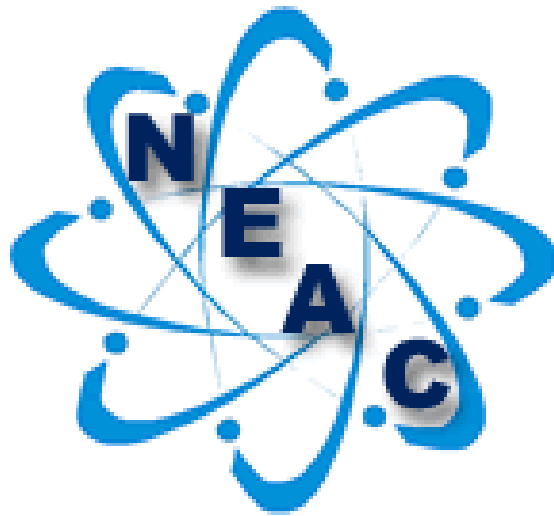


# 原子力：21 世紀の政策と技術

*Nuclear Energy: Policies and Technology for the 21<sup>st</sup> Century*



Nuclear Energy Advisory Committee  
(USDOE)

原子力諮問委員会  
(米国エネルギー省)  
2008 年 11 月

この文書は、社団法人日本原子力産業協会による仮訳であり、正式文書は英語版をご参照ください。

The Japanese version is produced with the permission of USDOE to provide a convenience to Japan Atomic Industrial Forum members.

Official reference to this report should be made using original English version.



## 原子力諮問委員会

2008 年 11 月

Washington, D.C. 20855  
米国エネルギー省  
エネルギー長官  
サミュエル・ボドマン博士

ボドマン長官殿

「原子力：21 世紀の政策と技術」をお送りすることができ光栄に存じます。この報告書は、エネルギー省（DOE）原子力諮問委員会（NEAC）によって作成および採択されました。委員会は、2008 年春にデニス・スパージョン原子力担当次官補から、この報告書を作成するよう依頼されました。この任務を遂行するため、NEAC は 2 つの小委員会を設置しました。その 1 つは原子力政策に、もう 1 つは原子力技術に重点的に取り組みました。

報告書は、原子力発電の役割、ならびにエネルギー安全保障、環境、および核不拡散に与える影響に注意を喚起するものです。原子力政策および技術に関する戦略は、何年という単位ではなく何十年という単位で検討すべきです。この報告書は、政策の分野と技術の分野の重要なベンチマークを特定します。特筆すべきことは、原子力の進歩には超党派の努力を必要とすることから、当委員会のメンバーは両政党を代表し、さまざまな職業的バックグラウンドから集まっています。委員会は、ノーベル賞受賞者を含む著名な科学者、元 DOE 高官、原子力規制委員会、米国国務省、NASA、および国家安全保障会議、ならびに大学総長を含む原子力の分野の著名な教授、産業界の指導者、および重要な非政府組織である核脅威イニシアティブ（NTI）、天然資源保護協会（NRDC）、原子力エネルギー協会（NEI）、およびアイゼンハワー協会（EI）などで構成されています。

DOE は、技術の進歩における非常に重要かつ基本的な役割を含めて、我が国の安全な原子力発電を確保する上で重要な役割をこれまで果たしており、今後も果たし続けます。原子力発電は国際的に劇的な拡大を遂げつつあり、それは核不拡散目標の遵守だけでなく、安全な建設と運転を必要とします。当委員会の報告書では、国内で米国の持続的な原子力計画を確保し、国外で国際的リー

ダーシップを発揮するために、グローバル・アプローチが極めて重要であることを強調しています。フランス、英国、および日本には、重要な原子力発電・研究計画があります。報告書では、これらの国やその他の国と相互に利益をもたらす協力分野を特定しています。

最後に、報告書では、国際原子力機関（IAEA）などの多国間制度を強化することの重要性を認め、最近完成した 20/20 委員会報告書に注意を促しています。この報告書では、核不拡散問題への取り組みの強化および国際原子力拡大の時代における原子力開発のための戦略を特定しています。

小委員会の指導体制に参加して頂いた同僚のダニエル・ポーネマン氏とバートン・リヒター氏に感謝の意を捧げます。また、この報告書に国を越えて貢献して頂いた国際的同僚である英国のスーザン・イオン氏と日本の植松邦彦氏に謝意を表します。

ウィリアム・F. マーチン  
原子力諮問委員会委員長

ジョン・アハーン  
原子力諮問委員会副委員長

## 政策小委員会メンバー

- ・ 座長-ウィリアム・F. マーチン-元エネルギー省副長官  
IAEA 20/20 プロジェクト・コーディネータ
- ・ 座長-ダニエル・ポーネマン-スコウクロフト・グループ代表  
元国家安全保障会議議長特別補佐
- ・ ヘンリー・バロン-コンステレーション・エナジー社 CEO 兼  
原子力最高責任者
- ・ スーザン・アイゼンハワー-アイゼンハワー協会理事長
- ・ コーリー・ヒンダースタイン-核脅威イニシアティブ  
国際プログラム責任者
- ・ アレン・セッソムズ博士-コロンビア特別区大学総長

## 技術小委員会メンバー

- ・ 座長-ジョン・アハーン博士-Sigma Xi 名誉理事  
元原子力規制委員会委員長
- ・ 座長-バートン・リヒター博士-スタンフォード大学スタンフォード  
線形加速器センター名誉理事  
ノーベル物理学賞受賞者
- ・ トーマス・コ克蘭博士-天然資源保護協会原子力計画上級科学者
- ・ マイケル・コラディニ博士-ウィスコンシン大学マディソン校原子力工学応  
用物理学部学部長
- ・ マービン・ファーター-原子力エネルギー協会上級副理事長兼  
原子力最高責任者
- ・ ダーラーン・ホフマン博士-カリフォルニア大学バークレー校化学部  
大学院教授
- ・ スーザン・イオン博士-英国王立工学アカデミー工学政策委員会副委員  
元英原子力燃料会社技術部長
- ・ セカジ・ムティングワ博士-マサチューセッツ工科大学上級講師
- ・ ロン・オムバーグ博士-パシフィック・ノースウェスト国立研究所
- ・ ジョイ・L. レンペ博士-アイダホ国立研究所 ENEEL 特別研究員
- ・ ニール・トドレアス博士-KEPCO 原子力工学教授  
マサチューセッツ工科大学機械工学名誉教授、
- ・ 植松邦彦博士-日本原子力産業協会、元 OECD 原子力機関事務局長
- ・ ドミニック・ワラン博士-CEA サクレイ、DEN/DDIN

委員会は以下の方々の貢献に謝意を表します。

- ・ アーノルド・ベーカー博士-サンディア国立研究所首席エコノミスト、元国  
際エネルギー経済学協会理事長
- ・ ジョン・ボジャー博士-原子力諮問委員会の元指定連邦役員

- ジョナサン・ギルマン-ワシントン・ポリシー&アナリシス社会長補佐  
兼エネルギー・アナリスト
- レイ・ケルハー博士-国際原子力機関
- ジョゼフ・パーコウスキー博士-アイダホ国立研究所  
エネルギー・イニシアティブ・マネジャー
- ケネス・チャック・ウェード-原子力諮問委員会の指定連邦役員代理

## エグゼクティブ・サマリー（要旨）

エネルギー省（DOE）原子力諮問委員会（NEAC）は、新政権に提出する報告書を作成するために2つの小委員会を組織した。2つの小委員会の報告書は、本要旨の後に示す<sup>1</sup>。

政策小委員会の役割は、次期大統領が検討する際の選択肢となる枠組みを策定することを目的に、米国の原子力政策における重要な選択肢とそれらの意義を追究することにある。

米国に限らず諸外国でも、原子力には、化石燃料への依存度を抑制することでエネルギー自給率を改善し、温室効果ガスの排出量を削減できる潜在的な可能性がある。したがって、エネルギーポートフォリオの重要な構成要素である原子力を堅持することにより、米国におけるエネルギー安全保障の強化が実現でき、さらに環境改善の促進も達成できる。諸外国で原子力がどのように活用（場合によっては悪用）されるかが米国の利害に関係する以上、原子力の安全、安全保障、環境および核拡散上の意義を検討する国際的な取り組みの中で積極的な役割を担うことは米国の国益にもかなうものである。

現在、原子力発電所の許認可取得や建設に際して実際に必要となる能力や所要時間の面から、相当のリスクや不確実性が存在する。これらのリスクと不確実性が原因で、原子力発電所建設に要する資金や原材料コスト面での管理がより難しくなっており、発電所の建設資金を提供する投資家が求める収益率が上昇している。他の代替発電手段との比較において、新規原子力発電所におけるこの種のリスクや不確実性を低減することが、原子力発電所の建設支援のための融資保証を認めている米国法の目的にかなっている。

2005 年エネルギー政策法に基づき支給されることが決定された政府補助金が契機となり、米国内の多くの電力会社が現在、発電資産のポートフォリオに原子力発電所を加えることを真剣に検討している。

NEAC は、米国における将来の原子力の展開に関する予測範囲を検討し、不確実な要素が存在する場合には検討根拠として用いる1つまたは複数の予測に関し、いかなる確信を持った判断も下せない結論づけた。そこで、NEAC は米国における原子力の将来のあり得る姿を描くため3つのシナリオを選択した。

ケース A-低成長シナリオ：すべての原子炉の耐用年数を60年まで延長するが、新規炉は建設されない。

---

<sup>1</sup>本報告書は原子力諮問委員会が作成し、承認されたものである。しかし、全委員が内容のすべてに同意したわけではない。

ケース B-中成長シナリオ：すべての原子炉の耐用年数が 60 年まで延長され、かつ 12 基以上の原子炉が新設される。新規設置分が電気出力 1700 万 kW 相当のベースロード電力に寄与する。ただし、エネルギー情報局の提示する基準ケースにあるように、既存の米国政策に変更がないことが前提である。

ケース C-高成長シナリオ：ベースロード電力への追加寄与分が電気出力 4500 万 kW 相当になるように原子炉を建設する。この場合、将来の発電に関する投資決定は、炭素排出を抑制するような法および規制体系を基盤としてなされることを前提とする。

核燃料サイクルの研究開発成果により、ユッカマウンテンをはじめとする多くの地点での放射性廃棄物貯蔵で直面していた困難な状況を大きく変えることができた。米国は、放射性廃棄物管理に関する他の選択肢も模索しつつ、処分サイトとしての受入容量を決定するため、ユッカマウンテン計画の許認可手続きを完遂する必要がある。

NEAC は、米国政府が、原子力の安全性、安全保障、処分場の科学体系、核不拡散に対する取り組みを強め、かつこれを拡大しながら世界的なリーダーシップを発揮するための一定レベルの卓越性を堅持する一方、環境とエネルギー安全保障を確保し、米国の繁栄を守るため、原子力政策を展開し、明示すべきであると考えている。具体的には、DOE がホワイトハウス主導の下で関係当局や利害関係者と協力して取るべき措置として以下のことを NEAC は勧告する。

- ・原子力に関する研究開発ロードマップの作成と実施
- ・米国原子力産業の求める人材要件に適合できる労働力の育成
- ・すべての原子力施設における設計、建設および運転に関わるすべての行動指針としての「安全第一」主義の堅持
- ・米国原子力施設における最優先事項としてのセキュリティの向上
- ・NRC 許認可プロセスの改善、およびその他関係当局や利害関係者との調整
- ・核燃料サイクル体制の再編のような措置による核兵器拡散リスクの最小化や、世界各国の原子力利用者が国際的な核不拡散基準を遵守する限りは、各国固有の燃料に対する要求に対して供給者が効率よく対応可能な信頼できる保証体制を構築すること
- ・すべての国々が核不拡散の基準を完全に遵守し、世界的に安全な原子力開発が推進できるように、国際原子力機関（IAEA）を強化し、適切に業務を遂行するために必要となる資源を同機関に付与すること



技術小委員会では、エネルギー省原子力エネルギー局（DOE-NE）のために作成した報告書を手始めに、原子力計画に利用できる施設について検討が行われた。

報告書では、以下の措置を取ることを勧告している。

- ・ 運転中および将来の軽水炉群についてはより一層の運転上の改善策を講じ、耐用年数を延長すること
- ・ 有能な訓練された労働力を確保すること
- ・ 原子力の適用範囲を拡大するために、次世代原子力発電所（NGNP）のような第4世代原子炉を開発、実証すること
- ・ 国内施設の性能向上を図り、持続可能な核燃料サイクル創出のために必要な活動として国際施設の共同利用を拡大すること
- ・ 強固な国際協力プロジェクトと共に、重要分野において既に認識されている高速炉の技術的能力を統合すること
- ・ モデル化とシミュレーション能力を開発すること

優先順位の高い施設の多くでは、DOE-NE が要求する性能を有するためには中程度ないし高額な投資が不可欠となる。NEAC は、これらのミッション（特に多様性のある DOE-NE のミッションとして特定されたもの）を支援するために、必要な施設を確実に利用できる体制に整備するためには戦略的な構想が不可欠であると確信している。

NEAC では、特にリサイクルや高速炉の技術開発のような、長期的かつ多額の資金を必要とする研究開発については、国際協力に重点を置くことが重要であるという点では意見が一致している。

DOE は、現状や既存の計画・施設を検討し、複数のミッションに必要な既存施設の性能向上や新規施設の考察を含む長期計画について提案する解析書を次期政権に提出しなければならない。この考察では、維持、性能向上、廃止または新規建設の対象となる施設を体系的に検討する必要がある。その目標とするところは、最新の状態を維持し、かつ安全な運転を可能とするためのミッションに必要となる適切に組み合わされた最新施設を保有することである。

優先順位の高い多くの施設は、DOE-NE が求める能力を備えるには中程度ないしは多額の投資が必要になる。

大規模かつ高額になることが多い改修作業を実施していないと、目的とする用

途には使用できないほど施設が老朽化しているか、あるいは老朽化しつつあるという気の重い話が露見している。一方、たとえ意欲的な新規発電所建設や、前向きな計画の進展がなくても、米国には充実した一連の原子力研究施設が必要である。

DOE 原子力局は、現在運転中の軽水炉（LWR）群および今後予想される改良型 LWR で採用されるワンスルー燃料サイクルを含めた、原子力関連インフラ施設要件の評価幅を拡張する必要がある。

