原子力発電のエネルギーセキュリティレベルの向上に果たす役割に関わる評価研究

山田 英司^{1,*}

Study on the Contribution of Nuclear Power to the Improvement in Energy Security Level

Eiji YAMADA^{1,*}

¹The Institute of Applied Energy, Shimbashi SY Bldg., 1-14-2 Nishi-Shimbashi, Minato-ku, Tokyo 105-0003, Japan

(Received May 13, 2008 and accepted in revised form April 30, 2009)

Nuclear energy has a great potential to improve energy security. Meanwhile, because of various kinds of risk nuclear power programs of advanced nations do not follow the same course to reach the goal of fuel recycling, which is the most valuable advantage of nuclear energy. This study analyzes the past trend and prospect of energy security levels of advanced nations by assessing their levels on several indexes of energy security. The quantitative analysis of the past trend shows that Japan has improved its level mainly by diversifying its energy supply sources. This study also leads to scenario planning on nuclear power with probable risks as scenario drivers, such as accident, moratorium, weak industrial capability, and uranium resource constraints. The quantitative prospect with the scenario planning shows that the nations without nuclear power programs would stay at lower levels, while the others including Japan would keep their levels beyond the average. A case study shows that an aggressive program has suppressive impact on the improvement, which is also observed in a French case. These outcomes suggest that a nuclear power program should pursue an appropriate portion in an energy supply structure from the viewpoint of energy security.

KEYWORDS: *energy security, energy policy, risk, scenario, nuclear energy*

I. 本研究の目的

1. 原子力発電を巡る環境および本研究の目的

原子力は、主要なエネルギー源として開発利用が推進されてきており、エネルギーセキュリティレベルの向上に寄与している。しかしながら、原子力開発利用を巡っては、電気事業者、行政機関、規制当局、立地地域における自治体、議会および地域住民、マスコミ、市民グループ、国際機関、金融業界等、多様な利害関係者が関与しており、エネルギーの安定供給、地球環境問題の解決等の社会的な要請に適確に応えていくには、それぞれの国や立地地域における政治状況、社会状況、国際関係、産業・技術基盤等の多様なリスク要因を含む環境の中で推進して行かざるを得ない状況にある。先進諸国における原子力開発利用の動向をみても、いずれの国においても紆余曲折を経つつ進捗しており、必ずしも原子力が有する最大の利点である燃料のリサイクル利用を可能とする段階に向けて一直線に進んで

いないのが現状である。

本研究では、主要先進各国における原子力発電開発利用に関わる事例を踏まえ、将来の原子力発電開発利用に関し大きな影響を与えることが懸念されるリスク要因をシナリオドライバーとしてシナリオ設定を行う。その上で、先進諸国間の比較においてエネルギーセキュリティレベルを定量的に評価する手法を用いて、原子力発電開発利用がエネルギーセキュリティレベルの向上に果たす役割について評価を行う。

2. 原子力発電が果たすエネルギーセキュリティレベル向上に関わる先行研究

経済産業省が2006年に作成した「新・国家エネルギー戦略」¹⁾においては、2030年に向けて5つの数値目標を設定し、そのうちの1つとして、「2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上にする」としているが、これが、我が国のエネルギーセキュリティレベルの向上にどの程度寄与するかは示していない。また、2005年に原子力委員会策定の「原子力政策大綱」に関わる審議²⁾の際、使用済燃料処分のあり方に関

¹ 財エネルギー総合工学研究所

* Corresponding author, E-mail: eyamada@iae.or.jp

し全量再処理方式と直接処分方式との比較評価を行っているが、基本的には原子力開発利用の順調な進捗を前提としており、リスク要因を考慮した想定は行っていない。先行の研究事例をみた場合、池田、田下、氏田および松井による原子力の役割に関わる研究³⁾では、原子力を環境、経済およびエネルギーの枠組みの中で捉え、原子力に関し3つのシナリオ(脱原子力、FBRの有無)を設定し原子力あるいは核燃料サイクルの必要性、原子力が持続可能で主要なエネルギー源であるための要件等について考察しているが、ウラン資源量の制約を除いては原子力を巡るリスク要因について考慮されていない。大森および堀井によるエネルギー危機の分析と日本の科学技術戦略に関わる研究⁴⁾では、2030年頃までに想定されるアジア地域におけるエネルギー危機を検討した上で、シナリオプランニング手法を用いて中国の進む方向を軸にシナリオ分析を行った上、新型炉などの革新的原子力システムが想定される危機シナリオの影響緩和に果たす役割に関し評価を行っているが、原子力開発利用自体のリスク要因については分析を行っていない。また、いずれの研究も、原子力発電開発利用が果たすエネルギーセキュリティレベルの向上について定量的な評価を行っていない。

II. 1970年代以降これまでのエネルギーセキュリティレベルに関わる評価

1. 評価手法

本章では、エネルギーセキュリティレベルに関し定量的評価を行う手法⁵⁾を活用して、原子力発電開発利用が果たし得るエネルギーセキュリティレベルの向上への寄与について評価を行う。同評価手法は、エネルギーおよび環境に関し複数の指標を設定し、各指標に関し先進各国間の位置付けを偏差値により算定し、その総計を評点としてエネルギーセキュリティレベルを定量的に評価する手法である。なお、同手法を用いて、2005年時点における主要先進諸国のエネルギーセキュリティレベルに関し評価した場合、我が国は平均を若干下回るというものであった⁵⁾。

(1) エネルギーセキュリティに関わる指標の設定

エネルギー政策基本法に基づき策定されるエネルギー基本計画(以下「基本計画」という。)に規定される目標は「安定供給の確保」、「環境への適合」、「市場原理の活用」(経済性)であり、それらの達成度を定量的に示す指標を下記のように設定する。また、それら指標とエネルギー政策との関係を Fig. 1 に示す。

(a) エネルギー利用効率

一定の効用を得るのに必要なエネルギー量の低減を図ることは、エネルギーの安定供給および環境保全に資するもので、我が国のエネルギー政策の最優先課題である。指標として、単位GDP当たりの一次エネルギー供給量(以下、「一次エネルギー供給量/GDP」という。)を採用する。

(b) エネルギー源の多様化

基本計画において、エネルギーの安定供給を図るための方針としてエネルギー源の多様化が指摘されている。多様化を示す指標として、市場集中度を測定する手法として活用されるハーフィンダール・ハーシュマン指数 HHI を用いる。

$$HHI = \sum W_i^2 (W_i: \text{各構成因子のシェア})$$

(c) 二酸化炭素排出

基本計画においては、温室効果ガスの約9割を占めるエネルギー起源の二酸化炭素の排出抑制の重要性を指摘している。本評価では、各エネルギーに関し、供給シェアを単位エネルギー消費量当たりの炭素排出量により重み付けしたものの総和を指標として採用する。

$$\text{二酸化炭素排出}(\text{CO}_2 \text{ 排出}) \text{ に関わる指標} = \sum W_i \times C_i$$

(W_i : 各構成因子のシェア, C_i : 単位エネルギー消費量当たりの炭素排出量)

