

## 第7章 市場と産業界の展望/SIAP レポート

### 市場の問題

2000年に第4世代国際フォーラム（GIF）が設立されて以来、市場の状況は進化し続けており、第4世代概念のユーザーと開発者の間で共通の関心事となっている。この意味で、上級産業諮問パネル（SIAP）は、GIF活動を実行するための最も適切な方法を特定することを目標として、市場環境に関連するコアドライバー（推進力）、機会、および制約をよりよく理解するために積極的に取り組んできた。これは常に、システム運営委員会（SSC）の議長およびタスクフォース（TF）と緊密に連携し、GIF政策グループ（PG）のメンバーの指導の下で行われている。

2015年のパリ協定の締結後、多くの国が経済活動に関連するCO<sub>2</sub>排出量を削減するための主な取り組みを開始した。この数年の電力セクターの脱炭素化の取り組みのほとんどは、風力や太陽光発電などの可変エネルギー資源（Variable Energy Resource : VRE）の大規模な容量追加に向けられた。国際エネルギー機関（IEA）が最近示したように<sup>3</sup>、低炭素電力の需要は2040年までに増加する予定であり、気候変動への取り組みを満たすためには、すべての低炭素技術の活用が必要になる。たとえば、IEAが設定した持続可能な開発シナリオによると、原子力発電容量は今日のレベルと比較して60%増加するはずである<sup>4</sup>。しかし、いくつかの問題は、原子力発電の開発を遅らせる原子力の経済的論理的根拠に課題を与えている。

VREのコストは着実に減少しており、現在の電力システムにこのタイプの技術をさらに普及させることが可能である。この傾向は、安価で豊富な化石燃料（特に米国の場合）と相まって、均等化発電原価（Levelized Cost Of Energy : LCOE）ベースでの原子力プロジェクトの収益性を損ねている。同時に、1990年代以降の原子力施設の新規建設の長期休止の影響もあり、最近の原子力プロジェクトは、OECD加盟国で予定通りに予算内で実施することが困難であり、投資家はその高いリスクを認識している。

その一方で、VRE資源の導入が電力システムを形成しており、新しい機会が出現していることを強調することも重要である。断続的な発電と大規模な貯蔵ソリューションの欠如を踏まえると、給電の特性の価値はさらに高い。分散型電源も勢いを増している。さらに、エネルギーシステムの脱炭素化には、家庭用および工業用プロセスの低炭素発熱、または水素の大量製造も含まれる。

これらすべての側面は、2019年5月にバンクーバーで開催された柔軟性に関するGIFワークショップで調査された。このイベントには、さまざまな第4世代システムの柔軟性を評価することを目的として、経済モデリングワーキンググループ（EMWG）、SIAP、およびSSCのメンバーが集まった。SIAPにとってこのイベントは、第4世代システムの柔軟性とハイブリッドシステムに関連する機会に重点を置いて、2018年のSIAP指令（charge）の主な結果をGIFコミュニティと共有する良い機会となった。ワークショップでは、すべての第4世代概念に、負荷追従、拡張性、発熱、水素製造の観点から、新たなエネルギー市場のニーズを満たすための重要な柔軟性があることを確認した。技術成熟度レベル（TRL）

<sup>3</sup> World Energy Outlook 2019, [www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019](http://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019)

<sup>4</sup> Tracking Clean Energy Progress 2019, [www.iea.org/reports/tracking-power-2019/nuclear-power](http://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/nuclear-power)

が低い技術は、設計の観点から制約を緩和できるため、最もポテンシャルが高い。さまざまな柔軟性を得られるオプションにより、第4世代システムをより不確実で激動のエネルギー市場によりよく適応させられる可能性がある。しかし、第4世代設計に柔軟性を持たせるにはコストがかかる可能性があり、適切な市場設計によって適正に補う必要がある。

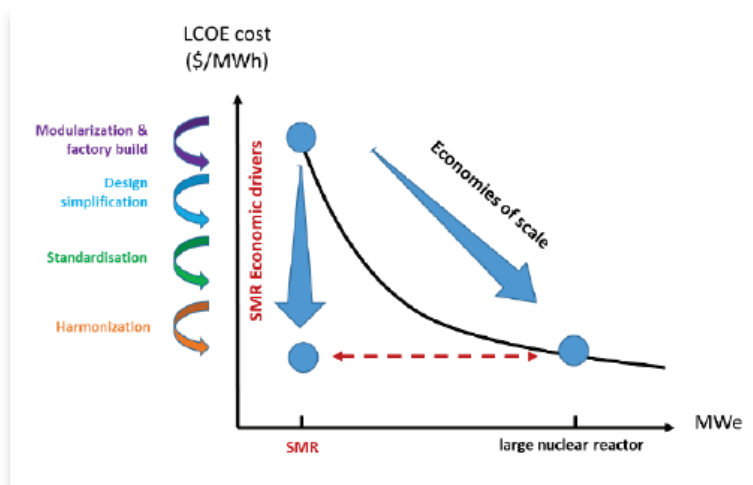
これに関連して、小型モジュール炉（SMR）は、現在の市況においてより魅力的なビジネスケースを提供する可能性があるため、原子力産業の注目を集めている。SMRは、直列の経済性（または直列効果）を最大化するために、設計によってさらに高度なモジュール化および標準化し、工場ベースの建設を統合した原子炉で、出力は10MWeから300MWeである。その後、さまざまなモジュールを敷地内で輸送および組み立てることができるため、建設時間が予測しやすく、時間の節約にもつながる。より最近では、販売会社が、出力が10 MWe未満で、半自律的な運用が可能で、より大きなSMRと比較してさらに輸送性が高いマイクロモジュール炉（Micro Modular Reactor : MMR）を提案している。

