

# 世界各国の原子力政策動向と 原子力発電・ウラン燃料需給の長期見通し

松尾 雄司\* 西田 直樹\* 山口 雄司\* 下郡 けい\* 村上 朋子\*

## 要旨

本稿では各国の最新の政策動向等をもとに世界の原子力発電設備の見通しを作成した上で、既往研究の手法に基づき、最新のデータを用いて2035年までのウラン燃料の需給の評価を行った。福島第一原子力発電所事故後、ドイツ等一部の国で劇的な政策変化が見られたにもかかわらず、米国・ロシア・フランス・韓国などの原子力推進国や中国・インド等の振興開発国において実質上大きな方針変更が見られていないことから、世界の原子力発電設備容量は現状の約389GWから、2035年には低成長ケースでも471GW、高成長ケースでは760GWまでの拡大が見通される。一方で、2005年以降のウラン価格高騰に伴い天然ウランの開発投資が活発化しており、またウラン濃縮設備も米国・欧州等において新規の運転開始が見込まれることから、今後2020年頃までは天然ウラン・ウラン濃縮設備双方の需給は緩和傾向に向うことが見通され、また2035年までについても、高成長ケースであっても需給が極端に逼迫する可能性は低いものと考えられる。ウラン需要の拡大が著しいのは中国・インド両大国を擁するアジア地域であるが、天然ウランについてはアフリカ及び豪州から、ウラン濃縮設備については米国等からの輸入が拡大し、アジアの対外依存度は高いままで推移することが見通される。

## 1. はじめに

本稿は、筆者らが行った試算<sup>1)</sup>の手法に基づき、最新のデータを追加して原子力発電及びウラン需給の見通しを新たに作成したものである。

福島第一原子力発電所事故以降、特に欧州の一部の国において原子力政策に影響がみられる。各国は原子力政策を大きく変化させている。ドイツでは2011年6月、2021年までに順次段階的に廃炉する方針を閣議決定した。かつて原子力発電所を全て停止したものの、最近になって新規発電所の建設の検討を進めていたイタリアでも、福島事故後に原子力発電再開の是非を問う国民投票が実施され、9割以上の反対により当面の原子力再開は不可能となった。

一方でアジアの諸国、特に今後電力需要の急速な拡大が見込まれる中国やインドでは、依然として原子力発電設備容量の急速な増加が見込まれる。また同様に、米国・フランス・ロシア・韓国等の原子力先進国においても、自国の産業育成及びエネルギー安定供給、温室効果ガス削減等の観点から原子力推進政策自体に変化は見られない。このため少なくとも現状においては、今後も長期にわたり、化石燃料資源消費と温室効果ガス排出を削減するための有力な手段として、世界全体では原子力発電の利用は拡大を続けるものと見通される。このような最新の状況を踏まえ、本稿では、まず国ごとの政策動向等を精査し、原子力発電設備容量の見通しを作成した。

原子力発電の長期展望を考える際、ウランの資源量の問題は常に懸念事項となる。既存技術である軽水炉の利用を続ける限り、ウラン燃料の需要量は今後長期にわたり急速な拡大を続ける。仮に福島事故を受けた政策変化等の政策的要因や高速増殖炉・トリウムサイクル等の新たな技術の導入を考慮したとしても、今後中長期的にウランの需要拡大が見込まれる状況に変わりはなく、それに対して十分なウランの供給を行うことが可能であるのか、もし可能であるならばどのような地域から、どの程度のウランが供給されるのかを評価することは、将来の原子力発電の進展見通し、ひいては世界のエネルギー需給見通しや温室効果ガス削減見通しを考察する上で重要であ

\* (一財)日本エネルギー経済研究所 原子力グループ

る。また、天然ウラン需要量とウラン濃縮役務量とはトレードオフの関係にあるため、ウランの需給を考える際には同時にウラン濃縮役務容量も考慮に入れる必要がある。このため、本稿では最新の文献<sup>2)</sup>に基づいてウラン生産の見通しを想定し、更に既存の計画等から将来のウラン濃縮設備容量の想定を置くことにより、ウラン燃料の将来の需給及び貿易フローの将来推計を行った。手法としては、文献<sup>1)</sup>と同様、現状(2009年)の実績値をもとに、最小二乗法を用いて推計を行っている。

## 2. 世界の原子力発電設備容量の長期見通し

### 2-1 各地域の動向と発電設備容量見通し

福島第一原子力発電所の事故の直後、ドイツは1980年以前に運転開始した国内7基の原子炉の稼働を停止した。当初はこの停止は安全性確認のためとされていたが、その後6月6日、これらの停止中の原子炉をそのまま廃止し、更に2013年から2021年にかけて残りの原子力発電所を順次段階的に閉鎖する方針を閣議決定した。またイタリアでも、6月に入って原子力発電再開の是非を問う国民投票が実施され、9割以上の反対により当面の原子力再開は不可能となった。このように、欧州の一部の国において福島事故は原子力政策に直接の影響を与え、原子力依存からの退却へと大きく舵を切らせることとなったが、一方では従来の原子力推進政策を全く変えていない国も多くあることを忘れてはならない。特に米国・フランス・ロシア・韓国といった従来から原子力発電を積極的に推進してきた国々や、中国・インド等の新興国は、エネルギー安定供給や地球環境問題への対応、更には自国内の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強化という観点から、原子力推進政策を変更していない。

このような動向を踏まえ本稿では、世界の原子力発電利用国及び今後利用する可能性がある国の全てについて、原子力政策動向や電源開発計画、エネルギー需給動向等をもとに2035年までの原子力発電設備容量を想定し、それを集計することで北米・中南米・欧州・アフリカ・旧ソ連・中東及びアジアの各地域の原子力発電設備容量を推計した。評価に当たっては世界各国が今後も最大限原子力発電設備容量を積極的に拡大することを想定した「高成長ケース」と、福島事故が各国の原子力政策に最大限のインパクトを与え、或いは資金調達等の課題が顕在化し、原子力開発が停滞すると想定した「低成長ケース」の2ケースを想定した。概要は以下の通りである。

#### (a) 北米

米国は104基の発電用原子炉を有する世界最大の原子力大国であるが、非在来型天然ガスの生産が急拡大したことや、原子力が米国にとって、温室効果ガス削減のための最大の手段ではないことなどから、新規建設に向けた歩みは順調ではなかった。しかし2012年には新設に向けて初の建設・運転一体認可(COL)が発給される一方で、既存炉については60年までの運転延長が既に半数以上の原子炉に対して認可され、更に80年までの延長も検討されるなど、今後も原子力発電設備容量を維持する方針が堅持されている。ここでは低成長ケースでは概ね米エネルギー省の見通しに準じ、2035年までに10GW(1,000万kW)程度のみ発電容量増加が見られると想定し、高成長ケースでは現在計画中の原子炉の建設・運開を見込んで2035年に122GWまで設備容量が増加すると見込んだ。

またカナダは独自の重水炉を中心とした豊富な原子力開発の経験を有する国である。同国中最大の電力需要をもち18基の原子炉中16基を有するオンタリオ州において、発電設備容量の拡大も計画されている。ここでは、カナダ政府の見通しに準じて、低成長ケース並びに高成長ケースではともに、発電設備容量が2020年まで緩やかに増大すると考えられる。しかし、2035年には既設の原子炉が6基廃炉となる見込みのため、発電容量は現状とほぼ変わらない値まで減少すると想定した。

以上により、北米での発電設備容量は低成長ケースでは2010年の119GWから2035年には129GWまで緩やかに増大し、高成長ケースでは136GWへ増大すると想定した。

#### (b) 中南米

中南米地区において現在原子力発電を行っている国は、メキシコ・ブラジル及びアルゼンチンである。メキシ

コにおいては、出力増強による設備容量の微増と、高成長ケースにおいては2基の新規建設を想定した。ブラジルでは2基2.0GWが稼働中であり、建設を中断していたアングラ3号機も建設再開が決定され、2013年に運転が開始される予定である。今後電力需要の伸びに伴い、発電設備容量は大幅に増大する可能性がある。また、アルゼンチンでは2基1GWの原子炉が稼働中であり、そのうち1基は2030年より前に廃炉を迎えると考えられる。なお、資金難等の理由により1994年以降建設が中断されていた重水炉のアトーチャ2号の建設は、2007年より作業が再開された。これらを踏まえ、低成長ケースではアトーチャ2号機は運転開始するが同1号機が廃炉となるとし、高成長ケースではアトーチャ2号機に加えて1基の新設を見込んだ。

以上により、中南米での発電設備容量は低成長ケースで2010年の4GWから2035年には6GW、高成長ケースで17GWまで増大すると想定した。

### (c) 欧州

欧州ではかつて、1970年代から80年代にかけて多数の原子炉が建設され、発電設備容量が急速に拡大した。その後原油価格の低迷に伴う原子力発電の経済性の悪化などから、原子力の新規建設は抑制され、複数の国において以後段階的に原子力を廃止するものとする政策が採られるようになった。

最大の原子力推進国であるフランスでは、2012年の大統領選でオランド氏が勝利し、2025年には原子力比率を50%まで低減させると発言した同氏による今後の政策が注目されている。しかし原子炉閉鎖については具体的なスケジュールが未だ示されておらず、2012年4月には緑の党との原子力に関する協定を解消することを表明していることなどから、今後当面は現状の維持が続く可能性が高いと思われる。ここでは、低成長ケースにおいて、運転年限50年を迎えた炉の順次廃炉と若干の新設を想定し、高成長ケースにおいては今後2035年まで現状の高い原子力比率が維持されるものと想定した。一方でドイツ・イタリア・スイス・ベルギー等、福島事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にしている諸国については、低成長ケースでは2035年には原子力発電設備はゼロになるものと想定した。但しスウェーデンのように、過去脱原子力政策を決定しながら現実に脱原子力を実現できていない例もあることから、ドイツとイタリアを除いた他脱原子力国については、高成長ケースにおいて現状の政策にもかかわらず2035年にも若干の発電設備容量が残ると見込んだ。