(d) エネルギーの安定輸入(中東およびロシア依存度)

エネルギー政策基本法第2条に「石油等の一次エネルギーの輸入における特定地域への過度な依存を低減する」との規定があり、指標として一次エネルギー供給に関し中東およびエネルギー資源の国家管理を強めるロシアに対する依存度を採用する。

(e) 経済への影響

エネルギー価格の変動に対する経済への影響度を示す指標として、GDPに占めるエネルギー支出額あるいはエネルギー輸入額の割合が考えられる⁶⁾。エネルギーの国内価格は各国内の流通システム、補助金、税などの政策要因によるところが大きく、国際的には比較し難い点があるので、本評価ではIEA統計等に記載される国際市場でのエネルギー輸入価格から算定される化石燃料の輸入額のGDPに占める割合(以下「化石燃料輸入額/GDP」という。)を指標として採用する。

$$\text{経済に関わる指標} = (\sum F_i \times P_i) / \text{GDP}$$

(F_i : 各化石燃料の輸入量, P_i : 各化石燃料の輸入価格)

(2) エネルギーセキュリティに関わる評点の算出

設定された指標に関わる*i*国の数値を X_i ($i=1 \sim n$)とする場合、同指標に関わる*i*国の評点 Y_i は以下により算出

Energy policies	Stable supply of Energy		Global Environmental problems	Lower Energy Prices	
Aspect	Diversity of supply	Vulnerability of supply	Energy use efficiency	CO ₂ emission from energy consumption	Effect on economies by energy imports
Index	Index of Diversity = $\sum W_i^2$ *1	Portion of import from Middle East and Russia	Primary energy supply /GDP	Index of CO ₂ emission = $\sum W_i \times C_i$ *2	Fossil fuel import /GDP

Fig. 1 Evaluation aspects and indexes on energy security in this paper

(note) *1 W is the portion in energy supply of respective energy.

*2 C is CO₂ emission/unit energy consumption.

される。この評価手法では、平均は50となる。

i 国の設定された指標に関わる評点

$$Y_i = 50 + 10 \times (X_i - \text{ave } X_i) / \text{stev } X_i$$

ave X_i : $X_1 \sim X_n$ の平均値

stev X_i : $X_1 \sim X_n$ 標準偏差

i 国の総合評点 Z_i は、設定された 5 つの指標に関わる評点 Y_i の平均値とする。

$$Z_i = \text{ave } Y_i : Y_1 \sim Y_5 \text{ の平均値}$$

この評点の算出に当たっては、変動するエネルギー需給状況、国際的な政治経済動向に応じ評価指標に重付けを行い加算することが適当であり、各評価指標のウェイト付けには階層分析法(AHP)によることが考えられるが、同法で用いる一対比較に当たっては、その時々状況分析、関係者へのアンケート調査などが必要になるので、本評価では単純な平均値を採用している⁵⁾。

なお、これらの評点の算出に当たっては、原則、OECD/IEA のエネルギー統計^{7,8)}による。しかしながら、同統計には、1973年のエネルギー輸出入、価格等のデータは一部しか掲載されていないので、それらについてはEMDC 統計⁹⁾による。

2. 1970年代以降現在までの主要先進国のエネルギーセキュリティレベルに関わる評点の推移

本節では、上記の評価手法を用いて、第一次石油危機が発生した1973年以降2005年までの間における、サミット参加の先進7ヵ国(カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、日本、英国、米国、以下、「対象先進国」という。)を対象にエネルギーセキュリティレベルの推移の評価を行った。

(1) 我が国のエネルギーセキュリティレベルに関わる評点の推移

我が国のエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点は、Fig. 2 および Table 1 に示すように、1973年の46.5から1990年の47.6にかけて上昇した後、1990年代は停滞するものの、その後は2005年に向けて着実に上昇し48.5に達していることが示される。その変化要因としてFig. 3 に示される各指標に関わる評点をみると、我が国が、石油危機以降、原子力、石炭、天然ガス等の石油代替エネルギーの導入促進を図った成果として、多様化指数に関わる評点が向上したことが大きく寄与している。1990年代の停滞は、中東ロシア依存度に関わる評点が低下したことによる。すなわち、我が国の同指標に関わる評点は対象先進国中最低のランクであるが、原油輸入先多様化の努力の結果、1980年代にいったんは低下した中東への依存度が、1990年代に石油需給の緩和に伴う石油価格の低下、市場主義の流れの下、再び高まった。しかしながら、2000年代以降は、石油需給の逼迫化を反映して原油輸入先の多様化が推進されたことにより、同指標に関わる評点

Table 1 Past trend of the points of energy security levels of advanced nations

	1973	1990	1995	2000	2005
Canada	55.9	56.4	56.1	55.2	55.6
France	47.4	52.1	52.2	52.5	51.7
Germany	50.3	47.6	48.5	49.2	49.9
Italy	44.1	42.2	42.6	42.9	41.7
Japan	46.5	47.6	46.6	46.6	48.5
UK	49.5	53.3	54.2	53.7	52.8
US	56.1	50.9	49.7	49.9	49.7

Fig. 2 Past trend of the points of energy security levels of advanced nations

Fig. 3 Past trend of the points of each evaluation index of advanced nations

が反騰し、総合的な評点が上昇することとなった。他の指標をみると、エネルギー利用効率を示す一次エネルギー供給量/GDPに関わる評点は一貫して高水準にある。一方、CO₂排出に関わる評点は、原子力および天然ガスの利用が拡大したが、石炭利用も拡大した(一次エネルギー供給量のうち1973年18%, 2005年21%)ため若干の上昇に留まっている。同指標に関わる2005年の評点が低いのは、2000年以降、相次ぐトラブル、不祥事等により原子力発電施設の設備利用率が低下し原子力発電電力量が低下したことによると考えられる。

(2) 対象先進国におけるエネルギーセキュリティレベルに関わる評点の推移

フランスについては、1970年代から1990年にかけてエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点が大きく上昇しているが、これは、同国が原子力発電開発を積極的に推進・拡大した時期と符合する。同国の場合、1990年以降はCO₂排出および中東ロシア依存度に関わる評点が大きく改善する一方、原子力比率の上昇(2005年には発電電力量の79%, 一次エネルギー供給の43%を供給)に伴い、多様化指数に関わる評点は低下し全体として横ばいで推移している。

英国も、1970年代から1990年にかけて総合的な評点が大きく上昇しているが、これは、北海における原油・天然ガス生産の増加に伴い、中東ロシア依存度および化石燃料

輸入額/GDPに関わる評点が大きく上昇したことによる。

ドイツについては、主に、石油および石炭の比率が低下する一方、原子力および天然ガスの比率が上昇することにより、多様化指数に関わる評点が向上したことにより、1990年以降、総合的な評点が上昇している。

一方、総合的な評点が下降した米国については、1980年代後半以降、国内石油生産が減少を続けており、石油の輸入依存度が増加してきたこと(1973年37%が2005年には69%に上昇)に伴い、化石燃料輸入額/GDPに関わる評点が低下したことによるところが大きく効いている。米国のエネルギー政策の基本は石油の安定供給にあり、石油消費の72%は自動車用燃料である。原油輸入の中東依存度は1980年代には増加したが、湾岸戦争が発生した1990年以降は低減が図られており、中東ロシア依存度に関わる評点は、石油輸入量の増大にも関わらず、おおむね横ばいで推移している。