他の条件の中でも、直列効果は特に、SMRの経済的競争力において中心的な役割を果たす。実際、このタイプの原子炉のサイズが小さいと、LCOE（規模の不経済）の観点からかなりの経済的不利益が生じる。モジュール化、簡素化、標準化、および調和の累積効果は、規模の不利益を補償するために必要な直列効果を促進し、SMRの経済的パフォーマンスを改善させられる可能性がある。この効果を以下に示す。SMRの経済的推進力の可能性は、他の業界（航空など）での経験によって裏付けられている。それでもなお、SMR技術に関するさらなる経験的証拠が必要である。このプロセスでは、SMRの大規模な展開を可能にするグローバル市場へのアクセスが不可欠になる。

LCOEの問題に加えて、SMRの価値ある提案には、オフグリッド/リモートエリアへのアクセスや非電氣的応用などの固有の特性も含まれている。財政的な観点から、SMRは、主に大型原子炉と比較して全体的な資本支出が少ないため、魅力的な投資となる可能性がある。これは、個人投資家がリスクの低い資本に投資できるようになり、SMRがさらに手頃なオプションになる可能性があるという

ことを意味する。また、これは新しい資金源を引き付け、資本コストを下げる可能性もある。モジュールを段階的に追加できる能力は、特に突然の市場の変化において、さらなる財務上の柔軟性をもたらす。さらに、建設期間が短いほど、投資回収期間が短くなる可能性がある。

IAEAによると<sup>5</sup>、さまざまな技術とライセンス供与準備レベルで開発中のSMR概念は50を超えている。これらの概念の約50%は、先進小型モジュール炉（ASMR）とも呼ばれ



<sup>5</sup> Advances in Small Modular Reactor Technology Developments 2018  
[https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book\\_2018.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf)

る第4世代の概念である。中国では、高温ガス冷却炉の200MWeモデルであるHTR-PMが建設中である。ライセンスプロセス中のものもある。これらのプロジェクトのほとんどでは、GIF加盟国政府によってある程度支援されている場合であっても、民間部門の関与が増加している。

米国やカナダなどの国では、SMRの市場投入までの時間を短縮するための政策とライセンスフレームワークの開発が大幅に進められている。しかし、製品化させるには、いくつかの課題を克服する必要がある。現在、ASMRにはさまざまな種類がある。これはチャンスと課題の両方を表している。短期的には、モジュール工場を構築するために必要な後続の投資をトリガーするだけでなく、最もパフォーマンスの高い概念を選択するためにも、最初の実証炉の役割が重要となる。第3、第3+および第2世代軽水炉で開発された経験に大きく頼っている現在のライセンスフレームワークを再検討するには、さらなる努力が必要である。同時に、政策の枠組みと国際協力を可能にすることは、新しい原子炉の概念をタイムリーに展開するための重要な要素であり続けるであろう。

## SIAPの2019年指令と反応

SIAPは2019年7月、セクション6.1で解説されている市場と産業の状況、特にASMRエコシステムに関連する状況に基づいて、GIFが民間のASMR販売会社との交流をどのように計画すべきかについてのアイデアと推奨事項を作成する任務を受けた。2019年5月にバンクーバーで開催された民間の販売会社との最初の交流の後に、2019 SIAP指令が作成された。指令で扱われた側面は次のとおりである。

- GIFが販売会社と交流する正しい方法や相互関係の必要性への対処など、GIF活動への民間部門のさらなる高い関与による相互利益の評価。
- ASMRの実証段階を加速する目的で相互協力するのに適したR&Dエリアの特定。
- ASMR設計者を関与させるための最初のステップ。

2019 SIAP指令の最初の成果の1つは、ASMR販売会社を評価/分類/選別するための一連の基準を定める必要性であった。選ばれた販売会社は、少なくともGIFの目標<sup>6</sup>に沿っており、成熟した設計を提案する必要がある。TRLの尺度を用いて、レベル4および7が許容可能と判断された。SIAPメンバーはまた、さらに期間を延長して関与するという販売会社の献身の重要性を強調した。考えられる販売会社と迅速に連携する方法には、2016年に開発されたSIAPアンケートの開始時に使用し、SSCの議長やその他のGIF TFからの質問によって補足された、一連の質問の準備が必要になる場合がある。

