

## 第3回

## 「発電所とチーズの関係」

米国 コンサルタント ゲイル・H・マーカス



## プロフィール（2008年1月時点）

## 略歴：

マサチューセッツ工科大学（MIT）で原子力工学博士取得（米国で女性初）後、1980～1985年に議会調査局科学政策研究部で科学技術政策の分析、エネルギー、原子力発電、リスク評価管理の政策分析に従事。

1999年まで、米国原子力規制委員会（NRC）職員として、原子炉規制局（NRR）原子炉プロジェクト III-3 部長、新型炉プロジェクト部長、NRC 委員技術補佐、原子炉安全諮問委員会／放射性廃棄物諮問委員会（ACRS/ACNW）副室長などを歴任。この間、日本に2度滞在しており、1992年に5ヶ月間、通商産業省で日本の ABWR 許認可の調査、1998年から1年間、東京工業大学原子炉工学研究所の客員教授として日米の規制方針の比較研究を行った。

2004年まで、米国エネルギー省（DOE）原子力科学技術局主席副局長として、次世代炉開発などのプログラムを担当。この間、2001～2002年には米国原子力学会（ANS）会長に就任。

2007年まで、OECD 原子力機関（NEA）副事務局長として3年間パリに赴任。

現在は、原子力発電技術・政策の個人コンサルタント。

## 委員：

ANS フェロー、米国科学振興協会（AAAS）フェロー、米国研究審議会委員、MIT 原子力工学科評議委員、AAAS 工学分野委員長

## 著書：

技術論文・出版物は多数。主に原子力規制政策、エネルギー技術・政策、リスク評価・管理、国際原子力政策、新型炉技術関連。

## 初めに

「フランスには 365 種類ものチーズがあるのに、原子力発電所の種類は1つしかない。アメリカはその反対だ。」イヴァン・セリン元 NRC 委員長は在任中（1991年7月1日～1995年6月30日）にこう語ったと言われている。

アメリカでは BWR 及び PWR が合計 100 基以上稼働している。BWR のベンダーが 1 社、PWR のベンダーが 3 社あり、さらにアーキテクト・エンジニアが複数存在する。このため、BWR、PWR とともに顧客に合わせて設計をカスタマイズした発電所が多数建設された。セリン元委員長の言葉から、当時、このよう

な状況に原子力産業界及び NRC が苦慮していたことが伺える。

当時の許認可プロセスでは、過去に NRC の承認を受けた設計であっても許認可申請の度に詳細な審査を必要としたため、設計を揃えるメリットはほとんどなかった。このことがサイトや事業者ごとに設計を変更しようという考えを後押しした。その後、競争入札による価格のメリットなどからベンダーを固定しない事業者も現れるようになり、BWR と PWR 両方を運転する事業者や、2 社の異なる PWR を運転する事業者も出現した。

一方、フランスの原子炉発電所は PWR のみである。設計改良は発電所ごとではなく、世代ごとに段階的に行われた。このため、フランスには数世代の PWR があり、世代ごとに同じ設計の PWR が多数建設された。

アメリカとフランスは正反対の道を辿り、好対照をなしている。日本はと言うと、アメリカとフランスの「中庸路線」である。即ち、アメリカのように BWR と PWR が両方あるが、設計のバリエーションはアメリカほど多くはない。また、BWR と PWR の両方を運転している事業者は 1 社（日本原電）しかない。

各国各様の歩みをもたらした背景とその結果は、以前から取り上げられている。

## 分析

歩みの違いの背景として考えられているものには以下がある。

- ・国民性（アメリカ人は個性を重んじ、かつ、進取の気性に富んでいる）。
- ・アメリカはフランスや日本よりも先に原子力発電所の開発に着手した（先行国として様々なコンセプトの試行錯誤から新たな技術を見出してきたため、必然的に変更が多くなった）。
- ・アメリカには小規模の事業者が多数存在した（日本は約 10 社、フランスは 1 社）。
- ・フランスと日本は政府が国内産業を推進する政策に積極的に取り組んだ。アメリカでは政府の施策ではなくベンダー間の市場競争が主導となった。
- ・先に述べたように、アメリカでは既に承認された設計にも審査を必要としたため、許認可プロセスにおいて既設炉と同じ設計を使用するメリットがなかった。

