

第2回：「変革のさなかの原子力エネルギー」

<国家のエネルギー政策の選択肢>

原子力エネルギーは、異なる視点から異なった理解がなされている。例えば、ドイツやベルギーのような多くの欧州諸国は、脱原子力発電政策を検討しているが、中国、インド、トルコ、英国など、むしろ積極的な国家原子力発電計画を表明している国々もある。原子力エネルギーの最も魅力的な特徴は、CO₂を排出しないベースロード電源であることが挙げられる。

一般的には原子力エネルギーに関するある種の懸念が見られるが、これは原子力発電の安全性に対する不安や原子力エネルギーのコストが関心の主な理由になっている面もある。

国の選択肢として原子力エネルギーを考えると、包括的な責任、長期的な集中と構想力が必要となる。（原子力発電への）新規参入国にとって最も重要な前提条件は、プログラムを適切に考えるための十分に訓練された人材の利用可能性ではないかと思われる。この試みが成功しなかった場合には、国家計画が完全に崩れ去り、原子力エネルギーをだれも信じないという事態がもたらされる可能性がある。

<トルコの原子力発電開発の軌跡と今後の課題>

その代表例がトルコである。トルコが原子力発電所を建設するために最初に真剣に取り組んだのは1970年代だった。当時は政治的不安定や経済不安があり、原子力発電所建設は実現しなかった。その後も何度か同じ試みをしたが、成功しなかった。これによって国民の心には原子力エネルギーへの信頼が失われた。一方、国際的なベンダー企業もこの長期にわたる対応努力で疲れ果ててしまった。

ようやくここ10年間で堅実で目的に沿ったステップがとられた。これはこの10年間の持続的で有望な経済成長率にも支えられていた。さらに、「建設・所有・運転 (BOO)」モデルの導入は実行可能な選択肢と考えられた。トルコ政府が決定を最終化したことで、トルコ初の原子力発電所であるアックユにVVER-1200型炉(図1)×4基を建設するトルコ・ロシアの「政府間協定 (IGA)」が結ばれた。

現在、限定着工許可がトルコ原子力規制機関「トルコ原子力庁 (TAEK)」から発給されている。その4基の原子力発電プラントの運転者となる「アックユ原子力発電会社 (ANPP)」は、ANPPの株式購入機関を募集中である。建設作業は2019年に加速すると予想されている。初号機2024年に完成の予定である。



図1. アックユ原子力発電所の概念図

その後、三菱重工業(株) (MHI) が主導するコンソーシアムがシノップに予定されている第2原子力発電所建設に選定された。新設計のPWR「ATMEA1 (アトメア・ワン)」がこのプロジェクトに提案された。このシノップ原子力発電所には電気出力115万kWのATMEA1×4基が建設される(図2)。この場合、国有の「トルコ発電会社(EUAS)」の子会社「EUAS 国際協力社(EUAS ICC)」がシノップ原子力発電所を運営する電力会社の最大49%の株主になる。



図2: ATMEA1

残りの株式は外国のパートナー企業によって保有される。現在MHIは、国有の電力卸売り会社「トルコ電力取引・契約会社(TETAS)」に販売される1kWh当たりの電力料金を「電力購入契約(PPA)」で決定するための「技術・経済的実現可能性調査(F/S)」を完成しようとしている。このF/Sは近い将来の完成が期待されている。

第3の原子力発電所も検討されている。この原子力発電所にも4基の原子力発電プラントが設置される予定となっている。さまざまな推測はあるが、サイトは明確ではない。トルコ政府は、このプロジェクトを実現するために中国の国有企業「国家核電技術公司（SNPTC）」と取極めを結んだ。しかしながら、詳細はまだ開示されていない。それは財務上の詳細条件を決定するための包括的な分析が前提となっているからかも知れない。

トルコの選択とは異なり、3つのまったく異なる原子炉技術を1つの国が受け入れることはあまり一般的ではない。より広範な人材と多岐にわたる専門性が必要となる。原子力発電新規参入国として、トルコでは許認可、産業活動基盤、またすべての原子力発電プロジェクトと将来の原子力発電産業の支援サービスが大きな課題となっている。