現在のような予算が逼迫している情勢下では特に、国際協力を強化すべきである。

NEAC では、新規炉が建設されない場合、少数の新規炉が建設される場合、多数の新規炉が建設される場合のいずれであっても、以下の研究開発計画が必要になると結論づけた。

- ・ 現在運転中の発電所を問題なく運転し、予想できない事態を回避するための研究開発。本研究開発には、経年劣化現象を軽減するための対策も含まれる。
- ・ 原子力に従事する新規の中核技術者および科学者の活力を促すための研究開発
- ・ 廃棄物管理に関する研究開発
- ・ 国際的な原子力論議の場で米国が主要参加者としての立場を維持するための研究開発

2030 年で計画期間を終了させるのは重大な過ちである。新しい概念は、数十年に及ぶ実験室規模およびエンジニアリング規模の開発段階を経て、ようやく商業規模に到達することができる。

## 原子力諮問委員会（NEAC）政策小委員会報告

### I. 序論

アトムズ・フォア・ピース（Atoms for Peace）イニシアティブの開始以来 50 年以上にわたり、国家のエネルギー、環境、および国の安全保障への関心という点で、米国の原子力政策の意義はこれまでになく大きい。原子力に関して次期大統領が行う選択は、こうした関心に対してかなりの影響を与えるであろう。本小委員会のミッションは、次期大統領が検討すべきオプションの枠組を作ることを目的に、米国の原子力政策における重要な選択肢と意義を探ることである。

原子力は、広範なエネルギー構想において、単に 1 つの要素に過ぎないことを心に留めておくことが重要である。国内外における全般的なエネルギー・ミックスにおける原子力の役割を参照することなく、またさまざまなアプローチにおける費用対効果とともに、これらアプローチ間で検討すべきトレードオフを認識することなく、原子力政策を効果的に扱うことはできない。しかしながら、本小委員会は、原子力諮問委員会（NEAC）憲章により限定されている。そのため、本報告は主に原子力に焦点を合わせことになる。代替エネルギーオプションについても触れることになるが、これについては深く分析せず、同様に、他のいかなるエネルギー源と比較して、原子力の相対的長所または短所について最終的な判断を行おうとすることもないであろう。将来の発電要件を満たしながら炭素放出を減らすことを探求するにあたり、再生可能エネルギー、炭素隔離、エネルギー効率向上、原子力を含む何らかの代替策を排除することは賢明でないという数多くの研究（2003 年マサチューセッツ工科大学（MIT）原子力調査、国際エネルギー機関（IEA）2007 年世界エネルギー展望（WEO）、国家エネルギー委員会など<sup>2</sup>）で明確に示されている前提を本小委員会は受け入れており、以上のようなパラメータが本作業を損ねることはないと考えている。これは単に石油、ガス、あるいは原子力の問題というだけでなく、むしろエネルギーと環境の問題である。国内だけでなく、地球規模の課題である。

### II. 新エネルギー構想と原子力の役割

NEAC が行った予想によると、今後数十年間にわたって発電に対する需要が、特にアジアの新興市場で継続して伸び、既存の供給源に対する圧力がさらに強まる可能性が高いことを示唆している。数多くのモデルについてレビューを行った。そのすべてが、エネルギー消費と化石燃料エネルギーによる炭素放出の増加傾向を示していた。

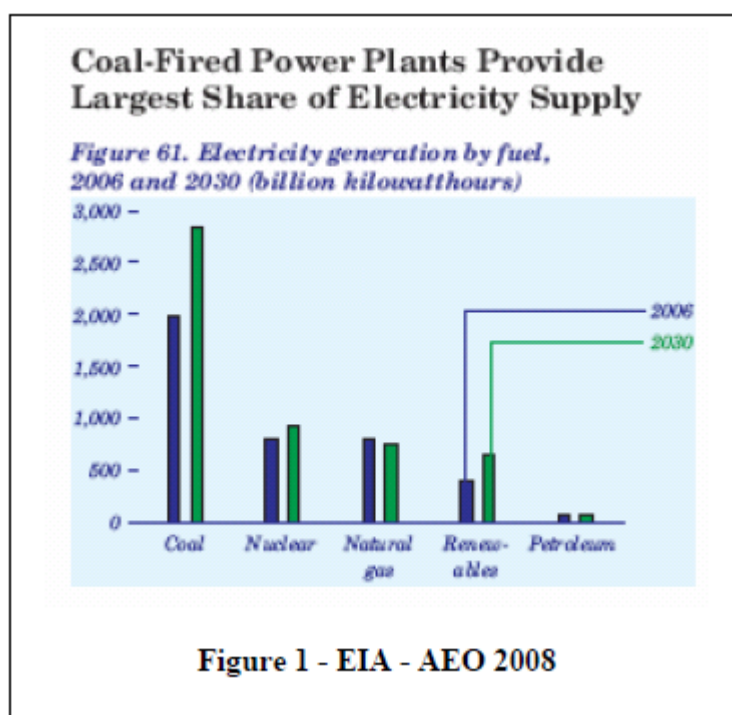
炭化水素エネルギー、再生可能エネルギー、水力、原子力、エネルギー節約と

---

<sup>2</sup> 「エネルギーこう着状態の終焉」、エネルギー政策国家委員会、2004 年。

いった、電力の需給間のギャップを埋める潜在的な貢献手段は、国内外の経済成長にとって大きな制動要因となる電力不足を避ける上で必要とされるであろう。さらに、エネルギー投資におけるリードタイムが長いこと、発電資産の供用寿命が長いことから、短期的な決定が、今後数十年間にわたる種々のエネルギー源と技術間のバランスを大きく左右することになるであろう。こういったエネルギー安全と、炭素放出を低減させる国内外の取り組みに関する短期的な決定の影響は劇的なものになるかもしれない。例えば、中国は、電気出力 100 万 kW の石炭火力発電所相当を毎週少なくとも 1 基追加しているが、このような展開ペースは、今世紀のほとんどの期間にわたって炭素放出量を際立って引き上げるであろう<sup>3</sup>。

他の国々と同様、米国も、エネルギー安全、気候変動、高価な炭化水素への継続的依存によってもたらされる課題に取り組んでいる。現在、米国のエネルギー消費の 80%以上が化石燃料に頼っている。電力は主に大規模送電網を通して供給されるが、そのおよそ半分は石炭火力発電所から、5 分の 1 がそれぞれ原子力と天然ガス火力発電所から、7%が水力発電から、3%が再生可能エネルギーによる。現在の傾向と政策に基づけば、2005 年から 2030 年までの間、米国の電力需要は 30%以上の伸びを示す可能性があり（EIA AEO 2008、2008～2030 年）、化石燃料、水力/他の再生可能エネルギー、原子力によってもたらされる各比率は現在と類似したものになるだろう（EIA AEO 2008、2008～2030 年）。しかし、例



例えば電気自動車（プラグイン・ハイブリッドまたは完全バッテリー駆動式のいずれか）が広く導入されれば、電力需要の伸びはさらに大きくなる可能性がある。発電に対する燃料ミックスも同様に、炭素政策、エネルギー価格、技術の変化に応じて、大きく異なってくる可能性もある。例えば、原子炉を利用して輸送分野のための水素生産を行う、小型原子炉を利用して熱用途のために送電網外でプロセス熱を生成したり、原子力発電電力の配電量

<sup>3</sup> 「石炭と清浄な空気は中国で共存しうるか?」、デイビッド・ベリオ、サイエンティフィック・アメリカン、2008 年 8 月 4 日。

を増やしたりすることを提言している例もある<sup>4</sup>。同時に、風力および太陽光の技術が進めば、発電の全比率においてこういったエネルギー源の役割が大きくなるかもしれない。

米国の水力発電容量が、すでに設置されているもの以上の大幅な追加電力は見込めないため、ベースロードの追加増分は、それぞれ長所と短所のあるこれら3つのエネルギー源によることになるであろう。石炭は豊富であるが、その燃焼によって、すべての主要な電力源のうちのほとんどの温室効果ガスが放出される。さらに、この数年間で石炭価格が急激に上昇した<sup>5</sup>。石炭の炭素残存を減らす試みのために、クリーンな石炭技術と炭素隔離に関する大がかりな研究開発が実施中である。天然ガスは石炭よりもクリーンであるが、この5年間で天然ガス価格はかなり上昇し、価格変動も続いている<sup>6</sup>。天然ガス開発者が米国内でかなりの追加資源を見つけ出したため、価格が下がる可能性があるという点は指摘されるべきである<sup>7</sup>。天然ガスは、全設置ベースで見ると、石炭または原子力に比べて価格が高いという見方が依然として電力会社内にある。複合サイクルガス発電所は、設置が比較的素早くできる点と、全体的に柔軟な運転ができる点はさらに強調できる。

原子力についてはどうであろうか。原子力は、既存の発電所が償却されれば、比較的低価格の燃料の信頼でき、豊富な供給源に頼りながら、低価格で炭素放出の少ないベースロード電力を大量に提供できて、通常発電所放出では健康への影響も小さい。

他方、原子力は、核兵器拡散や潜在的な大事故の危険性を孕んでいるだけでなく、その長期的な廃棄物処分問題も未解決のままである。さらに、健康や環境に関する懸念が原子力には常につきまとう。また、上記のとおり、新規発電所の建設で必要とされる年数にわたって数十億ドルを引き受けることを正当化する上で必要なハードルを原子力が克服することができるかどうかは不明確である。

電力分野が、予想される将来の需要を確実に満たす適切な発電容量を提供できるならば、この分野に向けて一貫した予測可能な米国の社会政策が肝要になるであろう。これは特に原子力に関して重要である。

現在、原子力発電所の許認可と建設では、他の電力オプションに関連するものとは特性と程度の異なる、かなりのリスクと不確かさが伴う。前述の最近の経

---

<sup>4</sup> 「アラスカの町が電力費用削減のために原子炉を模索」、マシュ・ヴァルト、ニューヨークタイムズ、2005年2月3日。

<sup>5</sup> [http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/nymex/nymex\\_chart.pdf](http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/nymex/nymex_chart.pdf)

<sup>6</sup> EIA-[http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/ng\\_pri\\_sum\\_dcu\\_nus\\_a.htm](http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/ng_pri_sum_dcu_nus_a.htm)

<sup>7</sup> アラスカガスパイプラインの開発

験では、気候に関する懸念のために、原子力発電と同様に石炭火力発電所の立地と建設が困難になる可能性を示唆している。このリスクと不確かさのために、原子力発電所の建設における財務費用と材料費の管理が困難になり、民間部門が原子力発電所への投資と建設を行うのに必要な投資収益率が上昇する。このようなリスクと不確かさを低下させることが、米国政府の政策にとって可能な1つの役割である。

米国政府は、民間の放射性廃棄物の処分に対する責任を想定している。現在、米国の地層処分場の建設への道筋ができていないため、廃棄物は原子力発電所のサイトで貯蔵されている。廃棄物処分への支払いのために、原子力発電を行っている電力会社から料金が徴収されており、この状況が続いている。米国政府は、1982 年廃棄物政策法の下での義務を果たすことを怠ったとして、電力会社から大いに訴えられている。

さらに、ペンシルベニア州ハリスバーグで 1979 年 3 月に起こったスリーマイル・アイランド原子力発電所事故を受け、原子力規制委員会（NRC）は、原子力発電所に対する安全基準と規制要件を強化したため、次の事故が起こらないことに寄与したものの、費用の増加を招いた。NRC はさらに、世界貿易センターに対するテロリストの攻撃を受けて追加の安全措置に着手した。

2005 年エネルギー政策法による連邦補助金に刺激され、多数の米国電力会社が現在、発電資産の自社ポートフォリオに原子力発電所を追加することを真剣に検討している。これらの電力会社は、償却された原子力発電所が安価で確実に発電を行うことと、原子力発電が、国内生産品または輸入品にかかわらず化石燃料によってもたらされる潜在的な燃料供給上の問題と価格変動の影響を受けないことに魅力を感じている。これらの電力会社はさらに、原子力オプションを、発電を行う上で唯一の広範に利用可能かつ拡張可能なベースロードで、炭素を放出しないオプションをもたらしものと見ている。電力会社の幹部は、炭素税あるいは排出権取引制度の導入の可能性があることから、原子力がさらに魅力的な選択肢になることを認めている。これまで、米国の電力会社は、17 件の建設・運転一括許認可（COL）を原子力規制委員会（NRC）に申請している<sup>8</sup>。

魅力があるにもかかわらず、原子力プロジェクトはスケールが大き過ぎ、継続時間が長過ぎるため、地元、州、国家レベルでの広範で超党派的な支援、公的・民間資本源からの忍耐強い決然とした投資、わが国の原子力企業に対する強化された技術的、科学的基礎がなくては首尾よく運営することはできない。

---

<sup>8</sup>詳細な COL 申請情報については、  
<http://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/col.html> から入手可能

### III. 米国の原子力の将来シナリオ-3つのケース

NEAC は、気候変動により潜在的にもたらされる悲惨な結果を緩和することが不可欠かつ急務であると考えている。この問題に取り組む上で最も経済効果のある方法は、化石燃料に対するわが国の過大な依存に関連する巨額な未払い経費（すなわち、経済外部性）を含む温室効果ガスによりもたらされる社会的費用を内面化することである。この理由は、炭素税または排出権取引プログラムのいずれも、炭素放出と炭素のないエネルギー解決策の間のルールを整えることで炭素放出を制限または低減する効果をもつが、これらの方策を通して CO<sub>2</sub> 放出の費用を内面化することを支持する意見が高まっているためである。