今後欧州においては若干の新規建設へ向けた動きが実現するものの、老朽化した既存炉が大量に廃棄されざるを得ないことから、総体として発電設備容量は横ばい、もしくは減少すると考えられる。上記のような状況を踏まえ、2010年の設備容量141GWに対し、2035年に低成長ケースで83GW、高成長ケースで145GWになると想定した。

### (d) 旧ソ連

旧ソ連地域において大きな発電設備容量をもつのは、ロシア及びウクライナである。ロシアは世界有数の石油・ガス生産国であり、化石エネルギー資源を外交政策上の重要な手段と位置づけている一方で、原子力についても産業の海外展開を含め国家的規模で推進しており、その点については福島事故後も変化は見られない。同様にウクライナにおいても今後発電用原子炉の新規建設を続けることが想定されている。

この地域においては、今後2035年までの間、特にロシアを中心とした発電設備容量の大幅増強がなされるものと考えられる。ここでは2010年の37GWから、2035年に低成長ケースで56GWまで、高成長ケースではカザフスタンでの新設等も含めて同年に94GWまで発電設備容量が拡大すると想定した。

### (e) 中東・アフリカ・オセアニア

中東地域は言うまでもなく石油・天然ガスの大産出地域であるが、近年、エネルギー資源の多様化や海水の淡水化のための利用を目指し、多くの国で原子力の導入を検討し始めている。具体的な動きとしてはロシアからの軽水炉移入を行い、独自に原子力開発を続けるイランのみでなく、UAE、サウジアラビア、クウェート、ヨルダンなど多くの諸国で新規建設が検討されており、UAEでは2012年、韓国企業グループが受注した新規サイトが着工された。ここでは2035年までに低成長ケースではUAEのみにおいて新設、高成長ケースでは現在導入を検討している他の諸国でも建設が進むものと想定した。これらを踏まえ、2010年の0GWから、2035年に低成長ケースで7GW、高成長ケースで31GWまで発電設備容量が大幅に増大すると見込んだ。

アフリカ大陸では、南アフリカにおいて1984年よりフランス製の軽水炉が稼働している。同国はPBMR（ペブルベッド式モジュール炉）と呼ばれる独自開発のガス炉の導入やAP1000、EPRといった新軽水炉の導入を計画していたが、経済状況の悪化から計画は両者ともに頓挫している。ここでは2010年の1.9GWから低成長ケースでは設備容量の増加がなされず、高成長ケースでのみ2035年に9GWまで容量拡大が行われると想定した。

#### (f) アジア

欧米で原子力発電所の新設が止まっていた1990年代においても、アジアにおいては、日本・韓国を中心として原子力発電所の建設が続けられていた。最近になり中国・インドや東南アジア等の新興諸国において原子力発電への関心が急速に高まっており、今後世界の原子力発電所新設の多くはアジアでなされる見込みである。

中国では福島事故前の2011年初頭の時点で13基10.85GWが運転中であったが、同時にその3倍に相当する30基33GWの発電所を新規に建設している最中であった。事故直後から同国では新規建設計画の承認が凍結されており、これにより2020年までに70~80GWという新設計画は遅延を免れないこととなったが、その後も既に認可を受けている発電所の建設は着実に進められており、許認可凍結も安全性の確認とともに近く解除される見通しである。なお、中国政府の正式な発表はなされていないが、2020年までの新規建設規模は60~70GW前後にまで引き下げられるとみられている。若干の規模縮小が予想されるものの、今後新設計画に向けて急速な進展を続けるものと考えられる。同様にインドでも従来国内資源を利用したトリウムサイクル開発とともに、海外からの軽水炉の大規模移入を目指しており、2011年7月には新たにラジャスタン7・8号機の建設工事に着手するなど、原子力新設方針は福島事故後も変わっていない。東南アジアではベトナム、タイ、マレーシア、インドネシア、フィリピンで原子力導入が検討されている。ベトナムはニントゥアン第一・第二原子力発電所建設計画を進めており、福島事故後も積極的な原子力導入姿勢を変えていないが、他の諸国では導入計画の先送りや導入規模の縮小が検討されている。

中国とインドについては、高成長ケースでは国の計画相当までの大量建設が実現するとして一方で、低成長ケースでは福島事故後の政策の微修正なども含め、より低い見通しを採用した。一方で東南アジア諸国においては福島事故を受けて原子力推進政策の再検討がなされていることから、低成長ケースでは既に具体的に建設計画が進みつつあるベトナムを除き2035年まで新設はなされないものと想定、高成長ケースにおいては各国4基程度の建設を想定した。

これらのことから、アジア地域においては2010年の85GWから、2035年に低成長ケースで190GW、高成長ケースで329GWまでの急拡大がなされるものと想定した。

これらの結果として、世界全体の原子力発電設備容量は2010年の390GWから、2035年には高成長ケースでは760GWまで、低成長ケースにあっても471GWまで拡大すると見通される。各ケースにおける原子力発電設備容量の見通しを表2-1に示す。

表2-1 世界の原子力発電設備容量の長期見通し

(単位:GW=百万kW)

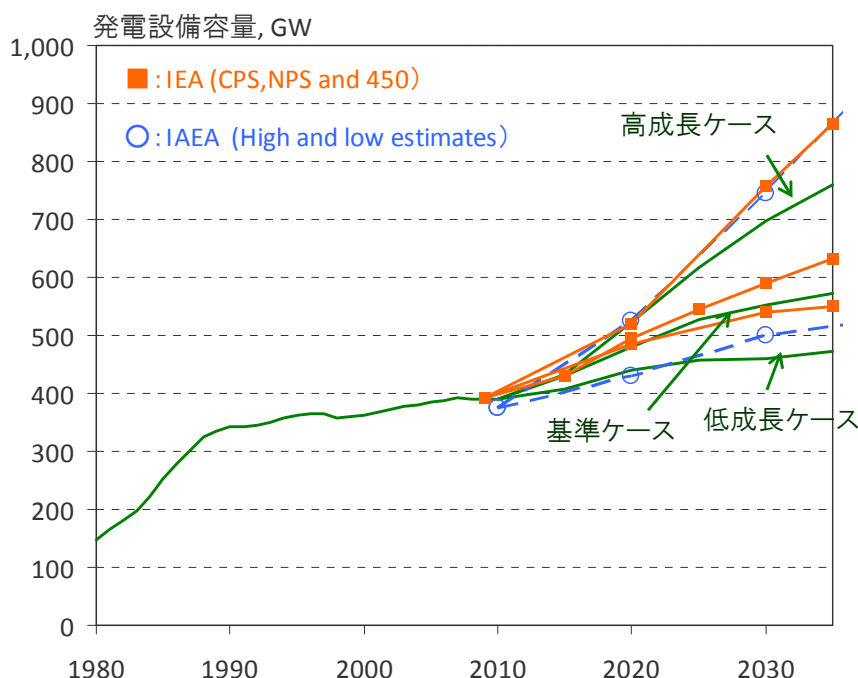
	2010	低成長ケース		基準ケース		高成長ケース	
		2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	105.3	115.8	115.4	115.8	115.4	116.4	121.8
カナダ	13.3	15.0	13.8	15.0	13.8	15.0	13.8
北米	118.6	130.8	129.2	130.8	129.2	131.4	135.6
メキシコ	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.8
ブラジル	2.0	3.4	3.4	4.1	7.5	5.1	10.3
アルゼンチン	1.0	1.0	0.6	1.0	1.4	1.8	2.5
中南米	4.4	6.0	5.7	6.7	10.6	8.5	16.7
イギリス	12.0	7.8	6.9	9.2	9.7	10.6	15.3
ドイツ	21.5	8.6	0.0	12.7	0.0	12.7	0.0
フランス	66.0	69.2	44.7	67.5	69.1	67.5	69.1
イタリア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
スペイン	7.7	7.8	7.3	7.8	7.3	7.8	7.3
スウェーデン	9.4	10.2	9.1	10.2	9.1	10.2	11.3
ベルギー	6.2	5.3	0.0	5.3	0.0	6.4	5.5
スイス	3.4	3.0	0.0	3.0	0.0	3.4	2.3
フィンランド	2.8	4.6	6.3	4.6	6.3	6.3	8.0
オランダ	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	2.2
スロバキア	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.9	2.9
ハンガリー	1.9	2.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0
チェコ	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.1
ブルガリア	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.1
スロベニア	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.7	1.8
ルーマニア	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.1	2.8
トルコ	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	2.0	6.8
欧州	141.3	128.4	83.4	134.8	118.0	141.0	145.4
ロシア	23.2	26.0	40.9	37.5	50.4	43.2	59.4
ウクライナ	13.8	15.8	14.0	15.8	20.6	15.8	27.2
アルメニア	0.4	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4
カザフスタン	0.0	0.0	0.0	1.1	2.2	1.1	4.4
リトアニア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
ベラルーシ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
旧ソ連	37.4	41.8	54.9	54.8	73.6	62.0	94.0
南アフリカ	1.9	1.9	1.9	1.9	4.1	3.6	8.7
アフリカ	1.9	1.9	1.9	1.9	4.1	3.6	8.7
イラン	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.3
UAE	0.0	0.0	5.6	0.0	5.6	2.8	8.4
サウジアラビア	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	8.4
ヨルダン	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	1.1	1.1
クウェート	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
カタール	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
オマーン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
中東	0.0	1.0	6.6	2.1	13.3	4.9	30.6
中国	9.1	58.5	110.9	58.5	110.9	71.8	161.6
日本	48.8	23.1	0.0	34.1	13.0	34.1	13.0
台湾	5.1	5.2	3.9	7.9	6.6	7.9	7.9
韓国	17.7	24.0	34.0	30.1	42.5	30.1	42.5
インドネシア	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
マレーシア	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6
フィリピン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
タイ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6
インド	4.1	17.8	37.8	17.8	37.8	25.8	72.5
ベトナム	0.0	0.0	2.2	0.0	5.0	1.1	7.8
パキスタン	0.5	0.8	0.8	1.5	1.5	1.5	3.7
アジア	85.4	129.3	189.6	149.8	223.0	172.3	328.6
世界計	389.1	439.3	471.4	480.8	571.8	523.7	759.6