<世界各国の原子力発電開発への取り組み>

これまで、西側諸国で開発された原子力技術はほとんどが先進国で使われて来た。ソビエト連邦時代には、ロシアの技術は、主にソビエト連邦構成国および東欧諸国に広がっていった。

しかし例外は常にある。例えば、ブラジルとアルゼンチンはライバル国であり、彼らは野心を支えるために核プログラムを開始した。類似例はさらにある。

一方、フィンランドのロシア製 VVER-440 型原子炉の建設のような奇妙な例もある。

多くの国では、急速な工業開発の支援が原子力エネルギー導入の最初の原動力となった。これは先進国だけでなく発展途上国でも経験されている。新しく建設された原子力発電プラントのほとんどは国家機関によって運営されている。

・米国

民間電力会社が重要な原子力発電事業者であることから、米国の場合は例外である。

スリーマイル島、チェルノブイリ、福島の不運な出来事の後、原子力産業は自らの安全基準を改善する必要に迫られた。もちろん、改善には制限がない。最終的に、これは原子炉に関連する資本コストの大幅な増加をもたらしている。スリーマイル島事故の後、長い間、米国内に新たな原子炉の発注はなかった。しかし、原子力産業は引き続き運転認可の延長と出力増強に積極的に動いている。原子力発電への投資条件が非常に限定されたものとなっているため、こういった運転認可の延長や出力増強はさらに注目されて来ている。

・英国、フィンランド

現在、英国やフィンランドのように、これまでの原子力の経験を豊富にもっていて新しい原子力発電プラントを追加したいと考える国もある。

両国は、原子力エネルギーの新しい能力増強に向けた投資に一貫して集中的に取り組んできた。これらの国々は、既存のインフラと関連する人的資源の利点をもつ。それでも、原子力エネルギーへの新たな投資は両国で雇用の機会と仕事口を創出するだろう。

フィンランドは、2003年にフランスの AREVA 社とターンキー契約を締結し、電気出力 160 万 kW の PWR によりオルキロト発電所 3 号機の建設を決定した。建設は 2005 年に開始され

たが、残念ながら驚くほどに長引いた。運転開始予定日は2019年9月だったが、遅延や予想外の支出により、AREVA社は大きな財政負担と経済的な困難に遭遇した。その後、フランス電力会社EDFはAREVA社の株式を大量に取得して倒産を防いだ。最後に、フランスのベンダーであったFRAMATOME社が、原子力産業の技術開発と製造を遂行し続けるために2018年1月初めに復活した。

フィンランドの原子力会社FENNOVOIMA社は、フィンランドでロシア製PWRであるVVER-1200型炉の建設を担当した。

フィンランドの株主VOIMAOSAKEYHTIO SFに加えて、（ロシア国営原子力企業ROSATOMの子会社）RAOS VOIMA OyはFENNOVOIMA社の株式の36%を保有している。これは、国内外のパートナーとの合弁会社を設立する原子力産業の新たな傾向の一例である。外国のパートナーは、一般的に技術提供者の立場をとっている。

英国では状況が異なる。国全体の電力量に対する原子力の貢献は約20%である。英国は、使用済燃料再処理を含む原子力産業におけるすべての主要活動を発展させてきた。英国の原子力発電プラントは主に老朽化した「改良型ガス冷却炉（AGR）」で構成されている。（AGRを含む）すべてのガス冷却炉は、2020年代末までに廃炉になると予想されている。唯一のPWRであるSizewell Bは、それらより長く稼働する。これらの古い原子炉を廃止した後の電力供給が問題である。またCO₂排出削減のために石炭火力発電所利用の低減も考えられている。

島国であるにもかかわらず、英国は電源を多様化し電力取引を可能にするために、いくつかの高電圧直流送電網によって大陸ヨーロッパに接続されている。それでも原子力は実行可能な選択肢と思われる、5つの新規炉建設プロジェクトの開発が進んでいる。

大学と産業界は、この野心的なプログラムを行動の準備にとりかかる機会と考えている。新しい産業研究センターである「原子力先進製造研究センター（NAMRC）」がマンチェスター大学とシェフィールド大学の主導により発足した。さらに、有望プロジェクトを支援する人的資源のニーズに応えるために必要な措置がとられている。

