

## IAEA 主催「気候変動と原子力発電の役割に関する国際会議」の概要

2019年12月20日 日本原子力産業協会 情報・コミュニケーション部

2019年10月7～11日、オーストリア・ウィーンの国際原子力機関（IAEA）本部で標記国際会議が開催された。気候変動と原子力の役割に焦点を当てた IAEA 主催の初めての会議で、国際社会から幅広い関心を集め、79カ国・18国際機関から約550名が参加した。

会議では、世界の気候やエネルギー関連の国際機関及び主要国代表の講演だけでなく、テーマ別のセッションの他に、技術セッションやサイドイベントなどが開催された。

各国代表、専門家らは、気候変動目標を達成するエネルギー政策の推進、既存原子力発電所の長期運転とその温室効果ガス排出削減への寄与、先進原子力技術など原子力利用の展開を支えるのに必要な要因、気候変動緩和における原子力の役割に対する公衆の認識、原子力発電と他の低炭素エネルギー源とのシナジーの見通し、などの重要課題について議論した。

最近話題を集めている小型モジュール炉（SMR）の発表も多数行われ、目覚ましい拡大を続ける中国の原子力開発も注目を集めた。

同会議での発表や議論内容の一部が IAEA と世界原子力協会（WNA）のホームページに紹介されているので、ここでは、それらを取り纏め、会議の概要を紹介する。

### <内 容>

1. 気候変動と原子力発電の役割に関する国際会議
2. 開会セッション（開会講演）
3. 国際機関代表によるハイレベルセッションにおける講演
4. サイドイベント：気候変動対応としての原子力—中国のソリューション
5. 小型モジュール炉（SMR）・先進炉の開発
  - 5.1 ニュースケールの取り組み
  - 5.2 カナダ原子力研究所の取り組み
6. 原子力の重要な役割を訴える—会議の主要メッセージ
7. 柔軟な運転とハイブリッド・エネルギーシステム  
—再生可能エネルギーと原子力の共通プラットフォームの必要性議論—
8. 閉会セッション：閉会講演（会議総括）

## 1. 気候変動と原子力発電の役割に関する国際会議

- ・日時： 2019年10月7日（月）～11日（金）
- ・場所： オーストリア・ウィーン IAEA 本部
- ・主催： 国際原子力機関（IAEA）
- ・協賛： 経済協力開発機構・原子力機関（OECD/NEA）
- ・趣旨： 気候変動目標達成に必要な低炭素エネルギーへの移行を支える上での原子力の役割、及び安全な原子力発電開発の機会と課題について、情報・意見交換する
- ・プログラム概要：
  - 開会セッション
  - 国際機関代表によるハイレベルセッション、各国政府代表によるハイレベルセッション
  - テーマ別セッション、並行技術セッション、サイドイベント
  - ポスターセッション、E-ポスターセッションなど
  - 閉会セッション

## 2. 開会セッション

### ◆開会講演 IAEA 事務局長代行 Cornel Feruta

- ・本日、世界各国・各機関からハイレベルの参加者の出席を頂き感謝する。先月の国連気候行動サミットに反映されているように、気候という緊急問題の重大性と規模を国際社会が認識し、その解決に原子力科学技術が果たし得る貢献に対する評価が増大しつつある。
- ・全ての技術と同様に、原子力もベネフィットとリスクをもたらす。原子力発電は、全体的に良好な安全記録を挙げているが、必ずしも純粋に科学的事実に基づいて判断されているわけではない。この会議が、原子力発電について事実と確かな情報に基づく考察に貢献し、幾つかの誤解の払拭に役立つことを期待している。
- ・国際エネルギー機関（IEA）によれば、世界の電力の約 70%が化石燃料からきている。2050 年迄に、気候変動目標を達成するためには、電力の約 80%は低炭素電源でなければならない。低炭素電源への移行が、まさに大きな挑戦である。
- ・原子力発電は現在、世界の電力の 10%を供給し、低炭素発電量の 1/3 を占めている。この事実は十分に知られるべき価値がある。
- ・世界の気温上昇を産業革命前に比べて 2°C よりも十分低く抑えるというパリ協定の目標を達成するためには、全ての低炭素エネルギー源を利用する必要がある。
- ・風力や太陽光のような再生可能エネルギーは今後も増大し続けるだろう。
- ・原子力発電は、先進国の経済を運営・発展させ、途上国に対しては、経済の成長拡大と生活水準の向上を可能にするために必要な、安定かつ信頼できる電力を供給する。
- ・原子力発電は、水力と共に、ベースロード電源としての化石燃料に置き換わることのできる唯一の低炭素電源である。原子力発電は、その運転期間中、温室効果ガスやその他の大気汚染物質を事実上排出しない。その全ライフサイクル期間中の排出量は極めて少ない。原子力発電の利用は現在、年間約 20 億トンの CO<sub>2</sub> の排出減少に貢献している。これは、道路から 4 億台の車が除かれたことに相当する。
- ・一部の国では、原子力発電は他の低炭素電源とうまく統合されて、出力変動性の再生可能エネルギーに対して柔軟なベースロード・バックアップ電源として機能している。
- ・今後数十年間、原子力発電の大幅増加なしに、温室効果ガスの削減目標を達成する方法を見出すのは難しい。多数の国が、持続可能な開発を達成するための取り組みの一環として、原子力発電の導入或いは既存の原子力計画の拡大を検討している。
- ・IAEA は、各国が原子力発電に賛成或いは反対の決定をするのに対して影響を及ぼす意図はない。IAEA は、科学的に確かなデータ・解析や計画ツールを提供することによって、各国が十分な情報に基づいて決定を下すのを手助けするだけである。その国がもし原子力発電を選択すれば、IAEA の役割は、その国が安全性の面でも核セキュリティの面でも持続可能な形で原子力発電利用するのを支援することである。
- ・幾つかの国は既存の原子力発電所の運転期間を 60 年に成功裏に延長しており、80 年まで延長する可能性も視野に入れている。IAEA はこの分野の経験共有で各国を支援する。
- ・最もロバスト（頑丈）なレベルの原子力安全性が世界の各原子力発電所に備わっていることが絶対不可欠である。
- ・核物質や他の放射性物質は、テロリストや他の犯罪集団の手に入らないように、適切に安全防護される必要があるが、これは各国政府の責任である。しかし、これらの分野における効果的な国際協力が極めて重要である。IAEA は、原子力安全と核セキュリティにおける協力の世界的プラットフォームを提供している。