なお、高成長ケース相当まで原子力発電設備が増加した場合でも、世界の発電量（当所「アジア／世界エネルギーアウトック 2012」技術進展ケース相当）に占める原子力のシェアは 2035 年に 17%程度にとどまる。現在多数の国で 20%以上の原子力発電比率のもとで安定的に電力供給が行われていること、また世界の電力需要全体は非 OECD 諸国を中心に 2035 年以降も拡大を続けることなどを考えると、高成長ケースにあっても、以後更に原子力発電が増加する余地はあると言える。

## 2-2 他機関の見通しとの比較

前節で推計した世界の原子力発電設備容量の見通しを代表的な国際機関の見通しと比較すると、図 2-1 の通りとなる。

図2-1 他機関の見通しとの比較



IAEA の見通し<sup>3)</sup>では低位ケース (Low Estimate) 及び高位ケース (High Estimate) の二つの数字が公開されており、2010 年版では 2030 年の見通しとして現在の 372GW (ネット) から低位で 546GW、高位で 843GW との見通しが示されていた。2011 年 3 月の福島事故の後、IAEA は最新版の見通しを公開し、そこでは 2030 年に低位で 501GW、高位で 746GW と、やや下方修正を行っている。図 2-1 からわかるように、この低位ケース及び高位ケースはほぼ本稿での低成長ケース・高成長ケースと同等のレベルとなっている。

また IEA の見通し<sup>4)</sup>では、エネルギー需給の将来について現行政策シナリオ (CPS)、新政策シナリオ (NPS) 及び 450 シナリオの 3 つのシナリオが設定されている。この中で、原子力発電設備容量の見通しは CPS が最も小さく、450 が最も大きい。図 2-1 に示すように、最も需要の大きい 450 シナリオでは原子力発電設備の伸びは高成長ケースよりもやや大きい程度であり、最も小さい CPS では低成長ケースをやや上回る。これらのように、本稿で各国の政策動向等から積み上げた原子力発電設備の見通しは代表的な国際機関の公表する見通しと概ね整合的であり、世界的に見ても違和感のないものであることがわかる。

### 3. 2035年までのウラン燃料貿易フローの見通し

#### 3-1 試算方法及び前提条件

本稿では以下、前節の原子力発電設備容量見通しを用いて将来の原子力発電電力量を推計し、更に、天然ウラン生産能力及びウラン濃縮設備容量の将来見通しを想定した上で、これらの情報を用いて2020年及び2035年の天然ウラン・ウラン濃縮役務の需給と貿易フローを推計する。試算方法及び前提条件は以下の通りである。

##### (1) 原子力発電電力量及び天然ウラン・ウラン濃縮役務需要量の見通し

前節で推計した発電設備容量に設備利用率を乗じることにより、原子力発電電力量を推計することができる。設備利用率としては、既に原子力発電を行っている国については過去5年間の平均値を用い、新規の建設が見込まれる国については80%を想定した。なお英国・インド等、特殊な理由によって過去平均の設備利用率が70%を下回っていた国については70%を想定、また過去政策的理由によって設備利用率が低く抑えられていたドイツにおいては、今後脱原子力政策に伴い設備容量が減少する一方で、同国の設備利用率としては高めの80%程度を維持するものと想定した。なお本稿では、将来見通しの幅を評価するため、原子力発電設備容量としては表2-1の「低成長ケース」と「高成長ケース」とを用いた。

この発電電力量から、天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量（分離作業量）を推計することが可能である。但し、ウランの濃縮を行う際にテイル濃度<sup>1</sup>を何%に設定するかによって値が異なってくる。テイル濃度が高い場合と低い場合の天然ウラン需要量及び濃縮役務需要量を、低成長ケース・高成長ケースそれぞれについて計算すると、表3-1及び3-2の通りとなる。

表3-1 天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量の見通し（低成長ケース）

	発電量(TWh)		天然ウラン需要量(tU)				濃縮役務量(tSWU)			
			0.1%		0.3%		0.1%		0.3%	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	912	910	15,894	15,851	22,435	22,375	22,226	22,166	13,067	13,032
カナダ	105	96	1,830	1,679	2,583	2,369	2,559	2,347	1,504	1,380
中南米	43	40	746	700	1,053	987	1,043	978	613	575
欧州	881	573	15,351	9,980	21,669	14,087	21,466	13,955	12,621	8,205
旧ソ連	285	377	4,960	6,562	7,001	9,262	6,936	9,175	4,078	5,395
中東	7	46	122	806	172	1,137	171	1,127	100	662
アフリカ	12	12	209	209	295	295	292	292	172	172
アジア	946	1,380	16,474	24,035	23,254	33,927	23,037	33,610	13,544	19,761
オセアニア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
世界計	3,191	3,434	55,586	59,821	78,461	84,438	77,729	83,650	45,700	49,181

<sup>1</sup> ウラン濃縮を行うことにより副産物として生じる劣化ウラン中のU235濃度のこと。これを低くするほど、一単位の天然ウランから得られる濃縮ウランの量は大きくなるが、一方で必要な濃縮役務量も増える。即ち、天然ウラン需要量と濃縮役務需要量とはテイル濃度を媒介としてトレードオフの関係にある。

表3-2 天然ウラン需要量及びウラン濃縮役務需要量の見通し（高成長ケース）

	発電量(TWh)		天然ウラン需要量(tU)				濃縮役務量(tSWU)			
			0.1%		0.3%		0.1%		0.3%	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
米国	917	960	15,980	16,723	22,556	23,605	22,346	23,385	13,138	13,749
カナダ	105	96	1,830	1,679	2,583	2,369	2,559	2,347	1,504	1,380
中南米	60	117	1,045	2,045	1,476	2,887	1,462	2,860	860	1,682
欧州	971	1,001	16,920	17,437	23,883	24,613	23,660	24,383	13,911	14,336
旧ソ連	424	642	7,391	11,192	10,432	15,797	10,335	15,650	6,076	9,201
中東	34	214	598	3,736	844	5,273	836	5,224	492	3,071
アフリカ	23	55	395	952	557	1,344	552	1,332	325	783
アジア	1,254	2,353	21,845	40,980	30,835	57,845	30,547	57,305	17,960	33,692
オセアニア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
世界計	3,789	5,439	66,004	94,744	93,166	133,734	92,297	132,486	54,265	77,894

## (2) ウラン生産量の見通し

近年、ウラン価格の上昇に伴い各国でウランの開発投資が急速に進んでおり、それに伴って2020年までにウランの生産能力は格段に向上する見通しである。ウラン生産能力の見通しについてはOECDによる評価<sup>2)</sup>を参照した。

表3-3 ウラン生産量の見通し

(単位:tU)

	2011	A-II(生産ケースA)		B-II(生産ケースB)	
		2020	2035	2020	2035
アルゼンチン	120	150	500	250	500
オーストラリア	9,700	10,100	9,800	24,200	27,600
ブラジル	340	2,000	2,000	2,000	2,000
カナダ	16,430	17,730	17,730	19,000	19,000
中国	1,500	1,800	1,800	2,000	2,000
チェコ	500	50	30	50	30
フィンランド	0	0	0	350	350
インド	295	980	1,000	1,200	2,000
イラン	70	100	100	100	100
ヨルダン	0	2,000	2,000	2,000	2,000
カザフスタン	22,000	24,000	5,000	25,000	6,000
マラウイ	0	1,425	0	2,525	0
モンゴル	0	150	150	1,000	1,000
ナミビア	5,350	9,450	1,600	19,250	10,050
ニジェール	5,400	5,500	2,500	10,500	7,500
パキスタン	70	140	140	150	650
ルーマニア	230	350	350	475	630
ロシア	3,360	5,840	5,450	6,610	10,450
南アフリカ	1,050	2,686	1,381	3,460	2,150
ウクライナ	1,500	2,700	5,200	2,700	5,200
米国	2,040	3,800	3,100	6,600	5,600
ウズベキスタン	3,350	4,500	5,000	4,500	5,000
世界計	73,305	95,451	64,831	133,920	109,810

(出所) OECD,IEA “Uranium 2011: Resources, Production and Demand”



表中、A-IIは確定したウラン開発プロジェクトのみが実現することを想定した見通し、B-IIは計画中のものも含め全ての開発プロジェクトが進展すると想定した見通しである。現在確定、もしくは計画中のプロジェクトは2020年までに開始され、その後既存のウラン鉱山が減退することが見込まれるため、2035年の生産能力は2025年に比べて小さな値となっている。ここでは、天然ウラン資源開発の進展として、2020年までA-IIもしくはB-IIに従って生産量が拡大し、その後2035年までその水準を維持するケースを想定し、それぞれウラン生産ケースA及びBとした。更に、需要が最も拡大する2035年の高成長ケースでは、後述の通り、生産ケースCとして、2020年以降のウラン資源開発により、B-IIから更に生産量が拡大するケースを設定した。

### (3) ウラン濃縮設備容量の見通し

現在世界で運転中・計画中のウラン濃縮施設は表3-4の通りである<sup>58)</sup>。ウラン濃縮設備は少数の国に寡占されていることが特徴的であり、USEC（米）、Areva NC（仏）、Urenco（英独蘭）及びAtomenergoprom（露）の4企業で世界の濃縮設備容量の95%以上を占める。

米国のPaducah濃縮工場はUSEC社が運営する濃縮施設、フランスのGeorge Besse濃縮工場の設備容量はAreva社の子会社EURODIF社が運営する濃縮施設であり、1952年及び1979年の操業開始以来、両国のウラン濃縮において中心的な役割を占めてきた。これらの濃縮施設は旧式のガス拡散法を用いており、そのため、経済性の観点から現在フル操業は行っていない<sup>9)</sup>。このため、各社は今後増大する需要を見込み、旧式の工場を代替するための遠心分離法による濃縮設備を新設中、または新設を計画している。例えばフランスにおいて既存の工場に隣接するGeorge Besse II濃縮工場が既に操業を開始しており、米国においてはUSEC社がオハイオ州Piketonにおいて遠心分離法による濃縮工場の新設を計画している他、Urenco社がニューメキシコ州に濃縮工場を新規操業、Areva NC社はアイダホ州に濃縮工場を計画中である。更に、より新型の濃縮法であるレーザー濃縮法による濃縮設備をGE-Hitachi社が建設中であり、既に2010年には試験運転を開始している。