提案された新規原子力発電所建設プロジェクトは、トルコの場合よりもさらに複雑で多国籍なものとなっている。（フランスEDFの子会社で英国最大の総合エネルギー企業の）「EDF Energy」、中国の「中国広核集团有限公司（CGN）」、スペインの「IBERDROLA社」、フランスの「ENGIE社」、日本の（株）日立製作所は、英国の新規原子力発電所建設プロジェクトで重要な役割を果たしている。それぞれの会社またはコンソーシアムは、異なる技術によって、原子炉を建設することが期待されている。英国のエネルギー政策が見直され、原子力に対する政府の反對方針が変更された2006年以来、随分時間が経った。しかし、政府の原子力政策では民間投資のみを考えていた。

<トルコのシノップ・プロジェクトと英国でのホライズン・プロジェクト>

トルコでMHIが進めているシノップ・プロジェクトと英国で（株）日立製作所が進めているホライズン・プロジェクトは比較する価値がある。

三菱はトルコ向けに新設計炉 PWR「ATMEA1」を提案した。この技術は当初、MHI と AREVA 社によって開発される予定だった。しかし AREVA 社はフィンランドで直面した財政問題によりもはや存在しない。

現在、フランス政府は原子力企業を再編し、古い FRAMATOME 社を復活させた。

一方、シノップ原子力発電所の所有権は、MHI、伊藤忠商事(株)、ENGIE 社（エンジー）、およびトルコ国有の「EUAS 国際協力社 (EUAS ICC)」で構成されるコンソーシアムに帰属する予定であった。その後、伊藤忠商事(株)と ENGIE 社のシノップ・プロジェクトに対する支援について噂が流れた。

「EUAS ICC」は（シノップ原子力発電所の所有権の）株式の 49%の取得をめざしている。シノップ原子力発電所には ATMEA1×4 基が設置される。当初の費用見積もりは、約 200～220 億 US ドルであった。しかし日本側の新聞報道では、最近のコスト見積もりが 375 億 US \$に引き上げられたとなっている[1]。

しかし、財務関係の数値の公的な発表はまだなされていない。日本とトルコの両国政府の支援は、プロジェクトの成功にとって本当に決定的なものとなっている。

英国のホライズン・ニュークリア・パワー社の背景はさらに興味深いものである。同社は 2009 年にドイツの RWE 社と E.ON 社によって設立された。RWE 社と E.ON 社は古い Magnox 型原子力発電所に隣接するオールドベリーとウィルファの新規原子力発電プラント建設プロジェクトへの入札に成功していた。当初の計画は、AP1000 と EPR を 3 基建設するものであった。しかしドイツの両社はホライズン・プロジェクトから撤退したいと発表した。

その後、VVER-1200 で ROSATOM、AP1000 でウェスチングハウス社 (WEC) -国家核電技術公司 (SNPTC) -EXELON 社、EPR で AREVA 社-中国広核集团有限公司 (CGN)、さらに ABWR で(株)日立製作所が各ホライズン・プロジェクトへの関心を示した。



図 3：ウィルファ・ニューウィッド原子力発電所の概念図

最終的に、2012年に(株)日立製作所はホライズン・ニュークリア・パワー社の所有者となり、ウィルファ・ニューウィッドに2基、オールドベリーに2基の電気出力138万kWのABWR×4基を建設することを計画した(図3)。建設費は約275億USドルと見積もられており、(株)日立製作所は英国企業に株式の少なくとも50%を売却しようとしている。これに対応して、英国政府は英国と日本の投資家を誘致してこれらのプロジェクトを支援すると発表した。英国政府は、「原子力プロジェクトには公的資金の直接投資を支援しない」という政策にもかかわらず、直接投資を考慮している[2,3]。

英国とトルコの両方のプロジェクトが日本のベンダーによって達成されるには、何らかの外部からの支援が必要と思われる。両方のホスト国の政府がこれらのプロジェクトを実現するために支援をしていることも明らかである。日本のベンダーにとっても、これらのプロジェクトを確かなものにし、現在の原子力市場で競争力を発揮することが重要である。

<その他の地域各国の原子力発電に関する計画あるいは関心>

前述したように、中国、インド、ロシア連邦は、自国の電力需要を支えるための非常に強力な原子力プログラムがある。世界原子力協会(WNA)によると、原子力エネルギーの計画があるか関心を表明している国がたくさんある[4]。彼らの地理的位置によると、これらの国々は以下のとおり。