SIAPは、ASMRの設計者と効果的に交流するためには、知的所有権（intellectual property right : IPR）の問題を慎重に処理する必要があると結論付けた。IPRは、公的資金による情報をパートナー間で交換できるようにする、GIFの構築と運用における中心的な問題である。またこれは、民間部門の関与によって危険にさらされるべきではない。同じ規則が将来の民間パートナーにも適用されるべきである。GIFの過去の経験から、IPRの側面で合意に達するにはかなりの努力が必要であり、それによって、見込まれるASMR販売会社を落胆させる可能性があることが分かっている。

NEA NI2050からは、民間部門との交流を可能にする方法に関する貴重な洞察も得られ

---

<sup>6</sup> 持続可能性、経済性、安全性と信頼性、および核拡散抵抗と核物質防護。

る。この段階では知的財産 (intellectual property : IP) がほとんど作られていないため、TRL が低いと協力が容易になる。概念がより高い TRL に移行するにつれて、技術の IP はより関連度を増し、国際的な協力の妨げとなる。NI2050 の研究結果によると、技術の認定に関する協力がより効果的である可能性がある。「認定 (qualification)」という用語には、産業 (つまり、コードと規格) と規制 (つまり、ライセンス) の両方の認定の意味が含まれる。実際、各国が協力して技術/設計の認定プロセスを共通の手法にできれば (つまり調和)、市場投入までの時間が短縮され、潜在的な市場を拡大するのに大いに役立つ。言い換えれば、ASMR 販売会社を引き付ける「共通の認定パイプ」を作成することが可能であるかどうかである。GIF SSC の活動は本質的に技術に重点を置いているため、このフレームの恩恵を受けることもできる。このトピックは、GIF 内の新しい分野横断的なタスクフォースの主題となる可能性がある。SIAP と NEA は、GIF がこのアイデアをさらに発展させ、このトピックに関して重要な経験を蓄積している標準化開発組織 (Standard Development Organization : SDO)、多国間設計評価プログラム (Multinational Design Evaluation Program : MDEP)、原子力規制活動委員会 (CNRA) などの他の組織と情報交換するのを支援することもできる。

以下の主な共同 R&D 活動は、純粋な技術的トピックを超えて、民間部門にとって興味深いものである可能性がある。考えられる分野は次のとおりである。

- 先進材料と製造。
- 認定と実証を加速させるための共通の R&D インフラストラクチャの開発。
- 代替の冷却剤と燃料の配置を使用した先進概念のライセンス供与を支援するリスク情報に基づく方法と新しい関連要件。
- 燃料と燃料サイクル (フロントエンドとバックエンドの両方の活動)。
- 供用期間中の検査方法とその共通の認定 (つまり、欧州の ENIQ の経験)。

さまざまな SSC との協議後、追加的な特定のトピックを盛り込むことも可能である。前述のトピックには、より水平的なワーキンググループと TF の設置と共に、GIF で観察された最近の傾向に沿って、強力な分野横断的側面があることに注目することが重要である。

民間部門との交流を開始するために、SIAP は、市場動向に応じて後で拡大する可能性を念頭に置きながら、最初の ASMR 販売会社のグループを事前に選択する小規模な専門家グループを設けることを GIF に推奨した。そうすれば、GIF コミュニティへの参加の反応性と意欲を評価するために、選択した販売会社にアンケートを送ることもできる。その回答に基づいて、最初の ASMR 販売会社グループと一連の適切に設計された臨時の会議を開催することが可能だ。会議は、SSC レベル (販売会社を冷却材タイプごとに再グループ化できる) で、またはより分野横断的なワーキンググループや TF (経済、安全、先進製造など) で開くことができる。

さらに、上記の主な R&D 分野に沿って、2020 年 2 月にパリで 2 つのワークショップが開催される。1 つは先進製造に関するもので、その後すぐにもう 1 つの R&D インフラストラクチャのニーズと機会に関するワークショップが開かれる。これらのイベントは、この章で詳述されている 2019 年の SIAP 指令の結果をベースとして使用し、GIF と民間部門間の長期的な協力における、互いに利益があると思われる領域を適切に評価する新たな洞察を提供するであろう。

## SIAP の 2020 年の目的

GIF は開始以来、第 4 世代システムを支援するための (必要な) R&D 要素に重点を置き、支援してきた。商業用 SMR の推進力により、最近、原子力への関心が呼び起こされている。SIAP は、この新しい勢いを利用するために GIF への助言と支援に努めている。

SIAP は、合理化、情報キャンペーンの確立、ASMR システムが化石燃料発電所にとって代わる準備ができていることを発電コミュニティに納得させる方法、および原子力のライセンス供与をより国際的/輸送可能にすることを促進することにおいて、GIF をサポートする準備ができている。



SIAP の Eric Loewen  
議長とすべての貢献者