他にもあるかもしれないが、上記はアメリカ、フランス、日本の原子力産業の発展に何らかの影響を及ぼ

したと考えられる。しかし、過去を掘り下げるよりも、各国の歩みの結果を考え、各々の欠点を解消するために今後必要または実施可能な路線変更を探ってみたい。

各国の歩みの結果は簡単に言うと以下の通り：

原子炉設計を継続的に変更する路線は、経験を直ぐに活かせるメリットがある。即ち、問題解決、運転信頼性や運転費用の向上などの経験から得た見解を次の発電所に速やかに反映することができる。設計変更の蓄積を待つ必要はない。

欠点は、当然ながら、ユニークな設計の原子炉はスケールメリットが得られないことである。即ち、設計が異なれば、機器、運転手順、訓練も異なる。職員を別の発電所にすぐに異動させることもできない。また、問題解決策や設計改善策の検討に必要な費用を多くの発電所に分散して回収することもできない。さらに設計ごとに審査を受ける必要がある。

これに対し、標準設計路線は、事業者、規制当局の両者にとって効率的で、スケールメリットを享受できる。問題解決策や設計改善策は、一度検討すれば複数の発電所に展開できる。また、許認可の変更審査も一度実施すれば他の発電所で同じ審査を受けずに済む。手順書も一度作成すれば複数の発電所で使用できる。保守や運転員の異動も容易である。スケールメリットによってコスト削減が可能な機器もあるかもしれない。

標準設計路線の唯一の欠点は、深刻な問題が発生すると同じ設計の発電所全てに影響があり得る点である。これは幾度となく議論されてきたが、今日までにそのような事態が起きたことはない。これまでに発見された問題はそれほど深刻ではなく、段階的な修正で対応可能だった。しかし、これまでにない深刻な問題が起きないとは言えない。さらに、とても深刻な問題が明らかになった場合、同じ設計の発電所を全部一度に停止しないようにという規制当局へのプレッシャーは相当なものになるだろう。しかしながら、これま

でのところ、この欠点は標準化の流れを押し止めるほどの問題ではなかった。また、発電所には世代の違いがあるため、ある標準設計の問題が全ての発電所に影響することはない。

標準化のメリット、デメリットを考えれば、日本の「中庸路線」はアメリカとフランスの良い面をとっているように思える。各事業者は炉型を1つに限定しているため、訓練、手順書作成、職員の流動性確保などの効率化によるメリットを享受している。事業者単位では設計に共通する問題を経験するリスクはあるが、日本全体で見ればリスクが軽減されている。

日本の規制当局は、BWR と PWR を扱わなければならないためフランスの規制当局ほど効率的ではないが、アメリカに比べれば設計が標準化されているのでアメリカの規制当局ほど多くの設計を扱う必要はない。

## 今後を考える

三者三様の歩みを国民性や宗教的背景の違いで考えることもできるかもしれない(例: 儒教では「中庸」を重んじるなど)。ただし、要因を1つに限定できるほど物事は単純ではなく、また、路線変更もあり得る。現在の状況に至るまでの要因を振り返るよりも、これからどのように変化するか、どうしたら過去の失敗を繰り返すことなく各々の良い点を取り入れていくことができるかを考えたい。

このため、まず今日の状況に目を向けよう。私が初めて日本に滞在した1990年代初め頃、アメリカでは事業者の吸収合併が始まっていた。私はアメリカの状況について日本でプレゼンする機会が多かったが、このまま吸収合併が進めばアメリカの事業者は日本のように10社ぐらいになる日が来るかもしれないと半ば冗談で言ったことがある。

そして今、当たらずとも遠からずという状況になった。10社にはならないと思うが、アメリカの事業者数は以前よりはるかに少なくなった。1990年の50社(サン・オノフレ発電所を共同経営するサザン・カ

リフォルニア・エディソン社とサンディエゴ・ガス&エレクトリック社を1社として計算)と比較すると2007年は約半分の27社(発電所を所有している運転会社も所有していない運転会社も含む)である。また、原子炉1基のみの事業者数は1990年21社だったが、2007年は7社である。今後さらに合併が進めば、事業者数はさらに少なくなる。(出典: Nuclear News 「World List of Nuclear Power Plants」)

この事実だけを見ると、アメリカは過去の最大の問題の1つ——事業者数が多く、その多くが原子炉1基しか所有していなかった——を解決する道を辿っている。事業者数が減り、複数の原子炉を運転する事業者が増え、日本のようにスケールメリットを得やすくなっている。