- IAEA のマイルストーンアプローチは、その国にとって最初の原子力発電所建設の検討や計画をしている国が、原子力発電についてのコミットメントや義務を理解し準備することができるように、支援するものである。
- IAEA はまた、183 カ国で保障措置を実施することにより、原子力発電の利用拡大が核兵器の拡散につながることを確保するため働いている。
- 今後数年間の技術進歩は、原子力発電の経済的魅力とコスト効率性を一層改善するものと考えられる。イノベーティブな安全特徴を備えた先進原子炉設計は、世界の原子炉群のリプレース（建て替え）や拡大において重要な役割を果たす可能性がある。小型モジュール炉（SMR）は、小規模グリッドや遠隔地だけでなく、電力以外の分野において、原子力発電の利用可能性を高める可能性がある。
- 高レベル放射性廃棄物の最終処分が幾つかの国で進展していることは、原子力発電の長期的な持続可能性についての公衆の懸念を軽減するのに役立つかもしれない。
- 世界の益々多くの地域で、気候変動が、沿岸部や都市部のインフラ、更には脆弱な生態系や農業システムに重大な損害を引き起こしている。これは、食糧セキュリティや、水へのアクセス、収穫を脅かし、害虫や疾病の拡大をもたらすなど、農家や地域社会全体の生活に脅威を及ぼしている。IAEA は、技術協力プログラムを通じて、このような問題への取り組みにおいて、発電以外の利用可能な原子力科学技術で、各国を支援している。例えば、IAEA の科学者は、気候変動によって悪化しつつある早魃や極端な気温や塩分などの条件に強いコメや大麦の新しい品種の開発を支援している。IAEA はまた、原子力技術の利用による限られた水資源の特定や管理について各国や地域を支援している。

#### ◆開会講演 OECD・NEA 事務局長 William Magwood

- 長期的に経済的で信頼できる電力供給への正しいアプローチを見つけることは、将来の世界経済の脱炭素化への中心的なチャレンジである。
- （経済の現実に基づいたバランスにおいて）出力変動性の再生可能エネルギーとコスト効率的で先進的な原子力を含む将来のビジョンは、一つの成功への道である。
- 気候変動対話におけるエネルギーオプションの検討が重要である。どれかの技術を除外するようなことがあれば、問題の解決策を見つけることは益々難しくなる。環境を損なうことなく経済成長を遂げたいと願うならば、特にそうである。
- 気候変動に立ち向かう唯一の最も重要な課題とは、成功を可能にするような技術と方法の正しいミックスとは何かである。
- コスト競争力を持つ限り、原子力発電は大きな役割を果たすことができる。小型モジュール炉（SMR）、マイクロ原子炉、第4世代原子炉などの新技術は前進するのに役立つかもしれない。

### 3. 国際機関代表によるハイレベルセッションにおける講演

#### ◆気候変動に関する政府間パネル（IPCC）議長 Hoesung Lee

- IPCC は昨年 10 月の報告書で、産業革命前からの温度上昇を 1.5 度未満に抑える 4 つのモデル道筋を取り上げた。この 1.5 度は気候変動による最悪の影響を何とか避けることができる限界値である、とほとんどの専門家が考えている温度である。4 つのモデル道筋は全て、2050 年迄に原子力発電が 59%～501%の範囲で増加すると見込んでいる。
- 産業革命前からの温度上昇を 1.5 度未満に安定化させるためには、エネルギー効率の向上、電化の拡大、エネルギー供給の脱炭素化の 3 つの同時実行戦略が必要である。

- ・原子力発電は今後 30 年間、化石燃料に比べてコスト効率性などの課題があるにもかかわらず、脱炭素化に貢献できる。気候変動は、利用できるものは全て利用することが必要である。

◆国連経済社会局（UNDESA）経済社会問題担当次長 Liu Zhenmin

- ・原子力は、持続可能な開発のための 2030 アジェンダや気候変動に関するパリ協定の目標を達成するのに役立つ。
- ・原子力発電は、温室効果ガスの排出が少ないので、現在の排出削減に寄与しているだけでなく将来もその可能性を持っている。現在の原子力発電所は、ガス火力や石炭火力に比べて、二酸化炭素の排出を年間概算で 10 億～20 億トン避けるのに貢献している。