欧州においては英・独・蘭合弁のURENCO社がそれぞれの国に濃縮設備を有しており、上記の米国の工場も含めて同社は2015年までに濃縮設備を大幅に拡大する計画を有している<sup>10)</sup>。

世界最大の濃縮設備容量を持つ国はロシアである。同国ではAngarsk、Novouralsk、Zelenogorsk及びSeverskに濃縮設備を有しているが、2007年にはプーチン大統領の提唱によりロシア国際ウラン濃縮センター(IUEC)がAngarskに設立されている。これはウラン濃縮技術の拡散を防止するとともに、核燃料の供給停止に備えることを目的としており、IAEAの監視下で濃縮ウランの備蓄を行っている。

中国ではロシアとの技術協力により、蘭州及び漢中にそれぞれ500tSWU/年のウラン濃縮施設を建設・運転している。更に2008年にはロシア・メドベージェフ大統領と中国・温家宝首相とが新たな濃縮工場（既に廃止したのもも含め第4期目）を建設することで合意・調印している。

2011年現在の世界の濃縮設備容量は、経済性等のため稼働低下している分を除くと、およそ42,200tSWU程度である、と言われる<sup>10)</sup>。更に、“Megatons to Megawatts”計画と称して1994年から2013年までの間、ロシアの解体核兵器から生じる濃縮ウランが米国に輸出されており、それによる燃料供給分が5,500tSWU相当程度あると言われており、これらによってウランの濃縮役務需要が賄われている。

本試算では、今後、2020年にかけて解体核からの供給が終息するとともに、旧式のガス拡散法による濃縮工場は、主に経済性の問題から順次閉鎖すると見込んだ。この標準ケースを「濃縮ケースB」として、設備容量がそれより少ない「濃縮ケースA」及びそれより多い「濃縮ケースC」を表3-5の通り想定した。

表3-4 世界のウラン濃縮設備

国	会社名	所在地	濃縮法	年間生産容量 (tSWU/年)
米国	USEC	パデューカ	ガス拡散法	11,300
		バイクトン (American Centrifuge Plant)	遠心分離法	3,800
	Urenco	ユーニス (Louisiana Energy Services)	遠心分離法	3,800
	Areva NC	アイダホフォールズ (Eagle Rock)	遠心分離法	6,600
	GE Hitachi Nuclear Energy	ウィルミントン (Global Laser Enrichment)	レーザー法	6,000
フランス他4カ国	Eurodif (Areva NC他)	ジョルジュベス(トリカスタン)	ガス拡散法	10,800
フランス	Areva NC	ジョルジュベスII(トリカスタン)	遠心分離法	7,500
イギリス・ オランダ・ドイツ	Urenco	カーペンハースト(イギリス)	遠心分離法	5,000
		アルメロ(オランダ)	遠心分離法	5,000
		グロナウ(ドイツ)	遠心分離法	4,200
日本	日本原燃	青森県六ヶ所村	遠心分離法	1,050
ロシア	アンガルスク電解化学コンビナート	アンガルスク	遠心分離法	2,500
	ウラル電気化学コンビナート	ノヴォウラルスク	遠心分離法	13,200
	生産合同電気化学コンビナート	ゼレノゴルスク	遠心分離法	7,800
	シベリア化学コンビナート	セヴェルスク	遠心分離法	3,700
中国	中国核工業総公司(CNNC)	蘭州	遠心分離法	500
		漢中	遠心分離法	500
インド	インド原子力庁	Ratnahlali	遠心分離法	25
イラン		ナタンツ	遠心分離法	n/a
		ナタンツ	遠心分離法	
		コム	遠心分離法	
ブラジル	ブラジル原子力工業(INB)	Fábrica de Combustível Nuclear	遠心分離法	200
パキスタン		カフタ	遠心分離法	5
北朝鮮		寧辺郡西位里	遠心分離法	n/a

(出所) 「原子力ポケットブック」等より作成

表3-5 ウラン濃縮設備容量の想定

(単位: tSWU/年)

	2011	濃縮ケース A	濃縮ケース B	濃縮ケース C
米州	5,400	20,400	20,400	26,400
欧州	18,200	21,700	21,700	21,700
旧ソ連	18,000	18,000	27,200	29,305
アジア	2,050	3,000	3,000	3,902
計	43,650	63,100	72,300	81,307

## (4) 天然ウラン及びウラン濃縮役務価格の見通し

天然ウラン及びウラン濃縮役務は多くの場合、長期契約により調達されるが、一部はスポット市場において購入されている<sup>11)</sup>。長期契約で調達される場合であってもスポット価格を参考として取引がなされる場合が多いため、スポット価格の推移は天然ウラン及びウラン濃縮役務価格全体の動向を反映しているものと考えられる。その過去の推移は図3-1に示す通りである。

天然ウラン価格は2003年までは10ドルポンド前後と、非常に安い水準にあった。これは1990年頃までは軍事用目的を兼ねたウラン生産の水準の高さが常に商業的需要量を大幅に上回っていたこと、またその後は二次供給の利用が可能となることで需給の緩和状態が続いたことによる。しかしその後、地球環境問題への配慮等から各国で原子力発電が政策的に推進され、それによって原子力発電の見通しが大きく上方に修正され始めたことに加え、天然資源の有限性とウラン供給のチェーンが少数の重要施設に依存しているという事実への意識の高まり

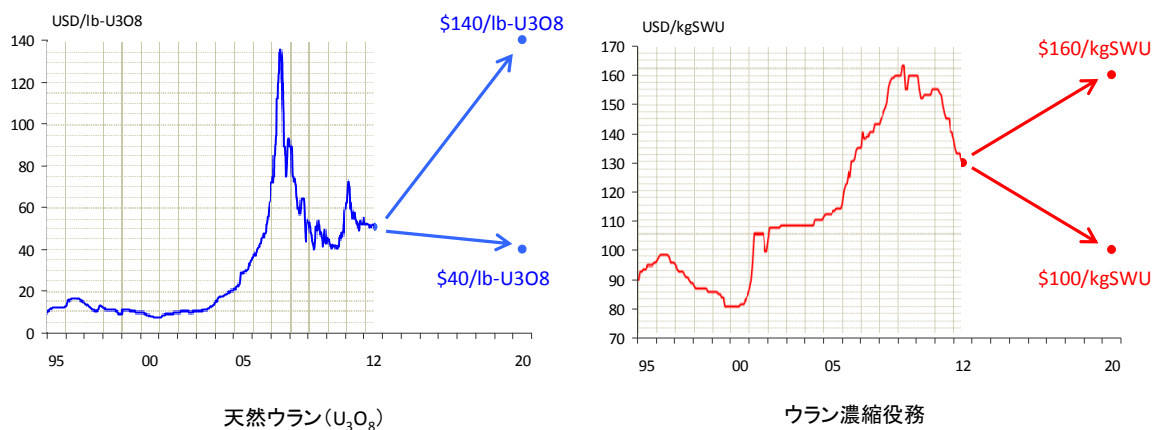
や、原油価格等の一次エネルギー価格の上昇、投機筋の介入などにより、2004年以降天然ウラン価格は急騰を続け、2007年には140ドルポンド近くまで高騰した。急騰した価格はやがて調整局面に入ったが、以前よりは高い水準で安定し、2012年10月現在、およそ45ドルポンドとなっている。

ウラン濃縮役務価格は天然ウラン価格に比べると変動が小さく、かつては80～110ドル/kgSWUの水準で推移していたが、やはり2005年以降、天然ウラン価格ほど急速ではないものの上昇傾向を示し、一時期は160ドル/kgSWUを超える水準に達した。その後緩やかに下落を続け、2012年10月現在120ドル/kgSWU程度まで低下している。

本稿では図3-1に示す通り、将来の価格をそれぞれ2つ設定した。まず天然ウラン価格については、今後ウランの二次供給が終了し、一方で発電用需要の増加が見込まれることから、低価格ケースではかつての10ドルポンドの水準まで低下はしないものの、価格調整後の最安値である40ドルポンド程度で落ち着くものと想定した。一方で高価格ケースでは、価格高騰時の140ドルポンド程度まで価格が再び上昇するものと想定した。

ウラン濃縮役務価格については、低価格ケースでは価格高騰前の100ドル/kgSWUまで価格が下落、高価格ケースでは高騰時の160ドル/kgSWU程度まで上昇すると想定した。

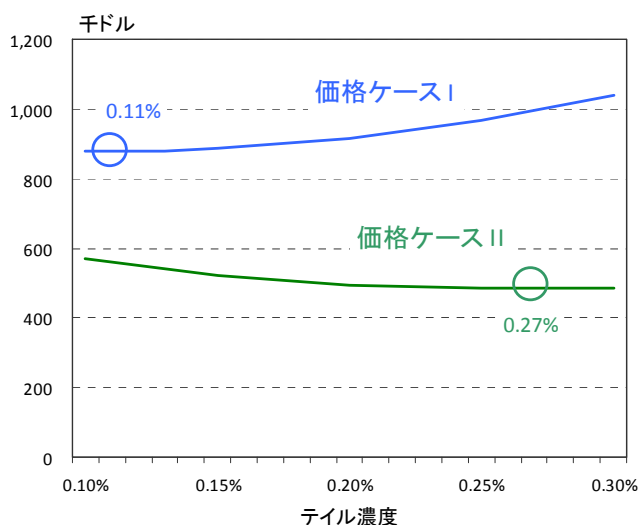
図3-1 天然ウラン及びウラン濃縮役務価格の想定



(出所) Ux Consulting ウェブサイトのデータを用いて当所作成

天然ウラン需要量とウラン濃縮役務需要量とは、テイル濃度を通じてトレードオフの関係にある。そのため、天然ウラン価格（単価）とウラン濃縮役務価格（単価）とが決まった場合には、テイル濃度に応じて両者の需要量から合計の費用（天然ウラン購入費＋濃縮役務費用）が算出され、これを最小化する条件により、最適なテイル濃度が導出できることとなる。いま、2020年及び2035年の時点进行想定し、極端な場合として天然ウラン価格が高く（140ドルポンド）ウラン濃縮役務価格が安い（100ドル/kgSWU）場合を価格ケースI、その逆の場合（天然ウラン40ドルポンド、ウラン濃縮役務160ドル/kgSWU）を価格ケースIIとし、それぞれのケースでコストを最小化するテイル濃度を計算すると、0.11%及び0.27%となる（図3-2）。本試算では、これらの二つの価格ケースをテイル濃度の上限及び下限とし、将来のウラン需要量及び濃縮役務需要量を推計した。