異なる設計の原子炉を運転することは同じ設計の原子炉を運転する場合に比べると相当の労力が必要だということをアメリカの電力会社が実感し、今後そのような方針を取る事業者が少なくなると明言することもできない。異なる設計の原子炉を購入してはならないとする法律または規制など制度的な改正があったわけではないのである。事業者が異なる設計の原子炉を購入することは不可能ではない(特に、今後存続できないベンダーがある場合)。とは言うものの、そのような事業者は今後は例外的になるだろう。

さらに、アメリカでは原子力発電所の許認可プロセスが変更され、新規申請では認証済み設計を参照できるようになった。これは、原子力産業界が新設炉の設計変更を最小限に抑える「動機付け」になるだろう。

けれどもこの許認可プロセスの変更が効果をもたらす保証はない。新設炉の許認可申請が始まったばかりの現段階でさえ、様々な理由により認証済み設計を参照していない申請者は多く、また認証済み設計の設計変更が既に提案されている。このような状況は一時的なもので、認証済み設計の数が多くなれば、事業者は認証済み設計を参照した申請書を提出するようになるかもしれない。現時点では確実なことは言えないが、これまでの経験から、アメリカでは標準化は予期

していたほど進まないのではないかと懸念も出ている。

フランスと日本はアメリカとは趣を異にする。フランスでは、原子力発電事業者は1社しかなく、これからもこれまでの路線を歩んでいくことはほぼ間違いないだろう。日本の状況はフランスより複雑だが、現在の事業者の体制が今後も継続し、1種類の炉型を選択することによるメリットを考えれば、現状維持でいくことになるだろう。

以上から、今後の原子力開発では、主要国における新設炉の調達路線にある種の収束が見られるのではないかと考える。特にアメリカでは、日本やフランスよりも大幅な路線変更が見られるだろう。

## で、チーズとの関係は？

この問いに答える前に、セリン元委員長が引き合いに出したフランスのチーズの種類の高さは他にも例えとして引用されている。例えばフランス初代大統領シャルル・ド・ゴールが「チーズが 365 種類（246 種類という説もあるが、真意は同じ）もある国を統治することはできない」と嘆いた逸話は有名である。セリン元委員長の言葉はこの逸話を踏まえたものであることは確かである。

シャルル・ド・ゴール元大統領は、フランスで生産、消費されているチーズの種類の高さに例えてフランス国民の多様性を表現した。セリン元委員長は、表現を裏返してフランスの原子炉設計の均一性とアメリカの多様性を対比させている。

私は、セリン元委員長の発言は、原子力の発展に影響を及ぼす様々な要因とそれらがもたらす結果のメリット、デメリットを考え、今後の決定に反映させる機会を与えてくれていると受け止めている。

もちろん、要因と結果が単純に一对一で結びつくわけではない。実際、フランスの原子炉設計が均一である背景は一言で説明できるものではなく、それはアメリカの原子炉設計の多様性においても同じである。各

国における現在の方向性が変わり得るのか、もしくは現状のままであるのかを予測することは難しい。言えることは、多くの種類のチーズを生産している国であっても、原子力発電プログラムはかなり均一であるということである。フランスと日本は政府の力が強く、国策として産業を推進する傾向にある。アメリカでは国策として産業を推進することはこれまであまり行われなかった。また、アメリカの規制当局は、技術革新を受け入れる立場をとり、設計の標準化を促すことはしてこなかった。しかし、現在では標準化によるメリットが認識されており、今後は標準化に向かっている。このことは、これまで様々な設計の原子炉を運転してきた国が標準設計へと路線変更し得ることを意味している。

セリン元委員長も私も時期は異なるものの職務でフランスに在住したことがあるので、フランスにはチーズが（数え方にもよるが）365種類以上あることは知っている。私は、フランスにいた時に1つでも多くのチーズを味わおうとしたものだ。

種類が豊富であることは、特に私のようなチーズ好きには願ってもないことだが、原子力発電所の設計に関しては良くも悪くもある。幸い、アメリカの原子力発電所の状況は変わりつつある。フランスのチーズの豊富さはこれからも変わらないで欲しいが、アメリカの原子炉設計の多様性は今後は少なくなるだろう。

\*\*\*

前回同様、ご意見、ご感想をお寄せいただければ幸いです：[ghmarcus@alum.mit.edu](mailto:ghmarcus@alum.mit.edu).

（注：@マークは画像で表記しています。メール送信の際は画像を@に変えて下さい。）

2008年12月