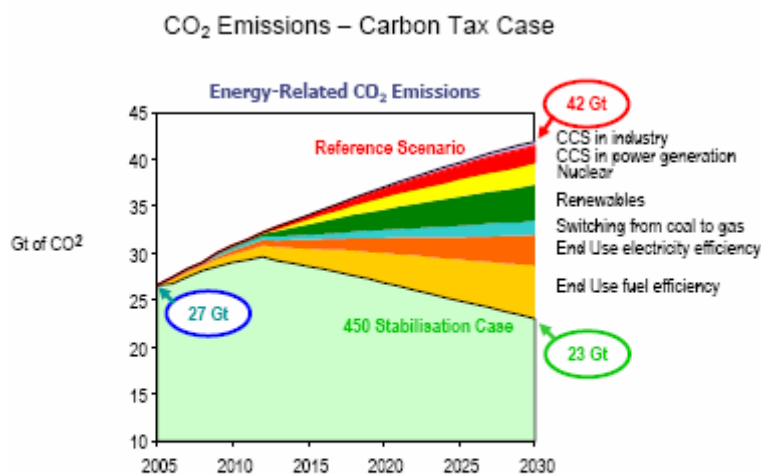
炭素を排出しないエネルギー源として、原子力は炭素取引に際しては有利になりうる。この有利さがどれほどのものかは、原子力自体の不確かさを考慮し、代替策と比較しても予測するのは難しい。NEAC は、米国における原子力の将来の配備に関して広範囲の予測のレビューを行い、NEAC のレビューを行うための基礎としてどの予測を用いるかに関して、固有の不確かさのために、確固とした判断ができないと結論付けた。さらに、原子力が直面する課題の特徴は定量的というよりも定性的なものである、すなわち、いかに多くの原子力発電所が建設されるか、あるいはいかにわずかなものしか建設されないとしても、廃棄物、セキュリティ、安全、および環境に関して同じ問題を扱う必要がある。確かに、配置される発電所の数は、そのおおよその限界費用に影響を与えるであろうが、この問題は NEAC が検討するものというよりも、電力会社の幹部と投資家に任せることがいちばんよい。

ケース A-低成長シナリオ（0GWe 増加）：原子力に対する公衆の支持は増加し、電力会社は許認可申請を行い、政治家は温室効果ガスを大きく削減することを要求しているが、新規建設は必然的ではない。原子力発電所が現在も建設中の他の約 10 カ国とは異なり、米国では多数のハードルが残っており、新規建設に向けての決定的契約はまだなされていない。このシナリオでは、すべての原子炉が運転寿命を 60 年まで延長すると仮定する。仮に米国が低成長シナリオになってしまった場合、現在から 2030 年までの合計発電量に占める原子力の比率は、当然ながら全市場需要の仮定に依存するものの、パーセントで 19%からおそらく約 15%まで低下するであろう。再生可能エネルギーおよび/またはエネルギー効率の改善によってこの差異を埋めることができなければ、考えられる結果として、石炭への依存が大きくなることで米国の炭素排出事情が悪化し、国際的な原子力の舞台における米国の影響力がさらに小さくなるであろう。このシナリオではさらに、再生可能エネルギーおよび炭素放出の制限に関する連邦政府の政策に応じて、電力系統故障の増加と経済成長率の低下、さらには原子力発電供給の低下により電気料金の上昇につながるかもしれない。

ケース B-中成長シナリオ（17GWe 増加）：中成長シナリオについて、NEAC は、既存の米国の原子力または他のエネルギー政策で変更がない場合を仮定するエネ

ルギー情報局 (EIA) の基準ケースによった。これによると、2030 年までに 17GWe の新規原子力発電所が稼働を開始するが、この場合、全体の 19%から 18%へと若干下がるが、(現在の) 米国の発電とほぼ同じ比率を原子力が担う<sup>9</sup>。(このシナリオも同様に、現在運転中の原子炉すべての寿命が 60 年まで延長されると仮定する。) 米国の電力供給で「単に既存の原子力を置き換える」、あるいは「単に原子力を現在の比率で保つ」ことは、何もせずに起こることではない。それとは逆に、電力会社幹部による重要な決定、金融業界からの投資、政府からの規制上、さらに可能であれば商業的な支援、数千人の技術者、製造者、技師、その他がかかわる膨大な取り組みを反映して 100 万 kW 以上の新規原子炉が約 10 基注文されることが必要である。しかしながら、それほどの取り組みを行ったとしても、化石燃料による電力が同様の伸びを示し、同期間中にクリーンな石炭技術、効率化、再生可能エネルギーで劇的な進展がなければ、このシナリオによって、それ自体、米国の温室効果ガスが顕著に低下することはないであろう。

ケース C-高成長シナリオ (45GWe 増加)：仮に、炭素税または排出権取引制度のいずれかを通して、かなりの価格が炭素排出に課せられることになれば、国民総生産 (GNP) および電力需要が継続的に伸びると仮定すれば、原子力の拡大はさらに大きくなり得る<sup>10</sup>。このような状況下では、2030 年までに 45GWe までの新規開発が考えられるが、原子力市場占有率の潜在的な伸びに関して、利用可能な予想は炭素税率によって変わるということを指摘しておくのは重要である。このような規模で原子力を拡大することで米国の炭素排出へのかなりの貢献が見込まれるものの、取り組みの規模およびペースは、米国の現在の原子力イン



フラが支援することのできるものをかなり超えることになるであろう。インフラが追加されるとしても、2030 年までに 30GWe の新規原子炉を建設することが大きな課題になる。エネルギー情報局 (EIA) の基準ケースでは、2008 年から 2030 年までの間に合計電力容量に対して、17GWe の原子力容量を含む 176GWe が追加されたことに注目するべきである。EIA の高成長ケー

<sup>9</sup>年次エネルギー展望 2008 年、EIA、11 ページ

<sup>10</sup>例えば、S.2191-2007 年リーバーマン・ワーナー気候保全法



スでは、2008 年から 2030 年までの間に合計電力容量について、31GWe の原子力容量を含む 252GWe が追加されている。

#### IV. 国内政策問題

原子力諮問委員会（NEAC）は、上記 3 つのシナリオのうち 1 つまたは複数のシナリオに基づき、以下の 8 つの主要な政策問題カテゴリーを検討した。

- ・ 廃棄物管理
- ・ 研究開発（R & D）
- ・ 人的資源
- ・ 供給チェーン管理
- ・ 安全性
- ・ 安全保障
- ・ 原子炉許認可
- ・ 政策環境

##### A. 廃棄物管理

エネルギー省は、2008 年 6 月に原子力規制委員会（NRC）に対し、使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物用の深層地層処分場を、ユッカマウンテンに建設および運転することについて許認可を求める、8600 ページにわたる申請書を提出した。2008 年 9 月に、NRC は同許認可申請書の要録書を作成し、現在、「DOE が、NRC の規制に従って、処分場を安全に建設ならびに運転することができることを、実証することが可能かどうか」を決定するための、技術的・科学的問題を評価する手続を開始するところである。この手続には、3 年から 4 年の時間がかかると思われる<sup>11</sup>。DOE は、2008 年 8 月に議会に、1983 年から 2133 年まで処分場を運転するシステムの総ライフサイクル費用が、廃棄物収容量を以前に計画された 7 万トンから 12 万トンに拡張する費用を含め、およそ 1000 億ドルであると報告した<sup>12</sup>。処分場の開設は、早くとも 2020 年以降であると見込まれる。その一方で米政府は、1998 年に開始する予定であった廃棄物の受け入れが遅れていることに対する損害賠償として、電力会社に対し年間最大 5 億ドルの支払いを行っている。裁判所が命じたこれらの損害賠償金額は、総額で 600 億ドルを超えと思われる。この継続中の法的義務もあり、高レベル放射性廃棄物管理問題への対応が、緊急性を増している。実用炉の運転から生じる使用済み燃料の

---

<sup>11</sup>

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-yucca-license-review.html>

<sup>12</sup>ユッカマウンテンに関する DOE の報道発表を参照

[http://www.ocrwm.doe.gov/info\\_library/newsroom/documents/8\\_5\\_08\\_FINAL\\_TSLCC\\_PR.pdf](http://www.ocrwm.doe.gov/info_library/newsroom/documents/8_5_08_FINAL_TSLCC_PR.pdf)

ほか、米国の軍事廃棄物を貯蔵する処分場も必要となっている。

処分科学研究は、米国が世界最先端であると考えられている原子力事業の領域の 1 つである。したがって、ユッカマウンテンに対する NRC の許認可プロセスを進めることは、米国の原子力計画や電力部門にとって重要であるとともに、原子力における米国の世界的な役割を支援するためにも必要である。

さらに、米国の廃棄物管理計画の戦略的要素として、暫定貯蔵を選択肢として検討することや、米国政府が使用済み燃料の所有権を得ることにより、今後の再利用や最終処分について結論が出るまでの間、候補地や既設プラントにおける燃料の安全保障に掛かる費用を、廃棄物基金に負担させるべきかどうかについて検討することも重要である。

米国が、核拡散リスクを緩和できるよう図り、原子炉数の増加に対応した適切な燃料サービスを確保し、核燃料サイクルの長期的効率を最適化するためには、核燃料サイクルを改善するための研究開発努力に対する継続的支援を検討する必要がある。NEAC は、これらの目的に向けた取り組みが、現在、先進燃料サイクル・イニシアチブ (AFCI) の枠組みで実施されていることに注目する。AFCI は 2003 年度に開始され、「先進燃料リサイクル技術の研究・開発・実証計画の実施」に関する法律により、「湿式再処理技術に代る技術として」、燃料管理の必要性を満足させるための、燃料リサイクル技術や核変換技術を評価することが求められている<sup>13</sup>。NEAC は、上述の目的を達成するため、AFCI 計画ならびに各種代替的アプローチを見直すことを勧告する。

燃料サイクルの研究開発により、ユッカマウンテンを始め、さまざまな場所における放射性廃棄物の貯蔵上の問題を大きく変化させることが可能であると考えられる。その一方で、軍事目的のために使用できる濃縮・再処理施設を多くの国が獲得しようとする動機を減少させることにより、核拡散リスクを緩和することができる。放射性廃棄物管理のためのさまざまな方法を総合的に運用することは、時間とともにこの燃料リースの実現可能性に悪影響を及ぼす恐れもある。米国は、使用済み燃料の再処理を 30 年以上もの間、実施していないが、多くの政府は、バックエンド技術の開発において米国を重要なパートナーであると考えている。その一方で、欧州と日本は、クローズド燃料サイクルを実施しており、先進的研究開発において米国との協力に期待している。

- ・ NEAC は、米国政府はユッカマウンテンの計画について、その処分場としての妥当性を判断するための NRC 許認可プロセスを完成させるとともに、廃棄物管理のためのその他の選択肢も探求するべきであると考えている。
- ・ NEAC は、米国は核燃料サイクルを向上させ、付随する核拡散リスクを最小化するために研究開発に大きな努力を払うべきであると考えている。

---

<sup>13</sup> P.L. 105-98, August 8, 2005, Sec 953

## B. 研究開発（R & D）

世界の原子力市場は拡大を続けており、現在、多くの外国メーカーが新たな動力用原子炉を建設中である。米国はかつて、原子力安全、核不拡散、安全保障、さらには先述の通り処分場研究におけるリーダーであった。米国の原子力計画に対する研究開発支援は、安全性ならびに廃棄物処理の継続的な改善のためのみならず、米国が原子炉開発や、国外ならびに国内の原子力事業におけるその他の重要な要素において、再び重要な役割を果たすためにも必要である。

米国の原子力研究開発上の短期的および長期的な優先事項の設置に当たっては、米国における現状の国内原子力インフラを出発点としなければならない。エネルギー省は、ホワイトハウスの指導の下で、他の重要な政府機関および議会と協力し、そのインフラ整備のための優先事項についてロードマップを規定ならびに実施する必要がある。そうしたロードマップは、拡大する使命を DOE の国内の各研究所に周知させるとともに、各研究所の近代化の促進にも資することとなる。さらに、本ロードマップのプロセスは、政府ならびに産業界の適切な役割についての合意形成にも役立てる必要がある。原子力分野における米国の短期的な研究開発上の優先事項に含むべき内容として、具体的には以下の事項が挙げられる。

- ・ 安全性、寿命延長、および既存原子炉群の廃止措置
- ・ 第 3 世代以降の原子炉の新設に関する問題
- ・ 第 4 世代原子炉
- ・ 核燃料サイクルにおけるバックエンド問題の解決

米国における原子力インフラが弱体化した結果、原子力の役割を支える国内能力が低下したのと同時に、技能者からエンジニア、さらには博士まで、すべてのレベルにおいて、米国の、国内原子力市場や国際原子力市場への積極的な参入を発展ならびに維持させるために必要な人材を確保・維持する能力も低下してしまった。この意味において、NEAC は、原子力の研究開発における大学ならびに産業界の計画を強化することと、DOE 全体の研究所および施設を近代化・効率化することを勧告する。これらの計画は政府の関係当局ならびに科学者、DOE の国内研究所、民間産業、および学術界が協力しながら作成する必要がある。

NEAC は以下を勧告する。

- ・ 原子力の研究開発ロードマップを、DOE の主導で、関係機関と協力しながら規定ならびに実施すること。
- ・ 原子力の研究開発における大学ならびに産業界の計画を強化することと、DOE 全体の研究所および施設を近代化・効率化すること。
- ・ DOE は核燃料サイクルに関する既存の研究開発を見直し、それらが核燃料

サイクルにおける米国の必要性を満たしているかどうかを検証すること。

### C. 人的資源

米国の原子力事業の人材は高齢化しており、定年退職者数の増加にともない、技術的資格を有する人材の雇用ならびに維持がますます重要となっている。適切な人材を確保するためには、学生、技能者、および科学者が、知的意欲と魅力的なキャリア・パスの両面から原子力分野を志向するよう図ることが不可欠である。現状では、どちらの基準においても満足が保証できない。米国における原子力事業を支えるための資格を有する人材の数は、現状においても、また予測数においても、既存の原子力発電所を支えるには十分であり、したがって低成長シナリオに相当する。しかしながら中成長あるいは高成長シナリオのいずれかを実現するためには、原子力分野の人材を大幅に増加させる必要がある。

（米物理学会、Readiness of the US Nuclear Workforce for 21st Century Challenges、公共問題に関する APS 委員会、2008 年 6 月発行、を参照のこと<sup>14</sup>）

人材開発に必要な長期のリードタイムを考えれば（さらに学生よりも教職員の方が当然教育に時間がかかる）、中成長シナリオや高成長シナリオの選択肢を維持するためには、DOE ならびに NRC は、エンジニア、技能者、作業員、規制当局者、および科学者（物理学者、化学者、放射化学者）の必要な人材推定数を見直し、これらの分野においてキャリア・パスを促進するための選択肢を策定する必要がある。この作業を実施することにより、政府、産業界、および学術界は、原子力発電の順調な成長を支えるための資格と動機を有する人材を、米国の原子力事業が確保できるよう、ともに協力して計画やプログラムを策定することが可能になるとともに、新たな人材の採用ならびに維持を目的とする既存の計画から学ぶことも可能になる。