カナダは、一次エネルギー供給量/GDPに関わる評点は、対象先進国中、最低水準にあるものの、エネルギー資源大国として他の指標に関わる評点は良好であり、総合的な評点は一貫して高い水準で推移している。一方、イタリアは、その逆で、一次エネルギー供給量/GDPに関わる評点は良好であるが、それ以外の指標に関わる評点は低い水準にあり、総合的な評点は一貫して低い水準にある。

III. 原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオ

1. シナリオドライバーの抽出と分岐シナリオの作成

原子力が化石燃料と異なる最大の利点は、燃料のリサイクル利用および増殖が可能な点であり、我が国が原子力開発利用を推進する理由もそこにある。しかしながら、上述したように、原子力開発利用には多様な利害関係者が関与し、それを巡るリスク要因は多様である。それらのうちから、原子力発電開発利用へ与える影響が甚大で不確実性の高いリスク要因を抽出し、それらをシナリオドライバーとし、また、我が国が目指す原子力発電開発利用の推進と核燃料サイクルの確立をゴールとして目指す路線(以下、「リサイクル路線」という。)を軸として整理・展開した分岐シナリオを作成する。同分岐シナリオ作成にはシナリオプランニングの手法を参考にしている。同手法は、対象領域に関する影響因子を分析し、影響度と不確実性が大きい要因をシナリオドライバーとしてシナリオを分岐させ、複数のシナリオにより将来を構造化するものであり、将来、不確実な事象が発生した場合、迅速かつ適確な対応に資するものである^{4,10)}。

同分岐シナリオにおいて、シナリオドライバーは、(a)実際に発生したもの、(b)発生する蓋然性があるもの、(c)発生する可能性があり影響が大きいものの順に配置されているが、発生に備えて対策の準備に費やすことができる時間的余裕を示す配置ともなっている。また、あるシナリオドライバーにより分岐した先にあるシナリオに至った場合であっても、周辺環境の変化に伴い、ゴールとして目指すリサイクル路線に回復することを否定するものではない。例えば、いったん、脱原子力政策の採用、あるいは、モラトリアム状態に陥る場合であっても、電力需給の逼迫、安全確保策の整備、安全実績の向上等により、原子力

発電推進に方針転換し、上記路線に復帰することも含まれる。

2. 原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオにおける各国の位置付け

本研究で作成した原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオにおいては、リサイクル路線を目指す主シナリオから、次の5つのシナリオを分岐させている。

- (1) 深刻な原子力事故に起因する「脱原子力」シナリオ
- (2) 原子力開発利用に関わる不透明性に起因する「モラトリアム」シナリオ
- (3) 原子力を支える製造能力喪失、人材不足等に起因する「基盤脆弱化」シナリオ
- (4) プルトニウム利用放棄あるいは停滞に起因する「ワンススルー」シナリオ
- (5) ウラン資源の大量消費に起因する「資源制約」シナリオ

原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオに、先進諸国の現状を当てはめると **Fig. 4** のようになる。もとより先進各国が一樣にリサイクル路線を目指しておらず、同分岐シナリオに位置付けるのが必ずしも適当でない国もあるが、原子力発電開発利用を巡る多様なリスクに起因して至る状況を現実的な姿として示すために敢えて位置付けを行う。

我が国の分岐シナリオ上の位置をみると、現在、原子力発電所の稼動状況は低い水準にあるが、これまで電源の選択肢から外されることはなく、また、欧米が“冬の時代”にあるときも継続的に原子炉建設が続いたこともあり、欧米諸国に比して技術基盤や人材確保もできており、「モラトリアム」あるいは「基盤脆弱化」に陥ることは免れている。2009年3月現在、初の商用再処理工場が営業運転開

Fig. 4 Scenario planning on nuclear power development

始直前の段階にあるものの、高レベル廃液ガラス固化設備のトラブルにより計画に遅れが生じている。同工場が円滑に運転されるか否かにより、リサイクル路線への道が開けるか、原子力の有する利点を生かせず実力を発揮できない「ワンススルー」に陥るかの分岐点に位置している。

欧州では、原子力推進と反対の国々が拮抗しているが、イタリアは1987年以降、ドイツは2002年以降、脱原子力政策を採用しており、これまでの間、新規の原子力発電開発は差し止められている。一方、フランスは、国が主導的に原子力開発利用を推進しており、原子力発電、核燃料サイクルとも世界をリードする産業・技術的基盤を形成してきている。

豊富な化石燃料資源を保有する対象先進国をみると、英米両国は、1980年代以降、新規炉の着工はなく、両国は、事実上、モラトリアムの状況にあった。米国では、近年、新規炉の発注がなされる等モラトリアム状態から脱却してきている。しかしながら、長い“冬の時代”に原子力発電機器製造能力やエンジニア人材を喪失しており、次の分岐である「基盤脆弱化」シナリオに陥り、回復軌道に乗ることができない懸念がある。一方、英国は、2008年1月に原子力発電推進に舵切りがなされ、英国電気事業者を買収したフランスおよびドイツの電気事業者により、現在の原子力発電容量とほぼ同等の原子力発電所建設計画が発表され、モラトリアム状況からの脱却する方向にある。

3. 各シナリオドライバーに起因するシナリオ

(1) 深刻な原子力事故に起因する「脱原子力」シナリオ

原子力開発利用にとって、なにより影響が甚大なのは、深刻な原子力事故の発生である。1979年の米国スリーマイルアイランド原子力発電所事故(以下、「TMI事故」という。)、および、1986年の旧ソ連チェルノヴィル原子力発電所事故(以下、「チェルノヴィル事故」という。)は、原子力発電の社会的受容性を著しく低減させた。上記事故の際、欧州各国では原子力発電所の即時運転停止措置は採られなかったものの原子力政策の見直しが行われ、TMI事故を契機にスウェーデンで、また、チェルノヴィル事故を契機にイタリアで、それぞれ国民投票が実施され、その結果を受けて脱原子力政策が採択された。さらに、環境重視の緑の党の勢力が伸張り政権に参加したドイツでは2002年に、また、ベルギーでは2003年に脱原子力政策が採択されている。

その後、ドイツにおいては2005年に原子力推進を掲げる政党が主導する連立政権が成立したが、これまで政策転換はなされていない。イタリアでは、1990年までに稼働していた発電炉4基すべてが運転停止され¹¹⁾、現在、電力需要の15%を輸入し、また、エネルギー供給の1/3を占める天然ガスの供給をロシアおよびアルジェリアに依存しており、昨年、供給懸念低減のため原子力発電導入に政

策転換されたが、その実現は不透明である。脱原子力政策の国々が原子力開発利用推進へと回復するには、下記III-3-(2)-(a)目の米国の事例に示されるような原子力発電に関わる必要性および有用性の認識、安全運転実績の蓄積等とともに、政治的な潮流の変化が必要となる。