図3-2 各価格ケースと最適なテイル濃度



(5) 貿易フローの試算方法

以上の前提条件のもと、2020年及び2035年の天然ウラン及び濃縮ウランの貿易フローに関する推計を行った。

ここでは過去の貿易の実績にこれまでの政治的・地政学的影響や既存の契約・権益関係等、種々の要因に関する情報が含まれているものと考え、長期的契約の形態が継続することにより、今後もこれらの状況が大きく変化するものではないと想定した上で、2020年及び2035年にも2009年の実績値に近い比率で供給が行われるものとして、表3-6及び3-7に示す実績値(既往調査<sup>12)</sup>から算出した実績推計値)を用いて試算を行った。なお、取引上の実態に即して、天然ウランのフローはウランの生産国から、濃縮工場ではなく、実際に燃料が消費される国までのフローとして示されることに注意を要する。

表3-6 天然ウラン貿易フロー (2009年実績推計)

単位:tu

	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	不明	計
米国	1,921										1,921
カナダ	3,867	1,600	21	3,664	19			1,819		1,913	12,904
中南米			330								330
欧州				1,174							1,174
旧ソ連	3,789		62	8,480	8,856		131	12,013		5,466	38,796
中東											0
アフリカ	1,425		52	2,188	62			2,904		3,315	9,946
アジア								1,274			1,274
オセアニア	522		47	2,048	61			3,924		2,900	9,503
不明	51		10	883	13			2,496		101	3,554
計	11,576	1,600	522	18,438	9,011		131	24,431		13,695	79,402

表3-7 ウラン濃縮役務貿易フロー（2009年実績推計）

単位：tSWU

	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	不明	計
米国	7,063			909				4,536		1,219	13,727
カナダ											0
中南米			236								236
欧州	5,133		160	16,875				2,958		1,146	26,272
旧ソ連	5,500		2	4,213	5,540		94	1,078		4,899	21,326
中東											0
アフリカ											0
アジア								955			955
オセアニア											0
計	17,696	0	398	21,997	5,540	0	94	9,527	0	7,264	62,516

## (6) ケース設定

今回の試算におけるケース設定を表3-8に示す。低成長ケースと高成長ケースの双方につき、2020年及び2035年の需給バランスを推計し、貿易フローを計算した。

次項で詳述する通り、2020年の両シナリオ及び2035年の低成長ケースでは、既存のウラン資源開発プロジェクト及び濃縮設備建設計画の範囲内で供給を賄うことが可能となる。特に低成長ケース（2020年）においては、天然ウラン、ウラン濃縮役務ともに需給が大幅に緩和されることとなる。このケースでは天然ウラン生産能力・ウラン濃縮設備容量ともにそれぞれ最低限の生産ケースA・濃縮ケースAとしたが、それでも需給は緩和し、設備はフル稼働を必要としない。それに対し、低成長ケース（2035年）及び高成長ケース（2020年）では計画通りの容量拡大を見込んでそれぞれケースBを想定した。2035年の高成長ケースでは、既存の計画のみでは天然ウラン生産及びウラン濃縮役務ともに需要を満たすことができない。このため、これらのケースでは既存の計画以上に追加的に生産能力・濃縮設備が拡張されるケースCを想定した。それぞれの場合において、天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給状況からテイル濃度の想定を置き、試算を実施した。想定の詳細については次章の各シナリオの項に示す。

表3-8 ケース設定

		ウラン生産能力	濃縮設備容量	テイル濃度 (%)
低成長ケース	2020	生産ケースA	濃縮ケースA	0.22
	2035	生産ケースB	濃縮ケースB	0.26
高成長ケース	2020	生産ケースB	濃縮ケースB	0.26
	2035	生産ケースC	濃縮ケースC	0.27

## (7) 回収ウランの利用可能性について

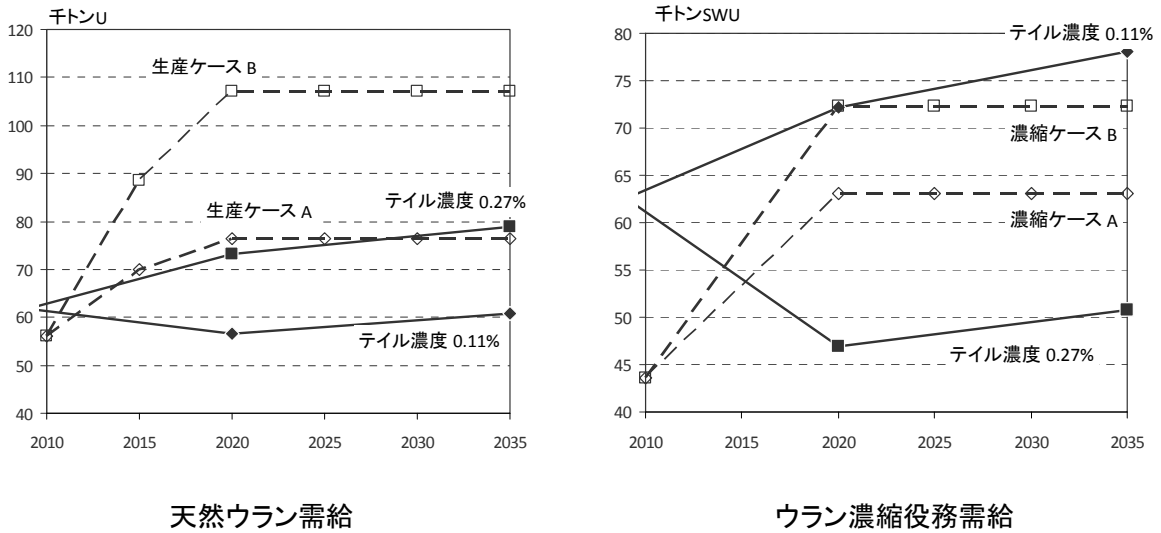
回収ウランは使用済燃料を再処理した際に発生するウランであり、通常天然ウランよりも高い1%前後のU235を含んでいる。この回収ウランを濃縮し、利用に供することにより天然ウランの需要量を低減することができる。MOX燃料を用いた原子力発電は欧州等で行われており、その2009年実績は全原子力発電量の約3%程度となっている。従って仮にこれを考慮した場合、天然ウランの需要量推計値が若干低減することとなるが、現状の再処理施設のみの運転に止まる限りその影響は比較的微小であるために、以下の試算ではそれを明示的に考慮に入れてないこととした。但し今後、仮に再処理施設の大規模新規建設が計画された場合には、改めて考慮する必要があるだろう。

### 3-2 試算結果及び考察

#### (1) 低成長ケース

低成長ケースにおいては、世界の天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通しは図3-3の通りとなる。

図3-3 天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通し（低成長ケース）



#### a. 2020年

2020年の天然ウランの需要量は価格ケース I 及び II（テイル濃度 0.11%及び 0.27%）でそれぞれ 56,532tU 及び 73,305tU、ウラン濃縮役務量は 72,190tSWU 及び 46,965tSWU である。

一方で天然ウランの生産能力は 76,361tU～107,136tU である。今後新たなプロジェクトが進展しない生産ケース A の 76,361tU 程度の生産量でも、いずれの価格ケース（テイル濃度）を仮定しても、天然ウラン需要を賄うことができる。一方で、ウラン濃縮役務需要は、価格ケース I では建設中・計画中の濃縮設備を加えた設備容量（濃縮ケース B）の設備容量を若干上回るものの、価格ケース II では大きく下回る。

これらのことから、低成長ケースでは特に天然ウラン需給が大幅に緩和し、価格はケース II で想定した 40 ドル/ポンドよりも更に下回る可能性が高い。また、天然ウラン供給力が過剰になることから、高いテイル濃度での濃縮が行われ、需給の緩和によりウラン濃縮役務価格も低下する可能性が高い、と言えるだろう。このような状況下では、天然ウラン資源開発プロジェクトが停滞し、かつ、現在特に米国において大規模に計画されている濃縮設備計画が遅延・中止する可能性も高い、とも言える。

このケースでは、テイル濃度の最も低いケースではウラン濃縮役務量が設備容量見通しを上回る一方で、天然ウラン自体は需要が供給を大幅に下回るため、このような価格は市場によって選択されず、テイル濃度は高めで推移するものと推察される。ここでは仮に、天然ウラン需要量とウラン濃縮役務需要量とがそれぞれ生産ケース A 及び濃縮ケース A に対して同等の比率となるようなテイル濃度を計算し、それを用いて貿易フローの計算を実施した。この場合、仮に上記の通り天然ウラン価格が 40 ドル/ポンドを下回るとすると、ウラン濃縮役務価格は 100 ドル/kgSWU を下回る。このため、ウラン濃縮価格も現状からは大きく下落するケースであると考えられる。

貿易フローの試算結果は表 3-9 及び 10 の通りである。

表3-9 天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2020年）

From:	To:										単位：tU
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計	
米国	2,599										2,599
カナダ	5,892	2,011		3,433				789			12,125
中南米	486		878					106			1,470
欧州				274							274
旧ソ連	4,190			6,938	5,837		246	8,120			25,332
中東				813		144		480			1,436
アフリカ	4,396			4,228				4,412			13,036
アジア								2,100			2,100
オセアニア	1,142			2,382				3,383			6,907
世界計	18,706	2,011	878	18,067	5,837	144	246	19,389	0		65,279