原子炉増設を支えるために米国の人材を十分に増やすことは、米国国内の原子力計画だけでなく、海外で既に進められている、あるいは計画中の原子炉新設の観点からも有用である。人材雇用面では、そうした原子力新設計画が、米国の計画により容易にもたらされる新たな人材に対し、大幅な需要を生みだすことが考えられる。国家としては、米国で訓練を受けた人材が、たとえ部分的にでも世界中の原子力施設に最終的に採用されることは、米国の集団的な利益となる。

- NEAC は、DOE と NRC に対し、原子炉の新設ならびにその他の核燃料サイクル部分（廃棄物管理など）の導入に合わせ、エンジニア、技能者、作業員、規制当局者、および科学者（物理学者、化学者、放射化学者）の

---

<sup>14</sup>

<http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/upload/Nuclear-Readiness-Report-FINAL-2.pdf>

必要な人材数を適時に満足させられるよう、人材開発を促進するための措置をとるよう勧告する。

#### D. 供給チェーン管理

電力会社が新たな国内原子炉の新設を決定する場合に、埋める必要のある不足部分がないかどうかを特定するためには、原子力発電所と燃料サイクルの供給チェーンにおけるあらゆる連鎖を支えるための、米国の国内能力を検証することが重要である。最近の複数の研究によれば、核燃料サイクルにおいても、また新規炉を支えるための供給チェーンにおいても、多くの潜在的な難点があると結論付けられている<sup>15</sup>。燃料サイクルにおける潜在的難点としては、燃料転換および使用済み燃料貯蔵サービスが挙げられる。また、新規炉建設の難点としては、材料供給問題（大形鍛造品）や人材関連の問題（原子力分野における先行経験を有する熟練工の不足）が挙げられる。これらの潜在的難点を軽減するためには、既存の供給源の拡大と代替措置の開発の両方を探る必要がある。また、これらの不足部分のそれぞれについて、米国が外国メーカーに依存できる程度についても、分析を行う必要がある。

- ・ NEAC は、DOE に対し、電力会社が新たな国内原子炉の新設を決定する場合に、埋める必要のある不足部分がないかどうかを特定するため、米国の原子力発電所および燃料サイクルの供給チェーンの妥当性について、米国政府がどのような緩和措置あるいは改善措置を取ることが可能であるか、評価するよう勧告する。

#### E. 安全

「安全第一」の原則が、原子力発電所の設計、建設、および運転に関するすべての行動に貫かれなければならない。この基準に実用的意味を与えるためには、原子力メーカー、運転者、および規制者が、軽減すべき種類のリスクを記述した同じ基本分析から始めるようにする必要がある。この分析は、原子力産業界が適度に高い基準を保持するためには厳格でなければならない、安全の取り組みが実用的リスクの分野に集中的に行われるためには現実的でなければならない。原子力企業の安全を最大限に高めるためには、保守要員から制御室の操作員、上級幹部に至るまで、すべての人員の間で「安全文化」を推進することが必要不可欠である。また、「安全文化」を、政府または民間部門、原子炉もしくは燃料サイクル施設、輸送、および貯蔵所に至るまで、原子力分野のすべての関係者に適用しなければならない。

- ・ NEAC は、「安全第一」の原則が、今後も引き続き、すべての原子力施設の

---

<sup>15</sup> “The World Nuclear Industry Status Report 2007,” Mycle Schneider, with Antony Froggatt, January, 2008.

設計、建設、および運転に関するすべての行動に貫かれることを勧告する。(DOE は、自ら実例を示してリードし、原子力メーカー、運転者、および規制者を含めて米産業界が、軽減すべき種類のリスクを記述した同じ基本分析から始められるように、経験を積み上げるべきである)。

## F. 安全保障

潜在的敵対行為に対する安全保障は、原子力施設の運転を成功させるために極めて重要である。安全性と同様に、原子力施設の安全保障計画および戦略は、確かな脅威分析を前提とすべきである。「設計基準脅威」(DBT)は、安全保障措置が評価される際の基準を設定する。新たなプラント設計では、9/11 以前のものより重大な脅威を想定する。

安全保障脅威に適応および対応する必要がある安全保障の側面には、物質の管理と計量、保障措置、およびサイバー・セキュリティが挙げられる。9/11 の大惨事の後、産業界と原子力規制委員会は、原子炉、燃料サイクル施設、および輸送施設が攻撃を受けた場合の脅威を正しく分析し、調整できるようにし、またこれらの脅威に直面した場合に十分な措置を取れるようにするため、多岐に渡る取り組みを行った。これらの取り組みは、当然、政府の施設と民間部門の施設に等しく適用されなければならない。さらに、原子力施設のすべての運転者は、セキュリティ・システムの有効性を評価する場合に、パフォーマンスに基づく評価指標を採用すべきであり、実際のシステム性能を参照せずに規則の機械的適用に頼るべきではない。

- ・NEAC は、安全保障を DOE 施設の最優先課題とし、安全保障は確かな脅威分析を前提とすべきであることを勧告する。該当する場合には、この脅威分析を米国の商業原子力産業界と共有することができる。安全保障は、施設の設計、計画、建設、および運転に組み込まれなければならない、既存のプログラムに接ぎ木するものであってはならない。

## G. 原子炉の許認可

連邦議会は 1974 年、当時の原子力委員会 (AEC) の中に原子力推進と原子力規制の 2 つの役割を併存させることは、この 2 つの役割の間に固有の利害衝突が起きるという説に基づいて、AEC を 2 つの別の組織に再編した。エネルギー再編法により、AEC の推進分野はエネルギー研究開発庁 (ERDA) に移行し、この組織は後に新設されたエネルギー省に吸収された。規制機能は、独立政府規制機関である原子力規制委員会 (NRC) に割り当てられ、委員は大統領によって指名され、上院で承認される。

1979 年にスリーマイル・アイランドで原子力事故が発生し、米国民の原子力発電への信頼は打ち砕かれ、NRC の規則および手続きを徹底的に見直すことになっ

た。集中的な精査は正当化されたが、許認可要件および基準の頻繁な修正は、NRC の管轄下にある原子炉の運転者に遅延と混乱をもたらした。近年では、NRC と原子力産業界は緊密に連携して、規制プロセスの改善に取り組んでいる。原子炉設計の標準化は、より整合性ある安全および規制へのアプローチを支えるのに役立つ。これまでのところ、許認可プロセスにはまだかなり改善の余地があると言われている。たとえば、多数の修正案が COL や一般設計審査の際に提出されたが、これは別の問題を解決するために何回もの審査を導くことになる。

現在提起されている問題は、NRC は許認可プロセスを今後さらに改善できるのか、できるとしたらどのように改善するのか、である。NRC が公式に行政府の一部ではなく、独立規制機関という身分であるために、問題を複雑にしている。こうして、NRC と他の関連政府機関（DOE、EPA、DOS、DHS、50 州）との連携および政策の整合性の問題は、米国の発電設備基盤の拡大に原子力が果たす役割を判断する上で重要である。同時に、言うまでもなく、かかる改善は有益な公衆の参加を抑えるものではなく、あるいは何らかの形で原子力施設の安全もしくは安全保障を犠牲にしないことが極めて重要である。

規制機関（NRC）の審査は、公衆のプロセスを聴聞する権利を維持しながら、適時に行われるべきである。大型ベースロード原子力発電所への大規模投資は、総設備コストと同程度に（あるいはおそらくより以上に）リスク資本にさらされる時間の長さの影響を受ける（すなわち「時は金なり」）。さらに、小型の（より運転しやすい）「モジュラー」発電所の展開が国内あるいは海外の一部の市場にとって重要な場合には、規制当局が徹底的、完全かつ効率的な許認可業務を提供するために特別な資源（すなわち引当金）が必要になることがある。

- ・ NEAC は、NRC が必要に応じて行政府および米政府のその他の部分から支援を得て、市民が自由に参加できる透明な方法で他の関係機関と連携しながら、許認可プロセスのさらなる改善に向けて努力することを勧告する。

## H. 政策環境と原子力発電所の資金調達

原子力発電所は、計画、資金調達、および建設に何年も要する。いったん運転を開始すると、何十年も稼働する。したがって、原子力発電所の開発と安全で効率的かつ経済的な運転は、整合性ある健全な政策環境があるかどうかにかかっている。この政策環境は、科学的な立場に立ち、公的に支援され、安全、安全保障、核不拡散、および環境管理に関する明確な基準による情報を伝達される。

1950 年代から 1970 年代まで、米国は原子力に関してかなり一貫した政策環境を掲げていた。その後、1974 年にはインドが民生用原子力支援を流用して核実験を行い、1979 年にはスリーマイル・アイランド事故が起こるなど、多数の事象

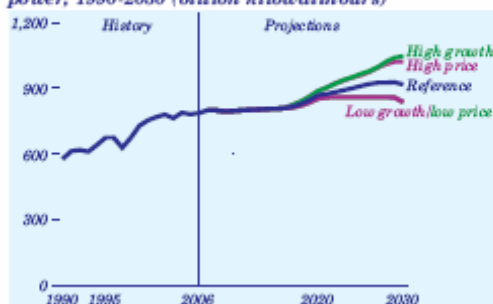
が発生したため、米国の核不拡散・原子力政策の大規模な再評価が行われ、米国の政策環境に矛盾と不確実性が吹き込まれた。フォード大統領とカーター大統領の時代に、米国は多数の計画および政策を断念し（たとえば、混合酸化物燃料の転換炉でのリサイクルをサポートする政策、増殖炉および商業プルトニウム再処理の追求）、他の国々の政府にも追随するよう説得しようとした。これらの取り組みは、さまざまな結果を生んだ。

この変化する政策環境に加えて（ある程度はその影響を受けて）、原子力発電所は国民の支持を失い、それと同時に高騰する資本費が電源としての競争力を徐々に失わせた。1981年には、ワシントン公益電力供給公社（WPPS）が2基の原子力発電所の建設計画を断念し、25億ドルの債券の支払いを怠った。これは歴史上最大の地方債の債務不履行である。今日、原子力発電はその多額の必要資本金に照らして競争力を維持できるのかどうかは、米国の未来に立ちふさがる答えの見つからない最大の問題の1つとなっている。この不確実性が資本費を上昇させ、原子力発電プロジェクトの融資に対して投資家が要求する利益率を引き上げることになる。

2005年エネルギー政策法は、米国における最初の数基の原子力発電所の建設を支援するための貸付保証および関連する追加金融条項を規定しているが、提供される保証だけで十分に発電所建設の約束を電力会社の重役から引き出すことができるのかどうか依然として不明である。一部では、大半の銀行は貸付保証制度がなければ新規発電所に投資しないため、特に規制解除された州では、貸付保証制度は新規原子力発電所の建設において重要な役割を果たすと考えられている。他方で、原子力は成熟した技術であり、連邦の補助金は新規原子力発電所のコストを削減するものではないため、連邦政府が最初の数基の原子力発電所に補助金を出すのは不適切であると考えられる者もいる。さらに、本報告書の執筆時点では、2008年の金融危機が原子力発電に関する投資決定にどのような影響を与えるのかまだはっきりしない。

#### EPACT2005 Tax Credits Are Expected To Stimulate New Nuclear Builds

Figure 65. Electricity generation from nuclear power, 1990-2030 (billion kilowatthours)



機会を提供し、また NEAC が検討した 3 つの事例のそれぞれに固有の見返りを提供する。



## V. 原子力への依存が増大することの国際的な意義

米国において原子力に対して、どのような方針が採用されるかには関係なく、諸外国では、新規の原子力発電所を増加させる方向に進んでいる。現時点で、10 数ヵ国において 36 基の原子炉建設がすでに着工されている。世界原子力協会（WNA）によると、この他に 93 基の原子炉建設が計画されており、さらに 218 基の建設が提案されている。これに対し、何基かの原子炉が廃止される見込みであるが、建設が計画されているものと比較して極めて少数である。

これらの原子炉が他国で建設されることで、米国が原子力に関する責任を免れるわけではない。実際のところ、米国の関与がなければ、他国が原子力産業に関する基準および計画を立案するのみならず、原子力分野の科学および安全性の管理や、原子力利用に伴って生じる環境および安全保障面の課題に取り組むことになる。しかし、世界中のどこかで大きな事故が発生した場合、米国国民の健康と安全のみならず、米国エネルギー・ミックスに貢献する原子力の能力に対して甚大な影響を受ける可能性がある。

原子力については、核兵器拡散を十分に意識し、リスクを最小化することに留意した上でなければ追求してはならない。例えば、原子力発電所の増加に比例して濃縮および再処理に関与する国が増加した場合、核拡散リスクが増大することになる。このようなリスクを低減できる核燃料サイクルのメカニズム（多国間協定、燃料保証、貸与または燃料バンク等）を制度化することが重要である。核燃料サイクルの拡散を抑制できる体制を早急に確立するため、このメカニズムを完成させることが緊急の課題である。供用期間中の供給保証、あるいは燃料貸与による揺りかごから墓場まで方式の燃料サービスとして、フロントエンドでの燃料供給保証および備蓄、さらには使用済み燃料の最終管理および廃棄の手配までのサービスを提供することで、多くの政府が独力での核燃料サイクル開発方針の回避できる十分な信頼感を与えることができる。

米国がリーダーシップを発揮しない場合、国際社会が、核拡散のリスクを最小化できるような国際的な核燃料サイクルの取り決めに到達することは極めて考えにくい。また、米国が新たな原子炉設計および製造を含めた新規原子力発電所の建設に参画しない場合、将来の原子力および核燃料サイクル体制に関連する国際的な協議に対する影響力が徐々に低下することは否めない。

米政府は、国際原子力パートナーシップ（GNEP）を立ち上げる際に、リーダーシップを発揮した。2006 年以来、GNEP は、それを実現するための長期プロセスの開始に関する方針を策定し 20 ヵ国以上が合意した。パートナー国は、原子力を世界的な視点から平和目的で利用拡大を実現すること、プルトニウム分離を回避し、核拡散リスクを低減できる先進的な核燃料サイクルの開発と利用の必要性についての共通ビジョンを有している。本パートナーシップには、国連安全保障理事会の常任理事国 5 ヵ国、大規模な原子力計画または資源を有する国

(日本、韓国、オーストラリア、カザフスタン等)、商業炉をまだ運転していない国(オマーン、セネガル、ヨルダン等)、ならびに IAEA やユーラトムのような多国間組織が常任オブザーバーとして参画している。信頼性を有する燃料サービスやインフラに関するワーキンググループがすでに設置されている。2008 年 10 月の GNEP 閣僚会議には、さらに 42 カ国が参加した。