- ・ 欧州：イタリア、アルバニア、セルビア、クロアチア、ポルトガル、ノルウェー、ポーランド、ベラルーシ、エストニア、ラトビア、リトアニア、アイルランド、トルコ。
- ・ 中東および北アフリカ：アラブ首長国連邦、サウジアラビア、カタール、クウェートを含む湾岸諸国、イスラエル、シリア、ヨルダン、エジプト、チュニジア、リビア、アルジェリア、モロッコ、スーダン。
- ・ 西部・中部・南部アフリカ：ナイジェリア、ガーナ、セネガル、ケニア、ウガンダ、タンザニア、ザンビア、ナミビア。
- ・ 中南米：キューバ、チリ、エクアドル、ベネズエラ、ボリビア、ペルー、パラグアイ。
- ・ 中央アジア、南アジア：アゼルバイジャン、ジョージア、カザフスタン、モンゴル、バングラデシュ、スリランカ。
- ・ 東南アジアおよびオセアニア：インドネシア、フィリピン、ベトナム、タイ、ラオス、カンボジア、マレーシア、シンガポール、ミャンマー、オーストラリア、ニュージーランド。
- ・ 東アジア：北朝鮮。

関心のある国々がこのように多いことを考えると、原子力発電の将来は明るく見える。しかし本当にそうだろうか？

これらの国々の中には、自国での原子力発電の利用可能性を長年にわたって分析してきた国もある。

インドネシア、フィリピン、マレーシア、タイ、ベトナム等の国々は、分析を積極的に結論づけしておらず、将来のプロジェクト立案や意思決定を先延ばししているようだ。

エジプトとヨルダン、何年間も自国の原子力発電を研究し、国際的ベンダーと交渉してきた。最後に、エジプトはロシア連邦の ROSATOM と、総容量で電気出力 480 万 kW の原子力発電所を建設することに合意した。総費用は 300 億ドルと予想される。一方、ヨルダンはまだ国論がまとまっておらず、結局は原子力開発を進めないことにした。

英国でさえ、プロジェクトの計画化はゆっくりと進んでいる。計画策定の遅延は、これらのプロジェクトの実現を脅かしている。

<原子力産業復活：再生可能エネルギーとの競合で考えるべき条件>

化石燃料への依存は、一般的に西側先進諸国では回避されている。これにより原子力がベースロード電源として有利に扱われるチャンスが増えている。しかし、資本コストの大幅な削減による再生可能エネルギーの広範な普及は、原子力エネルギーの脅威になる可能性がある。さらに、電気エネルギー貯蔵の技術開発は再生可能エネルギーを支援し、低コストの貯蔵システムの可能性は、風力や太陽光などの再生可能エネルギーシステムの遠隔地での利用可能性を高め、ベースロード発電設備として機能するようになる。

したがって、原子力産業は、原子力エネルギーの将来を確保するための評価を行うべきである。原子力エネルギーの複雑さの 1 つは、システムを維持するための強力なインフラストラクチャーが必要なことにある。これには包括的なプログラムと当事者としての責任感が必要である。政府や国民の目に見える支持がなければ、それを維持することはできない。たとえ投資が民間企業によって行われるとしても、政府のリーダーシップは重要である。当局がリーダーシップを断固とした姿勢でとらない場合、通常プロジェクトの進展速度はうんざりするほど遅くなる。その後、遅延により余分なオーバーヘッドが発生し、プロジェクトやすべてのステークホルダーのリスクが増加する可能性がある。

新規原子力発電所建設のプロジェクトコストまたは資本コストは、ポートフォリオに含め検討するために重要なパラメータである。通常の場合では、新技術製品は市場発売価格が最高価格となる。時間が経つにつれて古いものの市場価格は下がると予想されるが、異なる機能を備えた新改良モデルがリリースされれば、さらに高い価格がつく。ほとんどすべての発電システムは、特有の資本コスト (US \$ / kW) を考慮すると、この傾向がある。

以下のコスト見積もりは世界原子力協会 (WNA) [5] によって提供されたものである。これらの数値は、2008 年時点の EPC 契約での数値である。各プラント特有の資本コストは、もちろん 1530~3600 US \$ / kW と大きく変わる。