表3-10 ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2020年）

From:	To:										単位：tSWU
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	世界計	
米国	10,574			847				5,847			17,267
カナダ											0
中南米			171								171
欧州			495	11,814		61		6,179			18,550
旧ソ連	5,375		83	2,742	4,977	61	210	1,940			15,387
中東											0
アフリカ											0
アジア								2,564			2,564
オセアニア											0
世界計	15,948	0	749	15,403	4,977	122	210	16,530	0		53,940

需要が急速に拡大するアジア地域は旧ソ連（ロシア・カザフスタン等）及びアフリカ、次いで豪州から、また欧州は旧ソ連及びアフリカから、米国はカナダから天然ウランの供給を受けることとなる。2020年の天然ウラン需給は緩和されるものと見通され、特に低成長ケースでは現在確定しているプロジェクト以上のものが実現しないことも想定されるが、この場合には豪州での生産量は現在から大きく伸びることはなく、旧ソ連地域及びアフリカから他地域への輸出量が増加する。

また、仮に計画通りヨルダンで2,000tUの生産が開始すると想定した場合、この生産量は中東地域の需要を大きく上回り、他地域（欧州・アジア等）に輸出することが必要となる。

この低成長ケースであってもウラン濃縮役務需要は、アジアを中心に増大することが見込まれ、従って同地域への欧州・米国等からの濃縮役務輸入が2020年にかけて増大する。しかし、この域内のウラン濃縮役務需要を満たすためにアジア地域（特に中国）で更に大幅な濃縮能力拡大を行おうとすると、世界のウラン濃縮役務量が供給過多になる可能性が懸念される。このため、アジア諸国が濃縮役務の輸入依存度を大幅に低減させることは困難である。

#### b. 2035年

2035年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度0.11%及び0.27%）でそれぞれ60,814tU及び78,955tU、ウラン濃縮役務量は78,080tSWU及び50,796tSWUである。

2035年の天然ウラン生産能力については、上記の通り、生産ケースA及びBで、2020年の生産能力A-II及びB-II相当を維持するものと想定し、76,361tU～107,136tUとする。仮に需要が拡大しない場合には、生産能力が減退し、2035年に最低でA-IIの51,865tUまで落ち込むことになるが、これはかつてのように、天然ウラ

ン価格が二次的供給等の理由により極めて低い水準で低迷した場合であると考えられる。

2035年の低成長ケースにあっては、価格ケースⅠでは天然ウラン需要量60,814tUは生産能力の下限(78,636tU)を超えることがなく、また価格ケースⅡでも天然ウラン需要量78,955tUと、生産能力の下限を若干上回る程度である。即ち、テイル濃度の如何にかかわらず、天然ウランの供給過剰状態が続く。一方でウラン濃縮役務量については、価格ケースⅡでは需要量は濃縮ケースAを大きく下回るが、価格ケースⅠでは逆に濃縮ケースBを上回る。このことから、低成長ケースでは、2035年にあってもテイル濃度が大幅に低下することはない、依然として高い水準で推移するものと考えられる。仮に現在計画中のプロジェクトが全て進展したと想定したケース(生産ケースB及び濃縮ケースB)の供給可能量に対して同率の水準になると想定した場合には、それぞれの需要量は供給可能量の72%に止まり、テイル濃度は価格ケースⅡに近い0.26%程度となる。

現在計画中の濃縮工場が遅延を含めても2035年までに運転開始したと想定した場合、2035年にあっても天然ウラン及びウラン濃縮役務の需給はやはり逼迫することはない、むしろ需給の緩和により生産量が減退することになる。この場合、2035年までの間に更に濃縮プラントが建設されることは難しいであろう。即ち、この低成長ケースにあっては、既存のウラン資源開発・濃縮設備建設計画のみの進展によっても供給過剰状態が2035年まで続き、需給緩和に伴い価格が下落することが想定される。また計画中の両プロジェクトが遅延するのみでなく、2035年までの間に中止となる可能性も高い、と言えるだろう。

このテイル濃度0.26%の場合の試算結果は、表3-11及び12、図3-4及び5の通りである。

表3-11 天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2035年）

From:	To:									単位:tU 世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	3,096									3,096
カナダ	6,999	1,845		2,727				2,638		14,209
中南米	472		906					344		1,722
欧州				330						330
旧ソ連	4,310			5,272	8,496		270	11,318		29,667
中東				637		1,043				1,680
アフリカ	4,577			2,404				8,602		15,583
アジア								2,482		2,482
オセアニア	1,071			1,553				5,739		8,363
世界計	20,526	1,845	906	12,922	8,496	1,043	270	31,123	0	77,132

表3-12 ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2035年）

From:	To:									単位:tSWU 世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	8,387							6,156		14,543
カナダ										0
中南米			144							144
欧州			412	6,862		359		7,990		15,623
旧ソ連	5,804		70	2,073	5,874	362	187	5,212		19,582
中東										0
アフリカ										0
アジア								2,160		2,160
オセアニア										0
世界計	14,191	0	626	8,934	5,874	721	187	21,518	0	52,052



図3-4 天然ウラン貿易フロー（低成長ケース：2035年）

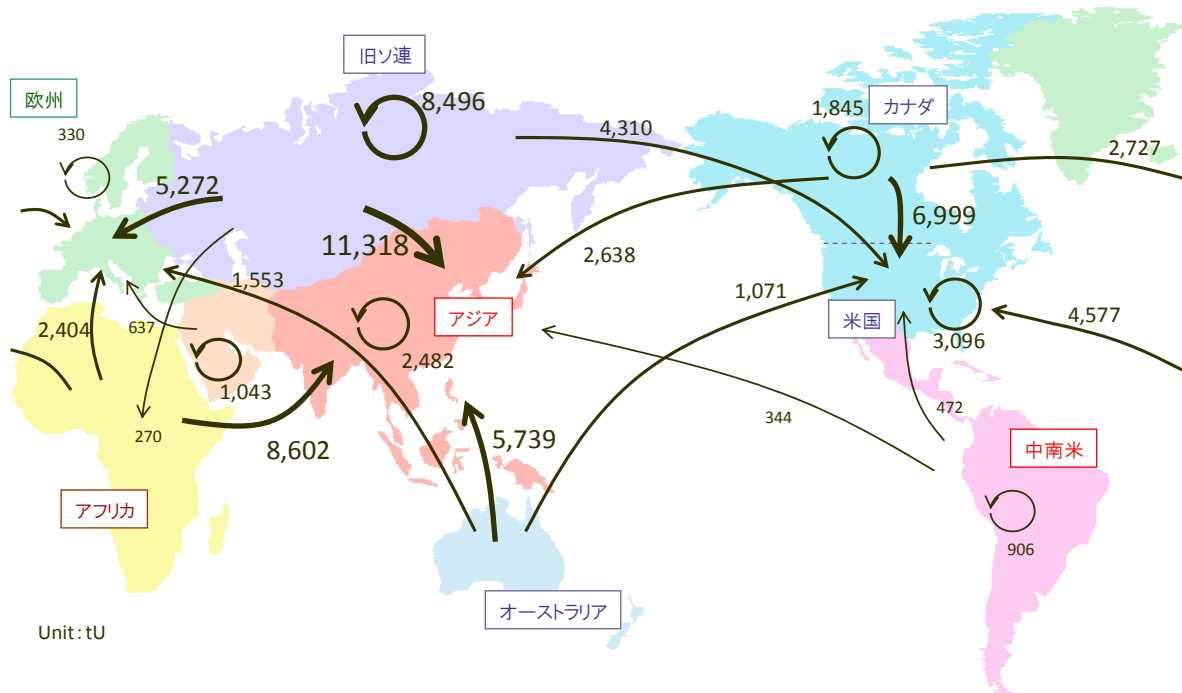
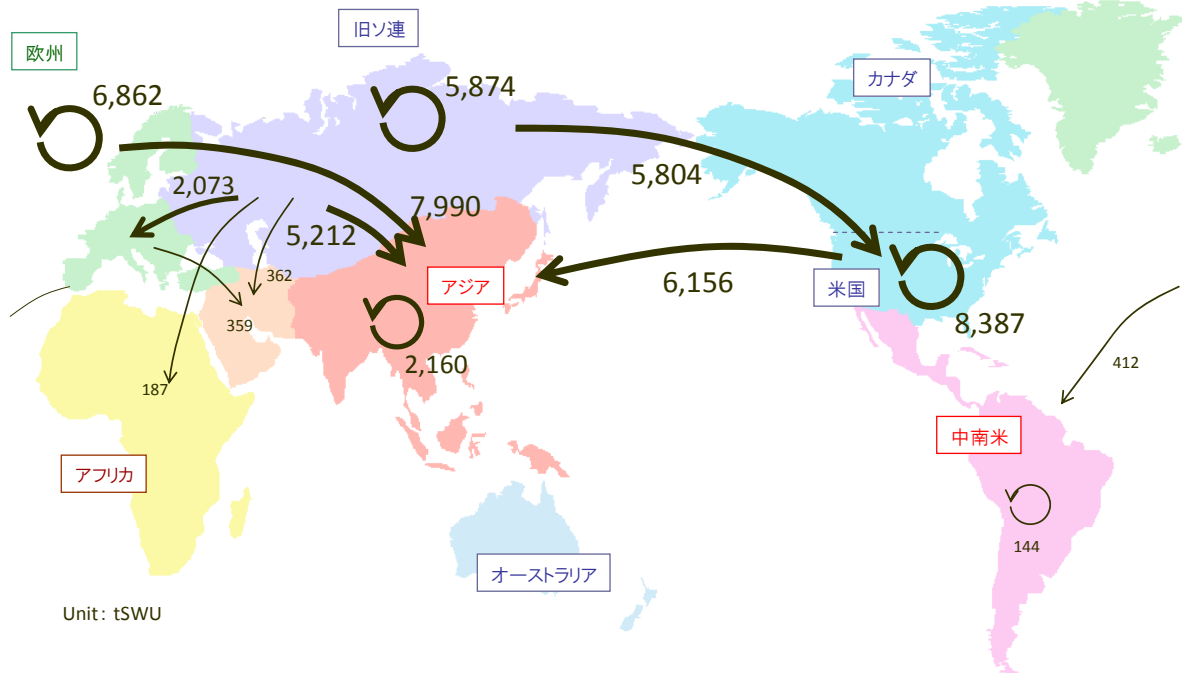