米国が、核不拡散条約 (NPT) および国際原子力機関 (IAEA) をはじめとする国際的な核不拡散体制を支える国際合意および制度を強化、再建することがきわめて重要である。これらの基盤は、長年の間に非核武装地帯(南アメリカおよび南アジア等)、多国間構想(原子力供給国グループ、大量破壊兵器拡散防止構想、および核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシアティブ等)および他の活動によって強化されてきた。核不拡散体制を統括するのが国連安全保障理事会であり、これは国際核不拡散体制を脅かす政府に対して制裁を課す権限を有している。これらの規範は、2004 年に安全保障理事会決議第 1540 号により強化された。これは、加盟国に対する核不拡散宣言を施行する上で実効のある対策を講じ、「核兵器、化学兵器あるいは生物兵器と、それらの運搬手段の拡散を防ぐため、関連する資材の適切な管理を確立することを含めて、自国内での管理を確立する上で実効性を有する対策を実施、施行する」ことを要求するものであった。

さらに、多くの重大なケース、例えばもっとも顕著なものがイランと北朝鮮であるが、核兵器拡散と原子力の問題が絡み合ったままになっている。インド、イスラエルおよびパキスタンのような、NPT の受け入れを拒否した国々でも重大な拡散問題が残っている。

核兵器拡散の抑制に成功するために、米国は NPT 参加の他の核兵器保有国、すなわちイギリス、フランス、ロシアおよび中国とも実効性のある協調が不可欠である。特にロシアと中国との協調が必須の課題であるが、多くの場合は不確実性が高い。しかしながら、進展も見られる。一例をあげると、中国は北朝鮮における核の脅威に対して次第に強いリーダーシップを発揮するようになった。分野によっては大きな意見の違いもあるが、ロシアからは重要な原子力構想(米ロ HEU 協定、共同軍縮、ブラティスラヴァ構想、プルトニウム製造用原子炉停止協定等)に対して多くの協調が得られてきた。イランの核脅威を低減する上で、ブシェール原子炉用の揺りかごから墓場まで方式の燃料協定(これにより本発電所の稼働のためのウラン濃縮とプルトニウム再処理施設の必要性がなくなった)および同目的でのアンガルス核燃料構想へのイランの参加を含めて、ロシアは重要なパートナーとなってきている。さらに、米ロ両国は 2008 年 4 月にソチで、広範な原子力協力を締結するに至った。グルジアおよび他の問題において大きな意見の相違があるにもかかわらず、核拡散および核テロリズムに対抗するための米ロ協力は、これが米ロ両国、さらには国際社会のあらゆる安全保障面での大きな利益となることから、継続することが不可欠である。

この他にも種々の拡散問題に対処する必要がある。これには、米国および多国間の貿易管理の近代化や国家対非国家組織間の明らかな脅威抑制のための戦略、および特定国家に対する米国の政策の策定が含まれる。

2007 年の終わりに IAEA 事務局長は、同機関における活動の現状を審査し、近年および今後想定される動向に基づく優先事項に関する勧告を実施するための賢人委員会を設立した<sup>16</sup>。同報告書では、原子力利用が著しく増加した場合、IAEA は原子力を新たに利用する国を含めた、各国施設の効率的で安全かつ安定した利用を推進するとともに、原子力施設での事故を予防、緩和することに優先して取り組むことが求められる、と述べている。また IAEA の活動として、権威のある指針を確立するとともに、経験や新たな知識および最良事例の普及、訓練の提供、およびピアレビューを組織することが引き続き求められる、としている。本報告書では、原子力技術の民間利用が世界的に広まることにより、事故および核テロリズムのリスクに対する懸念も増大するとしている。核物質、技術およびノウハウの拡散によっても核拡散リスクの増大に繋がる可能性がある。したがって、IAEA は国家および国際レベル双方での予防対策、および予防に失敗した場合の協調対応を保証するための対策の確立に高い優先順位を引き続き与えることとなる。

IAEA が核兵器の拡散防止上で主要な担い手であり続けることは明らかである。

NEAC は以下を勧告する：

- ・ 米国政府が、核拡散のリスクを最小化するための原子力政策を立案、公表すること
- ・ 米国が IAEA およびその他諸国とともに、原子力発電所を所有する政府が、国際的な不拡散条件を満足することを前提に、必要とする核燃料需要を充足することが可能であることを保証できる核燃料サイクル・メカニズムを制度化するために直ちに行動すること。
- ・ IAEA に対して、その責務を適切に実行するための十分な資源を供給すること
- ・ 米政府が、NPT を堅持、強化するための確固たる行動を取ること
- ・ 米国は現時点では国内で商業核燃料再処理を実施していないが、米政府として国際的な核不拡散基準を完全に遵守している国（ヨーロッパおよび日本等）に存在する商業プログラムを尊重し、国際パートナーと共同で安全かつ

---

<sup>16</sup>報告書は、<http://www.iaea.org/NewsCenter/News/PDF/2020report0508.pdf> で入手できる。

安定な核物質の形態および利用に関する研究開発に取り組むこと

## VI. 結論

原子力の利用から生じる政策問題は複雑かつ困難な場合がある。しかし皮肉なことに、原子力の拡大によりこれらの問題の一部は解決が容易になる可能性がある。それはなぜか。原子力がエネルギー政策と発電の片隅に追いやられていた長い年月の間、原子力の成功と拡大に対する潜在的な関心は、停滞あるいは萎縮していた。現在、原子力発電プラントを建設することに対する新たな関心により、原子力を順調に展開する上で必須の課題（供給系統、人的資源や規制体系が含まれる）に適応させるための努力が再び脚光を浴びることになった。また原子力の利用を拡大するプロセスにより、広範な利害関係者（消費者から機器メーカー、電気事業者、規制当局までを網羅）が原子力の成功により極めて大きな利益を得られる。各々の利害関係者は、原子力発電所の安全、安定かつ効率的な運用促進や、合理的な廃棄物管理方針を採用、実行することで、潜在的な危険性を有する原子力技術と核物質が誤用されるリスクを最小化するため、個々の利益を踏まえた行動を増進的に展開する。

個々の利益と市場の力を、安全かつ安定な原子力の利用における公共の利益に向けさせることは決して夢ではない。これは、米ロ HEU 協定として十年以上にわたり成功裏に実施されているという事実がある。米国は、ロシアの核物質備蓄から 500 トンの高濃縮ウラン、すなわち 2 万発の核弾頭に相当する量を購入し、商業用原子炉燃料として希釈混合することに合意している。米国内の原子炉で毎年消費されるウランの半分は、HEU 協定に基づくものである。原子力は国内での発電電力量の 5 分の 1 を占めており、電球 10 個のうち 1 個が、ソビエト製大陸間弾道弾（ICBM）の先端部分に装填されアメリカの都市を狙っていた弾頭となっていた核物質をその動力源としていることを意味する。

米国に対する核兵器による破滅的な危険からの安全性を高めるため、原子力が肯定的な役割を担うことができるのであれば、米国が温室効果ガス排出を抑制するために現在果たしている役割よりも大きな役割を担える可能性があることも示唆される。前述のとおり、炭素が地球に課すコストを内包化できれば、原子力を含む非炭素型エネルギー源を促進させていく際にも大きな効果が期待できる。

諸外国において原子力はすでに存在し、拡大過程にあるため、国際的な意義を分析、対処することが重要である。米国が国内の原子力発電所数を増大させず、一方で諸外国が増大させた場合、国際的な原子力の拡大を管理するための国際的な活動において米国が大きな役割を担うことは次第に困難になっていくものと見込まれる。米国の利害、および安全に関して国が求める高い基準を考慮すれば、原子力の安全、安全保障、環境および拡散の見地から国際的な活動において指導的な役割を担うことは国益にかなっている。

原子力に関する米国の決定は、直接的（原子力機器、技術および物質の取引を通して）、間接的（米国を実例として）に世界的な原子力市場に影響する可能性がある。この見地から、米国が決断しないことで、原子力を取り巻く国際的な環境が影響を受ける可能性がある。いずれの場合であっても、米国政府が、諸外国に及ぼす影響を認識した上でこれらの決定を行うことが、米国の国益に沿うものとなる。

前述の分野において健全な政策を策定するため、米国政府は本分野の経験および責任を有する米国下院の関係委員会および連邦政府内の関連部局のみでなく、科学界、産業界、非政府組織および一般市民とも意見を交換する必要がある。

政策問題全体を、商業原子力発電所の利用が低成長、中成長あるいは高成長となる枠組みにあてはめることで、主要な政策代替案を理解するのに有効な基盤を得ることができる。中成長あるいは高成長のケースを実現可能とするためには、本報告書で概観した課題のすべてにおいて大きな進展が必要である。これらを達成するためには、公私双方の利害関係者すべてが関与する広範な議論が不可欠である。同時に、米国および諸外国での原子力利用の拡大を実行可能な選択肢とするためには、国内および国際的な意義を分析、対応することが必須である。米国が保有する原子力発電所数を増加させず、諸外国が増加させる場合、米国が環境、安全や安全保障、ならびに核不拡散の問題で重要な役割を担うことは徐々に困難になるものと考えられる。米国の利害を考慮すると、安全、安全保障、環境および核不拡散の観点から国際的な取り組みにおいて指導的役割を担うことが国益にかなうことは明白である。米国の原子力政策は、長年にわたって分析、議論されてきた。いまこそ、熟慮の上、行動に移すべき時である。

## NEAC 技術小委員会報告書

### I. 序

NEAC 技術小委員会は、以下を実施した。

- ・DOE-NEに提出された報告書に基づき、原子力プログラム実施可能な施設を評価
- ・政策小委員会により作成されたシナリオに合致するR&Dプログラムの提案

本報告書は、原子力に関連する広範囲な米国の利益に関する課題も明らかにしている。小委員会報告書は、全てのNEACメンバーにより承認された。

### II. 施設評価

小委員会は、以下の参考資料を評価した。

1. 未来のための原子力：必要とされる研究開発能力 – 産業展望（2008年9月）
  - 今後20年間、米国の原子力産業を支援するに当たり、更なる研究開発に必要な施設の設備能力や種類に関して、30名以上の業界・学界代表者の意見を取りまとめたバテル研究所の資料。
2. 原子力応用研究開発プログラムに必要な資源（2008年9月）
  - アイダホ国立研究所（INL: Idaho National Laboratory）の資料。上記の参考資料1にあるバテル研究所の調査で明らかにされた施設・能力を満たすために使用可能と思われる、既存の米国・海外資源を取りまとめた。INL調査は、様々な資源の特定に加え、これらの資源が今後予想される原子力研究開発の必要条件を満たすために必要な妥当性、アクセスのしやすさ、および利用可能性を持ち合わせているかについての情報も提供している。

3. 原子力研究開発能力に関する提言（2008年7月28日）

ーバテル研究所作成。産業界、国立研究所、大学機関のエグゼクティブチームにより作成された提言、および提言の根拠を取りまとめたもの。

4. 持続可能なエネルギーの将来：原子力エネルギーの重要な役割（2008年8月）

ー米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）国立研究所の所長らによる政策方針書。米国における原子力エネルギー戦略を構築するための、短期・長期的行動を提言。

5. 先進燃料サイクル施設（AFCF: Advanced Fuel Cycle Facility）ミッションを支援するための米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）施設の評価（2008年8月）

ーGNEPプログラムによる報告書。AFCFの工学的規模での運転実施に際し、既存のDOEホットセルを使用することに関連した施設能力および経済面に対する評価。参考資料2には、施設要件および各種ミッションに対する妥当性について、様々なプログラムからの意見が含まれている。参考資料5には、このプログラム向けに施設を改修する際の、見積もりコストが示されている。

DOE-NE（原子力局）の取り組みは、まだ完了していない。DOE-NEは、原子力エネルギーが米国において、実行可能な選択肢であり続けるために必須である研究開発を支援するために必要な、施設の保守・修正・開発に関して、投資の優先順位を記述した報告書を発行する意向である。DOE-NEは、科学局資料「科学の将来のための施設：今後20年の展望」を、このDOE-NEの取り組みのモデルとして考慮すべきであると示している。

NEACは、この取り組みは必要性が非常に高く、かつ（スケジュールおよび予算において）とても大規模なものであると受け止めている。また小委員会は、スケジュール制限により、一部の当該施設所有者の意見を得られなかったことも認識している。

- ・ **NEAC**は、本件に関心を持つ大学、産業、そして海外施設を更に取り込みつつ活動が続けていくことを推奨する。また**NEAC**は、これらの施設が、**DOE**の実施する他のミッションから受ける影響や、**DOE-NE**施設が、**NNSA**、**NR**、**SC**、および**RW**を含む**DOE-NE**以外のミッションを支援することの必要性を認知するために、この取り組みが拡大されることも推奨する。

施設の資金レベルは毎年変わるものではあるが、**DOE-NE**の戦略計画の中で施設予算割当を優先しながら、過去および現在の施設顧客の傾向や必要な運営予算の提示は検討されなければならない。

上記にある**5**つの参考資料は全て、**DOE-NE**原子力エネルギー研究への提言リストを提供している（他の重要分野に関しては後述）。各参考資料の提言にはいくらかの違いがあるものの、参考資料**3**に記されている優先付けされた目標は、全資料の提言にある主要要素を網羅している。

- ・ 既存および将来の軽水炉施設の運転を更に改善し、耐用年数を延長させる
- ・ 能力が高く、十分に訓練を受けた人材を確保する
- ・ 原子力エネルギーの応用を拡大するため、次世代原子力プラント（**NGNP: Next Generation Nuclear Plant**）などの第**4**世代原子炉（**Generation IV**）の開発および実験を実施する
- ・ 持続可能な燃料サイクルに必要な活動のために、米国内施設のアップグレードおよび国際施設の協力的活用の拡大を行う
- ・ 強固な国際協力プログラムと共に、重要分野において既に認識されている高速炉炉心の技術的能力を統合する
- ・ モデリングとシミュレーション能力を開発する
- ・ 上記目標が達成できるように、適切な資源が確実に割り当てられる戦略的原子力能力イニチアティブを構築する