なお、即時運転停止の事例としては、TMI事故を契機に、我が国において、事故を起こした原子炉と同型の加圧水型炉(PWR)に対し原子力安全委員会により改善措置の指示がなされ、対象となったPWR9基のうち、運転中であった原子炉1基に対して、原子力安全委員会の審議結果に基づく通商産業省の指導により運転が停止された事例がある¹²⁾。

(2) 原子力開発利用に関わる不透明性に起因する「モラトリアム」シナリオ

原子力発電に関わる事故、トラブル、不祥事等は、批判的な世論の高まり、立地地域の発言力の増大等の社会的受容性の低下、規制合理化の遅延、規制強化等により、原子力発電が新規電源の選択肢から外される「モラトリアム」の状況に至ることとなる。

以下、米国および英国がモラトリアムに陥った経緯および回復の状況を記す。

(a) 米国のモラトリアム状況からの回復¹³⁾

米国では、TMI事故以降、新規の原子力発電所の発注は皆無となり、既発注分もキャンセルが相次ぐ等、長い“冬の時代”が続いた。これは、電力需要低迷や電力自由化の環境の下、規制強化や遡及適用(バックフィット)、NIMBY(Not in my back yard)という言葉に示される立地反対運動等により、運転開始までに要する時間に不確実性が高まり、原子力発電所建設に要する多額な投資の回収性に疑問が生じ金融業界が慎重になったことによるとされる。しかしながら、1980年代から導入された規制緩和政策を背景として、原子力発電を有する電力会社では直面する競争環境下で構造改革を迫られることとなり、社外からの有用な人材の招聘、メーカーに依存していたプラント運転管理の内製化等の改革が実施された。一方、米国原子力規制委員会(NRC)の主観的な判断による規制、過剰規制等についても批判がなされ、1990年以降、順次、稼働実績、リスク情報に基づく規制を軸に規制合理化が行われ、また、原子力発電所の運転期間延長(40年→60年)の認可、使用済燃料に関わる政府の引取義務の明確化等により安全規制や使用済燃料処分に関わる不透明性が解消するようになった。その間、既設の原子力発電炉は良好な運転実績を示し、原子力発電は競争力を有する良好な電力資産として再評価されるようになった。また、2001年発生のカリフォルニア州の電力危機や、電力自由化の10年間に亘り発電能力の増強が行われなかったことに起因する電力需給逼迫の懸念は新規電源の必要性を米国民に認識させることとなり、現在では新規発電用原子炉の発注がなされるなど、“原子力カルネッサンス”と呼ばれる回復をみせている。

(b) 英国におけるモラトリウム状況からの回復

英国では、1980年代以降北海油田・ガス田の生産が本格化し、エネルギー自給率は100%を超える状況にある。このため、特段、脱原子力政策を採択している訳ではないが、1987年に英国唯一の軽水炉が着工した以降、新規原子炉建設や計画は途絶え、モラトリウムの状況にある。同国は、世界初の商業用原子力発電国であり、現在も発電電力量の約22%を担っているが、1950年代から60年代にかけて運転開始したマグノックス炉はすでに閉鎖され、1970年代から80年代にかけて運転開始した改良型ガス炉も2020年代には耐用年数を迎えることから、原子力発電容量は徐々に低減していくと見込まれている。しかしながら、北海油田・ガス田の生産の減少、地球環境問題への関心の高まりから、英国政府は、新規原子力発電所の建設提案はしないという原子力モラトリウム政策を転換して、2007年5月には、将来の電力構成において原子力発電を新規電源のオプションの1つとして認め、2008年1月には原子力推進を内容とする政策を発表した¹⁴⁾。2008年9月、フランス電力会社(EDF)は、同国の原子力発電容量の約85%を所有・運転管理するブリティッシュ・エナジー(BE)社の買収、あわせて、4基の新規軽水炉建設計画を公表しており¹⁵⁾、同社が有する原子力発電の建設・運転に経験を活用して、既設炉の運転継続および新規原子炉の建設推進を図るものと考えられる。また、英国の電気事業者を買収しているドイツの大手電気事業者E.ON社が2基の新規軽水炉建設計画を公表している。これら6基の原子力発電容量合計は、現在の英国の原子力発電容量(1,098万kW、軽水炉1基を除きすべてガス炉)とほぼ同等である。

英国には米国のような国による支援策はないものの、上記の2社はフランスおよびドイツの最大の電力会社であり、英国は、長期のモラトリウムで脆弱化した同国の原子力発電の技術基盤を他国企業の力により回復を図り、現在と同等程度の規模の原子力発電を開発利用していくものと見込まれる。

(3) 原子力を支える製造能力喪失、人材不足等に起因する「基盤脆弱化」シナリオ

中期的な課題としては、原子力機器の製造能力や原子力発電所建設に必要な人材の確保が制約要因となる可能性がある。米国の原子力産業は、1980年代以降の長い“冬の時代”に原子炉設備の製造能力、プラント建設に関わるエンジニアリング経験を喪失している¹⁶⁾。世界的にみても、単基当たりの原子力発電容量の増大に伴い、高い信頼性を有する大型压力容器や蒸気発生器の製造能力を有する施設が限られる。また、人材育成は時間を要し、需要に適確に対応した人材供給が可能かどうかに関し懸念がある。米国の場合、原子力特有の炉心設計、規制対応、放射線管理等に関わる人材は維持されているとされるが、長い“冬の時代”に原子力に関わる人材の厚みは低減してきてい

る。これらが、上述したように、モラトリウム状況から脱却して、新規原子炉の建設を目指す上で隘路になるのではないかと懸念がある。

(4) プルトニウム利用放棄あるいは停滞に起因する「ワンスルー」シナリオ

米国は、1970年代後半以降、核不拡散の観点から、商用レベルのプルトニウム利用を停止している。また、カナダは、自国に豊富なウラン資源の有効利用の観点から天然ウランを燃料とする重水炉路線を推進しプルトニウム利用政策を採択していない。

前述したように、分岐シナリオ上、我が国はリサイクル路線に向けたシナリオに乗られるか、「ワンスルー」シナリオに陥るかの分岐点に位置しているが、その際のシナリオドライバーとなるのは、再処理工場の安定稼働である。

我が国では、使用済燃料は全量再処理すること、また、使用目的のないプルトニウムは保有しないこととされており、この基本方針の下、使用済燃料およびプルトニウムの需給をバランスさせることが必要となっている。これらの2つの需給バランスを図る上で要になるのは再処理工場であり、同工場が順調に稼働すれば、使用済燃料の受入れ→再処理→プルトニウム供給とサイクルは循環していく。しかしながら、同工場が故障等のトラブルの理由から長期に亘り運転停止するようになると、同工場の使用済燃料貯蔵容量に余裕がなくなる、あるいは、再処理される見込みがないとして再処理工場立地地域自治体が使用済燃料の搬入を拒否する場合には、発電所サイトからの搬出が停止され、さらに、サイト内の貯蔵容量に余裕がない場合には原子力発電所の運転停止という最悪の事態にまで発展する可能性がある。なお、管理容量(=貯蔵容量-1炉心分の容量)を取替分使用済燃料年間発生量で除した値をみると、2003年には1を割り込む(搬出が1年間停止する場合、運転停止に至る。)サイトがあったが、2007年には、短くとも3年程度¹⁷⁾となっており、そのリスクは低減してきている。