図3-5 ウラン濃縮役務貿易フロー（低成長ケース：2035年）



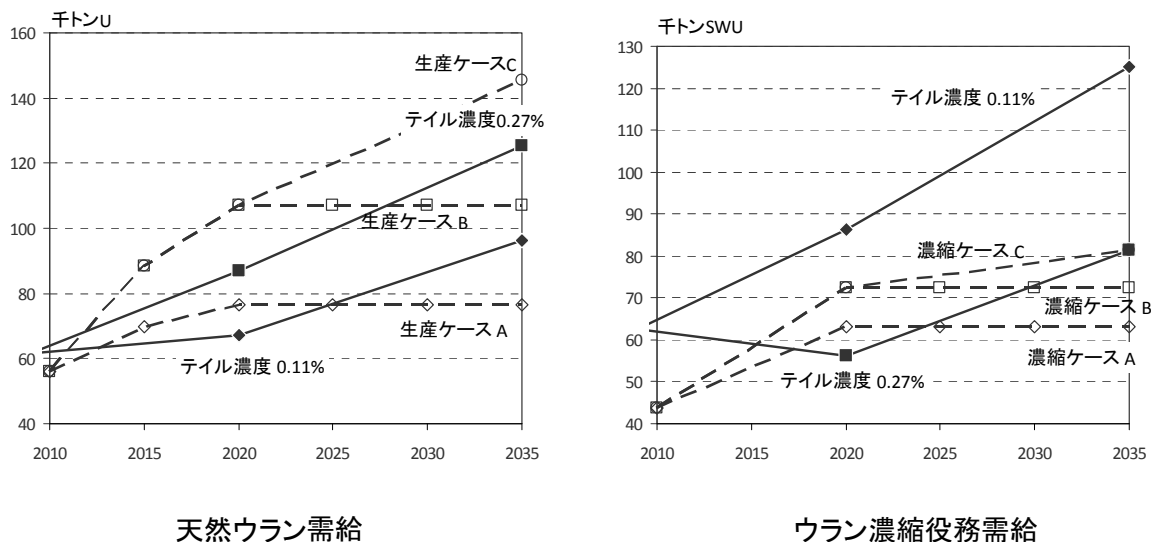
このケースでは、2020年に比べて、アジアにおける天然ウラン需要増はほぼ世界全体のそれに匹敵し、その増加分はアフリカ・旧ソ連・豪州等からの供給増で賄われる。一方で欧州での需要量は2020年に比べて減少し、それに伴い旧ソ連、アフリカ等からの貿易量も減退する。

ここではテイル濃度が2020年よりも上昇する想定のため、ウラン濃縮役務需要量は2020年に比べて減少する。アジアで需要が増加する一方で、米国及び欧州での需要は減少する。特に欧州での需要減少が著しく、欧州及びロシアからアジアへの濃縮役務輸出が拡大する。

(2) 高成長ケース

高成長ケースにおいては、世界の天然ウラン及びウラン濃縮役務の見通しは図 3-6 の通りとなる。

図3-6 天然ウラン生産及びウラン濃縮役務の見通し（低成長ケース）



a. 2020 年

高成長ケースの 2020 年の天然ウランの需要量は価格ケース I 及び II（テイル濃度 0.11%及び 0.27%）でそれぞれ 67,098tU 及び 87,122tU、ウラン濃縮役務量は 86,181tSWU 及び 56,066tSWU である。

天然ウラン需要量はテイル濃度の高い価格ケース II でも生産ケース B を下回る。即ち、現在計画中のウラン資源開発プロジェクトが進展した場合には、高成長ケースであっても供給が需要を上回ることになる。一方でウラン濃縮役務量に関しては、テイル濃度の高い価格ケース II で濃縮ケース A よりも若干小さい程度、テイル濃度の低い価格ケース I では濃縮ケース B を大きく上回る。即ち、相対的に天然ウランの方がウラン濃縮役務よりも需給が緩和する状況にあり、従ってこのケースでもテイル濃度は高めで推移することが見通される。

仮に、天然ウラン生産量及びウラン濃縮役務量が、ともに現在計画中のプロジェクトが全て進展したと想定したケース（生産ケース B 及び濃縮ケース B）の供給可能量に対して同率の水準になると想定した場合には、それぞれの需要量は供給可能量の 79%、テイル濃度はやはり 0.26%程度、即ち価格ケース II に近い水準となる。

現在計画されている新規プロジェクトは現在の価格水準で適度な利潤を得られるよう計画されているものと仮に想定すると、それらの進展を見込んだ生産ケース B 及び濃縮ケース B 程度までの需要の拡大が現状の価格水準を維持し得る需要レベルであることになり、それよりも需要量が低下した場合には、比較的安価なプロジェクトのみが進展し、価格は低下することが想定される。このケースでも前項と同様、テイル濃度と天然ウラン・ウラン濃縮役務価格との関係から、仮にウラン濃縮役務価格が現在と同水準を維持したとしても、天然ウラン価格は現状から大きく下落することになる。即ち、現状のウラン濃縮工場の運転開始を考慮に入れた場合、高成長ケースにあっても天然ウラン需給は緩和し、価格の下落とともに資源開発投資が停滞する可能性が高い、と言える。

貿易フローの試算結果は表 3-13 及び 14 の通りとなる。

表3-13 天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2020年）

From:	To:									世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	3,678									3,678
カナダ	6,560	2,011		4,383				1,519		14,473
中南米	310		1,354					78		1,743
欧州				428						428
旧ソ連	3,518			7,144	9,572		511	9,291		30,035
中東				701		775		204		1,680
アフリカ	5,029			5,741				8,276		19,046
アジア								2,747		2,747
オセアニア	1,600			3,516				6,175		11,291
世界計	20,695	2,011	1,354	21,913	9,572	775	511	28,291	0	85,121

表3-14 ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2020年）

From:	To:									世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	8,725			545				6,779		16,049
カナダ										0
中南米			159							159
欧州			641	10,587		266		5,747		17,241
旧ソ連	5,579		136	4,014	6,616	269	353	4,645		21,611
中東										0
アフリカ										0
アジア								2,384		2,384
オセアニア										0
世界計	14,304	0	936	15,146	6,616	535	353	19,554	0	57,443

需要の増加に対応して、天然ウランの貿易量は低成長ケースより増大する。特に旧ソ連・アフリカ・豪州の各地域からアジアへの輸出量が増大する。豪州は生産拡大の余地を大きく有すると考えられることから、世界の需要が高まるにつれ、ウラン生産国としての同国の重要性は高まるものと考えられる。但し、2020年においてはその規模は未ださほど大きくはない。

ウラン濃縮役務需要についても、アジアを中心として増大し、それに応じて新規濃縮設備建設計画が多数存在する北米と、設備余力を多量に有するロシアからアジアへの輸入が拡大する。しかし上述のように、このケースであっても、現在計画されている以上の濃縮設備は必要とされず、むしろ濃縮設備拡張計画が遅延する可能性が高いと考えられる。

#### b. 2035年

高成長ケースの2035年の天然ウランの需要量は価格ケースI及びII（テイル濃度0.11%及び0.27%）でそれぞれ96,233tU及び125,272tU、ウラン濃縮役務量は124,979tSWU及び81,307tSWUである。

この場合、価格ケースIIの場合の天然ウラン需要量は、生産ケースBの107,136tUを超える。価格ケースIの場合でも、天然ウラン需要は生産ケースBの水準に近づく。また濃縮役務需要については、価格ケースIIの場合にあってさえ、濃縮ケースBの供給力を大幅に超えることとなる。即ち、今後天然ウラン生産能力や濃縮設備の拡大が順調に進捗しない場合には、高成長ケースにあっては天然ウランの需給がタイトになる可能性が高い、と言える。

しかし一方でこのケースのように、2020年以降も堅調なウラン生産量の伸びが予想される場合には、それに伴って開発投資が進み、2020年よりも更にウラン生産量が拡大すると見るのが自然であろう。仮に生産ケースCとして2010年から2020年までの1/2のペースでウラン生産量が拡大した場合を想定すると、2035年の生産量は145,380tUとなり、テイル濃度0.27%の場合の需要量を上回ることになる。従って、ウラン資源の堅調な開発投資が継続する場合には、需要の高成長かつ高いテイル濃度を想定しても、十分に供給が足りるものと考えら

れる。

一方でウラン濃縮設備について言えば、価格ケースII及びIで2020年から2035年までに必要とされる設備増加量は、それぞれ9,007tSWU及び52,679tSWUに及ぶ。特に価格ケースIでの増加量は現在の世界の濃縮設備容量全体を上回る水準であり、このレベルの新規建設がなされるためには、相当に深刻な需給逼迫と濃縮役務価格の上昇が必要となる。実際には上記の通り、天然ウラン需給自体はさほど急速な資源開発を想定しなくとも足りるものであり、従ってこのケースでもやはりテイル濃度は高い水準に止まり、濃縮設備の建設は最低限のものとなることが予想される。ここでは、ケースCとして、米国・旧ソ連及び中国において濃縮設備が建設されると想定した。試算結果は表3-15及び16、図3-7及び8の通りである。

表3-15 天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2035年）

From:	To:									世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	6,644									6,644
カナダ	6,476	1,845		4,764				2,883		15,969
中南米	0		2,335							2,336
欧州				743						743
旧ソ連	2,728		377	7,192	14,843	723	1,263	6,495		33,621
中東				93		2,195				2,287
アフリカ	4,813			6,105		1,055		23,776		35,749
アジア								4,224		4,224
オセアニア	1,518			4,229		981		16,971		23,698
世界計	22,179	1,845	2,713	23,126	14,843	4,954	1,263	54,349	0	125,272

表3-16 ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2035年）

From:	To:									世界計
	米国	カナダ	中南米	欧州	旧ソ連	中東	アフリカ	アジア	オセアニア	
米国	9,409			1,036				15,755		26,200
カナダ										0
中南米			200							200
欧州			1,274	10,740		1,593		8,093		21,700
旧ソ連	5,201		313	3,458	9,778	1,671	832	8,052		29,305
中東										0
アフリカ										0
アジア								3,902		3,902
オセアニア										0
世界計	14,610	0	1,787	15,234	9,778	3,264	832	35,802	0	81,307