小委員会の大多数は、上記の一般提案を、**DOE-NE** 研究開発投資の最優先事項として同意している（一部提案の優先付けに不賛成なメンバーもいる）。小委員



会はこれら提案のいくつかに対して、明確化するための説明を用意している。例えば、本報告書のセクションIVにあるように、小委員会はモデリングシミュレーション能力は、参考資料3に記されたガイダンスを順守して構築され、まずは科学局またはNNSAにより取得した既存の能力を使用し、この取り組みの経済的利点を説明するパイロットプログラムでその価値を実証してから、モデリングおよびシミュレーション能力を開発することを推奨している。

参考資料2はまだドラフトであるが、この資料にある施設状況の情報は、次を明確に示している。

多くの最優先施設は、DOE-NEが必要とする能力に達するまでに、中規模から大規模の投資を必要とする。(参考資料2にある施設妥当性評価と各ミッションの準備コスト評価は定性的である。参考資料5に記載されたものと同様の評価が実施されているように、必要な投資は定量的であるべき)。

- NEACは、必要な施設が利用可能であり、これらのミッションを支援する準備ができていることを確実にするために、戦略的イニシアティブが必要であるとの見解に賛成している（特に複数のDOE-NEミッションに対して特定されている施設）。

参考資料3にも記載されているように、このイニシアティブの資金割当には、総合的で時間段階的な、そして利用者主導型のアプローチが使用されるべきである。

- NEACは、特に再利用や高速炉能力の開発のような、長期的で高いコストのかかる研究開発目標に関して、国際協力を重視することの重要性に同意する。

本報告書のセクションVIにもあるように、これらの分野における重要な能力は、現在外国にある（例：日本での「常陽」原子炉の運転、フランスおよび英国での再処理能力）。米国がこれらの分野での能力を取り戻そうと努力する際、このような協力に関わる財政的利点について、可能な限り検討するべきである。

### Ⅲ．研究開発施設

上記の参考文献 2 では、世界的なプログラムを実施するように要求されている重要施設すべての状態が評価された。この評価は、軽水炉開発、使用済み核燃料の分離、改良型燃料の開発、および改良型原子炉の研究に欠かせない施設を網羅している。

- ・残念なことに、これらの施設の多くはすでに老朽化しているか、もしくは現在、老朽化への道をまっしぐらに歩んでいることが判明した。大抵の場合は多額の費用の投入を伴う大規模な改修をしなければ、意図されている用途に対応できない状態である。非常に優れた施設もいくつか確認されたが、これらの施設でさえ、米国の原子力プログラムに割り当てられた使命を実施するには力不足な状態であった。DOE も米国議会も、研究施設を良好な作動状態に保つために必要な資金を提供することにこれまで難色を示してきた。

DOE が必要とする原子力施設は、最終的にその使命と予算により決定されるべきである。NEAC は米国での原子力利用の推進について、今後 2030 年までに、発電所の新規立地が全く進まない場合から著しく進んだ場合までの 3 つのシナリオを描いた。GEN IV や GNEP に関連した改良型プログラムも進行中である。

- ・しかし、たとえ積極的に発電所の新規立地や改良型プログラムが推進されなくても、米国にはしっかりした原子力施設が必要である。稼働中の 104 の発電所、主要な高温ガス冷却炉プログラム、最終的に処理すべき数千トンの使用済み核燃料を抱え、世界中の原子力発電所の保障措置および安全保障、そして核燃料サイクルのフロントエンド、バックエンド双方の核拡散の可能性を制限することに重要な利害関係を有する国にとって、研究開発施設は求められて当然のものである。

さらに、計画に基づく原子炉の新規立地の増加とは別に、国家防衛、宇宙計画、核医学に関する問題もある。これらの使命すべてを支えるべきエネルギー省の

機関の多くは現状では力不足で、アップグレードや改修が必要で、多大なコストがかかるであろう。近代的な研究施設がないことは、世界的な研究をサポートするための原子力専門家を招聘する能力にも影響が出る。

- ・ DOE は現状を可視化し、各使命に必要な研究施設のアップグレードや新設を含めた長期プログラムを提案するための分析結果を、次期政権に提出する必要がある。この分析においては、整備、アップグレード、閉鎖、新設すべき施設を系統的に調査するべきである。常に更新され、安全に運転することのできる使命に即した近代施設を形成することが目的ということになるだろう。

#### IV. モデリングとシミュレーション

今日のコンピュータの処理能力の大幅な向上により、これまでの想定よりはるかに小さなスケールから大きなスケールに至るシミュレーションに科学も組み込めるようになった。これは高い付加価値をもつ可能性を秘めているが、コンピュータの処理能力を効果的に利用するためには克服しなければならない障害がある。現存するコードの多くは、コンピュータの処理能力を著しく増大させる大規模並列処理コンピュータ上で使用できる形式で書かれていない。また、これらのコードの多くには、いくつかのアプリケーションで大半を占める非線形効果を正確に計算できない可能性がある摂動解析により克服された科学との溝が存在する。

改良型シミュレーションプログラムは、設計・テスト工程を短縮し、改良型原子炉プログラムと同様に、寿命を延長するための軽水炉プログラムに貢献できる。

過去数十年にわたる航空機の設計分野における出来事が、この一例として挙げられる。コンピュータのコードが改善され、実世界のシステムに対してテストされてくるにつれて、航空機の設計法は、段階的に改良するための複数回の飛行テスト、さらに飛行テストに先駆けて行う段階的なステップといった積み重ね方法からその設計の大部分をコンピュータ上で行い、最終飛行テストで設計

を確認するといった方法へと変貌を遂げてきた。これに伴い、航空機の設計に要する時間は大幅に短縮され、コストも多大に削減されてきている。

- ・改良型モデリングとシミュレーションにおける取り組みによって、原子力システムをよりよく理解することが可能となり、さらにこれらのシステムの配備に関して長年不確かだった問題を解決できる可能性も持ち合わせている。

これら以前からの問題の中には、米国の軽水炉<sup>17</sup>でのプルトニウムのリサイクルに対する不確実性、新燃料の品質、現存燃料の燃焼の延長、および明らかに実証可能な経済的液体金属原子炉に関する不確実性の問題が含まれる。

- ・しかし、NEAC はモデリングとシミュレーションプログラムが改良型の原子力システムの迅速な展開を妨げる主要な問題に焦点を当てることが不可欠であると信じており、2008年7月版の参考文献3と2008年9月版の参考文献2で推奨されたモデリングとシミュレーションに賛同している。この取り組みにより、徐々に、NNSA や米国エネルギー省科学局での現存の改良型モデルとシミュレーションの機能の利用が増加するべきであるし、取り組みにより生じる付加価値を立証するために、長期に及び困難な実験が必要な分野に着目したパイロットプログラムにもっと焦点を当てるべきである。

モデリングとシミュレーションプログラムはコードを認証できる実験に基づいたプログラムを伴うべきである。実験に基づいた認証プログラムなしのモデリングプログラムは決して信用できない。安全性に関する点では言うまでもない。

---

<sup>17</sup> To date nearly 2000 t HM (tonnes of heavy metal) of MOX fuel have been fabricated for LWRs in Europe and over 150 t HM for FBRs in Europe, Japan and Russia. In 2007, the ESA reported, 8.6 tonnes of plutonium were loaded into European reactors in MOX fuel, displacing some 1035 tonnes of natural uranium and 690 tSWU. In total, 104 tonnes of plutonium has been used in MOX fuel in the EU since 1996. Irradiation experiments, experience in commercial reactors and post irradiation examinations all indicate that LWR MOX, despite being irradiated in reactor cores designed specifically for UO<sub>2</sub> fuel, not MOX, behaves as predicted and its performance can match that of the UO<sub>2</sub> fuel along side it in the core. LWR MOX is able to meet the licensing and operational requirements of the large commercial stations. There are however, some constraints on the fraction of MOX fuel that can be loaded into an LWR core at any one time in order to avoid compromising original safety margins. Most European reactors licensed for MOX will use it as one third of the core loading but some reactors can load up to 50%. Designing a reactor for a whole MOX core is significantly easier than trying to adapt existing reactors types and recent evolutionary PWR and BWR designs now offer possible 100% MOX cores e.g. ABWR, System 80+, AP600/1000, EPR.

このパイロットプログラムを考察する際に重要な分野を下記に例示する：

- ・以前の原子炉内燃料テストの結果を、プロトタイプ炉内テストが長時間に及んだり、コスト高だったり、実行不可能なケースを高燃焼度にあてはめる。
- ・現存する小さなスケールの分離データを、経済的で安全な核拡散耐性大規模改良型分離システムの開発に欠かすことのできないアプリケーションにあてはめる。
- ・改良型原子炉の利用のための低コストで高温な原子力蒸気システムの設計や設計形状—例えば、高強度クロムモリブデン鋼等を使用を開発する。

安全な基盤を構築するために、モデリングとシミュレーションを実際の原子炉の設計と実験結果に対してテストし、国内外のそれまでの原子炉と使用中の原子炉両方から収集したデータや他の情報同様に、個別の作用と総合的なテストから得られたテストデータや運転データを使用して、これから行うテストやすでに行ったテストの結果を予測するために使用しなければならない。

これを「後づけ」と呼ぶかもしれないが、予測のための準備段階として必要である。

データの必要性和データの有効性における格差がモデリングとシミュレーションの取り組みで明らかになることが認識されており、このような格差の特定は推奨されている。この特定の際、主要な物理的・化学的メカニズムを明確に立証するよう適切に設計された実験を考案するために、情報を利用すべきである。もし、これに成功したら、原子力システムの実験データの必要性を下げ、行わなければならない実験に焦点を絞るために、このようなシミュレーションを使用する確信を得ることができるだろう。

モデリングとシミュレーションプログラムが 5 年程度で、年間に 3 億ドルから 5 億ドルの間（これは **NNSA** の核管理計画と同レベル）を推移するようになると予測している **NE** のスタッフもいるようである。**NEAC** は現実的な問題解決と現

在の原子炉コードの状態にプログラムの焦点を絞って展開する必要性を考慮し、この増強案を壮大で、時期尚早過ぎると考えている。

現在の時間軸に沿ったより妥当な目標は、年間に **5000** 万ドルから 1 億ドルである。この程度の小さなレベルでも、特定の実験とシミュレーション活動とその目的に関する詳細な複数年計画を、年間の、そして長期的な予算要求の制定の基礎とすべきである。

## **V. DOE の原子力プログラムを妨げる問題**

### **A. 不十分は DOE 内部の連携**

- DOE の各種部門が相互にもっと強力的に連携すれば、DOE のいくつかの原子力関連プログラムはそのメリットを享受することになるだろう。原子力プログラムの各段階の取り組みの効果を最大限にするには、RW (放射性廃棄物管理局)、NNSA、および SC (Office of Science) (科学技術局) との連携が重要である。

RW と NE の連携は RW と NE の双方のプログラムにメリットをもたらすことになるだろう。

NE が先進燃料サイクルに果たす役割には、少なくとも理論的に、放射性廃棄物処分を大きく左右する可能性がある。例えば、GNEP プログラムの目的は、高レベル放射性廃棄物の遮蔽隔離期間をワンスルーに必要とされる期間である数十万年から僅か百年程度に短縮することにある。現在開発中の高温ガス冷却炉の燃料要素には現役の軽水炉の燃料要素よりもかなり高い温度に耐える潜在性がある。これら双方の燃料要素は処分場設計に大きく影響する可能性がある。

NNSA は保障措置と原子力安全保障ならびに核不拡散の各種プログラムを担当している。これとの連携強化は両プログラムにメリットをもたらすことになるだろう。

例えば、NE が熱中性子システムおよび高速スペクトル炉システム用のプルトニウムベースの燃料を検討中であるところの COEX プロセスのオリジナル案では、リサイクルの末端でのプルトニウム－ウラン混合比を各々 50% とした。NNSA と密接に連携すれば、混合比を早期にプルトニウム 10% から 15% 程度以下に引き下げることになるだろう。NNSA では、この混合物を核拡散の観点から見ると、そのリスクは 20% 未満の U-235 濃縮ウランに相当する程度になると考えている。NE が NNSA と密接に連携すれば、NE はその路線をかなり早期に変更することになるだろう。

新型燃料と新型原子炉には原子力クロスセクションの決定や新物質開発のための基礎科学的インプットが必要になる。このような取り組みの多くは科学技術局 (SC) のプログラムの中で進行中である。SC との連携強化が進んでいるが、これはエネルギーミッションに役立つことだろう。

DOE の全部門の密接な連携を伴うシステムは、取り扱い易く拡散されにくい廃棄物ストリームを利用した改良型原子力プログラムの開発にメリットをもたらすだろう。

NE は科学技術局を有効に巻き込んでいるように見える。しかし、関与すべき部局は他にもある。RW を巻き込んだ統合プログラム（廃棄物の形態と貯蔵に適した特性に取り組むプログラム）は、それが長期プログラム（ワンスルー）であろうと短期プログラム（長寿命コンポーネンツが ABR 内で破棄される）であろうと、より強固な長期的計画をもたらすことになるだろう。

NNSA は保障措置と原子力安全保障を担当しているが、NE のビジョンである確固たる 20 年計画を実現するためには NNSA のインプットも必要とされる。

## B. プログラムのオプション

小委員会は NE の新型燃料サイクルプログラムの詳細レビューを行わなかったが、プログラムに着手する場合の原子力施設のニーズの限定的検討は行った。したがって、この報告の勧告はそのような前提で参照されるべきである。すな

わち、このプログラムに着手するならば、本小委員会の勧告は原子力施設のニーズをどのように満たすかについてのものとして参照されるべきである。

NE の近い将来のテーマは熱中性子炉における MOX を利用した閉燃料サイクルの確立であり、長期的テーマは高速炉におけるアクチニドの燃焼である。両テーマともに議論の余地があるため、議会または外部のレビュー委員会からの広範な支持を受けていない。その上、次期政権がこれらのプログラムを支持するかどうか不透明である。

閉燃料サイクルを確立するための、あるいはアクチニド燃焼のために高速炉を開発して配備するための数十年に及ぶ取り組みを立ち上げるための政治的・予算的コンセンサスは現在のところ存在しない。そのようなコンセンサスが存在するとしても、高速炉の開発・配備プログラムを数十年にわたり維持して、アクチニド燃焼炉を建設して操業するために必要とされる管理体制を維持することは困難だろう。

- ・ NE はその原子力インフラのニーズの評価の範囲を、現役軽水炉と将来見込まれる新型軽水炉によって使用されるワンスルー燃料サイクルを包含するまでに拡大するべきである。