◆国連工業開発機関（UNIDO）事務局長 Li Young

- ・持続可能でグリーンなエネルギーが産業開発のカギである。気候変動と原子力技術のベネフィットを検証するこの重要な会議での議論を歓迎する。国連の気候変動目標と持続可能開発目標を達成するには全ての技術ソリューションが必要である。

◆世界原子力協会（WNA）事務局長 Agneta Rising

- ・気候変動計画において、原子力は既に高いレベルにある。
- ・世界の原子力産業界は、気候変動から我々の地球を守るために必要なことを実行するとコミットしている。技術は既にある。サプライチェーンは既にある。人材も既にある。しかし、成功裏に目標を達成するためには、政府の支援が必要である。さもなければ、原子力オプションは徐々に消えていくか、その可能性を十分に引き出せないかもしれない。
- ・政府の行動、公平な競争の場、調和の取れた規制プロセス、効果的な安全のパラダイムが必要である。原子力は低炭素で長続きするエネルギー供給源としてのソリューションである。我々次第であり、行動次第である。もはや議論の時ではない。

◆OECD・IEA 事務局長 Fatih Birol（ビデオメッセージ）

- ・行動とデータが重要である。世界の排出量は記録の高さに達している。気候変動に関する報告書、会議、政府の意向と、実生活の中で起きている出来事との間の食い違いが拡大し危険な状態になっている。排出は依然として増加している。
- ・IEA の数値によると、原子力発電は現在、全ての再生可能エネルギーと一緒にしたものについて、2 番目に大きなクリーンエネルギーである。先進国では、原子力がナンバー・ワンであり、全発電量の 18%を占めている。
- ・我々は全てのエネルギーデータを手元に持っており、それに基づいて勧告や分析をすることができる。IEA は、各国政府には役割があると考えている。気候変動と電力のセキュリティに真剣に取り組む政府には、既存の原子力発電所を支援し、寿命延長の枠組み条件を提供し、さらに世界中のすべての国が SMR のような新技術を検討する必要がある。我々はお気に入りの技術を選べるほど贅沢ではない。

◆国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）事務局長 Patricia Espinosa（メッセージ）

- ・気候変動に対してもっと野心的に取り組むべきである。温室効果ガスの排出が少なく健康リスクも低いにもかかわらず、原子力発電の利用拡大が制約されている。原子力利用の障害を取り除く良い取り組みが行われているが、更なる取り組みが必要である。

## 4. サイドイベント： 気候変動対応としての原子力ー中国のソリューション

複数のサイドイベントの一つである中国セッションでは、中国の原子力発電による気候変動対策の取り組み、イノベティブな原子炉技術の開発などが注目された。中国は、建設中の原子炉の基数だけでなく、原子力発電拡大の最前線に立っている。このセッションでは中国国家原子能機構（CAEA）主任の Kejian Zhang らが講演した。

- IAEA の発電炉情報システム（PRIS）によると、中国の現在の運転中の原子炉は 48 基、建設中の原子炉は 9 基である。
- 中国は、パリ協定に従って地球温暖化を抑制するための目標達成に向けて、削減目標貢献（NDC）に再生可能エネルギーと共に原子力を含めた少数の国の一つである。中国は、2020 年迄に原子力発電設備容量を少なくとも 5300 万 kW にする計画と、太陽、風力、水力などの再生可能エネルギーによって、低炭素エネルギーの規模を拡大する。
- 中国政府は、GDP、1 単位当たりの CO<sub>2</sub> の排出量を、2005 年レベルから 2030 年迄に 60~65% 削減することを約束している。
- 2018 年の中国の原子力発電電力量は 2865 億 kWh に達し、中国の非化石燃料発電量の 15.83% を占めた。これによって、8824 万トンの標準石炭の燃焼を回避し、2 億 3000 万トンの CO<sub>2</sub> 排出、75 万トンの二酸化硫黄の排出、そして 65 万トンの窒素酸化物の排出を避けることができた。
- 原子力発電は現在、中国の電力の約 4% を供給しているが、2030 年迄に非化石電源によって 20% を発電するという中国の計画の一環として、今後 10 年間で原子力発電のシェアは 10% に上昇する見込みである。
- 原子力発電規模の拡大に加えて、新しい原子炉技術を開発中であり、地域暖房や海水淡水化など、発電以外への利用増加の可能性を探求している。ヘリウムで冷却される高温ガス炉 HTGR 「HTR-PM」は 750℃迄温度を上昇させることができる。第 4 世代技術である HTGR 実証プロジェクトは着実に進歩しており、水素製造や高温プロセス熱を可能にする。中国はまた、最近、プール型の低温熱原子炉 DHR-400 の予備設計を完了した。これは地域暖房に利用できる。
- 小型モジュール炉（SMR）の ACP-100 設計の作業もかなり進行している。SMR は、従来の原子炉よりもはるかに小規模ではるかに柔軟性に富んでいるので、電力需要の比較的少ない遠隔の地域でも利用できる。
- 中国はまた、持続可能な開発目標の達成を手助けするために、他国における原子力発電開発を支援している。

### ◆IAEA 事務次長兼原子力エネルギー開発局長 Mikhail Chudakov のコメント

- 原子力発電は、数十年間、一貫して低炭素電源として存在し続けてきた。その実証された能力を利用することは、各国の持続可能な開発目標（SDG）達成に寄与する。
- 中国は、最大のエネルギー生産者として、原子力発電が環境問題との闘いに役立つだけでなく、中国経済にも貢献することを認識している。

