てはめると型式証明が重要ではないかというご指摘を頂いた。松浦さんからは、設計の立場、パフォーマンスベースト、PRA の活用の仕方に関してご意見を頂いた。以上のコメントを踏まえて、平野さんと舟木さんからコメントを頂きたい。

(平野様)NRC 規制ガイドの 1.174 のリスク情報を活用した統合意思決定における 5 原則は重要である。特にリスクインサイトは重要であるが、偏りすぎるのも良くないため、深層防護とのバランスも考えなければならない。テクノロジーインクルーシブだというと、リスクは共通メジャーとなるので、より気を付けなければならない。

(舟木様)平野さんへの質問とコメントをさせて頂きたい。まず、平野さんへの一点目の質問として、テクノロジーインクルーシブと共通のメソドロジーによる評価において、他に差分があるのかについて伺いたい。また、二点目の質問として、アメリカで大型の既設軽水炉と安全性の水準について、小型炉や先進炉に対してテクノロジーインクルーシブという概念を活用した議論があるのか、また、今後有り得るのかについて伺いたい。この質問の背景としては、今後日本で SMR の議論を深めていく際に、既設の軽水炉の長期運転化、あるいは新增設に関する議論との比較が今後社会的な議論として出てくると考えられる。その時に共通のメソドロジーの観点からそれぞれの炉型の安全性について、ステークホルダーや地元の方々に説明し、信頼を得ることが重要となり得る。

コメントとしては、NEXIP 事業において、事業者の方々から様々な炉型あるいは既設軽水炉に採用する新型燃料をはじめとする新技術の提案を頂いており、導入に向けてどのように規制対応を進めていくかの計画が検討されつつある。今後、NEXIP 事業のフェイズをさらに深め、事業者とベンダーとが規制対応を考えていく上では、既存の規制の枠組みだけでなく、新しい枠組み提案をサポートしていくことが重要である。そのサポートを学会で今後行っていくことが必要になるのではないかと。

(関村部会長)平野さんへの質問とコメントも頂いたので、パネラーの方からも付加的なお話があれば頂きたい。まずは、平野さんから舟木さんの質問について、お話を伺いたい。

(平野様)F-C カーブは、今の軽水炉の目標と基本的に同じである。F-C カーブの考え方は、今まで取り組んできた軽水炉の安全の考え方の延長にあるのではないかと。そのため、SMR やマイクロリアクター用に極端に違うリスクを想定しているわけではない。より安全なものを目指しているが、基本的な考え方や手法は今までの延長上にあると考えられる。

(関村部会長)平野さんのコメントも踏まえて、糸井先生と中村さんからコメントを頂きたい。

(糸井先生)特に追加のコメントや現段階で不明点等はありません。

(中村副部長)平野さんからの、これまでの許認可の延長にあるという意見は、NuScaleの昨年(2020年)までのNRCの対応を見ているとその通りだと思う。今のところこれまでの許認可と変わらない議論がNRCと行われている。SMRの場合は、評価しなくてよい点があるが、それは設計に依存した特徴であり、方法論としてはこれまで通りであるといえる。

(山内様(三菱総研)):二点ご質問したい。一点目は小型炉導入の考え方についてお聞きしたい。日本はサイト候補地が少なく、スケールファクターを重視しがちである。発電だけでは導入は難しいと思われるが、自然エネルギーの導入には負荷変動への対応が課題となり、そこへの小型炉の導入は可能ではないか。ご意見をお聞きしたい。二点目は小型炉の新規導入となるとEPZやソースタームといった規制上新たに考え直さないといけない課題が出てくる。米国では国民というお客に対して国・産業界・学会が一体となって議論しながら進めていく仕組みができていますが、日本でもそのような三者で検討する仕組みができないものか、お聞きしたい。

(浦田様(原子力エンジニアリング)):NuScaleでEvacuation Freeの議論がありましたが、そこでは出力の小さな一つのモジュールでの事故であったと思うのですが、多モジュールでのモジュール間の影響はどのように議論されてきたのかお聞きしたい。もう一点として、平野様のお話でFCカーブの立地に関してご紹介がありました。新設炉に関して日本の立地指針についてはどのように考えればよいのか?