最近の数字はわずかに異なる。電気出力 140 万 kW×4 基の UAE のバラカ原子力発電所の建設関連費用は、2018 年で 320 億ドルと報告されている [6]。それは 5700 \$ / kW になると判明した。またアックユ原子力発電所 (電気出力 120 万 kW の VVER 1200×4 基) は、約 220~250 億ドルと推測される。この場合の特有の資本コストは約 4,600~5,200 US \$ / kW になる。資本コストが上昇する傾向にあることが明らかとなる。しかしそのような比較は、どの時点でのどの場所でのコストかということ抜きにして語られていることから誤解を招く恐れがある。多くの場合、米国のボーグル発電所で見られるように、当初の期待した条件は時間とともに変わって行く [7]。

原子力エネルギーの主要な問題のひとつとして、発電所がかなり大きな容量をもつものになってしまうことがある。他方、再生可能エネルギー、すなわちバイオマス、太陽光および風力は、小規模ユニットの分散型発電がむしろ適切である。今日では、典型的な原子力発電所は電気出力 100～140 万 kW であり、最大の風力タービンは電気出力で約 7～8, 000kW である。

こういった設備容量の特性から新たに複雑な問題が起きる。第一に、グリッドの小さい国では、その電力網システムへの原子力導入がむずかしくなることがある。原子力エネルギーは、国家の強いコミットメント、基盤、政府の支援を必要とする。これらは一般に、強い経済力をもつ先進国で見られる。原子力エネルギーへの投資は主に国家または大規模な国際的な電力会社を実施している。

原子力エネルギーにとって最も深刻な問題は、公衆の受容とリスクの理解のように思える。再生可能エネルギーを促進し、この観点から肯定的な注目を集める方が簡単である。原子力の安全性が十分に理解されているにもかかわらず、原子力エネルギーの普及に影響を及ぼすもう一つの障害がある。これがコスト要因である。とくに、新規建設の原子力発電プラントは比較的高価格で市場に入り込んでいる。原子力産業の重要な責務のひとつは、原子力を他のエネルギー源と競争できるようにコスト削減に必要な予防措置を講じることである。

とくに、再生可能エネルギーの広範な普及とその継続的なコスト低下は、再生可能エネルギーを一層魅力的にしている。エネルギー貯蔵の実現可能な解決策が得られれば、この競争は再生可能エネルギー産業の利益となるだろう。

では、原子力産業はどのような行動をとる必要があるのか？

明らかに、設計の標準化は非常に重要である。さもなければ、新しくリリースされたりシリーズの最初の設計となる製品は、通常、実質的に高コストなものになる。ベンダー企業にとって目に見える市場状況があれば、ベンダー企業はこれを耐えることができる。

原子力産業における研究開発活動は、明らかに安全に重点を置いている。新規建設にあたっては新機能が既存炉の設計に導入されている。

現在利用可能な設計では、安全性を損なうことなく関連コスト削減を重点化すべきである。これは、将来の市場を拡大することによって達成できる。新規建設市場の縮小、プロジェクトの廃止、現在の原子力発電所群への運転支援は、業界の再編を引き起こすことになるかも知れない。多くの国で明るい未来を確かなものにするためには、原子力産業における知識と専門知識の継承・拡大が最優先事項である。これに対処できる国が有利な地歩を占める。こういったことができなければ、原子力発電を再生可能エネルギーと競争力のあるエネルギー源とするのはむずかしいと思われる。

以上

(参考文献)

[1] <http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201803150046.html>

[2] <http://www.globalconstructionreview.com/news/hitachi-gets-cold-feet-over-uks-27bn-nuclear-schem/>

[3] <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/Hitachi-seeks-assurance-from-UK-s-May-on-shared-stake-in-nuclear-project>

[4] <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries.aspx>

[5] The Economics of Nuclear Power, World Nuclear Association, Information Papers, November 2008.

[6] <http://www.worldconstructionnetwork.com/news/enec-completes-construction-of-unit-1-at-32bn-barakah-nuclear-plant-in-uae/>

[7] <https://www.foxbusiness.com/markets/tab-swells-to-25-billion-for-nuclear-power-plant-in-georgia>