## 5. 小型モジュール炉(SMR)・先進炉の開発

### 5.1 ニュースケールの取り組みー気候変動緩和への寄与と他の低炭素電源とのシナジー

ニュースケール・パワー 最高技術責任者（CTO） Jose Reyes

- ・ニュースケールは、柔軟な発電、水素生産、プロセス熱、石油精製用電力、海水淡水化のための SMR 設計の利用に関する研究を行ってきた。ニュースケールの SMR は目下、米国の規制手続きを受けている最初かつ唯一の SMR である。
- ・柔軟な施設を持つためには、柔軟な制御室を持つ必要がある。ニュースケールの SMR は一つのプラントで、大型炉では難しい多様な利用を可能にする。6 人の運転員が非常に安全かつ効率的に 12 基の原子炉全てを制御する。柔軟な運転のために自動化を組み込んである。
- ・出力変動性の再生可能エネルギーが大幅増加しているグリッドにおける需給バランスをとるために、米国では現在、エネルギー・インバランス市場 (EIM) が形成されつつあり、柔軟な負荷追従運転の可能な SMR が役立つ。
- ・1 基のニュースケールパワーモジュール (NPM) は、蒸気出力の 100% を、復水器へ、或いは水素製造や工業熱のような工業プロセスへ、バイパスできる。蒸気タービンのバルブの位置を調整することによって、NPM の電気出力は 12MWe (20%) から 60MWe (100%) まで 27 分で増大できる。また、100% から 20% まで 10 分で出力を下げるができる。
- ・ニュースケールはさらに、燃料電池車や他の産業利用のための水素生産の可能性を研究してきた。1 基の 60MWe の NPM は約 7 万台の燃料電池車を動かすことができる。同様に、ニュースケール・プラントを 25 万バレル/日の石油精製に連結することによって CO<sub>2</sub> 排出を 40% 削減できる。
- ・ニュースケールは SMR の開発に約 9 億ドル投資している。最初の顧客は、米国の西部 6 州に電力を供給しているユタ自治体電力共同体 (UAMPS) である。従来の大型炉と違って、SMR 設計は、工場で原子炉容器と格納構造物を製造し、3 つのパーツにしてサイトまでトラック、鉄道或いはバージで輸送する。原子炉は普通の水プール内に設置される。水プールは、地震カテゴリー 1 の建造物内で地下にある。建設期間は約 5 年から約 3 年へ短縮される。米原子力規制委員会 (NRC) はニュースケールの SMR の設計認証審査を、来年 9 月迄に完了する見込みである。

## 5.2 カナダ原子力研究所 (CNL) の取り組みーカナダにおける先進炉の開発・展開

**CNL 所長・最高経営責任者 Mark Lesinski**

- ・2026 年迄に SMR の実現を目指す。次のステップは、SMR を超えて、風力、太陽、水素製造、バイオマスなど全ての要素が、我々の研究所でマイクログリッドの形で一緒に働き、我々のコミュニティに電力を供給することである。
- ・IEA のピロル事務局長が 5 月に発表した報告書「クリーンエネルギーシステムにおける原子力発電」を称賛する。また、開会講演 (ビデオメッセージ) でのピロル氏の発言「我々は一つの技術に頼ることができるほどの余裕はない」に同感である。
- ・CNL のクリーンエネルギー実証・イノベーション・研究 (CEDIR) パークは非常に重要であり、必要な技術的問題に取り組んでいく。CEDIR パークのビジョンは、SMR によって可能になる低炭素ハイブリッド・エネルギーシステムの技術的準備を進めることである。CEDIR パークは、原子力・再生可能ハイブリッドエネルギーシステム (NR-HES) を含むクリーンエネルギー技術の実証プラットフォームとなるだろう。NR-HES において、SMR は、再生可能発電、水素製造、エネルギー貯蔵、配電技術、低炭素技術とシナジー効果をもたらし、総合的なクリーンエネルギーソリューションとなる。これらのシステムは、遠隔の孤立した地域、製造業や資源管理産業、都市部の需要などに対して、クリーンで信頼できる電力とサービスを供給することができる。
- ・カナダでは、SMR に関連する多くの様々なステークホルダーが 10 カ月間の集中作業の末に「カナダの SMR ロードマップ 2018」を作成した。現在このプランの更新作業を進めている。少なくとも 100 の SMR が存在する。CNL 自身は SMR を設計していないが、我々がしたいと思っていることは、ホストサイトとなることである。