一方、プルトニウム利用は、1995年のもんじゅのナトリウム漏えい事故、2001年の英国原子力燃料会社(BNFL)によるMOX燃料加工データ捏造事件、同年の新潟県刈羽村の住民投票によるプルサーマル計画の否定等、相次ぐ事故・不祥事、立地地域自治体の意向等により、我が国のプルトニウム利用計画は停滞した。使用目的のないプルトニウムは保有しないとの方針の下、我が国では、プルトニウムは需要に応じて再処理工場で生産されることとなるため、当面のプルトニウムの需要先であるプルサーマル計画が長期に亘り中断するような場合には、上記の方針の下、再処理を停止せざるを得ない事態に至る可能性は否定できず、プルサーマル計画の円滑な実施は再処理工場運転の必要条件である。

(5) ウラン資源の大量消費に起因する「資源制約」シナリオ

原子力発電開発利用に関わる長期的な課題としては、ウ

ラン資源量がリスク要因として顕在化することが懸念される。ウラン資源量は、

- (a) 存在が確実なのは、確認資源550万tおよび在庫・備蓄や解体核から得られる二次資源100万tの計650万tである¹⁸⁾。
- (b) 在来型資源は、上記の確認資源に加え、確度の高い資源と評価される予測資源280万t、また、確度の低い期待資源780万tで合計1,600万t程度となる。
- (c) 加えて、非在来型資源として、リン鉱石に含まれるウランが、確認資源量の約4倍となる2,200万t程度存在し、この他、海水中のウランが存在する。

ウラン確認資源量の可採年数は100年程度といわれ、石油の41年、天然ガスの63年¹⁹⁾に比べ長いものの、中国、インド等新興国の原子力発電電力量の増大に伴うウラン資源消費量の増加を考慮すると、今世紀半ば頃にもウラン資源制約が顕在化する可能性も否定できない。

なお、世界の主要なウラン鉱山は1970年代前後に発見され、ウラン価格が低迷した1980年以降は採鉱が下火となっていた。近年のウラン鉱石価格の上昇により、新規鉱山の開発意欲が高まったが、2007年半ばの価格低下以降は再度減退してきている。また、1990年代からは解体核から回収されるウランが市場に供給され価格低下の一因となっていたが、その回収・供給は2013年頃には終了する見込みである。

4. 原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオにおいて考慮しなかったリスク要因

(1) 放射性廃棄物処分

放射性廃棄物処分の確立は、原子力開発利用を推進する上で重要な課題である。原子力発電所から発生する低レベル廃棄物の処分はすでに実施され、また、使用済燃料の直接処分は国によっては立地地点も選定され進捗がみられつつあるが、再処理工場から発生する高レベル廃棄物の処分場立地は今後の課題である。しかしながら、我が国の場合、事業主体の設立、資金確保策等の制度面の整備は進んでおり、また、高レベル廃棄物固化体の中間貯蔵施設も運営されており、直ちに原子力発電の運転に支障を及ぼすものでないことから、本件はシナリオドライバーからは除外する。

(2) 核拡散

核拡散は原子力固有のリスクであり、核不拡散は原子力開発利用の大前提である。核不拡散の強化が原子力開発利用に及ぼす影響について考える場合、1970年代後半、米国の核不拡散政策強化の下に実施された INFCE (国際核燃料サイクル評価) における議論が前例となる。本件は、我が国が再処理を推進する上で分水嶺ともいえるものであり、数年に亘る議論の結果、核燃料サイクルは再処理を行う場合と行わない場合を比べて核不拡散上特に問題がある訳でなく、また、大規模発電国の場合、再処理を行う経済

的正当性があるとの結論となり²⁰⁾、我が国は大規模な原子力発電国として再処理を実施することが国際的に容認されるところとなった。2004年以降は、これまでの検証を通じて軍事転用や未申告の原子力活動を示す兆候がないとして、我が国に対して IAEA の統合保証措置が適用され査察が合理化されている。このような実績を考える場合、核不拡散強化が、我が国の原子力開発利用に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。また、非核兵器国であるが上記のようなステイタスを獲得し、かつ、国際経済に大きく依存する我が国が、自らの不利益となり得る核不拡散条約(NPT)からの逸脱行為を行うことは想定し難い。また、本研究の対象先進国は、核兵器国(米国、英国、フランス)あるいはリサイクル路線を政策として採用していない国(カナダ、ドイツ、イタリア)であり、核不拡散の強化が及ぼす影響は少ないと考えられる。以上を考慮して、本件はシナリオドライバーから除外する。

(3) 原子力施設へのテロ

原子力施設へのテロ攻撃や核ジャック等の犯罪行為は、原子力の社会的受容性を大きく低下させるリスクを有する。しかしながら、対応策や警戒を強化することはあっても、それらの脅威に屈して原子力開発利用に関わる政策を修正することは、現在の社会的な潮流からはないと考えられるため、本件はシナリオドライバーから除外する。

IV. 将来のエネルギーセキュリティレベルに関わる見通し

II章では、対象先進国のエネルギーセキュリティレベルに関し、1973年から2005年の間の実績について評価を行ったが、本章では以下に示す設定により将来の見通しを作成する。評価期間は、現在運転開始した原子炉が寿命期間(60年間を想定)運転を終える時期に相当する2070年頃までとする。

1. 対象先進国におけるエネルギーセキュリティレベルに関わる評点の推移の見通し

(1) 対象先進国に関わるエネルギー供給構成の設定

(a) 一次エネルギー供給量

一次エネルギー供給量は、GDP と一次エネルギー供給量/GDP の積で算出される。GDP については、発射台の2005年から2030年までの区間の伸び率は、2006年4月に勸エネルギー経済研究所が作成した2030年までのエネルギー需給見通し²¹⁾に基づき、また、2030年以降は、それが徐々に鈍化する(10年ごとに区間を設定し伸び率は前区間に対し0.75倍)ものとして、滑らかにつながるように延長した。先進諸国の経済は相互依存関係にあることから、各国のGDP成長率は同一とした。一方、一次エネルギー供給量/GDP は、各国における1973年から2005年までの区間に関わる実績を踏まえ、省エネルギー努力の効果は徐々に飽和する(10年ごとに区間を設定し伸び率は前区間に