つい最近、GNEP の包括的環境影響評価（GNEP Programmatic Environmental Impact Statement）（PEIS）の草案がパブリックコメント用に発表されたが、GNEP の PEIS の最終決定記録（ROD）はまだ存在しない。NE スタッフは ROD でプログラム案が採用されるものとして GNEP の作業を進めており、また NE は、米国が見通し得る将来に現役軽水炉による発電と見込まれる後継軽水炉による発電をオープン燃料サイクルに依存し続けることを前提とした、業界と DOE-NE によって共同提案される LWR Sustainability プログラムのような基礎研究開発プログラムのオプションも持っているはずである。

委員会のある委員は、熱中性子炉における MOX 使用の閉燃料サイクルは、既存のオープン燃料サイクルよりもコスト高であり、安全性が低いため、放射能の日常の環境への放出が多量になりがちであり、核拡散のリスクが高くなり、管



理が必須の核廃棄物インベントリが多量になるので、地層処分条件の緩和に貢献しないと指摘した。一部の委員はこのような指摘に全面的には賛同していないが、それ以外の委員は、閉サイクル再処理を提唱する理由として、長期的には **Pu** とその他の高濃度アクチニドが貯蔵放射性毒のほとんどを占めること、しかも、持続可能性の観点から見て、貴重なエネルギー源をリサイクルしないことは実質的に持続可能<sup>18</sup>ではないことを挙げている。

ただし、**GNEP** に着手する場合には、燃料試験用に高速炉を開発するか、既存の高速炉を指定することは理に適うという点では委員全員の意見が一致している。

### C. ダウンセレクション

**DOE-NE** は、資金を賢く配分できるような技術的決定とダウンセレクション（予備的選定）を促進する必要性を強調するべきである。その具体例としては、**HTR**（高温ガス炉）用の燃料をペブルベッドにするかプリズム型にするか、高速スペクトル実験炉の燃料を酸化物燃料にするか金属燃料にするかなどがある（ということは、**GNEP/AFCI** のダウンセレクションを認めて湿式処理だけにするようになるのかもしれない）。このようなダウンセレクションの欠如は **RFP** への対応を準備中の業界が双方のオプションを検討中であるがための部分的な欠如なのだが、**DOE-NE** は研究開発費を節減できるように、このようなダウンセレクションを加速するための方法を見つけるべきである。

---

<sup>18</sup> Dissenting Opinion by committee member Dr. Thomas Cochran

The GNEP vision of reducing repository requirement and risk by recycling selected actinides in fast reactors requires that a substantial fraction of the operating reactor fleet be fast reactors

“Large numbers of fast reactors for actinide burning is unlikely to occur because□to borrow observations made by Admiral Hyman G. Rickover more than 50 years ago□ fast reactors have proven to be more costly to build, more complex to operate, susceptible to prolong shutdown as a result of even minor malfunctions, and difficult and time-consuming to repair. Plutonium is a valuable resource for weapons, but is not for energy production. It has a negative economic value for this purpose and there is little prospect that this will change in the foreseeable future because there is no evidence that uranium resources are likely to become scarce in the world, or even in those countries that are closely allied with the United States. Plutonium recycle and the introduction of fast reactors will contribute nothing toward the de-carbonization of global electricity supplies for many decades, while consuming valuable capital resources better spent on less costly and more practical energy alternatives for climate change mitigation.

The GNEP R&D effort could encourage the development of hot cells and reprocessing R&D centers in non-weapon states of concern, as well as the training of cadres of experts in plutonium chemistry and metallurgy, all of which pose a serious proliferation risk. Moreover, were NE to pursue less risky open fuel cycle alternatives, all of the large, costly facilities in NE's current or recently proposed program, namely, the Advanced Burner Reactor (ABR), Advanced Recycle Reactor (ARR) prototype, Interim Fast Spectrum Reactor (FSR), the Advanced Fuel Cycle Facility (AFCF), and commercial reprocessing and MOX plants, would be entirely unnecessary or, at a minimum, could be deferred indefinitely.”

## VI. 国際協調

- ・特に昨今の予算が逼迫する傾向を踏まえて、国際協調を促進するべきである。

### A. 中間高速スペクトル実験炉（FSTR）

- ・NEAC は、GNEP プログラムが ARR プロトタイプ案の実用化の前に 1 基の FSTR も持たずにその長期目標を達成できるのかどうか懐疑的である。したがって、GNEP に着手するのであれば、米国には高速スペクトル実験炉の運転開始が必要になる。したがって、NE は、ARR プロトタイプの運転開始まで海外施設でのサポート業務を行うための資金共有モデルの検討をするべきである。

FSTR は米国内に全く存在せず、世界でも数少ない。現在、フランスのフェニックスは 2009 年の夏に廃炉の開始が予定されている。2020 年代に Marcoule で高速実験炉を新規に建設する計画があるが、建設の決定は 2012 年までに下されることになっている。現在、日本の「常陽」は停止されているが、2011 頃には運転が再開される予定である。日本の高速増殖炉、「もんじゅ」は、1995 年に二次冷却系の漏えいによって停止されたまま現在に至るが、2009 年 2 月に再開が予定されている。ロシアには老朽化している BOR-60 と BN-600 という運転中の高速炉が 2 基ある。BOR-60 は、米国にとってその利用は政治的にも機能的にも挑戦するにはあまりにも容易ではない。また、日本の「もんじゅ」もロシアの BN-600 も発電用原子炉であり、燃料と物質を効果的かつ広範囲に試験できるだけの設計にはなっていない。

- ・「常陽」は、フランス、日本、および英国を含む限られた数カ国と共同で燃料要素やその他の物質に照射をするための世界の FSTR ユーザー向け施設として改造する原子炉としては最も有望と思われる。

既存の施設もしくは現在計画中の施設が不適當であるか、あるいは利用できな

い場合には、新たな国際 FSTR を、ITER や CERN の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）のような国際的モデルをベースにして建設するべきである。このような事例のいずれにおいても、国際コンソーシアムは建設費用と運転費用の双方に貢献する。高速炉ユーザー施設での実験プログラムは、参加国からなる国際委員会によって決定されるのがベストだろう。

## B. 国際再処理施設

- ・エンジニアリング規模の AFCF を直ちに建設するために高価なプログラムを立ち上げるよりも、フランスにある AREVA のラ・アーク施設や英国にある THORP 施設のような外国の施設でエンジニアリング規模の UREX 再処理法を実験することのほうがより手っ取り早く、より安いと思われる。<sup>19</sup>

また、日本では「常陽」および「もんじゅ」原子炉から出た使用済み燃料の再処理用に設計されたリサイクル機器試験施設（RETF）を国際再処理ユーザー施設に改造する案があるらしい。RETF は現在建設中であるため、そのような案を検討するには今が好機である。しかし、米国がクローズド核燃料サイクルに着手する決定が下されるのなら、米国は先進燃料サイクル施設の計画に沿って米国独自の再処理施設を建設するべきである。

AFCF プログラムの優先順位は、研究開発上のニーズに基づいて、建設段階を迎えることになる各モジュール（湿式、電気化学、燃料成型加工、廃棄物形態）間で決定されるべきである。このような施設と AFCF との間の補完関係を踏まえて、既存の外国施設の使用も検討するべきである。特にスループットを慎重に検討するべきである。

## C. 国際エンジニアリング実験が可能である場合の AFCF

AFCF の使用に関する最近の研究では、将来の大規模施設に健全な技術的根拠を

---

<sup>19</sup> Any proposal would be subject to both availability of the plant and the willingness of the UK or French government to support such an initiative.

もたらしするために必要な重要開発パラメータであるエンジニアリング規模のスループット、すなわち生産規模のスループットが確認された。燃料サイクル施設においてエンジニアリング規模のプロセスを確立するための好ましい装荷率は **25 トン／年の重金属**であったが、これは年間 **4 体**の先行試験体 (**Lead Test Assemblies**) (**LTA**) の生産アウトプットに相当する量である。燃料サイクル施設の可能な資本コスト削減策として、重金属 **4 トン／年**と **1LTA／年**の生産アウトプットをベースとした代替ケースも検討された。筆者は、いずれのケースにしても、**DOE** コンプレックス内の **1 つ**の既存施設に全力を注ぎ込むのは困難であること、そしてグリーンフィールド施設が最適の選択肢であることに気付いた。

現在の逼迫した予算を踏まえると、グリーンフィールド施設を、当初の予定よりも高ピッチにせよ低ピッチにせよ、建設するための十分な資金を調達できるとは思えない。したがって、前提を変更して、コンプレックス内の既存の大規模施設から何が果たされ得るかを見極めるほうがプログラムにとっては有利である。これを新たな前提とすると、単独の施設に好ましい装荷レベルでフルキャパシティを確立できる見込みはない。

**UREX** プロセスのラボ規模でのフル試験は、全ピースの個別のそれは実施済みなのだが、まだ実施されていない。

一連の総合 **End to End** デモンストレーション試験の可能性、すなわち、一つの運転組織によって一連の施設において低いスループットで実施される、受入から製品最終生産までの全プロセスステップを試験する可能性を捨てるべきではない。

これを出発点とすると、キープロセスの一部をエンジニアリング規模で試験する総合 **End to End** 方式でプロセス全体の試験をすることが可能になると思われる。小委員会は、この可能性のことを、それが **AFCF** プログラムを予算削減シナリオで実施する唯一の手段であるかもしれないので、検討するべきであると考えている。

#### D. 米国を拠点とするユーザー施設の可能性

- ・国際ユーザー共同施設を自国に設置することなく他国の施設を使用することは米国にとって不十分である。可能性は数多くある。その1つは過渡事象試験炉（TREAT）のような試験炉である。

TREAT は、アイダホ国立研究所に 1950 年後半に建設され、約 40 年間運転された大規模空冷実験熱中性子炉である。過酷な原子炉条件に対する物質の過渡応答の研究が可能な TREAT 型の原子炉には現在もまだ必要性がある。

TREAT の再開が過渡事象試験用の最先端施設を手に入れる最善の道であることが実証されなければならない。TREAT は 1994 年から待機状態にあり、再開費用は 1 億ドル程度になると見積もられている。しかし、NEAC では、然るべき最先端施設を手に入れるために必要とされる全ての改修がこの見積りに入っていることを確認するためには独立した確認が必要になると警告している。TREAT の改修もまた進むべき道であると思われる。

ただし、ここでの要点は、国際ユーザー施設の一環としての重要でユニークな施設が、米国の貢献としての施設が米国の地に建設されていることである。

#### E. 燃料開発

原子炉燃料を開発して、安定した信頼の置ける認可済みの十分な量の原子炉燃料を供給できるようになるまでにはかなりの時間がかかる。その上、HTR に現在必要とされる燃料の供給量は乏しい（HTR プログラムに明確な使命があるのなら、この要因もまたプログラムを前進させることになるだろう）。

- ・したがって、米国と日本の中で両国の業界も巻き込んで燃料を共同開発するための方法を見つけることが望ましい。日本は、大量の HTR 用燃料を製造した実績があり、HTR の超高温運転に成功した実績がある唯一の国である。

米国の燃料認可条件は日本のそれよりも厳しいかもしれないが、日本と協力すれば、米国は開発費用を節約できるかもしれない（トライアンドエラーになるかもしれないが（run to failure））。NE もまた PBMR（ペブルベッドモジュール炉）に関する取り組みについて南アフリカと、そして運転中の HTR を有する中国と協力する可能性を検討すべきである。

フランス、日本、および米国は使用可能で有用なホットラボの調査をするべきであり、費用を分担して共同プログラムを立ち上げるべきである。

例えば、軽水炉湿式燃料再処理法について日本原子力研究開発機構の RETF を使用する可能性の調査をするべきである。この調査には、例えば、フル稼働を保留中の英国の新規施設やドイツのカールスルーエの超ウラン元素研究所のような欧州委員会のラボを含めるべきである。

## VII. シナリオ

NEAC は、新規立地が全く進まない場合、2030 年までに約 17 GWe に相当する原子力発電所を新規立地する場合、すなわち EIA のベースケース、そして 2030 年までに約 45 GWe に相当する原子力発電所を新規立地する場合、の 3 つのシナリオを検討している。これら 3 つのシナリオの全てにおいて、既存の原子炉は寿命の 60 年まで運転されるとしている。

NEAC は 3 つのシナリオの全てに以下の研究開発プログラムが含まれることになる結論付けた。

- ・ 運転が順調な既存プラントを維持して不測事態を回避するための研究開発。この研究開発には経年化が含まれることになる。
- ・ 中核を担う技術者と科学者に原子力に携わることを奨励する。
- ・ 廃棄物管理に関する研究開発。
- ・ 米国を国際原子力協議の主要参加国にしておくための研究開発。

17 GWe と 45 GWe の両シナリオともに、製造と検査を含む新規立地に関する

問題に対処するための研究開発が必要になる。また、各種分離化学とスケールアップならびに可能な核変換オプションに関する研究開発も必要になる。最も積極的な 3 番目のシナリオについては、特別に研究開発を立ち上げて、新規原子炉のコンセプト、GEN IV、および新型軽水炉、ならびにこれらのコンセプトに必要な試験と設計に取り組むべきである。

計画は 2030 年に終結することになっているが、これは重大な誤りである。新たなコンセプトは、それが商用規模で実用化されるまでに、ラボ（研究）規模そしてエンジニアリング（実証）規模の開発には何十年もかかることがある。特に、新コンセプト（リサイクル、再処理、利用）のクローズド燃料サイクルに取り組む場合には 10 年のラボ（研究）作業、10 年のエンジニアリング（実証）作業、そして 10 年の更なる試験が必要になるので、研究開発プログラム<sup>20</sup>を健全なものにするには、2030 年という期限は早すぎるという結論に至る。

米国がその無視という政策を積極的に改めない限り、将来におけるレビューは英国の最近の報告に述べられた次のような内容になる恐れがある。

「原子力工学の分野におけるスキル（技術）の現在の危機、そして新世代の原子力発電所建設を前進させるための英国の能力に関する不確実性は、原子力戦略が 10 年前に整備されていたら回避できたはずだ。政府の原子力工学に関する戦略的政策の必要性は現在差し迫ったものになっている。」<sup>21</sup>

「英国が専門家と技術者を擁さずに英国において新たな原子力プログラムを支える可能性を論じるのは全く非現実的なことだろう。新規立地の設計は海外のベンダーから調達することになるが、立地は国内なのだから、計画される 60 年間の寿命を通じて一連の新規原子力発電所の詳細設計ならびにサイト固有の業務、統制、建設、運転開始、運転、保全、およびサポートを果たすのは英国の技術者の仕事になる。」<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> “The deployment of a new nuclear option takes a long time: 30 to 40 years....” Electricite de France presentation by J-M. Delbecq/J-L. Rouyer, Micanet Meeting, April 7, 2005.