- ・カナダ原子力安全委員会は、4月、SMRに関する最初のライセンス申請を受け取った。グローバル・ファースト・パワー（GFP）からのこの申請は、オンタリオ・パワー・ジェネレーション（OPG）とウルトラ・セーフ・ニュークリア・コーポレーション（USNC）からの支援を受けており、マイクロモジュール炉をCNLチョークリバー研究所サイトに設置することを提案している。
- ・CNLは、チョークリバーサイト以外にマニトバ州のホワイトシェル研究所サイトも持っている。合計1万エーカー（約40km<sup>2</sup>）のサイトで、分析の結果、22カ所の候補地点がある。それ故、十分な資金があれば、我々のサイトで22の異なるSMRを実証することができる。
- ・我々は、インキュベーター、試験炉が立地される実証サイト、問題解決を手助けする機関となることを願っている。我々は、関係者が技術の実現に向けて集中できるように、放射線防護、廃棄物取り扱い、セキュリティ、火災防護など提供できるサービスを持っている。
- ・我々は、様々な開発推進者に対してデュー・デリジェンスを行い、最終的にはサイトを提供し契約を結ぶことができるようにするために、4段階プロセスで作業を進めている。多数の開発者が現在プロセスに参加している。グローバル・ファースト・パワーは第3段階にあり、我々は契約パラメーターについて議論しているところである。この他のSMR開発者としては、U-バッテリー・カナダ、テレストリアル・エナジー、スターコア・ニュークリアなどがある。我々は多くの開発者と商業契約を結び、彼らが技術的問題の幾つかを解決するのを手助けしている。
- ・原子力発電はカナダにおける全発電電力量の15%以上を占め、オンタリオ州では60%のシェアである。保健省の推定によれば、オンタリオ州は、化石燃料火力を使用していないので年間44億カナダドルの医療費が節約されている。原子力資産を何十年も維持することが本当に重要である。我々は現在、世界的にも最大規模の原子炉大改修の真っただ中にあり、今後数十年間、良いクリーンエネルギーを享受し続けることができる。

## 6. 原子力の重要な役割を訴えー会議の主要メッセージ

再生可能エネルギーの利用が増加しているにもかかわらず世界のCO<sub>2</sub>排出量が増加し続けている中、脱炭素電源である原子力発電の価値が、気候変動問題の解決のために十分に認識される必要がある。今回の会議の主要なメッセージは「世界各国が合意した気候目標を達成するためには、我々ははるかにもっと野心的でなければならない」ということである。

欧米の少数の原子力プロジェクトが際立った建設遅延とコスト超過に陥り、低炭素の原子力が気候変動対策に悪戦苦闘しているとの批判を引き起こしている。しかし、多くの国では、例えばベラルーシ、中国、韓国、ロシアなどの新規プロジェクトは、ほとんどオンタイム・オンバジェットで実施されているのも事実である。

過去数十年にわたる原子力の急速な展開・拡大によって、フランスやスウェーデンのような国では発電の脱炭素化が進んでいる。

原子力発電は現在、グリーンあるいは持続可能な金融メカニズム下で、資金供給の資格を得ていない。多くの市場は、CO<sub>2</sub>排出に対して価格付けを行っておらず、低炭素の原子力にとっては不利益となっている。こうした分野で改革が行われなければ、非規制市場における新規原子炉展開の経済性は依然として非常に困難になる、と多くのスピーカーによって指摘された。

- ・英の非営利団体「エナジー・フォー・ヒューマニティ」の共同設立者兼代表理事 **Kirsten Gogan**：世界中の大多数の新規建設プロジェクトは、リピート建設や計画的アプローチを通じて、非常に低コストで原子力プログラムを成功裏に実施しており、サプライチェーン、労働力、

プロジェクトリーダーシップチームでのスキルや能力を蓄積している。そして、それが実際にコストダウンにつながっている。

過去 10 年間に送電開始した 61 基の新規原子炉に関して IAEA が収集したデータによると、極東のユニットは欧州のユニットに比べてほぼ半分の時間で建設された。即ち、110 ヶ月に対して約 66 ヶ月だった。

一部の国で、新規建設がコスト超過とスケジュール遅延になった共通要因は、それらがすべて初号機で、その世代としては初めてのプロジェクトだった。プロジェクトのリーダーシップチーム、サプライチェーン、労働力内に経験が存在せず、その世代のプラントの許認可の実際の経験がない規制当局によって初めてそれらの設計が認可されている。

- **米の非営利団体「ブレイクスルー研究所」のエネルギー担当の前理事 Jessica Lovering** : 建設コストと建設期間を削減するカギは、標準設計を用いてプロジェクトのリピートにより、高い学習速度を上げることである。韓国の現状を見るならば、建設コストと建設期間は徐々に下がってきており、3~4年でプラントを建設できるようになっている。

原子力産業は、大規模な単発プロジェクトへの集中から離れてみる必要がある。プロジェクトからプロダクトに移行しなければならない。小中規模のモジュール炉 (SMR) が産業界のアプローチをシフトさせるだろう。

- **英国ケンブリッジ大学 Tony Roulston** : 工場の一部が建造される SMR は、コストダウンを導き、原子力発電の展開を通常の産業に変えるだろう。ここではプロジェクト毎に異なるプロジェクトからプロダクトアプローチに移る。

原子力発電は、気象条件にかかわらず、四六時中、連日連夜、確実に電力を供給するベースロード電源である。出力変動性の再生可能エネルギーが増加しそのシェアが高いシステムにおいて、再生可能エネルギーが発電していない時に、しかも他の発電源が存在しない時に、原子力は不足電力分を補完するために求められるかもしれない。

2018年のIAEAの調査報告書「原子力発電所の非ベースロード運転」によれば、原子力発電所のロードフォロワー運転のために出力の増加・減少の能力を確立させることは経済性に影響を及ぼす。バックアップとしての原子力の利用は電力システムに価値をもたらすが、現在、ほとんど全ての国では、原子力のように給電可能な発電装置は、このようなサービスに対して適切に補償されていない。