対し0.9倍)ものとして設定した。

$$E_i = G_i \times S_i, \quad G_i = G_{i-1} \times (1 + a_i), \quad S_i = S_{i-1} \times (1 + b_i)$$

$$a_i = a_{i-1} \times 0.75, \quad b_i = b_{i-1} \times 0.9$$

E_i : 時点 i における一次エネルギー供給量,

G_i : 時点 i における GDP

S_i : 時点 i における一次エネルギー供給量/GDP

a_i : 時点 i の直近の区間10年間に於ける GDP の伸び率

b_i : 時点 i の直近の区間10年間に於ける一次エネルギー供給量/GDP の伸び率

(b) 電力投入と燃料消費

一次エネルギー供給は、発電用に消費される電力投入エネルギーと、燃料消費エネルギーとに大別される。電力投入分比率の算定は、各国における至近10年間(1995~2005年の間)の伸び率実績値が徐々に低減する(10年ごとに区間を設定し伸び率は前区間に対し0.9倍)ものとし、2070年まで滑らかにつながるように外挿する。

$$P_i = E_i \times p_i, \quad F_i = E_i \times (1 - p_i)$$

$$p_i = p_{i-1} \times (1 + c_i), \quad c_i = c_{i-1} \times 0.9$$

P_i : 時点 i における電力投入エネルギー量,

F_i : 時点 i における燃料消費エネルギー量

p_i : 時点 i における電力投入分比率,

c_i : 時点 i の直近の区間10年間に於ける電力投入分比率の伸び率

(c) エネルギー供給構成

電力投入分と燃料消費分、それぞれにおける各エネルギー源の供給量は、化石燃料輸入低減、CO₂ 排出抑制等に寄与する再生エネルギーおよび原子力を優先的に設定し、それらをエネルギー供給量から控除した分を化石燃料で賄うこととする。

a) 再生可能エネルギーによるエネルギー供給量

再生可能エネルギーによる供給量は着実に増加することとし、再生可能エネルギーが重視されるようになった至近5年間(2000~2005年)の伸び率(実績)をもとに算定するが、同区間の平均年間伸び率(等比)を採用する場合、他のエネルギー源に比して格段に大きくなるため、同区間の平均年間増減量(等差)を採用することとする。

b) 原子力によるエネルギー供給量

原子力発電開発利用は、下記 IV-1-(2)項に述べるように、各国の原子力政策に応じて伸長、維持あるいは低減することとする。なお、原子力は、長期的には熱利用、水素製造等の非電力分野での利用が期待されるが、実用化時期や普及スピードが設定し難いため、本研究では発電分野での利用に限定する。

c) 化石燃料によるエネルギー供給量

化石燃料については、電力投入分および燃料消費分、それぞれに関し一次エネルギー供給量から、上記 a) および b) で算定される再生可能エネルギーおよび原子力による供給量を控除した分を、上記(b)と同様の前提により算出される各化石燃料によるエネルギー供給量の比率に基づき

按分して算出する。

$$U_i = (E_i - R_i - N_i) \times (T_i / \sum T_i)$$

$$T_i = T_{i-1} \times (1 + d_i), \quad d_i = d_{i-1} \times 0.9$$

U_i : 時点 i における各化石燃料のエネルギー供給量

R_i : 時点 i における再生可能エネルギーによる供給量

N_i : 時点 i における原子力によるエネルギー供給量

T_i : 時点 i において算出される各化石燃料のエネルギー供給量

d_i : 時点 i の直近の区間10年間に於ける各化石燃料エネルギー供給量の伸び率

(d) 中東およびロシア依存度に関わる評点の算定の前提

中東およびロシア依存度については、在来型の石油資源量はこれら地域に偏在しているが、対象先進国においては、非在来型石油資源の開発利用、石油代替燃料への転換等これら地域への依存度上昇を抑制する方策が講じられると考えられるので、化石燃料に関わる中東およびロシア地域への依存度は2005年の数値で推移することとする。このため、同指標に関わる評点の変動は、各国におけるエネルギー供給構成の変化によることとなる。

(e) 化石燃料輸入額/GDP に関わる評点の算定の前提

化石燃料輸入額/GDP の算定に当たっては、各化石燃料の輸入価格は、将来の設定が難しいことから、各国における2005年価格で固定することとする。このため、同指標に関わる評点の変動は、各国におけるエネルギー供給構成および GDP の変化による。なお、IV-1-(1)-(a)目で前述したように、各国の GDP 成長率は同一としている。

(2) 対象先進国に関わる原子力発電シナリオの設定

II 章で述べた原子力発電開発利用に関わる分岐シナリオを踏まえると、対象先進国は原子力発電開発に関し、次のような3つのシナリオに大別される。

(a) 原子力発電減速シナリオ(III章の「脱原子力」,「モラトリアム」に相当)

政治的な理由、投資リスク等の経済的な理由、社会的受容の理由等から原子力発電が選択されないシナリオであり、脱原子力政策を採用しているドイツおよびイタリアが該当する。イタリアは政策転換を行ったが先行き不透明であるため、本項の評価では、両国において脱原子力政策が継続され、2030年以降、原子力によるエネルギー供給量は0になるとする。

(b) 原子力発電持続(容量維持)シナリオ(III章の「基盤脆弱化」,「ワンススルー」に相当)

モラトリアム状況から回復すると期待される米国、ウランを含むエネルギー資源に恵まれ核燃料のリサイクル政策を採択していないカナダ、長期に亘るモラトリアム状況から最近原子力推進に転じた英国が該当する。これらは対象先進国の中では資源国に分類されるが、自国資源の減耗に備え、また、エネルギーセキュリティの維持・向上の観点から、一定規模の原子力発電容量を維持していくものと考

えられ、本項の評価では、これら諸国の原子力発電によるエネルギー供給量は2005年と同程度の水準で推移するものとする。

(c) 原子力発電推進シナリオ(III章の「資源制約」に相当)

原子力発電を推進するフランスが該当する。同国は、電力供給に占める原子力発電比率がすでに79%を占めており、今後とも、この高い水準を維持することとする。

(d) 我が国に関わる原子力発電開発利用シナリオ

我が国は、一貫して原子力開発利用を推進してきており、欧米諸国で新規炉建設が低迷した間においても着実に建設がなされ、技術基盤や人材は確保されている。しかしながら、原子力発電を巡る環境は厳しく、例えば、立地に関わるリードタイム(自治体への正式な立地申入れから運転開始までの時間)は、Fig. 5に示すように、1960年代に申入れがなされた炉が10年未満であったのに対し、70年代以降申入れ炉は20年を超すようになってきている²²⁾。実際、商用原子力発電18サイトのうち、16が1960年代に立地申入れを行ったものであり、今後も新規サイトの確保は容易でないと考えられる。また、設備利用率は、一連の地震、トラブル、不祥事等により2005年には70%前後と原子力発電国中ワースト第4位まで低下している²³⁾。さらに、トラブル等(落雷等は除く)で運転停止した場合、運転再開までに要する時間をみると、1990年代(1996~2000年度)に比べ2000年代(2003~07年度)は6割程度、長期化している^{23,24)}。

このような状況を踏まえ、本項の評価では、我が国の原子力発電は、廃止措置される容量の見合いで新規炉が建設され、現時点とほぼ同等の5,000万kW程度の容量が維持されて推移する原子力発電持続(容量維持)シナリオを想定する。なお、昨年12月、中部電力㈱は、浜岡原子力発電所について1・2号機の運転終了と6号機の新規建設を発表している²⁵⁾が、運転終了する発電容量と新規炉の発電容量は、ほぼ同等で、同発電所の発電容量はほぼ維持され