<sup>21</sup> Nuclear Engineering, The Royal Academy of Engineering, March 2008, p. 1.

<sup>22</sup> Ibid., p. 2.

## VIII. 原子力教育と大学プログラム

- ・原子力利用のシナリオが現状維持であっても、小幅な成長であっても、あるいはリサイクル、核変換、および新型原子炉と新型燃料技術の開発を伴う積極的で強化されたプログラムであっても、各種大学プログラムは必要とされる次世代の科学者と技術者の教育と供給において欠かせない。

現状維持シナリオにおいてでさえも、最先端原子力科学分野<sup>23</sup>における米国の優位は国際協議における米国の「抛り所 (place at the table)」となってきた。

原子力科学と原子力工学の有能な人材は、原子力利用のためだけでなく、米国の最も広い意味での安全保障や福利といった他の分野のためにも至急必要である。

人材が至急必要とされる分野としては、国土安全保障、核法化学、核医学用その他の放射性同位元素の生産、核廃棄物の極小化と安全貯蔵、環境モニタリング、防護プログラムや規制、安全または緊急時対応を管轄する政府部門などがある。

- ・現在、米国における人材供給ラインは、特に国土安全保障、テロ活動の検知と評価やその他の放射能テロ脅威への関心が高まっているので、これらの全分野に必要とされる人材を供給するには不十分である。

APS の最近の原子力人材ニーズの調査<sup>24</sup>では、次の 3 つの原子力シナリオが検討された。(1)核燃料の再処理なしに現在の原子炉の数(約 100 基)を維持する、(2)核燃料の再処理なしに原子炉の数を倍増する、(3)原子炉の数を倍増して、使

---

<sup>23</sup> The Future of U. S. Chemistry Research: Benchmarks and Challenges 2007, Committee on Benchmarking the Research Competitiveness of the United States in Chemistry, Board on Chemical Sciences and Technology, Division of Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies, The National Academy Press, Washington, D.C.

<sup>24</sup> Readiness of the U. S. Nuclear Workforce for 21st Century Challenges, Report of APS Panel on Public Affairs, June 2008: <http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/index.cfm>.



用済み燃料の再処理とリサイクルによって燃料サイクルをクローズド化する。この報告によって「米国の原子力人材の深刻な不足ならびに新人訓練のための関連教育制度および教育施設の維持の問題」に関心が寄せられている。

核化学学科、放射化学学科、およびアクチニド化学学科は、核化学が消滅の瀬戸際にあるため、危機的状態にあることが分かった。大学の各種化学学科は教授が退官しても後任者を置かず、**2004** 年に核化学の博士号を授与されたのは **2** 人いるかどうかである。仮に学生の側に核化学の強い学習意欲があるとしても、核化学の学士号を授与する課程を持つ大学で残っているのは **2,3** 校だけである。原子力に携わる核化学学科、放射化学学科、およびアクチニド化学学科は、それぞれが資金繰りを様々な、場合によっては複数の金融機関に頼らなければならず、専門の融資機関が存在しないために状態は悪化している<sup>25</sup>。

**APS** パネルは、核化学および放射化学の訓練を積んだ人材のニーズに対応するための特別研究員制度や奨学金制度を含む横割りの人材育成プログラムの設立を勧告した。また、このパネルは、評価の高い学部の原子力関連学科の新任教授を対象にした特別研究員制度（**NSF** によって授与される研究員資格など）や研究費の増額は、大きな好機が存在したはずであることを実証することになり、大学の化学学科に教授の新規採用を納得させるのに役立つことになると結論付けた。

原子力工学プログラムと大学研究炉に寄せる **DOE** のサポートが「潤沢だったり貧弱だったり」してきたことは、甚だしい不確実性をもたらしてきており、その結果として、**1980** 年代から現在までに原子力工学学科と大学研究炉の数は半分程度になった。

- ・大学の現在の資金繰りは既存 **NE** プログラムの維持も困難なほどに厳しい。大学のためにも以前の原子力研究イニシアチブ（**NERI**）のような資金提供プログラムを設立するべきである。

---

<sup>25</sup> In 1978 when the DOE Division of Nuclear Science was eliminated, portions of the program went to Chemical Sciences and other portions to the Office of High Energy and Nuclear Physics. Nuclear chemistry went to nuclear physics, actinide chemistry to Chemical Sciences and Radiochemistry was left to try to attain funding from various applied programs such as in RW, Nuclear Medicine, etc. None of these subfields could apply to NSF for funding due to prior agreements that DOE was responsible for all nuclear and energy related activities. Only recently has this ban been lifted.

DOE は、PCAST（大統領科学技術諮問委員会）の勧告に従って、各国立研究所で進行中の研究開発には必ずしも縛られない研究費を提供するために NERI を設立した。したがって、新規プログラムでは、大学の予算案を、予算が国立研究所の研究開発に偏り過ぎないようにするために、見直す委員会の委員を任命する際にこの点に配慮するべきである。

APS パネルのもう 1 つの勧告は、連邦政府は、大学を拠点とした、原子力科学と核化学ならびに原子力工学の進行中の健全な教育プログラムの要となる連邦の専門機関を設置することによって次世代の原子力科学者と原子力技術者の教育に大きな責任を負うべきであるとするものであった。NEAC はこの勧告に触れておらず、その立場を明らかにしていない。短期的には、大学という人材供給ラインが復活しつつあるが、コミュニティカレッジや原子力発電所に原子力技術者訓練プログラム・再訓練プログラムを設置するべきである。また、原子力業界および国立研究所との共同プログラムおよび共同実習訓練も実施するべきである。

また、DOE-NE は、最近の全米アカデミーの報告書の提言<sup>26</sup>にあるように、原子力科学と原子力工学の教育に、2005 年エネルギー政策法によって認められたレベルの資金、すなわち 2009 年度に 5600 万ドルを提供するべきである。

それだけの資金を提供すれば、必要な人材が続々と引退する中で、国土安全保障、原子力事象の検知と特定、および原子力やその他の形態の放射能テロと戦うための核法化学のための政府、国立研究所、および業界その他の人材ニーズに対応するために必要とされる人材の育成をサポートすることになるだろう。この教育予算には、大学研究炉、国立研究所、および業界の間の協力を奨励した、最後の 2006 年度に 941 万ドルの予算がついた DOE の原子力インフラ・教育改革（INIE）プログラムによって提供されたような大学訓練と大学研究炉のための然るべきサポートを含めるべきである。

エグゼクティブチームのメンバーであるジェームズ・デュダースタット（James

---

<sup>26</sup> Review of DOE's Nuclear Energy Research and Development Program, National Research Council, National Academies Press, Washington, DC, October 2007.

Duderstadt) からバテル研究所のポール・カーンズ (Paul Kearns) への 2008 年 7 月の書簡からの引用、「かつて DOE (AEC-ERDA) の使命は、国家の原子力能力を持続させるために必要な技術者と科学者を育成することだった。しかし、DOE のこのような教育プログラムのサポートは何年もの間、申し訳程度であり – 実際には、原子物理学や高エネルギー物理学のような他の分野の生徒 1 人当たり、もしくは教員 1 人当たりの 10% に満たない金額だ」。生徒訓練プログラムのために何らかのサポートを何とか引き出そうとしたプログラムリーダーもいたが、教員の助成 (faculty grants) や生徒の訓練に多額の予算が実際につくことはないようである。

バテル研究所とアイダホ国立研究所によって共同作成された最近の報告書では、人材問題と原子力教育ならびにこれらの分野の最優先施設が取り上げられたが、大学の教員と生徒の研究・訓練サポートの資金提供制度が具体的にはどのようなものになるかは依然として不明である。

## IX. 学ぶべき教訓

- ・過去に生じた海外での状況におけるマイナス面（英国原子力産業の衰退）からも、ポジティブな面（フランス・日本の原子力研究・産業における世界的リーダーシップ）からも、教訓を学ぶことができる。

英国政府は、原子力産業やスキルを育成する必要性を認識するべきであったが、政府による明確な政策がない状況の下、原子力産業を支える技能の急激な低下が生じてしまった。その点において英国は、米国に関連性のある過去の事例を示しているといえる。

1980 年後半から 1990 年前半に相次いで起こった、英国原子力公社 (UKAEA) と中央電力庁 (CEGB) の一部民営化は、原子力分野を支える研究開発を壊滅的崩壊へと導いた。

ほとんどの CEGB 主要研究所が閉鎖され、新しい原子力システム関連の研究開発は、当時貿易産業省内にあったエネルギー部門により資金調達を受けることに

なり、活動が停止した。そして同分野では、**8000**以上の技術職が失われた。これは順々に、英国と国際的原子力活動を支えてきた大学にも、壊滅的な影響を与えていった。英国には原子力工学のコースが一つしかなく、それも修士課程レベルのものであった。新卒社会人は例年、科学部や工学部の中にある原子力モジュールから来ていたが、これらの学生は、減退していると認識されている業界に対して興味を持たなくなったためいなくなり、また経験ある学界スタッフは退職してしまった。政府からの助成金が出ず、学界から新任者を迎えるように図ることは、ほとんど不可能な状態だった。**1990**年代の半ばまでに行われた唯一の大型投資は英原子燃料公社 (BNFL) によるものであった。この投資は、英国のトップクラスの大学と**4**つの厳選された目的を持つ研究協力体制を通して行われた。政府は「原子力を選択肢として生かし続けること」ができる科学基盤を持つ必要性に気づき、同時にこの投資は、英国の主要研究委員会によるレバレッジ（槌入れ）投資を促進した。国際競争力を有する原子力分野の研究グループが復活し、大学の学部課程・修士課程で教えられる単科（モジュール）が復活するまで**10**年近くかかった。過去**5**年間に活発なプログラムを維持できなかったことにより、高速炉に関する英国の知識基盤を維持することは、ほとんど不可能となった。過去世代の価値ある取り組みにより、過去の記録に名を連ねることはできたが、今も国際的に検討中とされているシステムに関連する大切なノウハウは、多分失われてしまったであろう。

研究開発への資金削減と原子力能力維持への明確な計画の欠如が招いた、もう一つの予期せぬ結果は、既存のプラントを今後**20**年間運転するために必要な訓練を受けた技術者やトップに立つブルーカラー技術者の不足の高まりと、原子力規制当局に携わるスキルを持った人材の不足である。

**2007**年に取られた例によると、英国政府は技術者の訓練とモジュールを基礎レベルまで向上させるために、国家原子力技術アカデミーを設立したが、現状を改善するには**10**年以上かかると認識している。

最近の例として、規制当局の人材不足に至っては、国際的に利用可能な設計を使って新構築への取り組みに着手しようとする産業界にとっても、**2010**年代後

半までに新世代の原子炉を開発したいと考えている英国政府にとっても、大きな問題となっている。

英国王立工業アカデミー（**Royal Academy of Engineering**：米国での**National Academy of Engineering**に匹敵）は、英国政府が厳選された研究プログラムに出資することを強く勧めている。

英国は**21世紀の燃料サイクルの検討と支援を可能にするために、BNFLを通してセラフィールドの新しい研究開発施設に対し、4億ドルを投資した**。これはまだ活用されていないが、資本投資だけは行われている。

一方、フランスや日本などは、世界トップクラスの原子力研究開発施設の構築、および技術や安全上の理由で老朽化が克服できなくなるまで必要に応じて絶え間なく施設のアップグレードを実施して、過去に成功を納めている。たとえ長期にわたる困難な問題であろうとも、老朽化が進んだ施設の閉鎖を予測するために、これらの国で使用されている時間段階的アプローチは、新しく適合された研究開発能力を備える施設建設に向けた決断を可能とする。例えばフランスでは、**1990年から2000年にかけてマルセーユで新しい廃棄物処理処分施設（アタランテ施設）が建設進行中に、1960年代にパリ近郊に建設された原子力ホットセルが閉鎖された**。この施設は現在、再処理および廃棄物形態の調査支援を行う世界トップレベルの研究所として認められている。

## **X. 結論**

多くの最優先施設は、**DOE-NEが必要としている能力を提供する以前に、中規模から大規模の投資が必要である**。

暗い話として、朽ち果てた、または腐食が進行している施設が明るみにでたが、ほとんどの場合、それらの施設は大規模かつ高額な改修を行わない限り、もとの利用目的には適さないものである。

しかし、積極的な新規発電所や先進プログラムが進展しないとしても、米国は複数の強力な原子力研究施設が必要である。

NEは、原子力基盤のニーズに関する評価を広げ、現在の軽水炉プラントで使用されたワンススルー燃料サイクルや、それらから発展するであろうLWRの改良版などまで拡大するべきである。

国際協力とは、特に現在の厳しい予算環境において、今後も増えるであろうと思われる。

しかし、ここでの主要ポイントは、一連の国際ユーザー施設への米国の貢献として、米国内に建設できる重要かつユニークな施設があるということだ。

NEAC は、研究開発プログラムの中には、新規施設がなくても、少数であっても、または多くあったとしても、変わらない研究開発プログラムもあるとの結論を出した。ここで言う「変わらない研究開発プログラム」とは、

- ・ 現在の良好なプラント運転を維持し、突発的な事故を回避するための研究開発。この研究開発には経年化現象も含まれる。
- ・ 新しい中核となる技術者・科学者が原子力に携わるように助長するための研究開発。
- ・ 廃棄物管理に関する研究開発。
- ・ 国際原子力議論において米国が主要参加国として いられるための研究開発。

計画を2030年までとしていることは、大きな間違いである。新しい概念は、研究所規模、技術規模での開発を経なければならず、商工業規模に達するまでには、何十年もの歳月がかかりうる。



米国エネルギー省 原子力諮問委員会  
Nuclear Energy Advisory Committee, USDOE

2008 年 11 月発行  
原子力：21 世紀の政策と技術  
Nuclear Energy: Policies and Technology for the 21st Century

仮訳：(社) 日本原子力産業協会 情報・コミュニケーション部 東京都港区新橋 2-1-3 TEL 03-6812-7103 FAX 03-6812-7110
---