- **OECD・NEA 事務局長 William Magwood** : パリ協定下での気候目標を達成するためには、発電の CO<sub>2</sub> フットプリントは、50 g CO<sub>2</sub>/kWh あるいはもっと低くなければならない。

2015年にフランスはその目標を達成した。しかし、多くの他の OECD 加盟国の CO<sub>2</sub> フットプリントは、フランスに比べて 10 倍以上のままである。フランスでは、原子力発電が全電力のほぼ 3/4 を供給している。

## 7. 柔軟な運転とハイブリッド・エネルギーシステム

### —再生可能エネルギーと原子力の共通プラットフォームの必要性議論—

一週間の会議では、太陽光や風力発電ユニットの建設費は下がっているという事実にもかかわらず、それらの供給の間欠性・出力変動性のために、高いシステムコストにつながる事が議論された。国際エネルギー機関 (IEA)、世界エネルギー会議 (WEC)、気候変動に関する政府間パネル (IPCC)、マサチューセッツ工科大学 (MIT) などが最近相次いで報告書を発表し、そこで、低炭



素のベースロード電源としての原子力発電は、気候変動だけでなく持続可能な開発のためのソリューションの一部となる必要があると主張している。しかし、このメッセージは多くの再生可能エネルギー産業界によって無視されつつある、と多くの講演者によって指摘された。

このセッションでは、低炭素経済への移行に向けて、原子力産業界と再生可能エネルギー業界が共通プラットフォームを持つことができるのかについて議論した。セッションは、**アイダホ国立研究所 (INL) の原子力科学技術理事会の統合エネルギーシステム責任者の Shannon Bragg-Sitton** が議長を務めた。

- **Bragg-Sitton** : 原子力産業界と議論するように再生可能エネルギー業界をどのように説得するかという質問が出された。時には競争相手となる再生可能エネルギー業界の人々に我々と一緒に作業するようにいかに納得させるかということである。彼らは、一般公衆や投資家にとって『もはやそれほどクリーンでない』とマーク付けされるのを懸念しているのかもしれない。

我々は再生可能エネルギー技術を競争相手と見るのではなく、全て同じように価値があると見るべきあり、連携する必要がある。夫々には長所がある一方で、同様に負の側面も有している。

米国では、国立再生可能エネルギー研究所と私のアイダホ国立研究所は、最近の数年、エネルギー部門を横断して作業している。我々はこの問題に集団でどのようにアプローチすればよいのか共同作業しており、ごく最近、化石燃料研究部門（国立エネルギー技術研究所）を迎え入れて、エネルギー需要を効果的に満たすために化石資源をどのように使用すべきか検討している。米国は特に化石資源の豊富な国であり、もし化石燃料の使用を中止すれば、多くの地域が破滅するかもしれない。そこで我々は、異なる形での利用法について話し合っている。例えば、これらの化石資源を取り出して、それらを燃焼させて CO<sub>2</sub> や他の温室効果ガスを排出する代わりに、我々が毎日使用しているプラスチックのような、より価値の高い製品に転換する。

チャレンジは、そうした会話を始めたということである。共通のプラットフォームを開始した。再生可能エネルギーについて「x パーセント」という推定される終点値を見るのではなく、我々すべてが合意できる排出レベル、或いは我々すべてが合意できるレジリエンス達成の終点値を見ることである。

- **フランス電力 (EDF) の原子力発電パフォーマンス責任者 Stefane Feutry** : 原子力が再生可能エネルギーと競争しているのではないことを、人々（政治家や公衆）に納得してもらわなければならないことは真実である。我々はガスと競争している。
- **欧州委員会 (EC) 共同研究センターのユニット長 Concetta Fazio** : EU 加盟の各国は、自国のエネルギー・ミックスを決定する。原子力に反対する国もあり、そういう国は再生可能エネルギーを提案している。これに関連して、米国のように、あらゆるものを統合することは少々難しい。市場が議論に影響を及ぼすだろう。欧州の全ての低炭素エネルギー技術を統合する方法の研究は、もっと追及されるだろう。
- **IAEA の SMR 技術開発チームリーダー Frederik Reitsma** : システムコストの議論になると、再生可能エネルギーを多く設置すればするほど価値が減少する。  
個人的見解として、これは公衆にとっていつも目に見える訳ではない、しかし、再生可能エネルギーのパーセンテージが増加するにつれて、再生可能エネルギーの電力グリッドに併入する時のコストが非常に低いにもかかわらず、人々は電気料金が下がっていないことに気づく。益々多くの人々が質問し、原子力がソリューションの一部であると見るようになる。その時にな

って初めて議論が実際に始まる。従って、結局マーケット・フォース（市場原理）がそうさせるように働くが、少し時間がかかるだろう。

- ・ **Bragg-Sitton**： 再生可能エネルギー発電のユニットコストは以前のものと同等ではない、完全に給電しないために、その額は大幅に変化し得る。この会議で取り上げられたシステムコストについて理解し、人々にそのことを教育する必要がある。