る。

設備利用率は、保守的であるが、2030年までは80%台とし、2040年以降は90%台と徐々に上昇し、2060年には次世代軽水炉の開発目標²⁶⁾である90%台半ばまで上昇するものとする。この際、原子力発電による発電電力量は増加するが、転換効率も向上していくため、原子力発電に関わる一次エネルギー供給量はおおむね横這いで推移することとなる。

(3) 将来のエネルギーセキュリティレベルに関わる評価の試算結果

本項の評価結果として、総合的な評価点の推移をFig. 6およびTable 2に、各指標に関わる評価点をFig. 7に、また、各国の一次エネルギー供給構成の推移をFig. 8に、我が国の推移をFig. 11およびTable 4の「Maintenance Case」に示す。

(a) 我が国のエネルギーセキュリティレベルに関わる評価点

上記のような設定に基づき算定される試算結果によると、我が国のエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評価点は向上して行き、2030年頃には先進国の平均である50のレベルを超え、その後は緩やかに改善し、長期的には52程度のレベルに達することとなる。要因別にみると、中東ロシア依存度に関わる評価点が安定的に上昇していき、また、多様化指数に関わる評価点も着実に向上し、2050年頃には対象先進国中、最高レベルに達する。これは、一次エネルギー供給に関わる石油依存度が、2030年頃には、新・国家エネルギー戦略で目標とされる40%程度までに低減し、その後も着実に低減する一方、天然ガスや原子力の比率が向上し、エネルギー源のバランスの取れた供給構成となることによる。

(b) 対象先進国のエネルギーセキュリティレベルに関わる評価点

原子力発電減速シナリオのドイツおよびイタリアのエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評価点は低位に留まり、原子力発電開発利用は、エネルギーセキュリティレベルの維持向上を図る上で、不可欠であることが示される。ドイツは、脱原子力政策により、エネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評価点は低下し、平均を下回る

Fig. 5 Past trend of years requiring from the application to the start of operation to ensure new sites for nuclear power units

(note) History books and HPs of power utilities

Table 2 Prospect of the points of energy security levels of advanced nations

	2005	2030	2050	2070
Canada	55.6	54.4	53.4	53.7
France	51.7	53.8	54.0	53.8
Germany	49.9	46.7	46.8	46.9
Italy	41.7	41.6	41.9	42.5
Japan	48.5	50.5	51.5	52.3
UK	52.8	51.9	51.7	50.8
US	49.7	51.1	50.7	50.2

Fig. 6 Prospect of the points of energy security levels of advanced nations

Fig. 7 Prospect of the points of each evaluation index of advanced nations

レベルで横這いで推移する。

原子力発電持続(容量維持)シナリオのカナダ、米国および英国は、資源国であることもあり、中東ロシア依存度および化石燃料輸入額/GDP に関わる評点が高水準にあり、総合的な評点はいずれも平均を上回る水準で推移する。

原子力発電推進シナリオのフランスは、電力供給に占める原子力発電比率が高く、CO₂ 排出指数に関わる評点は他国を圧倒する水準を維持するが、多様化指数に関わる評点が低減し、それに伴い、総合的な評点は高い水準であるが横這いで推移する。

Fig. 8 Prospect of primary energy supply structure of advanced nations

なお、本研究では、過去のトレンドを外挿することにより将来展望の策定を行ったが、より精緻に行うには各国の政策動向や資源賦存あるいは輸出入動向などを勘案して作成することが必要である。

2. 原子力発電開発利用が我が国のエネルギーセキュリティレベルに与える影響

(1) 我が国の原子力発電開発利用に関わるケーススタディ

IV-1-(3)項の評価においては、原子力発電の分岐シナリオに関わる分析に資するため、原子力発電持続(容量維持)シナリオを想定したが、本項では、分岐シナリオに関わる分析からは離れて、原子力発電開発利用が、我が国のエネルギーセキュリティレベルに与える影響を示すため、上記の原子力発電持続(容量維持)のケースに加え、原子力発電を積極的に推進する原子力発電推進(基数維持)ケース、および順次廃止していく原子力発電減速ケースを含めた3ケースの比較検討を行う。各ケースにおける原子力発電容量の見通しを Fig. 9 に示す。

(a) 原子力発電推進(基数維持)ケース

本ケースでは、計画中の炉の建設が終了する2030年以降は、廃止措置される原子炉の基数の見合いで、新規炉がリプレイス炉として建設されるものとする。新規炉は1基当たりの容量が大きい(次世代軽水炉開発では170万 kW

Fig. 9 Prospect of nuclear power capacity (Japan's case study)

(note) Promotion case : which maintains the amount of units.

Maintenance case : which maintains nuclear power capacity.

Slow-down case : which excludes nuclear power.

を計画²⁶⁾ため、原子力発電容量は着実に増加していき、電力供給に占める原子力発電比率は2050年以降、40%台に達することとなるが、これは新・国家エネルギー戦略における原子力発電開発利用に関わる数値目標のうち高いものに相当する。

基数を維持することの可能性については、前述のように新規の原子力発電所サイトの確保は極めて難しく、原子力

発電を推進する場合には、既設サイトをいかに有効に活用するかに注力することとなる。我が国における廃止措置の標準シナリオにおいては、運転停止から、使用済燃料の取り出し、系統除染、安全貯蔵期間、解体撤去を行い、跡地利用が可能となるまでに30年程度を要するとされるが、電力需要が伸張する場合には、このような長期間に亘り運転基数を減少させておくことは、安定的な電力供給の確保、また、立地地域との関係において新規炉建設機会の喪失につながりかねないことから、電気事業者は、立地地域との調整を図りつつ、既設の各種インフラが利用可能なサイト内あるいは近傍に新規炉の建設を進めることとなるものと考えられる。

(b) 原子力発電減速ケース

欧州諸国の事例をみると、脱原子力政策が採られた場合でも、即時の運転停止は例がなく、既設原子炉は代替電源が確保されるまでの間、あるいは、原子炉の寿命期間中は運転が容認されるのが通例であるため、本ケースでは、現在、運転開始している原子炉は、その寿命期間(60年間)運転した後、運転停止するものとする。したがって、2030年以降、運転中の原子炉基数は順次低減していき、2070年頃には皆無となることとする。

(2) 評価結果

本項で設定した各ケースに関する我が国のエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点の推移を **Fig. 10** および **Table 3** に、また、一次エネルギー供給構成の推移を **Fig. 11** および **Table 4** に示す。

原子力発電推進(基数維持)ケースは、原子力発電比率が上昇することに伴い、多様化指数、中東ロシア依存度、

CO₂ 排出に関わる評点が向上していき、2030年以降、エネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点は容量維持ケースに比べ1~1.5ポイント上回る水準で推移する。2050年には53程度まで到達するが、原子力発電比率の向上に伴い多様化指数に関わる評点が飽和していき、総合的な評点も飽和傾向となる。

原子力発電減速ケースでは、原子力減少分を化石燃料で代替することとなり、各指標に関わる評点が緩やかに減少していき、エネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点も減少に向かうこととなる。

V. 結 語

昨今の石油価格の乱高下、中国・インド等の新興国におけるエネルギー需要の増大、地球環境問題への対応要請の強まり等の環境の下、中長期的に顕在化が懸念される資源制約や環境制約に適確に対応していくには、セキュリティレベルの高いエネルギー需給構造の確立が必要である。原子力は、エネルギーセキュリティレベルの向上に大いに貢献できるエネルギー源であるが、多様なリスクに直面しており、その進捗は先進諸国においても一様ではない。本研

Table 3 Prospect of the points of energy security levels (Japan's case study)

	2005	2030	2050	2070
Promotion case	48.5	51.2	53.0	54.0
Maintenance case	48.5	50.5	51.5	52.3
Slow-down case	48.5	50.4	49.9	49.3

Fig. 10 Prospect of the points of energy security levels (Japan's case study)

(note) Promotion case : which maintains the amount of units.