(川村様(日立GE)):SMRといった新しい技術を実現していくためにはテクノロジーインクルーシブでリスクインフォームド、パフォーマンスベースな規制が実現していくことだと考えます。特定の技術や炉型に依存した規制ではイノベティブなものが入っていかない。新しい規制となるとリスクの考え方が重要となるが、外的事象などを考えると不確実性が大きく、最終的な判断ではリスクのみではなく、統合的に判断が重要となる。また、実際にやるには自由度が大きいので、早い段階から規制との対話ができるようなプロセスを確立していただきたい。米国、カナダ、英国は早い段階から対話できる状況があり、参考になる。

パネラーからのご返答

(吉田様):ユニット間の影響については現時点の資料の範囲での理解に留まっており、必要であれば情報を入手して対応したい。規制との進め方については、開発当初から大学等での実証データの取得についてNRCの品質保証に合致した形で進めており、対話の重要性を認識している。

(松浦様)：再エネとの共存については、小型炉を含めて軽水炉の負荷追従能力は 50%程度までは可能である。ただし、どの場所にどの程度の出力が必要か、といったグリッドの設計に関する議論は必要である。また、負荷追従となると稼働率の観点も入ってきて経済性も加味するプラント価値の総合評価が重要となる。熱出力一定で、負荷側で水素製造を含めるといった設計もある。立地条件に関しては EPZ の評価に使える手法が実用化していくことが重要だが、今後いくつかのステップが必要との認識である。規制との早目の会話は BWRX-300 で紹介したライセンスingtピカルレポートの話からも重要性を感じる。

(平野様)：マルチモジュールのリスクについてコメントする。NEI 18-04 を OHP の P15 に載せたが、複数モジュールについては設計段階から検討し、PRA によりリスクが少ないことを確認しなさい、としている。これを読んだとき、PRA の比重が大きいと感じた。

(舟木様)：原子力と再エネとの協調についてアプローチは多様であり、原子力の価値を高めることにもなるためイノベーションとして検討していきたい。規制庁との対話については何を準備して議論するか、そのプロセスを検討したい。門戸は開かれていると考えているので進めていきたい。既設炉への新技術の適用に関して規制庁との情報共有を開始している事例はあり、意見交換はできると考えている。今後、SMR に関する議論に繋げていきたい。

(大橋様)：再エネとの負荷追従に関して、高温ガス炉については熱出力一定の元、高温による水素製造と発電とのコジェネプラントがリファレンスとなっている。水素製造施設と原子炉との接続に関する規制がなく、今後の課題である。

(関村部会長)：ここまでで、平野様の話題提供から始まり、規制のプロセス全体に係る議論ができた。まだ議論したいことは何点かあるが、その中でも外的事象のリスクと小型炉との関係について考えたい。糸井先生からコメントを頂きたい。

(糸井先生)：論点をいくつかご紹介したい。一点目は、電力網は自然災害時にどうあるべきか、そこへ SMR 等小型炉がどう貢献できるか、という観点から SMR のあるべき性能を議論できないかと考えている。もう一点は、テクノロジーインクルーシブに関しては米国では 20 年来議論されてきた。例えば、土木分野（米国土木学会 ASCE）ではリスク情報を活用して倒壊確率に基づく耐震設計の体系を検討するといったことが挙げられ、そのような検討と連続する形で、原子力施設のリスク情報を活用した外的事象に対する設計体系の検討が進められている。日本では個別に議論は積み上げられてきたこともあり、テクノロジーインクルーシブ、あるいは、分野横断といった観点が抜けているところも散見されるが、日本でこのような概念の重要性の認識を広げられるか、伝えられるかが今後重要と考える。さらなる

点として、耐震クラスの議論が高温ガス炉のところであったが、耐震Sクラスなど安全上重要な設備に対するパフォーマンスベース・リスクインフォームドは検討されてきた。しかしながら、グレードの低いものにもそのような考えの適用は重要ではないか。SMR等の導入を考える場合は必要な論点と考える。

(関村部会長)：クラス分け、重要度の考え方についてSMRを含めて全体を見渡していくということについて、誰がどうやって行っていくかという点は私も重要なものと考えている。学会も標準という形での貢献が考えられるが、具体的にはこれからである。本セミナーの残された論点として、技術の実証という課題や、事故経験のない運転経験のないSMRというものの進め方について議論を深めていきたかったが、時間が無くなってきた。また、規制との対話についても残されている。そこでは学協会の役割も出てくるのではないか。例えば、ロードマップの議論や、人材供給の観点で役割があるのではないか。原子力安全部会も多様なステークホルダーの参画を今後も企画し、貢献していきたい。

閉会挨拶

(守屋副部長)：グリーン戦略が公開された。具体策として、洋上風力を整備するということであり、容量的にも野心的である。風力は重要であるが、不安定であり、蓄電池や水素も必要となる。しかも、設備利用率は3割程度と低いことや景観への影響も大きい。自然破壊している面もあるのではないかと感じている。こういったことから原子力の必要性は残ると考えるが、福島の後遺症といった課題が依然としてある。革新炉の開発を通して、福島の後遺症から脱却したい。我が国が培ってきた高温ガス炉等のリソースを生かして解決策を示していきたい。