## 8. 閉会セッション： 閉会講演(会議総括)

### IAEA 事務次長兼原子力エネルギー局長 Mikhail Chudakov

#### (1) 国際機関、各国政府代表の講演

- ・ OECD/NEA、UNDESA、UNIDO、IPCC、WNA、OECD/IEA、UNFCCC の代表は、気候変動問題の取り組みにあたってはあらゆるオプションを検討することが重要であることで意見が一致した。どの技術であろうとも除外されるならば、問題の解決策を見つけることがより難しくなると指摘された。環境を損なうことなしに経済成長を達成する目標の場合は、特にそうであると指摘された。
- ・ アルゼンチン、バングラデシュ、ブラジル、中国、エジプト、フランス、ハンガリー、インド、モンゴル、モロッコ、ロシア、英国、米国からの代表が基調講演を行い、低炭素エネルギーシステムへの移行を考慮したエネルギー・気候政策について詳細に述べた。

#### (2) 6つのテーマに関する議論の概要

##### [テーマ 1] 気候変動目標のためのエネルギー政策の推進

- －既に気候変動による深刻な影響に直面し、重大な社会的経済的損失を受けている加盟国が出て来ている。適切な規制措置や、より気候にレジリエントなエネルギー・インフラが必要である。
- －電力部門の脱炭素化が、気候戦略の中心に置かれるべきである。クリーン電力の利用可能性は、産業、建物、輸送のような最終消費部門の脱炭素化にとって極めて重要である。
- －市場や国内能力を統合する地域的なアプローチや比較的小型の原子力ユニットの展開が、原子力の実行可能性や新規プロジェクトの資金調達力を改善する手段として、しばしば見られている。
- －幾つかの加盟国は、グリッド規模、国内需要、手頃さの面で、近い将来、大型原子力プロジェクトを立ち上げることはできないかもしれない。こうした国にとって、小型モジュール炉 (SMR) が実効的なオプションとなるかもしれない。

##### [テーマ 2] 気候変動緩和に対する原子力の貢献の増大と他の低炭素電源とのシナジー効果

- －原子力発電所の長期運転は、様々な国で実施されており、人材、地域社会、サプライチェーンとも関係し、イノベティブ・ソリューションを提供する機会をもたらす。イノベーションは、原子力発電所の安全で信頼でき、コスト競争的な長期運転を可能にする鍵となる。
- －原子力発電所の長期運転や新規建設への必要な投資を引き付けるには、政府のコミットメントが長続きするという信頼を投資家が持てる必要がある。
- －更なる課題としては、信頼できるサプライチェーン、知識の長期的な保持、進化する規制環境、原子力固有の経済的・環境的ベネフィットを認識する市場枠組が必要である。
- －原子力発電が柔軟に運転できる能力は実証されており、コスト効率的に低炭素エネルギーを供給する。SMR は、その柔軟性をさらに改善できる。

- － 現行及び新規の原子力発電技術を再生可能エネルギーと統合させるハイブリッド・エネルギーシステムは、産業利用の電気・熱の生産に柔軟性を提供する。
- － 原子力発電所は、気候変動に起因する環境影響に耐えるレジリエンス特性を有する。

#### 〔テーマ 3〕 先進原子力発電技術の開発・展開

- － 高温炉は、原子力水素製造を拡大する短期展開のソリューションを代表する。これは、エネルギー部門の脱炭素化の機会を提供する。
- － 高速炉は、劣化ウランを利用することができ、経時的にはウランの採鉱・濃縮の必要量を大幅に減少させ、更に燃料サイクル・フロントエンドからの CO<sub>2</sub> 排出量を減少させる。高速炉はまた、クローズド燃料サイクルにおいて、発電電力量当たりの放射性廃棄物の発生量を著しく減らす。
- － SMR は、出力変動性の再生可能エネルギーの調整役として更なる柔軟性を提供し、電力グリッドの比較的小さな国には、より適合する。SMR は、温室効果ガス排出削減、高経年化した化石燃料発電所の代替や、地域熱供給にも、重要な役割を果たす可能性を持っている。
- － 先進原子力技術は、地域暖房や水素製造のような発電以外の利用を通じて、温室効果ガス排出の大幅削減に貢献することができる。

#### 〔テーマ 4〕 エネルギーの規制・非規制市場における原子力産業の将来の形成

- － 2050 年迄に供給保障を維持しながら電力部門の脱炭素化をコスト効率的な方法で 10 倍実施するためには追加的な努力が必要である。これには、脱炭素化を引き起こす技術の認識とシステムコストの割り振り、全ての低炭素技術への投資の促進、カーボンプライシングの実施が含まれる。
- － 最近の大型原子力プロジェクトの建設コストは、種々の因子によって世界の異なる地域で対照的な結果を示している。コスト超過とスケジュール遅延は、近年の建設経験が欠如しサプライチェーンの再構築が必要な地域で起きている。しかしながら、他の地域では、予定通り・予算通りに（オンタイム・オンバジェットで）建設されている。
- － SMR は、モジュール化、工場での製造・組立および迅速な学習速度を活用することによって、建設コストを削減し建設スケジュールを短縮する可能性を持っている。
- － 電力の競争市場では、新規の給電可能な発電、特に低炭素技術に対して投資の誘致は少なくなる。それ故、給電可能な低炭素技術への投資を効率的に優遇するようなエネルギー政策と市場の設計が、電力生産の脱炭素化を図るには必要である。
- － グリーンで持続可能なプロジェクトへの現在の資金調達の枠組みは、原子力発電に対して差別的であり、開発金融機関が大型原子力プロジェクトに資金調達するのを妨げている。