Maintenance case : which maintains nuclear power capacity.

Slow-down case : which excludes nuclear power.

Fig. 11 Prospect of primary energy supply structure (Japan's case study)

Table 4 Prospect of primary energy supply structure (Japan's case study)

Past trend	1. Promotion case			2. Maintenance case			3. Slow-down case		
	1973	1990	2005	2030	2050	2070	2030	2050	2070
Coal	0.18	0.17	0.21	0.21	0.20	0.25	0.21	0.24	0.33
Oil	0.78	0.58	0.47	0.42	0.36	0.26	0.42	0.38	0.28
Gas	0.01	0.10	0.13	0.20	0.25	0.28	0.20	0.27	0.32
Nuclear	0.01	0.12	0.15	0.13	0.13	0.14	0.05	0.05	0
Renewables	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07

究では、エネルギーセキュリティレベルを定量的に示す手法を用いて、原子力発電開発利用がエネルギーセキュリティレベルの向上の果たす役割に関し評価を行った。同評価によると、石油危機が発生した1970年代以降の対象先進国のエネルギーセキュリティレベルに関わる推移実績をみると、当初、カナダ、英国および米国といった資源国が上位を占めていたが、原子力発電を積極的に推進したフランスが1990年代以降、上位に並ぶようになった。我が国も1970年代以降、原子力を含むエネルギー源の多様化が進展し向上してきたが、1990年代には石油輸入の中東依存度の上昇により停滞し、現時点では対象先進国中、平均以

下の位置にある。

将来展望を試算すると、脱原子力政策を採用するドイツおよびイタリアは、対象先進国中、低位に留まる一方、原子力発電開発利用を促進するフランス、原子力発電開発利用を維持するカナダ、米国および英国は平均を上回るレベルで推移することが示された。同試算において、我が国の原子力発電容量は、現在とはほぼ同等の5,000万kW程度を維持するとしているが、その場合、多様化指数および中東ロシア依存度に関わる評点の安定的な上昇によりエネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点は着実に向上し、2030年頃には平均値を上回る水準に達し、その後

も中位で推移すると見込まれる。さらに、原子力発電炉基数を一定として、廃止措置される原子炉の代替として大型の新規炉が建設される場合には、原子力発電容量が増加し、単一のエネルギー源への依存が大きくなるため多様化に関わる評点は飽和するものの、中東ロシア依存度およびCO₂排出に関わる評点が向上し、エネルギーセキュリティレベルに関わる総合的な評点も、上記の容量維持ケースに比べ大きく改善することとなる。これは、原子力発電を推進するフランスに関しても同様であり、原子力発電開発利用がエネルギーセキュリティレベルの向上に大いに資することが確認された。

— 参考文献 —

- 1) 経済産業省, 新・国家エネルギー戦略 (2006).
- 2) 原子力委員会新計画策定会議(第6回)資料第4 (2004).
- 3) 池田一三, 田下正宣, 氏田博士, 他, “環境, 経済, エネルギーの持続的発展のための原子力の役割,” 日本原子力学会誌, **48**[5], 14-36 (2006).
- 4) 大森良太, 堀井秀之, “シナリオ・プランニング手法による東アジアのエネルギー危機の分析と日本の科学技術戦略,” 社会技術研究論文集, **3**, 1-10 (2005).
- 5) 山田英司, “先進諸国との比較におけるわが国のエネルギーセキュリティレベルの評価研究,” 日本原子力学会和文論文誌, **6**[4], 383-392 (2007).
- 6) 矢島正之, エネルギー・セキュリティ, 東洋経済新報社, 33-34, (2002).
- 7) 国際エネルギー機関/経済協力開発機構, *Energy Balances of OECD Countries*, IEA/OECD.
- 8) 国際エネルギー機関/経済協力開発機構 *Quarterly Statistics Oil, Gas, Coal & Electricity*, IEA/OECD.
- 9) 財団法人エネルギー経済研究所編, “EMDC/エネルギー・経済統計要覧.
- 10) ピーター・シュワルツ, シナリオ・プランニングの技法, 東洋経済新聞社 (2000).
- 11) 財団法人原子力産業協会, 世界の原子力発電の動向.
- 12) 原子力安全委員会編, 原子力安全年報.
- 13) 山田英司, “米国における原子力開発利用の動向—原子力「冬の時代」から回復への足取り—,” 季報エネルギー総合工学, **28**[2], 83-92 (2005).
- 14) 財団法人海外電力調査会, “海外電力,” **51**[1, 通巻522] (2009).
- 15) 財団法人海外電力調査会, “海外電力,” **50**[12, 通巻521] (2008).
- 16) 山田英司, 藤井信一, 今永 隆, “復活する米国原子力産業—科学的合理性に基づく規制へ向けた改善の道のり—,” 季報エネルギー総合工学, **29**[2], 77-86 (2006).
- 17) 原子力委員会編, 原子力白書, 各年度版.
- 18) 国際原子力機関/経済協力開発機構原子力機関, *Uranium 2007: Resources, Production and Demand*, IAEA, NEA/OECD (2008).
- 19) 経済産業省編, エネルギー白書 2007年版 (2007).
- 20) 外務省編, 外交青書 1980年版(第24号) (1980).
- 21) 伊藤浩吉, 森田裕二, “わが国の長期エネルギー需給展望,” —環境制約と変化するエネルギー市場の下での2030年までの見通し—, 財団法人エネルギー経済研究所第394回定例研究会報告 2006年4月26日 (2006).
- 22) 電気事業者の社史及びホームページによる.
- 23) 財団法人原子力安全基盤機構, 原子力施設運転管理年報(平成19年版).
- 24) 経済産業省原子力安全・保安院編, 原子力施設運転管理年報(平成13年版).
- 25) 中部電力プレスリリース, 浜岡原子力発電所リプレース計画等について〜1, 2号機の運転終了および6号機の建設等について〜, 2008年12月22日 (2008).
- 26) 日本電機工業会原子力技術委員会次世代軽水炉開発ワーキンググループ, “次世代軽水炉のコアコンセプトにおける要素技術開発について,” 原子力 eye, **54**[1] 16-19 (2008).