図3-7 天然ウラン貿易フロー（高成長ケース：2035年）

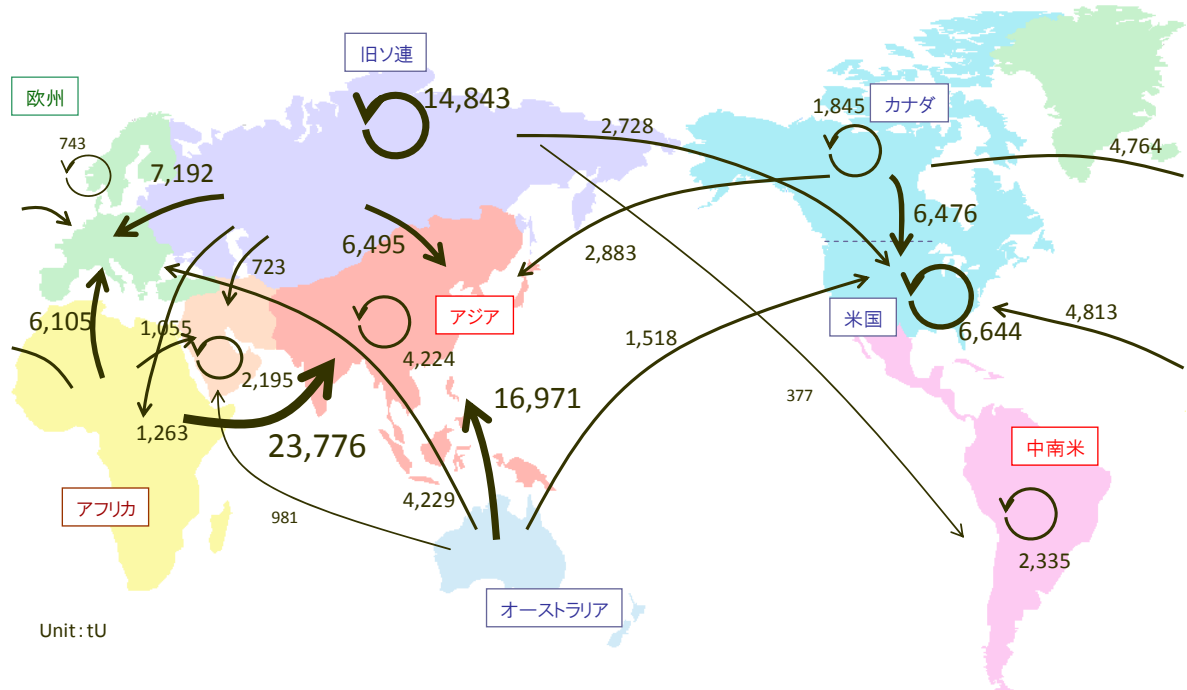
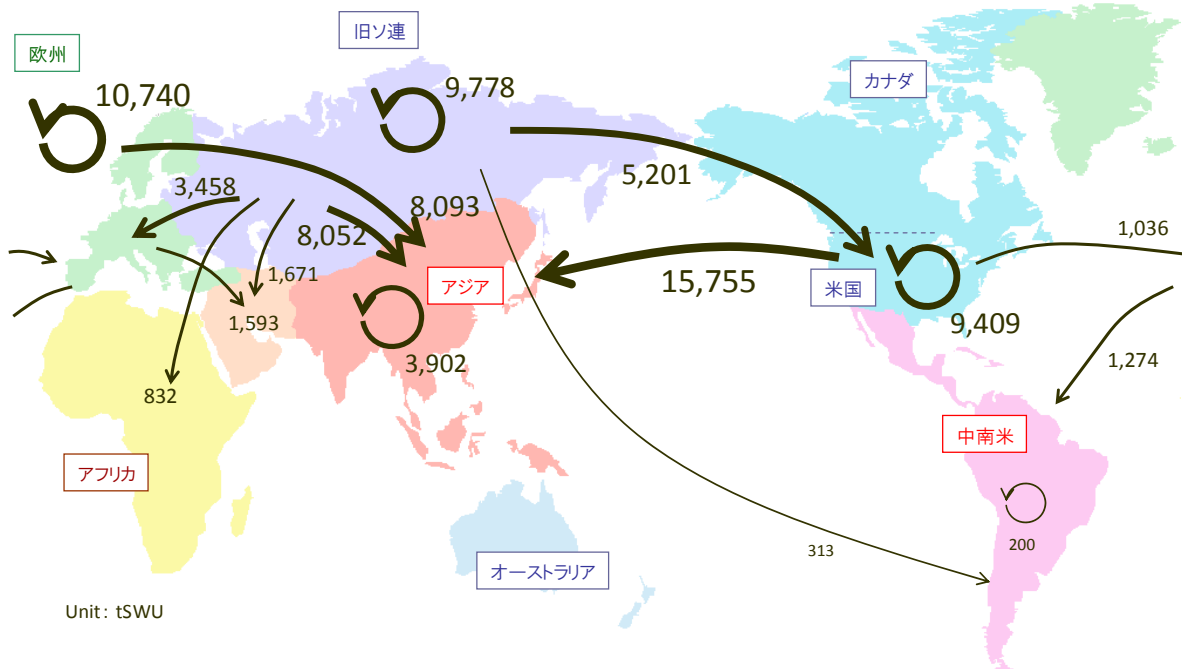


図3-8 ウラン濃縮役務貿易フロー（高成長ケース：2035年）



天然ウラン需給については、アジアにおける需要増加が著しく、2020年からの需要増加の半分以上は同地域におけるものとなる。この需要増加は旧ソ連・アフリカ及び豪州からの輸入によって賄われることとなるが、旧ソ連地域では域内のウラン需要も高まるため、対外輸出量の増加は限定的である。それに対して、アフリカ・豪州からの貿易量が大きく拡大することとなる。

一方で、中国で新たに想定した大規模な濃縮設備にもかかわらず、アジアのウラン濃縮役務需要は大幅に不足し、ロシア及び米国からの供給を受けることとなる。

#### 4. 結論

本稿では、原子力発電量の増加と天然ウラン生産能力・ウラン濃縮設備容量の拡大を組み合わせることにより、長期にわたる天然ウラン及びウラン濃縮設備の貿易フローを推計した。今後アジア地域を中心として原子力発電設備は拡大を続けるものの、現在計画されている天然ウラン資源開発や濃縮設備の増強などから、2020年までの間は天然ウラン及びウラン濃縮設備の需給は緩和するものと見通される。このため中期的に、資源開発・濃縮設備増強等が大幅に遅延する可能性も高い。原子力発電設備の伸びが緩やかなケースでは、この傾向は2035年まで継続し、ウラン生産量は2020年に比べて減退する可能性さえ考えられる。一方で、化石燃料も含めたエネルギーの安定供給や地球温暖化対策等の観点から世界各国が最大限に原子力発電を推進したケースでは、既存のプロジェクト以上に計画が進展することが求められるが、そのペースは現在計画中のものとは比較的に緩やかであっても需要を賄うに足りるものと考えられる。これらのことから、2020年頃までは現在進行中の開発計画を進め、その後需要の伸びを見極めつつ新規のプロジェクトを適切に開始すれば、今後20～30年間の間は天然ウラン及びウラン濃縮設備の需給が極端に逼迫する恐れは少ない、と言えるだろう。また、天然ウラン及びウラン濃縮設備の需給の関係からは、今後長期にわたりテイル濃度は高い水準を保つこと、即ち相対的に天然ウラン価格に比べてウラン濃縮設備価格が高い水準で推移することが見通される。

今後需要拡大の中心となるのはアジア地域である。同地域においては天然ウラン・ウラン濃縮設備ともに対外依存度は長期的に高いままで推移する。天然ウランについては、今後需要拡大に対応するのはアフリカ及び豪州からの輸入である。またウラン濃縮設備については、中期的には米国、更にはロシアからの輸入が拡大するものと見通される。天然ウラン生産及びウラン濃縮に関してアジア地域内での自給率を大幅に上昇させることは、中長期的にも困難であると考えられる。

本試算の対象期間である2035年を超えて原子力発電設備の拡大が進む場合には、新規のウラン資源・ウラン濃縮設備の開発動向次第では、その需給が次第に逼迫状況に向う可能性もある。但しこの時間スケールを考慮する場合には、高速増殖炉やトリウム資源の利用、更には海水からのウラン抽出、核融合など、天然ウラン需要を抑制するさまざまな技術の導入を考える必要があるだろう。逆に言えば、本試算から明らかなように、2035年までのウラン需給を考える限りにおいては、これらの革新的な新技術は必ずしも不可欠ではない、と言って良い。より長期の視野の中で、これらの技術の位置づけをどのように捉えるかは、今後の重要な研究課題であると言える。

#### 参考文献

- 1) 松尾雄司、村上朋子「福島第一原子力発電所事故後の世界の天然ウラン・ウラン濃縮設備貿易フローの長期見通し」、『日本原子力学会和文論文誌』, **11(4)**, (2012), pp.281-303.
- 2) Organisation for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency, “Uranium 2011 Resources, Production and Demand”, OECD Publishing, (2012).
- 3) International Atomic Energy Agency, “Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050”, IAEA (2011).
- 4) International Energy Agency, “World Energy Outlook 2011”, IEA Publications, (2011).
- 5) 日本原子力産業協会, 『世界の原子力発電開発の動向2012』, (2012).
- 6) 電気新聞, 『原子力ポケットブック2012年版』, (2012).
- 7) World Nuclear Association Website, <http://www.world-nuclear.org/>
- 8) 日本原子力研究開発機構, 『核燃料サイクル技術等報告書 欧米における核燃料サイクルに関する調査 平成19年度』, (2008).
- 9) Areva, “2011 Reference document”, (2011).
- 10) URENCO, “Annual report and accounts 2011”, (2011).
- 11) Ux Consulting Website, <http://www.uxc.com/>
- 12) NAC International, Selected Aspects of the Fuel Cycle Front End (2011).