#### 〔テーマ 5〕 国際協力とパートナーシップの強化

- － 最近の原子力と低炭素発電の成功裏の展開は、様々なパートナーとの協力のメカニズムが必要であることを示している。画一的な解決策は存在しない。
- － 大規模な再生可能エネルギーの展開を補完する原子力発電のポテンシャルは、伝統的に原子力を支持してこなかった組織とのパートナーシップ構築の良い機会となり得ることを示唆している。
- － 原子力発電にとっては、国際機関、政府、民間部門、NGO、その他の間の連携の強化の機会が存在する。資金調達の誘致や資金調達メカニズムへのアクセスのための協調的アプローチも開発できるかもしれない。
- － IAEA を含む国際機関間のパートナーシップは、持続可能なエネルギー計画や知識管理のキャパシティ・ビルディングによって、低炭素アクションを推進する上で、重要な役割を果たし続ける。

#### 〔テーマ 6〕 気候変動緩和における原子力発電の役割に対する公衆および原子力以外のステークホルダーの認識

- 原子力発電は一般的に、公衆による高いレベルの関心と監視・精査を引き付けるトピックスであるため、気候変動緩和における原子力の重要性を伝えることが一層難しくなっている。幾つかの国では原子力に対する公衆の知識と認識を改善するための取り組みが行われており、誤解を明らかにするためのアイデアが強調された。原子力を含む低炭素エネルギー源の価値についての学生教育を重視することが極めて重要である。
- 気候コミュニティや環境団体などの信頼できる情報源からの分かり易いメッセージと共に、原子力発電に関する事実に基づく説明を提供することが重要である。既にそういう取り組みが進行中である。
- ステークホルダーやパブリックコミュニケーター間の情報共有やネットワークは、実績済みの成果をもたらしているイニシアティブを通じて、共通の困難な課題に取り組み、ポジティブな傾向を促進するための鍵となる。インフォグラフィック、アニメーション、オンラインツール、教育ゲームなど、世界中から強力な多数のイニシアティブが既に開発されている。

### (3) 原子力安全と核セキュリティに関するセッション

- IAEAの安全基準と核セキュリティ指針に一致して、原子力発電所の全期間を通じて、最高レベルの安全性と核セキュリティへのコミットメントと継続的な実行が、原子力平和利用を追求する全ての国にとって極めて重要であることが強調された。
- 自己満足の回避が、ハイレベルの原子力安全と核セキュリティを維持する上での鍵である。
- 原子力安全と核セキュリティに関する国際協力、各国の措置・対応は、近年強化され続けている。
- 原子力産業は、総合的な安全再評価を継続的に受けており、プラントの安全性・核セキュリティを強化するための対策を講じており、規制監視を改善し、緊急時対応を強化し、あわせて国際協力を強化している。
- IAEAは、経年プラントが長期運転入りする時を含め、これらのプロセスを促進する上で不可欠の役割を果たしてきた。

### (4) 気候変動と原子力の役割に関する総括

- 世界のエネルギー需要は、電化の増加と共に、増大してきた。今後もエネルギー及び電力の需要は増大し続けると予測される。
- 全ての部門における温室効果ガスの排出は、気候変動目標を満たすために大幅に削減し続けなければならない。緊急の行動が必要であり、排出削減のために全ての可能な技術を活用して、エネルギー部門の脱炭素化に迅速に行動しなければならない。
- 関連の国際機関によって開発されたほとんどのシナリオでは、2050年迄に気候目標を達成するために、原子力発電が電力供給の脱炭素化に貢献している。
- 一次エネルギーの歴史的な展開を見たとき、非常に困難な作業が未来に横たわっていることを思い出させる。1992年のリオの地球サミットの時、化石燃料が世界のエネルギー・ミックスの81%を占めていた。エネルギー効率の推進や再生可能エネルギーの導入の取り組みを進めてきたにもかかわらず、その25年後の2017年、世界のエネルギー・ミックスにおける化石燃料のシェアは変化していない。2018年にはCO<sub>2</sub>換算の排出量は増加している。
- 世界の人口やエネルギー需要の増加を考慮すると、エネルギー部門の脱炭素化には、原子力発電が重要な役割を果たすことが確認された。
- 政府の役割が決定的に重要である。長期的な戦略と計画が、特に規制緩和された市場において、エネルギー部門の不確実性と不安定性を減少させる鍵となる。原子力による無炭素の給電可能で柔軟な電力の生産を増大させるには、目標を明確にしたインセンティブを利用することができる。

- 原子力産業は、全てのレベルでイノベーションを導入し、建設期間と建設コストを削減し、新規原子力発電システムを他のベースロード電源に対して競争力を持たせることによって、その役割を果たす必要がある。イノベーティブな原子力システムの開発加速と展開を通じて、原子力は、他の炭素フリーのエネルギー源との統合や、電力以外の利用によって、さらに持続可能かつ柔軟になる。
- 会議では、原子力発電の安全・セキュア・平和利用を支援するための、加盟国や世界の多数のパートナーとの協働による国際協力促進における IAEA の重要な役割も強調された。
- 原子力発電展開の将来は、社会的選好によって制約される可能性があるため、公衆および原子力以外のステークホルダーとの関係がますます重要になってくる。全てのエネルギー発生技術にはリスクとベネフィットがある。しかし、ハザードに対する認知・認識は、科学的なエビデンスとは切り離されている。エビデンスに基づくリスクを分かり易い方法で示すような、新しい効果的なコミュニケーション・チャンネルを利用する必要がある。

以上